



现代机电一体化技术丛书

# 光机电一体化技术产品 典型实例：民用

林 宋 董信昌 王 晶 编著

**GUANGJIDIAN YITIHUA**

JISHU CHANPIN

DIANXING SHILI MINYONG



化学工业出版社



 现代机电一体化技术丛书

# 光机电一体化技术产品 典型实例：民用



GUANGDIAN YITIHUA

JI SHU CHAN PIN

DIAN XING SHI LI MIYONG

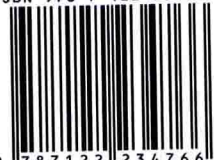


[www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

读科技图书 上化工社网

销售分类建议：机电一体化

ISBN 978-7-122-23476-6



9 787122 234766 >

定价：49.00元



 现代机电一体化技术丛书

# 光机电一体化技术产品 典型实例：民用

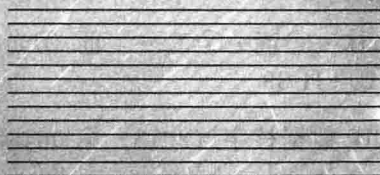
林 宋 董信昌 王 晶 编著



**GUANGJIDIAN YITIHUA**

JISHU CHANPIN

DIANXING SHILI MINYONG



化学工业出版社

· 北 京 ·



本书是“现代机电一体化技术丛书”之一。本书从光、机、电有机结合的角度出发,较为全面、系统地阐述了光机电一体化系统的设计原理和方法,讲解了光机电一体化技术及其产品开发,并给出了应用实例。全书共分六章,分别介绍了光机电一体化技术及其民用产品开发、办公自动化产品实例、医学产品实例、汽车产品实例、家用电器产品实例和其他产品实例。尤其是对目前正发展迅猛的穿戴式智能设备的工作原理和组成、类型和关键技术,应用和典型产品以及发展趋势进行了全面的论述。全书的最大特点是在介绍具体产品的原理性知识的同时,通过讲解光机电系统的组成和设计过程,帮助读者了解如何设计光机电一体化产品。

本书文笔流畅,图文并茂、内容深入浅出、注重实用。它不仅可用作高等院校机电一体化等相关专业本科生的教材,也可以供夜大、函大、职大、高职等的相关专业选用,或作为机电工程师再教育培训班的教材。对于从事光机电一体化设计、制造、研究和管理的工程技术人员也有一定的参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

光机电一体化技术产品典型实例:民用/林宋,董信昌,王晶编著. —北京:化学工业出版社,2015.5

(现代机电一体化技术丛书)

ISBN 978-7-122-23476-6

I. ①光… II. ①林…②董…③王… III. ①光电技术-机电一体化 IV. ①TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第064302号

---

责任编辑:张兴辉 韩亚南

装帧设计:王晓宇

责任校对:宋 玮

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张11½ 字数288千字 2015年7月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:49.00元

版权所有 违者必究



前言

现代机电一体化技术丛书

## “现代机电一体化技术丛书” 编委会

主任 林 宋


副主任 王生泽 王侃 方建军

委 员 (排名不分先后)

胡于进	王生泽	何 勇	谢少荣	罗 均	莫锦秋	王石刚
张 朴	徐盛林	林 宋	殷际英	方建军	尚国清	郭瑜茹
杨野平	戴 荣	周洪江	刘杰生	黎 放	刘 勇	王 晶
王 侃	白传栋	袁俊杰	胡福文	董信昌	马 梅	

编委会 (排名不分先后)





## 丛书序

机电一体化是指在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进电子技术，将机械装置与电子化设计及软件结合起来所构成的系统的总称。机电一体化是微电子技术、计算机技术、信息技术与机械技术的相互交叉与融合，是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。机电一体化产品是集机械、微电子、自动控制和通信技术于一体的高科技产品，具有很高的功能和附加值。

目前，国际上产业结构的调整使得各个行业不断融合和协调发展。作为机械与电子相结合的复合产业，机电一体化以其特有的技术带动性、融合性和普适性，受到了国内外科技界、企业界和政府部门的特别关注，它将在提升传统产业的过程中，带来高度的创新性、渗透性和增值性，成为未来制造业的支柱。我国已经将发展机电一体化技术列为重点高科技发展项目，机电一体化技术的广阔发展前景也将越来越光明。

随着机电一体化技术的不断发展，各个行业的技术人员对其兴趣和需求也与日俱增。但到目前为止，国内还鲜有将光机电一体化技术作为一个整体技术门类来介绍和论述的书籍，这与其方兴未艾的发展势头形成了巨大反差。有鉴于此，由北方工业大学、东华大学、上海交通大学和北京联合大学联合编写“现代机电一体化技术丛书”，旨在适时推出一套机电一体化技术基本知识和应用实例的科技丛书，满足科研设计单位、企业及高等院校的科研和教学需求，为有关技术人员在开发机电一体化产品时，提供从产品造型、功能、结构、材料、传感测量到控制等诸方面有价值的参考资料。

本丛书共十二种，包括《机电一体化系统分析、设计与应用》、《机电一体化系统软件设计与应用》、《机电一体化系统接口技术及工程应用》、《机电一体化系统设计及典型案例分折》、《光电子技术及其应用》、《现代传感器及工程应用》、《微机电系统及工程应用》、《光机电一体化技术产品典型实例：工业》、《光机电一体化技术产品典型实例：民用》、《现代数控机床及控制》、《楼宇设备控制及应用实例》、《服务机器人》。

丛书的基本特点，一是内容新颖，力求及时地反映机电一体化技术在国内外的最新进展和作者的有关研究成果；二是系统全面，分门别类地归纳总结机电一体化技术的基本理论和在国民经济各个领域的应用实例，重点介绍了机电一体化技术的工程应用和实现方法，许多内容，如楼宇自动门的专门论述，尚属国内首次；三是深入浅出，重点突出，理论联系实际，既有一定的深度，又注重实用性，力求满足不同层次读者的需求，适合工程技术人员阅读和高校机械类专业教学的需要。

由于本丛书涉及内容广泛，相关技术发展迅速，加之作者水平有限，时间紧促，书中不妥之处在所难免，恳请专家、学者和读者不吝指教为盼！

“现代机电一体化技术丛书”编委会





# 前言

光机电一体化是激光技术、微电子技术、计算机技术、信息技术与机械技术的相互交叉与融合,是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。光机电一体化产品是集光学、机械、微电子、自动控制和通信技术于一体的高科技产品,具有很高的功能和附加值。

目前,国际上产业结构的调整使得各个行业不断融合和协调发展。作为光学、机械与电子相结合的复合产业,光机电一体化产业以其特有的技术带动性、融合性和普适性,受到了国内外科技界、企业界和政府部门的特别关注,它将在提升传统产业的过程中,带来高度的创新性、渗透性和增值性,被誉为 21 世纪最具魅力的朝阳产业。

现代产品开发人员,不仅要熟悉机械结构、光学系统、传感器、信息处理和控制等方面的知识,而且要熟悉计算机的硬件接口和软件设计方面的知识,这样才能开发出结构简单、功能齐全、效率高、精度高、能耗低、附加值高的光机电一体化产品。本书精选了光机电一体化技术和光机电一体化产品实例,尽量以较为丰富的内容和翔实材料启迪读者的思维,起到抛砖引玉的作用。


本书共分 6 章,第 1 章主要介绍光机电一体化技术及其民用产品开发,第 2 章到第 6 章分别介绍了办公自动化产品实例、医学产品实例、汽车产品实例、家用电器产品实例和其他产品实例。

本书力求及时地反映光机电一体化技术在国内外的最新进展和作者的有关研究成果,内容新颖,系统全面,分门别类地归纳总结了光机电一体化技术的基本理论和在国民经济各个领域的应用实例,重点介绍了光机电一体化技术的工程应用方法和实现方法。注重理论联系实际,配有大量说明图表,尽量避免冗长的公式推导,偏重普及性、实用性和新颖性,在内容深度和语言叙述方面力求满足不同层次读者的需求,适合工程技术人员阅读和高校机械类专业教学的需求。

本书由林宋编写和统稿,董信昌和王晶参与了校核、绘图和部分文字工作,并提出了很多有益的建议。马梅同学也在本书的编写过程中给予了支持和协助,对此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,敬请读者提出宝贵的意见。

编 者



# 目录

## 第 1 章 光机电一体化技术及其民用产品开发 / 001

- 1.1 光机电一体化产业 / 002
  - 1.1.1 光机电一体化产业的主要领域及其关键技术 / 002
  - 1.1.2 光机电一体化产业链 / 002
- 1.2 光机电一体化产品 / 004
  - 1.2.1 光机电一体化产品的组成 / 004
  - 1.2.2 光机电一体化产品的特点 / 004
  - 1.2.3 光机电一体化的组成技术 / 005
- 1.3 光机电一体化技术的应用 / 005
  - 1.3.1 在设计中的运用 / 005
  - 1.3.2 在制造中的运用 / 006
  - 1.3.3 汽车电子化的应用 / 007
  - 1.3.4 汽车电子行业的未来 / 013

## 第 2 章 办公自动化产品实例 / 016

- 2.1 激光打印机 / 016
  - 2.1.1 工作原理 / 016
  - 2.1.2 基本结构 / 017
  - 2.1.3 主要接口类型 / 023
- 2.2 光标阅读器 / 024
  - 2.2.1 工作原理 / 024
  - 2.2.2 光标阅读器的组成 / 025
  - 2.2.3 主要技术指标和特点 / 028
  - 2.2.4 应用 / 029
- 2.3 光盘驱动器 / 030
  - 2.3.1 原理与结构 / 030
  - 2.3.2 光盘数据读出原理 / 032
  - 2.3.3 光盘伺服系统 / 033
  - 2.3.4 光学头运动机构 / 034



## 第 3 章 医学产品实例 / 036

- 3.1 CT 成像系统 / 036
  - 3.1.1 工作原理 / 036
  - 3.1.2 系统组成 / 037
  - 3.1.3 CT 图像重建 / 041
- 3.2 医用 X 射线机 / 041
  - 3.2.1 医用 X 射线机的组成和分类 / 041
  - 3.2.2 X 射线机工作原理 / 042
  - 3.2.3 医用 X 射线管 / 042
  - 3.2.4 医用 X 射线机的电路结构 / 044
  - 3.2.5 机械辅助装置 / 044
- 3.3 激光微束装置 / 046
  - 3.3.1 装置组成 / 046
  - 3.3.2 激光波长选择 / 047
- 3.4 流式细胞仪 / 049
  - 3.4.1 基本原理 / 049
  - 3.4.2 主要结构 / 049
  - 3.4.3 流式细胞仪的应用领域 / 052

## 第 4 章 汽车产品实例 / 054

- 4.1 电动汽车 / 054
  - 4.1.1 电动汽车的类型 / 054
  - 4.1.2 电动汽车的特点 / 055
  - 4.1.3 电动汽车的组成及结构 / 055
  - 4.1.4 纯电动汽车实例分析 / 069
- 4.2 汽车防撞系统 / 071
  - 4.2.1 激光-单片机组合的汽车防撞系统 / 071
  - 4.2.2 激光雷达汽车自动防撞微机控制系统 / 073
- 4.3 电子控制 ABS / 075
  - 4.3.1 ABS 的工作原理 / 075
  - 4.3.2 ABS 系统的结构 / 076
  - 4.3.3 ABS 系统的通道结构 / 078
  - 4.3.4 FKX-AC 型 ABS / 078
- 4.4 汽车安全气囊系统 / 081
  - 4.4.1 工作原理 / 081
  - 4.4.2 组成及结构 / 082
- 4.5 汽车用激光雷达 / 085
  - 4.5.1 测距原理 / 085
  - 4.5.2 系统构成和测量方式 / 086
  - 4.5.3 技术指标 / 086

## 第 5 章 家用电器产品实例 / 089

### 5.1 模糊控制洗衣机 / 089

#### 5.1.1 控制原理 / 089

#### 5.1.2 模糊控制洗衣机结构 / 090

#### 5.1.3 传感器 / 090

#### 5.1.4 混浊度检测系统 / 091

### 5.2 变频空调器 / 093

#### 5.2.1 变频空调器的类型 / 093

#### 5.2.2 工作原理 / 094

#### 5.2.3 系统构成 / 094

#### 5.2.4 变频调速的关键技术 / 096

#### 5.2.5 家用变频空调控制系统 / 097

### 5.3 激光影碟机 / 098

#### 5.3.1 激光影碟机工作原理 / 098

#### 5.3.2 伺服系统 / 099

#### 5.3.3 伺服系统的协调控制 / 100

## 第 6 章 其他产品实例 / 102

### 6.1 自动旋转门 / 102

#### 6.1.1 自动旋转门的特点和类型 / 102

#### 6.1.2 自动旋转门驱动控制系统 / 105

### 6.2 音乐喷泉系统 / 116

#### 6.2.1 音乐喷泉系统的构成 / 116

#### 6.2.2 系统硬件设计 / 120

#### 6.2.3 系统软件设计 / 123

### 6.3 足球机器人 / 131

#### 6.3.1 概述 / 131

#### 6.3.2 足球机器人控制 / 134

#### 6.3.3 仿真机器人足球赛 / 137

### 6.4 穿戴式智能设备 / 140

#### 6.4.1 穿戴式智能设备的工作原理 / 140

#### 6.4.2 穿戴式智能设备的组成 / 141

#### 6.4.3 穿戴式智能设备的发展历程和类型 / 144

#### 6.4.4 穿戴式智能设备的关键技术 / 155

#### 6.4.5 穿戴式智能设备的应用及典型产品 / 156

### 6.5 发展趋势 / 174



# 第 1 章

## 光机电一体化技术及其民用产品开发

在当今飞速发展的社会里，人们生产和生活所需求的信息量及其加工处理的速度都有惊人的数量级上的提高。如何快捷、及时、准确地捕获各种信息，及时地加以去粗取精，去伪存真，分析、比较，归类、存储、转换和传递，发挥最大效益，达到信息共享至关重要。

随着大容量和高速度的信息发展，电子学和微电子学遇到其局限性。由于光子的速度比电子速度快得多，光的频率比无线电的频率高得多，为提高传输速度和载波密度，信息的载体由电子到光子是发展的必然趋势，它会使信息技术的发展产生突破。

机电一体化技术是随着生产的发展，在以机械技术、电子技术、计算机技术为主的多门学科相互渗透、相互结合的过程中逐渐形成和发展起来的一门边缘学科。回顾机电一体化的发展历程可以看到，数控机床的问世，揭开了机电一体化的第一页；微电子技术为机电一体化带来蓬勃生机，可编程控制器和电力电子的发展为机电一体化提供了坚实的基础，而激光技术、信息技术使机电一体化技术整体上了一个新台阶，越来越多的光学元件被应用到机电一体化系统中，导致了机电一体化的一个重要分支——光机电一体化的诞生。

如果说，机电一体化的实质是以微电子技术为核心的信息技术革命，是将机械技术、微电子技术、信息技术、控制技术等系统工程的基础上有机地加以综合的技术，实现整个机械系统的优化，达到人类的体力延伸、脑力增强的目的，而光机电一体化（Optomechatronics）技术则是由光学、光电子学、电子信息 and 机械制造及其他相关技术交叉与融合而构成的综合性高新技术，是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。它在机电一体化基础上更强调了光、光电子、激光和光纤通信等技术的作用，丰富和拓宽了机电一体化技术的内涵和外延，从加工系统到医疗仪器、从家用电器到军事装备都离不开它。信息、材料、能源、空间、海洋等高科技领域的技术发展和产业化，传统产业的技术改造，武器装备的现代化都要用到光机电一体化技术。

光机电一体化系统具有结构简单、功能多、效率高、精度高、能耗低的特点，与传统的机械产品比较，光机电一体化产品具有以下 3 个优点。

① 原有的机构产品中增加信息处理装置及相应软件，来替代原有产品的部分机械控制机构，不仅提高了自动化程度，而且能大大提高产品质量，降低生产成本，提高经济效益。

② 光机电一体化技术为主的新型产品，与原机械产品相比，不仅结构简单，而且功能增加，精度提高。

③ 将光电子技术、传感器技术、控制技术与机械技术各自的优势结合起来，形成综合化优势，可开发出具有多种功能、智能化的高新技术产品。

目前，世界各国高新技术及其产业竞争的焦点正从微电子产业转向光电子信息产业，光机电一体化产业已经成为 21 世纪最具魅力的朝阳产业，光机电一体化技术产业以其特有的技术带动性、融合性和广泛适用性成为高新技术产业中的主导产业，将成为新世纪经济发展的重要支柱。目前国际上产业结构不断进行调整，使各行业不断融合和协调发展，在提升传统产业的作用中，光机电一体化技术具有高度创新性、渗透性和增值性。

## 1.1 光机电一体化产业

光机电一体化产业可为国民经济提供先进的基础装备，光机电一体化产业应符合两大特征：一是综合应用了激光、电子信息和机械制造技术，这些技术之间有较为和谐的融合度；二是可以为国民经济其他产业提供基础装备。

### 1.1.1 光机电一体化产业的主要领域及其关键技术

光机电一体化产业目前有四个主要领域：先进制造装备（工业机器人、数控机床、激光加工设备、激光三维快速成形设备）、仪器仪表装备（激光测振仪、激光测速仪、电子经纬仪、GPS 接收机、微光夜视仪、扫描隧道显微镜）、先进印刷装备（高速激光打印机、胶印机）和医疗装备（X 射线诊断仪、心血管造影系统、红外治疗设备、医用电子直线加速器）。机电一体化产业的关键技术既包括产业自身存在的需要突破的技术，也包括电力电子、激光等上游技术环节需要突破的技术，它们在如下四个主要领域中。

① 先进制造装备：包括计算机辅助设计、计算机辅助制造、管理信息系统计算机辅助工艺过程设计；

② 仪器仪表装备：包括自动测试技术、信息处理技术、传感器技术、现场总线技术；

③ 先进印刷装备：数字印刷技术、制版技术；

④ 先进医疗装备：信息处理技术、图像处理技术、影像显示技术、医用激光技术。

### 1.1.2 光机电一体化产业链

从生产环节上看，光机电一体化产业链涉及几个方面的内容，从图 1-1 可以看出：产业链条从客户需求环节开始，由设计环节、机械制造和数控系统、整机组装，形成最终产品，交付客户使用，产业链条基本完成。专业的服务也逐渐成为光机电一体化产业中一个重要的产业。

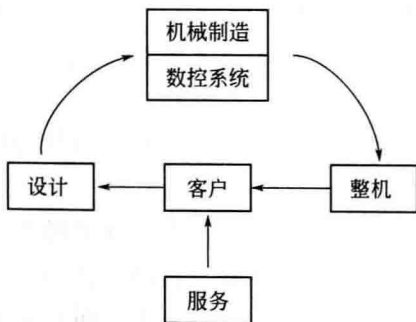


图 1-1 光机电一体化产业链的生产环节

① 设计行业 设计环节将可能是未来光机电一体化产业增值最大的一个环节。CAD 软件的设计和生产也必将成为制约光机电一体化产业发展水平高低的一个重要部分。

② 机械制造业 机械制造是光机电一体化产品从设计图纸转变为实际物体的一个必要环节。

③ 数控系统 数控系统是光机电一体化产品的核心，数控化水平的高低是代表该产品档次高低的

灵魂。

④ 整机组装 到高级阶段，设计与组装逐步分离，设计提出标准，拥有品牌，成为产业发展的主导力量，整机组装则成为相对独立而又依附于设计的品牌打工者。

⑤ 客户需求 生产链条从客户需求开始，到客户需求得到满足结束，完成一个循环。

⑥ 服务 传统的售后服务进一步扩大到全方位的服务，使服务行业独立出来，成为光机电一体化产业链条正常运转不可缺少的重要环节。

从图 1-2 的光机电一体化产业链技术环节可以看到，计算机集成制造是发展方向，而上游产业是光机电一体化产业的主要技术支撑。上游产业的每一次技术革新，又为光机电一体化产品的升级换代创造了契机。

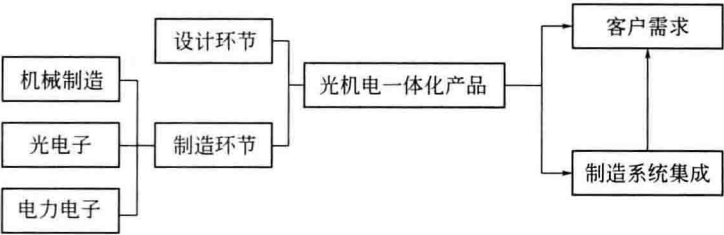


图 1-2 光机电一体化产业链的技术环节

光机电一体化技术对传统产业的技术改造、新兴产业的发展、产业结构的调整优化起着巨大的促进作用。由于光电子技术具有精密、准确、快速、高效等特点，它有助于全面提高工业产品的高、精、尖加工水平，并大幅度提高附加值及竞争能力。以激光加工技术为例，将其应用于汽车、航空、航天、通信、微电子等工业，具有加工速度快、效率高、质量好、变形小、控制方便和易于实现自动化生产等优点，对提高产品质量、降低生产成本、提高国际市场竞争能力具有重要作用。

光机电一体化是一个总的技术指导思想，它不仅体现在一些机电一体化的单机产品之中，而且贯穿于工程系统设计之中。从简单的单台光机电一体化产品，到现代工业中的柔性加工系统；从简单的单参数显示，到复杂的多参数、多级控制；从机械零部件连续自动热处理生产线，到各种现代高速重型机械自动化生产线等，光机电一体化技术都有不同层次、覆盖面很广的应用领域。对于工程系统，需成套地进行开发和制造。对于光机电一体化单机产品（设备），应采用简繁并举、高低级并存的多层次发展途径。可发展功能附加型的低级产品，也可发展功能替代型的中级产品，还可发展机电融合型的高级产品，成为前所未有的新一代产品。

机电一体化技术已被列为国家“十五”高新技术的重点扶持项目，北京市政府于 2001 年 7 月 23 日正式批准成立北京市光机电一体化产业基地。光机电一体化产业化主要有两个层次：一是用光电子技术改造传统产业，其目的是节能、节材、提高工效，提高产品质量，促进传统工业的技术进步；二是开发自动化、数字化、智能化光机电产品，提高产品的技术含量，促进产品的更新换代。如用数码光电技术代替胶片、用半导体激光器或发光二极管代替传统光源和某些激光器，可使产品档次迅速提高。光电子技术派生出若干新兴科学技术和新兴的高技术产业，极大地推动高新科技的发展和产业结构的调整优化。



## 1.2 光机电一体化产品

光机电一体化产品是包含光学技术、机械技术、微电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术和通信技术的高科技产品，光机电一体化产品是在其组成的各种技术相互渗透、相互结合的基础上，相互辅助、相互促进和提高，充分利用各个相关技术的优势，扬长避短，使组合后的整体功能大于组成整体的各个部分功能之和，使系统或设备的性能达到精密化、高柔化、智能化。

### 1.2.1 光机电一体化产品的组成

典型的光机电一体化产品分系统（整机）和基础元部件两类。

光机电一体化系统是指将光学、机械学、电子学、信息处理和自动控制及应用软件等当代各种高新技术进行综合集成的一项边缘性、交叉性的应用型工程技术。光机电一体化系统主要由 5 个部分组成：动力系统、机械结构、执行器械、计算机和传感器，组成一个功能完善的柔性自动化系统，其中计算机、传感器和计算机软件是光机电一体化系统的重要组成部分。

光机电一体化技术在光信息处理和光通信机两个方面的应用尤为显著，特别是大存储、高速度、高可靠性、长寿命、低成本光盘的开发以及液晶平板式显示器、光局域网的研制生产，都是光机电一体化产品的开发实例。光机电一体化的产品开发见表 1-1，它具有三个层次，即功能层、制造层和设计层。

表 1-1 光机电一体化产品开发

层次	内容	应用
功能层	机器人、医疗、环境、测量光机械（激光显微镜、相机）	光传输、光变换、光信息、光信息处理，光信息机器（光盘激光打印机、光显示）
	测量仪器、传感器	光通信机（传真光局域网、光连接器）
	非球面镜、透镜、多棱镜光传动器、扫描器	高频率激光器、短波长激光器、多束激光器、集成光器功能元件、空间光调制器
	智能材料	各种光学功能材料
制造层	微细加工工艺、光模块装配测量、控制	光刻设备、镀膜设备、工艺设备、精密工作台
设计层	设计	CAD/CAM 设计

### 1.2.2 光机电一体化产品的特点

光机电一体化产品具有结构简单、功能多、效率高、精度高、能耗低的特点，与传统的机械产品比较，光机电一体化产品主要有以下 3 个优点。

① 将原有的机械产品中增加信息处理装置及相应的应用软件，来替代原有产品的部分机械控制机构，不仅提高了自动化程度，而且能大大提高产品质量，降低生产成本，提高经济效益。例如，数控机床能很明确地按事先安排好的工艺流程，自动地实现高精度、高效率加工，可有效地提高生产效率和加工精度；采用新型器件和装置，可代替笨重而复杂的机械或电子装置，如光盘驱动器、条形码读出器、图像传感器和激光印刷机等产品都是利用光学

读出和读入部件代替了电气和机械的部件。

② 以光机电一体化技术为主的新型产品,与原机械产品相比,不仅结构简单,而且功能增强,精度提高。由微处理器控制装置可方便地完成过去靠机械传动链和机构实现的关联运动,使机械结构简化,体积减少,重量减轻,不仅提高了自动化程度,而且能大大提高产品质量。

③ 将光电技术、测试与传感技术、自动控制技术与机械技术的各自优势结合起来,形成综合性的优势,可研制开发出具有多种功能、智能化的以前无法实现的高新技术产品。如有“头脑”的机器、会说话的机器、具有口和耳朵功能的机器等,而静电复印机、彩色印像机等则是由机、电、光、磁、化学等多种学科和技术复合创新的新型产品。

### 1.2.3 光机电一体化组成技术

① 机械技术 是光机电一体化技术的基础。光机电一体化产品的主功能和结构功能,往往是以机械技术为主来实现结构、材料、性能上的变更,从而满足减小质量和体积、提高精度和刚性、改善功能和性能的要求。

② 计算机与信息处理技术 信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策等。计算机是实现信息处理的工具。在光机电一体化系统中,计算机与信息处理部分控制着整个系统的运行,直接影响到系统工作的效率和质量。

③ 检测和传感技术 其研究对象是传感器及其信号检测装置。而传感与检测是系统的感受器官,是将被测量信号变换成系统可以识别的,具有确定对应关系的有用信号。

④ 自动控制技术 其内容广泛,包括高精度定位、自适应、自诊断、校正、补偿、再现、检索等控制。

⑤ 伺服驱动技术 伺服传动是由计算机通过接口与电动、气动、液压等类型的传动装置相连接,用以实现各种运动的技术。伺服驱动技术的主要对象是伺服驱动单元及其驱动装置。

⑥ 光电转换技术 光电转换过程的原理是光子将能量传递给电子使其运动从而形成电流。

⑦ 系统技术 是从全面的角度和系统的目标出发,组织应用各种相关技术将总体分解成相互联系的若干个功能单元,找出可以实现的技术方案。然后再把功能和技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选。

## 1.3 光机电一体化技术的应用

光机电一体化技术的特征是在机电一体化概念的基础上强调了光、光电子、激光和光纤通信等技术的作用,属于 21 世纪应用领域更为广阔的机电一体化技术。光机电一体化技术的运用主要包括在设计中和在加工制造中的运用。光机电一体化技术在设计中的运用也就是光机电一体化设计,它要求设计者不仅要熟悉机械结构、光学系统、传感器、信息处理和控制等方面的知识,而且要熟悉计算机的硬件接口和软件设计方面的知识。

### 1.3.1 在设计中的运用

#### (1) 信息处理技术

信息的获取、传输、存储、处理等技术手段已成为设计活动的重要工具,利用计算机的

高速运算和存储能力,实现对设计过程中所产生的大量数据的实时采集和处理,实现计算结果和计算过程的可视化,对图像信息进行自动处理和自动识别,实现设计的信息化和数字化,实现基于网络的计算机支持的协同工作(CSCW)和信息共享;还可以将计算机作为上位机、可编程控制器作为下位机,使系统具有层次结构,接口合理,便于维护。

通过网络技术实现包括数据、硬件和信息的资源共享,利用仿真技术来评估运行效果,辅助决策。利用包含各种遗传算法、神经网络数据处理方法、专家系统及决策支持系统的智能化软件来优化数据处理,提高运行速度,并可提高决策能力和正确率。人工神经网络是研究了生物神经网络的结果,是对人脑的部分抽象、简化和模拟,反映了人脑学习和思维的一些特点。人工神经网络是一种信息处理系统,它可以完成一些计算机难以完成的领域,模式识别、人工智能、优化等问题;也可以用于各种工程技术,特别适用于过程控制、诊断、监控、生产管理、质量管理等方面。

### (2) 传感检测技术

光电子技术具有精密、准确、快速、高效等特点,利用激光的方向性和单色性可提供各种基准,如长度、频率、时间。又如大型设备的安装、准直,水坝应力监测,机场的夜间导航,矿山的远距离引爆,大型隧道的自动导航钻进等都可利用激光的准直定位装置。

激光测距具有探测距离远、测距精度高、抗干扰性强、体积小、重量轻的特点。激光干涉运用于精密丝杠、机床、零件、数控设备的测量和校验、坐标精密定位、光学平面检测和地震预测;激光测速具有测速准确、非接触测量、空间分辨率高的特点,可测量速度分布和速度梯度;激光准直能够测量平直度、平面度、平行度、垂直度,也可以做三维空间的基准测量。

### (3) 设计步骤

对于光机电一体化系统的设计,需注意其从整体到局部的设计原则,应根据系统功能和设计要求提出系统设计的总任务,并进行系统的总体框图设计;然后,将总体框图分解成一个个独立的框图,可分解为光学系统、机械与执行机构、光电传感、信号采集与处理、驱动与控制、软件设计、计算机及其接口等分框图,然后再进一步设计。

设计制作完成后,先对光学系统、机械结构、计算机及其接口、软件进行单独调试,然后开将它们装配起来进行光、机、电、计算机联调。

## 1.3.2 在制造中的运用

### (1) 激光加工

激光具有高相干性、高单色性、高方向性和高亮度的特点,激光加工方法已广泛应用于汽车、航空、航天、通信、微电子等众多行业。它可以对多种金属、非金属材料进行加工,特别是可以加工高硬度、高脆性及高熔点的材料(如电子工业中常用的陶瓷材料、硅片等)。其工艺范围广、加工速度快、无噪声、无污染,可以满足各类材料的切割、打孔、焊接、表面热处理、表面合金化。在加工过程中无切削力对工件的影响,因此工件的变形很小;同时由于激光能量高度集中以及加热冷却速度快,可通过控制激光的功率密度和脉冲计数,按要求达到确定的去除深度,从而实现高精度的线切割和点钻孔加工。

### (2) 金属表面的激光强化

使用激光进行淬火,可精确控制淬硬层深度,可实行自冷淬火,并易于实现数控。只要光束能照到的部位均可进行处理。在汽车生产中,如钢套、曲轴、活塞环和齿轮等经激光热处理后,不必再进行后处理,可直接送到装配线上安装。激光合金化与熔覆可将一种或多种合金元素与基材表面快速融凝,从而使基材表层具有预定的高合金特性。



### (3) 激光快速成形

快速成形技术综合了计算机、CAD、数控、物理、化学、材料等多学科领域的先进成果,其制造思想是将传统的材料去除和变形成形转变为逐渐增加材料的方法,将三维实体按一定方向平面化,然后分层叠加,最后得出快速原型。可以一次成形复杂的零部件或模具,不需要任何工艺装备,具有速度快、柔性好、集成度高等特点。

快速成形技术的基本工作原理是离散/堆积。首先是将零件物理模型由概念设计或事物模型反求得出相应的 CAD 模型,然后将 CAD 模型转换成为各类光成形机所能接受的数据信息——STL 文件格式,用分层软件将计算机三维实体模型 Z 方向离散,形成一系列具有一定厚度的薄片,激光束在计算机的控制下有选择性固化或黏结某一区域,从而形成零件实体的一个层面。这样逐渐形成一个三维实体。国内外在近十年已经开发出 10 余种激光快速成形技术,其中应用较多的有:立体光造形技术、选择性激光烧结技术、激光熔覆成形技术、激光近形制造技术和薄片叠层制造技术等。

### (4) 激光金属塑性成形

激光金属塑性成形可以无需任何模具和任何机械接触就可以生产出金属板料制品。如激光弯曲成形是利用激光束扫描金属板材时,形成的非均匀温度场所导致的热应力来实现塑性变形的成形方法,与传统的金属成形工艺相比,它具有不需要外力和模具、生产柔性大、加工成本低、成形精度高等特点,特别适合于形状简单的单件小批量工件的弯曲成形,在船舶、汽车、微电子和航空航天等领域具有广阔的应用前景。

而激光冲压成形则是利用高功率密度、短脉冲的强激光冲击作用于覆盖在金属板材表面上的能量转换体,使其汽化电离,形成等离子体而爆炸,产生向金属内部传播的强冲击波。由于冲击波压力远远大于材料的动态屈服强度,激光冲压成形的板料变形时间仅为几十纳秒,从而使材料产生塑性变形。这种高速变形条件可实现高压下薄板的全塑性成形,使塑性差的难成形材料能实现冷塑性成形。

## 1.3.3 汽车电子化的应用

21 世纪的汽车工业已进入成熟期,世界汽车生产能力已大于需求总量的 20%。世界各大汽车公司为进一步争夺世界市场,不断增加开发投资力度,试图从不断提高汽车安全性、减低能耗、改善乘坐舒适性和扩大功能范围方面继续保持汽车工业的生存,从而推动汽车工业向高附加值方向发展。其重要标志是汽车技术向机电一体化迈进,汽车电子化程度不断提高。汽车电子化被认为是汽车技术发展进程中的一次革命,汽车电子化的程度被看做是衡量现代汽车水平的重要标志。

目前,汽车电子技术已经全面覆盖汽车行业。如今的汽车先进的技术都与电子技术挂钩:电喷发动机、电动车窗、电动座椅、电控车身稳定系统、电子显示屏、电控悬架等,如今的汽车都配备了一个电脑——ECU 来调节整个汽车的运行,汽车技术进步主要体现在汽车电子技术的进步。在近几十年随着电子技术的迅猛发展,各行各业都开始提倡机电一体化,如今的汽车上都是动辄数百个电子元件,数以捆计的汽车线路控制着汽车多个部分的协调工作,汽车将由单纯的机械产品向高级的机电一体化产品方向发展,成为所谓的“电子汽车”。图 1-3 给出了汽车电子化的应用内容。

据一项调查显示,电子产品目前在整车成本中所占比例普遍为 23%~30%,在高档豪华轿车上更是占到 50%~60%。有些高档汽车有多达 70 个电子控制单元 (ECU),以及多达 60 个传感器和 6 个以上的安全气囊。

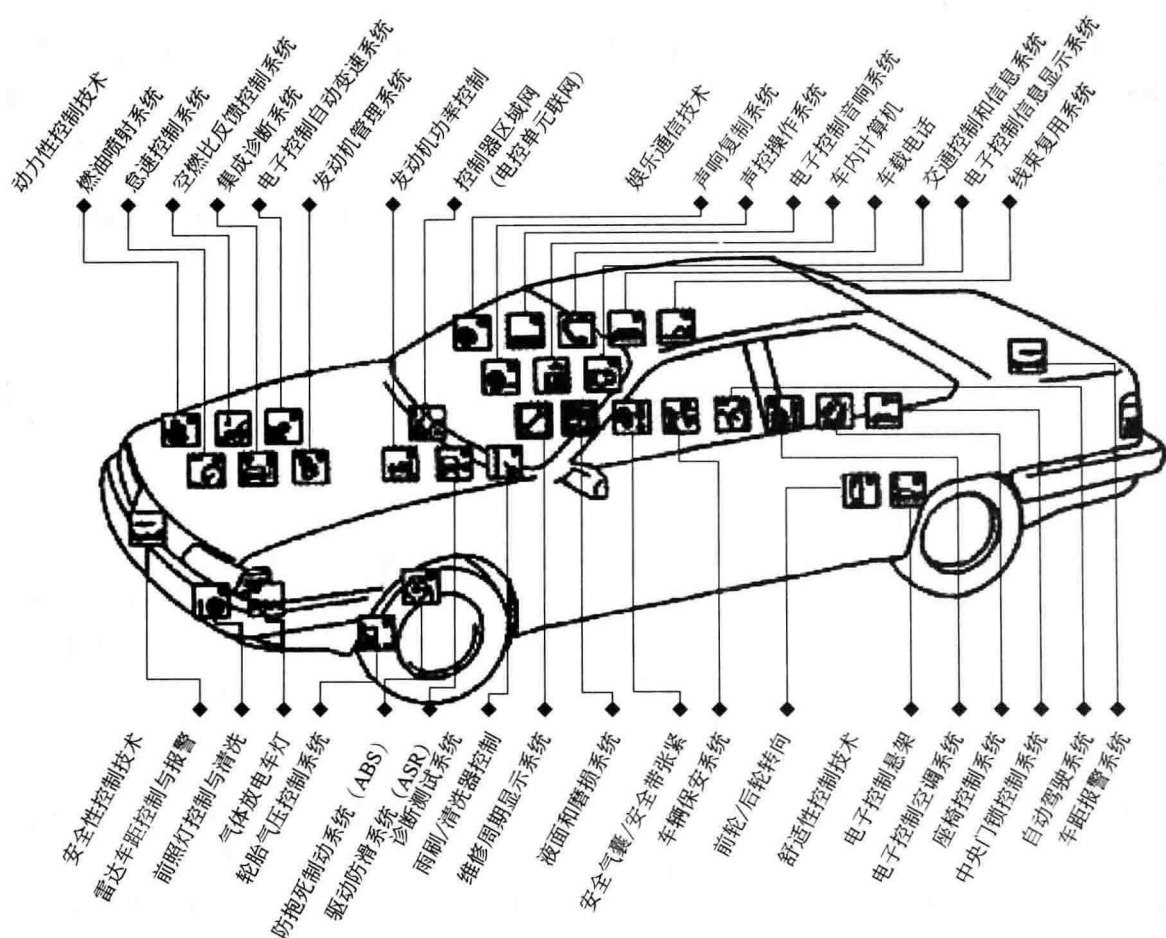


图 13 汽车电子化的应用

### (1) 汽车电子技术的发展阶段

随着汽车工业与电子工业的不断发展，电子技术在现代汽车上应用越来越广泛，汽车上原有的机械控制装置逐渐被光电子控制装置所取代，使汽车的性能、技术水平不断趋于完善。纵观近几十年来汽车技术方面的重大成就，从最初的“自动驾驶仪”的构想到现在的“智能运输系统”的发展研究，几乎无一例外都是依赖现代电子技术的不断完善和进步。从完全机械化到电子化，汽车业的发展已经经历了电子化的演变。汽车电子技术的发展可分为以下四个阶段。

① 从 20 世纪 50 年代初到 1974 年，主要是开发由分立元件和集成电路组成的汽车电子产品，应用电子装置代替传统的机械部件，如集成电路调节器，交流发电机、电子闪光器、电子喇叭、间歇刮水装置、汽车收音机、电子点火器等。其特征为解决电子产品在汽车上应用的技术问题和拓展电子产品在汽车上应用的范围。

② 1974~1982 年，主要是发展专用的独立系统，电子装置被应用在某些机械装置所无法解决的复杂控制功能方面，如电子控制汽油喷射系统、自动门锁、程控驾驶、高速警告系统、自动灯光系统、自动除霜控制、制动防抱死系统、车辆导向、撞车预警传感器、电子正时、电子变速器、闭环排气控制、自动巡航控制、防盗系统、实车故障诊断等电子产品。其特征为以微处理器为控制核心，以实现特定控制内容或功能为基本目的，各种独立的电子控制系统得到了迅速发展。但是，在此阶段机械与电器的连接并不十分理想。

③ 1982~1995 年,微电脑在汽车上的应用日趋可靠和成熟,并向智能化方向发展。主要是开发可完成各种功能的综合系统及各种汽车整体系统的微机控制,如集发动机控制与自动变速器控制为一体的动力传动系统控制,制动防抱死与防滑转控制系统等。开发的产品有胎压控制、数字式油压计、防睡器、牵引力控制、全轮转向控制、直视仪表板、声音合成与识别器、电子负荷调节器、电子道路监视器、蜂窝式电话、可热式挡风玻璃、倒车示警、高速限制器、自动后视镜系统、道路状况指示器、电子冷却控制和寄生功率控制等。其特征为以微型计算机作为控制核心,能够同时完成多种控制功能的计算机集中管理系统为基本模式,初步实现了汽车控制技术从普通电子控制向现代电子控制的过渡。

④ 1995 年以后,主要是研究发展汽车的智能控制技术与网络控制技术,更好地实现控制的实时性、可靠性以及各控制系统之间的资源共享和协调控制。其特征为随着 CAN 总线技术和高速车用微型计算机的应用,电子控制系统初步具备了对高复杂程度使用要求的控制能力,汽车电子化开始步入智能化控制的技术高点。

## (2) 汽车电子化的具体应用

汽车电子化是现代汽车发展的重要标志。从现代汽车上所使用的电子设备的价格比例看,欧美汽车上所用的电子设备的价格已占到整车价格的 15%~20%,而我国生产的汽车,目前所用的电子设备的价格只占到整车价格的 2.5%。从世界汽车电子市场的销售来看,1991 年,每辆汽车平均消耗电子产品的费用只占到整车的 10%,1998 年则接近 15%,而 2003 年已经提高到 20%,某些车型则更高。现代汽车电子技术的应用不仅提高了汽车的动力性、经济性和安全性,改善了汽车行驶的稳定性 and 舒适性,推动了汽车产业的发展,而且还为电子产品开拓了更加广阔的市场,从而推动了电子产业的发展。

目前,汽车电子化速度发展之速,应用之广与日俱增,汽车电子产品的种类和产量不断增加。电子技术的进步无疑奠定了电子装备在汽车上应用的深厚基础。电子技术被充分应用到为减少汽车的公害,节约能源等汽车排放净化与提高燃油经济性等方面。半导体技术,特别是微机的发展为汽车技术带来了根本性变革。电子技术首先应用于汽车发动机排放控制与燃油消耗控制上,接着被应用于底盘系统的控制,以提高汽车行驶性与乘坐舒适性。而且随着交通运输的高密度发展,电子技术进一步被应用于汽车乘坐安全性提高和导航等方面。随着汽车工业与电子工业的不断发展,在现代汽车上,电子技术的应用越来越广泛。今天的汽车已经逐步进入了电脑控制的年代。专家预测未来 3~5 年内汽车上装用的电子装置成本将占汽车整车成本的 25%以上,汽车将由单纯的机械产品向高级的机电一体化产品方向发展,成为所谓的“电子汽车”。

汽车电子技术成就汽车工业的未来,汽车电子控制技术可分为四大类,即动力牵引系统控制,车辆行驶姿态控制,车身(车辆内部)控制和信息传送。图 1-4 给出了汽车电子控制技术的四大类型。

汽车电子化在发动机上的应用体现在如下几个方面。

① 电子控制喷油装置(EFI) 在现代汽车上,机械式或机电混合式燃油喷射系统已趋于淘汰,电控燃油喷射装置因其性能优越而得到了普及。电子喷油装置可以自动地保证发动机始终工作在最佳状态,使其在输出一定功率的条件下最大限度地节油和净化空气。经过实验并修正得到发动机最佳工况时的供油控制规律,事先把这些客观规律编成程序存在微机的存储器中,当发动机工作时,根据各传感器测得的空气流量、排气管中含氧量、进气温度、发动机转速及工作温度等参数,按预先编好的运算程序进行运算,然后和内存中的最佳工况的参数进行比较和判断再调整供油量。这样,就能够使发动机一直处于最优工作条件下运

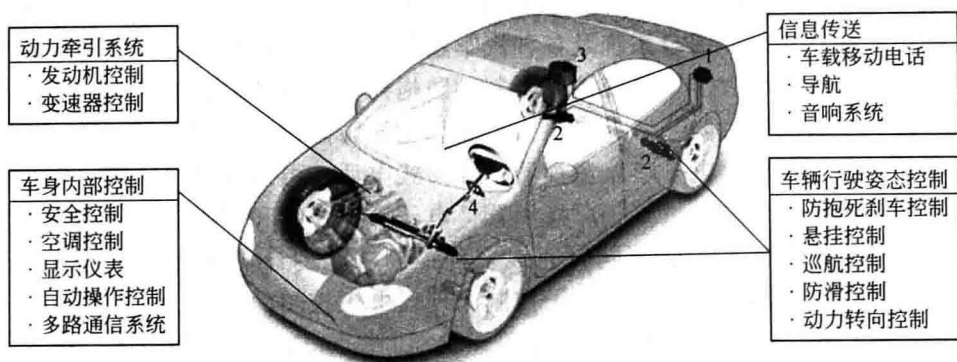


图 1-4 汽车电子控制技术的四大类型

行，从而使发动机的综合性能得到提高。

② 电子点火装置 (ESA) 它由微机、传感器及其接口、执行机构等几部分构成。该装置可根据传感器送来的发动机各种参数进行运算、判断，然后进行点火时刻的调节，这样可以节约燃料，减少空气污染。此外，新型发动机电子控制装置还有自适应控制、智能控制及自诊断操作等。一般认为，发动机电子控制装置的节能效果在 15% 以上，而效果更明显的则是在环境保护方面。除此之外，在发动机部分利用电子技术的内容还有：废气再循环 (EGR)、怠速控制 (ISC)、电动油泵、发电机输出、冷却风扇、发动机排量、节气门正时、二次空气喷射、发动机增压、油气蒸发及系统自我诊断功能等，它们在不同的车型上都或多或少地被应用。

③ 智能可变气门正时技术 (VVT-i) 为了使发动机获得最佳的空燃比，使发动机在不同转速能得到不同的燃油供应，丰田的智能可变气门正时技术相当有代表性。VVT-i 系统由传感器、ECU 和凸轮轴液压控制阀、控制器等部分组成。ECU 储存了最佳气门正时参数值，曲轴位置传感器、进气歧管空气压力传感器、节气门位置传感器、水温传感器和凸轮轴位置传感器等反馈信息汇集到 ECU 并与预定参数值进行对比计算，计算出修正参数并发出指令到控制凸轮轴正时液压控制阀，控制阀根据 ECU 指令控制机油槽阀的位置，也就是改变液压流量，把提前、滞后、保持不变等信号指令选择输送至 VVT-i 控制器的不同油道上。

汽车电子化在底盘上的应用体现在如下几个方面。

① 电控自动变速器 (ECT) ECT 可以根据发动机的载荷、转速、车速、制动器工作状态及驾驶员所控制的各种参数，经过计算机的计算、判断后自动地改变变速杆的位置，从而实现变速器换挡的最佳控制，即可得到最佳挡位和最佳换挡时间。它的优点是加速性能好、灵敏度高、能准确地反映行驶负荷和道路条件等。传动系统的电子控制装置，能自动适应瞬时工况变化，保持发动机以尽可能低的转速工作。电子气动换挡装置是利用电子装置取代机械换挡杆及其与变速机构间的连接，并通过电磁阀及气动伺服阀汽缸来执行。它不仅能明显地简化汽车操纵，而且能实现最佳的行驶动力性和安全性。

② 防抱死制动系统 (ABS) 该系统是一种开发时间最长、推广应用最为迅速的重要的安全性部件。它通过控制防止汽车制动时车轮的抱死来保证车轮与地面达到最佳滑动率 (15%~20%)，从而使汽车在各种路面上制动时，车轮与地面都能达到纵向的峰值附着系数和较大的侧向附着系数，以保证车辆制动时不发生抱死拖滑、失去转向能力等不安全的工况，提高汽车的操纵稳定性和安全性，减小制动距离。驱动防滑系统 (ASR) 也叫做牵引力



控制系统 (TCS 或 TRC), 是 ABS 的完善和补充, 它可以防止启动和加速时的驱动轮打滑, 既有助于提高汽车加速时的牵引性能, 又能改善其操作稳定性。

③ 电子转向助力系统 (EPS) 是用一部直流电机代替传统的液压助力缸, 用蓄电池和电动机提供动力。这种微机控制的转向助力系统和传统的液压助力系统比起来具有部件少、体积小、重量轻的特点, 具有最优化的转向作用力、转向回正特性, 提高了汽车的转向能力和转向响应特性, 增加了汽车低速时的机动性以及调整行驶时的稳定性。

④ 适时调节的自适应悬挂系统 自适应悬挂系统能根据悬挂装置的瞬时负荷, 自动地适时调节悬架弹簧的刚度和减震器的阻尼特性, 以适应当时的负荷, 保持悬挂的既定高度。这样就能够极大地改进车辆行驶的稳定性、操纵性和乘坐的舒适性。

⑤ 定速巡航自动控制系统 (CCS) 在高速长途行驶时, 可采用常速巡航自动控制系统, 恒速行驶装置将根据行车阻力自动调整节气门开度, 驾驶员不必经常踏油门以调整车速。若遇爬坡, 车速有下降趋势, 微机控制系统则自动加大节气门开度; 在下坡时, 又自动减小节气门开度, 以调节发动机功率达到一定的转速。当驾驶员换低速挡或制动时, 这种控制系统则会自动断开。随着世界各大汽车产家对汽车安全问题的高度重视, 安全气囊系统、行驶动力学调节系统 (FDR 或 VDC)、防撞系统、安全带控制、照相控制等方面已大量采用了电子新技术。

未来汽车电子技术会在以下几方面进行突破。

① 传感器技术 由于汽车电子控制系统的多样化, 使其所需要的传感器种类和数量不断增加。为此, 研制新型、高精度、高可靠性和低成本的传感器是十分必要的。未来的智能化集成传感器, 不仅要能提供用于模拟和处理的信号, 而且还能对信号做放大和处理。同时, 它还能自动进行时漂、温漂和非线性的自校正, 具有较强的抵抗外部电磁干扰的能力, 保证传感器信号的质量不受影响, 即使在特别严酷的使用条件下仍能保持较高的精度。它还具有结构紧凑、安装方便的优点, 从而免受机械特性的影响。

② 微处理机技术 微处理机的出现给汽车仪表带来了革命性的变化, 世界汽车工业的微处理机用量激增, 由从前单一的仪器逐步发展为多用途、智能化仪表, 不但可以很精确地把汽车上所有的待测量都检测出来, 分别显示和打印需要的结果, 而且还有运算、判断、预测和引导等功能。如可监视汽车各大部件的工作情况, 还可以对蓄电池电压、轮胎气压、车速等测量的高低限量进行报警。微处理机将更广泛地应用于安全、环保、发动机、传动系、速度控制和故障诊断中。

③ 软件新技术 随着汽车电子技术应用的增加, 对有关控制软件的需求也将会增加, 并可能要求进一步计算机联网。因此, 要求使用多种软件, 并开发出通用的高水平语言, 以满足多种硬件的要求。轿车上多通道传输网络将大大地依赖于软件, 软件总数的增加及其功能的提高, 将能够使计算机能完成越来越复杂的任务。

④ 智能汽车及智能交通系统 (ITS) 汽车智能化相关的技术问题已受到汽车制造商们的高度重视。其主要技术中“自动驾驶仪”的构想必将依赖于电子技术实现。智能交通系统的开发将与电子、卫星定位等多个交叉学科相结合, 它能根据驾驶员提供的目标资料, 向驾驶员提供距离最短而且能绕开车辆密度相对集中处的最佳行驶路线。它装有电子地图, 可以显示出前方道路并采用卫星导航。从全球定位卫星获取沿途天气、车流量、交通事故、交通堵塞等各种情况, 自动筛选出最佳行车路线。未来的某天, 路上行驶的都会是由计算机控制的智能汽车。

⑤ 多通道传输技术 由试验室将逐步进入实用阶段。采用这种技术后, 使各个数据线

成为一个网络，以便分离汽车中心计算机的信息。微处理机可通过网络接收其他单元的信号。传感器和执行机构之间要有一个新式接口，以便与多通道传输系统相联系。

⑥ 数据传输载体方面的电子新技术 汽车电子技术未来将实现整车控制系统。这一系统要求有一个庞大而复杂的信息交换与控制系统，车用计算机的容量要求更大，计算速度则要求更高。由于汽车用计算机控制系统的数量日益增多，采用高速数据传输网络显得更加必要。光导纤维可为此传输网络提供传输介质，以解决电子控制系统防电磁干扰的问题。

⑦ 汽车车载电子网络 随着电控器件在汽车上的应用越来越多，车载电子设备间的数据通信变得越来越重要。以分布式控制系统为基础构造汽车车载电子网络系统是很有必要的。大量数据的快速交换、高可靠性及价廉是对汽车电子网络系统的要求。在该系统中，各从处理机独立运行，控制改善汽车某一方面的性能。同时在其他处理机需要时提供数据服务。主处理机收集整理各从处理机的数据，并生成车况显示。通信控制器保证数据的正常流动。

智能汽车已被视为全球电子产业增长的下一个主要驱动力，其中主动安全、舒适便利、节能成为智能汽车的发展主线。智能汽车有别于传统汽车，二者在技术上最重要的差异就是智能汽车更加注重机电整合，即车身和车载系统更强调电子组件和机械零配件的整合度。

智能汽车的“智能”特点可分为两部分：一是车身和车载系统的电子化，二是汽车发动机电力的电动化。电子设备在智能汽车内将扮演联络全车身信息功能的神经细胞的角色，功能越来越重要。而在智能汽车架构下，汽车的发动机动力不再是汽油驱动，而是油电混合动力向电动车电池驱动方式演进。

主动安全、舒适便利以及节能，是智能汽车技术发展的三大主轴。这三大技术架构功能相互整合渗透，通过车用网络进行连接。智能汽车最为关键的三大电子产品是车用传感器及 MEMS 器件、混合信号多核控制器和电池管理芯片，它们彼此搭配支持三大技术架构下的应用内容，并且都需要经过严格的汽车产业验证测试过程。

智能汽车更为讲究主动安全，特别是在自动防撞设计上，主要包括车体前方/后方/侧边碰撞预警（FCW）及缓解、车道偏离示警（LDW）、倒车影像辨识系统（RVC）、盲点预警、驾驶疲劳警示和自动刹车控制等。激光扫描、影像辨识加上影像传感器成为智能汽车主动安全系统的三大利器。动态影像辨识和雷达测距防撞侦测系统（DTR）是智能汽车主动安全首要的基本配备。车体前后方主动防撞系统的技术核心主要是采用雷达测距防撞侦测，该系统也可以和智能巡航控制或主动巡航控制（ACC）系统结合。通过雷达侦测前方车辆或物体的固定间距自动调整行车速度，当碰撞危机可能发生时通过碰撞预警和缓解系统辅助刹车，使刹车制动器启动发挥作用。

动态影像辨识技术已成为整车全周身影像辨识辅助、自动停车导航、前方碰撞预防和全自动停车等系统的技术核心。在高速动态行车时，该技术可毫无延迟地透过影像辨识分析高速移动车身外部的行人、道路分隔线和其他物体对象物，更可以深入辨识不同对象物之间立体空间的景深差异，辅助并提升驾驶人两眼视差所看到不同对象物的距离感精确度，作为主动安全驾驶警示之用。

自动辅助驾驶和影音导航系统也是智能汽车主动安全性能架构下的重要内容，在这里 SoC 设计的关键在于多核 CPU、2D/3D 图形处理、多媒体编解码、动态影像辨识、高品质播放处理和车用网络互联等。

除此之外，车用 MEMS 对于提升智能汽车的主动安全也起到了非常关键的作用。车身主动安全系统方面的强制性法规将进一步带动车用感测 MEMS 的普及率，尤其是在电子车

身稳定系统 (ESC) 以及胎压监测系统 (TPMS) 部分。与此同时, 使用加速度计来感测倾斜度的电子式驻车系统 (EPB) 也会继续推进。EPB 可在前保险杠内装设加速度计或压力传感器来侦测撞击力道, 以保护行人。

汽车在经历了从感知到控制、从部件到整车、从单项到集成、从单向到互动、从车内到车外之后, 正进入“全面感知、可靠通信、智能驾驶”的新时代。在智能化的道路上, 汽车电子是核心和关键, 具体可以概括为以下几个方面。

① 智能驾驶技术 智能驾驶至少包括以下四个工作系统: 感知系统 (如 GPS 导航终端、雷达测距仪、摄像头等)、控制系统 (如动力控制、车身控制、底盘控制、安全控制等)、通信系统 [如短距离无线专用通信 (DSRC)、车与车通信 (M2M) 等]、软件系统 (如汽车操作系统、电子地图、各种嵌入式软件等)。

② 智能控制系统 自动驾驶技术的背后, 实际上是电控自动变速器 (ESA)、制动防抱死系统 (ABS)、电控汽油喷射 (EFI)、怠速控制 (ISC)、车辆横向稳定性控制系统 (VSC) 等智能控制系统的高效协同工作起作用。当前汽车电子机电一体化、集成化、网络化和智能化是目前汽车智能控制系统行业的竞争焦点, 机电一体化和集成化进展很快, 如发送机管理系统和自动变速器控制系统已经集成为综合控制的动力传动系统。

③ 人车互动入口 其竞争主要集中在以下三个方面: 一是人与车内的直接互动入口 (驾驶者与车之间的信息互通), 如语音识别、手势识别、视觉识别等; 二是人与车内的间接互动入口 (驾驶者通过第三方, 如智能移动终端, 与汽车的信息互通), 如使用智能手机、平板电脑、智能手表来控制汽车的技术; 三是人与车外的互动入口 (驾驶者与路、网和信息中心的信息互通), 如汽车与外部网络互通的各种 M2M 技术。

④ 汽车操作系统 汽车作为继手机、平板之后下一步移动智能终端, 已成为 IT 巨头们超前布局和竞争的战略核心, 而汽车操作系统是新一轮竞争的焦点, 汽车操作系统不但完全具有如同手机操作系统一样的信息处理和网络连接功能, 而且还可以直接控制汽车。2013 年 6 月, 苹果与法拉利、奔驰、英菲尼迪、捷豹等 12 家汽车厂商共同宣布了“iOsintheCar”计划。2014 年 1 月, 谷歌联合通用、奥迪、本田、现代等汽车厂商以及英伟达等芯片制造商在国际消费类电子产品展览会 CES 宣布成立“开放汽车联盟” (Open Automotive Alliance, OAA), 目标是“将 Android 最好的功能以安全的方式无缝整合到汽车中”, 吹响了汽车操作系统竞争的号角。

⑤ 汽车核心芯片 与移动智能终端相比, 汽车用的芯片种类更多, 几乎囊括了全部的半导体器件, 包括微器件 (如控制部件的 MCU 和处理数据的 MPU)、存储器件 (如存储数据的 EEPROM)、逻辑器件 (如管理电源的 ASSP)、功率器件 (如控制混合动力的 IGBT)、光电器件 (如车用照明的 LED) 和传感器 (如测量胎压的 MEMS 器件) 等, 同时由于汽车的使用环境相对恶劣, 对芯片能够承受的温度、湿度、振动、压力等要求更高。

### 1.3.4 汽车电子行业的未来

现代汽车电子化、智能化、多媒体化和网络化的应用, 不仅提高了汽车的动力性、经济性、安全性和环保性, 改善了行驶的稳定性和舒适性, 推动了汽车工业的发展, 还为电子产品开拓了广阔的市场, 从而推动了电子工业的发展。

#### (1) 信息化使现代汽车成为一个移动的信息中心

过去汽车的行驶是靠汽油, 未来则是靠信息。没有信息, 汽车就不能安全和高效率地运行。信息时代的到来使得人们对信息的依赖越来越大。现代汽车已成为一个移动的信息中

心，在汽车里如同在办公室或家中一样，能通过电话、传真、电子邮件、数字广播、电视传输等与外界保持联系，对提高人们的效率、生产率来说都是十分重要的。图 1-5 给出了汽车上的各种电子产品。

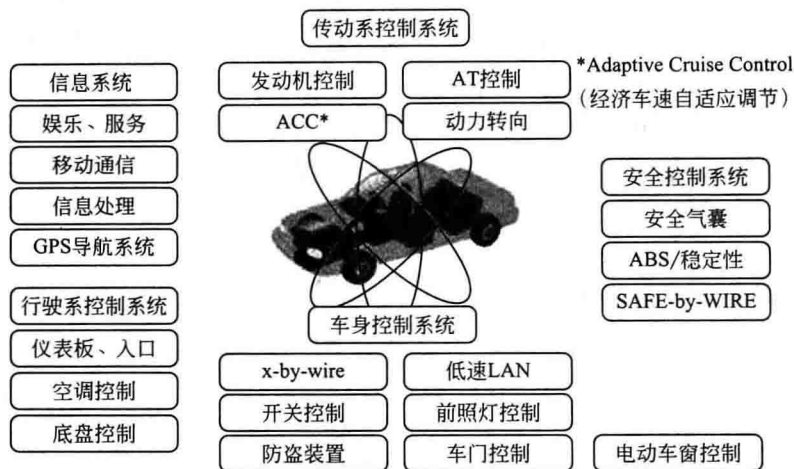


图 15 汽车上的各种电子产品

现代汽车信息化技术包括 GPS（全球定位导航系统）和互联网应用，GPS 技术利用卫星与用户之间的相对位置，通过数据处理确定用户的位置，可以监察和引导汽车运行，但服务项目有限。而利用现在的互联网技术，就能够拓展出许多项目的服务。移植手机无线上网的最新技术，配置大容量存储及读写功能的车载电脑，就能够逐步实现汽车应用互联网。通过互联网，车主不但可以直接进入厂商设置的网站查询自己汽车的资料，一旦汽车有故障发生，也可以通过车载电脑将信息资料发向维修中心，维修中心下载信息资料可以了解到故障的位置和原因，维修工程师可以通过互联网远程操纵汽车自检系统或指导车主处理。汽车应用互联网技术，车主可以随时了解到瞬间变化的股市行情，可以随时发送与接收电子信件或传真件，使车主在驾驶途中如同在办公室一样。

## （2）网络化使汽车成为办公、通信、娱乐的场所

将传统的汽车技术与现代信息技术高度结合的产品就是网络汽车，其显著的特征是将汽车和网络高度整合。这样不仅可以大大减轻驾驶员的操作负担，而且还可以使驾驶员与外界始终保持紧密的联系。网络汽车不仅仅是一种交通工具，而且能成为办公、通信、娱乐的场所。它综合现有的硬件与软件技术，包括卫星全球定位（GPS）、无线通信、网络访问、语音识别、平面显示、夜视技术、人工神经网络等技术。主要的新功能有远程诊断与车辆控制功能、移动办公功能、汽车网址功能、道路导航功能等。以这些功能可知，网络汽车的系统实际上由两部分组成：一部分是车辆本身的内部网络系统，它由车载网络计算机控制。通过数据总线连接无数个子网，控制发动机及其他总成、平面显示与仪表盘显示器、中控门锁、无线电话等，各子网都具有不同的时钟速度和各自的功能；另一部分是车辆外部的联系网络系统，包括 GPS 监测中心、互联网及区域网服务商、车辆服务中心、单位或家庭电脑等。

汽车的网络化可以利用 GPS 接收机与 DVD-ROM 机结合，根据 GPS 控制中心的指示，汽车能知道自己在地图上的所在位置和行驶方向，并知道到达目的地的最佳路线。有汽车前后摄影系统，它将开车盲角的位置通过中控台平面显示器显示出来，在夜间可利用红外线镜头将车前一切静止及移动的物体所散发的热量转化成影像，在夜间行车时能远距离探测到路



面上的障碍物。有宽频网络无线连接系统,利用 GPRS 系统或者 CDMA 系统,使汽车宽频网络无线连接能够实现,届时每位车主和乘客都可设立自己的网络地址,随时在车上上网游览或收发语音电子邮件,举行远程办公会议,下载汽车维修资料等,甚至可以遥控居所的家用电器。

### (3) 智能化使人、车、路密切配合,达到和谐统一

汽车智能化是大趋势,类似于手机从“功能机”到“智能机”的过程。随着计算机的广泛应用,汽车无需人驾驶就能自动行驶的日子已经到来。智能汽车的关键技术是计算机代替了人的一切操作,因为它附带有道路识别系统、信号接收系统、自动制动系统和自动变速系统等。所有的系统由多个计算机控制并相互联机协调。当人们给予启动信号后,汽车将被启动并向目的地行驶。

随着消费者对于汽车安全、便利、娱乐等方面提出更高需求,以及汽车电子技术的发展,预计未来单车电子产品的用量将持续增加;逐渐从功能型汽车电子(传统动力总成控制、车身控制系统、汽车安全控制系统等)转向信息服务交互型汽车电子(智能导航、车载娱乐、信息处理、移动通信服务等)。

汽车电子行业的未来就是绿色性环保性、安全性和连通通信。

① 环保性 全球汽车行业最主要的发展趋势就是倾向于发展高效燃料、低碳排放量的发动机。

② 安全性 汽车电子发展的第二大趋势是安全性。市场对于能够保证驾驶更加安全的技术和产品有着庞大的需求。

③ 连通通信 汽车电子发展的第三大趋势是汽车的通信连通性。汽车社会将步入车联网时代,车联网实际是把互联网和以车为主体的物联网结合在一起的新网络。“车联网”时代的智能汽车具有以下特点:第一,车与车之间能够保持相对固定的距离,可以实现零碰撞;第二,车与车之间的组队是随机进行的,根据车主的目的地,通过 GPS 定位和车辆之间的自动沟通,车与车之间可以临时组队或离队,提高交通效率。

# 第 2 章

## 办公自动化产品实例

### 2.1 激光打印机

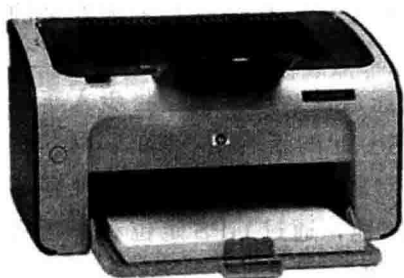


图 2-1 激光打印机

激光打印机是一种高度自动化的光机电一体化输出设备。主要由激光扫描系统和以墨粉与感光鼓为主的墨粉盒以及电路部分组成。与点阵式打印机和普通喷墨打印机相比，激光打印机在打印质量和打印速度方面具有极大优势，因此日益成为主要的打印设备。目前，激光打印机普遍采用了以 USB、EPP/ECP 为代表的新型接口。这些新型接口不但具有较高的数据传输率，而且可实现双向数据传输。图 2-1 为激光打印机外形图。

#### 2.1.1 工作原理

激光打印机是将激光扫描技术和电子照相技术相结合的印字输出设备。其基本工作原理见图 2-2。

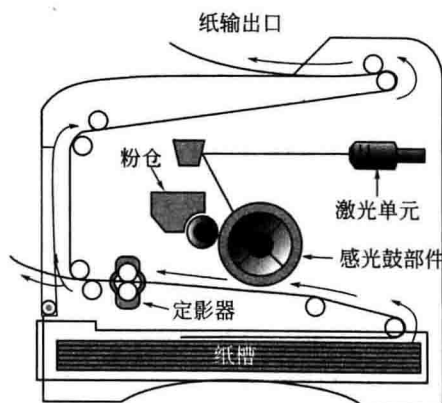
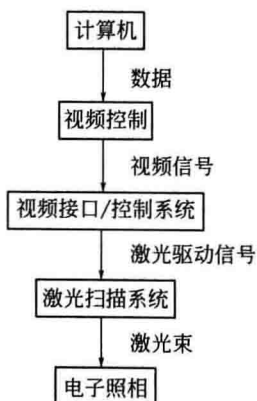


图 2-2 激光打印机基本工作原理

二进制数据信息来自计算机，由视频控制转换为视频信号，再由视频接口/控制系统把视频信号转换为激光驱动信号，然后由激光扫描系统产生载有字符信息的激光束，最后由电子照相系统使激光束成像并转印到纸上输出。

激光打印机的印字过程包含以下六个步骤。

① 带电 在感光鼓（体）表面的上方设有一个充电的电晕电极，其中有一根屏蔽的钨丝，当转动感光鼓（体）的机械部件开始动作时，用高压电源对电晕电极加数千伏的高压，这样就会开始电晕放电。电晕电极放电时，钨丝周围的空气应会被电离，变成能导电的导体，使感光鼓表面带上正（负）电荷。电晕放电，就是在导体上加一定程度的电压，导体周围的空气（或其他气体）就会被电离，变成离子化。一般认为空气是非导电体，电离后就变成了导体。

② 曝光 随着带正（负）电荷的感光鼓（体）表面的转动，遇有激光源照射时，鼓表面曝光部分变为良导体，正（负）电荷流向地（电荷消失）。文字或图像以外的地方，即未曝光的鼓表面，仍保留有电荷，这样就产生了不可见的文字或图像的静电潜像。

③ 显影（显像） 显影也称显像，随着鼓表面的转动，接着对静电潜像进行显像操作。显像就是用载体和着色剂（单成分或双成分墨粉）对潜像着色。载体带负（正）电荷，着色剂（墨粉）带正（负）电荷，这样着色剂就会裹附在载体周围，由于静电感应作用，着色剂就会被吸附在放电的鼓表面立即生成潜像的地方，使潜色着像变为可视图像。

④ 转印 被显像的鼓表面的转动通过转印电晕电极时，显像后的图像即可转印在普通纸上。因为转印电晕电极使记录纸带有负（正）电荷，鼓（体）表面着色的图像带有正（负）电荷，这样显像后的图像就能自动地转印在纸面上。

⑤ 定影（固定） 图像从鼓面上转印在普通纸上之后，进一步通过定影器进行定影。定影器（或称固定器）有两种，一种是采用加热固定，即烘干器；另一种是利用压力固定，即压力辊。带有转印图像的记录纸，通过烘干器加热，或通过压力辊加压后使图像固定，使着色剂融化渗入纸纤维中，最后形成可永久保存的记录结果。

⑥ 清除残像 转印过程中着色剂从鼓面上转印到纸面上时，鼓面上多少总会残留一些着色剂。为清除这些残留的着色剂，记录纸下面装有放电灯泡，其作用是消除鼓面上的电荷。经过放电灯泡照射后，可使残留的着色剂浮在鼓面上，进一步通过清扫时，这些残留的着色剂就会被刷掉。

印字过程经过上述六个步骤后，感光鼓面就进入下一个印字周期。

## 2.1.2 基本结构

激光打印机的基本结构由激光器、声光调制器、高频驱动器、扫描器、同步器及光偏转器等部件组成，当计算机向打印机发送数据，打印机发送给打印机的处理器，处理器将这些数据组织成可以驱动打印电机电动作的类似数据表的信号组，对于激光打印机而言，这个信号组就是驱动激光头工作的一组脉冲信号。这些数据信号控制着激光的发射，扫描在硒鼓（也称感光鼓）表面的光线不断变化，有的地方受到照射，电阻变小，电荷消失，也有的地方没有光线射到，仍保留有电荷最终，硒鼓表面就形

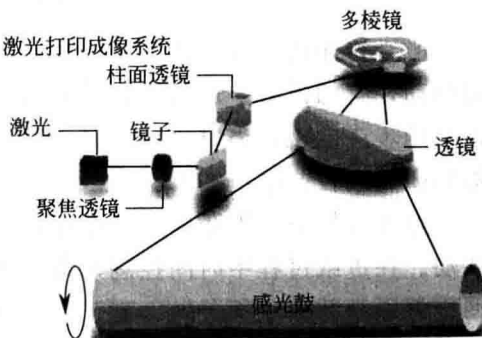


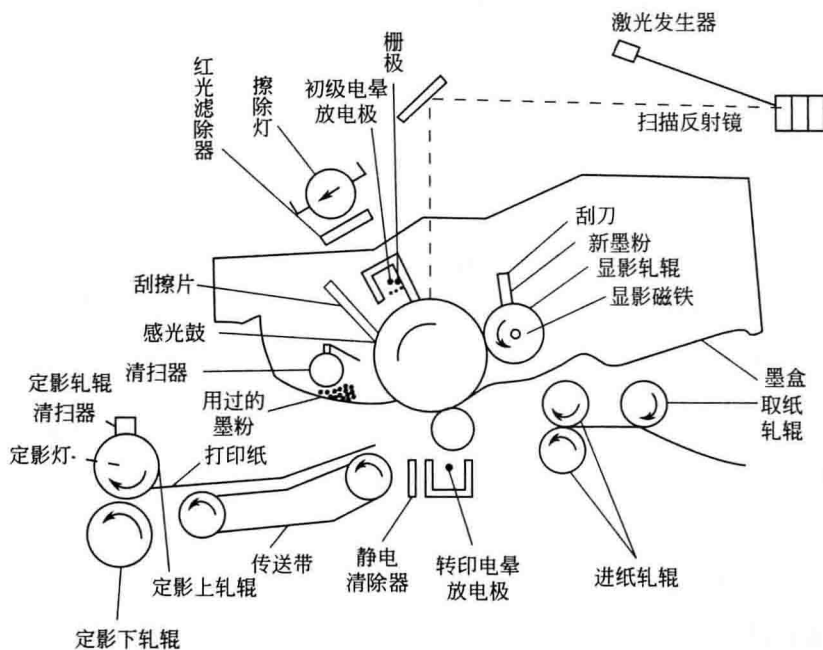
图 2-3 激光打印成像系统

成了由电荷组成的潜影。图 2-3 所示为激光打印成像系统。

墨粉表面带有电荷，其电荷与硒鼓表面的电荷极性相反，当带有电荷的硒鼓表面经过涂墨辊时，有电荷的部位就吸附了墨粉颗粒，潜影就变成了真正的影像。硒鼓转动的同时，另一组传动系统将打印纸送进来，经过一组电极，打印纸带上了与硒鼓表面极性相同但强得多的电荷，随后纸张经过带有墨粉的硒鼓，硒鼓表面的墨粉被吸引到打印纸上，图像就在纸张表面形成了。此时，墨粉和打印机仅仅是靠电荷的引力结合在一起，在打印纸被送出打印机之前，经过高温加热，塑料质的墨粉被熔化，在冷却过程中固着在纸张表面，形成清晰的字符被输出。

### (1) 机械结构

激光打印机的内部结构如图 2-4 所示，激光打印机的重要部件如墨粉盒、感光鼓、显影辊、显影磁铁、初级电晕放电极、清扫器等，都装置在墨粉盒内。当盒内墨粉用完后，可以将整个墨粉盒卸下更换。其中感光鼓是一个关键部件，一般用铝合金制成一个圆筒，鼓面上涂敷一层感光材料（如硒-碲-砷合金），例如 Canon 的激光打印机使用的是 OPC（有机光导）材料 CTL（Carrier Transport Lager）和 CGL（Carrier Generation Lager）。CGL 产生负电荷载流子，曝光后 CTL 传输负的载流子到表面，利用这个特性产生电子图像。



**图 2-4** 激光打印机内部结构示意图

激光打印机的纸张传送机构和复印机相似。纸由一系列轧辊送进机器内，轧辊有的有动力驱动，有的没有。通常，有动力驱动的轧辊都是通过一系列的齿轮与电机连在一起。主电机采用步进电机，当电机转动时，通过齿轮离合器使某些轧辊独立地启动或停止。齿轮离合器的闭合由控制电机的 CPU 控制。

打印开始时，纸张的前缘送往进纸轧辊。送纸时，离合器接通，使上下两个进纸轧辊都转动。在进纸过程中时间控制非常重要，纸的前边线必须在正确的时刻到达感光鼓下面，以便鼓将影像的第一部分转印到正常位置上。其余的进纸系统使纸张对直向前移动。检测开关包括缺纸报告开关和出纸报告开关，纸用完后，及时报告 CPU。纸集存得过多过少，都会



报告系统。纸送到出纸段时，出纸开关也会动作。这些由敏感元件构成的检测开关，将信号报告 CPU，随着纸张的移动 CPU 采取相应控制措施。CPU 中程序允许在一定的时间内，纸张通过一定距离。若纸张移动到某一部位时间过长，CPU 则认为是纸被卡住了，立即报告出错信息。

## （2）墨粉盒的主要零部件

① 感光鼓 是有机光导材料的简称，最早的感光鼓由硒蒸镀制得，所以仍称感光鼓为硒鼓。硒的特点是光导电特性，即在光照射下产生载流子，从而具有导电性，在暗状态下又成为绝缘体。

感光鼓的损害主要来自机械磨损和化学疲劳两方面，机械磨损是因为刮板和充电辊的机械接触导致，而化学疲劳主要由光的损害和打印机内环境的臭氧氧化引起。感光鼓是字符/图像信息的载体，所以是核心零件之一，其性能的好坏直接影响印字效果，其典型的缺陷有点缺陷、底灰、幻影等。

点缺陷指在进纸方向出现的规律性的黑点。主要起因是鼓面的机械损伤，如磕碰等；底灰是指在打印纸上出现的大面积的细小墨粉粒，主要由化学疲劳引起充电特性发生变化以及机械磨损到一定阶段后导致；幻影是指等间距的重影。

② 显影磁辊 位于供粉仓内，磁辊的中心是固定的永磁铁。磁铁的外面是转动的铝套。磁铁的上下左右有四个磁极 N1、N2、S1、S2，它们有不同的磁强度，分别起到搬运墨粉（N2 极、S2 极）、堆集墨粉（N1 极）及显影（S1 极）等作用。辊套上也加有直流高压及交流电压。

从显影轧辊上把墨粉转移到感光鼓上去是通过接触显影和投射显影技术实现的。接触显影是直接把墨粉“涂”到感光鼓上，为保证墨粉只粘到潜像上，而不落到非潜像区而出现不该有的背景，降低打印质量，应使感光鼓和显影磁辊外套上的墨粉层不直接接触，而离开一个间隙。这样，就可防止污染，但由于间隙的存在，必须要有更强的电场，以驱使墨粉粒子跨过这个间隙。加大感光鼓与显影磁辊套之间的直流偏压值就可以使墨粉粒子跨过这个间隙，并将墨粉粒子搬动更大的距离，而到达鼓面上。

为防止高直流电压产生电场边缘效应而降低图像清晰度，采用直流和交流叠加的办法，在显影磁辊上是将 -560V 直流电压和 1600V 交流电压组合，直流电压作为交流电压的一个负偏压。墨粉离子由于与辊套表面的摩擦，又与其他墨粉粒子的摩擦带上负电荷。在交流负半周瞬间，墨粉粒子在显影极 S1 处受排斥力，从辊套上被推向感光鼓。交流变为正半周时刻，带负电荷的墨粉粒子又被吸回辊套。若此处感光鼓上没有潜像，墨粉粒子就如此往返跳动。反之，如鼓上有潜像，潜像区对墨粉粒子有足够的引力，墨粉不再返回辊套上，即构成投影显影过程。磁辊起搬运墨粉的作用，其表面的导电涂层，直接影响打印的质量，其磨损主要是机械磨损导致上粉能力降低以及对墨粉的电性能影响。

③ 充电辊（PCR） 充电辊给感光鼓以初始的电荷，其结构有两种，一是电晕丝，二是胶辊。电晕丝用于较早期的机型等，其缺点是易产生臭氧。现在的大多机型都用胶辊，采用胶辊后，首先降低了供电电压和供电装置的重量及成本；其次，降低了臭氧产生量。胶辊的缺点是表面易集灰从而影响充电特性和透湿性，使打印出现幻影等缺陷，特别是在低湿度和低温下更明显。

充电辊由三层组成，裹着金属轴的一层是导电泡沫橡胶层，导电橡胶外面是电阻层，最外面是保护层。金属轴是钢制的，导电橡胶层既提供了充电回路，又提供了充电辊对感光鼓表面的压力。电阻层的作用是限制从充电辊到感光鼓的充电电流。工作时，在充电辊和感光

鼓之间施加了直流高压和交流高压，两者相互叠加。在交流的峰值时刻，充电辊就把电荷转移到感光鼓上，形成一条带状充电区。带状充电区在感光鼓上分布的疏密取决于交流的频率。印字速度越高，交流电压所需的频率也越高。充电时，直流穿过充电辊表面是均匀分布的，但是当遇到感光鼓涂层上出现一个针眼小孔的情况下，就可能导致一个大的直流电流，如同从整个充电辊上流出的短路电流，便感光鼓上相应的这一条充电区失去电荷，在纸上表现为一条水平黑线。充电辊所用电阻层起到了限制这个大电流的作用，而避免黑线故障。充电辊的最外层是保护层，防止对感光鼓的化学损害，同时可以限制进入导电橡胶层的水分。在再生墨粉盒中，充电辊是重要零件之一，其可能导致的缺陷是底灰、幻影等。

④ 刮擦片 与感光鼓表面相接触，目的是擦去鼓上的残留墨粉，有缺口或翘曲的刮擦片会漏过墨粉。刮不净的鼓面会在打印纸上产生不希望有的黑色垂直条纹。刮片前缘如因老化发生了缺损或翘曲，就不能再用，必须换上新的。

⑤ 涂布片 用来保证墨粉均匀地涂布于磁辊的表面并使墨粉摩擦带电，如果出现明显的弯曲则必须更换，因为压力的降低可能导致墨粉大量分布于磁辊表面，当超过磁辊套时，就会出现垂直方向宽达 8mm 的黑道。

⑥ 辅助刮板 作用是将刮擦片刮下来的墨粉收入废粉仓的作用，如果出现翘曲使它和感光鼓的贴合出现间隙就会出现撒粉，表现在纸张上就是沿进纸方向产生许多无规律的黑点。

⑦ 墨粉 是打印的介质，根据其组成可分为双组粉和单组粉。双组粉用在鼓粉分离型感光鼓中，鼓粉一体鼓大多用单组粉。单组粉由色调剂、磁性物质（氧化铁等）、塑料组分和填料组成。所有这些组分都是微细颗粒，它们互相包络，形成粉的颜色及磁电性能。墨粉性能不仅关系到打印的品质，而且对印字机的相关装置及工作环境都有影响。那种认为打印效果越黑越好的观点这是一种误解，实际上越黑的粉色剂磁性物质可能会越多，从而引起附着降低，打印分辨率降低，以及鼓面及加热膜磨损加剧。

PCR 充电回路如图 2-5 所示。

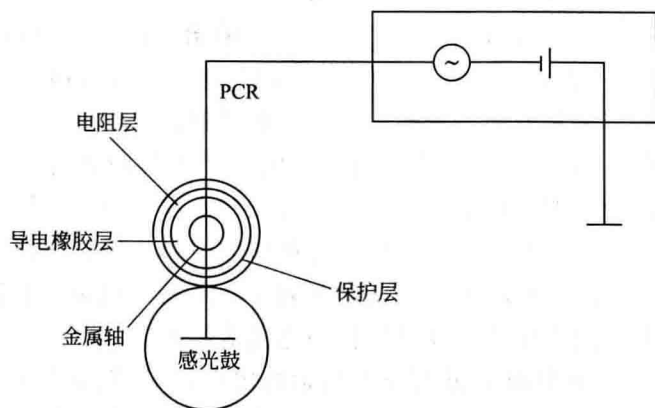


图 2-5 PCR 充电回路

### （3）墨粉盒再生技术

对于鼓粉一体化的墨粉盒来说，整个墨粉盒是消耗材料。一个墨粉盒的价格大约是整机的 1/10。在较频繁打印的工作条件下，3~5 个月的耗费就可能达到一台整机的价值。目前激光打印机虽然大幅度降价，但消耗费用仍然是一笔不小的开支。因之，墨粉盒再生技术是激光印字机推广使用中的一个重要课题。

实际上,要将墨粉盒的零部件设计成具有相同工作寿命是不可能的,也就是说旧墨粉盒上的许多零部件还可继续工作。但那种只是简单地打开粉盒,加进墨粉的做法可能导致许多问题,甚至有损于打印机本身。正确做法应按照图 2-6 所示的再生程序来进行旧墨粉盒的再生处理过程。

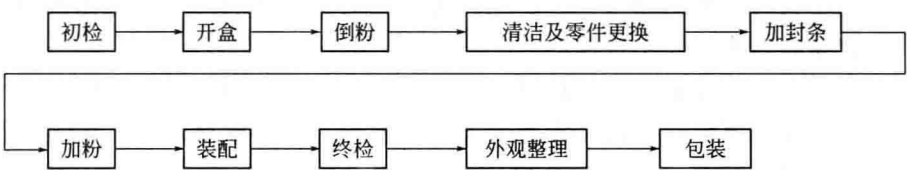


图 2 6 墨粉盒的再生处理过程

(4) 激光扫描系统

激光打印机的激光扫描系统如图 2-7 所示。它的核心部件是激光写入部件和多面转镜。高中速激光打印机的光源都采用气体 (He-Ne) 激光器,用声光调制器对激光进行调制。为拓宽调制频带,由激光器发生的激光束,需经聚焦透镜进行聚焦后再射入声光调制器。根据印字信息对激光束的光强度进行调制,为使印字光束在感光体表面形成所需的光点直径,还需经扩展透镜进行放大。

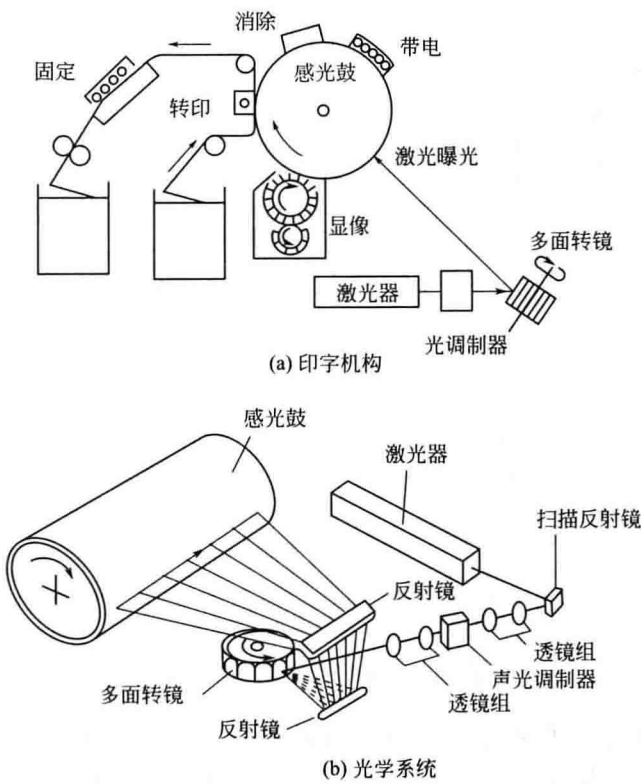


图 2 7 激光打印机的激光扫描系统

为使光束在感光体上进行全程扫描,需对光束进行偏转,为此需采用光偏转器,一般都使用多面转镜。由于多面转镜的每个转镜之间存在有误差,误差会降低光点间距的精度,为了消除这种误差,需采用柱面透镜和环形透镜进行校正。经过多面转镜偏转后的光束,必须经过一种称为 F 透镜的扫描透镜,其目的是使经过多面转镜的光点束在感光鼓上进行不等

速（不等间距）扫描的光点变为焦距等间距的光点。

采用半导体激光器（LD）的打印机，可以对 LD 直接进行调制，无需用声光调制器，其余部分基本相同。

多面转镜是一种用正多角柱的侧面作镜面，并由电机驱动高速转动的多面镜，也是一个由多面镜和电机组装为一体的组合体。多面转镜的性能直接影响到像素的排列精度，故对多面转镜和电机转速的精度要求是很高的。

多面转镜发生在主扫描方向偏转角度的变动，主要是由多面转镜的分割精度、镜面精度和电机转动无效行程等原因引起的。在偏转方向垂直面上的角度变动，是由多面镜的拐角和电机上安装多面镜用法兰盘的间隙造成的。在镜面开始扫描时，采取扫描位置与时钟信号同步的方法进行补偿，可以适当降低对多面转镜的分割角度的精度要求。

#### （5）电路

① 控制电路 激光打印机的控制电路框图如图 2-8 所示。它是一个完整的被扩展的微型计算机系统。计算机系统主要包括：CPU、ROM、RAM、定时控制、I/O 控制、并行接口、串行接口等。该计算机系统通过并行接口或串行接口接收主机输入信号；通过字盘接口控制/接收字盘车的信息；通过面板接口控制/接收操作面板信息；另外，还控制直流控制电路，再由直流控制电路控制定影控制、离合控制、各个驱动电机、扫描电机、激光发生器以及各组高压电源等。

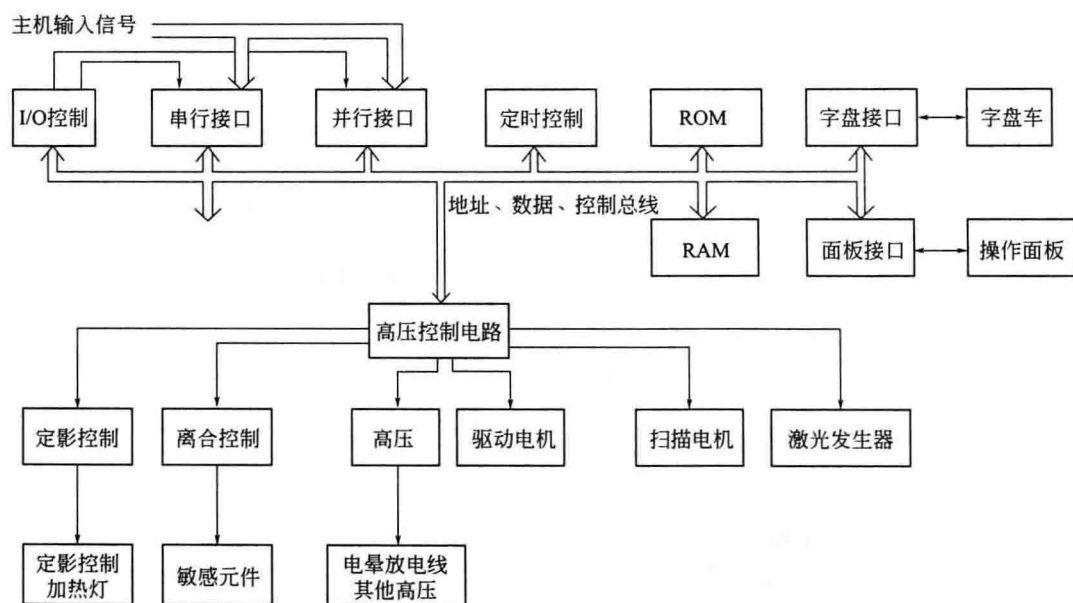


图 2-8 激光打印机控制电路框图

② 电源系统 激光打印机内有多组不同电源。一般有三组：+5V、-5V 和 +24V。+5V 为所有逻辑集成电路芯片供电，同时还供给打印机中各个检测电路。-5V 也供给一些逻辑集成电路芯片。+24V 用于冷却风扇、扫描电机、擦除灯以及一些离合器的开关，同时还是高压供电系统的电源。打印机打印期间，需要有特殊高压，-6000V 用于初级电晕电极，-600V 用于电晕栅极，还有一组交流电压用于显影辊。各组高压都接在墨粉盒里，由于墨粉盒是可更换件，所以高压不能接在电晕极、显影辊和其他部件上，而是接在一些连接器上，通过各个连接器与墨粉盒接通。各组电源因机型不同而不同。

## （6）开关及安全装置

激光打印机设置有许多开关，控制电路利用这些开关检测并显示打印机各个部件的工作状态。许多开关还带有安全器件，以防伤害操作人员或损坏打印机。各个开关及其功能列举如下。

- ① 纸盒插入开关 用以报告 CPU，纸盒已经插入。
- ② 纸盒型号开关 该开关共有 3 个，共同显示插入的纸盒类型。
- ③ 缺纸开关 用以报告纸盒中纸太少或已用完。
- ④ 墨粉盒插入开关 用以向 CPU 报告墨粉盒插入。
- ⑤ 感光鼓感光度开关 该开关共 3 个，共同显示感光鼓的感光灵敏度。
- ⑥ 墨粉数量过少开关 当墨粉快用完时，产生报告信号。
- ⑦ 送纸开关 纸张进入印字起点时，向 CPU 报告，若未及时到位，CPU 会认为纸被卡住。
- ⑧ 盖板连动安全开关 当印字机的盖板打开时，自动断开+24V 和高压供电线路，以防触电。
- ⑨ 防过热开关 用以当定影辊温度超过 90℃时，自动报警关机。

## 2.1.3 主要接口类型

### （1）USB 接口

USB（Universal Serial Bus，即通用串行总线）是一种可以简化 PC 与外设之间互连的标准化连接器，它支持各种 PC 与外设之间的连接，还可实现数字多媒体集成。USB 接口的主要特点是：即插即用，可热插拔，具有自动配置能力，用户只要简单地将外设连到 PC 上，PC 就能自动识别和配置 USB 设备。而且带宽更大，增加外设时无需在 PC 内添加接口卡，多个 USB 集线器可相互传送数据，使 PC 可以用全新的方式控制外设。现在满足 USB 要求的外设有：打印输出设备、调制解调器、键盘、鼠标、光驱、游戏手柄、扫描仪、音箱等。目前推出的激光、喷墨打印机一般都设置有 USB 接口。

### （2）EPP/ECP 接口

标准并行接口 SPP（Standard Parallel Port）是专为打印输出而设计的，广泛应用于打印输出设备中。它是一种单向并口，数据只能由计算机输出，而不能进行数据输入。这种接口的实现简单，但传输速度较低，无法满足高速印字输出设备的要求。因此近年来，高速印字输出设备中普遍采用了新型并行接口 EPP 或 ECP。

① 增强型并行接口 EPP EPP 协议最初目的是在满足向下兼容现有并行接口的基础上寻求一种高性能的并行接口。它仍采用与 SPP 相同的 36 芯插座，但它支持主机和外设之间的双向数据交换，其传输速度可以达到 1~2Mbps。

② 扩展性能并行接口 ECP ECP 是适用于打印机和扫描仪的一种高性能的双向并口，具有 16 个字节的 FIFO，并且支持 DMA 功能。在不降低系统性能的前提下减轻了计算机 CPU 的负担，提高了应用系统的整体性能。更为重要的是，ECP 把其他几种并口模式都纳入 ECP 模式的定义中，可以把并口的操作模式设置为 SPP、EPP 或 ECP 从而构成了一个完整的并口系统。ECP 还允许在进行数据传输时进行实时数据压缩，采用这种方式进行数据传输可进一步提高传输速度。



## 2.2 光标阅读器

光标阅读器 OMR (Optical Mark Reader) 是一种光机电一体化高速数据录入设备, 它能将识别到的信息卡上的涂写信息, 快速准确地输入计算机中, 具有高速、高效和准确的特点, 见图 2-9。它诞生于 20 世纪 60 年代, 是一种面向标准化信息处理的专用设备, 主要应用于标准化考试及其他可将信息标准化处理的领域, 如各类的测评、调查、报名、选举等。由于阅卷机在标准化考试阅卷中具有客观、公正和效率的优势, 因而自诞生之日起就广受欢迎, 并迅速在世界范围内得到推广应用。我国于 20 世纪 80 年代从西方引进当时号称先进的阅卷机, 并用于高考及学校的各类标准化考试。



图 2-9 光标阅读器

光标阅读器使用的信息卡是一种专门设计的特殊卡片, 上面标注着应涂写的位置, 这些位置叫做信息位。信息卡上可以使用的信息位数量, 与信息卡的尺寸大小有关。一张 16 开大小的信息卡, 包括 4500 个左右的信息位。每个信息位可表示两种状态: 信息位被涂黑是一种状态, 未被涂黑又是一种状态。这些状态所表示的含意, 在信息卡设计时已做了定义。当阅读器检测出信息位状态后, 就识别了此信息位所表示的内容。

光标阅读器作为数据输入的一种手段, 首先要根据输入的特点设计专门的信息卡。选择要使用的信息位, 并印上明显的标注 (涂写位置)。必要时, 还需在旁边加上说明。信息位可以组合使用, 表示十进制码、BCD 码或汉字代码。

光标阅读器的信息卡涂写方便, 所表示的内容丰富, 阅读器识别准确, 速度高。而阅读器本身结构简单, 操作方便, 价格便宜, 因此在某些场合, 这是一种十分理想的输入设备。

### 2.2.1 工作原理

光标阅读器基本原理是当发光器件发出的光照在信息卡的位置上, 如果信息位被涂黑则部分光被吸收, 反射光变弱, 否则反射光变强, 由对应的接收管将强弱不同的光信号转换成电信号, 再经过 A/D 转换、数字滤波、模式识别后完成对信息卡中的字符的识别, 最后将信息卡中的内容通过串口送入计算机。

光标阅读器可识别人们在信息卡上限定位置的涂写状态, 用有和无两种状态来确定该位置是被涂写还是未被涂写。它利用光电传感器高速采集信息卡上的涂写信号有无, 根据光电变换原理, 把光信号转换为电信号, 由处理器对信号进行判断处理和识别。

## 2.2.2 光标阅读器的组成

光标阅读器涉及光学原理、光电转换、计算机技术、数据处理和识别、精密机械等方面，其结构主要由机械传动、光电传感器、微处理器、控制面板以及处理、控制、识别软件等部分所组成。结构如图 2-10 所示。图 2-11 为环绕分拣式全自动型光标阅读器结构示意图。

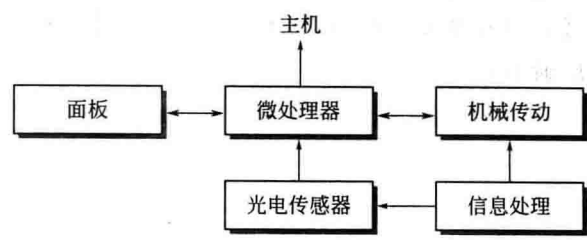


图 2-10 光标阅读器的结构

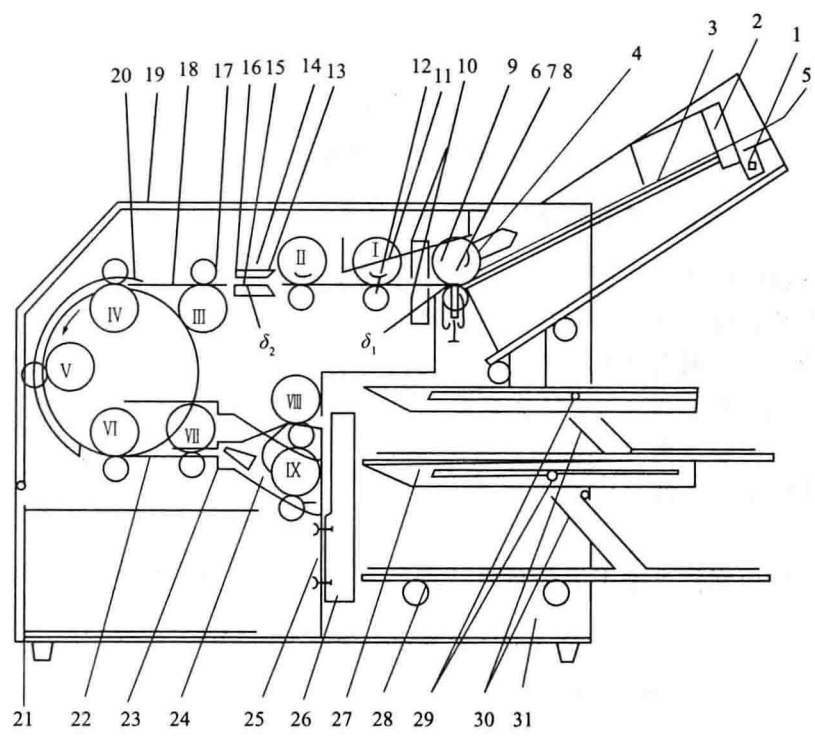


图 2-11 环绕分拣式全自动型光标阅读器结构示意图

- 1—转矩轴；2—挡纸板；3—托纸板总成；4—测纸探头；5—信息卡；6—摩头；7—锁紧螺钉；8、17—调整螺钉；  
9—搓纸轮；10—重张探头；11—走纸轮；12—压轮；13—探头；14、16—固定螺钉；15—面板；18—走纸板；  
19—上盖；20—曲板；21、25—侧板；22—导板；23—翻板；24—桃形导板；26—出纸挡板；27—上接纸斗；  
28—下接纸斗；29—旋钮；30—出纸挡块；31—主板

### (1) 光电传感器

光电传感器由发光管（LED）和光敏管（PT）组成。发光管是光源，常用半导体红外管，它的体积与晶体灯相似。当加上电压时，就从一端的窗口发出光线。光敏管是接收红外光的器件，外形与发光管类似，当加上电压并有光照射到窗口时，电路中电流就发生变化，电流大小随照射光射的强弱而变化。

从发光管发出的光线形成光束照射在信息卡上，产生反射、透射、漫射等各种光线，光敏管放于不同位置上可接收到信息卡上的反射光或透射光。如图 2-12 所示，当发光管光线照射到信息卡上涂黑符号时，透过光线减弱，反射光也减弱，光敏管接受到的光强度减弱，导致光敏管电流变小，输出信号电压变小。反之，光束照射到信息卡上没涂黑的符号

时，光敏管接收到的透射光和反射光强，产生信号电压大。这样就把信息卡上是否有涂黑符号变成了电信号传送给处理器去处理，就完成了对涂黑符号的识别。由于透射方式因信息卡纸张内有杂质及厚薄不均匀而造成透射光不一致性，因此目前一般不采用，绝大部分均采用反射方式。

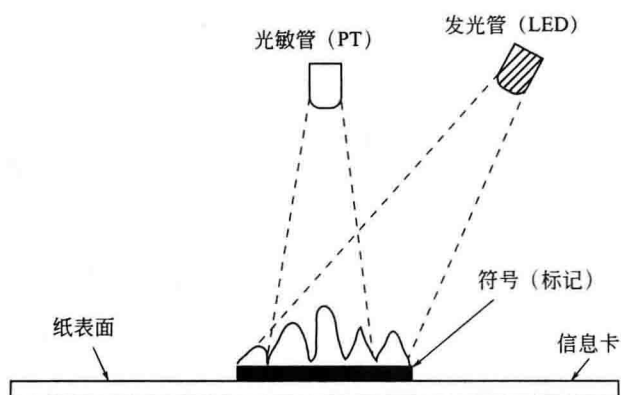


图 2 12 光电传感器原理（反射式）

光电探头分成单面和双面探头两种。双面型探头要求信息卡双面印刷，同时读取双面信息，它对信息卡纸张要求严格，而且要有两套处理器同时处理。一个或两个发光管和一个光敏管组合起来构成一个识别单元，可完成对信息卡的识别把若干个单元排列成一行就组成一个光电传感器（也称光电探头）。每个光电探头需要多少个单元组成，由信息卡列数决定。列与列之间距离我国暂定为 5.00mm。信息卡尺寸分别为 64K、32K、16K、10K 几种。由此即可决定探头的单元总数。

## （2）信息卡

光电探头每次识别信息卡上一行信息，图 2-13 所示的信息卡格式有如下符号。

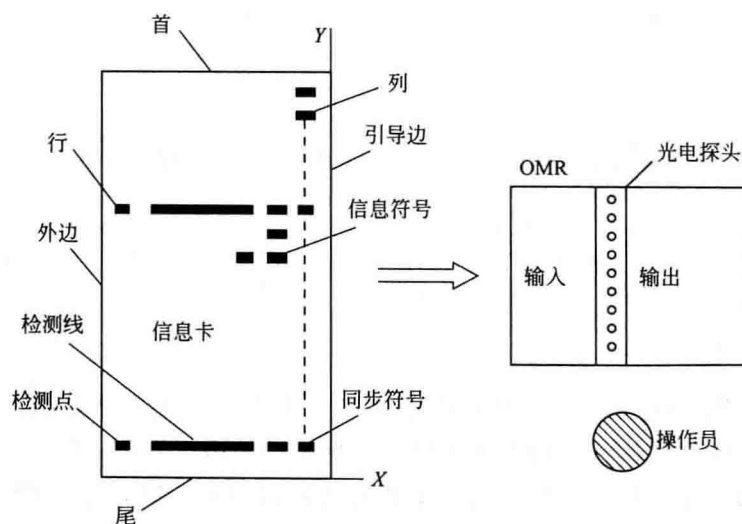


图 2 13 信息卡识别

① 同步符号 设置在信息卡的两边或单边，为等宽、等间隔的黑色线条，信息卡在对应光电单元下通过时，光电探头单元检测出同步符号，同时通知处理器，处理器使用光电探头的其他单元采集与同步符号同一行的所有信息，当整个信息卡全部通过探头后，处理器就

采集到信息卡上所有符号，处理后，就会确定卡上涂黑符号所在位置。同步符号编号和探头的列号组成一个阵列，阵列的大小为同步符号数与探头单元数乘积。例如，32K 信息卡同步符号为 51 个，探头光电单元为 23 列，则阵列数为  $23(X) \times 51(Y)$ 。

② 检测点和检测线 是印刷在信息卡上的正规符号。其作用是当直纸歪斜时，探头光电单元就对不准对应行上的信息符号，发生符号识别错误。为此，当一张信息卡完全通过探头时，要判断检测点、线识别是否正确，如发生错误，整个信息卡读取失败，发出错误信号。

③ 符号大小 同步符号长宽和间隔均有规定，信息符号的大小和黑度也有要求，如果差别过大，超出探头识别的允许范围，检测出信号参差太大，易出现错误。使用 OMR 完成数据输入，首先要根据要求设计出各种各样信息卡，信息卡的 X 方向信息符号数及间隔大小要与光电探头的单元数和间隔大小一致，Y 方向同步符号数量没有明确规定，信息位含义要事先定义，例如，国家考试管理中心对信息卡内符号位置和尺寸做了规定，如图 2-14 所示。

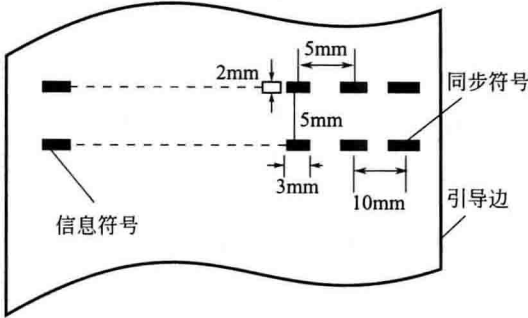


图 2-14 信息卡内符号位置和尺寸

阵列的每个交点称为信息位，为保证信息位识别的准确性，对信息位涂点（符号）大小和黑度均有具体要求，不能随意涂写。考试管理中心规定，符号为矩形框，涂满涂黑，使用 2B 铅笔和其他笔涂写。信息卡经过多人涂写和修改，修改擦除不干净的，造成表面脏黑，加之纸张本身有杂质又不光滑，因而很难做到像印刷的那样一致。为此除采用许多技术措施来解决这些问题外，还要使灵敏度能根据涂写情况进行调整和设置。

信息卡在印刷时也可能产生偏差。一般两次印刷会造成套印偏差，同步符号与信息符号不在同一行上，裁切也易发生偏差，使同一行的信息符号经过光电探头时，远离同步符号的信息符号就对不准探头光电单元，检测不到信息符号。因此对印刷裁切误差也做了规定，印刷误差为  $\pm 0.1\text{mm}$ ，裁切误差为  $\pm 0.5\text{mm}$ 。

### (3) 机械传动

机械传动部分的功能是把一叠信息卡，每次自动分拣出一张，由传动系统平稳、平直、迅速地使信息卡顺利通过光电探头，然后整齐地放置在托纸盘上。平板式一般只有一个输出托纸盘，它输出信息卡的顺序与输入信息卡顺序相反，当错卡通过探头被检测出时，自动停止运送，发出信号报警，由人把错卡取出，再重新启动；环绕式输出卡顺序与输入卡顺序相同，信息卡要环绕  $180^\circ$ ，设置上下两个输出托纸盘，当发现错卡时，传动系统不停止运送，自动分拣错卡装入另一托纸盘。

机械传动部分包括直流微电机、变速装置、分纸装置、导纸驱动部分、环绕部分和托纸盘等。直流电机通过变速装置驱动分纸装置和导纸轮将信息卡送入光电探头下，直流微电机可以是直流电机、伺服电机或步进电机，要求电机启动和停止延迟时间小，转速均匀，并且速度可以控制。

分纸装置把信息卡一张张分开送给导纸轮，要求尽量减少或不发生双张和空转搓不动纸的情况，双张会漏阅信息卡，空转使阅卡实际速度大大降低，发生上述两种情况是与分纸轮、托纸盒和纸三者间摩擦力有关，也与纸的厚度、硬度、光洁度、黏度等因素有关，要求信息卡一般在  $80\text{g/mm}^2$  以上。

导纸轮是把分纸装置送采的信息卡继续向前搓动，必须保证信息卡走直、走正，要使卡

的引导边紧靠导纸板。这样才能保证信息卡通过光电探头时，进行正确识别。安装时要保证光电探头与导纸板位置之间达到一定精度，同时要使信息卡通过光电探头时尽可能不出现卡纸现象。环绕机构要保证每张卡高速反转，做到信息卡走正、不卡纸，输出分拣正确可靠，输出托纸盘要保证输出卡排列整齐有序。

对机械传动部分的要求是：无双张、无卡纸、无空输，卡移动位置正确、可靠、平稳，出纸顺畅、传动噪声小，并能长期连续工作，传送带和搓纸轮橡胶圈更换少。

卡在移动时，由于摩擦会产生纸尘，这就要求光电探头要密封，否则粘上纸尘会严重影响识别准确度。

#### (4) 信息处理部分

信息处理部分由中央处理器（CPU）、存储器、数模转换（A/D）或模数转换（D/A）装置、驱动电机和接口组成。

① 中央处理器（CPU） 一般采用微处理器。也可采用单片机如 Intel 8051、8098 和 8096 等，要根据处理速度、存储器容量、外部接口能力选择。

② 存储器 包括 RAM、PROM 和电擦除 ROM。RAM 中存放缓冲数据，EPROM 存放控制、识别程序，ROM 存放探头光电管参数表，自学时可进行修改。

③ 数模转换 A/D 或模数转换 D/A 装置 把光电探头检测到的模拟信号转换成数字信号。

④ 驱动电机 驱动电机转动，改变转动速度并能迅速启动和制动电机。

⑤ 接口 与主机连接可采用 RS-232C 串行口、IEEE488 接口，并行口 DMA 接口，还可直接输出打印机。

信息处理部分的主要功能如下：

① 对信息卡进行识别 首先是读卡，通过 D/A 或 A/D 在信息卡移动时，一行行读取它上面的全部信息位，将其处理后存放于 RAM 中，然后进行识别，按卡格式要求从 RAM 中提取有用信息，对其进行比较、判断等分析处理，选择所需信息，以字符串形式送到主机系统中去。

② 系统自检 脱机走纸，进行同步符号检测，改变电机速度。

③ 接收主机命令进行处理并给出响应 微处理器是 OMR 的核心部分，由它控制 OMR 协调各部分动作并执行识别、处理等功能。

#### (5) 面板

操作面板分为前面板和后面板，前面板有字码显示和按键。显示 OMR 工作状态和读卡计数值。按键用来设置 OMR 工作方式、工作状态并进行自检。后面板设置电源插座、开关、指示灯、接口插座等。

## 2.2.3 主要技术指标和特点

光标阅读器的研制涉及光学、机械和计算机等方面的技术问题，其突出问题是要解决好识别涂点的准确度问题。因此要从信息采集，A/D 变换到数字滤波，计算机处理等多个环节进行一系列控制。另外要解决好各种干扰因素对系统的影响问题。

光标阅读器的主要技术指标有两个，即读卡准确度和读步速度。准确度是关键，失去准确度其他指标再好也没有意义。速度是光标阅读器的优势，采用光标阅读器的原因就是利用它快速读入数据的特点。但在设计时宁可损失一点速度，而赢得高的准确度。准确度利用误码率来测试。首先读入大量涂有标准涂点的信息卡，记录漏读信息位的个数，还要读入大量未涂点的信息卡，记录冒点的个数。这样对信息位的两个状态都进行了检测，从而得出读



码率的指标。现在光标阅读器的误码率小于百万分之一。

目前,光标阅读器的读卡速度大约每秒可读入一张以上的信息卡(识别 4500 个信息位),在大量处理信息卡时,如高考阅卷,每小时可阅读 3000 张答卷。

从识别方式区分,光电阅读器分为两种,即光学字符阅读器 OCR (Optical Character Reader) 和光标阅读器 OMR (Optical Mark Reader)。

OCR 可识别印刷体英文字母、数字及各种符号。识别印刷体汉字的 OCR 虽有产品供应,但识别准确度还有一定限制。当然 OCR 使用十分方便,而且应用范围广,但结构复杂、价格昂贵。

OMR 用于识别标记 (Mark),这种标记是涂在纸卡的确切位置上,且形状受到限制,仅识别该位置上有无标记两种状态。有标记位置填涂,无标记位置不填涂。这种光标阅读器结构简单,价格便宜,有利于广泛使用推广。它具有如下优点:

① 提高速度、降低成本 OMR 只需几分钟就可完成一个键盘操作员一天的工作量,因此减少了人力,降低了成本。

② 提高准确性 OMR 输入的数据文件为源文件,不是转录和副本,且具有对输入文件的检查能力,能发现错误文件并进行联机改错,大大减少出错机会。

③ 提高灵活性 精心设计的信息卡能给用户多功能有效的数据输入方式。

## 2.2.4 应用

计算机处理数据往往是从高速收集原始数据开始。由于计算机处理速度、效率、可靠性飞速提高,急需找出一个能与之相适应的数据收集和输入系统,即解决数据进入计算机的“瓶颈”问题。据估计,常规的数据输入工作占去数据处理总费用的 40%~50%。由于数据输入量越来越大,矛盾就更加尖锐。例如在我国所实行的大规模普通高校招生考试中,要求 10 天内评阅出几十万张标准化试卷,若采用人海战术,人工评阅,耗时耗力,而且考分要经过人工多次抄录和键盘输入,才能进入计算机中去处理,这样很难保证进度和准确性,且不能排除人为的干扰因素,因此,应运而生的光标阅读器是一种能适应标准化评卷的数据录入设备。

OMR 具有广阔的应用前景,正向各个领域扩展。OMR 在以下领域有明显应用前景。

### (1) 用于高考和中学会考

OMR 的应用始于标准化考试。我国普通高校招生采取全国统一命题、统一答案、统一评分的方式,规模之大是世界罕见的。全国每年考生约 280 万,每年考试结束后 10 天内,阅卷量达 2000 多万份,都要由机器完成。从 1991 年起,中学会考也在全国推开,中学会考的人数是高考人数的 6 倍。这两大考试的阅卷工作均由计算机完成,不但提高了阅卷的准确度及效率,而且极大地节省了阅卷经费。

OMR 已在全国高考中普遍应用,它的效益、高速、准确度已得到社会的一致公认,并产生了明显的社会效益和经济效益,使科学技术迅速转化为生产力。目前,OMR 正向大、中学校推广,在中学会考、自学成才考试、成人高考、电大考试中将大量采用。所以人们通称 OMR 为阅卷机,但 OMR 的应用远不如此。

### (2) 在选举中处理选票

选举选票处理是一项严肃认真的工作。各级党政部门组织召开党代会、人代会、工会等换届选举,迫切需要现代化的选票处理手段。阅读器能快速识别选票并用计算机统计处理,为会议的高效率、快节奏提供了可能。OMR 已在国内广泛使用,并逐步推广。

### (3) 在卫生防疫中使用

医疗卫生是以预防为主的管理体系，建立健康档案库是进行宏观控制的前提。然而困难的问题是大量体检数据的输入和动态维护。OMR 为各种数据输入提供了简便可行的手段。另外，进行全国、全省范围内特殊疾病的检查与控制，其基础工作是病情的调查及数据输入工作，对残疾人调查、老龄调查、儿童体质调查等都需要使用 OMR，解决大量数据输入计算机的任务。在我国卫生部卫生防疫司的麻风病疫情调查监测系统中已使用了 OMR。

#### (4) 用于学籍管理系统及教学评估系统

国内许多省、市招生办都已建立了高考学生计算机管理系统。采用 OMR 读入考生信息卡、报考志愿卡，加上考生高考成绩，利用计算机辅助录取系统进行考生录取工作。不仅效率高，而且可防止“走后门”等违规现象的发生。高校学生学籍管理及教学评估，使用 OMR 解决了大量数据录入难的问题，促进了高校计算机管理工作的深入发展。

## 2.3 光盘驱动器

光盘驱动器是一个典型的光机电一体化产品。在光学和电子结合方面，激光光源来自于一个激光二极管，它可以产生波长约为  $0.54\sim 0.68\mu\text{m}$  的光束，经过处理后光束更集中且能精确控制，光束首先打在光盘上，再由光盘反射回来，经过光检测器捕获信号。光盘上有两种状态，即凹点和空白，它们的反射信号相反，很容易经过光检测器识别。检测器所得到的信息只是光盘上凹凸点的排列方式，驱动器中有专门的部件把它转换并进行校验，然后人们才能得到实际数据。光盘在光驱中高速转动，激光头在伺服电机的控制下前后移动读取数据。



图 2-15 CD-ROM 驱动器

光盘驱动器按照所用光盘不同分为 CD-ROM 驱动器、CDRW-ROM 驱动器、DVD-ROM 驱动器。图 2-15 所示是 CD-ROM 驱动器。CD-ROM 作为计算机系统的外存，主要用于读取存储于光盘上的文字、图片、声音、动画和电视图像等数据。CD-ROM 若配上相应的硬件和软件（MPEG 解压卡或解压软件）也可播放 CD 和 VCD 光盘。

### 2.3.1 原理与结构

光驱的内部结构从理论上讲，无论是以前的 CD 光驱、DVD 光驱还是如今主流的 DVD 刻录机，大致都是相同的。光盘驱动器系统是由激光源、光学系统、电气控制系统和机械部件等组合而成。图 2-16 为 CD-ROM 光盘驱动器数据读出系统原理图，图中给出了组成系统的主要部分。

① 光盘读出部分（光学头），即图 2-16 中虚线框内部分，由激光器与相连的其他光学系统组成。光学头的主要功能就是把激光器发出的光束以  $1\mu\text{m}$  直径的极小光点聚焦在光盘上，并根据光盘上反射回来的光读出存储的信息。光学头中的聚焦物镜是关键元件，其功能是把从激光器发出，并经准直以后的激光束聚焦在光盘的记录层上，把从盘面反射回来的光束变成平行光，送到检测器进行读出。入射到光盘的光束是与光盘轴垂直的，因此，物镜的聚焦调节是沿着这个轴向运动。一般的光学头多数采用动圈式致动器在盘面垂直的方向上驱动物镜运动。物镜安装在类似扬声器的音圈上，音圈外包有永久磁铁，从光探测器得到的聚

焦误差信号经放大滤波后输入到由驱动电路、音频线圈和磁铁组成的致动装置，线圈电流的变化使磁场变化，由此而产生的磁场力迫使线圈运动，直至准确聚焦。

光学头的功能是通过光学系统实现的，在图 2-17 中可以看到，半导体激光器 1 发出的光束经透镜 2、3 整形准直后，变成圆平行光，到达偏振光分束器 4 变成只有一个振动方向的线偏振光，此线偏振光通过 1/4 波片光栅 5 后变成圆偏振光，经反射镜 6、聚焦透镜 7，

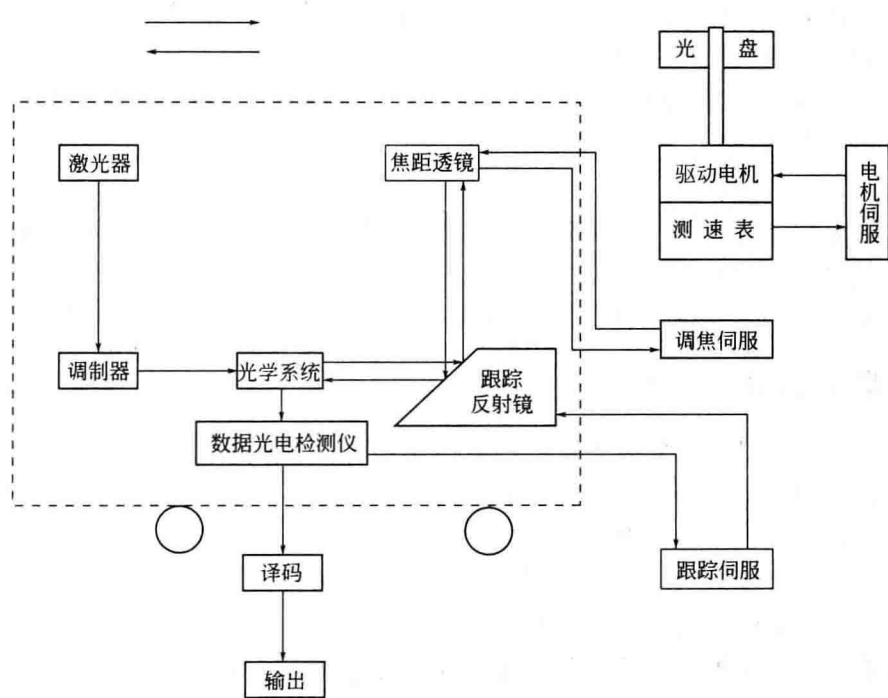


图 2 16 光盘数据读出系统原理图

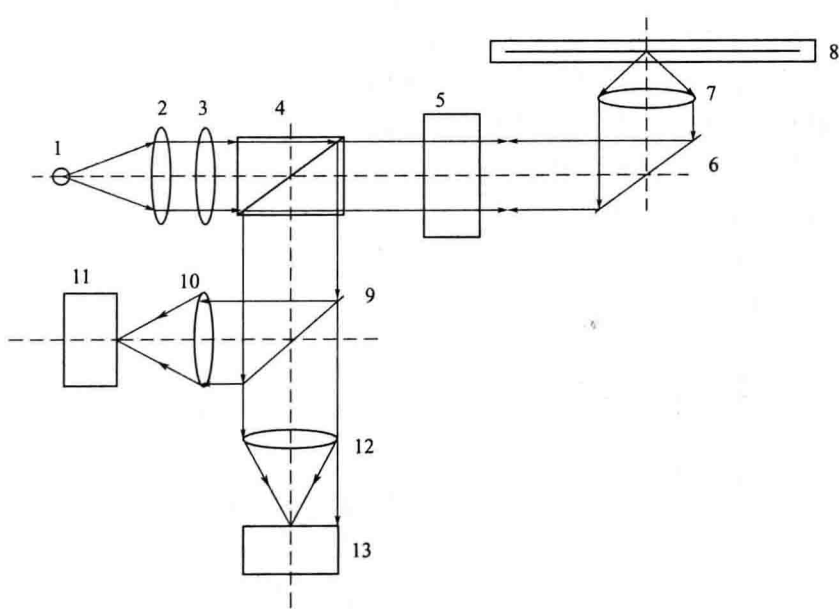


图 2 17 光盘数据读出系统的光路图

1—光源（半导体激光器）；2，3，10，12—透镜；4—偏振光分束器；5—1/4 波片光栅；6—反射镜；7—聚焦物镜；8—光盘；9—分束镜；11—读出光电探测器；13—聚焦、跟踪误差探测器

聚焦成圆形光斑后落在光盘 8 的信号层上。从信号层反射回来的光束仍是圆偏振光，再次通过  $1/4$  波片光栅 5 后，又变回线偏振光，但偏振方向旋转了  $90^\circ$ ，因此出射光与反射光虽然共用光路也不会互相干涉。反射光束到达偏振光分束器 4 却不能进入激光器而只能到达分束镜 9，一部分经透镜 10 会聚于读出光电探测器 11，得到读出信号；另一部分经透镜 12 会聚于聚焦、跟踪误差探测器 13，得到聚焦、跟踪误差信号。

② 检测和校正光点与数据道之间的定位误差的光电系统。通过光检测器产生聚焦伺服与跟踪伺服信号，根据这些信号在与光盘垂直的方向上移动聚焦透镜，在光盘的半径方向上移动聚焦透镜或使跟踪反射镜偏转，即可相应地实现聚焦控制和跟踪控制，把激光聚焦于光盘的记录层上，使光点中心与信道中心吻合。

③ 光盘。

④ 光盘转动与控制机构。由直流电动机带动光盘旋转，由测速表测定转速并通过旋转编码器产生伺服信号控制光盘的转速。

⑤ 电子线路。包括控制所有运动机构的伺服电路、信号处理电路、误差检验与校正电路。

## 2.3.2 光盘数据读出原理

CD-ROM 光盘上记录信息的光道是一条由里向外连续的螺旋形路径，在这条路径上，每个记录单元占据的长度是相等的，数据读出速度为常数，2048 个字节称为一块，通常限制块在 27 万个以下。读取 CD-ROM 数据的主要参数如下：激光束相对于光道的扫描速度为  $1.2 \sim 1.4 \text{ m/s}$ ；光道间距为  $1.6 \mu\text{m}$ ；扫描方向为逆时针方向。

CD-ROM 光盘是单面只读光盘，利用凹坑来存储信息。激光经过一系列光学透镜后，聚焦为  $1 \mu\text{m}$  的焦点，此焦点刚好落在光盘的镀铝反射膜上。激光束不是从小凹坑的一面读取信息，而是从小凹坑的背面读取信息（见图 2-18）。这样原来存储信息的一个小凹坑，从背面看就成了一个小凸起。激光束投射到光盘上的没有凸起的地方，反射面为一平面，垂直照射光盘的激光束产生全反射，反射光又按原光路返回物镜，经  $1/4$  波片和光束分离器，把反射光和从激光器发来的入射光分离开，如前所述， $1/4$  波片可避免反射光返回激光发射器。当激光束照射在有小凸起的地方时，由于光的衍射作用，使部分反射光不能按原光路返回，而且光程相差  $1/2$  波长，导致互相干涉，因此反射回物镜的光减弱了，只相当于没有凹坑时的  $1/10$ （见图 2-19），从光束分离器分出的反射光也相应减弱。用光电探测器检测这些反射光，并将光束入射至光盘无凹坑处上为 0，而入射至有凹坑处为 1 位，经过读出信号处理电路的处理，即可将读出的信号送至光盘存储系统的输出部件去再现所记录信息。

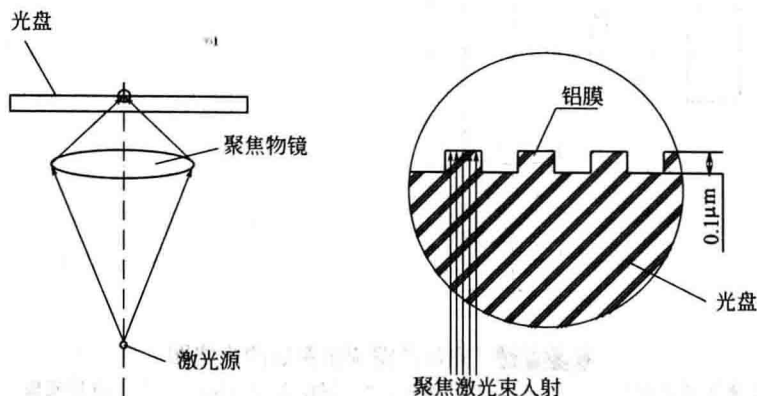


图 2 18 激光源和光盘数据读出示意图

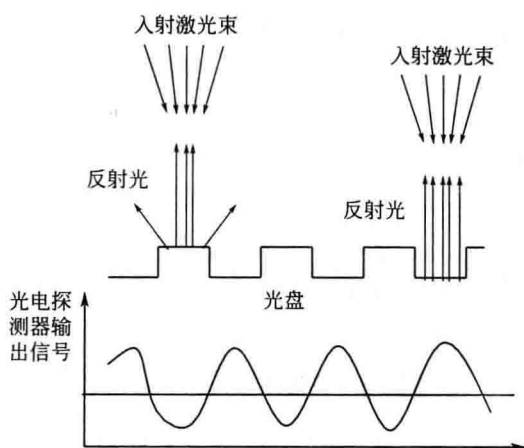


图 2 19 激光读出信息原理图

光盘读出系统的数据通路如图 2-20 所示。读出电路检测并解调从光盘上来的反射光，将信号送至控制部件的读出格式器。后者校正数据中的任何错误，除去记录时所加的用于识别信道的地址信息，并重新组织位序列，使之与输入到记录格式器的序列一致。最终的读出数据即被送到输出缓冲器。缓冲器按要求的数据速率将数据传送给用户。

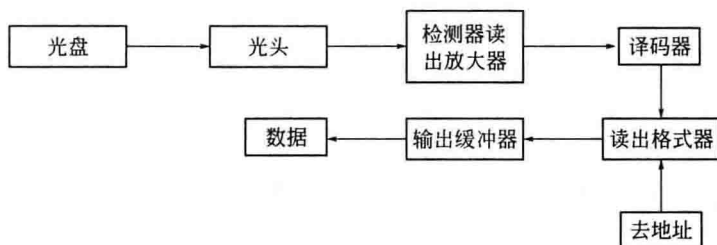


图 2 20 光盘读出系统数据通路

## 2.3.3 光盘伺服系统

由于各种原因，在任何一种光盘存储系统中，读/写光斑的实际位置总是或多或少地在与盘片信号面垂直的方向（ $z$ ）、盘片圆周的半径方向（ $y$ ）及切线方向（ $x$ ）三个方面上偏离所要求的正确落点位置（即目标信迹），而出现聚焦误差，径向跟踪误差及切向跟踪误差。各种光盘系统在三个方向上的允许偏差是根据光学读/写原理及所存储的信息的类型而定。通常，在聚焦方向的允差约为  $\pm (0.5 \sim 1) \mu\text{m}$ ，径向跟踪允差约为  $\pm 0.15 \mu\text{m}$ ，切向跟踪允差约为  $\pm 0.15 \mu\text{m}$ 。如此小的允许偏差显然不能单靠提高机械精度的办法来实现，必须在光盘系统中设置能在以上三个方向上确保光点正确跟踪目标信迹的伺服系统。光盘伺服系统通常包括：聚焦伺服、轨迹跟踪伺服、光盘主轴电动机伺服。

① 聚焦伺服 其功能是使光头聚焦透镜上下移动以跟踪盘片因高速旋转而发生的上下振动使上下振动的盘片信号面能始终落在读取光束的焦深范围内。聚焦伺服系统的组成如图 2-21 所示。聚焦伺服通过移动物镜，使读取光点始终会聚在旋转着的光盘记录介质上。

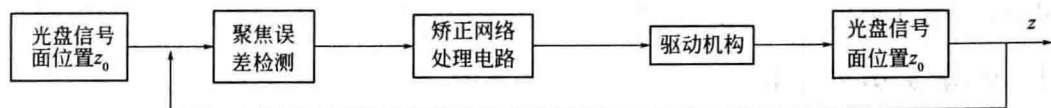


图 2 21 聚焦伺服系统框图



② 轨迹跟踪伺服 就是在光盘偏心时使读取光斑始终跟踪记录轨迹。产生偏心的原因很多，如安装光盘时产生的对中误差，光盘内轴孔中用于补偿膨胀与收缩的间隙以及由机械和空气动力学效应引起的颤动等，都会使信道和旋转轴不同心，引起信道在半径方向上的位移。轨迹跟踪伺服系统组成如图 2-22 所示。



图 2-22 轨迹跟踪伺服系统框图

③ 光盘主轴电动机伺服 保持光盘恒定的转速，从而使记录信息的位长度保持恒定，以固定的数据通率进行信息的读取，见图 2-23。

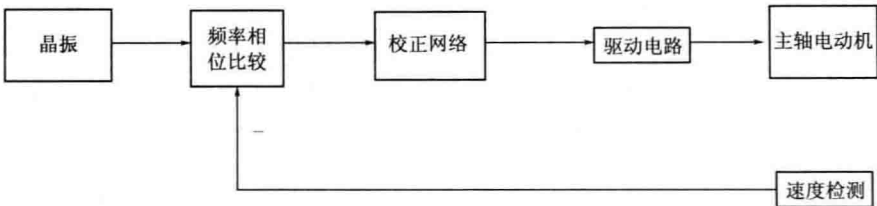


图 2-23 光盘主轴电动机伺服系统框图

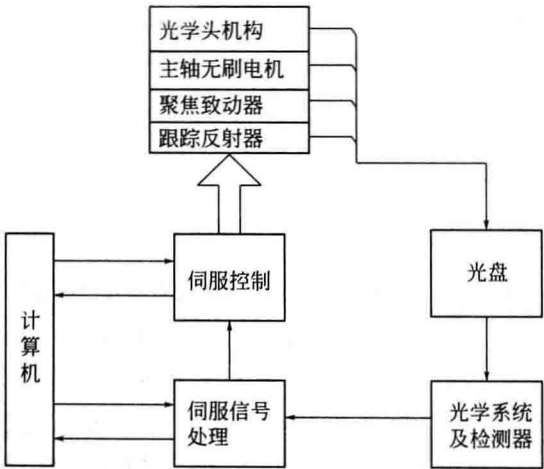


图 2-24 光盘驱动伺服控制系统框图

光盘驱动系统是由光学、电气和精密机械部件构成的一体化系统，其伺服控制系统必须在计算机的统一控制下协同动作，才能实现系统功能。由计算机统一协调的光盘驱动伺服控制系统结构如图 2-24 所示，它包括计算机控制、光盘主轴速度控制、聚焦、寻道和径向信道跟踪。控制系统能同时实现快速寻道、聚焦和跟踪。

④ 伺服系统的工作过程 由计算机控制器发出命令，如果命令是在新的信道上读出数据，当前的信道地址是已知量，所要求的信道地址是输入量。计算机利用数学算法向伺服控制线路发出恰当的命令，后者即把寻道命令发送至

光学平台和电流计。为了校正聚焦误差，还应向聚焦致动器发出命令。激光束通过光路到达光盘，遇到一个预先格式化的伺服区段，然后反射回到聚焦和跟踪误差检测器。从这些检测器来的信号被送到伺服信号处理器，经过处理后，信号就成为误差信号，并反馈回伺服控制线路。利用从检测器来的不断更新的伺服信息，就可实现任何必要的重新定位。计算机一直在接收当前状态信息，包括主轴转速误差、聚焦误差和跟踪误差等。如果某一误差超过给定的极限值，计算机就向控制极发出信息，并在必要时停机。

2.3.4 光学头运动机构

为保证光盘机正常上作，要求光点能很好地聚焦于记录介质表面，故要求物镜能上下左

右灵活移动，将误差控制在要求范围内。CD-ROM 的光学头运动机构是二维机械传动机构，由聚焦和轨迹跟踪伺服系统控制，它可使光头物镜沿着互相垂直的聚焦（垂直方向）和循迹（径向方向）两个方向移动，以跟踪盘片的振摆。这种机构一般采用图 2-25 所示的形式，光学头径向移动小车通过小车驱动丝杠的驱动和导向光杠的导向作用，可沿光盘径向来回移动来循迹，这套机构又安装在垂直摆动平台上，可绕图左侧所示的摆动定轴做上下摆动以调整聚焦状况，这种传动机构能适应不同制式工作的 CD 机，耐振性好，价格便宜。

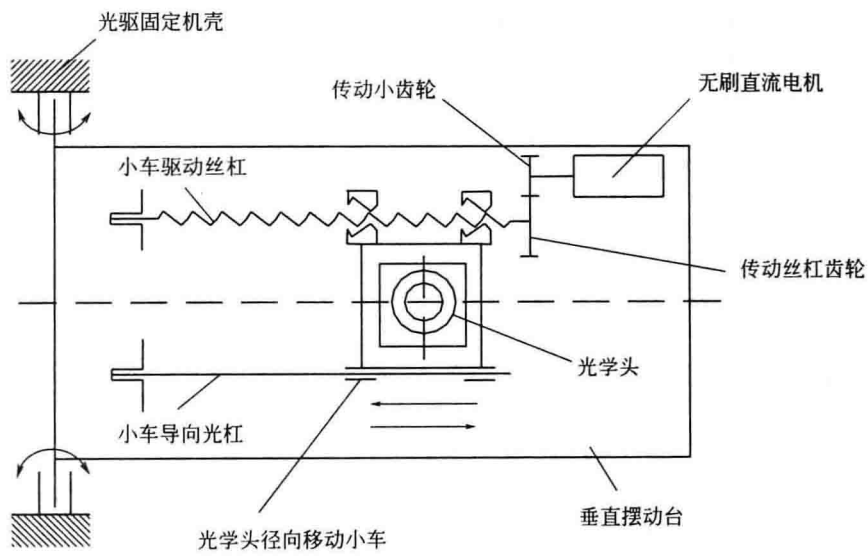


图 2 25 光学头运动机构

# 第 3 章

## 医学产品实例

### 3.1 CT 成像系统

计算机断层成像 CT (Computed Tomography) 方法是用 X 射线束对人体部位一定厚度的层面进行扫描, 由探测器接收透过该层面的 X 射线, 转变为可见光后, 由光电转换器转变为电信号, 再经模数转换器 (A/D) 转为数字信号, 输入计算机处理。

CT 技术自问世以来, 其技术在不停地更新换代。CT 技术的发展始终围绕着如何提高重建图像的速度、改善图像质量、增加 CT 机的功能和降低 X 线的辐射量等方面进行。随着 CT 扫描速度的增加, 应用范围也从头部扩展到全身。根据临床的需要, CT 系统不仅在扫描速度上有了大幅度提高, 而且在空间分辨率、伪像的消除以及人机交互性能和支撑条件上也有了很大的改善。

#### 3.1.1 工作原理

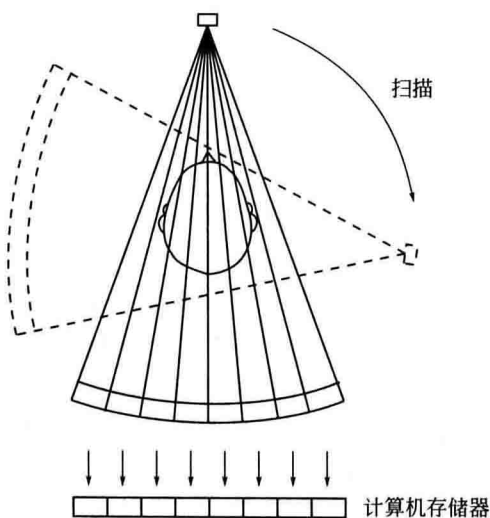


图 3-1 CT 图像形成的扫描阶段

成像系统将选定层面分成若干个体积相同的长方体, 称为体素。扫描所得信息经计算而获得每个体素的 X 射线衰减系数或吸收系数, 再排列成矩阵, 即数字矩阵。数字矩阵可存储于磁盘或光盘中。经数模转换器 (D/A) 把数字矩阵中的每个数字转换为由黑到白不等灰度的小方块, 即像素, 并按矩阵排列, 构成 CT 图像。CT 图像是重建图像, 每个体素的 X 射线系数可以通过不同的数学方法算出。

CT 成像的第一步是扫描, 如图 3-1 所示。在此阶段, 一束细的扇形 X 射线束投射穿过人体一个侧面断面。穿过此断面的辐射由探测器阵列测量。为了获得足够的信息以产生完整的图像, X 射线束必须围绕身体的断面旋转 (或扫描), 以便从各个角度测

量。一般要进行数百次的测量，每次所得的断面图数据都储存在计算机中。

图像产生的第二步是图像重建。这由数字计算机完成，它是 CT 系统的一部分。图像重建是把各次测得的扫描数据转换为数字图像的数学过程。图像由各个图像基元（像素）的矩阵构成。每个像素由一个数值或 CT 值来表示。每个像素的具体值与相应体积单元的组织密度有关，图像重建通常需几秒钟，这取决于图像的复杂程度和计算机的运算速度。

最后一步是把数字图像转换成视频显示，以便直接观测或记录在胶片上。此阶段是由具有数模（视频）转换器功能的电子部件完成的。

### 3.1.2 系统组成

CT 扫描机的结构见图 3-2。CT 成像的流程如图 3-3 所示，可以把 CT 设备分成三个部分，即扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统。

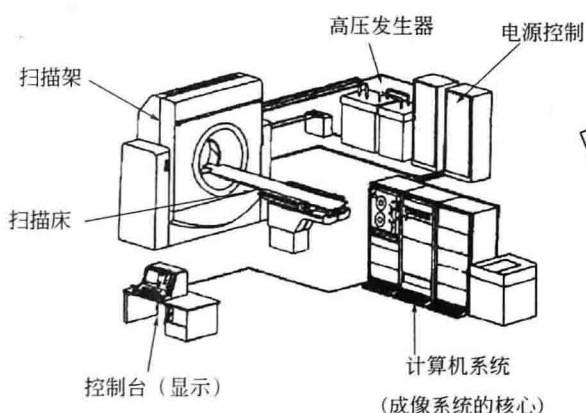


图 3-2 CT 扫描机的结构

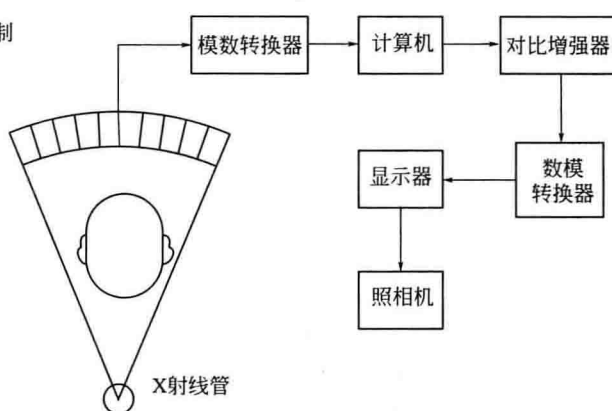


图 3-3 CT 成像流程图

#### (1) 扫描装置

扫描装置是收集透过被测体的 X 射线信息的部分，主要有 X 射线发生系统和接收透过被检查体 X 射线的探测器。

① X 射线发生系统 包括高压控制系统、高压发生器、冷却系统和 X 射线管。人体组织的吸收系数  $\mu$  与 X 射线的能量密切相关，扫描过程中 X 射线的能量变化引起的系数的变化会对成像造成严重影响，而 X 射线的能量取决于 X 射线管的千伏峰值，因此要对高压发生器采取负反馈稳压措施保持 X 射线能量的稳定。

② 探测器 探测器元件的功能是吸收透过人体断面的辐射，然后产生与辐射强度成正比的电信号，每个探测器测得的是穿过人体断面的部分辐射。CT 探测器一般有如下两种。

a. 固态探测器 由固态闪烁晶体组成，它能把 X 射线转换为光信号，然后通过光电二极管或光电倍增管转变为电信号送至数据采集系统。常用的闪烁晶体有碘化钠、碘化铯、锗酸铋、钨酸镭等。固体探测器的优点是灵敏度高，具有较高的光子转换效率，但由于相邻的探测器之间存在缝隙，使得 X 射线照射面不能全部利用，因而几何利用率低。另一个缺点是很难把阵列中的每个探测器做得完全一致，造成误差影响质量。

b. 气体探测器 这种形式是用充满高压气体（一般是氙气）的小电离室构成探测器。气体吸收辐射发生电离，从而改变导电性能，通过测量电流大小即可知道 X 射线的强度。气体探测器的光子转换效率比固体探测器低，但气体探测器的电离室之间用很薄的钨片隔开，其几何利用率高于固体探测器。因此实际上两种探测器总效率大致是相等的，一般在

50%~70%。气体探测器中各个探测器的电离室相互关联，处于同一气压、纯度、密度、温度条件下，具有较好的一致性。

③ 数据采集系统 DAS 固体探测器和气体探测器的输出阻抗很高，输出信号又很小，必须用高输入阻抗的前置放大器进行放大和阻抗变换，前置放大器被精密地屏蔽并置于寄存器的旁边。CT 扫描过程中测量的是每个角度下的 X 射线光子的总和，因此每次探测采集的信号要积分起来，在放大器后连接积分器。各个积分器输出的信号经过多路混合器合成为一路线信号，再用 A/D 变换器变为数字信号送入主机或阵列处理机的缓冲存储器。

④ 扫描方式 CT 成像的扫描方式经历了几代的发展，见图 3-4。

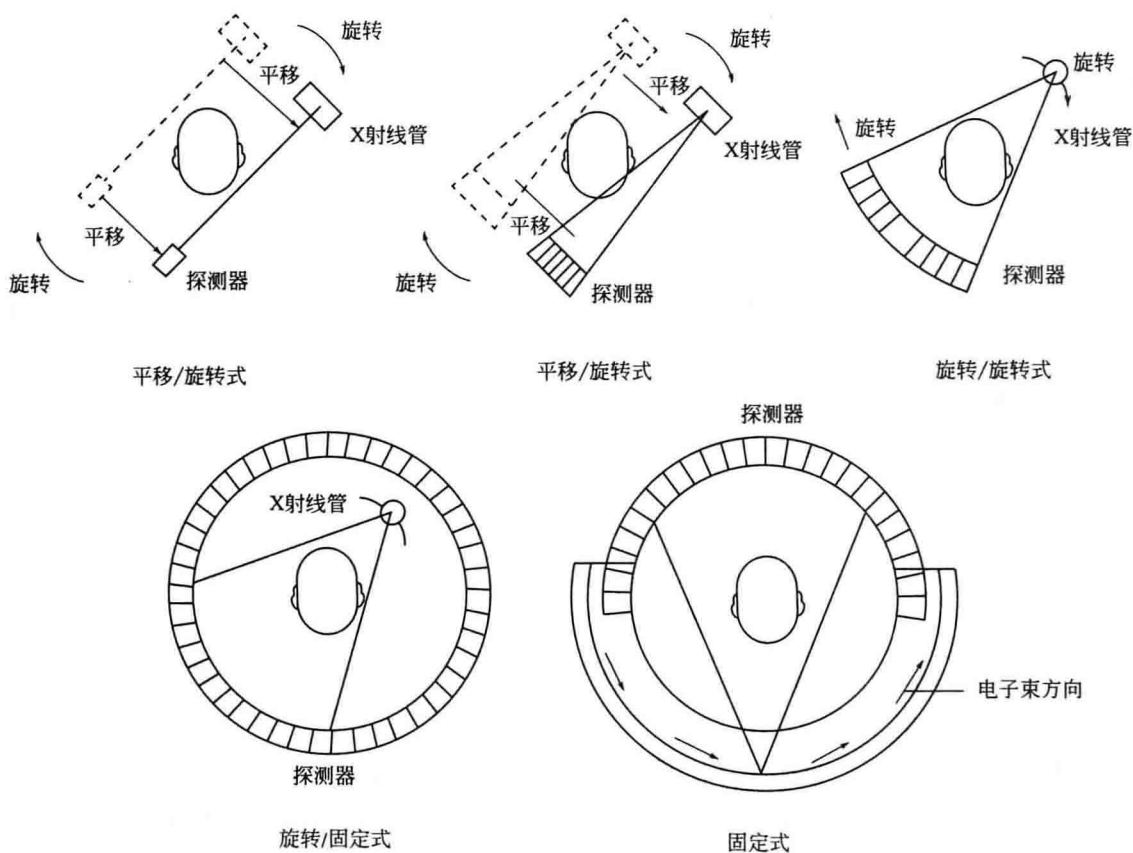


图 3.4 CT 扫描方式

a. 第一代扫描方式采用单个探测元件，它随 X 射线管在通过人体组织的一条直线上平移，以完成一次测量。然后，把整个系统旋转一个角度（典型值为  $10^\circ$ ），在新角度位置上进行第二次平移测量，一直持续到数据足够多。扫描一次一般要数分钟。

b. 第二代扫描方式使用一组探测元件（一般有 30 个）构成阵列，波束为扇形。每次旋转角度可以大一些（如  $10^\circ$ ），从而减少扫描次数，缩短扫描时间，只需几十秒。这两种都是平移/旋转式扫描方式。

c. 第三代扫描方式的 X 射线波束也呈扇形，检测器使用一个很长的弧形阵列，阵元可达 500 个，每次工作时扇形波束覆盖整个重建区。被测组织位于扇形束中，X 射线管与探测器相对，以被测体轴为中心，旋转同时进行扫描，由此扫描时间进一步缩短，可以秒计。这是旋转/旋转式扫描方式。

d. 第四代扫描方式的探测器是固定的，这种装置具有比第三种扫描方式更多的探测器，



排成一个圆环。随着 X 射线管旋转，探测器阵列上的不同部分被照射。其扫描速度稍快于前一种方式，可达到 1s。这种是旋转/固定式扫描方式。

e. 第五代扫描方式用发射源阵列代替机械旋转的单个发射器，接收器是半弧形阵列，这种方法可以在数十毫秒内完成扫描，实现对运动器官的快速成像。在采用这种扫描方式的实际 CT 装置中，不是用真的 X 射线管阵列排列，而是用电子束轰击一个置于真空中的半弧形钨靶产生 X 射线，再利用磁场使电子束偏转扫描钨靶的不同部位来实现 X 射线源在空间沿半弧形的旋转。

上述几种扫描方式的比较列在表 3-1 中。

表 3-1 CT 扫描方式的比较

项目	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代
测量原理	平移/旋转	平移/旋转	旋转/旋转	旋转/固定	固定
测量时间/s	数分钟	20~60	5~10	1~5	<1
探测器排列	移动式单个探测器	移动式多个探测器	旋转阵列	静止圆周阵列	静止半圆周阵列
探测器类型	闪烁晶体	闪烁晶体	氙电离室	闪烁晶体	影像增强器
X 射线源	连续发射	连续发射	脉冲发射	脉冲发射	脉冲发射
投影形式	平行投影	平行投影	中心投影	中心投影	中心投影
应用范围	脑	头部	全身	全身	心肺

⑤ 补偿器 在扇形波束照射时，由于人体截面近似于圆形，中心射线穿透厚度大，边缘穿透厚度小，因此信号强度相差较大，为了减少信号动态范围，增加补偿器进行补偿，其形状为楔形（见图 3-5）。CT 扫描系统的扫描区直径是可以改变的，一般为 120~500mm，楔形补偿器的尺寸也要相应改变，由操作台来控制。

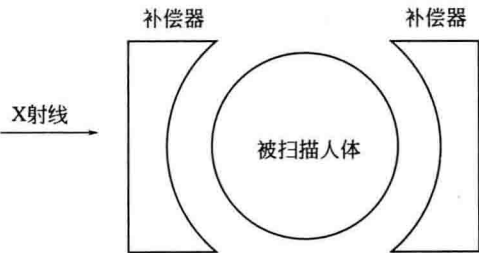


图 3 5 补偿器

(2) 计算机系统

计算机是 CT 成像系统的重要组成部分，包括主计算机、图像处理机及外部设备，计算机系统的主要功能如下。

① 控制功能 是指计算机按照编制好的程序，协调、安排扫描期间各种事件的顺序，包括 X 射线管和探测器的开关、数据传递以及系统监控等。此功能由主计算机完成，一般为小型计算机或超级微型计算机。

② 处理功能 利用探测器得到的数据进行图像重建。如果一幅 CT 图像是由 512×512 的矩阵构成，重建图像时运算速度需要在每秒 10<sup>9</sup> 次以上，必须用专用图像处理机及阵列处理机才能满足要求。

③ 存储和检索功能 将图像和数据传送到能单独存储的媒体（如磁带、磁盘或光盘），以便长期保存、编辑和检索。

(3) 图像显示和存储系统

一般 CT 成像装置具有两个显示器，一个用作字符显示，用于操作计算机，控制整个系统的工作，另一个采用显像管成像，用来显示重建的图像及有关的数据，还可进行其他功能的动作，如感兴趣区测量等。

早期的记录方式是用普通照相机拍摄荧光屏上的图像，现在 CT 成像系统一般采用多幅照相机作为记录设备。多幅照相机内装有高分辨率的示波管，产生清晰的影像；并通过专用的照相系统把影像传递到标准的 X 射线胶片上，在一张胶片上可获得多张影像。另一种记录方式是激光照相机，它直接将数字影像信号变成模拟信号用激光扫描使胶片曝光，其分辨率比多幅照相机更高。

第三代以上的 CT 机，其计算机系统一般由主控计算机和阵列计算机两部分组成。主控计算机一般采用通用小型计算机，它的作用是系统管理、任务分配和外设控制等，具体的内容是：控制和监视扫描过程，并将扫描数据送入存储器；CT 值的校正和输入数据的扩展；与操作者对话并控制扫描等信息的传送；图像重建的程序控制；故障诊断及分析。

阵列处理机与主计算机相连，其本身不能独立工作。主要的任务是在主控计算机的控制下，进行图像重建等处理。图像重建时，阵列处理机接收由数据采集系统或磁盘送来的数据，进行运算后再送给主控计算机，然后在终端显示。它与主控计算机是并行工作的，阵列处理机工作时，主机可执行自己的运算，而当阵列处理机把数据运算的结果送给主机时，主机暂停自己的运算，处理阵列处理机交给的工作。

目前 CT 机普遍采用的扇形束扫描方式，其图像重建一般都采取“管线”原理，即各计算机部分依次连接、相对独立，图像重建时各计算机部分独立执行任务，处理时间大致相等，重建矩阵常采用  $512 \times 512$ ，图像显示矩阵  $1024 \times 1024$ 。计算机系统框图及图像处理过程如图 3-6 所示。

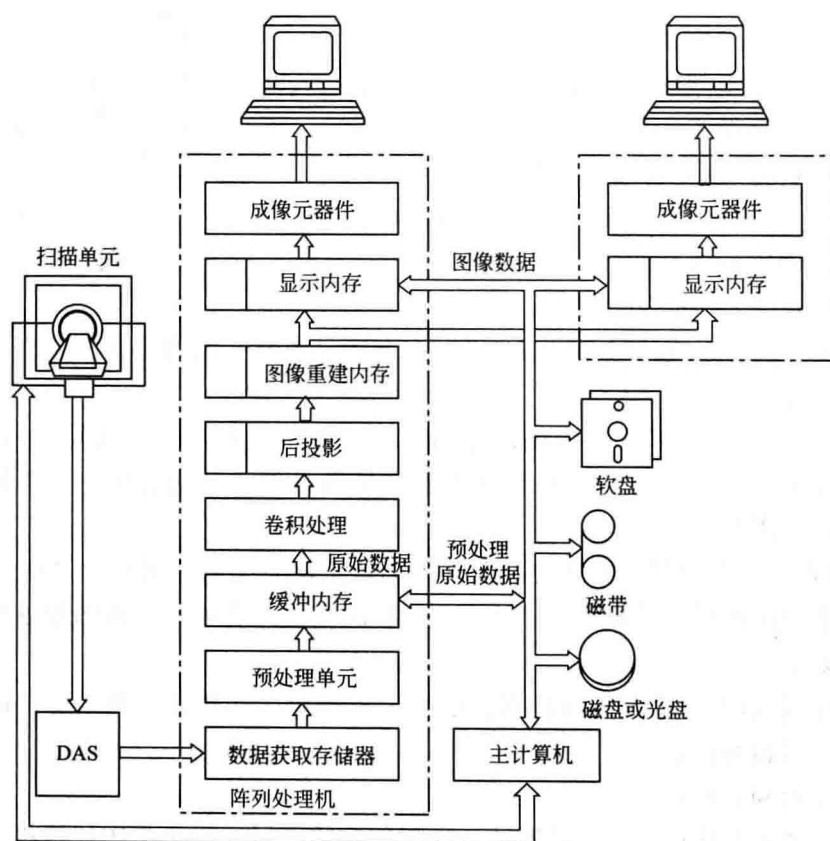


图 3-6 计算机系统及图像处理过程

3.1.3 CT 图像重建

CT 图像的重建是把测得的 X 射线的穿透量转换为人体的数字图像的过程。它是由计算机采用某种图像重建的数学方法而完成的数学过程，而图像重建的方法有多种。

(1) 图像格式

图像是以单个图像单元（或像素）的矩阵形式来重建的。构成图像的像素数目一般都在  $64 \times 64$  个像素到  $512 \times 512$  个像素的范围内。矩阵的大小（即每幅图像的像素数）是由操作者在扫描之前选定的，显然，像素越小，数目越多，构成的图像越细致，像素的大小对于图像质量起着重要作用，必须根据满足某种临床方法需要的原则加以选定。

图像中的每个像素都与身体成像层面中组织的体积单元（或体素）相对应。单个组织体素的大小明显影响着图像质量。有三个检查变量影响体素的大小：矩阵的大小；视野；层面厚度。层面厚度就是体素的深度，体素面积的尺寸等于视野除以矩阵的大小。

(2) CT 图像特点

CT 图像是以不同的灰度来表示，反映器官和组织对 X 射线的吸收程度。因此，与 X 射线图像所示的黑白影像一样，黑影表示低吸收区，即低密度区，如肺部；白影表示高吸收区，即高密度区，如骨骼。但是 CT 与 X 射线图像相比，CT 的密度分辨率高。因此，人体软组织的密度差别虽小，吸收系数虽多接近于水，也能形成对比而成像，这是 CT 的突出优点。所以，CT 可以更好地显示由软组织构成的器官，如脑、脊髓等，并在良好的解剖图像背景上显示出病变的影像。X 射线图像可反映正常与病变组织的密度，如高密度和低密度，但没有量的概念。CT 图像不仅以不同灰度显示其密度的高低，还可用组织对 X 射线的吸收系数说明其密度高低的程度，具有一个量的概念。实际工作中，人们把吸收系数换算成 CT 值，用 CT 值说明组织密度，单位为 Hu（Hounsfield unit）。

3.2 医用 X 射线机

X 射线是一种不可见光，是波长很短的电磁波，且有波、粒二象性。X 射线是在高度真空的 X 射线管中产生的，是高速电子与阳极靶面相互作用的结果。

X 射线除了具备光的一般性质外，还具有其他的特殊性质，如穿透作用、荧光作用、电离作用、热作用、感光作用和生物效应等。由于 X 射线所具有的多种特性，使它能应用于多个领域。医用 X 射线机就是 X 射线实际应用的典型代表。

3.2.1 医用 X 射线机的组成和分类

医用 X 射线机的基本组成可分为 X 射线发生装置和 X 射线机辅助设备两大部分。图 3-7 是医用 X 射线机的组成框图。其中，X 射线发生装置包括控制台、高压发生器和 X 线管头。

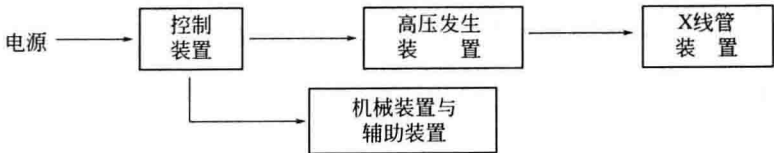


图 37 医用 X 射线机组成框图

大型固定式医用 X 射线机示意图如图 3-8 所示。医用 X 射线机按其使用目的可分为诊断和治疗两大类。

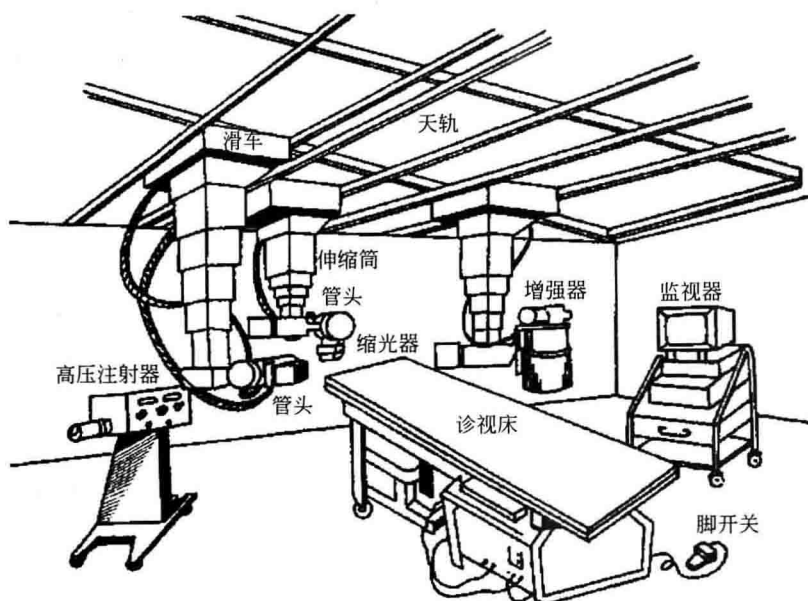


图 3-8 大型固定式医用 X 射线机

① 诊断机 指利用 X 射线透过人体所形成的各种影像，对疾患进行诊断的 X 射线机。这类机器通常又因结构形式、最大输出功率和应用范围不同，可分为多种类型。图 3-8 所示的大型固定式医用 X 射线机，其结构复杂，输出功率大，使用范围广，可一机多用，多配有两个或两个以上的旋转阳极 X 射线管以及影像增强器和 X 射线电视。在机械结构方面普遍采用天井悬吊装置，一般设有多轨迹体层摄影床、滤线器摄影床和电动诊视床。其功能除可做多轨迹体层摄影、胃肠摄影、滤线器摄影、放大摄影、透视外，还可根据需要添加某些辅助装置做快速摄影、间接摄影、记波摄影、录像和电影摄影等。此种 X 射线机要求有良好的供电电源，才能保证电气性能的稳定和充分发挥各种功能。

② 治疗机 是根据 X 射线的生物效应，对疾患进行治疗的 X 射线机。按其用途通常可分为三类：接触治疗机、表层治疗机和深部治疗机。

### 3.2.2 X 射线机工作原理

高压发生器作用于 X 射线源组件两极产生高电压，促使 X 射线源组件阴极灯丝（钨丝）上大量电子在真空管内高速运动，撞击高密度阳极靶，由此产生 X 射线。

临床使用 X 射线透视和摄影时，X 射线发生装置发出 X 射线穿透人体骨骼、肌肉等组织密度不同的部位，将透过人体组织载有影像信息的 X 射线通过荧光屏或胶片、探测器等影像接收装置，转换成可见的密度不同的人体组织的影像，或经过对透射的 X 射线进行一定处理进行成像，最后根据影像进行临床诊断。

### 3.2.3 医用 X 射线管

X 射线管是 X 射线机中的主要元件，是一个高真空器件。自 X 射线发现以来，经历了气体电离式 X 射线管、高真空热阴极固定阳极 X 射线管、旋转阳极 X 射线管几个发展阶段。

目前常使用的是热阴极电子 X 射线管，其基本原理是利用阴极的热发射电子束在高压电场的作用下高速飞向阳极靶面，由于电子束受到急剧阻止，在阳极靶面产生能量转换，在大部分转变为热能的同时，还激发出 X 射线。

从以上原理可以得出，一个 X 射线管辐射 X 射线，必须具备以下条件：一个能发射电子的阴极；一个受电子轰击而产生 X 射线的阳极；一个真空度较高的空间，使电子运动不受阻挡。以下将重点介绍固定阳极 X 射线管和旋转阳极 X 射线管。

(1) 固定阳极 X 射线管

固定阳极 X 射线管由阳极、阴极和玻璃壳三部分组成。其结构组成如图 3-9 所示。

阳极则包括阳极柱、阳极罩、靶面、铜体四个部分。阳极的作用是产生 X 射线，散热、吸收二次电子和散射线。阳极柱由纯铜制成，将铜体引出管外，与油之间热传导把热传导出去；靶面是用钨制成，钨热导率小，熔点高；阳极罩在靶面外面由无氧铜制成，吸收二次电子和散射线。

阴极是由灯丝和集射罩组成，其作用是发射电子并对电子束进行聚焦，以使轰击靶面的电子束具有一定形状和大小。阴极的灯丝是由钨制成，绕制成螺旋管状，作用是发射电子。功率较大的 X 射线管在阴极装置有两根灯丝，形成双焦点。一根灯丝较长些，形成大焦点，发射的电流大一些；另一根较短些，形成小焦点。阴极具有三根引线，其中一根为公用线，其余为大小灯丝的引线。集射罩由纯铁或镍制成，并开有直槽或阶梯槽，称为集射槽。如图 3-10 所示，灯丝置于槽中，槽和灯丝一端相连接，使其与灯丝同电位。灯丝发射的电子经集射槽聚焦后，轰击在阳极靶面，形成焦点面。

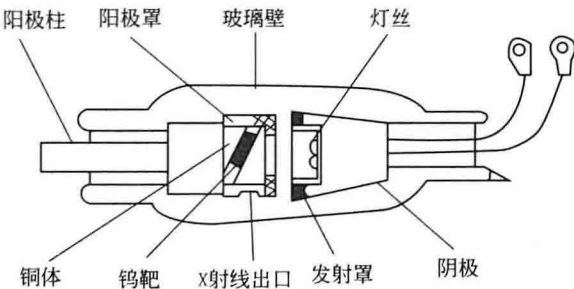


图 3-9 固定阳极 X 射线管结构示意图

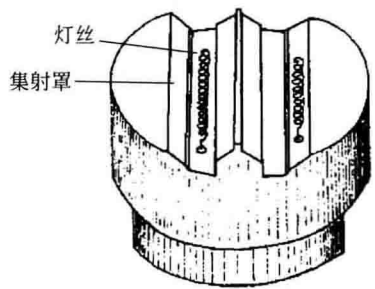


图 3-10 双焦点阴极结构

X 射线管玻璃壳的作用是支撑阴、阳两极和保持管内真空度。由于阴、阳两极加有高电压，且阳极的工作温度很高，因此玻璃壳多采用耐高温、绝缘强度高、线胀系数小的硬质玻璃制成。因玻璃壳和阳极铜体线胀系数不同，两者不宜直接焊接，故在铜体上镶有一个含 54% 铁、28% 镍、17% 钴的合金圈，再将玻璃壳焊接在合金圈上。这样也就避免因温度变化而造成玻璃破碎，导致真空度下降。

(2) 旋转阳极 X 射线管

旋转阳极 X 射线管主要也由阴极、阳极和玻璃壳组成。其结构如图 3-11 所示。阳极做成一个圆盘，管子负载时高速转动。从偏离管子中心轴线的阴极发射出来的电子，轰击在转动的靶面上。由于因电子轰击而产生的热量被均匀分布在一个转动着的圆环面上，热量分布面积要比固定阳极 X 射线管大，而单位面积上的热量大大减少，从而提高了旋转阳极 X 射线管的功率。

与固定阳极 X 射线管相比，除阳极结构有明显差别外，其余相差不大。阳极包括靶面转子、转轴、转承和定子。靶面镶在一个直径为 70~100mm 的圆盘上，靶面角度为 6°~



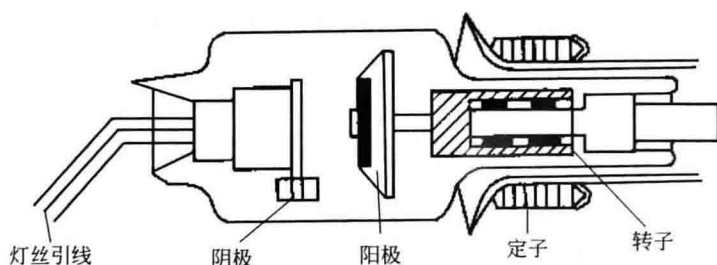


图 3 11 旋转阳极 X 射线管结构示意图

18°，中心钨杆与转子连接。20 世纪 60 年代以后生产的旋转阳极 X 射线管中的靶面多为铼钨合金镶在钨或石墨基体上。其与以前用纯铜材料制成的靶面相比有以下优点：

- ① 铼钨合金靶面晶粒较细，抗热胀性提高，再结晶温度上升，靶面不易龟裂；
- ② 大大提高了热容量，有效提高了 X 射线管连续负荷的能力；
- ③ X 射线辐射率下降较慢。

### 3.2.4 医用 X 射线机的电路结构

医用 X 射线机是由 X 射线管和使 X 射线管产生 X 射线所需的全部电气元件及辅助装置构成，并通过导线连接成的一个整体。其电路组成一般包括：电源电路、高压整流电路、管电流测量电路、X 射线管灯丝加热和管电流控制电路、曝光限时电路、高压一次和千伏电压补偿电路、曝光限时电路、旋转阳极启动延时和保护电路、瞬时负载限制和保护电路、整机控制电路和附属设备电路。

### 3.2.5 机械辅助装置

X 射线机的机械辅助设备是 X 射线机的重要组成部分。用不同功能的机械辅助装置，可以组成不同用途的专用 X 射线机。

#### (1) X 射线管头支持装置

X 射线管头支持装置把 X 射线管头固定在一定位置上，使其以一定距离和角度对胶片进行曝光。为了尽量减少病人的移动，要求 X 射线管能有较大的覆盖面积和灵活的倾斜功能。而这些都是 X 射线管头支持装置携带下进行的。根据上述活动需要，最简单的 X 射线管头支持装置由立柱、滑架和横臂等组成。

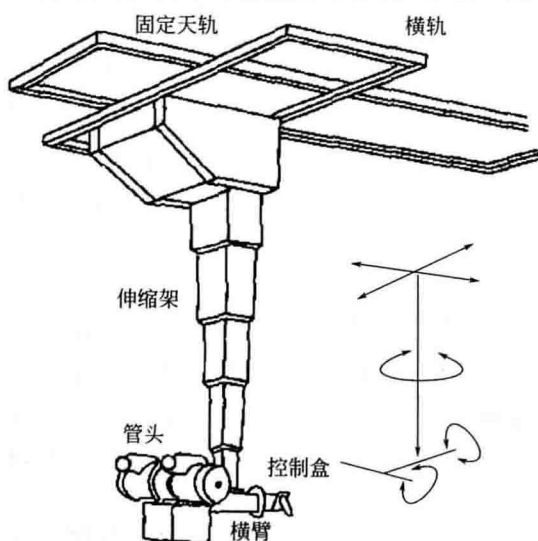


图 3 12 天轨悬吊式 X 射线管头支架

X 射线管头支持装置分落地式、附着式和悬吊式三大类。落地式结构简单，安装方便；附着式与滤线器床组合为一体，结构紧凑，但功能少；悬吊式不占地面位置，覆盖面积大，多用于大型医用 X 射线机中。这里具体介绍一种悬吊式 X 射线管头支持装置。

天轨悬吊式 X 射线管头支架由固定天轨、移动横轨、伸缩吊架、管头固定夹、横臂和控制盒组成，如图 3-12 所示。固定天轨固定在天花板或专用过梁上，承担着伸缩吊架和移动轨的全部重量。移动横轨可携带伸缩吊架在固定

轨上做纵向移动, 范围为 2.3m 或更长。伸缩吊架在横轨上做横向移动, 范围为 1.2m。吊架本身可竖向伸缩, 范围为 1.5m 左右。这三者完成三维的移动。横臂在吊架下端, 其一端安装 X 射线管头固定夹, 另一端安装有控制盒和把手。吊架的三维活动都采用电磁锁止方式, 各电磁锁止控制按钮集中设在控制盒上。

(2) 滤线器检查台

在 X 射线摄影中肢体接受射线照射时会产生散乱射线, 呈随机方向辐射。当散乱射线作用于胶片时, 在照片上形成背景灰雾, 降低 X 射线照片对比度。而滤线栅板即可用于滤除散乱射线, 以减少散乱射线对照片的影响。机械控制栅板和电路组合即构成活动滤线器。活动滤线器的基本原理是: 在 X 射线机曝光的过程中, 其处于活动状态, 从而将铅条的影像抹除。这样, 栅板既能起到滤除散乱射线的作用, 又可不在照片上留下影子。使用活动滤线器摄片时, 病人肢体不能直接处于滤线栅板上, 而是将滤线器安装在专用检查台面下方, 用台面承担病人肢体重量, 滤线器在台面下的轨道中, 对准受检肢体进行摄片, 这就是滤线器检查台。滤线器检查台面是用有一定承重能力、密度均匀和易透 X 射线的材料制成的, 多使用胶合板, 也有用酚醛聚合板和有机玻璃。台面正中标有中心线, 正对滤线栅板移动范围的中心。

在使用滤线器摄影时, X 射线中心线总是正对滤线器中心, 所以专用于滤线器摄影的 X 射线管总要跟踪滤线器的位置。为此专门设计了 X 射线管和滤线器为一体的专用支架。X 射线管和滤线器在支架上以中心转轴为中心对称安置, 所以叫做对置支架, 如图 3-13 所示。支架携带 X 射线管和滤线器借助滑架能在立柱上做整体升降运动, 并可在滑架轴上做  $-45^{\circ} \sim +180^{\circ}$  转动。

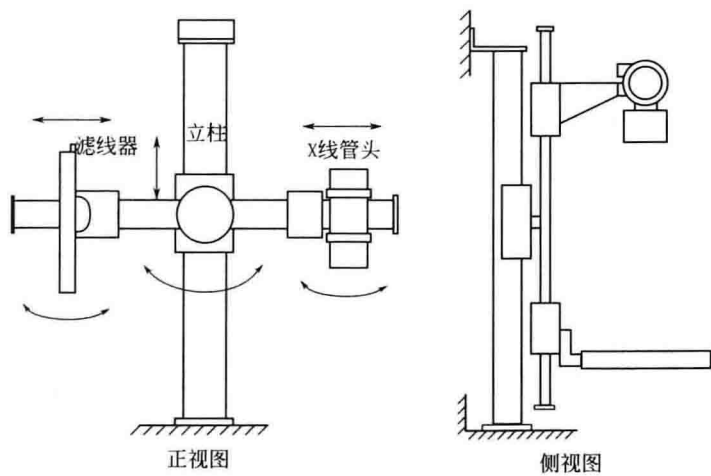


图 3 13 对置支架结构示意图

(3) 诊视床

诊视床是为满足胃肠透视的需要而设计的一种专用设备。其包括床体、适时摄影装置及其平衡系统、动力及其传动系统三个部分。

诊视床有三个基本功能:

- ① 床身立卧功能 诊视床的床身一般都能在直立 ( $+90^{\circ}$ )、水平 ( $0^{\circ}$ ) 和负角度 ( $\leq -30^{\circ}$ ) 范围内, 绕底座支轴回转, 并能停于任一位置。
- ② 床面移动功能 大多数诊视床能在一定范围内进行升 (伸)、降 (缩) 移动。
- ③ 适时摄影装置移动功能 该装置又称点片装置。一般诊视床都采用下设 X 射线管,

床上设点片装置的结构方式。点片装置应能与床下的 X 射线管同步上下左右移动，又能自身前后移动，并能对三维移动进行锁止。

### 3.3 激光微束装置

利用激光亮度高、光谱纯、可调谐、发散角小等其他光源没有的特点，将激光束用光学系统加以聚焦，形成非常细的光束，光斑直径小到几微米甚至十分之几微米，称为激光微束。从理论上讲，聚焦后的光斑直径可以小到所用激光波长的一半。例如，氩离子激光波长是  $0.488\mu\text{m}$ ，理论上可聚焦到光斑直径为  $0.244\mu\text{m}$ ，显然所用激光波长越短，聚焦光斑直径就越小。

激光微束可以对细胞靶体进行精细而巧妙的显微外科手术，这种显微外科手术较常规显微操作因具有定位准确、操作简便，可对细胞靶体进行选择性的损伤而不损伤其邻近部位等优点而越来越受到生物、医学和化学界的注意，至今已发展成为激光生物学中一个重要领域。

激光微束照射可用于细胞生物学和细胞遗传学的一些基础研究，在分子遗传学基础上发展起来的新兴科学遗传工程是在分子水平上对 DNA 遗传物质进行人工操作，以改变生物本性。由于遗传工程是在体外进行人工操作，可以完全摆脱传统有性生殖过程和种属的限制，实现种间遗传物质的交流，甚至可以把动物、植物、微生物乃至人的基因重组在一起。遗传工程在定向改变生物方面具有预见性和准确性，从而为人类创造和培育出有用的动物、植物和微生物新品种以及治疗人类遗传病提供了前所未有的有效手段和无限美好的前景，因此世界各国都非常重视遗传工程的发展。

#### 3.3.1 装置组成

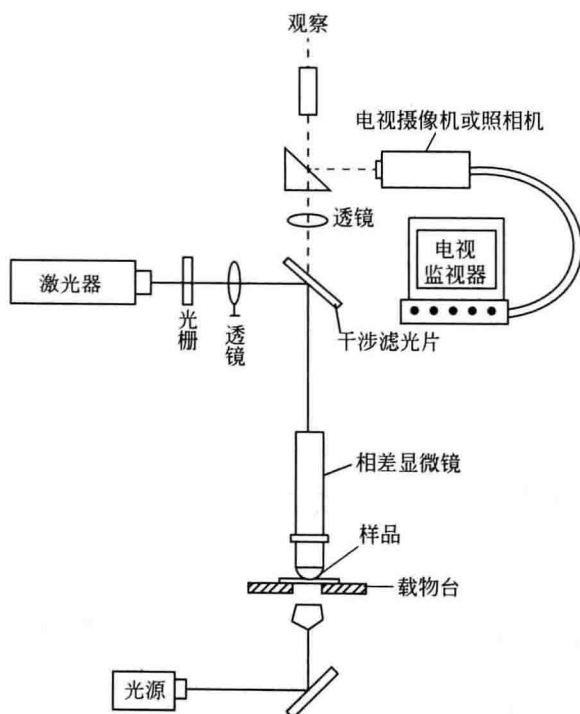


图 3-14 激光微束装置

激光微束装置主要由激光器、显微镜系统及监控系统三部分组成。

红宝石、氦氖、氩离子、氮分子及有机染料激光器均可作为光源。也可用准分子激光器，在图 3-14 中采用的显微镜，既可将激光束聚焦成激光微束，又可在照射以后立即观察和记录微束的效应。尤其应用相差显微镜可以更清楚地观察活细胞的细微结构，比较理想的激光微束系统，采用蔡司显微镜的相差 neofluar 物镜聚焦。激光束经  $45^\circ$  倾斜的二色分光镜成直角向下反射，进入显微镜系统到物镜。同时二色分光镜将生物样品的物像透射到观察和记录系统，而阻止激光微束在样品上的杂散光，以利观察和记录。其中采用照相机、摄影机或电视摄像机和监视器等来实现观察和记录。实验过程中，样品的动态变化，特别是辐照部位的动态变化可由目镜或电视荧光屏上连续观察，也可用摄像

机做连续记录。

### 3.3.2 激光波长选择

激光微束采用的激光系统，根据所需的特定波长可有各种不同的结构。例如为研究核酸的光谱特性可选择 265nm 波长的激光；研究蛋白质的光谱特性可用 288nm 的紫外激光；研究细胞生物色素可选择 530nm、488nm 和 514.5nm 波长的激光；如果仅仅是利用激光能量辐照细胞，以便引起细胞某个局部的作用，则可选择红宝石激光。

目前可供应用的激光器有 1.06nm 的钕激光器，如 Nd:YAG 激光器，经二倍频可得到 530nm 的激光，四倍频可得 265nm 的紫外激光。有波长随工作物质种类和浓度不同而变的有机染料激光器，以及红宝石激光器等。

图 3-15 所示的点式激光微束系统采用了 Nd:YAG 激光器，输出激光经三倍频变为波长是 355nm 的紫外激光、脉冲能量为 1mJ，束径小于 0.5 $\mu$ m，并且用 He-Ne 激光器来提供指示灯。

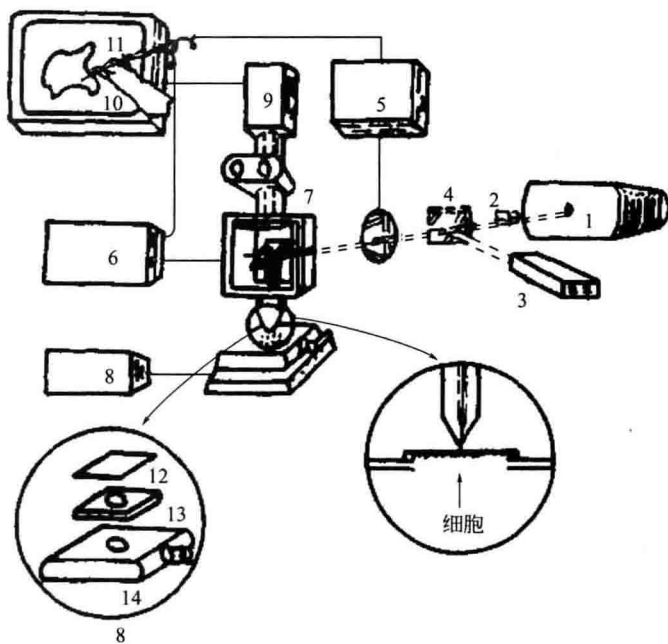


图 3-15 Nd:YAG 激光微束系统

- 1—Nd:YAG 激光器；2—倍频器；3—He-Ne 激光器；4—分束器；5—电子快门控制器；  
6—光束偏转器；7—显微镜；8—显微镜台自动控制器；9—电视摄像器；  
10—电视荧光屏；11—光笔；12~14—样品盘

细胞样品放入石英盘中，样品位置可以在电视屏幕中显示。用光笔指示转移点，通过显微镜台自动控制器使样品细胞的特定点移动到激光微束下，以便瞄准照射。将微束系统与微机结合起来的一种激光精密加工系统见图 3-16。其基本构成为激光器、照射位置控制、图像处理三个部分。

在进行激光微加工时，要保持细胞活体状况，照射强度应充分低，对生物体不能有丝毫损伤，其主要原因是生物体分子和组织吸收激光而产生热、压力和光化学反应等，由此可能造成生物体的组织被切开和蒸发，同时，必须将照射的激光束聚焦到远小于细胞的大小，其照射位置也必须精密控制。

要将照射的激光束正确引导到细胞部位，必须有精密的导光技术。该系统采用数值孔径

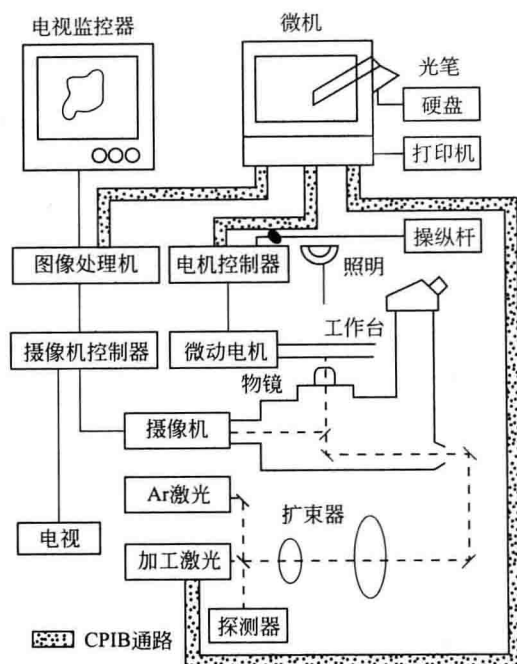


图 3 16 细胞微细加工用激光精密加工系统的框图

为 0.4mm，对紫外区域透射率高的物镜的光学显微镜。控制聚焦激光的位置有两种方法，或调节试样或调节光束自身。为使透镜的像差控制在最小限度，并使聚焦激光经常保持恒定状态，调节光束自身是行不通的。所以，用压电元件电机使显微镜载物台做二维移动，以实现样品位置的调节。这种压电元件确认移动精度在  $1\mu\text{m}$  以下。

待加工的生物体细胞的显微像由 CCD 摄像机摄录，并由电视监控器映出，也可送入图像处理机进行处理。图像处理除了包括一般的累计、相减，加强等处理外，还有细胞图像边用电视监控器监视边指定照射激光的位置，及向该位置移动显微镜载物台在内的一系列机械动作的精密控制。

整个系统中，激光、控制照射位置及图像处理都由一台微机进行控制，实验者只需进行试样的调节和指定激光的照射位置，就能实施所需的精密细胞加工和手术。

在激光微束装置中，激光器和显微镜是必须的，其他装置则是为了便于观察和获得精确的结果而加的附加装置。

照射强度达到一定程度后，激光照射可引起生物体组织变性，甚至被切割。激光的热效应和压力效应是两种基本效应，一般认为，连续激光照射主要是热效应，而脉冲照射除了热效应外，还存在压强效应。入射的单脉冲激光照射生物组织的过程中，受照的组织吸收了激光能量后被加热继而汽化。而在组织汽化之前，组织首先被激光融化，因而形成气相、液相、凝相三相共存的状态。在气相和凝相之间的液相是瞬时形成的，气体分子反冲动量的变化所产生的压强把液体推向边缘的同时激光的热效应又把该部分液体蒸发、汽化。所以，在达到稳态以后，相位边界将以恒定的速度向深部组织移动。

将激光俘获法与激光精细加工两技术结合起来，可以对细胞进行俘获、转移、回转、切断、穿孔、移入、移植、融合等几乎全部细胞操作，并可通过使用激光进行非接触、安全的远距离控制。



## 3.4 流式细胞仪

流式细胞仪 (Flow Cytometer, FCM) 是集计算机技术、激光技术、流体力学、细胞化学、细胞免疫学等现代高科技技术为一体的细胞测量和分析仪器。它能对快速流动的生物颗粒或其他粒子进行多种物理学和生物学特性的定量分析, 对特定细胞群体进行分选的大型精密仪器。它不仅可测量细胞大小、内部颗粒的性状, 还可检测细胞表面和细胞浆抗原、细胞内 DNA、RNA 含量等, 在血液学、免疫学、肿瘤学、药理学、分子生物学等学科广泛应用。

流式细胞仪的结构虽然十分复杂, 但完全由计算机控制, 使用十分方便。流式细胞仪的特点是单个细胞分析, 同时多参数分析, 速度快, 每秒计数可达 1000~10000 个细胞, 分选感兴趣的细胞, 纯度可达 99% 以上, 提供细胞群体的均值和分布情况, 具有统计学意义。

### 3.4.1 基本原理

激光流式细胞仪通过一个精密的流动室及流动系统, 使染色细胞排成一列, 高速度地逐个通过激光照射区, 由荧光探针标记的细胞即染色细胞在激光的照射下产生荧光和散射光。通过测定每个细胞的荧光和散射光, 即可对细胞的化学成分和物理性质进行快速定量分析。

根据细胞内待测物质的特点, 选用特异性的荧光探针与该物质相结合, 结合后的荧光光谱能反映该物质的化学成分, 如用吖啶橙标记细胞的核酸, 其绿色荧光 (峰值为 530nm) 反映双链核酸 (DNA 及 RNA 的双链部分) 的含量, 而其红色荧光 (峰值为 640nm) 反映单链核酸 (RNA 单链部分及变性 DNA) 的含量。由于荧光强度与细胞内待测物质的含量成正比, 所以通过测定细胞的荧光强度即能测出细胞内该物质的相对含量。

细胞的光散射信号是由细胞的衍射、折射和反射组成的。光散射的强度取决于细胞的大小、形状、密度和荧光探针的吸收特征等因素。流式细胞计主要测定细胞的小角 (前向) 光散射和 90° 光散射。小角 ( $0.5^{\circ} \sim 2.0^{\circ}$ ) 光散射强度与细胞大小有关, 90° 光散射强度主要反映细胞结构方面的信息。

### 3.4.2 主要结构

流式细胞仪主要由以下五部分构成: 流动室及液流驱动系统, 激光光源及光束形成系统, 光学系统, 信号检测与存储、显示、分析系统, 细胞分选系统。如图 3-17 所示。

#### (1) 流动室及液流驱动系统

流动室是流式细胞仪的核心部件, 流动室由石英玻璃制成, 单细胞悬液在细胞流动室里被鞘液包绕通过流动室内的一定孔径的孔, 检测区在该孔的中心, 细胞在此与激光垂直相交, 在鞘液约束下细胞成单行排列依次通过激光检测区。流动室里的鞘液流是一种稳定流动, 控制鞘液流的装置是在流体力学理论的指导下由一系列压力系统、压力感受器组成, 只要调整好鞘液压力和标本管压力, 鞘液流包绕样品流并使样品流保持在液流的轴线方向, 能够保证每个细胞通过激光照射区的时间相等, 从而使激光激发的荧光信息准确无误。流动室孔径有 60 $\mu\text{m}$ 、100 $\mu\text{m}$ 、150 $\mu\text{m}$ 、250 $\mu\text{m}$  等多种, 供研究者选择。小型仪器一般固定装置了一定孔径的流动室。

#### (2) 激光光源及光束形成系统

流式细胞仪可配备一根或多根激光管, 常用的激光管是氩离子气体激光管, 它的发射光波长 488nm, 此外可配备氦氖离子气体激光管 (波长 633nm) 和/或紫外激光管。

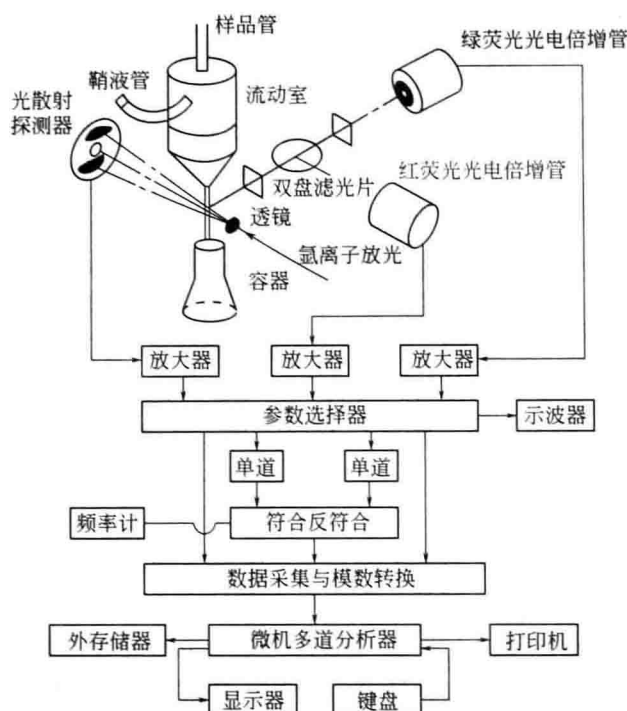


图 3.17 流动式细胞光度仪

流式细胞仪的主要测定信号荧光是由激发光激发的，荧光信号的强弱与激发光的强度和照射时间相关，激光是一种相干光源，它能提供单波长、高强度、高稳定性的光照，正是能达到这一要求的理想的激发光光源。

在激光光源和流动室之间有两个圆柱形透镜，将激光光源发出的横截面为圆形的激光光束聚焦成横截面较小的椭圆形激光光束（ $22\mu\text{m} \times 66\mu\text{m}$ ），在这种椭圆形激光光斑内激光能量呈正态分布，使通过激光检测区的细胞受照强度一致。

激光器是流式细胞计的典型光源。该种激光器必须有选频装置，如腔的全反镜用涂膜棱镜，允许操作者选择合适的谱线激发染料。除氩离子激光器外，现代的激光流式细胞计中还有使用氮离子激光器、氮-镉激光器和氮-氦激光器等。采用氩离子激光器作激光光源，激光光束直径约  $1.5\text{mm}$ ，为了使细胞得到均匀的照射，应使激光工作在  $\text{TEM}_0$  单模状态。激光光束通过会聚透镜后会聚成很细的光束，其光斑直径  $d$  的计算公式如下：

$$d = \frac{4\lambda f}{\pi D}$$

式中， $\lambda$  为激光波长； $f$  为会聚透镜焦距； $D$  为激光光束直径。

通过设计的会聚透镜后，光斑直径可以缩小到与待测细胞的直径相近，从而提高了光强和分辨率。

由喷嘴喷出的细胞在激光的照射下产生荧光和散射光，在检测中，为了获得较强的荧光信号，尽可能提高接收系统的数值孔径，缩短接收透镜与细胞流的距离，使接收的空间角增大。如能增加透镜与细胞流间介质的折射率，也可以提高数值的孔径。激光流式细胞计中常用焦平面检测法或象平面检测法。接收到的光束有  $90^\circ$  散射光、DNA 荧光、RNA 荧光或细胞表面荧光等。一般采用分束器或滤波器将它们一一分离，然后送到光电倍增管，或经光导纤维送入光电倍增管。

激光流式细胞仪中的计算机是用来分析输出信号的。顺序通过激光照射区的细胞所发生的两路荧光和两路散射光，分别由四个光电倍增管检测，其光学信号转换成电脉冲信号，脉冲的幅度与光学信号的强度成正比，其脉宽（脉冲持续的时间）约为  $10\mu s$ （与细胞大小、激发光斑直径及细胞的流速有关）。这些脉冲信号经前置放大器加到线性脉冲放大器或对数放大器放大。放大后的信号送到计算机多道分析器。

(3) 光学系统

流式细胞仪的光学系统由若干组透镜、小孔、滤光片组成，大致可分为流动室前和流动室后两组。流动室前的光学系统由透镜和小孔组成，透镜和小孔（一般为 2 片透镜、1 个小孔）的主要作用是将激光光源发出的横截面为圆形的激光光束聚焦成横截面较小的椭圆形激光光束，使激光能量呈正态分布，使通过激光检测区地细胞受照强度一致，最大限度地减少杂散光的干扰；流动室后的光学系统主要由多组滤光片组成，滤光片的主要作用是将不同波长的荧光信号送到不同的光电倍增管。滤光片主要有三类：长通滤片（LP）——只允许特定波长以上的光线通过，短通滤片（SP）——只允许特定波长以下的光线通过，带通滤片（BP）——只允许特定波长的光线通过，不同组合的滤片可以将不同波长的荧光信号送到不同的光电倍增管（PMT），如接收绿色荧光（FITC）的 PMT 前面配置的滤光片是 LP550 和 BP525，接收色橙红色荧光（PE）的 PMT 前面配置的滤光片是 LP600 和 BP575，接收红色荧光（CY5）的 PMT 前面配置的滤光片是 LP650 和 BP675。

(4) 信号检测与存储、显示、分析系统

当测定标本在鞘流液约束下细胞成单行排列依次通过激光检测区时产生散射光和荧光信号，散射光分为前向角散射（Forward Scatter, FS）和侧向角散射或 SS 散射（Side Scatter, SS），散射光是细胞的物理参数与细胞样本的制备（如染色）无关；荧光信号也有两种，一种是细胞自发荧光，它一般很微弱，一种是细胞样本经标有特异荧光素的单克隆抗体染色后经激光激发发出的荧光，它是要测定的荧光。荧光信号较强，这两种荧光信号的同时存在是测定时需要设定阴性对照的理由，以便从测出的荧光信号中减去细胞自发荧光和抗体非特异结合产生的荧光。

前向角散射反映被测细胞的大小，它由正对着流动室的光电二极管装置接收并转变为电信号；侧向角散射或 SS 散射反映被测细胞的细胞膜、细胞质、核膜的折射率和细胞内颗粒的性状，它由一个光电倍增管接收并转变为电信号，这些电信号存储在流式细胞仪的计算机硬盘或软盘内。

流式细胞仪测定常用的荧光染料有多种，它们分子结构不同，激发光谱和发射光谱也各异，选择荧光染料时必须依据流式细胞仪所配备的激光光源的发射光波长（如氩离子气体激光管，它的发射光波  $488nm$ ，氦氖离子气体激光管发射光波长  $633nm$ ）。 $488nm$  激光光源常用的荧光染料有 FITC（异硫氰酸荧光素）、PE（藻红蛋白）、PI（碘化丙啶）、CY5（化青素）、PreCP（叶绿素蛋白）、ECD（藻红蛋白-得克萨斯红）等。它们的激发光和发射光波长见表 3-2。

表 3-2 激光光源的激发光和发射光波长 nm

类别	激发光波长	发射光峰值
FITC	488	525(绿)
PE	488	575(橙红)
PI	488	630(橙红)

续表

类别	激发光波长	发射光峰值
ECD	488	610(红)
CY5	488	675(深红)
PreCP	488	675(深红)

① 信号存储 存储在流式细胞仪的计算机硬盘或软盘内的数据一般是以 List mode (列表排队) 方式存入的, 采用 List mode 方式有两大优点: 节约内存和磁盘空间, 易于加工处理分析。

② 信号显示和分析 由于 List mode 方式数据缺乏直观性, 数据的显示和分析一般采用一维直方图、二维点阵图、等高线图和密度图。

a. 单参数数据显示和分析 细胞的每一个单参数测量数据用直方图来显示, 图中横坐标表示散射光或荧光信号相对强度值, 其单位是道数, 可以是线性的, 也可以是对数的; 纵坐标表示细胞数。一维直方图横坐标是 FITC 荧光信号相对强度值 (对数), 纵坐标表示细胞数; 图中已根据阴性对照设定适当的“门”(直线门), 仪器的计算机就会给出测定值 (包括阳性细胞 % 和平均荧光强度)。

b. 双参数数据显示和分析 细胞的双参数测量数据和细胞数量的关系用一维直方图、二维点阵图、等高线图和密度图显示和分析。

c. 三参数数据显示和分析 细胞的三参数测量数据和细胞数量的关系每两个数据组成一对 (三参数测量数据和细胞数量每两个数据可组成 6 对数据) 用一维直方图、二维点阵图、等高线图和密度图显示和分析。三个荧光数据关系用分光图 (prism) 表示, 分光图可直接给出 8 个数据 (如用 ABC 代表 3 种荧光, 可有 A+B+C+、A+B+C-、A+B-C-、A-B+C+、A-B+C-、A-B-C+、A+B-C+、A-B-C-)。

#### (5) 主要构造和工作原理 (细胞分选系统)

如在细胞流动室上装有超声压电晶体, 通电后超声压电晶体发生高频振动, 可带动细胞流动室高频振动, 使细胞流动室喷嘴流出的液流束断成一连串均匀的液滴, 每秒钟形成液滴上万个。每个液滴中包含着一个样品细胞, 液滴中的细胞在形成液滴前已被测量, 如符合预定要求则可被充电, 在通过偏转板的高压静电场时向左或向右偏转被收集在指定容器中, 不含细胞液滴或细胞不符合预定要求的液滴不被充电亦不发生偏转进入中间废液收集器中, 从而实现了分选。

### 3.4.3 流式细胞仪的应用领域

① 临床免疫学的应用, 包括免疫状态的评价、免疫功能监测、免疫疾病诊断、药物/疫苗效果的评价。

② 临床血液学的应用, 包括白血病和淋巴瘤、多发性骨髓瘤、血栓性疾病、血小板减少性疾病、红细胞疾病、干细胞移植。

③ 临床肿瘤学的应用, 包括肿瘤患者的免疫功能、检测肿瘤患者的黏附分子检查、细胞的 DNA 倍体分析、细胞周期检测、肿瘤预后估计、疗效监测、多药耐药性检测。

④ 血栓与止血的应用, 包括血小板活化分析、血小板膜糖蛋白分析、血小板抗体检测、网织血小板、检测血小板微粒分析。

⑤ 骨髓与器官移植的应用，包括骨髓或脐血的干/祖细胞测定、移植前配型、移植后的免疫监测。

在细胞生物学中，激光流式细胞计以极快的速度测定细胞周期中各时相细胞的百分比。借助测定细胞群体中每个细胞的 DNA 含量，可获得 DNA 含量的直方图，如图 3-18 所示。图中第一峰是 2C（二倍体）DNA 合成前期和静止期（ $G_1/G_0$ ）细胞，第二个峰是 4C DNA 含量的合成后期加有丝分裂（ $G_2+M$ ）细胞，从 2C~4C 的区间为 DNA 合成期（S 期）细胞。

在药物学中，可以通过测定服药前后细胞核内 DNA 含量的变化，观察药物疗效，用于筛选药物。如图 3-19（a）为服药前  $S_{180}$  癌细胞的 DNA 直方图。 $G_1$  为 DNA 合成期（2C），S 为 DNA 合成期（2C~4C）， $G_2+M$  为 DNA 合成后期和有丝分裂期（4C），L 为淋巴细胞，P 为多倍体细胞（ $>4C$ ）。图 3-19（b）为服药后  $S_{180}$  癌细胞的 DNA 直方图。由图 3-19 可见，服药后  $S_{180}$  癌细胞的增殖受到了极大的抑制。

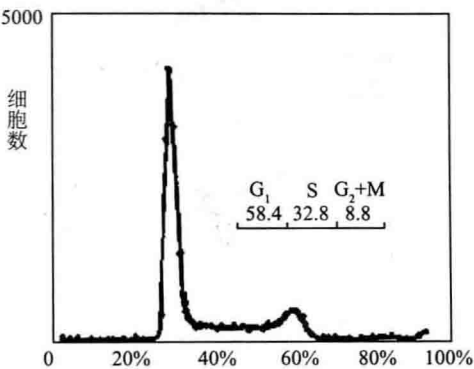


图 3 18 CMD 细胞各时相细胞的百分比

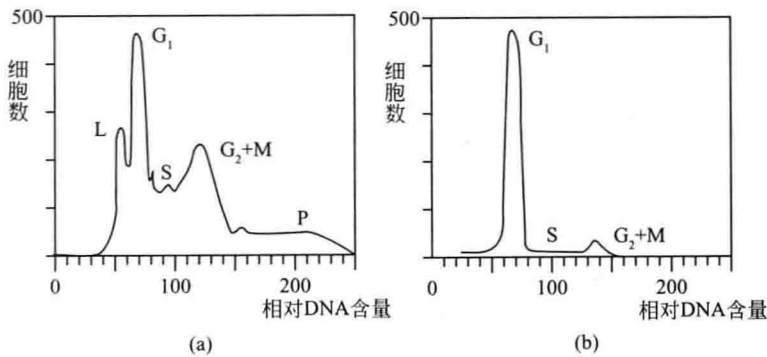


图 3 19  $S_{180}$  癌细胞的 DNA 含量直方图



# 第 4 章

## 汽车产品实例

### 4.1 电动汽车

由于内燃机车辆的高速发展，带来了能源短缺和环境恶化等问题。进入 21 世纪后，汽车工业和技术的可持续发展是汽车工业界的首要任务，为此各种电动汽车应运而生。电动汽车是指以车载电源为动力，用电机驱动车轮行驶，符合道路交通、安全法规各项要求的车辆。电动汽车产生的污染比汽油动力车要少，因此从环保方面考虑，在城市中电动汽车是汽油动力车的一种合适的替代方案。

2003 年创立于美国硅谷的特斯拉汽车，在传统巨头纷纷倒下的最艰难日子里，这个出奇制胜、名不见经传的“小弟”不仅挺了过来，而且发展得如日中天。

#### 4.1.1 电动汽车的类型

##### (1) 纯电动汽车

纯电动汽车（也称为蓄电池电动汽车）是仅由动力蓄电池向电机提供电能驱动车辆行驶的道路车辆，其结构如图 4-1 所示。

纯电动汽车的能量主要是通过柔性的电线而不是通过刚性联轴器和转轴传递，各部件的布置具有很大的灵活性。驱动系统布置不同会使系统结构区别很大；采用不同类型的电机（如直流电机和交流电机）会影响到纯电动汽车的质量、尺寸和形状；不同类型的储能装置也会影响电动汽车的质量、尺寸及形状。

不同的补充能源装置具有不同的硬件和机构，例如蓄电池可通过感应式和接触式的充电器充电，或者采用替换蓄电池的方式，将替换下来的蓄电池再进行集中充电。

##### (2) 混合动力电动汽车

混合动力电动汽车驱动车轮的能量至少来自两种不同的能量转换装置（如内燃机和电机）；能量转换装置要从两种以上的储能装置吸收能量；能量流至少有一条是可逆的，至少有一条是不可逆的。

##### (3) 燃料电池汽车

燃料电池作为动力源，汽车所有的功率负荷都由燃料电池承担。也有混合驱动形式，在燃料电池的基础上，增加一组电池或超级电容作为另一动力源。燃料电池汽车技术含量高，还处于研究的初级阶段。图 4-2 为福特公司的 P2000 燃料汽车。



图 4-1 纯电动汽车的构造



图 4-2 福特公司的 P2000 燃料汽车

### 4.1.2 电动汽车的特点

电动汽车的优点是它本身不排放污染大气的有害气体，即使按所耗电量换算为发电厂的排放，除硫和微粒外，其他污染物也显著减少，由于电厂大多建于远离人口密集的城市，对人类伤害较少，而且电厂是固定不动的，集中排放，清除各种有害排放物较容易，也已有了相关技术。由于电力可以从多种一次能源获得，如煤、核能、水力等，解除人们对石油资源日见枯竭的担心。电动汽车还可以充分利用晚间用电低谷时富余的电力充电，使发电设备日夜都能充分利用，大大提高其经济效益。有些研究表明，同样的原油经过粗炼，送至电厂发电，经充入电池，再由电池驱动汽车，其能量利用效率比经过精炼变为汽油，再经汽油机驱动汽车高，因此有利于节约能源和减少二氧化碳的排量。正是这些优点，使电动汽车的研究和应用成为汽车工业的一个“热点”。

电动汽车的困难是目前蓄电池单位重量储存的能量太少，还因电动车的电池较贵，又没形成经济规模，故购买价格较贵，至于使用成本，有些试用结果比汽车贵，有些结果仅为汽车的 1/3，这主要取决于电池的寿命及当地的油、电价格。

### 4.1.3 电动汽车的组成及结构

电动汽车的工作原理和过去的电瓶车一样，其工作原理为蓄电池→电流→电力调节器→电动机→动力传动系统→驱动汽车行驶，把原有汽车的发动机、变速器都取消了，而其他转向系、行驶系、制动系、悬架系统等底盘部分变化不大。核心技术就是蓄电池。

电动汽车的组成包括：电力驱动及控制系统、驱动力传动等机械系统、完成既定任务的工作装置等。电力驱动及控制系统是电动汽车的核心，也是区别于内燃机汽车的最大不同点。电力驱动及控制系统由驱动电动机、电源和电动机的调速控制装置等组成。电动汽车的其他装置基本与内燃机汽车相同。电动汽车的基本构造见图 4-3，其中双线表示接卸连接，粗实线表示电气连接，细线表示控制信号连接，箭头表示电功率和控制新高流动的方向。图 4-4 为丰田汽车公司 RAV4-EV 纯电动总布置图。

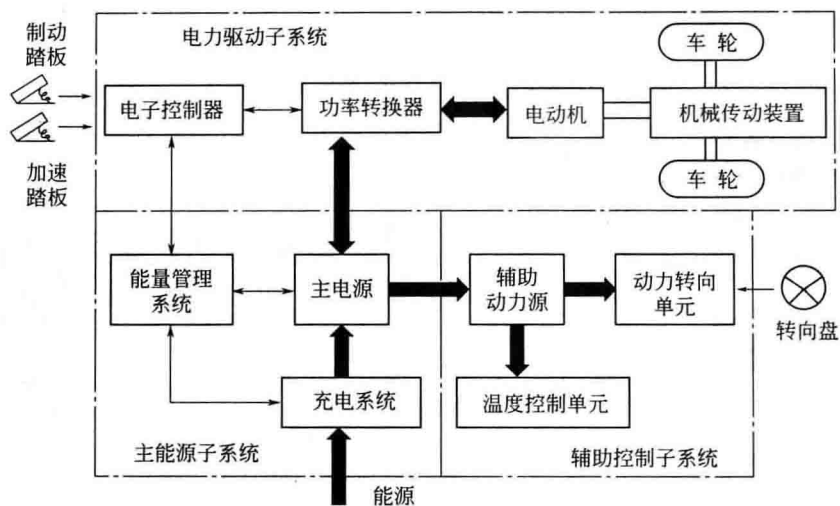


图 4 3 电动汽车的基本结构

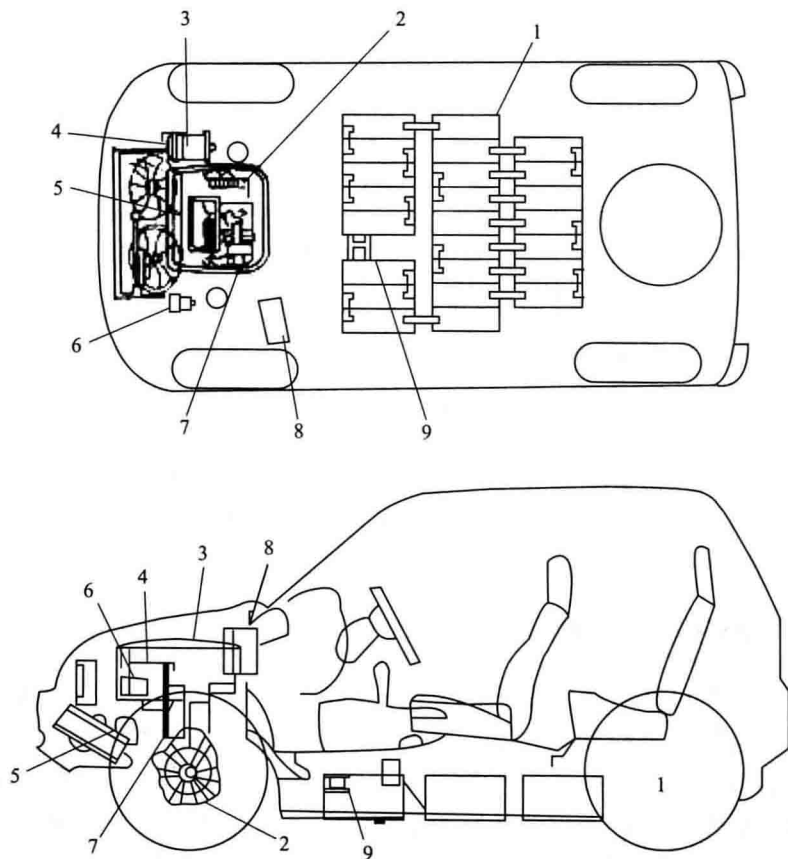


图 4 4 丰田汽车公司 RAV4-EV 纯电动总布置图

1—动力电池组；2—减速器；3—动力控制组件；4—空调压缩机；5—DC/DC 转换器；  
6—制动器用电动真空泵；7—驱动电动机；8—辅助电池；9—继电器

电动汽车的主要机构见表 4-1。

表 4-1 电动汽车的主要机构

类别	概念作用	组成	涉及种类		发展动态	技术性能要求
			名称	性能特点		
动力电源	为电动汽车的驱动电动机提供电能,电动机将电源的电能转化为机械能,通过传动装置或直接驱动车轮和工作装置		铅-酸蓄电池	比能量较低,充电速度较慢,寿命较短	逐渐被其他蓄电池所取代	
			钠-硫电池	原材料和制备成本低、能量和功率密度大、效率高、不受场地限制、维护方便等方面;理论比能量为 $760\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ,实际已大于 $100\text{W} \cdot \text{h/kg}$ ,是铅酸电池的 3~4 倍,充放电效率高;工作温度为 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ ,所以电池工作时需要一定的加热保温,需采用高性能的真空绝热保温技术		
			镍-镉电池			
			锂电池	能量比比较高,使用寿命长,重量轻;锂金属的化学特性非常活泼,使得锂金属的加工、保存、使用,对环境要求非常高	主流/普及发展	
			燃料电池	发展受阻		
			飞轮电池			
驱动电机	将电源的电能转化为机械能,通过传动装置或直接驱动车轮和工作装置		直流串激电动机	换向火花,比功率较小、效率较低,维护保养工作量大		
			直流无刷电动机(BLDCM)			
			开关磁阻电动机(SRM)			
			交流异步电动机			
电动机调速控制装置	为电动汽车的变速和方向变换等设置的,其作用是控制电动机的电压或电流,完成电动机的驱动转矩和旋转方向的控制		采用串接电阻或改变电动机磁场线圈的匝数来实现	其调速是有级的,且会产生附加的能量消耗或使用电动机的结构复杂	现在已很少采用	
			晶闸管斩波调速	通过均匀地改变电动机的端电压,控制电动机的电流,来实现电动机的无级调速		
			如 GTO、MOSFET、BTR 及 IGBT 等	直流逆变技术	必然的趋势	

续表

类别	概念作用	组成	涉及种类		发展动态	技术性能要求
			名称	性能特点		
传动装置	将电动机的驱动转矩传给汽车的驱动轴,当采用电动轮驱动时,传动装置的多数部件常常可以忽略	(离合器、变速器、差速器)万向传动装置、主减速器和半轴				电动机可以带负载启动,所以电动汽车上无需传统内燃机汽车的离合器。因为驱动电机的旋向可以通过电路控制实现变换,所以电动汽车无需内燃机汽车变速器中的倒挡。当采用电动机无级调速控制时,电动汽车可以忽略传统汽车的变速器。在采用电动轮驱动时,电动汽车也可以省略传统内燃机汽车传动系统的差速器
行驶装置	将电动机的驱动力矩通过车轮变成对地面的作用力,驱动车轮行走	车轮、轮胎和悬架				
转向装置	为实现汽车的转弯而设置的	转向机、方向盘、转向机构和转向轮等	机械转向			作用在方向盘上的控制力,通过转向机和转向机构使转向轮偏转一定的角度,实现汽车的转向
			液压转向			
			液压助力转向			
制动装置	为汽车减速或停车而设置的	制动器及其操纵装置	机械制动			
			电/气/液制动			
			电磁制动	利用驱动电动机的控制电路实现电动机的发电运行		减速制动时的能量转换成对蓄电池充电的电流,从而得到再生利用
工作装置	为完成作业要求而专门设置的					

(1) 电动汽车驱动系统

电动汽车(EV)驱动系统由车载电源、电池管理系统、驱动电动机、控制系统、车身及底盘和安全保护系统所组成。

① 车载电源 以动力电池组作为车载电源,用周期性充电来补充电能。动力电池组是EV的关键装备,储存的电能、质量和体积,对EV性能起决定性影响,也是发展EV的主要研究和开发对象。

EV发展的症结在于电池,电池技术对EV的制约仍然是EV发展的瓶颈。建立充电系统、报废电池回收和处理工厂,是推广EV的关键问题。

第一代EV电池为铅酸电池,优点是技术成熟,成本低;缺点是比能量和比功率低不能满足EV续驶里程和动力性能的需求,但进一步发展了阀控铅酸电池、铅布电池等,使铅酸



电池的比能量有所提高。

第二代高能电池为镍-镉电池、镍-氢电池、钠-硫电池、钠-氯化镍电池、锂离子电池、锂聚合物电池、锌-空气电池和铝-空气电池等。其优点为比能量和比功率都比铅酸电池高，大大提高了EV的动力性能和续航里程。缺点为有些高能电池需要复杂的电池管理系统和温度控制系统，各种电池对充电技术有不同要求。而且电化学电池中的活性物质在使用一定的期限后，会老化变质以致完全丧失充电和放电功能而报废，从而使EV的使用成本高。

第三代电池为飞轮电池、超级电容器。飞轮电池是电能-机械能-电能转换的电池。超级电容器是电能-电位能-电能转换的电池。这两种储能器在理论上都具有很大的转换能力，而且充电和放电方便迅速，但尚处于研制阶段。

车载电源上有高压电源和低压电源。动力电池组提供约155~380V高压直流电供电机工作。另外，空调系统的空压机，动力转向系统的油泵和制动系统的真空泵等，也需要动力电池组提供动力电能。动力电池组通过DC/DC转换器，供应12V或24V低压电，并储存到低压电池组中，作为仪表、照明和信号装置等工作的电源。

② 电池管理系统 其功能是对动力电池组充电与放电时的电流、电压、放电深度、再生制动反馈电流、电池温度等进行控制。同时，个别电池性能变化后，会影响到整个动力电池组性能，故需用电池管理系统来对整个动力电池组及其每一单体电池进行监控，保持各个单体电池间的一致性。

另外，动力电池组必须进行周期性充电。高效率充电装置和快速充电装置，是EV使用时所必需的辅助设备。可采用地面充电器、车载充电器、接触式充电器或感应充电器等进行充电。

③ 驱动电动机 是驱动EV行驶的唯一动力装置。驱动电动机的类型有直流电动机、交流电动机、永磁电动机和开关磁阻电动机等。

再生制动是电动汽车节能的重要措施之一。制动时电动机可实现再生制动，一般可回收10%~15%的能量，有利于延长EV行驶里程。在EV制动系统中，还保留常规制动系统和ABS制动系统，以保证车辆在紧急制动时有可靠的制动性能。

④ 控制系统 电动汽车的控制系统主要是对动力电池组的管理和对电动机的控制。如将加速踏板、制动踏板机械位移的行程量转换为电信号，输入中央控制器，通过动力控制模块控制驱动电动机运转；计算动力电池组剩余电量和剩余续航里程；对整车低压系统的电子、电器装置进行控制；采用各种各样的传感器、报警装置和自诊断装置等，对整个动力电池组-功率转换器-驱动电动机系统进行监控并及时反馈信息和报警。

⑤ 车身及底盘 电动汽车的车身造型特别重视流线型，以降低空气阻力系数。由于电动汽车动力电池组的质量大，为减轻整车质量，采用轻质材料制造车身和底盘部分总成。动力电池组占据的空间大，在底盘布置上还要有足够的空间存放动力电池组，并且要求线路连接、充电、检查和装卸方便，能够实现动力电池组的整体机械化装卸。

⑥ 安全保护系统 其功能一是高压安全，动力电池组具有高压直流电，必须设置安全保护系统，确保驾驶员、乘员和维修人员在驾驶、乘坐和维修时的安全；二是故障处理，必须配备电气装置的故障自检系统和故障报警系统，在电气系统发生故障时自动控制EV不能启动等，及时防止事故的发生。

电动汽车驱动系统的组成见图4-5。

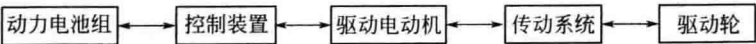


图 4-5 电动汽车驱动系统的组成

电驱动系统的结构形式如下。

① 传统的驱动系统（图 4-6） 电动机替代发动机，仍然采用内燃机汽车的传动系统，包括离合器、变速器、传动轴和驱动桥等总成。有电动机前置、驱动桥前置（F-F），电动机前置、驱动桥后置（F-R）等驱动模式。结构复杂，效率低，不能充分发挥电动机的性能。

② 简化的传统驱动系统（图 4-7） 采用固定速比减速器，去掉离合器，可减少机械传动装置的质量，缩小其体积。

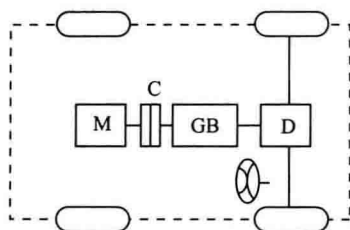


图 4-6 传统的驱动系统

M—电动机；C—离合器；GB—变速器；D—差速器

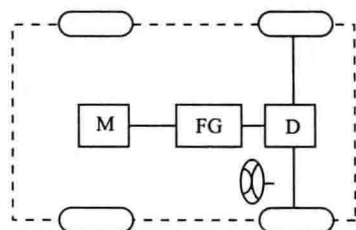


图 4-7 简化的传统驱动系统

M—电动机；FG—固定速比减速器；D—差速器

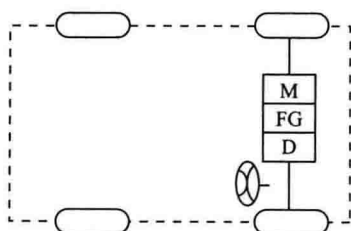


图 4-8 电动机-驱动桥整体式驱动系统

M—电动机；FG—固定速比减速器；D—差速器

③ 电动机-驱动桥整体式驱动系统（图 4-8） 与发动机横向前置、前轮驱动的内燃机汽车的布置方式类似。把电动机、固定速比减速器和差速器集成为一个整体，两根半轴连接驱动车轮。传动机构紧凑，传动效率较高，安装方便，在小型电动汽车上应用最普遍。

#### ④ 双电动机驱动系统

a. 采用两个电动机通过固定速比减速器分别驱动两个车轮。

b. 每个电动机的转速可以独立调节控制，便于实现电子差速，不必选用机械差速器（图 4-9）。

c. 如图 4-10 所示的电子差速器的优点是体积小、质量轻，在汽车转弯时可以实现精确的电子控制，提高电动汽车的性能；其缺点是由于增加了电动机和功率转换器，增加了初始成本，而且在不同条件下对两个电动机进行精确控制的可靠性需要进一步提高。

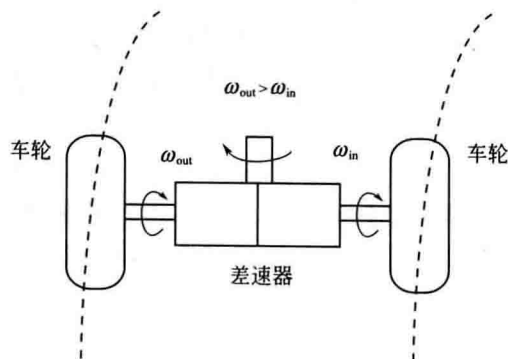


图 4-9 机械差速器

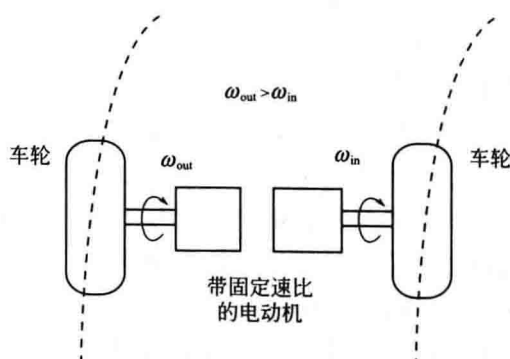


图 4-10 电子差速器

# ⑤ 内转子电动轮驱动系统（图 4-11）

- 电动机装在车轮内，形成轮毂电动机，可进一步缩短从电动机到驱动轮的传递路径。
- 采用高速内转子电动机（约 10000r/min），需装固定速比减速器降低车速。一般采用高减速比行星齿轮减速装置，安装在电动机输出轴和车轮轮缘之间，且输入和输出轴可布置在同一条轴线上。
- 高速内转子电动机具有体积小、质量轻和成本低的优点，但它需要加行星齿轮变速机构。图 4-12 所示为内转子电动轮。

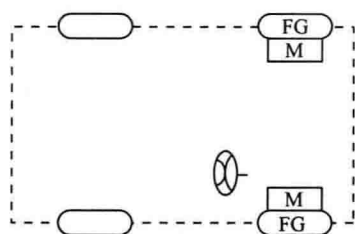


图 4-11 内转子电动轮驱动系统  
M—电动机；FG—固定速比减速器

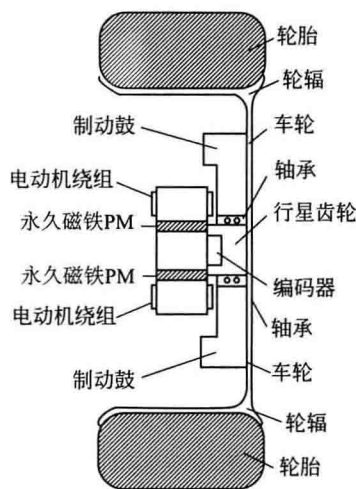


图 4-12 内转子电动轮

# ⑥ 外转子电动轮驱动系统（图 4-13）

- 采用低速外转子电动机，可完全去掉变速装置。
- 电动机外转子直接安装在车轮轮缘上，电动机转速和车轮转速相等，车轮转速和车速控制完全取决于电动机的转速控制。
- 低速外转子电动机结构简单，无需齿轮变速传动机构，但其体积大、质量大、成本高。图 4-14 所示为外转子电动轮。

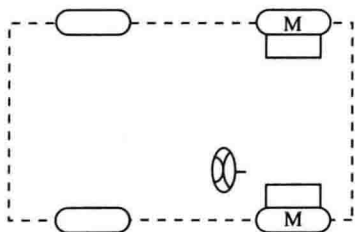


图 4-13 外转子电动轮驱动系统

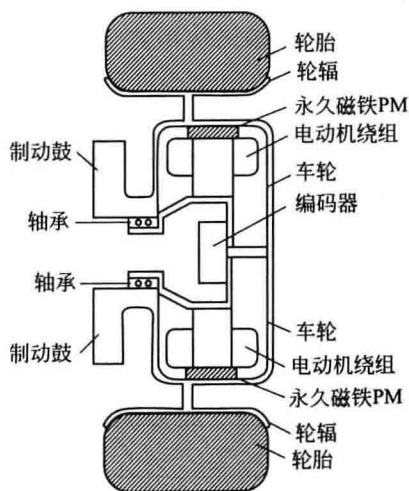


图 4-14 外转子电动轮

(2) 驱动电动机及其控制系统

驱动电动机的作用是将电源的电能转化为机械能，通过传动装置或直接驱动车轮和工作装置。目前电动汽车上广泛采用直流串激电动机，这种电动机具有“软”的机械特性，与汽车的行驶特性非常相符。但直流电动机由于存在换向火花，比功率较小、效率较低，维护保养工作量大，随着电机技术和电机控制技术的发展，势必逐渐被直流无刷电动机（BCDM）、开关磁阻电动机（SRM）和交流异步电动机所取代。

电动汽车对驱动电动机的基本要求：①较大范围的调速性能；②高效率，低损耗；③在车辆减速时实现制动能量回收并反馈蓄电池；④电动机的质量、各种控制装置的质量和冷却系统的质量等尽可能小；⑤对电气系统安全性和控制系统的安全性，都必须符合国家（或国际）有关车辆电气控制的安全性能的标准和规定，装置高压保护设备；⑥可靠性好、耐温和耐潮性能强，能够在较恶劣的环境下长期工作；⑦结构简单，适合大批量生产，运行噪声低，使用维修方便，价格便宜等。

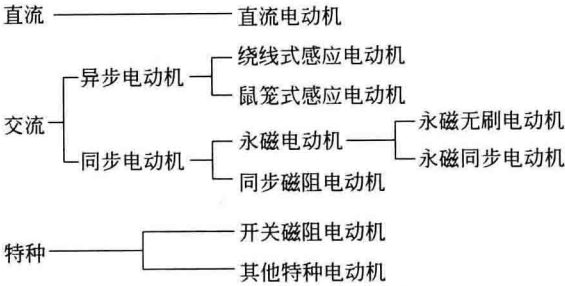


图 4-15 驱动电动机的基本类型

驱动电动机的基本类型见图 4-15。

直流电动机又分为永磁直流电动机和励磁绕组直流电动机，具有优良的电磁转矩控制特性，控制装置简单、价廉。但缺点是效率较低、质量大、体积大、可靠性低（有换向器和电刷）。

感应电动机又分为绕线式感应电动机和笼式感应电动机（多用于电动车）。其优点是效率高、结构简单、坚实可靠、免维护、体积小、重量轻、易于冷却（可直接向定子和转子喷油）、寿命长、能有效地实现再生制动等。控制方法为脉冲宽度调节（PWM）、变频变压调节（VFVV）、矢量控制调节（VC）、直接转矩控制（DSC）。

永磁电动机的优点为高质量比功率，高效率；缺点是控制系统复杂，成本高，功率范围较小等。

开关磁阻电动机的优点是高启动转矩、低启动电流；高效率、低损耗；电动机结构简单，适应于高速运转，成本低；电动机功率电路简单；可靠性好；具有良好的适应性。缺点是控制系统复杂，输出转矩波动较大，振动大、噪声大等。

表 4-2 给出了常用驱动电动机的基本性能比较。

表 4-2 常用驱动电动机的基本性能比较

项目	直流电动机	感应电动机	永磁电动机	开关磁阻电动机
比功率	低	中	高	较高
峰值效率/%	85~89	94~95	95~97	90
负荷效率/%	80~87	90~92	85~97	78~86
功率因数/%	—	82~85	90~93	60~65
恒功率区	—	1 : 5	1 : 2.25	1 : 3
转速范围/(r/min)	4000~6000	12000~15000	4000~1000	可>15000

续表

项目	直流电动机	感应电动机	永磁电动机	开关磁阻电动机
可靠性	一般	好	优良	好
结构的坚固性	差	好	一般	优良
电动机外廓	大	中	小	小
电动机质量	大	中	小	小
电动机成本(\$/kW)	10	8~12	10~15	6~10
控制操作性能	最好	好	好	好
控制器成本	低	高	高	一般

电动车用电机的选用原则：

- ① 采用技术成熟，性能可靠，控制方便和价格便宜的电动机，如感应电动机和永磁电动机。
- ② 电动机在低速时应具有大的转矩和超载能力，过载系数应达到 3~4；在高速运转时，应具有大的功率和有较宽阔的恒功率范围。
- ③ 有足够的动力性能克服各种行驶阻力，保证电动汽车有良好的启动、加速性能和行驶速度及实现制动能量回收。

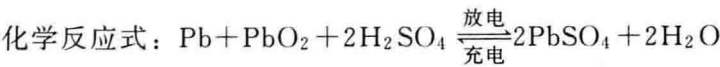
(3) 蓄电池结构及性能

① 工作原理 电化学电池单体的基本工作原理：电池正极和负极都浸在电解液中。放电时，负极发生氧化反应，向外电路释放电子；正极发生还原反应，从外电路得到电子。充电时，负极得到电子发生还原反应；正极失去电子发生氧化反应，见图 4-16。

工作时，多个单体电池串联组成蓄电池。

② 类型

a. 铅酸电池 [阀控铅酸电池 (VRLA)，2V] 单体额定电压 2V，比能量 35W·h/kg，比功率 200W/kg。



采用金属铅 Pb 作负电极，二氧化铅 PbO<sub>2</sub> 作正电极，用硫酸 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作电解液，为酸性蓄电池。

阀控铅酸电池具有密封、免维护、不漏液等特性，典型代表为 Electrosorce 公司的 Horizon 电池。铅酸电池的优点是技术可靠、生产工艺成熟、成本低、单体电池电压高，适合电动汽车使用的良好的大电流输出性能，良好的高温和低温性能，高的能量效率（75%~80%）以及多种多样的型号和尺寸。但缺点为比能量和能量密度都比较低（通常为 35W·h/kg 和 70W·h/L），自放电率较高（环境温度 25℃ 时每天降低 1%），循环寿命相对较低（约为 500 次），由于硫酸腐蚀电极不便于长期储存等。

b. 镍基电池 [镍-镉电池 (Ni-Cd)，1.2V，镍-锌电池 (Ni-Zn)，1.6V，镍氢电池 (Ni-MH)，1.2V 等类型]

i. Ni-Cd 电池。单体额定电压 1.2V，比能量 56W·h/kg，比功率 225W/kg。

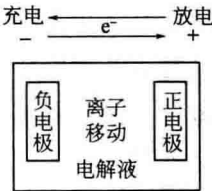
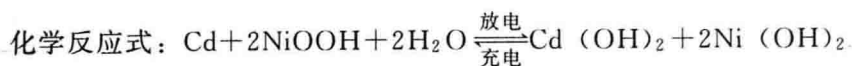


图 4 16 电化学  
电池工作原理

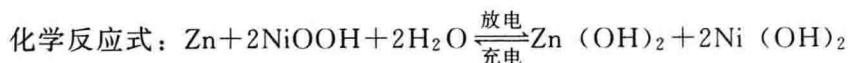




采用金属 Cd 作负极，NiOOH 作正极，用碱性 KOH 溶液作电解液，为碱性蓄电池。

Ni-Cd 电池的优点是比功率高于 220W/kg，循环使用寿命高达 2000 次，抗电流冲击能力强，机械强度高，在相当大的放电电流范围内都具有比较平滑的电压曲线，良好的快速充电能力（18min 内达电池容量的 40%~80%），较宽的工作温度范围（-40~85℃），自放电率小（<0.5%每天），优越的长期使用能力（电解液对电极的腐蚀作用可以忽略）以及较宽的尺寸和容量选择范围等。缺点是生产成本低（为铅酸电池的 2~4 倍），具有记忆效应，相对较低的电池电压以及金属镉具有致癌性等。

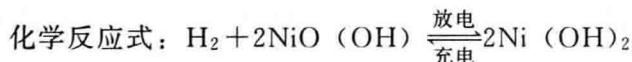
ii. Ni-Zn 电池。单体额定电压 1.6V，比能量 60W·h/kg，比功率 300W/kg。



采用锌作负极，NiOOH 作正极，用碱性 KOH 溶液作电解液，为碱性蓄电池。

Ni-Zn 电池的优点是比能量高，比功率高，电池单体电压高，设计成本低，无毒性，允许过充电和深度放电，可以大的放电率充/放电，工作温度范围宽（-20~60℃）等。致命弱点是循环寿命短（大约仅为 300 次）。

iii. Ni-MH 电池。单体额定电压 1.2V，比能量 65W·h/kg，比功率 200W/kg。



采用金属氢化物 MH 作负极，NiOOH 作正极，用碱性 KOH 溶液作电解液，为碱性蓄电池。

Ni-MH 电池的优点是高于其他任何镍基电池的比能量和能量密度，环保（无镉），平坦的放电曲线和快速充电性能（与 Ni-Cd 电池类似），可满足电动汽车使用的近期目标。众多电池生产厂家都致力于开发电动汽车用 Ni-MH 电池。缺点是初始成本高，有记忆效应，充电发热等。

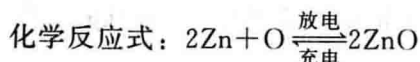
c. 金属空气电池 [锌空气电池 (Zn/Air)，1.2V，铝空气电池 (Al/Air)，1.4V] 金属空气电池采用金属负电极和空气正电极，具有很大的潜力提高比能量和能量密度。充电方式有电力充电和机械充电两种方式。电力充电方式：需要一个附加电极维持氧化作用或采用一个双功能电极以允许氧气的减少。

机械充电方式：采用更换金属电极的方法。充电过程包括四步：打开已放完电的电极盒，取出放电反应废物氧化锌或氧化铝；把氧化锌或氧化铝溶于氢氧化钾溶液中形成锌酸盐或铝酸盐；电解锌酸盐或铝酸盐溶液；将电解产生的锌粒或铝粒重新装入电极盒中。

金属空气电池的优点是高比能量和能量密度、低价格（采用了常用金属材料 and 空气）、环保、平坦的放电曲线以及与负载和工作温度无关的容量特性。机械充电方式采用加料方式实现了快速充电（与燃油车的加油方式相似），集中充电/回收方式实现了高效环保的利用电能。缺点是比功率低、工作温度范围有限、空气中的二氧化碳溶于水生成碳酸中和碱性电解液并释放氢气等。

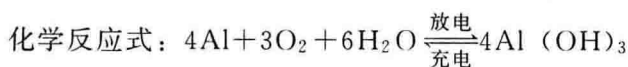
利用金属空气电池比能量和能量密度高的优点，与其他类型电池（如高比功率的铅酸电池）组合作为动力电源，可延长车辆续驶里程。

i. Zn 空气电池。单体额定电压 1.2V，比能量 180W·h/kg，比功率 95W/kg。



采用金属 Zn 作负极, O<sub>2</sub> 作正极, 用碱性 KOH 溶液作电解液, 为碱性蓄电池。

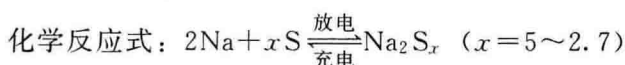
ii. Al 空气电池。单体额定电压 1.4V, 比能量 250W·h/kg, 比功率 7W/kg。



采用金属 Al 作负极, O<sub>2</sub> 作正极, 用碱性 KOH 溶液或盐溶液作电解液, 为碱性蓄电池。

d. 钠-β 电池 (钠硫电池, 2V, 钠镍氯化物电池, 2.5V)

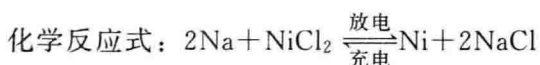
i. Na/S 电池。单体额定电压 2V, 比能量 170W·h/kg, 比功率 390W/kg, 工作温度范围 300~350℃。



采用熔铸钠作负极, 熔铸钠多硫化合物作正极, 用陶瓷 β-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作电解液。

Na/S 电池的优点是高比能量、比功率, 80% 的能量效率, 灵活的工作特性和对环境条件改变不敏感。缺点是安全问题 (熔铸活性物质具有腐蚀性并且反应活跃), 冻结-解冻耐久力技术未得到解决 (陶瓷电解液机械强度不够), 需要对热进行管理 (多余能量和发热的隔离) 等。

ii. Na/NiCl<sub>2</sub> 电池。单体额定电压 2.5V, 比能量 86W·h/kg, 比功率 150W/kg, 工作温度范围 250~350℃。

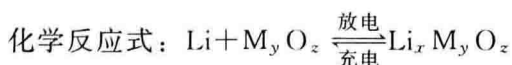


采用熔铸钠作负极, 固体镍氯化物作正极, 用陶瓷 β-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和钠铝氯化物作电解液。

Na/NiCl<sub>2</sub> 电池的优点是更高的开路电压、更宽的工作温度范围、化学反应物的安全性更好、更加可靠的失效模式、更好的耐冻结-解冻能力 (更小的温度差)。缺点是成本高 (镍成本较高), 比功率低。

e. 常温锂电池 [锂聚合物电池 (Li-Polymer), 3V, 锂离子电池 (Li-Ion)]

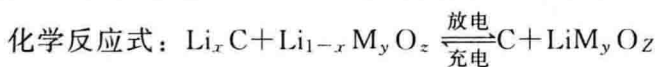
i. Li 聚合物电池。单体额定电压 3V, 比能量 155W·h/kg, 比功率 315W/kg。



采用金属锂作负极, 过渡金属氧化物 M<sub>y</sub>O<sub>z</sub> 作正极, 固态薄层电解液 (SPE)。

Li 聚合物电池的优点是电池单体电压高 (3V)、比能量和能量密度高、自放电率低 (0.5%/月)、形状和尺寸多变, 并且达到了安全设计 (降低了锂和固态电解液的活性)。缺点是低温性能较差。

ii. Li-Ion 电池。类型有镍基、钴基、锰基 (主要发展类型) Li-Ion 电池。镍基单体额定电压 4V, 比能量 120W·h/kg, 比功率 260W/kg。



采用锂碳化合物 Li<sub>x</sub>C 作负极, 锂化过渡金属氧化物 Li<sub>1-x</sub>M<sub>y</sub>O<sub>z</sub> 作正极, 液体有机溶液或固体聚合物作电解液。

Li-Ion 电池的优点是高电池单体电压, 高比能量和能量密度, 非常可靠的设计 (没有使用金属锂), 长循环寿命 (约 1000 次)。缺点是自放电率高 (10%/月)。

表 4-3 给出了各种电池性能参数的比较, 表 4-4 给出了各种电池的特点比较。

表 4-3 各种电池性能参数的比较

电池类型	比能量 <sup>①</sup> /(W·h/kg)	能量密度 <sup>①</sup> /(W·h/L)	比功率 <sup>②</sup> /(W/kg)	循环寿命 <sup>②</sup>
VRLA	30~45	60~90	150~300	400~600
Ni-Cd	40~60	80~110	150~350	600~1200
Ni-Zn	60~65	120~130	150~300	300
Ni-MH	60~70	130~170	150~300	600~1200
Zn/Air	230	269	105	
Al/Air	190~250	190~200	7~16	
Na/S	100	150	200	800
Na/NiCl <sub>2</sub>	86	149	150	1000
Li-Polymer	155	220	315	600
Li-Ion	90~130	140~200	250~450	800~1200
USABC	200	300	400	1000

① C/3 放电率。  
② 80%DOD (DOD 即循环深度, 80%DOD 即电池每次放出的容量为 80%)。

表 4-4 各种电池的特点比较

电池类型	主要优缺点	发展潜力
VRLA	技术成熟、成本低廉、可实现快速充电、比功率高	近期目标
	比能量低	潜力巨大
Ni-Cd	技术成熟、可实现快速充电、比功率高	近期目标
	成本高、比能量低	潜力大
Ni-Zn	比能量高、比功率高、成本低	中期目标
	循环寿命短	潜力大
Ni-MH	比能量高、比功率高、可实现快速充电	近期目标
	成本高	潜力巨大
Zn/Air	机械式充电、成本低廉、非常高的比能量	中期目标
	比功率低、不能接受再生制动能量	潜力巨大
Al/Air	机械式充电、成本低、非常高的比能量	中期目标
	非常低的比功率、不能接受再生制动能量	潜力低
Na/S	比能量高、比功率高	中期目标
	成本高、安全问题、需要热管理系统	潜力一般
Na/NiCl <sub>2</sub>	比能量高	中期目标
	成本高、需要热管理系统	潜力大
Li-Polymer	非常高的比能量、高的比功率	中期目标
	低温性能差	潜力大

电池类型	主要优缺点	发展潜力
Li-Ion	非常高的比能量和比功率	中期目标
	成本高	潜力巨大

#### (4) 电动汽车能量管理系统

电动汽车能量管理系统承担蓄电池的充放电管理、蓄电池的温度管理等功能。

蓄电池管理系统具有保护和诊断蓄电池的作用。可以防止蓄电池过电流放电（放电电流大于最大允许放电电流）；防止欠电压放电（放电过程中蓄电池电压低于截止电压）；防止过电流充电（充电电流高于允许的最大充电电流）；防止过电压充电（充电过程中蓄电池电压高于浮充电压）。上述限定值随着蓄电池类型、样式、充放电电流、工作温度和蓄电池老化程度不同而有所变化。

实现单体电池均衡的方法有均衡充电法、分流电路法和开关电容平衡器法。

① 均衡充电法 采用脉冲电流将所有电池都充满，这种方法适用于所有种类蓄电池的正常充电。

② 分流电路法 当电池组充满时，分流电路就会分流对应的充电电流，这种方法适于蓄电池的快充，而且对过充敏感的电池如锂离子电池尤为重要。

③ 开关电容平衡器法（图 4-17） 开关电容平衡器的作用是平衡所有电池组之间的电压。平衡器由与电池组并联的电容器和用于改变电容器与电池组连接关系的开关电路组成。如果电池组 1 的电压比电池组 2 的电压高，电容器就会与电池组 1 连接，这样电容器就会被充电直到与电池组 1 的电压相等；接着电容器与电池组 1 断开连接，与电池组 2 连接上，电容器给电池组 2 充电，直到电池组 2 的电压与电容器的电压相等。重复以上过程则两个电池组的电压会逐渐接近，最后达到电压的平衡。

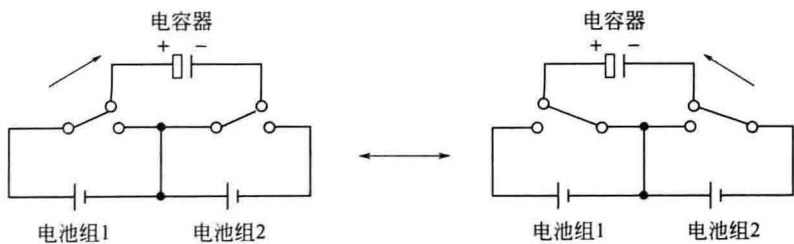


图 4-17 开关电容平衡器法

下面介绍蓄电池的温度管理方面的内容。

在蓄电池的充放电过程中将电池组的温度保持在正常的工作温度变化范围内。冷却后或者加热后的空气进入电池块之间的空隙中，然后从电池托盘底部的缝隙中吹出来。根据蓄电池的温度控制风扇转速可减少能量消耗。图 4-18 给出了 EV 能量传递和能量损耗流程。

① 能量传递 EV 由动力电池组提供直流电源，直流电经过控制器、逆变器等电子控制装置，转换成三相交流电来驱动电动机，然后通过减速器、驱动桥和车轮驱动车辆行驶。

② 能量损耗 在电能输送和转换过程中，有各种电能损耗。在机械驱动系统中，有各种机械损耗。电动机输出驱动功率 = EV 行驶时克服各种阻力功率 + 能量损耗功率，才能保证 EV 正常行驶。

③ 再生制动 制动时，驱动轮通过传动系带动以发电机状态工作的电机发电向动力电

池充电，从而将车辆制动时的动能转换为电能回收存储在动力电池中。

但再生制动回收的能量是不确定因素，因此不能作为 EV 可靠稳定的能量来源参与动力性能计算，一般只能有助于延长续驶里程。

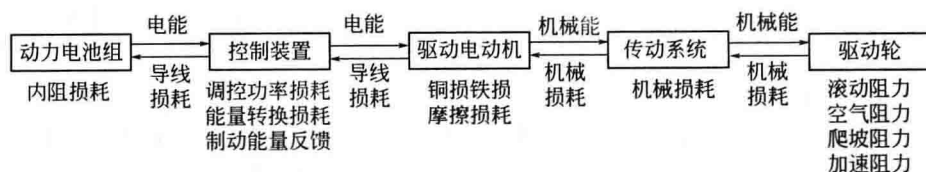


图 4-18 EV 能量传递和能量损耗流程

### (5) 电动汽车车辆管理系统

EV 有如下三个子系统。

① 电力驱动与传动子系统：由电控单元、功率转换器、电动机、机械传动装置和驱动车轮组成。

② 能源子系统：由主电源、能量管理系统和充电系统组成。

③ 辅助子系统：具有动力转向、温度控制和辅助动力供给等功能。

图 4-19 给出了 EV 车辆管理图。EV 车辆管理包括驱动、制动、充电、辅助动力供给和转向。

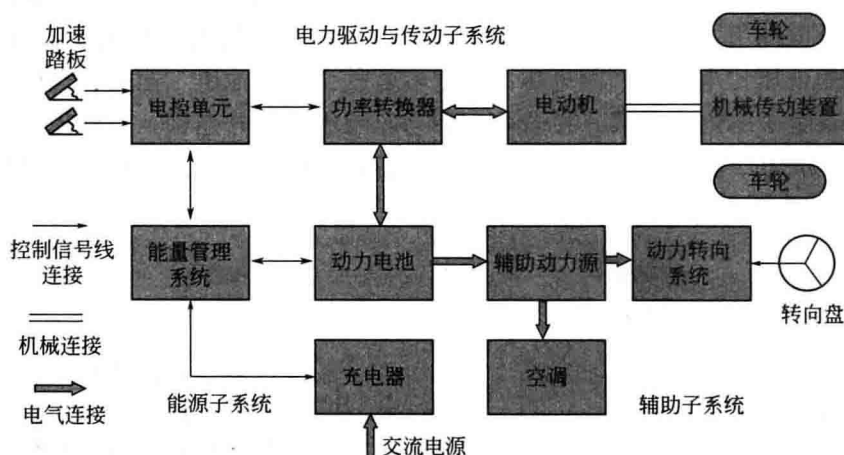


图 4-19 EV 车辆管理图

a. 驱动：根据从加速踏板的输入信号进行驱动，电控单元发出相应的控制指令来控制功率转换器功率装置的通断，调节电动机和电源之间的功率流。

b. 制动：根据从制动踏板的输入信号进行制动，能量管理系统和电控系统共同控制再生制动及其能量的回收。

c. 充电：能量管理系统和充电器共同控制充电并监测电源状况。

d. 辅助动力供给：主电源供给 EV 辅助系统不同等级的电压并提供必要的动力，主要给动力转向、空调、制动及其他辅助装置提供动力。

e. 转向：转向盘输入是一个重要的输入信号，动力转向系统根据转向盘的角位置决定汽车的转向。



4.1.4 纯电动汽车实例分析

1996 年 9 月，日本丰田汽车公司研制了 RAV4-EV 纯电动车样车（图 4-20），1997 年 10 月又推出了其改型车。该车是“零污染”和低维护的实用型 EV，已在美国批量销售。



图 4 20 丰田汽车公司 RAV4-EV 纯电动车

(1) 技术性能参数

丰田汽车公司 RAV4-EV 纯电动车技术性能参数见表 4-5。

表 4-5 丰田汽车公司 RAV4-EV 纯电动车技术性能参数

尺寸参数	总长/mm	3980	电动机	类型	永磁同步电动机
	宽度/mm	1695		工作电压/V	288
	高度/mm	1675		最大功率/kW	45
	轴距/mm	2410	技术性能参数	最高车速/(km/h)	125
质量参数	乘员数/人	5		一次充电后续驶里程 (10~15km 工况)/km	220
	整车质量/kg	1540			
电池组	类型	镍氢电池	充电器	类型	车载传导式
	单体电池数量/个	240		充电时间/h	6.5
	工作电压/V	288			

(2) 动力系统

① 动力电池组 免维护密封型 Ni-MH 动力电池组，由 240 节 1.2V 电池串联。采用强制性空气冷却，冷却风扇装在动力电池组的前部，对动力电池组的温度进行控制。动力电池组装在底盘中部和座椅的地板下面，可保证车厢有宽大的乘坐空间。

② 充电器 车载充电器可随时随地在有电源处进行充电，给用户带来很大方便。图 4-21 为带蓄电池拖车，可延长续驶里程。

(3) 驱动系统

采用永磁电动机，效率高，体积小。电动机-驱动桥整体式驱动系统见图 4-22，传动装置效率高，体积小，质量轻。制动时，电动机转换为发电机，将制动能量回收，并转化为电能储存到动力电池组中。驱动电动机的各种工况全部由动力控制组件调节与转换。



图 4 21 带蓄电池拖车

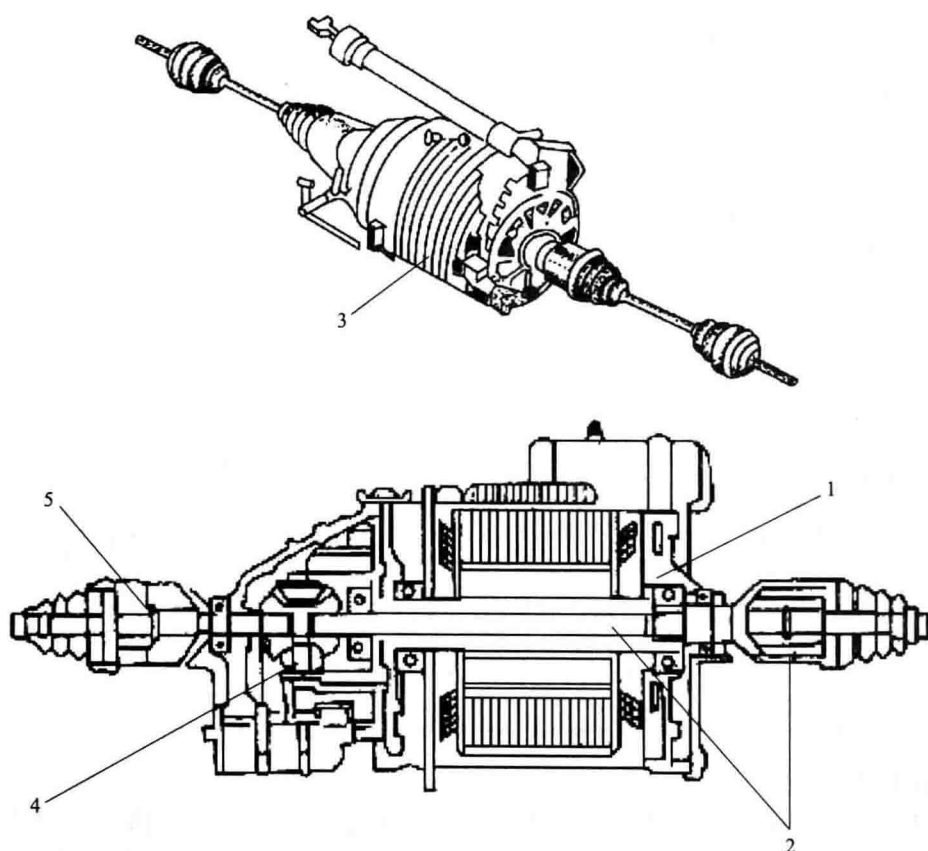


图 4 22 电动机-驱动桥整体式驱动系统

1—电动机外壳；2—电动机空心轴和右驱动轴；3—电动机转子；4—驱动桥差速器；5—左驱动半轴

#### (4) 操纵装置

加速踏板、制动踏板的机械位移量转换为电信号，输送到中央控制器中对整车进行控制。

#### (5) 控制系统

① 控制装置 电池管理系统模块对动力电池组的电流、电压和剩余电量进行检测与控制，并控制和调整充电时和再生制动时回收反馈电能的电压与电流，对动力电池组进行自检

和报警。

动力电池组的高压直流电通过逆变器转换为三相交流电驱动电动机运转。动力电池组还向空调系统的压缩机、制动系统的电动真空泵等提供电能，通过 DC/DC 电流转换器，将动力电池组的高压直流电转换为 12V 低压直流电，为仪表、照明和车身附件提供电能。

② 低压电气系统 动力电池组的电能通过 DC/DC 转换器，输送到 12V 辅助电池中，作为车身附件、照明和控制系统的电源。

③ 再生制动能量的回收 制动时，驱动电动机转换为发电机，将再生制动的能量转换为电能，反馈到动力电池组中。试验表明 RAV4-EV 电动轿车利用再生制动回收的能量，在高速公路上延长续驶里程可达 6%，在平坦路面上延长续驶里程可达 25%，在起伏不平路面上延长续驶里程可达 35%。

## 4.2 汽车防撞系统

汽车防撞系统是一种可向驾驶员预先发出视听报警信号的探测装置。它安装在汽车上，能在汽车行驶过程中及时探测各种障碍物的距离，并在必要情况下向驾驶员及乘客发出报警信号，以促使驾驶员采取应急措施来应对特殊险情，避免交通事故的发生。

汽车防撞系统是高科技的产物，它将伴随着光机电一体化技术的进步而得到新的发展。汽车防撞系统的核心在于快速、准确地测量出汽车与障碍物间的距离，并及时发出报警信号，最好还配备自动刹车装置以实现防撞。目前国内外出现的汽车防撞系统主要有：激光-单片机组合汽车防撞系统、激光雷达汽车自动防撞微机控制系统、相控激光测距系统、红外测距汽车防撞系统、超声波测距系统等。

### 4.2.1 激光-单片机组合的汽车防撞系统

#### (1) 系统的总体结构

激光-单片机组合的汽车防撞系统主要由单片机子系统、电源部件、前向检测部件（左右各 1 组）、后向检测部件（左右各 1~2 组）、报警部件、LED 拟图形显示器构成。其总体框图如图 4-23 所示。

由单片机子系统、电源部件、报警部件和拟图形显示器构成的主机安排在驾驶室仪表盘上；2 个前向检测部件分别安装在汽车驾驶室左右两旁专用后视镜的背面；2~4 组后向检测部件则安装在车尾后、外侧；主机和前、后向检测部件之间以长线驱动器连接。

#### (2) 工作原理

前、后向检测装置是用来测量发射光脉冲从发射到遇见障碍物返回的时间间隔，并将此送往主机。由单片机数据口读入前向检测装置发送的时差信号，而后向发送的时差信号经 HSO/HIS 口得到，再由单片机子系统完成时差到距离的变换、距离显示码和报警信号的输出。对车前、后方和左、右侧障碍物的不同距离分别采用四组红、黄、绿三色二极管作拟图

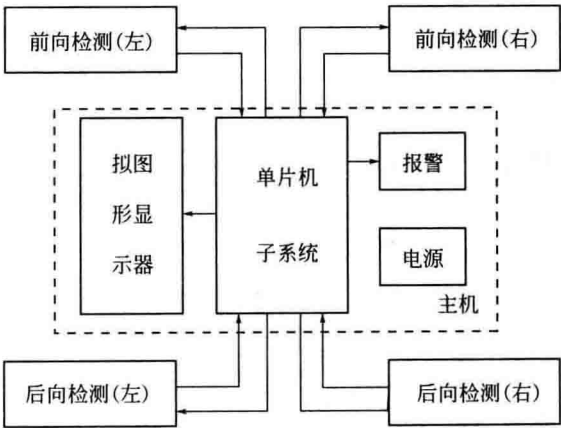


图 4-23 系统总体框图

形显示，当距离小于预定值时发出报警信号。

### (3) 前、后向检测部件

① 前向检测部件 如图 4-24 所示，前向检测采用激光-光电组件，即激光二极管发射，雪崩光电二极管接收。左右两侧前向检测部件中的激光二极管均旋转  $90^\circ$  角安装，利用其旋转后与平行路面方向成  $24^\circ$  发射角使发射波束在前方 5m 内交叠以取代一维扫描。

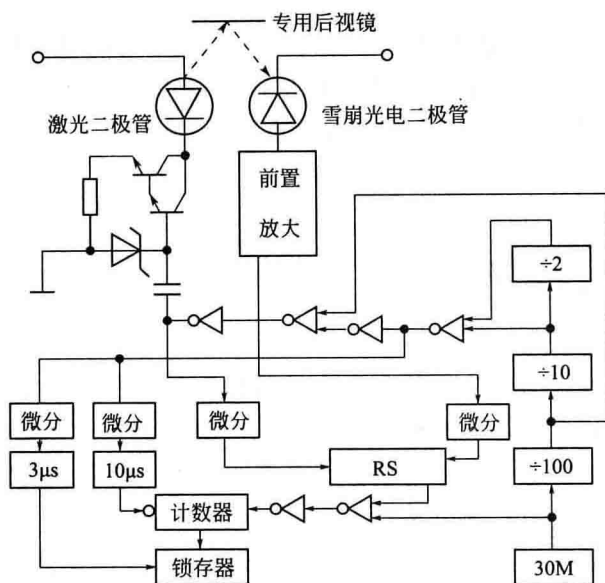


图 4-24 前向检测部件

激光二极管为松下 MEL4744 型，发射波长 830nm，输出功率 25mW，正向压降 2.7V，峰值电流 125mA，阈值电流 70mA，漏电流 0.5mA，旋转  $90^\circ$  角安装后，水平发散角为  $24^\circ$ ，垂直发散角为  $8^\circ$ 。硅雪崩光电二极管采用 nip 型，接收波长范围 500~1100nm，反向偏压 60~160V，暗电流 2~30nA，响应时间 0.5ns。从 30MHz 晶振取得周期约为  $67\mu s$ 、宽约为  $17\mu s$  的发射门控方波，左右两路错开半个周期。每个门控方波发射 5 个周期约为  $3.3\mu s$ 、宽度约为  $1.7\mu s$  的脉冲，其前沿将 RS 触发器置 1，且打开计数门对 30MHz 晶振填充脉冲计数，反射脉冲的前沿经前置放大和微分电路将 RS 触发器清零从而关闭计数门。5 次累计计数值经  $3\mu s$  延时后锁存， $10\mu s$  延时后清零，准备下一轮计数。

② 后向检测部件 其最大输入电压为 20V，工作频率 40kHz，发射脉冲宽度一般取  $200\mu s$ ，发射后需要有一段大约 1ms 的余振衰减时期。该系统单向有效测程在空气中为 6m。发射控制信号来自单片机的 HSO，接收的电平信号送单片机的 HIS。当单片机 HSO 和 HIS 的时间分辨率均为  $2\mu s$  时，后向距离单向检测精度不低于 1mm。图 4-25 为后向检测部件示意图。后向检测装置采用 400ET/R250 型电磁波收发头，且和 LM1812 电磁波收发专用集成电路组成单头收发共体系统。LM1812 的端子 1 接 LC 回路，端子 2、3 为接收级联，端子 4 为接收输入，端子 6 为发射输出，端子 8 为发射控制输入，端子 11 为时限保护，端子 12 接电源，端子 13 为电源去耦，端子 16 为接收电平输出，端子 17 为噪声抑制，端子 18 外接积分电容。 $L_1$  采用 TOKO 公司的 CIN-2A 900HM，发射时调谐振荡频率，接收时作为选频负载。 $L_6$  选用 TOKO 公司的 719VXA-A017A0。

当向 LM1812 的端子 8 输入电流 1mA（3.6V 以上的高电平脉冲）时，端子 6 将输出峰值功率 12W，峰值电流 1A，最高频率 325kHz 的脉冲。经电磁波收发头转换为电磁波发射。

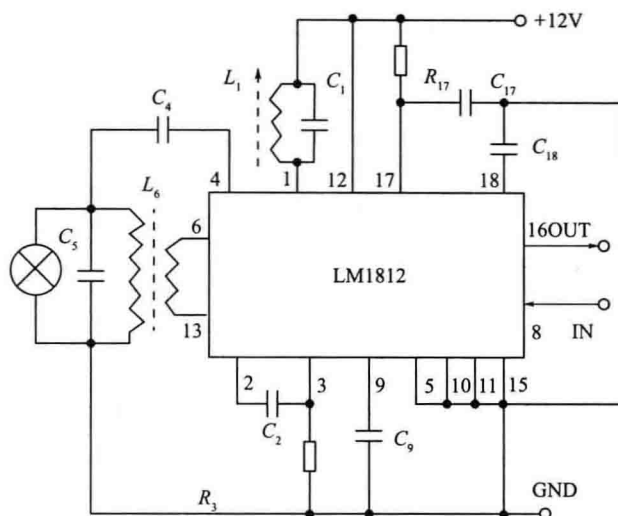
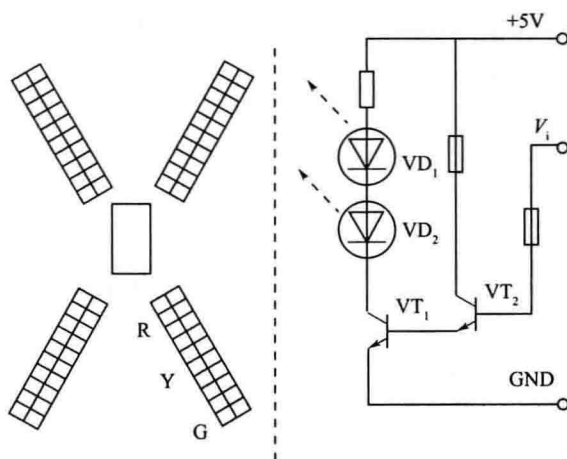


图 4 25 后向检测部件

遇障碍物返回的发射波通过 400ET/R250，再经选频放大、积分检测，最后由端子 16 输出。从发射到接收的电平输出的时间差反映了最近障碍物到车辆的距离。

#### (4) LED 拟图形显示器

三色 LED 拟图形显示器安装在汽车驾驶室内仪表盘上，前左、前右、后左、后右各一组三色 LED 拟图形显示器以显示障碍物的距离。2 个同色 LED 为 1 个单元，每组各 8 个单元。远距离 2 单元为绿色，中距离 2 单元为黄色，近距离 4 单元为红色。前方透光字样依次为 200m、150m、100m、75m、50m、25m、15m 和 5m，后方依次为 6m、5m、4m、3m、2m、1.5m、1m 和 0.5m。图 4-26 (a) 为平面布置，其与水平线成  $60^\circ$  角排列。拟图形显示为点模式或为线模式，线模式使从最远距离到相应距离的发光管全部发光，最多全部单元导通，最大功耗 0.3W。点模式只使与最近障碍物距离相应的一个发光管发



(a) 平面图

(b) 单元电路

图 4 26 三色 LED 拟图形显示器

光，最多 4 个单元同时导通，最大功耗 0.4W，最大电流 80mA。图 4-26 (b) 是拟图形显示器单元电路图，当  $V_i = 0.3V$  时，晶体管截止；当  $V_i = 3.6V$  时，输入电流约为  $10\mu A$ ，流过 LED 的驱动电流为 20mA。

激光-单片机组合的汽车防撞系统，能在正常行驶速度下或慢速倒车时检测和显示前、后方一定距离内有无障碍物，并在必要时报警，从而有效防止车辆在行驶或倒车时发生交通事故。

## 4.2.2 激光雷达汽车自动防撞微机控制系统

### (1) 系统的结构组成

该系统主要由计算机车间距离的激光测距雷达、中央处理器、汽车前后环境状况监测雷

达及显示器、发光部、受光部、车速传感器和速度传感器等组成。其总体设计方案如图 4-27 所示。图 4-28 是该系统的总体方框图。

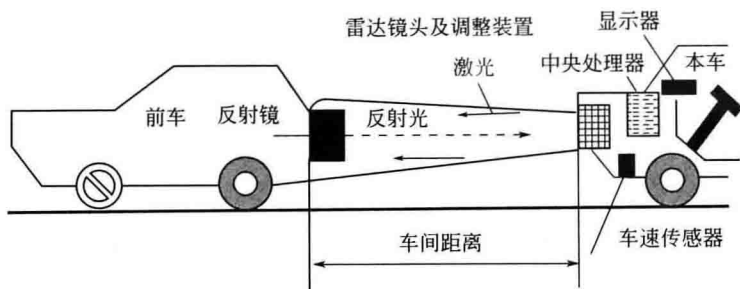


图 4-27 激光雷达自动防撞微机控制系统的设计方案

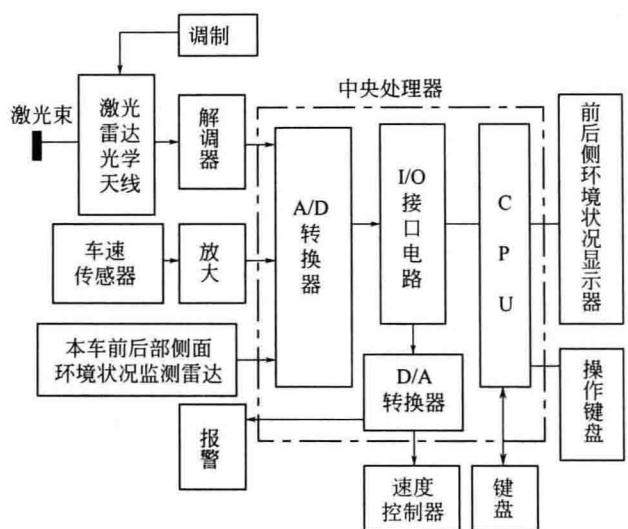


图 4-28 激光雷达自动防撞微机控制系统的总体方框图

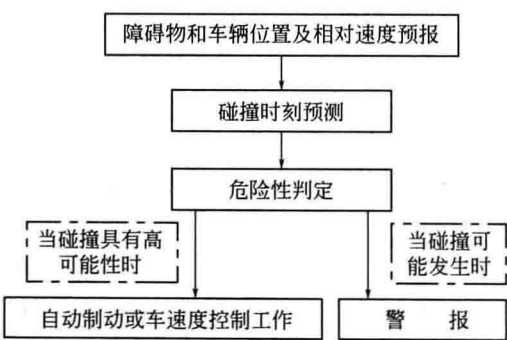


图 4-29 系统的工作原理示意图

(2) 工作原理

激光测距雷达安装在汽车前部格栅中心。光学天线发射的激光束遇到前面的障碍物后，产生向后散射信号，同样被光学天线接收，并调制出距离和方位信息。不断输出的距离和方位信息经中央处理器分析，可以判断前面物体的运动与否，计算出它相对本车的速度及车间距离，并判断它是否有可能与本车接触，从而决定本车最安全的行驶速度。当可能有危险发生时，系统触动报警装置，发出报警信号。图 4-29 为其工作原理图。

(3) 系统的软件设计

要想达到汽车防撞的目的，精确地测量出距离较近时两车间距离、相对速度显得极为重要。两车不相撞的条件是：

$$\begin{cases} R \geq S^* \\ T \geq T_{lim} \end{cases}$$



式中， $R$  为两车间实际距离； $S^*$  为临界安全距离，即两车不相撞的最短距离； $T$  为人的反应时间； $T_{lim}$  为最迟车间时间，即两车不相撞的警报最迟时间。

$S^*$  和  $T_{lim}$  分别由下式确定：

$$S^* = \frac{1}{2} \left| \frac{U_S^2}{G_S} - \frac{(U_S - U_R)^2}{G_P} \right|$$

$$T_{lim} = \frac{1}{2} \left| \frac{U_S}{G_S} - \frac{(U_S - U_R)^2}{G_P U_S} \right|$$

式中， $U_S$  为本车速度； $U_R$  为两车的相对速度； $G_P$  为前车减速度； $G_S$  为本车标准减速度。激光雷达的测距、测速公式如下：

$$R = \frac{c}{8V\omega_m} \times \frac{f_b^- + f_b^+}{2\omega}$$

$$U_R = \frac{c}{4f_0} (f_b^- f_b^+)$$

式中， $c$  为激光光速； $V\omega_m$  为最大调制频率； $\omega$  为调制波的重复频率； $f_b^+$  为正向调制时，发射信号与接收信号的差频； $f_b^-$  为负向调制时，发射信号与接收信号的差频； $f_0$  为发射波中心频率。

由上面公式可知，软件设计任务主要是完成实时检测  $f_b^-$ 、 $f_b^+$ 、 $U_S$ ，计算  $U_R$ 、 $R$ 、 $S^*$ ，并比较  $R$  与  $S^*$ ，根据计算与比较的结果进行危险性程度判定，即判断两车距离是否安全，并实时发出预警或险警信号。而且该系统还发出驱动车速控制器装置信号，始终使本车的车速、两车的车间距离处于最安全的状态。

汽车防撞系统适应于各种车辆，优先用于救护车、公交车、消防车、旅游车、抢险车、公务用车及出租车等。它将随着汽车工业的不断发展发挥越来越大的作用。

### 4.3 电子控制 ABS

防抱死制动系统 ABS 全称是 Anti-lock Brake System。它是一种具有防滑、防锁死等优点的汽车安全控制系统。ABS 是常规刹车装置基础上的改进型技术，可分机械式和电子式两种。它既有普通制动系统的制动功能，又能防止车轮锁死，使汽车在制动状态下仍能转向，保证汽车的制动方向稳定性，防止产生侧滑和跑偏，是目前世界上普遍公认的提高汽车制动安全性的有效措施之一。

在驾驶员、汽车和环境三者所组成的闭环系统中，汽车与环境之间的最基本联系是轮胎与路面之间的作用力。由于汽车行驶状态主要是由轮胎与路面之间的纵向作用力与横向作用力决定的，因此车轮与路面之间的作用力必然要受到轮胎与路面之间附着力的限制。ABS 可最大限度地利用轮胎与路面的纵向和横向附着系数，从而在制动过程中增强汽车的稳定性，防止侧滑和摆尾，同时在紧急制动过程中保持转向操纵能力，有效利用纵向附着力可以缩短汽车制动距离，同时也使轮胎的磨损大为减轻。

#### 4.3.1 ABS 的工作原理

汽车制动时由于车轮速度与汽车速度之间存在差异，因而会导致车轮与路面之间产生滑移。从图 4-30 所示的道路附着系数与车轮滑移率关系曲线可以看出：当车轮以纯滚动方式

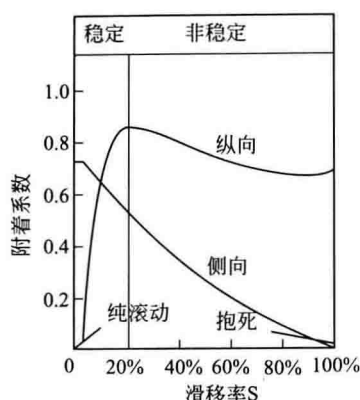


图 4 30 道路附着系数与车轮滑移率关系曲线

速度信号传送到微电脑里，微电脑根据输入车轮速度，通过重复地减少或增加车轮上的制动压力来控制车轮的打滑率，保持车轮转动。在制动过程中保持车轮转动，不但可保证控制行驶方向的能力，而且在大部分路面情况下，与抱死（锁死）车轮相比，能提供更高的制动力量。

防抱死制动系统是利用阀体内的一个橡胶气囊，在踩下刹车时，给予刹车油压力，充斥到 ABS 的阀体中，此时气囊利用中间的空气隔层将压力返回，使车轮避过锁死点。当车轮即将到达下一个锁死点时，刹车油的压力使得气囊重复作用，如此在 1s 内可作用 8~30 次，相当于不停地刹车、放松，即相似于机械的“点刹”。因此，ABS 能避免在紧急刹车时方向失控及车轮侧滑，使车轮在刹车时不被锁死，不让轮胎在一个点上与地面摩擦，从而加大摩擦力，使刹车效率达到 90% 以上，同时还能减少刹车消耗，延长刹车轮鼓、碟片和轮胎两倍的使用寿命。装有 ABS 的车辆在干柏油路、雨天、雪天等路面防滑性能分别达到 80%~90%、30%~10%、15%~20%。图 4-31 为 ABS 工作原理简图。

普通制动系统在湿滑路面上制动或在紧急制动的时候，车轮容易因制动力超过轮胎与地面的摩擦力而完全抱死。

### 4.3.2 ABS 系统的结构

ABS 系统均由最基本的总成——传感器、控制器和调节器三部分组成，并通过管线路连成一个有机整体，形成一个以滑移率为目标的自动控制系统。传感器、控制器和调节器的不同配置和控制方式可组成不同的 ABS 系统。而不同的系统具有各自的性能和成本。三者是互相制约的，特定的 ABS 系统的最佳构成需要在制动及操纵性能和成本之间协调，而最佳的结构对于不同类型的汽车和使用部门可以是不一样的。

在常见的 ABS 系统中，每个车轮上各安装一个转速传感器，将有关各车轮转速的信号输入电子控制装置。电子控制装置根据各车轮转速传感器输入的信号对各个车轮的运动状态进行监测和判定，并形成相应的控制指令。制动压力调节装置主要由调压电磁阀组成，电动泵组成和储液器等组成一个独立的整体，通过制动管路与制动主缸和各制动轮缸相连。制动压力调节装置受电子控制装置的控制，对各制动轮缸的制动压力进行调节。ABS 的安装见图 4-32。

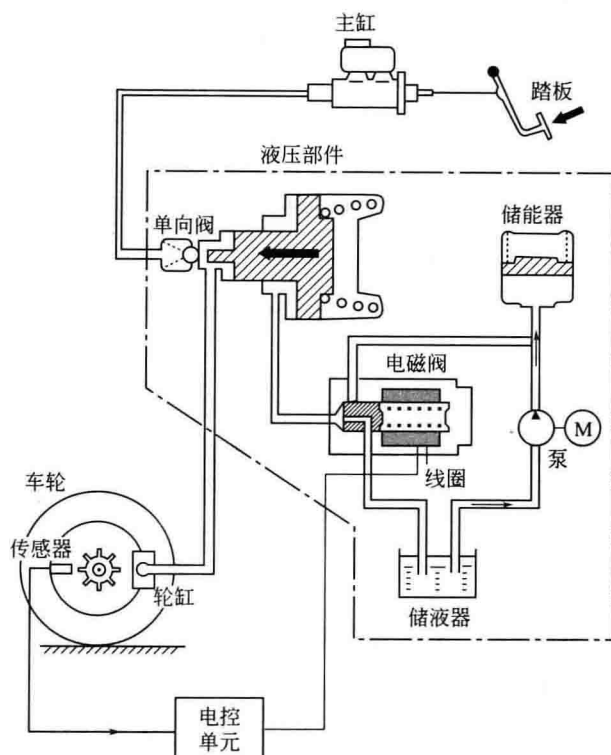
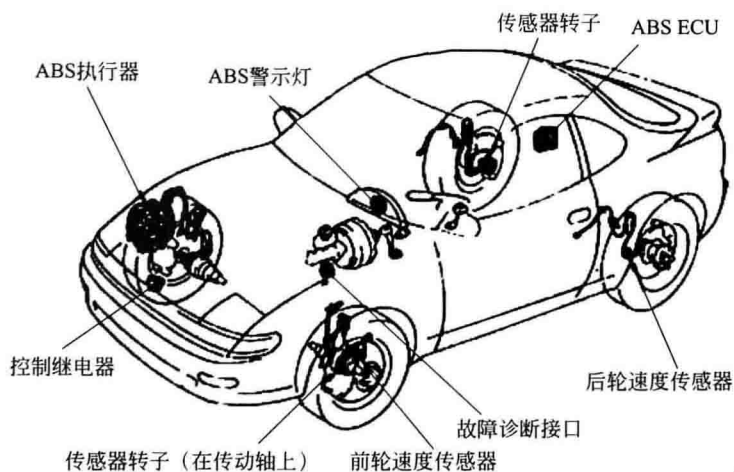


图 4 31 ABS 工作原理简图



**图 4-32** ABS 的安装

图 4-33 为对角车轮独立调节轴控制的 FKX-AC 型 ABS, 它由两套传感器、一个两通道控制器和两个调节器组成, 前轴传感器布置在右前轮, 后轴传感器布置在左后轮, 控制器布置在驾驶区仪表板上, 调节器分别连接到前、后制动管路中。

传感器由一个永磁式传感器和激磁环组成, 传感器一般固定在车轴或制动底版上, 激磁环则固定在轮毂上, 它们以非接触式将车轮传动的脉冲信号连续不断地传给控制器。

控制器监测、处理传感器输送来的信号,将其信号处理成车轮的速度、减速度、加速度和滑移率,并按照预先设定好的加、减速度和滑移率的门限值,将指令发给连接在制动管路中的调节器,从而实施加气、保持和放气功能,调节制动管路的压力,以满足多个车轮在不

同路面状况下的最大制动力的要求。

调节器是 ABS 的执行部分，它负责调节制动器中的气压，确保车轮不发生抱死现象。

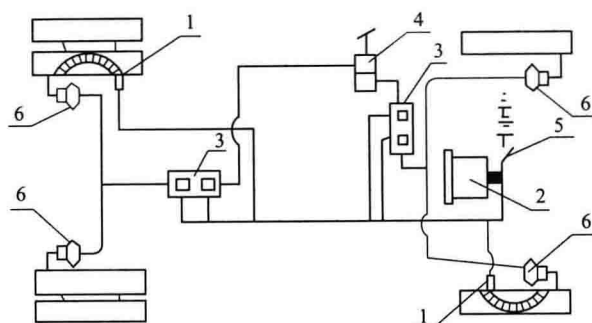


图 4 33 对角车轮独立调节轴控制的 FKX-AC 型 ABS

1—传感器；2—控制器；3—调节器；4—制动阀；5—开关；6—制动气室

### 4.3.3 ABS 系统的通道结构

ABS 系统的通道是指连接压力调节器与制动器的独立液压回路，按其数量可分为双通道、三通道、四通道和六通道结构。

双通道结构有两个传感器，一个或两个调节器安装在挂车或货车和牵引车的后轴上；三通道结构应用在两车轴汽车上的分布是，两个前轮各有自己的通道，分别装有传感器可独立进行调整，两个后轮装有一个传感器，共用一条通道。其缺点是当其中一后轮要抱死时，另一后轮要陪着受调整；较为理想的配置是每一车轮都装有传感器，有自己的通道，都可自己独立调整。如四轮汽车使用四通道结构 ABS，三轴汽车使用六通道结构 ABS，确保有最短的制动距离和最佳的方向稳定性。

### 4.3.4 FKX-AC 型 ABS

#### (1) 控制器

主芯片采用 INTEL 公司 8798 单片机，功能强、计算速度快、可靠性好、控制器硬件结构简单、元件少、故障率和耗电量低、耐久性好；控制逻辑能适应各种路面，在附着系数突变的情况下仍有良好的控制能力；具有完善的自检功能。接通电源开关后，首先自检控制器硬件和程序，然后检查传感器和调节器先导阀的电气状态，全部正常后才投入工作状态。制动过程中也进行自检，一旦发现故障，立即显示故障信息并自动退出控制。可恢复原车制动，有完善的故障显示，具有声、光报警，并可明确显示故障部位信息。

#### (2) 传感器

传感器为永磁式，具有信号强和耐振的特点。磁极销为圆柱形，无需径向定位，安装较方便。

#### (3) 调节器

调节器具有充气、保持及放气功能，制动过程可实施三位调节，有利于减少能耗；采用膜片式截止阀结构、摩擦阻力小，动作灵敏；采用螺管线圈电磁先导阀控制，动作响应频率高。

#### (4) 主要技术参数

主要技术参数见表 4-6～表 4-8。

表 4-6 控制器主要技术参数

外形尺寸	100mm×132mm×32mm
电压	DC 12V 或 DC 24V
工作温度范围	-40~75℃
工作环境相对湿度	30%~95%
最低工作车速	<9km/h
抗振能力	>250m/s <sup>2</sup>

表 4-7 压力调节器主要技术参数

外形尺寸	219mm×142mm×59mm
电压	DC 12V 或 DC 24V
工作环境温度	-40~75℃
工作介质	空气
最大工作压力	10bar

注：1bar=10<sup>5</sup>Pa。

表 4-8 传感器主要技术参数

外形尺寸	φ18mm×32mm
工作环境温度	-40~200℃
工作环境相对湿度	<95%
抗振能力	>500m/s <sup>2</sup>
传感头与齿圈间隙	0.4~0.6mm

(5) 安装

① 压力调节器 为带电磁阀的膜式三位三通阀，由图 4-34 所示的常闭和常通电磁阀、主阀体，进气膜片组和排气膜芯等组成。阀体上 1 为进气口，2 为出气口，排气口设在阀体下部。两个电磁阀相互配合可实现充气、保压和放气功能。

汽车制动时，来自制动阀的压缩空气通过串接在制动管路中的调节器，其常通电磁阀 4 即有先导气进入气室，并将排气膜芯压下，将排气阀口 N 封闭，压缩空气由进气口 1 经过出气口 2 充进制动气室，实现充气加压作用。当常闭电磁阀 5 接来自控制器信号时，先导气进入主膜片 7 上部气室 C，并推动膜片组件下移，使其阀芯 9 封住进气阀口 M，此时制动气室的压力保持不变。当常通电磁阀接到电

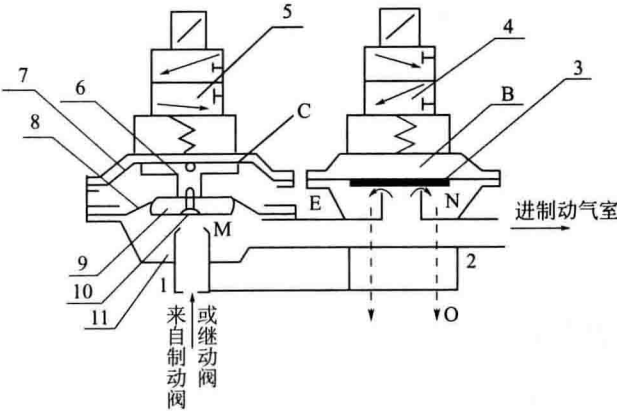


图 4-34 压力调节器结构

- 1—进气口；2—出气口；3—排气阀膜芯；4—常通电磁阀；  
5—常闭电磁阀；6—进气阀挺板；7—主膜片；8—副膜片；  
9—阀芯；10—螺钉；11—主阀体；B—排气阀先导气室；  
C—进气阀先导气室；E—隔板通气孔；M—进气阀口；  
N—排气阀口；O—通同大气口

信号时,可使原充入的先导气排出,制动气室的压力自动将排气膜芯顶开,并通过排气阀口N向阀体底部排入大气,实现放气功能,从而达到对制动力调节的目的。

可根据所提供的支架,用螺钉将调节器固定在支架带有凸台的一面,以保证排气通畅,然后将支架固定到车架或底架上。在车上的安装位置要尽可能接近制动气室减少转弯。管路的连接应牢固可靠,必要时加以固定,防止磨损。

当原车安装有快放阀或继动阀时,调节器应串接在制动气室与快放阀或继动阀之间。连接方式如图4-35所示。

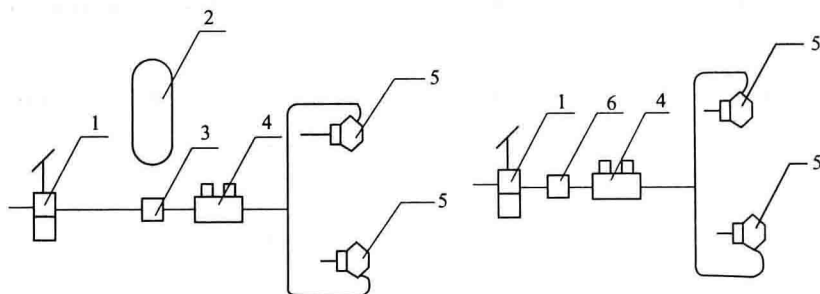


图 4 35 有快放阀或继动阀时的安装示意图

1—制动阀; 2—储气筒; 3—继动阀; 4—调节器; 5—制动气室; 6—快放阀

② 传感器与齿圈的安装 传感器与齿圈以非接触方式收集车轮的运动状态参数,齿圈固定在轮毂上,可与车轮一起转动。传感器通过支架固定在制动底板或车轴上,传感器的磁极销与齿面间隙为 $0.4\sim 0.6\text{mm}$ 。

对不同车型和制动器,传感器与齿圈的安装部位不尽相同,CA1090载重车前后轴传感器的安装见图4-36与图4-37。

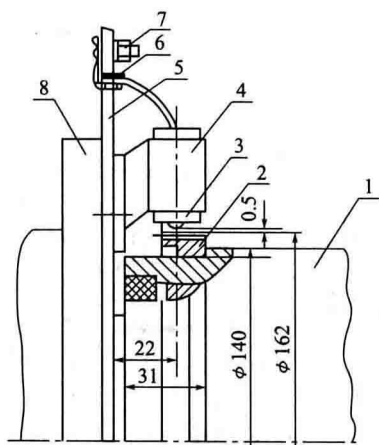


图 4 36 CA1090 前轴传感器安装示意图

1—轮毂; 2—齿圈; 3—传感器; 4—传感器支架;  
5—制动底板; 6—胶套; 7—夹板组件; 8—前轴

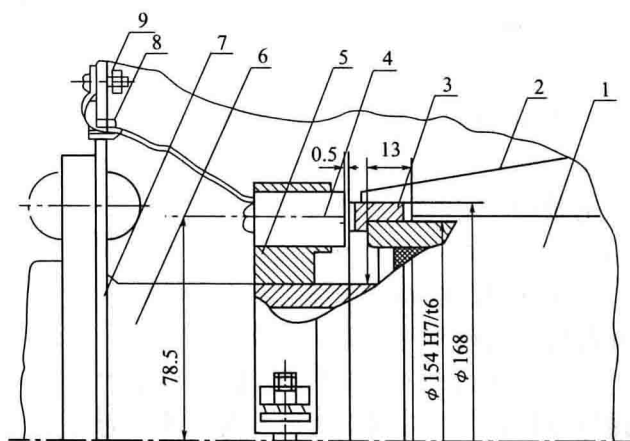


图 4 37 CA1090 后轴传感器安装示意图

1—轮毂; 2—防尘罩; 3—齿圈; 4—传感器; 5—传感器支架;  
6—后轴; 7—制动底板; 8—胶套; 9—夹板组件

③ 电气接线图 如图4-38所示,每个压力调节器有两个电磁先导阀,每个电磁先导阀有两个接线柱,其本身无正负之分。传感器接收车轮运动状态参数,其线路应采用屏蔽导线,以防外界电磁场干扰。

为了便于安装和防止差错,装置带有线束总成,一端与控制器插座相接,另一端对应地



将其接到传感器和调节器电磁阀上。连接应牢靠，线束在车架上安装应用线夹牢固，以防止摩擦，特别是在连接传感器导线时，应留出适当的长度，适应车架与车轴的相对运动，并注意捆扎好，以免挂断。

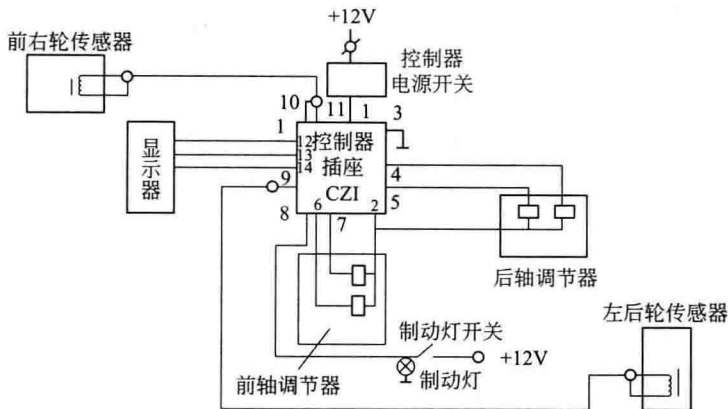


图 4 38 FKX-AC1 型 ABS 接线原理  
1~14—控制器插座与其他设备的接口

## 4.4 汽车安全气囊系统

图 4-39 所示的安全气囊系统是一种被动式安全保护装置，是汽车乘员辅助保护系统的一个重要组成部分。安全气囊系统又称为辅助防护系统（Supplemental Restraint System，简称 SRS）。安全气囊系统的功用是当汽车遭受碰撞导致车速急剧变化时，气囊迅速膨胀，在驾驶员、乘员与车内构件之间迅速铺垫一个气垫，使驾驶员、乘员头部与胸部压在充满气体的气囊上，利用气囊的阻尼作用和气囊排气节流的阻尼作用来吸收人体惯性力产生的动能，从而减轻人体遭受伤害的程度。

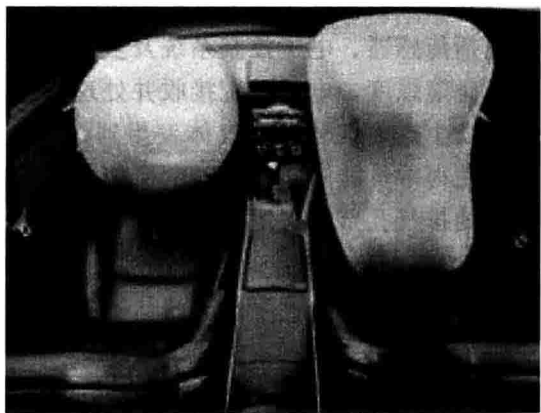


图 4 39 安全气囊系统

### 4.4.1 工作原理

当汽车发生碰撞事故时，汽车和障碍物之间的碰撞称为一次碰撞，一次碰撞的结果导致汽车速度急剧下降，一般降到速度为零的时间在 150ms 左右。由于惯性的作用，当汽车急剧减速时，乘员要保持原来的速度向前运动，于是就发生了乘员和方向盘、仪表板、挡风玻璃等之间的碰撞，从而造成了乘员的伤亡。乘员和汽车内部结构之间的碰撞称为二次碰撞。汽车安全气囊的基本思想是在发生一次碰撞后，二次碰撞前，由传感器接收撞击信号，只要达到规定的强度，传感器即产生动作并向电子控制器发出信号。电子控制器接收到信号后，与其原储存信号进行比较，若达到气囊展开条件，则由驱动电路向气囊组件中的气体发生器送去启动信号。气体发生器接到信号后引燃气体发生剂，产生大量气体，经过滤并冷却后进

入气囊，使气囊在极短的时间内突破衬垫迅速展开，在乘员和汽车内部结构之间打开一个充满气体的袋子，使乘员扑在气袋上，避免或减缓二次碰撞，从而达到保护乘员的目的。安全气囊对人体进行保护作用的原理如图 4-40 所示。

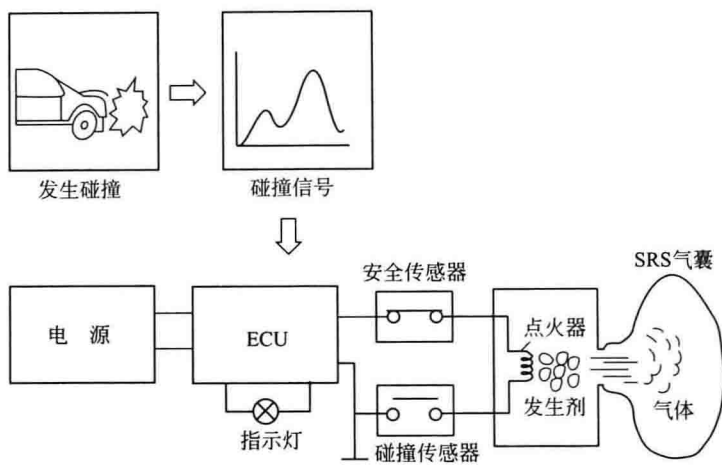


图 4 40 安全气囊对人体进行保护作用的原理图

4.4.2 组成及结构

安全气囊系统主要由图 4-41 所示的控制装置、气体发生器和气袋组成，其中控制装置又包括传感器、电子控制系统及触发装置。其工作原理为：在发生碰撞事故时，传感器感受汽车碰撞强度，电子系统接收并处理传感器的信号。当判断有必要打开气袋时，立即由触发装置发生点火信号触发气体发生器，气体发生器收到信号后迅速产生大量气体，并充满气袋，使得乘员能够与较柔软的吸能缓冲物件相接触，而不是与汽车的内饰件猛烈碰撞。依靠气袋的排气孔节流阻尼来吸收碰撞的能量，从而达到减少伤害保护乘员的目的。

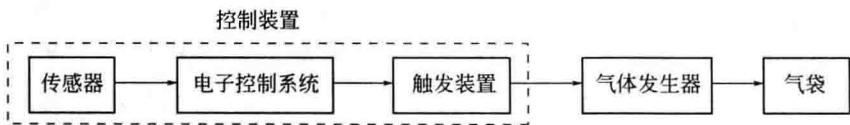


图 4 41 安全气囊系统组成

(1) 安全气囊

驾驶员侧气囊位于方向盘中心处，如图 4-42 所示。副驾驶员侧气囊位于仪表板右侧上方。安全气囊主要由气体发生器、气囊、衬垫和螺旋形电缆四部分组成。

安全气囊的全部动作完全由 CPU 的程序控制，按照人们事先设计的工作内容与步骤逐条执行。工作程序框图如图 4-43 所示。

汽车的点火开关闭合后，气囊就开始工作。首先把 CPU 等电子电路复位，紧接着是自检工作，专门由自检子程序对各传感器、引爆器、RAM、ROM、电源等部件逐个进行检查。如有故障，先执行总的故障显示灯显示子程序，使故障灯发出闪烁亮灯信号，驾驶员迅速把故障码读取开关合上，读取故障码，查出气囊故障部位。如果自检气囊无故障，则启动传感器采集子程序，对所有传感器进行巡回检测。如没有碰撞，程序又返回到自检子程序。

如果一直没有碰撞则程序就这样循环下去。如果有碰撞，经 CPU 的判断，如碰撞速度小于 30km/h 时，CPU 发出引爆双安全带预紧器的指令，点燃双安全带预紧器，拉紧双安全带，保护乘员，并且发出光电报警指令；如碰撞速度大于 30km/h，则 CPU 向所有的引爆器发出引爆指令，使两个安全带拉紧，两个气囊张开，同时发出光电报警指令；如果在较高速度碰撞后，主电源断线，则电源监控器自动启用备用电源，支持整个系统工作，并使报警工作直至备用电源耗尽。

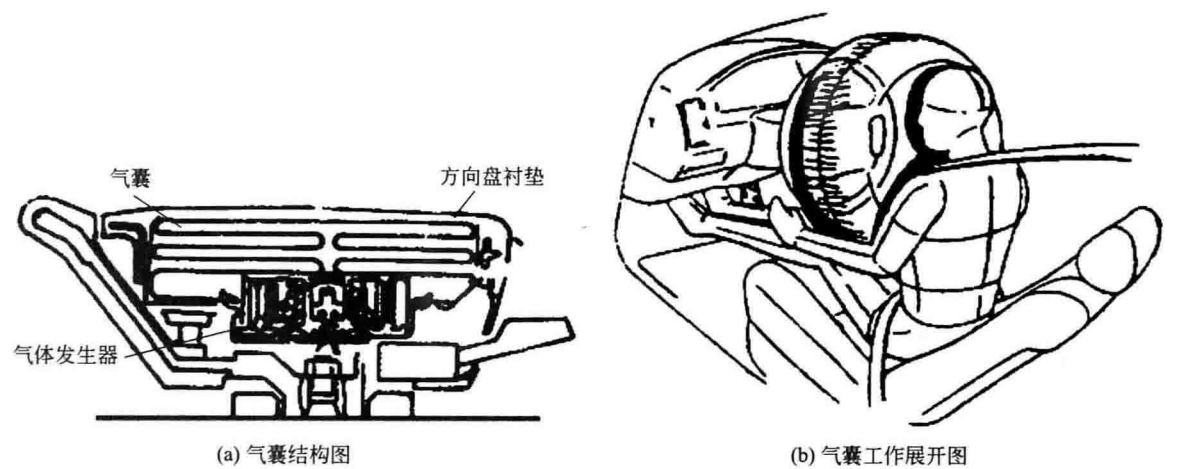


图 4-42 安全气囊结构和工作图

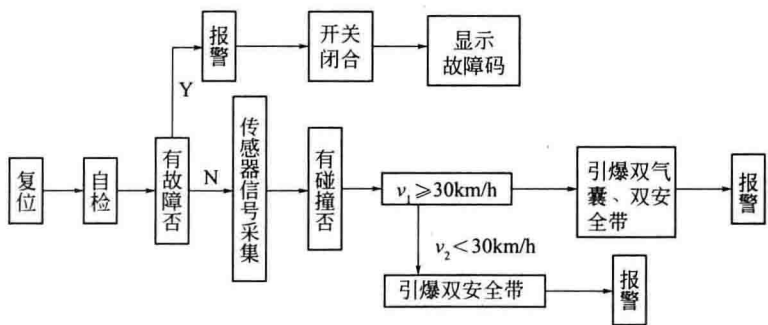


图 4-43 安全气囊的工作程序

例如某汽车以 50km/h 的速度与前方障碍物相撞，安全气囊引爆时序为：在撞车 10ms 后，达到引爆系统引爆极限，产生大量的炽热气体。此时，驾驶员由于惯性仍然坐着。20ms 后驾驶员开始移动，但还没有与气囊接触。40ms 后气囊已完全涨起，驾驶员逐渐向前移动，安全带被拉长，人的部分冲击能量已被吸收。60ms 后驾驶员已开始沉向气囊。80ms 后驾驶员的头部和身体上部沉向气囊。气囊的排气口打开，其中的气体在高压下匀速地逸出，以吸收能量。100ms 后车速已降为零，这时对车内乘员来说，危险期已结束。110ms 后驾驶员向前移动已达到最大距离，随后身体开始后移，回向座位。这时大部分气体已从气囊中逸出，前方又恢复了清晰的视野。

在汽车碰撞至乘员碰撞之间有一时间间隔，约 0.05s，就这一点时间给防撞安全气囊提供了工作机会，防撞气囊在瞬间充满气体，在乘员前面形成一道柔软的弹性屏障，弹性体使力的作用时间延长，因而负加速度减小，作用力也随之减小；柔软接触面使力的作用面积加大，防止作用力集中压在乘员头部突出部分。因此，防撞安全气囊的工作对乘员起到了保护

作用。

## (2) 安全气囊传感器

安全气囊传感器在防撞安全气囊系统中用来测定碰撞强度，将碰撞强度转换为电信号，输入电子控制装置，作为是否启动防撞气囊的计算参数。

传感器的性能应达到如下要求：在人体可能受到极轻微损伤的情况下，传感器对于展开安全气囊的判断应该是否定的；而在人体可能受到严重损伤必须使用安全气囊时，传感器必须及时发出信号使安全气囊得以展开，即必须在最大的允许时间之前展开安全气囊。

最大的允许时间是指当发生碰撞事故时，人体在加速度的作用下向前运动，到距离气囊一定位置，气囊必须展开以准备同人体接触，有效保护人体免受损伤所需的最大时间。

如果人体运动到距离气囊很近时，气囊还没有展开，爆发的气囊极可能对人体造成损伤。因此，必须利用人体的运动距离来确定传感器启动安全气囊的时间。对于高速碰撞事故，传感器要符合 12.7cm/30ms 准则。这个准则的含义是：汽车碰撞过程中，乘员在未系安全带的情况下，乘员胸部向前移动达到 12.7cm 时刻的前 30ms 时刻为目标点火时刻。

传感器种类很多，按功能不同，可分为碰撞传感器和安全传感器两种。碰撞传感器主要用来检测碰撞的强度。若达到规定强度，则使气囊展开，产生保护。所谓规定强度，即是若汽车以 40km/h 的车速与一辆正在停放的同样大小的汽车相碰撞的程度，或者以不低于 22km/h 的车速迎面撞到一个不可变形的固定障碍上时的碰撞程度。安全传感器有保险作用，用来防止因碰撞传感器短路而造成气囊误展开。

按结构形式不同，传感器又可分为电子式、机电式和机械式三类。按其在汽车上的分布位置不同，还可分为前气囊传感器、中央气囊传感器、安全传感器三种。

前气囊传感器安装在两侧前翼子板内，当减速度超过预定值时，开关闭合，从而向电子控制装置发出触发信号。中央气囊传感器安装于电子控制装置内，而电子控制装置安装在仪表台中央下端。图 4-44 所示为该传感器芯片的构造。

在 N 型系列基板上扩散 P 型硅层，形成测试阻抗的半导体压电阻。作用于悬臂梁的减速度，使梁由于质量作用而扭曲，便可测量阻抗变化。在硅基板上的压电阻及前置放大器、高通滤波器、主放大器的信号处理电路整体组装在双极集成电路上，以避免受到传感器噪声的影响。这种集成化加速度传感器芯片，安装在密封盒中，并充满了硅油。硅油以悬臂梁的固有振动频率被迫共振。安全传感器安装在电子控制装置内，是一个以水银为导体的常开开关，如图 4-45 所示。

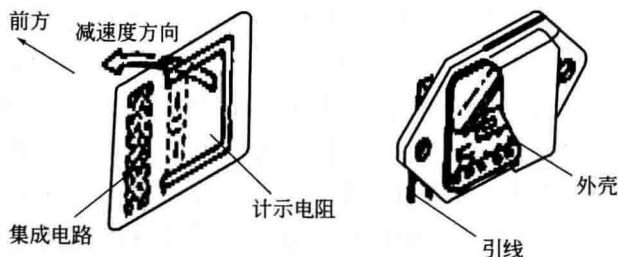


图 4 44 中央气囊传感器

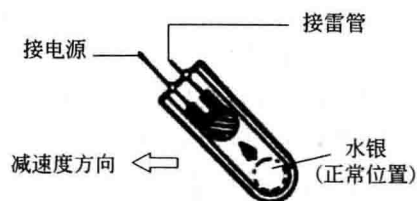


图 4 45 安全传感器

当汽车发生碰撞且减速度超过一定值时，水银便在惯性作用下，接通触点，安全传感器闭合。此传感器设定的减速度值比前气囊传感器和中央气囊传感器的要小。安全传感器只有在车辆前方发生碰撞时才对减速度做出响应，除此以外的其他原因，即使中央气囊传感器和

前气囊传感器输出信号，只要安全传感器无输出信号则判定车辆无碰撞，以防止在不必要情况下展开安全气囊。

(3) 电子控制装置

电子控制装置是安全气囊系统的控制中心，其功能是接收碰撞传感器及其他各传感器输入的信号，判断是否点火引爆气囊充气，并对系统故障进行自诊断。

电子控制装置由稳压电路、备用电源电路、气囊系统侦测电路、点火控制引爆电路、触发传感器和故障自诊断电路等部分组成。

汽车安全气囊系统中引发器点火判断逻辑电路如图 4-46 所示。

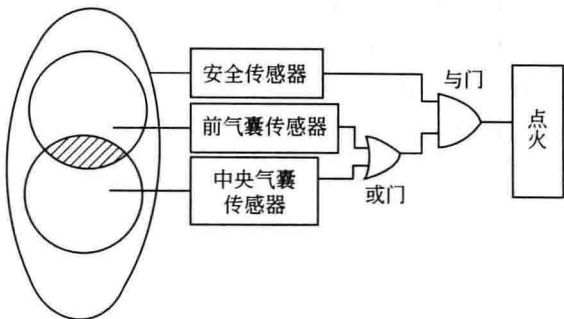


图 4-46 气囊点火判断逻辑电路

## 4.5 汽车用激光雷达

随着汽车的快速普及，大中城市中道路的堵塞和交通事故的日益增加，这已成为一个大的社会问题。欧美国家及日本等国进行了许多“利用汽车和道路的智能化管理来提高安全性和实现交通效率化”的研究，如美国的“智能车辆高速公路系统”，欧洲的“具有最高效和空前安全度的欧洲交通计划”，日本的“先进安全车辆”、“超级灵巧车辆系统”、“车辆信息和通信运输系统”、“先进道路运输系统”和“通用交通管理系统”，它们都是以电子技术为中心的先进技术及其应用技术。研究汽车前方监视和探测障碍物用的红外激光雷达，对车辆和行人都有实用价值。

### 4.5.1 测距原理

按雷达来分类，汽车用激光雷达属于脉冲方式，使用时向自己车辆的前方照射红外激光短脉冲，然后测定发射光从障碍物等目标返回的时间  $\Delta t$ ，则距离  $R = c\Delta t/2$ ，式中  $c$  为光速，见图 4-47。

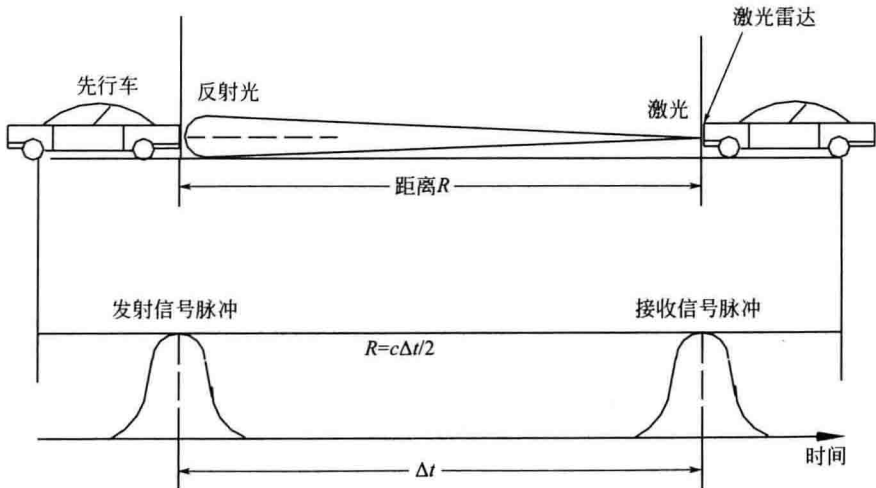


图 4-47 脉冲雷达测距原理

4.5.2 系统构成和测量方式

图 4-48 给出了激光雷达系统方框图。由激光二极管（LD）振荡发射出的发射光脉冲，经发射光透镜收缩成所规定的光束，再用扫描镜左右扫描，向空间发送，照射在前方车辆和障碍物等目标上。由目标反射回来的光从扫描镜经由接收光透镜、光纤，被导入信号处理装置内的光电二极管（PD）。再用计数器回路计数激光二极管的启动脉冲信号和光电二极管的终止脉冲信号时间，将距离数据输出。利用位置探测器（PSD）测定反射镜的角度，将角度数据输出。这样，就能测出被测物的二维位置（距离、角度）。

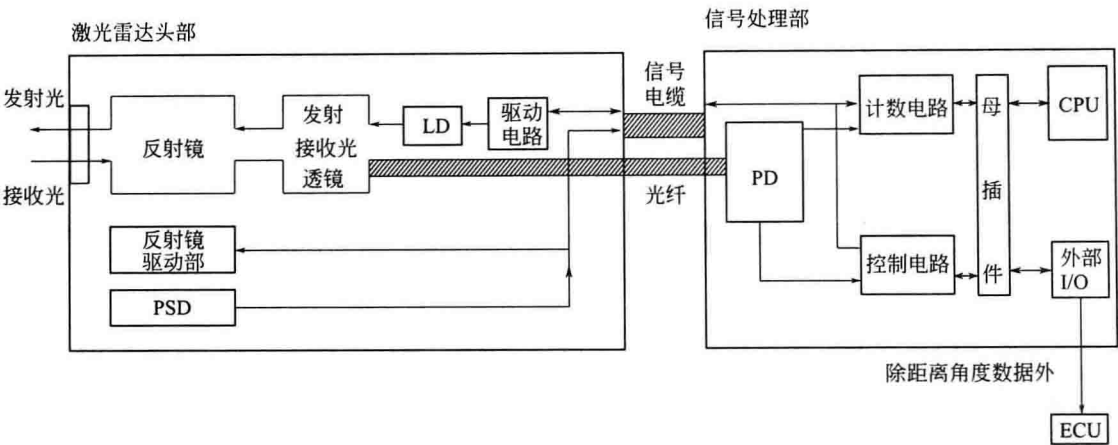


图 4-48 激光雷达系统方框图

由于通过光纤把接收光从雷达头部导入信号处理装置内的光电二极管中，光电二极管和接收回路部与雷达头部分离，所以雷达头部装置可实现小型化。本系统的最大特征是扇形射束的水平方向幅度窄，垂直方向幅度宽，并可进行宽幅高速扫描。

4.5.3 技术指标

激光雷达的主要技术参数见表 4-9。

表 4-9 激光雷达的主要技术参数

发光原件	脉冲激光二极管
激光波长	0.9 $\mu$ m
发射光输出(峰值)	12W
脉冲宽度	15ns
脉博冲往频率	8.8kHz
光接收元件	雪崩光电二极管
发射光透镜直径	$\phi$ 10mm
光接收透镜直径	$\phi$ 20mm
扫描方式	反射镜往复旋转
扫描周期	30ms
测定数据	267 数据
头部大小	140mm $\times$ 75mm $\times$ 85mm



行驶中的车辆，随着路面的变化和车辆的运动，车体的方向要发生变动。这种变动中，上下方向的变动叫做纵向运动，成为安装在车辆前部的激光雷达逃避目标的原因。

采用该系统时，由于水平为细射束，增大了单位面积的能量密度，所以使探测距离增大；而垂直方向呈宽的扇形，所以不会因为车辆的纵向运动而减少探测机会；又因为是其射束沿水平、大角度扫描，所以即使是在崎岖不平的路上行驶，也能正确地捕获到前方车辆。另外，即使是在潮湿的路面上，为了使自车从 100km/h 的行驶状态中探测到前方停止的车辆，能在不发生碰撞的情况下停下来，最大探测距离设为 120m。为了能探测到高速公路上的最小曲率半径为 300m 的弯曲路面上的障碍物，设扫描角为 400mrad。

4.5.4 性能测试结果

(1) 最大探测距离

表 4-10 给出了对车辆的最大探测距离数据，表 4-11 给出了对穿不同服装人的探测距离。对于小轿车（在车上，实际上的目标是反射非常强的车后部的反射镜），晴天时最大探测距离为 150m 以上，即使 10mm/h 的降雨时，也能探测到 140m，所以目标距离一定能达到 120m。

表 4-10 最大探测距离——目标物：车辆

条件	距离
晴天	150m 以上
雨天(降雨量:10mm/h 以上)	140m

表 4-11 探测距离——目标物：人

服装的种类			距离
白色	聚酯	工作服	55m
白色	棉衬衫	短裤	47m
灰色	毛	成套西服	52m
灰色	毛	成套西服	40m
黑色	聚酯	连衣裙	34m

对人的探测距离为 34~55m，根据服装的颜色和质地不同而有很大差异。原因估计是由于服装的颜色、质地、编织方法不同，其反射率也不同，对探测距离有很大影响。一般来说，高速公路上没有行人，一般的道路时，车辆的速度慢，必要制动距离相当短，认为对人的探测距离 45m 左右就足够了。就是按照该雷达现在的探测能力也可以说很有实用价值了。另外，即使是在类似表 4-11 中穿黑色连衣裙那样的“不好的条件”时，探测距离 34m，为了确保 45m 目标距离，如果只增加发射输出的话，那么要想达到与雷达方程式一样的效果，输出则需要增加 3 倍左右。

(2) 性能

测距精度为 3~4m；最小探测距离为 3m；方位精度为 4mrad。

(3) 激光器发射接收窗口的沾污

汽车在行驶时，安装在车辆前部的激光雷达受到土、尘埃、雨水等的沾污，污垢黏附在发射接收光窗口上，影响了探测能力。当发射和接收的窗口受到沾污时，对垂直方向视场进行测量，探测视场缩小到什么程度，见图 4-49。

对于一般行驶一周到 10 天左右所黏附的污垢（图中符号 b）来说，可以探测 120m 以上，探测视场也不会减小，没有问题。其次是汽车耐久试验用的试车跑道。因为在泥泞道上行驶，所以上面黏附有泥水（符号 c）。在这种情况下，近距离或中距离没有什么问题，但距离行驶时视场会减小，车辆颠簸时，目标容易逃脱。解决这种情况的对策是附加沾污诊断功能，当严重沾污时，就向驾驶员报警。

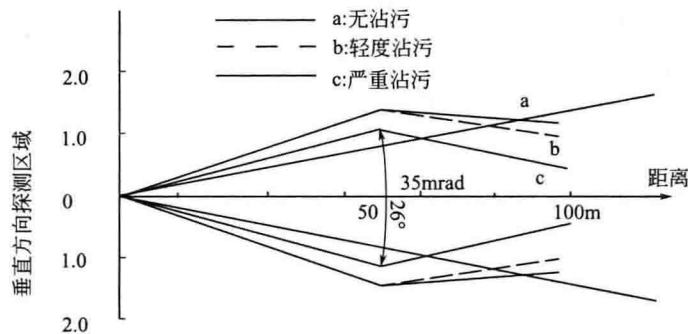


图 4 49 探测领域随着发射接收面的沾污而劣化

(4) 变路探测

图 4-50 给出了在高速公路曲率半径约 300m 的变路上的探测情况。

在以 a 车为中心水平呈扇状扩展的探测区域内，可以探测前方车辆和多个路侧反射器。这时的测定距离，前方车辆 b 为 75m，远方的路侧反射器 c 为 120m。

实际环境行驶实验的结果表明：激光雷达的探测区域基本能满足变路的探测要求。另外，由于可以从自车的车速和方向盘等的车辆状态量信息中推定自车的行进路线，所以在激光雷达所探测的几个物标中，可以把行驶道路上的前方车辆与其他探测物标区分开来，以免发生危险。

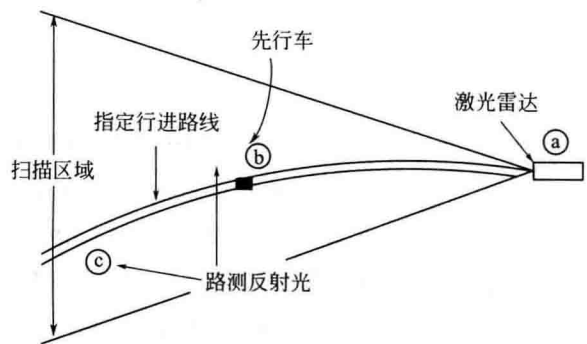


图 4 50 弯道的探测状况

# 第 5 章

## 家用电器产品实例

### 5.1 模糊控制洗衣机

普通洗衣机，虽然省力、省时，但对不同衣料放多少洗衣粉和（洗衣液）多少水，一般人们是按说明书规定或凭经验来确定。至于洗涤干净与否，要待洗完后才知道。因此，普及型洗衣机，即使全自动型，仍有许多不尽人意之处。

模糊控制洗衣机是在神经网络智能控制下，模仿人的思维进行判断操作的一种新型智能洗衣机。普通微电脑洗衣机采用的是量化的固定程序，一经设定便不能更改，而模糊控制洗衣机则是应用模糊控制器代替人脑来进行“分析”和“判断”。工作程序可以在一定程度上随时变化，因而具有人工智能，比普通微电脑更精确和适用。它可通过各种传感器自动检测所要洗的衣料布质、重量、水温、污垢程度以及洗衣水的浑浊度等，然后通过模糊控制器对收到的信息进行判断，以决定洗衣粉的用量、水量多少、洗涤时间、洗涤方式和漂洗遍数等，从而获得最佳的洗涤效果。据统计：一台 5kg 额定容量的模糊洗衣机的用水量要比双缸洗衣机节水 50%，节电 30%。

#### 5.1.1 控制原理

1965 年美国的扎德教授创立了模糊逻辑理论，到现在模糊技术已经被广泛地应用在各个领域。模糊控制技术在家用电器中得到了广泛的应用，形成了模糊家电系列产品。模糊家电就是融入人们对家电使用的先验知识，根据人的经验建立操作模式，在电脑的控制下可模仿人的思维进行判断的家用户器。

一个模糊控制系统通常由输入量、模糊推理规则和输出量组成。系统根据不同的输入量采用对应的推理规则决定输出量的大小。图 5-1 为模糊控制洗衣机的控制原理图。

模糊控制是首先对控制对象按照人们的经验总结出模糊规则，然后由单片机对这些信息按照模糊规则作出决策来完成自动控制。在洗涤衣物过程中，衣物的多少、面料的软硬等都是模糊量，所以首先做大量的实验，总结出人为的洗涤方式，从而形成模糊控制规则。浑浊度、布质、布量等都是通过现行状态的检测，再通过模糊推理得出的。

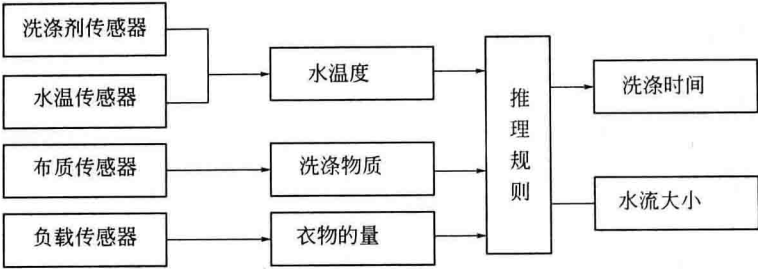


图 5-1 模糊控制洗衣机的控制原理图

在模糊控制洗衣机中，主要考虑布质、布量、水温和脏污程度这几种因素，求取水位、洗涤时间、水流、漂洗方式和脱水程度的具体数据。任何一个模糊控制系统的设计的关键是模糊控制器的设计。

模糊控制器一般是一个智能芯片，具有储存和计算能力，推理规则就储存在这个芯片中。推理规则就是把人洗衣服的模糊经验数字化。例如如果负载小，洗涤化纤衣服，且水温高，人们就会用小的力量，洗涤短时间。将很多类似的经验规则化，就形成了推理规则。在用的时候，根据不同的输入组合，采用不同的规则就可以了。

5.1.2 模糊控制洗衣机结构

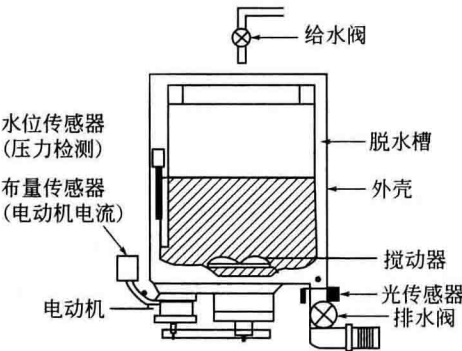


图 5-2 模糊控制洗衣机结构简图

模糊控制洗衣机的结构如图 5-2 所示。它主要是靠多种传感器感知收集各种信息数据。如有自动感知水温高低、水量多少、衣料脏污程度的光电传感器，由此来决定洗衣粉的投放量；有自动检测衣料重量、布质布量的传感器，以此自动选择相应的洗涤程序；有自动感知水位的水位传感器，来确定洗涤衣料的水量而又做到恰到好处；有自动感知衣物脏污程度、性质、漂洗浑浊度的光电传感器，以确定水温高低、洗涤时间和漂洗次数。还可根据室温和水温，而自动调整洗涤时间长短，以达到节电、节水的目的。

5.1.3 传感器

在洗衣服的时候，影响洗涤效果的主要因素有：衣服的种类、水的温度、洗涤剂和机械力。衣服种类主要有棉纤维和化纤之分，化纤的衣服要比棉纤维的衣服好洗。水温越高，洗涤效果越好。洗涤剂主要是由各种酶决定洗涤效果。机械力也就是洗衣机通过水流来模拟揉、搓等各种人的动作，模糊控制洗衣机通常采用如下的传感器来进行信息量的摄取。

- ① 水位传感器：根据洗涤物的多少自动感知，设定并自动控制用水量。
- ② 布质传感器：通过自动感知衣物重量和吸水程度，感知衣物的质料，进而决定洗涤方式。
- ③ 水温传感器：可以根据环境温度和水温，自动决定洗涤时间。
- ④ 光电传感器：根据衣物洗涤过程中洗涤循环水的透光率(脏污程度)，决定最佳洗衣程序。
- ⑤ 负载量传感器：主要用于检测洗涤衣服的多少。

图 5-3 中的光电传感器设在排水阀的旁边，发光二极管与光电晶体管把排水管夹在中

间，使其对称设置，发光二极管发出的光透过洗涤液体，用光电晶体管变换电压，用微机判断其程度，然后检验洗涤液的污染程度。

上述传感器的输出端都连接在微机上，在计算机中经过数据处理后，可进行模糊推理，从而决定最适当的水位、水流的强弱、洗涤时间的长短、漂洗的次数以及脱水的时间。图 5-4 为模糊推理的结构，根据混浊度达到饱和状态的时间（即污垢的性质）以及这时的洗涤时间，推论的规则是以“假如（或如果）……的话，就（那么）……”这样的规则所组成，例如“如果洗涤物很脏，而且有油污，那么洗涤时间需要很长”，“假如洗涤物不太脏，而且是灰泥污垢，那么洗涤时间就不需要太长”等，按这样的思维方法，在模糊控制洗衣机上，可在各种洗涤状态下，由制定的规则，推理设定最合适的洗涤方法。

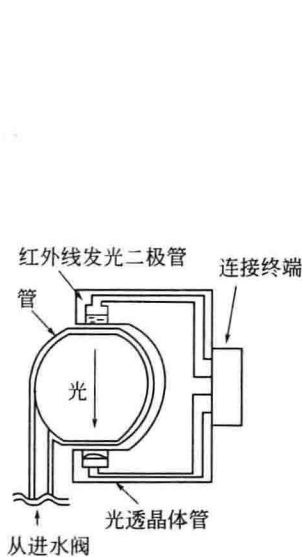


图 5-3 光电传感器组件图

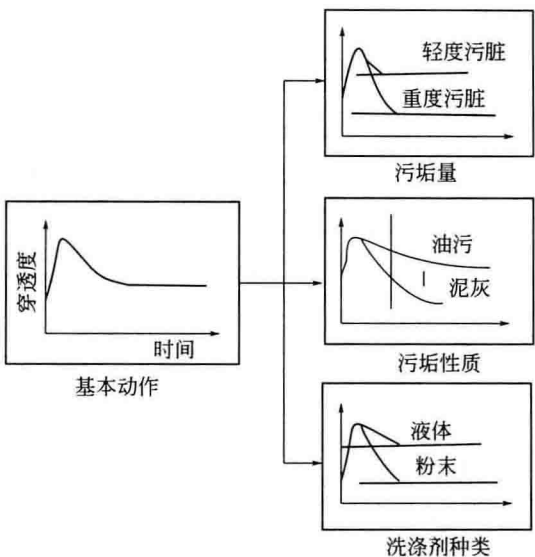


图 5-4 用光电传感器检验洗涤液的混浊度

5.1.4 混浊度检测系统

目前，洗衣机中液体混浊度检测主要通过检测被洗衣物的脏污程度、脏污性质来决定洗涤时间、漂洗次数等洗涤参数。由于受洗涤剂、洗涤方式等因素的影响，在检测过程中，被洗衣物的污染程度难以被准确地测定，其污染性质的检测更难以进行，采用混浊度传感器，通过动态检测混浊度和洗涤液导电率的变化，可决定洗涤时间、漂洗次数和时间。

(1) 混浊度传感器

美国 Honey-well 公司生产的 APMS-10G 混浊度传感器的结构图见图 5-5。

该传感器具有检测液体混浊度和导电率两项功能，混浊度检测原理见图 5-6。其输出的混浊度和导电率的值均为数字量，用户可通过计算机与传感器进行串口通信，直接得到数据。

首先通过计算机向传感器发送功能选择指令，具体指令见表 5-1。然后计算机等待传感器发回数据，一旦计算机收到字符“C0”，说明通信成功，可以接收数据。数据格式见表 5-2。然后经过处理就可得到检测参数值。表 5-2 中，Tran-lo，Tran-hi 分别表示透射率（16 进制数）的低 2 位和高 2 位，Scat-lo 和 Scat-hi 分别表示散射率（16 进制数）的低 2 位和高 2 位。

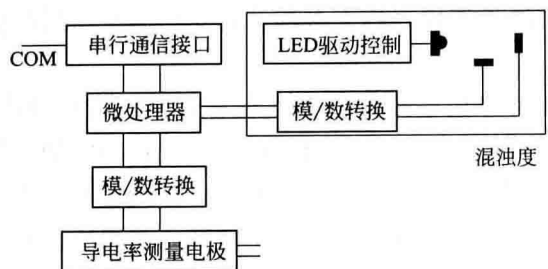


图 5-5 混浊度传感器结构

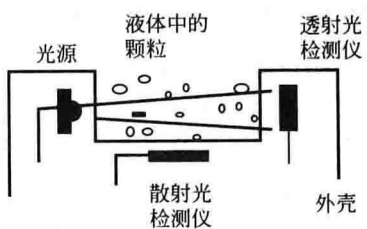


图 5-6 混浊度检测原理

表 5-1 计算机发送命令给传感器的数据格式

项目	传感器功能	混浊度	电导率
字符 1	指令头	50	50
字符 2	传感器代码	03	00
字符 3	校验和	AD	B0

表 5-2 传感器发送数据给计算机的数据格式

项目	传感器功能	混浊度	电导率
字符 1	指令头	C0	C0
字符 2	传感器代码	03	00
字符 3		Tran-lo	电导率
字符 4		Tran-hi	校验和
字符 5		Scat-lo	
字符 6		Scat-hi	
字符 7		校验和	

(2) 混浊度检测系统

目前，模糊洗衣机主要使用混浊度传感器检测洗涤液的污染状况来间接测量被洗衣物的脏污程度、脏污性质。被洗衣物的脏污程度越大，洗涤液越混浊，即洗涤液的混浊程度与被洗衣物的脏污程度有关。另外，根据洗涤液达到相同混浊度所需的时间不同，可判断出衣物的脏污性质是油性还是泥性脏污。在此基础上确定洗涤时间，这种方法的缺陷主要在于规则建立过于依赖经验。

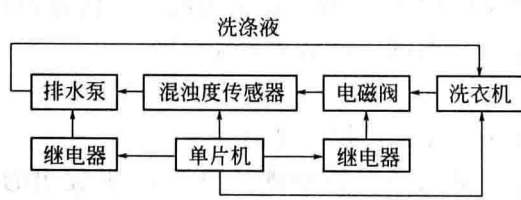


图 5-7 混浊度检测装置

为了更好地通过混浊度检测来确定主洗时间，可采用出一种混浊度反馈控制的检测方法，其结构原理如图 5-7 所示。

该装置的工作过程是：在进行混浊度检测时，单片机先通过继电器打开电磁阀，等待 20s，待洗衣机内的洗涤液进入到排水泵后，单片机通过继电器启动排水泵，30s 后，关断电磁阀和排水泵。

这样洗涤液进入到混浊度传感器的测量槽，洗涤液静止 30s 后进行混浊度检测。在混浊度检测装置中，电磁阀和排水泵起到如下作用。

① 电磁阀的截止功能 能实现洗涤液混浊度的静态检测，起到硬件滤波的作用。在洗涤过程中，洗涤液中有大量的气泡，如采用动态检测混浊度，则混浊度的变化很不规律。经对混浊度变化曲线进行频谱分析，发现混浊度的变化是一个缓变信号，相对于各种干扰因素



而言变化范围不大，通过低通滤波后，混浊度变化曲线不是很平稳，无法采用合适的决策来进行洗涤时间控制。图 5-8~图 5-10 分别为混浊度动态检测曲线、低通滤波后混浊度变化曲线、电导率变化曲线。采用硬件滤波后，通过实验发现混浊度变化曲线很有规律，且非常平稳，这样不需要进行软件滤波，给系统节省不少资源。

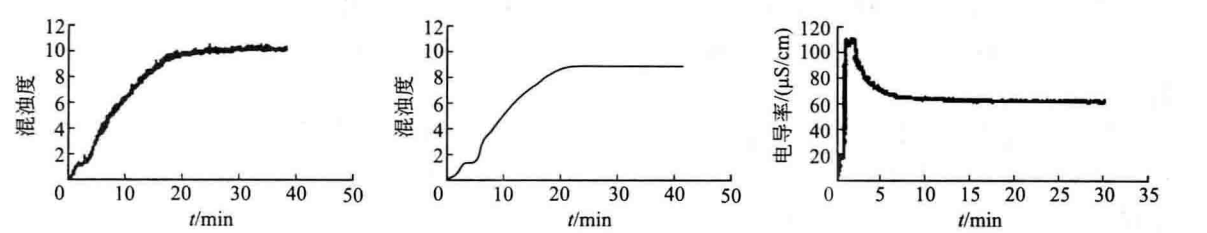


图 5 8 混浊度动态检测曲线 图 5 9 低通滤波后混浊度变化曲线 图 5 10 电导率变化曲线

② 保护传感器 由于工业洗衣机进行洗涤时，温度有可能高于传感器的工作温度，因此电磁阀还可起到隔绝高温液体，从而保护传感器的作用。

③ 实时检测 排水泵的排水功能使混浊度传感器测量槽内的洗涤液和洗衣机内的洗涤液保持一致，从而实现实时检测洗涤液混浊度。

这种混浊度检测方法是在主洗阶段实时检测洗涤液的混浊度变化情况，步骤是：检测洗涤剂混浊度时，先打开电磁阀，再打开排水阀使洗涤液进入混浊度传感器，关闭电磁阀、排水泵。由于洗涤时搅动的原因，洗涤液中有大量的气泡，故静置一段时间后检测混浊度，当在一定间隔时间内洗涤液混浊度增长率变化不大时，可结束洗涤。

## 5.2 变频空调器

传统的空调器采用定速压缩机，实行开关控制，利用压缩机上附带的笼型电动机驱动空调压缩机调节房间的温度。这种控制方式室内的温度波动较大，容易引起人的不舒适感觉。压缩机电机在工作过程中要不断克服转子从静止到额定转速变化过程中所产生的巨大转动惯量，尤其是带着负荷启动时，启动力矩要高出运行力矩许多倍，这不仅要额外耗费电能，而且会加剧压缩机运动部件的磨损。另外这种运行方式在启动过程中还会产生较大的振动、噪声以及冲击电流，引起电源电压的波动，采用变频压缩机，可以避免这种频繁的启停过程。

变频空调是由电脑控制的变频器调节变频压缩机运转的快慢来调节温度，变频空调开机后，压缩机立即高速运转制冷（暖），其达到设定温度的时间比普通空调节省一半左右。随后压缩机自动采用低频、低功率运转，维持所设定的温度，避免了普通空调时停时转、温度不均的现象。

变频调速范围大，电机运转平稳，可实现无级调速。变频空调的最大优点是省电，与普通空调相比，可节约电费 20%~30%。其次，变频空调启动电流小，仅为普通空调的 1/7，可以解决因家庭电表小、启动时易跳闸的困扰。

### 5.2.1 变频空调器的类型

变频空调器的类型主要由变频方式和主要零部件如压缩机、节流机构、室内风扇电机、室外风扇电机来决定的。因此，不同的变频方式和零部件也就组成了不同类型的变频空调

器，这种组合可以多达十几种，在这众多的组合中基本上可以分为三种类型。

第一类变频空调器采用交流变频，制冷剂流量调节方式采用毛细管，压缩机采用单转子交流变频压缩机。这种空调器基本能体现变频空调器各种优点，而且可靠性好，缺点是节能效果较差，噪声和振动也较大，属过渡产品。

第二类变频空调器同样也是采用交流变频，不同的是压缩机采用双转子交流变频压缩机，制冷剂流量调节方式采用电子膨胀阀。此类空调器变频范围更宽，噪声和振动有所降低，节能效果明显。

第三类是直流变频空调器，采用直流变频压缩机和直流风扇电机，调节方式是电子膨胀阀。此类空调器节能效果更好，噪声和振动达到了最低的水平，同时还没有交流变频的电磁干扰，是当前最先进的变频空调器。

## 5.2.2 工作原理

电机的空转转速是由电机定子的磁极对数、电机电源的电压和电源的频率所共同决定的，空转速度的高低决定了相同负载情况电机的转速。通常使用的电机是靠改变电机电压的办法来改变电机的转速，而频率是不能变化的。而变频空调采用了变频装置，该装置可以改变电源的频率来改变电机的转速，电机电源的频率越低，电机的转速越慢。

变频装置的工作原理如图 5-11 所示。家用的 50Hz 交流电首先送到整流用的晶闸管。交流电经过晶闸管后变成直流电，然后直流电送入逆变器中，逆变器的开关和正负极的变化由一个脉冲发生器的装置控制，这样从逆变器出来的电再通过滤波等环节，就变成了不同频率的交流电，频率的大小由脉冲发生器控制。经过改变频率的交流电送入带动压缩机的电机，就可以控制电机的转速了。

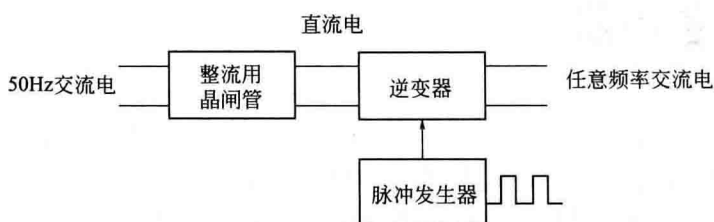


图 5-11 变频装置工作原理

## 5.2.3 系统构成

### (1) 制冷系统

变频空调器采用由变频压缩机、电子膨胀阀、室内外换热器和风机系统构成的可变量制冷系统，该系统主要完成三大调节功能，即压缩机功率调节、制冷剂流量调节和热交换器能力的调节。其中压缩机功率调节由变频器完成，制冷剂流量则由电子膨胀阀调节，而热交换能力则由风扇调节。

空调器制冷系统由压缩机、冷凝器、过滤器、毛细管和蒸发器组成。这些部件通过连接管组成一个封闭的系统，在系统内注有一定量的制冷剂。制冷剂在封闭的系统中循环。图 5-12 是空调制冷系统的工作过程示意图。制冷剂在蒸发器中处于低压液态的状态，在室内温度高时，制冷剂吸收室内热量不断汽化，变成高温气态。气态的制冷剂经过压缩机，压缩机将制冷剂压缩成高压高温的气体，然后送入室外的冷凝器，在冷凝器中制冷剂由于处于高温高压下，与外界交换热量，同时制冷剂液化，温度降低。液化后的制冷剂通过毛细管后温度

进一步降低，形成低温液态的制冷剂，又进入蒸发器进行下一个循环。不断地循环往复，室内的热量就会被排到室外。

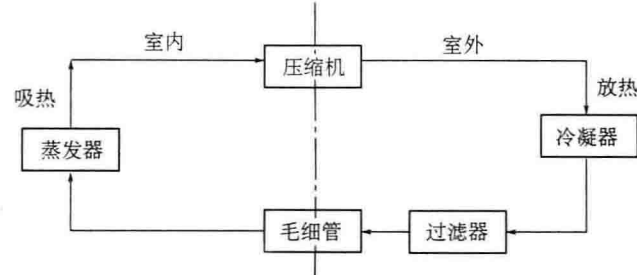


图 5-12 空调制冷系统工作过程示意图

(2) 控制系统

变频空调的模糊控制器的基本结构见图 5-13，它可分为模糊输入接口、模糊推理判别决策机构和模糊输出接口三个部分。

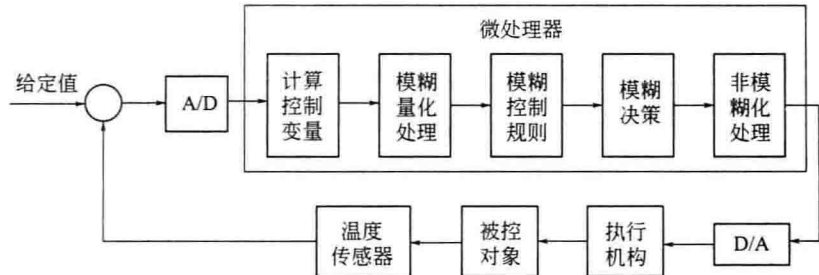


图 5-13 模糊控制器的基本结构

模糊输入接口的主要功能是根据本次采样得到的系统输出值，计算所选择的系统的输入变量，并将输入变量的精确值变为模糊量，即将被控系统的温差及温差变化率的精确值转化为模糊量，以便进行模糊推理和决策。

模糊决策机构的主要功能是根据输入变量的模糊量和模糊推理规则表推断出控制决策。模糊输出接口的主要功能是把经模糊推理决策后所得的模糊控制量转化为精确量，去控制压缩机的转速。

变频空调器采用模糊控制技术对输入变量进行模糊技术处理后，可实现对多变量的动态控制，其控制关系如图 5-14 所示。它包括三个输入量：室内温差及其随时间的变化率，室内换热器管壁的温度及其随时间的变化率，室外换热器管壁的温度及其随时间的变化率。输出量包括对空调器的制冷、制热、除湿、化霜、风量、风向等功能实行智能化控制。

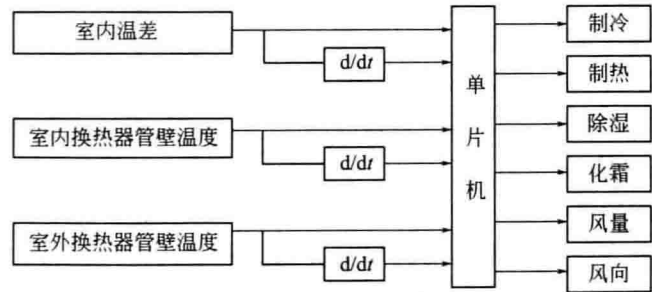


图 5-14 变频空调器的模糊控制关系

## 5.2.4 变频调速的关键技术

空调器的变频调速技术主要有四个方面的关键技术：逆变器、微控制器、PWM 的生成以及变频压缩机的电机选择。

### (1) 逆变器

变频空调的核心部件是变频器，其主电路采用交-直-交电压型方式。交-直过程一般采用单相二极管不可控直接整流，直-交过程一般采用 6 管三相逆变器，另有一个辅助电源，一个逆变器控制器和相应的驱动电路。

早期的空调变频器采用分立元件构成，整流器采用单相倍压整流电路，逆变器由 6 只分立的功率晶体管（GRT）构成。其主电路复杂，可靠性差，目前大部分厂家采用的逆变桥由 6 个绝缘栅极晶体管（IGBT）组成，其综合了 MOSFET 和 GTR 的优点，开关频率高、驱动功率小。随着智能功率模块（IPM）技术的发展应用，IPM 正在逐步取代普通 IGBT 模块。由于 IPM 内部既有 IGBT 的栅极驱动和保护逻辑，又有过流、过（欠）压、短路和过热探测以及保护电路，提高了变频器的可靠性和可维护性。另外，IPM 的体积与普通 IGBT 模块不相上下，价格也比较接近，因此目前应用较为广泛。

功率因素校正（PFC）环节和逆变桥集成是新一代的空调器逆变电源技术。PFC 技术的应用不但可以极大改善电网的工作环境，减少输电线的损耗，而且在变频工作时可以减小输入端电感和输出端电容器，减小模块体积。因此 PFC 环节和 IPM 逆变桥集成一体化是家用空调器发展的必然。

### (2) 微控制器

微电子技术的发展使变频调速的实现手段发生了根本的变化，从早期的模拟控制技术发展到数字控制技术。目前国外一些跨国公司的微控制器产品占据着主要的市场，如 Motorola 公司的 MC68HC08MP16、Intel 公司的 80C196MC、三菱公司的 M37705 等。这些公司的产品性能价格比较高、功能强大，如带有 A/D 转换器、PWM 波形发生器、LED、LCD 驱动等，且一般都有 OTP，产品以及功耗低，可长期稳定工作。微控制器目前主要由单片机向 DSP（信号处理器）过渡。以目前应用比较广泛的 TI 公司的 TMS320C240 为例，其具有 50ns 的指令周期，544 字的 RAM，16KB 的 EPROM，12 个 PWM 通道，三个 16 位计数器，两个 10 位 A/D 转换，WATCHDOG，串行通信口，串行外围接口等，采用 DSP 可使控制电路简单，而且控制功能强大。

### (3) PWM 波的生成

在家用空调器中，目前国内大部分厂家采用常规的 SPWM 方法。在国外，有部分厂家以采用磁通跟踪型 SPWM 生成方法，该方法以不同的开关模式在电机中产生的实际磁通去逼近定子磁链的给定轨迹——理想磁通圆，即用空间电压矢量的方法决定逆变器的开关状态，以形成 PWM 波形，该方法电压利用率高，低频谐波转矩小，频率变化范围宽，运行稳定，具有比较好的控制性能。近期出现的 PAM 控制不采用载波频率进行整流，而直接改变电压，减少了整流所需的能耗，提高了变频器的工作效率，满足了节电和降低高次谐波的要求，使供暖能力得到提高。

### (4) 变频压缩机的电机变频

压缩机电机主要分为交流异步电动机和直流无刷电动机两种。目前国内已有能力生产变频压缩机（包括交流机和直流机）。交流电动机成本低，制造工艺简单，但其节能效果较差。直流无刷电机拖动由无刷电机本身、转子位置传感器和电子换向开关组成。转子磁极为永磁

体，电枢绕组采用自控式换流，定子旋转磁场与转子磁极同步旋转，通常采用按转子磁场定向的定子电流矢量变换控制，既有普通直流电机良好的调速性能和启动性能，又从根本上消除了换向火花、无线电干扰的弊端，具有寿命长、可靠性高、噪声低、控制方便等优点。

## 5.2.5 家用变频空调控制系统

家用变频空调控制系统由室内机控制、室外机控制两部分组成。系统可以实现交流变频压缩机空调器控制及全直流变频空调器控制，采用模糊控制方法，实现空调器最佳工况运行，具有节能、噪声低、功率宽范围调节等优点。此外，压缩机采用软启动方式，使其在低电压下仍能正常启动，可避免保险丝烧断事故。室内机采用模糊控制方式，使控制效果更为舒适，具有开机自诊断功能，确保正常运动和具有睡眠、自动运行、全功率运行等多种运行方式。

- 变频式模糊控制空调器如图 5-15 和图 5-16 所示。主要包括如下三个部分。
- (1) 红外遥控发射系统
  - 红外遥控发射系统具有良好的人机交互界面，便于用户选择相应的空调器工作方式和工  
作参数，控制空调器的启停。
  - (2) 室内机组控制系统
  - 室内机组控制系统接收来自于发射系统的遥控指令，借助于传感技术，采用模糊逻辑推  
理自动设定风机的转速和压缩机工作频率，控制室内风机的无级调速以及风门的摇摆动作，  
并且将有关的决策信息通过串行通信方式传递到室外机组。
  - (3) 室外机组控制系统
  - 室外机组控制系统接收室内机组的串行指令，利用 PWM 脉宽调制技术实现压缩机的制  
冷量连续调节。
- 三者既相互独立，又能有效地传递、交换信息，最终成为一个有机的整体，使之达到操  
作方便、工作可靠、技术性能稳定、性价比高等期望结果。

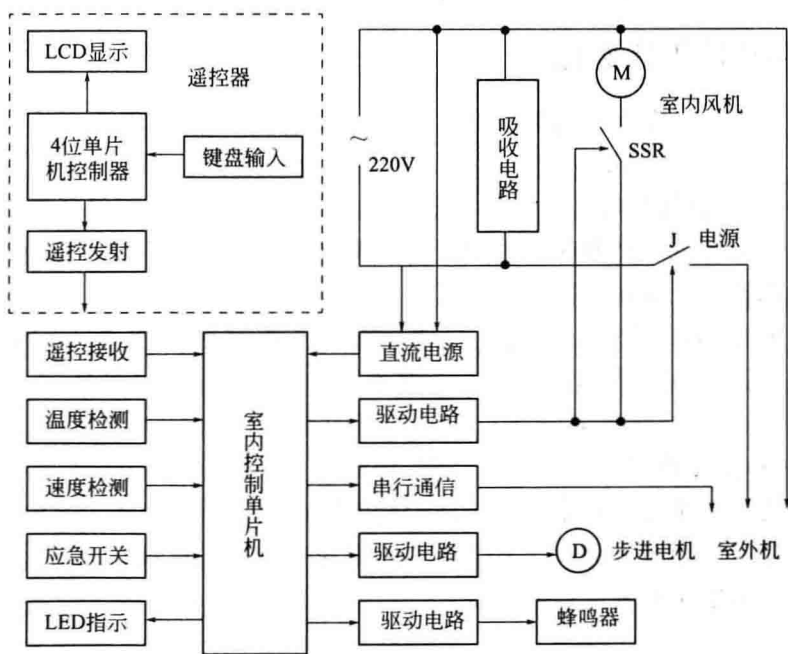


图 5 15 室内控制系统结构图

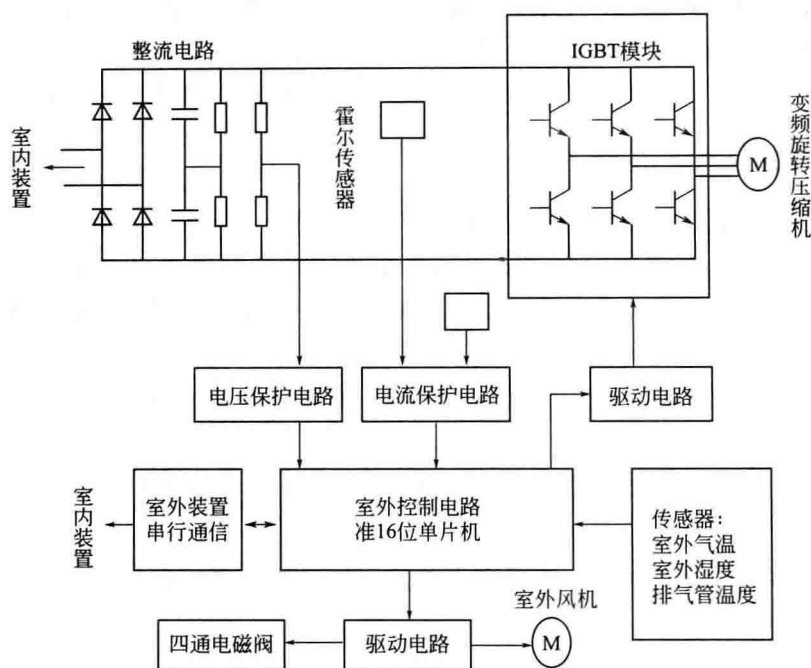


图 5.16 室外控制系统结构图

## 5.3 激光影碟机

激光影碟机是机械、电子、光学技术完美结合的复杂精密机械系统，其伺服控制系统在光机电一体化系统中有一定的代表性，而且在控制精度方面，机械、电子、光学之间功能互相补充和延伸，很好地保证了控制质量和经济性指标。

### 5.3.1 激光影碟机工作原理

在刻好的碟片表面，存在着宽度为  $0.4\mu\text{m}$  的螺旋型信道，信道上刻录有深度为  $0.1\mu\text{m}$  的坑、岛形式的声像信号，相邻信道之间的距离只有  $1.6\mu\text{m}$ 。播放时拾讯头发出激光束，经物镜聚焦成  $1\mu\text{m}$  左右的圆形光斑投射在碟片表面信道的坑、岛上再反射到半导体光敏接收器上，由于信道上的坑、岛对激光束的反射强弱不同，声、像信号经光电转换、解调电路后被分开，并分别被送到放音和图像显示系统中播放。

根据声像还原质量的要求，拾讯头与碟片表面有严格的位置要求，距离必须控制在  $1\mu\text{m}$  左右，循迹跟踪控制精度为  $\pm 0.1\mu\text{m}$ ，碟片转速范围分别是  $1800\text{r/min}$ （等角速碟片，即 CAV 碟片）、 $1800\sim 600\text{r/min}$  连续可调（等线速碟片，即 CLV 碟片）或者  $500\sim 200\text{r/min}$  连续可调（CD 激光唱盘）。

因此，整个机械系统需要多个相互关联的伺服控制单元组成，无论从位置（包括距离和角度）控制，还是速度控制方面讲，对伺服系统设计都要求都比较苛刻，而且某些伺服控制系统是一个多输入、多输出的复杂控制系统。



### 5.3.2 伺服系统

#### (1) 主轴伺服系统和切向伺服系统

碟片上记录的声、像信息，每一场的纹迹长度已定，再次播放时读出每一场的时间完全取决于对主轴电机的转速及其控制精度，如果主轴电机的转速不稳，会造成图像抖动、色彩闪烁、声音变调、节奏不准等。因此主轴伺服电机采用无刷直流电机，控制信号由微型计算机发出。为提高速度控制精度，主轴伺服系统采用了锁相调速控制技术，由主轴伺服电机轴上的测速电机、色同步相位比较器和行同步相位比较器共同组成。

碟片的加工误差、装配误差和盘面弯曲等，都将带来盘片工作电的偏摆或跳动，引起声像信号畸变甚至破坏影碟机，因此一方面需要严格控制加工和装配误差，保证其误差范围控制在经济合理的范围内，但另一方面仅仅依靠这些措施来保证影碟机的正常可靠工作会造成成本增高甚至难以实现，为此设置了切向伺服系统以补偿上述误差。它是在主轴伺服系统的基础上，利用色相位比较器的输出信号经放大后驱动切向伺服线圈，从而给切向反射镜一个偏转转矩，使激光束沿碟片信道的切向快速移动，高速、微幅修正激光束对信迹的扫描速度。因此，激光束对碟片每圈信迹扫描的速度，相当于主轴伺服系统的输出和切向伺服系统输出的叠加。

#### (2) 拾讯头高低伺服系统和聚焦伺服系统

如图 5-17 所示，高低伺服系统负责控制拾讯头上下移动以粗调拾讯头和盘面之间的距离，由直流电机、精密机械传动装置和拾讯头组成。当拾讯头移动到距盘面一定的距离时，高低伺服系统停止工作，由聚焦伺服系统接替开始动作，控制信号经过聚焦控制线圈，其电磁力驱动聚焦物镜上下微幅移动，保证在盘面与拾讯头物镜之间的距离发生高频微幅变动时，使激光束准确地聚焦于碟片信息面上。因此，高低伺服系统和聚焦伺服系统构成了对聚焦动作的粗-微调节环节。为防止超范围高低移动拾讯头而导致影碟机被破坏，高低伺服系统中还设置了上下限位开关。

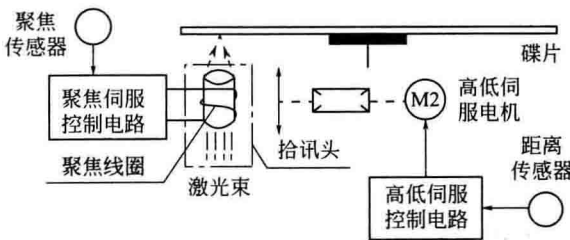


图 5 17 拾讯头高低伺服系统和聚焦伺服系统

当拾讯头移动到距盘面一定的距离时，高低伺服系统停止工作，由聚焦伺服系统接替开始动作，控制信号经过聚焦控制线圈，其电磁力驱动聚焦物镜上下微幅移动，保证在盘面与拾讯头物镜之间的距离发生高频微幅变动时，使激光束准确地聚焦于碟片信息面上。因此，高低伺服系统和聚焦伺服系统构成了对聚焦动作的粗-微调节环节。为防止超范围高低移动拾讯头而导致影碟机被破坏，高低伺服系统中还设置了上下限位开关。

#### (3) 进给伺服系统和循迹伺服系统

在高速旋转的碟片上，相邻信道的径向间距  $1.6\mu\text{m}$ ，即要求碟片旋转一周，拾讯头必须准确地沿径向由里向外移动  $1.6\mu\text{m}$ ，这项任务由进给伺服系统完成。但实际上，由于碟片中心和主轴回转中心不重合，要使聚焦后  $1\mu\text{m}$  直径的激光光束准确投射到宽度仅为  $0.4\mu\text{m}$  的信道上，仅靠进给伺服系统是无法实现的，需要另外设置循迹伺服系统使拾讯头始终对准信道，如图 5-18 所示。

拾讯头光学系统将激光余分成三支，聚焦到碟片表面上为三个圆圈；中间光束为拾讯光束，对准信迹，前、后两个光束为循迹检测用光束，分别相对于信迹略微左偏和右偏。当拾讯光束对准信迹时，两路循迹光束反射到光敏元件后的电信号经差动放大电路后输出为零；相反，差动放大电路输出不为零，该信号将被输出到循迹线圈，产生电磁力使循迹反射镜偏转，使拾讯光束重新对准信迹。

#### (4) 倾斜伺服系统

用于纠正由于碟片表面与主轴回转轴线不垂直，导致激光束不能垂直投射到碟片信息面

上而产生的误差，如图 5-19 所示。倾斜传感器安装在拾讯头上，由一只发光二极管和两只光敏二极管组成，发光二极管发出的光经碟片表面反射后被光敏二极管接收。当碟片表面和激光束垂直时，两个光敏二极管接收的光通量相等，差动电流为零；否则，差动信号不为零，该信号将被用于控制倾斜伺服电机的摆动，确保激光光束垂直投射在碟片表面上。

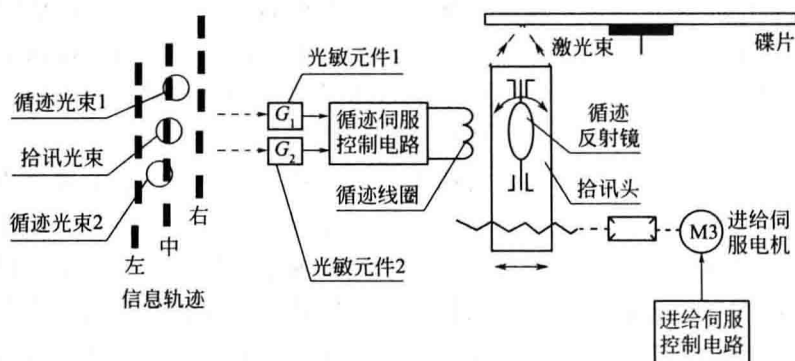


图 5 18 拾讯头进给伺服系统和循迹伺服系统

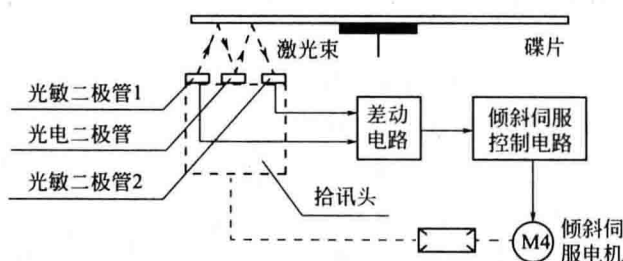


图 5 19 拾讯头倾斜伺服系统

### 5.3.3 伺服系统的协调控制

根据上述伺服控制子系统的方案，可以得到影碟机的伺服控制系统方案，如图 5-20 所示。可见，各子系统之间必须进行控制协调，方能完成整个系统的控制任务。

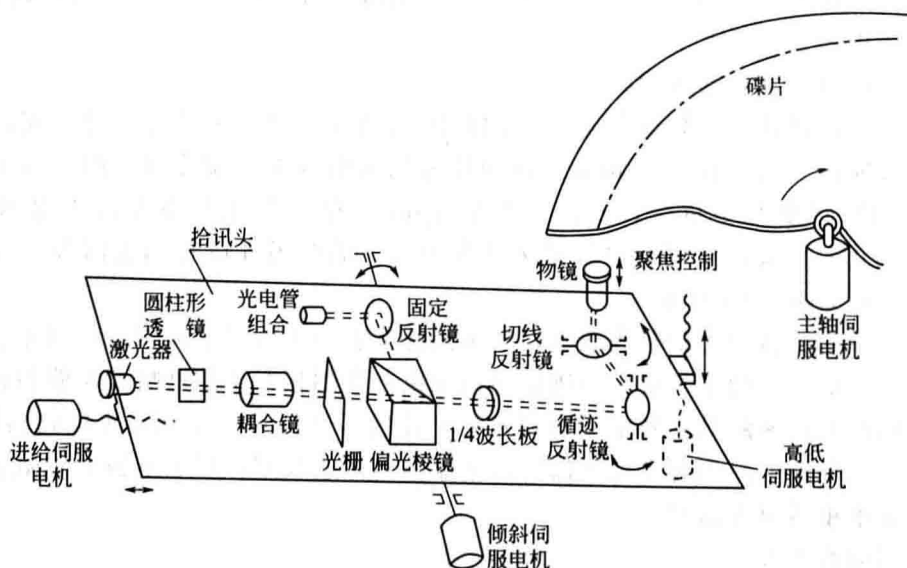


图 5 20 影碟机的伺服控制系统方案

碟片放进影碟机后，由主轴伺服系统带动托架和碟片按规定的转速旋转；高低伺服系统控制拾讯头快速接近碟片表面，在一定距离上转由聚焦伺服系统控制聚焦物镜移动从而精确聚焦；进给伺服系统和循迹伺服系统，使激光束准确地沿着螺旋信迹由内向外产生径向移动；倾斜伺服系统使激光束始终垂直于碟片表面；切向伺服系统配合主轴伺服系统，使光束沿信迹前进的速度精确地满足声、像信号还原的要求。各部分之间的协调关系见图 5-21。

此外，进给伺服系统还控制拾讯头的快进、快退和静止动作，以满足搜寻画面的要求；倾斜伺服系统的传感器还用于检测是否有碟片存在，从而控制伺服系统的通断。

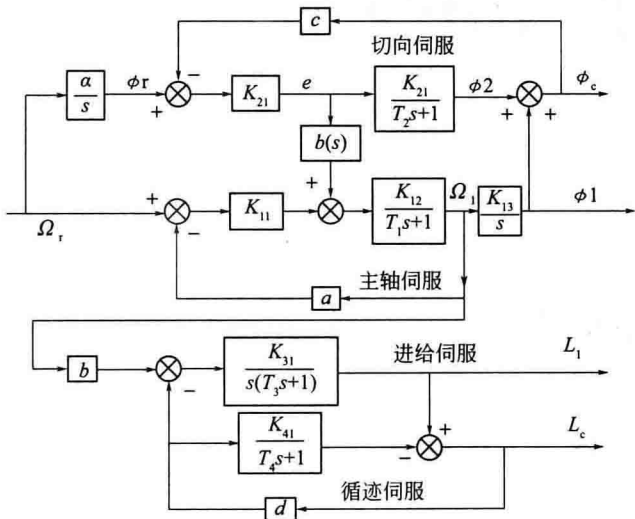


图 5 21 影碟机的伺服控制系统框图

# 第6章

## 其他产品实例

### 6.1 自动旋转门

#### 6.1.1 自动旋转门的特点和类型

自动旋转门是楼宇设备中的光机电一体化技术产品，它给人以亲切大方的感觉，同时营造出奢华的气氛，其全新的概念，宽敞的开放门面和高格调的设计，堪称建筑物的点睛之笔，立足于建筑时代大潮的最前端。

##### (1) 自动旋转门的特点

自动旋转门的最大优点在它“永远开门，又永远关门”，即对于人员来说，门总可以打开，可对于建筑物来说门又总是关着。因此，自动旋转门在保安功能方面具有独到的发展，但在人员流量方面自动旋转门却没有优势，因为门的转速是固定的，每个门翼之间可容纳的人员也是有限的。每种自动旋转门都有标定的人员流量数值。

自动旋转门由于其永远开启的同时又永远关闭的特点，使其动态密封效果在经常使用的条件下相对于其他自动门要好。由于自动旋转门的人流量有限，通常在自动旋转门两侧另设自动或手动平开门，一方面增加通行能力，另一方面当自动旋转门出现故障时，不影响人的通过。但在静态密封效果方面，自动旋转门远不如其他自动门，因为其门体运动方式决定着只能使用毛条密封。

##### (2) 自动旋转门的主要类型

① 自稳定性自动旋转门（三翼和四翼旋转门） 见图 6-1，其中心门轴通过轴承机构垂直安装于地面，三个或四个门翼呈发散式固定在中心门轴上，各门扇之间的角度相等，人在内扇之间推动（按顺时针）门扇，就成为一个手动旋转门。中心门轴的上方安装电动机及其他电气控制部件，再配以感应装置和安全装置，就成为自动旋转门。这种结构是稳定性、使用的可靠性很高，使用寿命长。考虑到旋转门在停止时一定要密封，所以三翼旋转门的每个分隔可以容纳更多的人，可是门的净开口宽度较小。而四翼旋转门的每个分隔可以容纳较少的人，但门的净开口宽度却较大。

这种旋转门门翼与中心轴的固定方式决定了门扇宽度不能太大，所以这种旋转门的直径最大约 4m。为了解决这一问题，中心门轴设计成了中间展示室，相对减小了门扇宽度，增加了电动机对门中心的旋转作用力矩，使这种旋转门的最大直径扩大到 6m，中间展示室又有很好的装饰效果。

② 悬挂式自动旋转门（两翼旋转门） 为进一步扩大旋转门人员流量，扩大旋转门门扇之间的距离，可以考虑将旋转门的门扇数量减为两个。但是，两翼旋转门已不可能再采用原有的中心门轴结构，因为两个门扇使中心驱动的力矩过大，而驱动力的作用力点又很少。另外，中心门轴结构难以实现两翼旋转门的紧急打开功能。于是两翼旋转门采用了上部圆周导轨悬挂整个门体的设计，以一个或两个电动机驱动。控制部分与自稳定性自动旋转门相同。值得一提的是，两翼旋转门的紧急打开功能从结构上变得很容易，即在中间设置一个自动平移门或手动平开门。两翼旋转门的停门位置有两个，一个是门体与入口平面平行，中间的自动平移门或手动平开门可直接使用；另一个是门体与入口平面垂直，门体两端的圆弧将旋转门的两个开口同时封住，在冬季可获得好的密封隔热效果，见图 6-2 和图 6-3。

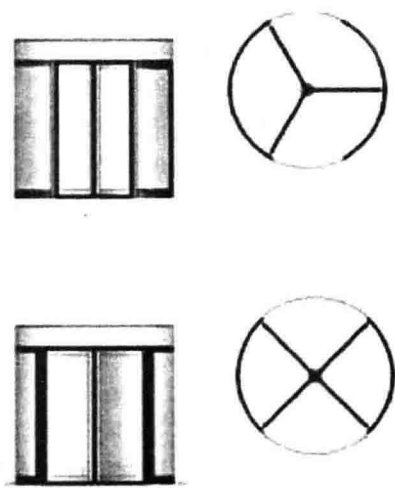


图 6-1 三翼和四翼旋转门示意图

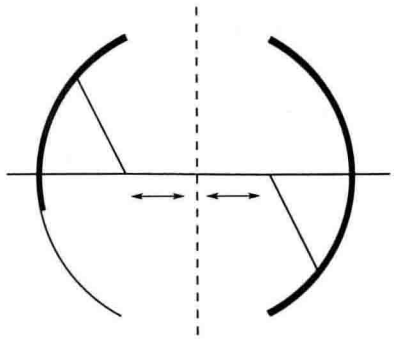


图 6-2 带中间推拉挡门的两翼自动旋转门示意图

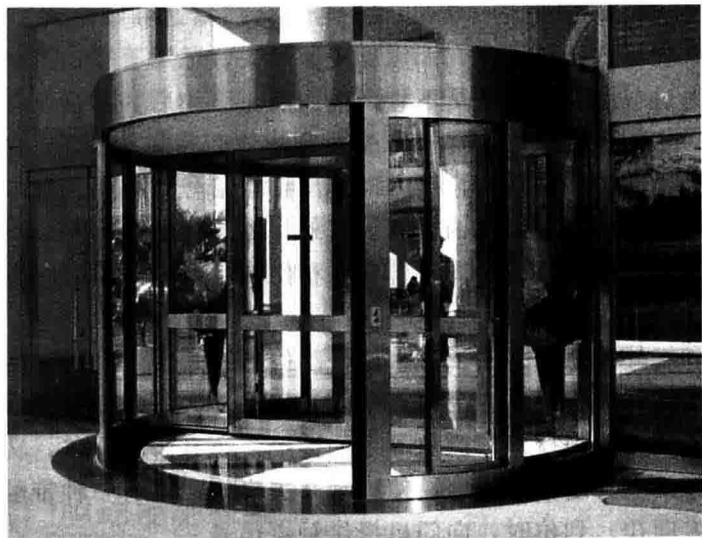


图 6-3 框架玻璃装饰的两翼自动旋转门

③ 全玻璃自动旋转门 从结构上看,全玻璃自动旋转门与自稳定性自动旋转门一样,也分三翼和四扇两种,也是地面支撑的稳定性结构。所不同的是,驱动装置埋在地下。上部和下部各有一个连接门扇的金属盘,金属盘上有固定门扇的门夹,门扇玻璃在中间直接相结合,省略了中心门轴,极大地提高了门轴的通透性。顶部是一个整体的圆形平板玻璃,门的固定圆弧采用圆弧玻璃,没有任何金属固定型材。这种结构与现代铝合金玻璃幕墙特别是点式玻璃幕墙在风格上完全吻合协调。缺点依然是门的最大直径受限制。另外,底部电气部分的防水密封圈必须定期更换。

### (3) 自动旋转门的安全配置

为了保证自动旋转门的运行安全,必须配置必要的安全系统。安全系统主要围绕以下两点进行配置:一是防止夹人,活动翼与固定门体之间很容易夹人,因此要在自动旋转门出入口两侧安装防夹感应胶条;二是防止人与门碰撞,自动旋转门的旋转运度相对稳定,人在通过旋转门时的行走速度必须与其转速一致,否则就很容易发主碰撞。防碰撞功能是通过类似自动反向功能来实现的,自动旋转门的防碰撞功能也包括对人为推动进行反应,而人为推动是造成自动旋转门功能障碍的主要原因之一。

不同品牌的自动门,其标准配置也不同,在选定了自动门品牌及确定其基本配置后,再根据使用要求,确定需要增加的附加功能,其内容通常如下。

① 是否需要配置高机能传感器(大范围、高灵敏度,如五星级酒店、写字楼)或窄区域传感器(如人行道旁的银行、商店);

② 是否需要配置安全辅助传感器,以确保在任何情况下均不会发生夹人事故(特别如五星级酒店、医院);

③ 是否需要安装电锁及特别的开门方式(如刷卡、按密码、指纹、遥控、可视对讲、人工控制);

④ 是否需要配置火灾联动、后备电源等系统。

### (4) 自动旋转门的系统配置

自动门的系统配置是指根据使用要求而配备的与自动控制器相连的外围辅助控制装置,如开门信号源、门禁系统、安全装置和集中控制等。必须根据建筑物的使用特点,过门人员的组成和楼宇自控的系统要求等合理配备辅助控制装置。

① 开门信号 自动门的开门信号是触点信号,微波雷达和红外传感器是常用的两种信号源。微波雷达是对物体的位移反应,因而反应速度快,适用于行走速度正常的人员通过的场所,它的特点是一旦在门附近的人员不想出门而静止不动后,雷达便不再反应,自动门就会关闭,对门机有一定的保护作用。红外传感器对物体存在进行反应,不管人员移动与否,只要处于传感器的扫描范围内,它都会反应即传出触点信号。缺点是红外传感器的反应速度较慢,适用于有行动迟缓的人员出入的场所。另外,如果自动门接受触点信号时间过长,控制器会认为信号输入系统出现障碍。而且自动平移门如果保持开启时间过长,也会对电气部件产生损害。

由于微波雷达和红外传感器并不了解接近自动门的人是否真要进门,所以有些场合更愿意使用按键开关。按键开关可以是一个触点式的按钮,更方便的是肘触开关。肘触开关很耐用,特别是它可以用胳膊肘来操作,避免了手的接触。还有脚踏开关,功能一样,但对防水的要求较高,而且脚踏的力量很大,容易使脚踏开关失效。还有一种带触点开关的拉手,当拉手被推(或在反方向拉)到位时,向门机提供触点信号。

现在的楼宇自控有时会提出特殊的要求,例如使用电话的某一分线控制开门。要达到这



个要求,只要保证信号是无源的触点信号即可。极少情况下,人们会提出天线遥控的要求。用一个无线接收器与自动门进行触点式连接,再配一个无线发射器,就可以达到要求。不过,现在的无线电波源太多,容易导致偶然开门是一个麻烦的问题。

定时器可以自动控制门的状态,其原理是将时钟与特定的开关电路相连,还预设定时间将自动门处于自动开启或锁门状态。

② 集中控制 集中控制的概念包括集中监视自动门运行状态和集中操作多个自动门两层含义,集中监视自动门开门关门状态可以通过位置信号输出电路来实现,可以采用接触式开关,当门到达一定位置(如开启位置)时,触动开关而给出触点信号。也可以采用感应式信号发生装置,当感应器探测到门处于某一位置时发出信号。在中控室设置相应的指示灯,就可以显示自动门的状态,而集中操作通常指同时将多个门打开或锁住,这取决于自动门控制器上有无相应的接线端子。

自动门工程在整个建筑投资中的比例虽然很小,但在建筑的日常使用和管理中却占有很重要的地位,是建筑智能化水平的重要指标,从施工方面看,自动门工程是比较复杂而且综合的工作,它与外装修、内装修、强电、弱电、楼宇自控甚至消防系统密切相关。更重要的是,自动门的安装通常处于整个建筑装修的后期,如果工程协调工作不利,可能影响整体工程的工期。因为国家对自动门产品质量、安全性、节能性、噪声、施工质量、售后服务还没有统一的标准,所有国内建筑业院校都没有相关的专业或课程,也没有权威的咨询机构,自动门市场的管理尚处于无序状态。随着国内建筑业的发展,这一状况一定会有所改变。

目前世界自动门业的发展速度很快,发展的方向一方面是功能控制的程序化和状态显示的数字化,为开发更多的功能提供可能性。另一方面是在门机的结构和门体的设计制造方面进行改进,以适应不同的建筑风格。自动门发展速度快,各自动门制造厂产品又各有特色。

③ 门禁系统 是对入门授权的识别。在识别或检测入门授权通过以后,向自动门的控制系统提供开门信号。在提供开门信号之前,自动门必须处于锁门的状态。门禁系统包括最简单的钥匙开关、密码锁,磁卡锁,以及复杂的体重识别系统、指纹识别系统等。但无论系统怎样复杂,最终都是给自动门提供开门的触点信号。信号电路的屏蔽对避免由于无关信号的干扰而误开门的情况发生非常重要。

#### (5) 自动旋转门门柱、门梁、门体装饰类型的选择

一般从配合自动门的形象及方便自动门以后保养维修的角度考虑,最好采用不锈钢、铝型材或铝塑板作为门柱、门梁的外饰面;如果采用大理石作为外饰面,自动门工程与大理石工程之间必须事先确定相互配合的施工方

#### (6) 自动旋转门的安装调试与维修

自动旋转门安装与维修的关键在于门体的水平度,水平度越高,传动部件的磨损就越小,电气部件的负载就越均匀,故障率就越低,使用寿命也就越长。自动旋转门的维修期通常为一年。

## 6.1.2 自动旋转门驱动控制系统

图 6-4 所示为一可环绕固定立柱安装和旋转的 4.8m 直径三翼自动旋转门,被环绕立柱

的最大直径可达 1300mm, 也就是说, 可以环绕边长 91mm 的方柱旋转。这样的自动旋转门主要用来将非旋转类型的楼宇大门改造成自动旋转类型的楼宇大门。一般情况下, 被环绕的立柱往往都是建筑物的一部分构造, 先于旋转门存在的不可移动物体。因此, 一个可环绕固定立柱安装和旋转的自动旋转门的本体结构也一定较普通自动旋转门要复杂得多。最基本的, 旋转门上所有需要环绕立柱的大型零部件都要设计制作成可以一分为二的形式 (参见图中对分线), 特别是对于那些需要环绕立柱旋转的零部件而言, 必然还会带来加工、安装调试和控制噪声方面的一系列特殊问题。因此, 这种形式的自动旋转门本体部分的设计制造也就具有了相当的难度。

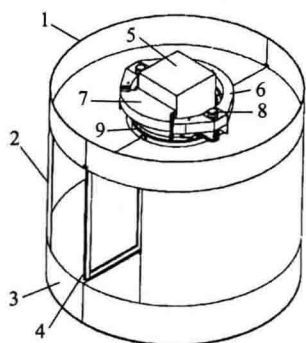


图 6-4 4.8m 三翼环柱式自动旋转门

- 1—华盖; 2—外壳部分;  
3—外壳底边; 4—旋转部分;  
5—固定立柱; 6—定心导向圈;  
7—定心导向圈固定座;  
8—变速驱动装置;  
9—对开大齿圈

### (1) 自动旋转门系统的结构特点和工作原理

在图 6-4 所示的实例中, 自动旋转门本体分为外壳部分 2 和内部结构部分 (4~9)。内部结构主要是起旋转支撑作用的定心导向圈 6 和定心导向圈固定座 7, 其中定心导向圈固定座 7 又与固定立柱 5 牢固连接, 它们之间又连接成完整的圆环体, 从而附着固定于固定立柱 5 上, 成为旋转运动部件定心和导向的可靠约束。此圆环体的另一个作用是用来安装旋转门的变速驱动装置 8, 变速驱动装置 8 主要由交流电动机和输出轴带驱动小齿轮的摆线针轮减速器构成, 用来驱动固定在旋转部分 4 上的对开大齿圈 9, 旋转部分 4 的主体部分是一个有足够强度和刚度、重量又较轻的薄壁圆柱形网筒, 借大齿圈的转动可以绕立柱体的轴线旋转, 圆柱形网筒上按等分角度固定安装了规定数目的旋转门扇 (一般为 2~4 扇) 随筒旋转, 就形成了旋转门装置。

另一方面, 对环柱式旋转门的控制功能和安全性的要求并未因其制作难度的增加而有所降低, 相反, 由于环柱式旋转门的旋转质量远大于普通旋转门的旋转质量, 使得对环柱式旋转门运动的精确定位控制带来了困难, 这导致一般不能简单地将普通旋转门的控制系统移到环柱旋转门上。目前普遍采用的旋转门控制和安全功能在下文介绍。

### (2) 自动旋转门的主要控制功能

目前普遍采用的旋转门控制和安全功能主要有以下几项。

① 自动启停功能 由接近传感器通知系统是否有移动物体接近或进入, 以启动旋转门以常速 (4r/min) 自动旋转, 或停止旋转门运行。

② 自动定位停功能 自动停止在锁门位置和密封位置停止。

③ 防夹功能 在右边曲壁立柱 (即由外入内) 侧, 安装了红外式防夹开关装置, 以防止门扇与曲壁立柱夹伤行人及宠物等。

④ 防碰功能 旋转门驱动电动机与电流检测传感器相连, 当行人靠近门时会导致电动机电流的变化, 传感器会将这一变化检测出来, 防止门扇碰伤行人。

⑤ 残疾人调速功能 自动转门设有残疾人按钮, 当残疾人通过时, 按下该按钮, 转门可以低速 1~2r/min 转动, 待残疾人顺利通过后, 转门自动恢复常速。

⑥ 紧急按钮 自动转门设有紧急停止按钮, 遇有特殊情况发生, 需要转门停止旋转时, 可按下此按钮。

⑦ 紧急疏散通道 当出现紧急情况时 (如火警), 门扇可折叠打开, 形成畅通无阻通道, 符合消防安全需要。

- ⑧ 调速功能 常速为 4r/min; 慢速为 2r/min; 快速为 6r/min。
- ⑨ 夜间闭锁功能 夜间开启电子锁锁定转门, 具有保安作用。
- ⑩ 自动报警功能 当门玻璃遭到破坏时, 可自动报警, 便于有关方面对事故进行处理, 并具有保安作用。

### (3) 环柱式自动旋转门的驱动控制系统设计

根据对自动旋转门上述工作和安全能力的基本要求, 制定出以下的功能和性能参数作为控制系统的设计依据。

#### ① 旋转门的功能特点

- a. 变速功能 旋转门设有低速、中速和高速 3 种旋转速度, 分别对应残疾、middle 和 high 三个按钮进行切换, 以适应残疾人通过、正常运转和紧急疏散对转速的不同要求。
- b. 自动转停功能 来人时自动启动, 并以正常转速运转, 15s 无人进出, 则自动停转并封门。
- c. 防夹功能 当门扇运转靠近曲壁立柱时, 如果行人试图从两者之间 (防夹区) 进入旋转门, 则门立即自动停转以防夹伤行人。行人离开防夹区, 门自动恢复运转。
- d. 防撞功能 当行人紧靠右侧立柱或遇物体碰撞右侧立柱时, 则旋转门马上停转, 以防止撞伤行人或撞坏物体。行人或物体离开右侧立柱, 门自动恢复运转。
- e. 防碰功能 行人在旋转门内通行过程中, 如遇门扇碰行人脚后跟, 则门立即自动停转, 以防止碰伤行人。行人离开门扇, 门自动恢复运转。
- f. 锁门功能 采用电磁锁方式锁门, 只要转动锁匙即可完成自动锁门工作, 快捷方便。
- g. 急停功能 当出现紧急意外事故时, 按下急停按钮, 门立即停转, 解除急停信号, 门又自动恢复运转。
- h. 暂停功能 (STOP 钮) 与急停功能相当, 不同的是按 STOP 钮后, 必须用残疾、middle 或 high 三个按钮中的一个进行恢复。
- i. 残疾优先功能 当按下残疾按钮后, 30s 内门始终以 2r/min 的速度低速运转, 此时按 middle 或 high 钮无效, 以确保残疾人安全通过。30s 后来人, 门自动以正常速度运转。
- j. 电动机过载保护功能 当电动机过载时, 门停转并且指示灯闪烁报警。过载消除后门自动恢复运转。
- k. 变频器报警输出和延时自动复位功能 当变频器过压或过流时, 关闭输出, 门停转并报警 (指示灯闪烁), 延时 3s 自动复位。

l. 漏电保护功能 旋转门还具有漏电保护的功能。

#### ② 旋转门的主要性能参数。

- a. 电动机 交流电动机两台, 每台功率为 750W。
- b. 门转速 门转速分为低速 (2r/min), 中速 (4r/min) 和高速 (6r/min)。

#### ③ 旋转门电动机系统驱动控制原理

a. 电气控制系统接线方案 旋转门采用 Y 形三相交流异步电动机驱动, 日立 SJ100 变频器进行变频调速, 以适应不同转速的需要。电气控制系统接线图见图 6-5。电动机转速通过 SJ100 智能端子 3、4 电平高低组成的速度控制字进行设定, 速度设定单元为变频器的 A20、A21、A22、A23 四个单元, 其设定值 (频率) 见表 6-1, 其中 A23 为直流制动前频率。

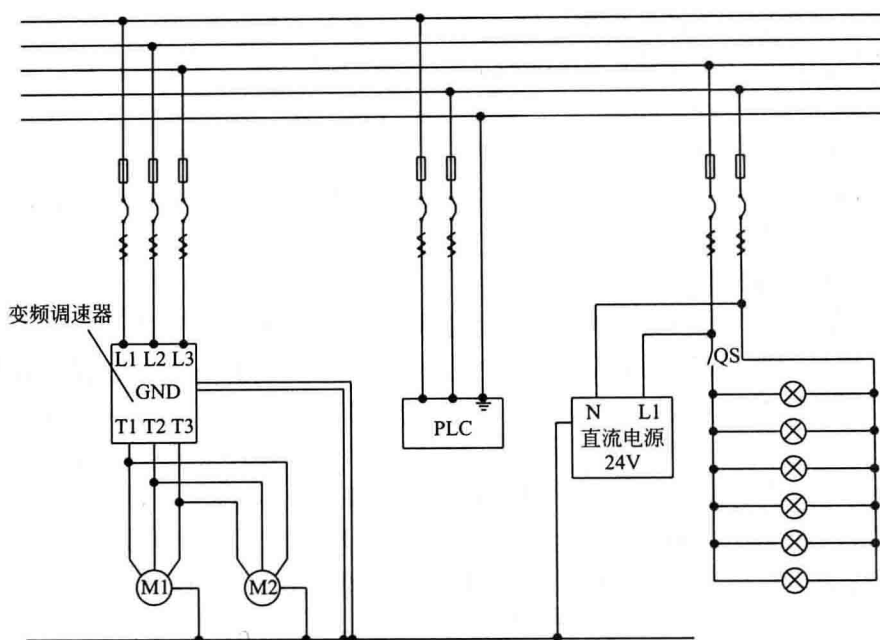


图 6-5 旋转门电气系统接线图

表 6-1 电动机转速设定表

速度控制字	智能端子电平高低		速度设定单元	速度设定值/Hz	备注
	端子 4	端子 3			
00	0	0	A20	50	高速
01	0	1	A21	33.3	中速
10	1	0	A22	16.7	低速
11	1	1	A23	10	制动前速度

b. 传感器设置方案 选用的各种类型传感器及其安装位置如图 6-6 所示。红外线动作感应器（接近开关）1 安装于旋转门的进口和出口华盖上，每处各安装两个红外线感应器，感应行人进入门体，门扇马上以正常速度旋转。红外线防夹安全感应器 2 防止门扇与曲壁柱之间夹伤行人，当门扇接近曲壁立柱时，感应器 2 与接近开关 1 信号同时生效门扇马上停止。防撞胶条安装于入口右侧门立柱上，胶条内装有内藏式感应器（防撞传感器）3，如遇物体碰撞或受压，门扇马上停止转动，防止夹伤行人，胶条内感应器 3 恢复正常后，转门也随之恢复正常运转。每扇门扉底边装有内藏式感应器（防撞传感器）4，如碰到物体或受压，门扇马上停止转动，防止门扇打倒行人，胶条内感应器 4 恢复正常后，转门也随之恢复正常运转。此外，还采用了 4 只测量范围为 5mm 的电感式接近开关，如图 6-7 所示。接近开关用于防夹位置区域设定、直流制动封门及锁门定位。

c. PLC 控制系统设计 旋转门控制系统的中央处理器采用 SIEMENS 公司的 PLC，通过与其他电气部件的连接（图 6-8）和执行所编写的控制程序，可以实现旋转门系统全部控制功能。表 6-2 和表 6-3 列出了 PLC 控制信号清单。

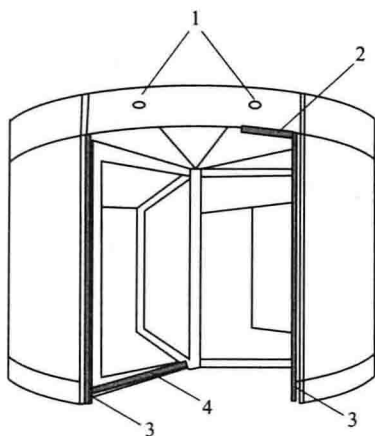


图 6-6 各种传感器的安装位置

1—动作感应器；2—红外线防夹安全感应器；  
3—防撞传感器；4—防碰传感器

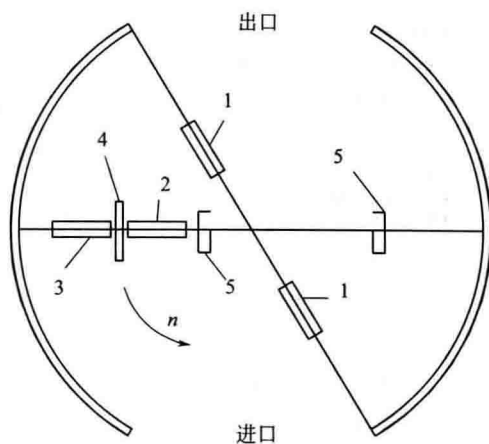


图 6-7 接近开关安装位置示意图

1—防夹接近开关；2—直流制动接近开关；3—锁门接近开关；  
4—锁门开关感应片；5—防夹、直流制动开关感应片

表 6-2 输入点信号表

输入点	信号内容	输入点	信号内容	输入点	信号内容
I0.0	急停	I1.0	红外感应器 1	I2.0	红外感应器 3
I0.1	残疾开关	I1.1	防撞传感器 1	I2.1	红外感应器 4
I0.2	STOP 开关	I1.2	防碰传感器 1	I2.2	防撞传感器 2
I0.3	Middle 开关	I1.3	防夹传感器 1	I2.3	防碰传感器 2
I0.4	High 开关	I1.4	变频器报警输出	I2.4	防碰传感器 3
I0.5	锁匙	I1.5	锁门接近开关	I2.5	防夹传感器 2
I0.6	直流制动接近开关	I1.6	防夹接近开关 2	I2.6	
I0.7	防夹接近开关 1	I1.7	红外感应器 2	I2.7	

表 6-3 输出点信号表

输出点	信号内容	输出点	信号内容
Q0.0	上电及报警指示灯	Q1.0	
Q0.1	电磁锁控制继电器	Q1.1	
Q0.2	电动机启停(变频器智能端子 1)	Q1.2	
Q0.3	速度控制(变频器智能端子 3)	Q1.3	
Q0.4	速度控制(变频器智能端子 4)	Q1.4	
Q0.5		Q1.5	
Q0.6	直流制动(变频器智能端子 5)	Q1.6	
Q0.7	变频器复位(变频器智能端子 6)	Q1.7	

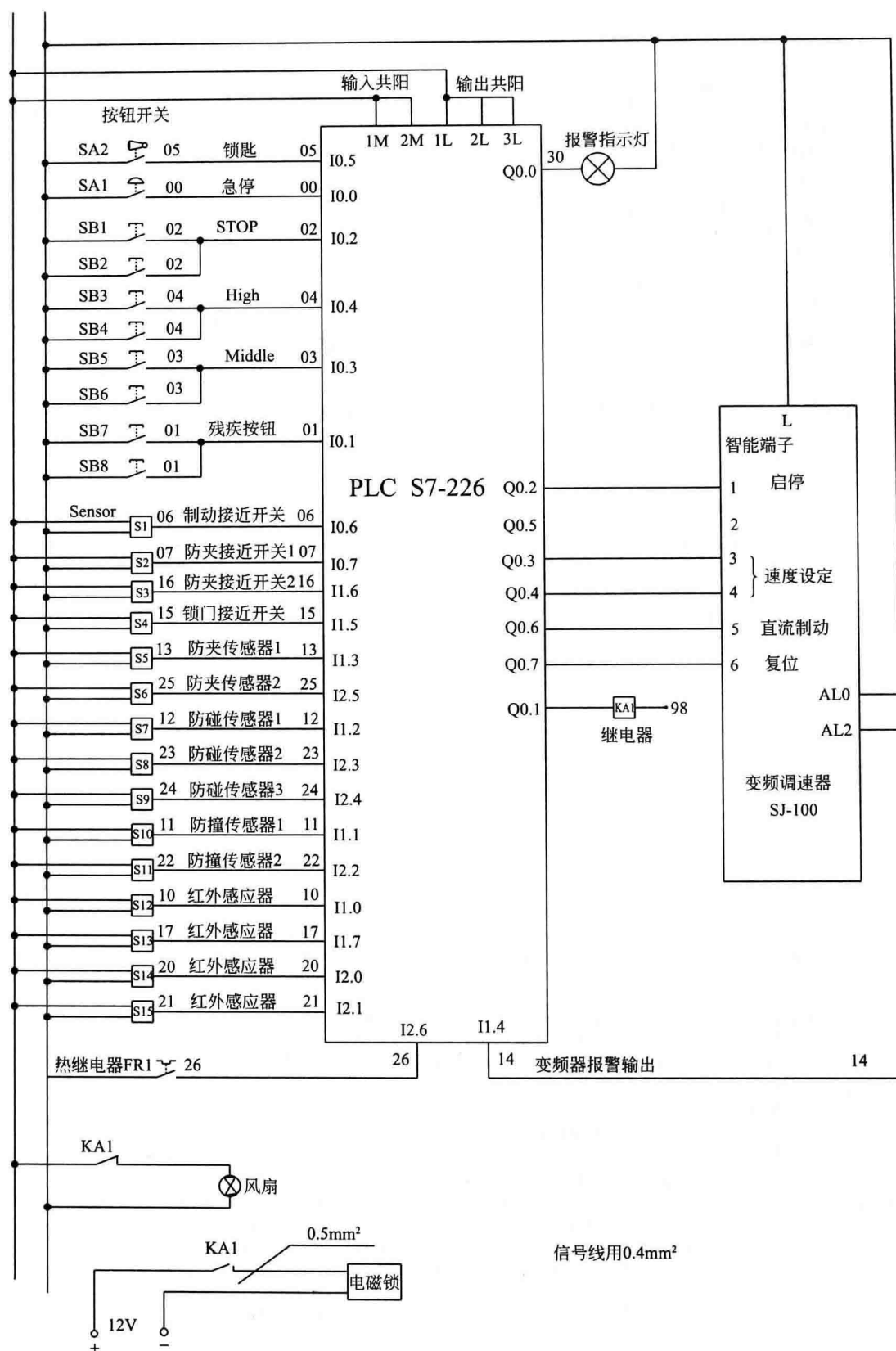


图 68 旋转门控制系统接线图



#### (4) 自动旋转门系统的 PLC 控制程序

```
NETWORK 1      //程序初始化,上电断开电机
LD              SM0.1
=              M0.0

NETWORK 2      //急停
//
LD              I0.0
=              M0.1

NETWORK 3      //红色指示灯,上电指示\变频器过载过热闪烁
//
LDN             M0.1
AN             M0.3
AN             M0.2
O              T37
=              Q0.0

NETWORK 4      //指示灯输出脉冲延时 0.5s
LDN             T38
TON            T37,+5

NETWORK 5      //指示灯输出脉冲延时 0.5s
LD              T37
LD              M0.2
O              M0.1
O              M0.3
ALD
TON            T38,+5

NETWORK 6      //变频器过载过热时指示灯闪烁
LD              I1.4
=              M0.2

NETWORK 7
LD              I2.6
=              M0.3

NETWORK 8      //变频器过载过热延时 3s 自动复位
//
LD              M0.2
AN             T39
TON            T50,+30

NETWORK 9      //变频器复位(端子 6)
```

//

LD	T50
O	Q0.7
AN	T39
=	Q0.7

NETWORK 10 //变频器复位时间设定 0.5s

//

LD	Q0.7
TON	T39,+5

NETWORK 11 //红外检测来人时电机启动/残疾人来时必须保证 30s 不自动停转,15s 不来人转为低速直流制动封门

//

LD	I1.0
O	M1.0
O	M1.1
O	I1.7
O	I2.0
O	I2.1
LDN	T40
O	M3.0
ON	M1.3
ALD	
=	M1.0

NETWORK 12 //残疾按钮/中速按钮/高速按钮按下时电机启动

LD	I0.1
EU	
LD	I0.3
EU	
OLD	
LD	I0.4
EU	
OLD	
=	M1.1

NETWORK 13 //无人进出自动停转时间设定 15s

LDN	I1.0
AN	I2.0
AN	I1.7
AN	I2.1
AN	M1.1
TON	T40,+150

```

NETWORK 14      //电机启停控制(撞人/夹人/挤人/变频器过载/变频器过热/直流制动/上电/上锁时停
                  转)

//
LD              M1.0
O               M7.0
AN             M6.0
AN             M0.2
AN             Q0.6
AN             T41
AN             M0.0
AN             Q0.1
AN             M1.4
AN             I2.6
=              Q0.2

NETWORK 15      //按 STOP 转速控制字 11 先降速 10Hz(必须用残疾/中速/高速按钮复位)

//
LD              I0.2
EU
O               M1.2
AN             M1.1
=              M1.2

NETWORK 16      //按 STOP/防夹功能有效时,等待 0.3s 降速(10Hz)

//
LD              M1.2
O               M1.5
O               M0.1
TON            T41,+3

NETWORK 17      //15s 无人进出时等待 0.4s(F03 设定值),使 F=10Hz

//
LD              T40
TON            T44,+4

NETWORK 18      //正常直流制动接近开关上升沿

//
LD              I0.6
EU
LD              M1.3
AN             T43
OLD
A               T44
=              M1.3

```

```

NETWORK 19    //直流制动(按 STOP/防夹传感器+防夹接近开关同时有效/15s 无人进出+直流制动接
               近开关上升沿/锁门接近开关)

//
LD            M1.3
O             T41
O            M1.4
AN           Q0.2
AN           T43
=            Q0.6

NETWORK 20    //直流制动时间设定 0.5s(≥A55 设定值)

//
LD            T41
O            M1.3
O            M1.4
TON          T43,+5

NETWORK 21    //残疾人通过时速度控制字 10

LD            I0.1
EU
O            M3.0
AN           T42
=            M3.0

NETWORK 22    //残疾人通过时间设定 30s

LD            M3.0
TON          T42,+300

NETWORK 23    //高速速度控制字 00

LD            I0.4
EU
LD            M5.0
AN           T40
OLD
A            M1.0
AN           M3.0
AN           I0.3
=            M5.0

NETWORK 24    //速度控制字 Q0.4 位接变频器智能端子 4

LD            M3.0
O            M7.0
O            M0.1
O            T40
O            M1.2

```

O M1.5  
= Q0.4

NETWORK 25 //速度控制字 Q0.3 位接变频器智能端子 3

LDN M3.0  
AN M5.0  
O M7.0  
O M0.1  
O M1.2  
O M1.5  
= Q0.3

NETWORK 26 //防夹传感器与防夹接近开关同时有效,直流制动门停转

//  
LD I1.3  
A IO.7  
LD I2.5  
A I1.6  
OLD  
= M1.5

NETWORK 27 //防撞/防碰传感器信号有效,则断开电机不制动

//  
LD I1.1  
O I2.2  
O I1.2  
O I2.3  
O I2.4  
= M6.0

NETWORK 28 //机械锁位置准确,直接上电磁锁和机械锁

LD IO.5  
A I1.5  
AN Q0.2  
= Q0.1

NETWORK 29 //机械锁位置不准确设定电机低速运转控制字 11

LD IO.5  
AN I1.5  
LD M7.0  
AN T43  
OLD  
= M7.0

NETWORK 30 //门精确停位上电磁锁和机械锁

LD	M7.0
A	I1.5
EU	
O	M1.4
A	I0.5
=	M1.4

## 6.2 音乐喷泉系统

音乐喷泉是由计算机控制声、光及喷孔组合而产生不同形状、不同色彩、配合音乐节奏而构成的综合水景。它以声、光、动、形、韵的和谐为特征，体现了乐起形变、音变水舞的无穷变化，喷泉、彩灯伴随着优雅的乐曲，梦幻般地起伏，交相辉映，构成一幅五彩缤纷、优美动人的画面，具有超强的观赏性和多视角的艺术性，已成为现代城市生活中装饰效果最佳、观赏价值最高的重要娱乐设施之一。

另外，喷泉可以湿润周围空气，减少尘埃，降低气温。喷泉的细小水珠同空气分子撞击，能产生大量的负氧离子，有益于改善城市面貌和增进居民身心健康。

喷泉随着音乐变化，改变其形态，呈现丰富多彩的花型变化，经由视觉和听觉共同感受音乐丰富的内涵，每只乐曲所表达的情感不同，喷泉的花形变化也不同。使喷泉的造型及灯光的变化与音乐保持同步，从而达到喷泉水形、灯光及色彩的变化与音乐情绪的完美结合，使喷泉表演更加生动更加富有内涵，见图 6-9。



图 6-9 音乐喷泉

### 6.2.1 音乐喷泉系统的构成

#### (1) 系统构成

音乐喷泉系统是由电气系统、音乐系统、光学系统（彩色地下灯、激光）、控制系统（控制台、控制电源柜）、机械系统（各种摇摆喷嘴装置、高压水水泵和水管）等组成，是光



学、机械学、电学、流体力学、计算机技术的综合应用，涉及音乐、灯光、给排水、电气、通信和计算机自动控制等多种领域。其组成包括如下部分。

① 喷泉喷头 各种类型材质（如铝、铜、不锈钢）及规格的通用型喷头。特殊或特大型喷头。如百米高程喷头、拱形波光喷头、特大水晶球，特大喇叭花喷头等。

② 喷泉灯具 各种材质（如合成塑料、铸铝、铸铜、不锈钢）及多种功率（50～300W）水下彩色射灯（5色）。

③ 水下霓虹灯 各种规格及亮度光导纤维系列与配套发光机系列。

④ 激光系列 大功率多功能电脑调控彩灯及激光水幕电影发光器。

⑤ 喷泉环境音响 音乐喷泉音响系统与广场环境背景音响系列。

⑥ 控制设备 各种喷泉用可编程控制器、控制台（柜），工控电脑及喷泉网络控制节点，各种音乐喷泉专业软件。

音乐喷泉控制系统是由上下两级微机组成，通过RS232进行上下两级微机的通信，上级微机负责读音乐的控制编辑和喷泉造型的实时仿真，下级微机接收上级微机送来的代码，通过变频调速器控制喷泉系统的水泵，采用交流调光技术，交流变频调速技术，摇摆喷嘴伺服系统等所组成的彩色音乐喷泉，将声、光、水、色有机地融为一体。音乐喷泉系统的结构如图6-10所示。

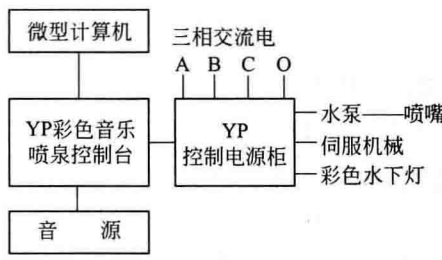


图 6-10 音乐喷泉系统结构

(2) 喷泉的种类

喷泉是一种将水或其他液体经过一定压力通过喷头洒出来具有一定形状的组合体，提供水压的一般为水泵。现代城市中的喷泉形式已十分丰富。随着构筑物的大小及水压等的变化，喷泉或高或低、或珠或雾，精彩纷呈，可分为7种。

① 普通喷泉 只有简单的几种固定水形及灯光，随着电源的开闭而控制喷泉的运行、水形和灯光的变化。

② 程控喷泉 将各种水形及灯光，按照预先设定的排列组合进行控制程序的设计，通过计算机运行程序发出控制信号，使水形及灯光有各种各样的变化。

程控喷泉控制系统是采用定时程序来变化各种水形组合。水泵可以用开关控制，也可用变频控制来改变其水压。若加上彩色灯光便成为“彩色程控喷泉”。见图6-11。

③ 音乐喷泉 是由电脑控制声、光及喷孔组合而产生不同形状、不同色彩、配合音乐节奏而构成的综合水景。水的形态会随着声音的抑扬顿挫而“跳起舞来”，加上灯光的照射，可以形成舞姿优美、色彩斑斓的多样喷泉，可以根据音乐的高低起伏变化。用户可以在编辑界面编写自己喜爱的音乐程序。播放系统可以实现音乐、水、灯光气氛统一，播放同步。见图6-12。

音乐喷泉的工作原理是根据播放的音乐来控制水柱，达到与音乐同步的效果，而水柱是由水泵来控制的，而水泵是由三相异步电动机组成的，三相异步电动机的转速如果通入工频电源，转速是不变化的，变频器是专门针对电动机调速的装置。由变频器控制电动机的转速，使水柱发生变化。改变频率就改变了电动机的转速，也就改变了水泵的压力，音乐的不同频率经单片机处理送到变频电动机的控制端，使电动机转速随音乐的音调、节奏和强弱变化，水泵的压力随之变化，喷出的水就有了高低变化，而且是由几套设备对多组喷嘴实施控制。

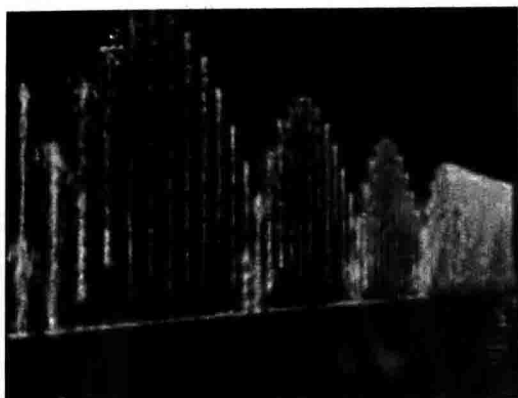


图 6-11 程控喷泉



图 6-12 音乐喷泉效果图

④ 水幕激光喷泉 水幕电影出现于 20 世纪 80 年代，由激光演示系统、放映机系统、水幕发生器、音响系统组成，将激光器发出的激光束射在水幕喷头的水幕上，激光束由激光控制系统编程控制，可呈现多种多样的图案及色彩，照射在晶莹透明的水膜上，形成斑斓夺目的效果。图 6-13 为水幕电影效果图。

水幕电影投影机由机械装置、控制支架、通信口、软件、时间信号界面及 DMX512 接口组成。该投影机的发动机通过光学传感控制，精度高，其控制方法有三种：编程控制、直接控制和实用程序控制。水幕高达 20 余米，宽 30~50m，各种 VCD 光盘或水幕专用影片均可在水幕上播放，影视效果奇特、新颖并是极佳的广告宣传工具，各种广场及开阔的水面均可安装水幕电影。用 Aquatique Show 的水屏技术，可以在一个完全由水构成的屏幕上进行动像或定像的放映。这一透明的屏幕由水下系统制造，此系统可以安装在船上，或水畔、海边、已有的水池里。此水屏在未启动时是隐蔽不见的，它随着表演的进行时隐时现。它的另一优越性：眼睛看到的映画是三维的立体效果。



图 6-13 水幕电影效果图

⑤ 水珍珠喷泉 利用特殊音波将水变成球体的喷水装置和全频高速闪光灯的视觉图像效果的产品组成。

⑥ 游戏喷泉 又称感应泉，喷泉水柱根据游人的动作产生反应，而且这种应具有不确定性，是一种互动式喷泉，增强了娱乐氛围。

⑦ 跳跳喷泉 又名光亮泉。是一种高科技水景艺术，水形似根根晶莹透彻地冰柱，一

串串飞向空中，轻舞飞扬。

(3) 工作原理

音乐喷泉控制系统综合当今国际上最流行的先进科技成果，集音乐控制、可编程序控制、人工智能控制技术于一体，是一种工业现场控制系统。音乐喷泉控制系统的上位机是多媒体工业 PC 机组成的现场控制系统，能实现全程实时音控，能自行识别乐曲旋律、节奏、乐感和音频的强弱度。该系统有音频与水形的同步功能，有方便的操作界面和编配乐曲功能。

音乐喷泉是在程序控制喷泉的基础上加入了音乐控制系统，计算机通过对音频及 MIDI 信号的识别，进行译码和编码，最终将信号输出到控制系统，用音乐信号通过控制系统控制水流、灯光的变化，以随机控制或微机控制方式控制高压水泵、彩色水下灯和摇摆喷头伺服机械的工作状态。原理如图 6-14 所示。

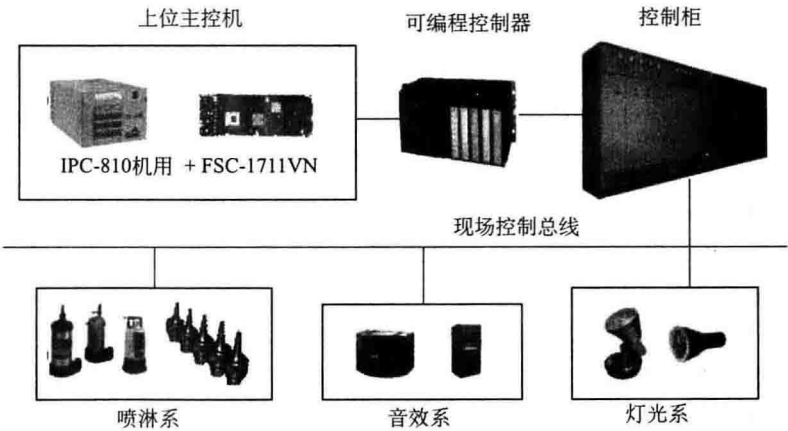


图 6-14 音乐喷泉工作原理

在图 6-15 所示的花式喷泉池图中，花式喷泉系统的控制要求如下。

① 1、2 均为外环形状的喷水管，3 为内环形状的喷水管，4 为星形喷水管。灯光系统由三条支路组成，分别为绿色灯支路（在 1、2 之间）、黄色灯支路（在 2、3 之间）红色灯支路（在 3、4 之间）。

② 该喷泉共有三种花样可供选择。按下启动按钮，喷泉即开始工作，按下停止按钮，则停止喷水。喷泉的工作方式（即喷水花样）由选择开关来实现。

③ 该花式喷泉有四种喷水花样可供选择：  
a. 花样选择开关在位置 1 时，按下启动按钮后，4、3、2 间隔 2s 依次喷水，一起工作 18s 后，如果为单步工作方式，则停下来；如果为连续工作方式，则继续循环下去。

b. 花样选择开关在位置 2 时，按下启动按钮后，1、2、3、4 间隔 2s 依次喷水，一起工作 30s 后，如果为单步工作方式，则停下来；如果为连续工作方式，则继续循环下去。

c. 花样选择开关在位置 3 时，按下启动按钮后，1、3 同时喷水，延时 3s 后 2、4 喷水，1、3 停止喷水。交替运行 15s 后，1、2、3、4 全喷水，30s 后，如果为单步工作方式，则

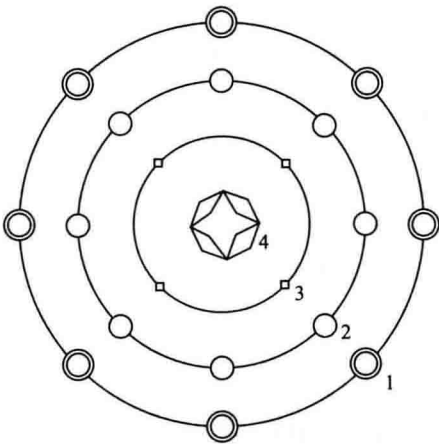


图 6-15 花式喷泉池示意图

停下来；如果为连续工作方式，则继续循环下去。

d. 花样选择开关在位置 4 时，按下启动按钮后，1、2、3、4 间隔 2s 依次喷水，一起工作 30s 后，1、2、3、4 分别延时 2s，依次停止喷水。再经 1s 延时按照 4、3、2、1 依次间隔 2s 喷水，然后一起喷水，30s 后停止。如果为单步工作方式，则停下来；如果为连续工作方式，则继续循环下去。

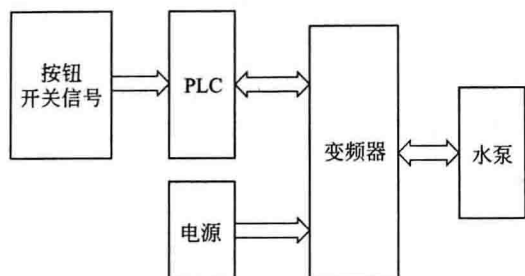


图 6-16 花式喷泉控制系统的原理图

④ 灯光系统的控制：PLC 的 X5 输入端为灯光系统控制的选择按钮，当需要灯光配合时，接通 X5 输入端。此时可实现三路灯光的控制，即 3、4 任意一层喷水时，红色灯亮；2 喷水时，黄色灯亮；所有的喷头喷水时，绿色灯亮。

在喷泉中，通过按钮开关信号来控制 PLC；因为有 4 层喷水，因此用了 1 个变频器控制 4 个水泵。花式喷泉控制系统的原理如图 6-16 所示。

#### (4) 音乐喷泉控制系统

音乐喷泉控制系统有三种形式：集中式控制系统、现场总线式控制系统和网络现场总线式控制系统。

① 集中式控制系统 采用放射型结构，能满足控制室离水池较近、规模较小、花形变化较少的音乐喷泉。因为集中式控制系统采用放射式线路，当水池远离控制中心时，工程所花费的电缆线路投资也就会增加。

② 现场总线式控制系统 现场总线是一种串行数据通信链路。它沟通了喷泉现场基本控制设备与上级控制设备之间的联系，例如 485 总线和 CAN 总线。现场总线的优点如下：

a. 一条传输线可控制多台设备，使控制系统更加简单，因此也就缩短了工程施工的周期，安装和维护也更容易。

b. 采用数字通信技术，抗干扰性强，精度高。

c. 控制功能分散到喷泉现场，提高了电控系统的可靠性和灵活性。

③ 网络现场总线式控制系统 结构与现场总线相同，但在性能上却有本质上的提高。主要表现在以下几方面：

a. 网络现场总线是最彻底的分布式控制系统。它使电控系统运行速度更快，达到音乐喷泉实时控制的要求，稳定性也更好。

b. 由于网络连接结构的种类很多，能支持总线型也支持放射型，也可以混合结构。

c. 网络现场总线与现场总线的主要差别是网络现场总线采用了专用网络操作系统来保证网络上各个设备之间的相互操作。

d. 电控系统的调试和维护更加方便。

## 6.2.2 系统硬件设计

### (1) 可编程控制器 PLC 的选择

喷泉的喷射效果取决于控制器设置的水形花样和艺术性，这部分是喷泉美感成功的关键。使用 PLC 进行花样控制非常简单容易，以后如果想改变、增加喷泉的水形，也不需要改变硬件，只要改变 PLC 编程程序就可实现。

可编程控制器 PLC 是用于工业现场的电控制器，它源于继电器控制技术，但基于电子计算机。PLC 通过运行存储在其内存中的程序，把经输入电路的物理过程得到的输入信息，

变换为所要求的输出信息,进而再通过输出电路的物理过程去实现对负载的控制。

PLC有丰富的指令系统,有各种各样的I/O接口、通信接口,有大容量的内存,有可靠的自身监控系统,具有逻辑处理功能、数据运算功能、准确定时功能、高速计数功能、中断处理(可以实现各种内部中断)功能、程序与数据存储功能、联网通信功能、自检测和自诊断功能。

在PLC系统设计时,首先应确定控制方案,下一步工作就是PLC工程设计选型。工艺流程的特点和应用要求是设计选型的主要依据。因此工程设计选型和估算时,应详细分析工艺过程的特点、控制要求,控制任务和范围确定所需的操作和动作,然后根据控制要求,估算输入输出点数、所需存储器容量,确定PLC的功能、外部设备特性等,最后选择有较高性能价格比的PLC和设计相应的控制系统。

① 输入输出(I/O)点数的估算 I/O点数估算时应考虑适当的余量,通常根据统计的输入输出点数,再增加10%~20%的可扩展余量后,作为输入输出点数估算数据。

② 存储器容量的估算 存储器容量是可编程序控制器本身能提供的硬件存储单元大小,程序容量是存储器中用户应用项目使用的存储单元的大小,因此程序容量小于存储器容量。设计阶段,由于用户应用程序还未编制,因此程序容量在设计阶段是未知的,需在程序调试之后才知道。为了设计选型时能对程序容量有一定估算,通常采用存储器容量的估算来代替。

③ 控制功能的选择 该选择包括运算功能、控制功能、通信功能、编程功能、诊断功能和处理速度等特性的选择。

a. 控制功能 PLC主要用于顺序逻辑控制,因此大多数场合常采用单回路或多回路控制器解决模拟量的控制,有时也采用专用的智能输入输出单元完成所需的控制功能,提高PLC的处理速度和节省存储器容量。

b. 编程功能 离线编程方式:PLC和编程器共用一个CPU,编程器在编程模式时,CPU只为编程器提供服务,不对现场设备进行控制。完成编程后,编程器切换到运行模式,CPU对现场设备进行控制,不能进行编程。离线编程方式降低系统成本,但使用和调试不方便。在线编程方式:CU和编程器有各自的CPU,主机CPU负载现场控制,并在一个扫描周期内与编程器进行数据交换,编程器把在线编制的程序或数据发送到主机,下一扫描周期,主机就根据新收到的程序运行。

五种标准化编程语言:顺序功能(SFC)、梯形图(LD)、功能模式图块(FBD)三种图形化语言和语句表(IL)、结构体文(ST)两种文本语言。选用的编程语言应遵守其标准(IEC-113123),同时还应该支持多种语言编程方式,如C、Basic等,以满足特殊控制场合的控制要求。

c. 诊断功能 PLC的诊断功能包括硬件和软件的诊断。硬件诊断通过硬件的逻辑判断确定硬件的故障位置,软件诊断分内诊断和外诊断。通过软件对PLC内部的性能和功能进行诊断是内诊断,通过软件对PLC的CPU与外币输入输出等部件信息交换功能进行诊断是外诊断。

PLC的诊断功能的强弱,直接影响对操作和维护人员技术能力的要求,并影响平均维修时间。

d. 机型的选择 可以通过对输入/输出点的选择,对存储量的选择,对I/O响应时间的选择,输出负载的特点选型的分许。

该控制系统选用三菱公司FXON系列的PLC。它体积小,重量轻,使用寿命长,编程



和维护方便,故障率低,通过扩展模块的链接,可以增加输入/输出点数。设计的花式喷泉模型共有6个输入、11个输出,因此选用型号为FX2N-32MR的PLC。

## (2) 变频器的选型

变频调速技术是针对固定工频而采取的高效节能措施,工频(50Hz)是发电的最佳频率,但它并非是所有用电设备的最佳工作频率,因而导致许多设备长期处于低频率、低功率运行状态。占全国耗电2/3的交流电动机目前大多数还在工频、恒速下运动,运行效率只有60%左右。为了提高效率,在本设计中用到变频器。

变频器是利用电力半导体器件的通断作用将工频电源变换为另一频率的电控制装置。现在使用的变频器主要采用交-直-交方式(VVVF变频或矢量控制变频),先把工频交流电源通过整流器转换成直流电源,然后再把直流电源转换成频率、电压均可控制的交流电源以供给电动机。整流部分为三桥式不可控整流器,逆变比分为IGBT三相桥式逆变器,且输出为PWM波形,中间直流环节为滤波、直流储能和缓冲无功功率。

变频器选型时要确定以下几点。

① 采用变频的目的:恒压控制或恒流控制等。

② 变频器的负载类型:如叶片泵或容积泵等,特别注意负载的性能曲线,性能曲线决定了应用时的方式方法。

③ 变频器与负载的匹配问题如下。

a. 电压匹配:变频器的额定电压与负载的额定电压相符。

b. 电流匹配:普通的离心泵,变频器的额定电流与电动机的额定电流相符。对于特殊的负载如深水泵等需要参考电机的性能参数,以最大电流确定变频器电流和过载能力。

c. 转矩匹配:这种情况在恒转矩负载或有减速装置时有可能发生。

i. 在使用变频器驱动高速电机时,由于高速电机的电抗小,高次谐波增加导致输出电流值增大,因此用于高速电机的变频器的选型,其容量要稍大于普通电机的选型。

ii. 变频器如果要长电缆运行时,要采取措施抑制长电缆对地耦合电容的影响,避免变频器出力不足,所以在这样的情况下,变频器容量要更大一档或者在变频器的输出端安装输出电抗器。

iii. 对于一些特殊的应用场合,如高温、高海拔,此时会引起变频器的降容,变频器的容量要放大一档。

本设计是通过变频器调速技术来控制每环喷水的高度,选用的是FR-S520(E)系列变频调速器。

## (3) 水泵的选型

合理选泵,就是要综合考虑泵机组和泵站的投资和运行费用等综合性的技术经济指标,使之符合经济、安全、适用的原则。具体来说,有以下几个方面:必须满足使用流量和扬程的要求,即要求泵的运行时经常保持在高效区运行,这样既能剩动力又不易损坏。所选择的水泵既要体积小、重量轻、造价便宜,又要具有良好的特性和较高的效率。具有良好的抗汽蚀性能,这样既能减小泵房的开挖深度,又不使水泵发生汽蚀,运行平衡、寿命长。

① 列出基本数据

a. 介质的特性,如介质名称、密度、黏度、腐蚀性、毒性等。

b. 介质中所含固体和颗粒、含量多少。

c. 所需要的流量,一般工业用泵在工艺流程中可以忽略管道系统中的泄漏量。

d. 压力,吸水池压力,排水池压力,管道系统中的压力降。



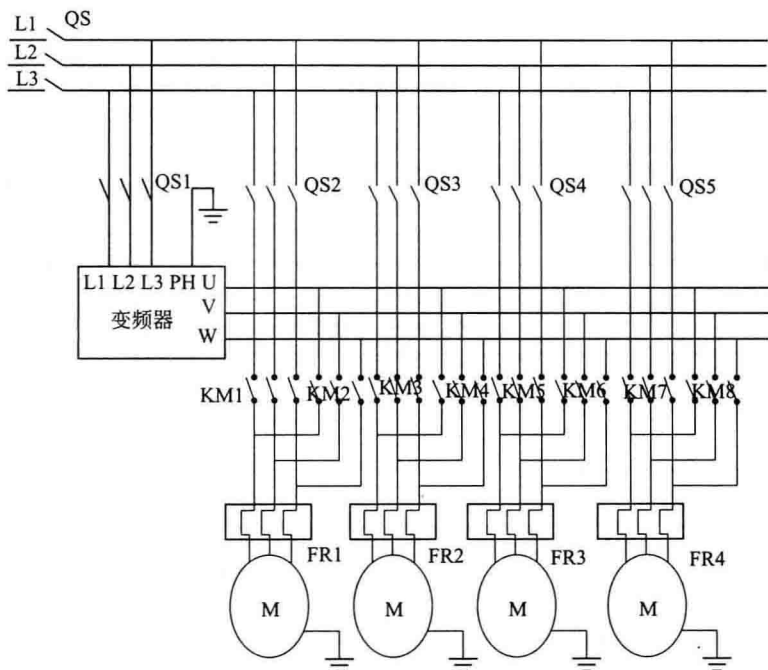
### ② 确定流量扬程和流量

- 如果生产工艺中已给出最小、正常、最大流量，应按最大流量考虑。
- 如果生产工艺中只给出正常流量，应考虑留有一定的余量。
- 如果基本数据值只给重量流量，应换算成体积流量。

喷泉的水泵必须满足大功率快速精确启停。

#### (4) 硬件接线图

系统的硬件连接图即 PLC 和系统中各个硬件的连线, 如图 6-17 所示。



**图 6-17** 变频器与水泵连接图

### 6.2.3 系统软件设计

### (1) PLC 梯形图

梯形图是使用得最多的图形编程语言。梯形图与电气控制系统的电路图很相似，具有直观易懂的优点，特别适用于开关量逻辑控制。梯形图常被称为电路或程序，梯形图的设计称为编程。

PLC 梯形图中的某些编程元件沿用了继电器的名称，如输入继电器、输出继电器、内部继电器等。该存储单元如果为“1”状态，则表示梯形图中对应软继电器的线圈“通电”，其常开触电接通，常闭触点断开，称这种状态时该软继电器的“1”或“ON”状态。如果该存储单元为“0”状态，对应软继电器的线圈和触点的状态与上述的相反，称该软继电器为“0”或“OFF”状态。使用中也常将这些“软继电器”称为编程元件。

采用 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件, 具体的操作方法如下:

① 打开 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件, 之后点击文件, 在下拉菜单栏里点击“新文件(N)…”选择 FX2N/FX2NC, 确定打开后可以绘制梯形图来编制程序。

② 在打开文件之后就可以绘制梯形图，根据所编的程序，在页面右边的功能图下拉菜单栏里点选，确定打开后可以绘制梯形图。在绘制梯形图中选择需要的输入元件，完成对梯

形图的绘制。

(2) I/O 分配表

I/O 分配表见表 6-4、表 6-5，花式人工喷泉的模拟接线图见图 6-18。

表 6-4 输入 I/O 分配表

序号	输入	说明
1	X0	停止说明
2	X1	启动按钮
3	X2	选择开关 1 的位置
4	X3	选择开关 2 的位置
5	X4	选择开关 3 的位置
6	X5	灯控制按钮

表 6-5 输出 I/O 分配表

序号	输出	说明
1	Y0	电源指示
2	Y1	控制 1 管喷水
3	Y2	控制 2 管喷水
4	Y3	控制 3 管喷水
5	Y4	控制 4 管喷水
6	Y5	红色灯
7	Y6	黄色灯
8	Y7	绿色灯
9	Y10	中速
10	Y11	慢速
11	Y12	正转

① 输入信号 启动按钮 SB0：I0.0；花样选择位置 1 开关 SB1：I/0.1；花样选择位置 2 开关 SB1：I/0.2；花样选择位置 3 开关 SB1：I/0.3；花样选择位置 4 开关 SB1：I/0.4；单步、连续开关 SB5：I0.5；停止按钮 SB6：I0.6。

② 输出信号 1 号喷头喷水开关接触器 KM1：Q0.1；2 号喷头喷水开关接触器 KM2：Q0.2；3 号喷头喷水开关接触器 KM3：Q0.3；4 号喷头喷水开关接触器 KM4：Q0.4。

I/O 接线图、流程图和梯形图分别见图 6-19～图 6-21。

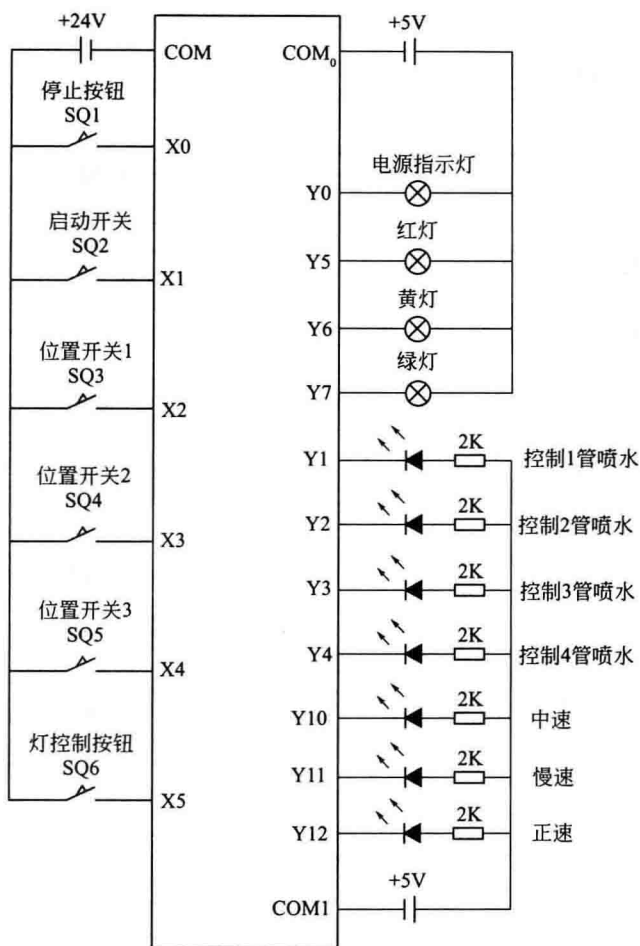


图 6 18 花式人工喷泉的模拟接线图

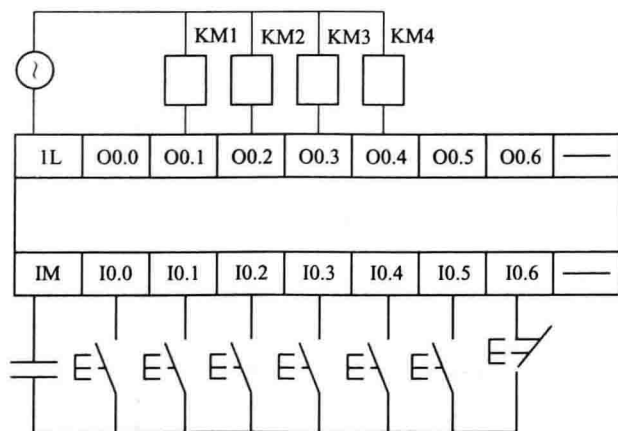


图 6 19 I/O 接线图

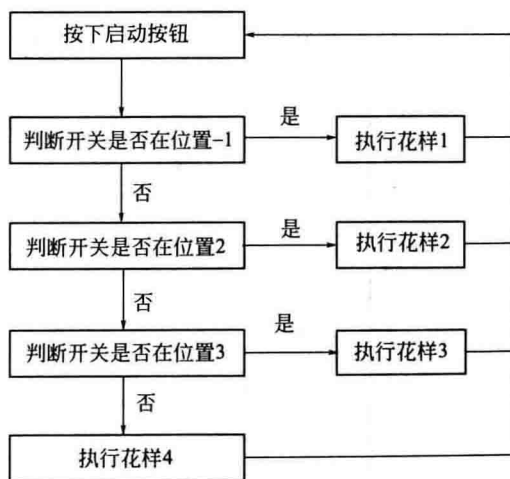
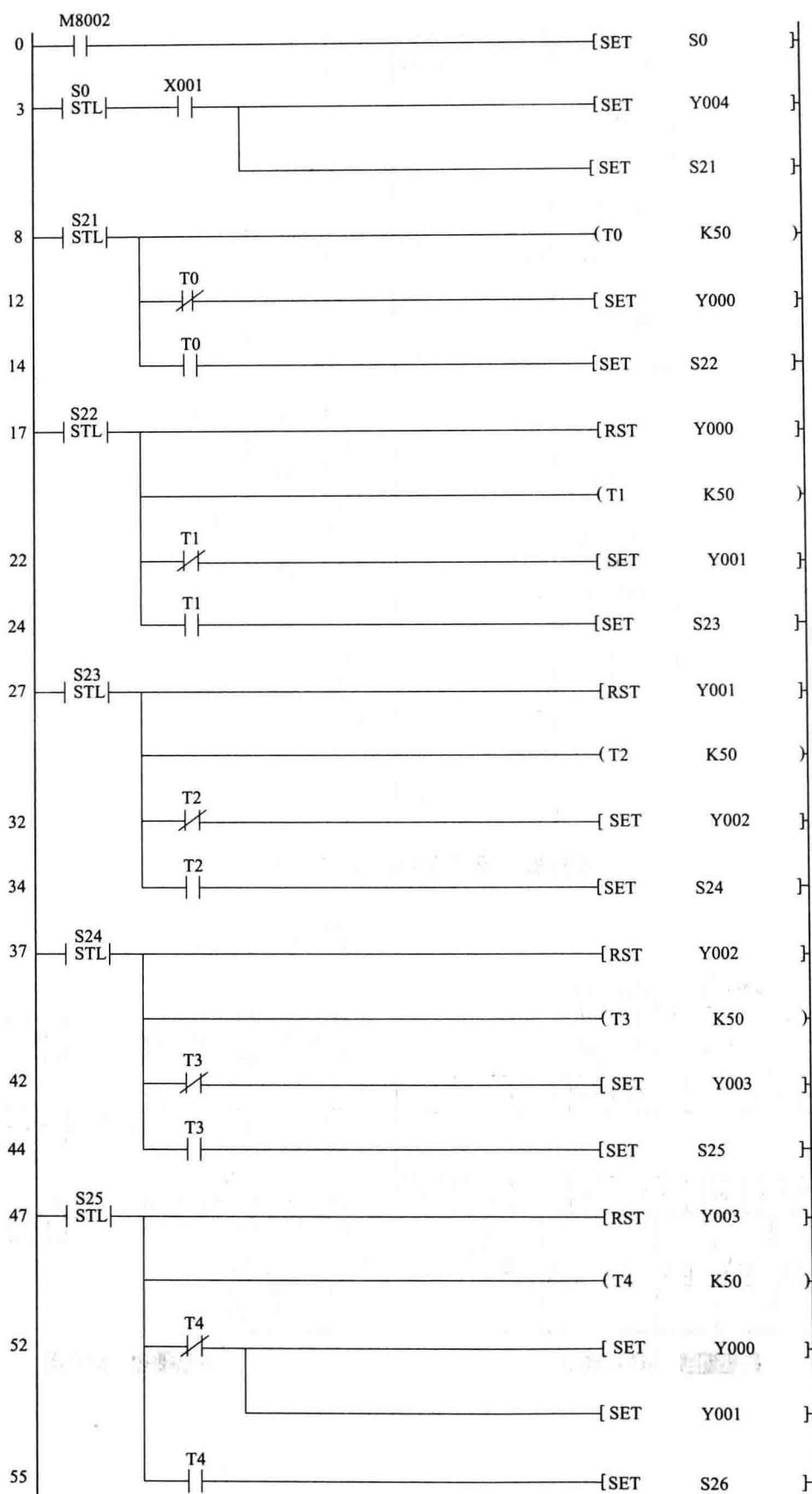


图 6 20 流程图



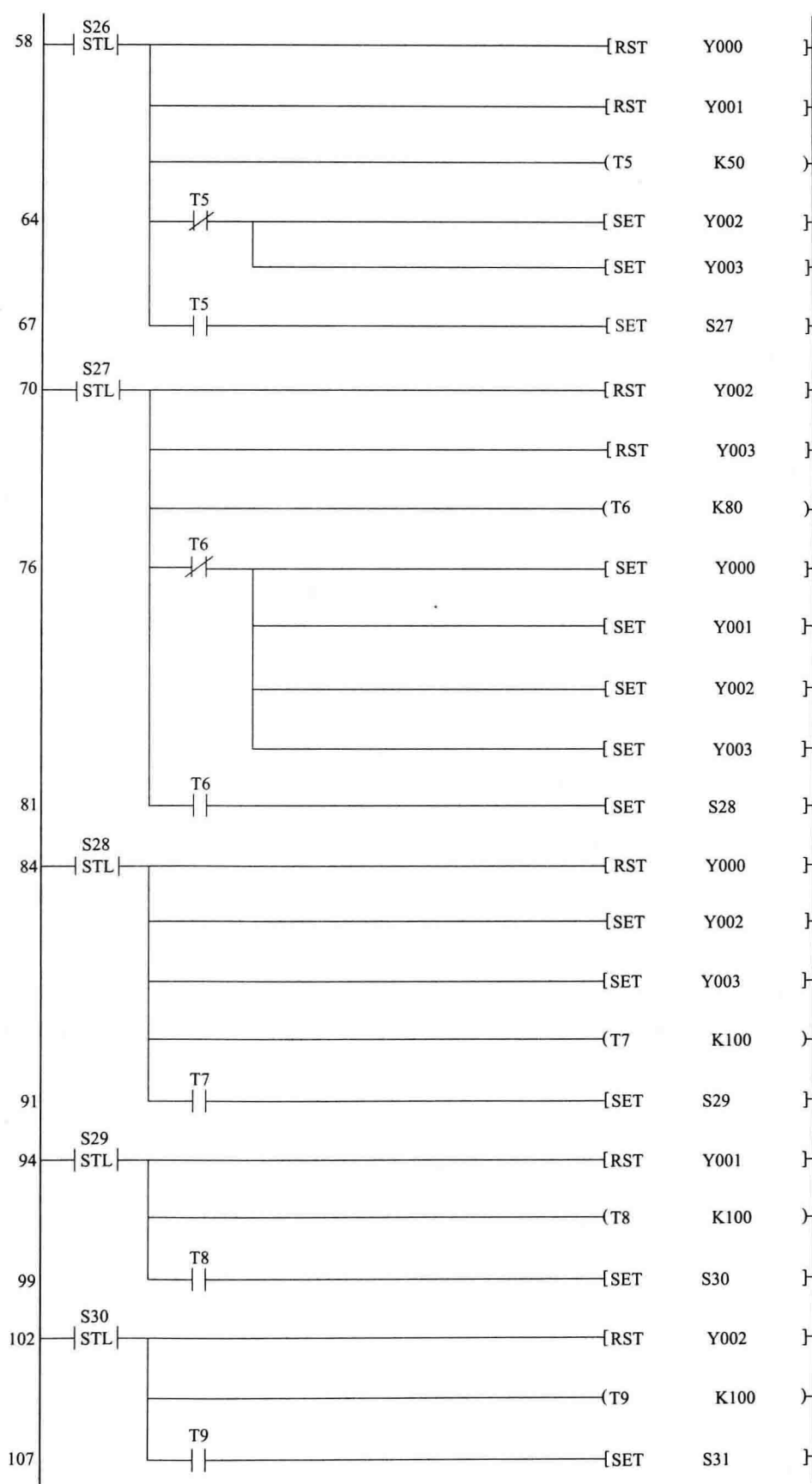


图 6 21 梯形图

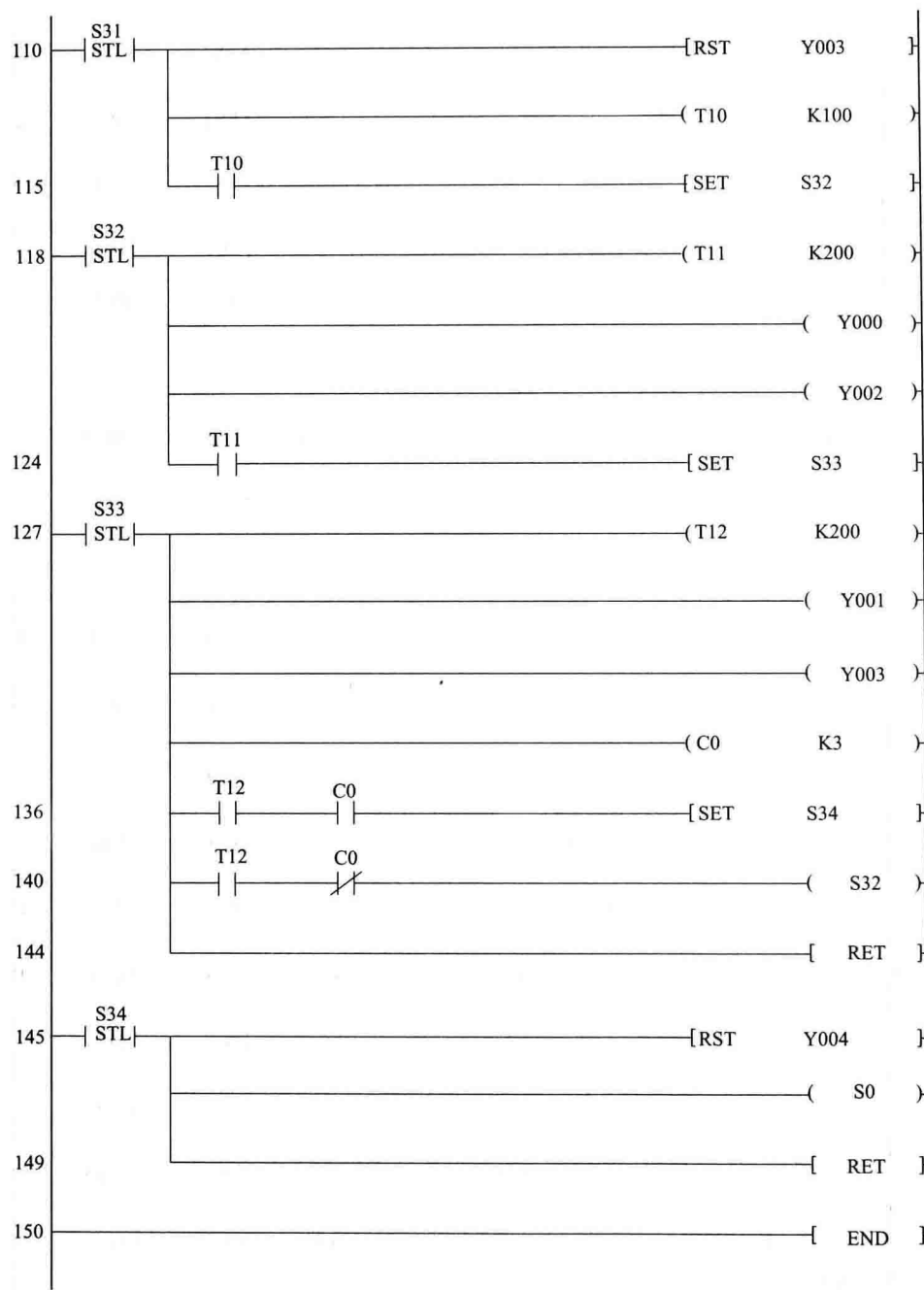


图 6 21 梯形图

## (3) 喷泉控制系统的设计程序

```

0 LD M8002
1 SET S0
3 STL S0
4 LD X001
5 SET Y004
6 SET S21
8 STL S21
9 OUT T0 K30

```



12 LDT T0  
13 SET Y000  
14 LD T0  
15 SET S22  
17 STL S22  
18 RST Y000  
19 OUT T1 K30  
22 LDI T1  
23 SET Y001  
24 LD T1  
25 SET S23  
27 STL S23  
28 RST Y001  
29 OUT T2  
32 LDI T2  
33 SET Y002  
34 LD T2  
35 SET S24  
37 STL S24  
38 RST Y002  
39 OUT T3 K30  
42 LDI T3  
43 SET Y003  
44 LD T3  
45 SET S25  
47 STL S25  
48 RST Y003  
49 OUT T4 K50  
52 LDI T4  
53 SET Y000  
54 SET Y001  
55 LD T4  
56 SET S26  
58 STL S26  
59 RST Y000  
60 RST Y001  
61 OUT T5 K50  
64 LDI T5  
65 SET Y002  
66 SET Y003  
67 LD T5  
68 SET S27  
70 STL S27  
71 RST Y002  
72 RST Y003

73 OUT T6 K40  
76 LDI T6  
77 SET Y000  
78 SET Y001  
79 SET Y002  
80 SET Y003  
81 LD T6  
82 SET S28  
84 STL S28  
85 RST Y000  
86 SET Y002  
87 SET Y003  
88 OUT T7 K50  
91 LD T7  
92 SET S29  
94 STL S29  
95 RST Y001  
96 OUT T8 K50  
99 LD T8  
100 SET S30  
102 STL S30  
103 RST Y002  
104 OUT T9 K50  
107 LD T9  
108 SET S31  
110 STL S31  
111 RST Y003  
112 OUT T10 K50  
115 LD T10  
116 SET S32  
118 STL S32  
119 OUT T11 K80  
122 OUT Y000  
123 OUT Y002  
124 LD T11  
125 SET S33  
127 STL S33  
128 OUT T12 K80  
131 OUT Y001  
132 OUT Y003  
133 OUT C0 K3  
136 LD T12  
137 AND C0  
138 SET S34  
140 LD 12

```
141 ANI C0
142 OUT S32
144 RET
145 STL S34
146 RST Y004
147 OUT S0
149 RET
150 END
```

## 6.3 足球机器人

### 6.3.1 概述

足球机器人（见图 6-22）是融小车机械、机器人学、机电一体化、单片机、数据融合、精密仪器、实时数字信号处理、图像处理与图像识别、知识工程与专家系统、决策、轨迹规划、自组织与自学习理论、多智能体协调，以及无线通信等理论和技术于一体的光机电一体化技术密集型项目。足球机器人既是一个典型的智能机器人系统，又为研究发展多智能体系统、多机器人之间的合作与对抗提供了生动的研究模型，从而有效促进各个领域的发展。其中的理论与技术可应用于工业生产、自动化流水线、救援、教育等实践领域。

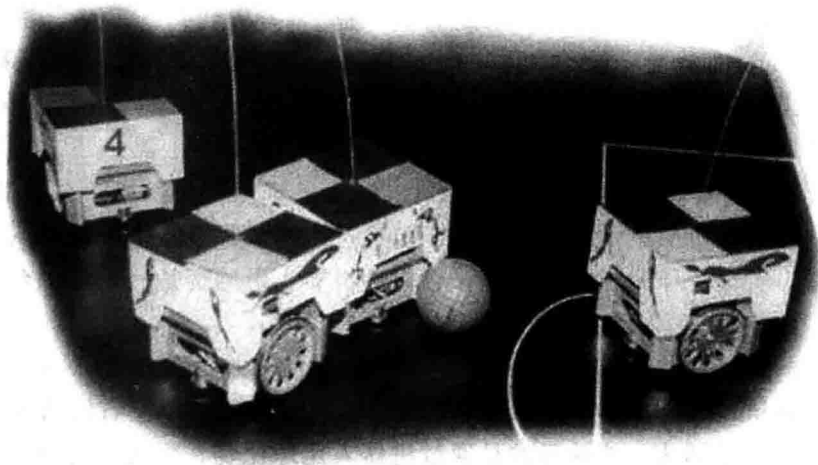


图 6 22 足球机器人

足球机器人系统在硬设备方面包括机器人小车、摄像装置、计算机主机和无线发射装置（图 6-23）。从功能上分，它包括机器人小车、视觉、决策和无线通信 4 个子系统。

机器人小车由车架、车轮、电机、减速机、测速码盘、驱动电源、单片机控制电路与无线接收模块等构成。它可以按照主机发出的命令调整左、右轮转速，以保证按预定的轨迹运动。

视觉子系统是机器人的眼睛。它由悬挂在球场中圈上空 2m 的摄像头摄取图像，由装在主机内的抓图卡将图像数字化，送入主机内存，再由专用软件对图像进行理解。由于双方各有不同颜色的队标（黄色和蓝色），而机器人也有不同的队员色标。这样计算机就可以通过颜色分割辨识出全部机器人与球的坐标位置与朝向，也就是进行模式识别。

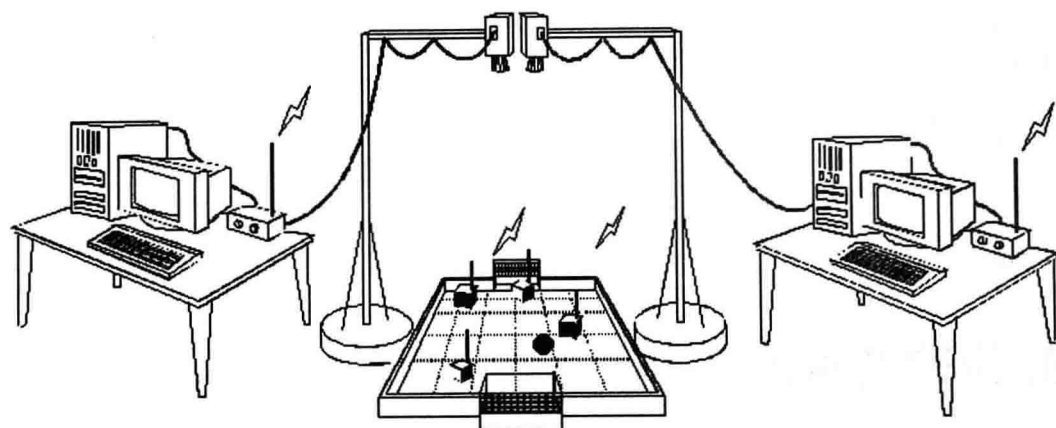


图 6 23 足球机器人系统总图

装在主机中的决策子系统根据视觉系统给出的数据，应用专家系统技术判断场上攻守态势，分配本方机器人攻守任务，决定各机器人的运动轨迹，然后形成给各小车左右轮轮速的命令值。

无线通信子系统通过主机串行口拿到命令值，再由独立的发射装置与装在小车上的接收模块建立无线通信联系，遥控场上各机器人的运动。

在机器人足球比赛过程中，上述 4 个子系统以每秒二三十次，甚至更高的速率连续运行，人不得干预。

#### (1) 机器人足球赛

机器人足球比赛和人类足球一样也有严格的比赛规则，机器人大小限制在  $7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm} \times 7.5\text{cm}$  以内，但重量不受限制。比赛用的球采用高尔夫球，为使计算机容易识别，其颜色而采用橘红色。比赛场地大小为  $150\text{cm} \times 130\text{cm}$ ，表面涂上黑色漆。比赛时间分为上半场与下半场，各为 5min，中间休息 10min。机器人足球赛必须在裁判的严格控制下进行，比赛开始之前，双方通过掷铜币来决定进攻或防守；比赛过程中如果某一球队犯规，则根据情况分别罚点球、争球、球门球或自由球。世界杯机器人足球赛是一个小平台上的“技术战争”。

机器人足球的最初想法由加拿大不列颠哥伦比亚大学的 Alan Mackworth 教授于 1992 年在论文《On Seeing Robots》中提出的。研究目标是经过五十年左右的研究，使机器人足球队能战胜人类足球冠军队。他的目的是通过机器人足球比赛，为人工智能和智能机器人学科的发展提供一个具有标志性和挑战性的课题。日本学者立即对这一想法进行了系统的调研和可行性分析。1993 年，Minoru Asada（浅田埴）、Hiroaki Kitano（北野宏明）和 Yasuo Kuniyoshi 等著名学者创办了 RoboCup 机器人足球世界杯赛（Robot world cup soccer games，简称 RoboCup）。

与此同时，一些研究人员开始将机器人足球作为研究课题。隶属于日本政府的电子技术实验室（ETL）的 Itsuki Noda（松原仁）以机器人足球为背景展开多主体系统的研究，日本大阪大学的浅田埴、美国卡内基-梅隆大学的 Veloso 等也开展了同类工作。

1997 年，在国际最权威的人工智能系列学术大会——第 15 届国际人工智能联合大会上，机器人足球被正式列为人工智能的一项挑战。至此，机器人足球成为人工智能和机器人学新的标准问题。

目前，国际上有组织的机器人足球比赛分为两大系列——FIRA 和 ROBOCUP。

FIRA 是国际机器人足球联合会的缩写。FIRA 的起源与发展在韩国科学（技术）院（KAIST）密不可分的。FIRA 每年举办一次机器人足球世界杯赛（FIRA Robot-Soccer World Cup），简称 FIRA RWC。

ROBOCUP 的原意为 Robot World Cup。1997 年正式成立，总部设在日本东京，正式注册瑞士伯尔尼。ROBOCUP 自 1997 年起每年举办一次机器人足球世界杯赛。在 1999 年的世界杯赛上，SONY 公司推出了四条腿的机器狗足球赛，表现出日本在这一领域居于领先地位，并将机器狗作为娱乐型机器人推向市场，风靡一时。

### （2）FIRA 微型足球机器人比赛简介

FIRA 3 对 3 微型机器人足球比赛的赛场长 1.5m，宽 1.3m，比乒乓球台略小，场地画有中线、中圈和门区，（图 6-24）。每队由三个边长不超过 7.5cm 的遥控小车（机器人）组成。它们的任务就是将橘红色的高尔夫球（足球）撞入对方的球门而力保本方不失球或少失球。比赛规则与一般足球相似，也有点球、任意球和门球等。只是因电池容量有限，每半场为 5min，中间休息 10min。下半场结束时若为平局，则有 3min 的延长期，也实行突然死亡法和点球大战。明显不同之处在于球场四周有围墙，所以没有界外球，而在相持 10s 后判争球。

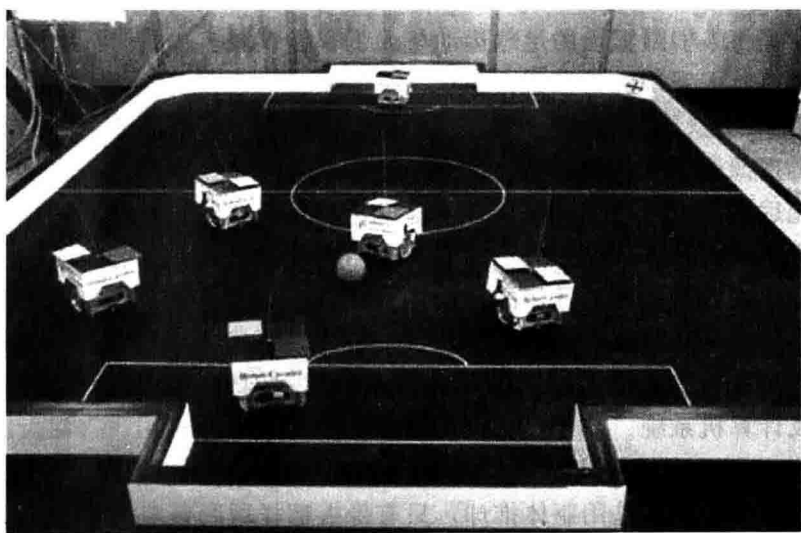


图 6 24 FIRA 3 对 3 微型机器人足球比赛赛场

### （3）ROBOCUP 小型足球机器人比赛简介

ROBOCUP 小型组足球机器人比赛（图 6-25 和图 6-26）与 FIRA 微型机器人足球比赛的主要区别如下。

- ① 比赛场地尺寸不同；
- ② 机器人尺寸规定不同；
- ③ 视觉部分可以是集中式视觉，也可以是分布式视觉；
- ④ 策略系统可以由上位机运行，也可以由下位机（机器人）运行。

其他比赛规则基本相同，但②～④三点使得研究人员的发挥余地更大，研究内容更广，可以实现真正的分布式多智能体系统。

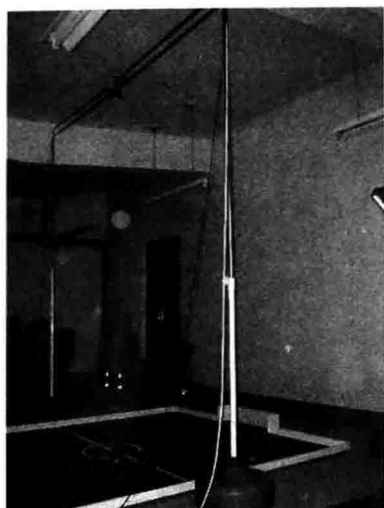


图 6 25 合式 ROBOCUP 小型组  
足球机器人比赛平台

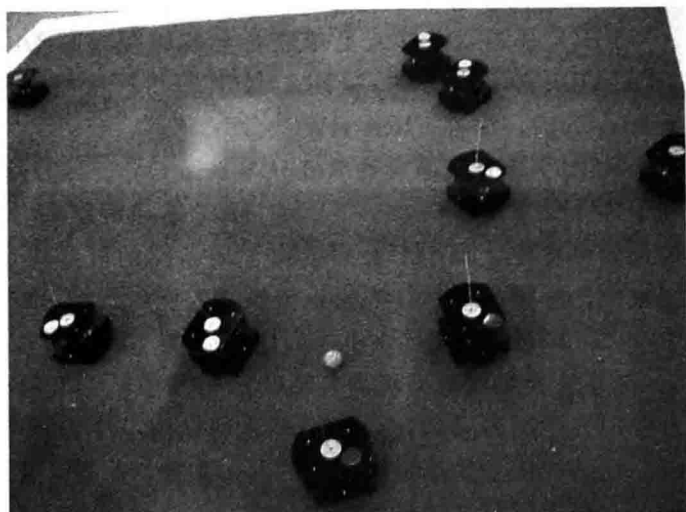


图 6 26 ROBOCUP 小型组足球机器人比赛

### 6.3.2 足球机器人控制

机器人足球是将人们最喜欢的足球运动与人工智能领域多智能体系统结合的产物。在硬件设备上，足球机器人系统包括机器人小车、摄像装置、计算机主机和无线发射装置，它们分别起着踢球者、视觉、决策和无线通信的作用。机器人小车可以按主机发出的命令完成预定的运动轨迹。摄像装置是机器人的“眼睛”，它通过悬挂在球场上空的摄像头摄取图像，并将图像数字化后送入主机内存进行理解。根据视觉系统给出的数据，装在主机中的决策系统可以分配本方队员的攻守任务并决定它们的运动轨迹。而无线通信系统则通过与机器人小车建立无线通信联系，遥控场上球员的运动。

#### (1) 足球机器人的踢球原理

要使机器人足球系统正常踢球，就要具备四个基本因素，即足球机器人躯体、视觉系统、通信系统及计算机系统。

机器人躯体相当于足球队员的“身体”，要求它不但结实，而且跑得快、抗碰、抗摔，准确踢球，在这里“踢球”是用躯体推球，只有像人那样用两条腿行走的机器人出世后，才能真正用脚踢球。

视觉系统相当于足球队员的“眼睛”。要求其能时时地辨别各种东西，并准确地判断位置。

通信系统相当于人的“嘴”和“耳朵”。为了实现伙伴之间的合作与协调，机器人踢完球之后，必须向其他队员发出有关信息，同时自己也准确、可靠地接收别的队员的信息，这种各机器人之间的相互沟通是通过通信系统来实现的。目前，机器人之间的通信系统通过无线发射器与接收器来实现。

计算机系统相当于人的“头脑”，计算机系统模仿人的头脑将从视觉系统得到的机器人和球的位置信息作为基础，按已编好的比赛策略，通过无线电发射器向各机器人发出对应的动作命令，机器人接到这个命令后，执行进攻或防守任务。

机器人足球是按人工智能原理构成的一个封闭的自动控制系统。一旦两队比赛开始，则计算机的操作人员只能按裁判的吹哨信号，使机器人暂停或重新动作，在整个比赛过程中不



允许通过操纵杆进行控制比赛，机器人完全是按计算机上已制定的战术自主、独立地进行比赛。因此要使机器人足球系统自如地动作，不但要具备过硬的机器人本体、敏捷的视觉、可靠的听觉，而且还要具备先进的多智能体协作算法、策略仿真等尖端科学技术。

未来足球机器人一定会像人一样用脚踢球，但由于目前机器人的水平还没达到真正仿人的水平，因此只好采用方头方脑形、车轮式腿移动机器人，从外观上看，其形状就好像小车子。由于机器人足球比赛种类多，每一种足球机器人的形状和尺寸也不一样。为保证机器人的快速要求，机器人重量尽量轻。因为比赛过程中机器人之间经常会碰撞，因此必须采用特殊的硬铝合金。机器人顶部盖子上贴两个彩色标记，表示球队和队员编号的队服。计算机首先通过这些队服认识比赛双方，然后确定各物体位置后才发出命令。

在机器人内部的印制板上面焊接了中央处理器、存储器等各种集成电路（IC），这就是被称为机器人“头脑”的微处理器板。在这里储存各种命令，并使机器人时时刻刻按此命令动作。在此板下面安装了电机、减速器、轮子及构成躯体的机架。躯体两边安装了两个轮子，通信所必要的天线安装在顶盖上面。机器人动作所必要的能源是通过机架下边安装的电池来供应。

机器人足球比赛的胜负不但取决于硬件水平，如机器人本身的结实程度和运动速度及精度、视觉系统的识别精度和处理速度及无线通信的可靠性等，而且也取决于软件水平，包括在错综复杂情况下，如何及时组织进攻或防守的战略战术及如何通过仿真系统提高比赛策略的训练技术等。因此可以说，机器人足球是一个小平台上的“技术战争”，所以凡参加世界杯比赛的各国机器人足球队都是代表自己国家的先进技术来参赛的。

机器人足球的最终目标是到 21 世纪中叶用机器人足球队来打败人类世界杯冠军队。这是一个梦想，又是一个富有挑战性的里程碑项目，在人类科技发展历史上曾出现过两个里程碑项目，一个是将人类送上月球，另一个是用计算机象棋打败人类象棋大王，在实现这两个里程碑项目过程中所研究和开发出来的科学理论和技术使整个人类社会改变了面貌，进入了航天时代和信息化时代。现在提出的用机器人足球队打败人类足球冠军队的目标和前两个里程碑项目一样也很简单，但为实现这一目标而研究和开发出来的各种科学理论和技术会使人类社会进入机器人时代，将会出现用机器人集体来管理的无人工厂，用机器人群体来种植的无人农场，用机器人部队来作战的新型战争模式。

## （2）足球机器人的视觉系统

足球机器人比赛有几种类型，包括仿真比赛（Simulation league），小型机器人足球赛（Small-size real robot league），中型机器人足球赛（Middle-size real robot league）等。其中中型机器人足球赛要求采用分布式视觉系统，即每个机器人具备独立视觉系统，而小型机器人足球赛由于机器人尺寸的限制，允许采用集中式视觉系统（全场全局视觉）或者分布式视觉系统。集中式视觉系统是指在场地上方悬挂一个摄像头，监视整个比赛场地范围内的情况，通过对全局图像的处理和识别，得到赛场上运动目标（包括球和机器人）的位置和方向。相对于分布式视觉系统而言，集中式视觉系统的摄像头视场固定，只涉及二维平面视觉，因而较易实现；但因一套视觉系统要获取全部运动物体信息，需采用彩色图像处理技术，这也对视觉系统提出新的技术要求。

① 足球机器人全局视觉系统构成及实现方案 足球机器人视觉系统按其实现的功能，可具体分为三部分，如图 6-27 所示。其中摄像头的作用是摄取赛场上的情况，产生连续帧（或场）的视频图像。这些视频图像通过 A/D 转换，生成相应的数字图像，然后再由图像识别算法对这些数字图像进行辨识，得到所需数据。

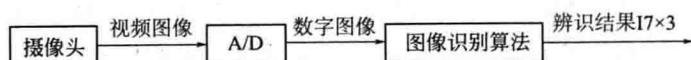


图 6-27 视觉系统构成

足球机器人视觉系统就其实现方案而言又可分三类：第一类是软件法。该法是指图 6-27 中的 A/D 功能由专门的数据采集板实现，而图像辨识算法则由装入主计算机的程序完成。因为单纯实现 A/D 功能的数据采集板在市场上较普遍，而在 PC 机上开发软件算法也较方便，因此软件法是比较容易实现的方法。第二类是硬件法，将图 6-27 中 A/D 和图像识别算法固化在一块数据采集处理板上。由于问题的具体性，采用此法需独立开发出一块数据采集板。第三类是软硬件结合法，在这种方法中，数据采集处理板可实现 A/D 和部分简单但量大的图像辨识任务，然后将中间辨识结果传给计算机，在计算机上完成剩余的量小但复杂的辨识计算任务。显然采用软硬件结合法，要比采用硬件法开发数据采集处理板的难度小。

② 全局视觉系统的硬件组成和软件结构设计 在软件法实现方案中，视觉系统硬件由摄像头、图像采集卡和 PC 机构成。其中摄像头采用的是 CCD 摄像头，它具有较高的稳定性、可携性、精确性，所以比较适合机器人视觉系统。图像采集卡完成视频图像到数字图像的采集，并支持将数字图像用 DMA 方式存储到 PC 机内存。PC 机中装载视觉系统软件，进行实时图像处理和识别。

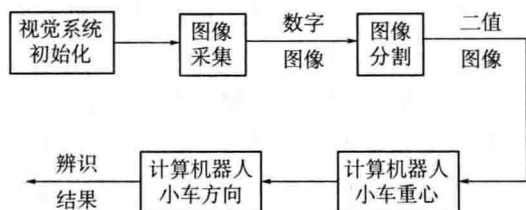


图 6-28 视觉系统软件结构

③ 全局视觉系统 其软件结构可分为五部分，见图 6-28。

在图 6-28 中，视觉系统的初始化包括硬件设备（CCD 摄像头和图像采集卡）的初始化、各种数据文件的读入、各种查找表的制作和各种初始信息的输入调整；之后启动图像采集卡的软件快门，采集一帧具有指定分辨率的彩色图像到计算机内存；再通过一定方法对原始图像进行多阈值分割，产生一系列标记区域；之后采用一定的图像识别算法，得到比赛场上运动物体的位置和方向。

④ 彩色图像分割 在图 6-28 中，图像分割是整个图像处理过程的关键，其结果直接影响图像识别的质量。对 ROBOCUP 比赛来讲，要处理的是彩色图像，并且要求视觉系统的处理是实时的，而彩色图像的分割比起灰度图像要复杂很多，每个像素的描述是基于 RGB 三维空间的。因此应该使用运算开销较小的方法，即通过颜色空间的分割来分割彩色图像。

首先，将采样像素点值由 RGB 空间转换到 HSI 空间。然后，再将变换后的采样像素点值在 HSI 空间进行给定误差的增广变换。最后，将分割后的 HSI 空间还原回 RGB 空间。这样，以后凡落入 RGB 空间中被指定的区域的像素点，即可被认定为某一物体点，从而实现了彩色图像的分割，得到二值化图像，能做到每秒 25 次的彩色图像实时识别，且具有相当的精确性和稳定性。

⑤ 目标质心及朝向求取 某一分割区域的质心求取是作用在二值化图像上的，对于 ROBOCUP 比赛来说，各个目标的质心和朝向按照各队机器人顶部乒乓球和辅助色块的放置位置不同，可由各个区域质心的匹配运算分别得到。

### 6.3.3 仿真机器人足球赛

机器人足球比赛是一个崭新的课题，训练和制造机器人进行足球比赛是当前人工智能和

机器人领域的研究热点之一。机器人足球正以一种高新技术对抗的形式赢得社会各界的认同与关注；它涉及智能机器人系统、多智能体系统、实时模式识别与行为系统、多智能体结构设计、实时规划和推理、基于网络的三维图形交互、传感器技术等。目前，有关机器人足球比赛的两个国际组织 RoboCup 联合会和 FIRA 组织的比赛项有三个，即小型机器人比赛、中型机器人比赛和电脑模拟的仿真比赛。在仿真设计中涉及很多关键性问题，如智能体的体系结构、智能体团队的合作、自学习功能等。采用一种基于行为模式的体系结构，使球员能根据环境和自己的状态来决定当前的行为模式，然后根据该行为模式来决定当前要采取的动作。而团队合作则主要是通过队伍的组建（阵形）实现的。每个阵形是一组角色的集合，不同的角色通过预定的协议来实现合作。

(1) 足球机器人对策研究

在足球机器人系统中，足球机器人对策研究属于决策子系统，它的任务是根据当前球场上的比赛形势作出部署，给队员发出指令，担负起教练员的职责。对于足球机器人而言，教练员是个盲人，他不是用眼睛看到比赛场景，反映到大脑进行形象思维，而是根据队员在比赛场上的位置和球位置的精确数据对比赛场上的形势进行分析，所以更多的是依靠逻辑思维来完成推理过程。这样，决策子系统在制定决策时就应该参照盲人教练的思维过程展开，严格地对链上的每一个环节进行抽象推理，从而实现专家知识与决策过程的形式化。图 6-29 所示为四步决策推理模型。

- (2) 输入信息预处理模块
- 为了对比赛场上的形势进行分析处理，以便采用合适的策略和动作，需要把从视觉系统得到的数据进行模糊化与抽象化，此模块包括以下几个部分。
- ① 区域划分 因为球是比赛场上的核心，它所处的位置影响到决策的结果，为此将球场分成如图 6-30 所示的六个区域。
  - ② 判断控球者 判断哪方或哪名队员控球，以便采取合适的策略，一般采用最短距离法，即谁离球最近便代表谁控球。

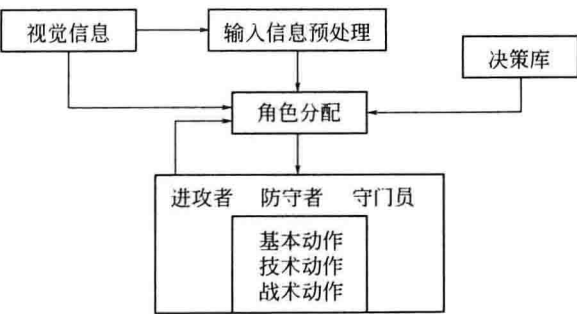


图 6 29 四步决策推理模型

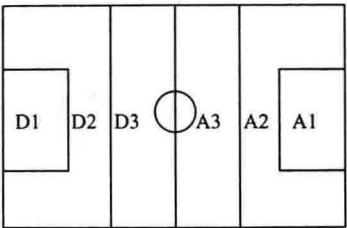


图 6 30 赛场区域划分

- ③ 计算实体距离 包括球与球员之间的距离，两球员之间的距离。
  - ④ 区域检测 判断该区域己方队员的个数及对方队员的个数。
  - ⑤ 选取传球者 有两种传球方案，即距离最近者和最佳球员。
- (3) 态势分析与策略选择
- 对输入信息进行预处理后，根据赛场形势及时调整比赛策略，包括全攻全守、自由人战术和人盯人三种策略。

① 全攻全守 一种积极的作战方法。球在前场时全队压上（除守门员外），有主攻与助攻队员，中场负责抢球传球；球在后场时全队撤回进行防御。

② 自由人战术 偏向于防守。安排自由人全攻全守，其他队员各自负责一区域。

③ 人盯人策略 进攻为全攻策略，防守时不只围球转，而是强调盯人和卡位。

通过平均累计性能最优算法进行调用。平均累计性能最优算法是给每个策略设置性能指标初值，每次调用性能指标最优的策略，当调用此策略获得不良效果（如失分、失球等），则性能指标减一，反之，获得佳绩（如得分、有效控球等），则加一。

#### （4）队形确定与角色分配

在确定好策略以后，为了使足球机器人在比赛中相互配合、协调作战，更好地完成各自的任务而不至于出现冲突，需要给每个机器人分配不同的角色，根据球位置及球员位置进行角色分配。确定好机器人角色后，就要对机器人的动作进行设计和安排，根据动作函数调用关系及复杂程度把动作分为三层，即基本动作、技术动作和战术动作。

① 基本动作 包括：到定点、转角、沿指定方向移动。

② 技术动作 包括：射门、拦截、守门、传球、控球。

③ 战术动作 包括：一传一射、二过一、交叉掩护。

#### （5）足球机器人仿真

通过模拟足球机器人系统，可促进对人工智能和机器人学的研究和比赛经验的积累，产生新的控制方案和新的对策。VB 是面向对象的编程语言，编程简单、界面友好，深受编程人员青睐。对运用 C/C++ 语言有困难的编程者而言，可以选择采用 VB 语言进行仿真，通过调用 VB 接口函数（由大赛组委会提供的动态链接库）编写 AI 程序。

① VB 接口说明 大赛组委会提供的动态链接接口包含在 Cclient.bas 模块，主要有以下函数：

GetStart（打开和服务器的连接）；GetInformation（从服务器端得到作战的信息）；RunTo（移动指令）；KickToTarget（向固定点踢球）；KickToDirect（向固定方向踢球）；NoKick（清空球员的预置动作）；GamePause（暂时停止服务器操作）；GameResume（使服务器重新运行）；GameState（显示比赛状况）；CleanUp（结束与 DDL 的通信）。

#### ② 设计步骤

a. 编写输入信息预处理模块；

b. 编写动作库模块：其中要用到输入信息预处理；

c. 编写策略库模块：根据球场情况给每个队员分配角色和动作；

d. 编写主模块：分析比赛状况与球场状况，利用平均累计性能最优算法调用策略库。

③ 程序设计框架 采用大赛组委会提供的动态链接接口，可以编制 AI 程序，每个 AI 程序基本框架如下。

```
SUB MYAI
    Dim .....
    If Not Cclient.GetStart(....., ' Guest ' )Then Exit Sub
    Do While Cclient.GetInformation( State )
        {my AI programe}
        Cclient.KickToTarget(.....)
        .....
    Loop
```

End     Sub

(6) 设计举例

对全攻全守策略算法进行举例，说明如何调用策略和编写程序，算法流程图如图 6-31 所示，并采用 VB 高级编程语言进行仿真实现。决策推理模型要对实时变化的球场状况进行分析处理，编写对策，此种模型有其自身的优点，简单、快速。还有其他一些模型，如引力斥力模型、神经网络模型、生物进化模型等，当然这些模型的实现有一定的复杂性。

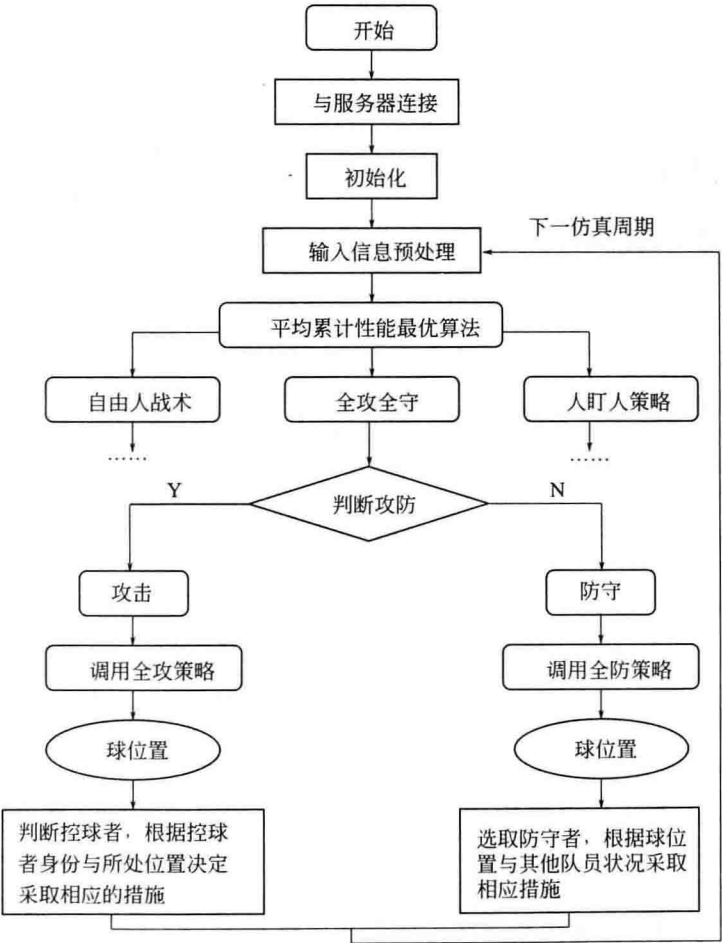


图 6-31 全攻全守策略算法流程

机器人足球的研究涉及的知识面非常广泛，可以预料，在不久的将来，机器人足球比赛会因它的娱乐性、观赏性及高技术挑战性赢得越来越多的人的青睐与关注，它将带动科研与教学的发展，也会形成相当的产业需求。

6.4 穿戴式智能设备

现今正在从智能手机时代进入一个智能穿戴的时代，其本质是人体的智能化延伸。可穿戴智能设备，确切来说，是智能可穿戴计算机。指采用独立操作系统，并具备系统应用、升



级和可扩展的、由人体佩戴的、实现持续交互的便携式设备的总称，如眼镜、手套、手表、服饰及鞋等，如图 6-32 所示。它不仅是一种硬件设备，更是通过软件支持以及数据交互、云端交互来实现强大的功能，将会对我们的生活、感知带来很大的转变。可穿戴设备是未来智能终端领域发展趋势所在，由于它直接影响到人类的衣食起居，某种程度上来说，新一代的可穿戴设备将改变我们与世界的接触方式。

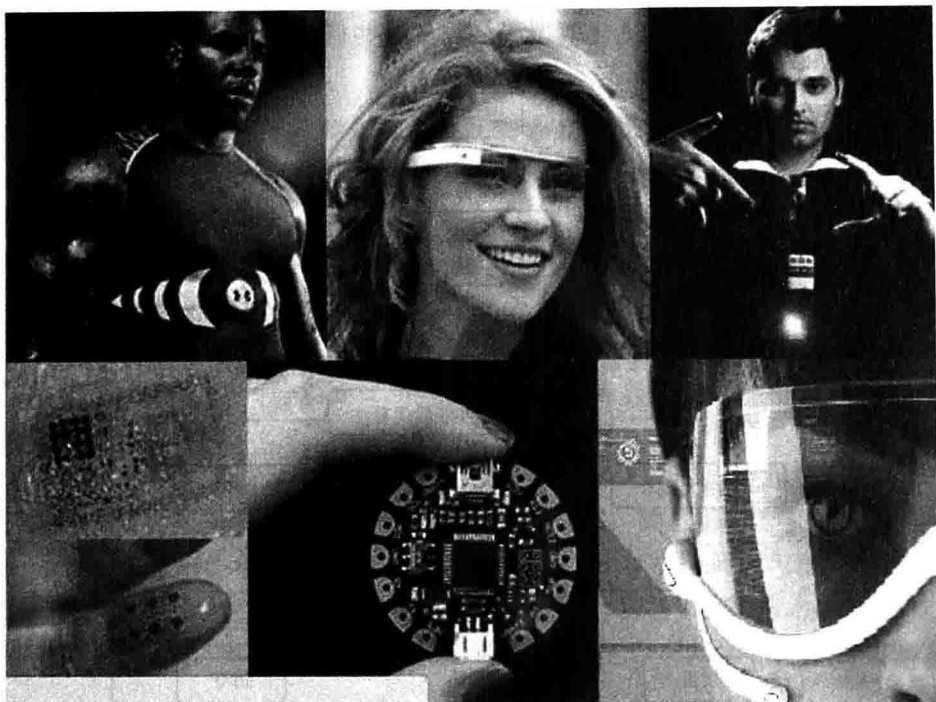


图 6 32 可穿戴智能设备

实际上，穿戴式设备和移动互联网、大数据、云技术都密不可分，穿戴设备是数据的入口，而对大数据的深度分析能够让人们重新认识自己以及所处的这个世界。葛洛尼庞帝在《数字化生存中》中，把世界分成比特和原子两种状态。而可穿戴设备的最大魅力，是让传统意义上原子状态的信息变成了比特：人的运动、体征情况、人像画面、眼部动作。眼镜、手腕、手指、足部、心脏，都成了全新市场。据国外统计，平均每个用户每天触摸手机处理次数达到 150 次，使用可穿戴智能设备可以解放人的双手。

广义的穿戴式智能设备包括功能全、尺寸大、可不依赖智能手机实现完整或者部分的功能，例如智能手表或智能眼镜等，以及只专注于某一类应用功能，需要和其他设备如智能手机配合使用，如各类进行体征监测的智能手环、智能首饰等。随着技术的进步以及用户需求的变迁，可穿戴式智能设备的形态与应用热点也在不断变化。

### 6.4.1 穿戴式智能设备的工作原理

智能可穿戴设备的初级要求：要便携方便；有舒适的触感；产品要够酷，戴在身上能起美化作用。

智能可穿戴设备的高级要求：操作时人可自由移动；无需用手进行操作；有传感器；使用过程不干扰正常生活；永不掉线。

以图 6-33 所示的谷歌眼镜为例，说明穿戴式智能设备的工作原理。





图 6 33 谷歌眼镜

谷歌眼镜在本质上属于微型投影仪+摄像头+传感器+存储传输+操控设备的结合体。它可以将眼镜、智能手机、摄像机集于一身，通过电脑化的镜片将信息以智能手机的格式实时展现在用户眼前。另外它还是生活助手，可以为我们提供 GPS 导航、收发短信、摄影拍照、网页浏览等功能。

它的工作原理是通过眼镜中的微型投影仪先将光投到一块反射屏上，而后通过一块凸透镜折射到人体眼球，实现“一级放大”，在人眼前形成一个足够大的虚拟屏幕，可以显示简单的文本信息和各种数据。所以谷歌眼镜看起来就像是一个可佩戴式的智能手机，可以帮助人们拍照、录像、打电话，省去了从口袋中掏出手机的麻烦。

## 6.4.2 穿戴式智能设备的组成

图 6-34 给出了谷歌眼镜结构。内置了一台微型摄像头，还配备了头戴式显示系统，可以将数据投射到用户右眼上方的小屏幕上，而电池也被植入眼镜架里。所有核心部件（电池、棱镜、CPU、摄像头、麦克、扬声和按钮）全部集中在右侧（以后可以考虑做个“左撇子”版本）。外侧是眼镜的触控区域。整个眼镜只有两个按钮，一个位于右上，用于手动抓拍照片和视频，另一个位于眼镜右边内侧，是眼镜的开关。质量只有几十克。

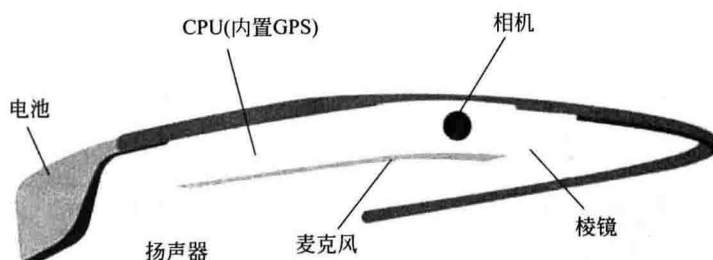


图 6 34 谷歌眼镜结构

眼镜支持拍摄 500 万像素的照片和 720P 的视频，配置骨导传感耳机、1612G 硬盘，并支持谷歌云同步存储支持 802.11b/g 标准 Wifi 和蓝牙。谷歌眼镜配备了一个投影显示器，一个能拍摄视频的摄像头，镜框上有触控板。它还带有麦克风和喇叭、各种传感器、陀螺

仪，还有多种通信模式。

谷歌眼镜=智能手机+GPS+相机，它具有智能手机、声音控制拍照、视频通话、辨别方向 GPS、上网冲浪、处理文字信息、实现日历、语音搜索、Google+、时间、温度、地理位置、音乐、搜索等功能。例如，如果用户对着谷歌眼镜的麦克风说“好了，眼镜”，一个菜单即在用户右眼上方的屏幕上出现，显示多个图标，让你拍照片、录像、使用谷歌地图或打电话。它可能是下一代互联网入口。

戴上谷歌眼镜后，只需把视线稍微往上，就可以透过玻璃棱镜在右上方看到一个显示屏幕。注意，这个棱镜在你平视前方的时候不应该处在你的视线之内。例如，如果用户对着谷歌眼镜的麦克风说“好了，眼镜”，一个菜单即在用户右眼上方的屏幕上出现，显示多个图标，让你拍照片、录像、使用谷歌地图或打电话。如图 6-35 和图 6-36 所示。



图 6-35 谷歌眼镜虚拟屏幕显示

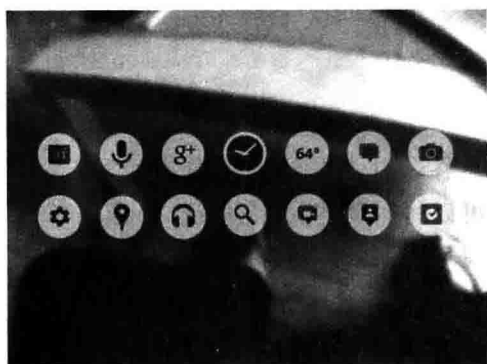


图 6-36 谷歌眼镜操作界面

谷歌眼镜具有语音控制的功能，给谷歌眼镜发送语音指令的时候，只需要说“好了，眼镜”，然后加上一些特定的指令，如“take a picture”（拍张照），“make a call to ...”（给某某打电话）等。从我个人体验上来说，谷歌眼镜对语音指令识别的准确度还是相当高的。相比 Siri 尝试满足用户任何语音指令，谷歌眼镜只需要在用户的语音指令中找寻和识别“record a video”（录一段视频）等一些固定短语即可，见图 6-37。

谷歌眼镜还具有图像处理 and 识别功能，可提供实时的地铁线路信息，见图 6-38。还可提供精确导航和 GPS 定位，见图 6-39。

通过谷歌眼镜抓拍照片和视频绝对是这款产品最让人关注的功能。第一视角拍摄照片和视频确实非同凡响。谷歌眼镜在执行拍照指令时非常迅速也相对隐蔽，可以通过手动按键和语音操控两种方式执行。照片和视频拍完之后会即刻上传到 Google+ 里的私人文档中。



图 6-37 语音处理和识别具有语音控制的功能



图 6-38 图像处理和识别可提供实时的地铁线路信息

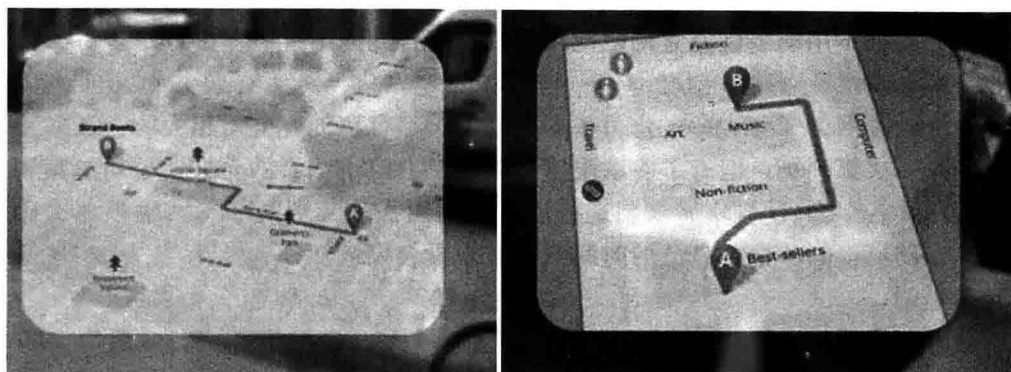


图 6 39 提供精确导航和 GPS 定位

谷歌眼镜通过蓝牙跟 iPhone（苹果机）连接。就打电话而言，只要戴着谷歌眼镜，就完全没必要伸出手。出门在外，只要可以将 iPhone 中的个人热点开启，就可以指挥谷歌眼镜收发邮件，用 Google 搜索，在 Timeline 上浏览 Google Now 的卡片，分享照片、视频，跟 Google+ 里的朋友圈进行互动。因为目前 iPhone 上还不能下载 my glass 应用，这意味着手机上的事项提醒不会自动推送到谷歌眼镜中。

谷歌眼镜还能够解决许多商务问题，帮助用户变得更加高效，增强工作流，并带来其他实际的好处。谷歌眼镜可以在如下八个方面帮助佩戴者来完成工作（图 6-40）。

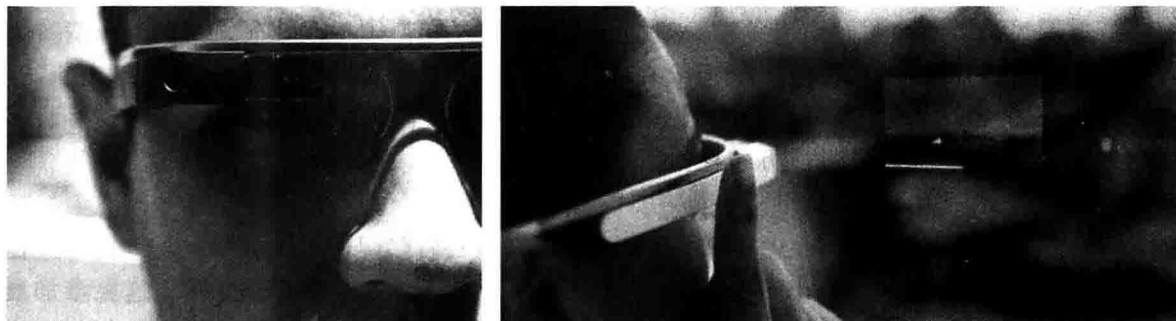


图 6 40 图使用谷歌眼镜能完成一些工作

#### （1）实时远程销售培训

一般来讲，销售人员需要在销售主管身边来进行培训，而这种方式则会产生交通和住宿上的额外花费。通过使用谷歌眼镜，销售主管无论走到哪里都可以让多名销售人员看到自己的行动，这就降低了食宿和其他培训花费。例如，美国在线视频网络 TownSpot 公司没有实际的办公地址，团队成员分布在美国各地。这种虚拟的组织结构让销售团队的培训变得具有挑战性。谷歌眼镜正在帮助他们解决这个问题。

在最近一次打给洛杉矶一位新客户的推销电话当中，在获得了客户的允许后，公司总裁会把包含他视角的视频通过谷歌眼镜实时串流给一位亚特兰大的同事。该同事可以看到客户的反映，并了解到公司总是如何进行推销的。这种设置简单的实时远程培训在之前是永远无法完成的。

#### （2）无需动手的体育报道

视频在体育报道当中占据着非常大的比重，虽然传统电视台记者依然会扛着笨重的摄像机进入更衣室，其他记者经常会拿着自己的手机来拍摄视频。但使用谷歌眼镜的视频和图片

功能来拍摄视频要更加方便。通过使用谷歌眼镜，可以简单地通过按键或是语音控制的方式来拍摄视频，并且不用动手就能立刻把视频和图片上传到网络上。

### （3）分享会议

美国在线视频网络 TownSpot 公司基本上每一天都有和创业公司相关的会议和活动。公司总裁无法每一次都到场，但有了谷歌眼镜——以及会议组织者的允许，公司总裁和他的团队就可以进行“各个击破”。实时录制这些活动比使用摄像头更加简单，也不那么碍事。这也让公司总裁的员工能够根据自己的时间安排来观看会议或活动。

### （4）做笔记

热门的笔记类应用已经推出了谷歌眼镜版，Evernote 是谷歌眼镜当中最为实用的一款应用。The Kroger Company 的集成架构师 Shazafar Khaja 说，“在参加会议之前，我会把之前会议和行动项目的时间通过邮件发给自己，然后便可在开会时使用谷歌眼镜轻松获取到这些信息”他说，“在头脑风暴会议当中，我使用它来录制大家的集思广益，并在不被手机或相机妨碍的情况下参与其中”。Khaja 承认这些通过传统方式也能够做到，“但通过谷歌眼镜，我可以不被干扰，并更加专注于手头上的事”。

### （5）修理汽车

一名谷歌眼镜测试者说，谷歌眼镜可以帮助他来修理汽车。由于汽车的更新换代速度非常快，一切还都是计算机化的，测试者可以在一名 ASE 认证技工的帮助下来进行汽车修理，技工会通过谷歌眼镜的视频聊天来观察测试者的动作，并指导测试者如何正确地进行修理。

### （6）企业展示

谷歌眼镜是展示公司客户服务体验的理想方式，通过拍摄第一人称视角的视频，消费者将能够了解到自己会获得怎样的体验，这种方式尤其适合餐馆、水疗中心或是银行。

Topper 的公司使用谷歌眼镜所拍摄的视频来对他们的公司以及谷歌眼镜本身进行展示，而该视频已经获得了超过 5000 万的浏览量。

### （7）保持更新

Matt McGee 是 Marketing Land 的总编，同时也运营着热门的 Glass Almanac 博客。他说：“通过谷歌眼镜，我在外出时也可以获取 RSS 源、微博、邮件等内容更新，这在参加展会时很方便，让我可以在走路时也能够消化这类信息。这些通过手机也能够做到，但如果是在展会上，你就需要停下脚步，找个不会挡住别人去路的地方开始阅读。而如果是使用谷歌眼镜，即使是在赶路时也可以阅读这些内容。甚至可以通过语音进行回复，这些无需动手便可完成，也不会阻挡视线，因此也不必担心会撞到别人。”

### （8）网站故障远程排除

美国在线视频网络 TownSpot 公司总裁说，谷歌眼镜即刻分享视觉信息的能力还可以用来解决技术问题。如果他在公司的网页上遇到了一个 bug 或者其他技术故障，身在洛杉矶的他可以用谷歌眼镜来拍下屏幕上的内容，然后把照片发给弗吉尼亚的两位网页开发者。这种实时的分享让他的网页开发者能够更好地理解问题，并立刻进行回应。

## 6.4.3 穿戴式智能设备的发展历程和类型

穿戴式智能设备拥有多年的发展历史，其思想和雏形在 20 世纪 60 年代即已出现，而具备可穿戴式智能设备形态的设备则于 20 世纪七八十年代出现，史蒂夫·曼基于 Apple-II 6502 型计算机研制的可穿戴计算机原型即是其中的代表。随着移动互联网的发展、技术进步和高性能低功耗处理芯片的推出等，智能穿戴设备种类逐渐丰富，穿戴式智能设备已经从

概念走向商用化。

可穿戴设备的发展基本可以分为三个阶段，第一阶段为 2002 年以前，称为尝试阶段；第二阶段为 2002~2012 年，称为发展阶段；第三阶段为 2012 年以后，称为飞跃阶段。图 6-41 为穿戴式智能设备的发展历程中的典型产品。



图 6-41 穿戴式智能设备的发展历程中的典型产品

从目前发展态势上来看，市场即将临近引爆点。从谷歌眼镜，到乐源 fashioncomm、苹果 iWatch 再到三星 Galaxy Gear，人们已经越来越关注可穿戴智能设备，而相关企业也将出现爆炸式增长。耐克的燃料腕带、传感器智能服、太阳能充电背包等穿戴式智能设备大量涌现，智能穿戴技术已经渗透到健身、医疗、娱乐、安全、财务等众多领域。

预计 2016 年，全球智能穿戴设备市场将达到 100 亿美元。从电子终端演进趋势上来看，智能手机已步入成熟期，厂商陷入了硬件参数的比拼之中，产品形态和功能并未有颠覆性的创新。而作为新兴的智能穿戴设备，为用户提供了更多想象空间，并且符合用户“高便携性”的需求，极可能成为下一代主流的电子终端产品。

目前，可穿戴设备的种类繁多，按照不同的分类方式，可以规划出不同的类型。如图 6-42 所示为两种主流分类方式。

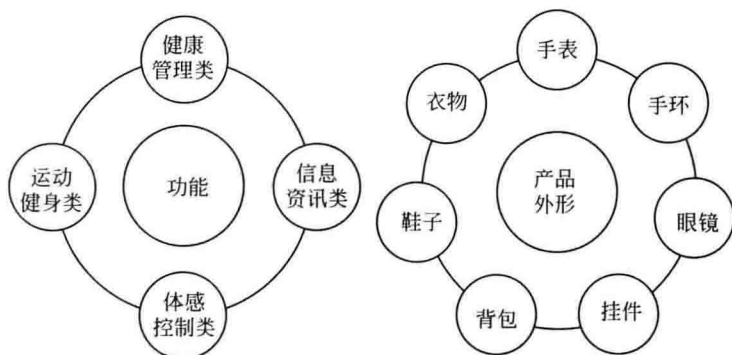


图 6-42 穿戴式智能设备的两种主流分类方法

按照应用功能划分，可以分为运动健身类、健康管理类、信息资讯类和体感控制类四种。对于人体健康类、运动追踪类和体感控制类的产品有 Nike+ 系列产品和应用

(Fuelband)、Jawbone Up、叮咚手环、GlassUp、Fitbit Flex。以上这些可穿戴设备，主要通过传感装置对用户的运动情况和健康状况做出记录和评估，大部分需要与智能终端设备进行链接显示数据。信息资讯类的产品有 Google Glass（谷歌眼镜）等。这些设备虽然也需要与手机相连，可是功能更加强大，独立性更强。未来将成为可穿戴设备的主导产品。按应用功能分类的穿戴式智能设备见表 6-6。

表 6-6 按应用功能分类的穿戴式智能设备

主要指标	运动健身类	健康管理类	信息资讯类	体感控制类
目标人群	以年轻消费者为主	面向大众消费者，婴幼儿和老人是重要目标人群	面向大众消费者	以年轻消费者为主
交互方式	图形化界面，多通道智能人机交互，通过传感器收集信息和数据	图形化界面，多通道智能人机交互通过传感器收集信息和数据	以自然语音交互为主，通过语音识别来实现操作	体感交互，虚拟交互
解决问题	收集运动信息，帮助更好获得锻炼效果	对各类健康指标进行采集、对比和分析	增强现实，更方便和及时地获取信息	增强人类能力，以娱乐活动为主
产品形式	腕带、手表、鞋等	腕带、手表等	手表、眼镜等	腕带等
代表产品	Nike+ Training	Fitbit Flex	Google Glass	MYO 腕带

按照产品外形分类，可以将可穿戴设备分为手表、手环、眼镜、挂件、背包、鞋子和衣物等。

如果以数据划分，依据产品的数据处理方式，可穿戴设备可分为内部数据采集型和外部数据处理型两大类。其中，内部数据采集型是指设备相关数据主要由传感器收集，内部数据采集型的代表产品是健康手环、智能鞋等，传感器作为收集数据的源装置，能够 24h 采集人体相关数据，再通过数据匹配、数据挖掘等一系列处理，为健康生活提供指导信息。外部数据处理型是指设备相关数据主要由外部设备或外部网络获取，这种类型的可穿戴设备具有蓝牙、无线网卡等网络连接装置，数据来源对象多样化，数据获取内容相对明确，能够通过云计算和大数据进行数据处理。

还可以按照佩戴位置划分：这种分类方法虽然缺乏依据，但是分类方法相对简单、界限清晰。可穿戴设备主要可以分为：头戴设备、服饰设备、腕带设备、手部设备、腰部设备、下肢设备等。见图 6-43 和表 6-7。

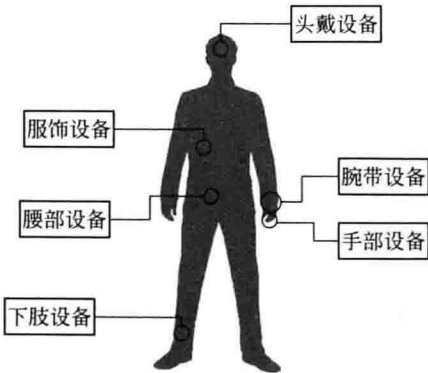


图 6 43 按佩戴部位分类的穿戴式智能设备

表 6-7 按佩戴部位分类的穿戴式智能设备



类型	制造厂商	产品名称	功能类型	主要特点
手表	Pebble 科技	Pebble	健康管理类	E-Paper 显示屏幕,防水,听音乐,查看邮件消息,GPS
	索尼	SONY Smart Watch	信息资讯类	背夹式设计,多点触控,可以储存并安装 255 个小工具
	盛大	GEAK Watch	信息资讯类	独立智能设备,集成多种传感器,基于 Android 4.2 开发的新语音操作系统 GEAK OS
眼镜	谷歌	Google Glass	信息资讯类	采用了虚拟现实技术,能够实现日历、语音搜索、Google+、时间、温度、短信、拍照、地理位置、音乐、搜索和摄像等功能
	Vuzix	Smart Glasses M100	信息资讯类	Vuzix Smart Glasses M100 搭载安卓操作系统,可实现普通智能手机应用的下载和使用,配备高清摄像头,同时提供可上传至云端,实现同步
腕带	耐克	Fuelband	运动健身类	配备 LED 点阵显示屏,可测量时间、卡路里、步数和 NikeFuel 四类数据,并可与网站和手机相连接
	Fitbit	Flex	健康管理类	Fitbit Flex 健康追踪器可记录用户行走路程、卡路里、活跃时间、睡眠时长以及睡眠质量
	咕咚	咕咚手环	健康管理类	咕咚手环支持对用户活动量的记录和检测、睡眠质量的监测、智能无声闹钟、活动提醒等多种功能,还基于百度云,提供多屏的管理和共享
	ThalmicLabs	MYO 腕带	体感控制	MYO 腕带能够通过多个传感器来检测用户手臂肌肉的运动,从而实现对电脑、游戏机等终端的体感操控
鞋	耐克	Nike+Basketball Nike+Training	运动健身类	Nike+ 运动鞋内置了 Nike+ Pressure Force 芯片,可以记录用户的运动数据,再通过无线数据传输发送到用户的移动设备中
	阿迪达斯	Adizero F50	运动健身类	Adizero F50 内置 miCoach 速度传感器,可以捕捉 360° 的动作,并记录包括瞬间速度、平均速度、最快速度等关键性指标,并和个人电脑进行无线传输连接

(1) 头戴设备

图 6-44 所示的 EMOTIV INSIGHT（意念控制耳机）是一款轻巧、多频段无线耳机，它可以监测佩戴者的脑部活动，或者直接将读取的脑电波转化为有用的命令。它可以检测到一些基本的命令，例如控制一台遥控直升机前进、后退、上升之类的，此外还能靠检测用户的表情来确定命令，例如控制一台车：微笑就是前进、右眨眼就是向右转。

Google 公司推出了他们的“project glass”谷歌眼镜计划——这款眼镜具有和智能手机一样的功能（图 6-45），可以通过声音控制拍照，视频通话和辨明方向以及上网冲浪、处理文字信息和电子邮件等。这一产品在 2014 年初已向少数测试人员发售，谷歌同时还推出了一部新的介绍视频，该视频展示了用户在使用谷歌眼镜时如何显示互动以及服务情况。



图 6-44 意念控制耳机



图 6-45 Google 拓展现实眼镜

图 6-46 给出的是深圳宏智力科技公司推出的意念头箍产品。它是一个戴在额头上的头箍，设计外形非常时尚和漂亮，主要的原理就是在耳朵上一个接触点，在前额一个接触点，这样就可以检测玩家的脑电波，然后这个设备通过蓝牙连接到智能手机和平板电脑中，然后就可以用脑波来操控游戏或者相关应用。

图 6-47 给出的头戴设备能同智能手机联动，其中高配版 T3W 还支持 WirelessHD 功能。通过把它佩戴在头部，眼镜看前方的透镜，眼前便会呈现像电影院一般大小（750 英寸）的虚拟大屏幕。这时候只需利用 MHL 或 HDMI 连上智能手机、平板电脑或者 PC，便能直接显示手机中的游戏或者电影画面，从而轻松打造个人移动影院和游戏中心。而 T3W 甚至可以直接与蓝光机和游戏机进行无线连接，让后两者的影像和声音经由非压缩方式无线传输到显示器中。由于无线的传输范围为 7m 左右，因此用户可以戴着 T3W 在一定范围内走动，并且画质和音质基本不会有损失。



图 6-46 BrainLink 意念头箍



图 6-47 头戴设备

大多数人认为人体运动生理参数检测系统要么需要护目镜，要么需要智能手机。图 6-48 给出的 Screeneye X 鸭舌帽正是一款与众不同的产品。它是戴在头上的一项可滑动鸭舌帽，摇身一变就成了一个小屏幕，是用户随时随地一抬眼便能看到的。穿戴者能够追踪自己的运动进程，检测运动速度，甚至检查时间。所有这些只需轻轻一抬眼便能办到，完全没有必要运动到一半停下来操作。

图 6-49 给出的 Mind Wave Mobile 是一款适合 iOS 和安卓移动设备的脑电波读取设备，可以让用户用意识控制游戏。这款看上去像是一台耳机的设备非常神奇，它可以利用用户前额位置的传感器来读取用户的脑电波数据，从而推断佩戴者的精神状态。

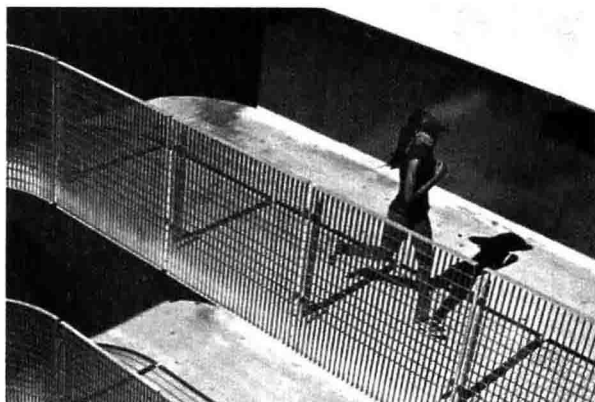


图 6-48 可滑动鸭舌帽式人体运动生理参数检测系统



图 6-49 脑电波读取设备 MindWave Mobile

## (2) 腕带设备

日产汽车公司近日发布了一款名为 Nismo Watch 的概念汽车智能手表，如图 6-50 所示。它能够将驾驶员和汽车连接在一起，显示汽车各项实时参数的同时监控驾驶员的健康状况。使用蓝牙低耗能连接，Nismo 手表会从汽车那里收集遥测数据，包括速度以及燃油消耗等能效信息。这些信息可以让驾驶者追踪车辆性能。与此同时，手机还可以监测驾驶员的健康，例如心跳等。如果心跳过快，手表将发出警告。Nismo 手表使用 micro-USB 接口充电，续航时间为七天。

如图 6-51 所示的心跳密码腕带 Nymi 是由多伦多 Bionym 公司设计的，它能够将用户的心跳当做密码。它使用了一枚心电传感器对用户的心率进行监测，一旦用户的心跳跳动频率和设备的吻合，就可以直接靠近相关设备进行登录。它同时还内置了距离和动作传感器，以带来一些基本的手势控制。这款产品在未来的应用范围，具有用户走近汽车时车门会自动打开，电子设备能够自动登录，挥动手臂进行移动支付等功能。



图 6-50 汽车智能手表 Nismo Watch

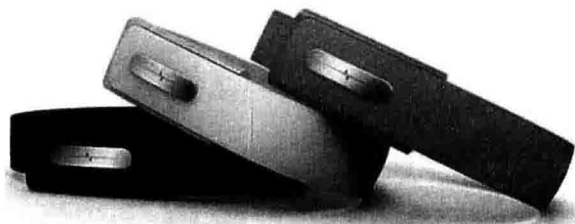


图 6-51 心跳密码腕带 Nymi

Kapture 是一款方便的录音腕带（图 6-52），只要轻轻一按就可以分享及记录周围 60s 的对话或者任何音频，只不过它会一边录制一边删除，设备中只会保留最近 60s 的音频，而用户可以通过操作获得这 60s 的音频数据。它能够帮助人们留下许多美好的时刻，比如听到自己的孩子说出的第一个词，周围的朋友们讲了一个非常有趣的事情等。

如图 6-53 所示的 Cookoo Watch 是世界上第一款结合了时计与数码显示的蓝牙智能手

表，可以通过蓝牙 4.0 和智能手机连接，然后透过数字显示屏幕以不同的图示来提示相关的咨询内容。比如用户收到了邮件、Twitter 有了新资讯、手机快没电了、行程表提示等。



图 6-52 录音腕带



图 6-53 Cookoo Watch 蓝牙智能手表

EMBRACE+ 智能手镯如图 6-54 所示。能够通过蓝牙使其与 iPhone 和 Android 匹配连接，连接后当手机上有任何短信息、电话或者其他信息发送到时，EMBRACE+ 智能手镯都将以不同的颜色进行闪烁提示，这样用户就将不再错过任何信息和电话，避免了个人损失。用户还可以在 iPhone 或者 Android 设备上安装 EMBRACE+ 的专属应用，这样用户就可以对手镯进行颜色上的调整，玩出自己的个性，并且还可以根据不同的提示设定不同的颜色。

如图 6-55 所示的 Subway LCD watch 是由 Peter Fletcher 设计的一款 LCD 手表，其灵感来自地铁线路图。腕表上面随机显示数字，按下按钮时，屏幕上就会出现一条线，将对应的数字连接，从而读取时间或日期。



图 6-54 EMBRACE+ 智能手镯



图 6-55 地铁线路手表 Subway LCD watch

图 6-56 所示为智能手环 Jawbone。之前推出一款名为 UP 的智能手环。UP 智能手环甚至不需要用户主动地对手环进行操作和设置，就可以获得收集、捕捉到个人健康数据。Jawbone 主要可以用于三个方面：锻炼、睡眠和饮食。通过对手机的数据进行跟踪统计，并以图表的形式将数据直观地表现在用户面前。

如图 6-57 所示的智能手表 Neptune Pine 内置了 sim 卡槽，能够支持完整的 2G 和 3G 连接（目前还不支持 4G）。



图 6-56 智能手环



图 6-57 Neptune Pine 智能手表

著名的 GPS 手持设备制造商 Garmin 公司把专业的 GPS 软硬件技术，加持到了如图 6-58 所示的运动心率腕表上，不但让众多运动爱好者控制心率，而且能测量运动路线和距离，受到广泛好评。

比 Pebble 更早面市的索尼智能手表需与索尼手机搭配使用，当做手机第二屏，如图 6-59 所示。具有多点触控，安卓系统，与手机通过蓝牙连接，查看通讯录、接收短信、查找手机，快捷回复短信、安装 APP 等功能。



图 6-58 运动心率腕表



图 6-59 索尼智能手表

Pebble 是一款全面定制化的智能手表（图 6-60），它可以通过蓝牙技术与 iPhone 或者安卓移动设备相连，功能相当丰富，可以充当 GPS 定位器，亦可以作为音乐播放器。此外，它还可以接打电话、收发邮件、收发短信、日历提示、接收 Facebook 以及天气信息。

如图 6-61 所示的手环用户可以在官网上进行数据承载、展示，并可在社交网站上进行分享。当处于运动模式时，该手环能 24h 记录佩戴者的活动情况，以里程、步数和卡路里为单位，令佩戴者明晰一整天内，运动了多少距离，消耗了多少卡路里，为热衷减肥和运动的用户提供了实时监测服务。切换至睡眠模式时，除了能监测睡眠质量，手环还将根据使用者睡眠深浅状态，在应该叫醒的时间段中的浅睡状态下通过振动来唤醒佩戴者。



图 6 60 Pebble 智能手表



图 6 61 百度云智能手环

如图 6-62 所示的可以代替纸质门票的可穿戴设备 MagicBand 是迪士尼推出的一款内置了蓝牙和 RF 技术橡胶塑料制成的手腕设备。MagicBand 可以通过网络进行订购，当用户在迪士尼乐园游玩时就无需再购买门票。佩戴者可以直接使用这款设备进行购物或者经验值累积活动。MagicBand 还能模仿迪士尼动画里某个卡通人物的声音叫出佩戴者的名字。



图 6 62 可以代替纸质门票的可穿戴设备 MagicBand

### （3）手持设备

如图 6-63 所示的盲聋人士发短信专用手套 Mobile Lorm Glove，通过蓝牙连接到智能手机上，它可以把“指点字”（Lorm alphabet）转换成短信，或把短信转换成“指点字”。手套上有小型振动电机，让用户感觉到有新的短信进入。

图 6-64 中的一种可穿戴的乐器为节拍手套 Beat Glove，它使用了 Lilypad Arduino 控制器，每个手指的指尖都有触摸式压力传感器，用户可以用它们来打节拍。





图 6-63 盲聋人士发短信专用手套  
Mobile Lorm Glove

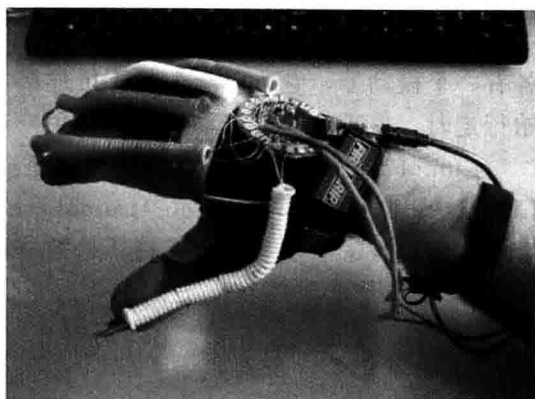


图 6-64 节拍手套 Beat Glove

#### (4) 服饰设备

图 6-65 所示的 Misfit 智能纽扣曾获得 2013 年的红点设计奖，是目前最小的智能可穿戴设备，它可以追踪记录佩戴者的走路、跑步数据，外加设备防水特性，追踪骑自行车和游泳运动都不成问题。

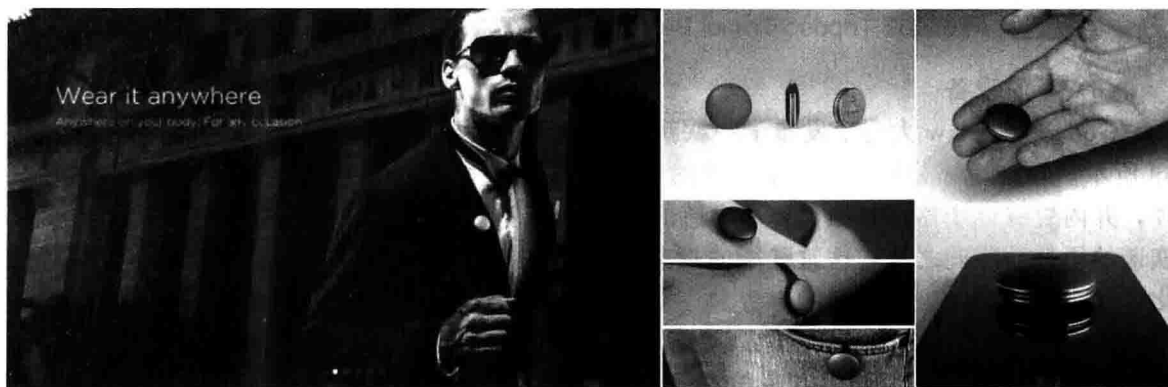


图 6-65 Misfit 智能纽扣

图 6-66 所示的智能服饰内置了数百个 LED 灯，可以自行定制色彩和照明方式，还可以直接通过 USB 接口充电。



图 6-66 智能服饰

### (5) 腰部设备

如图 6-67 所示的 Triposo Travel Belt 是一款带有导航提醒功能的皮带，皮带四个方向各有一个振动器，它可以与智能手机连接，开启手机上的地图应用并选择目的地，当用户开始行走时，皮带就能以振动方式提醒用户走往哪个方向。

Lumoback 是一款可以改善佩戴者坐姿的智能腰带，如图 6-68 所示。当用户坐姿不当时 Lumoback 便会振动以示警示。Lumoback 与手机上的 APP 应用无线连接，可实时记录佩戴者的坐姿和日常活动状况。支持苹果的 iPhone 4S、iPhone5、iPad 以及 iPod touch 平台。



图 6-67 导航皮带 Triposo Travel Belt



图 6-68 Lumoback 智能腰带

### (6) 下肢设备

Google 在 sxsw 大会上发布了一款新的概念产品：会说话的鞋 (Talking Shoe)，如图 6-69 所示。在鞋舌部分覆盖了一个巨大的圆锥扬声器和一个存储了大约 250 个短语的小型芯片，并内置有计步器、陀螺仪、压力感应器、蓝牙芯片等，可以收集鞋子的运动信息并发出诙谐的语音。除此之外，这款鞋能通过蓝牙跟收集 App 相连接，根据自己的喜好进行个性化设置，让鞋子发出不一样的声音。

美国纽约设计公司 Ray Kingston Inc 设计了一款可穿在脚上的扬声器 (Sneaker Speaker)，如图 6-70 所示。它包含了城市未来主义的设计元素，用户可以穿着它把音乐带到大街小巷的每个角落。音箱带子的长短可以自由调节，从而更好地与不同大小的鞋子匹配。通过蓝牙与智能手机、平板电脑等连接，播放音乐。

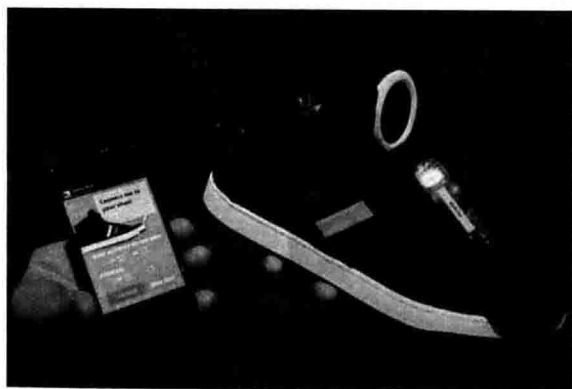


图 6-69 会说话的鞋



图 6-70 穿在脚上的音箱

图 6-71 所示的是由 Aakanksha Rajhans 设计的足底按摩闹钟 ACUWAKE sock，它就是一个安装了微型振动器的脚套，可以通过自带的显示屏设定闹铃，也可以通过移动应用程序进行设置。到点后会以振动的方式对足底穴位进行按摩，从而唤醒你。

使用如图 6-72 所示的这种智能袜时，首先要用配套的 Blacksocks 应用将袜子配对。之后，如果找不到其中一只袜子了，只需要挥动名为 Sock Sorter 的无线定位器，即可通过 RFID 芯片确定另外一只袜子的方位。

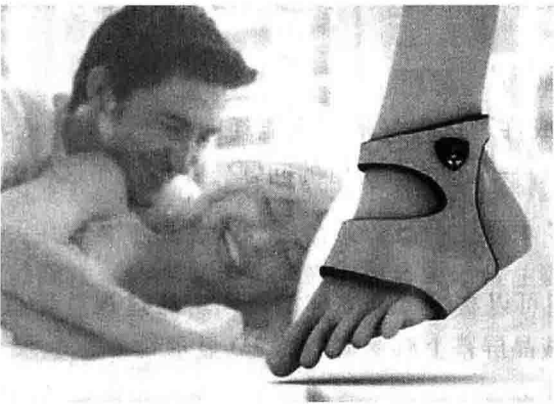


图 6 71 足底按摩闹钟 ACUWAKE sock



图 6 72 成双成对智能袜

### 6.4.4 穿戴式智能设备的关键技术

可穿戴计算设备的兴起将为交互技术提供商、元件供应商，以及紧捉新机会的其他厂商带来全新商机。图 6-73 给出了可穿戴计算设备所涉及的相关技术领域。

① 微型投影 在增强现实技术中，微型投影是最重要的一个步骤。在谷歌眼镜中，微型投影仪先是将光投到一块反射屏上，而后通过一块凸透镜折射到人体眼球，实现“一级放大”，在人眼前形成一个足够大的虚拟屏幕，可以显示文本信息和各种数据。

② 柔性屏幕 在 2012 年的 CES 大展上，三星、LG、英特尔等公司纷纷推出柔性屏幕产品，随着可穿戴设备研发生产进程的加快，柔性屏幕的需求也将日益增大。

③ 语音技术 相较眼球识别和手势识别而言，语音交互技术能够表达的语义更加丰富、使用更加便捷、技术也更加成熟。随着谷歌眼镜等一系列可穿戴计算设备不断地强化人们对语音技术的认知，语音交互未来将成为人机交互的主流方式。同时这些技术的创新也将极大地促进可穿戴设备的发展。

可穿戴设备基于七大关键软件技术模块分别为声音识别技术、眼球追踪技术、骨传导技术、低功耗互联技术、裸眼 3D 技术、高速互联网和云计算技术以及人体芯片技术。

#### (1) 声音识别技术

现在人们可以在一些移动操作系统、软件和部分网站上看到语音识别功能的出现。语音识别在输入上取代键盘和手写只是时间问题，因为它“能够解放人类的双手”，并且提高效率。

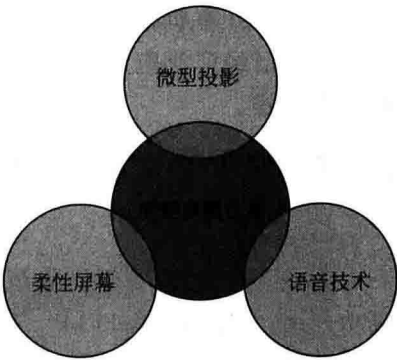


图 6 73 可穿戴计算设备所涉及的相关技术

### (2) 眼球追踪技术

这项技术早已广泛应用于科学研究领域，特别是心理学。眼球追踪技术在移动领域的出现将有可能催生出比触屏操作更“直观”，比语音操作更“快捷”的操作方法。只用转动眼球就能滑动屏幕、选中、输入。这可能是除了人脑电波直接控制之外最快的操作手段了。

### (3) 骨传导技术

骨传导技术一直以来是一项军用技术，通过振动人类面部的骨骼来传递声音，是一种高效的降噪技术。通过骨传导麦克风说话，传递出的语音信息几乎丝毫不含周围的杂音，而通过骨传导耳机听到的声音也非常清晰。

### (4) 低功耗互联技术

现在已经成功商用并且表现出众的蓝牙 4.0 或许可以很好地解决能耗问题。成本更低，速度更快，距离更远（约 100m），完全可以解决上一代蓝牙所遗留的问题。并且，在这样的速率下，很有可能催生出新的发明甚至革命。

### (5) 裸眼 3D 技术

裸眼 3D 则摒弃了笨拙的 3D 眼镜，使得人们可以直接看到立体的画面。通过视差障壁技术、柱状透镜技术和 MLD 技术，用户可以在液晶屏幕上感受清晰的 3D 显示效果。

### (6) 高速互联网和云计算技术

当宽带或移动互联网速度接近甚至超过硬盘读写速度的时候，通过终端访问云数据就像读取自己硬盘里的东西一样容易。较大运算量的任务将在云端处理，再将处理结果发送到终端呈现在用户眼前。这能大大降低可穿戴移动设备的成本并减小它的体积。

### (7) 人体芯片技术

当人与计算机的距离近到极致，那么不是人进入了计算机里，就是计算机进入了人体。人体芯片已经广泛应用于军事和医疗领域，但目前因为体积和安全的原因，它的作用被限制在被动扫描。

## 6.4.5 穿戴式智能设备的应用及典型产品

### (1) 医学

① 可佩戴的血管识别眼镜 Eyes-On Glasses 位于美国加州硅谷的伊凡娜公司的第一项成功产品“Evena Owl™”使用近红外成像技术精确锁定病患的血管网络，该产品已经于 2013 年上半年推向市场并在全球上市。而近日伊凡娜公司更进一步与其合作伙伴爱普生公司一同宣布了该项技术的升级版本：第一款真正可佩戴的血管识别眼镜——“Eyes-On Glasses”（图 6-74 和图 6-75）。这项技术将极大地促进医学技术的进展。

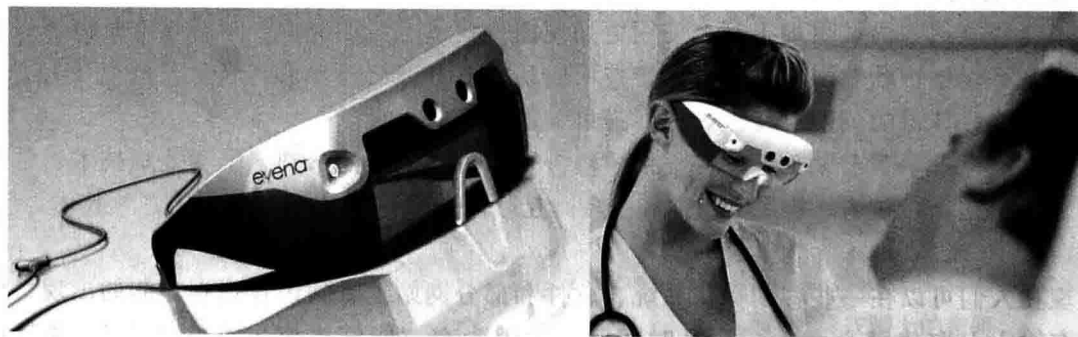


图 6 74 护士打针将佩戴智能眼镜 Eyes-On Glasses

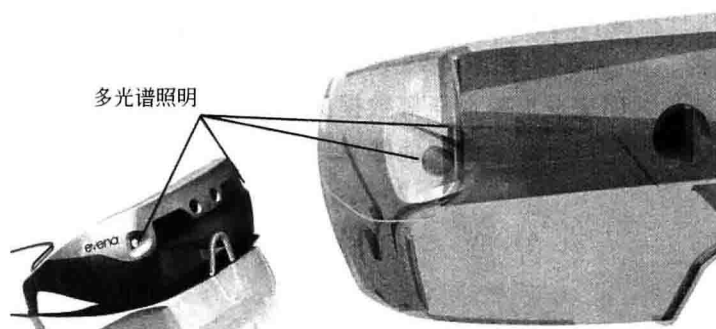


图 6 75 Eyes-On Glasses 摄像头

这款“Eyes-On Glasses”系统让护士可以直接透过病患的皮肤而看到皮下的血管系统。有了这款眼镜，医生、护理人员和其他需要识别患者血管的人员将不会再因为扎不准血管，尤其是那些非常难找的血管而烦恼。这样在不久的将来，医护人员在给病人进行肌肉注射和静脉注射时可大大减小病人的痛苦，且注射位置可以更准确，漏针的可能性也会减小，更重要的是病人将少很多痛苦。可以让护士的眼睛穿透皮肤“看到”静脉（图 6-76），据说将改变全球医院和护士打针的方式。

这款眼镜集成了具有自主知识产权的 3D 成像以及无线传输技术。可以提供实时的、成像清晰的血管图像。除此之外，这款眼镜还提供了远超简单成像的功能。除了可以直接对皮下血管成像之外，它还可以对看到的患者血管影像进行存储，也可以连接到医疗机构的记录系统，让用户记录和查看病人的信息。它还具有远程传输功能，支持传输图像（图 6-77）、通过蓝牙远程观看、配置专为双向会议准备的扬声器、内置的照片和视频存储卡。这种水平的整合，其成像的精确性以及患者纪录的存档功能，对于提高诊疗服务质量将具有重要意义。

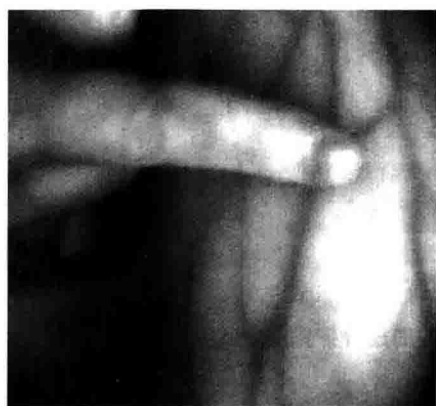


图 6 76 血管识别

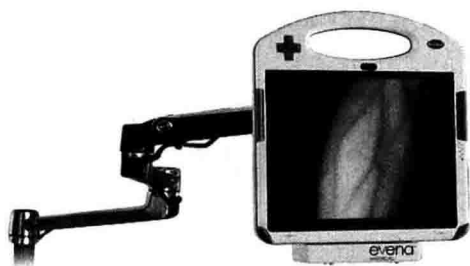


图 6 77 传输图像

“Eyes-On Glasses”系统利用爱普生美国公司的 Moverio 智能眼镜技术平台，这也使其成为全球市场上首款投入实际商业应用的医疗类智能眼镜产品。爱普生公司的 Moverio 平台本身也提供了一种独特的双筒镜目视系统，Moverio 智能眼镜上安装有两个摄像头，可通过蓝牙、WiFi 或 3G 等无线连接实时传输病人的血管图像。眼镜图像分辨率为  $960 \times 540$  像素，配有 LED 光源，影像纵横比例  $16:9$ ，视野  $23^\circ$ ，24 位色彩深度，60Hz 刷新频率，以及 Mini USB 接口。其可以将数字电子系统投影到真实世界的物体上，并显示在佩戴者的视野中央。这种双目成像叠加技术，加上 3D 立体成像技术，实现了真实世界和数字世界的完美叠加。

② iHealth 血压计护腕 这种智能护腕是由 iHealth 小组联合芝加哥大学以及洛杉矶心脏病专家共同研发的，如图 6-78 和图 6-79 所示。iHealth 智能手腕和实验室的智能手机配合使用，将和其他部件共同完成追踪血压等数据历史记录的功能。特别要提到的是这种手腕的一种特殊功能，这种功能比现代方法将能够更好地预测即将到来的中风或者心脏病。



图 6-78 iHealth 血压计护腕

这种智能护腕正在高血压病人中使用。测试中收集到的数据将用来检测比如运动或化疗在内的治疗效果。如果一切进展顺利的话，这种智能手腕将成为病危病人的一种手提式设备取代现在的重型设备。

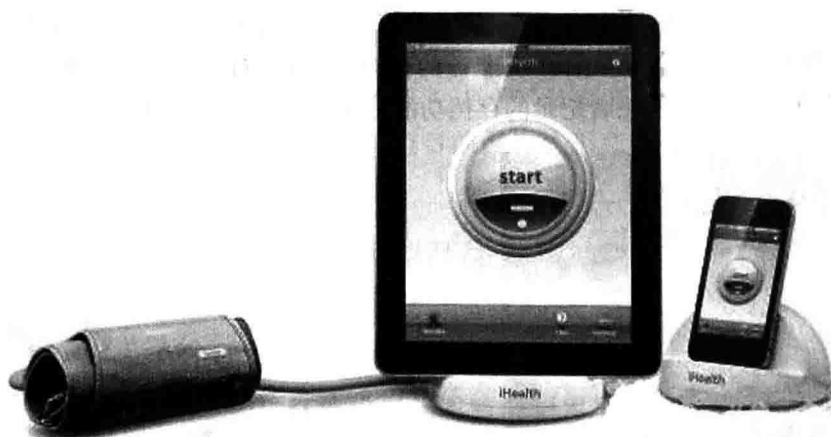


图 6-79 可以连接苹果手机等设备的血压计护腕 iHealth

③ 表皮电子文身 彩绘文身曾风靡一时，但美国圣地亚哥市加利福尼亚大学的科学家却发明了一种具有实用功能的文身，见图 6-80。这个发明被称为 Epidermal electronics（表皮电子），如同在皮肤表面弯曲、伸展的电子纹路，它们能检测患者的皮肤温度、脑电波或心率，并以无线电波的方式将数据发送到医院的计算机上。

在盖茨基金会赠款的帮助下，科学家制造出了用于胎儿监护仪上的 epidermal electronics，它能在怀孕妈妈的肚子上监测宝宝的心跳率和其他重要数据。

④ 指套探测器 当人们使用普通计算机或者智能手机时，人们需要操作键盘、鼠标或者触摸显示屏，这些动作需要耗费人们许多时间，但伊利诺伊大学 Urbana-Champaign 分校的约翰·罗杰斯希望用手指来完成这一切。这就是罗杰斯发明这种被称为“Prototype Finger Tube”（原始型指套探测器，见图 6-81）的初衷。这种指套探测器的表面装有一些微



小、极薄的传感器，能够检测被感知物的性质（如酸度），而内置于其超薄有机硅材料中的金属电路则负责处理数据。

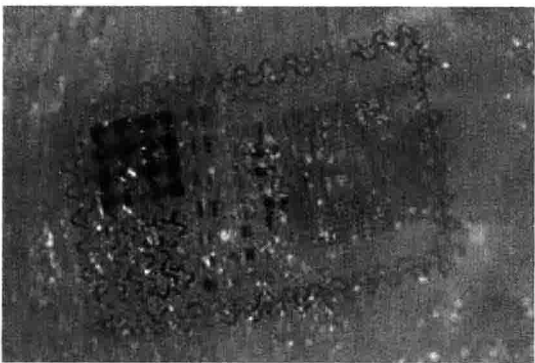


图 6 80 彩绘文身



图 6 81 指套探测器

当它发现所寻找的东西时，内置电路就会发送一种微弱的电子信号，这种信号会使佩戴者的指尖皮肤感觉到一种微弱的刺痛感。罗杰斯正在试图将这种指套探测器与外科手套整合，从而使它在核磁共振成像技术（MRI）或 X 光透视图像的帮助下引导外科医生寻找隐藏的肿瘤或身体损伤。

(2) 健康保健

① 可穿戴心率监测器 PulseOn 2013 年，芬兰 PulseOn 公司推出了一款同名的心率检测器，该设备因为号称具备全世界最高的准确率而引起了不小的关注。传统的心率监测器需要被佩戴在胸腔上，不但价格昂贵，戴起来也有较大的负担。此外还有一种佩戴在手指上的类别，但这类设备的效率较低，想要测量心率必须停止锻炼。而 PulseOn 的外形和普通手表无异，只需佩戴在手腕上，它便能够持续地测量用户的心率，这无疑非常适合锻炼和健身时使用，见图 6-82。在夜间，PulseOn 还会测量用户的物理恢复情况。如果用户是运动员，那么 PulseOn 会告诉用户是不是应该奋力训练然后做一些恢复训练，还是应该在第二天彻底放松。

② 智能帽子 Checklight 运动伤害是无可避免的事，但人们常常无法当场得知这些伤害到底有多严重，运动装备公司锐步在 2013 年推出的一款运动智能帽有望解决这一问题，如图 6-83 所示的 Reebok Checklight 智能帽子就是一款应运而生的运动影响指示器。

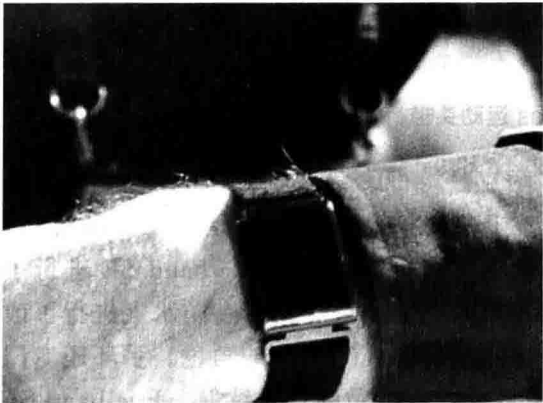


图 6 82 可穿戴心率监测器 PulseOn

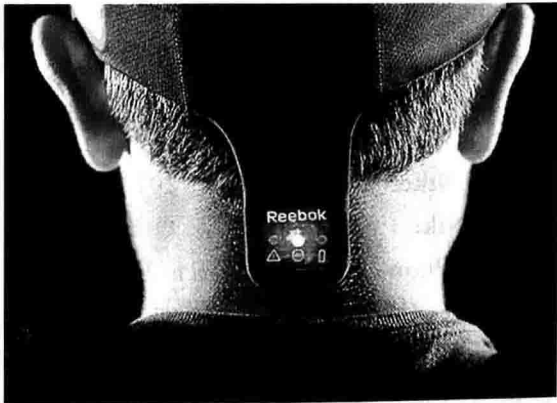


图 6 83 智能帽子 Checklight

该产品是一顶无边便帽的外形，帽内配置了大量运动传感器，可以提供“有效的运动影响数据”。在运动员再次上场前，数据有助于评估其受伤状况。传感器可以持续测量运动员所受到的运动影响的数据，教练、训练员、家长及运动员自己可以从一块简单的屏幕上看到可视化的影响严重程度。

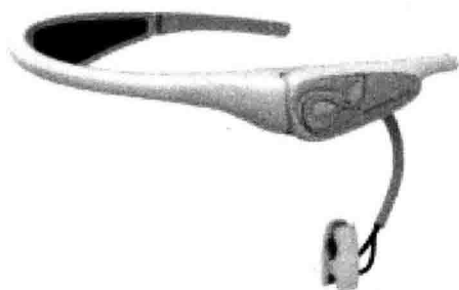


图 6-84 BrainLink 智能头箍

③ BrainLink 智能头箍 图 6-84 所示的 BrainLink 智能头箍是由深圳市宏智力科技有限公司专为 iOS 系统研发的配件产品，它是一个安全可靠、佩戴简易方便的头戴式脑电波传感器。它可以通过蓝牙无线连接手机、平板电脑、手提电脑、台式电脑或智能电视等终端设备。配合相应的应用软件就可以实现意念力互动操控。BrainLink 引用了国外先进的脑机接口技术，其独特的外观设计、强大的培训软件深受广大用户的喜爱。它能让手机或平板电脑即时了解到大脑状态，例如是否专注、紧张、放松或疲劳等。用户也可以通过

主动调节自己的专注度和放松度来给予手机平板电脑指令，从而实现神奇的“意念力操控”。

④ RunPhones 运动头带 图 6-85 所示的 RunPhones 是一款舒适的头戴式耳机，专为运动健身而设计。它可提供音乐、舒适性、便利性与安全性的完美结合。在柔软的 RunPhones 头带里，在耳朵的位置上有可拆卸的小型扬声器。扬声器很薄，足以使用户在听音乐的同时听到车辆行驶的声音，增加慢跑时的安全。RunPhones 扬声器可以用于 iPhone、iPod 及其他大部分有标准耳机插口的便携音乐设备上。



图 6-85 RunPhones 运动头带

⑤ Nike+FuelBand SE 2013 年 10 月 15 日，耐克公司正式发布了旗下最新的可穿戴设备——Nike+FuelBand SE，见图 6-86。在功能上，Fuelband SE 加入了蓝牙 4.0 的支持，可以与 iPhone 实时无缝传输信息，同时也做到更低功耗。在功能上，Fuelband SE 进行了一些改进，比如更准确的动作捕捉，以防止数据遗漏以及减少作弊。机身在防水上进行了改进，可以适用于更多恶劣场景，另外，双击手环可显示时间，充当手表的角色。手环还专门适配 iPhone 5S，可以充分利用 M7 协处理器的省电效果，从而做到更长续航。Fuelband SE 只支持 iOS 平台，不支持 Android、Windows Phone 8。

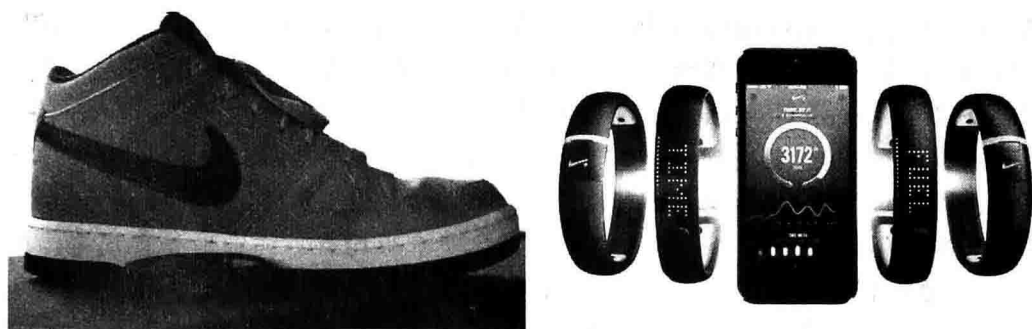


图 6 86 Nike+ FuelBand SE

Fuelband SE 仍然是通过能量点来记录用户成就，相比第一代专注于运动，Fuelband SE 融入了更多场景，比如可以跟踪睡眠，这是上一代不具备的功能，也是竞争对手主打的功能之一。另外，Fuelband SE 还可设置每小时提醒用户休息 5min，防止过度疲劳。为了加强社交增强用户黏性，手环可显示不同场景下的运动强度等级，加入当前的情景模式。用户可命名这些场景，然后把当前的状态分享给好友，这样好友就能知道用户现在是在工作还是运动。借助这些场景，Fuelband SE 不再仅仅是用户的运动伴侣，更是融入用户日常行为当中，充当用户的健康助手。

⑥ 苹果 Zepp GolfSense 智能手套 图 6-87 所示的苹果 Zepp GolfSense 智能手套，如果除去手套上的传感器 Zepp GolfSense，这款 GolfSense 手套便与普通高尔夫手套毫无差别，但装上传感器之后，它便成为一只功能非凡的智能高尔夫手套，成为随身的高尔夫球教练了。通过传感器，GolfSense 能够对佩戴者的挥杆动作进行监测，能够以每秒 1000 次的运算速度记录并分析佩戴者挥杆时的加速度、速率、速度、位置以及姿势等并告知佩戴者是否动作规范、击球位置是否准确以及发力是否适当等，从而提升佩戴者的高尔夫技术。

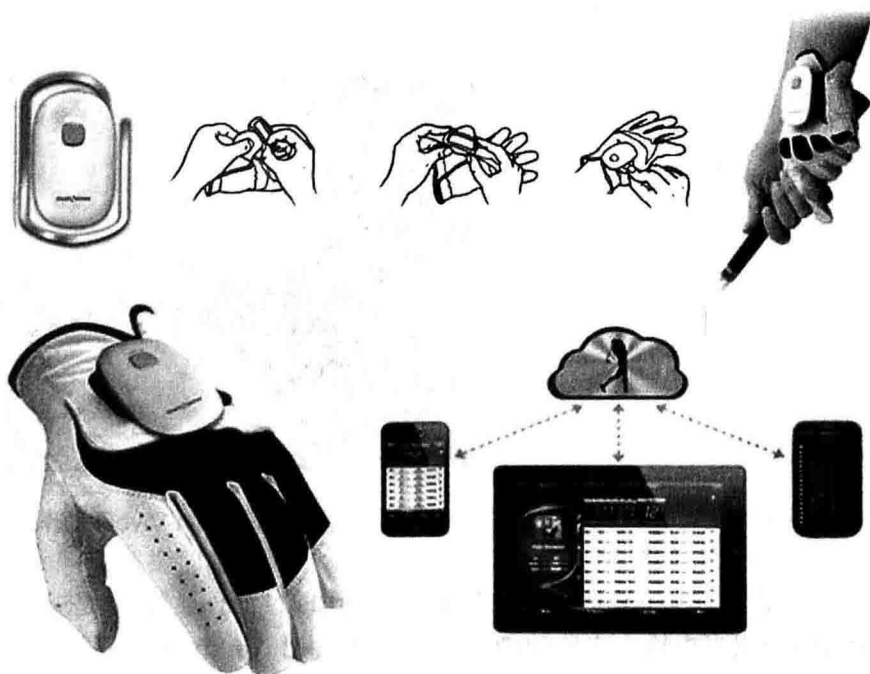


图 6 87 苹果 Zepp GolfSense 智能手套

图 6-88 所示的 Zepp GolfSense 传感器作为全球首款便携式 3D 传感系统，专门用于高尔夫球挥杆动作的训练。其质量仅为 17g，通过将其固定在手套上，球手在挥杆击球时就可以通过实时反馈得到 Zepp GolfSense 传感器对挥杆动作的分析结果。

Zepp GolfSense 传感器内含一个专门的运动引擎，其中包含四个运动传感器，能够计算挥杆速度、球杆位置、挥杆节奏和挥杆轨迹这四项运动数据。这些实时反馈的运动数据可以通过手机上的专门应用“GolfSense”（iOS 版及安卓版均有）详细地呈现出来，而 Zepp GolfSense 传感器本身则通过蓝牙连接来向手机实时传送这些数据。Zepp GolfSense 传感器可以快速连续地自动捕捉并保存每一次球手挥杆的数据，当然，用户也可以在“GolfSense”应用中按下一个黄色的按钮，选择性地保存想要保存的数据。

此外，这款产品还有一个非常人性化的设计，那就是“冲击检测功能”，打开这个功能后，Zepp GolfSense 传感器会忽略那些找感觉的练习性质的挥杆，只有在球杆真正触球并将其击出的时候才会记录数据。

Zepp GolfSense 传感器可以帮助专业高尔夫球手实时了解和调整自己的状态，除此之外对于那些觉得自己球技有待提高，但是又懒于请教练专门学习的高尔夫球爱好者来说指导意义更为重大。这款产品不仅可以让使用者在技术层面实时对挥杆动作进行了解和纠正，还提供了将个人数据和专业高尔夫球手、教练的数据进行比较的平台，以便快速寻找自身技术上的不足之处。

⑦ Garmin Vivofit 动作追踪器 图 6-89 所示的 GPS 导航公司 Garmin 生产的 Garmin Vivofit 动作追踪器虽然不支持 GPS，但用户会获得一块总是开启的显示屏，来显示包括步数、消耗的卡路里、行进距离和时间等数据。它还会根据用户过去的表现创建日常的锻炼目标，并持续对用户的挑战进行调整，从而将用户推向更高的运动等级。Garmin Vivofit 无需进行充电，它使用的是可替换电池，可带来 1 年的使用时间。



图 6 88 Zepp GolfSense 传感器



图 6 89 Garmin Vivofit 动作追踪器

⑧ 紫外线传感器——Netatmo June 图 6-90 所示的 Netatmo June 是一款简单的设备。用户需要在配套的应用当中输入皮肤的细节信息，然后把 Netatmo June 戴在手腕或者是放在衣服上，然后它便会紫外线进行检测，并在用户被晒伤之前进行提醒。它的应用还会提供用户皮肤所吸收的紫外线量。但遗憾的是，它的设计并不适合男性佩戴。如果用户告诉应

用已擦了防晒霜，它就会相应地对数值进行调整。

⑨ Jetlag Light 时差综合征治疗仪 出自澳大利亚著名睡眠研究公司 Re-Timer 之手，是一款改善睡眠质量的可穿戴设备，如图 6-91 所示。它可以通过软件控制的绿光来调节佩戴者的生物钟。Jetlag Light 适用于经常需要倒时差的商旅人群、普通的失眠人群以及冬季抑郁症患者。



图 6-90 紫外线传感器——Netatmo June



图 6-91 改善睡眠质量的可穿戴设备 Jetlag Light

### (3) 生活时尚

① 智能戒指 Smarty Ring 是一款内置蓝牙的可穿戴产品，该产品可与所有兼容蓝牙 4.0 的 Android 或 iOS 设备建立连接。Smarty Ring 的表面采用了防过敏不锈钢材质，宽 13mm，厚 4mm，见图 6-92。虽然内置的柔性电池仅有 22mA · h，但足以续航 24h 左右。当电量不足的时候，戒指的“电池图标”会做出相应的提示，提醒用户用无线充电插座进行充电。在拥有了智能戒指 Smarty Ring 后，人们将不会错过任何电话、短信、邮件和社交网络消息提醒。



图 6-92 智能戒指 Smarty Ring

它的具体功能包括：通过不同的图标显示来自电话、邮件、社交网络的消息提醒；远程控制手机，例如拒听电话、拍照、控制音乐播放（戒指有三个按钮）；显示时间；防水；用户还可以借助 APP 来改变 LED 的亮度、蜂鸣器的音量、调整时区和时间，还可设置戒指的机身按钮实现快速拨号；能够把手机上的消息提醒转移到戒指里面；蓝牙防丢，哪怕手机处于静音模式，当它和戒指的距离超过 30 英尺（9m 左右），警报声就会响起来。

② 苹果 iWatch 苹果公司的智能手表 iWatch（图 6-93），屏幕大小为 1.5 英寸，存储卡 MicroSD 卡，扩展容量 16GB，具有短信、彩信、免提通话、情景模式、来电铃声识别、来电图片识别、日历功能、闹钟功能、计算器和单位换算等功能，可以接听电话、查看地图、健康监测。



图 6 93 苹果 iWatch

苹果 iWatch 和 iCam 相机的设计者 ADR 工作室近日又创造出了苹果 iWatch2 概念机 (图 6-94)。这款苹果手表采用了超薄设计, 外观非常时尚。具有液晶显示屏、支持 Wifi 和蓝牙、整合 RSS 阅读器、32GB、天气预报系统、可通过 Wifi 或蓝牙与 iPhone/iPad 进行连接、LCD 投影仪可以投放 iPhone 上的图片、前置 FaceTime 摄像头等功能。iWatch 2 除了功能以外更像一个件艺术品, 其主体材料为聚酯, 铝制底盘, 植入 PK2 Kevlar 纤维, 具有 5 种颜色的聚酯表带。苹果 iWatch2 配备了 32GB 存储, 内置 RSS 阅读器, 集成了 WiFi 和蓝牙可以与苹果 iPhone 和 iPad 等设备连接。此外, 苹果 iWatch2 还配备了前置高清摄像头, 有液晶投影仪的功能与苹果 iPhone 和 iPad 等设备连接后可以充当便携式投影仪使用。

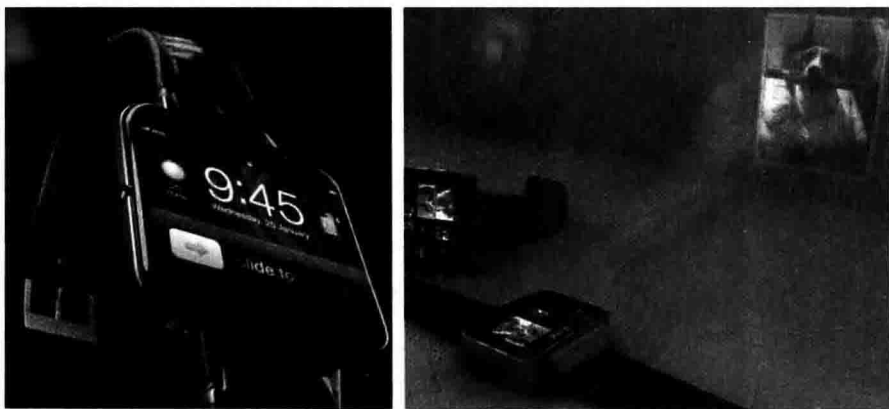


图 6 94 支持 WiFi 可投影的苹果概念手表 iWatch2



图 6 95 蓝牙智能珠宝

③ 蓝牙智能珠宝 图 6-95 中的蓝牙智能珠宝是由 Bluetooth Smart 公司开发的一种造型十分独特的项链。这个内置了蓝牙连接和 LED 灯闪烁功能的智能珠宝可以根据所接收到通知类型的不同而显示出不同的 LED 灯颜色来提醒用户查看新通知、新消息。比如, 当用户收到一条新短信的时候, 这个智能珠宝的 LED 灯会变成粉色。

④ Philips 情绪感应项链 飞利浦公司设计的情绪感应项链如图 6-96 所示, 外观设计上非常可爱喜人, 柔性材质制作的项链表面佩戴起来非常舒适, 在项链内部内置了多种先进的传感装置,



将佩戴者的生物信号通过导电性油墨和纺织品传输到设备上，可以对用户的情绪进行感知并显示出来。情感探测项圈可以阅读人体的多种电信号，并将之转换成声光信号，如项圈下部的“小灯”。戴上这款情绪项链，夫妻之间从此就多一种能够清楚感知自己和对方的情绪的方法，进而有效实现压力控制和调节。

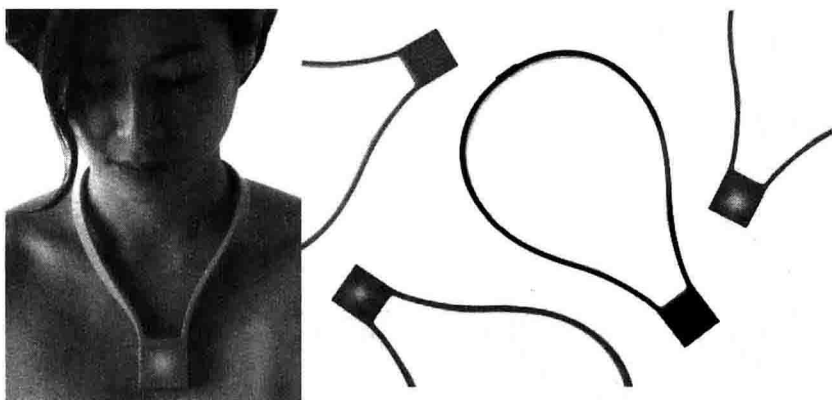


图 6 96 情感探测项圈

⑤ 内置 4100 万像素摄像头的智能手表 Crossbow 瑞士著名手表厂商 Hyetis 发布的一款名为 Crossbow 的智能手表见图 6-97，手表外壳采用钛合金材质，表面为坚硬的蓝宝石玻璃，覆盖有防眩光涂层。其最大特点在于内置了 4100 万像素摄像头传感器，搭配蔡司镜头和环形闪光灯。4100 万像素相机镜头配置在手表的上方，从上往下看像是一根突出的炮管，见图 6-98。而这个相机镜头除了像素高之外，同时还支援光学变焦功能，让它能变成一个可随时随地拍到高画质照片的利器。



图 6 97 智能手表 Crossbow



图 6 98 Hyetis Crossbow 的 4100 万像素相机镜头

而且镜头周围还有环状的 LED 闪光灯，手表上也有麦克风可在录影时用来收音，可应付多种拍照、录影状况。Crossbow 支持 WiFi、蓝牙、NFC 与 GPS 等多种无线传输技术，且能与 Android、iSO 或 Windows Phone 设备连接使用，另外还内置了高度计、麦克风、温度计、气压计等实用功能，表面还支持触控操作，使用时可显示一些相关信息。用户可用这款手表来管理自己的移动智能设备，随时随地分享所拍的照片。

⑥ Orb 耳环（戒指）蓝牙耳机 Orb 蓝牙耳机可以当做戒指佩戴，Orb 表面有显示屏，可显示来电者姓名、行事历提醒、语音转文字的资讯等，所以当 Orb 蓝牙耳机是戒指模式时用户甚至不需要把它从手指上拿下便可接打电话。来电时可以通过声光进行提醒。

图 6-99 所示的 Orb 蓝牙耳机除了可以当做戒指佩戴以外，将戒指取下来扭转就可以变形成“耳环”挂在耳朵上成为蓝牙耳机。不必担心耳环蓝牙耳机的通话效果，它采用了骨传导技术，可以通过骨骼声音传导，所以不需要在耳道里塞进任何东西也可保证通话质量。

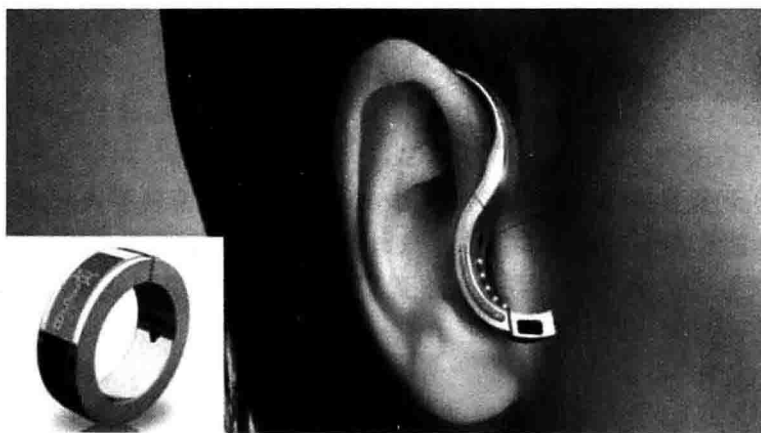


图 6-99 Orb 耳环（戒指）蓝牙耳机

#### （4）婴儿用品

① 智能奶嘴 图 6-100 所示的是一款智能奶嘴 IPacify，它主要由一个带有温度传感器的温度计和奶嘴组成，可记录宝宝的温度并发送到手机 APP 上。这个 APP 还可以用来记录小宝宝药物治疗，当他们服用了阿司匹林或其他药物时，随着时间变化温度计将会有所记录，这样可以了解哪种药物更加有效。

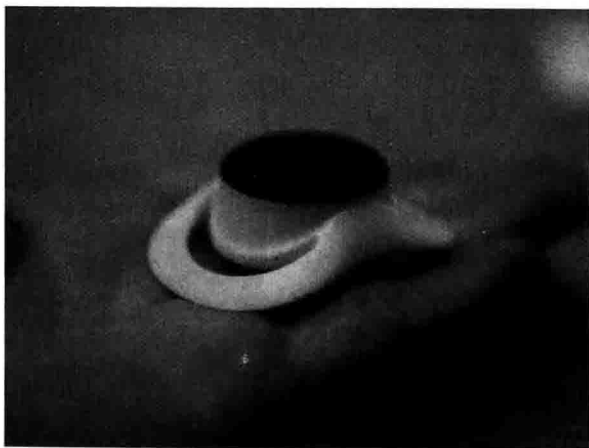


图 6-100 智能奶嘴

② Mimo 可穿戴婴儿监测器 图 6-101 所示的 Mimo 监测器可以直接被缝进定制的连接衣当中，来捕捉婴儿的呼吸数据。通过图 6-104 中乌龟形状的装置，这些数据会通过蓝牙同步到智能手机当中，以供家长实时查看婴儿的呼吸速率、身体位置、活动等级、体温和室内温度。另外，连身衣上乌龟装的设备还内置了麦克风，可将声音直接传输到手机中。



图 6 101 Mimo 监测器

③ 婴儿智能脚环 图 6-102 中的婴儿智能脚环是利姆诺实验室提供支持的美国新创公司 Sproutling 为婴儿和他们的父母设计了一款智能穿戴设备。这款名为 Sproutling 的设备是一款小型便携的数据监控器，它由感应器、腕带和手机软件三部分构成。腕带采用白色医用材料，中间有一颗红色的桃心，内置电池和四个感应器，可用于监测宝宝动作、心跳和室内环境（包括温度、适度、噪声、灯光等），甚至具有定位功能，用来匹配所在城市的天气数据。

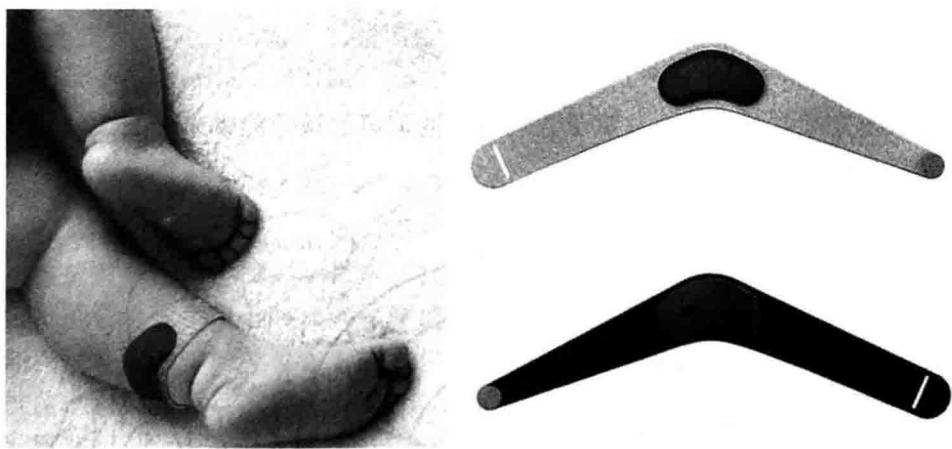


图 6 102 婴儿智能脚环

Sproutling 智能脚环通过安装在宝宝的脚踝来采集信息，父母不仅能利用手机 APP 监控小婴儿的体温、心跳等生理迹象，还可以掌握小婴儿所处环境的室温、湿度和光线明亮度等。由于小婴儿无法和大人一样，可以透过说话表达出情绪，因此智能脚环将能让父母更有机会了解宝宝的状态，并尽快进行处理。

另外，Sproutling 公司还专门建立了一个零到一岁婴儿的健康资料数据库，父母需要事

先设定好宝宝的年龄、体重等数据，脚环与宝宝父母的手机连接，如果宝宝的数据出现异常，Sproutling 的软件会自动提醒父母注意。智能脚环收集到的数据还会经过软件分析，帮父母学习抚养宝宝更适当的方法。

#### (5) 工具

① 可佩戴式多点触控投影机 微软研究院推出了一款新的可佩戴式多点触控投影机 (Wearable Multitouch Projector) 见图 6-103，可将任一平面变成可触控显示器。



图 6 103 可佩戴式多点触控投影机

整合 Kinect 风格动作、深度感测相机和微型投影仪等功能，可佩戴式多点触控投影机用户可将核心内容投影到附近的任一平面上，并进行点击、滑动以及缩放操作。该设备略显笨拙、粗糙，但其触摸式输入的整体效果十分不错。

② 手语翻译环 图 6-104 所示的手语翻译环 (Sign Language Ring) 由一个手镯和一套戴在特定手指上的可拆卸指环组成，能够识别手势动作并将其翻译为语音，通过扬声器发出。它还能将语音翻译为文字：语音被麦克风记录后即被转录成文字并显示在手镯屏幕上。这个产品给聋哑人带来了福音。

用户还可以预先录制手势动作并赋予它们相应的词语。该功能带来了极大便利，因为并不是所有手语都是相同的。

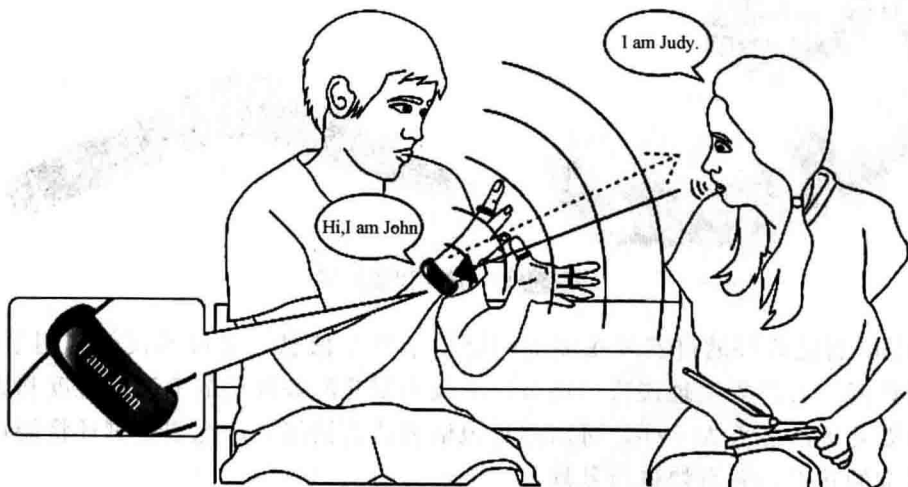


图 6 104 手语翻译环

③ Notch 追踪传感器 2013 年, 纽约创业团队 Notch 亮相了一个如图 6-105 所示的精细追踪的可穿戴传感器, 可以监测移动、跳、跑、拳、踢、舞蹈等超精确动作, 小巧玲珑的它可隐自然地装饰在衣服上, 捕捉特定的身体动作后可发送数据到 iOS APP 上查看。Notch 是专用来扑捉运动数据的, 借助单个传感器可随时记录和暂停的小穿戴传感器数据, 通过微小的振动电机输出触觉反馈。

传感器使用惯性测量单元来捕捉身体的运动, 利用蓝牙低功耗将记录的数据发送到 APP, 对于初始者来说, 使用 Notch 可以设置移动端、记录运动、收集数据、让动作回放 3D 可视化, 并下载 XYZ 格式的数据, 以后则会开发 API 允许第三方开发人员使用该入口。

每个 Notch 传感器尺寸为 30mm×33mm×8mm, 质量不到 10g, 通过标准的 micro USB 充电, 可以巧妙地别入男性服装纽扣。如果想全身都布满运动追踪器的话大约需要 8 颗传感器, 来支持捕捉手腕、手肘、头部、躯干、脚这些细分部位的运动。

④ GPS 手表 图 6-106 所示的 GPS 手表不需要定位平台, 用户直接用手机进行远程目标定位跟踪, 在通过经纬度在 google earth 等地图查寻定时位置。监护人可直接通过短信方式查询被监护人的具体位置, 无需通过平台系统, 无需支付平台月租费用。

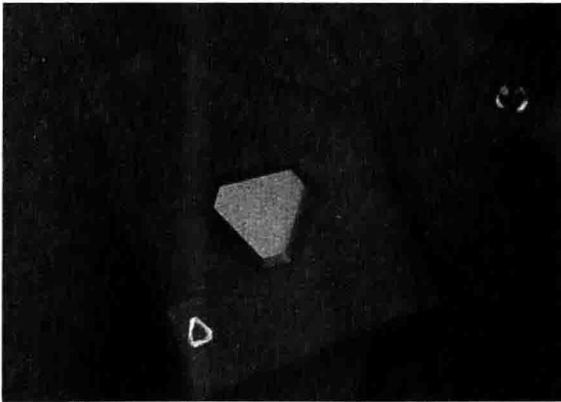


图 6 105 Notch 追踪传感器



图 6 106 GPS 手表

GPS 手表的另外一个亮点就是拥有清晰扩音器功能, 不需要佩戴耳机就能直接与监护人对活。还具有潜在意外警报、电力不足、人为关机提醒功能; 同时精确电子围栏监护功能也能对监护对象活动范围进行设定, 被监护对象进出事先指定的指定范围, 绑定手机也将收到提醒信息, 告知他们的监护对象可能有潜在危险, 同时可查看被监护对象历史过往记录轨迹, 对被监护对象的行动了如指掌。

(6) 服装

① 高科技功能的夹克外套 图 6-107 是意大利著名时尚品牌 Zegna 推出的具有高科技功能的夹克外套, 这款运动夹克采用了高科技设计, 在手腕处设计了蓝牙控制装置以及一个附带麦克风的耳机, 可以方便地接打电话或是控制音乐播放, 是高科技与传统奢侈品的完美结合。



图 6 107 ZegnaSport 夹克

② 智能健身服 健身服能够检测人身体状况的传感器通常是黏附在人的皮肤上, 或者内置于采用 Zephyr 技术制造的

生物学甲冑里。但很快，它将能够被置入运动员的健身衣里。如图 6-108 所示的 Zephyr BioModule 健身服内胸部位置有一个圆形的生物学传感器，重量很轻，可以被置入像安德玛 (Under Armour) E39 这样的压缩衬衫里。这个生物学传感器中有一个能够监测动作和速度的加速计，能够测量使用者的心率、呼吸频率和皮肤温度。它能够以极快的速度将数据传输到计算机中。

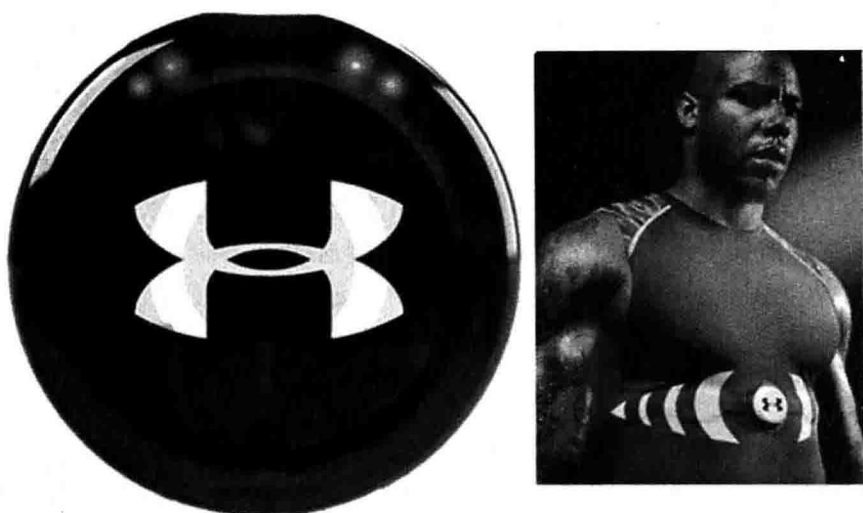


图 6-108 Zephyr BioModule 健身服

③ 太阳能比基尼 图 6-109 所示的太阳能比基尼可以通过装配的光伏薄膜带，吸收太阳光并将能量转化为电能，然后为自己的智能手机或者其他小型数码产品进行充电。而且它并非是一件摆设，它也是一件真实的泳衣，女性可以在水中游泳，待她们上岸后将泳衣晒干后便能充电。另外太阳能比基尼能直接地将能量传输，意味着它们并不存储能量，使用起来将十分安全。该比基尼充电模式下有 5V 电压，是人体所察觉不到的。所以它是一件非常实用、安全的产品。



图 6-109 太阳能比基尼

④ 智能健身袜 一家名为 Sensoria 的美国公司推出了一款与众不同的智能健身设备，不是腕带或者计步器，而是一双袜子。如图 6-110 所示的这款智能健身品名为 Sensoria



Fitness Socks，内置了特殊的传感器，可以追踪用户的步伐数、速度、卡路里消耗、重量分布、步调和足部落地技巧。其中最后一项足部落地追踪可以帮助跑步者将着力点从脚后跟转移到中足，从而减小足部受伤的风险。因此除了日常的锻炼之外，这双健身袜特别适合跑步者使用。



图 6-110 Sensoria 智能健身袜

Sensoria 健身袜附带了一只脚环，见图 6-111。该脚环会通过磁力附着在单只袜子上，在佩戴上之后，用户就可以通过蓝牙将所有信息同步至智能手机当中。Sensoria 提供的配套应用有 Android 4.3 和 iOS 两个版本。



图 6-111 Sensoria 健身袜附带的脚环

(7) 智能鞋

① ADIDAS 智能鞋 图 6-112 为 ADIDAS 在 2005 年 3 月推出的世界上第一双智能鞋，其避震系统特别在最敏感的鞋底与足弓处分别设有磁力感应系统及一块小中央处理器，而磁力感应器分为感应器与磁铁两个部分，感应器每秒钟可以记录 1000 个读数，每当感应器受压时会随着运动者的重量而计算出相适应的避震力度，再将此系列数据传至藏在足弓下的中央处理器；处理器则根据每秒可以执行五百万个运算数据来负责感应器所传来的数据，透过

电机驱动系统的转动电线来调节避震程度。此外，鞋底更装有一枚可供电机跑步 100h 的可替换式 3V 小电池。



图 6 112 ADIDAS 推出的世界上第一双智能鞋

要启动智能鞋的智能避震系统，先决条件是鞋底必须装上一粒 3V 的电池，再同时按下鞋侧的“+”、“-”按钮便能开启电脑智能的电源，只需要数分钟的时间，智能避震系统就会根据运动者的体重、速度及不同的地面软硬程度而自行调节合适的避震功能，因此在草地、平地、山路等不同地方跑步时所产生的避震效果绝对不同。当然，各位也同样可以通过手动选择“+”、“-”按钮调节避震度，总共分为 4 种硬度选择。

② GPS 全球定位系统鞋 图 6-113 为 GPS 全球定位系统鞋，是由美国 GTX 公司经过两年研发成功的，这种结合新科技的鞋可协助人们追踪迷路的痴呆症患者。买家可设定监测服务，追踪走失了的痴呆症患者，避免他们发生任何尴尬以及具有严重后果的意外。

③ 卫星导航鞋 图 6-114 所示的卫星导航鞋内置了一个 GPS 芯片、一个微控制器和一对天线。左脚鞋的鞋头上装有一圈 LED 灯，形状像一个罗盘，它能指示正确的方向，右鞋鞋头也有一排 LED 灯，能显示当前地点距离目的地的远近。出发前，用户需要在电脑中设计好旅行路线，用数据线将其传输至鞋中，然后同时叩击双脚鞋跟开始旅程。

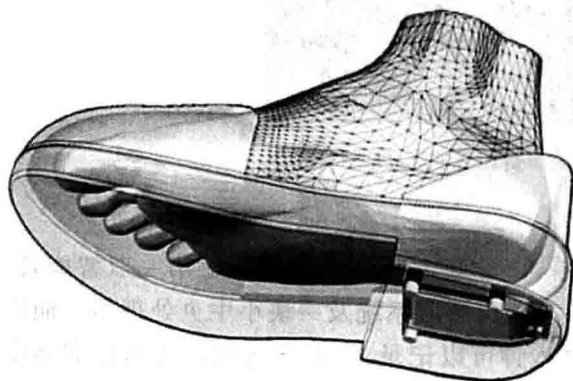


图 6 113 GPS 全球定位系统鞋

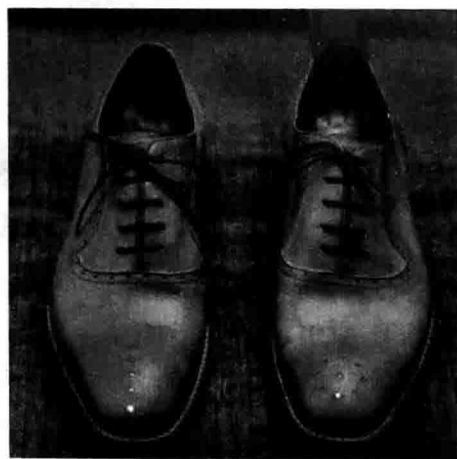


图 6 114 卫星导航鞋

④ 可防止运动扭伤的运动鞋 图 6-115 所示的可防止运动扭伤的智能运动鞋是由德国一家研究机构 Fraunhofer 研发的,可以帮助跑步者发现和纠正不正确的跑步姿势,从而防止许多常见的运动伤害。一些初学者在没有经过专业教练指导的情况下进行慢跑,长远来看,很容易伤害到自己的身体。不仅仅是初学者,甚至专业的运动员在挑战自己过去的极限时也很容易把自己扭伤。新的智能运动鞋里面嵌入了各种传感器,包括 GPS 以及加速计传感器。这些传感器可以获取用户跑步时的各种数据,然后通过智能手机相关的应用程序呈现出来。该应用程序可以建议用户跑步的速度、姿势以及训练时间的长短。

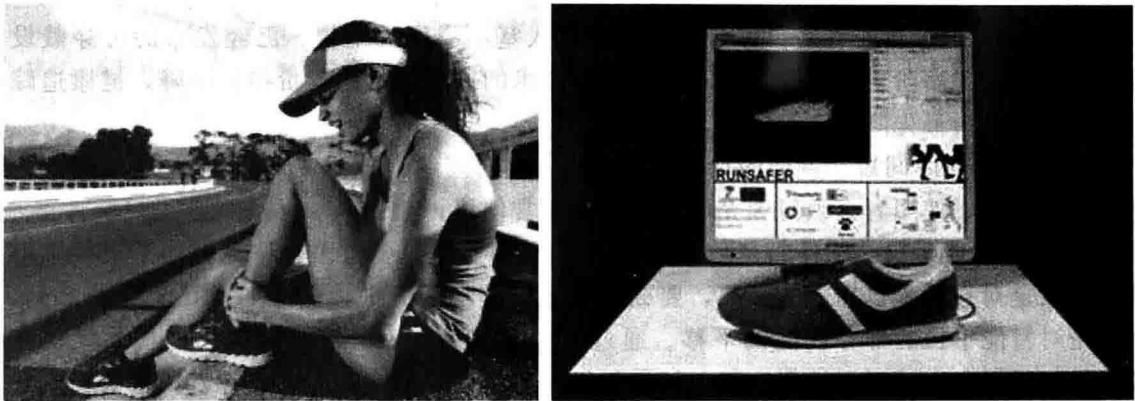


图 6-115 可防止运动扭伤的智能运动鞋

⑤ 会说话的智能鞋 图 6-116 是一款由 Google 和某创意设计机构合作完成的会说话的鞋,旨在用比较诙谐的语言将运动数据传达给用户并且分享给朋友。它内部装配了加速器、陀螺仪等装置,通过蓝牙与智能手机进行连接,从而可以监测到用户的使用情况。另外,鞋子还配有一个扬声器,将传感器收到的鞋子信息以语音评论的形式播放出来,这些评论或尖酸刻薄或幽默风趣,给人以深刻的印象。

⑥ 充电靴 Orange 推出了一款名为 Power Welties 的充电靴(图 6-117),可以使用脚部的热量进行发电。这个雨靴的工作原理是靴子中的热点模块会把感受到的温度差为电压,从而产生电能为手机等数码产品充电。

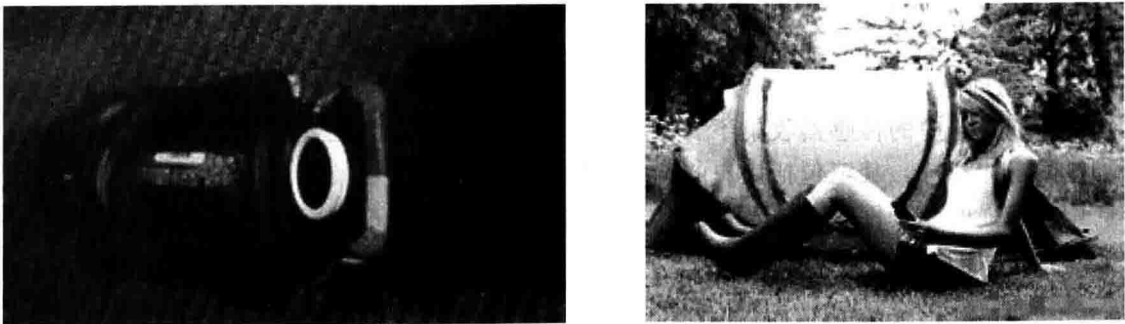


图 6-116 会说俏皮话的谷歌智能鞋

图 6-117 充电靴

鞋子内部的热敏部件由半导体材料制成,内嵌在长筒靴的靴底。这些部件与一系列温差电偶或一个温差电堆相连接,随后被夹在两层陶瓷薄片之间。脚底的热量作用在上层薄片,较冷的地面作用在下层薄片,于是电就这样产生了。用户的脚越热,靴子产生的电力就越大。不过穿上这种长筒靴后,人需要在地面踩 12h 左右,才能给手机充上足够使用 1h 的电力。

## 6.5 发展趋势

从最初的产品实现阶段，到当前的功能拓展阶段，再到未来的产品整合以及规模应用阶段，可穿戴产品的功能特征正在一步步地发生改变，并且朝着和用户更加友好的方向发展，这种改变直观地通过产品形态和用户体验表现出来，但即便如此，这类产品目前依旧有很多需要改进的地方，比如功耗、电池以及内容显示方式等。目前可穿戴设备产业主要存在以下几个问题。

① 价格昂贵 目前看来，可穿戴计算的收入基本靠硬件销售。已经发布的可穿戴设备的价格仍是让工薪阶层望而却步。不过，随着技术的进步，传感器价格的下降，健康追踪类可穿戴设备将会最先降价。

② 电池续航时间短 普通的智能手表电池使用时间约为 24h，如果开启更多功能则会使得耗电量增加，使用者必须每天充两次电才能正常使用。

③ 多为智能手机“配件”，独立性不强 目前可穿戴设备大多是作为智能手机的辅助工具。要么是对智能手机功能的拓展，要么仅仅是对其功能的平移。比如，智能手表 Pebble，仅是对智能手机的部分功能的平移。通过蓝牙连接后，Pebble 可以为用户提供手机短信或电子邮件提醒、设置闹钟等功能。如果仅仅作为其他智能终端的辅助外设，将会失去独立存在的必要性。不难想象，一旦用户失去了使用新鲜感，这种“配件”将会很快失去市场。

④ 技术不成熟，尤其在健康和医疗相结合的领域 与健康 and 医疗相结合的可穿戴设备，作为医生准确判断病情的可靠依据，必须具有绝对精确的数据动态采集处理能力，而当前大多可穿戴设备，数据采集的精确度没有达到医用级要求，医生和患者均对数据可靠性怀有疑虑。

⑤ 突破硬件局限，丰富应用开发，拓展产品能力 在硬件方面，在可任意弯曲、自由伸缩的显示屏材料以及续航能力较强的电池方面目前的产品仍没有实现突破。同时，小尺寸的屏幕使得产品的设计在差异化方面发挥的空间大大降低，这也将导致用户选择的局限性。在软件方面，目前的大部分移动互联网应用无法直接在可穿戴设备上使用，均需要进行适配性的二次开发。

⑥ 产业链脱节 可穿戴智能设备产业链脱节，未能形成闭环。没有龙头企业来整合产业链，而分散竞争的小企业又无力整合。

⑦ 隐私问题 移动互联网时代，可穿戴计算发展加剧了消费者对于个人隐私问题的担忧。可穿戴设备中的传感器收集了大量用户信息，包括用户的位置信息、购物信息、兴趣偏好、各项身体指标，甚至包括用户的脑中所想，以及外部环境及他人的各类信息。这些数据信息具有很强的私密性，若被不合理利用将引发一系列社会伦理问题。可穿戴计算使得每个人变成了直接的数据创造者，同时也成了被数据控制的人。

## 参考文献

- [1] 林宋, 刘勇, 郭瑜茹. 光机电一体化技术应用 100 例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 林宋, 张超英, 陈世乐. 现代数控机床 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [3] 林宋, 刘杰生, 殷际英. 光机电一体化技术产品实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [4] 文秀兰, 林宋, 谭昕, 钟建琳. 超精密加工技术与设备 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [5] 殷际英, 林宋, 方建军. 光机电一体化实用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [6] Lin Song, Lu Yanna. Research on the architecture e-manufacturing and its application. Journal of Donghua University (Eng. Ed.), 2003, 20 (4): 103-106.
- [7] 林宋, 刘勇. 产品设计意图的建模研究 [J]. 现代制造工程, 2003, (6): 64-68.
- [8] 林宋. 基于 Web 的信息化制造策略. 中国机械工程, 2003, 14 (20): 1756-1759.
- [9] 李筱菁等. GPS 技术在城市交通状况实时检测技术中的应用 [J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32 (3): 475-481.
- [10] 王泮浩等. 变频空调器控制技术的技术现状与发展趋势 [J]. 制冷学报, 2002 (2): 1-5.
- [11] 刘政华等. 机械电子学 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- [12] 徐德, 孙同景. 可编程控制器 (PLC) 应用技术 [M]. 济南: 山东科学出版社, 1996.
- [13] 钟约先, 林亨. 机械系统计算机控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [14] 周鲜成. 模糊控制技术在变频空调器中的应用 [J]. 电子技术应用, 2001 (2): 17-22.
- [15] 金钰等. 伺服系统设计指导 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2000.
- [16] 张宇河等. 计算机控制系统 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [17] 魏永广, 刘存. 现代传感技术 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2001.
- [18] 方佩敏. 新编传感器原理、应用、电路详解. 北京: 电子工业出版社, 1993.
- [19] 张琳娜, 刘武发. 传感检测技术及应用. 北京: 中国计量出版社, 1999.
- [20] 张崇巍, 李汉强. 运动控制系统 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2001.
- [21] [日] 高森年. 机电一体化 [M]. 赵文珍译. 北京: 科学出版社, 2001.
- [22] 徐承忠等. 数字伺服系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
- [23] 江利进, 龙腾宇. 固高运动控制卡在五轴数控磨床的应用研究 [J]. 机械, 2005 (12): 46-48.
- [24] 张建钢等. 模糊控制洗衣机混浊度检测系统 [J]. 湖北工学院学报, 2002, 17 (1): 8-10.
- [25] 贾继度. 数控机床的位置检测装置及其应用 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2002 (7): 41-42.
- [26] 马国华. 监控组态软件及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [27] 王振龙, 赵万生, 李文卓. 电火花加工技术的发展趋势与工艺进展 [J]. 制造技术与机床, 2001 (7): 9-11.
- [28] 暴金生, 周企樱. 智能仪器设计基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [29] 吴宗凡等. 红外与微光技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [30] 周建光等. 一种新型红外测油仪的研制 [J]. 分析仪器, 2002 (1): 8-13.
- [31] 李神速, 施志大, 王蕴. 数字化显微硬度计及功能测试软件开发研究 [J]. 上海应用技术学院学报, 2001, 1 (1), 18-22.
- [32] 钟志华, 杨济匡. 汽车安全气囊技术及其应用 [J]. 中国机械工程, 2000, 11 (1~2): 234-237.
- [33] 林建民. 嵌入式操作系统技术发展趋势 [J]. 计算机工程, 2001, 27 (10): 1-4.
- [34] 高东杰, 谭杰, 林红权. 应用先进控制技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [35] 白杉, 子荫. 数码相机市场的现状和未来 [J]. 影像材料, 2002 (4), 54-58.
- [36] 诸静等. 模糊控制原理与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [37] 陈炳和. 计算机控制系统基础 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [38] 曹承志编著. 微型机算计控制新技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [39] 徐元昌编著. 机械电子技术 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1995.
- [40] 史维祥, 唐建中, 周福章等. 近代机电控制原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [41] 李培根, 汤漾平. 机电一体化设计 [M]. 江西: 江西科学技术出版社, 2001.
- [42] 裴仁清. 机电一体化原理 [M]. 上海: 上海大学出版社, 1998.
- [43] 杨汝清. 现代机械设计——系统与结构 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2000.
- [44] 凌澄. PC 总线工业控制系统精粹 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.

- [45] 齐智平. 机电一体化系统的软件技术 [M]. 北京：中国电力出版社，1998.
- [46] 王福瑞等. 单片微机测控系统设计大全 [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，1998.
- [47] 李刚，杨继东. 基于 PC 的开放式数控系统的开发 [J]. 机床与液压，2006（4）：82-83.
- [48] 陈兴国，陈江鸿. 模糊控制洗衣机的设计 [J]. 湖南大学学报，2002，29（3）：24-26.
- [49] 张建钢等. 模糊控制洗衣机混浊度检测系统 [J]. 湖北工学院学报，2002，17（1）：8-10.
- [50] 周凯. PC 数控原理、系统及应用 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.
- [51] 杨长能等. 可编程控制器基础及应用 [M]. 重庆：重庆大学出版社，1992.