



海洋数据处理及制图软件集

坐标转换软件 OpenCoord 使用手册

xiaocehui 编著

2016. 5. 25

文档历史

日期	作者	版本	变更说明
2016.5.25	xiaokcehui	1.0.0	

作者 xiaokcehui 简介:

现住地: 青岛

职业: 海洋测绘及勘察

QQ: 38110113

个人网址: xiaok 海洋测绘网, www.xiaokcehui.com

目 录

1. 简介.....	1
1.1 关于海洋数据处理及制图软件（ODPM）	1
1.2 关于 OpenCoord.....	1
1.3 开发 OpenCoord 的原因.....	1
2. 主要功能.....	2
2.1 功能介绍.....	2
2.2 椭球界面及常见椭球.....	2
2.3 投影变换.....	3
2.3.1 单点变换.....	3
2.3.2 文件变换.....	4
2.4 计算转换参数.....	6
2.4.1 三参数计算.....	6
2.4.2 七参数计算.....	6
2.5 不同椭球基准的转换.....	6
3. 后期想法.....	8
附录——坐标转换理论.....	9
高斯投影转换.....	9
基准转换.....	10
赫尔默特（Helmert）转换.....	10
布尔莎-沃尔夫（Bursa-Wolf）公式.....	11
七参数的相关性.....	12

1.简介

1.1 关于海洋数据处理及制图软件（ODPM）

海洋数据处理及制图软件（Ocean Data Processing and Mapping，简称 ODPM）是一个软件集合，是作者在海洋数据处理及制图方面的工作总结。

ODPM 是作者申请著作权的第一个软件，总结了“908 专项”和海洋工程勘查等方面数据处理和制图的经验，基于 VB6.0 开发而成；它的原始代码来源于使用 AutoCAD VBA 的积累。关于 ODPM 的详细信息请见 <http://www.xiaokcehui.com/?post=6>。

1.2 关于 OpenCoord

OpenCoord V1.0.0 基于 Proj4.8.0 和 alglib3.9.0，采用 VS2010 C++进行开发，UI 采用 MFC。2015 年底开始编码，2016 年 5 月完成编码，主要功能有：

- 1、投影转换，目前支持 TM 和 Mecator 投影，因为采用 Proj，扩充非常容易
- 2、不同椭球基准之间的转换
- 3、计算不同基准的转换参数，目前支持布尔沙模型，三参数和七参数。

1.3 开发 OpenCoord 的原因

市面上坐标转换软件不是很完善，比如：

- 1、开源软件 Proj，它不支持转换参数计算；
- 2、Coord MG 程序，即著名的笑脸程序，投影少，而且墨卡托投影（海图投影）转换有误；
- 3、geocal 程序，它只有投影转换。
- 4、其它软件可靠性有待验证

2. 主要功能

2.1 功能介绍

OpenCoord 支持 42 种椭球，135 种投影，虽然目前只支持 TM 和 Mecator 投影，但是扩充其它投影非常容易。

坐标转换包括三个方面的功能：（1）实现同一椭球的投影转换（2）实现不同椭球的坐标转换即坐标转换（3）求取不同椭球的七个转换参数。如图 2-1 所示



图 2-1 坐标转换主界面

2.2 椭球界面及常见椭球

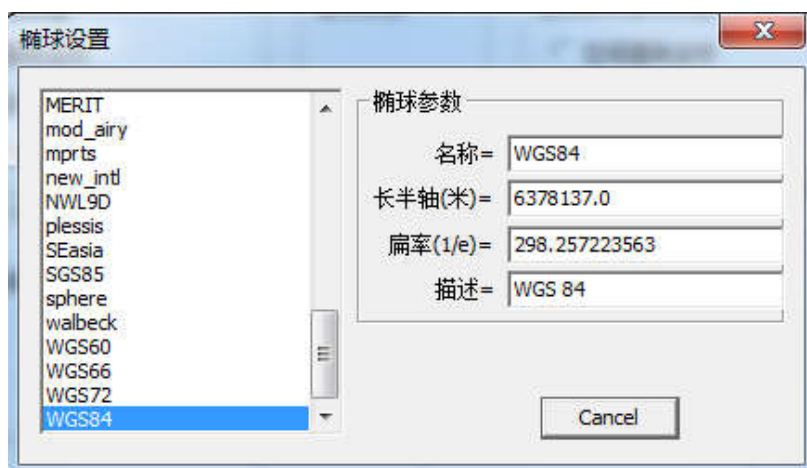


图 2-2 椭球管理界面

日常我们用的最多的椭球有：
WGS84，选择列表的 WGS84
北京 54，选择列表的 Krass

西安 80，选择列表的 IAU76

CGCS2000，选择列表的 GRS80

2.3 投影变换

首先，进行投影参数的设置，如图 2-3，然后进行转换。

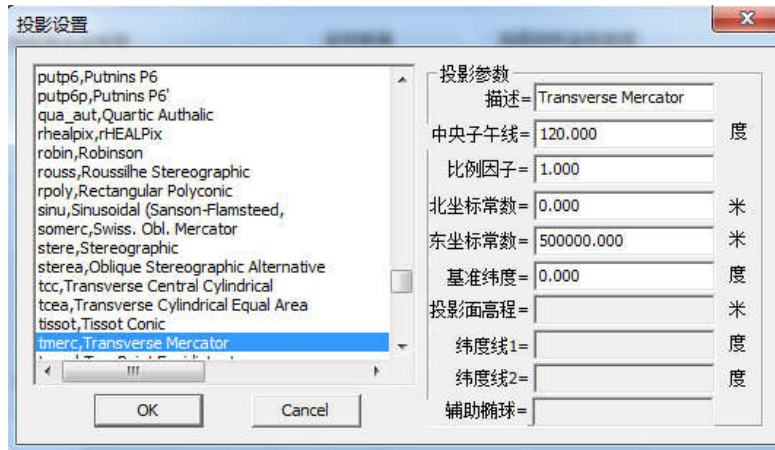


图 2-3 投影参数设置

tmerc, TM 投影，横轴墨卡托投影，如果比例因子为 1.0，则是高斯投影；如果比例因子为 0.9996，则是 UTM 投影。

merc, Mercator 投影，墨卡托投影，海图投影。

2.3.1 单点变换

1、大地坐标转平面坐标

检查 源和目标坐标的坐标类型、椭球基准、数据格式，点击“转换”按钮，如下图 2-4 所示：



图 2-4 单点大地坐标转换平面坐标

大地坐标格式 分 DMS, DMM, DDD 三种格式：

DMS, 度%分%秒, 度分秒之间的分隔符，可以为任何除数字以外的单字符，比如空格，:等，

但是不能是多字符，否则会出错。

DMM，度%分，度分之间的分隔符，可以为任何除数字以外的单字符，比如空格，:等，但是不能是多字符，否则会出错。

DDD，度，不能有任何多余字符

2、平面坐标转大地坐标

检查 源和目标坐标的坐标类型、椭球基准、数据格式，点击 “转换” 按钮，如下图 2-4 所示：

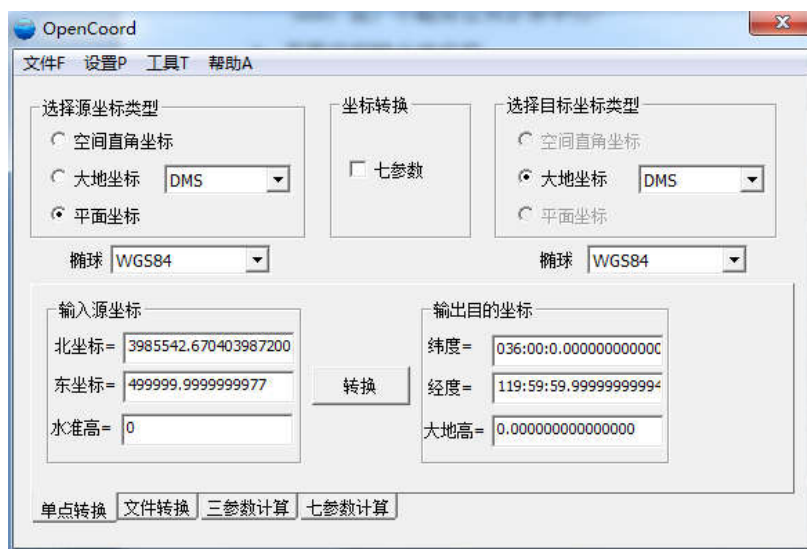


图 2-4 单点平面坐标转换大地坐标

2.3.2 文件变换

1、大地坐标转平面坐标

首先检查 “源和目标坐标的坐标类型、椭球基准” 等参数是否设置正确，然后选择要转换的文件的格式，点击 “格式” 按钮，出现图 2-5 选择文件格式对话框。

本软件的应用程序目录下 “testbl.csv” 测试样例，它是一个西安 80 经纬度坐标文件，转换后，生成了它的平面坐标文件 “testbl.csv1”，如下图 2-6 所示。

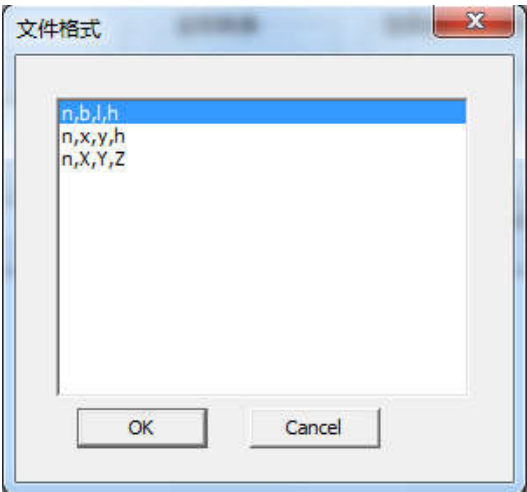


图 2-5 源文件格式选择

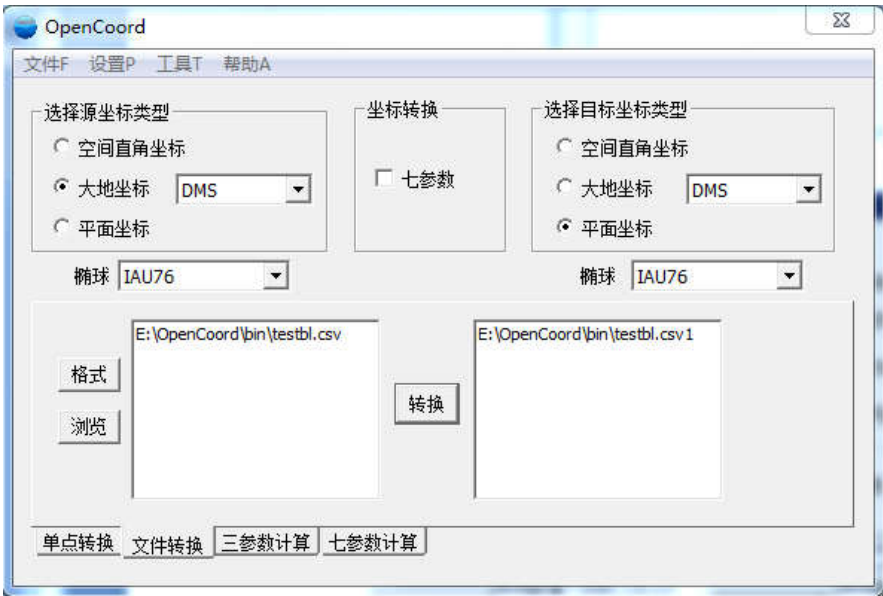


图 2-6 文件转换（大地坐标转平面坐标）

2.4 计算转换参数

2.4.1 三参数计算

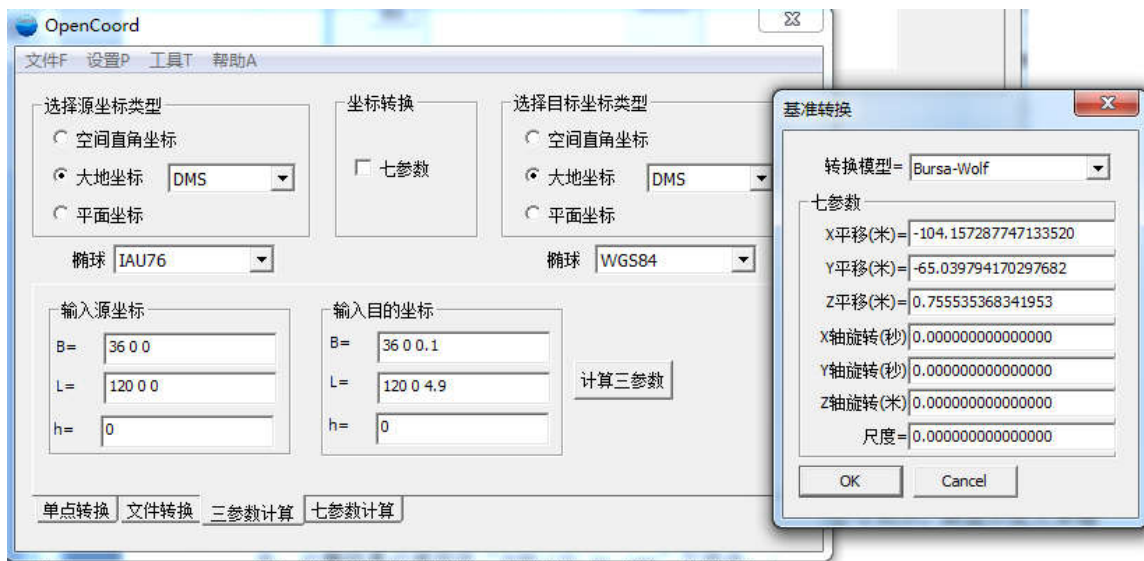


图 2-7 三参数计算

图 2-7 是西安 80 转 WGS84 的三参数计算。

2.4.2 七参数计算

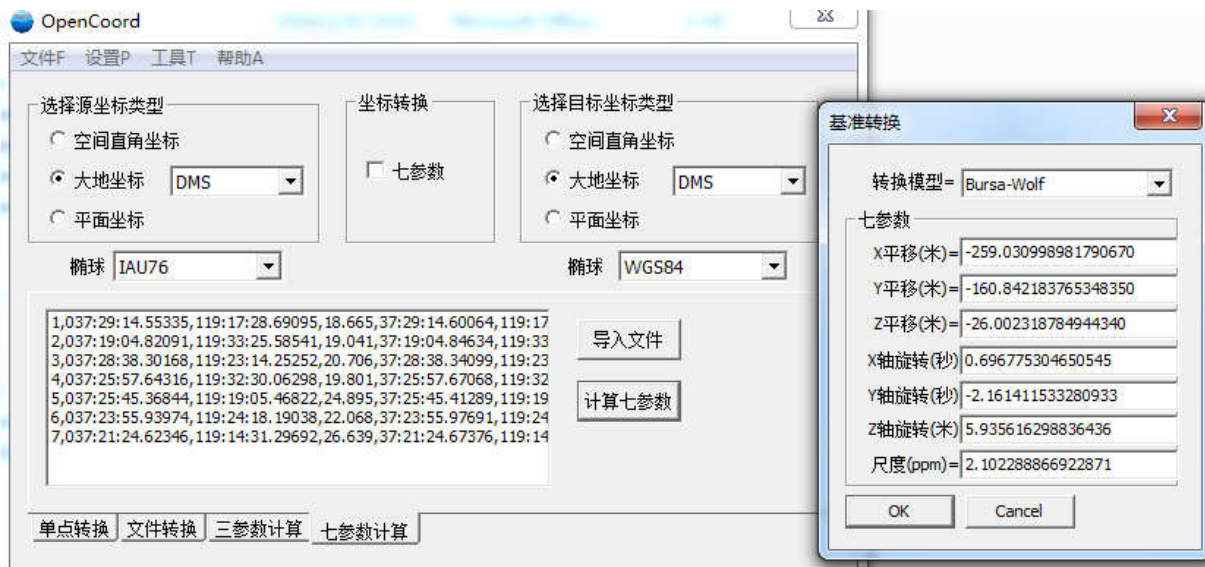


图 2-8 计算七参数（西安 80 转 CGCS2000）

本软件的应用程序目录下“test2.csv”测试样例，它是一个西安 80 转 WGS84 的公共点文件，导入后，点击“计算七参数”生成七参数，如下图 2-8 所示。。

2.5 不同椭球基准的转换



图 2-9 单点转换（西安 80 转 WGS84）

上图是单点西安 80 转 WGS84 的结果，七参数采用 2.4.2 的计算参数。文件转化类似本文 2.3.2，只不过需要在“七参数”方框内打勾。

3.后期想法

- 1、开源中国上进行开源，github 进行代码托管，开发人员进行限定。
- 2、尽可能多地增加投影
- 3、增加 ITRF 框架和历元转换

欢迎有兴趣、有想法、有编程基础的人员加入。

附录---坐标转换理论

高斯投影转换

参考武汉大学出版社《控制测量学》下册和 EPSG (The European Petroleum Survey Group, <http://www.epsg.org/>) 官方文档《坐标转换公式》(Coordinate Conversions and Transformations including Formulas) 相关知识, 本软件的高斯投影正反算的公式采用《控制测量学》下册的公式(与 USGS (美国地质调查局) 高斯投影公式一样):

1、经纬度坐标转平面坐标的计算公式

东坐标, $E = FE + k_0 v [A + (1 - T + C)A^3/6 + (5 - 18T + T^2 + 72C - 58e'^2)A^5/120]$

北坐标, $N = FN + k_0 \{M - M_0 + v \tan \varphi [A^2/2 + (5 - T + 9C + 4C^2)A^4/24 + (61 - 58T + T^2 + 600C - 330e'^2)A^6/720]\}$

其中:

$$k_0 = 1$$

$$T = \tan^2 \varphi$$

$$C = e^2 \cos^2 \varphi / (1 - e^2)$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cos \varphi, \lambda \text{ 和 } \lambda_0 \text{ 为弧度}$$

$$v = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{0.5}$$

$$M = a[(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 - \dots)\varphi - (3e^2/8 + 3e^4/32 + 45e^6/1024 + \dots)\sin 2\varphi + (15e^4/256 + 45e^6/1024 + \dots)\sin 4\varphi - (35e^6/3072 + \dots)\sin 6\varphi + \dots]$$

φ 为弧度, M_0 为 φ_0 (原点纬度) 的值。

2、平面坐标转经纬度坐标的计算公式

$$\varphi = \varphi_1 - (v_1 \tan \varphi_1 / \rho_1) [D^2/2 - (5 + 3T_1 + 10C_1 - 4C_1^2 - 9e^2)D^4/24 + (61 + 90T_1 + 298C_1 + 45T_1^2 - 252e^2 - 3C_1^2)D^6/720]$$

$$\lambda = \lambda_0 + [D - (1 + 2T_1 + C_1)D^3/6 + (5 - 2C_1 + 28T_1 - 3C_1^2 + 8e^2 + 24T_1^2)D^5/120] / \cos \varphi_1$$

其中:

$$v_1 = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi_1)^{0.5}$$

$$\rho_1 = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \varphi_1)^{1.5}$$

$$\varphi_1 = \mu_1 + (3e_1/2 - 27e_1^3/32 + \dots)\sin 2\mu_1 + (21e_1^2/16 - 55e_1^4/32 + \dots)\sin 4\mu_1 + (151e_1^3/96 + \dots)\sin 6\mu_1 + (1097e_1^4/512 - \dots)\sin 8\mu_1 + \dots$$

其中

$$e_1 = [1 - (1 - e^2)^{0.5}] / [1 + (1 - e^2)^{0.5}]$$

$$\mu_1 = M_1 / [a(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 - \dots)]$$

$$M_1 = M_0 + (N - FN)/k_0$$

$$T_1 = \tan^2 \varphi_1$$

$$C_1 = e^2 \cos^2 \varphi_1$$

$$e^2 = e^2 / (1 - e^2)$$

$$D = (E - FE) / (v_1 k_0)$$

上述高斯投影转换公式的平面精度为 0.001 米, 经纬度精度为 0.00001 秒。

基准转换

赫尔默特（Helmert）转换

从一个大地坐标系转换到另一个大地坐标系（俗称为基准面转换）一般需要经过三个环节：大地坐标到地心坐标 → 地心坐标到地心坐标 → 地心坐标到大地坐标。其中的中间环节，地心坐标到地心坐标，通常又称为7 参数赫尔默特（Helmert）转换，将转换公式用7 参数矩阵表示，即得到著名的布尔莎-沃尔夫（Bursa-Wolf）公式：

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = M * \begin{pmatrix} 1 & -R_Z & +R_Y \\ +R_Z & 1 & -R_X \\ -R_Y & +R_X & 1 \end{pmatrix} * \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}$$

式中，（X_S, Y_S, Z_S）为原坐标系中的点坐标，（X_T, Y_T, Z_T）为新坐标系中的点坐标。

转换参数的定义不唯一，可引伸出不同的转换方法，其中“位置矢量转换”方法（EPSG 坐标运算方法9606）在欧洲石油勘探行业中广泛采用，国际大地测量协会（IAG）也通过ISO19111 建议采用该方法的参数定义：

（dX, dY, dZ）：两坐标系的原点平移矢量（平移参数），原坐标系中的点位置矢量加上原点平移矢量即得到该点在新坐标系中的位置矢量。平移参数也就是原坐标系的原点在新坐标系中的坐标值。

（RX, RY, RZ）：位置矢量的旋转角（旋转参数）。参数符号约定如下：从直角坐标系原点，沿轴正向看，位置矢量绕轴顺时针旋转为正。从原坐标系转换到新坐标系，如果绕Z 轴的旋转角度为正，那么转换后坐标点的经度将增大。

M：位置矢量的比例因子（尺度比参数），位置矢量从原坐标系转换到新坐标系的尺度伸缩量。M = (1 + dS*10⁻⁶)，其中dS 为尺度校正量，以百万分之一计（ppm）。

位置矢量转换法虽然在欧洲石油勘探行业中普遍应用，但其符号约定并未得到全球的认同。美国石油勘探行业则采用另一种符号约定，其区别在于旋转参数的约定上，称作“坐标框架旋转”约定（EPSG 坐标运算方法9607），转换公式为：

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = M * \begin{pmatrix} 1 & +R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & +R_X \\ +R_Y & -R_X & 1 \end{pmatrix} * \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}$$

转换参数定义为：

(dX, dY, dZ)：两坐标系的原点平移矢量（平移参数），原坐标系中的点位置矢量加上原点平移矢量即得到该点在新坐标系中的位置矢量。平移参数也就是原坐标系的原点在新坐标系中的坐标值。

(RX, RY, RZ)：坐标参考框架的旋转角（旋转参数）。参数符号约定如下：从直角坐标系原点，沿轴正向看，坐标参考框架绕轴顺时针旋转为正。从原坐标系转换到新坐标系，如果绕 Z 轴的旋转角度为正，那么转换后坐标点的经度将变小。公式中的角度单位，本软件要求是弧度。

M：位置矢量的比例因子（尺度比参数），位置矢量从原坐标系转换到新坐标系的尺度伸缩量。M = (1 + dS*10⁻⁶)，其中dS 为尺度校正量，以百万分之一计（ppm）。

如果不考虑旋转因素，位置矢量法与坐标框架法是一致的。需要注意的是，同样的旋转变换，在第一种方法中转换参数为正，而在第二种方法中却是负的。所以，在基准面转换前，必须明确旋转参数的符号约定，可以说，参数的符号是与坐标系转换方法相关联的。

布尔莎-沃尔夫（Bursa-Wolf）公式

本软件采用布尔莎-沃尔夫（Bursa-Wolf）公式，该公式进一步推导为：

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -Z_S & Y_S \\ Z_S & 0 & -X_S \\ -Y_S & X_S & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}$$

其中，3 个平移参数 $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$ ，3 个旋转参数 $[\varepsilon_X \ \varepsilon_Y \ \varepsilon_Z]^T$ 和 1 个尺度参数 m 。上式即为适用于任意两个空间直角坐标系相互转换的布尔莎七参数公式。

为了求得这 7 个转换参数，至少需要 3 个公共点，当多于 3 个公共点时，可按最小二乘法求的 7 个参数的最或然值。对于每个点，上式有如下观测方程：

$$\begin{bmatrix} X_{Ti} - X_{Si} \\ Y_{Ti} - Y_{Si} \\ Z_{Ti} - Z_{Si} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{Si} & 0 & -Z_{Si} & Y_{Si} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{Si} & Z_{Si} & 0 & -X_{Si} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{Si} & -Y_{Si} & X_{Si} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \\ dK \\ \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix}$$

式中 i=1, 2, ..., n, 若设

$$L_{\Delta x} i = \begin{bmatrix} X_{Ti} - X_{Si} \\ Y_{Ti} - Y_{Si} \\ Z_{Ti} - Z_{Si} \end{bmatrix}, \quad B_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_{Si} & 0 & -Z_{Si} & Y_{Si} \\ 0 & 1 & 0 & Y_{Si} & Z_{Si} & 0 & -X_{Si} \\ 0 & 0 & 1 & Z_{Si} & -Y_{Si} & X_{Si} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\hat{Y} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \\ dK \\ \mathcal{E}^X \\ \mathcal{E}^Y \\ \mathcal{E}^Z \end{bmatrix}, \quad L_{\Delta x} = \begin{bmatrix} L_{\Delta x1} \\ L_{\Delta x2} \\ L_{\Delta x3} \\ \vdots \\ L_{\Delta xn} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix}$$

则误差方程变为 $V_{\Delta x} = B\hat{Y} - L$

$$\text{设等权观测, 即 } P_{L_{\Delta x}} = E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{则法方程 } B^T B \hat{Y} - B^T L_{\Delta x} = 0$$

从而求出转换参数, $\hat{Y} = (B^T B)^{-1} B^T L_{\Delta x}$

单位权方差 $\sigma_0^2 = (V^T V)/(3N - 7)$

协因素阵:

$$Q_{\hat{Y}} = ((B^T B)^{-1} B^T)^T Q_{L_{\Delta x}} ((B^T B)^{-1} B^T) = ((B^T B)^{-1} B^T)^T P^{-1} ((B^T B)^{-1} B^T) = (B^T B)^{-1}$$

若设不等权观测, $P_{L_{\Delta x}} = (\Sigma_T + \Sigma)^{-1}$, Σ_T 和 Σ 为目标点和源点的协因素阵, 这时法方程:

$$B^T P B \hat{Y} - B^T P L_{\Delta x} = 0$$

未知数向量 $\hat{Y} = (B^T P B)^{-1} B^T P L_{\Delta x}$

单位权方差 $\sigma_0^2 = (V^T P V)/(3N - 7)$

协因素阵:

$$Q_{\hat{Y}} = ((B^T P B)^{-1} B^T)^T Q_{L_{\Delta x}} ((B^T P B)^{-1} B^T) = ((B^T P B)^{-1} B^T)^T P^{-1} ((B^T P B)^{-1} B^T) = (B^T P B)^{-1}$$

软件求取七参数所用的已知点一般都是独立的, 因此采用等权观测的公式。

七参数的相关性

下面的论述摘自《大地测量与地球动力学》第27卷第2期王解先的《七参数转换中参数之间的相关性》:

(1) 在小区域(地面 100×100 km。范围)应用时, 七参数转换模型中, 3个平移参数与3个旋转参数及尺度参数之间是强相关的。

(2) 3个旋转参数与尺度参数之间并不相关。

在大部分的实际工程应用中, 测区一般都很小。如果在同一测区测定两次或者已知点坐标有微小变化, 由于七参数的相关性, 求出的参数在数值上将会差别很大, 如平移参数的变化可能达到几十千米。然而只要没有粗差, 转换残差仍然会很小, 转换结果也不会有大的差异, 七参数转换模型仍然是有效和可用的。在小区域应用时, 旋转参数和尺度参数对各点的影响基本一样, 所起的作用将可以包含在平移参数中, 因此七参数与三参数将是基本等价的。