

三维空间与二维空间七参数转换参数求解新方法^{*}

谢鸣宇 姚宜斌

(武汉大学测绘学院, 武汉 430079)

摘 要 针对三维空间和高程未知的二维空间之间的七参数的求解问题, 提出一种新方法——高程趋近法, 并通过真实数据和模拟数据阐明此方法的可行性和适用范围, 得出结论: 当经纬度的跨度范围均小于 8° 时, 其 x 或 y 方向的坐标差值均在 1 cm 左右, 并且其精度随着经纬度(特别是纬度)范围的缩小而显著提高。

关键词 高程替代; 七参数; 三维和二维空间; WGS84; BJ54

中图分类号: P226⁺.3

文献标识码: A

A NEW METHOD FOR SOLUTION OF SEVEN-PARAMETER TRANSFORMATION BETWEEN 3D AND 2D SPACES

Xie Mingyu and Yao Yibin

(School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract A new method which is called Height Substitution Circular Method is put forward aimed at the solution of the seven-parameter transformation between 3D and 2D spaces with unknown height. The feasibility and the applicability of this method are proved through processing the real data and the simulated data. The results show that when both the ranges of longitude and latitude are less than 8° , both the coordinate differences in x and y direction are about 1 cm and the accuracy is obviously improved with the range reduction of longitude and latitude especially the range reduction of latitude.

Key words: height substitution; seven transformation parameter; 3D and 2D spaces; WGS84; BJ54

1 引言

现代卫星定位技术(如 GPS)的发展使得建立高精度的大地测量基准成为可能^[1], GPS 业已成为建立基础控制网的首选手段。

GPS 测得的是点与点之间的三维基线分量, 而我国目前广泛采用的北京 54 坐标系和西安 80 坐标系是二维平面坐标系。在利用 GPS 建立基础控制网的数据处理过程中, 必然存在三维观测资料与二维控制点成果的匹配问题。

要求得相对准确的北京 54 或西安 80 下的三维坐标, 一种可选的方法是建立 WGS84 坐标系和北京 54 或西安 80 坐标系的空间转换关系, 通过基准转换予以实现^[2-5]。对于我们所熟悉的七参数模型(如布尔莎法)中必须要有至少 3 个以上公共点在两个基准下的三维空间直角坐标 (X, Y, Z) , 而对于转换基准之一的北京 54 坐标系或西安 80 坐标系, 通常高程是未知的, 这样就无法求得其空间直角坐标, 也就无法利用七参数模型求解其转换参数^[6-11]。这样问题就出现了: 即在仅仅已知三维空

• 收稿日期: 2007-09-11

基金项目: 国家 863 计划(2006AA12Z323); 国家 973 计划(2006CB701301); 国家自然科学基金(40774008)

作者简介: 谢鸣宇, 女, 1985 年生, 硕士, 主要从事 GPS 数据处理研究。E-mail: myxie24@sina.com

间坐标和二位平面坐标的情况下如何求解两个基准的转换参数,进而求得在北京 54 或西安 80 下的二维坐标,并使之具有较高的精度。

下文将以 WGS84 和 BJ54 基准转换为例,介绍一种三维空间与二维空间七参数转换参数求解新法——高程趋近法。

2 高程趋近法

问题:如何在已知 WGS84 下的坐标 $(X,Y,Z)_{84}$ 或者 $(B,L,H)_{84}$ 和 BJ54 下的平面坐标 $(x,y)_{54}$ 或者 $(B,L)_{54}$ 的情况下求出两个坐标系的转换关系。

思路 1:将现有的建立在椭球上的空间直角坐标 (X,Y,Z) 与大地坐标 (B,L,H) 的转换关系式通过某种变换,构建出如下形式的关系:

(X Y Z)^T = [a11 a12 a13; a21 a22 a23; a31 a32 a33] * (B L H)^T (1)

其中,记: A = [a11 a12 a13; a21 a22 a23; a31 a32 a33], 进而通过七参数转换

关系式,将其中的空间直角坐标改写为大地坐标,再去掉大地高的关系项,从而先求出转换关系,再利用 WGS84 下的三维空间数据求取 BJ54 下的二维平面坐标。但关键在于: A 矩阵的求取,并且还涉及到矩阵的求逆问题,因此该矩阵的求取、可否求逆以

及如何求逆将是该思路的一个难点。

思路 2:既然空间直角坐标间的基准转换是在空间直角坐标下定义的,是否可以直接找到大地坐标间的基准转换关系呢? 由于大地坐标是定义在旋转椭球上的,要让两个椭球参数(定位和定向)均不同的旋转椭球重合,要经过的步骤就是:椭球的平移、旋转和膨胀。根据广义大地微分公式,利用顾及椭球中心位移、参数变化、欧拉角和尺度变化的公式进行最小二乘计算求解 9 个参数。

但此求解方法较为复杂,并且若已知点所涵盖的范围很小,各点间相隔很近,容易引起法方程的病态而无法求逆。

思路 3:高程趋近法——先用 H_{84} 代替 H_{54} 进行七参数求解(记为: H_{54}^0),再根据求出的 7 个参数求出第一组 H_{84} 所对应 BJ54 下的大地高,记为: H_{54}^1 ;再利用新得到 H_{54}^1 重新求解 7 个参数,再根据求出的 7 个参数求出第二组 H_{84} 所对应得 BJ54 下的大地高,记为: H_{54}^2 ,依次循环下去,直至达到理想为止。若此方法可行,这将不失为解决此问题最简单有效的一种方法。下面将采用此方法进行一系列的数据处理实验,数据的循环计算均采用姚宜斌教授开发的 Powercoor 坐标转换软件。

现选取已知 WGS84 下的 $(X,Y,Z)_{84}$ 和 BJ54 下的 $(B,L)_{54}$ 的 6 个点如表 1 所示:

表 1 6 个已知点在 WGS84 下的 $(X,Y,Z)_{84}$ 和 BJ54 下的 $(B,L)_{54}$
Tab. 1 The rectangular space coordinate $(X,Y,Z)_{84}$ under WGS84 and geodetic coordinate $(B,L)_{54}$ under BJ54 of six given points

点名	$X_{84}(\text{m})$	$Y_{84}(\text{m})$	$Z_{84}(\text{m})$	$B_{54}(^\circ)$	$L_{54}(^\circ)$
1	-2 238 017. 808 9	5 019 830. 984 5	3 225 455. 661 1	30. 343 049 742	114. 014 218 086
2	-2 273 784. 535 9	5 008 894. 558 7	3 217 502. 755 2	30. 293 052 709	114. 245 406 247
3	-2 247 664. 751 1	5 031 800. 366 1	3 200 151. 339 6	30. 183 757 013	114. 040 954 271
4	-2 260 474. 310 5	4 990 568. 192 4	3 254 865. 915 7	30. 530 153 836	114. 220 294 858
5	-2 257 915. 408 6	5 009 836. 946 8	3 227 131. 957 6	30. 353 356 681	114. 153 706 056
6	-2 299 503. 933 1	4 975 713. 897 5	3 250 308. 653 7	30. 500 904 186	114. 481 139 928

不断循环计算过程中 H_{54} 的变换过程以 H_{84} 代替 H_{54} (记为: H_{54}^0),如表 2。

由表 2 可以看出,从 H_{54}^1 往后,其改变值已经很小了,到 H_{54}^4 ,已经完全没有变化了。

从求解的七参数变化的情况可以看出,由 H_{54}^0 求出的七参数到由 H_{54}^1 求出的七参数精度有最大程度的提高,其后无论是求得的七参数还是其精度变化都很小。

由 H_{54}^4 求出的七参数如下(与由 H_{54}^3 求出的七参数相同,且与以后求出的 H_{54}^i 以及七参数均相同, $i =$

4,5,6...):
dx = -63. 742 7 m M(dx) = 0. 104 5 m
dy = 140. 828 5 m M(dy) = 0. 057 1 m
dz = 93. 930 4 m M(dz) = 0. 096 7 m
Scale = -11. 320 803 560 3 x 10^-6
M(Scale) = 0. 008 5 x 10^-6
Qx = 1. 062 242 806 7 s M(Qx) = 0. 002 9 s
Qy = -1. 666 530 746 3 s M(Qy) = 0. 002 9 s
Qz = 1. 103 364 409 8 s M(Qz) = 0. 002 8 s
m0 = 0. 000 681 96 m

表 2 H_{54}^I 的变换过程

Tab. 2 The transformation process of H_{54}^I

点号	H_{54}^0	H_{54}^1	H_{54}^2	H_{54}^3	H_{54}^4
1	37. 145 0	37. 144 6	37. 144 6	37. 144 6	37. 144 6
2	45. 636 7	45. 639 3	45. 639 2	45. 639 2	45. 639 2
3	28. 803 3	28. 801 5	28. 801 5	28. 801 4	28. 801 4
4	34. 053 7	34. 054 2	34. 054 2	34. 054 2	34. 054 2
5	45. 819 2	45. 821 4	45. 821 4	45. 821 4	45. 821 4
6	40. 833 0	40. 831 5	40. 831 5	40. 831 4	40. 831 4

由最后的七参数对原 WGS84 下的坐标进行转换,得到 BJ54 下的坐标与原 BJ54 坐标的比较如表 3:

表 3 已知的 BJ54 坐标和计算 WGS84 坐标由 H_{54}^I 求出的七参数转换为 BJ54 下的坐标的比较

Tab. 3 Comparison of the given coordinates under BJ54 with the coordinates under BJ54 transformed from the given coordinates under WGS84 by use of the seven parameters from H_{54}^I

点号	$B(^{\circ})$	$L(^{\circ})$
1	30. 343 049 742	114. 014 218 086
	30. 343 049 745 4 *	114. 014 218 082 4
	30. 293 052 709	114. 245 406 247
2	30. 293 052 713 7 *	114. 245 406 247 1
	30. 183 757 013	114. 040 954 271
3	30. 183 757 012 2	114. 040 954 271 5
	30. 530 153 836	114. 220 294 858
4	30. 530 153 840 6	114. 220 294 860 8
	30. 353 356 681	114. 153 706 056
5	30. 353 356 683 9	114. 153 706 054 3
	30. 500 904 186	114. 481 139 928
6	30. 500 904 186 1	114. 481 139 923 6

注:其中带“*”数字代表的是已知的 WGS84 坐标由 H_{54}^I 求出的七参数转换为 BJ54 下的坐标

由表 3 可以看到,由 H_{54}^I 求出的七参数转换为 BJ54 下的坐标与原已知的 BJ54 坐标相差很小。因此就此真实数据看来,此方法是可行的,不仅循环次数少,在仅循环 4 次后精度已经很高,中误差 $m_0 = 0.000\ 681\ 96\text{ m}$,所求的 BJ54 坐标也和已知的相差很小。但值得注意的是,此真实数据的各点之间相距很近,即是在一个小范围内,那么会不会由于范围小,最开始的高程替代就和 BJ54 下的真实高程很接近,从而使得循环结果较好呢? 在不同大小、不同形状的区域,此方法又有什么不一样的结果,这种方法到底适合于多大范围呢? 下面,针对这一问题进行数据的模拟实验。

3 模拟实验

按照以上方法分 4 组数据进行循环模拟:

1)数据组 1:采用 5 个 WGS84 点,其 B 从 20.0°

$\sim 60.0^{\circ}$,每次变换 10° ; L 从 $113.0^{\circ} \sim 126.0^{\circ}$,每次变化约 3° ; H 从 $0.0\text{ m} \sim 4\ 000.0\text{ m}$,每次变化为前一点高程的 2 倍。

表 4 数据组 1

Tab. 4 Data group 1

点号	$B(^{\circ})$	$L(^{\circ})$	$H(\text{m})$
1	20.0	113.0	0.0
2	30.0	117.0	500.0
3	40.0	120.0	1 000.0
4	50.0	123.0	2 000.0
5	60.0	126.0	4 000.0

2)数据组 2:采用 5 个 WGS84 点,其 B 从 $20.0^{\circ} \sim 21.0^{\circ}$,每次变换 $15'$;其余变化同数据组 1。

3)数据组 3:采用 5 个 WGS84 点,其 L 从 $113.0^{\circ} \sim 114.0^{\circ}$,每次变换 $15'$;其余变化同数据组 1。

4)数据组 4:采用 5 个 WGS84 点,其 B 从 $20.0^{\circ} \sim 21.0^{\circ}$,每次变换 $15'$;其 L 从 $113.0^{\circ} \sim 114.0^{\circ}$,每次变换 $15'$; H 变化同数据组 1。

对于以上 4 组数据,先将 WGS84 下坐标由上面的真实数据求得的由 H_{54}^I 求出的七参数求出 BJ54 下的坐标,再将其高程去掉,按照高程替代循环算法进行计算。最后通过比较由 H_{54}^I 求出的七参数求出的 BJ54 坐标(认为是真实值,以后简称真实值)与高程替代循环算法最后得到的七参数所求出的 BJ54 坐标(以后简称计算值),从而得出最后的结论。

1)对于数据组 1,进行 10 次循环计算,从其七参数的变化可知,七参数的计算值在第 2 次计算中有最大的好转,随后几次计算都有变化,到第 5 次以后变化基本很小了(因而对以后 3 组数据只进行 5 次循环计算)。最后求得的七参数情况如下(循环 5 次):

$$\begin{aligned} dx &= -60.474\ 2\text{ m} & M(dx) &= 8.366\ 6\text{ m} \\ dy &= 121.587\ 5\text{ m} & M(dy) &= 3.296\ 1\text{ m} \\ dz &= 116.023\ 9\text{ m} & M(dz) &= 1.9032\text{ m} \\ \text{Scale} &= -9.981\ 776\ 757\ 9 \times 10^{-6} \\ M(\text{Scale}) &= 0.175\ 7 \times 10^{-6} \\ Qx &= 1.916\ 204\ 139\ 7\text{ s} & M(Qx) &= 0.048\ 4\text{ s} \\ Qy &= -1.348\ 836\ 750\ 0\text{ s} & M(Qy) &= 0.200\ 3\text{ s} \\ Qz &= 1.253\ 590\ 460\ 0\text{ s} & M(Qz) &= 0.227\ 6\text{ s} \\ m_0 &= 0.626\ 431\ 02\text{ m} \end{aligned}$$

由于所采用的 BJ54 坐标是平面上的,为了更好地反映真实值与计算值之差,分别把它们通过高斯投影投影到附近的投影带上,结果如表 5 所示。

表 5 数据组 1 的真实值和计算值在各自附近投影带上的高斯平面坐标及其差值

Tab. 5 The Gauss horizontal coordinates and its differences under each near projection belt of the ture values and the calculated values of group 1

点号	中央子午线 (°)	真实值的 x 坐标 (m)	真实值的 y 坐标 (m)	计算值的 x 坐标 (m)	计算值的 y 坐标 (m)	真实值与计算值的 x 坐标差值(m)	真实值与计算值的 y 坐标差值(m)
1	113	221 242 9. 459 8	499 951. 092 4	221 242 8. 612 7	499 950. 822 7	0. 847 1	0. 269 7
2	117	332 016 8. 548 9	499 933. 053 1	332 016 8. 980 5	499 933. 228 6	-0. 431 6	-0. 175 5
3	120	442 957 5. 346 1	499 919. 583 8	442 957 6. 207 4	499 919. 790 1	-0. 861 3	-0. 206 3
4	123	554 088 5. 883 7	499 908. 201 4	554 088 6. 305 6	499 908. 256 3	-0. 421 9	-0. 054 9
5	126	665 410 6. 565 8	499 899. 104 7	665 410 5. 696 6	499 898. 920 4	0. 869 2	0. 184 3

2)类似于数据组 1,后面 3 组数据所求得的七参数及其真实值和计算值在各自附近投影带上的高斯平面坐标及其差值如下所示。

数据组 2 求得的七参数如下:

$dx = -73. 105\ 0\ \text{m}$ $M(dx) = 0. 894\ 8\ \text{m}$

$dy = 135. 079\ 9\ \text{m}$ $M(dx) = 0. 964\ 0\ \text{m}$

$dz = 94. 923\ 2\ \text{m}$ $M(dx) = 3. 4076\ \text{m}$

$Scale = -10. 706\ 610\ 432\ 7 \times 10^{-6}$ $M(Scale) = 0. 020\ 6 \times 10^{-6}$

$Qx = 1. 153\ 300\ 030\ 5\ \text{s}$ $M(Qx) = 0. 101\ 2\ \text{s}$

$Qy = -1. 758\ 047\ 925\ 2\ \text{s}$ $M(Qy) = 0. 060\ 8\ \text{s}$

$Qz = 1. 434\ 904\ 628\ 3\ \text{s}$ $M(Qz) = 0. 010\ 2\ \text{s}$

$m_0 = 0. 021\ 826\ 42\ \text{m}$

表 6 数据组 2 的真实值和计算值在各自附近投影带上的高斯平面坐标及其差值

Tab. 6 The Gauss planar coordinates and its differences under each near projection belt of the ture values and the calculated values of group 2

点号	中央子午线 (°)	真实值的 x 坐标 (m)	真实值的 y 坐标 (m)	计算值的 x 坐标 (m)	计算值的 y 坐标 (m)	真实值与计算值的 x 坐标差值(m)	真实值与计算值的 y 坐标差值(m)
1	113	221 242 9. 459 8	499 951. 092 4	221 242 9. 457 4	499 951. 060 0	0. 002 4	0. 032 4
2	117	224 010 9. 890 1	499 939. 917 5	224 010 9. 891 1	499 939. 939 3	-0. 001 0	-0. 021 8
3	120	226 779 0. 234 4	499 931. 573 6	226 779 0. 236 6	499 931. 604 8	-0. 002 2	-0. 031 2
4	123	229 547 1. 533 3	499 923. 332 6	229 547 1. 534 5	499 923. 345 6	-0. 001 2	-0. 013 0
5	126	232 315 3. 787 7	499 915. 222 9	232 315 3. 785 6	499 915. 189 5	0. 002 1	0. 033 4

数据组 3 求得的七参数如下:

$dx = -57. 003\ 6\ \text{m}$ $M(dx) = 8. 990\ 2\ \text{m}$

$dy = 124. 020\ 6\ \text{m}$ $M(dx) = 3. 890\ 0\ \text{m}$

$dz = 115. 581\ 7\ \text{m}$ $M(dx) = 1. 044\ 0\ \text{m}$

$Scale = -10. 073\ 728\ 356\ 3 \times 10^{-6}$

$M(Scale) = 0. 162\ 6 \times 10^{-6}$

$Qx = 1. 878\ 759\ 604\ 6\ \text{s}$ $M(Qx) = 0. 084\ 3\ \text{s}$

$Qy = -1. 324\ 007\ 217\ 5\ \text{s}$ $M(Qy) = 0. 195\ 8\ \text{s}$

$Qz = 1. 115\ 142\ 036\ 1\ \text{s}$ $M(Qz) = 0. 250\ 0\ \text{s}$

$m_0 = 0. 564\ 316\ 27\ \text{m}$

表 7 数据组 3 的真实值和计算值在各自附近投影带上的高斯平面坐标及其差值

Tab. 7 The Gauss horizontal coordinates and its differences under each near projection belt of the ture values and the calculated values of group 3

点号	中央子午线 (°)	真实值的 x 坐标 (m)	真实值的 y 坐标 (m)	计算值的 x 坐标 (m)	计算值的 y 坐标 (m)	真实值与计算值的 x 坐标差值(m)	真实值与计算值的 y 坐标差值(m)
1	113	221 242 9. 459 8	499 951. 092 4	221 242 8. 6115	499 951. 0747	0. 848 3	0. 017 7
2	113	332 019 0. 707 9	524 065. 453 7	332 019 1. 128 8	524 065. 463 2	-0. 420 9	-0. 009 5
3	113	442 968 7. 395 4	542 635. 496 8	442 968 8. 246 1	542 635. 507 9	-0. 850 7	-0. 011 1
4	114	554 090 4. 912 4	482 009. 143 6	554 090 5. 337 0	482 009. 149 9	-0. 424 6	-0. 006 3
5	114	665 409 1. 082 2	499 931. 727 6	665 409 0. 235 1	499 931. 712 8	0. 847 1	0. 014 8

数据组 4 求得的七参数如下:

$$\begin{aligned}dx &= -51.257\ 9\ \text{m} & M(dx) &= 14.168\ 5\ \text{m} \\dy &= 153.222\ 9\ \text{m} & M(dy) &= 1.327\ 8\ \text{m} \\dz &= 78.392\ 8\ \text{m} & M(dz) &= 11.941\ 8\ \text{m} \\Scale &= -10.960\ 255\ 074\ 1 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M(Scale) &= 0.015\ 1 \times 10^{-6} \\Qx &= 0.490\ 246\ 951\ 6\ \text{s} & M(Qx) &= 0.322\ 4\ \text{s} \\Qy &= -1.713\ 398\ 337\ 4\ \text{s} & M(Qy) &= 0.291\ 9\ \text{s} \\Qz &= 0.606\ 563\ 031\ 7\ \text{s} & M(Qz) &= 0.414\ 9\ \text{s} \\m_0 &= 0.001\ 816\ 79\ \text{m}\end{aligned}$$

表 8 数据组 4 的真实值和计算值在各自附近投影带上的高斯平面坐标及其差值

Tab. 8 The Gauss horizontal coordinates and its differences under each near projection belt of the ture values and the calculated values of group 4

点号	中央子午线 (°)	真实值的 x 坐标 (m)	真实值的 y 坐标 (m)	计算值的 x 坐标 (m)	计算值的 y 坐标 (m)	真实值与计算值的 x 坐标差值(m)	真实值与计算值的 y 坐标差值(m)
1	113	221 242 9.459 8	499 951.092 4	221 242 9.461 5	499 951.094 0	-0.001 7	-0.001 6
2	113	224 012 5.527 9	526 070.898 4	224 012 5.527 4	526 070.898 0	0.000 5	0.000 4
3	113	226 786 2.634 2	552 106.988 6	226 786 2.632 3	552 106.986 7	0.001 9	0.001 9
4	114	229 548 1.293 0	473 912.340 4	229 548 1.291 6	473 912.338 9	0.001 4	0.001 5
5	114	232 313 9.891 0	499 947.562 1	232 313 9.893 2	499 947.564 1	-0.002 2	-0.002 0

4 数据分析及结论

4 组数据的结果比对如表 9 所示。

表 9 4 组数据的结果对比表

Tab. 9 The comparison of results among the four sets of data

	max ($ \Delta x $) (m)	min ($ \Delta x $) (m)	max ($ \Delta y $) (m)	min ($ \Delta y $) (m)	m_0 (m)
数据组 1	0.869 2	-0.421 9	0.269 7	-0.054 9	0.626 431 02
数据组 2	0.002 4	-0.001 0	0.033 4	-0.013 0	0.021 826 42
数据组 3	-0.850 7	-0.420 9	0.017 7	-0.006 3	0.564 316 27
数据组 4	-0.002 2	0.000 5	-0.002 0	0.000 4	0.001 816 79

选取模拟数据中范围最大的数据组 1,来比较由真实数据求得得的七参数及其在 BJ54 下的高程 H (都近似地认为是真实值)与模拟数据最后求出的七参数及其在 BJ54 下的高程 H (计算值),见表 10。

由表 10 可以看出:

1) 最后求得的七参数的精度以及真实值与计算值在平面坐标的差值都随 B 、 L 变化范围的减小而提高;

2) 无论是从数据组 1 到数据组 2 和数据组 3,还是从数据组 2 和数据组 3 到数据组 4 都可以看出,范围的缩小会明显地提高整体的精度,其中 x 方向对整体精度的提高最为显著;而 L 范围的缩小则只会明显地提高 y 方向的精度;

表 10 七参数及高程的真实值与计算值对比

Tab. 10 The comparison between ture values and calculated values of the seven parameters as well as height

点号	H 真实值 (m)	H 计算值 (m)	$ \Delta H $ (m)	七参数	真实值	计算值
1	-3.168 4	-4.978 8	1.810 4	dx	-63.742 7 m	-60.474 2 m
2	499.853 0	503.220 5	3.367 5	dy	140.828 5 m	121.587 5 m
3	996.979 4	1 005.602 5	8.623 1	dz	93.930 4 m	116.023 9 m
4	1 988.520 8	2 002.364 1	13.843 3	$Scale$	-11.320 803 560 3 ppm	-9.981 776 757 9 ppm
5	3 974.962 1	3 993.797 4	18.835 3	Qx	1.062 242 806 7 s	1.916 204 139 7 s
				Qy	-1.666 530 746 3 s	-1.348 836 750 0 s
				Qz	1.103 364 409 8 s	1.253 590 460 0 s

3) 对于近似地认为是真实值的 H (事实上 BJ54 下的 H 目前是无法精确求得的)与其计算值相比,随着模拟数据中假设高程的增大而增大,由于最大

假设高程为 WGS84 下 4 000.0 m,因此 BJ54 下的差值最大达到近 20 m,但实际高程通常远小于 4 000.0 m。另外,用三维空间数据来恢复二维数据,其最终

目的是要求得 BJ54 下的平面坐标并达到较高精度,由以上数据实验证明平面坐标的精度是完全可以接受的,而通常 BJ54 下的平面坐标与水准高程是分开的,因此即使这里高程相差较大也无影响;

4) 对于所求得的七参数,除了平移参数 dy 、 dz ,其他参数都相差较小。由于高程趋进法用 H_{84} 代替 H_{54} ,实际上忽略了某个尺度的变化,特别需要比较的是尺度参数。由表 10 可以看出,尺度参数仅仅相差约 1.3×10^{-6} ,更证实了此方法是可行的;

5) 进一步的数据实验证实,当经纬度 L 和 B 的跨度范围均小于 8° 时,其 x 或 y 方向的坐标差值均在 1 cm 左右,并且其精度随着 B 、 L ,特别是 B 范围的缩小而显著提高。

参 考 文 献

- 魏子卿. 关于 2000 中国大地坐标系的建议[J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(2): 1-4.
- Wei Ziqing. Proposal concerning China geodetic coordinate system 2000 [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2006, 26(2): 1-4. (in Chinese)
- 王解先, 王军, 陆彩萍. WGS-84 与北京 54 坐标的转换问题[J]. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(3): 70-73.
- Wang Jiexian, Wang Jun and Lu Caiping. Problem of coordinate transformation between WGS-84 and Beijing 54 [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2003, 23(3): 70-73. (in Chinese)
- 王解先, 徐志京. 三种坐标间转换的雅可比矩阵数值导数计算方法[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(4): 19-23.
- Wang Jiexian and Xu Zhijing. Method of calculating numerical derivative of Jacobin matrix for transform among space cartesian, geodetic and plan coordinate [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 24(4): 19-23. (in Chinese)
- 王解先, 邱杨媛. 高程误差对七参数转换的影响[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(3): 25-27.
- Wang Jiexian and Qiu Yang Yuan. Influence of ellipsoidal height error on seven-parameter transformation [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007, 27(3): 25-27. (in Chinese)
- 王解先. 七参数转换中参数之间的相关性[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(2): 43-46.
- Wang Jiexian. Correlations among parameters in seven-parameter transformation model [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007, 27(2): 43-46. (in Chinese)
- 施一民. 用 GPS 技术改进或新建城市控制网中坐标系的确定[J]. 工程勘察, 1996, 5: 42-48.
- Shi Yimin. The determination of coordinate system in the improvement or establishment of urban control networks with GPS technique [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1996, 5: 42-48. (in Chinese)
- 周满贵. 用 GPS 技术改造城市控制网的方案探讨[J]. 铁路航测, 1998, 4: 44-45.
- Zhou Mangui. The discussion on the method of improving urban control networks with GPS technique [J]. Railway and Aerial Survey, 1998, 4: 44-45. (in Chinese)
- 谢征海, 张泽烈. 城市独立坐标系平面控制网之扩建及改造[J]. 北京测绘, 2000, 4: 20-25.
- Xie Zhenghai and Zhang Zeli. The expansion and transformation of horizontal control network in urban independent coordinate system [J]. Beijing Surveying, 2000, 4: 20-25. (in Chinese)
- 刘长星. 建立独立坐标系统的研究[J]. 测绘技术装备, 2002, 4(1): 22-24.
- Liu Changxing. The research on establishment of independent coordinate system [J]. Technical Arrangement of Geodesy and Geomatics, 2002, 4(1): 22-24. (in Chinese)
- 覃辉. 顾及椭球参数的布尔莎坐标变换[J]. 解放军测绘研究所学报, 2003, 23(4): 35-39.
- Qin Hui. Bursa's coordinate transformation considering parameters of the earth ellipsoid [J]. The College Journal of Liberation Arm Surveys and Maps Graduate School, 2003, 23(4): 35-39. (in Chinese)
- 施一民, 朱紫阳, 范业明. 新型大地坐标与大地坐标系之间的转换[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(4): 543-546.
- Shi Yimin, Zhu Ziyang and Fan Yeming. Transformation between geodetic coordinate system and its new form [J]. Tongji University College Journal · Natural Science Version, 2007, 35(4): 543-546. (in Chinese)