关于利用七参数法进行 WGS－84 和 BJ－54 坐标转换问题的探讨

徐仕琪[1]，张晓帆[1]，周可法[2]，赵同阳[1]

（1. 新疆大学 资源与环境科学学院，新疆 乌鲁木齐 830046；2. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘　要：全球定位系统(GPS)在提供精确定位和数据更新方面具有重要价值。在各种“3S”技术中应用 GPS 采集坐标数据也日趋广泛，所以实现 WGS－84 和 BJ－54 坐标的转换有着重要意义。本文着重介绍 WGS－84 和 BJ－54 坐标及其空间转换思想和模型，通过实际算例，探讨七参数转换方法、转换模型、转换精度以及基于 Visual Basic 语言的计算机实现。

关键词：GPS；坐标系；转换模型；七参数；程序设计

中图分类号：P226⁺.3　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1672－5867(2007)05－0033－06

Discussion of the Seven－parameter Coordinate Transformation between WGS－84 and BJ－54

XU Shi－qi[1], ZHANG Xiao－fan[1], ZHOU Ke－fa[2], ZHAO Tong－yang[1]

(1. College of Resource & Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;
2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: The global positioning system has very important value at many aspects, especially in providing precise positioning and data renewal. Thus in different kinds of “3S” technology applications using GPS to collect data has become widely. This paper introduces the coordinate system WGS－84 and BJ－54, and introduces the ideas of spatial transformation and the model of transformation. This paper also introduces the method and the model of transformation of seven－parameter. At last, this paper discusses the program how to come true by using Visual Basic.

Key words: GPS; coordinate system; model of transformation; seven－ parameter; programming

0　引　言

随着 GPS 定位精度的不断提高，GPS 技术在各种“3S”技术中的应用也越来越广泛。但是，GPS 测量得到的坐标是 WGS－84 坐标，只能表示在 WGS－84 坐标系中。WGS－84 坐标系是一种质心坐标系统，其坐标原点位于地球的质心上[1]。我国的国土测量成果和工程施工中大都采用 BJ－54 坐标系，该坐标系是一种参心坐标系，采用克拉索夫斯基椭球为参考椭球，并采用高斯——克吕格投影(等角横切圆锥投影)方式进行投影。如何实现 WGS－84 地心空间直角坐标系与 BJ－54 平面直角坐标系之间的转换，一直是各个部门关心的热点。

在进行 WGS－84 坐标系和 BJ－54 坐标系转换时有两种转换思路和模型，即空间转换模型和平面转换模型。在平面转换模型中，首先要假定两种坐标系的中心和坐标轴的方向一致，所以只适合小范围内国土测量和工程设计使用，要进行大范围的 GPS 测量应该使用空间转换模型[2]。

1　坐标系统

所谓坐标系指的是描述空间位置的表达形式，即采

收稿日期：2006－11－04

基金项目：中国科学院知识创新工程项目《中亚区域经济合作与资源生态安全战略研究》(KZCX3－SW－355)；中国科学院西部之光项目《基于遥感技术的荒漠区生态资产评估研究》(0634021001)资助

作者简介：徐仕琪(1982－　)，男，甘肃武威人，在读硕士研究生，主要从事资源遥感图像数字处理的研究工作。

万方数据

用什么方法来表示空间位置。人们为了描述空间位置，采用了多种方法，从而也产生了不同的坐标系。GPS 全球定位系统已在测量领域得到广泛应用。GPS 测量成果为 WGS－84 地心空间直角坐标系下的成果，实用中需转换到地方实用坐标系中。在我国通常采用的是 BJ－54 北京坐标系、1980 西安坐标系或地方局部坐标系等参心坐标系。

1.1 BJ－54 坐标系

1954 北京坐标系依据的椭球是前苏联的克拉索夫斯基椭球(本文简称克氏椭球)，大地原点在前苏联的普尔科沃。1954 北京坐标系实际上是前苏联普尔科沃坐标系在中国境内的延伸[3]。

1.2 WGS－84 坐标系

GPS 所采用的坐标系为 WGS－84 地心坐标系，它是以地球的质心(质量的中心)为原点的地心坐标系，X，Y 轴在地球赤道平面内，Z 轴与地球自转轴相重合。WGS－84 大地坐标系是一个协议地球坐标参考系 CTS (Conventional Terrestrial System)，其几何定义是：原点位于地球质心，Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地极 CTP (Conventional Terrestrial Pole)方向，X 轴指向 BIH1984.0 的零子午面和 CTP 赤道的交点，Y 轴与 X，Z 轴正交构成右手坐标系。对应于 WGS－84 大地坐标系有 WGS－84 椭球。WGS－84 椭球采用的基本参数与克拉索夫斯基椭球的基本参数有所不同，表 1 列出了各椭球参数[4]。

表 1 克氏椭球、WGS－84 椭球重要几何参数表

Tab. 1 The comparison between coordinates in BJ－54 and transformed coordinates in WGS－84

参考椭球	a(m)	b(m)	f	e^2
克氏椭球	6 378 245	6 356 863.019	1/298.3	0.006 693 421 623
WGS－84 椭球	6 378 137	6 356 752.314	1/298.257 223 563	0.006 694 379 989
定位参数差	108	107.705		

表 1 中 a，b，f，e^2 分别表示椭球体的长半轴、短半轴、扁率和第一偏心率。由表 1 可知，克氏椭球与 WGS－84 椭球的长半轴相差 108 m，短半轴相差 107.705 m，两个差值并不相等。

BJ－54 空间坐标系和 WGS－84 空间坐标系相对关系如图 1 所示。

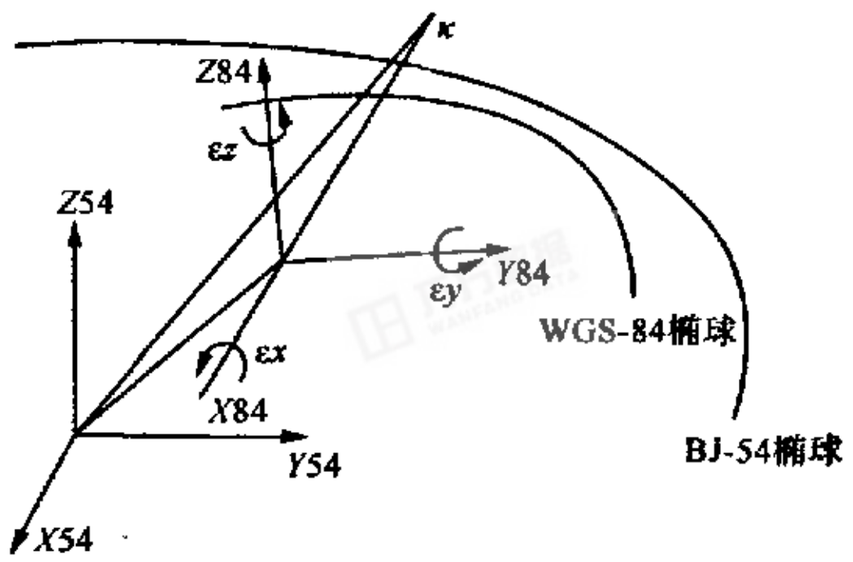

图 1 BJ－54 空间坐标系和 WGS－84 空间坐标系的相对关系

Fig. 1 The relationship between BJ－54 and WGS－84 spatial coordinate system

图中 εx，εy，εz 3 个旋转参数，κ 是缩放尺度比参数。

2 空间转换思想与转换模型

在进行空间转换时，当工作区内有足够的已知 WGS－84 和 BJ－54 坐标时，首先选择 3 对高精度的控制点坐标对，这 3 个点应尽量布设均匀，各边边长应尽量接近，从而构成稳定的图形条件。我们在已知 5 个坐标对的情况下，选择 3 个点的坐标对进行七参数测定，然后再进行 WGS－84 和 BJ－54 坐标的转换。转换模型，通常采用 3 个平移参数、3 个旋转参数和 1 个尺度缩放参数计 7 个转换参数的布尔沙(Bursa)模型[1,5]。

在进行 WGS－84 和 BJ－54 坐标转换时，一般要经过的流程如图 2 所示。

该流程可以分为两个步骤：先用 3 个公共点的坐标对求解七参数，然后将待定点的 WGS－84 坐标利用解出的七参数，求得其转换到 BJ－54 平面坐标系的坐标。

2.1 七参数的测定

1)将 3 个已知点的 BJ－54 平面坐标根据克拉索夫斯基椭球参数进行高斯反算，由公式(1)求出这 3 个点的空间大地坐标(即经纬度坐标)[3]：

$$
\begin{aligned}
B &= Bf - [1 - (b_4 - 0.12Z^2)\ Z^2]\ Z^2 b_2 \rho \\
l &= [l - (b_3 - b_5 Z^2)\ Z^2] Z\rho \\
L &= L_0 + l \\
Bf &= \beta + \{50\ 221\ 746 + [293\ 622 + (2\ 350 + 22\cos^2\beta) \\
&\cos^2\beta]\ \cos^2\beta\} \times 10^{-10} \sin\beta\cos\beta \times \rho \qquad (1) \\
\beta &= X\rho / 6\ 367\ 558.496\ 9 \\
Z &= Y/(Nf\cos^2\beta) \\
Nf &= 6\ 399\ 698.902 - [21\ 562.267 - (108.973 - \\
&0.312\cos^2 Bf)\ \cos^2 Bf]\ \cos^2 Bf \\
b_2 &= (0.5 + 0.003\ 369\ \cos^2 Bf)\sin Bf\cos Bf
\end{aligned}
$$

万方数据

$b_3 = 0.333\ 333 - (0.166\ 667 - 0.001\ 123\ \cos^2 Bf)\quad \cos^2 Bf$

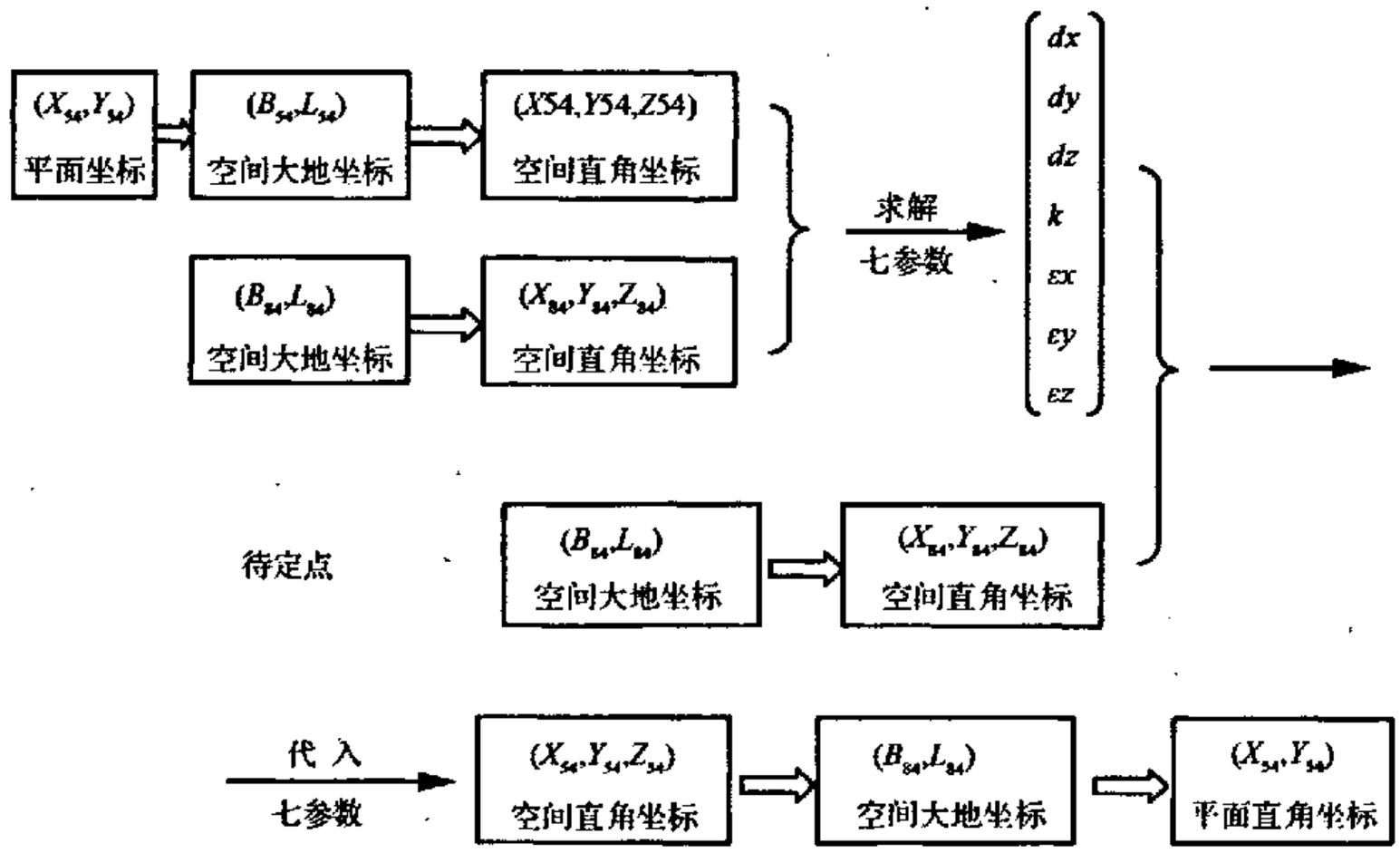

图 2　WGS－84 与 BJ－54 坐标转换流程示意图

Fig. 2　The flowchart of coordinate transformation between WGS－84 and BJ－54

$b_4 = 0.25 + (0.161\ 61 + 0.005\ 62\ \cos^2 Bf)\ \cos^2 Bf$

$b_5 = 0.2 - (0.166\ 7 - 0.008\ 8\ \cos^2 Bf)\ \cos^2 Bf$

在该公式中,B 表示大地坐标的纬度,L 表示大地坐标的经度,L_0为中央子午线的经度,X,Y 为 BJ－54 平面坐标,$\rho = 206\ 264.806$。上式的高斯正算公式是由泰勒级数展开式舍去高于6 次项的结果,B,L 的计算精度可达 0.000 1 s[3]。

2)根据 BJ－54 坐标系的椭球体由(2)式将空间大地坐标$(B,L)^T$换算成空间直角坐标$(X_{54},Y_{54},Z_{54})^T$。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N\cos B\cos L \\ N\cos B\sin L \\ N(1-e^2) \end{pmatrix} \tag{2}$$

该公式中 e^2 表示椭球体的第一偏心率,其余各个符号所表示的内容同公式(1)中对应符号所表示的内容一致[7]。

3)将 GPS 测定的 3 个大地坐标$(B_{84},L_{84})^T$,由 WGS－84 椭球参数,按公式(2)转换成空间坐标形式$(X_{84},Y_{84},Z_{84})^T$。

4)根据既具有 WGS－84 坐标又具有 BJ－54 坐标的 3 个已知点利用公式(3)可以求出两个坐标系进行转换的 7 个参数。

布尔沙(Bursa)七参数变换公式为:

$$\begin{pmatrix} X'_{54} \\ Y'_{54} \\ Z'_{54} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 0 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X'_{84} \\ Y'_{84} \\ Z'_{84} \end{pmatrix} + (1+\kappa) \begin{pmatrix} X'_{84} \\ Y'_{84} \\ Z'_{84} \end{pmatrix} \tag{3}$$

(3)式中,$(dx,dy,dz)^T$是进行空间转换时的坐标平移量,κ 是一个缩放尺度比参数,εx,εy,εz 是进行转换时的旋转参数,这就是所谓的七参数。因为有 3 个公共点的$(X,Y,Z)^T$可列立 9 个方程,要求 7 个参数,可得误差方程式(4)为:

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X'_{84} & 0 & -Z'_{84} & Y'_{84} \\ 0 & 1 & 0 & Y'_{84} & Z'_{84} & 0 & -Y'_{84} \\ 0 & 0 & 1 & Z'_{84} & -Y'_{84} & X'_{84} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ \kappa \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon y \\ \varepsilon z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X'_{84} - X'_{54} \\ Y'_{84} - Y'_{54} \\ Z'_{84} - Z'_{54} \end{pmatrix} \tag{4}$$

将 3 个公共点的坐标代入(4)式,应用最小二乘原理可以求出 7 个坐标变换参数的解。

通过上述模型,利用重合点的两套坐标值,采取平差的方法可以求得转换参数。求得转换参数后,再利用上述模型进行坐标转换(包括重合点和非重合点的坐标转换)。对于重合点来说,转换后的坐标与已知值有一差值,其差值的大小反映了转换后坐标的精度。其精度与被转换的坐标精度有关,也与转换参数的精度有

万方数据

关[4]。

2.2 WGS-84 坐标与 BJ-54 坐标的转换

1)利用公式(3)将所有需要转换的 WGS-84 坐标全部转换为 BJ-54 坐标。即将$(X'_{84}, Y'_{84}, Z'_{84})^T$坐标由公式(3)求出$(X_{54}, Y_{54}, Z_{54})^T$。

2)根据 BJ-54 坐标的克拉索夫斯基椭球参数,利用公式(5)将$(X_{54}, Y_{54}, Z_{54})^T$换算为大地坐标$(B'_{84}, L'_{84})^T$。

$$L = \arctan(Y_{54}/X_{54})$$

$$B = \arctan\frac{a\sqrt{a^2 - x^2 - y^2}}{b\sqrt{X^2 + Y^2}} \tag{5}$$

3)将正算得到的 BJ-54 大地坐标利用公式(6)进行高斯正算,得到的结果就是所要求的 BJ-54 平面直角坐标。

$$X = 6\,367\,558.496\,9\frac{B}{\rho}\{a_0 - [0.5 + (a_4 + a_6 l^2) l^2] l^2 N\}\cos B \sin B$$

$$Y = [1 + (a_3 + a_5 l^2)\ l^2]N]\ \cos B$$

$$N = 6\,399\,698.902 - [21\,562.267 - (108.973 - 0.612\cos^2 B)\ \cos^2 B]\ \cos^2 B \tag{6}$$

$$a_0 = 32\,140.404 - [135.^{\circ}330\,2 - (0.709\,2 - 0.004\cos^2 B)\ \cos^2 B]\ \cos^2 B$$

$$a_4 = (0.25 + 0.002\,52\cos^2 B)\ \cos^2 B - 0.041\,66$$

$$a_6 = (0.166\ \cos^2 B - 0.084)\ \cos^2 B$$

$$a_3 = (0.333\,333\,3 + 0.001\,123\ \cos^2 B)\ \cos^2 B - 0.166\,666$$

$$a_5 = 0.008\,3 - [0.166\,7 - (0.196\,8 + 0.004\cos^2 B)\ \cos^2 B]\ \cos^2 B$$

上式的高斯正算公式是由泰勒级数展开式舍去高于 6 次项的结果,x, y 的计算精度可达 0.001 m[3]。在该公式中 $l = L - L_0$,其中 L 表示 WGS-84 坐标系中某一点的纬度,L_0 表示该点所在区域的中央经线的纬度。

3 程序代码及说明

本文采用 Visual Basic 语言实现 WGS-84 坐标和 BJ-54 坐标的转换。

求出七参数后,程序计算流程如图 3 所示。

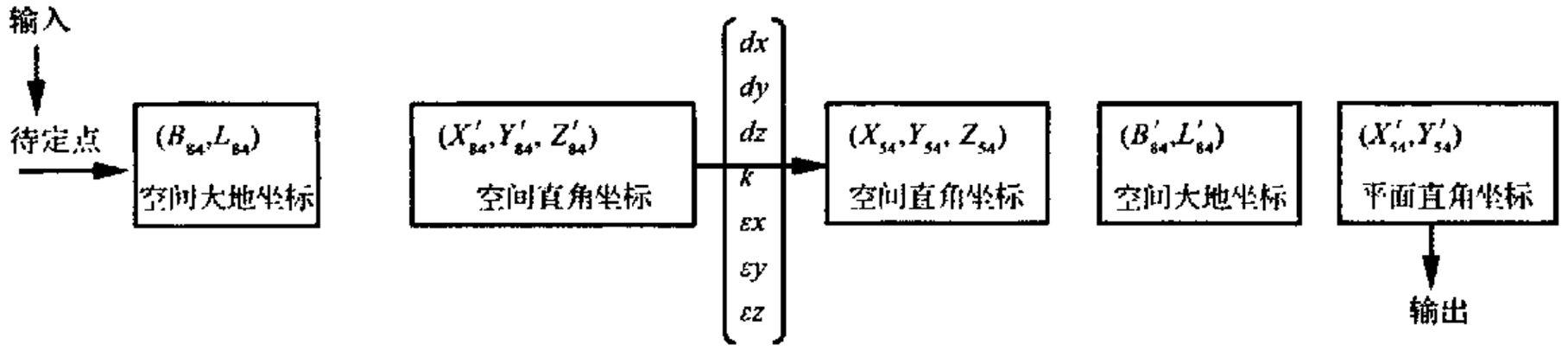

图 3 WGS-84 与 BJ-54 坐标程序计算流程图

Fig. 3 The program calculation flowchart of WGS-84 and BJ-54

现将部分程序原代码段摘抄如下:

```
Dim BB(4),LL(4),B123,L123 As String
Private Sub Command1_Click()
Const PI = 3.14159265; Const rou = 206264.8062;
Dim jd() As String;Dim i,j As Integer
Dim rx1,ry1,rz1 As String
Dim N,N54,N541,x84,y84,z84,x541,y541,z541,
x54,y54,z54 As Double
Dim x(4),y(4),z(4),x841(4),y841(4),z841
(4),BB1(4),LL1(4) As Double
Dim B,L As String;Dim B1,L1,rx,ry,rz,b2,l2,h As
Double;Dim hd1(),hd2() As String
B = Text1.Text
L = Text2.Text
jd = Split(B,",")
B1 = (Val(jd(0)) + Val(jd(1)) / 60 + Val(jd
(2)) / 3600) * PI / 180
jd = Split(L,",")
L1 = (Val(jd(0)) + Val(jd(1)) / 60 + Val(jd
(2)) / 3600) * PI / 180
N = a / (Sqr(1 - e2 * Sin(B1) * Sin(B1)))
x84 = N * Cos(B1) * Cos(L1)
y84 = N * Cos(B1) * Sin(L1)
z84 = N * (1 - e2) * Sin(B1)

x541 = dx + k * x84 + rz * y84 - ry * z84 + x84
y541 = dy + k * y84 - rz * x84 + rx * z84 + y84
z541 = dz + k * z84 + ry * x84 + rx * y84 + z84
l2 = Atn(y541 / x541)
b2 = Atn(a54 * Sqr(a54 / Sqr(x541 * x541 +
y541 * y541) * a54 / Sqr(x541 * x541 + y541 *
```

万方数据

```
y541) - 1) / b54)
    Call zbzs(b2,l2)
    Text4.Text = Str(x)
    Text5.Text = Str(y)
    End Sub
    Private Sub Command2_Click()
    Form2.Hide
    End Sub
    ……(省略部分源代码)
```

4　算例对比及其分析

现已知 5 个公共点的 WGS－84 坐标$(B_{84}, L_{84})^T$和 BJ－54 平面坐标$(X_{54}, Y_{54})^T$。首先将 5 个 BJ－54 平面坐标展在一幅工作图上(如图 4 所示),然后我们从中选取 3 个点,作为起算数据。从图 4 中可以看出:C027,CWP,C043 这 3 个点分布较均匀,首先采用这 3 点进行计算。

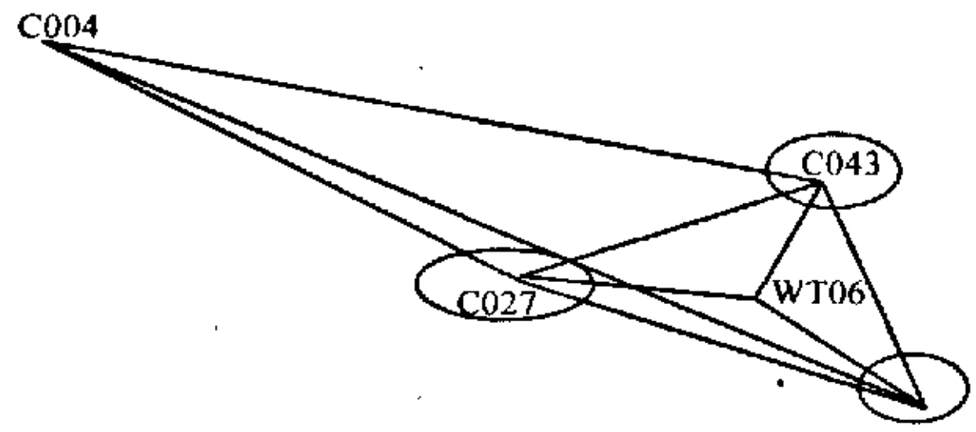

图 4　已知坐标展点图

Fig. 4　The points with known coordinates

案例 1:将 C043,C027,CWP 作为公共点,通过程序解算,求出 WGS－84 共 5 个点转换到 BJ－54 平面坐标系的坐标值。将 5 个公共点的原 BJ－54 坐标值和转换后求出的 WGS－84 坐标值列于表 2。

表 2　原 BJ－54 坐标值与转换后的 WGS－84 坐标值的比较

Tab. 2　The comparison between coordinates in BJ－54 and transformed coordinates in WGS－84

点名	原 BJ－54 坐标值		WGS－84 转换后的坐标值		坐标残差	
	X_{54}(m)	Y_{54}(m)	X'_{54}(m)	Y'_{54}(m)	ΔX(m)	ΔY(m)
C004	4 843 441.213 2	521 508.862 5	4 843 441.347 7	521 504.046 5	0.134 5	－4.816 0
C027	4 828 091.949 3	551 738.808 9	4 828 092.059 3	551 733.982 0	0.110 0	－4.826 9
WT06	4 826 961.688 9	566 887.807 7	4 826 961.787 6	566 882.979 9	0.098 7	－4.827 8
CWP	4 819 741.356 9	577 560.333 2	4 819 741.448 2	577 555.500 1	0.091 3	－4.833 1
C043	4 834 529.170 2	571 107.234 2	4 834 529.266 4	571 102.411 6	0.096 2	－4.822 6
坐标残差平均值					0.106 1	－4.825 3

该表中坐标残差 $\Delta X = X'_{54} - X_{54}$, $\Delta Y = Y'_{54} - Y'_{54}$

从表 2 中看出:由 WGS－84 坐标转换得到 BJ－54 坐标(X, Y),X 值、Y 值都存在一个系统的残差,ΔX 平均值为 0.106 1 m,ΔY 平均值为 －4.825 3 m,即 ΔX 始终为正,ΔY 始终为负。并且在该网形内的点 WT06 的坐标残差也不是最小的,所以利用三个分布均匀的公共点进行坐标转换,虽然图形条件较好,但转换后的坐标残差仍然很大。于是,我们又采取第二种方案。

方案 2 :采用 C004,CWP,C043 这 3 个点作为公共点,单从图 4 上可以看出,这 3 个点构成的三角形边长最长,且这 3 点能位于整个区域的外围,能将整个区域控制起来,总体上形成外包之势。把 C004,CWP,C043 的坐标值再次代入程序进行解算,将计算出的公共点坐标和原 BJ－54 坐标值列于表 3。

表 3　原 BJ－54 坐标值与转换后的 WGS－84 坐标值的比较

Tab. 3　The comparison between coordinates in BJ－54 and transformed coordinates in WGS－84

点名	原 BJ－54 坐标值		WGS－84 转换后的坐标值		坐标残差	
	X_{54}(m)	Y_{54}(m)	X'_{54}(m)	Y'_{54}(m)	ΔX(m)	ΔY(m)
C004	4 843 441.213 2	521 508.862 5	4 843 441.350 3	521 505.617 8	0.137 1	－3.244 7
C027	4 828 091.949 3	551 738.808 9	4 828 092.070 2	551 735.556 8	0.120 9	－3.252 1
WT06	4 826 961.688 9	566 887.807 7	4 826 961.802 8	566 884.550 0	0.113 9	－3.252 7
CWP	4 819 741.356 9	577 560.333 2	4 819 741.466 3	577 557.076 8	0.109 4	－3.256 4
C043	4 834 529.170 2	571 107.234 2	4 834 529.283 1	571 103.985 0	0.112 9	－3.249 2
坐标残差平均值					0.118 8	－3.251 0

万方数据

从表3可以得出,计算值与原坐标值无论 X 方向还是 Y 方向仍存在一个系统的残差,ΔX 平均值为 0.118 8 m,ΔY 平均值为 -3.251 0 m。很明显 Y 方向的坐标残差显著降低。其中 C004 号点的 ΔX 值最大,CWP 号点的 ΔY 值最小,内部点 WT06 及 C027 号点的 ΔX,ΔY 值很接近平均值 ΔX,ΔY。同时,再观察原坐标值发现 C004 号点的 X 值最大,CWP 号点的 Y 值最小。从图4中也可看出这两点恰恰位于整个区域的边缘。

通过对比表2和表3可以发现,由3个分布均匀的点构成的网形边长较短,对于边缘点 C004 的坐标转换精度有明显影响。利用这样3个点通过七参数坐标转换模型,求出的坐标值其精度并不是很高。而采用位于整个区域外围的3个点进行解算时,由于边长较长,3点能将整个区域很好地包围,所以解算出内部两点 C027,CWP 的坐标残差非常接近其坐标残差平均值,坐标残差也较为稳定,利用这样3个点通过七参数坐标转换模型,求出的坐标值其精度较高。

不论采用方案1还是方案2,转换后得到的坐标值在 Y 方向始终存在较大的系统差,主要原因是在计算时未考虑高程,而在我国范围内,高程异常误差对坐标的影响随经度减小而增大。在我国的西部边缘区域,1 m 高程异常误差对平面坐标的影响达数厘米,而此区域的高程异常误差通常达 2 ~ 3 m[7],按照坐标误差与高程异常误差成正比的关系,则对转换后的坐标影响达数分米[4]。但鉴于未能获取这5个点的高程值,所以通过七参数坐标转换模型,用 Visual Basic 语言编程计算,得到的转换坐标误差很大,尤其在 Y 方向受到高程异常误差的影响更大。

虽然方案2的精度略高于方案1,但转换后得到的坐标差 ΔX,ΔY 都较大,对于任何测量工作其精度都是不能接受的。然而,两次方案得到的坐标值其系统残差虽大却都很稳定,所以,从理论上说,我们可以对转换后的坐标值再加上一个改正数,即坐标残差平均值 $(-\Delta X, -\Delta Y)^T$,可以提高转换后的坐标精度。对表3第一次转换后的坐标值加上坐标残差平均改正数,将计算结果列于表4。

表4 原 BJ-54 坐标值与加入坐标残差后的坐标值的比较

Tab.4 The comparison between coordinates in BJ-54 and transformed coordinates in WGS-84 added the residual

点名	原 BJ-54 坐标值		加入坐标残差后的坐标值		坐标残差	
	X_{54}(m)	Y_{54}(m)	X'_{542}(m)	Y'_{542}(m)	ΔX(mm)	ΔY(mm)
C004	4 843 441.213 2	521 508.862 5	4 843 441.231 5	521 508.868 8	-1.76.3	
C027	4 828 091.949 3	551 738.808 9	4 828 091.951 4	551 738.807 8	2.1	-1.1
WT06	4 826 961.688 9	566 887.807 7	4 826 961.684 0	566 887.806 0	-4.9	-1.7
CWP	4 819 741.356 9	577 560.333 2	4 819 741.347 5	577 560.327 8	-9.4	-5.4
C043	4 834 529.170 2	571 107.234 2	4 834 529.164 3	571 107.236 0	-5.9	1.8
坐标残差平均值					-4.0	-0.1

$$X'_{542} = X'_{54} - 0.1188, Y'_{542} = Y'_{54} - (-3.251\ 0)$$

很快,坐标转换的误差明显降低了,而且其较差 ΔX,ΔY 有正有负,消除了系统误差。从而,在 X 方向其精度由分米级升高到毫米级,在 Y 方向其精度也由米级升高到了毫米级。完全满足一般测量工作的精度要求。

5 结束语

本文采用的是利用3个已知点求解七参数的方法,但在进行坐标转换时未考虑高程,所以经过转换后产生了较大的系统误差,但在加入残差平均改正数后,这些误差都在允许范围内,并且已知公共点的数量有限,不能很完整地验证3个公共点构成的网形对转换精度的具体影响程度[9]。在进行两种不同类型的坐标转换时,坐标转换的精度除了取决于坐标转换的思路、转换模型和求解转换参数的公共点坐标精度外,还和公共点的分布等有关[8]。在选用3个公共点时,应考虑它们在整个测区的位置以及构成的地面网形,网形不同,求解的转换参数也不同,要想提高坐标转换精度,应尽量选择位于测区外围、边长较长且能控制整个区域的网形。但究竟在多长的边长范围内可以对整个测区进行残差改正,仍有待于验证。

参考文献:

[1] 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,(4):1-5.

[2] 朱华统. 常用大地坐标系及其变换[M]. 北京:解放军出版社,1990.

[3] 武汉测绘学院控制测量教研室,同济大学大地测量教研室. 控制测量学[M]. 北京:测绘出版社,1988.

(下转第 42 页)

万方数据

坐标系下转换的平面坐标与试验区正式成果进行差值比较。这里省略了差值统计具体结果,差值区间个数统计见表6。

表6 已知坐标与转换坐标的差值区间个数统计表

Tab.6 The number statistics of the difference intervals between known coordinates and transformed coordinates

绝对值区间 / 个数	0 ~ 0.02 m	0.02 ~ 0.04 m	0.04 ~ 0.06 m	0.06 m 以上
已知 x - 转换 x	2	50	2	0
已知 y - 转换 y	45	6	2	1

3 综合分析

考虑到每个像控点仅有两条基线连接,那么选择好的时段进行像控点观测非常重要。为了保证观测数据的质量,特别要避开定位卫星数量少或分布不佳的时段。并且在对 GPS 观测数据的预处理中,着重检验点名、接收机、天线型号、天线高等的正确性。为了方便统一处理,GPS 观测数据均使用 PC_rinex 软件进行标准化。由于试验区观测数据质量较高,在非人工干预下两种软件进行的基线计算和网平差均通过了质量检核。

TGO 软件成功采用广播星历处理的基线为200 km。这种解算能力在 TGO 随机帮助里可以找到依据。网平差时采用两个点的大地坐标为已知条件,没有多余检查点。为了检验其成果的准确性,采用坐标转换软件将平差结果转换,而后与正式成果进行差值比对来进行侧面认证。

采用 GAMITGLOBK 软件进行 GPS 数据处理是件庞大复杂的工作,在很多文献资料中都有详细说明,这里就不再赘述。由于一些无法逾越的原因,本次选用的全球连续运行站不太理想,致使最后的平差结果准确度不高。

总体上讲,求取或转换坐标与正式坐标的绝对差值均小于 7 cm,绝大多数在 0 ~ 4 cm 之间。由于与准确性较差的点连接的基线都在 30 ~ 80 km 之间,所以少量点的偏差问题是观测数据质量引起的,与处理软件无关。此外,由于没有对基线处理过程进行人工干预,主要靠软件自动运行完成的事实构成偏差问题的又一个原因。对于试验区,设计要求平面精度优于 0.8 m,正式成果的平面坐标中误差优于 0.32 m,加之 0.07 m,可知此次平差结果是完全满足设计要求的。

4 结束语

随着空间信息技术的发展,越来越多的项目对 GPS 测量技术提出了更高的要求,例如在国家重大工程项目中都有充分体现。当然,在构建节约型社会的大环境下充分利用手中的工具和资源寻求节约资金和人力的方法无疑是十分有意义的。本次试验研究,从实际出发,结合专业技术和现有手段,完成了一种新作业方式的考核。通过这一研究,明确了长基线时 GPS 数据处理的尺度和方法,也为外业技术人员在使用随机软件时开阔了思路、树立了信心,并用有力的试验事实,证实了现行规范的局限性;最后,通过摸索也实现了对专业技术的深层理解。

参考文献:

[1] 李杰,王晓强. 应用 GAMIT 软件进行高精度 GPS 定位解算[J]. Inland Earthquake,2001,15(4).

[2] 杨志强. GPS 监测青藏板块运动数据的 GAMITGLOBK 处理方法及有关问题,西安工程学院学报,1999,21(3),49 - 52.

[3] 北京麦格天宝科技发展有限公司. 5700GPS 接收机培训教程[Z]. 2003.

[4] Documentation for the GAMITGLOBK GPS Analysis Software[M]. Scripps Instition of Oceanography,2002.

(上接第 38 页)

[4] 徐绍铨. GPS 测量原理及应用[M],武汉:武汉测绘科技大学出版社,1998.

[5] 郭金运,朱明法,徐洋林. 地图数据几何纠正时仿射变换与相似变换的对比分析[J]. 测绘通报,2001,(4):23 - 27.

[6] 吕晓华,刘宏林. 地图投影数值变换方法综合评述[J]. 测绘学院学报,2002,19(2):150 - 153.

[7] 孔祥元,郭际明,刘宗泉. 大地测量学基础[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001.

[8] 王解先,王军,陆彩萍. WGS - 84 与 1954 北京坐标的转换问题[J]. 大地测量与地球动力学,2003,23(3):70 - 73.

[9] 陈士银. 新旧地形图转换方法和需要注意的问题[J]. 测绘通报,1991,(2):8 - 11.

万方数据