

1980 西安坐标系与 2000 坐标系 坐标成果转换方法及精度分析

* 谢建春, 陈同峰, 姚磊, 温象东

(山东省地质测绘院, 山东 济南 250002)

摘要:利用不同的解算软件,采用三维七参坐标转换模型和二维四参坐标转换模型,把 1980 西安坐标系成果转换成 2000 坐标系成果,利用大量检核点进行坐标转换成果精度检查,并对检查点点位精度做了详细的统计、分析;不仅阐述坐标转换方法和要求,而且得出在 2 种坐标转换模型应用的条件与要求。

关键词:坐标系;转换方法;精度分析

中图分类号:P208

文献标识码:B

现行的大地坐标系历经 50 年,其成果受技术条件制约,精度偏低、无法满足新技术的要求。空间技术的发展成熟与广泛应用迫切要求国家提供高精度、地心、动态、实用、统一的大地坐标系作为各项社会经济活动的基础性保障^[1]。国家测绘局规定:自 2008 年 7 月 1 日后,新生产的各类测绘成果应采用 2000 国家大地坐标系;2000 国家大地坐标系与以往国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8~10 年。因此,在我国建立、使用 2000 国家大地坐标系,需要将现有的参心坐标系下成果转化到国家 2000 地心坐标系。

1 两种坐标系说明

2000 坐标系是国家测绘局于 2008 年颁布并实施的一种新型坐标系。该坐标系原点为整个地球的质心,Z 轴由原点指向历元 2000.0 的地球参考极的方向,该历元的指向由国际时间局给定的历元为 1984.0 的初始指向推算,定向的时间演化保证相对于地壳不产生残余的全球旋转,X 轴由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面的交点,X 轴、Y 轴、Z 轴构成右手正交坐标系,采用广义相对论意义上的尺度^[2]。2000 坐标系椭球基本参数定义为: $a = 6 378 137 \text{ m}$, $1/f = 298. 257 222 101$, $GM = 3. 986 004 418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$, $\omega = 7. 292 115 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ 。

$$= 6 378 137 \text{ m}, 1/f = 298. 257 222 101, GM = 3. 986 004 418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}, \omega = 7. 292 115 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}.$$

1980 西安坐标系^[3]所采用的 IAG1975 椭球,其长半轴要比现在国际公认的 WGS84 椭球长半轴的值大 3 m 左右,而这可能引起地表长度误差达 10 倍左右。1980 西安坐标系是经典大地测量成果的归算及其应用,它的表现形式为平面的二维坐标。用现行坐标系只能提供点位平面坐标,而且表示两点之间的距离精确度也比用现代手段测得的低 10 倍左右。高精度、三维与低精度、二维之间的矛盾是无法协调的。1980 西安坐标系椭球基本参数定义为^[4]: $a = 6 378 137 \text{ m}$, $1/f = 298. 257$, $GM = 3. 986 005 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$, $\omega = 7. 292 115 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ 。

2 项目概况

该项目是将菏泽市 1980 西安坐标系的 D,E 级 GPS 坐标成果转化转换为国家 2000 坐标系成果。

菏泽市地处黄河下游,总面积 $12 238. 62 \text{ km}^2$ 。境内除巨野县有 10 km^2 的低山残丘外,其余均为黄河冲击平原,地势平坦。

* 收稿日期:2012-06-28;修订日期:2012-07-04;编辑:陶卫卫

作者简介:谢建春(1973—),男,山东菏泽人,高级工程师,主要从事大地控制测量、工程测量、航空摄影测量等工作;E-mail:sdxjc85729@126.com。

3 点位坐标转换方法及数学模型

在不同坐标系下的数据进行坐标转换,需要求出 2 种不同坐标系在该区域内坐标转换的参数;利用坐标转换参数来解算点位在不同坐标系下的坐标值。坐标转换常用模型有:三维七参模型、二维四参模型、综合法转换模型^[5]。

3.1 模型选择

数据模型选择主要考虑转换数据的范围和精度要求,该项目分别选用了三维七参数转换模型和二维四参模型,进行数据转换和对比。

3.2 重合点选择

坐标系之间数据精确转换需要坐标转换参数,在不同坐标系下、不同区域坐标转换参数是不尽相同的。在某一区域的数据进行 1980 西安坐标系与 2000 国家坐标系坐标转换,首先需求解坐标转换参数。坐标转换参数的计算是要通过两坐标系下重合点的坐标来实现的,所以,重合点的选取十分重要。

重合点的选取要求:重合点应均匀分布于转换区域,并且重合点数不少于 5 个,在利用重合点求解参数时,参与计算点的残差不得大于 3 倍的中误差,否则应剔除^[6]。该项目为保准数据精度,将该区域内全部 C 级 GPS 点参与计算坐标转换参数。为搞清参与坐标转换七参解算起算点数目与坐标数据转换精度关系,利用不同数目的起算点结算坐标转换七参数,并进行数据转换、精度统计。

3.3 模型参数计算及精度统计

3.3.1 七参数模型算例

利用 TGO1.6 解算软件,以 C 级点为起算点,解算坐标转换七参数;根据起算点数目划分为 8 种方案来解算坐标转换参数,并在每个方案中对起算点点位残差进行统计,具体方案及起算点残差见表 1^[7]。利用每个方案解算出的七参数进行坐标转换,以 49 个 C 级点和 294 个 D 级点为检查点(起算点与检查点均匀分布于整个实验区域),并对检查点进行点位精度比较、统计,检查点点位精度情况详见表 2,检查点误差分布见表 3。

3.3.2 四参数模型算例

利用南方 GPS 随机解算软件,以 C 级点为起算点,解算坐标转换四参数;根据起算点数目划分为 8 种方案(方案与七参模型算例一致,起算数据相同),

利用每个方案解算出的四参数进行坐标转换,以 49 个 C 级点和 294 个 D 级点为检查点(起算点与检查点均匀分布于菏泽市整个区域),并对检查点进行点位精度比较、统计,检查点点位精度情况详见表 4,检查点误差分布见表 5。

表 1 起算点残差统计

方案	平面 高程	最大残差 (m)	残差平均 中误差(m)	起算点数 (个)	相邻点间 平均边长(km)
		0.07 0	0.06 0	3	—
方案 2	平面	0.029	0.019	4	67
	高程	0.247	0.135		
方案 3	平面	0.026	0.017	6	58
	高程	0.205	0.134		
方案 4	平面	0.028	0.016	8	54
	高程	0.230	0.145		
方案 5	平面	0.030	0.016	10	42
	高程	0.240	0.138		
方案 6	平面	0.028	0.015	15	34
	高程	0.259	0.132		
方案 7	平面	0.029	0.013	20	23
	高程	0.314	0.132		
方案 8	平面	0.030	0.012	49	15
	高程	0.382	0.121		

表 2 检查点点位精度统计

方案	0≤δ<1 (cm)	1≤δ<2 (cm)	2≤δ<3 (cm)	3≤δ<4 (cm)	4≤δ<5 (cm)	5≤δ (cm)	合计 (个)
	148	108	28	24	14	21	343
方案 2	121	122	72	19	9	0	343
方案 3	140	129	55	14	5	0	343
方案 4	144	125	56	12	6	0	343
方案 5	140	137	49	10	7	0	343
方案 6	150	130	44	13	6	0	343
方案 7	153	133	39	12	6	0	343
方案 8	157	128	41	10	7	0	343

表 3 检查点点位误差分布

方案	0≤δ<1 (cm)	1≤δ<2 (cm)	2≤δ<3 (cm)	3≤δ<4 (cm)	4≤δ<5 (cm)	5≤δ (cm)	合计
	43%	31%	8%	7%	4%	6%	100%
方案 2	35.3%	35.6%	21.0%	5.5%	2.6%	0%	100%
方案 3	40.8%	37.6%	16.0%	4.1%	1.5%	0%	100%
方案 4	42.1%	36.4%	16.3%	3.5%	1.7%	0%	100%
方案 5	40.9%	39.9%	14.3%	2.9%	2.0%	0%	100%
方案 6	43.7%	38.0%	12.8%	3.8%	1.7%	0%	100%
方案 7	44.6%	38.8%	11.4%	3.5%	1.7%	0%	100%
方案 8	45.8%	37.3%	12.0%	2.9%	2.0%	0%	100%

表 4 检查点点位精度统计

方案	0≤δ<1 (cm)	1≤δ<2 (cm)	2≤δ<3 (cm)	3≤δ<4 (cm)	4≤δ<5 (cm)	5≤δ (cm)	合计
	58	68	69	46	36	66	343
方案 2	93	124	94	22	3	7	343
方案 3	75	158	75	23	6	6	343
方案 4	78	159	72	24	3	7	343
方案 5	83	154	69	21	9	7	343
方案 6	78	158	74	22	5	6	343
方案 7	81	155	73	22	5	7	343
方案 8	82	160	63	17	13	8	343

表 5 检查点点位误差分布

方案	$0 \leq \delta < 1$	$1 \leq \delta < 2$	$2 \leq \delta < 3$	$3 \leq \delta < 4$	$4 \leq \delta < 5$	$5 \leq \delta$	合计
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
方案 1	16.9%	19.8%	20.1%	13.4%	10.5%	19.3%	100%
方案 2	27.1%	36.2%	27.4%	6.4%	0.9%	2.0%	100%
方案 3	21.9%	46.1%	21.9%	6.7%	1.7%	1.7%	100%
方案 4	22.7%	46.4%	21.0%	7.0%	0.9%	2.0%	100%
方案 5	24.2%	44.9%	20.1%	6.1%	2.6%	2.1%	100%
方案 6	22.7%	46.1%	21.6%	6.4%	1.5%	1.7%	100%
方案 7	23.6%	45.2%	21.3%	6.4%	1.5%	2.0%	100%
方案 8	23.9%	46.6%	18.4%	5.0%	3.8%	2.3%	100%

4 分析及结论

从七参数算例中可以看出,用 3 个起算点解算七参数时,检查点点位误差大于 5 cm 有 6%;在起算点大于 3 个时,检查点点位误差大于 5 cm 的不存在,而点位误差小于 3 cm 的检查点在 90%以上;从数据质量上看,当起算点大于 5 个时,检查点点位误差小于 3 cm 约为 94%;所以,在范围较大区域,利用七参数进行高精度等级坐标成果转换时,计算七参数应有 5 个以上的起算点参与计算,并且能够均匀分布于整个区域。坐标转换过程中,大地高误差较大,大地高求解不能利用此方法,一般利用曲面拟合求得。

从四参数算例中可以看出,无论起算点数目多少,总存在点位误差大于 5 cm 检查点。在起算点为 3 个时,点位精度大于 5 cm 的检查点数目所占的比例为 19.3%;起算点数目大于 3 个时,检查点点位精度小于 3 cm 的数目约 90%,因此,在进行范围较

大的区域内进行坐标转换,且点位精度要求不高的情况下,利用四参数进行坐标转换是可以的,但是参与四参数计算的起算数据不少于 4 个,并均匀分布于整个区域。若利用四参数进行点位精度较高的数据转换,可以将大区域分为若干个小的区域,并在每个小区域内进行起算点的选择,每个小区域的起算点数不小于 4 个,且均匀分布。

由此,根据项目和精度要求,合理选用参数模型及参数解算点的数目,并适当选些检核数据,以检查数据转换精度。在平原地区,范围不算太大区域,利用三维七参和二维四参方法进行坐标平面转换差异不大;在起算条件充足的情况下,坐标转换参数解算时,可设计几个方案进行对比,选择最优方案。

参考文献:

- [1] 孔祥元,郭际明. 控制测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2006.
- [2] 陈俊勇. 中国现代大地基准[J]. 测绘学报, 2008, 37 (3): 269 - 272.
- [3] 党亚民,秘金钟. 全球导航卫星系统与应用[M]. 北京:测绘出版社, 2007.
- [4] 程鹏飞,文汉江. 2000 国家大地坐标系椭球参数与 GRS 80 和 WGS 84 的比较[J]. 测绘学报, 2009, 38 (3): 189 - 194.
- [5] 徐绍铨,张华海. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2008.
- [6] 高永甲. WGS-84 坐标系和西安 80 坐标系转换方法及精度分析[J]. 测绘工程, 2008, 57 (3): 1 - 3
- [7] 全球定位系统(GPS)测量规范(GB/T18314 - 2009)[S]. 2009.

Conversion Method and Accuracy Analysis of 1980 Xi'an Coordinate System and the 2000 Coordinate System

XIE Jianchun, CHEN Tongfeng, YAO Lei, WEN Xiangdong

(Shandong Geological Mapping Institute, Shandong Jinan 250002, China)

Abstract: By using different computing softwares, using three-dimensional seven-parameter coordinate transformation model and two-dimensional coordinate transformation model, the results gained by the 1980 Xi'an coordinate system can be transformed to the results of the 2000 coordinate system. Accuracy of checking points have been statisticied and analyzed. Not only the coordinate transformation methods and requirements have been introduced, but also the conditions and requirements of the application of two models have been gained as well.

Key words: Three-dimensional seven-parameter model; two-dimensional four-parameter model; coordinate transformation parameters; residual