

Analysis and Discussion of the Coordinate System Transformation Method for Strip Terrain Based on CORS System

Xiangcheng Xie^{1,2}, Qin Wang¹, Wenzhou Guo^{1,2}, Jie Liu¹

¹Jingjiang Survey Bureau of Hydrology and Water Resources, The Hydrological Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Jingzhou Hubei

²School of Geodesy and Geometrics, Wuhan University, Wuhan Hubei
Email: xxc811219@163.com

Received: Nov. 3rd, 2015; accepted: Nov. 21st, 2015; published: Dec. 4th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

At present, the boats plane positioning uses CORS mode in the Yangtze River waterway topographic survey project, but its measurement results belong to the CGCS2000 coordinate system, which only convert to BJ-54 coordinate system. For the ribbon topography survey, correct solution of different coordinate system conversion parameters is the key of CORS technology application. In this paper, combined with the Yangtze River channel topographic survey engineering practice, the conversion method of partition coordinate in this ribbon topography engineering was analyzed and discussed, and preferable results were achieved.

Keywords

Coordinate System, Partition Conversion, Conversion Model, Accuracy Analysis

基于CORS系统下带状地形坐标转换方法探讨与分析

解祥成^{1,2}, 王琴¹, 郭文周^{1,2}, 刘杰¹

¹长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州

作者简介: 解祥成, 男, 汉族, 湖北荆州, 1981年12月出生, 长江委水文局荆江水文水资源勘测局。

文章引用: 解祥成, 王琴, 郭文周, 刘杰. 基于 CORS 系统下带状地形坐标转换方法探讨与分析[J]. 水资源研究, 2015, 4(6): 489-495. <http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2015.46061>

²武汉大学测绘学院, 湖北 武汉
Email: xxc811219@163.com

收稿日期: 2015年11月3日; 录用日期: 2015年11月21日; 发布日期: 2015年12月4日

摘要

目前, 荆江水道地形测量的船台平面定位基本利用网络CORS模式进行, 但其测量成果属于CGCS2000坐标系, 只有将其转换到BJ-54坐标系中, 才能保证资料的连续性和可利用性。因而, 不同坐标系统间转换参数的正确求解的方式与方法是CORS技术应用的关键。本文结合长江中游荆江河段水道地形测量, 讨论分区坐标转换的方式方法, 为类似工程测量提供参考。

关键词

坐标系统, 分区转换, 转换模型, 精度分析

1. 绪论

在网络 CORS 测量与应用中, 采用 GPS 接收机观测获得的是 CGCS2000 地心坐标系坐标, 而我国长期连续性观测工程项目, 采用的仍是 BJ-54 坐标系统, 两类坐标不仅坐标原点不一致, 而且相应的各坐标轴之间不平行, 所以在实际应用中, 必须进行坐标转换。

当测绘项目类似于长江这种狭长的带状工程, 且距离过长时, 项目仅统一求取一个转换参数时, 其转换精度以及 CORS 测量作业的精度将会降低。本文以长江中游河道地形测量为例, 详细论述带状测量中, 基于网络 CORS 坐标系统下进行分区转换的方法, 为类似工程测量提供参考。

2. 坐标系统转换

2.1. 坐标转换方法

坐标系统的转换[1]包括同一椭球体之间和不同椭球体之间的转换两种方式, 其转换的一些过程及方式见图 1。其中, 基准转换的情况可能有以下几种:

- 1) 测区只有有限等级控制点的参心直角坐标系(X, Y, Z)。这种情况下, 要根据实地情况标定地方坐标。
- 2) 测区已经有足够控制点的 WGS84 或 CGCS2000 坐标和地方坐标, 并且有精确的相对位置关系。
- 3) 测区只有足够控制点的地方坐标, 相对位置关系精确, 但没有 WGS84 或 CGCS2000 坐标。这种情况下,

可利用 RTK 测量方法。

坐标转换通常要满足下面几个条件:

- 1) 应有足够的控制点。一般地, 平面控制至少三个; 高程控制应根据地形地貌条件, 控制点会更多(一般达到 6 个以上), 以确保拟合精度要求。
- 2) 控制点的控制范围和分布的合理性。控制范围应以能够覆盖整个测区为原则。一般情况下, 相邻控制点之间的距离在 3 km~5 km, 分布的合理性主要是指控制点分布的均匀性。
- 3) 控制点之间应具备相互位置关系精确的两套系统的坐标, 以确保转换关系的正确性。

2.2. 坐标转换模型

坐标转换的模型多种多样。本文采用基于布尔莎模型的七参数转换方式[2]。七参数法是两个椭球间的坐标

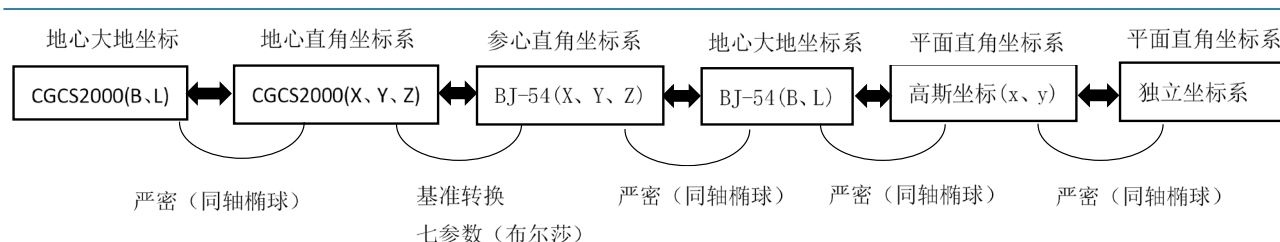


Figure 1. Process and method of coordinate transformation

图 1. 坐标转换的过程及方式

转换，是一种较为严密的坐标转换。七参数法包括布尔莎模型，一步法模型，海尔曼特等，即 X 平移，Y 平移，Z 平移，X 旋转，Y 旋转，Z 旋转，尺度变化比，七参数的控制范围较大(一般大于 50 km²) [3] [4]，求解七参数需要 3 个以上具有所需两种椭球下的两套已知坐标成果，且已知点组成的区域应在测区内均匀分布，能够覆盖整个测区，这样七参数的转换效果才会较好。布尔莎模型见公式 1 [5]。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{新}} = (1+m) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{旧}} + \begin{bmatrix} 0 & +\varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 0 & +\varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{旧}} + \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中， m 为尺度比参数； $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ 为旋转参数； $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ 为平移参数。

2.3. 分区坐标转换

利用 GPS 进行带状工程测量，采用当地坐标系时，根据测区跨度及测量精度的要求，需要对带状工程进行分区求取转换参数[6]，分区时要注意以下几个问题：

- 1) 分区要以项目的地形高低起伏、转折以及公共点的分布情况等合理划分。保证公共点能控制整个测区。
- 2) 如果区域范围不大，测量区域最远点距离小于 30 km (经验值)，可以用三参数，即 X 平移，Y 平移，Z 平移，而将 X 旋转，Y 旋转，Z 旋转，尺度变化 K 视为 0，所以三参数只是七参数的一种特例。
- 3) 局部区域坐标转换采用七参数法比较合适，带状工程一般按照 50 km 进行分区即可满足大比例尺测图的需求，范围较大时可采用多项式回归模型以提高转换精度。
- 4) 采用分区求解转换参数时，相邻分区应不少于 2 个重合点，并进行精度统计估算。

3. 项目实例

3.1. 项目实施

长江中游荆江河段宜昌至监利河段全长约 300 km，经度从 111°带横跨到 114°带，整个测量区域由西向东呈条带状分布。测区处于 HBCORS 覆盖的地带，为了更好地利用其网络 RTK 的便捷资源，整个测区在 HBCORS 系统下建立了首级控制网，共有 110 个控制点。首级分两个带平差，得到 SGCS2000 及 BJ-54 两套坐标系统成果。

测区属于长期连续性观测项目，考虑到湖北 CORS 系统观测的便捷性及资料的连续性，对测区进行分区，求解坐标转换参数。本项目沿河道走向及点位布置划分成若干个区域，每个区域长约 50 km 左右，相邻区域有一定的公共点重合，来求解每个测区的转换参数。其中的 5 个部分分区区号及点号组合见表 1。

部分河段的分区划分情况见图 2 所示(因资料的保密性，所以点名及图形均作了处理)。

进行测区转换参数求解后，得到各公共点转换的残差，其平面的最大值为 0.09 m，高程转换残差最大值为 0.44 m，精度可以满足大比例尺测图的要求。其残差发布如图 3，图 4 所示。

Table 1. Part of the area and point combination for coordinate transformation

表 1. 部分坐标转换分区区号及点号组合

区号	控制点组合(求取七参数公共点)		
	与上重合点	基本点	与下重合点
1		Y53R2, DGPSL01, 云池, JGPSR111, Y63R2, DGPSR04, Y71L2, D0304, DGPSL03, DGPSR06	J3R7, D0305, G05+1R3
2	J3R7, D0305, G05+1R3	DGPSR08, DGPSL05, 沙湾, DGPSL07, 枝江, 付家渡, DGPSR10, J18L4, DGPSR12, 七星台	杨家埡, DGPSL09, DGPSR14
3	杨家埡, DGPSL09, DGPSR14	DGPSR16, J27L8, 查家月堤, J29L2, JGPSR68, J35L2, DGPSR18, DGPSL11, 三王庙	DGPSL13, DGPSR20, DGPSL15
4	DGPSL13, DGPSR20, DGPSL15	J53R2, DGPSL17, 林家垸, J59L3 鄂江右 654, J66L2, DGPSR22, X0303, J72L2, DGPSR24	J76L4, J78R6, J79L8
5	J76L4, J78R6, J79L8	DGPSR26, J83L2, J89L3, DGPSR28, GPSO01, OIV103, J92R5, DGPSR30, DGPSR32, DGPSL19, SQ04, J106R4	...
...

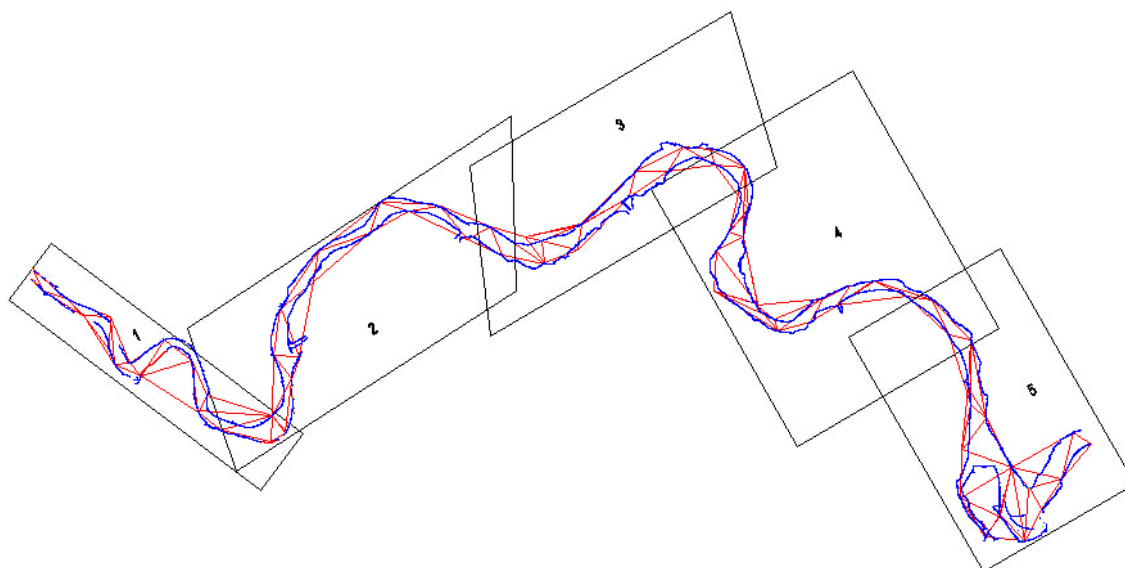


Figure 2. District level schematic diagram of the river

图 2. 部分河段的分区划分示意图

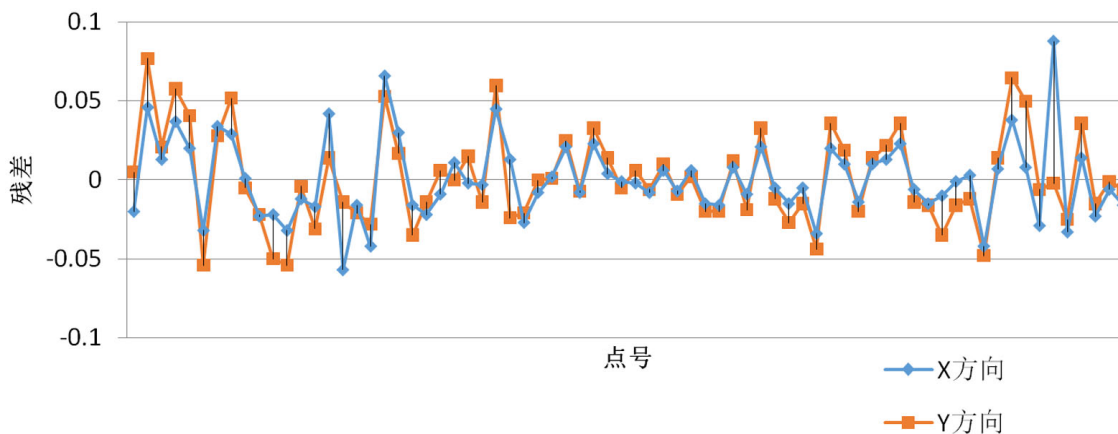


Figure 3. Plane transformation residual chart

图 3. 平面转换残差图

3.2. 精度分析

3.2.1. 同一分区公共点数量及发布对转换参数的影响分析

选择其中的一个分区进行不同数量的公共点参与坐标转换，对比情况见表 2 所示。

对比可知，公共点个数的多少对于转换精度影响不是很大，但是公共点的分布要能控制整个测区，点位分布均匀为宜。

3.2.2. 分区大小的精度影响分析

把其中的一个长约 40 km 的分区再划分成两个 20 km 的小分区，其对比情况见表 3 所示。

表 3 对比可知，分区较小时比分区较大时其平面的转换精度有较大的提高，而高程精度提高不大，这主要与高程异常分布、GPS 本身大地高精度等因素有关。

3.2.3. 相邻分区准换的精度估算

进行坐标分区转换后，相邻分区公共点的精度是通过求取转换参数的重合点的残差中误差体现的，精度依据式 2 计算，其中通过残差 v 的取值不同主要计算不同的精度。

$$M = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2)$$

1) 公共点互差检查，将上述 5 个相邻分区的 12 个公共点的 CGCS2000 坐标利用两个区的七参数将其转换

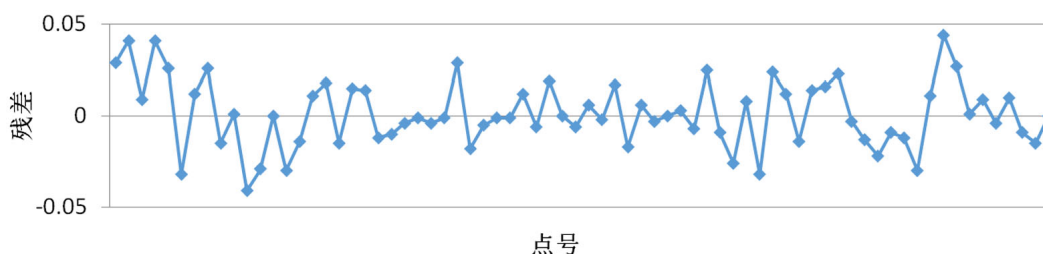


Figure 4. Elevation transformation residual chart

图 4. 高程转换残差图

Table 2. Different numbers of common points in the residual distribution of coordinate transformation

表 2. 不同数量的公共点参与坐标转换的残差分布

个数	X 转换残差	Y 转换残差	Z 转换残差
三个点	0.006~0.14	0.005~0.01	0.001~0.004
四个点	0.004~0.023	0.002~0.007	0.002~0.01
五个点	0.001~0.008	0.005~0.022	0.001~0.006
全部点	0.001~0.037	0.001~0.033	0.000~0.019

Table 3. Conversion residuals distribution for different partitions

表 3. 大小不同的分区转换残差分布情况

不同大小区	X 转换残差	Y 转换残差	Z 转换残差
20 km 一区	0.002~0.017	0.000~0.029	0.003~0.016
20 km 二区	0.001~0.008	0.001~0.018	0.001~0.017
40 km 区	0.001~0.037	0.001~0.033	0.000~0.019

Table 4. Seven-parameter conversion point coordinate mutual difference statistics

表 4. 利用七参数转换求得的网点坐标互差统计表(m)

点号	0~0.005	0.005~0.01	0.01~0.02	>0.02	最大值
DX	4	3	5	0	0.018
DY	3	3	4	2	0.035
DZ	2	2	4	4	0.041
M_A	0.010	0.015	0.022		

Table 5. Seven-parameter conversion point with the known coordinates poor statistics

表 5. 利用七参数转换求得的网点坐标与已知点坐标较差统计表(m)

点号	0~0.005	0.005~0.01	0.01~0.02	>0.02	最大值
DX	14	7	4	0	0.14
DY	11	7	4	2	0.045
DZ	2	3	10	9	0.07
M_A	0.22	0.22	0.16		

为 BJ-54 坐标下的坐标进行比较, 计算残差 v , 得到相邻分区公共点精度见表 4, 并利用中误差计算公式(2)分区区域分方向进行统计(表 2)。

2) 公共点精度较差, 将上述 5 个相邻分区公共点的 CGCS2000 坐标利用不同分区的七参数将其转换为 BJ-54 坐标, 共计 24 点, 与已知的坐标进行比较, 计算残差 v , 得到公共点精度, 如表 5。

经过多次对比及试验结果分析, 当公共点满足以下条件时计算精度较高: ① 相邻分区重叠重合点分布在分区边界线周围。② 公共点分布要均匀, 分布范围要广, 构成网形能控制整个转换区域。③ 在公共点分布均匀的情况下适当增加公共点的个数。

4. 结论

通过对 SGCS000 与 BJ-54 分区坐标转换方法的分析, 结合工程项目对结果影响的比较, 可得出以下结论。

1) 在坐标转换参数计算中, 要保证公共点的分布、精度及分区大小等。

2) 当测区范围较小时(最远点小于 30 km), 可采用三参数转换。七参数转换则控制范围较大, 一般大于 50 km² [1]。如果精度要求较高, 最好分区进行转换。如大连市 C 级 GPS 网覆盖面积为 17,000 km², 采用七参数的转换精度高于三参数的转换精度, 且将全网分成 4 部分进行七参数坐标转换, 转换误差将缩小 2 倍, 转换精度可达厘米级[2]。

3) 在较大测区范围内, 且测绘项目主要集中在该区域的情况下, 应利用已有成果或坐标联测等方式, 获得能够控制该测区的两套坐标, 进行 7 参数求定。从而避免小测区 4 参数坐标校正, 更换测区要重新计算等繁琐工作。可节省大量的人力、物力, 大大提高工作效率。

4) 当进行两种不同空间直角坐标转换时, 坐标转换的精度除取决于坐标变换的数学模型和求解参数的公共点坐标精度外, 还和公共点多少、几何形状结构有关。鉴于地面网可能存在一定的系统误差, 且不同区域并非完全一样, 所以采用分区变换参数, 利用布尔莎模型分区进行坐标转换, 可明显提高坐标转换精度。

参考文献 (References)

[1] 王健, 杨艳锋. CORS-RTK 测量中的坐标转换方法探讨[J]. 地矿测绘, 2001, 26(3): 26-28.
WANG Jian, YANG Yanfeng. Application of coordinate transformation in the CORS-RTK Survey. Surveying and Mapping of

- Geology and Mineral Resources, 2001, 26(3): 26-28. (in Chinese)
- [2] 柳光魁, 王振禄, 赵永强, 杜明成. BJ-54 坐标系与 WGS-84 坐标系转换方法及精度分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2007, 30(3): 167-168.
LIU Guangkui, WANG Zhenlu, ZHAO Yongqiang and DU Mingcheng. The conversion method and accuracy analysis between BJ-54 and WGS-84 coordinate system. Geomatics and Spatial Information Technology, 2007, 30(3): 167-168. (in Chinese)
- [3] 杨泪朵, 陈宏玉. 河道电子地图制作[J]. 工程地质计算机应用, 2009(3): 38.
YANG Leiduo, CHEN Hongyu. River digital map production. Engineering Geology Computer Application, 2009(3): 38. (in Chinese)
- [4] 杨红艳, 高霞, 赵惊雷, 张予杰. 坐标转换参数不同的求取方式对 RTK 测量影响的对比分析[J]. 全球定位系统, 2005(5): 14-17.
YANG Hongyan, GAO Xia, ZHAO Jinglei and ZHANG Yujie. The comparative analysis of the effects on RTK surveying due to different methods of deriving the coordinate conversion parameters. GNSS World of China, 2005(5): 14-17. (in Chinese)
- [5] 王利, 郑玮. RTK 测量中坐标转换参数求解若干方法讨论[J]. 西安工程学院学报, 2002(1): 63-65.
WANG Li, ZHENG Wei. The discussion on several methods of solving coordinate transformation parameters in RTKGPS surveying. Journal of Xi'an Engineering University, 2002(1): 63-65. (in Chinese)
- [6] 徐绍铨, 张华海, 杨志强, 王泽民. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
XU Shaoquan, ZHANG Huahai, YANG Zhiqiang and WANG Zemin. GPS measurement principle and application. Wuhan: Wuhan University Press, 2004. (in Chinese)