

文章编号:1671-251X(2015)09-0044-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.09.012

陈忠伟,陈西斌,邱川,等.基于JSCORS的矿区变形监测基准站选取研究[J].工矿自动化,2015,41(9):44-48.

基于 JSCORS 的矿区变形监测基准站选取研究

陈忠伟^{1,2}, 陈西斌³, 邱川⁴, 张书毕^{1,2}

(1.中国矿业大学 环境与测绘学院,江苏 徐州 221116;2.江苏省资源环境信息工程重点实验室,江苏 徐州 221116;3.东北电力设计院 勘测分公司,吉林 长春 130022;
4.四川电力设计咨询有限责任公司,四川 成都 610041)

摘要:基于JSCORS网数据信息,结合某矿区实测变形监测GPS网中的6个站点解算,讨论了CORS基准站数量及其分布对矿区变形监测GPS网数据解算精度的影响。实验结果表明,处理区域GPS网时,最好选取CORS基准站提供的参考框架,且CORS基准站空间分布要尽量均匀,个数为4个即可,但是不必选择位于区域同一侧的CORS基准站。这一结论可为选取合适的CORS基准站处理区域GPS网数据提供依据。

关键词:矿区变形监测;CORS基准站;区域GPS网;GAMIT解算;参考框架

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2015-08-29 15:44

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150829.1544.012.html>

Research of selection of reference stations in mine area deformation monitoring based on JSCORS

CHEN Zhongwei^{1,2}, CHEN Xibin³, QIU Chuan⁴, ZHANG Shubi^{1,2}

(1.School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2.Key Laboratory of Resources and Environment Information Engineering of Jiangsu Province, Xuzhou 221116, China;
3.Survey Branch, Northeast Electric Power Design Institute, Changchun 130022, China;
4.Sichuan Electric Power Design and Consulting Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract:Based on data information of Jiangsu Province continuously operating reference stations, the influence of the number and distribution of CORS reference stations to the solution accuracy of GPS network data were discussed combining with 6 stations solution of the GPS deformation monitoring network in a coal mine. The experimental results show that when processing regional GPS network, it's the best to select the CORS reference station as the reference frame, and the CORS reference station space distribution should be as uniform as possible, and the number reached 4, and there's no need to select the same side CORS reference station. The conclusion provides the basis to process GPS network data by selecting suitable CORS reference stations.

Key words: deformation monitoring in mine area; CORS reference station; regional GPS network; GAMIT solution; reference frame

收稿日期:2015-05-06;修回日期:2015-07-13;责任编辑:张强。

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41204011);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPDSA1102)。

作者简介:陈忠伟(1989—),男,山东临沂人,硕士研究生,主要研究方向为GNSS数据处理与GAMIT研究,E-mail:chenzwm@163.com。

0 引言

近年来,连续运行卫星定位服务综合系统(Continuously Operating Reference Stations, CORS)在我国得到了广泛的推广与应用。CORS站逐步取代传统的高等级GPS控制点,如IGS(International GNSS Service)站点,成为区域高精度坐标参考框架的主要维持手段。江苏CORS(JSCORS)是全国首个覆盖全省范围的全球导航卫星连续运行参考站网络,该系统一共包含了62个参考站,覆盖整个江苏省。参考站间最长间距为83 km,最短间距为11 km,平均间距为48.96 km,能够为用户提供24 h、采样率为30 s的数据,且数据质量优良。利用该系统,不仅能够精确定位到厘米级,而且能为高精度矿区变形监测GPS网解算提供坐标基准。

对于高精度矿区变形监测GPS网数据处理,起算站点的选取至关重要,若选取不当,对处理结果的影响将是系统性的。精密解算软件GAMIT处理数据时,一般选择精度较高的地心坐标已知站点,如IGS基准站。国内外不少学者对IGS站点选择进行了探讨,得出了一些有益的结论^[1-3]。但由于IGS站点在国内分布较为稀疏,且数据存在某些观测时段年积日缺失的问题,导致在国内大部分地区无法使用。JSCORS系统的不断成熟,为解决该问题带来了可能。本文将基于JSCORS网数据,结合某矿区实测变形监测GPS网中的6个站点解算,对CORS基准站数量及其分布对矿区变形监测GPS网数据解算精度的影响进行深入研究,为选取合适的CORS基准站处理区域GPS网数据提供依据。

1 数据资料与计算参数

1.1 数据资料

选取某矿区变形监测GPS网中的5个基准站组成区域网进行分析;实验中的5个站点(HB01—

HB05)的站间距离为4~12 km,HB01站与HB02站的间距最短,为4.7 km;HB02站与HB04站的间距最长,为11.9 km。为找到解算该区域GPS网较为理想的CORS基准站选取方案,在CORS基准站数据和区域监测网数据较为理想的前提下,讨论CORS基准站数量及其分布对解算精度的影响^[4]。

1.2 GPS数据处理软件GAMIT的参数选择

利用GAMIT软件进行解算,主要参数设置见表1。

表1 GAMIT 软件参数设置

参数名称	参数设置
历元间隔/s	30
卫星钟差改正模型	广播星历钟差参数
接收机钟差改正模型	伪距计算钟差
参考框架	ITRF2008
观测量选取	LC_HELP
处理模式	RELAX(松弛解)
惯性框架	J2000
截止高度角/(°)	10
对流层模型	Saastamoinen
天顶延迟参数/个	13
投影函数	Niell
CORS基准站坐标约束(NEU)/m	0.005,0.005,0.010
GPS监测站坐标约束(NEU)/m	9.999,9.999,9.999

1.3 数据预处理

选用监测网5个站的数据,为了保证计算结果的可靠性,选取观测质量好、数据量大的2014年第284—290日(年积日)的数据进行解算,时间为1周。首先利用TEQC(Translation, Editing and Quality Checking)软件对上述各站点的数据质量进行检核。结果表明,上述数据的缺数率、伪距的多路径效应的影响、信噪比等参数均较为理想。TEQC预处理结果见表2。

表2 TEQC 预处理结果

测站	期望观测数/个	实际观测数/个	数据有效率/%	L ₁ 多路径效应	L ₂ 多路径效应	观测值周跳比
HB01	29 290	28 739	98	0.30	0.34	175
HB02	29 036	28 191	97	0.33	0.39	421
HB03	29 125	28 793	99	0.39	0.42	558
HB04	28 815	28 408	99	0.38	0.37	546
HB05	28 661	28 328	99	0.28	0.37	674

2 CORS 基准站数量对解算结果的影响

2.1 CORS 基准站选取方案

为讨论 CORS 基准站数量对 GPS 监测网解算结果精度的影响,分别选取 0,1,2,3,4,5,6 个 CORS 基准站,作为 7 种实验方案,这 6 个 CORS 基准站代码分别为 BTUI,BTSH,BTXU,BTBY,BTJU,BTGY。解算时区域网中 6 个站点保持不变,同时也考虑 GPS 网边缘 CORS 基准站的影响。

2.2 计算结果比较

2.2.1 基线重复率比较

基线重复率是指每一观测时段解算的坐标与该坐标的算术平均值的差值,是 GPS 相对定位结果的重要指标之一,反映了测站不同时段解间的内符合精度,体现了卫星轨道、大气效应、多路径效应和天线相位中心不定时期等的变化^[5]。其计算公式为

$$R = \sqrt{\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - Y)^2}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}} \tag{1}$$

式中: n 为单时段数; Y_i 为单时段基线分量北方向(N)、东方向(E)、高程方向(U)及基线长估计值; Y 为各时段基线分量或边长的加权平均值; σ_i^2 为各分量的方差。

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{\sigma_i^2} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} \tag{2}$$

对 2014 年第 284—290 日区域 GPS 网基线重复率计算得出:7 种方案中,小于 80 km 的基线边的基线重复率小于 3.0 mm,大于 80 km 的基线边的相对重复率优于 10^{-8} 。基线重复率的平均值比较结果如图 1 所示。由图 1 可看出,不选择 CORS 基准站的基线重复率平均值较大,随着 CORS 基准站个数的增加,基线重复率平均值逐渐变小,方案 7 选取 6 个 CORS 基准站的基线重复率的平均值最小,且 CORS 基准站个数超过 4 个后趋于稳定。

2.2.2 坐标重复性比较

通过每一个观测时段的观测解算出来一个坐标分量的序列,再通过这些坐标分量计算出站点坐标的算术平均值,计算出每一观测时段解算的坐标与这个算术平均值的差值。通过这个残差的大小可以分析每个观测时段的解算结果是否出现异常。

通过计算可得到各方案在北方向、东方向和高程方向的坐标重复性对比结果,如图 2—图 4 所示。各方案坐标平均重复性比较结果如图 5 所示。

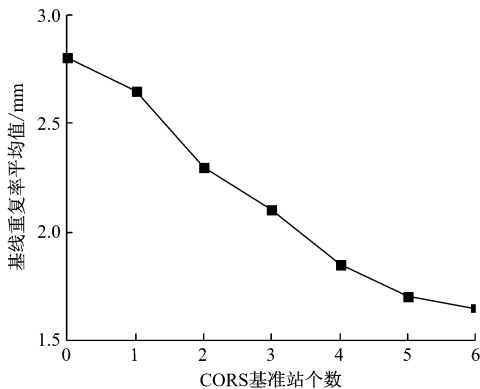


图 1 基线重复率的平均值比较结果

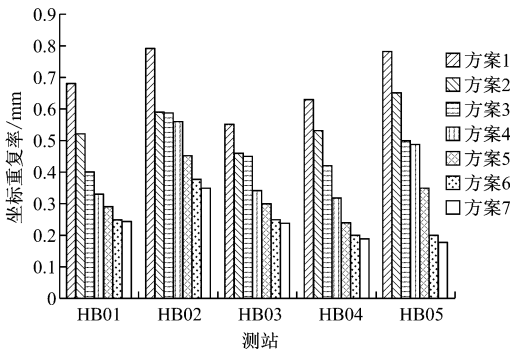


图 2 各测站北方向的坐标重复性比较结果

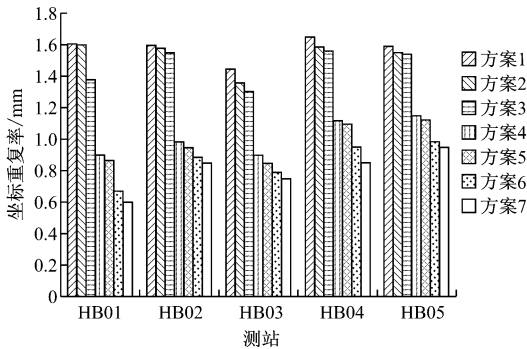


图 3 各测站东方向的重复性比较结果

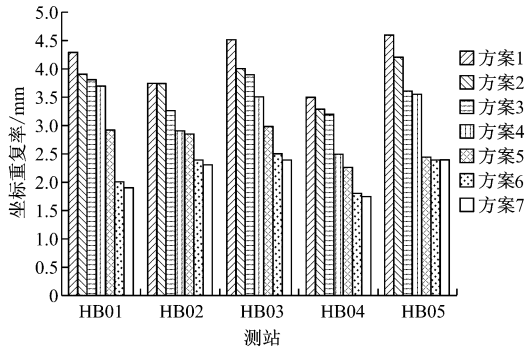


图 4 各测站高程方向的重复性比较结果

由图 2—图 4 可知,随着 CORS 基准站个数的增加,在北、东、高程方向上的重复性逐渐变小,当 CORS 基准站个数超过 4 个时趋于稳定。由图 5 可知,坐标平均重复性随基准站个数的增加逐渐降低

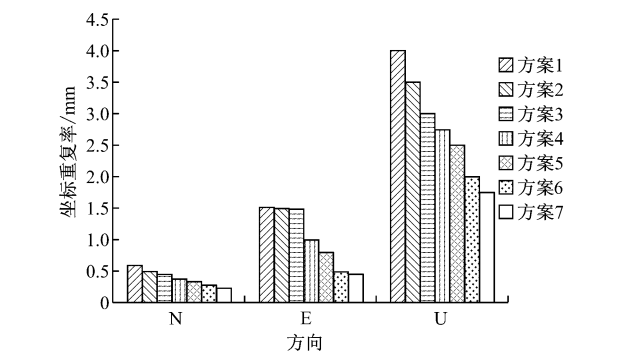


图 5 各方案坐标平均重复性比较结果

且趋于稳定。在北、东、高程方向上,方案 5—方案 7 精度相当。

通过以上分析可得,随着 CORS 基准站个数增加,解算精度逐渐提高,当 CORS 基准站个数达到 4 个时趋于稳定。所以,选取 4 个 CORS 基准站能满足精度要求。

3 CORS 基准站分布对解算结果的影响

隋丽芬等^[6]曾提出:Z 坐标计算误差随着纬度变化呈现在南半球向下凹、北半球向上凸的变化,高程误差对 Z 坐标的影响在南北半球具有相互抵消

性。由此参考文献^[7]提出在 GPS 数据处理时选择南北半球对称的 IGS 基准站可以使高程误差对 Z 坐标的影响相互抵消。但是,徐平等^[8]通过实验提出了在处理北京市 GPS 区域网数据时可以不考虑 Z 方向南半球向下凹、北半球向上凸的影响。因此,为了探讨对区域 GPS 网是否也存在这种效应的问题,并根据 CORS 基准站数量选取的结果,提出了 2 种实验方案^[7]。

方案 1:选取 4 个 CORS 基准站 BTUI,BTSH,BTXU,BTBY,对称分布于该监测网南北 2 个方向,空间分布基本对称^[9]。

方案 2:选取 4 个 CORS 基准站 BTXU,BTBY,BTJU,BTGY,全部位于该监测网北侧。

表 3 是按照方案 1 计算所得到的每个年积日解算的 5 个站点 10 条基线高程分量结果与方案 2 对应的结果之差。从表 3 可得出,选取的 CORS 基准站全部位于北侧时,其高程分量结果总体上要优于南北对称的结果。由此可见,选取 CORS 基准站进行区域 GPS 网解算时,可不考虑 Z 坐标误差随纬度变化的影响,即不必选择南侧的 CORS 基准站^[10]。

表 3 高程分量比较结果							mm
基线	年积日						
	第 284 日	第 285 日	第 286 日	第 287 日	第 288 日	第 289 日	第 290 日
HB01—HB02	0.4	0	0.1	0	−0.4	1.0	0.2
HB01—HB03	−0.2	0.8	0.8	0.3	0.6	1.0	−0.3
HB01—HB04	−0.1	0.9	0.3	0.1	0.1	0.3	1.0
HB01—HB05	0	0.2	1.0	0	0.3	0	0
HB02—HB03	2.0	−0.1	0.5	0	0.9	0.3	−0.3
HB02—HB04	0.3	0.7	0.2	0.3	0.1	1.0	0.5
HB02—HB05	0.5	0.8	0.2	−0.3	1.0	0.3	0.5
HB03—HB04	2.0	−0.1	1.0	0.1	0.1	1.0	0.6
HB03—HB05	0.1	0.1	0.2	0.1	0	−0.3	0.1
HB04—HB05	0	−0.3	0.2	0.5	0	0.3	0.3

4 实验验证

4.1 实验区概况

为验证实验结果的普遍性,设计了此验证实验。选取另一矿区的 GPS 变形监测数据,对应测站点名为 D041,D042,D043,D044,D045,实验时间为 2014-11-02—03(年积日:306—307)。

4.2 辅助站数量及分布的选择

本文选取 BTGO,BTXH,BTJU,BTSG 和

BTHZ 五个 CORS 基准站作为辅助站,其采样间隔均为 30 s,卫星截止高度角为 10°;通过加入不同数目的辅助站形成不同的组网方案,分 6 次处理(不加辅助站,加 1 个辅助站,加 2 个辅助站,加 3 个辅助站,加 4 个辅助站,加 5 个辅助站)。

4.3 结果分析

当假定以加入 5 个 CORS 辅助站解算结果为标准时,计算各测站加入不同数目辅助站时的均方根 R_{MS} 和平均误差 M_{EAN} 。各测站加入不同数目辅

助站时的 R_{MS} 值对比如图 6 所示,各测站加入不同数目辅助站时的 M_{EAN} 值对比如图 7 所示。由图 6、图 7 可看出,随着 CORS 辅助站数目的增加, R_{MS} 和 M_{EAN} 均有不同程度下降,加入 1 个辅助站解算结果的 R_{MS} 和 M_{EAN} 分别在 3 mm 和 0.4 mm 以内;加入 2—3 个网外辅助站解算结果的 R_{MS} 和 M_{EAN} 分别在 2 mm 和 0.1 mm 以内;加入 4 个辅助站解算结果的 R_{MS} 和 M_{EAN} 分别在 1 mm 和 0.05 mm 以内,且无明显的差异。

通过对该矿区变形监测站数据处理分析可得,以上得出的结论不是偶然的,这一结论也适用于其他地区矿区变形监测网。

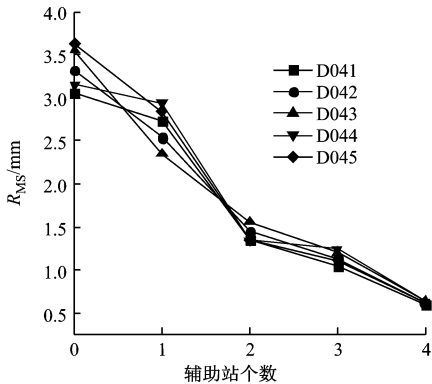


图 6 各测站加入不同数目辅助站时的 R_{MS} 值对比

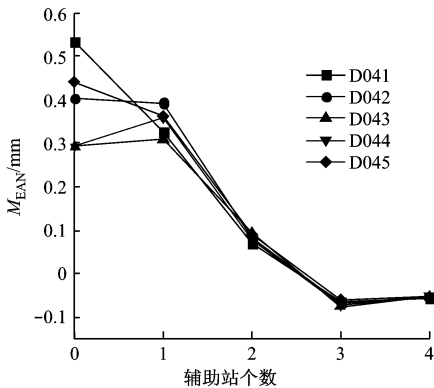


图 7 各测站加入不同数目辅助站时的 M_{EAN} 值对比

5 结语

江苏 CORS 系统在江苏省国民生产建设各方面发挥着重大作用。本文通过实例验证,得到了计算区域变形监测 GPS 网中 CORS 基准站选取的一般原则,得出了以下结论:

(1) 使用 GAMIT 软件进行区域 GPS 网数据处理时,最好选取 CORS 基准站提供的参考框架,这样可以消除因为没有准确基准造成的系统偏差。

(2) 根据不同方案基线重复率和坐标重复性的比较可知,随着 CORS 基准站个数的增加,基线重

复率的平均值逐渐减小;CORS 基准站个数达到 4 个以后,其坐标重复性趋于稳定。综合考虑,选择 4 个 CORS 基准站作为辅助站能满足精度要求。

(3) 在 CORS 站的选取上,选取更多的 CORS 基准站能获得更小的基线重复率平均值,但由于选取 4 个 CORS 基准站足以满足高精度 GPS 数据处理的要求,所以,不必过多增加网外 CORS 基准站的数量,以免增加数据处理的时间,降低数据处理效率。

(4) 通过某矿区 GPS 监测站数据验证表明,区域 GPS 网解算时不用考虑 Z 方向监测网的南北方向的影响。

这些结论可为选取合适的 CORS 基准站处理区域 GPS 网数据提供依据,具有很大的理论和实际意义。

参考文献:

- [1] BOUCHER C. The International Terrestrial Reference Frame [R]. Pasadena California Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 1998.
- [2] KIJEWski-CORREA T, KOCHLY M. Monitoring the wind-induced response of tall buildings: GPS performance and the issue of multipath effects [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2007, 95(9): 1176-1198.
- [3] 胡守超, 伍吉仓, 孙亚峰. 区域 GPS 网三种时空滤波方法的比较 [J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(3): 95-99.
- [4] 董春来, 王香兰, 蒋廷臣, 等. 基于 JSCORS 层析连云港沿海水汽的三维特征分析 [J]. 测绘通报, 2011(12): 29-32.
- [5] 赵倩, 沈飞. 江苏省 CORS 系统解算中 IGS 基准站选取的研究 [J]. 测绘科学, 2011, 36(6): 124-125.
- [6] 隋立芬, 许其凤. GPS 数据处理中 IGS 基准站的选取 [J]. 测绘学院学报, 2003, 20(1): 1-3.
- [7] 赵桂儒, 杨天青, 徐平, 等. 小区域 GPS 形变监测网 GAMIT 数据处理结果与 IGS 站选取的关系探讨 [J]. 地震地磁观测与研究, 2006, 27(05): 103-106.
- [8] 徐平, 尹继尧, 吴培稚, 等. 北京市 GPS 网解算时 IGS 站的选取实验 [J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(1): 49-54.
- [9] 曹泉根, 安艳辉, 丁玉平. GPS 数据处理中 IGS 站点选取的研究 [J]. 测绘通报, 2009(8): 32-35.
- [10] 邬熙娟, 高俊强, 黄燕. 小区域 GPS 网 GAMIT 解算结果与 IGS 站选取的关系 [J]. 南京工业大学学报: 自然科学版, 2010, 32(4): 96-99.