

煤矿单基站 CORS 系统建设及应用

张连贵¹, 王 健², 刘显云¹, 郑 辉¹

(1. 兖矿集团有限公司 地质测量部, 山东 邹城 273500; 2. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘 要: 为便于快速获取兖矿集团本部所辖矿区范围内的各类地表形变信息, 借助 GNSS、计算机、无线通信、网络等先进技术, 进行了煤矿单基站 CORS 系统的建设。以已知控制点观测、铁路桥沉降观测、村庄沉降观测为范例, 进行了基于单基站 CORS 系统的实时动态定位(RTK)应用测试, 通过与传统测量数据的精度对比, 验证了 CORS 系统在矿区地表形变测量中应用的可行性及有效性。

关键词: 煤矿; 全球导航卫星系统; 连续运行参考站; 实时动态定位; 地表变形

中图分类号: P228.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2011)05-0073-05

Construction and Application of Single Base Station CORS System in Coalmines

ZHANG Liangui¹, WANG Jian², LIU Xianyun¹, ZHENG Hui¹

(1. Department of Geological Surveying, Yanzhou Mining Group Co. Ltd, Zoucheng, Shandong 273500, China;

2. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: In order to quickly collect the information of various kinds of ground surface deformations within Yanzhou mining area by means of GNSS, computer, wireless communication and internet techniques, a single base station continuously operating reference station system was constructed. Taking observations of the known control points, the subsidence of a railway bridge and the subsidence of a village as the examples, the application of RTK was checked based on the single base station system. Through the contrast with the precision of traditional surveying data the feasibility and efficiency of the continuously operating reference station system were verified in the application of surface deformation surveying in mining area.

Key words: coalmine; global navigation satellite system; continuously operating reference station; real-time kinematic; surface deformation

空间技术的发展,特别是全球导航卫星系统(global navigation satellite system,GNSS)相关技术的广泛应用,使得大地测量学不仅与其它地学学科的联系更加紧密,而且大大拓宽了服务社会的宽度和深度。GNSS定位技术从常规静态逐步发展到准动态、动态和实时定位阶段,正向着实时、高精度、高可靠性的方向发展。定位技术的发展越来越多地依赖于计算机、无线通信、网络等技术的发展,其技术发展呈现出多元化和学科交叉的特点。卫星定位连续运行参考站(continuously operating reference stations,CORS)相关技术已经成为测绘界研究的热点之一^[1-3]。近年来,国内不同行业已经陆续建立了一些专业性的卫星定位连续运行网络^[4-6],但在矿区范围内尚未见有关 CORS 系统建设及应用的报道。本研究选择兖矿集团兖州矿区作为示范研究区,进行了连续运行单基站 CORS 系统的建设和应用,结果表明,建设完成的 CORS 系统可为矿

收稿日期:2011-04-27

基金项目:国家“863”计划项目(2009AA12Z147);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(BS2010NJ014)。

作者简介:张连贵(1967—),男,山东嘉祥人,高级工程师,博士,主要从事矿山测量、开采沉陷技术等方面的研究。

E-mail: ykzlg@126.com.

王 健(1974—),女,山东沂水人,副教授,博士,主要从事现代测量数据处理理论、LiDAR 技术的研究与教学工作。

E-mail: wangj@sdust.edu.cn.

区 30 km×30 km 范围内的地表形变信息的快速采集提供技术支持,为矿区范围内的工程建设、地表塌陷、地面位移、环境监测、“三下”开采后建(构)筑物、铁路、河流损坏监测与治理等提供高精度的空间定位服务,并将在煤炭系统起到良好的示范作用。

1 单基站 CORS 系统的建设

单基站 CORS 系统是利用全球导航卫星服务系统、计算机、数据通信和互连网络等技术,在局部区域按几十公里半径覆盖范围建立起来的有一固定 GNSS 站组成的连续运行参考站系统。作为传统 RTK(real time kinematic)作业方式的替代技术,它提供的实时定位能力使网络覆盖范围内所有需要移动定位的用户得到高精度的位置信息。将其应用于煤矿企业的安全生产,可为煤矿开采所引起的各类地表形变信息的获取提供高效的空数据获取手段。根据系统建设要求,建设过程分为以下几个阶段。

1.1 外业踏勘与基准站选址

为了保障基准站的长期稳定运行和便于维护,在进行基准站选址时,主要考虑的因素包括:便于接入公共通信网络,卫星通视条件有 10°以上的高度截止角,远离电磁干扰区,处于地层稳定区域。同时,为了使建设站点的高精度控制范围覆盖整个矿区,基站应当尽量处于矿区的中心地带。遵循以上建设原则,通过对兖州矿区范围的外业实地踏勘,最终选择了兖州矿区中心一稳固建筑物的楼顶作为单基准站建设的具体位置。

1.2 基准站观测墩施工

在基站位置选定之后,下一步的工作是进行观测墩的施工,基准站观测墩主要用于支撑 GPS 观测天线,为了便于维护,将观测墩建为屋顶型,由水泥底座、不锈钢柱体组成,水泥底座内预埋柱体连接装置,不锈钢柱体中空用于敷设天线电缆,柱体顶部安装强制对中装置,并以采用透波材料的天线罩覆盖,避免自然环境如强风、雨雪、日照、盐蚀等对天线的损坏。室外天线防雷的接地网使用观测墩所在大楼的防雷地网,避雷针采用提前放电式避雷针,引线采用双接点建筑物的主筋焊接。

1.3 基准站软硬件设备安装

室外观测墩建设完成之后需对基准站软硬件设备进行安装与测试。需要安装的硬件设备包括 GPS 接收机和天线、参考站主机、不间断电源及防雷、防电涌设备等。其中,基准站需采用 GPS 测量型的双频天线,需具备抗多路径干扰能力;参考站主机是基于高端微型计算机硬件平台,带有多种通信接口,可长时间稳定工作,内部安装 Windows XP 操作系统,内置大容量硬盘可用于存储操作系统、应用软件和 GPS 接收数据,操作者可通过串口、USB 设备或网络工具实现对基准站的管理和设置。

在参考站主机上需进行基准站控制软件的安装和测试,该软件负责配置、监控、管理单参考站的运行状况,其主要作用包括:通过数据线把主机与网络相连,接收控制电路发送过来的 GPS 数据,并将数据进行分类、分组;把基站接收到的 GPS 数据通过 Internet 传送给用户部分的 GPS 接收机;把用户部分的 GPS 传送回来的定位数据(速度,方向)进行分组归类,经过处理后发给后台的监控系统和数据库,以便后期的管理和控制。

1.4 基准站坐标联测

基准站室内外软硬件设备安装和测试完成后,为保证系统正常运行和进行矿区各种形变信息的精准监测服务,需要针对基准站的精确坐标进行坐标联测与计算。主要包括:

1)进行现有矿区测绘控制资料的分析,选择矿区范围内至少 5 个高等级控制点,在同一时段与基准站同步进行 GPS 静态相对定位观测,观测时间不少于 8 h。

2)采用 Gamit 软件进行高精度 GPS 网观测数据的处理,推求单基准站 1954 北京坐标系、1980 西安坐标系、兖矿新 54 矿区坐标系的坐标以及 WGS84 坐标系与 3 种坐标系之间的转换参数。

通过对测控资料分析,由兖矿东华地矿建设分公司测绘工程部于 2008 年 4 月至 5 月对兖州矿区平面控制网进行了全面改造,重新布设了兖州矿区三等 GPS 控制网。该工程启用了范家堂、岗山、寺下郝、周家庄等 5 点作为起算点,施测之前对起算点精度进行了检查,各点间边长相对中误差均满足二等网 1:120 000 的要求,可作为起算点使用。该工程布设了 91 个三角形,146 条边,施测三等 GPS 点 51 点。三等网边长最

大 14 213.7 m, 最小 1 587.5 m, 平均边长 5 290.0 m。最弱边为杨村煤矿北风井—杨村煤矿, 边长为 1 587.5 m, 相对误差为 1 : 463 392。平面系统为新 54 系平移后的矿区坐标系, 高程为拟合后 GPS 高程。

根据分析, 现有三等 GPS 控制点精度符合要求, 可以使用。控制点有鲍店煤矿、鲍店煤矿南风井、东滩煤矿、东滩煤矿北风井、南屯煤矿西风井、西章、杨村煤矿、杨村煤矿南风井、兴隆庄煤矿共计 9 点。经踏勘只有鲍店煤矿、东滩煤矿、南屯煤矿西风井、杨村煤矿南风井、兴隆庄煤矿、鲍店煤矿南风井 6 个点标识保存完好, 可以利用。在满足能够覆盖兖州矿区的前提下, 选择这 6 个点作为联测控制点, 其最大站间距为 12.1 km, 最小站间距 4.3 km, 布设的联测控制点的点位分布如图 1 所示, 采用同步环边连接 GPS 静态相对定位观测模式, 同步观测仪器台数不少于 6 台。

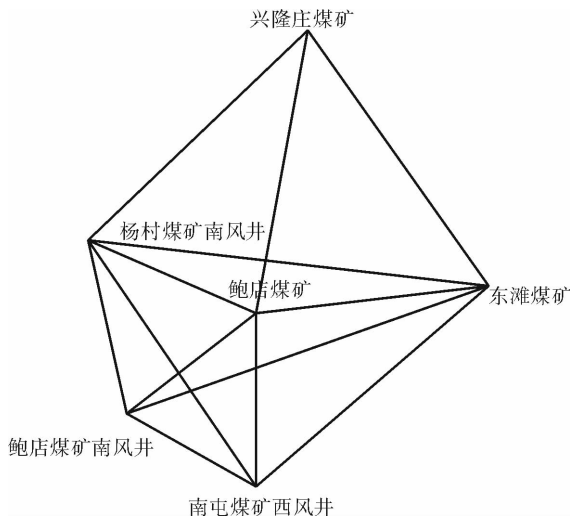


图 1 联测点布网图

Fig. 1 The layout map of the joint surveying points

每一个观测时段的观测数据应及时下载, 下载之后应立即将观测原始数据转换为 RINEX 格式文件, 并检查原始数据下载是否正确。数据质量检查采用 TEQC (Translate/Edit/Quality/Check) 软件进行检查。保证原始数据正确后, 采用 Gamit 软件处理高精度 GPS 网观测数据。通过使用 GPS 网络进行坐标联测, 就得到了单基站的高精度坐标和 WGS84 坐标系到矿区需求的各种坐标系的椭球转换的七参数, 保证了单基站为移动站提供正确的差分数据; 并可以通过解算的转换参数, 快速的将 WGS84 坐标转换到矿区需要的各种坐标系下的坐标。

2 单基站 CORS 系统在煤矿测量中的应用测试

为准确地检验系统的精度及稳定性, 便于系统的应用推广, 连续进行了一系列的应用测试, 主要包括以下内容。

2.1 已知控制点坐标检核

为了验证运用该基站进行动态 RTK 观测的外符合精度, 在基站周围选用了 5, 10, 20, 25 km 等范围内的十几个矿区控制点进行了动态 RTK 观测。相应距离内的控制点坐标外符合精度对比如表 1 所示。

由表 1 可见, 在距离基站 20 km 以外的控制点高程外符合精度较低、误差较大, 经实地踏勘认为是由于受矿区采动影响, 控制点发生了沉降变化。为了补充验证基于基站本身所进行的动态 RTK 观测精度的稳定性, 在十几个观测点中随机选取其中的 7 个点进行了动态 RTK 重复观测, 并将重复观测值与前次观测值进行了比对运算, 统计得到其内符合精度为 $m_x = 3$ mm, $m_y = 3$ mm, $m_z = 7$ mm。

表 1 动态 RTK 观测外符合精度对比表

Tab. 1 The accuracy contrast of RTK at different points

距基站 距离/km	检核点数	坐标中误差/cm		
		m_x	m_y	m_z
<5	3	0.7	0.9	2.9
5~10	4	0.7	1.2	2.7
10~20	3	0.9	0.7	6.4
20~30	3	2.4	1.4	7.2

通过以上的对比分析, 表明新建设完成的单基站 CORS 系统的动态 RTK 平面观测精度和高程观测精度均满足了设计的限差要求, 可为矿区 30 km 半径范围内的各类厘米级精度的测量任务提供实时、方便、快捷、高效、动态获取数据的手段, 将为兖矿集团测绘工作的现代化提供新的技术平台。

2.2 铁路桥沉降观测与分析

为了监测矿区某铁路桥受开采的影响程度,兖矿集团地质公司和鲍店煤矿地测中心运用经纬仪和水准仪的传统测量手段定期对该铁路桥进行了8次沉降观测,为了进行数据对比,同期也进行了3次动态RTK观测,观测对比结果如图2、图3、表2所示:动态RTK的观测成果与传统测量观测成果在平面位置上的差值在1 cm左右,而高程沉降也与实际相符,C7—C13号点沉降较大,其它各点较为平稳。这表明可以运用动态RTK手段进行铁路桥沉降变化的常规监测,仅在沉降活跃期可运用常规的精密观测手段进行铁路桥的沉降监测,这不仅可以大量节省人力物力,而且能够为快速发现铁路桥的沉降变化提供及时的数据资料。

2.3 村庄沉降观测与分析

为及时掌握村下采煤对村庄的影响,对某村庄进行了沉降观测,采用水

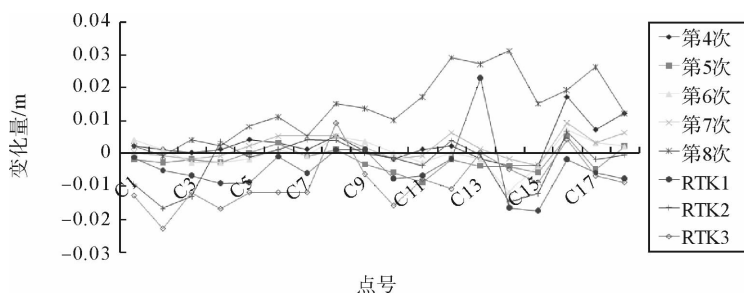


图2 X方向位移图

Fig. 2 The displacement along X direction

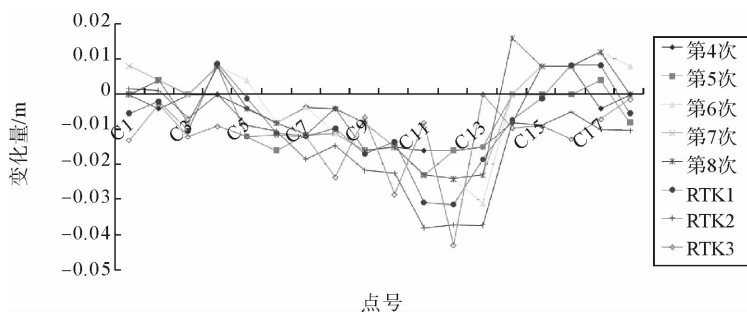


图3 Y方向位移图

Fig. 3 The displacement along Y direction

表2 高程观测对比值表

Tab. 2 The contrast of elevation observation values

点号	水准首次 观测均值	RTK1 大地高	RTK2 大地高	RTK3 大地高	$\Delta H1$	$\Delta H2$	$\Delta H3$
C1	47.736 50	37.355 3	37.338 8	37.340 8	-10.381 2	-10.397 7	-10.395 7
C2	47.775 35	37.384 9	37.378 1	37.388 8	-10.390 5	-10.397 3	-10.386 6
C3	47.796 35	37.410 3	37.396 9	37.394 8	-10.386 1	-10.399 5	-10.401 6
C4	47.808 85	37.421 9	37.419 9	37.402 6	-10.387 0	-10.389 0	-10.406 3
C5	47.804 70	37.429 0	37.407 1	37.408 9	-10.375 7	-10.397 6	-10.395 8
C6	47.809 90	37.419 6	37.415 3	37.403 9	-10.390 3	-10.394 6	-10.406 0
C7	47.819 20	37.436 1	37.429 3	37.422 3	-10.383 1	-10.389 9	-10.396 9
C8	47.823 80	37.454 1	37.433 7	37.416 0	-10.369 7	-10.390 1	-10.407 8
C9	47.834 70	37.444 9	37.447 5	37.431 1	-10.389 8	-10.387 2	-10.403 6
C10	47.835 20	37.447 6	37.449 7	37.444 2	-10.387 6	-10.385 5	-10.391 0
C11	47.835 20	37.462 5	37.414 8	37.433 5	-10.372 7	-10.420 4	-10.401 7
C12	47.813 20	37.431 7	37.416 0	37.417 7	-10.381 5	-10.397 2	-10.395 5
C13	47.803 20	37.408 9	37.429 3	37.425 7	-10.394 3	-10.373 9	-10.377 5
C14	47.801 70	37.427 5	37.424 8	37.419 6	-10.374 2	-10.376 9	-10.382 1
C15	47.762 05	37.380 4	37.375 2	37.380 0	-10.381 7	-10.386 9	-10.382 1
C16	47.720 55	37.347 2	37.336 9	37.342 3	-10.373 4	-10.383 7	-10.378 3
C17	47.665 20	37.300 1	37.292 7	37.284 1	-10.365 1	-10.372 5	-10.381 1
C18	47.553 25	37.181 6	37.170 1	37.177 6	-10.371 7	-10.383 2	-10.375 7

准测量连续观测了 3 个月,共测得 26 期数据。在村庄塌陷的活跃期,为测试动态 RTK 进行村庄沉降观测的适用性,与水准测量一起进行了两期同期观测,观测结果如图 4 所示。对比结果表明,采用动态 RTK 手段进行沉降活跃期的沉降观测可与传统测量方式保持精度一致的观测结果,但在数据采集效率方面则大大高于传统方式,在矿区快速沉降信息的动态高效获取方面具有难以比拟的优势,可为矿区安全生产提供及时有效的数据支持。

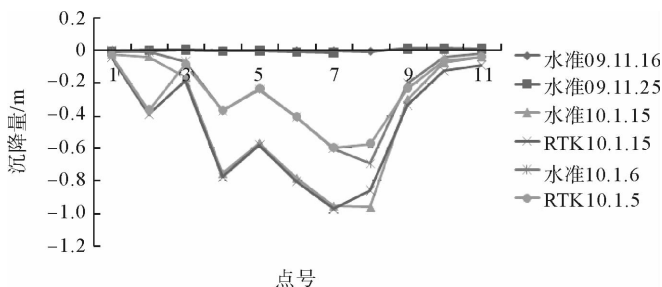


图 4 村庄沉降观测对比分析图

Fig. 4 The comparisons of village subsidence observations

3 结束语

对煤矿单基站 CORS 系统建设过程中的外业踏勘、基准站选址、观测墩施工、基准站软硬件设备安装等的要求进行了系统论述,选用兖州矿区三等 GPS 控制网的 6 个已知点进行了坐标联测控制网的设计与实测,并利用 Gamit 软件进行了坐标转换参数的解算。

运用动态 RTK 手段,通过对已知控制点的坐标外符合精度检核、铁路桥沉降变化的连续观测与比较,以及村庄沉降观测与分析表明,兖矿单基站 CORS 系统的各项技术指标均优于设计要求,可满足高精度、连续、动态、实时的矿区各类形变信息的空间定位服务要求。兖矿单基站的建成,将为矿区的野外测量、地面沉降监测以及道路和铁路的监测提供有效的技术保障,可以减少野外工作时间,提高测绘效率,为矿山的可持续发展提供及时、准确的空间数据支持。

参考文献:

[1]刘经南,刘晖.连续运行卫星定位服务系统:城市空间数据的基础设施[J].武汉大学学报:信息科学版,2003,28(3):259-264.
LIU Jingnan,LIU Hui. Continuous operational reference system;Infrastructure of urban spatial data[J]. Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University,2003,28(3):259-264.

[2]黄俊华,陈文森.连续运行卫星定位综合服务系统建设与应用[M].北京:科学出版社,2009.

[3]柏柳,肖鸾,胡友健.CORS的精度及其稳定性研究[J].河南理工大学学报,2005,24(4):283-288.
BAI Liu,XIAO Luan,HU Youjian. Research on the precision and stability of the solution of GPS CORS[J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology,2005,24(4):283-288.

[4]刘晖,时晓燕,杨沾吉,等.深圳市连续运行卫星定位服务系统的建立与试验[J].测绘通报,2003(9):33-36.
LIU Hui,SHI Xiaoyan,YANG Zhanji,et al. The establishment and experiments of Shenzhen continuous operational reference system[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2003(9):33-36.

[5]林泉.福建连续运行卫星定位服务系统建设原则与关键环节[J].测绘与空间地理信息,2009,32(4):79-81.
LIN Quan. The construction principle and key link of Fujian continuous operational reference system[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2009,32(4):79-81.

[6]张恒琛.南方单基站 CORS 在校园平面控制网中的应用[J].辽宁工程技术大学学报,2010,29(2):37-39.
ZHANG Hengjing. Application of south single-base CORS in horizontal control network reconstruction in campus practice [J]. Journal of Liaoning Technical University,2010,29(2):37-39.