

基于 GPS 的兴隆庄煤矿的近井网建设与十字中线恢复

李国华¹, 丁仕军¹, 岳尊彩², 高明章², 张艳峰¹

(1. 山东省国土测绘院, 山东 济南 250013; 2. 兖矿集团兴隆庄煤矿地测中心, 山东 兖州 272102)

摘要:兴隆庄煤矿近井网和井筒十字中线破坏严重, 为了保障煤矿正常的生产需求, 利用 GPS 技术建立了 D 级 GPS 近井网, 利用三等水准测量确定了近井网各 GPS 点的正常高程, 并利用高精度全站仪恢复了井筒十字中线, 进行了垂直度检测, 埋设了基桩点。

关键词:近井网建设; GPS; 十字中线; 兴隆庄煤矿

中图分类号: P208

文献标识码: B

兖矿集团兴隆庄煤矿是我国自行设计、建设的第一座年产 300 万 t 的大型现代化矿井, 于 1975 年 2 月 20 日动工兴建, 1981 年 12 月 21 日正式投产。煤矿采用立井开拓方式, 工业广场内布置有主、副 2 个井筒。在建井初期, 建立了完整的主、副 2 个井筒的十字中线控制系统, 点位均建立在地面。随着矿井的建设和发展, 工业广场的各类建筑物也依次竣工, 早期建立的控制网点相继遭受破坏, 十字中线基点所剩不多, 且彼此间互不通视。为了满足矿井提升系统正常运转, 1996 年 7 月由兖矿(集团)地质工程公司测绘公司恢复了主、副井筒十字中线, 十字中线点多设在建筑物上。近几年工业广场的建设和地面施工, 使十字中线基点多数遭到破坏。为此, 需要对主、副井十字中线基点进行全面恢复和建设。

1 GPS 近井网建设

1.1 平面控制网

与传统的测量手段相比, GPS 具有测量精度高、选点灵活、布网成本低、可全天候作业、观测时间短、不受通视条件限制、数据处理方便等优点^[1]。兴隆庄煤矿工业广场上各类建筑物已经竣工, 如果按照常规的测量手段施测, 会受到通视条件的限制, 而且部分控制点间距相差比较大, 影响测量的精度, 需要增加人力和物力的投入, 因此选用 GPS 建设近井

平面控制网。

1.1.1 作业技术依据坐标系统及起算数据

GPS 作业依据《全球定位系统城市测量技术规程》和《全球定位系统(GPS)测量规范》, 平面坐标采用新 1954 北京坐标系平移后的矿区坐标系, 高斯-克吕格正形投影统一 3°分带, 中央子午线为东经 117°的平面直角坐标成果。起算数据采用兴隆庄北、东风井和兴隆庄煤矿 3 个已知点。

1.1.2 网形设计和布测

该次布设的 D 级 GPS 控制网, 除 3 个已知点外, 又使用部分原十字中线点作为控制点, 另外还增设了文化宫、综合楼、救护队 3 个控制点, 且每点至少有 1 个通视方向(图 1)。

1.1.3 外业观测

外业观测采用 4 台 TOPCON Hiper GD GPS 接收机, 仪器标称精度 $3 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times D$, 采用经典静态相对定位模式, 同步观测时间在 60 min 以上。

1.1.4 基线解算与网平差

按静态相对定位模式观测的 GPS 基线向量, 采用 GPS-ADJ 南方测绘数据处理软件进行解算, 之后进行网平差。首先进行三维无约束平差, 然后进行二维约束平差。

* 收稿日期: 2011-02-16; 修订日期: 2011-06-07; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 李国华(1980—), 男, 山东鄄城人, 工程师, 主要从事土地调查和测绘技术工作; E-mail: lghwww@126.com。

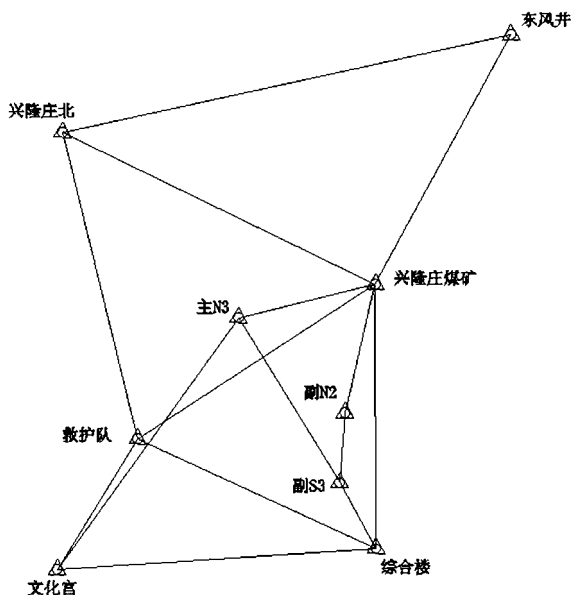


图 1 兴隆庄煤矿十字线恢复 GPS 控制网图

GPS 网基线向量解算使用南方测绘公司的 GPS-ADJ 软件,输入观测数据后,对同步观测基线进行组网。首先对合格基线解算的限差进行设定(方差比>10,中误差<0.04 m,高度截止角>15°,历元间隔 10 s,粗差容忍系数 3.5,最小历元数为 10,模糊度分解方法采用 LAMBDA 法,观测组合方案采用自动选择),系统自动进行基线的解算,对首次解算后的不合格基线,查看观测数据,通过修改起始历元数,高度截止角、开窗删星等技术处理重新解算,对进行技术处理后仍不合格的基线外业进行了重测。

1.1.1.5 环闭合差

(1)GPS-ADJ 通过提取基线文件自动组网,计算同步环、异步环和重复基线闭合差。共生成 30 条合格基线。共组成 85 个闭合环,其中同步环 34 个,异步环 51 个,重复基线 19 条。

(2)异步环检验在整个 GPS 网中选取一组完全的独立基线构成闭合环,各独立环的坐标分量闭合差均符合下式计算规定的限差^[2]:

$$W_x \leq 2 \sqrt{n\sigma}; \quad W_y \leq 2 \sqrt{n\sigma}; \quad W_z \leq 2 \sqrt{n\sigma}$$

式中:W_x—独立环 x 坐标分量闭合差;W_y—独立环 y 坐标分量闭合差;W_z—独立环 z 坐标分量闭合差。

全长闭合差均符合下式的计算规定的限差:

$$W \leq 2 \sqrt{3n\sigma}$$

式中:n—独立闭合环的边数;σ—相应级别规定的精度。

独立环闭合差 W 为:

$$W = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}$$

同步环坐标分量闭合差最大的环路为兴隆庄北—东风井—兴隆庄煤矿,异步环坐标分量闭合差最大的环路为兴隆庄北—救护队—兴隆庄煤矿,精度如表 1 所示。

表 1 精度误差统计

环	环路总长(m)	相对误差(10 ⁻⁶)	x 闭合差(mm)	y 闭合差(mm)	z 闭合差(mm)	边长闭合差(mm)	坐标分量闭合差限差(mm)	位置闭合差限差(mm)
同步	9284.504	0.7	-3.047	5.696	0.814	6.511	±21.72	±37.62
异步	6.78020	0.8	3.964	1.371	3.832	5.682	±240.55	±416.164

(3)重复基线的长度较差,利用下式进行计算:

$$ds \leq 2 \sqrt{2}\sigma$$

各级 GPS 网相邻点弦长精度用下式表示:

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2}$$

其中:a 为固定误差(mm),b 为比例系数(10⁻⁶),d 为相邻点间距离(km)。D 级 GPS 观测的距离中误差及相应的 a,b 之值见表 2。D 级 GPS 观测的距离中误差及相应的 a,b 之值要求。

表 2 D 级 GPS 观测的距离中误差限差

级别	a(mm)	b(10 ⁻⁶)
D 级	≤10	≤10

观测过程中及时对同步环闭合差,非同步多边形环闭合差以及重复边的高差进行检查计算,环闭合差皆规范要求,重复基线闭合差绝对值最大的基线是文化宫—兴隆庄煤矿。精度统计如表 3 所示,基线处理各项差值符合要求。

表 3 重复基线闭合差统计

基线名	基线长度(m)	相对误差(10 ⁻⁶)	X 闭合差(mm)	Y 闭合差(mm)	Z 闭合差(mm)	中误差(mm)	长度较差限差(mm)
文化宫—兴隆庄煤矿	862.645	0.8	1	1	1	5	±64

1.1.1.6 WGS84 坐标系下经典自由网平差

GPS 基线向量网的平差就是以 GPS 基线向量为观测值,以其方差阵之逆阵为权,进行平差计算^[3]。三维约束平差采用 WGS-84 椭球参数,参考框架为 ITRF97,利用各已知点的大地高和空间直角坐标进行三维约束平差,从而向二维约束平差

提供一种经过多种检验的观测基线数据。基线总数为 30 条。

三维无约束平差中,基线向量的改正数绝对值计算公式如下:

$$V_{\Delta X} \leq 3\sigma; \quad V_{\Delta Y} \leq 3\sigma; \quad V_{\Delta Z} \leq 3\sigma$$

三维自由网平差单位权中误差为 ±0.025 777 m。三维约束平差基线向量改正数绝对值最大及最大基线相对误差的基线精度统计见表 4,基线向量改正数绝对值最大。最弱点各项精度统计见表 5。

表 4 三维约束平差基线向量改正数统计

基线名	基线长度 (m)	$V_{\Delta x}$ (mm)	$V_{\Delta y}$ (mm)	$V_{\Delta z}$ (mm)	限差:3σ (mm)	相对 误差
主 N2-副 S3	246.4	-2.634	2.932	2.808	±70.2	1/139160

表 5 最弱点各项精度统计

点号	X 偏移(mm)	Y 偏移(mm)	Z 偏移(mm)
XINGLOM	1.276	1.859	1.296

1.1.7 二维网约束平差

二维约束平差是对经过了预处理和三维约束平差的 GPS 向量网中各点在 3 个固定点:兴隆庄北一兴隆庄煤矿一东风井约束下的平差计算,采用七参数进行转换。单位权中误差为 ±0.002 97 m。最弱点及最大 X,Y 误差统计见表 6。

表 6 最弱点及最大 X,Y 误差统计

最弱点				最大 X 误差		最大 Y 误差	
点号	点位误差(mm)	X 误差(mm)	Y 误差(mm)	点号	误差值(mm)	点号	误差值(mm)
救护队	6.65	2.40	4.14	救护队	0.8	救护队	4.14

1.2 高程控制网

高程控制测量采用 1956 年黄海高程系统,首先对测区附近的两个国家二等水准点进行检测,经检测二等水准点符合要求,可以作为起算数据,然后根据近井网要求,布设三等水准测量,按照三等水准测量的技术要求施测。该次观测采用 TOPCON DL-101C 电子水准仪,使用配套的钢瓦尺,自动读数记录,每次观测前进行 i 角检验和校正。

水准路线充分利用二等水准点,布设附和路线。使用程家庄车站、兴隆矿水和凉水井作为已知点。在连续各测站上安置水准仪的三脚架时,应使其中两脚与水准路线的方向平行,而第三脚轮换置于路

线方向的左侧与右侧。在观测兴隆基上至兴隆山或兴盛园段时,水准路线需要经过涵洞,由于水准仪对可见光的要求,需要缩短测站间距,并使用手电筒照射钢钢尺。每次观测完后记录高差和路线长度,观测限差超限和往返测高差不符值超限的测段需进行重测。外业观测完成后,对观测资料进行严格的检查,确认无误、各项限差都符合要求后,进行水准测量的概算,由两人独立编算外业高差和概略高程表,计算水准标尺长度误差改正数、正常水准面不平行的改正数、水准路线(或环线)闭合差的改正数,利用间接平差计算待定点高程。

水准网平差计算采用由武汉测绘科技大学张正禄等编写的测量控制网数据处理通用软件包科达普施平差程序,计算路线的高差,水准环路的闭合差,测量点高程近似值,测量点高程平差值,控制点的高程平差值等。水准测量精度评定的各项指标按照如下公式进行计算^[2]。

$$\text{单位权中误差: } m_0 = \sigma'_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{n-1}}$$

$$\text{结点高程中误差: } m_{H_i} = m_0 \sqrt{Q_{ii}}$$

$$\text{各水准路线高程中误差: } m_{F_{ij}} = m_0 \sqrt{Q_{F_{ij}}}$$

兴隆庄煤矿近井网建设以及十字中线恢复项目三等水准网精度评定如下:平差后单位权中误差为 ±0.843 mm/km,限差为 ±10 mm/km,最弱点高程中误差最大为 0.7 mm,限差为 20 mm,精度符合规范设计要求。

2 十字中线点的恢复及垂直度检测

2.1 十字中线点的恢复

十字中线点的恢复严格按照《工程测量规范》和《煤矿测量规程》的技术要求,遵守与原十字中线系统完全一致的原则,采用局部标定和逐渐趋近相结合的综合方法进行标定^[4]。该次恢复首先检核仍保存完好的原十字中线点是否符合要求,对于符合要求的,可以作为控制系统使用。然后利用计算机设计出调整后符合要求的十字中线点和新的十字中线点。利用 TOPCON GTS-721 全站仪标定出所有十字中线点(图 2)。标定时,首先将仪器安置在基准点上,标出同侧的所有通视基点,标定后对标定位置进行观测,记录坐标,与设计坐标进行比对,对于误差超限的需要重新进行设计标定。然后再标定

置埋设铜板,并利用水泥进行固定,等水泥风干后,在铜板上进行精确标定,在标定时需用仪器正、倒镜反复几次,然后在铜板上标定的点位钻出 1~3 mm 的小孔,在点位旁埋设标牌^[5,6]。

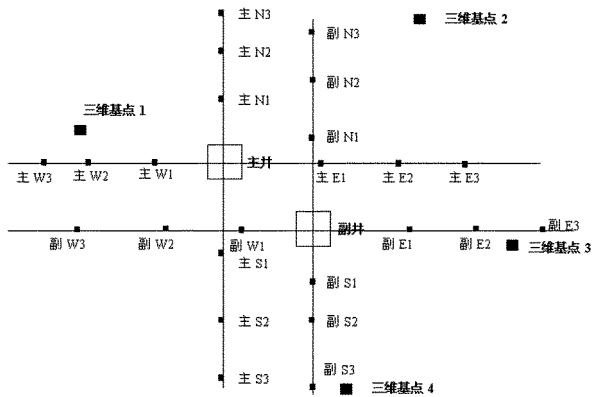


图 2 十字中线及三维基点布置示意图

2.2 垂直度检测

在平差结果的基础上,利用各十字线基点的平差后坐标值进行十字中线垂直度与重合度的解算,最终各项技术指标均满足《煤矿测量规程》的要求。

3 结语

井筒十字中线是煤矿地面设施建设和保持设施正常运营的最重要的基准^[7]。井筒十字中线建立后,随着煤矿地面和井下建设的进行,就会或多或少地会有些十字中线点产生影响或者被破坏,为此需要定期对煤矿十字中线井下复合和恢复工作,鉴于

以下原因:①井筒十字中线建立后主要用于井架、天轮、绞车房等设施标定等;②随着电子技术的发展,特别是测绘仪器由传统的光学仪器发展到现在数字仪器,数据采集手段和成果形式发生了很大变化;③应用现代 GPS 技术可以建立高精度的动态监测基准。所以进行十字中线恢复工作是十分必要的。随着 GPS 等现代信息技术的应用,煤矿十字中线数字化(虚拟化)和矿山动态监测将成为发展的趋势,特别是利用动态 GPS 基准点对井架、天轮和绞车房内设施等进行实时动态监测,将对矿井的安全生产和信息化建设起到巨大的推动作用^[8]。

参考文献:

- [1] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2010.
- [2] 煤矿测量规程[S]. 2010.
- [3] 袁会,李建军,张群超. 赵家寨煤矿主井十字中线的恢复与重建[J]. 中州煤炭,2009,(4):64-65,96.
- [4] 杨书大,卢秀山,谷守周,畅学民. 工业测量系统的矿井十字中线恢复中的应用[J]. 矿山测量,2010,(1):6,70-73.
- [5] 朱俊峰,焦利伟,蒋学正,吴桂桥. 煤矿主副井筒十字中线的恢复与重建[J]. 工业技术,2010,(9):70-74.
- [6] 张惠武. 立井井筒十字中心线标定方法交流[J]. 矿山测量,2007,(2):23-24.
- [7] 杜明清,赵悦然,常万国,李银旗,赵生法. 鹤壁四矿主井十字线恢复的测量方法[J]. 中州煤炭,1999,(4):18-19.
- [8] 高清龙. 一五一煤矿一井近井网的布设[J]. 煤炭技术,2010,(7):139-143.

The Near Well Network Construction and Cross Center Line Recovery of Xinglongzhuang Coal Mine Based on GPS Technology

LI Guohua¹, DING Shijun¹, YUE Zuncai², GAO Mingzhang², ZHANG Yanfeng¹

(1. Shandong Surveying and Mapping Institute of Land and Resources, Shandong Jinan 250013, China; 2. Geological Surveying Center of Xinglongzhuang Coal Mine in Yanzhou Coal Mining Group, Shandong Yanzhou 272102, China)

Abstract: The near well network and the cross line in Xinglongzhuang coal mine have been destroyed seriously. In order to meet the normal production needs of the coal mine, D degree GPS near well network has been set up based on GPS technology, and normal elevation of GPS points in the near well network have been determined by using the third order leveling surveying. The cross line of the shaft center has been restored by using high precision total station, the vertical degree been detected, and the foundation pile points been buried as well.

Key words: Near well network construction; GPS (global positioning system); cross line; Xinglongzhuang coal mine