

Elevation Datum Establishment and Optimization of Thick Overburden Mining Area

Dehua Wen¹, Yulu Ma¹, Meng Chen², Tao Zhang²

¹Shanghai Datun Energy Resources Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu

²Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

Email: wendehua111@sina.com, hawk851@163.com, nengtuyi@163.com, TaoZHANG9106@163.com

Received: Nov. 22nd, 2018; accepted: Dec. 5th, 2018; published: Dec. 12th, 2018

Abstract

In view of the condition of the thick overburden mining area that is prone to subsidence deformation, the method of establishing the elevation control system of mining area is put forward. Based on an example, this paper expounds the design principle of the altitude control network of the mining areas, draws up the optimization plan, and evaluates the accuracy of the optimization plan.

Keywords

Thick Overburden Mining Area, Elevation Control System, Baseline Network Establishment, Optimization Design, Accuracy Evaluation

厚表土层矿区高程基准建立与优化

温德华¹, 马玉璐¹, 陈 梦², 张 涛²

¹上海大屯能源股份有限公司, 江苏 徐州

²山东科技大学, 山东 青岛

Email: wendehua111@sina.com, hawk851@163.com, nengtuyi@163.com, TaoZHANG9106@163.com

收稿日期: 2018年11月22日; 录用日期: 2018年12月5日; 发布日期: 2018年12月12日

摘 要

针对厚表土层矿区易沉降变形的状况, 提出建立矿区高程控制系统的思路; 结合某厚表土层矿区高层基

准网建立的实践, 阐述了其高程基准网的设计原则, 拟定出矿区高程基准网的优化方案, 并进行了精度评估。

关键词

厚表土层矿区, 高程控制系统, 基准网建立, 优化设计, 精度评估

Copyright © 2019 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

1. 引言

高程基准是矿区高程控制测量的基准, 关乎矿区的建设、生产和运营安全[1]。作为矿区, 特别是厚表土层矿区, 其沉降速度快、变形大, 高程基准不稳定, 会严重影响矿区工程建设、安全生产和测绘工作的正常实施[2][3]。鉴于此, 许多矿区相继建立矿区独立高程控制系统, 并关联国家高程基准, 采取有效措施, 花费大量经费予以维护, 取得了一定的效果, 但仍有不尽如人意之处, 如高程基准点严重沉降或破坏、原有水准路线改变等问题[4]。随着矿区经济发展和建设需要, 对矿区原有高程基准网进行维护和更新成为必要[5][6]。本文针对某矿区高程基准网的建立与维护, 提出其相关方案设计, 并对其进行优化研究。

2. 相关设计及测量要求

进行矿区高程基准网的设计, 应合理利用已有的数据资料, 充分考虑矿区发展状况及应用目的, 其布设须满足国家水准测量相关规范。

1) 精度设计

选择矿区附近高等级国家水准点, 作为起算数据, 纳入到矿区独立高程系统中, 使基准网具有更高整体精度。国家水准点等级应不低于矿区基准网设计要求。

2) 密度设计

矿区内点位密度尽量满足各种测量对高程基准的距离要求, 针对该矿区地形条件, 任何地方到基准点的距离尽量不超过 3 km。

3) 结构强度设计

基准点位置的选择充分考虑网形结构, 符合长效性和可靠性, 注意观测路线优化。

4) 点位埋设设计

充分考虑矿区地形、地质、建筑物等条件, 点位设置应符合: 易于保存, 便于使用, 交通方便。

根据《国家一、二等水准测量规范》的要求, 每完成一条水准路线都应对其进行各项限差的计算并进行精度评定。测量和检测的各项评价指标如下[7]:

1) 二等水准测量往返测不符值 Δ 应满足:

$$\Delta < 4\sqrt{L} \quad (1)$$

其中, L 为水准路线的长度, 单位 km。

2) 检测已知水准点高差应满足:

$$M_{\square} < 6\sqrt{r} \quad (2)$$

其中, r 为测段距离, 单位 km。

3) 水准路线的偶然中误差 m_{Δ} 应满足:

$$m_{\Delta} = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta/r]}{4n}} < 1 \quad (3)$$

其中, Δ 为往返测不符值, n 为测段数, r 为测段距离, 单位 km。

3. 水准网优化设计

收集矿区已有资料, 充分考虑矿区采矿工程、地面建设、市政工程等需求, 合理选择网点位置, 并将周围更多国家高等级水准点纳入到控制网中, 提高整体精度。水准路线的布设, 须舍弃旧有已破坏、不稳定的路线, 适应矿区公路和农村道路建设现状, 在保证水准路线稳定性的同时更加节省人力物力。

在甲方提供的矿区设计图纸上选择水准点, 沿矿区稳定道路布设水准路线。量取水准点之间的距离 S 参与定权, 确定观测值的权阵 P 。根据间接平差原理, 列出观测值误差方程, 求解待定高程的协因数阵, 从而计算各个水准点高程中误差。通过设定限值, 若结果超限或未达到理想的精度, 则删减水准点或改变水准路线, 直至确定出最优方案。这是一个以精度为目标函数的一类或三类设计问题, 即确定水准网形优化或加密优化[8] [9]。

水准网优化设计步骤如下[10]:

- 1) 选取水准网点, 以其高程作为参数 X ;
- 2) 量取 S 参与定权, 确定权阵 P ;
- 3) 依据间接平差原理, 列误差方程: $V = B\hat{x} - l$;
- 4) 在 $V^T P V = \min$ 条件下, 组法方程 $N\hat{x} = W$, 求解协因数阵 $Q_{\hat{x}\hat{x}} = N^{-1}$;
- 5) 取单位权中误差为 $\sigma_0 = 2 \text{ mm}$ (或 3 mm), 利用公式 $\sigma_{\hat{x}_i} = \sigma_0 \sqrt{Q_{\hat{x}_i\hat{x}_i}}$ 可得各点的高程中误差;
- 6) 设置高程中误差限值, 与最弱点中误差比较, 若结果超限则重复上述步骤, 直到定出最优方案为止。

4. 工程实例

该矿区属于平原地区, 水系发达, 交通便利, 四个主要矿井呈线形南北分布, 生活办公区域与各矿井呈扇形振布。经过多年的沉降观测, 发现矿区整体呈现持续快速沉降状态。矿区高程控制系统始建于 1970 年, 共经过初建、改建和检、复测期三个阶段, 建立了以矿区三个基岩水准点为起算数据的三等水准网。该系统由于建造时间久远, 起算基准不统一, 水准路线变化大和水准点破坏严重等原因, 充分考虑各矿井区域分布, 现需重新对矿区高程基准网进行建立。拟增设一个基岩点, 重新规划布网路线, 适应矿区发展现状。矿区四个基岩点: 1 个在矿中心区某学校内(BMJ1), 3 个在三个矿井工业广场上(BMJ2~BMJ4, BMJ4 为拟新建), 都便于保存与维护, 其位置分布见图 1。

4.1. 确定高程基准的引点数据

考虑到矿区各项建设都离不开国家水准成果, 将其纳入到矿区独立高程控制网中加以利用, 可以提高整个水准网的整体精度和功能性, 便于矿区基准网的检、复测。根据收集的水准资料, 得知矿区附近有国家二等水准路线, 并实地踏勘获得 4 个国家二等水准点(BMIII1~BMIII4)。综合考虑水准点高程是否已知、点位保存完整情况, 对 4 个水准点的稳定性按二等水准测量方式进行检测, 确定较为稳定的水准点作为矿区高程基准的引点。依据公式(1)~(3)对观测数据进行精度评定, 计算结果见表 1。

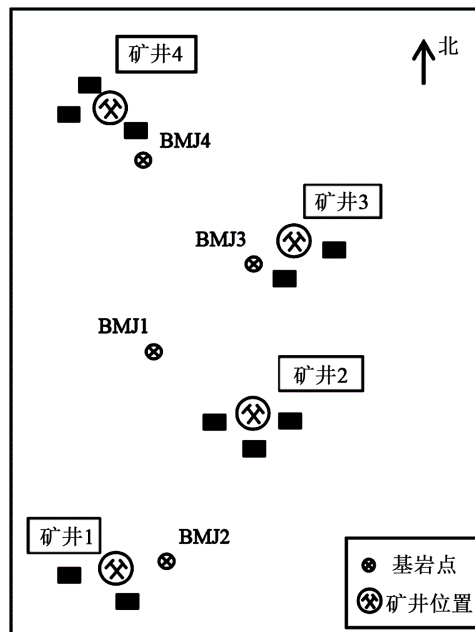


Figure 1. Distribution of bedrock leveling points
图 1. 基岩水准点位置分布

Table 1. Accuracy evaluation results of national second order leveling points (unit: mm)
表 1. 国家二等水准点精度评定结果(单位: mm)

| 起终点 | 距离 L (km) | 往返不符值 Δ | 测量限差 | 偶然中误差 m_{Δ} |
|-------------|-------------|----------------|-------|--------------------|
| BMII1~BMII2 | 7.1 | 4.29 | 10.66 | 0.67 |
| BMII2~BMII3 | 4.9 | 0.54 | 8.85 | 0.51 |
| BMII3~BMII4 | 5.6 | 6.70 | 9.47 | 0.64 |
| BMII1~BMII4 | 17.6 | 11.53 | 16.78 | 0.62 |

将计算结果与已知数据进行比较得到表 2。

Table 2. Detection results of altitude difference of national second order leveling points (unit: mm)
表 2. 国家二等水准点高差检测结果(单位: mm)

| 起终点 | 距离(km) | 实测高差(m) | 已知高差(m) | 不符值 | 检测限差 |
|-------------|--------|---------|---------|-------|-------|
| BMII1~BMII2 | 7.1 | -0.0261 | 0.023 | 49.1 | 15.99 |
| BMII1~BMII3 | 12.0 | 0.1580 | 0.197 | 39.0 | 20.78 |
| BMII1~BMII4 | 17.6 | 2.1283 | 2.137 | 8.7 | 25.17 |
| BMII2~BMII3 | 4.9 | 0.1841 | 0.174 | -10.1 | 13.28 |
| BMII2~BMII4 | 10.5 | 2.1544 | 2.114 | -40.4 | 19.44 |
| BMII3~BMII4 | 5.6 | 1.9704 | 1.940 | -30.4 | 14.20 |

由表 1、表 2 可知, 各测段高差往返测量不符值均在限差范围内, 偶然中误差在 0.5 mm~0.7 mm 内, 测量结果满足二等测量要求, 准确可靠, 具有较高测量精度; 检测的 4 个水准点只有 BMII1 与 BMII4 之间和 BMII2 与 BMII3 之间符合限差的要求。

考虑 BM11 为基岩点，离矿区较近，且保存良好，可以选择其为引点数据。将 BM11 按二等水准测量联测到 BMJ1，可以得到 BMJ1 国家水准高程。

4.2. 矿区原有基岩点稳定性检测

充分考虑建网的经济性，保留原基岩点 BMJ1~BMJ3，为保证新建高程系统的稳定，需要对矿区原有 3 个基岩点进行检、联测，仍按照国家二等水准测量进行。水准测量精度评定结果见表 3，实测值与已知值比较如表 4 所示。

Table 3. Accuracy evaluation results of the bedrock leveling points of mining area (unit: mm)

表 3. 矿区基岩点精度评定结果(单位: mm)

| 起终点 | 距离 L (km) | 往返不符值 Δ | 测量限差 | 偶然中误差 m_{Δ} |
|-----------|-------------|----------------|-------|--------------------|
| BMJ1~BMJ2 | 10.2 | 1.13 | 12.77 | 0.85 |
| BMJ2~BMJ3 | 11.1 | 7.55 | 13.33 | 0.59 |
| BMJ1~BMJ3 | 21.3 | 8.60 | 18.46 | 0.74 |

Table 4. Detection results of altitude difference of the bedrock leveling points of mining area (unit: mm)

表 4. 矿区基岩点高差检测结果(单位: mm)

| 起终点 | 距离(km) | 实测高差(m) | 已知高差(m) | 不符值 | 检测限差 |
|-----------|--------|---------|---------|-------|-------|
| BMJ1~BMJ2 | 10.2 | 0.2676 | 0.274 | 6.4 | 19.16 |
| BMJ2~BMJ3 | 11.1 | -0.2623 | -0.280 | -17.7 | 19.99 |
| BMJ1~BMJ3 | 21.3 | 0.0053 | -0.006 | -11.3 | 27.69 |

分析上表可知：

- 1) 矿区原三个基岩水准点之间高差都符合限差的要求，偶然中误差较小，水准测量具有较高精度；
- 2) 基岩点 BMJ1 位于矿中心区，点位保护完好，以其作为矿区高程系统的起算点是合理的，在平差时可以有效地控制误差积累；
- 3) 此次基岩点高差测量值与已知高差差异较小，满足检测限差要求。综合考虑基岩点保存情况和整个矿区沉降趋势，可以认为：矿区三个基岩水准点是稳定的。

4.3. 矿区基准网方案设计

矿区原基准网建立时间久远，并经历多次改建，至今保存二等基岩水准点 3 个，三等水准点 54 个，总路线长度约 98 公里，整网有 8 个闭合环组成。可以对原基准网按水准网优化设计进行精度评估。

现充分尊重原有水准网建设进行新网的设计，水准路线上，剔除已破坏的农村道路，尽量选择硬质新建公路布设水准网路线；水准点选择，应适应矿区经济建设和四个矿井均衡发展，在矿井 4 的工业广场上新建一个基岩点 BMJ4，矿区重点建设区域新增水准点 12 个，以满足建设要求。旧网、新网各项指标对比如表 5。

Table 5. Comparison of design indexes of old and new networks

表 5. 旧网、新网设计指标对比

| 网型设计 | 最弱点中误差 σ_i (mm) | 多余观测 | 路线长度(km) | 布设新点 | 闭合环 | 基岩点 |
|------|------------------------|------|----------|------|-----|-----|
| 旧网 | 8.4 | 10 | 98 | 0 | 8 | 3 |
| 新网 | 5.2 | 14 | 107 | 12 | 11 | 4 |

由表 5 可以看出:

1) 从设计精度考虑, 新网相对旧网, 最弱点中误差减小 3.2 mm, 基准网的总体精度得以提高, 能满足更高的设计要求;

2) 新网闭合环由 8 个增加到 11 个, 多余观测数增加, 提高了整个控制网的可靠性, 并便于水准网后期的检、复测;

3) 新网基岩点增加 1 个, 在待建设区域新增水准点 12 个, 虽然导致路线长度有所增长, 但能更好适应各矿井均衡发展、满足矿区建设要求。

综合上述指标, 得出: 矿区高程基准网的设计方案具有网型优化、精度高、可靠性强且经济合理的特点, 能满足规划设计、实际建立和使用要求。

5. 结束语

本文结合一厚表土层矿区高程基准建立的实践, 详细介绍了矿区基准网建立流程, 并对设计的基准网从精度、可靠性、经济性等方面进行评估, 得到了满足工程需要的设计方案。并针对矿区高程基准网建立与维护, 提出以下几点建议:

1) 从长远考虑, 厚表土层矿区必须建立基岩高程基准网, 且高程基准网点应与国家高等级水准点衔接, 以便保持高程系统的更新;

2) 建立好高程基准网的复测长效机制, 制定出合理、科学的观测方案、观测周期和衔接措施, 确保基准点高程系统更新和高差改正;

3) 鉴于 GNSS 广泛应用于矿区生产和安全, 需建立高程基准点高程异常值系统, 以便于矿区 GNSS 正常高测量应用。

参考文献

- [1] 郑文华. 地下工程测量[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [2] 岳建平, 方露. 城市地面沉降监控技术研究进展[J]. 测绘通报, 2008(3): 1-4.
- [3] 程剑刚, 田文革. 独立高程控制网在沉降区长周期工程建设中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(1): 212-214.
- [4] 陈远新, 黄小明. 温州城市新高程基准建立的实践与思考[J]. 现代测绘, 2007(1): 24-26.
- [5] 刘韶军, 易致礼. 市政工程中的高程控制解决方案[J]. 北京测绘, 2010(2): 61-62.
- [6] 李建平, 吕豆豆, 宗婷婷, 张屈. 轨道高程控制网优化设计及应用[J]. 测绘科学, 2014, 39(9): 117-120.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 12897-2006 国家一、二等水准测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [8] 蒋诗洋. 佛山市二等水准网的优化设计[J]. 辽宁科技学院学报, 2006(4): 55-56.
- [9] 于志龙, 刘扬胜, 陈兰伟. 矿区三等高程控制网优化设计[J]. 矿山测量, 2014(1): 37-38.
- [10] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-549X，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：gst@hanspub.org