

# Application of CORS-RTK in Coal Mine Rock Movement Observation

Maohu Tian<sup>1</sup>, Hongtao Yang<sup>1</sup>, Chuanke Sui<sup>1</sup>, Yong Wang<sup>1</sup>, Weiwei Hou<sup>1</sup>, Tao Zhang<sup>2</sup>, Meng Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shandong Xinhe Mining Corporation Limited, Jining Shandong

<sup>2</sup>Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong  
Email: taozhang9106@163.com

Received: Oct. 3<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Oct. 18<sup>th</sup>, 2018; published: Oct. 25<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

CORS-RTK technology has been widely used in coal mine rock-moving observations, especially in the settlement observation. Combining with the deficiency of CORS-RTK, this paper discusses the measurement of normal height of coal rock settlement observation, proposes method and concrete measures to improve the measurement accuracy of normal height, and verifies the effectiveness of the method and measure through examples.

## Keywords

CORS-RTK, Rock Movement Observation, Normal Height, Model Correction, Normal Height Correction Measures

---

# CORS-RTK在煤矿岩移观测中应用研究

田茂虎<sup>1</sup>, 杨洪涛<sup>1</sup>, 隋传科<sup>1</sup>, 王 勇<sup>1</sup>, 侯卫卫<sup>1</sup>, 张 涛<sup>2</sup>, 陈 梦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东新河矿业有限公司, 山东 济宁

<sup>2</sup>山东科技大学, 山东 青岛  
Email: taozhang9106@163.com

收稿日期: 2018年10月3日; 录用日期: 2018年10月18日; 发布日期: 2018年10月25日

---

## 摘 要

CORS-RTK技术在煤矿岩移观测中得到了广泛应用, 特别在沉降观测方面存在着明显优势。本文结合CORS-RTK存在的不足, 针对煤矿岩移沉降观测正常高测量问题进行探讨, 提出了改善正常高测量精度

的方法措施和具体实施办法, 通过实例验证了方法措施的有效性。

## 关键词

CORS-RTK, 岩移观测, 正常高, 模型修正, 正常高修正措施

Copyright © 2018 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

CORS-RTK 技术具有操作简单、使用方便、经济适用、运用范围广、精度高的特点, 已在矿山测量方面得到了广泛应用[1] [2] [3]。CORS-RTK 测量的正常高成果的精度远低于传统几何水准测量精度, 大大地限制了其在煤矿岩移沉降监测上的应用[3] [4] [5] [6]。许多科技工作者正积极开展相关的理论与应用研究, 取得了新的研究进展[5] [7] [8]。鉴于此, 本文结合煤矿岩移实例开展模型修正和措施改善等方面的探讨, 以期提高岩移沉降观测正常高精度, 拓展其应用范围。

## 2. 改善模型及方法

### 2.1. 措施改善

为了获取高精度的正常高沉降数据, 事先在测区内若干控制点上或布设一些观测点先做静态 GPS 测量, 测出三维坐标(B、L、H), 然后用 CORS-RTK 测量上述点的三维坐标(B、L、H)。同时, 进行四等水准测量。以上可以获得大地高高差、正常高高差及点间高程异常变化率, 以修正 CORS-RTK 观测数据。

### 2.2. 模型修正

利用控制点计算两点间的高程异常变化率。地面任意两控制点  $a$ 、 $b$  之间的高程异常变化率为:

$$\alpha_{ab} = (\Delta H_{ab} - \Delta h_{ab}) / S_{ab} \quad (1)$$

式中,  $\alpha_{ab}$  为  $a$ 、 $b$  方向的高程异常变化率, 单位为 m/km;  $S_{ab}$  为  $a$ 、 $b$  点间的平距, 单位为 km;  $\Delta H_{ab}$  为  $a$ 、 $b$  点间的大地高差, 单位为 m;  $\Delta h_{ab}$  为  $a$ 、 $b$  点间的正常高高差, 单位为 m [8] [9] [10] [11] [12]。

若在高程异常变化方向( $ab$ )布设岩移观测点, 经 RTK 测量后可得到观测点  $j$  与  $a$  或者  $b$  的平距  $S_{aj}$  或  $S_{bj}$ , 则可获得观测点与已知点的高程异常差  $\Delta \xi_{aj}$  或  $\Delta \xi_{bj}$ 。则 CORS-RTK 的高程异常改正为:

$$\bar{\xi}_j = \xi_a - \Delta \xi_{aj} \quad (\bar{\xi}_j = \xi_b - \Delta \xi_{bj}) \quad (2)$$

式中,  $\bar{\xi}_j$  为  $j$  点改正后的高程异常值,  $\xi_a$  或  $\xi_b$  为  $a$  或  $b$  点实测高程异常值。

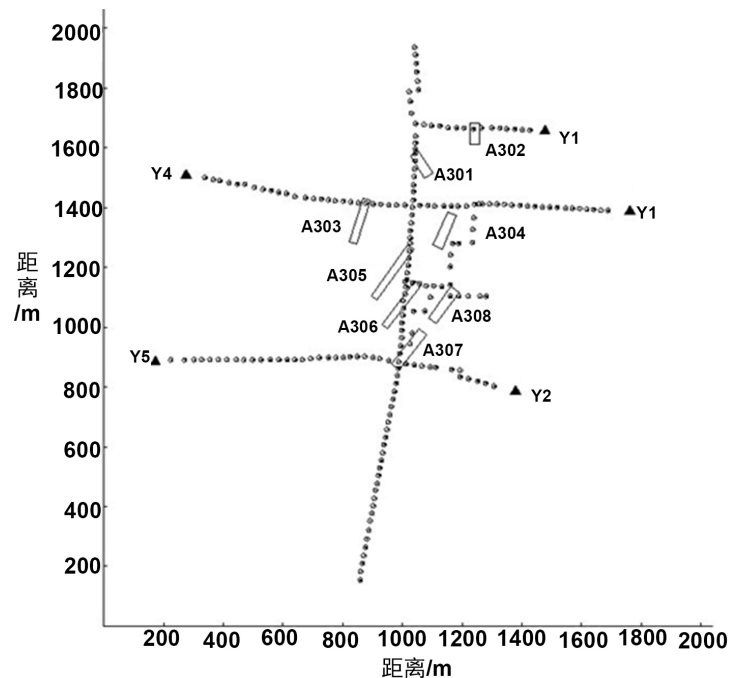
### 2.3. 外业观测优化

使用天宝 GPS R4 接收机进行观测, 采用支架进行稳定支护, 设置采样率为 1 s, 每次观测时间为 10 s, 每站观测次数 5 次。

## 3. 算例及分析

### 3.1. 算例概况

A3 采区位于山东省某矿, 采区地表沉降范围多为农田部分区域为村庄。采区地表属冲积平原地貌,



**Figure 1.** A3 mining face (▲ known point, ● rock movement observation point)

**图 1.** A3 开采面(▲已知点、●岩移观测点)

地势起伏平缓。A3 采区内有 A301-A308 共八个开采面, 开采面分散, 分阶段开采, 沉降量相互叠加。采区沉降区域外共有 5 个 E 级 GPS 控制点且均进行了四等水准联测。岩移观测点分布、开采面范围(矩形区域)及控制点见图 1。

为了研究地表岩移规律, 在 33 采区地表建立地表岩移观测站。如图 1 所示, 在已知点 Y1、Y2 与 Y3 方向各设置了 53、38、15 个岩移观测点; 在坐标纵向近似垂直于 Y1、Y2 与 Y3 方向上布设岩移观测点 63 个岩移观测点; 另在 Y1 与 Y2 方向之间布设 20 个岩移观测点。为便于数据采集与岩移观测点的保存, 所有岩移观测点均沿道路布设。

### 3.2. 观测设计

已知点间的大地高差、正常高差及高异常变化率获得: 五个控制点按照 E 级 GPS 的静态观测, 联测四等水准测量。

观测点与已知点的高程异常差获得: 根据实验数据, 同时兼顾精度和工作效率, 观测设计为利用山东 CORS-RTK 观测监测各点, 即流动站架设在监测点上, 使用天宝 GPS R4 接收机, 采用支架进行稳定支护, 设置采样率为 1 s, 每次观测时间为 10 s, 观测次数 5 次。

### 3.3. 观测方案及成果

利用测区已知数据分别计算出 Y1 与 Y2 方向高程异常修正模型, 选取 A3 采区 Y1 方向与 Y2 方向的岩移观测点进行修正计算, 计算结果与 Y1、Y2 方向的四等水准测量结果对比。

#### (1) 修正计算

依据图 1, 在 A3 采区地表沉降范围外 Y1-Y4、Y2-Y5 观测线两端已有四个 GPS 控制点且进行四等水准联测, 利用式(1)、(2)计算观测线方向高程异常变化率, 计算结果见表 1。

**Table 1.** Calculation results of elevation abnormal change rate

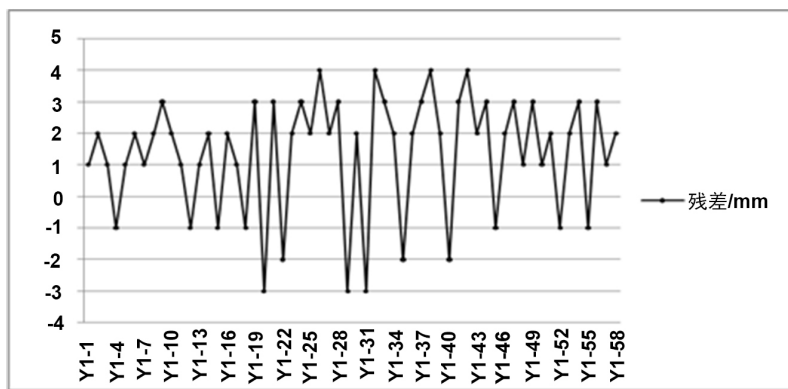
**表 1.** 高程异常变化率计算结果

方向	大地高差/m	正常高差/m	高程异常差/m	距离/km	高程异常变化率(m/km)
Y1-Y4	0.428	0.417	0.011	1.49	0.0073825
Y2-Y5	-0.752	-0.734	-0.018	1.213	-0.014839

**Table 2.** Model correction accuracy

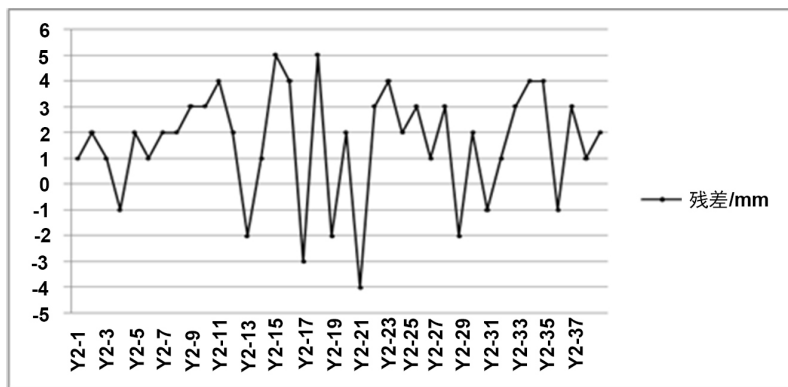
**表 2.** 模型修正精度

方向	距离/km	模型高程残差中误差/mm	四等水准限差/mm
Y1-Y4	1.49	5.4	14.9
Y2-Y5	1.213	7.5	12.1



**Figure 2.** Y1 direction rock movement observation point residual map

**图 2.** Y1 方向岩移观测点残差图



**Figure 3.** Y2 direction rock movement observation point residual map

**图 3.** Y2 方向岩移观测点残差图

根据表 1 和式(2), 可得两个方向 CORS-RTK 岩移观测点的高程异常修正值, 及修正后的正常高, 修正后残差如图 2、图 3 所示。

(2) 精度分析

据表 1 及图 2、图 3, 可得 A3 采区地表观测 Y1 与 Y2 方向上的正常高残差中误差以及与其相对应的

四等水准测量限差。计算结果见表 2。

据图 2, Y1 方向高程异常变化率修正模型最大修正残差为 4 mm, 最小为 1 mm。据图 3, Y2 方向高程异常变化率修正模型最大修正残差为 5 mm, 最小为 1 mm。据表 2, A3 采区地面沉降区在 Y1、Y2 方向上经过高程异常变化率模型修正后的 CORS-RTK 点正常高均可达到四等水准测量的精度要求。

#### 4. 结束语

针对 CORS-RTK 技术在煤矿岩移沉降监测方面的限制, 本文提出了正常高修正模型与观测措施相结合的方法。该方法应用于某煤矿岩移观测站实例, 测量结果与实测四等水准对比表明: 在合理限制和外业观测条件良好的情况下, 利用修正模型修正和措施改善相结合的方法可以获得正常高精度的明显提高, 达到四等几何水准测量的精度, 具有较好的推广应用价值。

#### 参考文献

- [1] 康请宜. CORS-RTK 在矿山测量中的优缺点分析[J]. 矿业工程, 2012, 10(2): 43-45.
- [2] 章红平, 温宇斌, 张志勇, 等. 静态 GPS 测量与 RTK 测量实例分析[J]. 测绘通报, 2006(8): 1295-1298.
- [3] 独知行, 靳奉祥, 赵君毅. 工程形变监测模型与方法[M]. 北京: 测绘出版社, 2017.
- [4] 栾元重, 吕法奎, 班训海. 动态变形观测与预报[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [5] Xiao, X.P. and Deng, J.L. (2001) A New Modified GM (1,1) Model: Grey Optimization Model. *The Journal of Systems Engineering and Electronics*, **23**, 1-5.
- [6] 杨坤, 李和平. 引入似大地水准面精化模型的山区水情监测方法[J]. 测绘通报, 2016(8): 89-91.
- [7] 王琦, 韩晓冬, 段淑珍. 基于 CORS 的网络-RTK 矿山开采沉降监测方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(9): 32-34.
- [8] 余金富. CORS-RTK 技术在矿山测量中的运用[J]. 测绘技术装备, 2016, 18(2): 82-85.
- [9] 岳尊彩, 高明章, 康方, 等. CORS-RTK 测量技术在兴隆庄煤矿的应用[J]. 煤矿现代化, 2015, 128(5): 86-88.
- [10] 袁德宝, 崔希民, 潘星, 等. RTK 实时动态测量技术在矿区测绘中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(3): 72-75.
- [11] 蔡福祿. GPS-RTK 技术用于开采沉降观测试验数据处理及精度分析[J]. 矿山测量, 2010, 4(4): 31-33.
- [12] 魏二虎, 等. GPS 测量操作与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.

#### 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](mailto:gst@hanspub.org)