

Study on CORS-RTK Correction Model in Coal Mine Rock Movement Observation

Maohu Tian¹, Hongtao Yang¹, Chuanke Sui¹, Yong Wang¹,
Weiwei Hou¹, Tao Zhang^{2*}, Meng Chen²

¹Shandong Xinhe Mining Corporation Limited, Jining Shandong

²Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong

Email: *taozhang9106@163.com

Received: Jun. 20th, 2018; accepted: Jul. 7th, 2018; published: Jul. 12th, 2018

Abstract

CORS-RTK has been widely used in the ground survey engineering of coal mines, but its application in the monitoring of rock movement and settlement in coal mines is still insufficient. In this paper, the measurement of the normal height of rock movement observation in coal mine was discussed. And the CORS-RTK elevation correction model is constructed based on mine area quasi-geoid and the interval elevation anomaly change rate. The example analysis has obtained good accuracy and reliability, and has a certain application value.

Keywords

CORS-RTK, Rock Movement Observation, Quasi-Geoid, Elevation Correction Model, Normal Height

CORS-RTK在煤矿岩移观测中修正模型研究

田茂虎¹, 杨洪涛¹, 隋传科¹, 王 勇¹, 侯卫卫¹, 张 涛^{2*}, 陈 梦²

¹山东新河矿业有限公司, 山东 济宁

²山东科技大学, 山东 青岛

Email: *taozhang9106@163.com

收稿日期: 2018年6月20日; 录用日期: 2018年7月7日; 发布日期: 2018年7月12日

摘 要

CORS-RTK在煤矿地面测量工程中得到了广泛地应用, 其在煤矿岩移沉降监测方面的应用仍存在不足。

*通讯作者。

文章引用: 田茂虎, 杨洪涛, 隋传科, 王勇, 侯卫卫, 张涛, 陈梦. CORS-RTK 在煤矿岩移观测中修正模型研究[J]. 测绘科学技术, 2018, 6(3): 182-187. DOI: 10.12677/gst.2018.63020

本文针对煤矿岩移沉降观测正常高测量问题进行探讨, 基于矿区似大地水准面和区间高程异常变化率构建了 CORS-RTK 高程修正模型, 实例分析获得了很好的精度和可靠性, 具有一定的推广应用价值。

关键词

CORS-RTK, 岩移观测, 似大地水准面, 高程修正模型, 正常高

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 技术给现代矿山测量带来技术变革[1] [2] [3] [4]。CORS-RTK 技术较之传统测量技术可以提高测量精度、减少工作量、提高工作效率、节约资金等优势, 已在矿山测量中获得广泛应用[3]-[9]。但, CORS-RTK 测量高程成果的精度显著低于平面测量精度, 特别是正常高测量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[2] [10]-[15]。

基于此, 本文拟基于矿区大似地水准面和区间高程异常变化率构建 CORS-RTK 高程修正模型, 并进行实例验证, 以期拓展 CORS-RTK 的应用范围, 获得其在岩移沉降监测方面的广泛应用。

2. 修正模型

CORS-RTK 测量可获得监测点平面位置及高程信息, 其中高程为以大地水准面为参考面的大地高经由仪器内置模型拟合出监测点高程异常进而转换为点位正常高, 大地高与正常高关系见式(1) [11] [12] [13] [14]。但由于 CORS-RTK 内置转换模型通常为大范围区域似大地水准面模型, 有时无法精确反应小区域内的高程异常变化趋势, 故需对 CORS-RTK 测量中高程异常变化项进行改正。

$$h_r = H_{84} - \zeta \quad (1)$$

2.1. 高程异常变化率修正模型

地面任意两控制点 a、b 之间的高程异常变化率为:

$$\alpha_{ab} = (\Delta H_{ab} - \Delta h_{ab}) / S_{ab} \quad (2)$$

式中, α_{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; ΔH_{ab} 为 a、b 点间的大地高差, 单位为 m; Δh_{ab} 为 a、b 点间的正常高高差, 单位为 m。利用控制点计算两点间的高程异常变化率, 为了更准确, 可以是多点间高程异常变化率的平均值。

根据式(2), a、b 两点间的高程异常差为:

$$\Delta \xi_{ab} = \alpha_{ab} S_{ab} \quad (3)$$

其中, $\Delta \xi_{ab} = \Delta H_{ab} - \Delta h_{ab}$ 。

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} , 由(3)式可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:

$$\bar{\xi}_j = \xi_a - \Delta \xi_{aj} \quad (\bar{\xi}_j = \xi_a - \Delta \xi_{bj}) \quad (4)$$

式中， $\bar{\xi}_j$ 为 j 点改正后的高程异常值， ξ_a 或 ξ_b 为 a 或 b 点实测高程异常值， $\Delta\xi_{aj}$ 或 $\Delta\xi_{bj}$ 为 j 点高程异常修正值。结合(1)式，则 CORS-RTK 测量的高程修正模型为：

$$h_j = H_j - \bar{\xi}_j \tag{5}$$

2.2. 二次曲面拟合修正模型

二次曲面高程异常值拟合模型，即：

$$\xi_j = a_0 + a_1x_j + a_2y_j + a_3x_j^2 + a_4y_j^3 + a_5x_jy_j + \Delta \tag{6}$$

式中， a_{ij} 为拟合系数， ξ_j 为 j 点的高程异常值，至少需要 6 个已知控制点高程异常值。

通过矿区及临近区域已知点 GPS 数据和相应水准数据对(6)式进行解算，得到区域高程异常模型。在岩移观测点 j 上进行 CORS-RTK 观测，获得观测点的平面位置信息。通过训练好的二次曲面拟合模型解算出观测点的高程异常值 ξ_j ，以 ξ_j 作为 j 点 RTK 的高程异常修正值即 $\bar{\xi}_j = \xi_j$ 。 j 点正常高有：

$$h_j = H_j - \xi_j \tag{7}$$

3. 算例及分析

3.1. 测区概况及已有数据

煤矿位于济宁市某县，矿区所在位置地面起伏较为平坦，多为农田。为了研究地表岩移规律，在二采区地表建立地表岩移观测站，沿工作面走向方向布设一条观测线 N，设置了 62 个观测点，在观测线 N 的中点且垂直与 N 的方向上布设观测线 E，设置了 58 个观测点。数据采集采用济南 CORS 基站，应用 RTK 技术进行平面和高程测量。开采面沉降区域外共有 11 个 C 级 GPS 已知点且均进行了三等水准联测。测区已知点分布、二采区地表范围(矩形区域)及观测线见图 1。

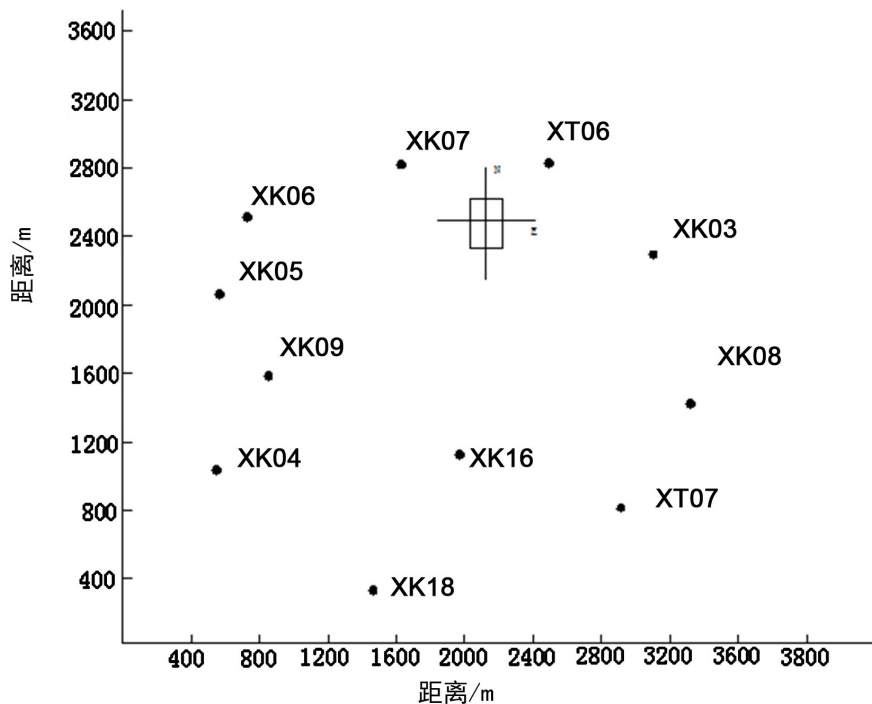


Figure 1. Second mining area range and distribution of known point
图 1. 二采区范围及已知点分布

3.2. 修正计算

为验证模型修正准确度与两种模型的修正优劣,在考虑测区已有数据的前提下进行以下方案设计:利用测区已知数据分别计算出二采区的高程异常拟合模型,选取二采区地表观测线 N 方向 3 个岩移观测点(A01、A02、A03)与 E 方向 3 个岩移观测点(S01、S02、S03)进行修正计算,计算结果与 6 个岩移观测点的四等水准测量结果对比。

1) 高程异常变化率修正计算

依据图 1,在二采区地表沉降范围外 N、E 观测线两端布设四个 GPS 控制点与测区已知点进行 C 级 GPS 静态测量并进行三等水准联测,经网平差计算后作为二采区岩移观测的控制点。二采区控制点分布图见图 2。

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。

根据表 1 和式(2)~(5),可得 6 个 CORS-RTK 岩移观测点的高程异常修正值,及修正后的正常高,计算结果见表 2。

2) 二次曲面拟合修正计算

利用测区已知数据、式(1)及最小二乘法可得测区二次曲面高程异常拟合模型

$$\begin{aligned} \xi = & -8.785383456 - (3.64 \times 10^{-5})x + (3.56 \times 10^{-5})y + (6.01 \times 10^{-8})xy \\ & + (-4.33 \times 10^{-8})x^2 + (7.29 \times 10^{-9})y^2 \end{aligned} \quad (8)$$

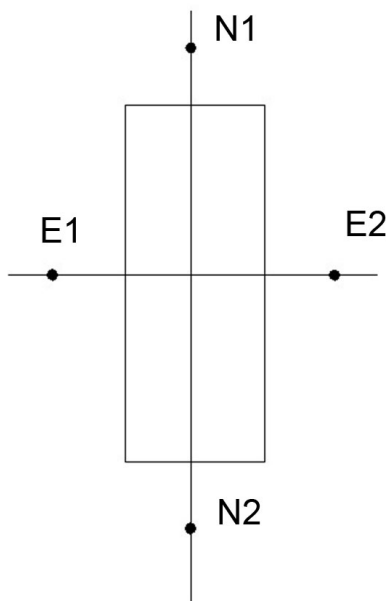


Figure 2. Distribution of control points in the second mining area
图 2. 二采区控制点分布

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)
N1-N2	-0.4154	-0.4259	0.0104	0.74	0.01405
E1-E2	-1.3361	-1.3134	-0.0227	0.54	-0.04203

利用式(8)及6个RTK岩移观测点观测数据可得各点高程异常修正值,及修正后的正常高,计算结果见表3。

3) 精度分析

据表2、表3,可得二采区地表观测线N、E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4。

3.3. 结果分析

据表2,高程异常变化率修正模型最大修正残差为4 mm,最小为2 mm,残差中误差为3.4 mm。据表3,二次曲面修正模型最大修正残差为4 mm,最小为1 mm,残差中误差为2.9 mm。对比表1、表2,两种修正模型均能达到良好的修正效果。据表3,二采区地面沉降区在N、E方向上经过两种模型修正后的CORS-RTK点正常高均能达到四等水准测量的要求,且二次曲面修正模型总体上优于高程异常变化率修正模型。

Table 2. Correction results of CORS-RTK rock-movement monitoring points

表 2. CORS-RTK 岩移监测点修正结果

点号	大地高/m	高程异常修正值/m	修正后正常高/m	四等水准高/m	正常高残差/mm
A01	27.643	-8.863	36.506	36.503	3
A02	27.651	-8.860	36.511	36.507	4
A03	27.603	-8.850	36.453	36.456	-3
S01	27.642	-8.884	36.526	36.530	-4
S02	27.624	-8.873	36.497	36.498	-2
S03	27.562	-8.859	36.421	36.419	2
中误差					3.4

Table 3. Correction results of CORS-RTK rock-movement monitoring points

表 3. CORS-RTK 岩移监测点修正结果

点名	大地高/m	高程异常修正值/m	修正后正常高/m	四等水准高/m	正常高残差/mm
A01	27.643	-8.859	36.502	36.503	-1
A02	27.651	-8.853	36.504	36.507	-3
A03	27.603	-8.857	36.460	36.456	4
S01	27.642	-8.891	36.533	36.530	3
S02	27.624	-8.872	36.496	36.498	-2
S03	27.562	-8.854	36.416	36.419	-3
中误差					3.1

Table 4. Model Correction Accuracy

表 4. 模型修正精度

方向	距离/km	高程残差中误差/mm		四等水准限差/mm
		高程异常变化率修正	二次曲面拟合修正	
N1-N2	0.74	4.1	3.6	4.3
E1-E2	0.54	3.5	3.3	3.7

4. 结束语

CORS-RTK 技术在矿山测量中具有明显技术优势, 鉴于其在煤矿岩移沉降监测方面的限制, 构建了利用 CORS-RTK 进行较高精度正常高测量修正模型。利用实例进行了验证, 结果表明: 在合理限制和外业观测条件良好的情况下, 利用修正模型获得了测点正常高精度的明显提高, 可以达到四等几何水准测量的精度。该模型可用于煤矿岩移沉降监测, 具有很好的推广应用价值。

参考文献

- [1] 康请宣. 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] 丁文利, 王怀念, 黄良. 动态 GPS(RTK)测量的精度分析[J]. 地矿测绘, 2004, 20(2): 16-17.
- [3] 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.
- [4] 李恒宝, 郭友发. CORS-RTK 技术在矿山测量中的应用[J]. 西部探矿工程, 2011, 23(6): 157-159.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 徐耀文. 宁夏 CORS 在矿山中的应用与实践[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(12): 238-241.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 何绍福, 古玉葵, 芮昌龙. 参考站网(CORS 系统)在小龙潭布沼坝露天矿的应用[J]. 露天采矿技术, 2010(5): 42-44.
- [12] 朱小玉, 赵丽, 王延国, 等. CORS 技术在矿区地表沉降监测中的应用[J]. 北京测绘, 2011(4): 49-52.
- [13] 张涛, 张丕亚, 魏超. 带状交通工程中 GPS 高程拟合方法分析[J]. 北京测绘, 2018, 32(6): 654-657.
- [14] GBT 18314-2009. 全球定位系统(GPS)测量规范[S].
- [15] 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