黄玉川煤矿特大型贯通测量实践与分析

孔 素 丽
(中国煤炭科工集团唐山研究院有限公司,河北 唐山 063012)

摘 要: 为了保证黄玉川煤矿主副两井之间运输大巷井上、下长距离高精度贯通,贯通前需进行测量作业优化设计。分析了工程中的 GPS 控制测量、联系测量、陀螺定向测量及全站仪导线测量等各个参数的实测精度影响因素,以确定观测方案和数据处理方法。在巷道掘进过程中,根据导线测量和陀螺定向结果及时调整掘进方向,并按带有误差的附和导线合理确定各种测量结果的权重,进行严密平差和数据处理,及时对贯通导线进行修正。结果表明:通过选用先进的测量技术和合理的数据处理方法,可以确保两井之间长距离精准贯通,此次 20 km 贯通工程精度达到水平方重要向误差-0.182 m,高程方向误差-0.128 m。

关键词: 贯通测量; 定权; 陀螺定向; 数据处理; 严密平差
中图分类号: TD175.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2015)08-0149-04

Practices and analysis on ultra long holing-through survey in Huangyuchuan Mine

Kong Suli
(*Tangshan Research Institute Company Limited, China Coal Technology and Engineering Group, Tangshan* 063012, *China*)

Abstract: In order to ensure an accurate holing-through of the mine transportation roadway with a long distance at the surface and underground of mine between the main shaft and auxiliary shaft in Huangyuchuan Mine, an optimized design of the survey operation was conducted before the holing-through. The paper analyzed the influence factors of each parameter site measured accuracy for the GPS controlled survey, connection survey, gyroscopic orientation survey, total station traverse measurement and others to determine the survey plan and the data processing method. In the heading process of the mine roadway, according to the traverse measurement and gyroscopic orientation results as well as the timely adjusted heading direction and to the connecting traverse with the error, the weighting of different survey results was rationally determined, rigorous adjustment and data processing were conducted and the corrections were made on the holing-through traverse timely. The results showed that the advanced survey technology and rational data processing method applied could ensure the long distance accurate holing-through between the two mine shafts. The accuracy of the 20 km holing-through project reached an error of -0.182 m in the horizontal direction and an error of -0.128 m in an elevation direction.

Key words: holing-through survey; weighting; gyroscopic orentation; data processing; rigorous adjustment

0 引 言

根据《煤矿测量规程》(以下简称规程)和《煤矿测量手册》要求,采用 2 个或多个相向或同向的掘进工作面分段掘进巷道,使其按设计要求在预定地点彼此接合,称作巷道贯通,巷道贯通分为一井内巷道贯通和两井间巷道贯通。黄玉川煤矿贯通属于两井间巷道贯通,该类贯通是指巷道贯通前,井下不能由一条起算边向贯通巷道两端敷设井下经纬仪导线的贯通,主要包括井下导线测量、高程测量和井上地面控制测量以及矿井联系测量。一般认为,井上、下贯通导线全长在 10 km 左右的贯通工程,是大型贯通工程[1]。黄玉川煤矿外运运输大巷总贯通长度约 20 km,为两井特大型贯通。如此长距离的两井对向贯通工程属国内、外首例,通过查阅国内现有长距离高精度贯通测量成果[2-4],能达到水平重要方

收稿日期: 2015-03-28; **责任编辑:** 曾康生 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2015.08.030
作者简介: 孔素丽(1980—) 男,河北保定人,工程师。Tel: 0315-7759731, E-mail: 46700483@qq.com
引用格式: 孔素丽.黄玉川煤矿特大型贯通测量实践与分析[J].煤炭科学技术,2015,43(8):149-152,66.
Kong Suli. Practices and analysis on ultra long holing-through survey in Huangyuchuan Mine[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(8): 149-152, 66.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

向贯通误差-0.182 m、高程方向贯通误差-0.128 m 的高精度贯通，也属国内首创。

尤其是受矿井生产和地质环境影响，测量控制点受采动影响，或发生点位移动，或遭到破坏，给测量工作带来较大困难。再加上受井下环境条件如风大、煤尘、水汽大等客观条件的影响，致使测量精度偏低，难以达到精度要求。这些都是影响贯通测量精度的关键问题。为保证贯通测量精度，总结和分析此类贯通测量的精度和结果，首先对已有数据进行系统转换、修正，保证井上、下系统的统一，选用高精度 LeicaTS30 0.5″级测量机器人结合陀螺定向技术[6]进行精准测量，采取不同人员和设备施测不同路线，减小测量系统误差的影响，利用挡风布挡风和三架法测量，有效消除对中误差对导线精度的影响，合理定权进行数据处理与分析，保证了外运通道的精准贯通。

1　贯通工程概况

黄玉川煤矿外运运输大巷是其井下煤炭运输至地面的主要通道，担负着矿井井下煤炭外运的重任，巷道施工时对巷道进行了永久支护，并铺设带式输送机，为了保证工期，矿方要求直接对向贯通，要求为水平方向贯通精度在±0.2 m 以内。该工程于 2010 年 12 月开工建设，历时 22 个月，于 2012 年 10 月 8 日贯通，井下贯通导线总长度 13 499.024 m，共测设导线 107 站，导线平均边长 126.159 m；地面近井点(S1—BS6)直线距离 7 056.883 m，总贯通长度 20 555.907 m。贯通工程如图 1 所示。

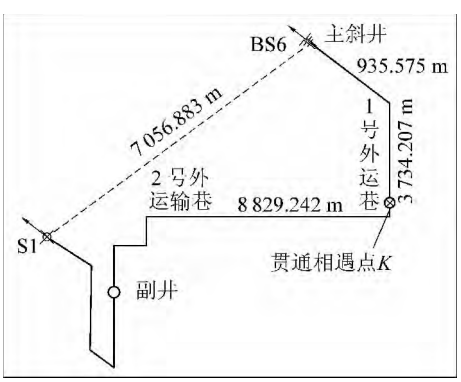


图 1　贯通工程示意

Fig. 1　Schematic diagram of through engineering

2　贯通误差预计

在进行贯通测量前，需根据贯通测量精度和设计要求，进行井巷贯通点的误差预计[5-7]。综合现有仪器、导线测量数据、陀螺定向结果以及总结各项经验成果[8-13]，确定该工程的预计参数，包括地面 GPS 测量点位误差[14]、投点误差、测角误差、测距误差、陀螺定向误差等，根据规程要求和实际经验，共确定 2 种预计方案。

2.1　方案一：按规程要求测量

1) 地面采用 GPS 网的点位误差预计，根据矿井已有 GPS 测量结果，其最弱点点位中误差为±0.042 3 m，将其投影到水平重要方向上为

$$M_G = \pm 0.042\ 3\sqrt{2}\ \cos\alpha \tag{1}$$

其中：M_G 为 GPS 测量引起的误差，m；α 为 GPS 控制网 S1—BS6 的方位投影到水平重要方向的方位角，取 46°44′05″；计算得 $M_G = \pm 0.041$ m。

2) 主斜井起始数据方位误差引起的贯通相遇点 K 在水平重要方向上的误差。地面采用 E 级 GPS 网观测，主斜井起算方向测量精度取±2.5″，起始数据方位误差引起的贯通相遇点 K 在水平重要方向上的误差为

$$M_\beta = \pm\frac{m_\beta}{\rho}\sqrt{\sum (R_{yi})^2} \tag{2}$$

其中：M_β 为起始数据方位误差引起的测量误差，m；m_β 为起算方向测角精度，取±2.5″；$\sum R_{yi}$ 为井下导线各点与 K 点连线在水平重要方向的投影长度平方之和，取 4 962 477.98 m；ρ 为每弧度对应的秒值，取 206 265″；计算得 $M_B = \pm 0.027$ m。

3) 副立井采用投点定向按规程要求，其投点误差 M_T，取±0.020 m。

4) 井下陀螺定向引起贯通相遇点 K 在水平重要方向上的误差：使用陀螺定向精度±15″仪器，计算各附和导线段误差为

$$M_{AT} = \pm\frac{m_{\alpha T}}{\rho}\sqrt{(Y_1 - Y_k)^2 + (Y_2 - Y_k)^2 + \cdots + (Y_i - Y_k)^2} \tag{3}$$

其中：M_{AT} 为陀螺定向引起的测量误差，m；$m_{\alpha T}$ 为陀螺定向精度，取±15″；Y_1、Y_2，…Y_i 为井下各导线重心北坐标，m；Y_k 为井下导线贯通相遇点 K 的北坐标，m；计算得 $M_{AT} = \pm 0.137$ m。

5) 井下导线测角引起贯通相遇点 K 在水平重要方向上的误差为导线测量采用 TS06 型全站仪(仪器测角精度为±2″)施测，测角精度取±7″，其误差 $M_{X\beta}$ 公式为：

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

$$m_{X\beta} = \frac{m'_{\beta}}{\rho}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\eta_{1i}^{2} + \sum_{i=1}^{n_2}\eta_{2i}^{2} + \cdots + \sum_{i=1}^{n_2}\eta_{ni}} = 0.087\ \text{m} \quad (4)$$

其中: $M_{X\beta}$为井下导线测角引起的测量误差,m; m'_{β} 为仪器测角精度,(″); η_{Ni}为 N 个附和导线段的重心与该段导线各点的连线在重要方向上的投影长度,m; n_1、n_2、…、n_N 为各段测点数。

6) 井下导线量边引起贯通相遇点 K 在水平重要方向上的误差为

$$M_{Xl} = \pm\frac{m_l}{l}\sqrt{\sum l^2\cos^2\alpha'} = \pm 0.030\ \text{m} \quad (5)$$

其中: m_l 为测距中误差,影响其精度的因素有对中误差、仪器自身精度、大气折光以及观测条件等; α'为各条导线边在假定坐标系 $X'OY'$内假定方位角; l 为井下相邻两导线点的边长,m。取对中误差为±2 mm、边长 150 m 仪器本身精度平均为±2 mm,则每边测距精度为±3.5 mm。考虑井下条件较差,综合以上因素取每边测距精度为±5 mm,则测距中误差 $m_l/l = 1/30\ 000$,该精度与神东等煤矿的实际测距精度基本一致。计算得 $M_{Xl} = \pm 0.030$ m

则总的贯通相遇点 K 在水平重要方向上的中误差 M_k 为

$$M_k = \pm\sqrt{M_G^2 + M_\beta^2 + M_T^2 + (M_{X\beta}^2 + M_{Xl}^2 + M_{AT}^2)/2}$$

贯通测量的预计误差为中误差的 2 倍[15],则贯通相遇点 K 在水平重要方向上的预计误差 $M_Y = 2M_k = \pm 0.256$ m。

2.2 方案二: 优化方案

根据第一种方案,贯通相遇点 K 在水平重要方向上的预计误差为±0.256 m,不能保证矿井±0.2 m 误差的要求,因此按照实际经验值对贯通设计进行优化,主要包含测角中误差和陀螺定向误差的优化。

1) 测角中误差。根据方案一,只采用±2″级仪器(测角中误差±7″)实测导线 2 次,测角引起的误差 $M_{X\beta}$为±87 mm,若采用±0.5″测量机器人(测角中误差±5″)实测导线 2 次,测角引起的误差为±62 mm,对两者加权均值,则井下导线测角 $M_{X\beta}$引起贯通相遇点 K 在水平重要方向上的误差为±0.070 m。

2) 陀螺定向误差。方案一中,陀螺定向测量引起的误差 M_{AT}为采用±15″陀螺仪预计的误差,为减小陀螺定向测量引起的误差,合理采用矿方原有±5″陀螺测量成果。由于 2 种仪器测量精度不同,对中误差、外部测量环境和时间的差异,综合确定陀螺定向边方位角中误差为±7″。根据公式,计算井下陀螺定向 M_{AT}引起贯通相遇点 K 在水平重要方向上的误差为±0.097 m。

其他预计参数同方案一。经计算贯通相遇点 K 在水平重要方向上的预计误差为±0.204 m。经过对比,选择方案二进行观测。

2.3 高程误差预计

高程测量分为水准测量和三角高程测量,影响高程误差的因素有: 井上、下水准测量,井下三角高程测量和高程导入测量。其中井下水准路线长 9 km,三角高程路线长 2 km。地面水准路线长 15 km,井筒深度 300 m,根据《矿山测量手册》要求,测量误差引起贯通相遇点 K 在高程上的误差预计公式,综合预计贯通相遇点 K 在高程方向上的预计误差为±130 mm,满足设计要求。

3 施测方法和仪器的选用

1) 导线测量。由一组人员对 1 号外运和 2 号外运导线分段采用 Leica TS06 2″全站仪(测距精度 1.5 mm+2×10^{-6}D)和 TOPON 0.5″全站仪(测距精度 1 mm+2×10^{-6}D),一次对中 2 个测回测量,联测 2 次; 另一组人员采用 TS30 0.5″测量机器人(测距精度 1 mm+1×10^{-6}D),2 次对中 2 个测回测量,对比 2 次导线观测结果,取其加权平均值。

2) 陀螺定向。为保证贯通测量精度,采用 Y/JTD-1 型全自动积分式陀螺经纬仪(仪器标称精度±5″)进行了 10 条陀螺边陀螺定向。同时,采用瑞士生产的 GAK1 陀螺经纬仪(GAK1 №19109, T2-№238995)复测,修正了贯通导线数据。

3) 在高程测量方面为了保证高程的贯通精度,平巷采用天宝电子水准仪,按一级水准进行实测; 斜巷采用全站仪进行对向三角高程测量,有效消除了大气垂直高和地球弯曲差的影响。安排 2 组人员进行 2 次独立观测,保证了成果的可靠性。

4 数据处理

导线测量采用不同仪器,精度有所不同,测回数也有变化,并且其精度较高,陀螺定向边不能做为竖向使用,为此采用加权平差方法对陀螺定向和导线测量数据进行统一处理。对测量结果按带有误差的

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

方向附和导线进行平差。

1) 陀螺定向中误差。综合考虑陀螺定向仪器精度对中误差、外部观测环境和陀螺两测回观测互差，取陀螺定向边方位角中误差为±7″。

2) 测角中误差。根据黄玉川煤矿实测数据，1 号外运使用±2″仪器施测，2 号外运使用±0.5″和±2″两种仪器测量；测量人员又采用±0.5″测量机器人施测，取±2″仪器测角中误差为±5″，±0.5″仪器测角中误差为±3″，对 2 组实测数据分别进行加权处理。

3) 测距中误差。不同仪器测距标称中误差基本相同，影响测距的影响主要为客观条件和对中误差，因此测距中误差均取 1/30 000。

4) 平差处理。对测量数据进行综合分析和处理，所有测量数据均满足规程要求，取±0.5″仪器的测角中误差±3″为单位权中误差，按带有误差的方向附和导线对陀螺定向、导线测量进行加权平差，计算方位和坐标。并根据平差结果实时调整掘进方向，确保贯通精度。

5 结　论

根据工程需要，并结合井巷工程的用途，矿方确定此项贯通在水平重要方向上的允许偏差为±0.2 m，高程方向上的允许偏差为±0.3 m。井下贯通导线总长度 13 499.024 m，地面近井点(S1—BS6)直线距离 7 056.883 m，总贯通长度20 555.907 m，贯通后，通过导线联测，结果如下：从 1 号外运和 2 号外运分别联测到贯通相遇点，按 5″导线计算，共 107 站导线，角度限差要求为±103″，实测方位角闭合差为+10″，导线全长相对闭合差为 1/45 088，水平重要方向偏差(即 y 方向)为-0.182 m，高程闭合差为-0.128 m，精度满足设计要求。

1) 为了保证贯通，贯通前进行了误差预计，分别按照规程要求和优化方案进行了误差预计，最终选择优化设计方案。

2) 为确保贯通，采取了不同人员和设备施测导线，采用 Leica TS30 0.5″测量机器人等高精度仪器，减小测量系统误差，确保了贯通精度。

3) 为了保证两井贯通方位的一致性，综合利用矿方已有测量成果和本次观测成果，按照仪器精度对两者取加权均值作为最终成果，保证了井下测量方向的精度。

4) 通过合理确定 GPS 控制测量、联系测量、导线测量、陀螺定向与原有矿方提供陀螺定向和导线成果的权，进行平差计算，数据处理方法合理，成果可靠。

5) 由于井下观测环境差，测点位于风口，为减小对中误差的影响，采用挡风布挡风和三架法测量，能有效消除对中误差对导线精度的影响。

参考文献：

[1] 中国统配煤矿总公司生产局.煤矿测量手册[M].北京：煤炭工业出版社，1990：471-477.

[2] 王清悦，孙孟杰.矿井巷道贯通测量误差规律的研究及误差参数的确定[J].矿山测量，2000(1)：60-62.
Wang Qingyue，Sun Mengjie. Research on the error of the through survey and the determination of the error parameters[J]. Mine Surveying，2000(1)：60-62.

[3] 王启善.特长距离高精度巷道贯通测量方案设计及精度分析[J].煤矿安全，2011，42(3)：135-138.
Wang Qishan. Design and accuracy analysis of the high precision tunnel through measurement scheme with long distance[J]. Safety in Coal Mines，2011，42(3)：135-138.

[4] 徐广翔，牛福龙.特大型矿井贯通测量关键技术分析[J].煤炭科学技术，2011，39(12)：116-119.
Xu Guangxiang，Niu Fulong. Analysis on key technology of large coal mine shaft penetrating measurement[J]. Coal Science and Technology，2011，39(12)：116-119.

[5] 梁振华.贯通测量误差的预计及在测量中应注意的问题[J].煤炭技术，2013，32(4)：128-129.
Liang Zhenhua. The error of measurement and the problem of attention in measurement[J]. Coal Technology，2013，32(4)：128-129.

[6] 彭东东.贯通测量中的误差预计及控制研究[J].矿山测量，2012(4)：63-64.
Peng Dongdong. Study on error estimation and control of the through measurement[J]. Mine Surveying，2012(4)：63-64.

[7] 张立志.贯通测量方案的选择与误差预计[J].煤炭技术，2008，27(7)：140-141.
Zhang Lizhi. Selection and error estimation of the scheme of the through measurement[J]. Coal Technology，2008，27(7)：140-141.

[8] 胡荣明.陀螺定向时已知边位置的选择[J].西安科技大学学报，2007，27(2)：260-262.
Hu Rongming. Selection of known side position when the gyroscope is oriented[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology，2007，27(2)：260-262.

[9] 夏　平.两井间大型贯通测量的成功实施[J].安徽科技，2005，(4)：42-44.
Xia Ping. Successful implementation of large scale through measurement between two wells[J]. Anhui Science & Technology，2005(4)：42-44.

[10] 丁万根，孟景凤.先进测量仪器在大型贯通测量中的应用[J].山东煤炭科技，2009(3)：91-92.

(下转第 66 页)

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

with high cutting height [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1837-1841.

[3] 左建平,赵洪宝,杨建立,等.大采高综放开采煤岩体冒落规律数值模拟研究 [J].煤炭科学技术,2013,41(1):56-59.
Zuo Jianping, Zhao Hongbao, Yang Jianli, *et al*. Analysis and study on falling down law of coal and rock in high cutting fully mechanized top coal caving mining [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(1): 56-59.

[4] 王金华.特厚煤层大采高综放工作面成套装备关键技术 [J].煤炭科学技术,2013,41(9):1-5,28.
Wang Jinhua. Key technology of complete equipement for fully-mechanized top coal caving face with large mining height extra thick seam [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 1-5, 28.

[5] 孔令海,姜福兴,刘　杰,等.特厚煤层综放工作面区段煤柱合理宽度的微地震监测 [J].煤炭学报,2009,34(7):871-874.
Kong Linghai, Jiang Fuxing, Liu Jie, *et al*. High precision microseismic monitoring system to reasonable width of segment coal pillar in extra thick coal seam fully mechanized top coal caving mining [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(7): 871-874.

[6] 许红杰,邢国富,徐天发.酸刺沟煤矿综放工作面矿压显现异常及控制技术 [J].煤炭科学技术,2012,40(7):21-23.
Xu Hongjie, Xing Guofu, Xu Tianfa. Abnormal mine pressure behavior and control technology of fully mechanized top coal caving mining face in Suancigou Mine [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(7): 21-23.

[7] 徐青云,黄庆国,李永明.不连沟煤矿综放工作面末采期矿压显现规律 [J].煤炭科学技术,2013,41(6):33-36.
Xu Aingyun, HuangAingguo, Li Yongming. Mine strata pressure behavior law of fully mechanized top coal caving mining face during terminal mining period in Buligou Mine [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(6): 33-36.

[8] 刘克功.大采高综放工作面顶板活动规律研究 [J].煤,2008(6):9-11.
Liu Kegong. Study about mining hight fully-mechanized coal mining caving the roof activity [J]. Coal, 2008(6): 9-11.

[9] 刘　峰.屯留煤矿高瓦斯松软厚煤层大采高综放开采技术 [J].煤炭科学技术,2008,36(2):12-15.
Liu Feng. Fully mechanized caving mining technology with high mining height in high gassy and soft thick coal seam of Tunliu Mine [J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(2): 12-15.

[10] 闫少宏,尹希文.大采高综放开采几个理论问题的研究 [J].煤炭学报,2008,33(5):481-484.
Yan Shaohong, Yin Xiwen. Discussing about the main theoretical problems of long wall with top coal caving [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(5): 481-484.

[11] 闫少宏.特厚煤层大采高综放开采支架外载的理论研究 [J].煤炭学报,2009,34(5):590-593.
Yan Shaohong. Theory study on the load on support of long wall with top coal caving with great mining height in extra thick coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(5): 590-593.

[12] 吴　健,张　勇.综放采场支架-围岩关系的新概念 [J].煤炭学报,2001,26(4):350-355.
Wu Jian, Zhang Yong. New concept of support surrounding rock relationship in fully mechanized caving face [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(4): 350-355.

[13] 于　雷,闫少宏,毛德兵,等.基于 ARAMIS M/E 微震监测的大采高综放顶板活动规律 [J].煤炭学报,2011,36(S1):293-298.
Yu Lei, Yan Shaohong, Mao Debing, *et al*. Movement of roof strata of long wall with top coal caving with great mining height based on ARAMIS M/E micro-seismic monitoring [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S1): 293-298.

[14] 于　雷,闫少宏,刘全明.特厚煤层综放开采支架工作阻力的确定 [J].煤炭学报,2012,37(5):737-742.
Yu Lei, Yan Shaohong, Liu Quanming. Determination of support working resistance of topcoal caving in extra thick coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(5): 737-742.

[15] 潘黎明,贾光胜.浅埋薄基岩中厚煤层综采面矿压显现规律研究 [J].煤矿开采,2013,18(1):89-93,103.
Pan Liming, Jia Guangsheng. Underground pressure behavior of full-mechanized mining in shallow buried medium thick coal seam under thin basement rock [J]. Coal Mining Technology, 2013, 18(1): 89-93, 103.

(上接第 152 页)

Ding Wangen, Meng Jingfeng. Application of advanced measuring instrument in large survey [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2009(3): 91-92.

[11] 孙金礼,陈　杰.煤矿井下巷道贯通测量精度分析及技术方法 [J].煤炭科学技术,2010,38(6):112-114.
Sun Jinli, Chen Jie. Analysis and technical method of mine tunnel through measurement accuracy [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(6): 112-114.

[12] 杨智华.大型贯通测量保障分析 [J].矿山测量,2011(1):46-47.
Yang Zhihua. Analysis of large scale through measurement [J]. Mine Surveying, 2011(1): 46-47.

[13] 母光勇.合理确定测量误差参数保证巷道安全贯通 [J].煤炭技术,2009,28(12):116-118.
Mu Guangyong. Reasonably determine the parameters of the measurement error to ensure the safety of the tunnel [J]. Coal Technology, 2009, 28(12): 116-118.

[14] 周行礼,齐俊德.GPS 技术在两井间巷道贯通测量中的应用 [J].煤,2009,18(3):17-19.
Zhou Xingli, Qi Junde. Application of GPS technology in the measurement of tunnel through two wells [J]. Coal, 2009, 18(3): 17-19.

[15] 中华人民共和国能源部.煤矿测量规程 [M].北京:煤炭工业出版社,1989:7-16.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net