

梧桐庄矿混合井井筒贯通测量精度分析

刘存玉^{1,2}

(1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 冀中能源峰峰集团有限公司, 河北 邯郸 056107)

〔摘要〕 梧桐庄矿混合井施工是矿井扩能技改的重点工程, 其工程量大, 工期紧, 施工难度大。为提高施工速度, 采用了井筒分段平行作业技术。贯通测量利用已有测点布设井上下控制网, 通过精度分析, 确定了贯通测量方案; 采用先进测量仪器和测量方法施测, 按期实现了混合井上下段高难度精准贯通, 贯通点位平面误差 80mm。

〔关键词〕 混合井井筒; 贯通测量; 精度; 分段作业

〔中图分类号〕 TD175.5 〔文献标识码〕 B 〔文章编号〕 1006-6225 (2013) 04-0017-04

Precision Analysis of Mixed Shafts Connection Surveying in Wutongzhuang Colliery

煤矿建设工期紧, 任务重, 贯通测量具有缩短工期的重要作用。巷道工程能否顺利贯通, 对测量的精度具有较高的要求。对于贯通测量的精度已有很多文献研究^[1-8], 一般为两井贯通, 本文主要对混合井井筒的贯通精度进行分析。

1 测区概况

梧桐庄矿工业广场内有主井、副井和风井, 均为立井。矿区面临主井提升困难问题, 需要在工业广场内部现有主井西侧开凿混合井, 井筒深 667.651m, 井筒净直径 6m, 表土层厚 126m。为了加快混合井的开凿进度, 缩短工期, 因此在 -402m 水平开凿平巷, 在混合井下方, 向下进行立井开凿, 深度为 68m。

工业广场区域内地面有办公楼、梧桐庄矿、北神岗西 3 个高等级点, 以及三等水准点Ⅲ F61、梧桐庄矿(A)。井下从副井至混合井下 -402m 水平, 井下导线水平长度约 1.2km, 由于立井贯通, 立井井筒中心对接精度要求高, 给投点、陀螺定向、导线测量等环节的测量工作提出了更高的要求。

2 地面控制测量方案设计

2.1 平面控制测量

梧桐庄矿混合井井筒贯通测量, 首先利用办公楼(A)、梧桐庄矿(A) 2 个四等点作为定向方位, 办公楼(A) 作为平面坐标的起算点, 神岗西(A) 作为检核方位, 按闭合导线对地面一级导线近井点近 A、近 B、近 C、近 D 进行测量, 并满足矿区地面平面控制一级导线的要求。测角按 4 个测

回观测, 距离对向观测 3 测回。井上下导线控制测量控制点分布如图 1 所示。

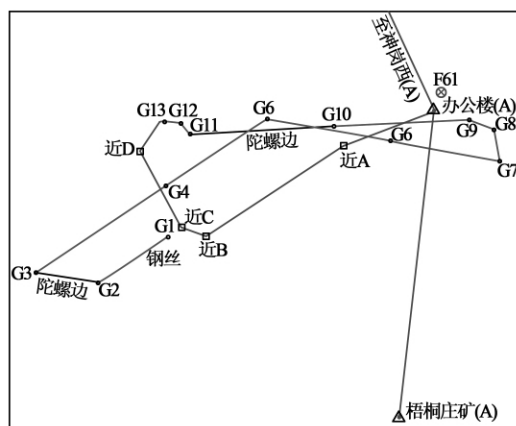


图1 井上下导线测量控制点分布

2.2 高程控制测量

2.2.1 四等水准网施测

利用三等水准点梧桐庄矿(A) 作为起算点, 联测 F61, 沿矿内道路布设四等水准网, 形成 4 个闭合环的水准路线, 进行往返观测, 图 2 为路线示意。

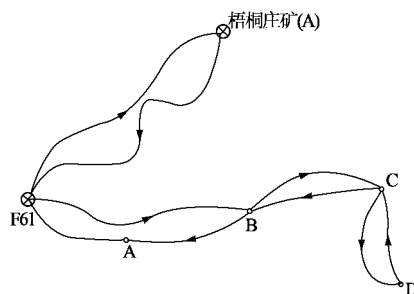


图2 地面四等水准测量路线示意

〔收稿日期〕 2013-01-28

〔作者简介〕 刘存玉 (1964-), 男, 河北万全人, 正高级工程师, 现任冀中能源峰峰集团副总工程师。

水准路线长 3.1km, 采用 TOPCON S₁ 型自动安平水准仪 (AT-G2 TG3174) 和 3m 双面水准尺进行施测。TOPCON S₁ 型自动安平水准仪在未加测微器时标称精度为每公里高差中误差为 3mm。每站观测顺序为“后-前-前-后”, 且保证上、中、下三丝均能读数。

2.2.2 四等水准网的计算

利用平差软件进行严密平差, 计算出各四等水准点的高程成果并进行精度评定。此次实测 4 个闭合环, 从“梧桐庄矿 A”测至矿办公楼的“F61”, 再测到近井点, 最后返测到“梧桐庄矿 A”, 水准路线单程各段长分别为 1.060km, 0.352km, 0.034km, 0.105km, 往返总长 3.1km, 各闭合环的闭合差分别为 -3mm, 0mm, +1mm, +2mm。四等水准测量允许闭合差分别为 $\pm 29.1\text{mm}$, $\pm 16.7\text{mm}$, $\pm 5.2\text{mm}$, $\pm 9.2\text{mm}$, 因此达到了四等水准测量的精度要求。经平差计算, 此次水准测量每公里观测值中误差为 $\pm 3.1\text{mm}$, 各控制点的高程精度高, 其高程中误差见表 1。水准网平差以“梧桐庄矿 A”为起算点进行计算, 一级导线点计算结果见表 1。

表 1 梧桐庄矿地面一级导线坐标计算成果

点名	坐标		高程 H/m	高程中 误差/mm	高程 等级
	x/m	y/m			
近 A	4024011.995	38519993.357	196.753	± 3.4	IV 等
近 B	4023814.472	38519982.980	195.702	± 3.7	IV 等
近 C	4023796.036	38519956.071	196.318	± 3.7	IV 等
近 D	4023812.446	38519852.428	195.395	± 3.8	IV 等
副井钢丝	4023751.661	38519953.816			IV 等
F61			193.198	± 3.2	IV 等
梧桐庄矿 A			224.372		III 等

3 井下导线测量和高程测量精度

3.1 井下高程测量

井下高程测量使用日本 TOPCON S₁ 水准仪, 以井下主水准点 G1 作为高程基点。在车场, 南翼 -470m 水平轨道运输大巷, 在平巷中进行水准测量, 在北翼胶带机巷斜巷中进行三角高程测量。水准测量等级为矿区一级。相邻两水准点间的高差, 采用 2 次仪器高方法进行观测, 当其互差不大于 5mm 时, 取平均值作为观测结果。往返测高差互差应小于 $\pm 50\text{mm} \sqrt{R}$ (R 为水准路线长度, km) [9-10]。井下导线与三角高程同步测量。垂直角观测 2 个测回, 垂直角互差不超过 15"。用钢尺在测量前后分别量取仪器和觇标的高度, 互差小于 4mm 时取其平均值作为量测结果。相邻两点往返

测高差的互差应小于 $10\text{mm} + 0.3\text{mm} \times l$ (l 为导线水平边长, m); 三角高程导线的高差往返测互差应小于 $\pm 100\text{mm} \sqrt{L}$ (L 为导线长度, km) [10]。

3.2 井下陀螺定向导线的严密平差计算

采用日本索佳 SET2 130R3 型陀螺全站仪进行井下定向, 其定向精度为 $\pm 20''$, 测角精度为 $\pm 2''$ [11-12]。分别独立进行 2 次, 定向精度为 $\pm 14''$ 。在“G3-G2”边和“G11-G10”边上进行陀螺经纬仪定向。

根据此次测量导线精度分析, 不能完全作为坚强边来控制 $\pm 7''$ 井下导线, 因而陀螺定向边应和导线边一起作联合平差。副井井下导线平差示意图 3 所示。

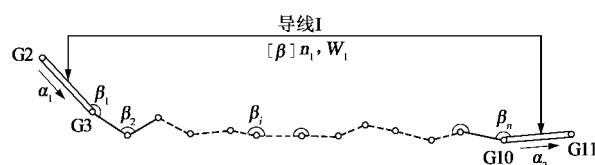


图 3 具有 2 条陀螺定向导线的平差示意图

图 3 中 $n_1 = 8$, $W_1 = +7.7''$ 。导线 I 允许闭合差: $\pm 58.0''$, 陀螺导线闭合差未超限。

$$\text{由于 } \frac{\sqrt{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2}}{\sqrt{8} m_\beta} = \frac{\sqrt{9.75^2 + 9.75^2}}{\sqrt{8} \times 7} = 0.696$$

$> \frac{1}{3}$, 故不能作为坚强边。

(1) 求定向边的定向中误差 m_{α_1} , m_{α_2} 及导线测角中误差 m_β , 即 $m_{\alpha_1} = \pm 9.75'' = m_{\alpha_2}$, $m_\beta = \pm 7''$ 。

(2) 按照条件观测平差, 列出角改正数条件方程式。导线 I 的角度闭合差为:

$$\alpha_1 - \alpha_2 + \beta_1 + \beta_2 + \cdots + \beta_n - n_1 \times 180^\circ = W_1$$

改正数条件方程式为:

$$v_{\alpha_1} - v_{\alpha_2} + v_{\beta_1} + v_{\beta_2} + \cdots + v_{\beta_n} + W_1 = 0$$

式中, v_{α_1} , v_{α_2} 为陀螺定向边坐标方位角 α_1 , α_2 的改正数; v_{β_1} , v_{β_2} , $\cdots$, v_{β_n} 为导线 I 中角度 β_1 , β_2 , $\cdots$, β_n 的改正数; n_1 为导线 I 中角度的个数。

$$v_{\alpha_1} - v_{\alpha_2} + v_{\beta_1} + v_{\beta_2} + \cdots + v_{\beta_{25}} + 71.6 = 0$$

(3) 确定定向边方位角和角度的权。由于导线为等精度观测, 取导线测角中误差 m_β 为单位权中误差, 即 $p_\beta = 1$, 则定向边坐标方位角的权为:

$$p_{\alpha_1} = \frac{m_\beta^2}{m_{\alpha_1}^2} = p_{\alpha_2} = 0.52$$

权倒数为:

$$q_1 = q_2 = \frac{1}{p_\alpha} = 1.94$$

(4) 组成法方程式:

$$N_1 K_1 + W_1 = 0$$

式中, $N_1 = n_1 + q_1 + q_2 = 11.88$

解法方程式, 求得联系数 K_1

$$K_1 = -\frac{W_1}{N_1} = -\frac{7.7}{11.88} = -0.65''$$

(5) 计算各改正数:

导线 I 各角度的改正数为:

$$v_{\beta_1} = v_{\beta_2} = \cdots = v_{\beta_8} = K_1 = -0.65''$$

陀螺定向边方位角的改正数为:

$$v_{\alpha_1} = q_1 K_1 = -1.2'', v_{\alpha_2} = -q_2 K_1 = +1.3''$$

(6) 计算各观测值的平差值:

设 α_1^o, α_2^o 为定向边坐标方位角的平差值, $\beta_{1,2,\dots,n}^o$ 为导线 I 各角度的平差值, $[\beta]^o$ 为导线 I 各角度的平差值之和, 则有

$$\alpha_1^o = \alpha_1 + v_{\alpha_1} = 226^\circ 34' 26.0''$$

$$\alpha_2^o = \alpha_2 + v_{\alpha_2} = 213^\circ 45' 14.4''$$

$$\beta_{1,2,\dots,8}^o = \beta_{1,2,\dots,8} + v_{\beta}$$

$$[\beta]^o = [\beta] + n_1 v_{\beta}$$

4 精度分析与验算

4.1 误差确定^[11-12]

(1) 地面导线测角误差: 布设 5'' 级导线, 按 4 个测回进行角度测量, 取 $\pm 5''/2 = \pm 2.5''$ 。

(2) 井下导线测角误差: 按 7'' 导线进行测量, 取 $m_{\alpha} = 7/\sqrt{2} = 5''$ 。

(3) 陀螺定向误差: 分别独立测量 2 次, 定向精度为 $\pm 14''$ 。

(4) 地面导线边长误差: 按拓普康全站仪标称精度 $m_D = 2\text{mm} + 2 \times 10^{-6} D$, 进行估算。

(5) 井下导线边长误差: 根据尼康全站仪标称精度 $m_D = \pm (2 + 2 \times 10^{-6} D)$ 进行估算。

(6) 地面水准测量误差: 四等水准测量, 每公里的高差中误差为: $m_{hL\uparrow} = \pm \frac{20}{2\sqrt{2}} \text{mm} = \pm 7 \text{mm}$ 。

(7) 导入高程误差: 梧桐庄井深约 666m, 导入高程中误差为: $M_{H_0} = \pm \frac{660}{22600} \text{mm} = \pm 0.029 \text{ (m)}$ 。

(8) 井下水准测量误差: 每公里水准测量的高差中误差为: $m_{hL\downarrow} = \pm \frac{50}{2\sqrt{2}} \text{mm} = \pm 18 \text{mm}$ 。

(9) 井下三角高程测量误差: 每公里三角高程的高差中误差为: $m_{hL\Delta} = \pm \frac{100}{2\sqrt{2}} \text{mm} = \pm 35 \text{mm}$ 。

4.2 贯通测量误差预计^[11-12]

4.2.1 贯通相遇点 K 的平面误差预计

(1) 地面近井点和井上导线连接测量:

角度测量引起的误差为

$$M_{x'\beta\uparrow} = \pm \sqrt{\frac{m_{\beta\uparrow}^2}{2\rho^2} \sum R^2} = \pm \frac{3.5}{206265} \sqrt{197733.6} = \pm 8 \text{ (mm)}$$

边长测量引起的误差为

$$M_{x'1\uparrow} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum m_D^2} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{4 \times 0.007^2} = \pm 10 \text{ (mm)}$$

(2) 陀螺定向误差

$$M_{x'0} = \sqrt{\frac{m_{\alpha_0}^2}{2\rho^2} \times R_{K\text{重心}}^2} = \sqrt{\frac{20^2}{2\rho^2} \times 170.1^2} = \pm 12 \text{ (mm)}$$

(3) 井下导线测量

角度测量引起的误差为:

$$M_{x'\beta\downarrow} = \pm \sqrt{\frac{m_{\beta\downarrow}^2}{2\rho^2} \left(\sum R_{K\text{重心}}^2 \right)} = \pm$$

$$\sqrt{\frac{7^2}{2 \times 206265^2} (400928.4)} = \pm 16 \text{ (mm)}$$

边长测量引起的误差为

$$M_{x'1\downarrow} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum m_D^2} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{12 \times 0.006^2} = \pm 15 \text{ (mm)}$$

(4) 投点误差的影响:

假设投点误差为 $M_{\text{投}} = \pm 20 \text{mm}$

(5) 贯通在 K 点的平面总中误差:

$$M_{x'K} = \pm 35 \text{ (mm)}$$

(6) 贯通在 K 点的平面的预计误差:

$$M_{x'\text{预}} = 2M_{x'K} = \pm 70 \text{mm}$$

4.2.2 贯通相遇点 K 的高程误差预计

(1) 地面水准测量:

$$L = 0.5 \text{ km}$$

$$M_{H\uparrow} = \pm m_{hL\uparrow} \sqrt{L} = \pm 0.007 \sqrt{500} = \pm 5 \text{ (mm)}$$

(2) 导入高程测量:

$$M_{H\text{副}} = M_{H\text{风}} = \pm 29 \text{mm}$$

(3) 井下三角高程测量:

由于此次贯通测量中斜巷约为 340m, 故:

$$M_{H\text{经}} = \pm m_{hL\Delta} \sqrt{L} = \pm 0.035 \sqrt{340} = \pm 20 \text{ (mm)}$$

(4) 井下水准测量:

由于此次贯通测量中平巷约为 860m, 故

$$M_{H\text{水}} = \pm m_{hL\downarrow} \sqrt{L} = \pm 0.018 \sqrt{860} = \pm 17 \text{ (mm)}$$

(5) 贯通在 K 点的高程上的总中误差:

$$M_{H_{K\text{平}}} = \pm \sqrt{0.005^2 + 0.029^2 + 0.02^2 + 0.017^2} = \pm 40 \text{ (mm)}$$

(6) 贯通在 K 点的高程上的预计误差:

$$M_{H\text{预}} = 2M_{H_{K\text{平}}} = \pm 0.080 \text{ m} \leq \pm 0.2 \text{ m}$$

由分析可知^[13-14]: 井下测角和陀螺定向是水

平方向上最主要的贯通误差来源,其次是投点误差的影响。

由于没有大的上、下坡度,贯通点高程预计误差为 $\pm 0.080\text{m}$,小于贯通高程限差,说明高程测量仪器及其方法满足本次贯通测量的要求。

立井井筒中线方向和高程均未超过允许的贯通限差,说明此次测量方案及测量方法能够满足贯通精度要求^[14]。

5 结束语

(1) 针对梧桐庄矿混合井井筒贯通距离长、短边较多的特点,提出了井筒贯通测量方案设计。通过误差分析和预测,确定了方案的可行性。

(2) 采用合理测量仪器和测量方法,按照《煤矿测量规程》和《技术设计书》的要求进行了测量工作,取得了良好效果。

(3) 经测定,贯通点位平面误差为 80mm ,导线全长相对闭合差为 $1/33000$,贯通精度高,按期实现了混合井井筒贯通。

[参考文献]

- [1] 李兴国. 大型矿井巷道贯通测量方法与误差分析 [J]. 煤炭科学技术, 2012 (7): 93-95.

- [2] 张自宾. 矿山大型贯通测量误差预计分析及应用 [J]. 科技信息, 2012 (2): 365.
- [3] 王恒泽. 长距离对向贯通测量技术研究 [J]. 矿山测量, 2012 (1): 36-37.
- [4] 张成校, 顾和和. 现代矿井贯通测量方案设计与误差预计 [J]. 北京测绘, 2012 (2): 41-43.
- [5] 冯大福. 测绘新技术条件下的贯通测量误差预计综述 [J]. 矿山测量, 2012 (2): 78-81.
- [6] 叶维楚, 姜京福, 王芝峰. 提高千米深井高水压条件下大型贯通测量精度的方法 [J]. 矿山测量, 2011 (1): 37-38.
- [7] 代晓东. 城郊煤矿副井与东风井贯通工程的优化设计及实施 [J]. 矿山测量, 2006 (3): 49-51, 88.
- [8] 代晓东, 王秉君, 李 勇, 等. 城郊煤矿副井与东风井贯通工程的优化设计及实施 [A]. 全国开采沉陷规律与“三下”采煤学术会议论文集 [C]. 2005.
- [9] 靳苏平. 王庄煤矿+540m 和+630m 水平巷道贯通方案研究 [A]. 2011 全国矿山测量新技术学术会议论文集 [C]. 2011.
- [10] 张治斌. 灵新煤矿+1050m 机轨合一巷贯通工程优化设计及实施 [J]. 西北煤炭, 2008, 6 (2): 33-35.
- [11] 冯 超, 白兆祥. 默勒三矿主井与风井贯通测量误差控制 [J]. 广东科技, 2012, 21 (11): 158-159.
- [12] 白兆祥. 默勒三矿主井与风井贯通工程 [A]. 2009 年全国矿山测量新技术学术会议论文集 [C]. 2009.
- [13] 吴庆龙. 瑞兴煤矿贯通设计 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 32 (1): 213, 222.
- [14] 王 敏, 李豫江, 白昊杰, 等. 巷道贯通测量方案的研究 [J]. 河南科技, 2011 (7): 71-72.

[责任编辑: 邹正立]

矿用抢险探测机器人有望产业化

近日, 由唐山开诚电控设备集团有限公司 (以下简称“开诚集团”) 承担的 2010 年度河北省重大技术创新项目“矿用抢险探测机器人研发及产业化”顺利通过验收。

开诚集团实施“矿用抢险探测机器人研发及产业化”项目, 针对煤矿环境的特殊要求, 对矿用抢险探测机器人关键性技术进行研究, 重点突破了机器人防爆防水双重设计、复杂环境超障、矿下通讯、系统集成和系统整体防爆等关键技术, 构建了合理的机器人系统体系结构, 完成了我国首台矿用抢险探测机器人的研制。

项目实施过程中, 制定企业标准 1 项, 形成地方标准 1 项, 已授权使用新型专利 4 项, 培养了一批专业的防爆设计、嵌入式设计、软件开发人才, 全面提升了企业的技术创新能力。

通过在大型煤矿使用, 该机器人证明适用于井下抢险救援和危险环境下的探测。

开诚集团已形成年产 1800 台矿用抢险探测机器人生产能力, 实现销售 60 台, 新增销售收入 7500 万元, 实现利税 1000 万元。

摘自《煤炭信息周刊》2013-08-01

神华宁煤集团太西炭基工业公司 2 项科技创新项目通过验收

近日, 神华宁煤集团太西炭基工业公司“太西无烟超低灰纯煤冶炼绿质碳化硅的工艺研究”和“高性能变压吸附活性炭生产工艺技术研究”项目通过宁夏自治区科技厅评审验收。

这 2 个项目依托神华宁煤集团资源和技术优势, 利用灰分 $\leq 3\%$ 的太西无烟超低灰纯煤成功地实现了冶炼绿质碳化硅和高性能变压吸附炭的工业试生产, 经科技查新, 多项技术填补了国内空白。生产的煤基绿质碳化硅产品经国家权威检测机构检测, 各项技术指标均达到行业标准。

摘自《煤炭信息周刊》2013-08-01