

特大型矿井贯通测量关键技术分析

徐广翔¹, 牛福龙²

(1. 山西大同大学 煤炭工程学院, 山西 大同 037003; 2. 大同煤矿集团有限责任公司 生产技术部, 山西 大同 037003)

摘 要: 为确保同发东周窑矿主副斜井贯通测量工程高精度完成, 通过该矿主副斜井贯通测量工程资料和技术方法分析, 地面控制测量平面控制采用高精度 GPS 控制网, 高程控制采用全站仪三角高程测量。井下控制测量采用一级导线布设, 计算斜长化归到投影水准面及投影水准面化归到高斯投影面 2 项改正。通过以上措施建立了高精度专用控制网, 完成了该矿特大型贯通测量工程。

关键词: 大型矿井; 贯通测量; 投影改正; GPS 测量

中图分类号: TD175.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336 (2011) 12-0116-04

Analysis on Key Technology of Through Survey in Large Coal Mine

XU Guang-xiang¹, NIU Fu-long²

(1. School of Coal Engineering, Shanxi Datong University, Datong 037003, China;

2. Production and Technology Department, Datong Coal Mine Group Corporation Ltd., Datong 037003, China)

Abstract: In order to ensure the through survey project completed with high accuracy in the main and auxiliary inclined shafts of Tongfa Dongzhouyao Mine, with the analysis on the through survey project information and technical methods of the main and auxiliary inclined shafts, the high accurate GPS control net was applied to the plane control survey on the surface ground and the trigonometrical elevation survey with the total station was applied to the elevation control. The underground mine control survey with a first grade traverse layout was applied to calculate the two corrections for the inclined length reduced to the projection level plane and the projection level plane reduced to the Gauss projection plane. With the above measures, a high accuracy special control net was established and the through survey project in the large mine was successfully completed.

Key words: large coal mine; through survey; projection correction; GPS survey

1 贯通工程概况

同发东周窑矿井项目包括设计能力为年产 1 000 万 t 的矿井、年入选 1 000 万 t 的选煤厂和配套的铁路专线技术改造工程等, 于 2008 年 8 月开工建设, 2011 年 9 月首采工作面开始生产。主斜井井筒宽 5 m, 高 3.85 m, 坡度 16°, 全长 1 703.4 m, 提升方位 42.5°, 井口标高 +1 335.5 m, 井底标高 +866 m, 为输送带运输。副斜井井筒斜长 1 282 m, 坡度 7~22°, 提升方位 0°, 井口标高 +1 342.55 m, 井底标高 +870 m, 用于大型设备及材料的运输。副斜井经副斜井底车场、联络巷、辅助运输大巷与主斜井贯通。其中, 在主斜井、副

斜井、辅助运输大巷各布设贯通测量控制导线。主斜井与副斜井的井下贯通导线长度为 3 835 m, 井上下闭合导线长度 5 700 m。主斜井与副斜井于 2010 年 9 月 3 日在主斜井距离井口 1 505.4 m 处贯通。同发东周窑矿井项目是同煤集团继塔山煤矿和同忻煤矿之后的又一个千万吨级矿井项目, 该项目投资大, 工期紧, 为加快工程进度, 采用贯通测量方案, 主斜井与副斜井在主斜井中贯通, 属于两井间的巷道贯通测量, 贯通距离长, 技术难度大。

2 地面控制测量

1) 平面控制测量。地面平面控制测量采用 GPS 控制测量, 以三等点纸方头、夏家河为起算点

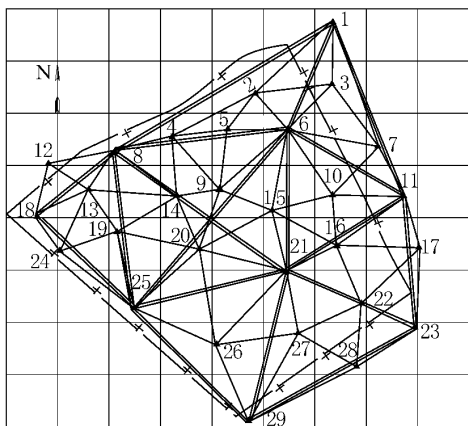
收稿日期: 2011-05-14; 责任编辑: 代艳玲

作者简介: 徐广翔 (1968—), 男, 山西大同人, 副教授, 硕士。Tel: 13008095591, E-mail: guangxiang68@163.com

网络出版时间: 2011-12-19 16:54; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20111219.1654.012.html>

引用格式: 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.

与张家坟、井儿洼、孙家湾一起作为骨架点，建立国家 C 级骨架网，图中用双线表示，在骨架网的基础上，采用插网的方法建立东周窑井田国家 D 级平面控制网，图中用单线表示，如图 1 所示。



1—纸方头；2—云西；3—纸方头村；4—双官屯西；5—双官屯东；6—夏家河；7—东条涧；8—东红崖北；9—杨户岭；10—玉奎堡；11—井儿洼；12—古城北；13—古城东；14—东红崖东；15—南端午；16—东周窑；17—贾家沟；18—陈家河；19—贾家窑；20—杨千堡；21—木代村；22—平寺；23—张家坟；24—刘家屯；25—盐疙瘩；26—南杏村；27—瓦陇村；28—井儿沟；29—孙家湾

图 1 平面控制网图形

GPS 控制网观测严格按照 GB/T 18314—2001《全球定位系统（GPS）测量规范》要求进行观测，仪器设备使用 Trimble 4600Ls 接收机，以边连接的方式组成 GPS 异步环进行观测，骨架网按 C 级网精度要求观测；插网按 D 级网精度要求观测，具体要求见表 1。

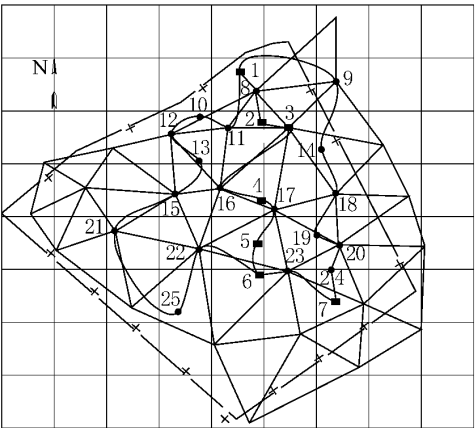
表 1 C、D 级 GPS 控制网精度指标

项 目	C 级	D 级
卫星截止高度角/（°）	15	15
同时观测有效卫星数	≥4	≥4
观测时段数	≥2	≥1.6
时段长度/min	≥90	≥60

外业数据质量检核及数据平差和精度评定如下。①复测基线长度较差 $d_s \leq 2\sqrt{2}\delta$ ，其中： δ 为相应级别规定的精度（按实际平均边长计算）；②独立闭合环或附合路线坐标闭合差 W 在各方向上的值为 $W_x \leq 3\sqrt{3}\delta$ ， $W_y \leq 3\sqrt{3}\delta$ ， $W_z \leq 3\sqrt{3}\delta$ ， $W_s \leq 3\sqrt{3}\delta$ 。本网同步环和异步环闭合差最大为 0.019 m < 0.03 m，平均闭合差为 0.004 m，标准偏差

0.004 m。由此可以看出，GPS 网外业观测质量好，精度、可靠性均满足国家规范要求^[1]。③数据平差：本工程数据平差使用 Trimble4600Ls 随机软件进行，在基线向量检核符合要求后，进行整网的无约束平差，提供各点在 WGS—84 系的三维坐标和精度信息；利用无约束平差后的可靠观测测量，在大同矿区独立坐标系进行二维约束平差，提供独立坐标系中的二维坐标及其相应的精度信息。④精度信息：无约束平差是在 WGS—84 基准下完成，最大点位误差为刘家屯点， $\Delta X = 0.020\text{ m}$ ， $\Delta Y = 0.017\text{ m}$ 。最大边长相对中误差 K 为双官屯东—杨户岭边， $K = 1/88\ 000 < 1/50\ 000$ 。约束平差是在中央子午线 $112^\circ 30'$ ，北京 54 坐标系下完成，最大点位误差为刘家屯点， $\Delta X = 0.035\text{ m}$ ， $\Delta Y = 0.028\text{ m}$ 。最大边长相对中误差均为双官屯东—杨户岭边， $K = 1/76\ 000 < 1/50\ 000$ 。由此看出，平差后的 GPS 网平面位置精度完全满足国家 D 级网的精度要求。数据精度良好可靠。

2) 高程控制测量。高程测量控制网以三等水准点云水 3、云水 5、夏家河为起算依据布设四等高程控制网，往返测量路线约 143.372 km，如图 2 所示。选、埋点按照国家规范要求采用图上设计和野外实地勘察相结合的方法完成，共选、埋点 BM1、BM2、…、BM10 等 10 个点，高程测量对云水 3、云水 6、夏家河进行检测后，采用全站仪三角高程观测法进行^[2-3]。



1—7 为已知水准点，分别为云水 1、云水、夏家河、云水 2、云水 3、云水 4、云水 5；8—25 为水准点和 GPS 点，分别为云西、纸方头村、BM10、双官屯东、双官屯西、BM9、BM3、东崖东、杨户岭、南端午、玉奎堡、BM2、东周窑、贾家窑、杨千堡、木代村、BM1、BM8

图 2 东周窑井田水准路线

测后及时对外业观测质量、平差后精度进行分析,往返测段、闭合线路最大闭合差 $f_{\text{h}}=0.034\text{ m}$
 $<20\sqrt{L}=0.047\text{ m}$ (L 为测段路线长),每千米往返测高差中数偶然中误差 $m=3.45<10.0\text{ mm}$ 。

由此看出,高程控制网的外业观测、平差后精度完全满足国家四等水准的精度要求。

3) 近井点的测设及精度。主斜井与副斜井的近井点采用插网布设成 D 级 GPS 控制网,使近井点处于同一等级的控制网内,主斜井与副斜井同一近井点东近 5、东近 3 起,布设四等光电测距导线进行联测^[4-5]。

3 井下控制测量

1) 导线测量。井下控制导线点使用铁桩埋设在巷道的顶板,统一编号。使用拓普康 332C 型全站仪及其配套设备,标称精度测角中误差 $\pm 2''$,测距中误差 $(2+2\times 10^{-6})\text{ mm}$ 。主副斜井采用一级导线($\pm 5''$ 级)施测。导线观测技术要求如下^[9]:

导线等级 / (°)	一级导线
仪器级别	DJ2
测角中误差 / (°)	± 5
对中次数	1
测回数	4
方位角最大闭合差 / (°)	$\pm 10\sqrt{n}$ (n 为测站数)

当边长小于 30 m 时,对中次数为 2 次;当边长小于 15 m 时,对中次数为 3 次,测回数为 3 测回。水平角的观测限差如下^[9]:

仪器级别	DJ2
半测回归零差 / (°)	8
一测回内 2C 互差 / (°)	13
同一方向值各测回互差 / (°)	9

2) 三角高程测量。三角高程测量的技术要求如下(计算对向观测高差互差时,应考虑地球曲率和折光差的影响; S 为实测边长度,km)^[9]:

经由路线	一二级导线点
仪器级别	DJ2
测回数	2
垂直角互差 / (°)	15
指标差互差 / (°)	15
对向观测高差较差 / mm	$\pm 100S$
附合或环线闭合差 / mm	$\pm 50\sqrt{[S^2]}$

3) 边长测量。在施测控制导线,测距时加入温度、气压;并把测量成果归化至 1 200 m 水准面上。光电测距导线的技术要求应符合以下规定^[9]

(其中: A 为固定误差,mm; B 为比例误差,mm/km):

等级	一级
仪器等级	II
时间段	1
总测回数	2
一测回内最大互差 / mm	10
单程测回间最大互差 / mm	15
往返测互差 / mm	$\pm 2(A+B\cdot S)$
测距相对中误差	1/30 000
导线全长相对闭合差	1/20 000

4) 水平边长计算。水平边长归化至 1 200 m 水准面上的计算,包括:球差改正和投影改正 2 项^[6]。球差改正 $R=-D|H_1-H_2|/(2R_m)$,投影改正 $T=D[Y_m^2/(2R_m^2)-(H_m/2)-1\ 200]/R_m$,其中: $|H_1-H_2|$ 为 1 点、2 点高程之差的绝对值; R_m 为地球半径,取 6 371 km; Y_m 为 1 点、2 点的 Y 坐标的平均值, $Y_m=(Y_1+Y_2)/2-500\ 000$, Y_1 、 Y_2 为通用值; H_m 为 1 点、2 点的高程的平均值, $H_m=(H_1+H_2)/2$; D 为测边距水平边长,m。导线水平边长改正后的值 $D_g=D+R+T$ 。

5) 三角高程计算^[7]。在三角高程计算时,加入大气折光差 γ ,取 $6.8\times 10^{-8}D^2$ 。

4 贯通导线实测精度分析

1) 井下导线测角中误差。用井下导线双测对数据计算井下导线测角中误差,共进行了 14 个井下导线角度双测对测量^[8],由于井下导线双测对数据较少,不能够真实反映井下导线测角中误差,但可评价井下导线测角精度,结果见表 2。

由双测对计算的井下导线测角中误差:

$$m_{\beta}=\pm\sqrt{\frac{[d''d'']}{2(n-1)}}=\pm\sqrt{\frac{227.214\ 3}{2(14-1)}}=\pm 3''<\pm 5''$$

2) 井下导线各项主要精度指标。方位角闭合差 $f_{\omega}=18''\leq\pm 10\sqrt{38}=\pm 62''$,坐标闭合差 $f_x=0.024\text{ m}$, $f_y=0.068\text{ m}$,长度闭合差 $f=\sqrt{f_x^2+f_y^2}=0.072\text{ m}$,闭合导线全长相对闭合差 $K'=1/80\ 000\leq 1/80\ 000$ 。

3) 井下导线高程测量精度^[9]。井下高程控制测量采用三角高程测量,控制导线点作为高程点与控制导线同时观测。2 次独立观测(最远点)高程不符值 $\Delta H=14\text{ mm}<\pm 50\sqrt{L}=\pm 50\sqrt{5.7}=\pm 119\text{ mm}$ 。

表 2 用井下导线角度二次观测对计算
导线测角中误差数据

序号	测点	角差 d''	$d'' = d - [d]/14$	$d''d''$
1	副 10	0	-1.071 428 571	1.147 959 184
2	副 11	6	4.928 571 429	24.290 816 330
3	副 12	-6	-7.071 428 571	50.005 102 040
4	副 13	0	-1.071 428 571	1.147 959 184
5	副 14	2	0.928 571 429	0.862 244 898
6	副 14'	-2	-3.071 428 571	9.433 673 469
7	L14	-2	-3.071 428 571	9.433 673 469
8	主 1	-2	-3.071 428 571	9.433 673 469
9	主 2	2	0.928 571 429	0.862 244 898
10	主 3	3	1.928 571 429	3.719 387 755
11	主 4	-7	-8.071 428 571	65.147 959 180
12	主 5	-3	-4.071 428 571	16.576 530 610
13	主 6	-4	-5.071 428 571	25.719 387 760
14	主 7	-2	-3.071 428 571	9.433 673 469

注： d 为角差 $[d]$ 为求和 $[d''d''] = 227.214\ 285\ 7。$

5 贯通测量设计方案的实施及评价

在贯通测量中，严格按照设计方案的要求进行实施。从贯通测量精度的分析看，贯通测量设计方案合理可行，满足了贯通工程的要求。贯通工程的允许偏差值主要考虑不影响巷道工程的质量与巷道今后在生产中的正常使用，同时也应考虑测量工作所能达到的精度。主斜井中线允许偏差值可采用 0.2 m，腰线间的允许偏差值可采用 0.2 m。本次井下贯通闭合导线测量共设 38 站，闭合导线全长 5 700 m。贯通的预计偏差在水平重要方向上的总预计误差：主斜井为 $\pm 0.186\text{ m}$ ，贯通在高程上的预计误差为 $\pm 0.1\text{ m}$ 。贯通的实际偏差：主斜井的贯通水平偏差为 0.020 m，高程偏差为 0.014 m，贯通的实际偏差小于贯通工程的允许偏差值，说明对贯通巷道的正常使用，没有任何影响。

本次贯通控制点位精度高，掘进方向控制精确，减少了因贯通误差大而造成二次成巷的投入，由于采用先进的测量技术和完善的工作方法，完成了高难度、高技术要求的特大贯通工程。随着工程技术的发展，对测量工作必将提出新的要求，现代测绘新技术的发展又给工程测量带来了新的挑战和机遇。特别是 3S（全球定位技术 GPS、地理信息技术 GIS、遥感 RS）技术的发展以及测绘仪器的进一步智能化和数字化，使得过去不可能实现的特大型贯通工程得以实现，贯通工程正向超长度、高

精度、高技术的方向发展。

参考文献：

[1] GB/T 18314—2001，全球定位系统（GPS）测量规范 [S].
[2] 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.
[3] 王瑞峰. 全站仪及贯通误差预计在矿山测量中的应用 [J]. 测绘通报，2008（10）：36—38.
[4] 吴 全，姜 维. 土堆—沙旺贯通测量方案及误差预计 [J]. 矿山测量，2010（1）：72—73.
[5] 赵 强. 红柳林矿三井贯通测量 [J]. 北京测绘，2010（1）：69—70.
[6] 李德仁. 误差处理和可靠性理论 [M]. 北京：测绘出版社，1988.
[7] 周立吾，张国良，林家聪. 矿山测量学 [M]. 徐州：中国矿业大学出版社，1983.
[8] 胡国尧. 王家岭煤矿贯通控制测量浅析 [J]. 矿山测量，2010（2）：70—71.
[9] 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.

（上接第 115 页）

造成了对浅表含水层的疏降。

参考文献：

[1] 潞安环保能源开发股份有限公司漳村煤矿，中国矿业大学. 漳村煤矿开采沉陷对浅表含水层的影响研究 [R]. 长治：潞安环保能源开发股份有限公司漳村煤矿，2010.
[2] 国家煤炭局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程 [M]. 北京：煤炭工业出版社，2000.
[3] 路国庆，杨建林，滕永海，等. 分层综采快速推进地表移动规律的研究 [J]. 矿山测量，1992（2）：14—17.
[4] 吴 侃，李 亮，敖建锋，等. 开采沉陷引起地表土体裂缝极限深度探讨 [J]. 煤炭科学技术，2010，38（6）：114—117.
[5] 马占国，黄 伟，郭广礼，等. 覆岩失稳破坏的时变边界力学分析 [J]. 辽宁工程技术大学学报：自然科学版，2006（4）：34—39.
[6] 王列平，胡 奎，陈玉平，等. 厚松散表土层条件下南沱河堤坝开采沉陷预测 [J]. 煤炭科学技术，2009，37（12）：101—104.
[7] 黄文峰，朱 昶，张洪波，等. 黄河落淤治理巨野煤田塌陷区可行性初探 [J]. 山东国土资源，2006（S1）：132—135.
[8] 刘启蒙，李文平，曾先贵，等. 室内水力压裂法测试岩体临界破裂压力及阻水系数 [J]. 煤炭科学技术，2007，35（1）：89—91.
[9] 任 强，刘伟韬. 覆岩采动裂隙带发育规律的数值模拟分析 [J]. 安全与环境学报，2006，6（S1）：77—80.