



# 沙溪铜矿副井与北风井

## -800m中段两井大型贯通测量

孙金皆

铜陵有色金属集团铜冠矿山建设股份有限公司，安徽铜陵 244000

**[摘要]** 在两井大型贯通测量工作中，通过采用双线投点联合高等级的测量设备进行了复测性定向，纠正方向，以提高测量精度，从而实现高质量的贯通。该方法对类似工程的贯通测量有一定的参考价值。

**[关键词]** 复测性定向；贯通测量；误差预计

### 1 工程概况及质量要求

#### 1.1 工程概况

沙溪铜矿副井地面井口标高+29.8m，井底标高-995m，井深1024.8m；北风井地面井口标高+49.2m，井底标高-812.4m，井深861.6m；副井与北风井-800m贯通巷道全长1560m。根据生产进度情况及客观条件的限制，先贯通-800m上盘，该贯通相遇点K预计在处距北风井780m，属于特大型的两井贯通，是该矿建矿以来首次遇到的两井间的长距离巷道贯通工程。技术上要求很高，测量系统复杂，工作量大，贯通难度大。

#### 1.2 质量要求

两井间巷道对接贯通或巷道与井筒马头门的对接贯通，依据《有色金属矿山井巷工程测量规范》(YSJ415-93)要求，贯通测量接合点中线允许偏差为30cm，竖直方向上的允许偏差为20cm<sup>[2]</sup>。

### 2 贯通测量方案

#### 2.1 已有测量资料情况

矿部地面已建立了控制点多个，考虑到后期场地的变更，建井期间，在各井口附近埋测了近井点。

#### 2.2 -800m中段贯通测量方案

以全站仪为主测设导线。地面控制测量重新进行连接复测，同一把千米长钢尺同样方法在贯通巷道的两端井筒内分别导入高程。从整个贯通工程来看，该贯通测量误差的来源主要是地面控制测量，井筒联系测量和井下控制测量3个部分。

##### 2.2.1 地面控制联量

副井与北风井地面均有已知控制点(GPS E级点)ES13、ES10、ES4和ES5，用徕卡TCR1202+R400全站仪(2"【 $1+1.5 \times 10^{-6} \times D$ 】mm)进行联测，由副井附近的ES13、ES10联测到北风井附近的ES10、ES4，用三架法施测，水平角1次对中2个测回，距离和高差正倒镜位且往返各测6次，仪器高、觇标高采用5m小钢尺丈量，精确至mm级。观测时仪器的对中整平及各项限差均符合规范规定要求。

经外业手薄的整理和内业计算后，闭合后其点位误差为55mm，高程较差为32mm，方位角闭合差为32"。说明地面已知控制点精度可靠，可满足工程施工的精度要求。联测后，分别在副井和北风井井口附近适当位置建立了近井点FJ1、FJ2，NJ1、NJ2。

##### 2.2.2 联系测量

这部分包括两条竖井(副井与北风井)的联系测量。

###### (1) 北风井联系测量

北风井联系测量所用的测量设备：徕卡TCR1202+R400全站仪(2"【 $1+1.5 \times 10^{-6} \times D$ 】mm)、徕卡TS02 plus R500(2"【 $1+1.5 \times 10^{-6} \times D$ 】mm)全站仪、中船重工GT3-3型陀螺经纬仪、千米长钢尺。

定向时采用2根长1000m $\phi$ 1.4mm的碳素弹簧钢丝双线投点至-800m，以建立北风井的近井点和近井边，同时用千米长钢尺和2台全站仪将地面近井点的高程导入至井下定向点上。巷道施工到一定长度时，再用陀螺经纬仪进行陀螺定向，修正几何定向的方位角。

###### (2) 副井联系测量

副井联系测量所用的测量设备及联系测量方法如同北风井。

###### (3) 导入高程测量

用千米长钢尺和2台全站仪将地面近井点的高程导入至井下高程控制点上。导入高程至少独立进行两次，其互差

不得超过井深的 1/8000。导入高程时加入钢尺自重和比长改正及温度改正。

这样联系测量的误差主要包括投点误差、测角与测距误差以及钢尺导入高程误差。

### 2.2.3 -800m 中段控制测量

#### (1) 平面控制测量

-800m 中段北风井与副井巷道长 1560m。用徕卡全站仪测设一级导线，水平角采用测回法或全圆观测法一次对中两个测回测角，并变换度盘位置，边长正倒镜位且往返各测四个数据，导线独立施测两次。观测时仪器的对中整平及各项限差均符合相应规范规定。

#### (2) 高程控制测量

高程控制用 DS3 水准仪施测一级水准，两次仪高测定，其较差不符值不得大于 4mm。观测时仪器的对中整平及各项限差均符合相应规范规定。

### 3 误差预计所需基本参数的确定

(1) 因地面是由两条竖井各自的控制点建立的近井点，应考虑 ES10 和 ES5 两控制点的测量误差对贯通点 K 的影响。

(2) 北风井地面 +49.2m 至 -800m 定向投点误差：

$$m_{e1} = \pm 4mm;$$

(3) 副井地面 +29.8m 至 -800m 定向投点误差：

$$m_{e2} = \pm 4mm;$$

(4) 北风井 -800m 水平徕卡全站仪测角中误差：

$$m_{\beta 2} = \pm 7'';$$

(5) -800m 水平陀螺定向误差：

$$m_{\beta \text{陀}} = \pm 10'';$$

(6) 地面及井下导线各点与 K 点连线在 Y' 轴上的投影长度，在设计图上量取（见贯通误差预计图），见表 1

导线点号	Ry' (m)	导线点号	Ry' (m)	导线点号	Ry' (m)
地面导线		-800m导线		-800m导线	
ES5	407.4	F1	697.0	N3	289.6
NJ1	433.3	F2	685.4	N4	164.3
NJ2	458.9	F3	671.0	N5	136.9
ES10	733.8	F4	637.4	N6	109.7
FJ1	730.2	F5	563.2	N7	82.2
NJ2	689.1	F6	443.0	N8	62.6
以上为徕卡全站仪建立的		F7	286.2	N9	50.7
近井点和近井边		F8	145.1	N10	28.7
		N1	432.1	N11	7.6
		N2	376.5		
$\sum 1R_i^2$	2110826.2	以上为徕卡全站仪		$\sum 2R_i^2$	2912738.2
		复测导线			

(7) 导线量边误差按仪器标称精度计算，见表 2

表 2：地面及井下导线量边误差

导线边名	边长(m)	中误差 (mm)	导线边名	边长(m)	中误差 (mm)
地面导线边			-800m		
ES5~NJ1	61.5	1.0	N1~N2	58.6	1.0
NJ1~NJ2	35.5	1.0	N2~N3	91.5	1.0
ES10~FJ1	45.9	1.0	N3~N4	131.9	1.0
FJ1~FJ2	80.1	1.0	N4~N5	110.0	1.0
-800m			N5~N6	110.0	1.0
F1~F2	49.0	1.0	N6~N7	110.0	1.0
F2~F3	32.3	1.0	N7~N8	80.4	1.0
F3~F4	35.3	1.0	N8~N9	27.5	1.0
F4~F5	74.1	1.0	N9~N10	27.1	1.0
F5~F6	120.3	1.0	N10~N11	21.7	1.0
F6~F7	156.8	1.0	N11~贯通点	7.7	1.0
F7~F8	141.1	1.0			
F8~贯通点	145.1	1.0			

(8) 北风井和副井地面近井点的三角高程测量每公里的高差中误差

$$m_{\text{上}} = \pm 20mm;$$

(9) 北风井导入高程中误差： $m_{h1} = \pm 40.4mm$

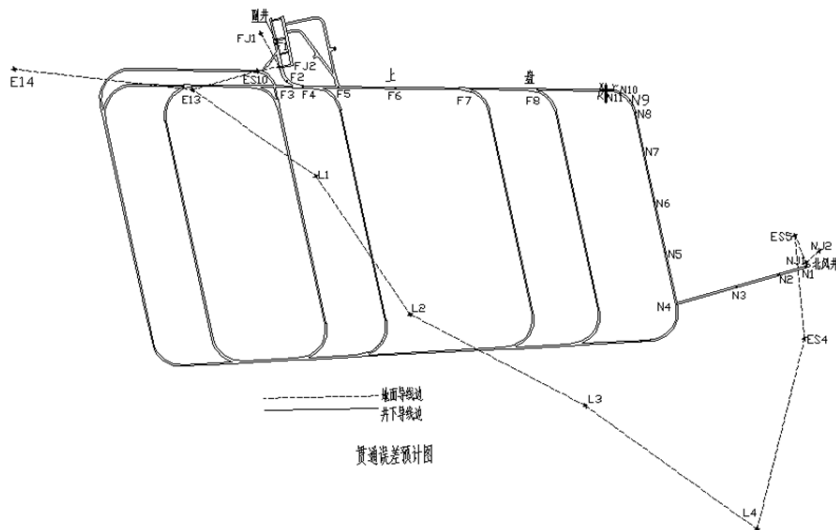
(10) 副井导入高程中误差： $m_{h2} = \pm 41.3mm$ ；

(10) 井下 I 级水准测量中误差： $m_{h1} = \pm 15mm$

$$m_{\text{下}} = \pm 15\sqrt{L_1} = \pm 15\sqrt{1.783} = \pm 20.0mm$$

#### 4 贯通测量误差预计

贯通测量导线点位误差预计图(1:100),本附图比例尺在打印时已经缩小。根据施工计划,预计K点为贯通点。过K点作X'轴和Y'轴(X'轴与Y'轴垂直),建立误差计算假定坐标系,其点布置见图[1]。



##### 4.1 贯通相遇点K在水平重要方向X'上的误差预计

(1) 地面导线测量引起K点在X'方向上的测角误差(角度独立测量两次)

$$m_{x'\beta_{上}} = \pm \frac{m_{\beta 1}}{\rho\sqrt{2}} \times \sqrt{\sum R_{y'}^2} = \pm \frac{7}{206265 \times \sqrt{2}} \times \sqrt{2110826.2 \times 10^6} = \pm 34.9 \text{ mm}$$

其中  $\sum R_{y'}^2$  是由预计图上先量得  $R_{y'}$ , 再平方求和而得。

量边误差引起的(边长独立测量两次)

$$M_{x'l_{上}} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\sum m_i^2 \cos^2 \alpha'} = \pm 2.3 \text{ mm}$$

其中,  $m_i$  为量边误差,  $\alpha'$  是各边与 X' 轴方向的夹角。

(2) 北风井两次定向平均值的误差引起的

$$M_{1x'\text{定}} = \frac{m_{\alpha 0}}{\rho\sqrt{2}} R_{1Y'\text{定}} = \pm \frac{7}{206265\sqrt{2}} \times 438.9 \times 10^3 = \pm 10.5 \text{ mm}$$

导线测量引起K点在X'方向上的测角误差(角度独立测量两次)

$$m_{x'\beta_{下}} = \pm \frac{m_{\beta 1}}{\rho\sqrt{2}} \times \sqrt{\sum R_{y'}^2} = \pm \frac{7}{206265 \times \sqrt{2}} \times \sqrt{484228.6 \times 10^6} = \pm 16.7 \text{ mm}$$

一井定向的投点误差:  $m_{e1} = \pm 4 \text{ mm}$

量边误差引起的(边长独立测量两次)

$$M_{x'l_{下}} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\sum m_i^2 \cos^2 \alpha'} = \pm 1.7 \text{ mm}$$

(3) 副井两次定向平均值的误差引起的

$$M_{2x'\text{定}} = \frac{m_{\alpha 0}}{\rho\sqrt{2}} R_{2Y'\text{定}} = \pm \frac{7}{206265\sqrt{2}} \times 699.3 \times 10^3 = \pm 1.6 \text{ mm}$$

一井定向的投点误差:  $m_{e2} = \pm 4 \text{ mm}$

测角误差引起K点在X'方向上的误差(角度独立测量两次)

$$m_{x'\beta_{2下}} = \pm \frac{m_{\beta 1}}{\rho\sqrt{2}} \times \sqrt{\sum R_{y'}^2} = \pm \frac{7}{206265 \times \sqrt{2}} \times \sqrt{2428509.6 \times 10^6} = \pm 37.4 \text{ mm}$$

量边误差引起的(边长独立测量两次)

$$M_{x'l_{2下}} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\sum m_i^2 \cos^2 \alpha'} = \pm 1.6 \text{ mm}$$

(4) 由陀螺定向引起的误差

$$m_{x'ok}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \times [(y_{o'} - y_{oH'})^2 + (y_{oH'} - y_k')^2 + R_{y_{o'}}^2]$$

$$m_{x'1ok} = \pm \frac{10}{206265} \times \sqrt{563.3^2 \times 1000^2} = \pm 27.3mm;$$

$$m_{x'2ok} = \pm \frac{10}{206265} \times \sqrt{495.3^2 \times 1000^2} = \pm 24.0mm$$

式中:  $R_{y_{o'}}$ —F5 点与 K 点连线在  $Y'$  轴上的投影长;  $0_{II}$ —F1 点与 F16 点间导线重心;

(5) 贯通在水平重要方向  $X'$  上的总误差

$$M = \pm \sqrt{\begin{matrix} (m_{x'\beta上}^2 + m_{x'1上}^2 + m_{x'1定}^2 + m_{e1}^2 + m_{e2}^2 + m_{x'\beta1下}^2 + M_{x'11下}^2 + M_{2x'定}^2 + m_{x'12下}^2 + m_{x'\beta2下}^2 \\ + m_{x'1ok}^2 + m_{x'2ok}^2 \end{matrix}}$$

$$= \pm 66.1mm$$

取两倍中误差作为极限误差

$$M_{允} = 2M = \pm 132.2mm$$

#### 4.2 贯通相遇点 K 在高程上的误差预计

(1) 地面三角高程测量引起的 K 点高程误差

$$M_{H上} = \pm m_{L上} \sqrt{L} = \pm 20 \sqrt{0.223} = \pm 9.4mm$$

(2) 贯通在高程上的总中误差 (以上各项高程测量均独立进行两次)

$$M_{HK平} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{M_{H上}^2 + m_{h1}^2 + m_{h2}^2 + m_{T下}^2} = \pm 43.7mm$$

(3) 贯通在高程上的预计误差

$$M_{H预} = 2M_{HK平} = \pm 2 \times 40.6mm = \pm 87.4mm$$

从误差预计可说明: 该测量方案可满足工程规范要求。-800m 中段北风井与副井的贯通可遵照上述方案执行。

#### 5 贯通精度及闭合差

##### 5.1 贯通的实际偏差

新副井与西风井 -568m 巷道贯通后, 其实际偏差值见表 3。

类别	实际偏差 (m)	预计偏差 (m)	限差 (m)
平面	0.067	0.132	0.3
高程	0.043	0.087	0.2

##### 5.2 贯通导线的闭合差

$$f_x = 0.017m, f_y = 0.025m, f_s = \pm 0.030m; f_s / [S] = 1/52000; f_\alpha = 18.7''$$

贯通偏差不影响巷道的正常使用, 其偏差值符合规范要求, 达到了预期目的, 取得了圆满成功。

#### 6 结语

6.1 在井下恶劣条件下, 采用高等级的全站仪双线投点联合陀螺经纬仪复测性定向, 提高了联系测量成果的精度。

6.2 竖井联系测量时, 由于采用了全站仪的无棱镜功能测定近井点与钢丝间平距和测定近井边的平距, 比用钢尺量距速度快, 量距精度高, 这样大大缩短了联系测量的时间; 减轻了测量人员在恶劣环境条件下的工作时间, 提高了工效。

#### [参考文献]

[1] 张国良. 《矿山测量学》[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 主编: 张国良 副主编: 朱家钰

[2] 《有色金属矿山井巷工程测量规范》(YSJ415-93)

[3] 葛立新, 王新军, 翟加文, 张智旺. 复杂条件下两井大型贯通测量实践. 中州煤炭, 2012 (4); 47-49.

[4] 徐燕新. 大型贯通测量方法. 山东科技大学学报 (自然科学版). 2001 (20); 111-113.

作者简介: 孙金皆, 男, 汉族, 安徽铜陵, 1967 年 9 月生, 1991 年 7 月毕业于昆明理工学院 (现昆明理工大学) 工程测量专业, 测量高级工程师。多篇论文曾在全国性和省部级期刊上发表。联系地址: 安徽省铜陵市北京西路 29 号铜冠矿山建设股份有限公司; 邮政编码: 244000。