

全站仪在砂岩型铀矿床钻孔放样中的精度分析

崔伟^{1,2} 于海飞¹ 门宏¹

1 核工业二〇八大队 2 中核地矿科技集团有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v3i4.795

[摘要] 通过使用拓普康DS-101AC全站仪进行钻孔施工放样,并结合砂岩型铀矿钻孔测绘实例,分析全站仪的测量原理和误差来源,以及全站仪在沙漠地区钻孔施工放样的平面精度和高程精度。结果表明,利用全站仪在沙漠地区施工放样,在边长小于1km时平面位置精度可以达到41mm左右,使用全站仪通过单向观测法测量测站点和目标点之间的高差,当距离小于1km时可以满足《铀矿地质详查规范》中高程中误差要求及比例尺1:2000地形图测绘及地质填图要求。

[关键词] 全站仪; 点位误差; 精度分析

中图分类号: F407.1 文献标识码: A

1 目前测区钻孔放样采用的方法及原理

1.1 坐标法放样原理

如图1所示,首先进行放样点的选取,其中A、B为测站点,其坐标为A(x_A,y_A)、B(x_B,y_B),设目标点P坐标为P(x_P,y_P),该放样点距全站仪所在位置的角度和距离为:

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad (1)$$

$$\alpha_{AP} = \arctan \frac{y_P - y_A}{x_P - x_A} \quad (2)$$

$$\beta = \alpha_{AB} - \alpha_{AP} \quad (3)$$

$$S = \sqrt{(x_P - x_A)^2 + (y_P - y_A)^2} \quad (4)$$

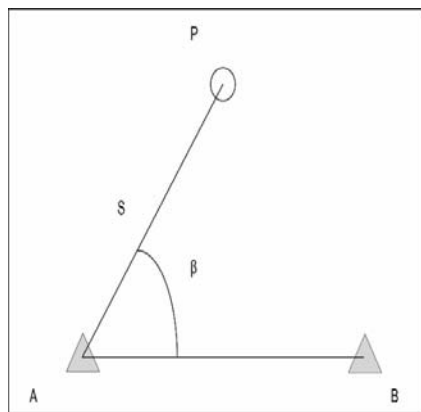


图1 确定点坐标放样

式中, α_{AB} 、 α_{AP} 为方位角, β 为 AB、AP 形成的夹角。S 为 AP 边距离。

1.2 高程测量方法

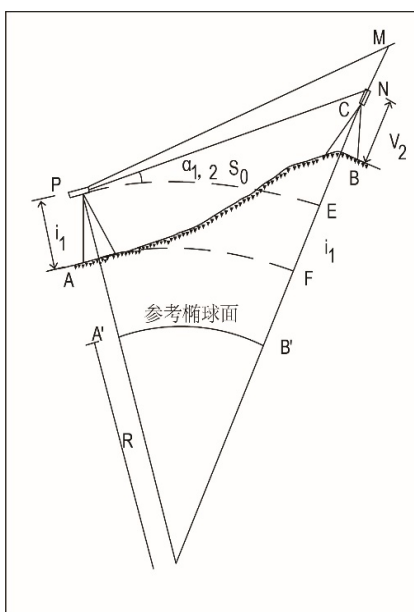


图2 三角高程测量原理

本研究采用单向观测法进行钻孔施工放样过程中的高程进行测量,如图2所示,D为A、B为测站点和目标点在水平面上的距离,全站仪设在A点,高度为 i_1 ,目标点为B点,一般用带有棱镜的对中杆立于此处, v_2 是棱镜高,运算以某一参考椭球为基准面,R设为为该椭球面上A'B'的曲率半径,PE为P

点所在位置的水准面,AF为A点所在位置的水准面,PC是PE在P点的切线,PN为光传播路线。可以看出受到大气折光的影响,PM方向的光线出现了轻微的偏向。垂直角为 α_{12} 。

由图2可得,A、B两点间的高差为

$$h_{1,2} = BF = MC + CE + EF - MN - NB \quad (5)$$

其中,EF为测量装置高 i_1 ;NB为照准点的目标高度 v_2 ;地球曲率为CE,MN为大气折光的影响因子。由

$$CE = \frac{1}{2R} D^2, MN = \frac{1}{2R} D^2$$

其中, R' 为光程传播曲线,N点对应模型的曲率半径为PN。可以计算出:

$$\frac{R}{R'} = K, MN = \frac{1}{2R'} \times \frac{R}{R'} D^2 = \frac{K}{2R} D^2 \quad (6)$$

K大气的垂直折光系数。

由于A、B两个位置间的曲率半径R与实测水平距离D之比值相对来说比较小,可认为PC近似垂直于OM,即 $\angle PCM \approx 90^\circ$, $\triangle PCM$ 可做直角三角形处理。则(5)式中的MC为 $MC = D \tan \alpha_{1,2}$ 。将各项代入(5)

式, 则 A、B 两点的高差为:

$$\begin{aligned} h_{1,2} &= D \tan \alpha_{1,2} + \frac{1}{2R} D^2 + i_1 - \frac{K}{2R} D^2 - v_2 \\ &= D \tan \alpha_{1,2} + \frac{1-K}{2R} D^2 + i_1 - v_2 \\ &= D \tan \alpha_{1,2} + CD^2 + i_1 - v_2 \quad (7) \end{aligned}$$

式中, $\frac{1-K}{2R} = C$, 球气差影响系数

为 C。通过公式(7)可以计算 $h_{1,2}$ 的高差。式中垂直角 α , 仪器高 i_1 , 目标高 v_2 , 外业工作中通过卷尺测量得到。为了简化模型, 通常使用高斯平面上的长 d 近似代替 D。

2 测区概况及精度要求

2.1 测区概况

测区处于巴丹吉林沙漠的东部, 位于巴音戈壁盆地沙漠腹地, 地势总体北西高、南东低。极值点的位置坐标为东经: $102.4025^\circ \sim 103.4840^\circ$, 北纬: $40.1630^\circ \sim 40.4855^\circ$, 通过4个拐点相连而组成, 如图3所示, 控制面积约 1800km^2 。一般海拔标高 $1250 \sim 1320\text{m}$ 。相对标高约 70m 。此区域常年为大风气象, 平均风速 $\geq 3.0\text{m/s}$ 的天数在 $220 \sim 280$ 天。刮风季节伴随大风扬尘天气, 影响测量施工放样工作。

2.2 钻孔施工精度要求

在塔木素地区工程测量中, 主要依据国家质量技术监督局颁布的《地质矿产勘查测量规范》(GB/T 18341—2001) 和中国核工业集团有限公司发布的《铀矿地质详查规范》(EJ/T 703-92) 以及中国地质调查局颁布的《地质调查GPS测量规程》(DD2004—03) 等相关规范。

从表1中测点的精度指标看来, 钻孔图上平面位置中误差为 0.15mm , 精度要求较高按 $1:2000$ 作比例尺来计算平面位置精度应为 0.30m ; 高程按表1中的要求精度最高为 $1/8$ 等高距, 按工作比例尺 $1:2000$ 计算, 相应等高距为 2m (按等高距 2m 计算), 高程精

表1 地质勘查点位精度指标表

项目	类别	地形情况	图上平面位置中误差/mm	高程中误差(等高距)
剖面点		平地、丘陵地	0.6	1/3
		山地、高山地	0.8	
探槽、探井、地质点	重要		0.3	1/6
	一般	平地、丘陵地	0.6	1/3
	山地	0.8		
钻孔			0.15	1/8
近井点			$M \times 10^{-4}$	1/10
坑口、井口位置点			$M \times 10^{-4}$	1/9
备注	平面及高程中误差指对最近三角点、水准点、图根点而言。表中 M 为比例尺分母			

表2 全站仪水平角观测误差

设备及误差因素	e / mm	e_1 / mm	e_2 / mm	S_1 / m	S_2 / m
拓普康 DS-101AC	3	5	50	200	1000
设备及误差因素	$M_{\text{对中}}''$	$M_{\text{偏}}''$	$M_{\text{标}}''$	$M_{\text{半测}}''$	M_{β}''
拓普康 DS-101AC	0.72	8.15	1	2	8.42

表3 单向观测法高程测量的极限误差与规范限差的比较

测量距离/m	方法	极限误差/mm (取中误差 M_H 的 2 倍)						高程中误差/cm
		1°	5°	10°	15°	20°	30°	
200	单向观测	7.47	7.48	7.56	7.66	7.82	8.18	25
500	单向观测	8.83	8.84	8.86	8.90	8.96	9.12	25
800	单向观测	11.32	11.32	11.28	11.20	11.10	10.88	25
1000	单向观测	13.60	13.58	13.48	13.32	13.08	12.52	25
1200	单向观测	16.40	16.34	16.16	15.90	15.52	14.56	25

度应为 0.25m 。本文探讨的主要内容就是通过现有仪器设备进行施工放样工作是否能满足该规范的精度要求。

3 数据误差分析

3.1 全站仪水平角观测误差

① 仪器误差: 在塔木素地区施工放样中, 采用半测回法对角度进行观测。仪

器误差为固定值, 一测回方向中误差 $M_{\text{标}}$, 则水平角观测中一测回测角中误差 $M_{1\text{测}} = \sqrt{2} M_{\text{标}}$ 。则水平角的半测回测角中误差为

$$M_{\text{半测}} = \sqrt{2} M_{1\text{测}} = 2 M_{\text{标}} \quad (8)$$

②仪器对中误差:

$$M_{\text{对中}} = \pm \frac{e^2 \cdot \rho'' \cdot S_{AB}^2}{\sqrt{2} S_1 S_2} \quad (9)$$

其中 e 为偏心距, 沙漠地区由于三脚架随着时间推移会有沉降变形, 我们假设偏心距为 3mm , 即 $e = 3\text{mm}$ 。 S_1 为施工放样中全站仪所在位置至后视点间的距离, S_2 为全站仪设站点至放样点之间的距离。由公式知, 当水平角在 180° 时, $M_{\text{对中}}$ 最大, 即 $S_{AB} = S = S_1 + S_2$,

此时 $M_{\text{对中}} = \pm \sqrt{2} e \rho / S (10)$ 。

③目标偏心误差:

$$M_{\text{偏}} = \rho \sqrt{2} / 2 \times \sqrt{[(e_1 / s_1)^2 + (e_2 / s_2)^2]} \quad (11)$$

式中, e_1 为全站仪所在位置照准后视方向的误差, 根据经验值设 $e_1 = 5\text{mm}$, e_2 为全站仪在施工中的照准放样点的偏差。棱镜的半径 $R = 50\text{mm}$, 固取 $e_2 = 50\text{mm}$ 。则测角中误差为:

$$M_{\beta} = \sqrt{M_{\text{半侧}}^2 + M_{\text{对中}}^2 + M_{\text{偏}}^2} \quad (12)$$

放样 S_2 取 1000m , S_1 后视按 $1:2000$ 测图要求取 200m , 在此施工条件下误差最大。根据公式(10)、(11)、(12) 通过计算得出上表:

3.2 全站仪测距观测误差

全站仪测距精为成

$$M_D = \pm(A + B \times D) (13)$$

式中 A 是固定误差, 以 mm 为单位, B 是比例误差系数, 以 mm/km 为单位, D 是被测距离, 以 km 为单位。本次施工放样中采用的拓普康 DS-101AC 全站仪的测距标称精度为:

$$M_D = 1.5\text{mm} + (2\text{mm/km}) \times D$$

根据实际工作中 D 取控制点放样点之

间的距离取 1000m 。通过计算得到测距中误差值 $M_D = 3.5\text{mm}$ 。

3.3 全站仪钻孔放样点位中误差 $M_{\text{点}}$ 通过误差传播定律可得:

$$X = D \cos \beta, Y = D \sin \beta$$

$$M_X^2 = \cos^2 \beta M_D^2 + D^2 \sin^2 \beta M_{\beta}^2$$

$$M_Y^2 = \sin^2 \beta M_D^2 + D^2 \cos^2 \beta M_{\beta}^2$$

$$M_{\text{中}} = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2} =$$

$$\sqrt{M_D^2 + D^2 M_{\beta}^2} \quad (14)$$

式中, 角度中误差为 M_{β} , 距离中误差为 M_D 、点位中误差 $M_{\text{中}} = 40.97\text{mm}$ 。

3.4 单向观测法测量高程的高程中误差 M_H

采用单向观测法进行高程测量, 当 $S < 1000\text{m}$ 时, 且 K 值约 $0.08-0.14$ (孔

祥元等, 2002), 故 $\frac{1-K}{2R} \times D^2 \times \sin^2 \alpha \times \frac{m_u}{\rho}$

和的值约为, 暂不进行考虑, 则高程中误差公式可简化为:

$$M_H = \sqrt{(\sin \alpha \cdot M_D)^2 + \left(\frac{D \cdot \cos \alpha \cdot m_u}{\rho} \right)^2 +$$

$$\sqrt{\left(\frac{D^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot m_k}{2R} \right)^2 + m_i^2 + m_v^2} \quad (15)$$

其中, M_H 为 A 、 B 计算得到的两个位置间的高程差中误差, M_D 为 A 、 B 两个位置间的斜距中误差, m_u 分别竖直角中误差, 大气折光系数测量中误差为 m_k , m_i 为全站仪高度量取中误差, m_v 为对中杆量取高度中误差。

本研究的测量装置的型号为拓普康, DS-101AC 比如 $m_u = \pm 1''$ 精度的测量仪, A 、 B 两个位置间的斜距中误差 $M_D = \pm 3.5\text{mm}$ 。将全站仪到目标测点的测距算做 1km , 使得大气折光系数的误差为 $\pm 0.03 \sim \pm 0.05\text{mm}$,

假设 $m_k = \pm 0.04\text{mm}$, $m_i = \pm 2\text{mm}$ 和 $m_v = 3 \pm \text{mm}$ 。已知地球半径 $R = 6371\text{km}$, 一般设极限误差为 2 倍的中误差, 再与规范要求的高程中误差比较分析, 根据公式(15) 得出计算数据如表3所示。

由表3可得, 单向观测法在距离小于 1200m 时, 其测量精度可达到相关规范中对高程中误差的精度要求。

3.5 误差分析及消除措施

3.5.1 误差分析

①全站仪角度测量误差主要源于以下几点:

- (1) 仪器照准目标时存在误差;
- (2) 读取仪器数值时存在误差;
- (3) 测站偏心引起的误差;
- (4) 目标偏心引起的误差;
- (5) 外界温度变化引起的误差。

②全站仪测距误差来源: 测距误差主要是指设站点中心至待测点之间距离引起的误差。测距误差主要包括仪器本身的固定误差、和与距离成正比的比例误差。固定误差可以根据仪器标称精度得到仪器常数误差(张晓东, 2019)。

③高程测量的误差主要源于以下几点:

- (1) 测量仪器存在高误差情况;
- (2) 觇标存在高误差情况;
- (3) 竖角观测误差;
- (4) 地球曲率和大气折光等影响因子较多。

3.5.2 消除措施

①盘左盘右取平均值法。由于测量仪器的视准轴及横轴误差经常存在, 观测值在盘左、盘右两个位置上大小相同, 符号相反, 这样可以降低甚至消除视准轴及横轴误差对测量精度的影响。

②保持照准部水泡居中。在使用全站仪进行测量时, 照准部水泡必须首先居中, 否则将会导致起仪器竖轴误差及竖盘指标误差。

③提高测量人员专业技能。测量人员应该具有认真耐心的工作精神, 多实践, 积累其领域知识, 不断的提高自己专业技能。

④选取合适的观测时间。塔木素地区在施工期间常年处于大风扬沙气候。每天早上六点至九点之间,风力较弱,适合观测放样。由于控制点一般在地表高处位置,九点以后风力较大,仪器有被吹倒的风险,不适宜开展测量工作。

3.6全站仪与RTK在施工放样中的比较

为验证数据准确性,使用天宝RTK对钻孔坐标进行复测。对比发现全站仪与RTK施工放样的均可以满足规范对钻孔布设的精度要求。全站仪施工放样精度可达毫米级,仪器有自动照准等功能,而且施工放样效率高,可根据相关点的坐标关系自动放样。缺点是:遇到不通视的地方、或因测量员自身原因操作不当等因素的影响,定位精度无法确定。利用RTK放样避免了上述方法的劣势,而且测量效率高,操作方便、无须通视、实时获得位置坐标等优点,其放样精度一般到厘米级,

在高精度施工放样工作中精度不如全站仪,同时RTK技术也存在多路径效应等误差。使用哪种类型的仪器设备也要根据施工环境、人员素质、成本控制等因素总体决定。

4 结论

本文针对塔木素砂岩型铀矿床钻孔布设平面精度和高程精度进行分析和数据处理,并利用拓普康DS-101AC全站仪进行了检核,得出如下结论:

(1)根据《地质矿产勘查测量规范》(GB/T 18341—2001)国家质量技术监督局等国家和行业规范。按最大工作1:2000比例尺计算最高精度,塔木素地区施工钻孔点位中误差 $M_{中} = 40.97\text{mm}$,小于规范要求的0.3m。该地区施工钻孔坐标精度符合规范要求。

(2)按照目前规范要求,高程极限误差在边长为最大1200m, $M_{H极限} = 16.40\text{mm}$ 。小于规范要求0.25m。

在本测区使用拓普康DS-101AC(测距精度: $M_D = 1.5\text{mm} + (2\text{mm}/\text{km}) \times D$)全站仪可以用代替水准仪,对已封孔钻孔进行高程测量。

[基金项目]

内蒙古阿拉善右旗塔木素铀矿床H23-H104线普查(项目编号:201603-1),内蒙古阿拉善右旗塔木素铀矿床普查(项目编号:201903-1)。

[参考文献]

[1]张正禄.工程测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2010:2.

[2]李鹏.内蒙古阿拉善右旗塔木素地区铀成矿作用与找矿预测研究[D].长春,吉林大学,2018.

[3]孔祥元,梅是义.控制测量[M].武汉:武汉大学出版社,2002:270-279.

作者简介:

崔伟(1987--),男,汉族,内蒙古包头人,本科,工程师,主要从事地质勘查工程测量。