

几何法一井定向在香卡山竖井中的应用

柴雷太

中国华冶科工集团有限公司

DOI:10.12238/ems.v4i5.5780

[摘要] 为了将香卡山项目地面平面及高程控制系统传递到竖井井下各中段,本文按照一井定向原理,从现场布设近井点到解算联系三角形,到一井定向的内业处理讲述了一整套的作业流程。考虑到现场实际情况,对影响定向精度的各项因素进行分析,并提出相应解决措施,保证定向的精度符合相关要求。

[关键词] 竖井; 控制系统; 一井定向; 内业处理; 精度; 要求

中图分类号: TU 文献标识码: A

Application of Geometric Method Single Shaft Orientation in Xiangka Mountain Shaft

Leitai Chai

China Huaye Group Company Limited.

[Abstract] In order to transfer the ground plane and elevation control system of the Xiangka Mountain project to the middle sections of the shaft, this paper, according to the principle of single shaft orientation, describes a complete set of operation procedures from the field layout of near-well points to the calculation of connection triangles, to the office processing of single shaft orientation. Considering the actual situation on site, the factors affecting the orientation accuracy are analyzed, and corresponding solutions are proposed to ensure that the orientation accuracy meets relevant requirements.

[Key words] shaft; control system; single shaft orientation; office processing; accuracy; requirement

前言

香卡山项目采用竖井+斜井的开拓系统,竖井井口标高4542m,提升区间为4250m~4542m,提升高度为292m。该竖井担负矿石、废石、人员、设备及材料运输任务,兼作排水、压气、供水进风及矿山安全出口用。

竖井到底后不论是进行改绞工作还是后期继续施工平巷,均需要将测量平面及高程控制系统导入井下。考虑到施工的顺序及作业的安全性,拟定在施工吊盘到达各个马头门处时开始定向工作,以定向成果作为本马头门改绞施工及后期中段施工的测量基准点。故此,在定向的过程中要保证如何保证香卡山项目地上、地下测量基准的统一并满足施工的精度要求保证后期的工程贯通精度能达到规范的要求是工程面临的巨大困难之一。

一井定向就是在井筒内布置两根基准钢丝把地面坐标、方位传递到地下,考虑到钢丝的伸缩性,采用悬挂长钢尺的方式将高程传递到井下^[1]。一井定向主要包括平面联系测量和高程联系测量,是整个测量工作中最关键的一环,能否保证定向的精度直接关系到本项目设计意图是否能实现,并巷工程是否顺利贯通,因此保证一井定向的准确性与精度是能否顺利完成本项目的关键工作。

1 一井定向地面及井筒的布置

在进行定向工作前,首先需在井口布置近井点及井口高程

基点,需将地面控制网及高程引测至此处。按照相关规范要求结合到本项目现场实际情况,确定在竖井场地南侧稳车基础及北侧稳车基础及东侧山头上呈三角状各布设一个近井点。

近井点埋设:在场地的近井点用YT-28式凿岩机在稳车群混凝土基础上凿出深度为300mm的孔,塞入水泥药卷后,插入提前加工好的 $\varnothing=25\text{mm}$ 钢筋标桩,待混凝土凝固后就可进行测量。在东侧山头上的近井点,人工手持铁锹对近井点的联测采用DJ2型全站仪按照7"级导线精度及光电测距形式完成近井点的测量。导线测量的误差主要包括测角及量边的误差,我们对在近井点的测量过程中测角的误差可有以下几个方面来进行分析:

(1)所使用仪器本身存在的误差,通常称为仪器误差;(2)由于不同测量人员操作的习惯和测量方法不同且在瞄准时参照和对中也引人而异存在误差,通常将此部分误差称为瞄准误差;(3)由于仪器的视准轴、投点目镜及十字刻画线本身存在误差,操作人员在摆仪器时对中也存在误差从而造成了仪器对中及整平时的误差,将此部分误差称为对中误差。(4)受观测环境的影响,比如仪器在风大会时抖动,观测目标也会出现轻微的晃动,若仪器周围正在施工或遭遇恶劣天气将会引起仪器震动也会引起观测的误差,但此部分误差变化并无规律可循,故此在此论文中我们对此部分误差暂不考虑。

除测角外,量边引起的误差也是影响近井点测量精度的一部分,测距误差可从以下几个方面来分析:

(1)比例误差:与被测距离长度成比例的误差,主要是由频率误差,大气折射率误差及真空光速测定误差给测距结果带来的误差。其中光速测定误差对测距值的影响可忽略不计。(2)固定误差:仪器固有的误差,与被测距离长度无关,包括零点误差的检定误差,仪器与反光镜的对中误差,测相误差,幅相误差,发光管相位不均匀性误差和周期误差。周期误差主要来源于仪器内部光电信号的同频干扰,误差的大小是以精测尺的长度为周期重复出现的。其中比例误差、周期误差、零点误差为光电测距仪的主要系统误差。

井筒内钢丝的布置:采用 $\delta=2\text{mm}$ 多股钢绞线作为测量垂线,考虑到井筒断面狭小,井筒内管线较多,如何保证钢丝能竖直下放,并在下放过程中避免钢丝与管线及井筒内设备发生刚蹭是下放钢丝的关键。考虑到现场实际情况,并减少对井盖门的破坏,确定在井口安全梯通过口处下放A钢丝,在吊桶通过口处下放B钢丝;下放钢丝时挂不大于10kg的配重,钢丝下放到位后需更换配重(单根钢丝悬挂配重不小于60kg)。钢丝下放到吊盘上后,在钢丝下方用塑料桶盛满机油作为稳定液将配重放入桶内待钢丝稳定后量取两钢丝间距离,与井上两钢丝间距互差不大于2mm时用卡线板固定钢丝,减少钢丝在观测时的误差。

在井筒内投线时误差主要来源于以下几个方面:

(1)井筒内气流对钢丝和垂球造成的摆动影响^[2]; (2)井筒内涌水较大对钢丝造成的影响^[2]; (3)钢丝自身的旋转及弹性作用对投点造成的影响; (4)垂球的摆动对投点造成的影响; (5)作业人员在井下卡线固定钢丝时人为的误差影响。

针对以上问题我们可采取以下措施减少钢丝绳投点的误差影响:

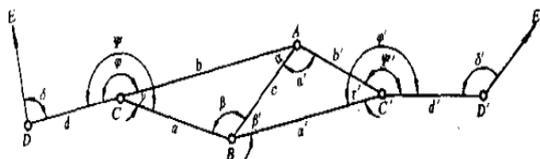


图1 连接三角形示意图

(1)在钢丝绳投点时尽量加大两钢丝间距离,在香卡山竖井定向过程中,考虑到现场实际情况,确定两钢丝间距离为1.8m。(2)在井筒内风流较大的马头门处,采取临时关停风机,关闭风门的措施减少风流对定向的影响。(3)采用2mm钢绞线作为定向钢丝,为了减少钢丝的旋转及弹性对定向的影响,需在钢丝下放悬挂60kg的垂球。同时,在吊盘上放置灌满稳定液的桶,将垂球浸入稳定液内,静止一段时间后,人工稳定垂球,量取两钢丝间距离,待井上、下互差不大于2mm时方可对钢丝进行固定。(4)在井下固定钢丝时,需将固定梁安装在可靠、牢固的位置上保证不发生位移,应将卡线器缓慢移动贴近钢丝,再次检查两钢丝间距,在误差允许范围内时拧紧卡线器螺丝后再次检查两钢丝间距,确认无误后方可开始测量。

井上、下用连接三角形法同时开始测量,连接三角形布置见图1:

2 一井定向精度分析原理

通过上图可知,井下导线起始边的方位角可用下式计算:

$$\alpha_{C'D'} = \alpha_{DC} + \phi - \alpha + \beta' + \phi' \pm 4 \times 180^\circ \quad (1-1)$$

方位角 $\alpha_{C'D'}$ 的误差就是定向误差,以表示 $m_{\alpha_{C'D'}}$ 。它的误差有以下几个方面构成:

$$m_{\alpha_{C'D'}} = m_{\alpha_{CD}}^2 + m_{\phi}^2 + m_{\alpha}^2 + m_{\beta'}^2 + m_{\phi'}^2 + \theta^2 \quad (1-2)$$

θ ——为井筒内投向误差,可用以下公式来计算:

$$\theta'' = \pm \frac{e}{c} \rho'' \quad (1-3)$$

一般情况下,一井定向的投向误差和连接误差大致相等,投向误差不应大于 $\pm 30''$ 。

在以上述公式中,a是通过正弦公式计算,即:

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \sin \gamma \quad (1-4)$$

根据公式1-2我们可知,一井定向的总误差为:

$$M_{\alpha} = m_{\alpha_{C'D'}} = \pm \sqrt{m_{\alpha_{CD}}^2 + m_{\phi}^2 + m_{\alpha}^2 + m_{\beta'}^2 + m_{\phi'}^2 + \theta^2} \quad (1-5)^{[2]}$$

m_{ϕ} 和 $m_{\phi'}$ 可用下式计算:

$$m_{\phi} = \pm \sqrt{m_1^2 + \frac{e_1^2}{d^2} \rho^2} \quad (1-6)$$

式中: m_1 ——量边引起的误差;

e_1 ——投点误差;

d ——两垂线间距离;

ρ ——常数,取值为206265''

3 香卡山竖井一井定向精度实测计算

根据以上理论分析,我们按照现场实际情况完成了香卡山项目竖井一井定向的实测工作,得到的数据如下:地面部分定向起始边为 $265^\circ 45' 55''$,实测角为 $251^\circ 29' 13.2''$,测得角为 $4^\circ 0' 40.7''$,a为15.139m,b为16.580m,c为1.817m,井下实测出c为1.817m,井上、下c值互差不超过2mm满足精度要求;通过近似计算得出角为 $35^\circ 38'$,故井上连接三角形采用半角公式进行计算,即:

$$P = 1/2(a + b + c) \quad (1-7)$$

$$\tan(\alpha/2) = \sqrt{(P-b)(P-c)/P/(P-a)} \quad (1-8)$$

$$\tan(\beta/2) = \sqrt{(P-a)(P-c)/P/(P-b)} \quad (1-9)$$

$$c_{\text{计}} = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma \quad (1-10)$$

通过以上公式计算得出c计为1.8183m,对a改正后得数为

15. 1394m, 对b改正后得数为16. 5795m。按照改正后的数计算 \angle 为 $35^{\circ} 38' 33.7''$, $\angle \beta$ 为 $140^{\circ} 20' 43''$, 三角形内角和为 $179^{\circ} 59' 57.4''$, 闭合差为 $2.6''$, 对闭合差进行改正后 \angle 为 $35^{\circ} 38' 35''$, $\angle \beta$ 为 $140^{\circ} 20' 44.3''$ 。

井下连接三角形实测数据为: $\angle \gamma'$ 为 $21^{\circ} 6' 27''$, $\angle \phi'$ 为 $33^{\circ} 29' 36''$; a' 为4. 631m, b' 为5. 043m, c 为1. 817m。通过计算 c 计为1. 8176m, 对 a' 改正后得数为4. 6312m, 对 b 改正后得数为5. 0428m。按照改正后的数计算 \angle 为 $66^{\circ} 34' 28.2''$, $\angle \beta'$ 为 $92^{\circ} 18' 57.7''$, 三角形内角和为 $179^{\circ} 59' 45.7''$, 闭合差为 $14.3''$, 对闭合差进行改正后 \angle 为 $66^{\circ} 34' 35.3''$, $\angle \beta$ 为 $92^{\circ} 18' 57.7''$ 。

以上方法是将平面控制系统导入井下, 对于井下高程, 可利用长钢尺, 导入高程测量出具体长度^[3]。

4 香卡山项目一井定向精度分析

通过实测数据我们进行本次定向的精度分析:

针对量边误差 m_l , 在实测过程中, 我们采用2"级全站仪完成了距离的实测, 其测距误差可按照以下公式进行计算:

$$m_l = 2 + 2\text{ppm}(l - 11), \text{可得出} m_l \text{值为} 2\text{mm}.$$

通过公式1-6可得出 m_ϕ 及 m_ϕ 均为2。

在本项目中, 考虑到井上、下测得两钢丝间距相等, 故我们认为投向误差为0, 故此, 在本次定向精度计算过程中暂不考虑。

由于连接边的方位角 α_{DC} 是由地面近井点导线测出的, 故 $m_{\alpha_{CD}}$ 可按照支导线的误差, 累积公式计算:

$$m_{\alpha_{CD}} = \pm m_\beta \sqrt{n} \quad (1-12)$$

式中: m_β ——地面近井导线的测角中误差;

n ——近井导线的角数。

本次定向过程中, 近井导线的角数为2, 而近井导线的测角中误差我们根据所使用的仪器对前期已完成的200个测站数据计算两次独立测角的较差作为测角中误差, 求得两测回平均值的测角中误差为 m_β 为 $\pm 3.6''$ 。通过以上数据, 我们可以得出本次定向测量起始边的误差 $m_{\alpha_{CD}}$ 为 $\pm 5.1''$ 。

在上述的计算中我们可以得出 m_α 为 $1.3''$, m_β 为 $7.2''$ 。

我们可以得出本次一井定向的总误差为:

$$M_\alpha = m_{\alpha_{CD}} = \pm \sqrt{5.1^2 + 2^2 + 1.3^2 + 7.2^2 + 2^2 + 0} = \pm 9.4'' \quad (1-13)$$

按照《测量规程》的规定, 两次独立定向之差不大于 $\pm 2'$, 则一次定向的允许误差为 $\pm 2' / \sqrt{2}$, 即:

$$M_{\alpha_{允}} = \pm \frac{2'}{\sqrt{2}} = \pm 42'' \quad (1-14)$$

我们本次定向的误差为 $\pm 9.4'' <$ 允许误差 $42''$ 。因此, 本次定向的精度满足规程的要求, 数据准确可靠能满足施工的要求。

5 香卡山项目一井定向工作总结

(1) 在测量过程中, 每一个细节是重要的, 任何一个细节出问题都会影响整个测量工作开展和测量进度^[4]。一井定向过程中, 减少投点误差是关键, 受井筒内气流、涌水及施工设备的影响, 往往我们在投点过程中存在很大的困难, 若是布置不合理, 下放钢丝的过程中观察不到极易造成测量钢丝缠绕在井筒内设备悬吊钢丝绳上, 或者与其他设备发生刚蹭, 对测量的精度造成影响的同时, 也极易发生安全事故。因此, 我们在进行井筒测量定向设计时, 必须考虑到现场实际情况, 合理布置投点位置方能在保证安全的前提下顺利将测量钢丝投至井底。(2) 钢丝投至井底后, 将垂球初步稳固后需由专人乘吊桶在卷扬慢速运行的条件下自上而下全面检查钢丝是否自然下垂并保证与井筒内任何设施未产生缠绕或搅在一起后方可进行下一步工作, 若发生缠绕等现象需在保证安全的前提下及时处理。(3) 为了减少井筒内风流及涌水对钢丝的影响, 需在马头门处设置临时风门在下放钢丝及测量过程中在保证安全的前提下临时关闭风门减少风流对钢丝的影响; 还可在井壁上布置集水槽将涌水集中导出减少涌水对钢丝的影响。(4) 投点的钢丝不易超过2mm, 在使用前需严格按照井筒深度及悬挂垂球重量并在满足载物 $M_a \geq 6.5$ (安全系数)的条件下方可使用。钢丝到位后, 需将垂球放入稳定液内, 为减少涌水的影响需在盛放稳定液的桶上加装桶盖防止涌水进入稳定液内。(5) 固定钢丝时, 需将钢梁固定牢固后方可操作卡线板固定钢丝, 固定后一段时间内需检查两钢丝间距离, 以免钢丝固定不牢固在测量过程中钢丝移位造成误差。(6) 定向需选择在天气较好无风的时候进行, 防止受风流的影响而导致测量误差增大。(7) 定向后在贯通距离 $> 5\text{km}$ 的情况下, 为了保证贯通的精度, 需用陀螺经纬仪加测陀螺方位角做检核保证贯通测量的精度。

6 结束语

一井定向在矿山及隧道施工中会经常用到, 定向的精度对下一步的贯通及安装工作存在很大的影响, 虽说用竖井联系三角形定向测量技术在实践中有着较高的精准度, 但是要考虑到竖井本身井筒宽度较窄, 作业面狭小, 很多因素都会干扰到施工, 所以联系三角测量技术的优化略有困难, 且存在工序繁多、作业时间长、劳动强度大等不足^[5]。所以我们在日常的工作中对大型贯通一井几何法定向至少需独立进行两次, 必要的情况下还需加测陀螺螺边保证贯通的精度。

[参考文献]

[1] 欧传扬. 一井定向及二井定向的优缺点及精度分析[J]. 科技资讯, 2020, (30): 58.

[2] 张国良, 朱家钰, 顾和和. 《矿山测量学》[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2011: 134-159.

[3] 曹先革, 贾思水, 赵文更. 一井定向在地铁隧道竖井联系测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(1): 9-11.

[4] 李强. 矿山测量易见问题与应对措施探讨[J]. 现代企业文化, 2010, (14): 158-159.

[5] 宋达. 联系测量在地铁工程中的应用探讨[J]. 建材与装饰, 2020, (10): 231-232.