

金沙江其宗水电站水平孔钻进技术

王光明, 熊德全

(中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院, 云南 昆明 650031)

摘要:其宗水电站属峡谷区修建的高坝水库。ZK119 水平孔设计孔深 350 m, 位于上坝址左岸地下厂房。水平孔与垂直孔相比, 施工技术难度大, 安全隐患大, 对钻杆、设备要求更高。水平孔施工重点是水平成孔, 因此, 控制孔斜率是关键。以 ZK119 水平孔为例, 从水平孔施工技术原理、技术特点和防斜措施等方面论述水平孔钻进技术, 旨在为更深水平孔施工提供借鉴。

关键词:水平孔; 钻进技术; 其宗水电站

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)04-0049-04

Study on Drilling Technology for Horizontal Hole in Qizong Hydropower Station of Jinsha River/WANG Guang-ming, XIONG De-quan (Hydrochina Kunming Engineering Corporaion, Kunming Yunnan 650051, China)

Abstract: Qizong hydropower station was built in a high dam reservoir of canyon area, and the biggest dam was preliminarily planned to be as high as about 358m. The designed hole depth of ZK119 was 350m and located in the underground plant of left bank of upper damsite. Compared to the vertical borehole, the horizontal hole is more difficult in construction technology with higher hidden danger and higher requirements of drill pipe and drilling equipment. The construction point of horizontal excavation is hole deviation control, and taking the example of horizontal hole ZK119, the paper elaborated the horizontal hole drilling technology in the principles of horizontal drilling technology, technical features and the measures of deviation control.

Key words: horizontal hole; drilling technology; Qizong hydropower station

1 工程概况

其宗水电站位于云南省迪庆州与丽江市交界的金沙江河段上, 为金沙江中游河段比选的龙头水库。电站初拟正常蓄水位高程 2150 m, 水库库长约 165 km, 总库容约 $177.37 \times 10^8 \text{ m}^3$, 属高山峡谷型高坝水库。坝址区位于云南省香格里拉县、维西县、玉龙县三县交界的金沙江河段, 属亚热带季风高原山地气候, 区内水系发达, 出露的地层主要为泥盆系的灰岩、白云岩及板岩、千枚岩, 呈含水层与隔水层互层状构造。

其宗水电站 ZK119 孔位于其宗上坝址左岸地下厂房, 孔口高程为 1940 m, 设计孔深 350 m, 钻进方向 $N60^\circ E$, 钻孔角度水平。水利水电勘察中, 水平孔通常用于代替平硐, 钻探是最常用的一种勘探手段。它可以在各种环境下进行, 一般不受地形、地质条件的限制; 能直接观察岩心和取样, 勘探精度较高; 能提供原位测试和监测工作, 最大限度地发挥综合效益; 勘探深度大, 效率较高。

我院自成立以来, 水平孔任务较少, 以往有记录最大孔深 150 m, 本次施工的 ZK119 号孔, 设计孔深

350 m, 相关钻探经验较少, 勘察技术要求高, 施工技术难度大; 在现有的《水电水利工程钻探规程》(SL 291-2003) 中, 对水平孔钻进关键问题和操作环节探讨较少。因此, 对 ZK119 孔施工工艺进行归纳总结, 无论对钻探技术进步而言, 还是提高钻进效率、降低勘探成本, 都具有重要意义。

2 水平孔施工技术原理及技术特点

2.1 水平孔施工技术原理

水平定向钻进是水平孔施工关键技术, 它是利用钻孔自然弯曲规律及人工造斜工具使钻孔按设计要求先垂直钻进到目的层的顶板处, 然后水平定向钻进到预定目标的一种钻探方法^[1]。

2.2 水平孔施工技术特点

(1) 起下钻困难。当完成一回次进尺时, 钻机通过卷扬转动带动钢丝绳提取岩心过程中, 除克服钻杆、钻机本身的重力外, 还需克服其与孔壁的摩擦力, 因此, 对比垂直孔钻进, 相同孔深, 水平孔施工需要更大的马力, 即用低一档转速; 下钻过程中, 需要在钻孔周围安装导向滑车, 改变卷扬钢绳拉力方向,

收稿日期: 2010-11-09

作者简介: 王光明(1985-), 男(汉族), 云南曲靖人, 中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院助理工程师, 地质资源与地质工程专业, 硕士, 从事水利水电工程地质勘察工作, 云南省昆明市盘龙区小龙路 4 号, wang250308@126.com。

同样需要克服钻杆、钻具与孔壁摩擦力,而且在推动钻杆进入钻孔过程中,钻杆经常弯曲,钢丝绳拉力分解为垂向力与水平力,更加剧了钻机的负担。

(2)与垂直孔比较,水平孔施工安全隐患大。相同孔深情况,水平孔钻杆承受的强度更大,尤其是露在孔口外部分,最容易弯曲、扭断,很可能伤到机组人员。

(3)对钻杆质量要求更高。实施水平孔钻进,钻杆的功能与垂直孔钻进有着较大的差别,主要在于其要完成以下功能^[2]:①传递钻进和调整方向时钻机给予钻头的轴向压力;②传递钻进时钻机施加给钻头的扭矩;③承受钻杆拧卸时卸扣对钻杆接头的扭力;④承受钻具弯曲产生的交变弯曲力矩;⑤承受钻进地层的摩擦力;⑥承受碎岩或冲击器产生的震动和冲击载荷;⑦传输液体介质。

(4)受地层岩性、地质构造和地下水状况等影响大。地层岩性、地质构造和地下水状况等是决定水平孔钻进的最主要的自然因素,以下几个方面受其影响^[3]:①回转钻切扭矩与钻速;②顶进力;③钻渣尺寸及对泵量要求;④孔壁坍塌稳定性与地层吸水性;⑤蠕变缩颈抱管程度;⑥摩擦系数与拉管阻力;⑦渗透串浆与上覆安全性;⑧钻孔结构设计和钻进回次进尺。

(5)与垂直钻孔相比,水平孔施工难度更大。具体体现在以下方面^[4]:①钻具的重力方向与钻进的方向发生了变化,竖孔钻进时,钻具的重力方向与钻进方向一致,在顶角及方位上起约束作用;水平钻进则不同,钻具重力方向与钻进方向成 90° 角,这自然会使钻具走向变斜,从而偏离钻进方位。②垂直孔可以做到由钻铤加压,上部钻杆处于受拉状态;而水平钻孔必须由钻机通过钻杆向钻头施加压力方可产生钻压,这就有钻杆受压而变弯的问题。

2.3 水平孔施工技术措施

水平孔钻进重点是水平成孔,因此应采取措施保障沿水平钻进,具体有:

(1)为克服钻具固有的下垂作用,在钻进过程中,在钻具转数 n 、钻孔加压 P 、洗井液流量 Q 及顶管与正反转方面进行有效配合,协调钻进参数,在钻进工艺方面采取有效措施。

(2)在钻机上加导向扶正装置,力求尽可能减小钻具下垂力。

(3)尽量减轻钻具前部质量,以减少钻具的悬臂作用。

(4)钻头设计成“咬土”形状,使钻孔尽可能沿

水平直线钻进。

3 水平孔施工工艺

3.1 钻机

钻机是保证钻孔质量和进度的重要因素。综合考虑钻孔深度、设备搬运成本和钻机性能,选择XY-2型钻机,其在工地实物见图1。

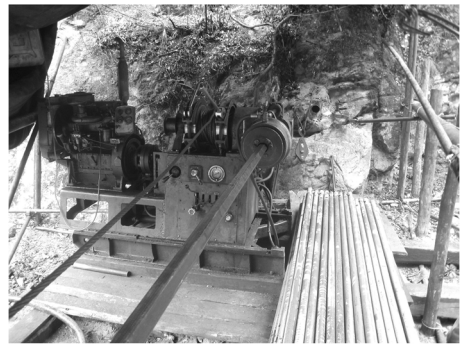


图1 XY-2型钻机在ZK119孔现场实物图

3.2 钻孔结构设计

根据任务书要求及钻孔深度、覆盖层厚度、岩石的物理机械性质和钻进方法合理选择钻孔结构。要根据不同岩性,选择相应钻进参数。在稳定岩层应尽可能地简化钻孔结构,减少换径次数。其宗水电站ZK119钻孔结构设计一方面要满足350 m孔深成孔和压水试验要求,另一方面要能达到以下目的:(1)查明地层岩性、岩体结构、风化程度及岩石完整性;(2)查明地质构造(包括断层、软弱夹层、挤压带及节理等)发育情况;(3)查明岩体的渗透性及地下水位埋深,了解水文地质特性;(4)进行物探综合测井及进行岩石物理力学试验取样。同时,钻孔结构设计还得考虑地质条件。根据孔位附近出露地层和附近钻孔成果,可推测钻进过程中遇到的地层岩性为:泥盆系的灰岩、白云岩及板岩、千枚岩,地层稳定性好。

综合考虑,钻孔结构设计为: $\varnothing 150$ mm 金刚石钻头开孔,当孔深5 m左右时,下入 $\varnothing 146$ mm 地质套管,其作用主要是导直、减小孔口岩石摩擦;然后以 $\varnothing 91$ mm 钻入200 m,变径为 $\varnothing 75$ mm 钻至终孔。

3.3 钻机安装

钻机安装是否牢固,钻机安装方位、倾角是否准确等对孔斜影响甚大。安装钻机要求孔位对正、基础牢固:依照设计钻孔轴线对正钻机动力轴中心,采用测量仪器测量其轴线及中心高程,确保准确无误后固定钻机。钻机设置基础,基础采用钢垫板与混凝土,钢垫板与基础采用胀管螺栓固定。

3.4 调试钻机(方位、倾角)^[5]

(1) 水平钻进中受钻具自重影响, 钻具前部产生下垂; 钻具顺时针旋转, 产生右旋力, 造成钻孔偏斜。故确定开孔角度时, 须确定合理的开孔方位角与垂直角纠偏值, 并根据已成孔测斜结果随时予以调整纠偏角度。

(2) 根据试验检验导向钻头的纠偏能力, 确定开孔方位和倾角是否增加纠偏角。

(3) 角度计算: 开孔方位 = 风道走向 + 钻孔放射角水平分量 + 水平纠偏角; 开孔仰角 = 钻孔放射角垂直分量 + 钻进纠偏垂直角。

3.5 开孔

开孔时一定要在孔中装置或人工对钻具扶正, 而且间隙合适。这样钻具有 2 个固定点(动力头和孔口装置), 才能保证钻孔开孔不发生弯曲。开孔钻进参数必须给以足够重视。只要能克服钻头的回弹力, 给进压力应尽量小。转速用低速(钻机最低挡), 当钻头全部进入岩石之后, 压力、转速可采用正常值。

ZK119 孔采用 $\varnothing 150$ mm 金刚石钻头开孔。开孔初期, 由于钻具自身质量大, 钻头容易下沉, 导致下倾角增大, 必须依靠人工辅助控制岩心管钻进。在岩心管全部进入地层后, 校正钻杆角度, 使钻进角度满足设计要求。

3.6 钻进

ZK119 钻孔施工历经 3 个月, 在 200 m 以前, 台班进尺 5 m, 随着孔深加大, 提下钻变得费力、缓慢, 孔内事故逐渐增大, 钻杆扭断、丝扣损坏时有发生, 但通过检查、淘汰部分较旧钻杆、接头后, 事故得到了控制。300 m 以后, 随着钻杆自重的增加, 钻机起下钻只能通过 I 挡完成, 钻机卷扬内齿轮损坏过一次, 但最终通过努力, 圆满完成了钻进任务, 最终进尺 350.15 m。

水平孔钻进过程中, 孔斜控制是关键, 同时, 岩屑运移、冲洗液循环必须保持正常。

4 影响孔斜率的因素及防斜措施

4.1 影响孔斜率的因素

4.1.1 地层岩性的影响

岩石是钻孔直接作用的对象, 岩石的坚硬程度、风化状态、岩体的完整性、裂隙和其它结构面的空间组合和岩石的均一性都直接影响钻孔的平直和偏斜。

ZK119 钻孔地层岩性主要是灰岩、白云岩、板岩

和千枚岩(图 2、图 3)。

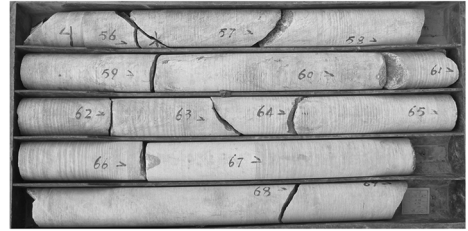


图 2 ZK119 孔取出灰岩岩心照片



图 3 ZK119 孔取出板岩、白云岩岩心照片

4.1.2 机械设备的影响

在充分考虑其宗水电站工作条件和技术要求的情况下, 选择 XY-2 型岩心钻机。该钻机工作稳定、调位准确方便, 转速、给进压力均匀, 导向性好。可满足 300 m 水平钻孔的要求。通过实践发现, 在满足高效破岩要求下宜采用较低的转速和压力。钻具的性能、钻头的新旧程度、钻杆及接头的精度等都对成孔精度和效率有明显的影响。在诸多设备因素中, 钻孔导正器选择与使用往往是最关键的。它可以消除和淡化各种干扰因素和影响。

4.1.3 操作因素

操作因素的影响是复杂和重要的。一切先进的设备和工艺都要通过人的操作来实现。完善的操作规程和严谨的作风是取得这次成功的重要原因。

4.2 防斜措施

地质因素是客观存在的, 无法避免。对于其宗水电站水平孔, 只有针对其地层岩性, 选用不同的钻头、钻具及钻进参数。

工艺技术因素是可以人为控制的, 一是通过加强管理, 消除其影响, 如设备与器具的影响、设备安装的影响等; 二是有针对性地设计钻具组合, 来降低造斜力和控制钻具歪倒。钻孔弯曲的控制主要是采用一些合理的工艺技术措施, 削弱地质因素的促斜作用, 消除或限制工艺技术因素对孔斜的影响, 达到防斜的目的^[6]。

4.2.1 设备安装

钻机安装必须牢固, 在钻进中不能有松动现象。钻机安装方位、倾角力求准确。有条件的用全站仪

定位,在钻具同一母线上前后各取一点,通过两点空间坐标计算其方位、倾角。准确而较经济的一种方法是:用水平尺(精度2 mm/m)定钻具倾角,方位通过吊线确定。放孔位时,除了孔位点外,在孔位点上方和钻机后面还有两点,这三点构成一垂直平面,然后在钻具上找出一母线与钻具中心线在同一垂直平面内,通过吊张,使钻具的母线在放孔三点构成的垂直平面内即可。这一方法要求放孔三点必须正确。

4.2.2 采用初级定向孔施工法

从理论分析和施工来看,钻具、钻杆的重力作用是水平钻孔向下倾斜的最主要原因。故采用初级定向孔施工法,钻机安装成上倾角 $\leq 1\%$ (0.753°)。

4.2.3 开孔工艺

开孔时一定要采取措施对钻具扶正,而且间隙合适。这样钻具有2个固定点,才能保证钻孔开孔不发生弯曲。开孔钻进压力、转数必须尽量小,当钻头全部进入岩石之后,压力、转速可采用正常值。

5 结语

水平孔钻进与垂直孔相比,对设备、施工技术、人员要求更高,成孔难度更大,随着孔深的增加,辅助时间更长,孔内事故发生概率更大。因此,对水平孔钻进技术、施工工艺进行归纳、总结,具有重要的意义。ZK119孔终孔孔深350.15 m,孔深0.0~218.70 m为灰色、浅灰色中粗粒结晶灰岩;孔深218.70~221.38 m为泥质、炭质、硅质板岩;孔深221.38~257.40 m为结晶灰岩;孔深257.40~275.10 m为灰色、深灰色炭质、硅质板岩;孔深

275.10~279.74 m为灰绿色玄武质千枚岩;孔深279.74~282.97 m为炭质、硅质板岩夹灰岩;孔深282.97~350.15 m为灰色、深灰色结晶灰岩。全孔岩心平均采取率为99.6%,平均RQD为73.5%。

ZK119水平孔成功钻进,为地质人员分析上坝址左岸地下厂房工程地质特性提供了详尽和准确的第一手资料。钻进过程中遇到的问题及解决方法为以后的水平孔钻进提供了参考。

同样属于水平孔钻进的非常规技术,在城市的供水、煤气、电力、通讯、石油、天然气等地下管线铺设方面技术相对成熟,而水电水利工程地质水平孔钻进技术还停留在常规岩心钻进层面,成本高,效率低。为了提高水平孔钻探的钻进效率,减少起下钻的辅助时间和减轻繁重的体力劳动,应该在水平孔施工中推广绳索取心技术。

参考文献:

- [1] 隆东,李杰,向军文.物探与水平定向钻进在工程勘察取心中的结合应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,(12):42-44.
- [2] 董向宇.提高水平定向钻进用钻杆制造质量和应用水平的探讨[J].凿岩机械气动工具,2008,(1):19-22.
- [3] 傅文忠.水平定向钻进铺管若干问题探讨[J].山西建筑,2009,35(20):131-132.
- [4] 吕继昌,周晓敏.松软含水地层水平钻进[J].建井技术,1998,19(6):35-37.
- [5] 赵振江.水平定向钻进技术在地铁隧道大管棚施工中的应用[J].长江大学学报,2008,22(2):37-39.
- [6] 孙志峰.高精度水平锚索技术研究及在三峡工程中的应用[D].吉林长春:吉林大学,2006.

(上接第48页)

4 结语

风动潜孔锤钻进技术具有成井周期短、钻进效率高、钻孔保直精度高、成井后无需专门洗井、施工占地小、噪声小、污染小等特点,解决了以往施工工艺在漂、卵、砾石地层难于成孔,或成孔周期长、对地面交通影响大、成孔过程中产生大量泥浆、洗井质量差、施工成本高等一系列问题,可以应用于北京地区的降水施工。

但由于以往成孔口径小,如何改进钻具及施工机械以满足大口径降水井的施工要求,提高出水能力,是一个值得进一步研究的问题,同时应注意钻具

与井径、水泵型号的配合。另外推动施工工艺成熟性、稳定性,形成连续、流水作业,也需要在施工实践中不断改进。

参考文献:

- [1] 杜祥麟.潜孔锤钻进技术[M].北京:地质出版社,1988.
- [2] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
- [3] 赵建勤,李子章,石绍云,等.空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):55-59.
- [4] 陈锡庆.空气潜孔锤钻进技术在西部缺水地区水井钻探中的应用[J].甘肃科技,2007,(11).
- [5] 北京市地质工程勘察院.北京地铁6号线一期工程勘察报告[R].北京:2009.