

水平定向钻孔技术的改进与应用

王 丰¹, 刘 章²

(1. 新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049; 2. 葛洲坝新疆工程局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 由于专用的长距水平钻机体积较大, 在巴基斯坦 Neelum-Jhelum 水电工程中受施工场地的限制而不能使用, 经分析、试验确定了采用轻型普通钻机进行水平定向钻探。通过对钻机加装稳定装置, 对提引器、提引器取芯卡簧、孔口装卸架、扩孔装置、阻塞器及相关的钻具进行改造, 并通过试验确定了不同岩层中的钻进参数, 经不断的改进、调整、摸索, 提出了适合普通钻机进行水平定向钻孔施工的常用钻具组合及控制参数, 在该水电工程中得到成功应用, 为优化开挖断面、涵洞支护设计参数和施工方案提供了依据。

关键词: 水平定向钻探; 岩体结构; 压水试验; 固定装置; Neelum-Jhelum 水电工程

中图分类号: P634 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2013)04-0054-03

Improvement and application of horizontal directional drilling technocogy//WANG Feng¹, LIU Zhang² (1. *Xinjiang Water Resources Research Institute, Urumqi 830000, China*; 2. *Gezhouba Xinjiang Engineering Bureau, Urumqi 830000, China*)

Abstract: The special long-distance drilling rigs cannot be used in the site of Neelum-Jhelum Hydropower Project in Pakistan due to their large volume. The horizontal drilling method is adopted based on the experimental and economical analyses by using light common rigs. The drilling rigs are improved by installing some stabilizing devices, and some modifications are performed by transforming the hoisting swivel elevator, the loading and unloading frame for orifice, the reaming device, the blocker and other associated components. The drilling parameters for different strata are determined based on experiments. A series of drilling components and control parameters suitable for engineering practices of the horizontal directional drilling with common drilling rigs are proposed through continuous improvement, adjustment and exploration. They are successfully applied in Neelum-Jhelum Hydropower Project and provide basis for the optimization parameters and construction schemes of excavation sections and culvert bracings.

Key words: horizontal directional drilling; rock structure; water pressure test; fixed installation; Neelum-Jhelum Hydropower Project

巴基斯坦 Neelum-Jhelum 水电工程(简称 NJ 水电工程)位于巴基斯坦 Azad Jammu&Kashmir (AJ&K) 州 Muzaffarabad 地区, 由一座大坝及总长 28.5 km 的引水隧洞和地下厂房组成。厂房布置 4 台发电机组, 总装机容量为 963 MW。由于发电厂房的垂直勘探孔布置较少, 满足不了设计要求, 需补充水平勘探。由于专用的长距水平钻机体积较大, 受施工场地的限制无法使用, 在对水平勘探孔的可行性、经济性进行分析的基础上, 提出了对普通钻机加以改进的施工方案, 并于 2009 年 11 月底开始实施, 时间为 20 d。该工程区由砂岩、页岩、泥岩组成。为了查明工程地质和水文地质情况, 优化厂房和隧洞的布置(项目要求把厂房布置在强度较高的砂岩内), 在参照成熟的水平定向钻孔技术的基础上, 通

过对普通钻机的结构、钻具、钻孔控制参数及钻探工艺进行改进, 使水平孔深达到了 280 m。结合钻孔内的各项试验数据基本查清了地下厂房和引水隧洞的地质情况, 为设计提供了可靠的依据, 根据取得的地质资料将原设计的电站厂房位置向东平移了 150m, 平面布置的角度也依据所勘探到的岩层分布情况, 整体向西偏转 10°, 确保了厂房处于地质条件相对较好的位置, 为电站安全运行和持续发挥效益奠定了基础。

在以往的类似水利水电工程中, 勘探孔多为垂直钻孔^[1]。虽然水平钻孔技术在石油、煤炭、交通等领域得到了广泛的应用^[2-3], 但在水利水电工程中使用较少, NJ 水电工程的水平钻探实践使轻型普通钻机进行水平定向钻探成为了可能。为了达到水平

钻探的目的,在两方面进行了改进和优化:①对钻机加装稳定装置及进行相关的钻具改进;②确定了在不同岩层中的钻进参数。根据水平定向钻孔的施工特点,分析了在岩层施工中水平定向钻孔所面临的复杂地质条件及钻孔轨迹难控制、钻孔事故复杂等技术难点,总结了现场施工经验,形成了适合水平定向钻孔施工的常用钻具组合,成功完成了NJ水电工程项目的钻探施工,为优化开挖断面、涵洞支护设计参数和施工方案提供了依据。

1 钻机及钻具的改进

水平钻探施工选择在引水隧洞的电缆洞内进行,由于洞底部的浮渣厚度较大,如采用清理和浇筑混凝土置换的方法,存在时间长,成本高等缺点。常规的水平钻探是在隧洞内安放专用的长距离水平钻机(体积较大)进行钻探,但NJ水电工程受施工场地狭窄的限制无法安装钻机,为解决好这个难题,经过实施方案的比选分析,采用了XY-2轻型普通地质钻机进行施工,但首先要解决好以下3方面的问题:①如何解决普通轻型地质钻机的稳定性;②如何控制水平造孔的钻进参数,并确保造孔质量、岩芯采取率、偏离公差均在设计允许的范围;③如何取得较准确的孔内各项试验数据^[4]。为了解决上述问题,对普通钻机在6个方面进行了改进。

1.1 钻机稳定性的处理

钻机作业时必须使钻机稳固、周正、水平,各部连接栓要加垫固紧,钻孔中心与钻机立轴和天车提引器前沿必须在同一条直线上^[5]。为此,加工了适合普通钻机进行水平钻孔的稳定装置,即采用桁架结构,加设水平方向的专用龙门架,结合钻机自身结构设置卷扬机支撑架,将钻杆支撑架前端固定在孔口部位的地锚上,后端和钻机相连接,使之形成整体稳定的结构。这样不仅使钻机能水平钻孔,而且也可以满足45°仰孔的钻孔作业。

1.2 提引器的改进

普通钻机自配的提引器由一个吊耳和一个锁定装置组成,其原理是利用提引器锁扣结构,接套锁定钻杆和钻具的专用接头,利用钻杆和钻具自重下入孔内^[6]。由于水平钻进无法利用自重原理而必须进行双向加力,因此,设计出专门的钻杆提引器和滑轮组,并改进钻杆装卸、锁(卡)紧装置,因此有效解决了这个难题。这种专用提引器由两个吊耳、一个卡扣、一个锁定杆组成,其工作原理是:特制卡口选用锁定钻杆的垫叉卡口,可直接卡进钻杆接头的专用卡槽,并在卡扣上设置有锁定杆,当卡口卡进接头的卡槽后锁上锁定杆,防止钻杆和钻具从卡扣中脱

出,并挂上吊耳,利用滑轮组和钻机卷扬机以实施推进和拉入的双向加力控制。

1.3 提引器取芯卡簧的改进

垂直孔钻探均采用钻头设置卡簧的方式取芯,但在水平钻孔中就不能利用钻具自重单向自锁。为此设计了特殊取芯卡簧,该卡簧与普通卡簧在结构上没有变化,只是在岩芯管底部增加了限位装置,从而保证了岩芯采取率达到规定的标准。

1.4 孔口装卸架的改进

在垂直钻进时,其孔口保护通常是在孔口埋设安装短小的钢管作为孔口管,既有保护孔口防止杂物掉入孔内的作用,也可作为钻杆和钻具的装卸支撑。因水平钻进孔口的保护装置与垂直钻进的装置不同,水平钻孔的钻杆、钻具装卸支架埋设了较长的钢制孔口管,并结合埋设地锚的方法,用以保证双向锁定垫叉在规定的范围之内活动,这样就可保证水平钻杆和钻具的装卸工作顺利完成。

1.5 扩孔装置的改进

增设扩孔装置且加长钻具,保证钻孔质量和取芯质量。由普通的2 m钻具延长至4 m,并在连接处加装扩孔器,即由原来的1个扩孔器增加到2个或3个,以稳定孔壁,降低在钻孔过程中出现堵塞或塌孔的概率。

1.6 阻塞器的改进

为了保证在孔内任何指定的试验段能顺利进行压水试验和孔内原位试验以取得准确的数据,需要采用阻塞器对试验段进行封闭^[7]。以往无论是机械式还是气囊式阻塞器,均为利用阻塞器的自重放置到孔内指定的试验段,但对于水平孔或仰孔不能利用其自重下放到孔内,因此,对气囊式和顶压式阻塞器进行了改进,其方法是:①采用气囊式阻塞器及其相应的配套件,加工专用接头,采用钢管丝扣连接,对于80~100 m段的钻孔利用钻机卷扬机辅助阻塞,大于200 m则采用顶压式阻塞器进行封堵;②采用顶压式阻塞器并在钻杆上安装膨胀胶球,用钻机下钻的方式,将阻塞器下放到孔内指定的试验段,利用钻机顶压钻杆,从底部反向对膨胀胶球加压,将胶球挤压膨胀阻塞于孔壁之间,完成对试验段的封闭。

2 钻进参数的确定及控制

2.1 钻进转速的确定

为了保证水平钻孔能正常钻进,在钻孔操作时应根据不同的岩性选择不同的钻进转速,如针对较硬的砂岩,钻进转速为114 r/min、180 r/min、248 r/min等低速,钻进立轴压力控制在10~20 kN,冲洗液水量达到100 L/min;对于较软的砂岩,适当提高转速至

248 r/min、310 r/min, 钻进立轴压力在 15 ~ 20 kN 之间, 冲洗液水量 75 ~ 100 L/min; 对于页岩和粉砂岩等软岩则采用 310 r/min、538 r/min 的转速, 压力也适当提高到 20 ~ 25 kN, 冲洗液水量控制在 50 ~ 75 L/min^[5]。

2.2 孔斜度控制

水平定向钻孔对孔斜公差要求较高, 为了保证水平钻孔的倾角能在允许的范围内, 首先采用了埋设孔口导向管、控制开孔孔向等措施; 当钻进至 30 m 左右时, 加长岩芯管即由以前的 2 m 加长至 4 m 并控制钻进转速和钻进立轴压力, 确保钻机水平稳定的运转来控制钻孔公差。

2.3 取芯控制

为了保证取芯工作能正常进行, 在传统的卡簧基础上, 自制专用取芯卡簧采集岩芯。根据经验在钻进过程中始终保持钻机的稳定, 控制好钻进立轴压力, 采用合理的冲洗液的压入流量, 从而保证岩芯采取率达到了 92%。

3 钻探试验

3.1 压水试验

采用阻塞方式进行试验段的原位压水试验。试验采用 3SNS 灌浆泵、ZSQ 系列气囊阻塞器、GJY-VI 型自记仪等设备。压水试验采用五点法, 压力分别为 0.25 MPa、0.625 MPa、1.0 MPa、0.625 MPa 和 0.25 MPa, 每个压力条件下应在 5 min 内每隔 1 min 记录 1 次压入流量, 每段试验至少要持续 5 min。试验时间不能超过 10 min。每个压力段在整个试验期间所需压力的精度应保持在 5%。共计完成压水试验 28 段。

a. 试验方法: 采用钻孔同步试验。压水试验使用单栓塞在 6 m 长的区段上进行试验, 在每个连续测试长度钻孔完成之后进行压水测试。

b. 段长划分: 从孔深 50 m 开始均按 6 m 划分段次, 对于孔深 200 m 以后的 80 m 按 10 m 划分段次。

c. 冲孔: 钻孔之后试验开始之前, 使用干净、不含沉淀物的水通过未推进的栓塞冲洗钻屑至少 5 min, 至回流水为清水为止。

d. 试验分析: 从压水试验 P-Q 曲线类型分析得出 A 型(层流型) 共有 7 段, 占总段数的 25%; C 型(扩张型) 共有 1 段, 占总数的 3.6%; D 型(冲蚀型) 共有 3 段, 占总数的 10.7%; E 型(充填型) 共有 17 段, 占总数的 60.7%; 最小透水率为 0.1 Lu, 分布在 68 ~ 80 m 处, 共有 2 段; 最大透水率为 6.91 Lu, 分布在 104 ~ 110 m 段。

3.2 原位检测试验

进行孔内分段阻塞, 检测孔内涌水量和涌水压力, 共检测出涌水点 9 处, 其中在孔深 29.5 ~ 31.0 m

处最大, 涌水量为 210 L/min, 最大涌水压力为 1.7 MPa, 高程为 612.3 m; 经计算地下水位高程在 782.3 m, 其原位状态下渗透通道的渗透量为 210 L/min。通过原位检测和试验, 准确地找到并预测了涌水点的位置和地下水文情况。

4 钻探结果检测

为检验水平钻孔误差是否满足设计要求, 使用 DTC 小直径动力调谐陀螺钻孔测斜仪对钻孔进行了测量, 根据由钻孔轨迹的精度要求确定的测点间距测量出这些特定点的轨迹参数, 再计算出钻孔实际的三维轨迹曲线, 确定出钻孔的顶角和方位角, 结合常规测量技术测得钻孔的相应数据, 如表 1 所示。由表 1 可见, 各项指标误差范围均控制在规定的范围以内, 并达到验收标准。

表 1 水平钻孔指标

项目	孔深/m	水平 偏差/m	方位角/ (°)	顶角/ (°)	岩芯 采取率/%
设计要求	280.00	≤8.4	63	4.3	85
允许偏差	≤0.50	≤8.4	≤5	≤1.0	
实际检测	280.10	5.2	66	4.9	92
实际偏差	0.10	5.2	3	0.6	7

5 结 语

水平定向钻孔技术在 NJ 水电工程的应用, 为修改设计方案、指导施工提供了技术支持, 并在地下发电厂房、水工隧洞等工程中具备了广阔的应用前景。该技术具有功效高、成本低、安全性好、收集数据多、信息准的优点。该技术是在垂直勘探孔基础上发展起来的, 既有水平人工钻爆法直观、快速的优点, 也有勘探距离较长的优点, 使普通轻型地质钻机进行较长距离水平勘探成为可能。利用轻型普通钻机对取芯、阻塞器、压水试验设备和自动记录议等进行改进就可以取得原位地质岩性数据、原位渗透系数、芯样测试数据。

在施工过程中仍然存在钻机的稳固问题, 需对支撑桁架进行改进。钻孔作业过程中, 随着孔深的增加, 支撑受力越来越大, 出现过数次脱焊和松脱的现象, 因此还需进一步改进。

参考文献:

[1] 朱全塔, 邱正松, 孤平 1 井超长水平段水平井钻井技术 [J]. 石油钻探技术: 2005, 33(6): 68-71. (ZHU Quanta, QIU Zhengsong. Ultra-Long horizontal well drilling techniques applied in Guping 1 Well [J]. Petroleum Drilling Techniques 2005, 33(6): 68-71. (in Chinese))

(下转第 77 页)

- Internationalen Vereinigung für Limnologie, 2005, 29: 123-136.
- [24] POOLE G C, STANFORD J A, RUNNING S W, et al. Multiscale geomorphic drivers of groundwater flow paths: subsurface hydrologic dynamics and hyporheic habitat diversity[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2006, 25(2): 288-303.
- [25] POOLE G C. Stream hydrogeomorphology as a physical science basis for advances in stream ecology[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2010, 29(1): 12-25.
- [26] KRAUSE S, HANNAH D M, FLECKENSTEIN J H, et al. Inter-disciplinary perspectives on processes in the hyporheic zone[J]. Ecohydrology, 2011, 4(4): 481-499.
- [27] ZARNETSKIE J P, GOOSEFF M N, BOWDEN W B, et al. Influence of morphology and permafrost dynamics on hyporheic exchange in arctic headwater streams under warming climate conditions [J]. Geophysical Research Letters, 2008, 35(2): L02501.
- [28] HARVEY J W, BENCALA K E. The effect of streambed topography on surface-subsurface water interactions in mountain catchments [J]. Water Resources Research, 1993, 29(1): 89-98.
- [29] SLIVA L, WILLIAMS D D. Responses of hyporheic meiofauna to habitat manipulation [J]. Hydrobiologia, 2005, 548(1): 217-232.
- [30] FRANKEN R J M, STOREY R G, WILLIAMS D D. Biological, chemical and physical characteristics of downwelling and upwelling zones in the hyporheic zone of a north-temperate stream [J]. Hydrobiologia, 2001, 444(1/2/3): 183-195.
- [31] HARVEY C, GORELICK S M. Rate-limited mass transfer or macrodispersion: which dominates plume evolution at the macrodispersion experiment (MADE) site? [J]. Water Resources Research, 2000, 36(3): 637-650.
- [32] CHOL J, HARVEY J D, CONKLIN M H. Characterizing multiple timescales of stream and storage zone interactions that affect solute fate and transport in streams[J]. Water Resources Research, 2000, 36(6): 1511-1518.
- [33] de SMED T F. Analytical solution and analysis of solute transport in rivers affected by diffusive transfer in the hyporheic zone[J]. Journal of Hydrology, 2007, 339(1/2): 29-38.
- [34] ZARAMELLA M, PACKMAN A I, MARION A. Application of the transient storage model to analyze advective hyporheic exchange with deep and shallow sediment beds [J]. Water Resources Research, 2003, 39(7): 1173-1200.
- [35] TONINA D, BUFFINGTON J M. Hyporheic exchange in gravel-bed rivers with poolriffle morphology: laboratory experiments and three-dimensional modeling [J]. Water Resources Research, 2007, 43: W01421.
- [36] HE Z. Numerical simulation of flow, sediment, and contaminant transport in integrated surface-subsurface systems [D]. Oxford: University of Mississippi, 2007.
- [37] HE Z, WU W, WANG S S Y. An integrated 2D surface and 3D subsurface contaminant transport model considering soil erosion and sorption[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2009, 135(12): 1028-1040.
- [38] SAWYER A H, CARDENAS B M, BUTTLES J. Hyporheic temperature dynamics and heat exchange near channel-spanning logs[J]. Water Resources Research, 2012, 48: W01529.

(收稿日期: 2012-09-10 编辑: 周红梅)

(上接第 56 页)

- [2] 张雷. 超前钻探在隧道施工中的应用[J]. 科技传播, 2012(2): 58-59. ((ZHANG Len. Drilling ahead in tunnel construction [J]. Public Communication of Science & Technology, 2012(2): 58-59. (in Chinese))
- [3] 姚宁平. 我国煤矿井下近水平定向钻进技术的发展[J]. 煤田地质与勘探, 2008, 36(4): 78-80. (YAO Ningbin. Development trend of nearly horizontal directional drilling technology in coal mines of China [J]. Coal Geology & Exploration, 2008, 36(4): 78-80. (in Chinese))
- [4] 王爱国, 王敏生, 唐志军, 等. 深部薄油层双阶梯水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(3): 13-15. (WANG Aiguo, WANG Minsheng, TANG Zhijie, et al. Double staircase horizontal drilling technology in deep thin reservoirs [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003 31(3): 13-15. (in Chinese))
- [5] 王建强, 李国民, 赵洪波, 等. 流固耦合作用下水平定向孔壁稳定性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(4): 796-801. (WANG Jianqiang, LI Guomin, ZHAO Hongbo, et al. Stability analysis of a borehole wall during horizontal directional drilling in fluid-solid coupling condition [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012, 8(4): 796-801. (in Chinese))
- [6] 闫振来, 韩来聚, 李作会, 等. 胜利油田水平井地质导向钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(1): 4-8. (YAN Zhenlai, HAN Laiju, LI Zuohui, et al. Geo-steering drilling technique of horizontal wells in Shengli oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(1): 4-8. (in Chinese))
- [7] 邵明利, 乌效鸣. 非开挖水平孔的孔壁稳定性分析[J]. 非开挖技术, 2008(5): 5-7. (ZHAO Mingli, WU Xiaoming. Trenchless horizontal bore hole wall stability analysis [J]. Trenchless Technology, 2008(5): 5-7. (in Chinese))

(收稿日期: 2012-11-29 编辑: 熊水斌)