

# 龙羊峡水电站左岸坝肩尾工 超深定向排水孔施工控制技术

黎文昌

(中国水利水电第十工程局有限公司勘测设计院,四川 都江堰 611830)

**摘要:**龙羊峡水电站左岸坝肩尾工 4 个孔径 130 mm、孔深 80 m 超深倾斜定向排水孔工程,从坝肩 EL2610 全部钻通至 EL2530 排水廊道(2 m × 2.5 m)理论设计终孔点。采用瑞典 Atlas - A32 型潜孔钻机施工。针对该钻机钻具偏垂度 3% 的困难(同时也验证了其偏垂度 3% 的科学性),从技术参数控制和施工工艺控制上克服了潜孔钻施工超深定向孔偏垂度过大的技术“瓶颈”,总结出了瑞典进口 Atlas 系列潜孔钻机冲击回转钻具施工超深定向孔的技术成果,为国内不同行业同系列 Atlas 系列钻机施工超深定向孔提供了参考依据。

**关键词:**Atlas - A32 型冲击钻机;钻探工艺;超深孔;定向孔;偏垂度

**中图分类号:**P634.7   **文献标识码:**B   **文章编号:**1672 - 7428(2015)09 - 0081 - 04

**Construction Control Technology of Ultra-deep Inclined Directional Drainage Holes in Left Bank Abutment of Longyangxia Hydropower Station/Li Wen-chang** (Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Dujiangyan Sichuan 611830, China)

**Abstract:** Imported from Sweden, Atlas - A32 down-the-hole drill was used in 4 ultra-deep inclined directional drainage holes with diameter of 130 mm and depth of 80m in the left bank abutment of Longyangxia hydropower station, drilling from abutment EL2610 to the theoretical design borehole bottom location EL2530 drainage gallery(2m × 2.5m). According to the difficulties caused by drilling tool vertical deviation of 3% (vertical deviation of 3% is verified to be scientific). The technical bottleneck of too large vertical deviation in ultra-deep directional hole construction with down-the-hole drill were overcome on the control of technical parameters and technology. The paper summarizes technical achievements of ultra-deep inclined directional holes constructed with Atlas series down-the-hole rotary percussion drill from Sweden.

**Key words:** Atlas - A32 percussion drill; drilling technology; ultra-deep hloce; directional hole; vertical deviation

## 1 龙羊峡水电站概况

龙羊峡水电站位于青海省共和县和贵南县交界处的黄河干流上,水库全枢纽由主坝、泄水建筑物及坝后式厂房等组成,最大坝高 178 m,库容 247 亿 m<sup>3</sup>,共安装 4 台机组,总装机容量 128 万 kW,年发电量 60 亿 kW·h。挡水建筑物包括混凝土双曲拱坝、重力墩和副坝,前沿总长 1277 m。主坝长 396 m,坝顶高程 2610 m,最大中心角 85°02'39",外半径 265 m,拱冠断面坝顶厚 15 m,坝底厚 80 m,厚高比 0.45,弧高比 2.21,共分 18 个坝段,设纵缝和横缝。右岸重力墩长 103.35 m,左岸重力墩长 57.18 m。副坝 2 座,最大坝高 43 m,坝顶宽 7 m,总长约 700 m。

电站建设从 1976 年开始,1979 年 11 月实现工程截流;1982 年 6 月开始浇筑主坝混凝土;1986 年 10 月 15 日导流洞下闸蓄水;1990 年主坝封拱至 2610 m 高程;1992 年竣工(工程效果见图 1);1993 年工程

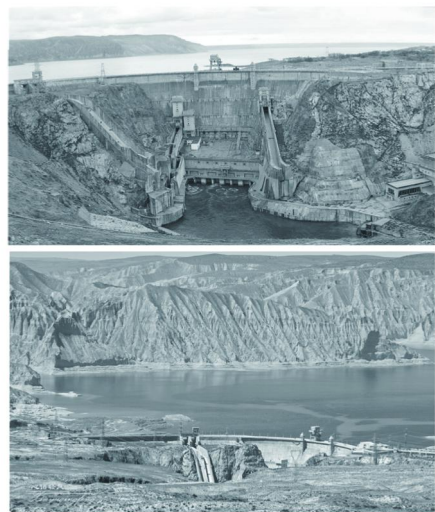


图 1 龙羊峡水电站工程效果图

销号,未完项目转入工程尾工工程。2004 年 2 月该工程被青海省建设厅、青海省建筑业协会授予“青

海省 2003 年度工程质量特别奖”荣誉称号。

## 2 定向排水孔工程背景

1996 年 7 月开始对左岸 EL2585 廊道的花岗岩断层破碎带进行化学帷幕灌浆防渗处理,并于 1999 年 4 月开始补充施工左岸 EL2585 廊道帷幕体后当年没有完工的排水体工程,其中靠近岸坡一端钻通至左岸 EL2530 排水廊道(2 m×2.5 m)的排水孔因当年在 EL2585 高程未能施工,而现今必须移至坝肩 EL2610 坝面施工,孔径 130 mm,理论钻孔顶角 14°,孔间距 2 m。经业主电厂方面同意,由施工方自行设计变更,并将设计方案报西北电力设计院尾工办审签通过后开始施工。

## 3 设计思路

将 1~3 号孔开孔位置从 EL2585 高程引至坝肩 EL2610 坝面,并将因 EL2585 廊道端头地质钻无法施工的 4 号孔也引伸至 EL2610 坝面。为减轻排水体“开档”过大,保证排水体完整,将 4 号孔向坝肩一端外移 2.9 m 至坝面,与 1、2、3 号孔等间距 1.7 m 布置,同时将 4 号孔终孔点与 5 号孔终孔点间距缩小至 0.8 m,并与 1、2、3 号三孔终孔点等间距 2.4 m 布置,具体设计思路见图 2 和图 3 所示。

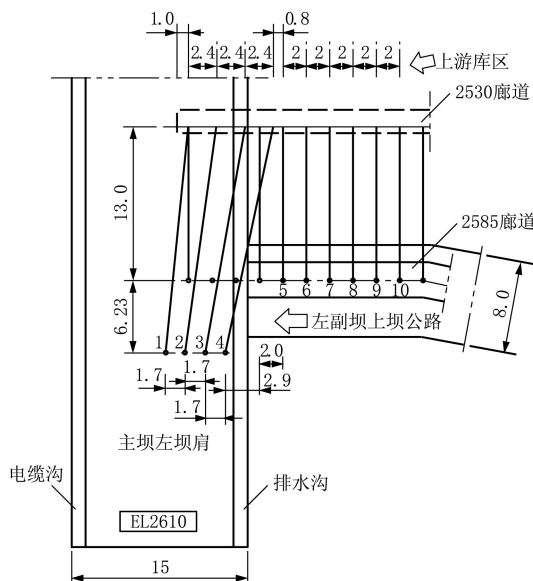


图 2 工程概况平面布置示意图(单位:m)

据图 2 和图 3 可知,4 个孔开孔点均提高了 25 m;1 号孔开孔点右移 2 m,终孔点保持设计位不变;2 号孔开孔点右移 2.3 m,终孔点左移 0.4 m;3 号孔

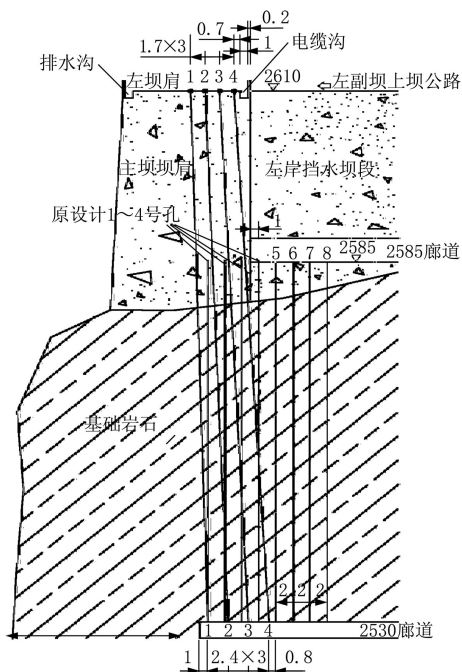


图 3 沿副坝轴线纵向剖面示意图(单位:m)

开孔点右移 2.6 m,终孔点左移 0.8 m;4 号孔开孔点右移 2.9 m,终孔点左移 1.2 m。

## 4 技术参数控制计算

### 4.1 方位角和孔深计算

根据图 4 沿主坝轴线纵向结构剖面图和钻孔水平投影图,利用三角函数原理计算得出 1、2、3、4 号四孔的方位角,为在原排水体钻孔方位基础上顺时针分别旋转 6°、8°、10°、12°。

根据图 4 沿主坝轴线纵向结构剖面图和沿钻孔纵向纵剖面图,利用三角函数原理计算得出 1、2、3、4 号四孔的孔深在 79.9~79.98 m 之间。

### 4.2 理论顶角(最大值、设计值、最小值)计算

为了确保钻孔能准确钻通至 EL2530 廊道,顺利排出基岩渗水,需要以 EL2530 廊道上游顶切点和下游排水沟边角点为基点,计算出可钻通的最大理论顶角和最小理论顶角,该顶角范围值可供技术控制分析和施工技术控制参考,确保钻孔的钻通率。

经过三角函数计算得出 4 个孔的设计顶角在 14°~14.23°范围内,最大理论顶角范围值为 14.7°~14.94°,最小理论顶角范围值为 13°~13.3°,可钻通有效顶角数值在 13.3°~14.7°,单孔可钻通技术顶角控制范围仅 1.7°。具体计算结果数值见表 1,计算分析过程见图 5。

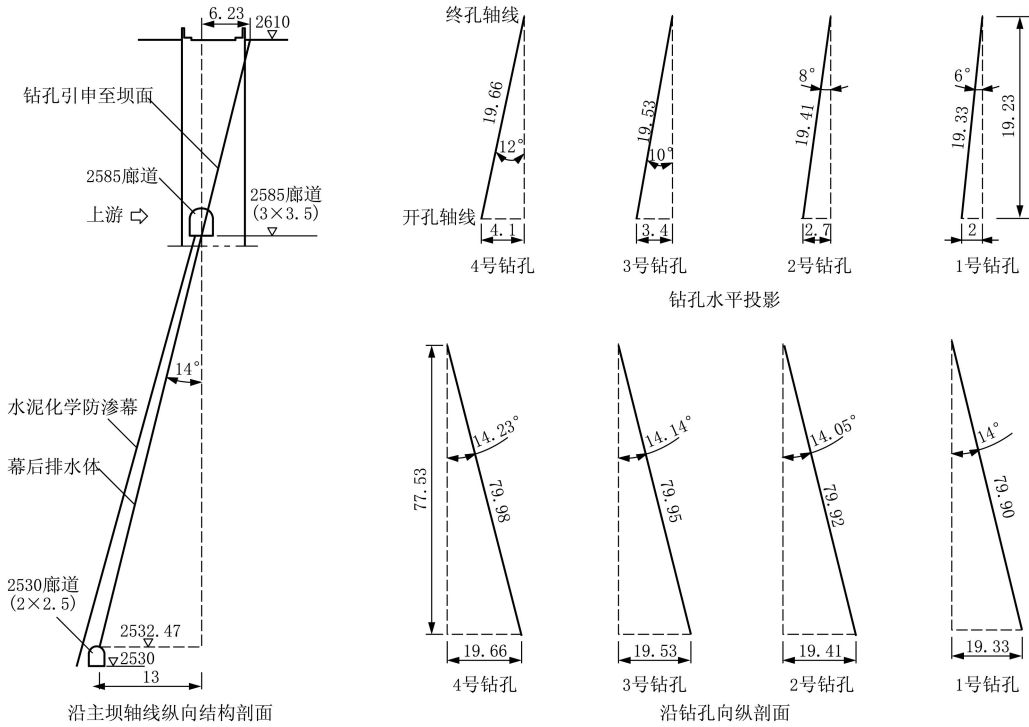


图 4 钻孔参数综合分析计算图(单位:m)

表 1 理论顶角、实际施工顶角及其最大最小控制数值

孔号	理论孔深/m	理论顶角/(°)			考虑潜孔钻具偏垂 3% 后实际施工顶角/(°)		
		最大值(2530 廊道上游切点)	设计值	最小值(2530 廊道下游角点)	最大值(2530 廊道上游切点)	设计值	最小值(2530 廊道下游角点)
1 号孔	79.90	14.70	14.00	13.0	16.29	15.65	14.66
2 号孔	79.92	14.78	14.05	13.1	—	—	—
3 号孔	79.95	14.86	14.14	13.2	—	—	—
4 号孔	79.98	14.94	14.23	13.3	16.59	15.88	14.96

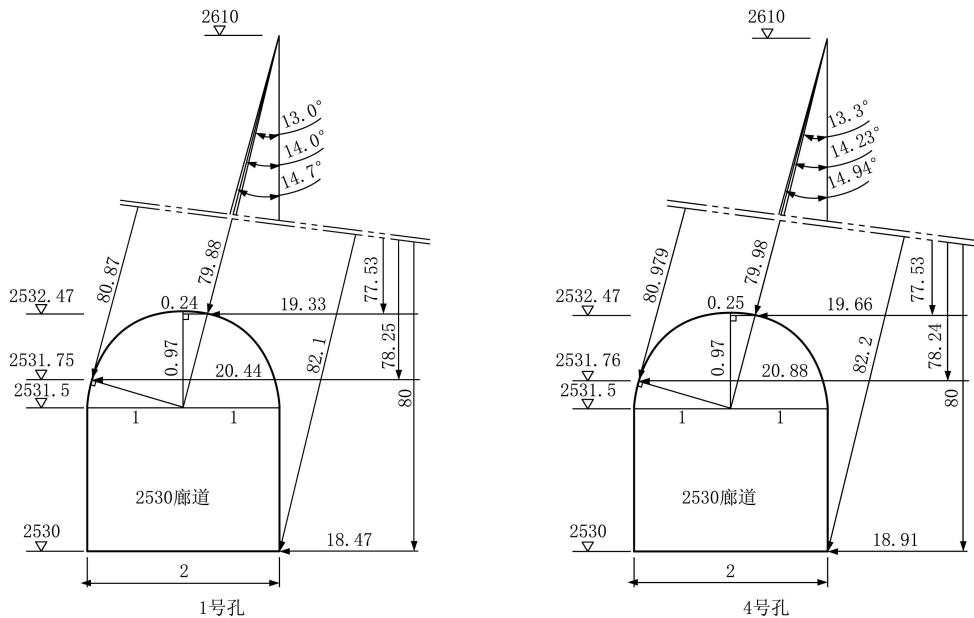


图 5 1、4 号孔最大最小理论顶角分析图(单位:m)

### 4.3 实际施工顶角(最大值、设计值、最小值)计算

由于 Atlas - A32 型潜孔冲击钻机钻具偏垂度较大(说明书中偏垂度 3%),此因素成了 4 个超深定向孔能否确保钻通的关键影响因素之一,必须考虑。根据 4 个孔孔深 80 m 计算,得出 4 个孔终孔点水平距因偏垂而缩短 2.4 m 的事实,按照上述理论顶角计算方法重新计算后得出:4 个孔最大实际施工顶角范围值变为  $16.29^{\circ} \sim 16.59^{\circ}$ ,最小实际施工顶角范围值变为  $14.66^{\circ} \sim 14.96^{\circ}$ ,可钻通有效顶角范围变为  $14.96^{\circ} \sim 16.29^{\circ}$ ,设计施工顶角范围变为  $15.65^{\circ} \sim 15.88^{\circ}$ (按照  $15.75^{\circ}$  控制开孔),比理论设计顶角高出  $1.65^{\circ}$ ,技术顶角控制范围仅为  $1.63^{\circ}$ 。考虑偏垂后,所有顶角数值较理论数值均需放大  $1.6^{\circ} \sim 1.66^{\circ}$ (均值  $1.63^{\circ}$ )。

## 5 技术参数控制成果分析

经过计算可知,4 个孔的理论顶角设计值在  $14^{\circ} \sim 14.23^{\circ}$ ,考虑偏斜率 3% 后的实际施工顶角设计值在  $15.65^{\circ} \sim 15.88^{\circ}$ ,实际施工顶角控制范围  $14.66^{\circ} \sim 16.59^{\circ}$  完全超过了其理论顶角控制范围  $13^{\circ} \sim 14.94^{\circ}$ ,也就是说,如果按照理论设计角度实施钻进后,其结果将全部在 EL2530 廊道下方穿过而报废。

另一方面,因为 EL2530 廊道截面尺寸小,四个钻孔可钻通的最大最小施工顶角差值仅  $1.6^{\circ} \sim 1.7^{\circ}$  之间,实际技术顶角控制范围仅为  $1.63^{\circ}$ ,技术控制难度极高,施工操作难度极大,并且四孔方位角与廊道走向方位角并不垂直,风险度很高,稍有疏忽就会从 EL2530 廊道的上下方穿过造成钻孔报废,并影响坝肩混凝土结构强度。

## 6 钻孔设备选择和施工工艺控制措施

### 6.1 设备选择

钻孔设备选用了 Atlas - A32 型潜孔冲击钻机(自带高压空压机),配置  $\varnothing 130$  mm 气动冲击回转潜孔锤(偏垂度为 3%), $\varnothing 89$  mm 进口钻杆,并每隔 10 m 安装一个导正器,尽力减小钻具的绕度,确保钻具在直线状态下工作,避免了因此而造成的孔径扩大和孔向跑偏。

### 6.2 参数控制

利用全站仪测量放置孔位点和钻孔方位角,钻机就位固定,利用机杆顶点垂线原理和地质罗盘准

确校核钻机方位,并初步以  $16.75^{\circ}$  顶角对准钻孔,开孔采用中低挡钻压钻进,开孔 0.5 m 范围内每钻进 2~5 cm 停钻校核钻具方位、顶角一次。在钻进参数基本平稳后,逐渐放大至每钻进 0.5 m 校核一次,直至第一节导正器入孔为止。

### 6.3 油压控制

开孔中等钻压钻进至 40 m 左右孔深时,随着钻具质量的增加逐渐提钻钻进,从钻进技术上杜绝钻压过大导致钻孔跑偏,同时减少了粗颗粒产生的数量,降低了粗颗粒重复破碎使孔径扩大孔向跑偏的可能。

### 6.4 风压控制

随着孔深的增加逐渐加大风压并随时停钻吹孔,以避免深积沉渣重复破碎、孔径扩大而造成的钻孔偏斜,并提高了钻进效率。

## 7 结语

4 个 80 m 超深定向排水孔全部在预想的设计终孔点钻通至 EL2530 廊道,实践验证了所做的技术分析和所采取的钻进工艺控制方法是科学的、合理的。同时也验证了进口 Atlas 系列潜孔冲击钻机说明书中钻具 3% 的偏垂度的科学性和真实性。从技术角度上克服了潜孔钻具钻进超深定向孔偏斜率大的技术难题,总结出了瑞典 Atlas 系列潜孔冲击钻机钻具施工超深定向孔的科学技术成果,为国内不同行业同系列 Atlas 系列钻机施工超深定向孔提供了科学依据,“震动冲击潜孔钻具钻进超深定向孔”堪称国内首例,可为广大钻探工作者借鉴。

## 参考文献:

- [1] 张家军. 液动潜孔锤钻进工艺在舞阳铁山矿区易斜地层的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(7).
- [2] 王建华, 苏长寿, 左新明. 深孔液动潜孔锤钻进技术与应用[J]. 勘察科学技术, 2011, (6).
- [3] 刘义, 唐群刚. 溪洛渡水电站大直径仰角深排水孔施工技术研究[A]. 地基基础工程与锚固注浆技术: 2009 年地基基础工程与锚固注浆技术研讨会论文集[C]. 2009.
- [4] 苗强. 苏丹上阿特巴拉水利枢纽溢流坝廊道排水孔施工技术[J]. 科技传播, 2014, (21).
- [5] 陶兴华. 冲击旋转钻井破岩特点分析[J]. 钻采工艺, 1996, (3).
- [6] 王人杰, 蒋荣庆, 等. 液动冲击回转钻探[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [7] Giffiths. A. A. Pil. Trans. R[M]. Soc. Lond. A221, Lond, 1920.
- [8] B. K. 阿特金森. 岩石断裂力学[M]. 尹祥础, 等译. 北京: 地震出版社, 1992.