

# 复杂地质条件下抽水蓄能电站高边坡快速开挖支护施工技术研究及实践

赵党旗

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450000

**[摘要]**抽水蓄能电站是电力系统最可靠、最经济、寿命周期最长、容量最大的储能装置,是新能源发展的重要组成部分。地形地貌对抽水蓄能电站的建设有很大的影响,其选址位置需具备一定的落差,往往选择在陡峭的河谷、河口、丘陵地带。通过对施工工艺、施工工序等进行优化,可大大提高施工效率,提高施工质量,确保工程项目经济效益和社会效益得以实现。本工程下水库存在6处高边坡,最高的边坡高度达91m,且每一处边坡的地质情况及边坡支护形式不全相同,通过反复研究及实践,取得了复杂地质条件下高边坡快速开挖支护施工方法,过程中效果明显,技术稳定,施工简单,能够有效地提升施工效率,提高施工质量。

**[关键词]**复杂地质;高边坡;快速施工

DOI: 10.33142/hst.v7i11.14301

中图分类号: TV743

文献标识码: A

## Research and Practice on Rapid Excavation and Support Construction Technology for High Slope of Pumped Storage Power Station under Complex Geological Conditions

ZHAO Dangqi

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

**Abstract:** Pumped storage power stations are the most reliable, economical, longest life cycle, and largest capacity energy storage devices in the power system, and are an important component of the development of new energy. The terrain and landforms have a significant impact on the construction of pumped storage power stations, and their location needs to have a certain drop, often chosen in steep river valleys, estuaries, and hilly areas. By optimizing construction processes and procedures, construction efficiency can be greatly improved, construction quality can be enhanced, and the economic and social benefits of engineering projects can be ensured. In this project, there are 6 high slopes with the highest slope reaching a height of 91m. The geological conditions and support forms of each slope are not the same. Through repeated research and practice, a rapid excavation and support construction method for high slopes under complex geological conditions has been obtained. The process has obvious effects, stable technology, simple construction, and can effectively improve construction efficiency and quality.

**Keywords:** complex geology; high slope; rapid construction

### 1 工程概况

乌海抽水蓄能电站位于内蒙古自治区乌海市海境内,下水库库盆土石方明挖工程按高程分为两大部位,环库路以上6个高边坡(高度达90m)及环库路以下库盆内库坡(坡长91m)的开挖与支护,高边坡坡度为1:0.5,边坡采用挂网钢筋+锚杆+喷射混凝土、钢筋+锚杆+预应力锚索+喷射混凝土相结合的方式支护,库盆内库坡开挖高度达到44m,开挖坡度为1:1.75。

### 2 施工特点和技术难度

(1)本工程为抽水蓄能电站下水库,库盆内开挖规模大、强度高、开挖料分选难度大,库盆开挖需根据大坝及库底填筑工程进度统筹安排,以适应大坝及库底填筑的分期分区强度要求;

(2)环库路以上存在6处高边坡,最大边坡开挖高度达到91m。且每处高边坡的地质情况、边坡支护情况均不相同,为保证高边坡开挖支护施工进度及施工质量,需采取具有针对性的措施。

(3)高边坡开挖支护规模大、强度高。

### 3 工艺原理

高边坡石方开挖根据相应支护方式方法具体要求,采取“分级预裂、分序爆破、分层出渣(3m~4m一层)、分层支护”的高边坡快速开挖支护方法进行施工。在上层渣料(分层出渣高度不超过4m)挖运完成后,利用下层渣体作为施工平台进行锚杆、排水孔、钢筋网和喷混凝土施工。在上层(分层高度控制在3m~4m)边坡开挖支护完成后方可进行下层渣料挖运。具体如下;

(1)根据设计边坡位置和坡度,库岸边坡1:1.75坡度每层开挖高度控制在5m以内,1:0.5坡度每层开挖高度控制在10m以内。

(2)为使开挖面符合设计的开挖线,保持开挖后基岩的完整性和开挖面的平整度,采用预裂爆破技术。对于不适宜采用预裂爆破的部位,预留保护层。预裂爆破采用YQ-100B型潜孔钻机造孔。

(3)马道、平台、基础等部位保护层开挖采用一次

成型爆破法施工, YT-28 型手风钻造孔。

(4) 支护工程紧跟开挖面施工, 利用堆渣平台进行边坡支护施工。

## 4 工序流程及操作要点

### 4.1 施工工艺流程

(1) 石方明挖流程: 施工准备→地形测量及施工放线→爆破孔布设→钻孔→装药及联网→起爆→挖装出渣→边坡及基础清理→测量复核→开挖基础面验收。

(2) 边坡锚杆施工工艺流程: 分层爆破、开挖支护施工→挂安全网→岩面清理→钻孔孔位布置→钻具及风、水准备→钻孔→灌注水泥砂浆→安装锚杆(→安装锚杆→灌注水泥砂浆)→养护→锚杆检测、验收。

(3) 边坡锚索施工工艺流程: 施工准备→测量放样→开挖边坡松动块石及岩面清理→锚索钻孔(遇到风化岩、破碎段时, 先初喷一层混凝土封闭岩面, 然后再进行锚杆、锚索施工)→锚索制作→锚索安装→锚固注浆→锚索张拉→补张拉及锚索锁定→锚头封闭→锚索检测、验收。

(4) 边坡喷射混凝土施工流程: 边坡受喷面清理→钢筋网片制作→挂钢筋网片→喷射混凝土制备→混凝土喷射→养护→现场操作面清理→喷射混凝土验收。

### 4.2 操作要点

#### (1) 爆破试验

①开挖施工前, 根据勘察报告中工程区域岩性, 以及对各回填料强度、料粒径大小、筛分级配等要求, 结合明挖部位大小、地质条件进行爆破设计, 并进行爆破试验。根据地质勘察报告选择典型地质区域进行爆破试验。施工人员严格按照爆破设计进行钻孔、装药、联网、爆破。每次爆破后, 检查并分析爆破效果, 以合理优化钻爆参数, 提高爆破效果。

②每次爆破试验后, 均对试验成果及时整理, 包括: 爆破试验的平面图、岩性描述、布孔图、爆破参数的实测结果、起爆网络、爆堆描述、爆破监测成果、超径块石数量及颗粒级配分析等。

#### (2) 作业区域划分及开挖顺序

①预裂以 10m 台阶高度分层作业, 库内大体积石方和坝基开挖层高以具体情况确定, 以便于出渣为原则。层间开挖台阶预留 6.0m 安全平台, 设挡渣坎, 防止落石。

②每个作业区、每个开挖层根据开挖面积大小分成若干作业区块, 上层前端作业区块开挖完成后, 可进行下层作业区块开挖, 上下区块须错开 5.0~10.0m 距离, 便于上层后续作业区块施工安全和交通。以此类推, 两个作业区逐层、逐块流水作业。

#### (3) 边坡预裂及深孔梯段爆破

①边坡预裂: 边坡采用预裂爆破, 采用 YQ-100B 钻机按 10m 一层一次预裂到位。预裂孔采用 YQ-100B 型支架式钻机钻孔, 孔径  $D=90\text{mm}$ , 预裂孔间距  $0.8\text{m}\sim 1.0\text{m}$ 。钻孔

时采用罗盘钻机测斜仪调试好钻孔的倾角和方位角, 安排钻机设备就位, 按照现场放样的孔间距依次排开钻。钻机就位时, 应搭设样架, 并利用样架尺对钻机、钻孔角度和定位点进行校对, 在钻孔过程中经常性地检查钻孔倾角和方位角, 看钻头是否有偏位, 以便及时调整偏差。为防止钻孔过程中的钻头偏移和漂钻现象, 对钻机加装限位板。

②深孔梯段爆破: 采用 CM351 钻机钻孔, 孔径  $D=90\text{mm}$ , 孔斜  $85^\circ$ , 超钻 1.2m, 孔深  $L=11.2\text{m}$ , 孔距、排距根据爆破试验整理数据, 结合边坡岩质、填筑料设计要求设置, 并按梅花形布置。

③孔内数码电子雷管导爆、孔外微差(每段延时 25ms)分段、微差 V 形顺序起爆。

#### (4) 边坡锚杆施工

①先注浆后安装锚杆: 注浆前, 首先根据锚杆尺寸计算空余度, 确定注浆量, 并确定水泥砂浆的配合比。开始注浆时, 首先将锚杆插至孔底, 然后拔出  $50\text{mm}\sim 100\text{mm}$ 。注浆时, 注浆管随着浆液的注入缓慢匀速拔出, 以确保孔内填满浆体。注浆完成后, 应立即插入锚杆, 锚杆插入过程中应做到匀速缓慢, 确保锚杆安装后孔内填满砂浆。

②先安装锚杆后注浆: 先将锚杆和回浆管插入设计位置, 锚杆插入孔内的长度及外露长度严格按照图纸进行施工。孔口临时固定, 用止浆塞堵住孔口, 同时预埋注浆管。确定水泥砂浆配合比, 注浆时由注浆管向孔内注浆, 现场可根据注浆孔的大小选择合适的注浆压力, 对于较大的注浆空格可选择适当加压。当回浆管返浆时, 停止注浆, 并将孔口封闭。

③钻孔时根据岩石走向及倾角调整锚杆孔角度。锚杆的角度偏差应符合施工图纸的要求。施工图纸未作规定时, 其系统锚杆的孔轴方向应垂直于开挖面。局部加固锚杆的孔轴方向一般与可能滑动方向垂直设置。锚杆钻至规定深度后, 用高压风吹孔, 清除孔内碎屑、积水。

④所有工序施工完成后, 设置相应的措施做好成品保护, 浆体强度达到设计强度的 70%之前, 不得敲击、碰撞和牵拉锚杆。

#### (5) 边坡锚索施工

①锚索施工前, 应按照桩号、高程对边坡锚索进行编号。锚索制作时应进行编号, 按照相应的孔号进行锚索制作。

②预应力锚索钻孔的位置、方向、孔径及孔深, 应符合施工图纸的要求。钻孔孔位坐标误差不应大于  $100\text{mm}$ , 端头锚固孔的孔斜度不得大于孔深的 2%, 方位角允许偏差为  $3^\circ$ 。钻孔过程中根据钻进深度, 时刻检查钻孔的孔向, 过程中及时纠偏。

③钻孔完毕时, 应连续不断地用水和高压风彻底冲洗钻孔, 钻孔冲洗干净后才准许安装锚索。在安装锚索前, 将钻孔孔口堵塞保护。

④锚固段灌浆长度应符合施工图纸的要求, 阻塞器位

置应准确,在有压注浆时,不得产生滑移和串浆现象。灌浆可自下而上一次施灌,进浆必须连续。

⑤待锚固段的固结浆液、承压垫座混凝土等的承载强度达到施工图纸的规定时,进行张拉,按照顺序逐级张拉。张拉过程中,预紧时张拉稳定时间为2~5min,逐级张拉时每一级张拉稳定时间为5min,超张拉时张拉稳定时间为10min。每一级张拉稳定时间达到后,测量锚索的伸长量。

⑥封孔回填灌浆在补偿张拉工作结束后2天内进行,封孔回填灌浆前应由监理人检查确认锚索应力已达到稳定的设计值。封孔回填灌浆材料与锚固段灌浆相同。

#### (6) 边坡喷射混凝土

①喷射混凝土施工采用高压风水联合清洗岩面,喷射混凝土采用混凝土湿喷台车人工遥控机械手按照湿喷工艺分层喷护作业。根据不同部位的设计厚度,可一次喷射到位,也可采用分层喷射,后一次喷射在前一层终凝之后进行。

②正式进行喷射混凝土施工前,进行边坡喷射混凝土工艺性试验,研究喷射混凝土风压、喷射角度、喷头距受喷面的间距等施工参数对喷射混凝土回弹率的影响规律,并根据分析结果对喷射混凝土施工工艺进行优化调整,以降低施工过程中的喷射混凝土回弹率。

③钢筋网片与先前预埋在边坡内的钢筋牢固绑扎,网片搭接长度为20cm,并用铅丝将网片牢固连接,网片应沿开挖面进行铺设,同时要施工完成的锚杆牢固连接。在喷射混凝土时不得晃动钢筋网片。

④保持喷头处水压稳定并保持喷头处于良好的工作状态;喷头宜与受喷面垂直,喷射距离控制在0.6m~1.2m。

⑤喷射混凝土出现蜂窝、叠层、脱空、松弛、砂穴或其他相关缺陷,或者质量检查不合格,均应将原混凝土清除后重新喷射。

### 5 质量保证措施

(1)严格执行各项质量检验程序,通过全方位、全过程的质量安全控制,确保质量目标的实现。对生产过程进行有效的质量安全监控。检测工作按照“跟踪检测”“复检”“抽检”三个程序进行,坚持严格的质量评定和验收制度。

(2)边坡开挖后应做到边坡上无倒坡、无松动岩块、无小块悬挂体、无陡坎尖角、无爆破裂隙,开挖面应光滑、平直。

(3)当锚杆抽检单元检验不合格时,对该单元剩余锚杆应加倍扩检,扩检合格者可评定作业区锚杆合格,对于检测不合格的锚杆,必须按照1:2的比例就近补打处理;扩检不合格时,则判定作业区内锚杆不合格,该作业区锚杆全部返工处理。

(4)预应力锚索安装入孔前,每个锚索孔应进行钻孔规格的检测和清孔质量的检查,并进行每根锚索的制作

质量检查。锚固段灌浆前,抽样检验浆液试验成果,并对现场灌浆工艺进行逐项检查。预应力锚索张拉工作结束后,应对每根锚索的张拉应力和补偿张拉效果进行检查。

(5)边坡喷射混凝土原材料应进行质量检验,检验合格后方可使用。施工过程中应实测喷射混凝土的厚度,实测厚度不应小于设计厚度。喷射混凝土不应出现夹层、砂包、蜂窝等缺陷,无漏喷、脱空现象,无贯穿性的裂隙。在边坡结构面突变位置,应做到良好的结合。

### 6 安全措施

(1)施工人员进入现场需戴必要的安全防护用具。随时检查支架稳固性是否可靠,桥底通道设立明显的警示标志。

(2)在施工现场醒目位置摆设安全标示牌,非施工人员未经许可不得进入施工现场。施工人员统一佩戴工作卡,做到持证上岗。进入施工现场的人员一律遵守现场的各项规章制度。张拉现场设置明显的标志,张拉时与该工作无关的人员严禁入内。

(3)加强对开挖边坡的巡视检查,做好地面位移观测及地质预报工作。加密巡视检查的频次和范围,及时发现裂缝的产生并发出警报,及时撤离下部的施工设备和人员,就可避免造成损失。

(4)爆破安全警戒范围设为300m个路口及视线开阔处,根据爆区环境实施,以确保过往车辆和人员的安全。并且在安全警戒范围内设置相应的安全警戒标识及安全保障措施,工地周围拉好警戒带,并悬挂警示牌,防止无关人员进入。在醒目处设置告示牌,标明建设单位、施工单位、爆破员、安全员、起爆时间。根据施工部位布置的警戒点,起爆前在各警戒点对警戒范围内进行戒严,禁止任何人员进入爆区,每个警戒点根据其附近条件委派2-3人进行安全警戒。

### 7 环保措施

(1)施工、生活中的废水要经过沉淀池、废水处理池处理后,再排到排污管渠。

(2)机械废液用容器收集,不随意乱倒,防止对环境造成污染。

(3)废渣、垃圾、弃土要统一妥善处理,堆放到指定地点,严禁乱扔乱弃、污染环境。

(4)易飞扬的散状物料安排库内存放或准备足够的尼龙布等覆盖材料,覆盖散状物料,以免扬尘。

(5)所有施工机械做好检修工作,尤其是废气的排放检测,必须符合废气排放检测标准。不合标准的机械设备不得使用。

(6)采用性能良好、噪音小的机械设备,认真做好加油、保养工作,减少施工时机械发出的噪音。除必须连续作业的工序外,尽量减少在深夜施工,即使施工也采用噪音较小的动力设备。

(7) 施工现场悬挂施工标牌, 注明工程名称、工程负责人、文明施工负责人、施工许可证和投诉电话等内容, 接受监督。

## 8 结语

针对复杂地质条件下高边坡开挖时采用“分级预裂、梯段爆破、分层出渣(3m~4m 一层)、分层支护”的高边坡快速开挖支护方法进行爆破开挖。边坡预裂孔采用 CM351 钻孔直接一次性钻孔 20m, 主炮孔采用 CM351 钻孔, 主炮孔间排距根据料源用途分别设定; 在 1:1.75 库盆边坡开挖时预裂孔采用 100B 钻孔, 主炮孔采用 CM351 钻孔, 按 5m 一层梯段爆破开挖, 坡长 10m, 库盆边坡范围内垂直主爆孔及库底建基面开挖主爆孔采用柔性垫层爆破, 可预留 10~20cm 保护层; 边坡支护工程紧跟开挖面施工, 在上层渣料(分层出渣高度不超过 4m)挖运完成后, 利用下层渣体作为施工平台进行锚杆、排水孔、钢筋网和喷混凝土施工。对复杂地质条件下的高边坡快速开挖支护施

工方法进行研究及实践, 通过优化施工工序, 分区、分层平行施工, 提高施工效率, 加快工程施工进度。同时, 加强对施工过程中的监管力度, 提高工程施工质量。

## [参考文献]

- [1]唐致广,李凯,闫奇林,等.拉哇水电站右岸高陡边坡快速开挖支护施工技术[J].四川水力发电,2024,43(3):119-123.
  - [2]秦民生.高边坡快速开挖支护施工技术应用分析[J].河南科技,2021,40(20):65-68.
  - [3]王波,闫文博,文臣.高边坡快速开挖支护施工技术在金寨抽水蓄能电站的应用[C].北京:中国水利水电建设工程咨询北京有限公司,2019.
- 作者简介:赵党旗(1982.8—),毕业院校:华北水利水电大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:中国水利水电第十一工程局有限公司,职务:项目经理,职称级别:高级工程师,研究方向:水利水电工程及市政工程。