

陡峭薄壁山体开挖法及预裂爆破技术在坝肩开挖中的应用

宁安鹏

中国电建市政建设集团有限公司, 山东 德州 253011

[摘要] 文章结合笔者的工作实践, 阐述了陡峭薄壁山体开挖法及预裂爆破技术在拱坝坝肩工程开挖中的应用, 主要研究的角度就是薄壁山体如何运用技术手段安全开挖及保证预裂爆破基面的成型质量, 比较具体的分析与概述, 还希望能够起到参考的作用。

[关键词] 薄壁山体开挖法; 预裂爆破技术; 拱坝; 施工

DOI: 10.33142/aem.v1i6.1276

中图分类号: TV542

文献标识码: A

Application of Steep Thin-Walled Mountain Excavation Method and Presplitting Blasting Technology in Dam Abutment Excavation

NING Anpeng

STECOL Corporation, Dezhou, Shandong, 253011, China

Abstract: Based on the author's work practice, this paper expounds the application of the excavation method of steep thin-wall mountain and the presplitting blasting technology in the excavation of the arch dam abutment engineering. The main research angle is how to use the technical means to excavate the thin-wall mountain safely and ensure the forming quality of the presplitting blasting base surface. The specific analysis and overview also hope to play a reference role.

Keywords: mountain excavation method; presplitting blasting technology; arch dam; construction

1 工程概况

扬溪源水库地处皖南山区腹地的绩溪县扬溪源峡谷。扬溪源水的河源东北流向, 至板桥头纳双岭溪水折向东南, 入扬溪源峡谷, 峡谷两岸为低山地貌, 河道蜿蜒曲折, 水流湍急, 直泻扬溪镇。坝址附近河底高程 281m, 河床宽约 23m, 坝址左岸山顶高程 595m, 坝址右岸山顶高程 743m, 山坡坡度 40° 左右。

坝址处河道较为顺直, 河流流向在坝址处近南北向, 至下坝线下游约 150m 处逐渐转为近东西, 坝址区河床宽约 23m, 河谷宽高比为 2.45, 呈典型的“V”型, 坝顶高程处河谷宽约 140m, 坝址两岸山体厚实。

坝址左岸山体雄厚, 山坡坡角 41° , 下游无较深冲沟。坝基岩石大部分裸露, 强风化岩体分布浅薄。层面产状倾向山里且倾向上游。坝轴线部位河床段的宽度约 23m, 冲积层厚 0.5~1.0m, 部分为裸露基岩受冲刷严重, 岩石弱风化。河床中裂隙不发育, 无顺河向断层。

右岸山坡较平顺, 山坡坡角 40° , 坝头下游 40m 有一较深冲沟, 坝头与冲沟间的小山脊风化严重, 坝头处强风化深度 15.9m。

设计坝顶高程 334.8m, 坝顶以上左岸坝肩岸坡开挖至高程 372m, 右岸岸坡开挖高程 388m。左岸开挖坡比为 1:0.5, 1:0.75; 右岸开挖坡比 1:0.75, 1:1。坝顶以上每 10m 高设一道马道, 马道宽 1.5m。坝顶高程以下为大坝建基面开挖, 河床设计开挖底高程 279m。开挖横断面如下 1 所示:

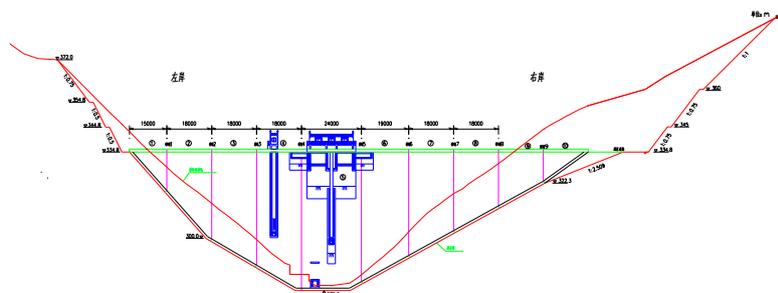


图 1 水库横断面示意图

坝顶以上岸坡,采用植被混凝土保护。喷射植被混凝土基材厚度 10cm,其中基层 9cm,表层 1cm 含植物种子。锚杆采用 $\Phi 16L3000$ 和 $\Phi 14L1000$ 锚杆,均 3.0m \times 3.0m 梅花形布置。

2 拱坝左右岸开挖的难度分析

从原始断面图及开挖断面图显示,左岸山体陡峭,机械无法登山作业;开挖深度较浅,属于薄壁山体开挖,机械钻孔爆破作业无工作面,常规机械开挖无作业平台,即使完成爆破作业后,大型挖掘机清渣坐位于较窄的松渣平台上,安全隐患极大,如何解决机械登山和薄壁山体的开挖问题,保证作业安全值得探讨;右岸山体也较为陡峭,开挖深度较深,属于厚壁山体开挖,分层钻孔爆破后,机械均在 10 米以上宽度的平台上作业,但机械登山问题也值得探究。

另外左右两岸分层开挖后,高程逐渐降低,尤其坝肩槽的开挖后会形成侧坡,根据地质描述情况,开挖后的侧坡地质条件复杂,裂隙较多,经爆破震动后可能会有浮渣、孤石坠落,给施工作业人员带来安全威胁,甚至有可能出现滑坡现象,如何保证分层下挖人员和机械的作业安全也有待研究。

3 拱坝两岸开挖的模拟研究

3.1 右岸开挖研究

开挖前,通过航拍技术结合卫星地形图显示,右岸开挖范围以上 2 公里处有一个村落,村里自行修筑了 S 型上山道路,道路宽约 5 米,该道路离开挖范围较近,借助该道路修筑支线至开挖范围进行清表和开挖作业,根据地勘资料显示,表层山体属于强风化层,大型挖掘机可以直接开挖清渣,开挖至弱风化层后可以形成约 10 米宽的作业平台,机械钻孔、挖掘机开挖均可以安全作业,坝顶高程以上按 5 米一层分层爆破开挖,边坡处采用预裂爆破法或者预留保护层采用机械破碎法开挖,每开挖一层及时按照设计图纸对形成坡面进行锚杆、挂网和喷植混凝土作业,确保无松渣和浮石坠落,保证作业面上的人员、机械安全。坝肩开挖基面要求误差较小,为与侧坡整体开槽开挖,加快施工进度,坝顶高程以下拱坝肩基面与侧坡均采用预裂爆破法,坝肩槽内采用中深孔爆破法分层开挖,松渣清理过程中形成的侧坡及时进行锚喷支护,确保侧坡无坠石,为了进一步加强侧坡安全,防范地质灾害,对形成的高陡边坡安装 GNSS 基准站进行自动变形监测的预警装置,该装置可以及时、准确获取变形数据,为开挖和坝体施工提供了双层安全保障。



图 2 GNSS 基准站

3.2 左岸开挖研究

左岸开挖山体单薄,根据地勘资料揭露的地质情况,354.8m 高程以上开挖必须采用爆破开挖或者机械破碎开挖的方式,但均无作业平台,根据航拍技术、卫星图及通过 BIM 技术模拟研究,新修筑 S 型道路至开挖高程最顶端 372m 处可以实现机械钻孔和机械破碎作业;分层爆破开挖掌握在挖掘机可以够及的范围,本项目采用的方案是 4 米一层潜孔爆破,为确保机械座位安全,薄壁松渣山体开挖借助 S 型便道修筑支线至未经扰动的爆破层下方,边甩渣边形成作业平台。薄壁山体开挖完成后,左岸下部的开挖均与右岸开挖采用的方案一致。



图 3 开挖完成后及时喷植混凝土防护 图 4 采用 BIM 技术设计的左岸 S 形上山便道 图 5 左岸成型的 S 形道路及支线

4 预裂爆破简述

预裂爆破沿设计开挖线钻成一排预裂爆破孔,在主爆破区未起爆之前,先进行预裂爆破,形成一条沿设计线贯穿

的裂缝。预裂爆破出的裂缝能很大程度的衰减主爆破区的爆破冲击波。达到防止对需要保护的岩石面或者建筑物破坏的目的。预裂爆破采用不耦合装药结构，其特征是药包与孔壁之间环状空气间隔层，该间隔层有效消减了作用在孔壁上的爆破压力峰值。因岩石抗压强度远远大于抗拉强度，因此可以控制消减后的爆破压力不致使孔壁产生明显的压缩破坏，但剪切面的拉应力又能使孔壁周围产生裂缝。孔与孔之间又有聚能作用，使孔间连线应力集中，孔壁连线的裂缝得以进一步扩大，最终贯穿成预裂面。

5 预裂爆破参数

首先应根据地质报告和钻孔判断岩石坚硬程度和发育程度。根据扬溪源水库勘测设计方提供得地质报告得知，坝址区出露得基岩主要为青白口系地层（查地质年代表得距今 800-1000 兆年，沉积深厚造山变质强烈），岩性为浅变质碎屑岩，上部青灰色中厚层长石岩碎屑岩，薄层细砂岩粉砂岩夹黑色泥砾岩，中部为深灰色薄层板岩，下部为浅灰色砂岩及板岩，底部夹多套砾石层。

在大坝右岸建基面及边坡第一次预裂爆破钻孔时，所遇岩石为节理十分发育的粉砂岩，较软，钻孔时钻杆易偏移，需要制作固定架并多次调整，钻孔冲气喷出物基本都是粉末状且可溶于水，地质情况低于预期，经研究讨论为保证预裂爆破效果，尝试在第一次预裂爆破前对预定参数进行了调整，钻孔直径 D 不变为 90mm，孔距 a 由 100cm 调整为 80cm（ a 一般等于 $7-12D$ ），由于本工程只能使用到 32mm150g 的预裂爆破用药卷，所以不耦合系数 E 并不能有效调整，但为了避免爆破破坏延长了药卷的不连续线性装药间距，由 50cm 间距调整为 60cm，堵塞长度 $L=1m$ 不变。起爆开挖后，发现预裂爆破面最上面 1-1.5 米未爆破到位，最下面 3-4 米预裂爆破效果较差，未形成整体的预裂面，中间部位效果较好，分析原因如下：（1）上部未爆破到位可能是 L 长度太短且封堵不严密；（2）下部爆破效果差是因为预裂孔长度过长，控制开挖高度为 12.5m（以马道高程控制），但建基面坡度达到 1: 2.5，即预裂孔长度达到 33m。综上，经研究讨论将开挖控制高度由马道高程控制变为预裂孔长度不大于 20m 控制。在大坝右岸以后的预裂爆破中合理根据地质情况和钻孔情况及时调整参数，得到了较好的预裂爆破效果，实际开挖出的建基面、坡面和地质报告基本相符（如图 6）。



图 6 实际开挖建基面、坡面及地质图

在大坝左岸预裂爆破过程中却遇到了地质实际情况和地质报告大不相同的情况。根据勘测设计单位提供的地质报告，坝址左岸山地雄厚，强风化岩体分布浅薄，坝基未揭露较大断层，破碎带或夹泥带，坡脚部位裂隙只在浅部发育，缓倾角裂隙不发育或局部可见，且规模较小等。可实际开挖过程中却发现边坡及建基面均有夹泥层，且在第一级马道上部有斜向上游断层，整体岩石较破碎，节理十分发育，上下游边坡呈明显层状结构，在第二级马道钻孔时发现孔内渗水，这些不利条件均给预裂爆破造成很大影响。在左岸预裂爆破过程中经过不断调整却始终达不到大坝右岸的预裂效果，而且越往下开挖地质情况越差，最后 2 层不得已放弃预裂爆破施工采用机械开挖出建基面和坡面。

（1）钻孔直径 D 一般在 80-110mm，再根据药卷的直径、岩石的硬度、钻孔设备确定最后的取值。一般可为药卷直径的 2-3 倍，孔径过大、过小，均会影响预裂爆破效果，本工程预裂孔均采用 90mm 孔径。

（2）孔距 a 与地质情况、岩石抗压强度、炸药性质、装药情况和孔径大小有关。钻孔间距 a 和钻孔直径 D 的关系可用 $a=nD$ 表示。 n 值的大小决定了钻孔的数量， n 值过大不能保证预裂面的形成， n 值过小，将增加钻孔数量，不经济，影响进度。一般 n 取 7-12 为宜，本工程爆破质量要求高，并且岩石较软，节理发育 n 取较小值。本工程右岸上部及左岸 n 取 8，右岸下部 n 取 9 时爆破效果良好且经济。

（3）预裂爆破宜采用专用炸药，在无专用炸药的情况下也可以采用普通乳化炸药不连续装药，随着岩石硬度不同其极限抗压强度也不同，预裂爆破的线性装药密度一般为 200-500g/m，考虑孔底的夹带作用，底部 50cm 范围装药量应增加 2-5 倍。本工程右岸上部及左岸装药密度为 300g/m，右岸下游装药密度为 350g/m。

（4）不耦合系数 E 根据钻孔直径 D 的大小选择药卷直径。不过本工程只采用了 32mm 药卷，即不耦合系数 $E=D/d=3.0$ 。

（5）堵塞长度 L 一般为 $(1-1.2)a$ 。实践证明，孔口堵塞长度和密闭性对预裂面的效果有一定影响。堵塞长度太短或不严密，爆破时就容易产生冲天炮，不易形成预裂缝或缝宽不足，而且存在安全隐患，堵塞长度过大，则会产生残留炮孔。本工程在不断调整后确定 $L=1.2m$ ，直至爆破结束。

6 控制要点

(1) 岩石体中存在破碎带和节理发育情况很正常,当裂隙走向和预裂孔方向基本一致或角度不大时,应在裂隙两侧均布预裂孔,当裂隙走向和预裂孔方向角度过大接近 45° 时,应在裂隙两侧适当加密预裂孔,防止爆破后在裂隙处产生过大的拉应力从而造成爆破破坏。

(2) 预裂孔钻孔是影响整个预裂爆破的关键,主要因素有地质因素,人为因素,设备因素。地质因素主观无法控制,但是可以根据调整爆破参数将地质因素的影响降到最低;人的因素是核心,这里包括定位放线的粗差,钻孔操作人员的熟练程度、责任心等都将影响最终的爆破效果,所以选择合适的人员进行上岗操作尤为重要;钻孔设备要选择先进环保的设备进行钻孔,不应因设备原因影响爆破效果或影响工期。

(3) 预裂孔的爆破必须同时起爆,应采用导爆索起爆,轴向装药用导爆索串联各药卷,孔与孔之间采用分段并联法。

7 结语

综上所述,本文通过 BIM 技术结合地形图采用修筑 S 形便道和支线薄层开挖的方案解决了薄壁山体安全开挖,希望对类似工程提供一定的参考。预裂爆破在边坡工程施工中的应用,有利于减少对工程周边环境以及边坡岩的破坏。在本文研究中得出,影响建基面预裂爆破质量的因素是多种多样的,因此根据地质情况和现场条件适当的调整技术参数,是可以获得较好的爆破效果的。同时在施工中,我们需要加强施工中质量控制措施,以确保工程施工质量。

[参考文献]

- [1] 魏道国. 预裂爆破技术在龙潭水电站拱坝坝基开挖中的应用[J]. 江西水利科技, 1994(4): 297-302.
[2] 张太波. 木瓜溪水库双曲拱坝坝肩开挖方法[J]. 水利建设与管理, 2019(02): 36-38.

作者简介: 宁安鹏 (1982-), 男, 工程师, 中国电建市政建设集团山东工程有限公司项目经理。