

大坝建基面保护层开挖工艺研究

穆晓东 张盼 朱鹏蓉

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司, 陕西 西安 710000

[摘要] 某水利枢纽工程大坝基坑基础平面呈扇形布置, 上弧长 102.33m, 下弧长 57.16m, 设计保护层厚度 5m, 边线长度 65m, 基坑平面面积 5156.5m², 保护层开挖工程量为 25782.5m³。由于开挖工期紧任务重, 加之地质条件不利于开挖质量控制, 对此, 为保证施工进度及开挖质量, 文中重点叙述了大坝建基面保护层开挖以先锋槽进行掏槽施工后进行水平预裂爆破的施工方式进行, 总结分享相关应用效果及经验。

[关键词] 建基面; 保护层; 开挖工艺; 研究

DOI: 10.33142/hst.v8i3.15826

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on excavation technology of protective layer for dam foundation surface

MU Xiaodong, ZHANG Pan, ZHU Pengrong

Sinohydro Construction Engineering Consulting Northwest Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: The foundation plan of a dam foundation pit in a certain water conservancy hub project is arranged in a fan-shaped pattern, with an upper arc length of 102.33m and a lower arc length of 57.16m. The designed protective layer thickness is 5m, the edge length is 65m, the foundation pit plan area is 5156.5m², and the excavation volume of the protective layer is 25,782.5m³. Due to the tight excavation schedule and heavy workload, coupled with unfavorable geological conditions for excavation quality control, in order to ensure construction progress and excavation quality, this article focuses on the construction method of excavating the protective layer of the dam foundation surface using a pioneer groove for excavation construction followed by horizontal pre splitting blasting, and summarizes and shares relevant application effects and experiences.

Keywords: foundation surface; protective layer; excavation technology; research

1 工程概况

DB 基坑开挖由基坑上游边坡开挖、基坑槽底开挖及基坑下游边坡开挖三部分组成。DB 基坑上游边坡开挖从 EL. 800~EL. 750.00m 一个台阶, 开挖坡比 1:0.3~1:0.6, 马道宽度 0~2m, 分 EL. 790、EL. 780、EL. 770、EL. 760、4 个台阶开挖, 左右边坡对称分部; 集水坑布置在 DB 槽底上游 10m 位置, 集水坑长 17m、宽 12m, 集水坑底板高程 EL. 745, 集水坑顶部高程 EL. 750。

DB 基坑槽底基础呈扇形分部, 槽底水平投影长 272.22m, 槽底宽度 65m, 从 EL. 800~EL. 752.00, 高差 48m, 分 5 个台阶, 每 10m 一个台阶, 分别为: EL. 790、EL. 780、EL. 770、EL. 760、EL. 750、左右侧对称分部, 开挖比 1:0.6~1:0.8。

DB 基坑下游边坡开挖从 EL. 800~EL. 770, 10m 一个台阶, 开挖坡比 1:0.3~1:0.45, 马道宽度 0~2m, 分 EL. 799、EL. 789.50、EL. 780、EL. 770、4 个台阶开挖, 左右边坡对称分部。

2 工程地质

坝基区出露主要为震旦-寒武系, 岩性以黑云母石英片岩为主, 岩质坚硬, 抗风化力较强。岩石以灰色、深灰色为主, 经取样检测, 大坝区震旦-寒武系喀纳斯群二段岩石矿物组成以石英(含量约在 45%~85%)及云母(含

量约在 15%~40%)为主, 其单轴饱和抗压强度平均为 85MPa 左右, 属坚硬岩。

3 工期分析

3.1 先锋槽掏槽施工分析

展开基坑平面图, 共设置三道先锋槽, EL. 753 开挖至 EL. 749.7(含 30cm 技术超挖), 掏槽两侧坡比 1:0.3, 开挖深度 3.3m。主爆孔孔距 1.0m, 排距 2m, 典型段面共计造孔 34.26m。

(1) 爆破进尺: $(103.8+80.7+49.3m) \div 2m \times 34.26m=4005.0m$ 。

(2) CM351 钻机每台班(8 小时)进尺 100m, 每日 2 班, 共配备 3 台, 每日进尺 $100 \times 2 \times 3=600m$, 则掏槽造孔需 $4005 \div 600=6.675d$ 取 7d。

3.2 出渣强度分析

掏槽施工共需出渣 $(103.8+80.7+49.3m) \times 34.45m^2=8054.41m^3$, 1 台 2.2m³ 液压反铲每台班(8 小时)挖装石渣 1100m³, 配置 4 台挖机, 则每日可装渣 8800m³, 则出渣需 1d。

3.3 水平预裂孔施工分析

展开基坑平面图, EL. 750.00 上游坡面掏槽长度 103.8m、中部掏槽长度 80.7m, 下游掏槽长度 49.3m, 预裂孔间距 0.8m, 孔长 12.5m, $(103.8+77.3+80.7+49.3)$

$\div 0.8=389$ 个; 预裂总进尺: $12.5 \times 389=4861\text{m}$; QZJ-100B 钻孔水平预裂每台班(8 小时)进尺 20m, 每日 2 班, 共配备 10 台, 每日进尺 $20 \times 2 \times 10=400\text{m}$; 按效率推算, 则预裂造孔需 $4861 \div 400=12.15\text{d}$ 取 13d, 考虑水平预裂钻孔搭设样架时间取 3d。

3.4 辅助孔施工工期分析

展开基坑平面图, 基坑平面面积为 5156.5m^2 。爆破孔间排距按 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 布置, 平均孔深 3.1m, 总进尺为: $5156.2 \div (3\text{m} \times 3\text{m}) \times 4.1=2348.9\text{m}$; CM351 钻机辅助孔每台班(8 小时)进尺 120m, 每日 2 班, 共配备 4 台, 每日进尺 $120 \times 2 \times 4=960\text{m}$; 按效率推算, 则辅助孔造孔需 $2348.9 \div 960=2.53\text{d}$, 取 3d。

3.5 出渣强度分析

总开挖方量为 $25782.5-8054.41=17728.1\text{m}^3$ 。1 台 2.2m^3 液压反铲每台班(8 小时)挖装石渣 1100m^3 , 配置 6 台挖机, 则每日可装渣 13200m^3 , 则出渣需 1.341d 取 2d。综上, 采用水平光爆开挖方式, 共计需 $7\text{d}+1\text{d}+13\text{d}+3\text{d}+3\text{d}+2\text{d}=29\text{d}$ 完成。

4 基坑开挖主要施工程序

4.1 土石方开挖施工总体程序

(1) 土石方开挖应分层开挖, 根据设计图纸, EL. 800.0 以下每级马道高差 10m, 土石方分层按 5m~8m 分层。

(2) 土石方平台开挖范围较大时, 应按前、后沿分别开挖, 前沿开挖可以超后沿 2 级边坡的高度, 将石渣翻至基坑, 减少平台开挖的压力。

(3) 施工程序: 测量放线→分层开挖→边坡预裂→开挖爆破→反铲装车→1#渣场→边坡浅层支护及深层支护, 未完成部分在脚手架上施工。

4.2 边坡支护施工总体程序

(1) 边坡浅层支护: 施工程序: 测量放线→排架搭设→钻孔→锚杆安装→注浆→钻排水孔→安装 PVC 排水管→挂网→喷护→检查验收。

(2) 边坡深层支护: 边坡深层支护是指锚索及预应力锚杆施工, 因工期较紧, 支护工程量大, 只能搭设承重脚手架, 在排架上用锚索钻机及 100B 钻机钻孔, 其中编索、穿索及张拉都在排架上进行施工。张拉锚杆长度 9m~12m, 用 100B 钻机钻孔, 在脚手架上进行注浆、张拉。

(3) 施工程序: 测量放线→排架搭设→锚索定位→钻孔→编索→穿索→张拉→锚墩施工→检查验收。

4.3 主要施工方法

4.3.1 爆破施工主要方法

(1) 先行开展生产性爆破试验, 优化确定钻孔及爆破参数, 生产性爆破试验主要对钻孔、起爆网络、单孔耗药量等钻孔及爆破参数进行优化明确, 以确保可以获得最佳钻爆验证参数, 最大程度提高爆破效果, 保证开挖质量。

(2) 对紧邻大坝建基面上的梯段台阶爆破、缓冲爆

破以及受限制的掏槽爆破开挖采用爆破孔间微差起爆网络, 以便控制最大段长单响药量, 减弱爆破时的震动影响。

(3) 大坝两侧岩石边坡和大坝建基面采用预裂爆破方式开挖, 基础缺陷置换区采用预留保护层方案施工。

4.4 基坑开挖与支护衔接措施

基坑采用边开挖边支护跟进措施, 锚杆钻孔采用成孔效率较高的液压钻机, 对锚杆注浆、喷混凝土采用可快速拆装的组架排架作为工作平台, 同时为配合快速支护施工, 台阶高度一般为 10m, 一次爆破, 搭设可快速拆装的组架排架, 快速进行浅层支护, 第二层出渣结束后开始下层浅层支护, 依此循环。锚索、排水孔等工序施工滞后一般不大于两个台阶。

4.4.1 爆破方法

本工程明挖爆破采用数码电雷管进行爆破施工。选用的爆破材料有二级岩石乳化炸药和导爆索。钻机采用 100B 快速钻进行槽底预裂钻孔及马道光面爆破, 履带液压钻机进行基坑上游及下游预裂、爆破孔施工, D9 液压钻进行锚杆施工, YT-28 手风钻进行排水孔施工。YT-28 手风钻进行解炮、保护层、地质缺陷部位的施工。

(1) 梯段爆破

岸坡梯段高度按照 10m~15m 进行控制, 钻孔以金科高压冲击钻机造孔, 靠近预裂面采用两排爆破孔, 爆破孔孔径、装药量以及起爆网络参数参照缓冲爆破孔相关参数控制。

为了提高爆破效率, 一般爆破采用大孔距、小抵抗线的布孔方式, 连续装药结构和孔间微差, 保证爆破后的渣料粒径大小均匀, 便于挖取和运输。爆破孔在成孔过程中, 技术人员及监理人员必须对成孔质量及网络参数进行验收检查, 若发现成孔质量不合格或网络参数不满足爆破设计要求, 需立即返工, 并满足设计要求为止。

梯段主爆破孔采用常规粉状乳化炸药装药, 爆破缓冲孔采用条形乳化炸药连续装药。基岩爆破单耗药量根据实验成果按 $0.35 \sim 0.45\text{kg}/\text{m}^3$ 设计实施。梯段爆破采用数码电雷管起爆, 梯段爆破最大起爆药量通过生产性试验确定, 取得爆破试验成果前, 距大坝建基面 40m 以外单响药量控制在 200kg 以内, 30~15m 范围控制在 100kg 以内, 15m 范围内控制在 50kg 以内。

(2) 预裂爆破

①预裂爆破布孔形式

预裂爆破, 是沿设计边坡轮廓布设一排预裂钻孔, 用不耦合装药结构, 在开挖区爆破孔未起爆前, 首先起爆, 沿边坡轮廓一排炮孔中心连线的岩体, 被爆能切割成缝。

预裂钻孔分部位进行钻孔的设计, 减少爆破对坡面、马道和建基面的破坏。

②缓冲孔

梯段爆破缓冲孔主要是为了减少主爆破孔爆破对后侧边坡的震动影响, 在梯段爆破主爆孔与边坡开挖爆破孔

之间增加 1 至 2 排缓冲爆破孔,其爆破规模比主爆孔爆破规模要小一些。

缓冲爆破参数结合试验确定为:梯段高度 $>5\text{m}$ 的爆破,设计 2 排缓冲爆破孔,孔径确定为 $\phi 80\text{mm}$ 、孔距确定为 $1.5\sim 2.0\text{m}$ 、排距确定为 $1.5\sim 2.0\text{m}$,其他爆破孔均与梯段爆破设计参数一致。爆破参数在实施过程中,也会根据地质情况和爆破成果及时进行优化调整修。

(3) 槽挖爆破

坝基先锋槽开挖爆破主要为大坝断层置换槽挖和地质缺陷、基础处理等部位。断层槽挖高度约 8m ,宽度大于 8m 。其他槽挖宽度一般小于 4m 。

坝基先锋槽开挖采用小直径炮孔进行分层爆破开挖,遵循先中间后两边的“V”型爆破开挖工艺,在形成爆破临空面后,再向岸坡两侧扩挖爆破,坝基周边爆破必须采用光面爆破或预裂爆破工艺。

宽度小于 4m 的槽挖爆破孔和预裂孔(光爆孔)均采用手持式风钻造孔,孔径 42mm ,预裂孔一次钻孔至设计深度,周边光爆孔或预裂爆破孔间距 $0.4\text{m}\sim 0.5\text{m}$,爆破孔采用分层爆破、炮孔深度不大于 1.5m ,临近设计面采用小药量台阶多次爆破的施工方法。坝基先锋槽两侧的预裂爆破必须先后起爆;若要求先锋槽两侧的预裂爆破同时起爆,一侧的预裂爆破也必须需延时滞后 100ms 。有条件的部位,先施工周边预裂孔,然后再在一个部位采用浅孔小药量台阶爆破方法找出槽挖的底面开挖线,然后采用水平光爆的施工方法进行爆破施工。宽度小于 4m 的沟槽爆破最大一段起爆药量不得大于 50kg 。

宽度大于 4m 的槽挖爆破有作业平台的部位采用阿特拉斯 D9 液压钻机钻预裂和爆破孔,无作业平台的部位采用手风钻和快速钻钻孔。爆破台阶高度分为 $2\sim 4\text{m}$ 一层。其余技术要求同宽度小于 4m 的槽挖爆破。

(4) 基坑建基面爆破

基础建基面开挖主要是边坡马道及建筑物基础建基面保护层的开挖。马道及 750m 建基面、 755m 高程以下采用预留厚 5.0m 厚的岩石基础保护层,进行水平预裂爆破或光面爆破。

4.5 钻孔质量控制措施

QZJ-100B 钻机的工作原理是利用风压带动冲击器对岩石进行冲压打磨而成孔。因此遇上较为破碎的岩石时容易将钻头引向岩质较弱的一边导致漂钻。对此需要对操作手进行培训加以处理,有经验的操作手能够根据钻机工作的声音变化加以判别,然后采取退钻、进钻反复操作避免漂钻。为了避免漂钻现象要合理地选择开挖的台阶高度;为了得到精准的预裂孔,在找孔过程中还要随时进行检查纠正。

(1) 方向角控制

爆破孔成孔主要采用 100B 轻型辅助支架钻机成孔,根据测量放样参数布设支撑样架,在角度参数调整就位后对辅助支架进行固定。其后标识具体孔位,在将导轨风动

钻机安装固定在辅助支撑架上。开孔时缓慢匀速加压,并对基岩面不平整部位,提前用凿除设备清理出孔口。当成孔钻进 $5\sim 20\text{cm}$ 时,必须进行一次钻机倾角和方位角的效验调整,发现偏差及时纠正。钻进中需要随时检查纠偏钻机方位角及倾角,直至终孔深度。终孔后由监理和质检对孔位、孔深和方位角度等参数,采用水平尺、角度尺、线锤等工具进行验收,合格后用合适的堵塞物封堵保护孔口。对于不合格的钻孔,回填处理后重新开孔补钻。

基坑预裂孔主要采用 QZJ-100B 潜孔钻造孔。由于 QZJ-100B 钻机本身结构尺寸决定了需要一定空间满足架钻要求,990m 以下每 15m 高度(一级设计槽坡高度)在槽坡下部超挖 30cm 形成施工平台。

(2) 样架控制

在造孔施工前,由施工测量人员和监理测量工程师联合按爆破设计孔位参数放样预裂孔位,并用醒目标识进行现场标记,现场技术员对钻孔施工人员交底钻孔作业指导书(主要包括开孔的位置、角度、深度、数量),钻孔施工人员根据作业指导书所示参数将钻机进行调整固定,钻机导轨和样架必须采用活动连接件进行固定成整体,以便参数修正,钻机就位后用数字或机械量角器检查钻孔倾角和方位角,钻孔过程重点对钻进至 20cm 左右的孔段及时调校钻孔偏差,确保钻孔质量符合设计要求。

(3) 钻孔偏差控制

在现场施工中,预裂孔成孔是最容易发生钻孔偏差的。影响钻孔质量的因素较为复杂,在现场实施中导致偏差的主要因素有:①开孔时由于操作不当和钻机工况的影响,容易导致钻孔偏差;②岩体裂隙较为发育、岩质松散的部位易发生偏差;③钻机本身性能的限制和固定不牢固,造孔过深容易导致偏差,QZJ-100B 钻机一般在 15m 以内的造孔过程表现良好。

从钻机的构造我们可以看出钻机的冲击器距限位装置较远,在开口的时候对钻孔的角度控制不利。对此在钻机的底端增加导向管扶正器辅助成孔。导向管起着限位的作用,能够有效的控制开孔及钻进时的角度。由于导向管处于机身的下端需预备两种型号的,便于限制钻头和钻杆,这样就能在开钻和造孔整个过程中发挥其作用。

5 保护层具体开挖方案

5.1 水平光爆施工方案

结合现场情况,拟定三条槽挖,掏槽位置:上游集水坑与大坝建基面交界处、大坝建基面中部以及大坝建基面下游与水垫塘交界处,掏槽宽度 5m 。大坝基坑建基面保护层掏槽施工完成后,分别向上下游掘进,设计结构面均采用水平光面爆破技术施工。

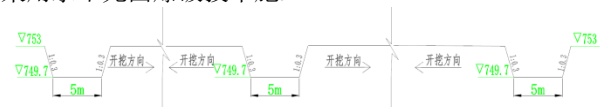


图1 水平预裂方向示意图

表 1 柔性垫层开挖爆破钻孔参数表

类别	钻爆参数	钻孔机械	孔径 (mm)	孔距 (m)	排距 (m)	药卷直径 (mm)	孔底垫层 (cm)	炸药单耗 (kg/m³)
垂直光爆孔		CM351 钻机	Φ90	1.0	2.0	Φ80	≥100	0.25~0.3

表 2 水平建基面预裂爆破钻孔参数表

类别	钻爆参数	钻孔机械	孔径 (mm)	孔距 (m)	排距 (m)	药卷直径 (mm)	线装药密度或单耗 (g/m) 或 (kg/m³)
水平预裂孔		QZJ-100B	Φ90	0.6~0.8	/	Φ32	ρ=349
辅助孔		CM351	Φ90	2.0	2.0	3×Φ32	q=2.7

5.1.1 爆破设计

(1) 先锋槽掏槽开挖

掏槽开挖爆破采用金科 CM351 液压钻机造孔，每循环推进进尺 5m。孔底不小于 100cm 的柔性垫层，初定掏槽开挖钻爆参数见下表 1。

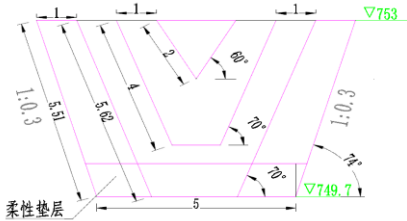


图 2 先锋槽掏槽剖面图

(2) 建基面水平光爆

建基面水平预裂孔采用 QZJ-100B 钻机造孔，辅助爆破孔采用 CM351 钻机造孔，孔底距建基面高度不小于 1.2m。水平建基面预裂爆破每循环推进进尺 12.5m。初定水平建基面预裂钻爆参数见下表 2。

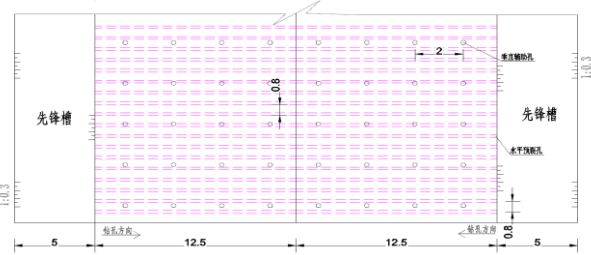


表 3 孔位布置示意图

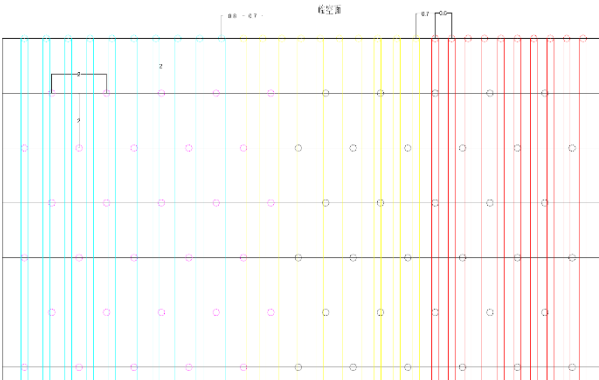


表 4 预裂钻孔布置图



表 5 装药示意图

5.2 保护层开挖质量控制措施

(1) 在进行坝肩槽建基面预裂孔钻孔时，根据已制定的质量管理制度和作业指导书，实施钻孔“定人、定机、定孔”三定制度；钻机操作手及质检人员对钻孔过程严格检查控制。

(2) 开口时使用弱冲击慢钻进的方法，钻进深度达到 20cm、50cm、100cm 时，分别校验一次，合格后方可正常钻进。

(3) 钻孔工序衔接：钻孔操作手对每个预裂孔孔内返渣（吹出的岩粉）情况进行记录，如实反映钻孔穿过地质情况，以便据此进行爆破参数优化调整。

(4) 在进行预裂孔底部装药量、孔口部分装药量及孔口堵塞段长度均按照爆破设计严格控制。用 Φ32mm 乳化炸药按给定的线装药密度均匀地绑扎在宽约 3cm 的竹片上，导爆索紧挨炸药与竹片绑在一起。堵塞段以编织袋和沙土为堵塞材料。

6 实施效果及总结

6.1 预裂面爆破效果

预裂爆破后，爆破面缝宽为 1~2cm，开挖轮廓面上，残孔痕迹应均匀分布，预裂孔壁不应有明显的爆破裂隙，预裂面平整度严格控制在设计技术要求的 10~15cm 内。

残孔痕迹保存率控制：节理裂隙不发育的岩体必须达到 95% 以上；节理裂隙较发育的岩体达到 75% 以上；节理裂隙极发育的岩体达到 58% 以上。

6.2 质点振动速度监测成果。

表 3 安全质点振动速度表

单位：cm/s

项目	部位	备注
建基面	建基面（保护层前缘开挖）	8 距离此梯段 10m 处
	建基面（保护层开挖）	5 距离此梯段 10m 处
边坡	基坑上、下游边坡	15 距离此梯段 10m 处

6.3 爆破工艺总结

(1) 梯段爆破施工前, 必须针对性地开展现场爆破生产性试验, 直至获取最优爆破参数, 保证爆破质量。爆破孔钻孔孔径: 本工程结合地质情况总结出梯段爆破不大于 150mm, 紧邻保护层上部的梯段爆破、预裂爆破、光面爆破不大于 90mm, 保护层爆破不大于 50mm。钻孔孔位、间距、排距、角度等造孔参数必须符合爆破设计要求。钻孔偏差不大于 1° 、孔位偏差不大于 10cm。钻孔孔深: 梯段爆破钻孔不穿入预留的建基面内。无论采用何种保护层开挖爆破方式, 钻孔均不得穿入建基面。

(2) 开挖轮廓线上爆破后残留的炮孔应均匀分布。残孔率, 对于微新岩体应大于 95%; 对于弱风化岩体应达到 80%以上; 对于强风化岩体应达到 50%以上。相邻三个残留孔间的不平整度不大于 15cm, 对于不允许欠挖的结构部位应满足结构尺寸的具体要求, 残孔壁面不应有明显爆破裂隙, 除明显地质缺外, 不产生裂隙张开、错动及层面抬动问题; 对于台阶状开挖部位, 预裂孔应钻至台阶面上方 50cm 处; 预裂范围应超出相应梯段爆破区以外, 当不能一次预裂到设计开挖底边线时, 预裂炮孔应比梯段炮孔

超深一定孔深, 超深值不小于 30 倍梯段炮孔的药卷直径。

7 结语

大坝基坑保护层开挖是水利枢纽工程建设的关键环节, 其技术进步与实践经验的积累对保障工程安全、提升施工质量具有重要意义, 文章围绕大坝基坑保护层开挖工艺展开研究, 通过理论分析、数值模拟和现场试验等手段, 对保护层开挖过程中的关键技术问题进行了深入探究, 对保障工程安全 and 质量具有重要意义, 相信随着研究的不断深入和技术的不断进步, 大坝基坑保护层开挖技术将不断突破, 并得到进一步发展, 为未来水利枢纽工程大坝的安全建设和运行提供更加有力的支撑。

【参考文献】

- [1] 蒋伯杰, 邹奕芒. 基础开挖爆破损伤的度量与控制[J]. 爆破, 2004, 31(3): 56-57.
 - [2] 孙晗. 刍议水利水电工程混凝土施工技术[J]. 科技风, 2020(8): 146.
- 作者简介: 穆晓东 (1998.2—), 工作单位, 中国水利水电建设工程咨询西北有限公司; 职务总监理工程师。