

水库除险加固工程之干砌细条石施工工艺研究

常 臻

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川 成都 610066)

**摘 要:**传统条石砌筑施工多依据班组配置情况进行现场分区,其存在较大的随意性,容易形成较多的边角区域且须待条石大面积砌筑完成后根据实际缺口尺寸进行现场的切割与加工,从而导致施工工序衔接不紧密。若从事施工的班组人员经验不足、控制不严易出现错缝将导致工程大面积返工,且其整体美观度亦很难得到保障。阐述了对陈蔡水库大坝坡面改造干砌细条石施工过程进行的研究与总结,创新了施工工艺,取得了较好的效果。  
**关键词:**陈蔡水库;除险加固;大坝坡面改造;干砌细条石;施工工艺;工字格;翻渣  
**中图分类号:**TV7;TV52;TV541;TV697 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2023)03-0044-04

Study on Construction Technology of Dry Laid Fine Stone  
for Reservoir Reinforcement Project

CHANG Zhen

(Sinohydro Bureau 5 Co.,Ltd.,Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** In traditional masonry construction,on-site zoning is often carried out based on the team configuration,which is relatively arbitrary and prone to the formation of many corner areas. Moreover,on-site cutting and processing must be carried out based on the actual gap size after the completion of large-scale masonry of stone,resulting in incomplete connection of construction processes. If the construction team has insufficient experience and the control is not strict,it is easy to cause staggered joints,which will lead to large-scale rework of the project,and its overall aesthetic is also difficult to be guaranteed. This article describes the research and summary of the dry masonry construction process for the slope renovation project of Chencai Reservoir Dam. The innovative construction process was put forward and great effects were achieved.  
**Key words:** Chencai Reservoir; risk removal and reinforcement; renovation of dam slope; dry laid fine stone; construction process; I-grid

1 概 述

浙江省诸暨市陈蔡水库始建于 1975 年,总库容为 1.164 亿 m<sup>3</sup>,是一座以防洪、供水为主,结合灌溉等综合利用功效的大(2)型水库,供水人口近 80 万,年供水量达 7 000 万 m<sup>3</sup>,是诸暨人民的“大水缸”。2018 年 8 月,浙江省水利厅以“〔 2018 〕 39 号”文印发了陈蔡水库大坝安全鉴定报告书,其安全鉴定结论为“三类坝”。2019 年 7 月,水利部大坝安全管理中心对陈蔡水库出具了安全鉴定成果核查意见(坝函〔 2019 〕 39 号),同意该坝为“三类坝”的安全鉴定结论。  
陈蔡水库大坝为黏土心墙堆石坝,坝顶长 535 m,宽 6.4 m,高度为 43.5 m,坡比为 1 : 1.76

~1 : 2.2,其迎水坡、背水坡护坡干砌块石的部分表面已呈全、强风化状,且现状局部护坡厚度已不能满足相关规范要求,在波浪作用下存在被掀起的隐患。考虑到护坡的稳定性,最终决定采用“干砌条石+碎石垫层”的施工工艺进行加固处理。  
2 工艺原理  
陈蔡水库除险加固工程利用非汛期低水位时段,针对主坝高陡边坡、临水作业等复杂施工条件,通过大量的现场地形测量数据并结合业主对工程整体美观度要求,利用“无人机航拍+电脑模拟”技术对各砌筑坡面进行了展开分区分析,采用经济合理的施工工艺,确保了施工期间水库的正常运行和供水。加固工程的原材选用花岗岩,采用厂内统一加工的方式,其标准尺寸为 60 cm×

收稿日期:2023-03-18

30 cm×30 cm,尺寸误差<1 cm;采用无人机航拍配合电脑软件进行坡面展开及砌筑过程模拟,采用定位桩将砌筑施工区域进行分割<sup>[1]</sup>,形成了若干标准尺寸“工字格”区域;采取事先模拟控制的方式可以确保 99%以上的砌筑区域利用标准尺寸的细条石,而对于边角区域则可根据模拟结果提前进行加工。利用铺筑好的碎石垫层与条石面存在的摩擦系数,采用人工附加一定外力的方式将其垂直输送至砌筑作业面,而垂直运输的方式无需设备配合、灵活机动,可平行作业且操作方便。

3 操作要点

3.1 原材料的选取

该除险加固工程涉及的主要材料为细条石与碎石垫层。为确保护坡干砌细条石的砌筑质量、平整度和碎石垫层粒径满足要求<sup>[2]</sup>,设计单位对主要材料的选用要求为:

(1)护坡细条石采用花岗岩并精选特定的供

应厂家进行集中加工,其干容重不小于 2.5 g/cm<sup>3</sup>,饱和抗压强度≥60 MPa,软化系数≥0.75。

(2)碎石垫层利用原坡面拆除的块石进行场内加工,粒径为 2~4 cm,含泥量(石粉含量)≤1%,针片状颗粒含量≤15%,逊径≤2%。

3.2 原坡面块石的拆除

对于原坡面块石,采用液压反铲自上而下分层挖除、逐层翻渣后退的方法甩料至马道上,在马道上采用 5 t 自卸汽车将块石运输至堆存渣场。由于该坝坡较陡,最终选用小型且轻巧的 PC220 液压反铲,其臂长的有效作业半径约为 4 m。对于高程 81.18 m 以下的块石拆除采取沿坝坡自下而上的方式,共计翻渣 8 次至马道装车外运;对于高程 81.18 m 以上的块石拆除,采用沿坝坡自上而下的方式,共计翻渣 7 次至马道装车外运。坝前护坡干砌石分层翻渣方法见图 1。

3.3 坡面的找平与压实

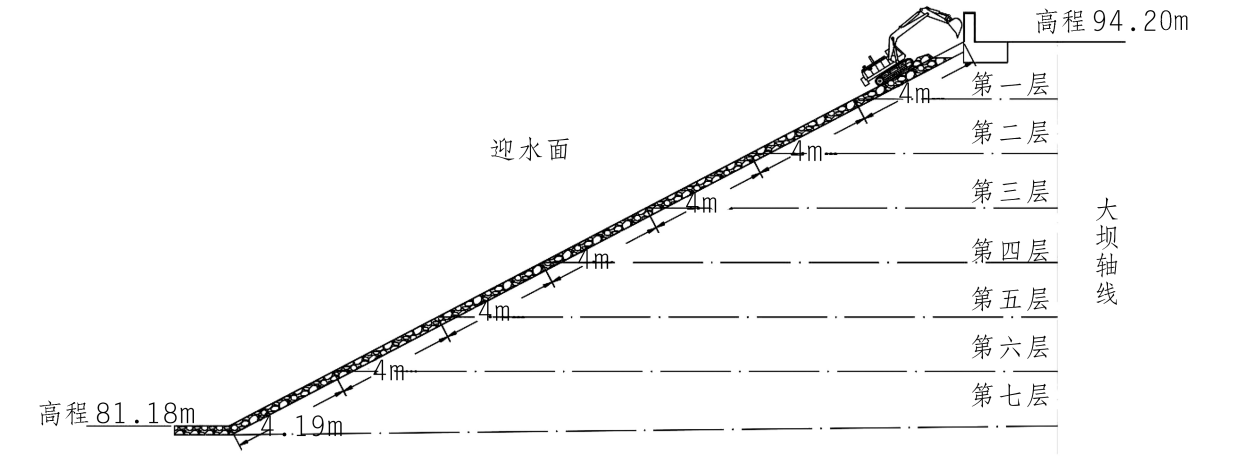


图 1 坝前护坡干砌石分层翻渣方法示意图

采用液压反铲从高程为 68.18 m 的马道自下而上分层平整<sup>[3]</sup>。对于高于设计高程处采用逐层翻渣后退的方法甩料至马道施工道路上装 5 t 自卸汽车运输至低于设计高程的区域,然后逐层回填平整。由于该坝坡较陡,最终选用小型、较轻巧的 PC220 液压反铲作业,其臂长的有效作业半径约为 4 m。对于高程 81.18 m 以下的坝坡平整采用沿坡面自下而上的方式,共计平整 8 次至马道;对于高程 81.18 m 以上的坝坡平整采用沿坡面自上而下的方式,共计平整 7 次至马道。对于多余的渣料则装车外运。

3.4 坡脚挡块的施工

根据设计要求,为保证坡面条石的稳定性,沿坡脚设置了 C25F50 素混凝土挡块,其高度为 60 cm,宽度为 50 cm,混凝土挡块顶面与条石面接平。采用小型挖机开槽、人工清底,模板采用胶合板,水平背楞间距为 30 cm,竖向背楞间距为 80 cm,模板采用对拉方式进行初步固定。固定后由测量人员进行二次放线校核模板的平面位置和高程,技术人员在现场根据测量数据进行模板的调整和最终定型,同时进行报验,最终经监理验收通过后联系商品混凝土站开仓浇筑。采用 12 m<sup>3</sup> 混凝土罐车利用修建的施工道路运至作业面的上级马道,在坡面架设分级溜槽入仓,溜槽应简易、轻

便,每浇筑 10 m 移动一次溜槽。混凝土到场后必须检查该车的随车证件票据是否齐全,混凝土标号、配合比是否与试验报告配合比一致,分两层浇筑,采用型号为 ZDN30 的环保、低噪音振捣棒进行振捣。浇筑面层时应及时进行二次抹压处理。

3.5 电脑模拟“工”字定位

首先对已平整好的砌筑面进行地形测量,采用无人机航拍配合电脑软件进行坡面展开,采用“工”字型定位,将砌筑施工区域按 6 m×6 m 梅花形布置进行分割,形成若干标准尺寸的“工字格”区域,然后进行砌筑过程模拟,据此可以准确计算出所需要的标准尺寸细条石数量和边角区域的不规则条石尺寸与数量,统一在厂内加工好后运输至现场,从而避免了现场加工难度大且需采取粉尘控制措施的问题。利用电脑办公软件模拟“工”字定位的布置情况见图 2。

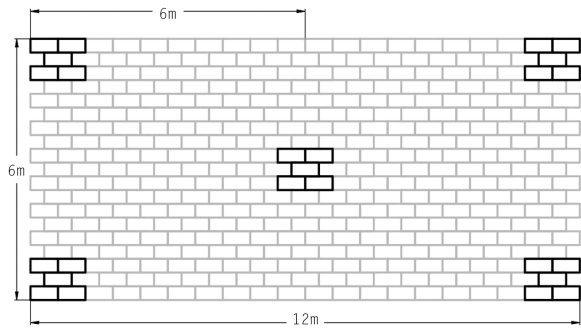


图 2 利用电脑办公软件模拟“工”字定位布置图

3.6 细条石的运输

利用坡面二级马道作为水平运输通道,选用叉车配合随车吊进行水平运输、多点卸料。利用已铺好的碎石垫层与条石面存在的摩擦系数、采用人工附加一定外力的方式将条石垂直输送至砌筑作业面并可多点进行运输作业。在垂直运输过程中必须确保其下方无作业人员。根据现场实际模拟,最终选择的坡比为 1:1.95,条石与碎石垫层之间的摩擦系数取 0.52,标准尺寸为 60 cm×30 cm×30 cm 的细条石重力  $G=1.62\text{ kN}$ ,沿坡面的分力  $F_1=0.74\text{ kN}$ ,碎石与条石底面的摩擦力  $f=0.75\text{ kN}$ 。当  $F\geq 0.75\text{ kN}$  时,条石沿坡面向下移动,因此,需人工辅加约 1 kg 的推力,根据不同的坡度、沿坡面给予相同或相反方向的推力便可轻松控制单块条石的垂直运输。单块细条石坡面受力分析情况见图 3。

3.7 “工字格”填充砌筑施工

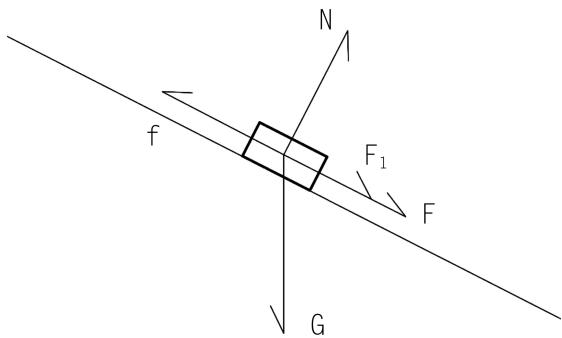


图 3 单块细条石坡面受力分析简图

砌筑施工时,以坡面已有定位“工”字作为参考,按规定线型进行“工字格”填充砌筑,安放时四角同时往下落,使用橡皮锤或木锤轻击找平,铺完第一块后向两侧或后退方向按顺序镶铺。砌筑时采用错缝施工的方式以确保条石在坡面的稳定性。考虑到条石加工及安装累积误差的影响,对于水平及坡面方向均留置 0.5 cm 左右的空隙,即将该误差在每一层条石中均衡消除,以免后续每层条石的尺寸因误差的累积影响而出现较大的错缝<sup>[4]</sup>,影响其外观质量。同时,其可兼做条石变形缝,用以防止因高温天气导致的条石膨胀相互挤压破坏棱角形状的情况出现。条石砌筑过程中,采用 3 m 靠尺进行坡面平整度控制,其高差不超过 1 cm。

3.8 施工效果检查

根据水利工程项目划分,每个单元护坡砌筑完成后应进行单元验收,验收项目主要包括坡面平整度(±1 cm)、碎石垫层厚度(±5 cm)、条石厚度(±0.5 cm)、缝隙宽度(0.2~0.5 cm)等,待现场砌筑已完成单元验收合格后方可进行下一单元的砌筑施工。对于验收不合格的单元,需要与参建各方商定处理措施并进行返工处理。陈蔡水库大坝迎水面护坡改造前后效果对比情况见图 4。

4 施工质量控制要点

- (1)反铲在坡面作业行驶过程中其履带尽量不在已拆除面上行走,以减少其对坝面边坡的破坏。
- (2)做好对施工班组的技术交底工作并对参加施工的人员进行质量及安全教育,确保工人理解各项技术措施及注意事项。
- (3)一定要清楚地明白细条石的原材料是质量控制的源头,进场材料必须按 1 000 m<sup>3</sup>/批次进



图 4 陈蔡水库大坝迎水面护坡改造前后效果对比图

行外委试验送检,同时对每块细条石的尺寸进行验收,对于不合格的材料严禁使用。

(4)细条石的砌筑采用样板引路的方式优先砌筑完成 1 个“工字格”区域,然后邀请参建各方进行样板段施工工艺及质量评定,找出不足之处,并对工艺流程中的各个工序进行再优化,以达到指引后续大面积砌筑施工的目的。

(5)注意观察永久外露面的条石表面色差。鉴于标准细条石有 4 个标准面可供选择,从而能够尽可能地避免出现较大的色差而影响到其美观度。

5 结 语

陈蔡水库加固改造工程采用的干砌细条石由选定厂家在厂内统一加工,解决了施工过程中因石材不规则、不统一、需人工进行挑拣的费时费力弊端,进而更容易控制线型和其表面平整度,从源头上保障了条石砌筑质量。同时,采用无人机航拍配合电脑软件进行坡面展开及砌筑过程模拟,采用定位桩将砌筑施工区域进行

分割形成若干标准尺寸的“工字格”区域,事先模拟控制,有针对性地解决了传统条石砌筑施工随意分区、整体美观度很难保障、控制不严密出现错缝<sup>[5]</sup>、导致大面积返工的弊端。采用该工艺施工完成的迎水坡面平整度、美观度均能够很好地满足设计要求,所取得的经验可为今后类似工程施工提供参考。

参考文献:

[1] 李化萍. 水库除险加固工程中干砌石护坡技术的应用研究[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(4): 47-50.  
[2] 刘地强. 浆砌条石圆涵在晋江市供水工程中的应用[J]. 水利科技, 2002, 25(1): 52-53.  
[3] 刘娟娟. 水库土坝除险加固中滑坡事故的处理与防范[J]. 浙江水利科技, 2011, 39(4): 64-66.  
[4] 郭子雄. 机器切割料石砌筑石墙灰缝构造及抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2011, 32(3): 64-68.  
[5] 苏云红. 浆砌干砌片(块)护坡施工[J]. 四川建筑, 2003, 23(1): 255-256.

作者简介:

常 臻(1984-),男,甘肃庆阳人,高级工程师,学士,从事公路、市政与水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

江西省宜春市四方井水利枢纽工程正式投产发电

2023 年 2 月 7 日,由水电五局承建的江西省宜春市四方井水利枢纽工程顺利通过机组启动验收并正式并网投产发电,标志着该工程取得重大阶段性进展。机组验收工作组深入施工现场检查工程完成情况和工程施工质量,听取了工程建设、设计、监理、施工、质量监督、机组启动技术预验收等工作报告,检查了施工记录、质量评定及相关工程档案资料,并根据现场核查情况宣布了验收结果。验收工作组一致认为:江西省宜春市四方井水利枢纽工程 3 台机组各项指标满足相关规范,3 台机组启动运行的建筑物、设备已全部完成,相关电气交接试验完成,各系统全部调试完成,电网调度已接入,运行操作规程已编制并审批完成,具备机组启动运行条件,同意通过 3 台机组启动验收。四方井水利枢纽工程自 2018 年 1 月 14 日开工以来,先后克服了工程协调难度大、岩溶地区地质条件复杂、长期降雨影响、施工难度大、工期紧张等诸多不利因素,稳步、快速、主动推进工程建设。工程建设期间,项目部狠抓安全、质量,建立了完善的安全保障体系和质量保障体系,期间多次受到水利部太湖流域管理局、江西省水利厅、宜春市水利局、市政府及参建各方的称赞。四方井水利枢纽工程为国家“十三五”期间分步建设的 172 项重大水利工程项目之一,也是国家 2017 年新开工建设的 15 项重大水利工程之一。电站装机容量为 1 500 千瓦,多年平均发电量 368.94 万千瓦小时。发电厂房布置 3 台混流卧式水轮发电机组,其 1 号机组额定功率为 240 千瓦,2 号及 3 号机组额定功率为 630 千瓦。四方井水利枢纽工程于 2022 年 10 月 30 日至 2022 年 11 月 2 日进行了发电机组试运行,2023 年 2 月 5 日发电机组正式运行,目前该工程累计发电 21 万余千瓦小时。

(中水五局 供稿)