

# 除险加固技术在大坝及引水隧洞工程中的应用研究

徐丽

疆昌吉市三屯河流域管理处

DOI:10.32629/hwr.v4i1.2737

**[摘要]** 在诸多水利工程施工方面,特殊环境下的施工难度明显增加,且从安全的角度考虑,需要综合考虑多种影响因素,其中就包括大坝及引水隧洞除险加固工程。水库除险加固工程内容复杂,地形环境特殊,对施工作业要求较高,同时,作为地区主要交通枢纽担负着繁重的通行保障任务,需要严格按照管理制度要求施工,尽量减少因施工带来的安全、交通等问题。

**[关键词]** 大坝; 引水隧洞; 除险; 加固

除险加固技术是传统中小型水库坝建设过程中坝基软弱处理不当情况下的有效处置手段,通过提高水库坝体与水库坝基密度可以显著提升水库坝抗压能力,保证坝体安全。针对某案例水库的实际情况,此次除险加固技术采用填筑施工技术,从而在最短时间内完成大坝及引水隧洞的施工建设,并使其满足既定质量要求。

## 1 工程概况

某案例水库,属淮河水系沱河一级支流浍河中下游的一座大(2)型水库控制流域面积431平方公里。现状陡山水库防洪标准为10000年一遇,100年一遇设计,死水位108.4m,兴利水位127.0m,汛期限制水位125.30m,设计洪水位( $p=1\%$ )128.25m,校核洪水位( $p=0.01\%$ )131.79m。死库容0.0114亿 $m^3$ ,兴利库容为1.6955亿 $m^3$ ,调洪库容1.5182亿 $m^3$ ,总库容为2.9048亿 $m^3$ ( $p=0.01\%$ )。水库工程规模为大(2)型,工程等别为II等,主要建筑物级别为2等,次要建筑物为3等。设计灌溉面积30.44万亩,有效灌溉面积16.2万亩。

该工程的主要施工内容为:桩号0+045—0+620坝段心墙采用C15塑性砼防渗墙截渗,截渗墙中心线与防浪墙中心线重合,且与坝轴线平行,墙厚0.4m,顶部与防护墙基础接触,底部深入坝基岩面线以下1.0m。桩号0+000~0+045坝段拆除填筑粘土心墙坝。0+340~0+630坝前抛石压重;上游护坡及垫层拆除重新铺设。坝后坡补坡、重建坡面排水系统、草皮护坡;坝后排水体拆除重建。坝顶上游坝肩建细料石防浪墙、坝顶路面采用沥青砼硬化;重建坝顶照明设施,新建大坝观测设施。引水隧洞控制段拆除改建,洞身进行补强,进口控制段设拦污栅、检修门、工作闸门、启闭机等机电设备;出口与电站、灌区渠道连接。工作闸门尺寸 $3\times 3m$ 潜孔式吊点平面钢闸门,采用双吊点QPQ-2 $\times 16T$ 固定卷扬式启闭机启闭;检修闸门采潜孔式平面钢闸门,采用电动环链葫芦启闭。引水隧洞进口段设1扇尺寸为 $4m\times 6m$ 的活动拦污栅,采用HHBD-8电动环链葫芦启闭。

主要合同工程量为:抛石压重76091 $m^3$ ,上游护坡及垫层拆除11725 $m^3$ ,大坝干砌石护坡7818 $m^3$ ,土工布铺设33161 $m^2$ ,砂垫层3316 $m^3$ ,碎石垫层4917 $m^3$ ,引水隧洞砼2393.4 $m^3$ ,钢筋制安78t,防渗板墙成槽14496 $m^2$ ,塑形混凝土浇筑5799 $m^3$ ,及相关的金属结构和电气设备安装工程。

## 2 施工总体布置

本标段项目部设于大坝南头西侧。木工及钢筋加工场、空心板预制场、水泥仓库、混凝土拌和系统设置在坝后,临时工程布置能够满足工程建设的需求。

2.1 施工交通。(1)场外施工道路。本标段工程位于某案例水库附近,对外交通方式主要为公路。工程区域附近有多条公路或村村通公路穿过。施工所需机械设备、砂石料和其他建筑材料均可由上述道路直接运达工地施工场区。(2)场内施工道路。场内临时道路采用原地地面开挖土方填筑,用推土机整平压实,路面为铺设泥结石。施工过程中,派专人对临时道路进

行维修和养护,做好路基和路面的排水设施,并进行洒水除尘,将施工作业产生的扬尘减少至最低程度。

2.2 施工供电及供水。工程施工期间,在施工现场安装了200kVA变压器一台,供应工程生产及生活用电。为确保本工程正常施工,配备90kW柴油发电机组1台,作为备用电源,确保现场混凝土浇筑系统、排水系统等施工用电需要。

工程生产和生活用水从降排水管井中抽取,本地区地下水水质优良,能够满足生产和生活用水要求。

2.3 材料供应。本工程水泥、钢材、砂、碎石物资材料在当地或附近县市采购,当地物产丰富,质地优良,交通方便,能够满足工程需求。

大坝花岗岩方块石护坡由于地方政府保护当地矿山资源,限制进行开采,数量不能满足工程进度需求。经甲方研究决定在高程123m以上采用枣庄峰城开采的石灰岩锯解石护坡。

2.4 完成的主要工程量。实际完成的主要工程量为:大坝上游压重石渣回填77004.87 $m^3$ ,上游护坡拆除14336.40 $m^3$ ,干砌石护坡7200.74 $m^3$ ,沥青路面4579.99 $m^2$ ,引水隧洞混凝土浇筑2599.58 $m^3$ ,钢筋制安77.50t,防渗板墙成槽11936.70 $m^2$ ,防渗板墙塑性混凝土浇筑4774.68 $m^3$ ,排水体拆除12156.94 $m^3$ ,排水体砌筑12147.34 $m^3$ ,及相关的金属结构和电气设备安装工程。

## 3 主要施工方法

本工程施工内容包括土石方开挖及回填、钢筋制作安装、混凝土浇筑、干砌石、浆砌石、金属结构及电气设备安装等。

3.1 定线测量。工程开工后,由工程科组织成立工地测量小组,由具有丰富测量经验的工程师担任组长,测量小组依据设计单位交付的基线点及水准点,结合本工程的具体特点,布设现场所需的基线控制网及高程控制网,并在施工过程中定期观察和校对,满足规定的施工测量精度。另外各施工作业区由专职测量人员跟班作业,负责细部测量控制,确保整个工程的测量工作质量。

3.2 土方开挖及回填。本工程土方开挖主要为0+000—0+045粘土心墙及坝体,采用挖掘机开挖,自卸车运输。心墙回填土料采用天湖村土料厂,挖掘机开挖自卸车运至回填区,采用推土机整平、振动碾压实。

3.3 石方开挖。本工程石方开挖主要是引水隧洞竖井石方开挖,引水隧洞石方采用浅孔爆破的方式,开挖过程中发现岩石为中等风化节理极发育的石英正长斑岩,并且中间有一条强风化片麻岩夹层南北向1—3m宽,贯穿整个引水隧洞竖井。岩石整体风化碎裂严重,存在较大施工安全隐患,严重影响施工进度。为保证施工安全及进度,建管局、监理、施工单位多次召开引水隧洞竖井拆除及石方开挖会议。

3.4 钢筋混凝土工程。本工程混凝土采用现场拌和站集中拌制,砼罐车运输。入仓后采用插入振捣器振捣,以洒水覆盖草苫子养护为主。钢筋在

加工厂集中加工, 现场人工绑扎。模板主要采用竹胶板, 特殊部位部分采用木模板。

3.5模板工程。(1)板方案的选用。模板主要采用竹胶板, 特殊部位采用木模板。施工前进行模板安装线的测量放样, 并设置控制线, 以便检查校正。然后进行模板安装。竖向模板设置内部撑杆或外部拉杆以保证模板的稳定性, 模板外侧设横竖围檩, 安放对拉螺栓和风浪绳配花篮螺栓加固, 并涂刷脱模剂, 以拆模方便, 保证混凝土及钢筋混凝土的质量。砼强度满足要求后进行拆模。(2)材料。工程使用的新购买竹胶板, 保证模板的刚度要求, 接缝严密。特殊部位所用木模板的木材质量达到III等以上材质标准, 腐朽、严重扭曲或脆性木材严禁使用。(3)模板安装。模板安装前, 根据施工图纸进行模板安装线的测量放样, 并设置必要的控制线, 以便检查校正。然后木工作业队根据模板线进行模板安装工作。竖向模板设置内部撑杆或外部拉杆以保证模板的稳定性。模板外侧设横竖围檩, 安放对拉螺栓和风浪绳配花篮螺栓加固, 保证模板的强度、刚度、内部尺寸及垂直度等。另外, 浇筑脚手架严禁与模板系统相连接, 以防模板产生变形。(4)模板清洗和涂料。模板在每次使用前清洗干净, 并涂刷脱模剂, 以拆模方便, 保证混凝土及钢筋混凝土的质量。(5)模板拆除: 混凝土满足以下规定才拆除模板。不承重的侧面模板, 在混凝土强度达到其表面及棱角不因拆模而损伤时, 在墩、墙、柱部位, 不宜低于3.5Mpa, 拆除。承重模板及支架, 混凝土达到70%设计强度拆除。

3.6钢筋工程。本工程钢筋在钢筋加工场集中加工, 现场绑扎成型。投入钢筋切断机及弯曲机各2台, 交流电焊机4台。

(1)钢筋采购。本工程所使用的每批钢筋均附有质量证明书和出厂检验单, 质量符合热轧钢筋性能要求。进场后各取一组拉力试件和冷弯试件做原材料试验, 试验合格后进行钢筋加工。(2)钢筋加工。钢筋的加工下料严格按照设计图纸和施工规范进行。钢筋平直无局部弯曲, 钢筋加工采用机械化成型, 所加工成型的钢筋在场内堆放时, 按不同型号、不同部位分别挂牌堆放。(3)钢筋的现场绑扎。钢筋现场绑扎采用人工绑扎成型, 绑扎时划线, 保证施工时受力钢筋的间距。安装时, 严格控制保护层厚度, 根据不同部位要求保护层不同, 本工程采用高强度橡胶垫块, 保证足够的保护层。钢筋安装时注意钢筋接头位置, 防止在同一断面上钢筋接头集中现象。钢筋采用在场内加工成型, 人工运至施工现场, 进行绑扎安装。

3.7混凝土工程。(1)原材料。水泥: 本工程水泥采用莒县浮来山水泥有限公司生产的P.042.5普通硅酸盐水泥。每批水泥进场时均附有出厂合格证, 复检合格后用于本工程。水: 本工程施工用水为水库水, 水质优良, 对混凝土无腐蚀作用, 直接用作生产用水。砂: 混凝土拌合所用砂选用天然中(粗)砂, 质地坚硬、清洁, 级配良好, 按规范要求分批进行了原材料检测, 质量符合规范和设计要求。粗骨料: 工程所用粗骨料质地坚硬、清洁, 无风化现象, 级配良好, 按规范要求分批进行了原材料检测, 质量符合规范和设计要求。外加剂: 本工程部分混凝土有抗冻、防渗要求, 在混凝土施工中掺加外加剂, 所用外加剂均符合设计和规范要求。(2)配合比设计。本工程混凝土配合比设计委托中铁14局集团第四工程有限公司测试计量中心进行。(3)混凝土拌合。本工程混凝土拌和投入JS-1000型拌和站1套; 骨料计量采用全自动配料机和输送机计量。计量准确, 砂石料采用电子自动系统进入料斗内, 消除人工计量所造成的不稳定性, 从而保证了混凝土拌和物的质量。(4)混凝土的运输。混凝土拌和后, 用砼罐车输送泵运输至浇筑地点, 混凝土浇筑时定时检测其坍落度, 所测坍落度值符合设计和施工要求。(5)混凝土浇筑。浇筑前: 对基础面处理、要浇筑的仓面清理、模板、钢筋及预埋件等自检合格后, 填写检验资料, 报监理工程师对准备工作进行检查, 经监理工程师检验合格后方进行混凝土浇筑。另

外浇筑前将该部位的配料单提交监理工程师审核。

入仓: 下落高度大于2m的加漏斗及串筒以防止骨浆分离, 混凝土入仓后人工及时平仓, 厚度较大的混凝土浇筑分层浇筑。

振捣: 插入式振捣器按梅花形垂直振捣, 快插慢拔, 振捣均匀, 防止漏振和过振, 以保证混凝土浇筑质量。振捣器振捣严禁触及预埋件和模板, 以免使其偏移。浇筑完毕后, 混凝土结构物顶部外露面按要求作抹光或拉毛处理。

3.8砼防渗板墙工程。大坝桩号0+045--0+620之间采用砼防渗板墙截渗, 防渗板墙顶标高131.8m, 宽0.4m, 采用塑形C15混凝土浇筑。

首先, 浇筑钢筋混凝土导墙, 控制成槽位置, 采用液压抓斗成槽机隔槽施工。在施工中严格控制泥浆性能并及时调整泥浆配合比, 在清槽后, 各测一次密度、粘度和含砂率。

其次, 砼浇筑采用“直升导管法”, 导管内径为 $\Phi 250\text{mm}$ , 壁厚4mm。防渗墙砼的配合比由山东大学土建与水利学院测试中心出具, 报监理审批后实施。配合比材料重量的控制采用电子计量方法, 确保称量标准。

最后, 塑形混凝土从拌合站出料后, 用混凝土罐车直接输送到施工平台的储料斗里, 通过储料斗的卸料槽流入导管漏斗, 砼浇筑过程中槽内砼面上升速度不小于2m/h, 浇筑时砼面高差不大于550m, 浇筑至控制高程。

3.9干砌石护坡工程。大坝修坡时根据设计图要求, 放好修坡样架, 将坡铲修整平整, 夯打结实。整个坡面分段进行, 在坡面接头处力求平顺, 保证砌坡后无波浪状起伏。

土工布按规范要求裁剪、拼幅, 无损伤, 无脏物污染, 相邻土工布拼接采用搭接, 搭接宽度为1.0m。铺设时工人全部穿软底鞋, 避免损伤土工布。垫层按设计要求的厚度、范围和材料要求铺筑, 铺设平整、密实、厚度均匀。铺设时与砌石密切配合, 自下而上, 随铺随砌。

干砌石护坡在夯实的碎石垫层上, 以一层与一层错缝锁结方式铺砌, 上下错缝搭接, 搭接长度不小于较短条石长度的1/3。严格控制护坡表面砌缝的宽度, 砌石边顺直、整齐牢固。平整度不大于2cm。

3.10砌石工程。砂浆采用搅拌机拌和, 按照试验室出具的砂浆配合比进行拌和。块石原材料质地坚硬, 砂浆砌筑饱满、均匀, 符合设计及规范要求。

3.11金属结构及电气设备安装工程。金属结构及电气设备安装工程严格按照施工图纸和安装施工规范进行施工。首先进行预埋工作, 埋设位置符合图纸及安装要求, 固定牢固, 安装质量符合规范。

电缆引至电器设备或箱柜, 加钢管或型钢进行保护。电缆头的结构尺寸和工艺标准符合相关规范。电缆终端头的制作好后进行相位检查, 所用绝缘材料符合要求。

闸门、拦污栅安装严格按照施工图纸及规范要求施工, 利用吊车调入槽内。启闭机及电动葫芦安装完成后, 进行设备试运行, 闸门及栅体在槽中的试运行情况正常可靠, 无卡阻现象

启闭机及其附属设施、附件按照制造厂的安装说明书和图纸进行安装、调试和试运行。试运行情况正常可靠。

施工过程中, 工程质检人员严把质量关, 严格按照设计和技术规范进行质量控制, 实行三检制, 施工过程中未发生任何质量安全事故。

#### 4 工程质量评定及自检情况

##### 4.1大坝及引水隧洞加固单位工程部分工程评定统计表

大坝及引水隧洞加固单位工程的单元工程共204个, 全部合格, 其中优良177个, 优良率86.8%, 96个重要/隐蔽单元工程, 94个优良, 优良率97.9%; 本单位工程共10个分部工程, 9个优良。

表1 大坝及引水隧洞加固单位工程分部工程评定统计表

单位工程	分部工程名称	划分单元个数	完成单元个数	合格数	优良数	优良率 (%)	分部工程质量等级
大坝及引水隧洞加固工程	大坝上游抛石压重	8	8	8	5	62.5	合格
	大坝粘土心墙填筑	6	6	6	6	100.0	优良
	干砌石护坡 127 以下	12	12	12	9	75.0	优良
	砼防渗板墙截渗	83	83	83	81	97.6	优良
	干砌石护坡 127 以上	4	4	4	3	75.0	优良
	坝顶工程	16	16	16	13	81.3	优良
	坝下游补坡及排水沟、坝脚排水体	29	29	29	23	79.3	优良
	大坝观测工程	22	22	22	18	81.8	优良
	引水隧洞工程	15	15	15	12	80.0	优良
	引水隧洞金属结构及电器设备工程	9	9	9	7	77.8	优良
合计		204	204	204	177	86.8	

4.2 工程检测项目自检情况

大坝及引水隧洞加固单位工程共检测6965点,合格点次6527点,合格率93.7%。

表2 大坝及引水隧洞加固单位工程检测点次统计表

单位工程	分部工程名称	检测点数	合格点数	优良率 (%)
大坝及引水隧洞加固工程	大坝上游抛石压重	412	349	84.7
	大坝粘土心墙填筑	300	283	94.4
	干砌石护坡 127 以下	652	598	91.7
	砼防渗板墙截渗	2604	1492	95.3
	干砌石护坡 127 以上	216	198	91.7
	坝顶工程	915	860	94.0
	坝下游补坡及排水沟、坝脚排水体	1180	1105	93.6
	大坝观测工程	154	154	100
	引水隧洞工程	589	552	93.7
	引水隧洞金属结构及电器设备工程	97	90	92.8
合计		6965	6527	93.7

4.3 原材料、中间产品、混凝土试件等检测情况

大坝及引水隧洞加固单位工程对原材料、中间产品、混凝土试件等检测135组次,全部合格,具体检测结果如下:

表3 原材料、中间产品、混凝土试件检测统计表

序号	项目	规格	次数	检测结果	备注
1	水泥	P.042.5	2	合格	
2	砂子	中砂	5	合格	
3	石子		4	合格	
4	粉煤灰	II级	2	合格	
5	膨润土	II级	2	合格	
6	土工布	300g/m <sup>2</sup>	3	合格	
7	钢筋原材料	Φ12~Φ25	4	合格	
8	砼抗压试件	150×150×150	85	合格	
9	砂浆试块	70.7×70.7×70.7	27	合格	
10	止水带	651型	1	合格	

4.4 普通混凝土、砂浆试块试验评定

(1)干砌石护坡127m以下。M10砂浆试块共2组,Rmin=12.5Mpa>R标=10Mpa,符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。(2)混凝土防渗板墙截渗。塑性混凝土试块共65组,设计值(3-5Mpa)最大值4.5Mpa,最小值3.3Mpa,平均值Rn=3.85Mpa,符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。(3)坝顶工程。M10砂浆试块共6组,Rmin12.9Mpa>R标=10Mpa,符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。(4)坝下游补坡及排水沟、坝脚排水体。M10砂浆试块共16组,Rmin12.4Mpa>R标=10Mpa。符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。(5)引水隧洞工程。C30混凝土试块共14组,最大值37.2Mpa,最小值34.5Mpa,平均值35.7Mpa,标准差0.70Mpa(取2.0Mpa)。

Rn-0.7Sn=34.39Mpa>R标=30.0Mpa

Rn-1.6Sn=32.49Mpa>0.83 R标=24.9Mpa

符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。C25混凝土试块共4组,最大值30Mpa,最小值28.6Mpa,平均值29.3Mpa。

Rn=29.3Mpa>1.15R标=28.8Mpa

Rmin=28.6Mpa≥0.95R标=23.8Mpa

符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。C15混凝土试块共2组,最大值19.5Mpa,最小值18.9Mpa,平均值19.2Mpa。

Rn=19.2Mpa>1.15R标=17.3Mpa

Rmin=18.9Mpa≥0.95R标=14.25Mpa

符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。M7.5砂浆试块共1组,10.3Mpa>R标=7.5Mpa,符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。

M10砂浆试块共2组,Rmin=12.8 Mpa>R标=10Mpa。符合《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176-2007)规定。

5 结语

根据以上内容可以看出,大坝及引水隧洞除险加固工程对水坝安全起到了至关重要的作用,相关工程项目的技术指标与具体施工管理程序的严格执行保证了工程的顺利完成。然而,从该项目的具体实施过程与结果来看,大坝及引水隧洞除险加固工程依然存在着诸多问题,施工流程、成本控制等均有待改进。本文通过对某案例水库大坝及引水隧洞除险加固工程的具体实施进行介绍,以期能够为同类型施工工程积累经验。

[参考文献]

[1]杨卫平.浅议水库大坝除险加固工程设计及施工技术[J].科技创新与应用,2016,(17):198.  
[2]刘颖.水库大坝除险加固工程设计探讨[J].水利规划与设计,2017,(08):145-147.  
[3]潘登星.水库大坝除险加固防渗设计处理解析[J].广东科技,2014,23(18):108-109.  
[4]张大伟,李雷.水库大坝除险加固体制机制问题与对策思考[J].中国水利,2013,(10):31-36.  
[5]张永祥,张林洪,于国荣,等.某水库大坝除险加固措施的设计及验证[J].科学技术与工程,2011,11(26):6482-6485+6501.

作者简介:

徐丽(1978--),女,湖北黄陂人,汉族,本科,水利水电工程师,研究方向:水利工程。