刍议水工建筑施工中帷幕灌浆技术

肖华虎
（贵州省六盘水市六枝特区水务局，贵州 六盘水 553400）

摘　要：以纳麻水库2020年加固防渗项目为例，简单概述该水工建筑项目情况，进一步分析渗漏状态，讨论防渗处理设计结果，并分别从材料、灌浆施工、钻孔、封孔等环节探究坝基帷幕灌浆技术，同时阐述加固施工复核结果。

关键词：水工建筑；帷幕灌浆；土工膜
中图分类号：TV543　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-7344(2023)07-0058-03

0 引言

水工建筑项目所处地质环境以及后期面临的工况都比较复杂，不仅在建设期间可能由于某些客观条件、人工操作等出现渗漏，建筑工程还在日后长期使用中逐渐显现出渗漏病害。

1 水工建筑项目概况

纳麻水库坝址以上的集水面积有2.3km²，对应主河道全长是2.15km。本项目拟设主要功能是灌溉，还兼顾防洪与供水等用途。该水库容量超过71万m³，预计灌溉1800亩田地。此水库大坝都是均质土坝，其顶部是混凝土路面，高度能达到21.55m，顶部宽度、长度及高程分别是4.7m、99.5m、1322.55m。另外，该大坝的上下游坡比分别是1∶2.3、1∶2.626。

2 大坝防渗帷幕灌浆施工处理

2.1 水库渗漏情况

按照2020年对下游的测试调查结果，当库水位超过1320m，而三角堰的水位有7cm高，实际渗流量达到1.83L/s。通过AntoBank软件完成计算，得出不同工况下，分析断面的表现略有差别：工况一，蓄水位正常，且下游有水，该种状态下的稳定渗流，在渗流是0，高度为18.5m时，断面流速矢量图如图1所示，允许流量为1.23m³/d。工况二，设计洪水位加之下游有水形成渗流，水位高度是19.88m，允许流量为1.37m³/d。工况三，校核供水为以及下游有水状态下的稳定渗流，水位高度是20.34m，允许流量是1.38m³/d。

结合实地勘察与数年蓄水检验显示，不存在库盆渗漏的情况，渗漏具体发生在坝基，实际渗漏表现为：水位在1316m时，排水棱体后面沟渠存在积水，经过测量，对应下游三角堰水位达到4cm，由此确认渗流量是0.454L/s。在后续的巡视中，水位达到1320.05m，此时三角堰水位处于7cm。并在库内水位高度达到1320.5m后，三角堰水位直接上升到11cm。为提升加固设计的合理性与可行性，对水库大坝原有结构进行计算分析。结果显示大坝高程超过当地数百年一遇的校核洪水高度，同时防浪墙高程也超过预计数值，原本的结构就符合防洪需要。

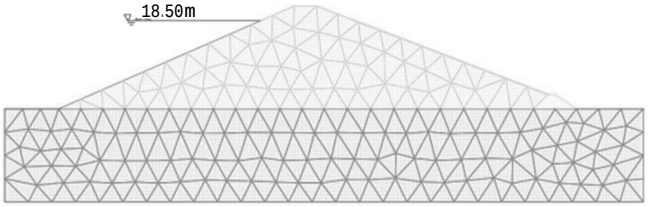

图1 工况一：有限元网格

结合安全鉴定，该水库原坝体有渗漏问题，要实施防渗处理。此次坝体选择土工膜与截流墙组织模式，其中上游坝坡是1∶2.3，和原结构相同，表面铺设预制块进行护坡，所以应拆掉既有结构。下游坝坡总体比较完善，没有出现隆起与塌方等情况。但考虑到下游原本未建设人行踏步，所以在该次防渗施工中额外增加此类设施。踏步区域选择浆砌块石，尺寸是2m宽、0.57m厚，每阶踏步是0.3m，直接顺着坝坡分布。

2.2 防渗处理设计

本项目最初建设中没有选择帷幕灌浆技术，多年前进行一次复建，预计在坝体和基岩部分段进行灌浆，其中坝体区域选择劈裂式工艺，而基岩则是帷幕灌浆。工程开发中，因为建设资金都来源于财政自筹，造价会有所限制，最终部分帷幕没有封闭。此次防渗处理设计中，主要在两个方案中选择，即坝基帷幕灌浆与坝体填充灌浆。沿截流墙进行帷幕灌浆，组合坝体土工膜防渗[1]。二者比较来看，前者施工造价更低，而且建设组织也比

较简单，现场作业机械化水平更加良好，建设周期短，不会水位有太多干扰。但考虑到多年来坝体渗漏的处理操作，灌浆防渗处理质量并不高，同时灌浆压力难以把控，导致建设成果无法完全控制，渗漏病症容易复发。而在复合土工膜工艺逐渐成熟中，实际投入量明显下降，使其可用性不断提升，处理后的坝体质量较好。并且利用混凝土截流墙可以有效处理坝体和坝基两类渗漏结构的病害，再加上帷幕灌浆，使修复后的结构更加完整，达到完全根治的效果。

在复合土工膜的处理设计中，坝体迎水面选择该种防渗方法，顺着坝脚和坝体附近挖出梯形槽，清理已经出现强风化表现的基岩，随后在相应位置上浇筑混凝土截水墙，底部与顶部的宽度分别是 2m、2.5m，高度是 2m。该截水墙施工中，需留出嵌固面，在灌浆完成后铺上土工膜。在本项目中，土工膜选用 0.8mm 厚的规格。现场作业中，坝体顶部需设置固埋沟用于铺设土工膜，坝坡上游中部挖出防滑齿槽通过嵌固的方式处理土工膜[2]。在铺设土工膜之前，施工人员需把坝坡区域内碎石层与护坡块石全部清理干净，还要处理坝体表层的各类尖石与碎石等杂物，保障作业表面平整。随后铺设细砂土垫层，单层厚度控制在 10cm，在该层上面铺土工膜。同时为确保土工膜完整性，需在继续铺上砂垫层，厚度和细砂土垫层相同，并在该层之上增设预制混凝土，板块厚度为 8cm，这样处理不仅能够当成土工膜压重，还能保护坝坡。另外，对于河坝淤积问题，既有建基高程经过数年使用后，淤泥层已经有 2.2m 后。出于对工程造价的考量，截流墙选择在死水位施工，将坝体当成持力层，随后在建成的截流墙上实行灌浆处理，把大坝完全封闭。

2.3 坝基帷幕灌浆

2.3.1 方案设计

本工程中在坝基处进行帷幕灌浆处理，基岩灌浆施工要求截流墙砌筑高度为 1.5m。项目总体采用接地式的帷幕灌浆方法，基岩借此实现防渗处理。水库大坝范围内，有砂岩与粉砂岩、泥页岩，在河道两岸地下水都处于不断抬高中，所以帷幕设计直接将地下水位当成施工边界，整体灌浆线的程度是 192m。顺着截水墙，帷幕采取单排孔分布，孔距和排距仅是 2m，总共有 97 处孔洞。本工程的坝基出露地层属于相对透水层，以 0.7 倍的水头高度为标准，设置灌浆孔深度下限，而灌浆上限则在截水墙底部，同时两岸延伸施工部分的灌浆上限是按照水库正常高水位设计。实地施工期间对先导孔进行一系列的试验分析，进一步优化设计参数。

在坝基帷幕施工中，灌浆孔分成 3 次作业，不断加密布置。施工人员可先设置两端与重点区域的灌浆孔，当成先导孔实施灌浆与压水试验，继而测出钻孔实际地下水位。根据现场获取到的数据，施工方需立即把形成的资料反馈到监理方与设计方，确保参建单位能及时了解大坝情况，基于此深化设计方案，调节帷幕边界范围与下限，给其他两个批次的灌浆孔施工提供适宜技术参数[3]。

2.3.2 材料选择

坝基岩层和接触带都是用水泥浆，开灌水灰比是 5:1，注入浆液的浓度需会不断提高。此处用到的水泥原料是超细硅酸盐水泥，强度达到 32.5MPa。按照大坝灌浆施工需求，浆液内可以适量添加速凝剂以及掺和料。前者建议选择水玻璃，后者则是按照实际条件，从粗砂与细砂、粉煤灰中挑选，还能适当加入锯末与纸屑等。在制浆中要使用专门的机具，灌浆机则可采用多缸柱塞泵。

2.3.3 施工方法

本工程坝体选择强补灌浆技术，通常需等到低水位以及旱季施工，这样有利于保障灌浆作业期间大坝结构稳定以及施工质量。在灌浆中采取全孔灌注处理，刚开始要注入稀浆，持续大约 3~5min 之后，缓慢提高泥浆浓度。假设在此过程中发生孔口压力降低，甚至出现负压，需继续提高泥浆稠度，单孔要灌浆 5~10 次，相邻两次施工作业至少要间隔 5d，平均孔洞每米单次要灌浆 0.3~0.5m^3。在地质环境比较复杂，且消耗泥浆较多的区域，需适当提高灌浆的次数，如果是现场需要，也可以重新扫孔处理，随后根据施工技术标准进行灌浆处理[4]。

在基岩部分的灌浆施工需从上到下分段灌浆，将作业压力控制在 0.3MPa~0.5MPa。此施工段的长度应把控在 5~6m，个别情形下也能适度延长或缩短，但要控制在 10m 以内。基岩和坝体之间的接触带需额外进行灌注施工与待凝，并且在基岩内的长度要在 2m 以内。另外，应强调的是，灌浆施工期间的全部资料都保障详细，包括施工原始记录、大坝某些结构异常点等。

钻取灌浆孔中，现场孔位必须根据设计图纸位置布设，实际偏差应在 10cm 以内。钻机需保持稳定与水平，避免其发生位移，影响钻孔质量。本项目基岩部分施工能选择 ϕ73~ϕ89 规格钻具，钻头材质可以是金刚石、硬质合金，并采用清水循环作业形式，切忌出现少钻与漏钻的问题。

2.3.4 钻孔冲洗

基岩部位进行灌浆施工以前，需安排冲洗孔洞裂

隙，此处需选择压力水，按照灌浆压力值的80%调节冲水压力，直到回水清净。按照帷幕灌浆作业要求，孔洞中沉积层厚度需控制在0.2m以内。假设属于岩溶与大裂隙、断层等不良地质，冲洗操作如何开展都要按照灌浆试验结果确认。而压水试验中，从基岩部位由上至下，逐段完成试验分析[5]。此外，该试验需在冲洗处理结束后开展，选择单点方法，其他基岩段孔洞则要在灌浆时事先完成简易压水，这项操作能与冲洗裂缝作业一同开展，这样有利于加快建设进度，缩短项目工期。

为保障灌浆施工过程的质量，需要进行位移观测，顺着坝体轴线，按照10~20m的间隔距离均匀布置观测组，单组中需要在坝体顶部、坝肩分别设置一处标点，可以选择混凝土桩、木桩作为标记，每次灌浆时都要到观测两次以上，而且在整个灌浆施工阶段需进行常态化观测，其他加固施工期间也要至少每5d组织一次观测。

2.3.5 封孔处理

按照帷幕灌浆技术标准，基于设计压力数值，在注入率每分钟不超过0.4L后，再连续灌浆一个小时，待每分钟注入浆液不超过1L时，再继续注入一个半小时，便可停止灌注。对于帷幕灌浆工艺的封孔处理，可选择分段压力灌浆技术。在封孔前需要检查行灌浆质量，通过分段压水试验检测。根据该项试验的质量标准，坝体和基岩接触位置与下一段达标率需是100%，其余每段合格率要超过90%，同时不达标区域透水率应在设计参数100%以下，而且位置要分散，如此才能判断灌浆施工整体质量达标，反之需各个参建方立即商定解决方案。在经过压水试验并合格后，根据工艺标准，利用专业膨胀塞实施封孔处理。结束后应抽样检查密封效果。

图2 帷幕灌浆膨胀塞

2.4 加固后渗漏复核

纳麻水库防渗加固施工后，上游坝面是预制块护坡，搭配土工膜防渗技术，而下坝面是用草皮护坡，在坝脚处配置排水沟与三角堰。针对坝体加固施工后的渗漏情况进行分析，选择前文提到的计算软件。同样是3种工况，工况一条件下，加固后大坝流量约为0.95m³/d，对应流速矢量图如下；工况二，加固施工后，流量约是1.02m³/d；工况三下加固后大坝流量是1.04m³/d左右。对比前文所列允许流量数值，经过防渗施工后的大坝结构，流量明显下降。

从水体流量表现上，本项目的施工效果较好。另外，还需对加固大坝进行稳定分析，此处选择简易毕肖普法，其是针对土条之间的作用力加以判断，以极限平衡为内在机制，将滑裂土体当成刚体绕中心旋转，通过算出结构滑动力以及抗滑力，判断大坝安全程度。对于孔隙压力则使用相似方式计算，得出不同工况下坝坡最低的安全系数。本项目中把大坝按照1m宽分成若干土条，系统搜索半径范围设定成0.5m。经过计算得到该次施工项目后的大坝稳定状态，按照正常与非正常两种使用工况，分别为正常工况中上下游坝坡、上游水位处于坝底上方1/3坝高位置的坝坡。水库是校核洪水状态时的上下游坝坡，针对以上项目进行结构稳定性分析。通过对比加固前的状态，上下游坝坡的安全系数都有明显提升，并且都达到规范标准。同时，坝基经过截流墙灌浆施工，构成封闭微米，有效消除坝基部分渗流的病害。

3 结语

水工建筑采取帷幕灌浆进行加固处理，可以有较好防水表现。施工项目中按照原建筑渗漏情况以及结构状态，综合经济性、技术性的考虑，对建筑各个部位选用适宜的方法，纳麻水库项目中使用帷幕灌浆与土工膜的搭配方案，便取得良好的加固效果，值得类型工程借鉴。

参考文献

[1] 商坡. 帷幕灌浆施工技术在水库大坝基础防渗加固处理中的应用[J].科学技术创新，2022(26)：117-120.
[2] 刘源.帷幕灌浆技术在大坝基础防渗工程中的应用[J].建设科技，2022(16)：102-105.
[3] 郝永志.大石门水库古河槽帷幕灌浆效果检查分析[J].东北水利水电，2022(8)：14-16，71.
[4] 姚锦创.水库除险加固工程大坝帷幕灌浆施工工艺[J].江西建材，2022(7)：193-194，197.
[5] 肖伟，刘烁楠，李洪斌，等.金沙水电站大坝基础帷幕灌浆设计与施工[J].水利水电快报，2022(3)：32-36.

作者简介：肖华虎(1974—)，男，汉族，贵州六盘水人，大专，工程师，主要从事水利工程建设与运行管理工作。