

充填式灌浆在龙陵县杨梅坡水库除险加固工程中的应用

徐云军

保山市大型灌区管理中心

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6609

[摘要] 我国大量已建水库大坝因运行年代久远、建设标准偏低等原因,普遍存在渗漏、裂缝、变形等安全隐患,使得除险加固任务艰巨。充填式灌浆作为一种成熟、高效的地基与坝体处理技术,在解决此类问题中发挥着关键作用。基于此,本文系统阐述了云南省龙陵县杨梅坡水库除险加固工程的大坝防渗帷幕灌浆实施情况及取得的效果实例。实践表明,通过科学设计灌浆参数(如浆液配比、灌浆压力、孔距排距等)和严格的施工控制,充填式灌浆能有效充填坝体裂缝及控制坝基渗透等典型病害,显著提升坝体的防渗性能与整体稳定性,加固效果显著,为中小型水库的除险加固提供了可靠的技术路径与工程借鉴。

[关键词] 帷幕灌浆; 杨梅坡水库; 除险加固

中图分类号: TV697 **文献标识码:** A

Application of Packed Grouting in the Risk Elimination and Reinforcement Project of Yangmeipo Reservoir in Longling County

Yunjun Xu

Baoshan City Large Irrigation District Management Center

[Abstract] Due to reasons such as long operation periods and low construction standards, a large number of existing reservoir dams in China generally suffer from safety hazards such as leakage, cracks, and deformation, making the task of risk mitigation and reinforcement arduous. As a mature and efficient foundation and dam body treatment technology, filling grouting plays a key role in addressing such issues. This article systematically expounds the implementation and effectiveness examples of dam seepage prevention curtain grouting in the Yangmeipo Reservoir risk mitigation and reinforcement project in Longling County, Yunnan Province. Practice has shown that through scientific design of grouting parameters (such as grout ratio, grouting pressure, hole spacing and row spacing) and strict construction control, filling grouting can effectively fill typical defects such as dam body cracks and dam foundation leakage, significantly improving the seepage prevention performance and overall stability of the dam body. The reinforcement effect is remarkable, providing a reliable technical path and engineering reference for risk mitigation and reinforcement of small and medium-sized reservoirs.

[Key words] Curtain grouting; Yangmeipo Reservoir; Risk elimination and reinforcement

在龙陵县杨梅坡大坝除险加固帷幕灌浆中,大坝坝体、坝基、两坝肩均采用充填式帷幕灌浆防渗方法,防渗效果较好。

1 工程概况

龙陵县杨梅坡水库于1969年开工建设,1975年春完成主坝回填,主坝坝高30.0m,坝顶轴线长126.0m,坝顶宽4.5m。大坝副坝坝高20.0m,坝顶轴线长86.0m,坝顶宽4.0m,总库容118万³。但由于当时的条件限制,工程设计标准低,工程施工质量较差,以及清基不彻底,两坝肩及大坝整体都出现渗漏情况,水库长期带病运行,危及水库安全。2023年10月杨梅坡水库防险加固帷幕灌浆工程开工,2024年6月竣工。



图1 龙陵县杨梅坡水库除险加固前

2 充填式灌浆在龙陵县杨梅坡水库除险加固工程中的应用分析

2.1 帷幕线布置及长度和深度的确定

主副坝帷幕灌浆孔均沿坝轴线布置,设计帷幕总长284.0m,其中主坝帷幕总长158.0m,副坝帷幕总长126.0m。根据水库病险情况及工程区工程水文地质条件分析,防渗边界确定为:主副坝防渗顶界为校核洪水位(高程1749.5m);主副坝防渗体左、右边界为地下水与水库校核洪水位的交点附近;此外,由于坝基相对不透水层埋藏不深,设计为接触式帷幕,防渗底界确定为坝基下相对隔水层顶部,河床段深入相对隔水层一个灌段。主坝设计灌浆孔平均孔深约23.33m,副坝设计灌浆孔平均孔深约18.15m。

参照《混凝土重力坝设计规范》(DL/5108-1999)有关坝基帷幕防渗标准和《土坝防渗设计规范》的规定,本工程设计防渗标准为基岩段小于或等于 $5L_u$,坝土段灌浆后的压水试验渗透系数小于或等于 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。

2.2 帷幕灌浆排数及孔距的确定

帷幕灌浆孔根据《土坝坝体灌浆技术规范》充填式灌浆单排布孔之规定,主副坝两条帷幕灌浆均采用单排孔。考虑到对基岩灌浆,山区水库河槽段狭窄,坝土填料不均,浆液易沿薄弱带充填等因素,参照相关坝型规定,确定孔距2m。

灌浆单位消耗量设计:灌浆材料为水泥和粘土,①基岩灌浆孔:灌浆段为250Kg/m,不灌浆段为100Kg/m;②坝土灌浆孔:灌浆段为350Kg/m,不灌浆段为100Kg/m,浆液为水泥粘土浆,配合比为1:3;③检查孔为100Kg/m。

2.3 灌浆试验

为保证帷幕灌浆的可行性和效果,在施工一序孔时,以一序孔资料为主进行灌浆试验,灌浆试验段作为整体帷幕的一部分,不再设单独的试验段。试验段选在主坝ZK13~ZK25之间,帷幕长24m。

2.4 灌浆施工方法

灌浆施工遵照中华人民共和国电力行业标准《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T5148-2001。

2.4.1 帷幕施工放线。主坝灌浆孔施工放线和副坝灌浆孔施工放线均依据控制点进行测量放线。

2.4.2 灌浆施工工作平台。主副坝左、右坝肩均为单排孔,地形起伏变化不大,车辆能够通行,平均宽度5m,可直接作为灌浆施工平台。

2.4.3 灌浆施工程序。主副坝灌浆施工均分为三序施工,先一序孔,后二序孔,然后三序孔。相邻的两个次序孔之间,钻孔灌浆的高差不得小于15m。

2.4.4 压水试验。各灌浆段应在灌浆前进行简易压水试验,为保证灌浆质量,加强质量监督,对部分灌浆段在灌后进行抽检,原孔检查压水,抽检段数为总灌浆段数的10~20%。灌前压水试验和原孔检查压水试验采用单点法,压水压力为灌浆压力的80%。检查孔压水试验采用五点法,按该部位单点法压力的0.3、0.6、1.0、0.6、0.3倍进行。

2.4.5 灌浆方法、方式及压力。由于本工程基岩灌浆段,岩

体风化较强烈,为保证下部灌浆段的灌浆效果,推荐坝土段和基岩段均采用自上而下分段循环式灌浆,不宜采用孔口封闭灌浆法。射浆管距孔底不得大于0.5m,灌浆段长为5m,原则上不超过6m。对灌浆盖重层厚度小于5m的灌浆孔,其第一段、第二段的段长采用2~3m。

本工程帷幕灌浆受灌主体为坝土和风化岩石,设计灌浆压力采用以下经验公式:

(1) 无坝土覆盖地段(两坝肩段)

$$P = P_0 + M \cdot Z$$

P——设计灌浆压力(MPa);

Z——灌浆段顶深度,单位m;

M——灌浆压力系数,采用0.03,单位MPa/m;

P_0 ——压力常数,根据帷幕段所承受的最大水头压力拟定为0.2MPa。

(2) 在有坝土覆盖地段(大坝坝基帷幕段)

$$P = P_0 + m_1 \cdot D_1 + m_2 \cdot D_2$$

m_2 ——灌浆压力系数,取为0.03;

P_0 ——压力常数,根据帷幕段所承受的最大水头压力拟定为0.2MPa。

较合理的灌浆压力,施工时应根据灌浆试验,终定适合本工程实际的灌浆压力。

2.4.6 灌浆结束标准及待固时间。灌浆结束标准:在规定的压力下,当注入率不大于1L/min时,继续灌注60min,灌浆可以结束。

各灌浆段灌浆后应进行待固,待固时间与水泥质量及初凝时间有关,初定待固时间为24小时。

2.4.7 浆液浓度及变换原则。本次帷幕灌浆受灌主体坝土和全强风化花岗片麻岩,设计坝土段采用粘土水泥浆灌注,基岩段采用纯水泥浆灌注,水泥为425#普通硅酸盐水泥。为保证灌浆质量,工程所采用水泥必须符合现行国家标准及有关部颁标准的规定,同时应有生产厂家的品质试验报告,并在使用前进行复验。

施工中,浆液的浓度遵循由稀到浓的原则逐级变换,其水灰比可采用5:1、3:1、2:1、1:1、0.8:1、0.6:1、0.5:1等七个级别,如表1所示。

表1 基岩水泥浆配制和浆液变换表

灰水比	5:1	3:1	2:1	1:1	0.8:1	0.6:1	0.5:1
水泥重量(Kg)	28.2	45.1	64.3	112.5	132.2	160.7	182.4
应加水量(Kg)	140.9	135.4	128.6	112.5	105.7	96.4	91.2
配制浆量(L)	150	150	150	150	150	150	150
水泥浆比重(g/cm ³)	1.127	1.203	1.286	1.5	1.586	1.714	1.824
浆液变换原则	①当灌浆压力保持不变,注入率持续减少时,或当注入率不变而压力持续升高时,不得改变水灰比; ②当某一比级浆液的灌注时间已达1h,而灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时,应改浓一级。						

2.4.8 钻孔测斜。为保证所形成帷幕的连续性和完整性,必须对钻孔的偏斜率进行严格控制,要求至少在中间和终孔两次进行测斜工作,钻孔允许偏差值可参见表2。发现钻孔偏斜值超过设计规定时,应及时纠正或采取补救措施。

表2 钻孔孔底最大允许偏差值

孔深 (m)	20	30	40	50	60
最大允许偏差值 (m)	0.25	0.50	0.80	1.15	1.50

2.4.9 封孔。灌浆结束后要求进行封孔,封孔方法采用分段压力灌浆封孔法,每段段长为15~20m,灌注水灰比为0.5:1的浓浆,灌浆压力与该段的灌浆压力相同,当注入率不大于1L/min,延续15min后可以停止。全孔封孔灌注结束后要有一定的闭浆时间。

2.5 灌浆质量检查

2.5.1 原孔检查。要求本孔基岩段灌浆后的压水试验透水率值小于或等于3Lu,合格率达100%。坝土段灌浆后的压水试验渗透系数小于或等于 1×10^{-6} cm/s,合格率达100%。

2.5.2 检查孔检查。要求其基岩段透水率值小于或等于5Lu,坝土段压水试验渗透系数小于或等于 1×10^{-6} cm/s,第1-3段的合格率应为100%,以下各段的合格率应在90%以上。帷幕灌浆质量检查应以检查孔压水试验成果为主,结合对竣工资料的整理和分析,综合评定,帷幕灌浆检查孔设计6孔,总进尺180.47m,其布设均在分析施工资料的基础上,由业主、监理、设计和施工单位共同商定:合格。



图2 龙陵县杨梅坡水库除险加固后

3 灌后效果

杨梅坡水库大坝充填式帷幕灌浆竣工后运行至今,水库高水位运行时两坝肩结合部及大坝坝面没有出现浸湿、散浸现象,

渗流量降至0.8L/s,降幅93.3%;坝体浸润性平均下降4.2m,下游坡干坡长度增加12m,消除管涌风险,防洪标准从10年一遇提升至50年一遇,水库正常运行充分发挥了设计效益,保证了2700亩的有效灌溉,防洪保护下游乡镇3000多人及村公路共计4.0KM的防洪安全。得到了社会各界肯定和认可。

4 结束语

2007年以来,国家加大了对中小型水库除险加固的投入,龙陵县水务局抓住机遇,组织技术力量,对病险水库进行加固处理。我有幸加入了杨梅坡水库的除险加固工程初步设计工作。在施工期间多次到现场参与各方技术讨论。龙陵县杨梅坡水库充填式帷幕灌浆工程通过“试验先行、分域施策、精细管控”的实施路径,成功解决了多类型渗漏病害。其核心经验在于:针对坝土与基岩的差异采用差异化材料和工艺,通过延长终灌时间,强化孔斜控制等细节优化保障质量,为我县病险水库的防参加固提供可复制的工程。通过多次现场试验确定灌浆材料可采用水泥粘土混合浆,水泥:粘土的比例应1:3-1:5左右。水泥掺入量过多,在浆体中形成骨架,不利于坝体回填压实,形成的幕体比较脆,不能适应坝体变形,所以在充填式灌浆中应严格控制水泥掺入量。为提高可灌性、有效充填基岩节理裂隙,基岩段可采用纯水泥浆灌注。

展望未来发展方向:结合人工智能技术实现灌浆施工全过程数字化管控,研发新型环保浆液(如生态水泥基浆液)以提升工程耐久性与环境兼容性。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国水利部,SL62-2021 水利水电工程施工测量规范[S].北京:中国水利水电出版社,2021.
- [2]赵维军,王军.充填式灌浆技术在土坝防参加固中的应用研究[J].水利建设与管理,2020,40(7):38-42.
- [3]张金接,符平,杨晓东.灌浆技术在病险水库除险加固中的应用与发展[J].水利水电技术,2019,50(1):1-10.
- [4]王明,李伟,刘强.基于高密度电法的土坝渗漏探测与灌浆处治研究[J].岩土力学,2020,41(S1):1-8.
- [5]张二勇,杨小玉.灌浆防渗处理技术在水库除险加固中的应用[J].河南水利与南水北调,2023,52(6):53-54.

作者简介:

徐云军(1972--),男,汉族,云南龙陵人,本科,水利工程高级工程师,研究方向:水利工程建设与管理。