

大坝防渗加固施工技术要点分析

宋悦红

浙江省正邦水电建设有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i9.7202

[摘要] 大坝坝体的安全、合理和安全是影响坝体寿命的关键因素。水库是人类利用水资源、发电、灌溉及防洪的关键工程，其安全可靠的工作状态与服役年限对我国能源安全、生态安全以及人类的生命和财产安全具有重大意义。为此，对坝体的防渗透与加固施工工艺进行研究与探索，对提升坝体的总体质量与安全性，有着重要的学术与实际意义。

[关键词] 大坝工程；防渗加固；施工技术；质量控制

Analysis of key points of dam anti-seepage reinforcement construction

Song Yue hong

Zhejiang Zhengbang Hydropower Construction Co.

[Abstract] The safety, rationality and safety of dam body are the key factors affecting the life of dam body. Reservoir is a key project for human beings to use water resources, power generation, irrigation and flood control. Its safe and reliable working state and service life are of great significance to China's energy security, ecological security and human life and property safety. Therefore, the research and exploration of the seepage prevention and reinforcement construction technology of the dam body have important academic and practical significance to improve the overall quality and safety of the dam body.

[Keywords] dam engineering; anti-seepage reinforcement; construction technology; quality control

1 工程概况

某水库大坝位于我国浙江西南地区，具有很大的发展潜力。该坝全长 500 余米，最高坝高 120 m，可容纳一亿立方公尺的库容，主要承担发电、防洪和灌溉等多种功能。因修建于 2016 年，受当时施工环境的制约，该工程的坝体填料紧密度低、含水量高、孔隙率低，渗透率达 5.42×10^{-4} cm/s，属中度透水性，在高水位或上游防护结构受损情况下，其坝体及其与地基之间的渗滤问题比较严重。这对水坝的安全运营构成了极大的威胁。如果不对其进行有效的控制和加固，很容易引起洪水。为解决坝体的漏水问题，保证库区的安全运营，必须采取有效的措施。为此，加强坝体的防渗加固工作已成为当务之急。

2 坝体防渗施工方案比选

在水库坝体的防渗处理中，通常采用灌浆法、复合土工膜法和防渗墙法。针对行水库坝的填筑特点，参考已有的类似工程的实践，本文提出了 3 种不同的处理方法，即高压旋喷、塑

性混凝土防渗墙和坝体劈裂灌浆。

2.1 高压喷射与帷幕联合灌浆方案

高压旋喷注浆是一种利用高压泥浆泵向指定部位进行注浆，由于泥浆对地层产生的冲击作用，土与泥浆结合在一起，在泥浆凝固后成为不透水的整体。本发明的方法可用于粘土、淤泥质粘土和人工填土等大坝的施工。根据大坝和坝基渗漏情况，采取了一种新型的喷浆方法，即以 1.5 米间距的摆喷和折缝注浆。止水帷幕是一种利用钻孔灌注水进行注浆的方法，在每个孔中注入的浆液相互重叠，构成一堵水幕的混凝土隔离墙。其主要作用是阻断水的渗入，减少上游水面坝内部的渗漏，增强坝体；防止渗漏。

为保证坝体的防渗，这一次采取高喷浆和帷幕注浆组合的方法，即在孔口打洞，向孔口灌注水泥浆等物质，从而构成一道不透水的帷幕墙体。当帷幕注浆结束后，利用高压泵及注入器向指定部位喷射泥浆，泥浆凝固后即成为一堵隔离墙。本项

目具有工期短、投资少、防渗性能好、安全可靠等优点；这种注浆技术可使两种注浆方式各自的优点得到最大限度地利用，从而达到改善注浆质量和防止渗漏的目的。

2.2 塑性混凝土防渗墙方案

塑料混凝土隔离墙是以粘性或膨润土为基质的一种新型隔离墙，它具有较强的弹性，可与基础的变形相匹配，防止发生裂缝。它是在防渗墙轴心位置开挖导沟，修建导墙，分割槽沟，开挖长槽沟，并对槽壁进行注浆加固，以确保地层和孔壁的稳定性。然后将塑料混凝土灌入淤泥中即可形成墙体。本项目可应用于构造厚度较大的任意大坝。根据行库坝的实际条件，提出了一道 400 mm 厚度的塑料混凝土隔离墙，该隔离墙的中线在坝体的轴线上，其最大灌注量为 23 米；防渗墙施工区域及灌筑区域共 2433 平方米。

2.3 坝体劈裂灌浆方案

大坝劈裂注浆技术是以注浆压力高于大坝小主应力为原则，在渗透地层中实施注浆。注浆压力通常由实验测定，且注浆区域的小主应力值要比注浆区域的小主应力高，以保证不透水地层产生连续的浆液脉。这种方法通常用于大坝浇筑质量比较均一的场合。针对兴水库的渗透特性，提出了劈裂注浆方案，共布设 51 个注浆钻孔，且为一排；施工顺序为 3 级，孔径 0.4 米，注浆材料为水泥土泥浆。

2.4 比选结果分析

针对行库坝-地基接触部位渗漏严重、渗透性能不佳、稳定性不佳以及土壤渗透系数相对较高等特点，提出了利用帷幕注浆的方法进行防渗处理。对于大坝的渗漏，参考上面提出的 3 种不同的渗漏施工方案，从工程投资、施工和效果三个方面进行了全面的比较，比较的结果如表 1 所示。

表 1 坝体防渗施工技术方案的比选

项目	高压喷射灌浆(方案一)	塑性混凝土防渗墙(方案二)	坝体劈裂灌浆(方案三)
工程角度	优点：墙体的形状可以控制，耐久性、防渗性、可靠性较好，加固土体的质量高 缺点：墙体之间的接缝可能出现开裂，墙体厚度不均	优点：对地层适应性强，其工作及质量检测方法比较成熟，防渗效果好，处理量可达 $k=10^{-7}cm/s$ ，耐久性好 缺点：施工工艺相对复杂	优点：对变形适应性强，其工作及质量检测方法相对成熟，处理量可达 $k=10^{-6}cm/s$ 缺点：效果不能持久，“旧病复发”
施工角度	优点：施工平台要求较小，施工进度快，设备简单，施工方便，机动灵活 缺点：防渗体施工技术要求较高	优点：施工场地要求较宽，施工方法单一，工效高，施工质量易于控制 缺点：墙体取原时施工容易塌孔	优点：施工设备及工艺简单，工期短 缺点：施工质量难控制，防渗效果难以保证
经济角度	造价约 122 万元	造价较高，约 150 万元	造价低，约 80 万元

3 大坝防渗施工技术要点

3.1 大坝防渗施工内容

坝体的防渗施工是坝体的定位钻孔，注浆材料的配制和输送，注浆的施工和质量的监控；第三部分为渗透介质的检验和评估。首先要按设计的要求，对防渗层的布置及外形进行定位，并选用适当的钻探装备，以保证孔的精度。在此基础上，按工程实际情况及施工工艺要求，选择适宜的注浆材料，用高压泵

注入孔中。注浆时要注意注浆的压力、注水量，以保证注浆的连续性、紧密性。在进行施工期间，要对每一项指标进行实时监控，并进行相应的数据分析，以供日后进行评价与修正。

3.2 高压喷射灌浆施工

针对大坝的渗漏问题，提出了一种新型的高强度旋喷注浆工艺。

3.2.1 钻孔

针对库坝回填土为中等至强烈渗透特性，为确保工程顺利开展，必须根据工程实际情况，根据设计规程对其进行放测，从而确定出孔位置；位置偏差应控制在 20 毫米以内，应采用桩子或钢条加以加固，并做好编号记号。安装完毕后，要把钻机移到指定的地方，保证机身水平和竖轴垂直，保证钻机的轴与孔位的准确对齐，并保证底座的平滑和稳固，孔径一般设置在 110 毫米到 150 毫米；其对中偏差小于 20 毫米。在使用旋转钻时，应使用泥浆护壁，钻孔直径应达到 130 毫米以上，同时要经常监控机体的垂直度及钻具的垂直度；为了确保钻孔倾角小于 1%，必须对其进行校正。

3.2.2 下喷射管

当钻削工作通过后，立即开始降管，把高喷小车移动到指定的地方，保证台车底座的平面；确保喷头与井眼的轴线与孔位的竖直方向一致。台车调试完毕后，要对管道的畅通和仪器的运转状况进行检验，确认没有问题后才能进行注水管的下放。

在降注时，要保证导管竖直，并使导管能在升降时仍能活动，以免堵塞导管；期望能到达预先确定的设计深度。下井工作结束后，根据钻孔的轴心位置，进行喷浆方向的微调，并进行精密的定位检查；将高压喷雾装置开机，调节到最佳工况后，即可进行喷雾工作。

3.2.3 喷射作业

当注浆导管下放至预定的深度后，启动注浆和气体静喷，当注浆排出孔后，由下至上按设计起浆速率进行注浆工作；当混凝土浇筑完毕，混凝土浇筑完毕，混凝土浇筑完毕，即构成了一道隔离墙。

3.2.4 回灌封孔

高压旋喷注浆施工是地下建筑施工过程中必不可少的一道工序。但此一工程绝非一朝一夕之功，在注浆结束后，其后期治理也是不容忽视的。特别是补充作业的适时进行，是保证施工质量的重要一环。

旋喷注浆施工完成后，应及时补充注浆，并将注浆浓度适当的水泥浆充填注浆。注浆是一种有效的加固措施，既可以避免由于钻孔中产生的水压不平衡而引起土体坍塌，又可以保证注浆与周边土体之间能够保持良好的粘结状态。在此期间，必须不断监测井底水位，直到水位停止降低，才能保证基础整体的稳定性。

回灌操作是否严格、是否及时,将直接关系到整个项目的长远安全性。已有研究表明,充填量不当会使基础沉降速率增大30%,进而对建筑结构的稳定产生不利影响。所以,对建筑工人来说,要有较强的业务素质,要有较强的责任心,要有较强的责任心,要严格遵守设计规范。

注水井的堵塞也是必不可少的。为避免地下水的反常渗流及对基础的进一步干扰,需要对其进行专门的密封处理。在注浆过程中,注浆工作必须完成,否则不能认为注浆是完全和成功的。

3.3 帷幕灌浆施工

通过对库区现场调查,确定了坝基区内各层的分布情况,确定了该地区主要发育有:洪积-粉质粘土层②-1,砾层②-2,残积土③,及全强风化粉粘土层④-1,④-2。特别地,砂砾层表现为分层构造,中度到重度渗透,容易发生渗透。为此,本项目拟对强风化层进行帷幕注浆加固,以提高大坝基础的抗渗性能。在进行帷幕注浆时,必须按照已制定的施工规程进行。

3.3.1 制浆材料选取

该项目的浆液以水、水泥为主。在选择胶凝材料方面,作为止水帷幕注浆所用的水泥,其强度应达到42.5以上,并且所用的水泥的粒度应达到80微米方孔筛,并且其筛容应在5%以内,所用的水泥应满足一定的品质,而不能采用潮湿、结块或存放时间过长的水泥。此外,在注浆作业期间,还要取样检测所用的水泥,以保证制浆物料的质量合格。同时,搅拌水的水温不得高于40℃,并满足工程用水的需要。

3.3.2 钻孔施工

止水帷幕施工宜采用旋挖钻,采用金刚钻或硬质合金钻,孔深与设计孔之差不得超过10厘米,孔深不得低于设计孔深20米;该孔口段具有91毫米的孔径和76毫米的终端孔。在施工中,各幕孔测斜均需按设计要求进行,若出现偏斜超出规范要求,则各孔间的误差不能大于20毫米。需要进行纠正,如纠正偏差等。当帷幕注浆工作完成,检查无误后,即可进行注浆,通常可用大流量的清水进行冲刷,其冲刷后的孔(节)底残余物不得超过20厘米。另外,在注浆完毕后,还需要对有裂缝的孔使用加压水进行清洗,清洗的压力可以是注浆压力的80%,如果在1MPa以上,则可以选择1MPa,清洗的时间到出水变清20分钟为止;待注浆孔破口清除后,才能开始注浆。

3.3.3 压水试验

压水试验是一种常见的帷幕注浆方法,其目的是在注浆前进行压水实验,以确定坝基潜水位及岩石渗透性。针对帷幕注浆采取自下而上分段注浆、孔口闭合注浆的特点,根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL/T621-2020)中的有关要求,通过连续加大注水管内的水压来进行压水实验,测试压力为80%,超过1MPa时,取1MPa,加压20min;测量结果用渗透系数来反映渗透系数。压力测试结束后,如果没有渗漏,就表示压力测试通过,可以进行下一步的施工。

3.3.4 灌浆施工

注浆是工程中最重要的一道工序,必须在压力测试通过后尽快实施。注浆原料为水泥浆,在注浆过程中,要结合工程实际情况适当调节掺入比例,以保证注浆的流动性能和充灌性。注浆时要保证注浆孔内的水压平稳,以克服地下水对注浆的渗透阻力,保证注浆在注浆孔内的分布均匀。在注浆施工中,应对注浆压力、流量和返浆状态进行实时监控和记录,从而对注浆技术进行适时的调整。

注浆施工采取分级递阶注浆方式,为避免注浆不完全固化,出现返浆现象,需等一段注浆完毕并经一定时期后再注浆。在注浆过程中,注浆压力急剧降低或注水量急剧增大,必须停止注浆,并对其产生的影响进行了探讨,并提出了增大注浆浓度和延长注浆时间的对策。注浆达到设计值后,即完成最后一步注浆,并维持一段稳定的压力条件,以保证其连续、致密。

3.3.5 质量控制与检查

帷幕注浆的好坏对大坝的防渗效果有很大的作用。为保证注浆的质量,应对各工艺条件进行严格的监控。注浆完毕后,应对钻孔返浆、钻孔周围岩石裂隙及地下水位的动态监测。采用钻孔取芯、声波测试等手段,评价帷幕的连续性、均匀性及强度,验证帷幕注浆的质量是否达到了设计要求。

3.3.6 封孔与验收

在帷幕注浆完毕后,对注浆孔进行密封,所用密封剂必须与注浆体有较好的相容性,以确保注浆致密、稳定。注浆施工采用分期施工,各施工阶段的封孔厚度要按设计的规定进行,以保证施工质量。注浆完毕后,应对注浆记录的完整性、封孔质量、防渗效果等进行检查,各项检查都符合规定,方可认为是成功的。

4 总结

因此,对大坝坝体进行防渗加固是一项非常有意义的工作。灌浆过程中,灌浆材料的选择和灌浆后的密封和检验是影响整个施工质量的关键。通过严格的施工管理、精细的参数管理和科学的检测,可以保证帷幕注浆可以抑制地下水流的正常渗流,加强大坝的稳定,提升大坝的安全运行。所以,只要每个环节都做好,就可以认为是一项彻底的、圆满的工作。

[参考文献]

- [1]程炼辉.水库大坝灌浆施工技术方法与防渗加固处理研究[J].陕西水利,2022(1):191-192.
- [2]沈宗奎.两种防渗措施在瓦山水库除险加固工程中的设计应用[J].治淮,2020(1):58-60.
- [3]吴春荣.磨刀水水库大坝除险加固设计分析[J].水利科技与经济,2022(05):94-197.
- [4]符朝仁.宝鸭塘水库大坝渗流计算与稳定分析[J].陕西水利,2022(10):148-150.