

固结灌浆技术在水库大坝基础处理中的应用

龚展宏

(中国水利水电第八工程局有限公司 湖南 长沙 410000)

【摘要】水库大坝基础处理中,固结灌浆是一种常见技术。本文首先针对固结灌浆技术发展情况进行了简要分析,其后具体探讨了水库大坝基础处理中固结灌浆技术方法,最后围绕工程案例详细分析了固结灌浆技术在水库大坝基础处理中的应用情况,以期可供参考。

【关键词】固结灌浆;水库大坝;基础处理;工程案例

一、固结灌浆技术发展概述

固结灌浆施工技术至今已经有超过200年的历史了,法国工程师的研发给固结灌浆技术在工程实践中的应用开辟了先河。随后,英国的阿里因普瑞贝矿工程中,第一次使用了以水泥材料为主的灌浆料,实现了堵水补漏。随着硅酸盐水泥的不断推广和应用,水泥材料逐步成为固结灌浆施工的最主要的灌浆料。约20世纪20年代左右,通过自动压力表对固结灌浆压力记录,实现了固结灌浆压力和渗透性之间的初步规律摸索,为进一步完善施工技术提供了指导。荷兰工程师E. J. Joosten等,第一次验证了化学固结灌浆技术可靠性,施工过程中主要运用了水玻璃和CaCl₂等材料,连续两次进行了注浆,达到了预期的效果。固结灌浆技术的改善是基于美国胡佛水坝帷幕施工项目进行的,其最初主要使用目的在于改善由于基坑开挖造成的开裂问题,主要运用固结灌浆材料进行加固处理。依据该项目实践案例的顺利实施,成功实现了工程项目灌浆设计和施工方面相关标准的制定。20世纪40年代左右,固结灌浆技术得以顺利研发和实施,得到了迅速的发展和进步,不同种类的固结灌浆材料不断研发,特别是水泥类和化学灌浆类材料的出现,极大程度地增加了固结灌浆技术使用的范围,21世纪以后,世界各国全面研发新技术和新材料,使得固结灌浆材料及其施工技术有了前所未有的发展和进步,使其应用的范畴也越来越广泛。

坝基固结灌浆技术当前主要用在大型混凝土重力堤坝、大型拱坝等处,灌浆可以有效加固坝体的混凝土面板和基层岩体等,达到防渗漏、防开裂的目的。坝基固结灌浆施工目标可以划分为三部分:

(1) 固结灌浆能够用于提升岩体之中软弱岩体的密实程度,提升岩体的变形模量,大幅度降低坝基

在上部荷载作用下的变形和不均匀下沉幅度等;

(2) 固结灌浆能够解决岩体在爆破作用、施工荷载作用下造成的开裂和应力松弛等问题,提升岩体的整体性。(3) 通过岩体的固结灌浆施工,能够有效提升岩体的抗渗性能,国内外经常将固结灌浆技术应用到工程中对防水要求较高的部位,比如深基坑止水帷幕施工、堤坝基础抗渗施工等方面。本文主要围绕固结灌浆技术在水库大坝基础处理中的应用展开分析。

二、水库大坝基础处理中固结灌浆技术方法

(一) 固结灌浆方式

根据固结灌浆技术特点,固结灌浆施工主要可以划分为有盖重灌浆施工与无盖重灌浆施工。为提升被加固坝基的固结和加固效果,通常运用固结灌浆材料对开裂坝体和坝基进行加固处理,达到了前所未有的效果。一般固结灌浆施工主要目的是在浇筑结构一定厚度之后,采用固结灌浆施工达到提升强度、抗渗性能等目标。通常混凝土盖重的厚度要求控制在3m以上,当混凝土强度达到设计值的50%之后方可使用固结灌浆技术进行处理。但由于部分大坝结构的坝地质条件比较复杂多变,其所在的地质条件和施工环境方面的限制,导致大坝基础施工很难达到盖重混凝土施工的条件,导致无法在有盖重条件下运用固结灌浆技术进行坝基处理。因此,在不同地质、施工等条件下,运用固结灌浆技术进行坝基处理之前,必须全面考察项目所在地的地质条件、水文条件、设计和施工条件等,提升固结灌浆施工方案和现场的协调性,具体选择要点如下:

(1) 大量项目选用混凝土盖重的固结灌浆施工方法。比如我国的二滩水电站施工项目,其拱坝河床的6#~22#标段,施工坝基厚度要求控制在4.5m。选用混凝土盖重固结灌浆施工技术,其全孔一次灌

浆的压力要求控制在2.0MPa~5.0MPa之间。此外,国内的龙滩水电站项目的大坝基础也选用混凝土盖重固结灌浆技术,该项目施工过程中,需要穿插于不同高程条件下的拱坝混凝土浇筑和间歇,对于地质条件稳定的部分可以选用无盖重灌浆进行处理。

(2) 无混凝土盖重灌浆和引管盖重相结合的灌浆施工方法。在二滩水电站项目的拱坝基础施工过程中,其在陡坡坝标段中1#~5#标段、22#标段和23#等处均选取了无盖重混凝土灌浆技术,灌浆施工方法选用了自下而上的方式,浇筑段的长度为不低于5m,对于无盖重的混凝土现浇和固结灌浆部分,要求控制岩体外露部分3m以下要求采取固结灌浆技术进行施工,3m以上部分可以采取预留灌浆埋设导管的方式,将处于下流的混凝土坝体进行固结处理,处理厚度要求满足固结灌浆施工技术的要求。

(3) 无混凝土盖重固结灌浆施工技术与有混凝土盖重施工技术相结合的方式进行固结处理。该方法应用在拉西瓦水电站项目,该项目施工中边坡坝段采取先施工5m以下的无盖部分,再运用混凝土进行盖重施工5m以上部分,采取两种固结灌浆结合的方式达到经济性和稳定性的处理目标。

(二) 灌浆材料选择

随着建筑材料的迅速研发和推广,国内的固结灌浆材料有了突飞猛进的发展,并逐步转变了固结灌浆仅仅选用单一的硅酸盐水泥灌浆料的方式,比如选用改性水泥灌浆料、超细水泥灌浆料和化学灌浆料等,具体需要按照工程实际项目的特点进行选取,保证大坝基础固结灌浆施工达到预期的目标,通过实践证明,新型固结灌浆材料的引用,有效提升了大坝基础的灌浆固结效果。

对于化学固结灌浆料的选取方面,实际工程中主要用于弥补水泥灌浆材料存在的不足,对于坝基的固结处理技术不断成熟过程中,化学灌浆料的引进成功实现了高性能处理的目标。当前使用的化学灌浆料的主要成分为聚氨酯材料、环氧树脂材料等,主要应用于处理不良地质条件下的岩体,实现固结加固的目标。此外,在黄河龙羊峡水利工程中,化学灌浆固结技术成功用在岩劈裂等不良地质区域,达到了良好的效果。

在固结灌浆材料的工程实践方面,国内水利大坝基础施工重点结合了工程项目的地质情况,选取了组合的固结灌浆施工技术。如,在三峡水利工程建设项目中,固结灌浆技术的应用结合了断裂地质条件、软弱泥沙层地质条件和岩石劈裂层施工区域

等,通过选用环氧固结灌浆材料,实现了0.01mm微细裂隙的处理。基于复合灌浆材料的良好效果,水泥浆灌浆料成功实现了对三峡工程F1096断层、F215断层等复杂断层地质条件下的固结灌浆处理施工。

(三) 固结灌浆施工方法

固结灌浆施工的主要方式包含上行式固结灌浆处理和下行式固结灌浆处理两种。采用上行式固结灌浆施工重点是一次使钻孔达到设计孔的深度要求,随后通过自下而上逐步安装灌浆塞的方式实现固结灌浆处理;对于下行式固结灌浆施工,主要基于自上到下的纯压式固结灌浆或循环式固结灌浆处理;对于灌浆孔的深度在6m以内的,可以选用全孔一次灌浆的施工方法;对于孔深超出6m的较深孔,可以选用分段钻孔与固结灌浆的方式进行固结处理。

对于不同项目的固结灌浆所使用的压力主要依据坝基的岩石条件、工程需求和现场试验段进行试验来确定。固结灌浆过程中,其注浆压力确定的基本要求是保证水工构筑物或建筑物及其周围岩体不出现较大变形情况下进行的,减少对周围环境的影响是固结灌浆的前提。通常条件下,对于有混凝土盖重的灌浆施工的压力通常要求超出无盖重的灌浆施工,岩体地质条件较好部分岩体压力控制通常高于地质条件较差的区域,采用深孔固结灌浆的压力通常会高出浅孔的固结灌浆施工压力。要求提升岩体的变形敏感区域施工时,其注浆控制压力通常要结合变形监测结果进行控制。对于固结灌浆岩体部分的混凝土盖重小的区域,应当控制变形,减少由于固结灌浆导致的盖重混凝土损伤或岩体损伤;对于岩体结构的倾角比较平缓的,可以通过控制固结灌浆压力的方式,对固结灌浆的注入速度及压力进行控制。坝基固结灌浆施工过程中,必须基于实际项目的灌浆试验效果及灌浆抬动状况等进行综合控制,通过调整注浆压力来达到最佳的固结灌浆处理效果。

三、实例分析固结灌浆技术在水库大坝基础处理中的应用

(一) 工程概况

某水电站总装机容量1500MW,属I等水工建筑工程。此水电站采用混凝土双曲拱坝,坝顶高程2102m,坝高155m。拱冠梁顶厚9m,底厚32m。拱坝共设置16条横缝、17个坝段。其中,1~6号、12~17号坝段为挡水坝段,7~11号坝段为泄洪孔口坝段,大坝不设纵缝。拱坝建基面岩体均为花岗闪长

岩,坝基固结灌浆采用无盖重固结灌浆结合混凝土盖重引管灌浆的方式。

(二) 灌浆施工方案

无盖重固结灌浆施工时,优先进行上、下游的边界位置施工,形成相对封闭圈后再进行中间位置的施工。本工程采用分段分序的灌浆方法,具体工序如下:(1)第一段浅表层灌浆施工,形成封闭盖重,改善浅表岩体承压条件;(2)自上而下进行I序孔第二段及以下部分灌浆;(3)I序孔灌浆施工完成后,开展II序孔第二段灌浆,自下而上进行II序孔剩余孔段灌浆;(4)湿磨细水泥进行补强加密灌浆。固结灌浆、加密灌浆结束后,进行引管固结灌浆钻孔、管路安装。上部大坝混凝土浇筑高度达30m后,相应坝段横缝接缝灌浆结束3d后,开展混凝土盖重引管灌浆。

(三) 固结灌浆施工技术要点

1. 施工流程

本工程无盖重固结灌浆施工流程如下:施工准备→孔位放样→抬动观测孔→灌前测试孔→I序孔第一段→II序孔第一段→I序孔第二段及以下段→II序孔第二段及以下段→灌后检查→III序孔施工(不合格补灌,直至灌浆合格)。

无盖重灌浆结合混凝土盖重引管灌浆施工流程如下:施工准备→孔位放样→钻孔→引管预埋→引管灌浆→灌浆检查。

2. 主要灌浆材料与设备

(1)灌浆材料:42.5普通硅酸盐水泥,水泥细度通过80 μm 方孔筛筛余量 $\leq 5\%$ 。I、II序孔采用普通纯水泥浆液,III序孔采用湿磨细水泥浆液。湿磨细水泥浆液采用水灰比为0.5:1的普通纯水泥浆液经GSW-I型湿磨机湿磨三次,达到设计细度要求后,用于灌浆作业。

(2)施工设备:一般灌浆孔选用D7、D9型履带式液压钻机、JH-100潜孔钻,取芯孔选用XY-2型地质钻机;灌浆设备选用3SNS高压灌浆泵;左右岸分别布置集中制浆站,选用ZJ-800制浆机制备0.5:1的纯水泥浆液,选用3SNS高压灌浆泵输送浆液;湿磨机选用GSW-I型,生产能力(0.6:1水泥浆) $> 120\text{L}/\text{min}$,出料最大粒径 $D_{97} < 40\ \mu\text{m}$,满足湿磨细水泥浆液的粒径要求。

3. 灌浆压力与灌浆段长

无盖重固结灌浆最大压力2.0MPa,混凝土盖重引管固结灌浆最大压力1.5MPa,保证灌浆质量与混

凝土、基岩不发生有害抬动,要求基岩累计抬动变形值 $\leq 200\ \mu\text{m}$,混凝土累计抬动变形值 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 。混凝土盖重引管固结灌浆采用循环式,一泵1~3孔进行灌注,引管灌浆按照“从低高程到高高程,从上下游到中间”的原则进行灌注,灌浆过程中严禁任何中断。

4. 浆液级配及浆液变换

无盖重固结灌浆I序孔、II序孔采用普通水泥浆液,水灰比以2:1、1:1、0.8:1、0.5:1进行比较变换;无盖重固结灌浆III序孔、混凝土盖重引管固结灌浆采用湿磨细水泥浆液,水灰比以3:1、2:1、1:1、0.5:1进行比较变换。灌浆期间,灌浆压力或注入率突然出现较大的变化,必须及时查明原因并报告监理单位,采取有效处理措施。

5. 灌浆结束与封孔

灌浆段最大灌浆压力下,注入率 $\leq 1\text{L}/\text{min}$ 后持续灌注30min后,可结束灌浆。采用自上而下分段卡塞灌浆法,全部孔段灌浆结束后,先以0.5:1浆液置换孔内稀浆或是积水,将灌浆塞卡在孔口实施纯压式封孔;封孔压力为最大灌浆压力、0.5:1水泥浆液,封孔持续时间 $\geq 1\text{h}$ 。采用自下而上分段灌浆法施工,封孔时直接在孔口段封闭灌浆;封孔压力为孔口段最大灌浆压力、0.5:1水泥浆液,封孔持续时间 $\geq 1\text{h}$ 。完成封孔后,灌浆孔上部空腔人工回填干硬砂浆并封实。

四、结语

综上所述,固结灌浆是水库大坝地基处理、基础加固的重要方法,在保证大坝安全可靠运行方面发挥着重要作用。固结灌浆技术在水库大坝基础处理中的应用,应根据项目情况合理布置固结灌浆孔、选择灌浆材料、优化施工工艺流程,获得较好的补强效果,保证大坝坝基稳定,为整个水库大坝工程安全可靠运行奠定坚实基础。

参考文献:

- [1]陈俊广.文坑水库砌石拱坝坝基开挖与基础处理[J].黑龙江水利科技,2018,46(07):219-221.
- [2]黄庆豪,侍克斌,毛海涛,王晓菊.固结灌浆深度对丹巴水电站深厚覆盖层坝基中流固耦合的影响[J].水电能源科学,2020,38(05):86-90.
- [3]黄伟,魏鹏程.特高拱坝全坝基无盖重固结灌浆关键技术[J].清华大学学报(自然科学版),2020,60(07):582-588.