

直界水库前坝坡沉陷加固方案设计

王周奇, 马 成

(水发规划设计有限公司, 山东 泰安 271000)

【摘 要】直界水库坝基下伏为寒武系~奥陶系白云质灰岩,岩溶发育,溶沟、溶槽发育的方向与大坝右端断裂引起的次生断裂走向基本一致。在运行过程中发生了危及大坝安全的大坝前坝坡局部沉陷的险情。文章从坝基、坝体工程地质条件及工程管理等方面,对上游坝坡沉陷的原因进行了分析,提出了坝基帷幕灌浆、坝体松散层充填灌浆结合的应急加固方案,取得了显著效果。

【关键词】直界水库;土石坝;坝坡沉陷;帷幕灌浆

【中图分类号】TV697

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-01-0046-04

Front Dam Slope Settlement Reinforcement Scheme Design in Zhijie Reservoir

WANG Zhouqi, MA Cheng

(Planning and Design Co., LTD., Water Resources Development Group, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: Under the dam foundation of Zhijie Reservoir, it is Cambrian ~ Ordovician dolomitic limestone, and the direction of karst development, dissolution channel and dissolution trough development is basically consistent with the secondary fault trend caused by the fault at the right end of the dam. In the course of operation, local subsidence of dam slope in front of dam occurred, which threatened the safety of dam. From the aspects of engineering geological conditions and engineering management of dam foundation and dam body, the paper comprehensively analyzed the causes of subsidence of upstream dam slope, and put forward an emergency reinforcement scheme combining curtain grouting of dam foundation and loose layer filling grouting of dam body, and achieved remarkable results.

Key words: Zhijie reservoir; Earth-rock dam; Dam Slope Sink down; Curtain grouting

直界水库位于泰安市宁阳县东庄镇西直界村东面,控制流域面积 26.0 km²,是一座以防洪为主兼顾农业灌溉、水产养殖等综合效益于一体的中型水库。

2023 年 1 月 12 日下午,水库管理人员在巡查中发现:大坝桩号 0+338 处上游坝坡高程 134.72 m 附近出现沉陷塌坑,近似呈椭圆形,垂直坝轴线长轴方向长 5.0 m 左右,平行坝轴线短轴方向宽 3.0 m 左右,中心最大沉陷深度 21.0 cm 左右,且逐渐发展。根据监测发现:塌坑周边扩展不明显,但是坑中心部位沉降幅度逐渐变大。

据连续性观察:大坝沉陷塌坑部位下游坝脚排水沟,一般情况下存在渗水明流;坝后水厂管井抽水时,渗水明流逐渐消失;管井停止抽水后,渗水明流逐渐恢复;该现象从水厂管井建成抽水

后至今,反复出现,已成常态。

1 沉陷原因分析

1.1 坝基地质概况

坝基分布有淤泥质壤土夹砂壤土层,呈软塑状态,该层分布较为连续;坝基残留有细砂层,该层呈中密状态。坝基松散层下伏的寒武系~奥陶系白云质灰岩岩溶发育,表现为溶沟、溶槽和溶洞,溶沟、溶槽发育的方向与大坝右端断裂引起的次生断裂走向基本一致,走向为 50°左右。坝基发育的溶洞有的充填砂砾,有的未被充填。

0+338 断面钻孔揭露的下游坝肩部位下伏基岩内溶洞最大直径达 3.4 m, 尽管该溶洞顶板

收稿日期:2024-08-07

作者简介:王周奇(1976—),男,高级工程师

厚度 0.5 m,但是因裂隙和断裂的沟通,仍与坝基表层溶沟、溶槽存在较强的水力联系,钻孔时钻孔内一直漏浆说明其水力联系密切。当溶沟、溶槽和溶洞发育比较充分,地下水渗流比降较大时,坝基壤土和砂砾石层存在接触流失渗透破坏的可能。坝基岩体压水试验成果见表 1。

表 1 坝基岩体压水试验成果表

孔号	试段/m	压水段长/ m	流量/ (L·min ⁻¹)	压力/ MPa	透水率/ Lu
zk1	122.02~116.92	5.1	81.27	0.05	332
	115.92~109.42	6.5	104	0.2	80

1.2 坝后水厂管井影响

坝后在距离坝脚 67 m、185 m、240 m 处分别建有 1 号、2 号和 3 号 3 个供水管井。

根据 2023 年 1 月 19 日至 2023 年 1 月 27 日的运行资料,单独启动距离坝脚最近的一个水井时,管井动水位 17.0 m 左右,地下水位埋深 1.0 m,1 号水井的单井出水量为 96 m³/h,降深 16.0 m。水井取水的含水层属于潜水含水层。1 号水井的影响半径采用下列公式估算:

$$R=2S\sqrt{HK} \tag{1}$$

式中:R 为影响半径,m;S 为抽水井降深,m;H 为含水层厚度,m;根据勘探资料揭示裂隙发育程度按照 20 m 计算;K 为含水层渗透系数,根据压水试验计算,综合加权平均值,取 2.17 m/d。

经计算,R=210.81 m。

实测 1 号水井距离坝坡沉陷部位的水平距离约 150.0 m,因此,根据估算的影响半径,沉陷部位处于 1 号供水管井的降落漏斗内,如果 3 个管井同时开启,由于井群的影响,影响半径还要继续加大。且直界水库坝址处石灰岩含水层是“平面上呈条带状、垂向上呈倾斜状、且厚薄不一的非均质含水层”,其实际影响半径比按照理论公式计算的还要大许多。

1.3 沉陷原因分析

1)水库大坝建设时清基不彻底,局部存在砂层透镜体,下伏岩体溶沟、溶槽以及溶洞发育比较充分。加固时的换填土料以下原坝体本身存在软弱层,坝体夹有较多的淤泥质壤土,其天然稠度呈软塑状态,甚至局部呈流塑状态,具备了坝体后期差异沉降条件。

2)根据相关规定,禁止在大坝管理和保护范

围内进行爆破、打井、采石、采矿、挖沙、取土、修筑等危害大坝安全的活动。水库大坝保护范围中型水库主坝管理范围的相连地域以外 200 m;大、中型水库副坝管理范围的相连地域以外 150 m。而泰安市恒通水务有限公司在距离坝脚 67 m、185 m、240 m 处分别建有 1 号、2 号和 3 号 3 个供水管井,其中 2 眼机井正处在上述保护范围以内。

3)直界水库坝后 3 眼机井抽水,使得地下水位大幅度下降,增加了大坝灌浆防渗帷幕前后的渗透压力差,使得坝体、坝基以及灌浆防渗帷幕中的实际渗透坡降远远大于土体的临界水力坡降,造成坝体、坝基、灌浆防渗帷幕以及下伏岩体溶沟、溶槽以及溶洞中的充填物大量流失,形成潜蚀破坏,使得上游坝坡桩号 0+338 处出现局部沉陷现象,危及大坝安全。

通过上述对直界水库大坝前坝坡局部沉陷进行钻孔及实验分析,结果表明,局部沉陷系坝体松散层渗流及下伏岩体溶沟、溶槽以及溶洞发育比较充分加上管理范围内机井抽水加剧所致。

2 应急加固方案

通过分析,拟采取对沉陷部位的坝体、坝基松散层进行充填灌浆与坝基下伏岩体进行防渗帷幕灌浆相结合的防渗处理方案,并对坝坡进行恢复。

2.1 灌浆方案设计

处理方案灌浆范围以桩号 0+338 上游坝坡沉陷部位中心为圆心,分别以 1.5 m、3.0 m 和 4.5 m 为半径,沿各圆的圆周方向圆形布置 3 排钻孔(圆心灌浆孔未计入排列),即排距 1.5 m,孔距 2.0 m,梅花形布置;帷幕灌浆和充填灌浆共孔。

按设计布置孔位后,灌浆时分序钻进,先疏后密,钻孔要求铅直。帷幕灌浆和充填灌浆共孔灌浆施工时,按两序法施工,先完成结合部灌浆,再进行帷幕灌浆,然后利用拔管法自下而上进行松散层的充填灌浆,布孔方式如图 1 所示。

2.2 灌浆材料选择

松散覆盖层灌浆材料应根据地层的组成、透水性、地下水流速、灌浆材料的来源和灌浆目的等条件,选用黏土浆、膨润土浆或掺加材料的黏土浆或膨润土浆。综合确定浆液采用水泥膨润土浆,岩体上部充填灌浆水泥掺入比 18%,下部岩

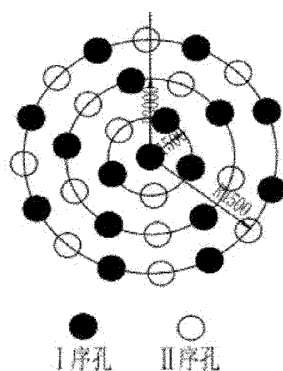


图 1 布孔方式

帷幕灌浆水泥掺入比 70%;水玻璃均为 0.5%。

水泥品种可采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥,水泥细度要求通过 80 μm 方孔筛的筛余量不大于 5%。

水玻璃模数 $M=2.8\sim 3.1$,波美度 40 度。拌制浆液用水应符合 JGJ63—2006 第 3.1.1 条的规定,拌浆水温不高于 40 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 灌浆设备选择

选用的钻孔设备为液压回转钻进,钻进能力满足 100 m。钻机配备 $\phi 127$ 套管、 $\phi 89$ 钻具、 $\phi 75$ 钻具以及相应金刚石钻头。

制浆搅拌机和储浆搅拌机的技术性能应与所搅拌浆液的类型、特性相适应,保证能均匀、连续地拌制或搅动浆液。

灌浆泵的技术性能应与所灌注的浆液类型、特性相适应,可选用柱塞泵、活塞泵、螺杆泵等。灌浆泵的额定工作压力应大于最大灌浆压力的 1.5 倍,排浆量能满足灌浆最大注入率的要求,柱塞泵、活塞泵输出浆液压力波动范围宜小于灌浆压力的 20%,出浆口管路上宜配置空气储能器。

3 充填灌浆

充填灌浆是利用压力浆液充填大坝土体内的孔隙及裂缝,同时对软土地基附加应力场主要影响范围内的渗漏进行截渗。

3.1 施工准备

施工前,首先以坝坡塌陷中心部位为基准,将工程涉及需要拆除的护坡石编号拆除,利用吊车将其吊至灌浆平台以外的坝坡处分散平放,不得集中堆砌放置,以免增加坝坡荷载较多,造成滑坡;然后剥离护坡垫层,护坡垫层应用编织袋装入,然后运至坝后临时堆放。

前坝坡护坡拆除后,即可填筑施工平台,施工平台填筑不足的土料采用外购壤土。施工平台顶高程 134.00 m,周边可用编制袋装土防护或打入木桩防护。

灌浆所用浆液应先期进行试验,试验内容包括:容重、黏度、稳定性、胶体率及失水量等。

3.2 钻孔

充填灌浆钻孔孔径设计为 $\phi 89$ mm,松散层深度平均 14.0 m 左右,其中坝体平均钻深 12.0 m,坝基平均钻深 2.0 m。

采用干法钻至岩石面以下 0.2 m,停钻后下入带有扩孔钻头的 $\phi 127$ 套管,套管宜采用静压法打入坝体内,其应与孔壁结合紧密、封闭,防止灌浆时浆液沿孔壁向上冒出,灌浆孔的孔口处应做好保护。当遇有碎石,使得压入困难时,适当回转钻具扩孔钻头后压入,阻力消除后停止回转,采用静压压入。

3.3 灌浆

松散层充填灌浆和坝基下伏岩体帷幕灌浆共孔布置,充填灌浆采用拔管灌浆法中的套管灌浆方式进行,待帷幕灌浆完成后再自下而上起拔套管进行充填灌浆。充填灌浆方法采用纯压式灌浆,孔口压力不大于 0.05 MPa。

充填灌浆段分为两段(具体长度根据钻孔部位适当调整),其中上部灌浆段长度为 7.0 m 左右,下段灌浆长度 6.2 m 左右。灌注下面第一段时,先将套管拔至该段顶部,然后再进行灌浆。待第一段完成后,将套管拔至第二段的顶部,即深度 1.0 m 左右进行第二灌浆段的灌浆,直至该灌浆孔全部结束。每个灌浆孔采用自下而上的分段灌浆,上段为 1.0~8.0 m,下段为 8.0~孔底(约为 14.2 m,入岩 0.2 m)。

充填灌浆应先灌注外围灌浆孔,然后向内逐步推进,最后灌注中心部位灌浆孔。各段灌浆宜一次灌注至设计要求,遇到吃浆较大的钻孔时,可以多次灌注。

4 帷幕灌浆

4.1 施工准备

依据本次坝坡沉陷部位钻孔揭示的地质资料,并参考了宁阳县直界水库除险加固帷幕灌浆施工情况,初步拟定了帷幕灌浆设计指标。

灌浆孔工序:钻孔→钻孔冲洗→压水试验→灌浆→终孔→封孔→质量检查。

4.2 钻孔

依据《宁阳县直界水库工程地质勘察报告》大坝坝基钻孔及溢洪道钻孔压(注)水试验成果和《宁阳县直界水库坝基灌浆试验报告》并结合《宁阳县直界水库大坝前坝坡沉陷成因综合勘探分析研究报告》可知:桩号 0+338 处段坝基灰岩溶隙、溶沟、溶槽和溶洞发育强烈,除险加固前,其透水性为 720~20 Lu,基岩面以下岩石的透水性随深度的增加呈现递减的趋势,在深度 25 m 以下其透水性小于 30 Lu,该深度的渗透系数在 5×10^{-4} cm/s 左右,虽未达到相对不透水层的要求,但透水性已经较小。

帷幕灌浆孔与坝体充填灌浆孔共用钻孔,两序施工,梅花型布孔,钻孔深入基岩面 25 m。

本次帷幕灌浆段上部岩体溶沟、溶槽和溶洞发育,钻孔钻至设计深度后不要求进行裂隙介质的冲洗,直接灌注即可,但在钻孔返水段宜做压水试验,不返水段可以不进行压水试验。

4.3 灌浆方法和灌浆方式

灌浆方法采用自上而下灌浆法,采用纯压灌浆。首先进行结合部的灌浆,灌浆段长度 2.0~3.0 m,具体以钻进情况确定。结合部灌浆段一般不超过 3.0 m,待凝时间不超过 24 h。

灌浆塞安放位置应准确,封闭严密。如预定位置安设困难时,可移动位置重新安设。岩体与

坝基松散层结合部段灌浆,灌浆塞安设在套管内,以下灌浆段应安设在灌浆段段底以上 0.5 m 处。

4.4 灌浆压力和浆液变换

1)结合部最大灌浆压力设计为 0.1~0.2 MPa,坝基岩体帷幕灌浆压力可以采用 0.5~1.0 MPa,灌浆压力的提升可采用分级升压法或一次升压法,升压过程中应保持灌浆压力与注入率相适应,防止岩体变形。

2)帷幕灌浆主要对溶沟、溶槽充填形成帷幕,采用稳定稠浆进行灌注,采用单级水灰比。

5 结 语

通过对直界水库前坝坡沉陷部位的坝体、坝基松散层进行充填灌浆与坝基下伏岩体进行防渗帷幕灌浆相结合的加固处理方案,有效地解决了直界水库大坝前坝坡的沉陷问题,为直界水库增容方案提供了安全保证。

参考文献

- [1] 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范 (SL/T62-2020)[S].北京:中国水利水电出版社,2020(6).
- [2] 土坝灌浆施工技术规范(SL564-2014)[S].北京:中国水利水电出版社,2014(8).
- [3] 刘锐,胡小龙,杨光,等.徐家河水库主坝下游坡局部沉陷成因分析及处理措施[J].水利水电快报,2009,30(8):31-33.
- [4] 靳翠红.累子水库坝坡塌陷原因分析及处理[J].河北水利,2015(6):34-34,47.

(责任编辑 崔春梅)

(上接第 45 页)效益。

2.6 规范项目运营管理关

移民项目建设是基础,发挥效益是目的,搞好管理是关键。为切实发挥移民项目效益,对建成的饮水安全、交通道路、农田水利配套设施、种植业、二、三产业等后扶项目,及时进行移交,村集体拥有项目的产权、使用权、管理权、收益权。

3 取得的成效

目前,章丘区主要以区级移民管理部门为主体组织水库移民后期扶持项目的实施,移民镇街、村协助配合,并全程参与项目建设。自 2006 年实施移民项目扶持以来,累计发放直补

资金 8 万余人次、直补资金近 4 800 万元;全区共实施大小移民工程项目近 200 个,项目覆盖所有移民村,投资超 1 亿元。

通过水库移民后期扶持项目的实施,达到了“道路畅通、河水清澈、宅旁绿化、房屋整洁、环境优美”的新效果,推进了人居环境整治,着力打造了一批宜居宜业的美丽移民村。因地制宜发展特色产业项目,加强了移民村增收的持续“造血”功能,实现移民增收、企业增效、村集体经济的发展,使水库移民后期扶持项目发挥了应有的效能。目前,章丘区移民能够安居乐业,充分享受到了党的扶持政策带来的幸福生活。

(责任编辑 赵其芬)