

沙坡头水利枢纽复杂地质条件下的帷幕缺陷处理经验分析

白玉龙

(宁夏沙坡头水利枢纽有限责任公司,宁夏 银川 750001)

【摘要】 坝基处理是修建大坝的关键,处理不当会留下工程缺陷,甚至隐患。针对沙坡头水利枢纽泄洪闸及南干电站坝段帷幕缺陷问题进行了四次帷幕补强处理,并对其经验、成果进行分析,探讨在泥岩、砂岩、软岩等复杂地质条件下,如何合理制定帷幕灌浆施工方案,达到帷幕缺陷处理的预期效果,解决大坝帷幕灌浆隐患。研究结论可为其他工程提供借鉴。

【关键词】 水利枢纽;软基岩;帷幕缺陷;补强灌浆;处理经验

中图分类号: TV543+.5

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)04-067-05

Analysis on curtain defect processing experience under complex geological conditions of Shapotou Key Water Control Project

BAI Yulong

(Ningxia Shapotou Key Water Control Project Co., Ltd., Yinchuan 750001, China)

Abstract: Dam foundation treatment is the key to build a dam, and engineering defects and even hidden danger will be left due to improper treatment. Curtain reinforcement treatment is carried out for four times mainly aiming at curtain defect problems in Shapotou key water control project sluice and Nangan power station dam section. Experience and results are analyzed for discussing how to rationally formulate curtain grouting construction plan under mudstone, sandstone, soft rock and other complicated geological conditions, thereby reaching curtain defect treatment anticipated effect, solving dam curtain grouting hidden danger. The research conclusions can provide reference for other projects.

Key words: key water control project; soft base rock; curtain defect; strengthening grouting; treatment experience

1 工程概述

沙坡头水利枢纽位于宁夏回族自治区中卫县境内的黄河干流上,距自治区首府银川市 200km,是一座以灌溉、发电为主的大(2)型综合性水利工程,水库总库容 0.26 亿 m^3 ,灌溉面积 87.7 万亩,总装机容量 120.3MW,最大坝高 37.8m。枢纽建筑物从左至右依次为土石副坝、北干渠渠首电站、河床机组电站、隔墩

坝、泄洪闸、南干渠渠首电站。设计洪水标准 50 年一遇,相应流量 $6550m^3/s$,校核洪水标准 500 年一遇,相应流量 $7480m^3/s$ 。

2 泄洪闸及南干电站坝段地质构造

6 号泄洪闸坝段和南干电站位于枢纽右侧桩号(坝右 0+119.0~坝右 0+175.75m)段,基础岩体主要由砂岩、炭质页岩和少量泥质灰岩、灰岩、泥质粉砂岩、

砂岩等组成,并夹有石膏、铁明矾集中带。

6号泄洪闸及南干电站坝段靖远组的粉砂质泥岩、砂岩裂隙中,裂隙填充型石膏发育较普遍,厚度多在1~3mm。砂岩与泥岩接触带处,有质地纯的石膏发育,最大厚度可达10~30mm。另外,在岩体中零星分布有团块状原生石膏,最大块径10~40mm。

南干电站南侧边坡有易溶于水、集中分布的铁明矾条带,呈顺层发育特征,沿坝轴线分布于桩号坝右0+178m附近,高程1240.00~1241.00m处。铁明矾的溶蚀,一方面会破坏岩体结构降低岩体密度和强度,另一方面溶蚀形成渗漏通道会产生强化化学潜蚀作用。

3 泄洪闸及南干电站坝段帷幕缺陷问题的出现

6号泄洪闸及南干电站坝段位于枢纽右岸,坝基上游基础灌浆廊道内设有防渗帷幕和排水孔。2003年11月枢纽泄洪闸坝段坝基防渗帷幕和排水孔施工过程中,发现已钻排水管孔口有涌水。2003年12月26日,围堰破堰基坑充水过流后,随过闸水位上升局部排水孔排水量迅速增加,且带有大量析出物,排水量大的排水孔主要集中在6号泄洪闸、南干电站坝位置,总排水量192.6L/min。

4 历次帷幕灌浆处理措施及处理情况

4.1 第一次帷幕缺陷处理(普通硅酸盐水泥灌浆)

4.1.1 帷幕处理措施

处理时间为2004年2月—2004年4月。

在涌水量大的部位,沿原主帷幕轴线增加7个间距2m的补强灌浆孔;下游6个副帷幕孔重新进行扫孔、灌浆补强;灌浆区域的9个排水孔进行封堵、重造,孔深入基岩8~10m。

工程量:灌浆段长274.5m,注入量15.06t,单位注入量54.85kg/m。

4.1.2 施工时出现的特殊情况

部分灌浆孔与其他灌浆孔、排水孔出现串浆情况;个别孔涌水较大,采用屏浆、闭浆和待凝等办法完成灌浆。

4.1.3 帷幕处理效果

a. 排水量变化情况。副帷幕灌浆结束后,该坝段排水孔排水量降至63.8L/min,流量明显减少,但相邻两侧的排水孔均表现出流量增大的变化趋势。主帷幕灌浆结束后,该区域仅有3个排水孔出水,排水孔总排水量69L/min。至2004年9月月底随着水库水位的升高,出水排水孔逐渐增多,该坝段总排水量达到137L/min。

b. 水质变化情况。第一次帷幕灌浆处理后水质改变效果不明显:6号泄洪闸及南干电站坝段排水孔排水中 SO_4^{2-} 仍然有上升的趋势,各水样含量均达到3000mg/L以上;各孔水质pH值均小于5,呈酸性;矿化度虽与灌浆前相比变化不大,但较建坝前的矿化度有明显升高。

4.1.4 灌浆结论

库水位尚未蓄至设计水位,坝基排水部位相对集中,且副帷幕与排水孔之间、排水孔与排水孔之间相互贯通。库水位蓄至1239.38m后,排水影响范围向两侧扩散、排水量增大。从水质分析结果看,右岸地下水呈酸性、 SO_4^{2-} 含量较高、矿化度含量较高,对混凝土存在腐蚀性,基岩中已有可溶盐已开始溶出。

4.2 第二次帷幕缺陷处理(普通硅酸盐水泥灌浆)

4.2.1 帷幕处理措施

处理时间为2004年9月—2004年3月。

沿该坝段下游排副帷幕轴线,以南干电站左侧为中心,向两侧延伸各共布置15个副帷幕加密孔,间隔2m,孔深入基岩20m;灌浆区域的12个排水孔进行封堵、重造,孔深入基岩8~10m。

工程量:灌浆段长300m,注入量18.5t,单位注入量61.67kg/m。

4.2.2 施工时出现的特殊状况

副帷幕个别孔在灌浆过程中与其邻近灌浆孔、排水孔、扬压力孔相互串浆;施工中个别孔16.1m~22.1m段在灌注过程中长时间不能结束,吸浆量大。

4.2.3 帷幕处理效果

a. 坝基排水量。灌浆前帷幕缺陷坝段排水孔排

水量约 130L/min 左右,第二次灌浆结束后,该坝段排水孔排水量降至 60~70L/min 区间。虽然排水总量减小明显,但与砂岩段对应位置的排水孔较灌浆前流量增大明显。

b. 水质分析。第二次灌浆补强结束后,硫酸盐离子含量下降不明显,仍维持在 766~2660mg/L 腐蚀性区间;尽管 pH 值有所上升,但右岸坝基中仍存在可溶岩成分以及 pH 值为 4~5 的酸性水,对混凝土存在腐蚀作用;矿化度含量有所降低。

c. 坝基扬压力。灌浆期间该坝的扬压力基本稳定,无明显规律性变化,各孔扬压力基本都维持在 0.01~0.025MPa 区间。第二次灌浆处理结束后,6 号泄洪闸左侧(U2-6)扬压力值呈持续上升发展,并超过了设计控制值。

d. 坝基排水析出物监测。析出水水质化学成分、析出不溶颗粒物的主要化学成分,与砂岩岩体夹层内存在的易溶岩和中溶岩石膏、铁明矾、硫酸亚铁的化学成分基本一致。

4.2.4 灌浆结论

第二次灌浆结束后,坝基排水孔排水量得到了有效控制,但仍有部分排水孔涌水量大且有固体颗粒析出,析出物成分与基岩中石膏、铁明矾的化学成分基本一致,说明坝基岩体内的可溶性物质仍然受渗漏水的溶蚀并被带出。6 号泄洪闸右侧(U2-6)扬压力值持续上升至 0.168MPa,超过设计 0.146MPa 控制值。

4.3 第三次帷幕缺陷处理(普通硅酸盐水泥灌浆)

4.3.1 帷幕处理措施

处理时间为 2009 年 3 月—2009 年 6 月。

帷幕缺陷坝段的排水孔进行重造(共 33 孔),为改善可溶性物质被渗漏水溶蚀带出的状况,排水孔孔深调整为入岩 4~6m;扬压力观测孔封堵、重造,同时在 6 号泄洪闸、南干电站坝段分别增设 1 个人工扬压观测孔;坝右 0+123.75~0+175.0 坝段的上游侧主帷幕重新灌注,共计 26 孔(主帷幕孔入基岩深 15~42.6m);坝右 0+123.75~0+175.0 坝段的下游侧副帷幕重新灌注,共计 24 孔(副帷幕孔入基岩深 10~26m)。

工程量:主帷幕灌浆段长 657.69m,注入量

165.27t,单位注入量 88.55kg/m,单孔最大灌浆注入量 38.68t;副帷幕灌浆段长 444.4m,注入量 39.35t,单位注入量 61.67kg/m,单孔最大灌浆注入量 10.85t。

4.3.2 施工中遇到的特殊情况

浅层 4~10m 施灌时,个别透水率大的孔吸浆量极小,至 10m 以下位置灌浆量逐渐趋于正常;6 号泄洪闸最右侧位置钻孔至 10m,涌水量达到 100L/min,涌水压力 0.15MPa,但最终注灰量仅为 1.809t;南干检修门库坝段出现特大吸浆量,且在造孔时频繁出现塌孔现象;灌浆坝段坝顶出现异常抬升变化。

4.3.3 帷幕处理效果

a. 坝基排水量。第三次灌浆前坝基排水总量基本维持在 60L/min 附近,2009 年 6 月帷幕补强结束后,排水量降至 36L/min,尤其是原排水量较大的几个排水孔,水量减小明显,并且呈持续的减小趋势。

b. 水质分析。矿化度含量基本低于灌浆处理之前,并且均呈逐渐递减的变化趋势;pH 值仍然维持在 4.5~6.0 区间变化;硫酸盐含量除个别孔较之前有升高外,大部分水样硫酸盐含量均有明显减少。

c. 坝基扬压力。第三次帷幕灌浆补强结束后最显著的变化是坝段内的 3 个扬压力孔呈持续增大变化,6 号泄洪闸右侧(U2-6)持续升至 0.212MPa;南干电站左侧(U2-7)由 0.01MPa 升至 0.186MPa;南干电站右侧(U2-8)由 0.007MPa 升至 0.013MPa。

d. 坝体变形分析。该次帷幕补强灌浆于 2009 年 3 月 1 日开始施工,随着廊道排水孔封堵及灌浆压力施加,3 月 22 日施工区域坝顶出现抬升变化,坝顶最右侧 LA-01 测站抬升值最大,由右至左抬升逐渐递减,向左延伸至 LA-07 测站处,垂直位移变化区域正常。

4.3.4 灌浆结论

该次施工中出现“涌水量大、透水率高,而灌浆量低”的现象频繁,说明目前的主要渗漏裂隙属细密型,普通水泥浆液的灌入性差。排水孔入岩深度由 8m 变更为 4m 后排水量减小明显,但坝基排水受到抑制,导致扬压力升高,6 号泄洪闸右、南干电站左甚至超过 146.63kPa 设计允许值,对坝体稳定造成影响。

施工期间出现的坝体抬升变形要表现为南干电站

右侧坝段变形幅度最大,其次为南干电站左侧坝段、6号泄洪闸坝段,分析主要是由于灌浆压力以及灌浆施工期间封堵了排水孔的综合作用所致,坝体位移变形受扬压力影响明显。

4.4 第四次帷幕缺陷处理(磨细水泥+丙烯酸盐化学灌浆)

4.4.1 施工方案分析

处理时间为:2015年6月—2016年1月。

为彻底解决坝基帷幕缺陷问题,对该工程部位的地质特征、灌浆材料选择、灌浆施工中的问题等多方面进行了反复分析。

a. 地质情况分析:该坝段基岩为粉砂质泥岩、砂岩,且填充型石膏发育、铁明矾的集中条带分布,地质条件基本属于易溶于水的软基岩形态。

b. 灌浆情况分析:第一次、第二次灌浆处理出现的主要问题是孔与孔之间相互串浆;第三次灌浆处理出现的主要问题是涌水量大、透水率高的孔注浆量低,甚至不吸浆,说明主要为细密型裂隙渗漏。

c. 灌浆效果分析:扬压力降低导致排水量、析出物增大,排水量降低导致扬压力超标,甚至影响坝体稳定的处理效果说明,要协调好“扬压力、排水量、溶蚀析出”关系的最终办法还是要实现对细密裂隙的封堵。

通过分析确定了“磨细水泥浆液+化学浆液”的施工方案:①针对软基岩透水性强的特征,采用“阻、排并重,以阻为主”的补强措施;②在上游排用磨细水泥+化学浆液对大渗漏裂隙及可能存在的溶蚀空腔进行补强;③在下游排用化学浆液对细密渗漏裂隙进行补强;④排水孔封堵采取“边灌浆边封堵、随串浆随封堵”方式,同时排水孔入岩深度恢复至8~10m形成有效泄压。

4.4.2 帷幕施工内容

上游排主帷幕采用磨细水泥+丙烯酸盐浆液重新灌浆;下游排副帷幕采用丙烯酸盐化学浆液重新灌浆;重造排水孔,重造扬压力观测孔,并增设两个人工扬压力比测孔。

主帷幕工程量:水泥灌浆段长833.23m,水泥注入量14.37t,水泥浆液单位注浆量17.24kg/m,临时调整

为丙烯酸盐灌浆段长88.5m,丙烯酸盐注入量6.2t,丙烯酸盐单位注入量70.06kg/m。

副帷幕工程量:丙烯酸盐灌浆段长671.3m,丙烯酸盐注入量22.32t,丙烯酸盐单位注入量33.2kg/m。

4.4.3 施工中遇到的特殊情况及处理措施

透水率大、浆量小的灌浆孔,采取“有机+无机材料混合性”灌浆或纯化学材料灌浆,丙烯酸盐细微裂隙填充取得了明显的效果;涌水量大的灌浆孔采取“缩短灌浆段长以减小孔内涌水,灌浆泵组合使用以增加灌入流量”的施工措施。

4.4.4 处理效果

a. 坝基排水量。第四次帷幕补强灌浆后该坝段区域内的排水孔排水量维持在90~100L/min区间,与第一次灌浆处理后的排水总量相近,高于第三次帷幕处理后排水总量60L/min的主要原因是排水孔入岩深度恢复至8~10m。

b. 坝基扬压力。帷幕补强处理之后在经历一段时间的发展变化后,原压力最大的南干电站左侧(U2-6)位置压力降至0.076MPa,6号泄洪闸右侧(U2-5)降至0.028MPa,南干电站右侧(U2-8)降至0.022MPa。

帷幕灌浆前后扬压力值对比见下表。

帷幕灌浆前后扬压力值对比表 (单位:kPa)

日期	U2-5	补1	U2-6	补2	U2-7	U2-8
灌浆前						
2015.1.23	86	196	211	195	110	75
2015.5.29	84	196	212	196	114	88
2015.9.21	84	196	212	196	113	86
灌浆后						
2016.1.30	5	1	6	0	10	7
2016.3.25	15	1	6	0	18	20
2016.5.27	25	2	62	0	16	18
2016.7.29	28	2	74	0	20	19
2016.9.29	28	2	76	0	22	19

c. 坝基水质。硫酸根离子pH值基本仍维持在原区间,矿化度有小幅下降。 Ca^{2+} 含量230~510mg/L, Na^+ 含量73~285mg/L, Cl^- 含量70~260mg/L, Al^{3+} 含量0.14~12mg/L,与6号泄洪闸及南干电站坝段基岩内石膏、铁明矾等可溶盐成分相符。只要排水孔长期排漏,可溶盐的溶蚀作用必将一直存在,但经过帷幕灌

浆处理排水量下降后,排水沟内析出物沉淀明显减少。

5 结 论

5.1 灌浆前做好调查研究

为使灌浆更符合实际情况,在灌浆前要充分了解坝址区断层、裂隙、破碎带等地质情况,分析软弱夹层、填充物等各种不利的地质条件。同时在设计或施工前,先进行灌浆试验,试验所得成果结合地质、勘探等资料为设计和施工提供参考。

5.2 针对不同基岩采取不同防渗方式

强透水性基岩,帷幕防渗宜“以阻为主,结合排水”;弱透水性基岩,帷幕防渗宜“以排为主,结合少量帷幕灌浆”;而对于软基岩、断层、泥化夹层等特殊地质条件,宜采取“阻排并重,结合排水,同时排水管采取专门防止细颗粒土流出”的措施。

5.3 针对不同基岩采取不同灌浆材料

普通硅酸盐水泥粒径多小于 $80\mu\text{m}$,适用于基岩中

(上接第 66 页)水试验吕荣值小于 $5L_u$ 考虑,即下限高程为 1275.00m。

③右岸接头为正常蓄水位与地下水位交点,底限深入地下水位 20m,3 号、4 号坝口及附近,除按压水试验吕荣值小于 $5L_u$ 控制外,还需参照邻谷(1 号冲沟)高程以及月亮田岩溶管道发育高程为溶蚀基准面进行综合考虑,确定右岸防渗下限高程为 1310.00m。

d. 建议使用钻孔灌浆防渗。由于两岸岩层缓倾,因 f1 断层发育,断层影响带内岩体破碎,陡倾角裂隙发育,建议防渗帷幕线坝址坝口一带(C—D—E—F 拐点)设置双排孔,排距 2m,孔距为 2m;其他地段设置单排孔,孔距为 2m。

5 结 论

月亮田水库工程充分利用泥岩夹灰岩弱岩溶下限进行拦截防渗,左岸防渗线沿 kzk2、kzk7、kzk1 方向布置,拦截 3 号冲沟;坝口处,防渗帷幕结合堵头进行协同防渗,防渗线沿 kzk2、kzk3 偏下游布置;右岸斜切山

宽度为 0.25~0.4mm 的裂隙;磨细水泥最大颗粒 D_{max} 在 $35\mu\text{m}$ 以下,适用于基岩中宽度小于 0.2mm 微细裂隙;对于岩体中微细裂隙或基岩中存在的软基岩层、层间溶蚀带等不良地质条件部位,可采用磨细水泥+化学材料复合灌浆方法处理。

5.4 针对施工状况及时调整施工方案

由于帷幕灌浆属于隐蔽工程,浆液在坝基中的走向、填充情况都无法直观了解,因此在帷幕灌浆的施工过程中,要随时根据现场实际情况和已灌孔灌浆资料对孔序、孔深、段长等施工方案进行及时调整。

5.5 施工中要加强大坝位移变形监测

扬压力是影响重力坝安全稳定、抗滑性能的重要因素,大坝在静水渗透压力作用下,任何外加的荷载都可能对坝体稳定造成影响,因此在进行帷幕灌浆时,考虑排水泄压的同时,要加强对坝体变形位移的监测。◆

体向 3 号、4 号坝口 kzk8、czk2 方向延伸,拦截 5 号冲沟溶蚀低槽。通过施工方对坝址清基堵洞,并加强坝基肩、库首两岸灌浆防渗一系列处理后,于 2016 年 2 月 12 号关闭取水工作闸阀开始蓄水,至 2017 年 9 月,蓄水至正常蓄水位线,蓄水效果较为理想,通过对下游的勘察,未发现有漏水点分布,工程处理效果明显,达到设计理想效果。◆

参考文献

- [1] 李清波,万伟锋,王泉伟,等.东庄水库岩溶渗漏与防渗研究进展[J].资源环境与工程,2015(5):671-676.
- [2] 王犹扬.构皮滩水电站勘测设计过程[J].人民长江,2006(3):1,88.
- [3] 吴德辉,姜欣言,曲颖.关于水电站引水隧洞开挖支护措施分析[J].科技创新与应用,2016(30):233.
- [4] 刘强.松峪水库上坝址坝基渗漏及渗透稳定性工程地质分析评价[J].山西水利科技,2016(2):20-22.
- [5] 赵兴品.山区水库渗漏的勘察分析及工程对策[J].科技与企业,2014(15):200,203.