

弓上水库高压旋喷灌浆防渗试验

户朝旺,冯玉宝,刘继红

(河南省豫北水利勘测设计院,河南 安阳 455000)

摘要:为解决河南弓上水库坝基漏水严重的问题,提出以高压喷射灌浆为主、其它灌浆为辅的综合防渗处理方案。高压喷射灌浆处理最大深度达 83 m(要穿过上部 50 m 的粘土心墙),为保证大坝安全,施工前先在坝上进行围井试验。注水试验表明,渗透系数 K 值满足设计要求。据此在坝上正式施工后,下游坝脚明流全部消失,工程节水效果显著。

关键词:喷射灌浆;坝基防渗;弓上水库

中图分类号:TV543⁺.6

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)06-0061-03

弓上水库位于河南省林州市合涧镇河西村,距林州市 23 km,距安阳市 70 km。该水库是海河流域卫河干流淇河支流淇河上游的一座中型水库。该水库始建于 1958 年,1960 年建成并蓄水运用。大坝为粘土心墙砂壳堆石坝,现状坝顶高程 507.3 m,防浪墙顶高程 509.5 m,最大坝高 50.3 m,坝长 274 m,坝顶宽 6 m,心墙顶部高程 505.8 m,顶宽 3 m,上下游以 1:0.3 的边坡至 457 m 高程,然后与砂卵石层中的粘土齿槽连接,齿槽底宽 5 m,深 5 m,上游覆盖高程 460.63 m,覆盖长 149.6 m。

坝址处为震旦系石英砂岩、页岩,地层出露,岩层产状平缓,走向 NW340°至 NE20°,以 NE 为主,倾向 NE、SE,倾角左岸 5°~15°,右岸 10°~30°。坝址测区遇大小断层计 70 余条,集中分布于左岸,走向 NE30°~60°,倾向 NW 者占 70%,断层破碎带集中分布于两岸坝头,岩层产状变化极大,最大倾角 70°,破碎带内岩石多呈 2~10 cm 的碎石块,吸水率 W 值平均为 0.2 L/(s·m·m),河床段原有第四纪地层厚 36.8 m(其中砂卵石层厚约 30 m,在 446 m 高程左右有一连续分布的壤土层),渗透系数 K 为 24~81 m/d。左坝根基岩受两泥质页岩夹层影响,倾角左岸 5°~15°,右坝头试验处基岩为紫红色石英砂岩,岩面高程在 435~437 m 之间,岩石完整,裂隙少,适宜做围井。

1 大坝防渗存在问题及处理方案

水库施工正值大跃进时期,设备落后,施工质量差,心墙及坝壳堆石碾压不均匀、不密实,加之坝基

砂卵石透水层未做任何处理,致使水库蓄水后不久,即出现一系列问题,主要有:①坝基下游漏水严重,年平均漏水流量约 230 L/s,尤其是间歇性漏浑水,怀疑在心墙接触带有接触冲刷破坏;②坝基砂卵石层存在有不同程度的渗透变形,局部有承压水,这从后期钻孔中出现的掉钻、涌水现象可以得到证实;③坝体心墙及右坝头出现了不同程度的裂缝,最大缝长 80 m,最大缝深 30.3 m,最大缝宽 0.15 m,最大错距 0.36 m,裂缝以平行于坝轴线的纵缝为主;④左坝肩基岩破碎,绕渗严重。据 1975 年地质报告,有 7 组断层自左坝肩穿过,产生很多垂直裂隙及破碎带,形成水库漏水通道。

针对水库防渗体系存在的问题,经方案比较、论证,提出以垂直防渗代替现状水平防渗体系的防渗处理指导思想;以高压喷射灌浆为主,其它灌浆为辅的综合处理方案。该方案是利用高压喷射灌浆处理坝基砂卵石覆盖层,高压喷射墙体顶部高程 456.0 m,底部高部至基岩以下 1 m,最大高压喷射深度 83 m,是目前灌浆处理的最大高压喷射深度。为保证幕墙连续及最小搭接厚度,经测算,采用终孔孔距 0.5 m 的高压旋喷灌浆,要求孔斜率小于 0.5%,旋喷桩体直径不小于 1.3 m;大坝左坝肩(桩号 0+162~0+226)的透水基岩采用帷幕灌浆处理;右坝头及粘土心墙裂缝部分用回填灌浆处理。

2 高压喷射灌浆现场试验

高压喷射灌浆是正在发展中的新技术,理论尚不成熟,实践经验不多。弓上水库最大处理深度近

90 m, 据了解, 目前我国最大处理深度为 70 m. 为了克服施工的盲目性, 大规模施工前, 要求先进行围井试验, 通过试验寻找并确定适合该地层的各项参数, 用于大坝正式施工.

2.1 试验位置选择

围井试验位置选择了两个方案: 一是在下游坝脚原状砂卵石覆盖层上, 井深 5 m; 二是在现状坝顶上直接进行围井试验, 井深 70 余 m (其中要穿过 56 m 的粘土心墙). 两方案各有优缺点, 方案一投资少、工期短, 便于开挖检查, 试验直观, 但因实际施工中, 最大高压喷射深度 83 m, 试验参数及试验结果与实际施工没有可比性; 方案二直接上坝试验, 试验结果与工程实际接近, 但因围井深, 不能直接开挖检查, 只能通过压、注水试验检测其效果. 综合分析上述两方案优缺点, 考虑该水库处理深度深, 为安全起见, 决定在坝上直接进行试验.

在坝上进行围井试验, 因不能进行开挖检查, 这样就不能知道利用的高压喷射参数在砂卵石层中的影响半径究竟是多少, 能否满足设计要求. 为了解决这些问题, 在上坝进行围井试验前, 先在下游坝脚出露的河床砂卵石覆盖层上做了个试喷桩, 桩深 5 m, 用于寻找满足设计要求的各项高压喷射参数. 试喷桩位置选在坝下河西电站院内, 围井位置根据工程地质条件, 选在坝顶右坝头 (大坝桩号 0+070~0+073) 的现状坝轴线下游侧, 该处底部基岩完整性较好, 高程在 435~437 m 之间.

2.2 围井试验

2.2.1 围井井型

参照已建工程的围井试验, 按照以下原则确定井型: ①在达到试验目的并满足设计要求的前提下, 尽可能节省试验投资; ②围井布孔在满足孔斜等要求的前提下, 要能形成封闭体; ③保证围井内有足够的原状砂卵石层. 按照上述原则, 在坝上布置了由 16 个旋喷孔 (其中坝轴线上有 5 个) 组成的多边形围井, 孔距 0.5 m, 孔深至基岩以下 1 m, 这样就将围井四周封闭. 一般围井试验深度较浅, 四周封闭后进行开挖, 然后浇注混凝土形成上下盖, 而该围井深度 74 m, 开挖是不可能的, 为了解决这一难题, 拟在围井形心处打一孔, 在设计高程进行高压喷射灌浆形成上下盖.

围井处砂卵石层厚约 14 m, 依据压水试验规程,

确定试验段长为 5 m, 为了满足试验要求, 利用中间孔分别在 451.0~449.5 m, 444.5~443.0 m, 438.0~436.5 m 高程段进行高压喷射灌浆, 形成 1.5 m 厚的三层盖板, 将围井分成段长 5 m 的两段, 见图 1.

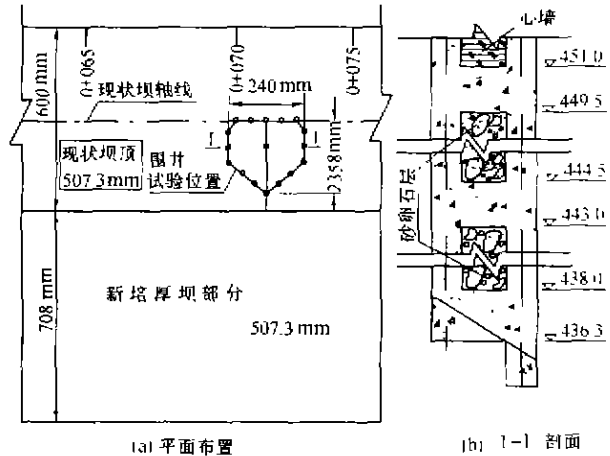


图 1 围井试验平面位置

2.2.2 试验设备及参数选择

经多方考察, 考虑该工程处理深度较大, 拟采用目前较先进的双管高压喷射, 即利用高压水泥浆和空气两介质进行高压喷射, 这样较原三介质减少了高压水对浆液的稀释作用; 考虑高压喷射的刚度限制, 深度太深, 喷嘴方向难以控制, 为了保证幕墙的连续, 拟采用旋喷. 主要设备有造孔机械、高压泵、高压喷射台车等.

为了确定围井试验各项参数, 在坝下做了 3 个试喷桩, 三个试喷桩的高压喷射参数是参照已建工程实例, 结合号上水库实际及设备情况拟定的, 详见表 1.

按照表 1 参数, 于 1998 年 8 月在坝下进行了 3 个试喷桩的高压喷射灌浆. 15 d 后, 进行了开挖检查, 开挖后发现, 试喷位置是后期人工回填的, 地层不太均匀, 但密实度很好, 1 号、2 号桩有大粒径卵石, 最大 1 m 左右, 3 号桩在砂砾石层上, 粒径普遍较小. 从高压喷射效果看, 砂砾石地层形成桩体直径达 1.8 m, 局部达 2 m, 2 号、3 号砂卵石地层形成桩体直径 1.4 m, 局部达 1.6 m. 由此可看出: 地层粒径大小对高压喷射影响半径影响很大, 大粒径地层, 虽然提升速度慢, 其影响半径反而小. 根据试验情况, 为保证坝上试验成功, 在坝上围井试验中, 要求根据不同地层采用不同的提升速度 (高压喷射过程中, 其它参

表 1 坝下试喷桩高压喷射参数统计

孔号	提升速度 $/(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$	转速 $/(r \cdot \text{min}^{-1})$	浆压 $/\text{MPa}$	浆量 $/(L \cdot \text{min}^{-1})$	气压 $/\text{MPa}$	气量 $/(m^3 \cdot h^{-1})$	喷嘴直径 $/\text{mm}$	气嘴直径 $/\text{mm}$	浆液密度 $/(g \cdot \text{cm}^{-3})$
1	10	10	36	150	9	>60	2.7	10	1.35
2	15	15	38	150	9	>60	2.7	10	1.41
3	20	20	38	150	9	>60	2.7	10	1.40

数均已确定),最大提升速度不超过 15 cm/min,遇大孤石(钻孔时将地层情况记录清楚,高压喷射灌浆时按照造孔时确认的地层情况进行高压喷射)或壤土、粘土层,提升速度降为 10 cm/min,高压喷射围井盖板时,提升速度降为 5~6 cm/min。

2.2.3 围井试验施工

施工难题有两个:一是工作面窄,现状坝顶宽仅 6 m,无法布置高喷台车等设备,为了解决这一难题,结合大坝加高,在施工安排上首先进行了现状坝顶以下的下游坝坡培厚工程施工,使坝顶工作面由原来的 6 m 增加至 13.8 m,满足了施工要求。二是围井要穿过 56 m 深的粘土心墙坝体,且心墙本身有裂缝等隐患,如何保护好坝体心墙,也是防渗处理的关键。最初设计方案为:心墙要求干钻,结束后,即下套管至心墙底部,下部砂卵石层用泥浆固壁钻进。经过一段时间的施工后发现,钻孔速度慢,尤其是 30 m 以下,小时进尺不足 0.5 m,随着深度的加大,需要机械动力不断增加,机械损坏时有发生,严重影响了施工进度。为了提高钻孔速度,经有关专家研讨,决定全孔采用粘土泥浆固壁钻进,心墙部分遇漏浆时,及时进行堵漏处理,心墙钻孔结束后,及时提钻下套管保护上部心墙,然后钻下部卵石层。为了确保大坝安全,要求在施工过程中,加强大坝变形及渗漏观测,发现问题,及时解决。

围井高压喷射灌浆分三序进行施工。施工程序是:钻机就位→调平机架→钻孔→测斜→下套管→钻机移位→高压喷射台车就位→调平→试喷→下高压喷射管→灌浆→起拔套管→封孔。钻下部砂卵石层时,如有漏浆现象,及时停钻,回填粗砂、中细砂及粘土堵漏,直至返浆正常,再继续钻进。施工中遇到的其它特殊情况,现场解决。

2.2.4 围井试验检验

为了查明围井成功与否,要进行一系列的检查和试验。因不能开挖检查,结合水库实际情况,对围井进行了注水试验,注水试验结束后,钻孔取样做渗透及

一些物理、力学指标测定。桩体密实,无漏喷现象。

坝上围井注水试验分两段进行,第一段:上下面高程分别为 449.5 m、444.5 m;第二段:上下面高程分别为 443.0 m、438.0 m,坝顶面高程为 507.3 m。围井墙体计算厚度考虑两种情况:①纯理想情况,即按设计影响半径,无孔斜计算最小搭接厚度,经计算为 1.2 m;②按照平均实测孔斜率计算最不利情况组台下的最小搭接厚度,围井试验 16 孔实测平均孔斜率为 0.27%,按此孔斜率计算最小搭接厚度为 95 cm。围井注水试验观测数据及计算成果见表 2。

表 2 围井注水试验计算成果

段号	试验水头 /m	流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	计算墙厚 /m	周边渗透 面积/ m^2	渗透系数 $K/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
上段	38	2.3×10^{-6}	0.95	12	0.48×10^{-6}
上段	38	2.3×10^{-6}	1.2	12	0.61×10^{-6}
下段	38	1.6×10^{-6}	0.95	12	0.33×10^{-6}
下段	38	1.6×10^{-6}	1.2	12	0.42×10^{-6}

表 2 中,做注水试验时,在大坝围井左右两侧均读取了测压管水位,但两管水位不同,计算采用平均水头;另外,计算围井渗透面积时,没有考虑上下盖板,故计算的渗透系数 K 值偏大。从表 2 可见,各种情况计算结果的 K 值均小于 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$,满足设计要求。由此可见围井试验是成功的。

3 结 语

通过试验,说明弓上水库采用高压喷射灌浆进行防渗处理的方案是合理的。弓上水库最大处理深度达 83 余 m,在实施过程中出现了一些问题,有一定的施工难度,但都得到了圆满解决。水库运行至今,防渗处理以来的最高运行水位 495 m,下游没有出现明流。经过查孔测试,形成的帷幕渗透系数均在 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 左右,取出的岩心强度等各项指标满足设计要求。弓上水库防渗工程实施后,每年可为林州市节水 800 余万 m^3 ,同时为以后地层工程的处理取得了宝贵的经验。

(收稿日期:1999-10-10 编辑:张志琴)

(上接第 60 页)

现象,延长止水橡皮的正常使用寿命,方便管理。

改进型闸门止水技术,既适用于新建水闸,包括平面钢闸门、混凝土闸门,同时也适用于现有灌排渠系上广泛分布的小型闸门的止水改造,在目前灌区节水改造配套中具有较高的推广价值。

参考文献:

[1] SL74-95,水利水电工程钢闸门设计规范[S].

[2] DL/T 5018-94,水利水电工程钢闸门制造安装及验收规范[S].

[3] 蔡正坤. 闸门与启闭机[M]. 第二版. 北京:水利电力出版社,1993. 165~181.

[4] SL101-94,水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程[S].

[5] 穆绪刚. 闸门止水的新形式[J]. 山东水利科技,1989(3): 35.

[6] 穆绪刚. 闸门双重止水技术及施工要求[J]. 山东水利科技,1997(3): 10~11.

(收稿日期:2000-07-14 编辑:张志琴)