

陕西天生桥水库山体防渗搭接式帷幕的应用

刘 哲

(水利部陕西水利电力勘测设计研究院, 陕西 西安 710001)

摘要:陕西天生桥水库采取封堵暗河, 形成水深达 100m 的水库。枢纽区分布碳酸盐岩地层, 构造复杂, 岩溶强烈发育。为进行防渗, 设计了三层灌浆廊道, 每层深 50m, 以搭接式结构进行灌浆, 根据地质变化和施工情况及时调整灌浆参数及工艺, 保证了帷幕质量, 工程建成后运用良好。

关键词:暗河水库; 山体防渗; 帷幕设计; 灌浆工艺

中图分类号: TV543+.82

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2001)07-0097-03

1 工程概况

天生桥水库位于陕西省宁强县境内, 是利用天然地形有利条件, 封堵暗河, 以山体挡水形成的水库。总库容 7760 万 m^3 , 总装机容量 5.0 万 kW。防渗墙面积约 10 万 m^2 , 灌浆孔约 7 万 m。水库枢纽工程由暗河堵头、溢洪洞、副坝、山体防渗帷幕、发电放空洞、坝后电站等建筑物组成, 为三级水工建筑物。其中山体防渗帷幕在枢纽中占重要地位。

天生桥水库枢纽工程于 1994 年动工, 1999 年 8 月完成主体工程, 并下闸蓄水发电, 最高水位已达设计水位, 目前运行良好, 渗漏量甚小。

2 地质概况

库区处于米苍山脉北麓, 为强烈侵蚀剥蚀的中山地貌类型。区内群山绵亘, 河溪发育, 侵蚀下切强烈。海拔高程 1982.4 m, 一般地面高程 800~1800 m。西流河自东向西横贯本区, 河谷狭窄, 呈“V”字型峡谷。沿西流河两岸多处残留有基座阶地。

可溶岩分布(白云岩类)、构造裂隙发育(褶皱、断层、节理)、地下水运动活跃(古河道裁弯取直而增大水力梯度)是枢纽岩溶发育的有利条件。岩溶垂直分带较明显, 岩溶形态类型比较齐全。岩溶与 F_4 及分支断层关系密切, 沿 F_4 断层发育使断层带增宽, 溶蚀裂隙一般宽 2~5 cm, 局部宽 30~50 cm, 溶洞呈扁豆状、串珠状, 溶孔、溶槽、溶沟多沿顺河向裂隙发育。据勘探资料, 岩溶下限高程为 1035 m。

坝区岩体的透水性一般较小, 但极不均一, 如在古河道左侧及其下部, A_1 溶洞、 F_2 断层等强岩溶区

ω 值达 1~105.57 $L/(min \cdot m \cdot m)$, 因此, 对山体、古河道必须进行帷幕防渗处理。

3 防渗帷幕灌浆的设计

为解决坝体及山体渗漏问题, 制定了相应的防渗帷幕设计方案。

3.1 防渗帷幕型式和防渗标准

防渗帷幕由左岸 F_1 断层开始穿过暗河堵体至古河道右侧山体, 分三层在灌浆廊道内施工, 上层基本在地面施工, 中、底层在灌浆廊道内施工。三层帷幕灌浆采用搭接形结构直接式施工, 如图 1。帷幕灌浆的防渗标准为 $\omega < 0.03 L/(min \cdot m \cdot m)$ 。

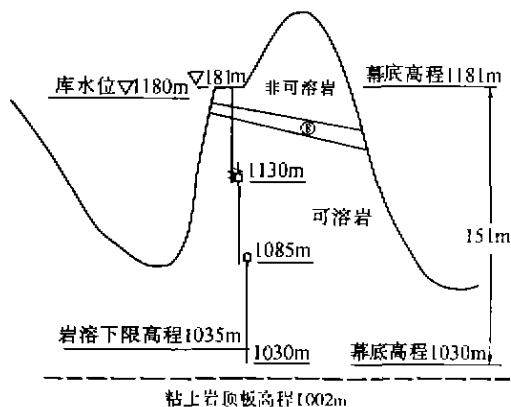


图 1 三层帷幕搭接方式结构

3.2 帷幕深度和长度

根据地质条件、帷幕允许水力坡度、坝体防渗标准及岩溶下限高程, 确定帷幕灌浆深度和长度。帷幕全长 808.8 m, 幕顶高程 1181 m (水库最高水位 1180 m), 幕底最低高程 1030 m, 帷幕总深度达 151 m。

3.3 帷幕灌浆孔的排数、排距、孔距

由幕厚决定排数,而幕厚主要受幕体临界渗透比降的控制,依据地质条件和灌浆试验来确定合理的排距和孔距。

4 帷幕灌浆工艺

4.1 施工程序

a. 钻进. 钻孔采用回转式钻机和小口径硬质合金钻头,清水钻进,孔径 91 mm。

b. 冲洗. 灌浆孔段钻完后,先用清水冲洗,然后下入循环式灌浆塞,采用脉动式水流冲洗,冲洗压力为灌浆压力的 75% ~ 100%,直到回出的水无浑浊物,达到清水为止。

c. 灌浆. 孔口管必须镶铸牢实,孔口封闭器中心部位能灵活地转动和升降,且不漏浆为宜。

d. 灌浆结束和封孔。

e. 压水试验. 一般采用单点法简易压水试验,压力为 1.0 MPa,检查孔采用三个压力阶段,压力分别为 0.3 MPa, 0.6 MPa, 1.0 MPa。

4.2 灌浆工艺

帷幕灌浆按分序加密原则进行,每排孔严格按三次序施工。

帷幕灌浆主要分单排、双排和三排孔布置,如为双排孔,先钻灌下游排,再钻灌上游排,三排孔则最后再钻灌中间排,每排孔分为三次序施工。

5 帷幕灌浆施工中出现的主要问题及处理方法

5.1 吸浆量较大和不回水孔段

在钻灌中对不回水孔段或灌浆吸浆量较大的灌浆段,在灌浆中采取以下几种措施:①越级变浆;②降压;③限流;④间歇;⑤灌 3 ~ 5 t 水泥后待凝;⑥灌砂浆;⑦灌砂浆的同时配合孔口加砂;⑧加浓灌浆液(在 0.5:1 的浓浆中再加入干灰);⑨加入水玻璃等。

5.2 串、冒浆孔的处理

上、中、底层的灌浆孔,在灌浆过程中均有串、冒浆现象,且在浅部和深部均有出现,经综合分析,此种现象的主要原因是受 F_1 、 F_2 断层的影响,地层极破碎、并存在大量垂直向溶蚀裂隙所致。灌浆中对此种情况的孔段主要采取 5.1 中的几种措施。

5.3 灌浆中确定为溶洞的处理

上、中层洞均穿过 F_1 断层破碎带,中层洞桩号 0+53 ~ 0+120,长 67 m,低于高程 1075 m 左右,近乎水平溶洞,由里向外脱空高度增大,如 SZ2056 孔,钻深 45 m 处掉钻 2.8 m; S1190 孔,共 7 段灌浆,其中 6 段灌浆前压水试验值均大,一般 $\omega = 72 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 左右,最大 $90.2 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$,钻至 2.1 ~ 7.1 m 不

回水,灌浆时久灌不起压,针对此种情况,灌浆中主要采取以下方法及措施:先灌入一定量(3 ~ 5 L/min)的水泥浆,发现吸水量仍较大,即改灌砂浆,经复灌多次砂浆仍无效,则改浓砂浆比级再反复施灌,直到返浆或起压后停灌,待凝后再扫孔,然后用水泥浆灌至结束,该孔段共反复灌 13 次,耗水泥 135 539 kg,单位水泥耗量为 45 094 kg/m。对于耗浆量大与久灌不起压孔段,同样采取此种方法和措施。

6 灌浆效果分析评价

6.1 各序次灌浆孔灌入量分析

6.1.1 单排帷幕

基岩灌浆 11 375.1 m,注入水泥 3 640.7 t,平均 320.6 kg/m,各序从灌浆分序统计资料分析,可得出如下结论:①随着灌浆次序的递增,单位注入量随之而明显递减。②随着灌浆次序的增进,单位注入量小的区间段数/频率增大,单位注入量大的区间段数/频率减少也很明显,说明灌浆进行正常,设计优化之后,单排孔、孔距采用 2.5 m 也是合适的。③第 III 序孔共 108 个,灌浆长度 5 774.8 m,灌浆前作简易压水试验 1 261 段,其中 $\omega < 0.01 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 共 1 161 段,占总段次 92.1%。④检查孔共布置 22 个,压水试验 259 段,其单位吸水量全部达到 $\omega \leq 0.03 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 的设计要求标准,其中 $\omega < 0.01 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 的 197 段,占 76.1%。

6.1.2 双排帷幕

帷幕总长度 44 880.3 m,共注入水泥 6 616.7 t,平均 174.4 kg/m,先灌下游排,平均注入量 526.6 kg/m;后灌上游排,平均注入量 130.3 kg/m。上、下游排又各分三序施工,从水泥注入量来看:①随着灌浆次序的递增,单位注入量递减非常明显。②随着灌浆次序的递增,单位注入量小的区间段数/频率增大,单位注入量大的区间段数/频率减少的规律也很明显,说明灌浆施工正常,优化后帷幕设计孔距 3.0 m 也是合适的。③灌浆前作简易压水试验 742 段,随着灌浆次序的递增,单位吸水量小的区间段数/频率增大,反之减少。④最后一序孔(上游排第 III 序孔)灌浆压水试验共 168 段,其中 $\omega \leq 0.03 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m})$ 的有 155 段,占 92.3%,证明施工质量较好。

底层洞右岸 L_2 、 m_2 段双排帷幕孔距 2.0 m,排距 1.4 m,虽然也受 F_2 断层的影响,在桩号 0+435 ~ 0+525 段,其中孔深 20 m 以上有充填式溶洞存在,该段超国家标准布置了 7 个检查孔,作压水试验共 85 段,其中有 3 段超过设计防渗标准,且都在第 I 段,即底板混凝土以下 2 m 由于底层帷幕处于防渗帷幕的下部,水库蓄水以后受到水头的压力最大,在

双排帷幕孔中间,即洞轴线上加布了一排浅孔,共29个,孔深15m,进行补强。如果终孔段单位注入量超过50kg/m,再加深5m直到小于50kg/m,才终孔,而且第1段的灌浆压力由原0.5MPa增大到1.5MPa,亦分三个次序灌浆,最后通过三个孔深均15m的检查孔作压水试验共12段,单位吸水量均小于0.03L/(min·m·m),证明全部达到设计要求标准。

6.2 帷幕检查孔质量评价

上、中、底三层防冲帷幕幕体内共布106个检查孔,总孔深5479.1m,压水试验总长度5316.3m,压水试验1100段,统计结果见表1。

表1 检查孔统计结果

单位吸水量 $\omega/(L \cdot (min \cdot m \cdot m)^{-1})$	压水试验段次	频率/%
<0.01	928	84.4
0.01~0.03	168	15.3
0.03~0.045	3	0.2
0.045~0.1	1	0.1

由表1可知, $\omega < 0.03 L/(min \cdot m \cdot m)$ 段次已达总段次的99.7%,完全满足质量要求标准,其余4段,有3段在底层洞0+435~0+525段中,已采取补强

(上接第96页)(渗透系数取0.013m/d),可以看出,计算区渗流场有变化。方案P5与方案P9(渗透系数取0.013m/d)、P10(渗透系数取0.015m/d)、P11(渗透系数取0.02m/d)比较,可以看出,方案P5计算出的水位要低得多,但是比较方案P10和方案P11可以看出,整个渗流场基本无变化,这说明帷幕的渗透系数已接近围岩。比较方案P2(有帷幕无排水)和方案P4(无帷幕有排水)可以看出,只有帷幕无排水比无帷幕只有排水的情况,计算区厂房处的水位和水力坡度要低得多。这些也说明该区排水重要,防水更重要。

推荐方案P5为紫坪铺水电站防排水最佳方案。该方案可以有效地降低水工建筑物表面的扬压力和岩体内的渗透力,改善坝区岩体地下水渗流场,既有利于工程的整体经济效益,又有利于工程整体的安全和稳定。

另外,由于页岩的渗透性较小,计算结果表明在页岩区帷幕的防水效果和排水孔的排水效果都不明显。这说明排水孔应尽量布设在砂岩中。

3 结 论

a. 由于页岩的渗透性较小,砂岩的渗透性较大,故在查明该区砂、页岩分布的情况下,建议充分利用页岩阻水、砂岩导水的特性布设排水孔,预期在安全、经济的前提下达到最佳的防排水效果。

措施,经检查,已全部达到质量要求。

7 结 语

a. 陕西天生桥水库枢纽为碳酸盐岩地层,构造复杂,岩溶强烈发育,岩层强烈透水,但由于对地质条件揭示清楚,认识正确,采取封堵暗河和山体帷幕防渗是成功的。

b. 为保证深达151m帷幕质量,采用三层廊道(每层50m)搭接型结构直接式分层灌浆的设计是合适的,有关设计参数是可行的。

c. 帷幕灌浆孔总数为1263个,总进尺65720m,总耗水泥量15841t,最大单孔耗灰量为135539kg,最大单位耗灰量为717.4~45094kg/m,说明岩溶地区防渗帷幕耗灰量的不均匀性,地层差异性甚大。因此,根据地质条件的变化和施灌情况,要及时调整灌浆设计和有关参数,确保帷幕质量达到设计要求。

参考文献:

[1] SL62-94,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

(收稿日期:2001-06-29 编辑:熊水斌)

b. 推荐方案P5(既有帷幕,又有横向、纵向两排排水孔)为紫坪铺水电站防排水最佳的方案。该方案可以有效地降低水工建筑物基础的扬压力和岩体内的渗透力,改善坝区岩体地下水渗流场,既有利于工程的整体经济效益,又有利于工程整体的安全和稳定。

c. 从防排水各方案的计算与评价的结果可以看出,帷幕在整个工程中的重要地位,建议在施工时一定要保证帷幕的质量。

参考文献:

[1] 薛禹群.地下水动力学[M].北京:地质出版社,1997.

[2] 周志芳,钱孝星,顾长存.三峡工程坝基扬压力三维有限元分析[J].河海大学学报,1993,21(5):94~99.

(收稿日期:2001-08-10 编辑:张志琴)

