

紫坪铺工程坝址区防排水方案三维有限元分析

唐红侠,周志芳

(河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:在充分了解四川岷江紫坪铺水利枢纽坝区岩体结构特征和裂隙发育规律的基础上,给出裂隙岩体的渗透规律,利用三维有限单元法对不同的防排水方案进行计算,通过对计算结果的处理和分析,得出水库运行期坝区整体的优化防排水方案。

关键词:渗透系数;防排水;最佳方案;失效分析

中图分类号:TV640.32

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)07-0095-02

四川岷江紫坪铺水利枢纽位于四川成都西北60多千米的岷江上游,是一座以灌溉和供水为主,兼有发电、防洪、环保、旅游等综合效益的水利工程。大坝采用钢筋混凝土面板堆石坝坝型,最大坝高156.0m,总库容11.2亿 m^3 ,水库正常蓄水位877.0m,电站总装机容量76万kW。除了大坝外工程建筑物及设备布置主要集中在右岸,由东向西依次有:河岸开敞式溢洪道、地面式厂房、4条引水发电洞、冲沙放空隧洞1号和2号泄洪排沙隧洞。

坝址区出露地层的岩性主要为砂岩、粉砂岩和煤质页岩,它们交互成层。由于受地形、岩性、地质构造以及风化卸荷等因素的影响,坝区天然水文地质条件复杂,岩体非均质各向异性渗透性明显,尤其是右岸条形山脊集中布置了7条水工隧洞,水库蓄水后左、右岸山体均较单薄,地下水水力梯度较天然状况有较大提高,直接影响到枢纽建筑物的安全和稳定性。为了确保大坝工程和右岸建筑物在水库运行期的安全和稳定,降低地下水渗透力对建筑物的有害作用,有必要在充分了解坝区岩体结构特征和裂隙发育规律的基础上,探讨水库运行期坝区整体的优化防排水方案。

1 坝址区裂隙岩体的基本特征

1.1 坝址区地貌及地层岩性

区内属中低山地形,山体总体走向与构造线基本一致,由于受地质构造及岩性的影响,岷江在沙金坝河段形成一个180°的河曲,使右岸形成三面被河曲围抱的条形山脊,为枢纽布置、施工创造了良好的地形条件。

坝址区位于沙金坝向斜,区内出露基岩为三迭系上统须家河组(T_3^{sj}),为一套湖沼相含煤砂页岩地层,其中,中细砂岩呈厚层和巨厚层状,坚硬完整,是枢纽区最好的岩石;粉砂岩属中等强度岩石;煤质页岩性软弱,易碎,发育有不同规模的层间剪切带,是强度低、完整性最差的岩石。

1.2 裂隙岩体的渗透性特征

岩体的渗透性的大小主要取决于岩体中裂隙透水性的、裂隙的连通程度及裂隙结构面的空间分布,而裂隙结构面的产状、张开度、密度、延伸长度恰恰由渗透系数张量表达式反映,当知道裂隙结构面的产状时,可用反演的方法求出表征结构面张开度、密度、延伸长度等特征的结构面当量渗透系数。紫坪铺水电站坝区岩体透水性主要受三组节理裂隙控制,另外还受沙金坝向斜左右两翼各一组层间错动带的影响,经统计三组节理裂隙和层间错动带产状平均值见表1。

岩体渗透性的大小还受风化、卸荷的影响,该区岩体渗透性由大到小依次为弱风化上段(强卸荷带)、弱风化下段(弱卸荷带)、微新鲜岩体,现场压水和反演的成果均证明了这一点。

2 坝区防排水方案计算与分析

2.1 帷幕、排水孔的设计原则

坝区帷幕、排水孔的设计是依据工程建筑物经济、安全、稳定和可靠为原则,基于坝区岩体透水特征而定的,模拟计算时,帷幕、排水孔位置见图1。

计算时假定帷幕的有效宽度为4m,参照微新鲜煤质页岩的渗透性,帷幕的渗透系数本应取0.001m/d,

表 1 沙金坝向斜控水结构面产状统计平均值

裂隙产状	倾向	倾角
1	335°或 155°	60°
2	312°或 132°	30°
3	210°	70°
L ₁ (北翼)	295°	65°
L ₁ (南翼)	325°	53°

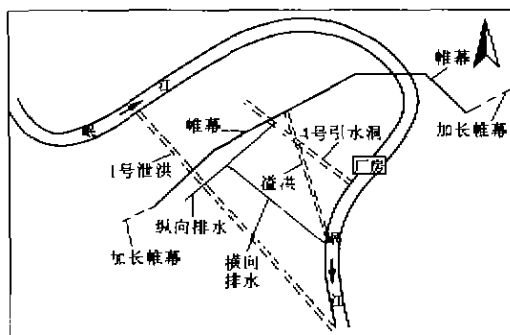


图 1 帷幕、排水孔、水工建筑物位置示意图

但考虑到在施工中实现很难,甚至不可能实现,故取帷幕的渗透系数为 0.01 m/d 。帷幕底部高程由岩体的透水性决定,位于相对隔水层以下。在右岸条形山脊中为 780 m ,右岸河床处为 640 m ;左岸河床处为 626 m ,至左岸山脊处为 814 m 。

纵向排水孔的出水高程 835 m, 孔深 37 m。横向排水孔受地形的影响分为两部分, 靠近山里处(近帷幕处)出水高程和孔深同纵向排水孔; 靠近山外处(近岷江下游)的出水高程 800 m, 孔深 35 m。纵向排水孔和横向排水孔的孔间距均为 3 m。

2.2 防排水方案

防排水方案设计时,水库上游的水位取正常蓄水位 877.0m,下游水位取 747.0m,主要考虑了有无帷幕、有无排水孔、帷幕沿原伸展方向延长 50.0m,以及帷幕和排水孔失效等情况的组合。

排水孔失效是指部分排水孔被淤堵,起不到排水的效果,帷幕失效是由于帷幕灌浆效果不够理想或因帷幕遭受地下水的侵蚀,使帷幕的渗透性增大,防水作用减小。帷幕失效时,上述三种方案的渗透系数分别取 0.013 m/d 、 0.015 m/d 、 0.02 m/d 。排水孔失效时,只设计了孔间距为 6 m 的情况。

各方案在遵守帷幕和排水孔设计原则的前提下,又各不相同。现将各方案简述如下:①P01 坝区无帷幕、无排水,上游水库水位 877.0 m,下游河水位 747.0 m;②P02 坝区大坝、坝基、坝肩、右岸条形山脊处有帷幕(帷幕的渗透系数为 0.01 m/d),右岸条形山脊处无排水;③P03 坝区大坝、坝基、坝肩、右岸条形山脊处有帷幕(帷幕的渗透系数为 0.01 m/d),右岸条形山脊处有一排纵向排水孔;④P04 坝区大坝、坝基、坝肩、右岸条形山脊处无帷幕,右岸条形山脊处有一

排纵向排水孔;⑤P05 坝区大坝、坝基、坝肩、右岸条形山脊处有帷幕(帷幕的渗透系数为 0.01 m/d)。右岸条形山脊处有一排纵向排水孔、一排横向排水孔。

其余各方案均在方案 P05 基础上制定。如方案 P06、P07 是在方案 P05 的基础上,把帷幕沿原伸展方向分别加长 50.0m;方案 P08 是在方案 P05 的基础上,加上排水孔失效的情况,即排水孔间距加大,取 6m;方案 P09、P10、P11 是在方案 P05 的基础上,加上帷幕失效的情况,帷幕的渗透系数分别取为 0.013 m/d、0.015 m/d、0.02 m/d;方案 P12 是在方案 P05 的基础上,增加帷幕失效和排水孔失效的情况,即帷幕的渗透系数取 0.02 m/d,排水孔间距加大,取 6m。

2.3 防排水方案计算

研究区水工建筑物防排水方案计算采用五面体和六面体混合单元对岩体进行剖分,考虑岩体透水性的不均匀及帷幕和排水孔的布置,将研究区划分为 252 个超单元,共剖分成 23 815 个单元,26 580 个节点,计算程序采用三维有限单元法。

从坝区的水文地质条件可知,影响坝区岩体渗流场地下水头分布规律的客观因素有以下几方面:

a、水库上下游水位差.计算时上游水位取蓄水时的正常水库水位 877.0m,下游取河水位 747.0m.

b. 研究区的边界条件.右岸条形山脊处以趾板终点向外 100.0m,且垂直于山脊处,取作流线边界;左岸以分水岭为界,取为零流量边界;上、下游河水位视为定水头边界,上部以自由面处理,下部以阻水层边界处理.

c. 帷幕、排水孔布置的空间位置及互相组合关系。水工建筑物帷幕、排水孔的设置与否以及帷幕和排水的走向、孔间距、出水高程等参数,对整个渗流场地下水头分布起至关重要的作用。

2.4 防排水方案评价与分析

通过比较各方案对水工建筑物关键部位的防渗降压效果,来评价各个防排水方案的优劣,最终选出紫坪铺水电站最佳防排水方案。

典型方案 P2, P3, P4, P5, P8, P10, P11, P12 在 4 号引水洞下游坡角开挖处的水力坡度分别为: 0.175, 0.135, 0.295, 0.130, 0.134, 0.135, 0.146, 0.147。

比较方案 P5(排水孔间距为 3m)、方案 P8(排水孔间距为 6m)、方案 P11(排水孔间距为 3m)和方案 P12(排水孔间距为 6m)可以看出,排水孔的间距相对加大,排水孔的个数相对减少,对整个渗流场影响不大,从方案 P6 和方案 P7 的比较中可以看出,帷幕延长对改善帷幕后的渗透力作用不显著。比较方案 P5(渗透系数取 0.01 m/d)和方案 P9(下转第 99 页)

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)

