第24卷第4期 西安工程学院学报 Vol. 24 No. 4
2002年12月 JOURNAL OF XI'AN ENGINEERING UNIVERSITY Dec. 2002

黑河水库单薄山梁排水洞方案优选研究

王 玮

(长安大学 水资源与环境工程系,陕西 西安 710054)

[摘要] 黑河水库是解决西安市城市供水、农田灌溉及水力发电的大型水利水电工程。其左岸的单薄山梁既构成大坝坝肩岩体,蓄水后又成为一天然坝体。水库蓄水后的渗漏及渗透稳定性决定了水库能否安全高效的运行。黑河工程指挥部在防渗灌浆帷幕施工后,提出在帷幕下游增设单排排水洞。就此对排水洞方案进行了优选研究。

[关键词] 单薄山梁;渗漏;排水洞;方案优选

[中图分类号] TV139.14 [文献标识码] A [文章编号] 1007-9955(2002)04-0030-05

[作者简介] 王玮(1970-),男,工程师,博士研究生,现从事水资源与环境工程的教学与科研工作。

黑河水库位于陕西省周至县境内,重力堆石坝设计高程600 m,蓄水水位高程594 m,是解决西安城市供水、农田灌溉及水力发电的综合性大型水利水电工程。单薄山梁位于水库左岸,既构成坝肩又可作为一天然坝体,其透水性、渗漏量直接影响水库的运营效率,而其渗透稳定性则直接决定了水库能否安全运营。为此黑河工程指挥部在防渗灌浆帷幕施工后,考虑到灌浆深度达120 m,提出在帷幕下游增设单排排水洞,以进一步降低帷幕线后浸润线和左岸出溢点高程,确保工程运行安全。

1 单薄山梁水文地质条件

黑河水库坝轴线走向近东西向,左坝肩为一近南北走向的条形单薄山梁,宽度为400~500 m,分水岭东坡坡度30°~50°,西坡山坡40°~45°。

单薄山梁主要出露地层为前震旦系宽坪组变质岩和第四系松散堆积层,其中前震旦系宽坪组变质岩可分为3个岩性段,即绿泥石片岩段、钙质石英岩与片岩互层段和云母石英片岩段,其中钙质石英岩中溶隙裂隙较发育;第四系松散堆积层主要包括河流冲积砂砾石层和风积坡积土层。

山体内构造断裂、裂隙极为发育,根据勘察及施工揭示统计,研究区内发育断层44条之多,由于受SN向挤压应力作用,断层发育以EW向逆断层为主,有近10条大的贯通性切岭断层通过该山梁。

根据勘探资料,单薄山梁地下水位标高为513.6~516.2 m,埋深132~145 m。地下水流向基本上由西向东垂直山脊向分水岭东侧河谷区径流。地下水的动态类型为降水入渗型。

2 三维渗流场模拟

三维渗流场模拟的范围:西边界为地理y坐标的18 300、东边界为地理y坐标的18 900、南部以地理x坐标的68 900为界、北部以地理x坐标的69 800为界,底部边界区在460 m高程上,顶部截面为600 m高程。

在水库正常高水位(594 m)情况下,在大坝以北,研究区的东部边界为水头值等于天然条件下河水位的给定水头边界,在粘土心墙以南沿粘土心墙面为隔水边界,其他的南部和西部边界为水头值等于594 m的给定水头边界,底部和北部边界为隔水边界,研究区的顶部边界为潜水面边界。水文地质概念模型见图1。

单薄山梁中地下水的稳定流运动问题可用下述的三维渗流数学模型来描述

[收稿日期] 2002-09-25
[基金项目] 国土资源部岩土工程开放研究实验室基金项目

万方数据

$$\begin{cases}\dfrac{\partial}{\partial x}\left(K\dfrac{\partial H}{\partial x}\right)+\dfrac{\partial}{\partial y}\left(K\dfrac{\partial H}{\partial y}\right)+\dfrac{\partial}{\partial z}\left(K\dfrac{\partial H}{\partial z}\right)=0 & (x,y,z)\in\Omega\\ H\mid_{A_1}=H\mid_{A_2}=H\mid_{A_6}=H_K\\ H\mid_{A_4}=H_R(x,y)\\ \left.\dfrac{\partial H}{\partial y}\right|_{A_3}=\left.\dfrac{\partial H}{\partial z}\right|_{A_7}=\left.\dfrac{\partial H}{\partial \boldsymbol{n}_1}\right|_{A_5}=0\\ \begin{cases}H=z\\ \dfrac{\partial H}{\partial \boldsymbol{n}_2}=0\end{cases} & \text{在潜水面上}\end{cases}$$

式中 :H 为水头(m) ;K 为渗透系数(m/d) ;Ω 为渗流区 ;A_1 为渗流区的南部边界面 ;A_2 为渗流区的西部边界面 ;A_3 为渗流区的北部边界面 ;A_4 为渗流区的东部边界面 ;A_5 为大坝以南沿黑河河道的渗流区边界面 ;A_6 为渗流区的东南部边界面 ;A_7 为渗流区的底部边界面 ;$\boldsymbol{n}_1$ 为大坝粘土心墙的法线方向 ;$\boldsymbol{n}_2$ 为潜水面的法线方向 ;H_R 为河流水位 ;H_K 为水库水位。

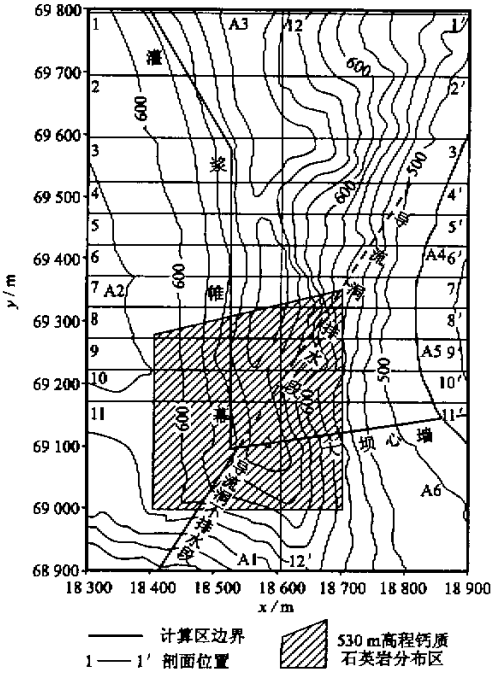


图 1　研究区水文地质概念模型图

上述的渗流数学模型,可用有限差分法进行求解。即在对渗流区进行适当剖分的基础上,把微分方程及边界条件中的微商用差商来代替,从而将微分方程求解问题转化为一组线性方程组的求解问题。

根据本区岩层呈倾斜产状、厚度较小、渗透性能变化较大、断层较多、规模较小的特点,为了尽可能真实地反映断层及岩层中地下水的渗流状况,根据实际情况,对研究区进行了较细致的剖分。根据岩层及断层走向近 EW、渗透性在 EW 方向上变化较小的特点,我们在 EW 方向上采用了较大的剖分网格,每 10 m 一列,这样在地理 y 坐标 18 300 ~ 18 900间共剖分了 60 列 ;在 SN 方向上,以地理 x 坐标 69 550 为界,在该界线 SN 两侧采用了不同的网格间距进行剖分,在 69 550 以南,由于断层及其影响带的厚度较小,岩性变化较大,因此采用了 5 m 间距的剖分网格,在 69 550 以北,根据这一区域岩性比较单一(主要是云母石英片岩)、断层密集且总厚度较大的特点,采用了 10 m 间距的剖分网格,这样在 SN 方向共剖分了 155 行 ;在垂直方向上,从 460 ~ 590 m 高程中,每隔 5 m 剖分一层,590 ~ 600 m间的岩层作为一层,这样在垂直方向上共剖分了 27 层。通过上述剖分,共剖分出了 251 100 个节点,其中处于地表以下、黑河以西 460 m 高程以上的渗流区范围内的节点共 189 159 个。

模拟计算中各地层所采用的渗透系数,是据历次勘察施工过程中各类钻孔、渗水试验、压水试验及室内测试资料确定的,共把研究区分为 78 个参数区。

排水洞优化所用渗流模型中,帷幕工况为在 2001 年 12 月前所施工的帷幕基础上,假定对现状帷幕进行修补,对现状单位吸水率大于 5 Lu(文中单位吸水率是在试段长度为 5 m,孔径为 0.05 m 的条件下测试的,此时与渗透系数的换算为 100 lu≈1.12 m/d)的地段,假定经修补后等于 5 Lu,现状小于 5 Lu 的保持现状不变。此时南北向帷幕上下游平均水位差为13.3 m,最大21.91 m,交通洞帷幕上下游水位差为19.90 m,最大31.55 m,总渗漏量为15 014.039 m^3/d,其中导流洞渗漏量为6 706.810 m^3/d,下游边界排泄量为8 307.200 m^3/d。

3　排水洞方案优选

3.1　优选目标

为确保左坝肩工程安全,排水洞作用后应使得帷幕线后的浸润线标高尽可能低,帷幕上下游水位差尽可能小,总渗漏量尽可能小,排水洞排水量尽可能大,导流洞排水量尽可能小。

3.2　排水洞可行方案

排水洞布设范围,应位于帷幕下游、导流洞以上

万方数据

的饱水部分，结合渗流模型计算结果(见图 2)，本次计算共选择了 41 个排水洞布设方案进行优选，在垂向上每隔 5 m 一个方案，东西向(距南北向帷幕 60 m 以东区域)每隔 20 m 一个方案，如图 3。图中格子为计算剖分单元，浅灰色区域为不含水计算单元，其余为饱水单元，深灰色单元表示排水洞所在单元，浸润线所在单元虽饱水但不考虑布设排水洞。各计算方案中排水洞南端距交通洞帷幕 70 m，洞长 450 m。

3.3 优选计算及结果分析

将各排水洞可行布设方案代入渗流模型，这样共有 42 个计算模型。为进行排水洞效果分析及其影响因素，将各模型计算结果绘制成沿水平坐标及沿垂直标高的各指标变化图，计算结果见图 4～6。

由计算结果可知，在垂向上，当排水洞平面位置

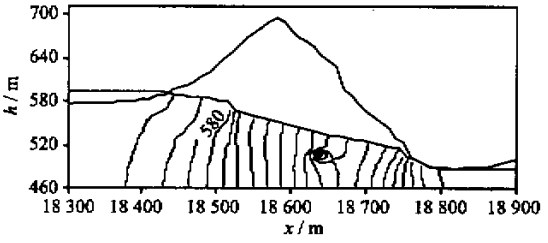


图 2 无排水洞时典型横剖面流场图

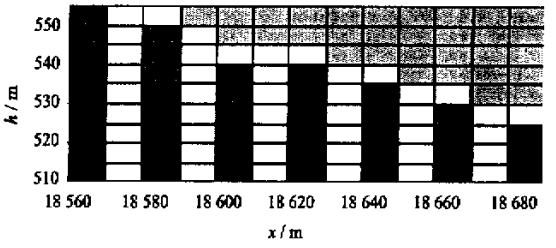
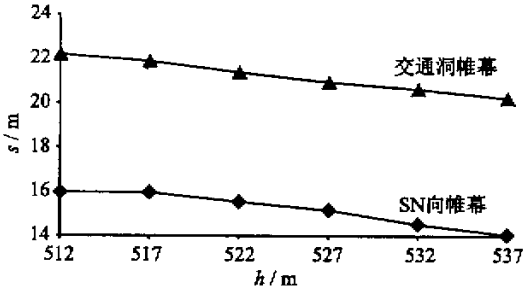


图 3 可行计算方案位置图



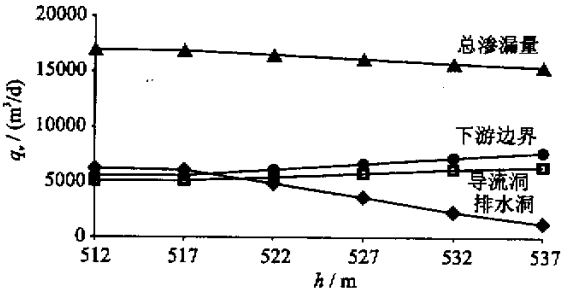
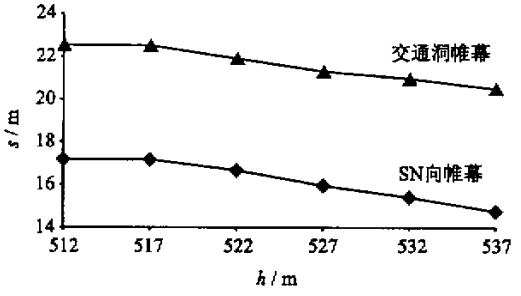


图 4 18 625 m 排水洞平面位置各方案结果对比图



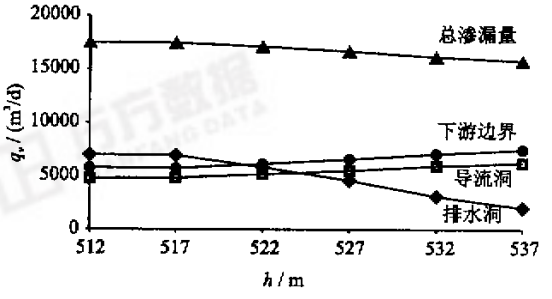
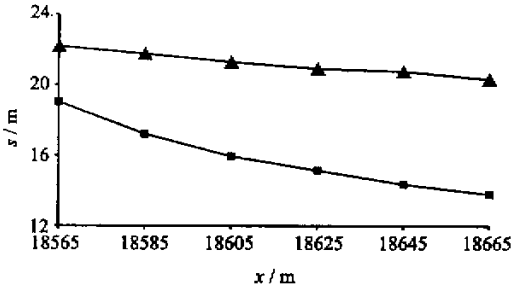
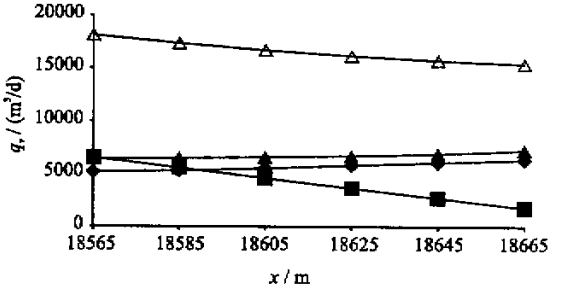


图 5 18 605 m 排水洞平面位置各方案结果对比图





万方数据

图 6 527 m 排水高程各方案结果对比图

一定时,随着排水洞排水高程的升高,帷幕前后水位差逐渐变小,其中 SN 向帷幕两侧水位差较交通洞(EW 向)帷幕两侧水位差变化大,这表明排水洞对 SN 向帷幕影响较为显著,最大水位差变化约 11 m;导流洞排泄量及下游边界排泄量逐渐增大,而排水洞排水量及总渗漏量逐渐减小,这表明当排水高程设置较低时,地下水多从排水洞排出且总渗漏量较大,随着排水高程的升高,排水洞排水量逐渐减少,地下水大部分通过导流洞及下游边界排泄,总渗漏量减少。排水洞排水高程在帷幕底界高程处,帷幕下游水位降低最大,排水高程由此处逐渐升高或降低,帷幕下游水位降低均逐渐变小,表明当排水高程为帷幕底界时,使得下游水位降低最大。

在水平上,当排水高程一定时,随着排水洞位置的东移,帷幕前后水位差逐渐变小,其中 SN 向帷幕两侧水位差较交通洞帷幕两侧水位差变化大;导流洞排泄量及下游边界排泄量逐渐增大,而排水洞排水量及总渗漏量逐渐减小,这表明当排水洞距帷幕较近时,地下水多从排水洞排出且总渗漏量较大,随着排水洞远离帷幕,排水洞排水量逐渐减少,地下水大部分通过导流洞及下游边界排泄,总渗漏量减少。帷幕下游水位降低逐渐变小,表明当排水洞靠近帷幕时,使得下游水位降低最大。

对于帷幕下游水位降幅,8—8′、9—9′、10—10′、11—11′剖面位于钙质石英岩分布区,排水洞作用后,这 4 条剖面的水位降低比北部的要大,这说明钙质石英岩分布区排水洞的排水作用较其他岩石分布区要大。

根据计算结果及上述分析,排水洞高程设置越低,排水洞排水效果越好,但对导流洞的安全威胁越大;排水洞越靠近南北向帷幕,排水洞排水效果越好,但对帷幕的安全威胁越大。初步确定排水洞应优先考虑布设在高程为 525～535 m 间,横坐标为 18 600～18 630 m 间。

从初步优选排水洞位置中的各计算模型计算结果可知,增设排水洞后,通过帷幕渗漏过来的水相当一部分通过排水洞排出山体,从而大幅度降低了帷幕下游浸润线高程,部分降低了出溢点高程,且使得坡体处水力坡度变缓,使得坡体的稳定性得到改善。因而在帷幕下游一定范围内增设排水洞是必要且有效的。

为更细致地研究排水洞的效果及确定排水洞的最优位置,在优化靶区中进行加密计算,各排水高程方案中增加横坐标 18 605 m,18 615 m,18 625 m 处的排水洞方案。

由计算结果图表可知,各方案计算结果沿高程变化在横坐标 18 605 m 处存在一个转折点,在 18 605 m 以西,排水洞位置变化对帷幕前后水位差影响较大,对各项排水量及总渗漏量影响也较大,而在18 605m 以东,排水洞位置的变化对各指标的影响较小,故排水洞平面位置取为 18 605 m(距 SN 向帷幕约 80 m)较合适。

各方案计算结果沿横坐标变化在高程 522 m 处存在一个转折点,在 522 m 以下,排水洞位置变化对帷幕前后水位差影响较大,对各项排水量及总渗漏量影响也较大,而在 522 m 以上,排水洞位置的变化对各指标的影响较小。但由于 522 m 高程距导流洞太近,考虑到导流洞的安全,故排水洞高程位置取 527 m较合适。

根据以上计算分析,确定排水洞布置的推荐方案:平面位置为 18 605 m(距 SN 向帷幕约 80 m),高程为 527 m。该方案下典型剖面流场图及潜水面等水位线见图 7～8。

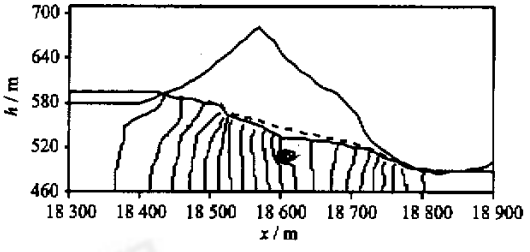


图 7　优选方案 10—10′剖面流场及水位对比图

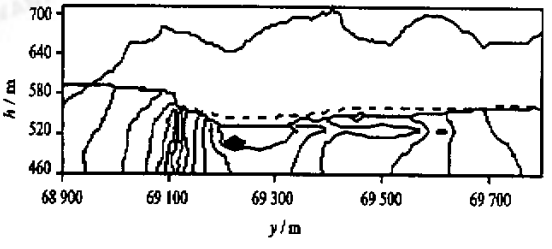


图 8　优选方案 12—12′剖面流场及水位对比图

由各方案计算剖面图可以看出(虚线为无排水洞时浸润线),排水洞能够较大幅度减低帷幕下游浸润线高程,并有效降低边坡出逸点高程。

对于排水洞长度,根据推荐方案中排水洞分段排水量计算结果,钙质石英岩段洞长 140 m,排水量为 3 467.8 m^3/d,单位长度排水量为 24.77

万方数据

$m^3/(d\cdot m)$，而北部其他岩段洞长 310 m，排水量为 1 118.2 m^3/d，单位长度排水量为 3.61 $m^3/(d\cdot m)$。另外在二标段以北，单薄山梁的山体已渐宽，即使没有布设排水洞该地段地下水也不会从边坡溢出。综上，排水洞北端取为纵坐标 69 630 m 以南为宜，而排水洞南端应距交通洞帷幕一定距离为宜。

在该方案作用下，山体内沿切岭断层走向最大水力坡度为1.350 5，根据对断层物质采样进行的渗透变形实验结果表明，山体内断层带物质的允许梯度为 5.16～17.40（表 1），远大于山体内的水力坡度，因此，排水洞作用后不会产生渗透破坏。

表 1 渗透变形实验成果表

岩样编号	临界坡降	破坏坡降	允许梯度
F61－1(干)	22.25	24.42	7.42
F62－2(湿)	16.75	18.76	5.58
F29－1	15.49	92.80	5.16
F29－2	15.86	60.05	5.29
F4－1	19.20	27.55	6.40
F4－2	13.85	65.10	4.62
F5－1	26.51	243.95	6.63
F5－2	52.26	88.82	17.4
F37－1	16.17	33.13	5.39
F37－2	22.38	99.79	7.46
F23	23.00	48.83	7.67

4 结论

（1）用三维有限差分方法进行水库渗漏计算具有高效、精确的优点。

（2）对于本中所研究的多目标规划问题，采用枚举法求解是可行的。

（3）在帷幕下游一定范围内增设排水洞后，可使得通过帷幕渗漏过来的水相当一部分通过排水洞排出山体，从而大幅降低了帷幕下游浸润线高程，部分降低了出溢点高程，且使得边坡处水力坡度变缓，坡体的稳定性得到改善。因而增设排水洞是必要且有效的。

（4）排水洞空间展布位置对其效果有较大影响。

（5）单薄山梁中的钙质石英岩的透水性好，因而排水洞应主要布设在该岩性段内。

[参 考 文 献]

[1] 孙讷正.地下水流的数学模型与数值方法[M].北京：地质出版社，1981.

[2] J 贝尔.多孔介质流体动力学[M].李俊亭，陈崇希译.北京：建筑工业出版社，1983.

[3] 姚汝祥，等.水资源系统分析及应用[M].北京：清华大学出版社，1987.

STUDY ON DRAINAGE SCENARIO OPTIMIZATION IN THE THIN MOUNTAIN RIDGE OF HEIHE RESERVOIR

WANG Wei

(*Dept. of Water Resource and Environmental Engineering, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: Heihe reservoir is a huge hydroelectric project to solve the water supply for Xi'an city, farmland water supply and hydroelectric power generation. The thin mountain ridge on the lefts ide of the reservoir could be used as part of the dam. After water impoundment, the safely and efficiency of the reservoir are determined by reservoir leakage and permeative stability. Therefore, the headquarters of Heihe Project made a decision that a drainage will lay at the lower position of the grouting wall in the ridge after the completion of grouting wall. In this paper, the drainage scenario optimization is studied.

Key words: Thin mountain ridge; leakage; drainage; scenario optimization

万方数据