

三峡永久船闸高边坡岩体 地下排水系统设计及排水效果验证

徐年丰 於习军 李洪斌
(长江水利委员会设计院 武汉 430010)

摘要 三峡永久船闸系在天然山体中深切开挖修建,开挖后两侧形成高陡岩质边坡,高边坡稳定问题直接决定着船闸的成立与否和航运的安全。大量分析与研究表明,地下水是影响边坡稳定的主要因素之一。为确保高边坡稳定,根据高边坡基本设计方案,在船闸两侧边坡岩体内布置了由排水洞与排水孔幕组成的岩体地下排水系统,现场调查与地下水观测证实,地下水疏排效果显著,满足设计要求。

关键词 三峡工程, 船闸高边坡, 地下排水系统, 试验与研究, 设计方案, 验证

分类号 TV 223.5, TV 223.6

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2001)05-0738-04

1 引言

三峡工程永久船闸为双线连续五级船闸,主体段长为1617 m,轴向为111°,系在长江左岸山体中深切开挖修建,开挖后两侧形成高为70~170 m的高陡岩质边坡,其中下部闸室槽段为高50~70 m的直立坡。高边坡稳定问题直接决定着船闸的成立与否和航运的安全。针对高边坡进行的大量分析与研究表明:地下水是影响边坡稳定的主要因素之一,排水降压对提高边坡稳定性效果显著。因此,在高边坡处理基本设计方案中^[1],将排水降压作为边坡处理的一项主要工程措施。为此,在船闸南、北两侧边坡岩体内各布置了7层共14条排水洞,并在洞内钻设排水孔幕,构成地下排水系统(见图1),以疏排岩体地下水,提高边坡稳定性。

本文结合船闸区水文地质特点和高边坡地下渗流场分析与现场试验成果,详细论述了高边坡岩体地下排水系统的设计思想和布置方案,并通过现场调查和地下水观测资料证实,地下水疏排效果显著,目前地下水已降至设计水位线以下,满足设计要求。

2 船闸区水文地质特点

2001年5月25日收到初稿,2001年6月12日收到修改稿。

作者 徐年丰 简介:男,1964年生,1985年毕业于武汉水利电力学院水建系水工建筑专业,2000年获武汉水利电力大学水利发电工程学院水工结构专业硕士学位,现为长江水利委员会设计院高级工程师、基础处理设计室主任,主要从事水工基础处理、岩土边坡及滑坡整治、病险水库治理设计等方面的工作。

2.1 岩体的透水性

船闸基岩为前震旦纪闪云斜长花岗岩,岩体自上而下分为全、强、弱、微4个风化带,边坡以微新岩体为主。岩体中结构面多与边坡大角斜交,有利排水。

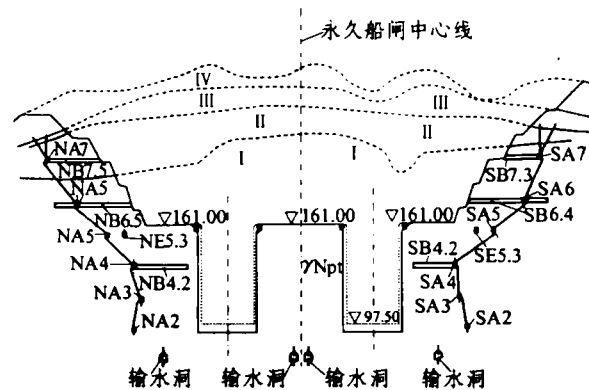


图1 地下排水系统布置

Fig.1 Layout of underground drainage system

岩体透水性自上而下降低。全、强风化岩体以垂直补给的非饱和渗流为主,透水性强;弱风化岩体为主要的地下水径流层,中等-弱透水,具非均质各向异性特征;微新岩体透水性极微,主要沿断层、裂隙渗水,具典型非均质各向异性特征。地层分带及渗透特征,决定岩体地下水具入渗迅速而导排、

疏干缓慢的特点。

2.2 地下水的补给、运移和排泄

地下水主要由大气降雨补给,经全、强风化岩体垂直入渗,并在弱风化带内形成地下水位,水位多位于弱风化顶板附近,年变幅为3~9 m,变化一般滞后降雨为10~20 d。弱风化带地下水一部分沿复杂的裂隙网络向深部运移,另一部分则在该带中形成地下径流向临空面排泄。

船闸施工期,施工用水亦为重要的补给源。

3 高边坡排水设计的基本思路

根据高边坡基本特点、岩体渗透性、地下水补给关系、地下渗流场分析与渗流试验成果,经综合论证确定:采用地表截、防、排水系统和地下排水系统相结合的综合排水方案。地表截、防、排水与地下排水共同构成高边坡排水系统。

3.1 地表截、防、排水系统

地表截、防、排水系统的任务是减少地表水入渗,一定程度阻隔地面与地下水水力联系,并将地表水及时排离边坡范围。由在边坡顶周围设置的周边截(排)水沟、坡顶及坡面喷混凝土护面、坡面设排水沟、排水孔等组成。

3.2 地下排水系统

地下排水系统的主要目的是直接疏排岩体地下水,降低边坡地下水位,减小渗透压力,提高边坡稳定安全度。由排水洞和洞内设置排水孔幕组成。

船闸采用锚固于边坡岩体上的薄闸墙结构,为降低墙背水压力(主要是闸室渗水),确保墙体稳定,在墙背设置了竖、横向排水管网。排水管网对岩体地下水的疏排可起到一定的辅助作用。

4 渗流计算分析与试验的基本结论

4.1 渗流计算分析结论

为了解高边坡地下渗流场特征及排水系统的疏排效果,合理地确定边坡稳定分析中的地下水模式,根据船闸区水文地质特点和边坡设计开挖形态,采用二、三维渗流模型,对地下渗流场进行了全面的数值模拟分析^[2,3]。

(1) 由高边坡渗流参数和边界条件的敏感分析,得出如下结论:① 断层和最大主渗透张量接近铅直的条件有利于排水;② 设计的排水措施对

于降低边坡地下水压力很有必要;③ 运行条件下,库水位对边坡渗流场的影响范围有限。

(2) 对实施高边坡排水方案的全面模拟分析,得出如下结论:① 无排水设施时,边坡开挖形成后,地下水自由面下降不大,坡面出逸点在微风化带顶板附近;② 设置排水洞后,地下水自由面较无排水情况有所降低,但效果不明显,坡面出逸点相应降低为1~19 m;③ 排水洞内设置排水孔幕,并在坡顶及坡面作喷护防渗时,地下水自由面有较大幅度降低,出逸点已接近闸室底板;排水孔间距为2 m时,排水幕后坡体疏干区达85%左右,排水效果明显。

(3) 对暴雨条件下高边坡饱和非饱和渗流场的模拟,得出如下结论:① 设计的排水系统对饱和区的水压力起到了较好的控制作用;② 降雨入渗作用将在非饱和带中形成局部饱和区;③ 建议做好地表防渗和排水。

4.2 现场疏干试验结论

为论证岩体地下排水系统的疏排效果,曾在船闸8#勘探平洞4#支洞内进行了专项排水疏干试验,结果表明:由于弱风化岩体储水丰富,而微新岩体渗透性微弱,疏排缓慢,在微新岩体中采用单一的排水洞,不能产生明显的排水效果,当在排水洞内钻设排水孔后,则有明显的疏干效果。

4.3 边坡地下水位概化模式

根据渗流分析成果,同时考虑闸室墙后排水管网的运行效果,拟定两侧边坡设计状态时的概化地下水位线见图2中水位(一)。

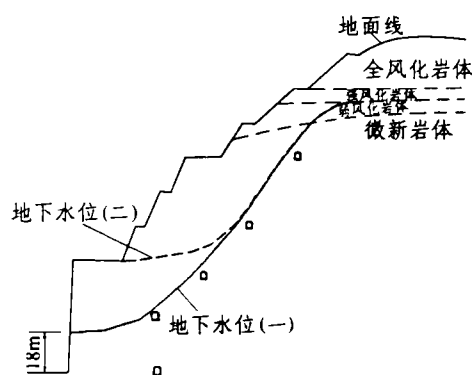


图2 设计地下水位线

Fig.2 Designed underground water level line

5 高边坡地下排水系统设计与布置

根据船闸特点及高边坡具体条件,拟定地下排

水系统的设计原则为：(1) 布置要合理，效果要可靠，且利于管理与维护；(2) 排水洞应设在边坡稳定岩体内；(3) 排水洞除排水外，应尽可能兼顾地质勘探、安全监测、科学试验及边坡加固预应力对穿锚索施工的要求；(4) 排水孔应自上而下形成一道连续幕体；(5) 排水孔应根据水文地质条件布置，并在施工过程中动态优化。

5.1 排水洞布置

南、北两侧边坡体内各布置 7 层共 14 条排水洞，各洞水平距开挖坡面距离为 30~45 m，相邻两层洞高差为 25~33 m。排水洞纵坡一般为 0.5%。城门洞型断面尺寸为 2.5 m×3.0 m，兼作边坡加固对穿锚索施工洞的洞段，断面尺寸为 3.0 m×3.5 m。南、北两侧边坡各布置 2 个通风及吊物竖井，断面为圆形，直径为 3.0 m，竖井通过水平交通洞与各层排水洞连通。对应船闸主要监测断面，在排水洞上布置监测支洞。排水洞内靠山体侧布置一条排水沟，断面为 0.25 m×0.3 m。洞底板均采用 C₁₅ 混凝土找平。洞身一般不作支护，仅强风化层部位采用钢筋混凝土衬砌，地质缺陷及主、支洞交叉部位采用素混凝土衬砌或喷锚支护。

为确保施工期边坡稳定，及时疏排边坡地下水和对高边坡进行全面监测，并为船闸明挖提供地质指导，要求洞挖在高程上超前船闸明挖 20~40 m。

5.2 排水孔布置

排水孔是地下排水系统的主体。设计参数为：

(1) 孔排距：顶层(第 7 层)排水洞及以下各洞在相对最上层范围内的洞段采用 2 排孔，孔距为 2.5 m，其余洞段一般为单排孔，孔距为 2.0~2.5 m，其中第一闸室部位距上游水库较近，库水补给渗径较短，孔距为 2 m。

(2) 孔向：单排排水孔均为斜仰孔；双排排水孔中，一排为垂直仰孔，另一排为斜仰孔。

(3) 孔深：各闸室相对最上层洞段内的排水孔伸入强风化岩体为 3~5 m，其余洞段内的排水孔伸入上一层排水洞底板高程以上 0.5 m，距洞壁为 1 m。

(4) 孔位：斜仰孔布设在洞顶偏山体侧 65~75 cm 处，垂直仰孔布设在洞顶中间。

(5) 孔径：均为 $\phi 91$ mm。

(6) 排水孔保护：对穿入强风化岩体和软弱地质缺陷的排水孔采用全孔或部分穿塑料花管，保护段外包工业过滤布保护，其余不作孔内保护；为保持洞内整洁美观和方便观测，排水孔孔口均安装塑

料孔口装置，将出水引至排水沟中。

6 地下排水系统疏排水效果验证

排水洞一期工程(上三层洞)洞挖与船闸一期工程明挖均于 1994 年 4 月动工，至 1998 年 3 月排水洞洞挖结束，1998 年 7 月完成洞内排水孔钻孔，1999 年 10 月闸室槽明挖结束。洞挖历时 4 a，明挖历时 5.5 a(其中一、二期施工间歇约 1 a)。施工期间，边坡地下水的疏排已显示出较好的效果。

6.1 现场检查情况

为全面了解地下排水系统的排水降压效果，1998 年 11 月和 1999 年 8 月，两次对地下排水洞及洞内排水孔的出水情况，进行了逐段、逐孔调查^[4]。

(1) 第一次调查系在旱季进行，调查结果为：

① 各排水洞洞壁渗水及出水孔比率与出水量自上而下逐层增强。一期(第 5~7 层)排水洞洞壁大多无渗水，出水孔数及出水量普遍较小，顶层(第 7 层)排水洞基本干燥，其南、北坡出水孔仅为 4.4% 和 6%；二期(第 1~4 层)排水洞大部分洞壁及排水孔渗水，出水孔比率达 60% 以上，实测南 1、北 1 洞出水孔达 97.2% 和 100%，最大孔单孔流量达 4.32 L/min 和 15 L/min。

② 洞壁渗水量较大的点主要集中在洞顶和靠山体侧，靠船闸侧渗水点和渗水量明显减弱；位于边坡与排水洞间的监测支洞大多干燥；南、北侧直立坡面多干燥，仅坡底附近局部小范围潮湿。

③ 洞壁渗水点及出水孔多在微新岩体中，出水量大的孔一般都沿地质构造分布。

(2) 第二次调查系在雨季进行，调查结果为：

① 第 5~7 层排水洞洞壁基本干燥，仅进口强风化洞段洞壁局部微湿润；个别排水孔微量渗水。

② 第 1~4 层排水洞内出水孔数与出水量与前次检查情况相比明显降低；第 2~4 层排水洞大多数洞段干燥，仅局部洞段零星湿润，少量排水孔滴水，洞壁湿润面主要位于洞内靠山体侧；渗流情况南坡好于北坡。

③ 第 1 层洞内排水孔出水量普遍降低，单孔出水量小于 5 L/min。

综合两次调查结果表明：随着闸室槽不断下挖、地表护面的不断完成及岩体地下排水系统的逐步完善，岩体地下排水系统已发挥出明显的疏排作用，中、上部边坡岩体疏干区已基本形成。

6.2 地下水位监测

为监测边坡岩体地下水位的变化,在两侧排水洞内布置了大量的渗流、渗压监测仪。1995年5月,在南、北两侧距直立坡93 m和117 m的230 m高程马道上各布1个地下水长观孔(4[#]和1[#]孔),阻隔成3段观测地下水位。1996年12月,又在两侧距直立坡21 m和31 m的170 m高程马道上各布1个长观孔(2[#]和3[#]孔)。已获取的大量监测资料表明^[4,5]:

(1) 船闸与排水系统施工期间,边坡地下水位已不断下降,测孔水位绝大多数低于相应洞底高程。1999年10月后,地下水位趋向稳定,变幅小于5 m。

(2) 南坡地下水位普遍低于北坡为1~3 m,最大为14.34 m。

(3) 绝大多数测压孔水位变化与降雨时间呈相关性,但普遍滞后于降雨。

(4) 地下水具明显的非饱和渗流特点,无明确的地下水浸润面,局部存在上层滞水,渗压力具有上高下低的特点。

(5) 两侧第4层排水洞各布有3对分别倾向边坡和山体的对称观测孔,观测表明,施工期,朝向坡面的测孔水位明显呈下降趋势,现有的已成干孔。

(6) 长观孔监测表明,一期排水系统基本形成后,1995年9月~11月,地下水位已呈下降趋势。1996年4月后,1[#],4[#]长观孔上段地下水基本疏干,中、下段水位开始分离,下段水位明显下降。1997年3月一期排水系统竣工时,1[#],4[#]长观孔上、中段多数时段无水,下段水位降至175 m以下。1998年3月,二期排水系统基本完工,2[#],3[#]两测孔综合水位下降。1999年3月后,1[#]~4[#]长观孔水位均明显低于设计水位线。目前,尚在缓慢下降中。

7 基本结论

根据现场调查和施工期地下水监测成果,可得出如下基本结论:

(1) 地下排水系统排水、降压效果显著,岩体疏干区已形成,地下水位已降至设计水位以下,且有一定富裕度,满足设计要求。

(2) 边坡排水的基本设计思路正确,布置合理,地下水起到了较好的疏排作用。

(3) 地下水显示出上高下低的非饱和渗流特点,与渗流分析结果基本一致。

(4) 降雨对地下水有较大影响,进一步加强和完善地表与坡面的防渗、排水,对地下排水系统疏排效果的发挥有着重要的作用。

参考文献

- 1 水利部长江水利委员会. 长江三峡水利枢纽永久船闸高边坡设计基本方案专题报告[R]. 武汉:水利部长江水利委员会,1994
- 2 任大春,谢红. 三峡水利枢纽永久船闸高边坡渗流场三维有限元计算分析报告[R]. 武汉:长江科学院,1995
- 3 李思慎,张家发,滕建仁等. 三峡永久船闸高边坡岩体饱和和非饱和渗流研究(“八·五”攻关)[R]. 武汉:长江科学院,1995
- 4 於习军,徐年丰,林文亮等. 长江三峡水利枢纽永久船闸高边坡山体排水系统排水效果分析专题报告[R]. 武汉:长江水利委员会,1999
- 5 高大水,刘志明,徐年丰等. 长江三峡水利枢纽永久船闸高边坡施工期安全监测资料分析报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究院,2000

DESIGN OF UNDERGROUND DRAINAGE SYSTEM AND ITS EFFECT VERIFICATION FOR HIGH SLOPE OF THE TGP PERMANENT SHIPLOCK

Xu Nianfeng, Yu Xijun, Li Hongbin

(Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010 China)

Abstract The TGP permanent shiplock was built by means of excavation in natural rock mass of hilly area, and a high slope was formed. The stability of the high slope directly affects the establishment of the shiplock and the safety of its navigation. Studies and tests show that the stability of high slope is highly sensitive to underground water. In order to stabilize the high slope, an underground drainage system is designed and carried out. The investigation carried in site and monitoring data obtained show that the effect of the drainage system is remarkable to meet the design requirement.

Key words the Three Gorges Project, high slope of shiplock, underground drainage system, studies and tests, design scheme, verification