

蒲州新闸隔堤的防渗加固设计

程功文,蔡 富

(温州市水利电力勘测设计院,浙江 温州 325011)

摘要:介绍蒲州新闸概况,闸体总净宽 18 m,包括两孔水闸、下闸首、上闸首、中间隔堤等,为泄洪闸兼过船闸。船闸工程于 2003 年 3 月 27 日完工并开始通航运行,2003 年 6 月隔堤发生严重漏水,隔堤下防渗板桩被水流从混凝土底板下冲出,水闸及船闸停止运行。对隔堤防渗方案进行比较,确定采用土工膜防渗方案,加固后水闸、船闸安全运行 6 年,证明加固方案安全可靠。

关键词:水闸;船闸防渗;结构设计;蒲州新闸

中图分类号:U641 文献标识码:B 文章编号:1006-7647(2010)S1-0085-04

1 工程概况

蒲州新闸包括两孔水闸、下闸首、上闸首、中间隔堤、上下游翼墙、下游消能防冲建筑物、上游河道护坡及原过船闸河道拓宽等。水闸净宽 18 m,每孔 6 m,闸底板高程 - 1.00 m,上、下闸首中心距为 213 m,水闸 50 年一遇设计流量为 197 m³/s,最大过闸流量为 225 m³/s。船闸设计通航水位为 2.72 m,最低通航水位为 1.00 m(黄海高程),设计过船能力为 50 t,上、下闸首净宽为 6 m,船室净宽为 26 m,净长为 176 m,上游河道河面宽度为 38 m,系对原过船闸河道进行拓宽,两岸设直立式驳坎,河底设计高程 - 1.00 m,河道长度为 410 m,水闸主体工程于 1998 年 12 月开工,2000 年底基本完工,上游河道相对滞后于水闸主体工程。

2 工程地质条件

蒲州新闸位于温州市东南面、现蒲州套闸下闸首东面约 480 m 的滩地上,地形平坦开阔,地势低平,属第四纪滨海相沉积平原地形地貌。涨潮时,滩地均被淹没。

根据钻孔揭露,场区地层分为 4 层,各土层的主要物理力学指标见表 1,土层性状分述如下:

第 1 层:淤泥,层厚 5 ~ 7 m,深灰色,饱和,含水量较高,均质、黏滑、流塑状、絮状结构,局部含有粉细砂,呈薄层和分散状。

第 2 层:淤泥质粉质黏土。层厚 12 ~ 15 m,深灰色,饱和,软可塑状,土质不均匀,夹有粉细砂薄层或互层状分布,局部含 50% ~ 60% 的粉细砂。

第 3 层:淤泥,层厚约 10 m,深灰色,土质较均匀,黏滑,流塑状、絮状结构、为高压缩性、低强度的软弱土。

第 4 层:淤泥质黏土,该层的实际钻探过程中未穿透,深灰色,均质、饱和,软塑状、鳞片状结构。

3 过船闸防渗防撞设计

过船闸上下闸首总长度为 213 m,船室净长为 176 m,宽度为 26 m,船室底高程为 - 1.00 m,设计通航吨位为 50 t,船闸设计通航水位为 2.72 m,最低通航水位为 1.00 m,上、下闸首净宽为 6 m,船室同泄洪河道之间采用隔堤分隔,隔堤断面混凝土强度为 C20,顶宽为 0.8 m,底宽为 2 m,- 1.00 m 高程以下设

表 1 各土层的主要物理力学指标

土名	天然含水量/%	孔隙比	土粒密度/(t·m ⁻³)	干密度/(t·m ⁻³)	渗透系数/(cm·s ⁻¹)		固结快剪指标	
					水平	竖直	c/kPa	φ/(°)
第 1 层(淤泥)	71.20	2.02	2.76	0.917	1.24 × 10 ⁻⁵	4.7 × 10 ⁻⁶	5.0	14.5
第 2 层(淤泥质粉质黏土)	40.50	1.18	2.73	1.26	4.61 × 10 ⁻⁴	7.3 × 10 ⁻⁶	12.0	20.7
第 3 层(淤泥)	55.95	1.60	2.76	1.06			19.5	12.6
第 4 层(淤泥质黏土)	48.00	1.38	2.76	1.16			27.0	11.8

钢筋混凝土底板,底板宽为4m,底板厚度为0.5m,隔堤每12m设1条伸缩缝,缝内设止水铜片,底板底部设2排 $\varnothing 600$ C20混凝土灌注桩,桩距为2.4m,桩长为16m。为防止低水位通航时泄洪河道水流向船室中渗漏,隔堤底部设6m长的防渗木板桩,木板桩厚度为0.1m,木板桩采用凹凸槽连接。原隔堤断面见图1。

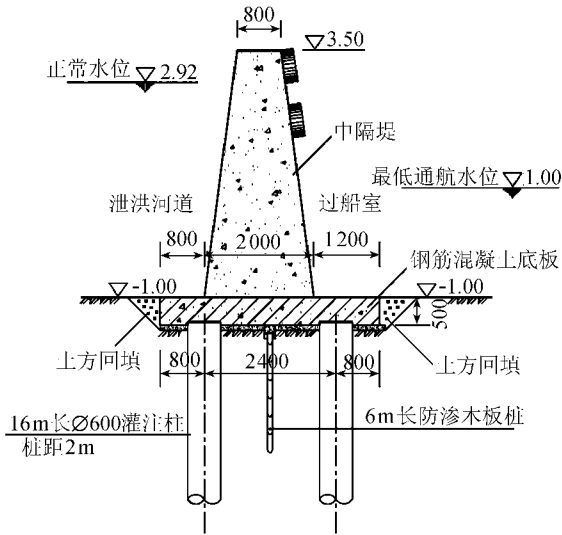


图1 原中隔堤设计断面(高程单位:m,尺寸单位:mm)

4 存在问题

船闸工程于2003年3月27日完工并开始通航运行,2003年6月隔堤发生严重漏水,漏水点达4处,隔堤下5根防渗板桩被水流从混凝土底板下冲出,同时,底板下部分淤泥夹砂被冲出,4处漏水点地基破坏长度达3m,占隔堤总长度的1.7%,最大深度达4m。

5 隔堤土基破坏原因分析

5.1 地质原因

本工程闸址处属第四纪滨海相沉积平原地形地貌,属近年淤积而成。涨潮时滩地均被淹没,地质变化较大,隔堤底板下部为淤泥质粉质黏土层,层厚12~15m,深灰色,饱和,软可塑状,土质不均匀,夹有粉细砂薄层或互层状分布,局部含50%~60%的粉细砂,在渗透压力作用下极易发生渗透破坏。

5.2 运行管理原因

原船闸通航吨位为50t,最高通航水位为2.72m,最低通航水位为1.00m,内河正常蓄水位为2.92m(基本保持不变),在此工况下,隔堤承受的水头差分别为0.2m及1.92m。实际运行时通航吨位为100t,最高通航水位为2.72m,最低通航水位为-0.5m。此时,隔堤承受的水头差分别为0.2m及3.42m,最大运行水头超过设计最大运行水头1.5m。

5.3 防渗板桩接缝不密

设计时防渗板桩长度为6m,宽度为0.2m,厚度为0.1m。采用凹凸槽连接紧密,被冲出的木板桩接缝处出现淤泥夹砂,表明防渗板桩连接不紧密,防渗效果较差。

5.4 船只频繁撞击隔墩

本工程闸室宽度为26m,由于船室过船较多,船只频繁撞击隔墩,可能导致隔堤底板与板桩接头处脱开,从而形成渗漏通道。

6 原设计断面渗流计算

分别进行原设计断面在设计工况和实际运行工况下的渗流计算。采用二维有限元渗流软件(AUTOBANK5.6)进行计算。

6.1 渗流计算原理

堤基渗流属于有压流,在计算堤基渗流时,一般作为平面问题考虑,假设地基是均匀的,并符合达西定律。在此条件下,堤基渗流运动可用拉普拉斯方程表示:

$$k_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0$$

式中: k_x 和 k_y 分别为土的水平渗透系数和垂直渗透系数; H 为渗透水流在某点的计算水头。

渗流第一类边界条件:闸址上下游的入渗面、出渗面水头已知, $H = H_B$, H_B 为已知点的水头;渗流第二类边界条件:稳定的渗流面和不透水边界,没有流量流进流出, $\frac{\partial H}{\partial n} = 0$, n 为边界外法线方向。

6.2 渗流计算

水位按以下2种组合:①原设计工况:泄洪河道正常水位为2.92m,过船室水位1.00m;②实际运行工况:泄洪河道正常水位2.92m,过船室水位-0.5m。

6.2.1 原设计工况

原设计工况下,隔堤及防渗板桩承受最大水头差为1.92m,按此水头利用有限元计算得出考虑防渗板桩情况下渗流出逸坡降为0.15,小于淤泥的允许渗流坡降为0.3~0.4,因此认为渗流安全;不考虑防渗板桩情况下渗流出逸坡降为0.51,大于淤泥的允许渗流坡降为0.3~0.4,因此认为渗流不安全。有板桩情况渗流计算成果见图2。

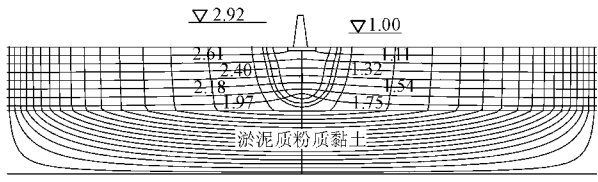


图2 原设计断面设计工况水头等值线(单位:m)

6.2.2 实际运行工况

实际运行工况下,隔堤及防渗板桩承受最大水头差为 3.42 m,按此水头利用有限元计算得出考虑防渗板桩情况下渗流出逸坡降为 0.29,接近淤泥的允许渗流坡降 0.3~0.4,因此认为渗流基本安全;不考虑防渗板桩情况下渗流出逸坡降为 0.95,远大于淤泥的允许渗流坡降为 0.3~0.4,因此认为渗流不安全,有板桩情况渗流计算成果见图 3。

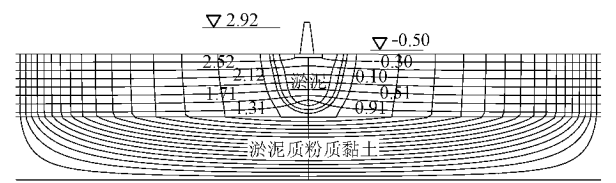


图 3 原设计断面实际运行工况水头等值线(单位:m)

7 加固方案比较

7.1 防渗方案比较

一般防渗方案包括垂直防渗和水平防渗。垂直防渗包括水泥搅拌桩防渗墙及防渗板桩,水平防渗包括防渗铺盖和土工膜防渗等。本工程采取水泥搅拌桩防渗和土工膜防渗做比较。

7.1.1 水泥搅拌桩防渗方案。

水泥搅拌防渗方案主要需确定防渗墙的深度和厚度。防渗墙的深度确定主要考虑水流通过防渗墙后是否使土体发生变形,根据防渗墙实际承受的最大水头压力为 3.42 m,计算出防渗墙深度为 6 m 时土体不致发生渗透变形,防渗墙的厚度主要考虑防渗墙本身不发生破坏,水泥土防渗墙可参考水泥黏土计算允许坡降,可采用 3~4,本次取 3。因此需墙体厚度为 $3.42/3 = 1.14$ m。考虑到水泥土施工质量原因,搅拌桩按 3 排布置,排与排之间考虑搭接厚度为 10 cm。因此总厚度为 1.6 m,水泥搅拌桩顶部设 0.5 m 厚、2.5 m 宽的钢筋混凝土承台。防渗方案见图 4。

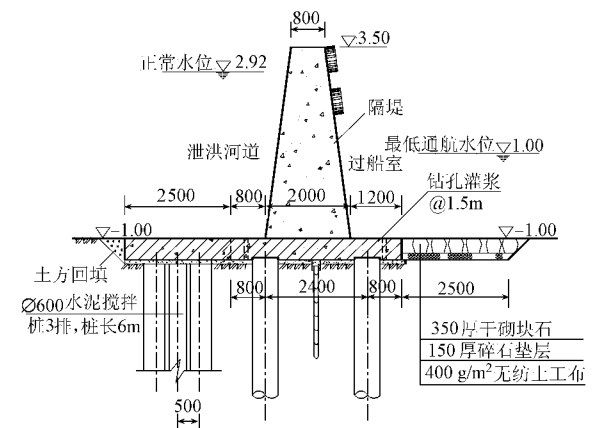


图 4 搅拌桩防渗方案断面(高程单位:m,尺寸单位:mm)

7.1.2 采用土工膜防渗+混凝土面层

土工膜设置在高水位侧,土工膜为两布一膜。土工膜顶部采用 150 mm 厚 C20 混凝土保护,土工膜铺设长度为 27 m,防渗方案见图 5。

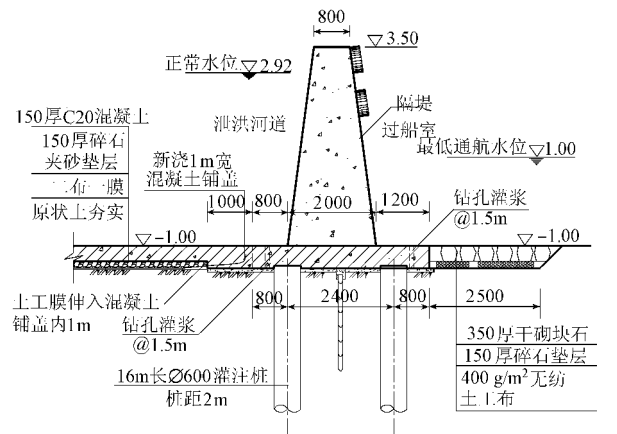


图 5 土工膜防渗方案断面(高程单位:m,尺寸单位:mm)

7.1.3 方案比较

方案比较见表 2。由表 2 可知,方案 1 搅拌桩施工工期较长,且质量难以保证。方案 2 施工较简单,防渗效果较好。因此优先推荐方案 2。

表 2 防渗方案比较

方案	优点	缺点	总投资/万元
方案 1: 搅拌桩方案	为竖向防渗,对于含粉细砂地基,防渗效果较好,投资较小	在砂层及石块地段往往难以施工,工期较长	208.66
方案 2: 土工膜方案	常规水平铺盖防渗,施工较方便,投资较小	土工膜与老混凝土之间及土工膜与土工膜之间接缝若处理不好则容易成为渗水通道	231.40

7.2 防渗加固后的渗流计算

考虑隔堤防渗加固后通航标准达到 100 t,因此水位组合考虑泄洪河道正常水位 2.92 m,过船室水位 -0.5 m,水头为 3.42 m。

7.2.1 水泥搅拌桩防渗方案

隔堤及防渗板桩承受的最大水头差为 3.42 m,按此水头利用有限元计算得出不考虑防渗板桩情况下的渗流出逸坡降为 0.41,接近淤泥允许渗流坡降(0.3~0.4)的上限,因此认为渗流基本安全,渗流计算成果见图 6。

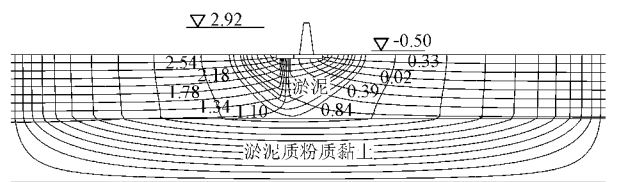


图 6 搅拌桩防渗方案水头等值线(单位:m)

7.2.2 采用土工膜防渗方案

隔堤及防渗板桩承受的最大水头差为 3.42 m , 不考虑防渗板桩情况下渗流出逸坡降为 0.39 , 位于淤泥允许渗流坡降(0.3 ~ 0.4)之间 , 因此认为渗流安全 , 渗流计算成果见图 7。

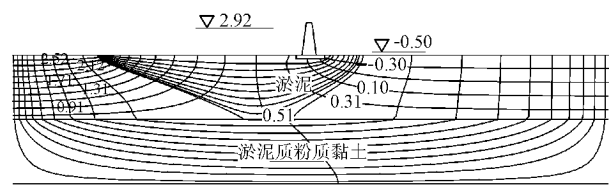


图 7 土工膜防渗方案水头等值线(单位:m)

7.3 各种防渗方案防渗效果分析

采取 3 种防渗方案 :①单一 6 m 长防渗板桩防渗 ;②6 m 长防渗板桩 + 3 排 6 m 长 Ø600 水泥搅拌桩防渗 ;③6 m 长防渗板桩 + 27 m 水平长度的土工膜铺盖防渗。

对 3 种防渗方案及板桩可能失效后的情况进行计算 , 计算结果见表 3。

表 3 渗流出逸坡降计算结果

计算工况	水位差 1.92 m		水位差 3.42 m	
	考虑板桩防渗	板桩失效	考虑板桩防渗	板桩失效
原设计断面	0.15	0.51	0.29	0.95
搅拌桩防渗	0.14	0.22	0.27	0.41
土工膜防渗	0.10	0.20	0.19	0.37

由计算结果可以看出 , 若采取单一防渗措施 , 采用防渗板桩效果最好 , 采用土工膜铺盖防渗效果次之 , 采用水泥搅拌桩防渗效果最差。

在采用板桩防渗后 , 再采用水泥搅拌桩辅助防渗 , 效果不明显 , 出逸坡降仅减小 6.7% ; 而采用土工膜水平防渗 , 出逸坡降减小 33.3% , 效果明显。故本次防渗加固方案推荐土工膜加混凝土压重进行防渗。考虑原 6 m 长防渗板桩可能接缝不密 , 难以达到防渗效果 , 因此加固方案渗流计算时不考虑原板桩。

7.4 防渗加固设计

加固设计首先清除隔堤底部临时防渗的编织袋装土 , 并用黏土回填漏水孔 , 为了填充隔堤底板与临时加固土方之间的空隙 , 在隔堤底板上钻孔注入水泥砂浆 , 同时在泄洪河道底部、隔堤 176 m 长度范围均设土工膜及 150 mm 厚 C20 混凝土压重防渗加固 , 土工膜为两布一膜 , 膜厚 0.8 mm , 土工膜利用钢板及橡胶垫片固定在隔堤底板上。

8 结 语

a. 加固处理后船闸已运行 6 年 , 在各种通航工况下 , 船室未发现明显渗漏 , 土体也未发生渗透破

坏 , 表明加固设计是合理、有效的。

b. 温州土地较为紧缺 , 采用过船闸同泄洪闸结合布置 , 布置紧凑 , 便于工程管理 , 节省土地 , 节约投资。

c. 软土地基宜采取可靠的防渗措施 , 板桩作为防渗措施往往施工质量难以保证 , 因此难以达到防渗效果 , 仅作为防渗安全储备。采用土工膜防渗是一种较好的水平防渗方案 , 其投资较小 , 施工方便。

参考文献 :

[1] 张世儒 , 高逸士 , 夏维城 . 灌区水工建筑物丛书 : 水闸 [M]. 北京 : 水利电力出版社 , 1986 .
[2] SL265—2001 水闸设计规范 [S]. 北京 : 水利电力出版社 2001 .
[3] GB50201—98 土工合成材料应用技术规范 [S].

(收稿日期 2010-01-14 编辑 : 高建群)

(上接第 56 页) 同期出险概率 , 对浙江省水利工程 , 特别是小型水利防洪工程的储备标准进行探讨 , 新的防汛物资储备标准 , 一方面满足了防汛抢险的需要 , 另一方面又减少了防汛物资的储备数量 , 有效降低了防汛物资储备的成本。浙江省防办根据上述方法编制了《浙江省防汛抢险物资储备定额》, 并于 2007 年 3 月进行试行。经过一个汛期的试行 , 受到社会各界的好评 , 既保障了重点防汛工程防汛抢险物资的需要 , 又给地方防办和小型水利管理机构根据实际情况自主选择储备标准节省了社会物资储备成本。

参考文献 :

[1] SL298—2004 防汛物资储备定额编制规程 [S].
[2] 甘友文 , 傅建中 , 潘海平 , 等 . 浙江省防汛物资储备定额 [R]. 杭州 : 浙江省水利河口研究院 2007 .
[3] 阮冰 , 朱建冲 , 汤健 . 基于风险态度的紧急物资保障方案研究 [J]. 贵州工业大学学报 : 自然科学版 , 34(3) 91-95 .
[4] 陈鸿起 , 解建仓 , 申毅荣 , 等 . 防汛物资协同储备模型研究 [J]. 系统工程理论与实践 , 2007(4) 96 .
[5] JONG T D et al . Modeling floods and damage assessment using GIS , in HydroGIS 96 : application of geographic information systems in hydrology and water resources management [M]. IAHS Public , 1996 235 .
[6] PROFETI Q , MACINTOSH H . Flood management through land sat TM and ERS SAR data : a case study [J]. Hydrological Process , 1997(11) 72 .

(收稿日期 2010-06-03 编辑 : 方宇彤)