

荆南长江干堤堤基防渗加固措施

陆付民 李建林 郭永成

(三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室,湖北 宜昌 443002)

摘要 讨论荆南长江干堤堤身的土质状况,对堤基土层结构进行分类,通过渗流计算提出荆南长江干堤典型断面堤基防渗加固处理措施。针对荆南长江干堤堤基土层结构的特点,提出堤基防渗加固处理的原则,堤防防渗加固方案的选择必须顾及堤基土体的物理力学性质,以及堤基周围的人文及地理环境要素,同时应考虑到用于堤防加固处理的经费,通过多种方案的比较,找出其中最合理的方案;当透水层上的覆盖层较薄且透水层较厚时,应采用盖重的方法进行堤基防渗处理,必要时增加排渗井或减压沟,以增强堤基的防渗效果;当透水层较薄且透水层下为基岩或有较厚的相对弱透水层时,可采用全封闭式防渗墙或半封闭式防渗墙进行堤基防渗,若透水层特别薄且透水层的颗粒较细时可采用土工膜进行堤基防渗,以节约堤基防渗的成本。

关键词 堤基防渗 堤基加固 渗流计算 荆南长江干堤

中图分类号:TV871 文献标识码:A 文章编号:1006-764X(2007)02-0037-03

Measures for seepage control and reinforcement of Jinnan dike foundation on Yangtze River//LU Fu-min, LI Jian-lin, GUO Yong-cheng (Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area of Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: The soil condition of the dike body was discussed, and the structure of soil layer of the dike foundation was classified. Then, the measures for seepage control and reinforcement of the dike foundation for some typical cross-sections of Jinnan dike were proposed by means of seepage calculation. In consideration of the characteristics of soil layer structure of the dike foundation, the principle of seepage control and reinforcement of dike foundation was put forward: the physical-mechanical properties of soil mass of the dike foundation and the cultural and geological environment factors around the dike foundation as well as the cost should be taken into account in selection of the schemes for seepage control and reinforcement of the dike, then the optimal scheme should be determined by comparison of various schemes. Some conclusions are drawn as follows: if the covering layer on the pervious layer is thin while the pervious layer is thick, the heavy coverage method should be taken, and dewatering wells or decompression ditches may be added if it is necessary so that the effect of seepage control could be enhanced; if the pervious layer is relatively thin with bed rock and thick but weak pervious layer below, the fully-closed or semi-closed impervious walls should be taken for seepage control of the dike foundation; if the pervious layer is especially thin with fine grains, the geomembrane should be taken for seepage control so that the cost for seepage control could be reduced.

Key words: seepage control of dike foundation; reinforcement of dike foundation; seepage calculation; Jinnan dike on Yangtze River

荆南长江干堤位于湖北省荆江河段的南岸。该堤的荆州区段始建于晋、唐时期。经过明、清、民国时期,将小垸逐步连成大垸,通过加高培宽,形成荆南长江干堤的雏形。由于堤身填筑质量较差,历史上荆南干堤曾溃口频繁。1949 年中华人民共和国成立后,经过 50 多年的防洪建设,荆南长江干堤已初具规模,基本具备一定的防洪能力。荆南长江干堤上接松滋县查家月堤,与松滋江堤相连,跨越虎渡河、藕池河、调弦河 3 条河流,下接石首市五马口,与

湖南省长江干堤相连,为二级堤防。荆南长江干堤全长 192.32 km,堤顶高程为 37.5 ~ 46.3 m,大部分断面没有达到二级堤防规定的设计要求,河段内分布有三八滩、金城洲、突起洲等洲滩,河道蜿蜒曲折,为典型的蜿蜒性河道。

荆南长江干堤保护着松滋县小部分地区及荆州市荆州区、公安县(含荆江分洪区)、石首市、湖南省华容县东洞庭湖的大部分地区,保护范围涉及湖南省及湖北省的五县市,保护面积 2 564 km²、人口

136.4 万、耕地 11.59 万 hm^2 ,保护区内经济发达、土地肥沃、自然条件比较优越。

1 荆南长江干堤堤身土质状况

由于荆南长江干堤的形成时间跨度较大,各个时代施工的经济技术水平不同,因此堤身填筑质量差别较大。堤身取土一般位于干堤两侧,主要为素填土,此外还有少量杂填土。素填土主要由粉质壤土、粉质黏土、砂壤土及粉细砂组成。杂填土分布较少,仅分布于石首、公安等城镇堤段,一般为粉质壤土夹碎砖瓦片及生活垃圾。

堤身黏性土一般具有中等压缩性,局部具有高压缩性,密实程度极不均匀,一般呈上部松、下部密的特点,透水性能位于弱透水到微透水之间。砂性土一般呈稍松或中密状态,具有较强的透水性,一些堤段存在生物洞穴,这些不利的因素降低了堤身抵抗洪水的能力。

1998 年汛期,堤身险情一般以散浸为主,发生部位为堤内坡下部及堤脚至压浸平台处,此外还出现清水漏洞 12 处、浑水漏洞 1 处、翻砂鼓水 1 处、堤身裂缝 3 处(其中 2 处长度为 20 m,一处长度为 100 m)。

2 荆南长江干堤堤基土层结构分类

根据地质勘察资料,荆南长江干堤堤基土层结构分为 6 类,各类土层结构如下:

a 类 透水层直接出露,透水层下为埋藏较浅的弱透水层,弱透水层较为完整,可作为防渗依托层。该类堤基长 60 km,天然状态下不能满足渗透稳定性要求。

b 类 透水层上部有 1 层薄的弱透水层,中部为透水层,下部为完整的弱透水层,弱透水层可作为防渗依托层。该类堤基长度为 24 km,天然状态下不能满足渗透稳定性要求。

c 类 深而厚的透水层上部有 1 层薄的弱透水层,该类堤基长度为 13 km,天然状态下不能满足渗透稳定性要求。

d 类 表层为深厚的弱透水层,该类堤基长度为 35 km,天然状态下能满足渗透稳定性要求。

e 类 透水层上部为较厚的弱透水层,该类堤基长度为 53 km,天然状态下能满足渗透稳定性要求。

f 类 透水层直接出露或表层弱透水层不完整,透水层以下无完整的弱透水层或弱透水层较薄。该类堤基长度为 4 km,天然状态下不能满足渗透稳定性要求。

历史上的荆南长江干堤由于堤基渗漏等原因曾

多次出现溃口,其中较为严重的溃口有 10 处。1998 年及 1999 年洪水期间共发生堤基险情 27 处,其中管涌险情 19 处。因此,对荆南长江干堤进行系统的防渗加固处理非常必要。

3 荆南长江干堤典型断面渗流计算与分析

3.1 638 + 250 断面概况

638 + 250 断面位于公安县国胜乡,堤外有杨柳河、南五洲,堤内 80 m 有平行于堤线的涂鲁干渠。该堤段干堤内外有较厚的砂性土层,其分布较为连续,堤内覆盖层逐渐变薄,局部被涂鲁干渠揭穿,堤基渗透稳定性较差,是产生管涌的险情地段,历史上曾出现过多次管涌险情,1998 年汛期在涂鲁干渠底部出现 3 处翻沙、鼓水现象。

3.2 计算模型

对于堤防工程,为了安全起见,渗流计算一般按平面稳定渗流计算,并假设土层各向同性,则基本方程为^[1-2]

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

式中: H 为渗流总水头; x, y 为空间坐标。给定相应的边界条件,即可采用有限元法进行相应的渗流计算。对于堤防工程而言,用得比较多的边界条件为上、下游水头。

渗透稳定性判断采用安全比降法,以土层出逸点渗透比降 J 小于或等于土体允许比降 J_0 作为安全标准,在天然状态下,若 $J > J_0$,则认为土体将产生渗透变形,需要进行防渗加固处理^[3-5]。通过几种加固处理方案的渗流计算,顾及相应地段的地理环境条件,找出最佳的满足渗透稳定性的防渗加固处理措施。

进行减压井计算时,将减压井等效为排水沟。等效排水沟的渗透系数 K_1 按下式计算:

$$K_1 = \left(1 - \frac{\pi a}{2d}\right)K_r + \frac{\pi a}{2d}K_b \quad (2)$$

式中: a 为减压井的半径; d 为减压井间距; K_r 为土体的渗透系数; K_b 为减压井的渗透系数。

3.3 638 + 250 断面渗流计算与分析

638 + 250 断面渗流计算结果列于表 1。从表 1 可以看出,在天然状态下,当渠道无水时(计算中下游边界水位取渠底高程),渠底的垂直出逸比降为 3.309,远远大于堤内粉质壤土允许的垂直出逸比降 0.4,在天然状态下,当渠道满水时(计算中下游边界水位取渠道满水时的水位),尽管渠底的垂直出逸比降有所下降,为 1.882,但仍然大于堤内粉质壤土允许的垂直出逸比降。相应的渗流场等势线图 1 和

表 1 638 + 250 断面渗流计算成果

方案 编号	各节点处渗透比降										采取的措施
	堤脚		堤内 50 m		堤内 80 m ^①		堤内 150 m		堤内 200 m		
	水平比降	垂直比降	水平比降	垂直比降	水平比降	垂直比降	水平比降	垂直比降	水平比降	垂直比降	
1	0.370	0.208	0.035	0.263	0.790	3.309	0.000	0.250	0.001	0.185	天然状态(渠道无水)
2	0.399	0.229	0.037	0.322	0.349	1.882	0.000	0.316	0.001	0.234	天然状态(渠道满水)
3	0.341	0.221	0.001	0.126	0.001	0.072	0.000	0.003	0.317	1.417	200m 宽、1~2m 厚的铺盖
4	0.332	0.194	0.010	0.003	0.013	0.026	0.008	0.037	0.117	0.318	铺盖同方案 3 渠内 减压井(井距 60 m)

①该节点位于堤内 80 m 渠底处。

图 2 其中 $k_1 \sim k_6$ 为干堤堤基土层分布及渗透系数(表 2)。因此,汛期当堤外水位升高时,涂鲁干渠底部产生渗透破坏在所难免,必须采取相应的防渗处理措施。

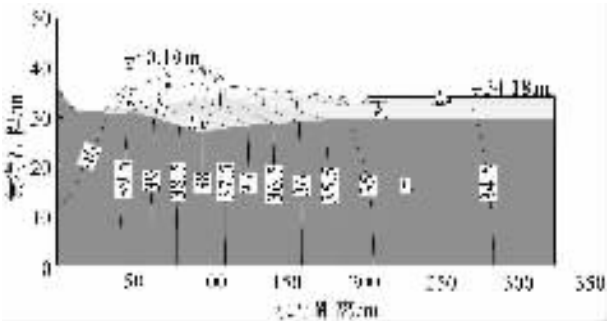


图 1 荆南长江干堤 638 + 250 断面方案 1 渗流场等势线分布

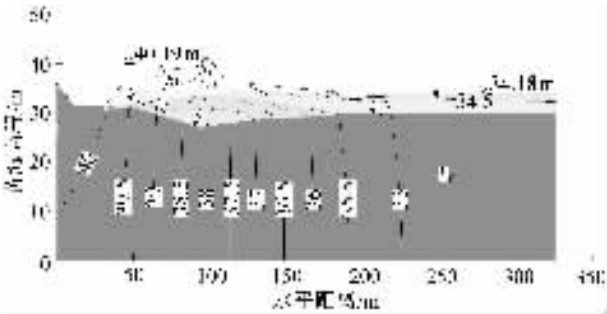


图 2 荆南长江干堤 638 + 250 断面方案 2 渗流场等势线分布

表 2 荆南长江干堤堤基土层分布及渗流速度

土层 代号	土层分布	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	土层 代号	土层分布	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
k_1	人土填土	1.0×10^{-5}	k_4	壤土	1.0×10^{-5}
k_2	粉质壤土	5.0×10^{-5}	k_5	砂壤土	5.0×10^{-4}
k_3	粉质黏土	1.0×10^{-5}	k_6	粉细砂	1.0×10^{-3}

从表 1 还可以看出,当采用铺填宽 200 m、厚度为 1~2 m 的盖重(k_7 ,渗透系数为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,见图 3),且渠道后移(见图 3)的防渗措施后(计算中下游边界水位取新渠底高程),堤后 200 m 垂直出逸比降达到 1.417,远大于相应的允许垂直出逸比降 0.4,说明这种防渗措施效果不佳。相应的渗流场等势线见图 3($k_1 \sim k_6$ 同图 1)。

从表 1 还可以看出,当采用盖重(k_7 ,渗透系数为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,见图 4)的同时,在新渠道底部设置反滤衬砌,并在新渠道底部设置减压井(井径

0.2 m,井深 6 m,井间距为 60 m)(计算中下游边界水位取新渠底高程),则堤内 200 m 及新渠底部垂直出逸比降小于相应的允许出逸比降,因此,采用盖重加减压井的方案切实可行。相应的渗流场等势线见图 4($k_1 \sim k_6$ 同图 1)。

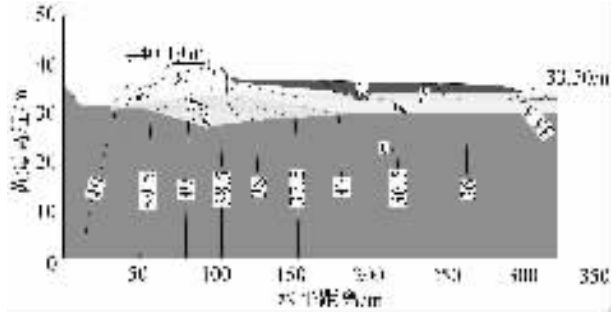


图 3 荆南长江干堤 638 + 250 断面方案 3 渗流场等势线分布

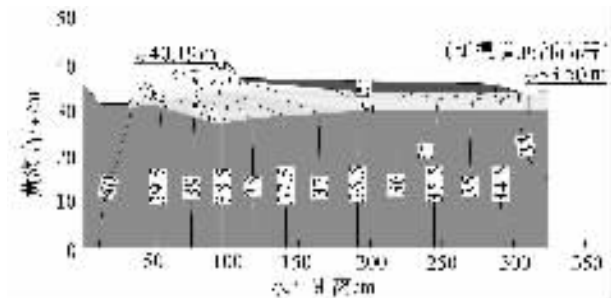


图 4 荆南长江干堤 638 + 250 断面方案 4 渗流场等势线分布

4 荆南长江干堤防渗处理原则

对于 a 类及 b 类堤基,由于透水层下有可作为防渗依托层的相对弱透水层,因此,一般从堤顶设置防渗墙,穿过堤身和相对透水层进入防渗依托层,形成半封闭式防渗墙,以便消除堤身和堤基渗透隐患;若透水层较薄且透水层中颗粒尺寸较小时,可采用垂直铺塑法防渗。

对于 c 类堤基,由于透水层较厚且透水层上弱透水覆盖层较薄,因此采用防渗墙防渗不现实,而且技术难度较大。一般采用在堤内 200 m 左右的范围内铺填盖重的方法,盖重厚 1~2 m,当弱透水覆盖层小于 3 m 时在盖重的末端应设置减压沟或排渗井。若采用排渗井,则排渗井应深入透水层以下 1 m;若采用减压沟,则减压沟应尽量布设成(下转第 44 页)

渗流是危险的。2 + 250 断面下游渗流出逸点在设计或校核水位下位置较高,危害坝坡出逸段渗流稳定,不利于下游坝坡的抗滑稳定。

d. 副坝无工程性防渗措施,运行中出现坝后大面积浸没、局部坍塌等问题,穿坝建筑物接触渗流异常,渗流安全存在隐患。

总之,峡山水库大坝渗流控制措施不足,工程老化,主坝坝基砂层的渗流稳定不能满足安全要求,副坝部分坝段渗流和穿坝建筑物接触渗流存在安全隐患,历年采取的一些加固措施未从根本上解决大坝渗流安全问题。按照 SL 258—2000《水库大坝安全评价导则》的分级标准^[5],峡山水库大坝渗流安全性属 C 级,建议采取防渗加固措施。加固前宜合理调

度,加强安全监测。

参考文献:

[1] 山东省峡山水库管理局.潍坊市峡山水库大坝建设和运行管理报告[R].潍坊:山东省峡山水库管理局,2000:10-14,34-36.
[2] 毛昶熙,段祥宝,李祖貽,等.渗流数值计算与程序应用[M].南京:河海大学出版社,1999:61-65,112-116.
[3] 毛昶熙.渗流计算分析与控制[M].北京:水利水电出版社,1990:469-473,526-528.
[4] 山东省峡山水库管理局.山东省峡山水库大坝安全鉴定现场检查报告[R].潍坊:山东省峡山水库管理局,2000:11-14.
[5] SL 258—2000,水库大坝安全评价导则[S].

(收稿日期 2006-05-26 编辑 高建群)

(上接第 39 页)

暗沟的形式,且沟内应填入透水砂石料,以便今后维修。若弱透水覆盖层大于 3 m 时,在盖重的末端一般设置排渗井,排渗井应定期进行清洗,以便保证排渗井的防渗效果。由于排渗井和减压沟可大幅度降低弱透水覆盖层的承压水头,因此可有效防止堤基土体渗透破坏的发生。对于该类堤基的堤身隐患,一般采用劈裂帷幕灌浆法予以处理。

对于 d 类和 e 类堤基,由于表层的弱透水层较深,地质条件较好,因此堤基不需要进行防渗处理。而对于此类堤基上的堤身,一般采用锥探灌浆法进行堤身防渗处理。若堤身出现集中的漏洞群或汛期堤身散浸严重,可从堤顶设置防渗墙并深入堤基 2 m。此外,也可以采用堤身垂直铺塑技术对堤身隐患予以处理。

对于 f 类堤基,当透水层较浅时,可采用从堤顶设置防渗墙的方法进行堤身和堤基防渗;当透水层较厚时,可采用与 c 类堤基相类似的处理方法。

总之,防渗处理的原则是因地制宜、防排结合、导压兼施,以相对少的经济付出换取最大的堤身及堤基的防渗安全,同时应考虑施工方便及环境保护等方面的问题。

5 结 语

当透水层上的覆盖层较薄且透水层较厚时,应采用盖重的方法进行堤基防渗处理,必要时增加排渗井或减压沟,以便增强堤基的防渗效果。当透水层较薄且透水层下为基岩或有较厚的相对弱透水层时,可采用全封闭式防渗墙或半封闭式防渗墙进行堤基防渗,若透水层特别薄且透水层的颗粒较细时可采用土工膜进行堤基防渗,以便节约堤基防渗的

成本。

总之,堤防防渗加固方案的选择实际上是一个系统工程,必须顾及堤基土体的物理力学性质,以及堤基周围的人文及地理环境要素,同时应考虑到用于堤防加固处理的经费,然后通过多角度及多种方案的计算比较,找出其中最合理的堤防加固处理措施。

参考文献:

[1] 顾慰慈.渗流计算原理及应用[M].北京:中国建材工业出版社,2000:10-56.
[2] 吴昌瑜,丁金华.九江长江干堤溃口段破坏机理及处理措施[J].岩土工程学报,2001,23(5):557-562.
[3] 包承纲.堤防工程土工合成材料应用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
[4] 李思慎,王满兴,任大春.长江重要堤防的防渗问题[J].人民长江,2002,33(8):7-14.
[5] 陆付民,李建林,郭永成.堤防防渗加固方法研究[J].人民黄河,2004,26(9):7-8.

(收稿日期 2006-05-10 编辑 高建群)

· 简讯 ·

河海大学建设国际水利土木环境研究生创新中心
教育部学位管理与研究生教育司批准河海大学建设国际水利土木环境研究生创新中心(International Hydro-Civil-Environment Center of Excellence),并作为 2006 年国家研究生教育创新计划项目。河海大学将借鉴国际上 COE(Center of Excellence)的做法,联合法国里尔科技大学、荷兰代尔夫特大学、澳大利亚阿德兰德大学、日本山梨大学、英国剑桥大学等高校与研究机构,集成国际优质教育研究资源,实行创新中心本体培养与国际访学相结合,理论研究与工程实际相结合,建设面向国际的、开放的水利土木环境研究生创新中心,培养具有国际视野和扎实理论功底、富有创新精神的高水平研究生。
(本刊编辑部供稿)