

冲积地基堤防垂直防渗方案研究*

刘川顺 刘祖德 王长德

(武汉大学水利水电学院 武汉 430072)

摘要 分析了冲积地基的结构类型和渗流特点, 在渗流计算分析的基础上, 研究了堤防垂直防渗墙的适用条件、优化布置方案和合理设计标准。

关键词 堤防, 冲积地基, 渗流控制, 防渗墙, 优化方案

分类号 TV 223.4⁺²

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2002)03-0434-05

1 引言

中国建有各类堤防约 25×10^4 km, 其中大部分位于冲积地基上, 每到汛期, 管涌、流土、散浸、崩岸、脱坡等险情频繁发生, 这些险情大都与水的渗透作用有关, 其中堤基管涌险情居各种险情之首。据统计, 历史上长江干堤溃决, 90%以上是由堤基管涌造成的。1998年洪水期间, 长江中下游干堤出现险情6100多处, 管涌险情占其中的54.5%。因此, 控制堤基渗流对于确保堤防安全是十分必要的。

随着施工技术的不断进步, 在堤防工程中建造防渗墙的单位造价越来越低, 垂直防渗墙在堤防工程防渗中占据越来越重要的地位。但是, 并非所有的堤防都适于采用垂直防渗墙, 不同条件下垂直防渗墙的布设方案也是不同的。本文根据二维饱和稳定渗流有限元法计算结果, 探讨堤防垂直防渗墙的适用条件及在不同地基条件下的优化布置方案。

2 冲积型堤基结构类型和渗流特点

冲积型堤基结构条件千差万别, 但根据砂层埋藏分布情况及渗流特点, 可概括归纳为3大类型:

(1) 双层结构堤基(见图1(a)) 表层通常为弱透水性粘土层、粉质粘土层或淤泥质土层, 下卧强透水的粉细砂层或砂砾石层。由于表土层与下卧层的渗透性相差很大, 故表土层成为下卧砂层的天然覆

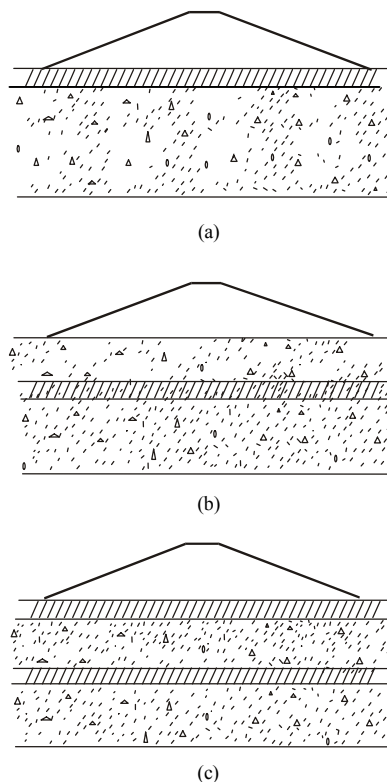


图1 冲积型堤基类型

Fig.1 Types of alluvial dike foundation

盖层, 砂层渗流在某种意义上为承压渗流^[1], 当表土层较薄时, 堤防背水侧砂基渗流压力超过表土层的有效盖重, 渗流易顶穿覆盖层而使堤基发生渗透破坏。

(2) 浅砂层表露堤基(见图1(b)) 堤身直接建在

2001年1月12日收到初稿, 2001年6月6日收到修改稿。

* 湖北省重点科技项目(20001P2003)。

作者 刘川顺 简介: 男, 1963年生, 博士, 1984年毕业于武汉大学水利电力大学水利工程系农水专业, 现为副教授, 主要从事水工渗流控制与地基处理方面的研究工作。

浅砂层地基之上, 堤基极易发生渗透变形。按渗透变形特点, 单一均质砂基也可纳入此类。

(3) 多层堤基(见图 1(c)) 天然弱透水覆盖层下垫着埋藏较浅的砂层, 其下又为粘性土层, 再下面为深厚砂层或砂卵石层。夹层堤基除具有与双层堤基相似的渗流特性外, 还具有渗流各向异性特点, 不同土层之间存在越层渗流。按渗流特点, 含有弱透水透镜体或强透水透镜体的堤基也可纳入此类。

3 防渗墙布设方案与堤基、堤身结构的关系

3.1 双层堤基防渗墙布置

当堤基存在弱透水覆盖层, 防渗墙可沿临水侧坡脚附近修筑。如图 2(a)所示, 图中虚线为未建防渗墙时的等势线及浸润线, 实线为堤基建封闭式防渗墙后的等势线及浸润线。显而易见, 防渗墙减少了 40% 以上的水头, 堤基尤其是渗流出口处的渗透坡降减小, 堤身浸润线也明显下降。

封闭式防渗墙防渗效果固然很好, 但若堤基强透水层过于深厚, 建造封闭式防渗墙, 不仅工程造价高, 而且施工难度大, 工程质量难以保证, 以往有些堤坝防渗加固采用悬挂式防渗墙, 但对堤坝强透水地基采用悬挂式防渗墙的防渗效果, 一直存在争议。作为图 2(a)中封闭式防渗墙的对比如案, 拟出图 2(b)所示悬挂式防渗墙(墙深度为强透水地基厚度的 2/3)进行渗流计算。结果表明, 建有悬挂式防渗墙时的渗流场分布(图中实线)与无防渗墙时的

渗流场分布(图中虚线)无本质差别, 这说明悬挂式防渗墙的防渗效果很差。

3.2 有弱透水夹层堤基的防渗墙布置

如果深厚型强透水堤基中存在弱透水夹层, 是否可建半封闭式防渗墙从而节省工程量呢? 图 3 中的对比计算结果回答了这一问题。图 3(a)与图 3(b)为同一夹层堤基, 分别采用全封闭式防渗墙和半封闭式防渗墙, 比较两者的渗流等势线图(图 3 中的虚线均为无防渗墙时的渗流等势线)可以得知, 在此土层条件下, 全封闭式防渗墙与半封闭式防渗墙的防渗效果十分接近。

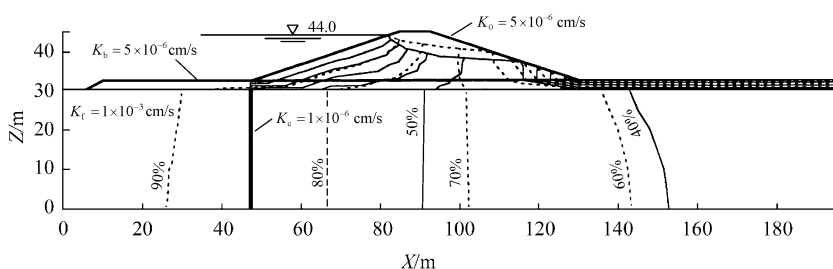
应当指出, 采用半封闭式防渗墙是有前提条件的, 那就是弱透水夹层必须是连续的, 并且具有足够大的厚度和足够小的渗透性, 否则无法保证防渗效果。

3.3 无弱透水覆盖层堤基防渗墙布置

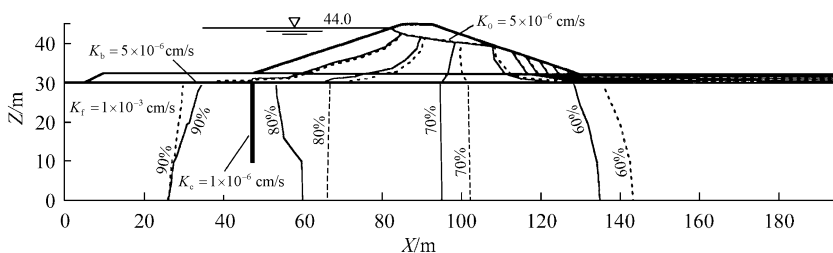
当堤基为均质透水地基或浅砂层表露或覆盖层较薄且渗透性不够小时, 防渗墙不能沿临水侧坡脚附近布置, 而应布置在堤顶下方(如图 4 所示), 否则河水容易从坡脚附近越过防渗墙进入堤基强透水层, 从而使防渗墙失效。

3.4 堤身防渗墙的布置

以上防渗墙布置主要针对透水地基, 即以假定堤身无渗透缺陷为前提。但实际工程中, 堤防背水坡的散浸、流土险情, 往往由以下几方面原因所致: (1) 堤基为双层地基, 且缺乏堤基防渗措施; (2) 堤身分层填筑时, 某个层次碾压不实或层间处理差; (3) 堤坝由若干次加高培厚形成, 新老土层结合不



(a) 建封闭式防渗墙的堤防渗流等势线图



(b) 建悬挂式防渗墙的堤防渗流等势线图

图 2 封闭式防渗墙与悬挂式防渗墙的效果比较

Fig.2 Effect comparison of closed cutoff wall with suspended cutoff wall

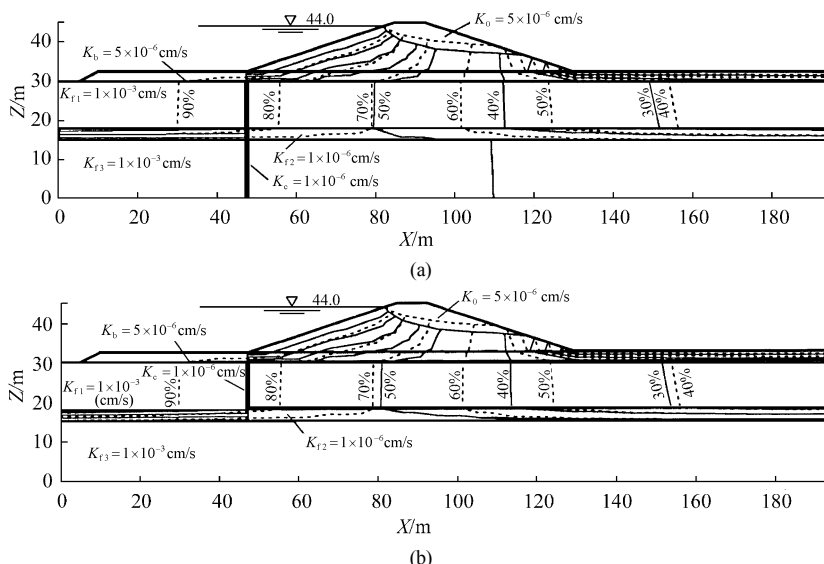


图3 多层堤基的防渗墙布置方案及其防渗效果比较

Fig.3 Seepage fields of multi-layered dike foundation with different cutoff walls

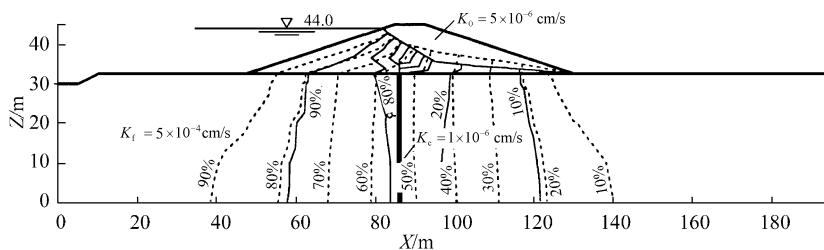


图4 无弱透水覆盖层堤基防渗墙布置及其渗流场分布

Fig.4 Seepage field of dike on sand foundation with cutoff wall

良、固结密实度不均；(4) 筑堤时附近缺乏粘性土源，堤身土有较大渗透性；(5) 堤身过于单薄；(6) 堤身存在裂缝、蚁穴或空洞等隐患。

对于相对不透水堤基的堤身渗流控制，既可在堤身采用垂直铺塑、劈裂灌浆等措施，也可在临水坡铺设土工防渗膜，还可在背水坡开设反滤导渗沟或在坡脚设排水暗管。

对于堤基、堤身都存在渗透隐患的堤防工程，只要堤基透水层不太深厚，宜结合堤基、堤身的渗流控制建垂直防渗墙，并且防渗墙应从堤顶下方修建(见图 5)，墙顶高程应高出最高洪水水位所形成的浸润线(建防渗墙以后的浸润线)^[2]。

4 防渗墙合理设计标准的研究

4.1 防渗墙渗透系数的合理取值范围

土石坝防渗设计中，要求粘土心墙、斜墙的渗透系数小于坝壳材料渗透系数的 1/100，要求粘土铺盖、截水槽的渗透系数小于透水地基渗透系数的 1/100。目前，在堤防工程防渗加固中，采用新技术建造的防渗墙一般都比较薄，其渗透系数的经济合

理、取值范围得探究。

图 6 为同一砂基堤防采用不同渗透性防渗墙时的渗流等势线图(图中虚线为无防渗墙时的渗流等势线图)。由图 6 可见，当堤基强透水层的渗透系数为防渗墙渗透系数的 100 倍(即 $K_c = K_f / 100$)时，防渗墙的作用不明显；当 $K_c = K_f / 1000$ 时，防渗墙使背水侧坡脚附近覆盖层承受的水头由堤防总水头的 60% 减小至 40%；当 $K_c = K_f / 10000$ 时，背水侧坡脚覆盖层只承受大约 20% 的水头；进一步减小防渗墙的渗透性，使 $K_c = K_f / 100000$ ，背水侧坡脚覆盖仍承受约 20% 的水头。由此可以得出结论：堤防防渗墙渗透系数的合理取值范围是堤基强透水层渗透系数的 1/1000~1/10000，具体取值与地表弱透水层的渗透性及厚度有关。当 $K_c > K_f / 1000$ 时，防渗墙的作用不明显，当 $K_c = K_f / 10000$ 时，再减小防渗墙的渗透性所增加的防渗效果也不明显。

4.2 防渗墙厚度与防渗效果之间的关系

从原理上讲，防渗体的厚度越大，防渗效果会越好，但由于防渗墙的渗透系数与堤基强透水层的

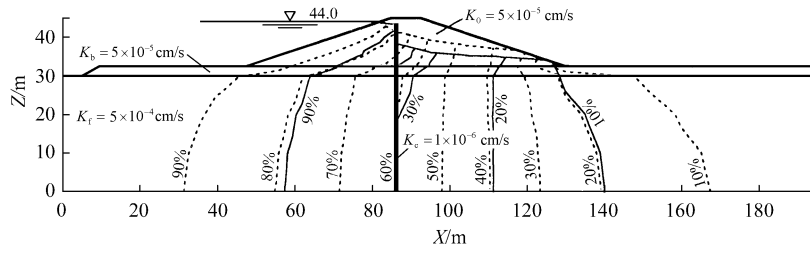


图 5 堤身和堤基存在渗透隐患时的防渗墙布置

Fig.5 Arrangement of cutoff wall with defects in both dike body and foundation

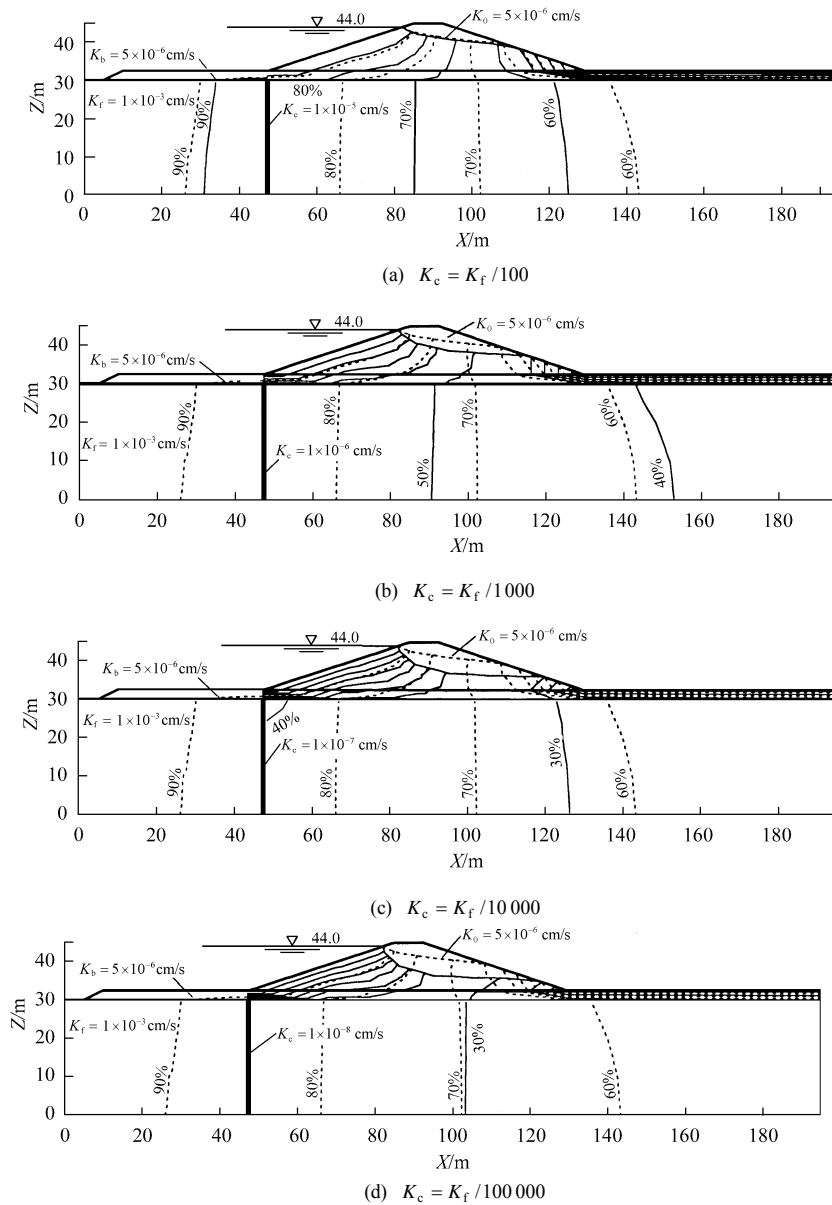


图 6 不同防渗性能防渗墙的防渗效果

Fig.6 Seepage fields of dike with cutoff walls of different permeability

渗透系数相差上千倍，因此，防渗墙对强透水层中渗流的阻碍作用主要归功于防渗墙结构的防渗性能而不是结构厚度。如图 7 所示堤防，当防渗墙厚度为 30 cm 时，背水侧坡脚弱透水覆盖层承受 40 % 水

头(见图中的虚线)，而当防渗墙厚度为 60 cm 时，该处保留了 30 % 水头。这说明，增加防渗墙厚度会增加防渗效果，但防渗墙厚度增加一倍，才消减 10 % 水头，这同时也说明，靠增加防渗墙厚度来提高

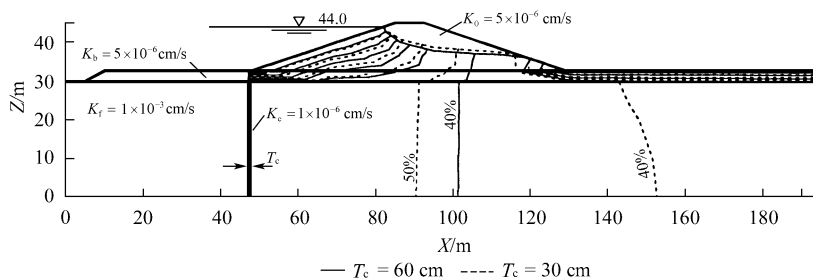


图 7 不同厚度防渗墙的防渗效果

Fig.7 Seepage fields of dike with cutoff walls of different thickness

防渗效果是不经济的。应当指出，这一结论并不否认防渗墙厚度的重要性。撇开防渗效果这一因素，防渗墙厚度还应满足三方面要求：(1) 防渗墙自身的渗透稳定要求。防渗墙的厚度 T 应满足 $T > \Delta H [J]$ ， ΔH 为防渗墙前后水头差， $[J]$ 为防渗墙的允许渗透坡降；(2) 防渗墙的结构强度要求；(3) 便于施工。

5 结 论

总结本文的分析研究，可得出以下结论：

(1) 透水堤基建封闭式防渗墙效果显著，而建悬挂式防渗墙作用不大。深厚型强透水堤基建封闭式防渗墙不仅工程造价高，而且施工难度大，工程质量难以控制。因此，垂直防渗墙一般只能在堤基强透水层不很深厚的堤防采用。

(2) 当堤基有足够厚的弱透水覆盖层，且堤身无渗透缺陷时，防渗墙可沿临水侧坡脚附近修筑，以节省工程量。

(3) 对于有弱透水夹层的深厚型强透水堤基，若弱透水夹层是连续的，并且有足够大的厚度和足够小的渗透性，可采用半封闭式防渗墙，以节省工

程量。

(4) 当堤身也存在渗透隐患时，宜结合堤基、堤身的渗流控制，从堤顶下方修建垂直防渗墙，墙顶高程应高出最高洪水位所形成的浸润线。

(5) 防渗墙渗透系数 K_c 的合理取值范围是堤基强透水层渗透系数 K_f 的 $1/1\ 000 \sim 1/10\ 000$ ，当 $K_c > K_f / 1\ 000$ 时，防渗墙的作用不明显；当 $K_c = K_f / 10\ 000$ 时，再减小防渗墙的渗透性所增加的防渗效果也不明显。

(6) 增加防渗墙的厚度，防渗效果会有所提高，但这种效果不显著，在经济上不一定合理，防渗墙对渗流的阻碍作用主要依赖于防渗墙材料的防渗性能而不是结构厚度。

参 考 文 献

- 1 刘川顺，刘祖德，王长德. 河堤背水侧采用盖重土层的渗流控制计算[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, (2): 27~30
- 2 刘川顺，王长德，刘金才等. 穿堤涵闸垂直防渗方案优化研究[J]. 人民长江, 2000, (6): 16~17, 27

SCHEME STUDY OF VERTICAL CUTOFF WALL USED FOR DIKE ON ALLUVIAL FOUNDATION

Liu Chuanshun, Liu Zude, Wang Changde

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072 China)

Abstract The structural types of alluvial foundation and seepage characteristics of the dike on the foundation are analyzed. Based on a great deal of seepage computation by using FE method, the applicable conditions and optimal design schemes of vertical cutoff wall for different types of dike foundation are studied. Moreover, the rational design standards of cutoff wall are also discussed.

Key words dike, alluvial ground, seepage control, cutoff wall, optimal scheme