

防汛抢险培训系列教材

堤防工程防汛抢险

江苏省防汛防旱抢险中心 江苏省防汛抢险训练中心◎编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

防汛抢险培训系列教材

堤防工程防汛抢险

江苏省防汛防旱抢险中心 江苏省防汛抢险训练中心◎编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书在堤防工程的设计和易发生险情的机理上做了较深入的探讨。本书参阅了大量的相关文献，同时吸收和借鉴了近年来国内大江大河的抗洪抢险实践经验和最新研究、创新成果，力求全面、系统地阐述各类堤防工程险情的发生机理和抢护技术方法。全书共5章，包括堤防工程概况、堤防工程险情发生机理及判别、堤防工程巡堤查险、堤防工程常见险情抢护、堤防工程堵口技术。

本书可作为水利工作者、防汛抢险队伍技术培训的教科书和工具书，也可作为防汛抢险指挥人员的参考资料。

图书在版编目（C I P）数据

堤防工程防汛抢险 / 江苏省防汛防旱抢险中心，江苏省防汛抢险训练中心编. -- 北京：中国水利水电出版社，2019.4

防汛抢险培训系列教材
ISBN 978-7-5170-7585-1

I. ①堤… II. ①江… ②江… III. ①堤防—防洪工程—技术培训—教材 IV. ①TV871

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第069192号

书 名	防汛抢险培训系列教材 堤防工程防汛抢险 DIFANG GONGCHENG FANGXUN QIANGXIAN
作 者	江苏省防汛防旱抢险中心 编 江苏省防汛抢险训练中心
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淞永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 7印张 166千字
版 次	2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

编 委 会

主 审 刘丽君

主 编 马晓忠

副 主 编 王 荣 王新华

编写人员 谢朝勇 薛凌峰 施建明 曹文星

马冬冬 冯登夷 汝正丞 郑言坤

前言

防汛抢险事关人民群众生命财产安全和经济社会发展的大局，历来是全国各级党委和政府防灾、减灾、救灾工作的重要任务。为提高各级防汛抢险队伍面对洪涝灾害时的应急处置能力和水平，做到科学抢险、精准抢险，江苏省防汛防旱抢险中心编写了防汛抢险培训系列教材。本系列教材是根据江苏等平原地区防汛形势和防汛抢险的特点，针对防汛抢险专业技能人才、防汛抢险指挥人员培训教育的实际需求，在全面总结新中国成立以来江苏省防汛抢险方面的工作经验的基础上，归纳提炼而成，具有一定的科学性、实用性。本系列教材包含《防汛抢险基础知识》《堤防工程防汛抢险》《河道整治工程与建筑物工程防汛抢险》《常见防汛抢险专用设备管理和使用》《常见防汛抢险通用设备管理和使用》5个分册。

本系列教材在编写过程中，得到了江苏省防汛防旱指挥部办公室和江苏省水利系统内多位专家、学者的精心指导，扬州大学在资料收集、整理筛选等方面做了大量的工作，在此一并致以感谢。

《堤防工程防汛抢险》分册共分5章，从堤防工程概况、险情发生机理及判别、巡堤查险、常见险情抢护、堵口技术等几个方面做了较深入的探讨。

限于编者水平有限，加之时间仓促，疏误之处在所难免，敬请同行及各界读者批评指正。

编者

2019年1月

目录

前言

第1章 堤防工程概况	1
第1节 堤防工程的种类、防洪级别和标准	1
第2节 堤防工程设计	2
第2章 堤防工程险情发生机理及判别	8
第1节 漫溢险情	8
第2节 散浸险情	8
第3节 管涌险情	9
第4节 滑坡险情	10
第5节 漏洞险情	11
第6节 风浪淘刷险情	11
第7节 裂缝险情	11
第8节 坍塌险情	12
第9节 跌窝险情	13
第3章 堤防工程巡堤查险	14
第1节 巡堤查险组织和职责	14
第2节 巡堤查险方式与方法	16
第3节 巡堤查险携带的工具、料物	17
第4节 险情警号与报警	17
第5节 巡堤查险保障措施及注意事项	19
第4章 堤防工程常见险情抢护	22
第1节 漫溢抢护	22
第2节 散浸抢护	30
第3节 管涌抢护	40
第4节 滑坡抢护	49
第5节 漏洞抢护	58
第6节 风浪淘刷抢护	66
第7节 裂缝抢护	70
第8节 坍塌抢护	76
第9节 跌窝抢护	82

第5章 堤防工程堵口技术	86
第1节 堤防决口概述	86
第2节 堤防堵口	87
第3节 堤防堵口实例	101
参考文献	104

第 1 章

堤防工程概况

我国洪、潮灾害十分严重，堤防是抵御洪（潮）水危害的重要工程措施。新中国成立后，党和各级政府十分重视江河堤防工程建设，投入大量人力、物力，一方面对原有残破不堪的堤防工程和其他防洪设施进行了规模空前的全面整修，加高培厚，护坡固基；另一方面修建了大量新的堤防工程，并多方采取措施加固堤防。截至 2011 年，全国堤防工程长度达 29.41 万 km，长江中下游干堤工程全面达标。同时，全国各地修建了大量其他防洪工程设施，初步建成防洪工程体系，实行防洪工程措施和非工程措施相结合，使我国防洪事业由过去的被动防御逐步转为主动控制，不断完善强化战胜洪水的各项必要条件，提高工程抗洪能力，提升抗洪斗争水平，从而更有成效地保障江河湖海防洪安全。

第 1 节 堤防工程的种类、防洪级别和标准

为了适应防洪抢险的需要，简要地介绍一下堤防工程的种类、防洪级别和标准，以便广大水利工作者，对堤防工程有一个初步了解。

1.1.1 堤防工程的种类

我国堤防工程种类繁多，按抵御水体类别分为河堤、湖堤、海堤；按筑堤材料分为土堤、砌石堤、土石混合堤、钢筋混凝土防洪墙；按工程建设性质分为新建堤防及老堤加固的扩建、改建。

1.1.2 堤防工程防洪级别

堤防工程的级别划分主要是应防护对象的要求，根据防护对象的重要性和防护区范围大小而确定的。堤防工程防洪级别，通常以洪水的重现期或出现频率表示。按照《堤防工程设计规范》（GB 50286—2013）的规定，堤防工程防洪级别依据堤防工程的防洪重现期来确定，见表 1.1。

表 1.1 堤防工程防洪级别

防洪标准/[重现期 (年)]	≥ 100	< 100 且 ≥ 50	< 50 且 ≥ 30	< 30 且 ≥ 20	< 20 且 ≥ 10
堤防工程防洪级别	1	2	3	4	5

1.1.3 堤防工程设计洪水标准

依照防洪级别确定的设计洪水标准，是堤防工程设计的首要资料。目前设计洪水标

准，主要依据洪水重现期或出现频率。对于重要部位或影响大的地区，可以提高标准。例如，上海市新建的黄浦江防汛（洪）墙采用千年一遇的洪水作为设计洪水标准；长江堤防以 1954 年型洪水为设计洪水标准。

目前设计洪水标准的表达方法，以采用洪水重现期或出现频率较为普遍。堤防工程的重现期和频率的关系为

$$T = \frac{1}{p} \quad (1.1)$$

式中： T 为重现期，年； p 为洪水频率。

例如，洪水频率为 2%，则其重现期为 50 年，即该堤防可以防御 50 年一遇的洪水。

作为参考比较，还可以调查、实测某次大洪水水位作为设计洪水标准，如长江干流以 1954 年型洪水水位为设计洪水标准。为了安全防洪，还可根据调查的大洪水水位适当提高设计洪水标准。

因为堤防工程的功能之一是挡水，在发生超设计标准的洪水时，除临时防汛抢险外，还可运用其他工程措施来配合，所以《堤防工程设计规范》（GB 50286—2013）规定堤防的高程可采用一个设计标准，再加超高值。

确定堤防工程的防洪标准时，还应考虑到有关防洪体系的作用。例如，江河、湖泊的堤防工程，由于上游修筑水库或开辟分洪区、滞洪区、分洪道等，同时根据保护区对象的重要程度和失事后遭受洪灾的损失影响程度，可适当降低或提高堤防的防洪标准。当采用低于或高于规定的防洪标准时，应进行论证并报水行政主管部门批准。

第 2 节 堤防工程设计

堤防工程设计主要包括堤顶高程、堤顶宽度、堤防边坡等堤防断面尺寸标准的确定。对于重要堤防工程，还须进行渗流计算与渗控措施设计、堤坡稳定分析等。

1.2.1 堤顶高程的确定

堤顶高程应按设计洪水位或设计高潮位加堤顶超高确定。

设计洪水位是指堤防工程设计防洪水位或历史上防御过的最高洪水位，是设计堤顶高程的计算依据。

堤顶超高应考虑波浪爬高、风壅增水、安全加高等因素。为了防止风浪漫越堤顶，须加上波浪爬高，此外还须加上安全超高，堤顶超高按式（1.2）计算确定。1 级堤防工程的重要堤段堤顶超高值不得大于 1.5m。

$$Y = R + E + A \quad (1.2)$$

式中： Y 为堤顶超高，m； R 为设计波浪爬高，m； E 为设计风壅增水高度，m； A 为安全加高，m，按表 1.2 确定。

波浪爬高与地区风速、风向、堤外水面宽度和水深，以及堤外有无阻浪的建筑物、树林、大片的芦苇、堤坡的坡度与护面材料等因素都有关系。

表 1.2 堤防工程的安全加高值

堤防工程的级别		1	2	3	4	5
安全加高值/m	不允许越浪的堤防工程	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5
	允许越浪的堤防工程	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3

1.2.2 堤身断面尺寸

堤身横断面一般为梯形，首先初步拟定断面尺寸，然后对堤段进行渗流和稳定计算，使堤身满足抗滑和防渗的要求。

1. 堤顶宽度的确定

应根据防汛、管理、施工、构造、抢险交通运输以及防汛备用器材堆放的需要确定。一般情况下，1级堤防不宜小于8m；2级堤防不宜小于6m；3级及以下堤防不宜小于3m，堤顶应向一侧或两侧倾斜，坡度宜采用2%~3%。

2. 堤坡坡比的确定

堤坡应根据堤防级别、堤身结构、堤基、筑堤土质、风浪情况、护坡形式、堤高、施工及运用条件，经稳定计算确定。1级、2级土堤的堤坡不宜陡于1:3。若堤身较高，为增加其稳定性和防渗要求，常在背水坡下部加筑戗台或压浸台。

土堤堤坡宜采用草皮等生态护坡；受水流冲刷或风浪作用强烈的堤段，临水侧坡面可采用砌石、混凝土等护坡形式。

1.2.3 土堤渗流计算及渗控措施设计

一般土质堤防工程，在水滞留时间较长时，均存在渗透问题。尤其是平原地区的堤防工程，堤基表层多为透水性较弱的黏土或壤土，而下层则为透水性较强的砂层、砂砾石层。当汛期堤外水位较高时，堤基透水层内出现较大的水力坡降，形成向堤防工程背河的渗流。在一定条件下，该渗流会在堤防工程背河表土层非均质的地方突然涌出，形成翻沙鼓水，引起堤防工程险情，甚至出现决口。因此，在堤防工程设计中，必须进行渗流稳定分析计算和相应的渗控措施设计。

1.2.3.1 渗流计算

水流由堤防工程临河慢慢渗入堤身，沿堤的横断面方向连接其所行经路线的最高点形成的曲线，称为浸润线。渗流计算的主要内容包括确定堤身内浸润线的位置、渗透比降、渗透流速以及形成稳定浸润线的最短历时等。有许多方法可用来进行渗流计算分析，其中水力学方法和流网法比较简单、实用，同时也具有一定的精度，对于较复杂的情况则需要采用有限元等数值解法。以下简要阐述水力学方法的基本内容。

当坝体较长，垂直坝轴线的横断面形状和尺寸不变时，除坝体两端外，土坝渗流可视为平面渗流问题，如果断面的形状和地基条件也比较简单，又可作为渐变渗流来处理。实际工程中，土坝的类型及边界条件有很多种，这里仅介绍在水平不透水层上均质土坝的恒定渗流问题，其他类型的土坝渗流计算可进一步参考有关书籍。

某水平不透水层上的均质土坝堤防渗流分段如图 1.1 所示，上游水体从边界 AB 渗入

坝体，从下游边界 CD 流出坝体， C 点称为逸出点， C 点距下游水面的高度 a_0 称为逸出高度。渗流在坝体内形成浸润面 AC ， $ABCD$ 区域为渗流区。当上游水深 H_1 和下游水深 H_2 不变时，可视为恒定渐变渗流。

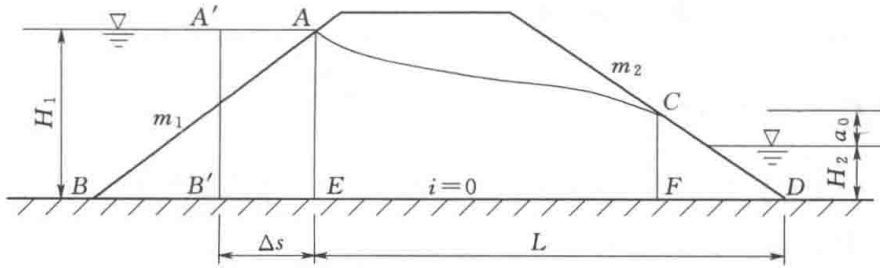


图 1.1 堤防渗流分段示意图

在实用上，土坝渗流计算常采用“分段法”，并且又分为三段法和两段法两种。三段法是由苏联学者巴甫洛夫斯基提出的，他将坝内渗流区划分为三段，第一段为上游楔形段 ABE ，第二段为中间段 $AEFC$ ，第三段为下游楔形段 CFD 。对每一段应用渐变流基本公式建立流量表达式，然后通过三段的联合求解，即可确定土坝渗流量及逸出点水深 h_c ，并可绘出浸润线 AC 。两段法是在三段法的基础上简化而来的，将上游楔形段和中间段合并，把土坝渗流区划分成上游段 $A'B'FC$ 和下游段 CFD 两段。下面用两段法来分析土坝渗流。

在两段法中，把上游楔形段 ABE 用假想的等效矩形体 $AA'B'E$ 代替，如图 1.1 所示，即认为水流从垂直面 AB 渗入坝体，而矩形体的宽度 Δs 的确定，应使在相同的上游水深 H_1 和单宽流量 q 的作用下，分别通过矩形体 $AA'B'E$ 和楔形体 ABE 到达 AE 断面的水头损失相等。根据实验研究，等效矩形体的宽度 Δs 可由式 (1.3) 确定，即

$$\Delta s = \frac{m_1}{1+2m_1} H_1 \quad (1.3)$$

式中： Δs 为等效矩形体的宽度； m_1 为土坝上游面的边坡系数； H_1 为土坝上游水深。

根据渗流水力学的基本原理，可得上游段 $AA'B'E$ 所通过的单宽渗透流量为

$$q = k \frac{H_1^2 - (H_2 + a_0)^2}{2[\Delta s + L - m_2(H_2 + a_0)]} \quad (1.4)$$

式中： q 为土坝单宽渗透流量； H_2 为土坝下游水深； k 为坝体土质的渗透系数； L 为土坝中段和下段长度； a_0 为逸出点高度。

当下游水深不为零时，下游段的渗流分为下游水面以上部分的无压渗流和下游水面以下的有压渗流。将这两部分渗流流量叠加即得到下游段 CFD 的单宽渗透流量为

$$q = \frac{ka_0}{m_2} \left[1 + 2.3 \lg \left(\frac{H_2 + a_0}{a_0} \right) \right] \quad (1.5)$$

式中： m_2 为土坝下游面的边坡系数。

联解方程式 (1.4) 和式 (1.5)，可求得土坝单宽渗透流量 q 及逸出点高度 a_0 ，求解时可用试算法。

土坝渗流的浸润线方程可直接利用平底矩形地下河槽的浸润线公式推求，取 XOY 坐标如图 1.2 所示，在距 O 点为 x 处取一过水断面，水深为 y ，则可得为水平不透水层上均质土坝的浸润线方程为

$$x = \frac{k}{2q} (H_1^2 - y^2) \quad (1.6)$$

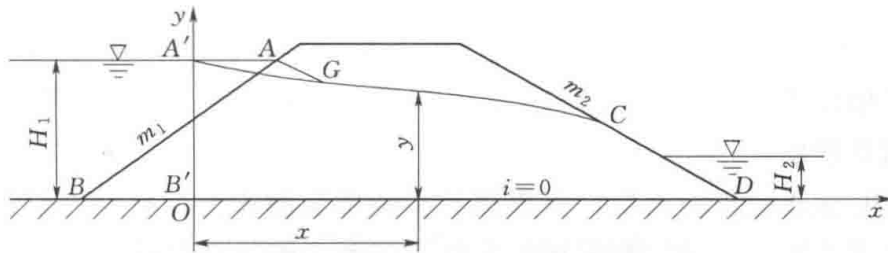


图 1.2 堤防渗流浸润线示意图

设一系列 y 值, 可由该式算得一系列相应的 x 值, 点绘成浸润线 $A'C$, 如图 1.2 所示。但因实际浸润线是从 A 点开始的, 并在 A 点处与坝面 AB 垂直, 故应对式 (1.6) 浸润线的起始端加以修正。可从 A 点绘制一条垂直于 AB 的曲线, 并且与 $A'C$ 在某点 G 相切, 曲线 AGC 即为所求的浸润曲线, 该曲线在逸出点 C 应与下游坝面相切。

1.2.3.2 渗透变形

渗透变形又称为渗透破坏, 是指在渗透水流的作用下, 土体遭受变形或破坏的现象。渗透变形是汛期堤防工程常见的严重险情, 破坏性的渗透变形可以导致土质堤防失事, 对人们的生命财产造成威胁。这里仅就渗透变形的形式及渗透变形的临界坡降作一个简介。

1. 渗透变形的基本形式

堤身及堤基在渗流作用下土体产生的局部破坏, 称为渗透变形。渗透变形的形式及其发展过程, 与土料的性质及水流条件、防渗排渗等因素有关, 一般可归纳为管涌、流土、接触冲刷、接触流土或接触管涌等类型。管涌为非黏性土中, 填充在土层中的细颗粒被渗透水流移动和带出, 形成渗流通道的现象; 流土为局部范围内成块的土体被渗流水掀起浮动的现象; 接触冲刷为渗流沿不同材料或土层接触面流动时引起的冲刷现象, 当渗流方向垂直于不同土壤的接触面时, 可能把其中一层中的细颗粒带到另一层由较粗颗粒组成的土层孔隙中的管涌现象, 称为接触管涌。如果接触管涌继续发展, 形成成块土体移动, 甚至形成剥蚀区时, 便形成接触流土。接触流土和接触管涌变形, 常出现在选料不当的反滤层接触面上。渗透变形是汛期堤防工程常见的严重险情。

管涌和流土主要发生在单一结构的土体(地基)中, 接触冲刷和接触流土主要发生在多层结构的土体(地基)中。以上四种渗透破坏类型中, 最主要的是管涌和流土。

一般认为, 黏性土不会产生管涌变形和破坏, 沙土和砂砾石, 其渗透变形形式与颗粒级配有关。颗粒不均匀系数 $\eta = d_{60}/d_{10} < 10$ 的土壤易产生流土变形; $\eta > 20$ 的土壤会产生管涌变形; $10 < \eta < 20$ 的土壤可能产生流土变形, 也可能产生管涌变形。

2. 产生管涌与流土的临界坡降

使土体开始产生渗透变形的水力坡降为临界坡降。当有较多的土粒开始移动时, 产生渗流通道或较大范围破坏的水力坡降, 称为破坏坡降。临界坡降可用试验方法或计算方法加以确定。

管涌和流土的临界坡降可分别按式 (1.7)、式 (1.8) 确定, 即

$$J_{cr} = \frac{24d_3}{\sqrt{\frac{k}{n^3}}} \quad (1.7)$$

$$J_{cr} = (1-n)(G_s-1) \quad (1.8)$$

式中： d_3 为土中相应于颗粒重量百分比为 3% 的粒径； k 为土的渗透系数； n 为土的孔隙率； G_s 为土的相对密度。

对于可能发生渗透变形的土层，可根据其实际承受的渗流坡降是否超过允许坡降，判断其是否发生管涌或流土。设计时采用的允许坡降等于临界坡降除以安全系数 k 。一般情况下，取 $k=1.5\sim 2$ ；当流土对堤防危害较大时，取 $k=2.0$ ；对于特别重要的工程，也可取 $k=2.5$ 。为了防止堤基不均匀性等因素造成的渗透破坏现象，防止内部管涌及接触冲刷，允许水力坡降可参考建议值（表 1.3）选定。如果在渗流出口处采取滤渗保护措施，表 1.3 中的允许渗透坡降可以适当提高。

表 1.3 控制堤基土渗透破坏的允许渗透坡降

基础表层土名称	堤 坝 等 级			
	I	II	III	IV
一、板桩形式的地下轮廓				
1. 密实黏土	0.50	0.55	0.60	0.65
2. 粗砂、砾石	0.30	0.33	0.36	0.39
3. 壤土	0.25	0.28	0.30	0.33
4. 中砂	0.20	0.22	0.24	0.26
5. 细砂	0.15	0.17	0.18	0.20
二、其他形式的地下轮廓				
1. 密实黏土	0.40	0.44	0.48	0.52
2. 粗砂、砾石	0.25	0.28	0.30	0.33
3. 壤土	0.20	0.22	0.24	0.26
4. 中砂	0.15	0.17	0.18	0.20
5. 细砂	0.12	0.13	0.14	0.16

1.2.3.3 渗控措施设计

堤防工程渗透变形产生管涌、流土，往往是引起堤身塌陷溃决的主要原因。为此，必须采取措施，降低渗透坡降或增加渗流出口处土体的抗渗透变形能力。目前工程中常用的方法，除在堤防工程施工中选择合适的土料和严格控制施工质量外，还主要采用“外截内导”的方法治理。

1. 迎水面铺设铺盖、增加渗径长度

在堤防工程临水面堤脚外滩地上，铺设防渗土工膜或修筑连续的黏土铺盖、混凝土铺盖，以增加渗径长度，减小渗流的水力坡降和渗透流速，是目前工程中经常使用的一种防渗技术。铺盖的防渗效果，主要取决于铺盖宽度。根据规范规定，不同的土质铺盖宽度也不同。一般地，对于砂性土为临河水深的 11~13 倍。

2. 堤背防承压水击穿加载

当堤迎土面堤基透水层的承压水大于其上部不（弱）透水层的有效压重时，为防止发生击穿破坏，可采取填土加压，增加覆盖层荷载的办法来抵抗向上的渗透压力，以消除产生管涌、流土险情的条件。增加荷载的大小，可根据承压水头的大小以及原覆盖土层的厚度，决定增加土层的厚度。一般可按式（1.9）计算，即

$$k > \frac{rH}{hr_w} \quad (1.9)$$

式中： H 为覆盖层总厚度，m； h 为承压水头，m； r 为覆盖层土体重度，取 19kN/m^3 ； r_w 为水的重度，取 10kN/m^3 ； k 为安全系数，取 1.2。

近些年来，在一些重要堤段，采用堤背放淤或吹填的办法增加覆盖层厚度，同时起到了加固堤防和改良农田的作用。

3. 堤背脚滤水设施

对于洪水持续时间较长的堤防工程，堤背脚渗流出逸坡降达不到安全允许坡降的要求时，可在渗水逸出处修筑滤水戽台或反滤层、导渗沟、减压井等工程。

滤水戽台通常由砂、砾石滤料和集水系统构成，修筑在堤背后的表层土上，降低堤身浸润线的出溢点，并使堤坡渗出的水在戽台汇集排出。反滤层设置在堤背面下方和堤脚下，其通过拦截堤身和从透水性底层土中渗出的水流挟带的泥沙，防止堤脚土层流失，保证堤坡稳定。堤背后导渗沟的作用与反滤层相同。当透水地基深厚或为层状的透水地基时，可在堤坡脚处修建减压井，为渗流提供出路，减小渗压，防止管涌发生。

反滤层的作用是滤土排水，防止在水工建筑物渗流出口处发生渗透变形，由 2~4 层颗粒大小不同的砂、碎石或卵石等材料做成，顺着渗流方向颗粒逐渐增大。在土质防渗体与堤身或与堤基透水层相邻处以及渗流出口处，如不满足反滤要求，都必须设置反滤层。对反滤层的要求如下。

- (1) 相邻两层间，颗粒较小的一层的土体颗粒不能穿过较粗的一层土体颗粒的孔隙。
- (2) 各层内的土体颗粒不能发生移动，相对稳定。
- (3) 被保护土壤的颗粒不能穿过反滤层。
- (4) 反滤层不能被淤塞而失效。
- (5) 耐久、稳定，在使用期间不会随着时间的推移和环境的影响而发生性质的变化。

第 2 章

堤防工程险情发生机理及判别

堤防工程线长量大，长期受风吹日晒、水冲雨淋、虫兽危害，极易发生破坏，防洪强度降低，在洪水作用下可能会出现各类险情，给防洪安全带来严重威胁。堤防工程常见险情主要有漫溢、渗水、管涌、滑坡、漏洞、风浪淘刷、裂缝、坍塌和跌窝等。当堤防工程发生险情时，巡堤查险人员要迅速通过实地观察和探测分析，把险情征象、类别、性质判别清楚，不可任意夸大或缩小险情，避免错误判断引起慌乱或贻误险情抢护。只有根据发生机理和险情征状，正确判别险情，才能采取有效抢护措施，减少或避免灾害产生的损失。

第 1 节 漫 溢 险 情

漫溢险情是指实际洪水位超过现有堤顶高程，或风浪翻过堤顶，导致洪水从堤防顶部溢出的险情。一旦发生漫溢险情，就会很快引起堤防溃决。堤防因漫溢决口称为漫决。

漫溢险情发生的机理如下。

- (1) 原堤的设计标准比较低，导致堤顶高程低。
- (2) 堤身的沉降量比较大，再加上风浪的壅高，超过了原堤顶高程，而形成漫溢险情。
- (3) 超过设计标准的特大洪水，越过堤顶，形成漫溢。

第 2 节 散 浸 险 情

散浸险情是堤防工程在较高水位及较长历时下，背水坡面、坡脚及附近地面出现土壤湿润或有水渗出的现象。若处理不及时，可能导致土体发生渗透变形，形成管涌、流土、滑坡、漏洞等险情。

散浸险情发生的机理：当堤身在较高水位差的情况下，水通过土的孔隙流动，形成渗流。水流作用在土体上，产生渗流力。渗流力的大小与水力梯度成正比，即 $r_w i$ (i 为水力坡降)，其作用方向与渗流方向一致，当土体抗渗透破坏的能力大于 $r_w i$ 时土体是稳定的，虽然有部分水流出，但土体的颗粒是保持稳定，因此对土体不会产生破坏，也就是说水力坡降小于临界坡降时，土体是稳定的。表现形式为堤身窖潮或有少量清水流出；当水力坡降 $i \geq i_{cr}$ (临界水力坡降) 时，渗流力大于土粒的有效重力，而使土粒随着水流而运动。表现形式为背水坡面、坡脚及附近地面出现有水渗出且水中含砂，俗称浑水。

(1) 一般土粒临近浮动状态的水力坡降称为临界坡降, 其值可由式 (2.1) 求得, 即

$$i_{cr} = (G_s - 1)(1 - n) \quad (2.1)$$

式中: i_{cr} 为临界浮动坡降; n 为土壤孔隙率; G_s 为土粒相对密度。

出逸处水力坡降的安全系数可用式 (2.2) 求得, 即

$$K = \frac{i_{cr}}{i_E} \quad (2.2)$$

$$i_E = \frac{h}{L} \quad (2.3)$$

式中: i_E 为实际出逸坡降; h 为内外水头差, m; L 为渗径长度, m。

土壤孔隙率 n 和相对密度 G_s 由试验测定。根据多数试验结果, 在一般土质中, 出逸坡降达到 0.6~0.8 时, 即开始出现浮动现象。故分析堤身断面时, 应检查出逸坡降是否小于临界浮动坡降, 并具有一定的安全系数。

(2) 堤基和地面发生流土。从表象上看堤基和堤后的地面渗水, 并拌有土流出, 一开始拌有少量的土颗粒, 含砂量有逐渐增大的趋势。也可以简单地通过渗透坡降进行分析。

如渗透水压力作用的方向与流向一致, 向上的动水压力超过土体重量时, 土体即被托起形成流土, 据此可求得流土的临界坡降 i_{cr} 为

$$i_{cr} = (G_s - 1)(1 - n) \quad (2.4)$$

式中: G_s 为土粒相对密度; n 为土壤孔隙率。

当实际渗透坡降超过临界坡降时, 将发生流土现象。证明险情正在恶化, 必须及时进行处理, 防止险情的进一步扩大。

第3节 管涌险情

管涌险情是堤防背水坡脚附近或穿堤涵闸出口周围, 在受到渗透水流的渗压作用下, 堤身非黏性土体中的渗流坡降超过其临界坡降时, 发生冒水冒沙的一种险情, 又称为地泉或翻砂鼓水。若不及时处理, 水流会在砂土层中形成通道, 造成基础空虚, 严重时导致工程塌陷。

管涌险情发生的机理: 管涌一般主要发生在非黏性土中, 在黏性土中只有流土而无管涌。原因是流土是土的整体遭受破坏, 而管涌则是单个土粒在土体中移动和带出。因此, 当渗流力和浮力大于土粒的自重, 且力的方向相反时, 就出现翻砂鼓水现象。

从表象上看, 有单个或多个孔群向上冒水并挟带泥沙, 像水烧开一样向上沸腾, 俗称“沙沸”。也可以简单地通过渗透坡降进行分析。

中国水利水电科学研究院提出了管涌土的临界坡降 i_{cr} 为

$$i_{cr} = \frac{2.2(G_s - 1)(1 - n)^2 d_5}{d_{20}} \quad (2.5)$$

式中: d_5 、 d_{20} 分别为小于该粒径的土粒含量为 5% 和 20%; G_s 为土粒相对密度; n 为土壤孔隙率。

当实际坡降超过式 (2.5) 求出的临界坡降时, 即可能发生管涌。

第4节 滑坡险情

滑坡险情也称为脱坡险情，是堤防的一部分土体由于含水饱和、受外力影响或自身结构等原因，使堤身土体内部潜在的薄弱层抗滑力小于滑动力，失去平衡，发生显著的相对位移，脱离原来位置向下滑坠变形的现象。滑坡险情多发生在高水位情况下的背水坡面，也可发生在落水情况下的临水坡面。滑坡发生的征兆一般是由弧形缝发展而成的。滑坡严重削弱堤防断面抗洪能力，破坏堤防整体稳定。

滑坡险情发生的机理：引起滑坡的根本原因在于土体内部某个面上的剪应力达到了它的抗剪强度，稳定平衡遭到破坏。剪应力达到抗剪强度的起因有二：一是由于剪应力增加，例如堤坝施工中上部填土荷重增加，降雨使土体重度增加、产生渗流力，堤防高水位或水位降落产生渗流力，还有坡顶施加过量荷载或由于地震、打桩等引起动力荷载；二是由于土体本身抗剪强度的减小，例如孔隙水应力的升高、黏土夹层因浸水而软化等都会引起土体的强度降低。

(1) 在一般情况下，非黏性土土坡稳定安全系数定义为最大抗剪力与下滑力 T 与 T_f 之比（图 2.1），即

$$F_s = \frac{T_f}{T} = \frac{W \cos \alpha \tan \phi}{W \sin \alpha} = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \quad (2.6)$$

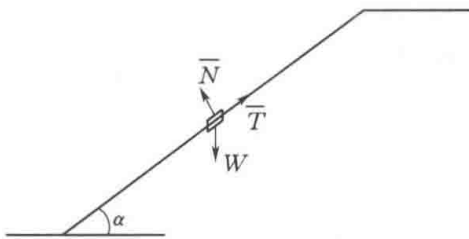


图 2.1 一般非黏性土土坡

对于非黏性土，土坡的坡度（坡角）理论上只要坡角小于土的内摩擦角，土体就是稳定的，即坡度等于 $\tan \phi$ （ ϕ 为土的内摩擦角）。但当高水位持续或水位突然下降时，土体除了本身的重量外，还受到渗流力 J 的作用（图 2.2）。因渗流方向与坡面平行，渗流力的方向也与坡面平行，此时使土体下滑的剪应力为

$$T + J = W \sin \alpha + J \quad (2.7)$$

而单元体所能发挥的最大抗剪力仍为 $W \cos \alpha \tan \phi$ ，于是安全系数就成为

$$F_s = \frac{T_f}{T + J} = \frac{W \cos \alpha \tan \phi}{W \sin \alpha + J} \quad (2.8)$$

对单位土体来说，当直接用渗流力来考虑渗流影响时，单位体积的土体自重就是浮重度 γ' ，而单位体积的渗流力 $j = i \gamma_w$ ，式中 γ_w 为水的重度， i 则是考虑点的水力梯度。因为是顺坡出流， $i = \sin \alpha$ ，于是式（2.8）可写成

$$F_s = \frac{\gamma' \cos \alpha \tan \phi}{(\gamma' + \gamma_w) \sin \alpha} = \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma_{sat} \tan \alpha} \quad (2.9)$$

式中： γ_{sat} 为土的饱和重度。式（2.9）和没有渗流作用的式（2.6）相比，安全系数相差 $\frac{\gamma'}{\gamma_{sat}}$ 倍，此值接近于 1/2。因此，当坡面有顺坡渗流作用时，无黏性土坡的稳定安全系数将近降低一半（图 2.2）。也即有渗流作用的土坡稳定坡角比无渗流作用的稳定坡角小

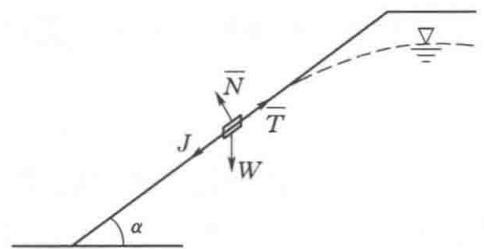


图 2.2 有顺坡渗流非黏性土土坡