

科技灾列书
水利减系丛

堤防

除险加固 实用技术

董哲仁 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利科技减灾系列丛书

堤防除险加固实用技术

董哲仁 主编

水利部建设与管理司审定

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是“水利科技减灾系列丛书”之一。全书共分六章。第一章堤防除险加固的前期工作；第二章堤防漫溢的除险和复堤；第三章堤防渗透破坏的除险加固；第四章堤防边坡失稳的除险加固；第五章堤防的垂直防渗与地基加固。第六章给出了大量除险加固的工程实例，可供参考。

对现有堤防进行除险加固是当前水利建设的重要任务之一。为了配合除险加固工作，提供有力的技术支持，水利部和科学技术部特组织专家编写了本书，旨在向基层水利干部群众传授推广先进实用的堤防加固技术，尤其是在堤防加固中应采用的一些新材料、新方法、新工艺等。

图书在版编目(CIP)数据

堤防除险加固实用技术/董哲仁主编. -北京:中国水利水电出版社, 1998

(水利科技减灾系列丛书)

ISBN 7-80124-905-4

I. 堤… II. 董… III. ①固堤 ②堤防-隐患处理 IV. TV871.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 31922 号

书 名	水利科技减灾系列丛书 堤防除险加固实用技术
作 者	董哲仁 主编
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	850×1168 毫米 32 开本 6.25 印张 164 千字
版 次	1998 年 11 月第一版 1998 年 11 月北京第一次印刷
印 数	00001—30200 册
定 价	9.80 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

《堤防除险加固实用技术》编委会

名誉主任：张基尧

主 任：刘松深

副 主 任：赵春明 张国良 刘建明 刘燕华

俞衍升 富曾慈

委 员：（以姓氏笔划为序）

王正宏 王伟中 王宏广 王祖华

王美婷 牛运光 李宪文 李赞堂

匡少涛 匡尚富 陈明忠 陈霖巍

庞进武 郭日生 郭志伟 郭治贞

蒋国澄 熊 平

《堤防除险加固实用技术》编写组

主 编：董哲仁

副 主 编：姜树海 丁留谦 王国兵

撰 稿 人：（以姓氏笔划为序）

丁留谦 方永凯 王永明 王国兵

叶铭勋 刘 杰 刘新华 张 伟

束一鸣 吴良骥 吴桢如 杨晓东

姜树海 董哲仁

前 言

洪涝灾害是我国危害最大、造成损失最严重的自然灾害。长江、黄河等七大江河的中下游及沿海平原地区，其面积占国土总面积的 8%；这里有占全国 40% 的人口和 35% 的耕地，有占全国 70% 的工农业总产值；这里也是中国人口最密集、经济最发达的地区。这些地区的洪涝灾害严重，是我国国民经济和社会持续发展的心腹之患。防御洪涝灾害，减少灾害损失，关系到我国社会安定、经济发展和生态与环境的改善。

1949 年中华人民共和国成立以来，我国在防洪减灾方面成绩斐然。各主要江河基本形成了以水库、堤防、蓄滞洪区或分洪河道为主体的拦、排、滞、分相结合的防洪工程体系，防洪减灾效果明显。

尽管我们在防御洪涝灾害方面做出了巨大努力并取得了非凡成就，但由于自然、社会和经济条件的原因，目前我国的江河和城市防洪能力普遍偏低，不能适应社会、经济迅速发展的要求。因此，提高防洪减灾能力是我国的一项长期而艰巨的任务。

河道堤防是我国防洪工程体系的重要组成部分。在长江、黄河等七大江河的中下游地区，堤防是防御洪水的最后屏障。目前，我国建有各类堤防 25 万 km，其中主要堤防 6.57 万 km。我国现有的堤防有三大特点：一是堤基条件差，堤防傍河而建，堤线选择受到河势条件制约，基础大多为沙基，而且绝大部分堤防未作基础处理；二是堤身建筑质量差，不少堤防是在原民堤的基础上，经历年逐渐加高培厚而成，往往质量不佳；三是堤后坑塘多，尤其是长江干堤和洞庭湖、鄱阳湖区，多年来普遍在堤后取土筑堤，使堤后坑塘密布，覆盖薄弱。因此，当遭遇洪水时堤防经常发生管涌、滑坡、崩岸和漫溢等险情，严重者导致大堤溃决。在 1998

年长江全流域洪水的情况下，仅长江中下游干堤就出现险情 6100 多处，高水位时每天出险达 300 余处。

党中央、国务院高度重视水利建设，提出了“统一规划、统筹兼顾、标本兼治、综合治理”的建设方针。在 1998 年抗洪斗争取得全面胜利的基础上，对现有堤防进行除险加固是当前水利建设的一项重要任务。如何为堤防除险加固提供强有力的技术支撑，则是摆在全国水利科技工作者面前的一项责无旁贷的任务。

汛后，国家展开了一系列的科技救灾活动。为及时总结 '98 抗洪抢险实践中创造的新方法、新经验，总结推广堤防加固及水毁工程修复的先进实用技术，中华人民共和国水利部和科学技术部联合组成了工作组，赴长江流域的湖北、湖南、江西和松嫩流域的黑龙江、吉林等灾区考察。来自南京水利科学研究院、中国水利水电科学研究院、河海大学、长江水利委员会、黄河水利委员会、湖北省水利水电勘测设计院、江西省水利规划设计院等单位的 16 位从事科研、管理、设计、教学的专家，在现场综合考察的基础上，对堤防除险加固及抢险技术进行了全面总结，编写了这本《堤防除险加固实用技术》。本书是“水利科技减灾系列丛书”之一，它的出版旨在向基层水利干部群众传授推广先进实用的堤防加固技术，尤其是在堤防加固中应采用的一些新材料、新方法、新工艺。

水利部国际合作与科技司、国家防汛抗旱总指挥部办公室和科学技术部农村与社会发展司，组织了考察活动和书稿的编写工作。水利部建设与管理司组织专家对本书进行了审定。本书的编写出版工作，得到了湖北、江西等省水利厅的大力支持，在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫，书中定会存在着许多不足乃至错误，敬请广大水利工作者给予批评指正。

编 者

1998.10.23 于北京

目 录

前 言

第一章 堤防除险加固的前期工作	1
第一节 除险加固所需的基本资料.....	1
第二节 堤防的安全复核.....	5
第三节 抢险工程的善后处理	10
第二章 堤防漫溢的除险和复堤	14
第一节 堤顶高程的复核	14
第二节 漫溢除险与复堤的布置	16
第三节 堤身填筑的技术要求	28
第四节 堤顶与边坡的防护	38
第三章 堤防渗透破坏的除险加固	44
第一节 渗透破坏的成因和类型	44
第二节 渗透破坏除险方案的选择	52
第三节 渗透破坏除险方案的复核	55
第四节 除险加固工程的设计和施工	63
第四章 堤防边坡失稳的除险加固	86
第一节 边坡失稳的成因与类型	86
第二节 堤坡稳定的安全复核	89
第三节 滑坡的除险加固.....	101
第四节 崩岸的除险加固.....	107
第五章 堤防的垂直防参与地基加固	119
第一节 垂直防参与地基加固方法的选择.....	119
第二节 灌浆加固与防渗.....	122
第三节 防渗墙加固与防渗.....	133
第四节 高压喷射灌浆和深层搅拌法加固与防渗.....	138

第五节 地基加固的其他方法·····	148
第六章 堤防除险加固的工程实例·····	154
参考文献·····	191

第一章 堤防除险加固的前期工作

为了搞好堤防的除险加固，应做好几项前期工作。首先应收集掌握除险加固所需的基本资料，以便为堤防的安全评价和除险加固措施的选择提供科学依据，避免盲目性。在此基础上，有针对性地开展堤防的安全复核工作，并做出是否为险工险段以及是否需进行除险加固的鉴定意见，最后制定合理的除险加固方案并付诸实施。此外，对汛期采取的临时抢险措施，必须分别具体情况进行善后处理，这也是汛后堤防除险加固必须做好的一项工作。

第一节 除险加固所需的基本资料

为了开展堤防的除险加固工作，应对已有的工程资料进行收集，必要时应有针对性地进行工程地质勘察工作。所需资料包括：①工程及水文地质资料；②工程监测、检查及隐患探测资料；③堤防建设和出险情况的历史资料。这是进行堤防安全复核的重要依据，也是进行堤防除险加固工程设计和选择施工方法的科学基础。

一、工程及水文地质资料

为了进行堤防的安全复核以及除险加固工程的设计和施工，首先应收集有关的工程及水文地质资料，包括工程的级别、工程的重要性、环境条件、堤身和堤基等有关材料的物理力学性质指标、堤身和堤基的地层分布等有关资料。必要时还应该有针对性地进行工程及水文地质的勘察工作，查明主要地质问题并获取有关资料。

（一）土的物理力学性质指标

1. 土的物理性质指标

常用的土的物理性质指标主要有：颗粒组成、比重 (G_s)、湿密度 (ρ)、干密度 (ρ_d)、含水率 (ω)、界限含水率 (塑限含水率 ω_p 、液限含水率 ω_L)、孔隙率 n 、有效孔隙率 n_e 、饱和度 S_r 、不均匀系数 C_u 等。这些指标均为堤防安全复核计算和除险加固设计时可能用到的资料。

2. 土的力学性质指标

常用的土的力学性质指标主要有：渗透系数 (k)、抗渗强度、抗剪强度指标 (凝聚力 c 、内摩擦角 ϕ)、压缩系数等。这些指标主要用于渗流及渗透稳定计算、抗滑稳定分析与沉降计算中。

(二) 土的水理性质及水质分析

对黄土和分散性粘土应了解其湿陷特性、崩解和湿化特性等。这些特性对工程有重要意义。

水质分析的目的主要是为灌浆材料、防渗墙材料以及减压井的防化学淤堵设计提供资料。

(三) 堤防的工程及水文地质剖面

堤防的工程及水文地质剖面是进行堤防安全复核和除险加固设计所必需的资料，可根据工程及水文地质勘察资料并经概化后得到。主要包括堤身和堤基的土层分布、分层厚度，地下水的分布、运动规律及边界条件等，加上通过试验得到的各土层的物理力学性质指标就构成了完整的工程及水文地质剖面图。岩石地基在堤防中极其少见。根据我国江河堤防的实际情况和江河大堤经常遇到的地层结构及水文地质特性，堤防地基大体上可分为三种类型。

1. 单层透水地基

地基中各土层的渗透系数相差在 5 倍以内。黄河大堤的大部分堤段都可以概化成这种地基。

2. 双层地基

表层为弱透水的土层，下卧强透水的砂砾层，再下面的地层的渗透系数比砂砾层小 100 倍以上。长江干堤的许多堤段属于此

类地基。

3. 多层地基

不能概化为单层透水地基或双层地基的其他地基情况都可概化为多层地基。

二、工程监测、检查及隐患探测资料

堤防工程受自然因素的作用和人为活动的影响，工作状态和抗洪能力都会发生不断地变化，产生工程缺陷或出现其他问题，如不能及时发现和处理，一旦汛期出现高水位，将产生险情，往往会措手不及，造成防汛的被动局面。因此，应对重要堤防进行监测、检查和隐患探测方面的工作，对威胁堤防安全度汛的隐患要及时进行处理，确保工程安全渡汛。堤防的监测、检查和隐患探测资料是进行堤防安全复核的重要依据之一，是除险加固工作需要收集和掌握的资料。

（一）安全监测资料

安全监测是通过设置观测标点和传感器并进行定期观测，根据观测资料对工程进行安全评价的一种方法。

安全监测主要包括：沉降及水平位移观测、渗压观测、水下地形观测、裂缝（滑坡）监测等方面的内容。

（二）安全检查资料

堤防安全检查是对堤防进行安全评价的一个重要手段，分为堤防外部检查、和堤身隐患检查。

1. 堤防外部检查

堤防外部检查一般分为经常性检查、定期检查和特殊（临时）检查。经常性检查是指由工程管理人员按照岗位责任制要求进行的工程检查。定期检查主要是指由基层管理单位按规定进行的工程全面普查，一般每年汛前、汛后各组织进行一次“徒步拉网式”的工程普查。特殊检查是指当工程处于非常运用条件下（如特大暴雨、飓风、地震、持续高水位等）进行的检查。

外部检查的主要内容有：堤身雨淋冲沟、陷坑、动物洞穴、裂缝、渗漏、滑坡、崩岸。堤基的薄弱环节，如取土坑、池塘、坑

道、未封堵的钻孔、违章水井等。堤防穿堤建筑物及与堤身结合部的变形、裂缝、渗漏、淘空等缺陷。

2. 堤身隐患检查

堤身隐患是削弱堤防抗洪能力，造成汛期出险的主要原因之一。不论是汛前检查，还是平时管理中的维修养护，都应将它视为重点。

堤防经常发生的隐患主要有：生物洞穴、植物腐烂形成的空隙，堤内暗沟、暗管、废井、坟墓，堤身填筑隐患（冻土块、大块土、工段接头、新旧堤结合面、裂缝）等。

（三）隐患探测资料

堤防安全检查除沿堤进行实地查看和调查访问外，还应采取一些必要的探测措施，以便及早发现和消除堤身隐患，达到确保堤防工程安全的目的。常用的探测方法有：人工或机械锥探、电法探测。

锥探可以根据锥头的进入速度（阻力）、声音等，凭感觉判断是否存在隐患，同时还可以向锥孔内灌入细沙或泥浆，进行验证的同时也对隐患进行了处理。

电法探测是地球物理勘探的一种方法。它是根据地下岩土层在电学性质上的差异，借助一定的仪器装置量测其电学参数，通过分析研究岩土电学性质的变化规律，结合有关岩土层资料，推断地下一定深度范围内的隐患存在情况。表 1-1 给出了几种常用的探测仪器及功能。

表 1-1 常用的几种电法探测仪

单 位	使用仪器	探测内容
中国水利 水电科学研 究院	SDC—2 型大坝渗漏探测仪	堤坝基础渗漏探测、灌浆加固效果检验、堤坝隐患普查
黄河水利 委员会物探 大队	SD—1 型瞬变电磁仪、浅层地震仪或动态信号接收分析仪、MIR—1C/MIS 高密度电阻率连续电测系统	堤坝软弱土层、堤身裂缝、堤身洞穴、渗漏等隐患的普查及重点探查

续表

单 位	使用仪器	探测内容
山东省黄河河务局	ZDT—1 型智能堤坝隐患探测仪	堤坝软弱土层、堤身裂缝、堤身洞穴、渗漏等隐患的普查及重点探查
江西省九江市水科所	TTY—1 型便携式智能堤坝隐患探测仪	堤坝软弱土层、堤身裂缝、堤身洞穴、渗漏等隐患的普查及重点探查

三、堤防建设和出险情况的历史资料

根据我国堤防工程的实际情况，由于工程地质勘察资料一般较少，因此，堤防建设和出险情况的历史资料，不但是进行堤防安全复核的重要依据，也是进行除险加固设计和施工所必须的资料。

堤防建设资料包括复堤、改建、扩建、加固等方面的设计与施工技术资料。

对历史险情应重点了解：出险时间、出险类型、出险位置、出险范围、出险程度、出险水位及历时等有关资料。

第二节 堤防的安全复核

通过对堤防进行安全复核，可以分清隐患的危险程度，做出是否为险工险段以及加固处理先后次序的判定，从而做到有目的、有计划地清除隐患，保证堤防安全运行。因此，堤防的安全复核是除险加固工作的一项重要前期工作，做好这项工作有着十分重要的意义。

堤防的安全复核，通常应从三个方面着手：以现有的规程规范为依据进行安全复核；以安全监测、检查和隐患探测结果为依据进行安全复核；以多年运行状态为依据进行安全复核。

一、以现有规范规定为依据进行安全复核

根据堤防工程技术规范规定的要求，对堤防进行安全复核的

主要内容有：堤顶高度、堤坡的抗滑稳定性、堤坡的渗透稳定性、地基的渗透稳定性、堤岸的稳定性等。

1. 堤顶高度

堤顶设计高程应按设计洪水位加堤顶超高确定。若达不到规范要求，则视为不安全，应进行堤身的加高和培厚。

2. 堤坡的抗滑稳定性

抗滑稳定复核分为正常情况和非常情况。正常情况下抗滑稳定复核的内容有：设计洪水位下的稳定渗流期或不稳定渗流期的背水侧堤坡，设计洪水位骤降期的临水侧堤坡。非常情况下的复核内容为：多年平均水位时遭遇地震的临水、背水侧堤坡。复核计算一般可用瑞典圆弧滑动法或改良圆弧滑动法。若复核的安全系数不满足规范要求，则应进行除险加固。

3. 堤坡的渗透稳定性

通过渗流计算得到背水堤坡渗流出逸段的渗透比降，若大于允许比降或渗透水流产生堤坡冲刷，则应设置贴坡反滤等保护措施。堤坡最易产生渗透破坏的地方是渗流出逸点，其抗渗临界比降可根据第三章的公式（3-2）确定，再除以安全系数就是允许比降值。

4. 堤基的渗透稳定性

通过渗流计算确定堤基表土层的渗流出逸比降，若大于堤基表土层的允许比降，则应采取盖重或减压措施。

在没有反滤保护的情况下，无粘性土的允许比降参见表 3-2。粘性土的允许比降可按第三章的公式（3-1）先求得流土的临界比降，然后除以安全系数得到。

5. 堤岸的稳定性

受风浪、水流等作用，经计算复核，在可能发生冲刷破坏并危及堤岸稳定的堤段，应采取防护措施，防护措施可按有关规定因地制宜地确定。

二、以安全监测、检查和隐患探测结果为依据进行安全复核
监测、检查和隐患探测资料是进行安全复核的重要依据之一。

根据这些资料，进行必要的分析判断，就可以对堤防存在的一些问题做出安全评价，据此对工程进行除险加固处理，确保工程安全。

1. 根据沉降观测或检查结果进行安全复核

一般认为，沉降量不超过堤高的 3% 就不会有危险。如有异常，应检查分析原因。如属堤身正常固结沉降所致，则汛前应进行加高培厚。若因堤基变形或因堤身受外力作用所引起，则应采取相应的除险加固措施。

2. 根据渗流观测和检查结果进行安全复核

一般来说，在同样水位情况下，如果渗流量没有变化，或逐年减少，渗水即属正常。若渗流量随时间增加，甚至发生突然变化，则属异常渗流，应分析成因，根据不同情况采取相应除险措施。

3. 根据水下地形观测和检查结果进行安全复核

如果靠近堤脚附近的河床被刷深，或险工、码头所抛护底护脚块石断面发生变化，说明有“根石走失”现象，表明有崩岸的可能，应根据不同情况，采取相应加固措施。

4. 根据裂缝（滑坡）监测和检查结果进行安全复核

当发现堤身裂缝，经分析有可能是滑坡引起，或将造成滑坡时，应及时采取除险加固措施。

5. 根据其他检查资料进行安全复核

如发现穿堤建筑物及与堤身的结合部发生错位、集中渗流，堤基有取土坑塘等薄弱环节，应分析成因并对可能造成的后果进行分析评价，做出是否需要进行除险加固的判断。

6. 根据隐患探测资料进行安全复核

对探测到的生物洞穴、植物腐烂造成的空洞、暗沟、暗管、废井、坟墓、堤身填筑隐患（冻土块、大块土、工段接头、新旧堤结合面、裂缝）等，应根据其危害程度，经分析论证后采取相应措施进行除险加固。

三、以多年运行状态为依据进行安全复核

经过汛期考验，尤其是经过历时长、水位高的洪水考验，堤防隐患大多暴露出来，这相当于一个破坏性质的原型试验。由于堤防的工程地质资料一般较少，因此，以多年运行状态为依据进行安全复核显得特别重要也特别实用。首先，对汛期暴露出来的险情多发区、险情严重区必须进行除险加固，除险加固的顺序应根据险情的危害程度决定，险情的危害程度可以根据险情发生的实际情况和表现来判断。另外，还可以通过出险情况的反分析，研究判断堤防在可能的更高洪水水位下的渗流状态、渗透稳定性、抗滑稳定性等，并做出安全复核，决定处理与否。

（一）渗流性质评价

堤防渗流分正常渗流和有害渗流两种。

1. 正常渗流的判别方法

渗流均匀地从土体表面逸出，不带出土颗粒且不产生局部隆起，呈清水，不冲刷土体表面，相同水位下渗流量不随时间增大，出逸点不高且渗流量不大，则属正常渗流。

对土质堤防，堤身边坡一般在1:3左右，对没有压渗平台的断面情况，正常渗流的出逸点应在堤身高度的1/3以下。

2. 有害渗流的判别方法

有下列现象之一即属有害渗流：渗流成股逸出，渗水浑浊，带出沙粒，产生隆起变形，冲刷土体表面，相同水位下渗流量随时间不断增大或渗流量过大，出逸点过高等。

（二）堤身渗透稳定及填筑质量复核

对在汛期曾经产生有害渗流的堤段均应进行除险加固。

另外，可以根据汛期堤身的渗水情况对堤身的填筑质量进行评价。这可以根据渗流量的大小、是否产生集中渗流、出逸点的高低、背水坡产生出逸的时间等进行综合判断。若超过正常范围，则表明堤身存在隐患。可能的原因有：堤身填筑隐患（冻土块、大块土、工段接头、新旧堤结合面、裂缝）、生物洞穴、植物腐烂形成空隙等。

（三）堤坡抗滑稳定复核