

“十二五”
规划重点图书

水利工程除险加固
技术丛书



河道堤防工程 监测实用技术

李继业 刘福胜 段绪胜 编著

HEDAO DIFANG GONGCHENG
JIANCE SHIYONG JISHU



化学工业出版社

“十二五”
规划重点图书

水利工程除险加固
技术丛书



河道堤防工程 监测实用技术

HEDAO DIFANG GONGCHENG
JIANCE SHIYONG JISHU

李继业 刘福胜 段绪胜 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书根据我国堤防工程的现状和现行的规范、标准,介绍了河道堤防工程监测基本知识、堤防工程变形监测、河道堤防工程渗流监测、河道堤防工程水力学监测、河道堤防工程隐患监测、堤防工程环境因子监测、堤防安全监测、穿堤建筑物监测与检查、堤防安全监测的自动化系统、堤防安全监测的实时分析与评价系统等有关知识。

本书可供河道堤防工程设计、施工、监测等技术人员和管理人员参考,也可作为高等学校水利工程及相关专业的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

河道堤防工程监测实用技术/李继业,刘福胜,段绪胜
编著. —北京:化学工业出版社,2013.1
(水利工程除险加固技术丛书)
ISBN 978-7-122-14781-3

I. ①河… II. ①李…②刘…③段… III. ①河道-堤
防-防洪工程-安全监测 IV. ①TV871

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第147257号

责任编辑:刘兴春
责任校对:边涛

文字编辑:颜克俭
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张19¼ 字数510千字 2013年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:85.00元

版权所有 违者必究

水利工程除险加固技术丛书

编 委 会

主 任：吴中如

副主任：李继业 张宪省

编 委：（以姓氏笔画为序）

刁 锋	马安堂	王玉峰	王淑伟
刘经强	刘福臣	刘福胜	苏永刚
李 勇	李怀森	李树枫	邱秀梅
邱春华	张庆华	范世香	林洪孝
周翠玲	赵晋升	胡化坤	段绪胜
郝忠梅	葛兆生	董 洁	翟爱良

河流是水资源的主要载体，是水与自然、人类关系的联系界面。河流与人类社会关系密切。河流把上游山地土壤侵蚀形成的泥沙输送到下游，形成冲积平原，河口的泥沙淤积在入海口形成三角洲，都是最适合人类居住的地方，也往往是经济发展最迅速的地方。许多民族和国家都把河流比做自己的母亲，如中国的黄河和长江、印度的恒河和俄罗斯的伏尔加河。

古代的四大文明古国都发源于大河流域，黄河流域是中国古代文明的发祥地，尼罗河孕育了古埃及文明，印度文明起源于恒河流域和印度河流域，古代巴比伦也是在幼发拉底河和底格里斯河形成的两河流域发展繁衍的。到了近现代，世界上主要的大城市也基本上是傍水而建，河流中下游地区成为经济相对发达的地区。

河流哺育着人类，为人类的文明做出了无私的奉献，但是河流造成的洪灾也常常给人类带来巨大的痛苦和灾难。我国是自然灾害较为严重的国家，气象灾害带来的损失占各种自然损失的70%以上。由于江河纵横、沿河人口密集，洪涝历来是对生命财产危害最为严重的灾害之一。据不完全统计，我国从公元前206年至1949年的两千多年间，共发生可考查的洪灾1092次，平均每两年发生一次。新中国成立60多年来，年均洪涝受灾面积1.34亿亩，成灾面积0.76亿亩，直接经济损失上百亿元。

洪涝灾害是我国最主要的自然灾害，是中华民族的心腹大患。每年到了汛期，从中央到地方都要进行全面动员，做好人力、物资的准备，一旦发生特大洪水，抗洪救灾常常成为全国人民的头等大事。我国七大江河目前抗御洪水能力多数只有50年一遇，再加上缺乏有效的调控能力，势必造成洪涝灾害。根据目前的国力情况，这种状况一时还难以彻底解决。因此，这就决定了我国的防洪抢险是长期而艰巨的任务。

新中国成立以来，全国共建成了各类大坝约8.7万余座，水库的总库容达到7064亿立方米，相当于全国河流年均径流量的1/6。我国水库大多建于20世纪50~70年代，由于受当时经济、技术、资料等的限制，各类水库普遍存在工程标准偏低、建设质量较差、老化失修严重、配套设施不全等问题，致使水库安全隐患严重。水库蓄水多，水位较高，如遇洪水垮坝失事，会有很高的水头和大量的洪水，在很短时间内容居高临下倾泻下来，洪水波浪所到之处，必将对下游造成摧毁性的破坏和毁灭性的灾难，因此，水库安危事关大局。

在长期的工程实践中，国内外水利工作者在抗洪抢险方面积累了丰富的经验，在防洪涝灾害方面起到了巨大作用。由山东农业大学李继业教授策划，并组织有关专家共同编著了《水利工程除险加固技术丛书》，该丛书系统地介绍河道堤防防渗加固实用技术、河道堤防工程监测实用技术、河道堤防工程抢险实用技术、河流与河道工程维护及管理、水库坝体滑坡与防治措施、水库除险加固工程设计实例、水闸工程除险加固技术和洪水设计与防洪减灾等知识，是对河道堤防、水库等水利工程除险加固技术的总结和推广，也是国内外水利工作者多年理论研究和实践经验的结晶，可供使用者因地制宜地选用和参考。

我深信，该丛书的出版将对我国水利工程的除险加固技术起到积极的促进作用。

中国工程院院士 吴中如
2012年12月

堤防是世界上最早广为采用的一种重要防洪工程。筑堤是防御洪水泛滥、保护居民和工农业生产的主要措施。历史上,堤防对世界各民族的生存繁衍、社会进步均有重要贡献;在今天,堤防对沿堤地区的经济持续发展、社会和谐稳定,仍然发挥着其不可替代的作用。堤防是抵御洪涝灾害的重要工程措施,是防洪工程建设的基础,是人民生命财产的重要保障。

据有关资料报道,我国现有各类堤防约 29.91 万公里,其中主要的骨干堤防 6.57 万公里,在历次洪涝灾害中发挥了重要的作用。但是,由于历史的原因,堤防建设欠账太多,投资不足,以使 1998 年长江、嫩江、松花江发生特大洪水时堤防出现危机,仅长江干流堤防就出现 4800 余处险情,充分说明我国大江大河堤防工程薄弱,远远满足不了国民经济发展的需要。

1998 年长江汛情之后,党中央、国务院对堤防工程安全问题高度重视,从维护长江两岸人民生命财产安全,促进流域经济社会发展的战略高度出发,做出了全面加强长江防洪体系建设的重大部署,投入 400 多亿元巨资,大力加强以长江干堤为重点的防洪工程建设。这是保障沿江人民生命财产安全、推动沿江地区经济社会发展和现代化建设的重大举措。

最近,水利部部长在全国水利工作会议上指出:随着工业化、城镇化的深入发展,全球气候变化影响加大,我国水利面临的形势更趋严峻。“十二五”期间,围绕水利发展八大目标,我国将着力增强水旱灾害应对与综合防御能力、水资源合理调配与高效利用能力、水生态环境保护与修复能力、科学治水与依法管水能力。并将“防洪减灾综合体系进一步完善”放在第一位,这充分说明河道堤防工程建设任重道远。

历史经验充分证明,加强对堤防工程的监测工作是确保堤防安全的关键,堤坝的安全监测是了解堤坝安全性态、对堤坝安全实施科学管理必不可少的重要手段。我们在学习前人和专家、学者经验的基础上,根据我们在河道堤防工程监测中的经验和体会,编著了这本《河道堤防工程监测实用技术》,其内容包括:河道堤防工程监测概论、河道堤防工程变形监测、河道堤防工程渗流监测、河道堤防工程力学监测、河道堤防工程隐患监测、堤防工程环境因子监测、堤防安全监测与检测、穿堤建筑物监测与检查、堤防工程的质量检测、堤防安全监测的自动化系统、堤防安全监测的实时分析与评价系统等。

本书是一本具有“针对性”、体现“通俗性”、突出“实用性”和提高“应用性”的技术专业书,可供河道堤防工程设计、施工、监测技术人员和管理人员参考,也可作为高等学校水利工程及相关专业的辅助教材。

本书由李继业、刘福胜、段绪胜等编著。葛慧敏、张玉稳、朱万峰、张海鹏参加了编著。全书由李继业负责规划,由刘福胜、段绪胜负责统稿。编著的具体分工:刘福胜编著第四章、第五章;段绪胜编著第二章、第九章;葛慧敏编著第三章、第六章;张玉稳编著第七章、第十章;朱万峰编著第一章、第八章;张海鹏编著第十一章。

在本书编著过程中,我们参考了很多专家和学者的成果,在此向他们表示衷心的感谢。由于编著者水平有限,不当和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2012 年 9 月于山东

第一章 河道堤防工程监测概论	1
第一节 河道堤防工程监测概述	1
一、堤防工程监测的重要性	1
二、堤防工程监测与检测的提出	2
三、堤防工程监测的发展简史	5
四、我国堤防管理工作的发展方向	10
五、堤防工程检测和监测的依据	14
第二节 河道堤防工程监测项目	14
一、变形监测	15
二、渗流监测	16
三、压力监测	16
四、应力应变及温度监测	17
五、地震反应监测	17
六、环境因子监测	17
第三节 堤防工程安全分析评价	18
一、堤防监测与检测的重要性	18
二、保证堤防工程安全的措施	18
三、堤防工程安全分析与评价	19
第四节 河道堤防工程限差要求	21
一、变形监测的限差要求	21
二、渗流监测的限差要求	22
三、应力监测的限差要求	23
第二章 河道堤防工程变形监测	24
第一节 堤防工程变形监测概述	24
一、堤防变形监测项目和目的	24
二、变形监测的一般要求	25
三、堤防安全监测仪器选型依据	25
第二节 堤防工程表面变形监测	25
一、堤坝表面变形监测的设计	25
二、堤防工程表面变形监测方法	27
第三节 堤防工程内部变形监测	37
一、堤防内部变形监测设计	37
二、堤坝内部位移监测的方法	38
第四节 堤防裂缝与接缝的监测	46
一、堤防裂缝与接缝的监测设计	46
二、堤防裂缝与接缝的监测方法	46
第三章 河道堤防工程渗流监测	48
第一节 堤防工程渗流监测概述	48
一、堤防工程渗流监测的主要项目	48

二、堤防工程渗流监测的一般要求	48
第二节 土石料堤防的渗流监测	49
一、堤坝体渗流压力监测布置	49
二、堤坝体渗流压力监测方法	50
三、堤坝基渗流压力的观测	53
第三节 堤防工程渗流量的监测	54
一、渗流量观测的布置	54
二、渗流量的观测方法	55
第四节 堤坝孔隙水压力的监测	56
一、堤坝孔隙水压力观测设计	56
二、堤坝孔隙水压力观测方法	57
第五节 堤坝土压力（应力）的监测	60
一、堤坝体内土压力（应力）观测设计	60
二、堤坝体内土压力的观测方法	60
三、接触土压力观测的设计	62
四、接触土压力的观测方法	62
第四章 河道堤防工程力学监测	64
第一节 堤防工程水力学监测概述	64
一、工程水力学的发展概况	64
二、工程水力学的内容和监测项目	65
第二节 堤防工程动水压力监测	65
一、动水压力观测的布置	66
二、动水压力的观测方法	66
第三节 水流流态和水面线监测	67
一、水流流态观测	67
二、水面线的观测	68
第四节 堤防孔隙水压力的监测	68
一、观测断面布置	68
二、观测点的布置	69
第五节 堤防土压力（应力）的监测	69
一、堤身内土压力（应力）观测设计	70
二、堤身内土压力（应力）观测方法	70
三、接触土压力观测设计	71
四、接触土压力计的观测方法	72
第五章 河道堤防工程隐患监测	74
第一节 堤防工程隐患探测概述	74
一、我国江河堤防工程的特点	74
二、堤防隐患的主要类型	74
三、堤防隐患探测的基本方法	75
第二节 主要探测方法原理	77
一、时间域电磁法探测原理	77
二、自然电场法探测原理	78
三、直流电阻率法探测原理	79

四、探地雷达法探测原理	80
五、同位素示踪法探测原理	80
六、测温法探测原理	81
七、瑞利波法探测原理	83
第三节 时间域电磁法	84
一、时间域电磁法的应用范围	84
二、时间域电磁法成果的解释	84
三、几种典型堤防用的时间域电磁法探测仪	85
第四节 自然电场法	87
一、自然电场法的基本概念	87
二、自然电场法的应用范围	87
三、自然电场法基点的选择和联测	87
四、几种典型堤防用的自然电场法探测仪	88
第五节 电阻率法	90
一、电阻率法的概念和特点	90
二、电阻率法的主要应用范围	91
三、几种典型堤防用的电阻率法探测仪	91
第六节 探地雷达法	97
一、探地雷达法的基本概念	97
二、探地雷达法的应用范围	97
三、我国常用的探地雷达	98
四、几种典型堤防用的探地雷达探测仪	99
第七节 放射性同位素示踪法	104
一、放射性同位素示踪法的基本概念	104
二、放射性同位素在堤防工程和其他领域的应用	105
三、放射性示踪剂的选择	106
四、放射性比活度及其测定	107
五、用于堤防探测的放射性仪器设备	108
第八节 测温法	108
一、测温法的主要类型	108
二、堤防工程所用的各类测温计	111
三、大体积混凝土电脑测温（一线通）系统	113
四、用于堤防工程的测温法仪器设备	114
第九节 瞬变面波法	117
一、瞬变面波法的基本概念	117
二、瞬变面波法的应用范围	118
三、瞬变面波法的仪器设备	118
四、几种用于堤防探测的面波仪性能介绍	118
第十节 堤防工程隐患探测案例	123
一、永定河卢沟桥下游北京段堤防工程的隐患探测实例	123
二、珠江北江大堤石角段堤基放射性同位素示踪探测实例	129
第六章 堤防工程环境因子监测	135
第一节 自然界降水量的观测	135

一、降水量观测场地布置	135
二、降水量观测仪器及安装	136
三、降水量观测常用仪器简介	138
四、降水量的数据整理	140
第二节 河道流水水位的观测	141
一、水位观测的目的和要求	142
二、河道水位观测的布置	142
三、河道水位观测的设备	142
第三节 防护河道的河势观测	148
第四节 河道流水流速的观测	149
一、河道流水流速的基本概念	149
二、河道流水流速的观测方法	151
第五节 河道流水流量的观测	155
一、流速仪测流量方法	155
二、浮标法测流量法	159
第六节 河道水流的水质监测	160
一、河道水流水质监测的任务	160
二、水质监测站网的设置	161
三、水采样的基本要求	161
四、水体污染源的调查工作	163
第七章 堤防安全监测与检测	166
第一节 堤防工程安全监测概述	166
一、堤防工程安全监测的目的	166
二、堤防工程安全监测的内容	167
三、堤防工程安全监测的分类	168
第二节 堤防安全监测仪器及选配	170
一、堤防工程安全监测所用的仪器设备	170
二、堤防工程安全监测仪器设备选型依据	171
第三节 堤防安全监测重点	172
一、“漏洞、陷阱、裂缝”的监测	172
二、“渗漏、管涌”险情的监测	177
三、“坍塌、脱坡、冲刷”险情的监测	180
第四节 堤防运行性状检测	183
一、堤防工程的浸润线检测	183
二、堤防工程的温度场检测	189
三、堤防工程的位移量检测	192
第五节 堤防安全检测的理论分析	199
一、堤防三维渗流数学模拟布点检测案例	199
二、堤防施工期垂直位移数学模拟检测案例	200
第六节 堤防安全检测的典型设备	201
一、美国的多波束测深系统	202
二、数字式全景钻孔摄像系统	205
第七节 堤防安全监测的典型案例	206

一、荆南长江干堤浸润线的监测	206
二、武汉龙王庙堤段的监测	207
第八章 穿堤建筑物监测与检查	210
第一节 穿堤建筑物监测与检查概述	210
一、堤防工程观测的一般规定	210
二、穿堤建筑物的观测项目	211
三、穿堤建筑物的基本工程观测布设	211
四、穿堤建筑物专门观测的布设	212
五、穿堤建筑物安全检测项目	212
六、穿堤建筑物的险情监测	212
七、对渗流观测的具体要求	214
第二节 堤防永久设备安全监测与检查	214
一、存在的主要安全隐患	214
二、永久设备监控与检查的依据	215
三、闸门的安全检测	216
四、启闭机的安全检测	217
五、实现对闸门自动化监控	218
第三节 穿堤建筑物混凝土安全监测	220
一、穿堤建筑物混凝土的安全监测概述	220
二、三个典型病险闸结构混凝土强度与碳化深度检测	221
三、南闸与新堤排水闸混凝土建筑物裂缝检测	222
第九章 堤防工程的质量检测	224
第一节 堤防工程质量检测概述	224
一、堤防工程质量检测的任务	224
二、堤防工程施工质量控制	225
三、堤防工程质量检测的分类	225
四、堤防填筑碾压试验的质量检测	229
五、堤防工程施工测量监测	234
第二节 堤防防渗墙质量检测方法与仪器	237
一、堤防防渗墙质量的检测方法	238
二、堤防防渗墙质量检测仪器设备	240
第三节 堤防工程的质量评价	241
一、单元工程质量等级评定标准	241
二、堤防工程的质量评价	249
第四节 堤防工程质量检测实例	252
第十章 堤防安全监测的自动化系统	259
第一节 堤防安全监测自动化系统概述	259
第二节 堤防安全监测自动化系统的结构	261
一、集中式自动监测系统	261
二、分布式自动监测系统	262
三、集中式与分布式的比较	267
第三节 堤防安全监测自动化系统的功能	269
一、系统数据采集功能	270

二、系统信息管理功能	271
三、堤防安全监测软件系统	275
第四节 堤防安全监测自动化系统的防雷	276
一、防雷的基本原理	276
二、避雷的技术处理	277
三、电源的防雷措施	277
四、通信系统的防雷	278
五、其他的防雷措施	279
第五节 堤防安全监测自动化系统的报警准则	279
一、堤防安全监测预警系统设计要求	279
二、堤防安全监测预警系统报警准则	280
第十一章 堤防安全监测的实时分析与评价系统	282
第一节 堤防安全评价系统研究现状及问题提出	283
一、安全评价的概念及其在大坝安全分析中的应用	283
二、堤防工程安全评价研究现状	284
第二节 堤防监测实时分析与评价系统	286
一、安全综合评价系统开发的基本原则	287
二、堤防工程安全综合评价体系结构	287
第三节 堤防工程安全综合评价指标的度量及赋权	289
一、堤防工程安全综合评价概述	289
二、安全综合评价指标度量方法	289
第四节 堤防工程安全综合评价模型研究	292
一、堤防工程安全综合评价模型概述	292
二、堤防工程安全综合评价模型的建立	293
第五节 堤防安全评价系统数据库结构设计	294
一、数据库的分层设计	294
二、数据库的结构设计	295
三、系统安全性的策略	298
参考文献	304

第一章

河道堤防工程监测概论

古今中外防洪实践证明，堤防防渗工程是江河防洪工程的重点之一，其作用和地位十分重要，因其在施工中或施工后均被掩埋覆盖于地下，是一项典型的隐蔽工程。堤防防渗工程在施工完成后，工程质量检测人员不能直接地观测其质量状况，同时因检测经费的限制和防渗工程安全的需要，也不可能采取大规模的开挖。近年来，尽管无损检测技术在堤防中已有成功的应用，但对堤防工程整体防渗效果的评价仍缺乏可信用度高的检测手段。

第一节

河道堤防工程监测概述

据有关部门统计，在我国 29.91 万公里的堤防工程中，绝大多数为历史形成的土堤。这些堤防工程的堤基除湖区圩堤外，大多数属于第四纪的透水或砂壤土等组成的冲积层，并且绝大多数堤基在兴建堤身之前均未进行专门的地基处理，这就为其探测、监测与检测带来了大量的不可知隐患。

由于堤防工程具有堤线较长、水头较低及易发生险情等特点，所以堤防防渗占有特别重要的作用，而堤防的力学强度与抗冲性则处于次要地位。这样，给堤防工程探测、监测与检测明确了量测主次关系，也为量测尺度及精度提出了相应要求。

一、堤防工程监测的重要性

堤防工程的安全是保证河道防洪减灾的关键，如果堤防工程存在着安全隐患，或者运行管理人员不了解堤坝的安全状态，会使堤防的运行风险很高，也无法发挥其正常的效益。因此，加强对堤防工程的监测是非常重要的。

确保堤防的安全措施是多方面的，但概括起来主要是两方面，即工程措施和非工程措施，这两个方面是互相依存、缺一不可的。工程措施是指采取工程技术和手段，对堤防工程进行维修和加固；非工程措施是指通过气象预报、洪水测量、安全监测等手段，来保证堤坝工程运行的安全措施。工程措施比较直接，一般很容易被理解和重视，也是经常习惯采用的技术措施。非工程措施不像工程措施那样直接，不容易被人们接受。

在堤防工程的建设过程中，由于其受到水文、地质、材料、气候等条件的影响，不可能保证工程万无一失；在堤防工程的运行过程中，由于其受到地震、降雨、水压力、温度和其他作用等变化的影响，堤防工程也会出现老化和损坏等，也可能存在安全隐患。对堤防工程进行监测，不仅是为了验证设计和施工质量，也是为了确保堤防的运行安全，以便发现问题并及时处理。根据我国的基本国情，当前突出强调非工程措施的作用，不仅具有经济方面的重大意义，而且具有社会方面的现实意义，加强堤防工程的监测是非工程措施重要的一个

方面。

古今中外的河道堤防失事表明,其原因是多方面的,主要有:河道泄洪能力不足或遭遇超标准洪水;堤防本身存在质量问题;堤防工程年久失修;其他运行管理方面等问题等。据对堤坝失事调查资料证明,有 1/3 的堤坝失事是由于泄洪能力不足而造成的,而 2/3 的堤坝失事是其他工程原因或运行管理原因而造成的,而这些可以通过加强监测,及早发现问题、及时进行处理,就可以避免事故的发生。由此可见,建设和完善堤防工程的安全监测不仅很重要,而且也是十分必要的。

对堤防工程安全状况实施监测的目的,一是监测堤坝运行期间的安全状况,及时准确地获得堤坝的安全监测资料,为评估堤坝稳定性和工作性态提供科学依据,进而通过控制运用或防渗加固等工程措施,来确保堤坝的安全。实践证明,只要监测及时、监测数据可靠、分析判断准确,就可以做到避免重大灾害事故的发生,或者减少灾害所造成的损失。二是可以在施工过程中不断获得反馈信息,用以验证堤坝设计的合理性,并为修正设计提供科学依据。总之,堤坝的安全监测是了解堤坝安全性态、对堤坝安全实施科学管理必不可少的重要手段。

1998 年长江汛情之后,党中央、国务院对堤防工程安全问题高度重视,从维护长江两岸人民生命财产安全、促进流域经济社会发展的战略高度出发,做出了全面加强长江防洪体系建设的重大部署,投入 400 多亿元巨资,大力加强以长江干堤为重点的防洪工程建设。这是保障沿江人民生命财产安全、推动沿江地区经济社会发展和现代化建设的重大举措。

最近,水利部部长在全国水利工作会议上指出:随着工业化、城镇化的深入发展,全球气候变化影响加大,我国水利面临的形势更趋严峻。“十二五”(第十二个五年规划)期间,围绕水利发展八大目标,我国将着力增强水旱灾害应对与综合防御能力、水资源合理调配与高效利用能力、水生态环境保护与修复能力、科学治水与依法管水能力,并将“防洪减灾综合体系进一步完善”放在第一位,这充分说明河道堤防工程建设任重道远。

二、堤防工程监测与检测的提出

(一) 堤防工程监测与检测的目的

堤防工程存在堤身隐患、堤基渗漏与堤防河岸崩塌等 3 类险情,在这 3 类险情中,堤身的脱坡、堤基的管涌和河岸的窝崩险情最为严重,也最令人关注。

堤防工程运行管理的历史经验证明,堤身脱坡大多由于构筑堤身的土质差异及边坡结构缺陷而引发;堤基管涌主要是渗流出点过高、出水比降过大、浅部渗透层承受过大的水头压力而引发;河岸产生窝崩的主要原因是二元结构地层的上层为厚黏土层在汛期受水流严重冲刷造成。以上 3 种严重险情的产生内因主要是结构缺陷,产生外因主要是汛期洪水作用。

根据对 1998 年特大洪水期长江、松花江两大流域堤防险情类型的统计,上述 3 种严重险情又以堤基管涌最为严重。据统计,1998 年特大洪水期,长江中下游干堤出现险情 6100 多处,其中较大的险情 4700 多处,重大险情 300 多处;嫩江、松花江干堤出现险情 9500 多处,较大险情 600 多处。在这些重大险情中,管涌险情占 50% 以上。

无论是堤身脱坡,还是堤基渗漏与堤防河岸崩塌,堤防工程中的土与水,始终是一对相容并存、相互矛盾的矛盾体,其中堤防渗流是土与水结合的关键点。

由于堤防渗透是一个从非饱和到饱和的非稳定变化发展过程,渗透压力的发展又具有时

序性等特征,因此对于一元(单层)结构的堤基渗流和二元(双层)结构的堤基渗流监测与检测而言,在把握好“前堵后排、保护渗流出口”的原则下,抓住对堤身填土与堤基土体特性的实时量测这个主要矛盾,辅以对渗流状态的水力条件的汛期监控,就从根本上掌握了堤防工程的排险对策。

历史上,堤防对世界各民族的生存繁衍、社会进步均有重要贡献;在今天,堤防对沿堤地区的经济持续发展、社会和谐稳定,仍然发挥着其不可替代的作用。堤防是抵御洪涝灾害的重要工程措施,是防洪工程建设的基础,是人民生命财产的重要保障。历史经验充分证明,加强对堤防工程的监测工作是确保堤防安全的关键,堤坝的安全监测是了解堤坝安全性态、对堤坝安全实施科学管理必不可少的重要手段。

(二) 堤防工程监测与检测的内容

我国七大流域的河流上游水土流失比较严重,每逢汛期洪水挟泥沙量增多,千年长河极少进行疏浚,所以河水下泄很不流畅,给双层堤基的弱透水表层底面产生较高的承压水头,一旦承压水头压力超过表土层压重的抵抗能力,表土层将被顶穿,其下砂层颗粒必将随水流带出而形成管涌。为此,堤防工程监测与检测应主要围绕堤身、堤基一定范围土体与水位、浸润线的结构缺陷与地质缺陷进行;对于新修的堤防或防渗墙、护岸工程,则重点开展工程物探等“非侵入式安全检查”;个别进行现场开挖、钻孔取样、井中检测和原位测试,并与工程物探综合比较、相互验证。

堤防工程的监测与检测,与水库大坝水利枢纽工程存在着以下不同。

① 堤防工程监测与检测的范围要比水库大坝小,堤防一般在 20~30m 深度;而大坝要求在 50m 左右,有的甚至要求在 100m 以上。

② 堤防工程监测与检测的尺度(D_m)介于水库大坝水利枢纽工程和材料构件量测尺度之间,即 $1\text{cm} \leq D_m \leq 100\text{cm}$,通常在 20~30cm 之间。

③ 堤防工程监测与检测的对象主要是土体,其缺陷(或隐患)多数为非金属物质。这类物质性能反差小,这就给量测精度与准确性带来更大困难。

④ 堤防工程线路很长,往往在非汛期保养维护工作远大于大坝集中保养维护更困难,而每年洪水到达临界状态时,堤防中的隐患暴露频繁,防汛抢险远远大于大坝的监测、检测与处治的危险及工程量。

基于堤防工程与水库大坝存在以上 4 个差异,堤防工程在险情监控与质量及安全监测等方面显示出中国特色及相关内容。堤防工程险情监测内容如图 1-1 所示;堤防工程安全检测内容如图 1-2 所示。

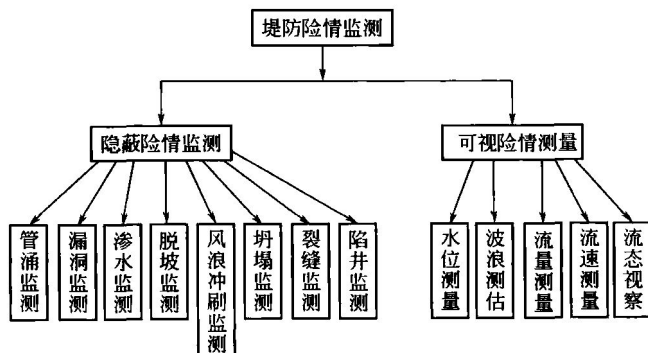


图 1-1 堤防工程险情监测内容示意

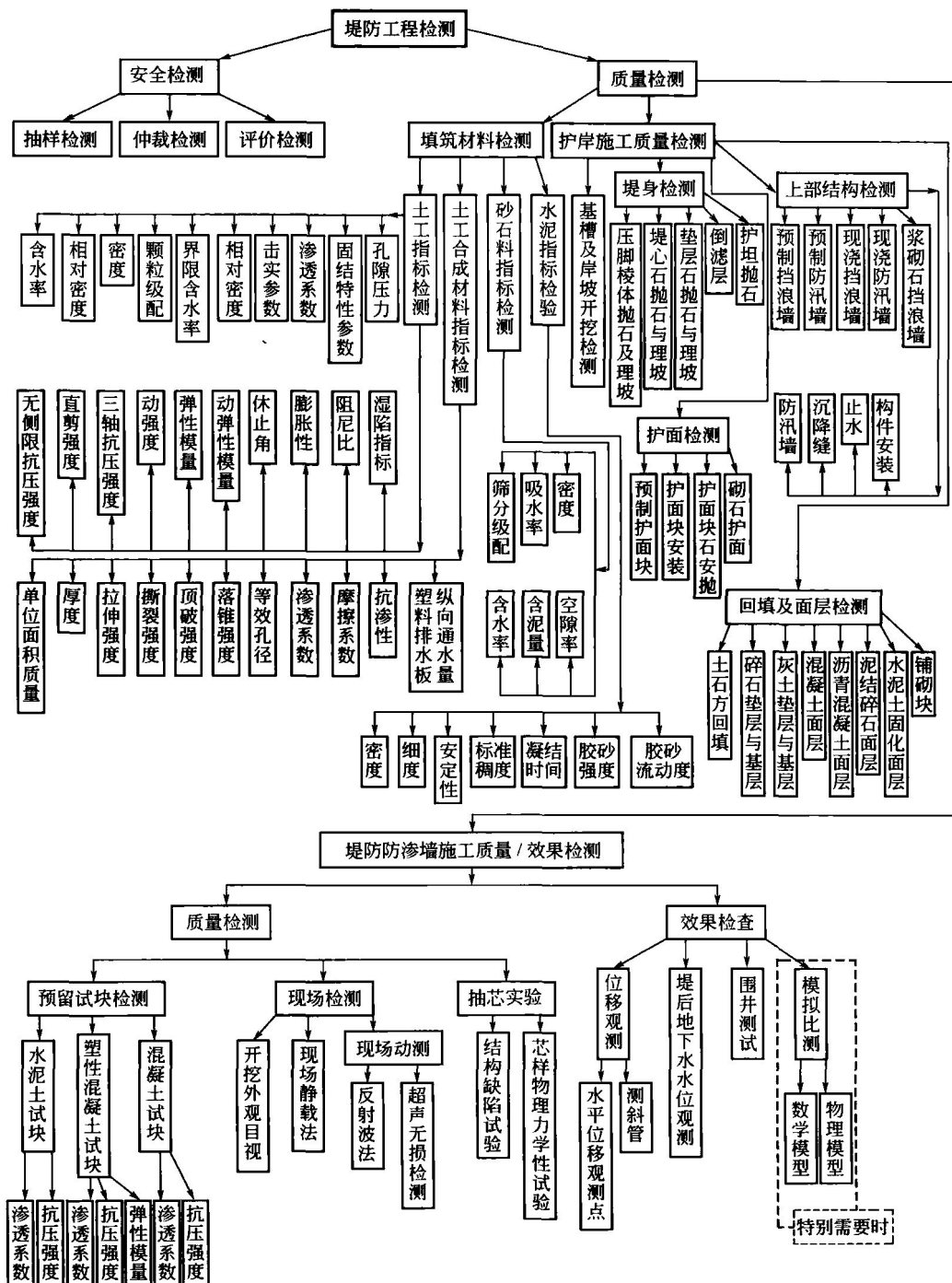


图 1-2 堤防工程安全检测内容示意

(三) 堤防工程监测与检测的服务宗旨

堤防工程安全监测与质量检测的信息，其服务宗旨有以下三个方面。

(1) 进行堤防工程的风险分析 用于堤防工程风险分析是水资源堤防建设体现“以人为

本”的根基所在。传统的水利堤防工程监测与检测的历史经验表明,平常对堤防工程的监测与检测不重视,在出现险情时才引起重视;仅仅以堤防工程存在的隐患论防范,缺乏科学的、持续发展的前瞻预见性和未来远景规划。其结果是年复一年地冬季维修、汛期抢险,未从根本上清除隐患,有规范的预警和施工质量得不到保证。

21 世纪初期,面对“主要江河的防洪能力虽有较大提高,但洪涝灾害依然是中华民族的心腹之患”的现实,国家及时调整治河思路:堤防工程“从控制洪水向洪水管理转变”,“切实增强系统观念和 risk 意识,加强防洪区、堤防保护区和洪泛区的社会化管理,规范人类社会活动”,“从试图完全消除洪水灾害、入海为安转变为承受适当的风险,制定合理可行的防洪标准、防御洪水方案和洪水调度方案,综合运用各种措施,确保标准内防洪安全,遇超标洪水把损失减少到最低限度,同时尽最大可能变害为利,充分利用水资源”。为此,堤防工程监测与检测的信息,首先为堤防风险提供了第一手资料。

(2) 进行堤防工程的安全评估 1998 年特大洪水后,我国根据自己的国情及当前经济、技术现状,在堤防工程安全评估方面,开辟了“洪水特性与减灾方法研究”路径,以长江流域为对象,研究人类活动对 1954 年、1998 年洪水特性的影响;采用 GIS、RS 等现代新技术以及控制论与系统论等方法,探索增长洪水预见期、提高预报精度;研究并建立洪水灾害风险管理体系,探索堤防工程快速评估与风险估算先进技术。

目前,我国七大流域的中下游堤防工程安全评估,仍停留在对现象的观察和探测、监测与检测数据的整理阶段,即定格在传统经验型的堤防安全评价和管理方法上。为了掌握堤防失事的规律和控制事故的发展,1998 年特大洪水后,国内有关科研单位开始通过较为合理的计算模型与计算分析方法,分别采取常规定值法与可靠性方法,建立堤防岸坡稳定与渗透稳定分析的评估模型,并实施一套堤防安全评估系统的数据查询、图形显示、工况设定、安全等级划分标准,探寻堤防工程隐患潜在危险点与事故生成途径,初步取得了对堤防工程存在的险情类别、出险条件、事故后果等相应预测与评价的标准,使堤防工程的安全评估由经验型的堤防安全评价及管理方法,开始向“预测型的风险管理体系”转变。

(3) 堤防工程安全判断依据与监控指标的确立 如果说堤防工程风险分析是建立在随机理论上、堤防工程安全评估是建立在可靠的理论上,那么,现代堤防工程安全判断依据与监控指标的确立,就应当建立在堤防工程为保护江河“以人为本”、“健康生命河流”与“人水和谐”的基础理念上。

判断某段堤防工程是否安全,从总体而言,一是视其设计和施工质量是否符合现行有关规范的要求;二是竣工后的堤防工程在设计使用年限内是否运行正常;三是堤防保护的江河是否达到“以人为本”、“人水和谐”与“健康生命”。

对于前两个方面,一般堤防工程主要依靠未出现导致堤防损坏失事的异常,以监测值控制在允许范围内为判断依据,来判断堤防工程的安全度。而“健康生命”这一点,则需要从环境、社会、人文、经济等诸领域,综合地全面考察、分析。也就是说,衡量堤防工程的安全状态,需要从分析作用于堤防工程的环境、社会、人文、经济等外作用这些“原因量”的变化,所引起堤防工程对其外作用“原因量”变化的相应反应“效应量”的变化幅度是否在表征堤防工程性能变化幅度允许范围之内来判断。

三、堤防工程监测的发展简史

堤防工程的监测是施工和运行中的重要工作,是了解和掌握堤防工程性状变化与安全稳定状态的主要手段,尤其是现代资源水利堤防工程,坚持科学发展观,引入“健康生命河