



• 闫滨 主编

病险水库除险加固技术

Risk-elimination and reinforcement technology of dangerous reservoir



辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

辽宁省优秀自然科学著作

病险水库除险加固技术

闫滨 主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

主 编 闫 滨
副 主 编 张 云 闫胜利
编写人员 赵 琳 侯 锴 郭 超 强丽峰
赵 波 陈媛媛 钱静宇

图书在版编目 (CIP) 数据

病险水库除险加固技术 / 闫滨主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2016.5

(辽宁省优秀自然科学著作)

ISBN 978-7-5381-9735-8

I. ①病… II. ①闫… III. ①水库—加固—研究
IV. TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 047108 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印 刷 者: 辽宁省印刷技术研究所

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm

印 张: 18

字 数: 393 千字

印 数: 1~1 000

出版时间: 2016 年 5 月第 1 版

印刷时间: 2016 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 李伟民

特邀编辑: 王奉安

封面设计: 嵘 嵘

责任校对: 李淑敏

书 号: ISBN 978-7-5381-9735-8

定 价: 50.00 元

联系电话: 024-23284526

邮购电话: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

前 言

我国是世界上建坝数量最多的国家。截至2011年年底,我国共建水库98 002座,总库容9 323.12亿 m^3 。其中:已建水库97 246座,总库容8 104.10亿 m^3 ;在建水库756座,总库容1 219.02亿 m^3 。大型水库756座,中型水库3 938座,小型水库93 308座。这些水库在防洪、灌溉、发电、供水、航运以及改善生态环境等方面发挥了巨大作用,是我国防洪工程体系的重要组成部分。但由于这些工程大部分修建于20世纪50—70年代,建设标准普遍偏低,工程质量差,水库工程的3个主要组成部分大坝、溢洪道、输水洞都不同程度存在各种病险问题,大坝存在裂缝、渗漏、滑坡、护坡破坏和地震液化等隐患;溢洪道存在渗漏、裂缝、冲刷空蚀、边坡滑坡、侵蚀和溶蚀、消能防冲不满足要求、闸门老化锈蚀等病险;输水洞存在塌方、突涌水、高处水压力、高地应力、岩爆、高地温等地质灾害以及裂缝、漏水、空蚀、排气和补气不足、闸门锈蚀变形、启闭机设备老化和冲刷破坏等老化病害。上述病害、隐患的存在,严重影响着水库效益的正常发挥,直接危害结构本身乃至整个枢纽的安危,对下游人民的生命财产和经济生活构成巨大威胁,甚至会酿成溃坝灾难。1975年8月,板桥、石漫滩两座大型水库的失事,造成河南省29个县(市)1 700万亩农田被淹。其中1 100万亩农田遭受毁灭性灾害,1 100万人受灾,85 600余人死难,致使纵贯中国大陆的京广铁路线冲毁102 km,中断行车18 d,直接经济损失近百亿元。沉痛的教训敲响了警钟,病险水库除险加固势在必行。

病险水库是防洪安全的重大隐患,适时进行大坝安全鉴定,全面、准确地评价水库土石坝的隐患和病害,及时采取相应的措施进行处理和加固,对确保水库安全,充分发挥工程效益,促进经济、社会、环境和生态的可持续发展具有重要意义。

本书的出版,旨在向广大工程技术人员和水利基层干部群众推广病险水库除险加固技术以及除险加固的新材料、新技术和新工艺。

衷心感谢辽宁省水利水电勘测设计研究院王成山总工程师在百忙中抽出时间审阅本书并提出中肯的意见和建议。本书在编写过程中参考了大量文献资料及网页资料，在此向本书引用的所有论文、著作的作者们表示衷心感谢。

由于编者学识水平有限，加之编写时间紧迫，书中难免存在不足乃至错误之处，敬请广大水利工作者批评指正。

阎 滨

2015年4月于沈阳

目 录

第一篇 土石坝除险加固技术

1 概 述	003
1.1 土石坝除险加固的目的、意义	003
1.2 土石坝病害类型	003
1.3 土石坝病害的检查与观测	005
1.4 土石坝隐患探测	011
2 土石坝裂缝处理	015
2.1 裂缝产生的原因	015
2.2 裂缝的分类	017
2.3 裂缝的处理	020
3 土石坝渗漏处理	025
3.1 渗漏的类型	025
3.2 渗漏原因	026
3.3 渗漏处理	028
4 土石坝滑坡的加固处理	075
4.1 滑坡的原因	075
4.2 滑坡加固处理方法	076
4.3 滑坡处理注意事项	080
5 土石坝护坡的加固	081
5.1 护坡损坏原因分析	081
5.2 护坡破坏的加固	083
5.3 土工模袋混凝土护坡技术	088

5.4	现浇混凝土护坡技术	091
5.5	水泥裹沙喷射混凝土加固砌石护坡技术	096
6	土坝白蚁防治	098
6.1	土坝白蚁产生的原因	098
6.2	白蚁对水库土坝的为害	099
6.3	土坝白蚁防治	100
7	抗震加固	104
7.1	土石坝震害原因	104
7.2	液化震害加固措施	107
	参考文献	113

第二篇 溢洪道除险加固技术

8	溢洪道主要病险问题	119
8.1	渗漏	119
8.2	裂缝	119
8.3	磨蚀、空蚀破坏	120
8.4	边坡滑坡	120
8.5	侵蚀和溶蚀	121
8.6	泄槽底部衬砌病险	122
8.7	消能防冲问题	122
8.8	闸门和启闭机老化、锈蚀	123
9	溢洪道渗漏破坏的处理	124
9.1	溢洪道接触渗漏的处理	124
9.2	溢洪道基础渗漏的处理	124
9.3	溢洪道裂缝渗漏的处理	126
10	溢洪道裂缝的处理	127
10.1	表面喷涂	127
10.2	表面贴补	130
10.3	凿槽嵌补	132
10.4	真空注入法	132
10.5	钢丝网喷浆或喷混凝土	133
10.6	裂缝灌浆	133
11	溢洪道磨蚀、空蚀破坏防治及修补	138
11.1	磨蚀破坏处置措施	138

11.2	空蚀破坏处置措施	138
11.3	常用磨蚀、空蚀修补材料及工艺	140
12	溢洪道边坡处理措施	143
12.1	溢洪道岸坡防护措施	143
12.2	溢洪道边坡处理施工工艺	144
13	溢洪道侵蚀、溶蚀处理	157
13.1	合理选择水泥品种	157
13.2	掺入矿物掺和料和外加剂	157
13.3	掺入聚丙烯纤维	158
13.4	提高混凝土的密实性和抗渗性	158
13.5	加厚混凝土保护层, 加大混凝土构件截面	158
13.6	采用高压蒸汽养生	158
13.7	混凝土表面保护措施	158
14	泄槽底板加固措施	161
14.1	防渗措施	161
14.2	排水措施	161
14.3	增加底板厚度	161
14.4	底板处应平整光滑	162
14.5	底板阻滑措施	162
15	溢洪道消能防冲加固措施	164
15.1	消能防冲设施的改善措施	164
15.2	HK-983树脂锚固剂在防冲补强加固中的应用	166
15.3	水下不分散混凝土在水下冲刷磨蚀修补中的应用	167
15.4	PBM聚合物混凝土在水下冲刷磨蚀修补中的应用	168
15.5	设置消力墩消能	174
15.6	增设宽尾墩消能	177
15.7	陡槽台阶式消能	178
16	闸门和启闭机日常维修养护措施	180
16.1	闸门和启闭机常见缺陷与故障的处理	180
16.2	闸门养护措施	186
16.3	水工钢闸门防腐保护措施	187
16.4	启闭机的检查与维护	191
	参考文献	194

第三篇 输水洞除险加固技术

17 输水洞主要病险问题	199
17.1 裂缝	199
17.2 渗漏	201
17.3 冲磨和空蚀	203
17.4 进出口存在问题	204
17.5 闸门后的排气和补气不足	204
17.6 闸门锈蚀变形和启闭设备老化	204
17.7 出口高速水流冲刷破坏	204
18 输水洞裂缝除险加固	205
18.1 地基的处理	205
18.2 洞身裂缝的一般处理办法	206
18.3 裂缝修复	208
18.4 裂缝修补新材料、新技术	209
19 输水洞渗漏除险加固	215
19.1 YEC高韧性环氧涂层防护涂料	215
19.2 高压旋喷灌浆构筑输水洞截流环墙	216
19.3 输水洞伸缩缝渗漏处理	217
19.4 CP砂浆防渗补强	220
19.5 洞顶地面钻探灌浆防渗	222
19.6 内衬钢筋混凝土管、钢管或玻璃钢管	224
20 输水洞冲磨和空蚀的处理	229
20.1 体形不当的处理	229
20.2 混凝土表面缺陷处理	231
20.3 聚脲弹性体在抗冲磨施工中的应用	235
20.4 掺气减蚀措施	237
21 输水洞进出口加固	238
21.1 环氧厚浆涂料	238
21.2 硅粉砂浆	239
22 输水洞出口高速水流消能措施	240
22.1 消力池消能	240
22.2 挑流消能	240
22.3 涵管冲击消力箱消能	240

22.4	喷射扩散消能	243
22.5	喷射消力室	243
22.6	锥形阀消能	243
22.7	套筒阀	243
23	弃洞重建	244
23.1	明挖法	244
23.2	顶管施工法	245
23.3	顶管的顶力计算	247
24	新建输水洞常见地质问题及处理措施	249
24.1	新建输水洞常见地质问题	249
24.2	塌方处理及加固	253
24.3	突涌水的处理	263
24.4	高外水压的处理	265
24.5	高地应力及岩爆防治措施	269
24.6	高地温的处理措施	272
参考文献		274

第一篇

土石坝除险加固技术

1 概 述

1.1 土石坝除险加固的目的、意义

病险水库是防洪安全的重大隐患,严重制约着水库综合效益的充分发挥,影响生态环境。其危害主要表现在:一是防洪安全性降低。现有病险水库大部分已运行40~50 a,工程本身已进入老化期,结构、设备及设施老化严重,存在许多安全隐患,致使防洪标准下降,行洪安全性大大降低,一旦发生超标准洪水,极易造成大坝溃决,将对下游人民生命财产安全造成巨大损失,对本地区的社会稳定及可持续发展也造成严重影响。二是严重制约水库效益的发挥和社会经济发展。长期以来,许多病险水库低水位控制运行,兴利库容减少,无法按设计标准满足灌溉、供水、发电等用水需求,严重影响了水库效益的发挥;同时,也不能满足社会经济快速发展的需求。三是对环境及生态的影响日趋严重。病险水库存在垮坝风险,洪水一旦泛滥,将对下游农田、植被、村庄以及人类生存环境造成严重破坏,改变下游河谷地貌以及生物种群,给下游生态环境带来毁灭性灾害。

适时进行大坝安全鉴定,全面、准确地评价水库土石坝的隐患和病害,及时采取相应措施处理和加固,对于确保水库安全,充分发挥工程效益,促进经济、社会、环境和生态的可持续发展具有重要意义。

1.2 土石坝病害类型

根据病害的特点,土石坝的病害大致可归为3类:结构及构造性病害、渗漏性病害和其他病害。

1.2.1 结构及构造性病害

病害机理主要是结构强度、稳定和刚度不足以及构造措施不合理,大多反映在主体结构稳定性改变上。主要包括泄洪问题、滑坡、沉陷、裂缝、排水设备失效等。

1.2.1.1 设计标准偏低

体现在原设计、校核洪水标准低于现行标准。大坝坝顶高程、大坝坡比、坝顶宽度、防渗体顶高程、泄水建筑物导墙顶高程未达到设计要求。

1.2.1.2 坝坡稳定不满足要求

一是因为原设计标准低、施工时筑坝土石料及坝体填筑未达到设计要求、坝体和坝基防渗处理未达到要求等造成；二是因为施工质量差，坝体填筑未达到设计干容重，抗剪强度指标明显偏低，坝坡抗滑稳定不满足要求。

1.2.1.3 排水设施失效

一是因为大坝加高和培厚使排水体埋入坝体内，致使排水系统堵塞；二是因为排水棱体反滤层淤塞或施工时未设排水棱体及反滤层；三是因为排水棱体岩石岩性差，岩石风化致使排水堵塞失效。

1.2.1.4 泄水建筑物破坏

泄水建筑物的破坏，主要有由于地基不均匀沉陷造成的底板及导墙变形裂缝、由于水流冲刷造成的底板及导墙表面破坏及岸坡垮塌、泄水建筑物下游消能防冲设施不完善造成的建筑物本身结构破坏等。另外，溢洪道泄流能力不足、消能设施不合理、混凝土结构老化破损和金属结构老化报废，也导致泄水建筑物破坏。

1.2.2 渗漏性病害

渗漏病害机理主要是坝体密实度欠佳及其接合体抗渗性能不足。主要包括坝体渗漏、坝基渗漏、绕坝渗漏、涵洞周围渗漏和白蚁洞穴渗漏等。

1.2.2.1 土石坝坝体渗漏

由于斜墙、心墙等防渗体裂缝或者坝体施工质量等问题形成渗流的集中通道，导致管涌等问题出现，渗水逸出点或逸出面在下游坝坡和坝脚。具体表现为：①浸润线从坝坡逸出。②下游坝面出现集中渗漏。③防渗墙或黏土心墙渗漏。④坝体内部裂缝渗漏。

1.2.2.2 土石坝坝基渗漏

土石坝坝基渗漏主要是由历史原因造成的，有的土石坝没有设计就开工建设，有的边设计边施工，未对坝基进行任何防渗处理就开始填筑坝体，蓄水后即发生渗漏。

1.2.2.3 土石坝绕坝渗漏

绕坝渗漏是指渗水绕过坝头两端渗向下游并在下游岸坡逸出现象。绕坝渗漏主要发生在坝端松散的坡积层和岩石风化层、透水层或裂隙发育的基岩处。

1.2.2.4 接触部位渗漏

坝体与坝基，坝体的心墙、斜墙、齿墙、涵管（小型水库中常见）周围，坝体与两岸山坡、防渗设施与破碎基岩之间的各种接触部位，由于设计和施工等多方面原因，容易成为渗漏的捷径，发生接触冲刷，甚至垮坝失事。

1.2.3 其他病害

土石坝坝内涵管断裂、上下游护坡损坏、白蚁等动物破坏以及坝体变形等。

1.3 土石坝病害的检查与观测

1.3.1 土石坝巡视检查

巡视检查是指工程技术人员采用技术手段，对水库大坝的结构安全实施的直接检查。目的是监视水库大坝运行状况，及时发现水库大坝出现的异常现象，查明水库大坝异常情况的部位、性质及程度。巡视检查能够在时间和空间上补充仪器监测的不足，巡视检查很大程度上依赖经验和长期检查资料的对比，故巡视检查人员应选择具有一定工程经验的人员，对水库而言检查人员最好相对固定。对于土石坝，从施工期开始就应进行大坝巡视检查，即用眼看、耳听、手摸、鼻嗅、脚踩等直觉方法或辅助以简单的工具或试验器材，根据土石坝外露的不正常现象，分析判断土石坝内部可能发生的问题。

1.3.1.1 土石坝巡视检查的项目和内容

已建成的土石坝安全情况是不断变化的。根据土石坝的工作特点，促使土石坝安全情况发生变化的各种因素，如暴雨、洪水、风浪淘刷和冰冻影响以及大坝、溢洪道、坝下涵洞本身存在的各种病害隐患的变化，往往会直接或间接地反映为坝面的异常现象，如裂缝、渗漏、滑坡、塌坑、冲沟、生物危害等，都将影响土石坝坝体的安全。因此，必须经常检查坝面有无异常现象，及早发现病情，及时处理加固，确保水库安全。土石坝巡视检查的项目和内容见表 1-1。

表 1-1 土石坝巡视检查的项目和内容

项目	检查部位	检查内容
坝体	坝顶	有无裂缝、异常变形，积水或植物滋生等现象；防浪墙有无开裂、挤碎、架空、错断、倾斜等情况
	迎水坡	护面护坡是否损坏；有无裂缝、剥落、滑动、隆起、塌坑、冲刷，或植物滋生等现象；近坝水面有无冒泡、变浑或漩涡等异常现象
	背水坡及坝趾	有无裂缝、剥落、滑动、隆起、塌坑、雨淋沟、积雪不均匀融化、冒水、渗水坑，或管涌、流土等现象；排水系统是否畅通；草皮护坡是否完好；有无蚁穴等隐患；滤水坝趾、减压井等导渗减压设施有无异常或破坏现象
坝基	坝趾	基础排水设施的工况是否正常；渗漏的水量、颜色、气味、浑浊度、酸碱度、温度有无变化；基础廊道是否有裂缝、渗水等现象
	坝端	坝体和岸坡连接处有无裂缝、错动、漏水等现象；两岸坝端区有无裂缝、滑动、坍塌、溶蚀、隆起、塌坑、异常渗水或蚁穴、兽洞等
	坝趾近区	有无阴湿、渗水、管涌、流土或隆起等现象；排水设施是否完好
	坝端岸坡	绕坝渗水是否异常；有无裂缝、滑动迹象；护坡有无隆起、塌陷或其他损坏现象
	上游铺盖	有无裂缝、塌坑等

1.3.1.2 土石坝巡视检查的种类

巡视检查分为日常巡视检查、年度巡视检查和特别巡视检查。

(1) 日常巡视检查。日常巡视检查应当根据土石坝的具体情况和特点,制订检查制度,确定巡视检查的时间、部位、内容和要求,明确检查路线和检查顺序,由工程技术人员负责执行。

日常巡视检查的次数一般规定:每月不得少于4次,在施工期宜每周2次;在初蓄水或水位上升期间,每周不得少于2次,宜每天1次,具体次数视水位上升或下降速度而定;在运行期,每月不少于2次,一般每周1次,汛期高水位时应增加次数,特别是出现大洪水时,每天应至少1次。

(2) 年度巡视检查。每年的汛期前后、用水期前后、冰冻较严重地区的冰冻期和融冰期、白蚁活动显著地区等,应按规定的检查项目,由管理人员负责对土石坝进行全面的或专门的检查巡视,检查次数根据不同地区的情况而定,一般每年不少于2次。

(3) 特别巡视检查。当土石坝遇到严重影响安全运行情况(如遇到暴雨、洪水、有感地震、强热带风暴,以及库水位骤升骤降或持续高水位等)、发生比较严重的破坏现象或出现其他的危险迹象时,由主管单位负责组织特别检查,必要时应组织专人对可能出现的险情部位进行持续监视。日常巡视检查要求做好记录,特别巡视检查应该提交专门的检查报告,年度巡视检查一般做记录或纪要。巡视检查是规范的明确要求,属水库运行中大坝安全监测与管理工作的基本内容之一,一般应根据具体水库制订专门的检查制度,确定检查人员、时间、部位、内容、要求等。检查记录包括文字和记录表格,必要时测图、取样、摄影或录像。进行巡视检查的同时还要检查输、泄水建筑物,溢洪道,闸门,启闭机以及观测通信设施是否完好,检查的内容应按照《土石坝安全监测技术规范》做好记录,整理资料,做出结论,报上级主管部门,并请求上级部门现场察看,进行鉴定和评价,对发现的问题及时做出处理和加固。

1.3.2 土石坝裂缝检查及观测

土石坝的坝体裂缝是常见的病害现象。有的裂缝在坝体表面,有的隐藏在坝体内部。细小的裂缝对坝体构成潜在的危险性,往往因没有给予应有重视,造成严重后果。即使细小的横向裂缝,也可能因水位上升发展成为集中渗漏通道导致溃坝失事;细小的纵向裂缝会因雨水入渗后导致或加剧滑坡。因此,对有裂缝的土石坝应及时采取措施进行处理,防止裂缝的发展或扩大。

1.3.2.1 裂缝检查

对土石坝裂缝除了在坝面进行检查外,还应对横向裂缝、纵向裂缝较容易出现的位置做重点检查,观察裂缝特征,据以判断。如果裂缝发生在有护坡块石的上游坝坡或杂草丛生的坝面,就不易发现。因此,对上游坝坡的护坡面的变形及裂缝应仔细检查观察,同时除去坝面杂草,以便于观察。

(1) 利用坝体上或坝体内的圬工建筑物检查。坝顶防浪墙、路边墙(路缘石)、坝

坡上的排水沟以及坝下涵管(洞)等圬工建筑物对于沉陷的灵敏度反应较高,稍有沉陷即产生裂缝。一般圬工上裂缝宽度若大于1 mm,土坝上将有明显的裂缝。如涵洞断面变形较大,或两点断面有沉陷差,就会直接使坝体产生裂缝。

(2) 渗水透明度检查。坝后集中渗水的透明度反映了坝体渗出水中含土粒多少,表明是否带动了坝体土粒,若渗出的水突然变浑浊,即表明坝体裂缝后产生管涌。特别是窄心墙坝,如坝基渗漏出浑水,应考虑心墙内部产生裂缝的可能性。内部裂缝在坝体表面观察不到,一般可结合坝型、坝基具体情况,进行仔细观察。如当库水位升高到某一高程时,在无外界影响情况下渗漏量突然增加,而水位下降到某一水位时,渗漏量减少或停止渗漏,产生有规律的变化现象,即可分析判断可能有内部裂缝存在。

发现裂缝后应设置标志,并把缝口保护起来,用塑料布盖好,防止雨水流入加速恶化,同时避免牲畜或人为破坏,避免裂缝失去原来的形状,以便观察裂缝变化情况,分析产生原因,尽快处理。

1.3.2.2 坝体裂缝观测

通过检查观察发现土坝产生裂缝后,要掌握裂缝发展情况,分析产生的原因和危害,以便进行有效处理。进行裂缝观测,主要是对横向裂缝和纵向裂缝进行观测。土坝裂缝的观测包括位置、走向、长度、宽度、深度、错距等内容。

(1) 土石坝裂缝位置、走向可在裂缝地段按坝轴线和距坝轴线的距离标注,如桩号等。

(2) 土石坝裂缝长度观测,可在裂缝两端用石灰划出标记,然后用皮尺沿缝迹测量。石灰标记处需标注日期,以掌握其发展情况。

(3) 裂缝宽度可在缝宽最大处选择有代表性的缝段,用石灰等划出标记作为测点,用钢尺测量。钢尺要求有毫米刻划,读数估至0.1 mm。裂缝宽度精确到0.2 mm,深度精确到1 mm。测量时应尽量不损坏测点处的缝口。在测点处的缝口可喷洒少量石灰水,以便检查缝口是否遭受损坏。

(4) 在需要了解裂缝的可见深度时,可以用细铁丝探测。除较大的滑坡裂缝须经上级主管部门批准进行钻孔或坑探检查外,一般不必进行坑探。

(5) 土石坝裂缝观测的测次应根据裂缝发展情况而定。在裂缝初期可每天观测一次,当裂缝有显著发展或上游水位变化较大时宜增加测次,在裂缝发展减缓后适当减少测次。土坝裂缝观测的成果须详加记录,记录内容包括裂缝发生的时间、裂缝的特征等,应在大坝平面图上绘出裂缝分布草图。

1.3.3 土石坝渗漏检查及观测

土石坝的坝身填土和坝基都存在一定的透水性,因此,当水库蓄水后,在水压力作用下,库水必然会通过坝身土体、坝基以及两岸坝端的孔隙,或坝体与地基接触面发生渗漏,这是不可避免的。如果渗漏量符合设计范围,则属于正常渗漏现象。但是,如果渗漏水量超过允许范围,或者渗流逸出点过高,下游坡面出现渗水散浸,则属于异常渗