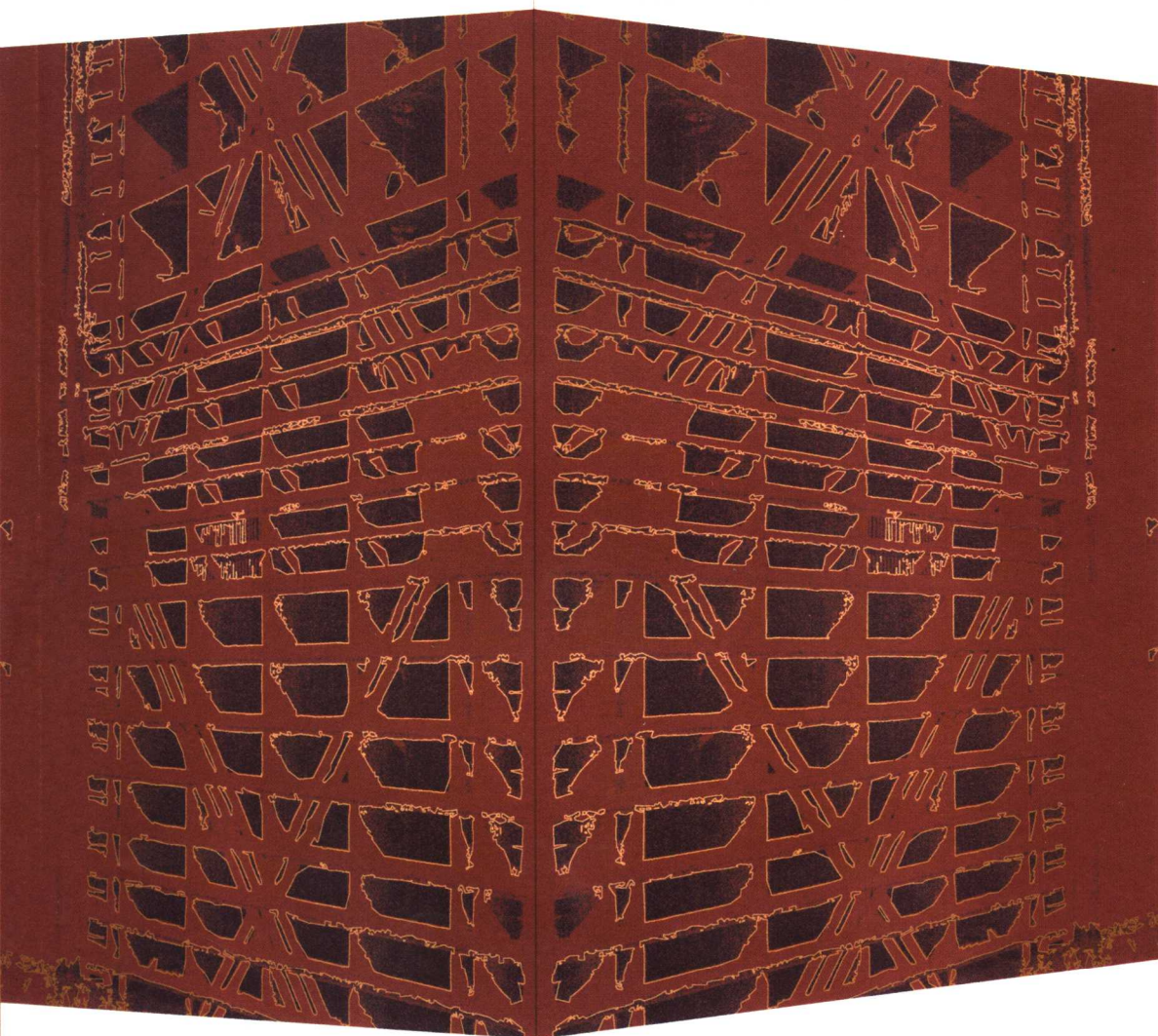


S H U I Z H A A N Q U A N J I A N C E
Y U P I N G G U F E N X I

水闸安全检测 与评估分析

洪晓林 柯敏勇 金初阳 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

S H U I Z H A A N Q U A N J I A N C E
Y U P I N G G U F E N X I

水闸安全检测 与评估分析

洪晓林 柯敏勇 金初阳 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 摘 要

本书在南京水利科学研究院 10 多年水闸安全检测与评估分析工程实践的基础上, 总结国内外水闸安全检测与评估分析的理论和方法, 结合结构无损检测、安全评估理论等国家和部颁标准编写, 对水闸安全鉴定的各项工作进行了阐述。内容包括: 工程现状调查的内容和要求, 安全检测的内容和要求, 复核计算的内容和要求, 水闸检测方法, 安全评估的准则、指标和方法, 耐久性的评估方法, 水闸安全类别的评定标准和方法等。提供了 10 座不同类型、不同安全级别的水闸安全检测与评估分析的工程实例。为方便读者查阅, 附录提供了 SL214—98《水闸安全鉴定规定》和 SL75—94《水闸技术管理规程》的主要内容。

本书可供水闸管理单位及其上级主管部门的管理人员, 水闸安全检测与评估单位及其工作人员学习、使用, 也可作为高等学校水利类专业的教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

水闸安全检测与评估分析/ 洪晓林等编著. —北京:

中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978 - 7 - 5084 - 4061 - 3

I. 水... II. 洪... III. ①水闸—安全检查②水闸—安全技术—技术评估 IV. TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 116318 号

书 名	水 闸 安 全 检 测 与 评 估 分 析
作 者	洪晓林 柯敏勇 金初阳 等 编著
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: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 23 印张 545 千字
版 次	2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—3500 册
定 价	58.00 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

前 言

我国现有水闸 5 万余座，是除害兴利的水利基础设施的组成部分，在防洪、挡潮、排涝、灌溉、供水、环保、航运和水力发电等方面具有十分重要的作用。若水闸一旦损坏失事，将给下游广大地区人民生命财产和国民经济各部门造成严重损失。目前，我国的水闸大多数是 30 年前兴建的，有不少是在“大跃进”年代或“文化大革命”期间，以自力更生为主、国家补助为辅，就地取材、因陋就简建造的，因受到技术条件的限制，在工程质量上存在不少问题。经过几十年的运行，建筑物老化，病害严重，虽然也经过维修，但基本上是带病工作。为了保证水闸安全运行，除应该加强日常的检查观测、养护修理和进行科学的控制运用外，还必须建立完善的安全鉴定技术法规，对旧闸进行定期检测、诊断、评估和鉴定，以便及时维修加固。

南京水利科学研究院从 20 世纪 90 年代初期以来，开展了对上百座水闸的安全检测和评估工作，研究工作得到了水利部重点项目和南京水利科学研究院科学研究基金的资助。本书是在材料结构研究所 10 多年水闸安全检测与评估分析工程实践的基础上，总结国内外水闸安全检测与评估分析的理论及方法，结合结构无损检测、安全评估理论等国家和部颁标准编写的，对水闸安全鉴定的各项工作进行了阐述。内容包括：工程现状调查的内容和要求，安全检测的内容和要求，复核计算的内容和要求，水闸检测的方法，安全评估的准则、指标和方法，耐久性的评估方法，水闸安全类别的评定标准和方法等。本书编写时，注意将理论密切联系工程实践，结合了多座不同类型、不同安全级别的水闸安全检测与评估分析的工程实例，突出了水闸安全检测和评估分析的可操作性。

参与本书编写的作者大都为多年从事水闸安全检测与评估分析的技术人员，他们将多年从事水闸安全检测和评估分析的科研成果和工程经验悉心总结，编著成书。本书出版前曾在 2004 年水利部组织的水利行业“水利工程安全检测与评估分析”培训班上试用，并取得了良好的效果。

本书第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章第 3~4 节，第 7 章第 1、3、4 节，第 8 章、第 10 章、第 11 章第 1~3 节、第 7~10 节由柯敏勇高工，洪晓林、

金初阳教授级高工和刘海祥工程师共同编写；第4章第1、2节、第7章第2节由傅翔高工编写；第4章第5节由张燕驰高工编写；第4章第6节由陈忠华高工编写；第5章由朱锡昶、陈灿明高工共同编写，第9章第4、5节、第11章第4、6节由陈灿明高工编写；第6章由李军工程师编写；第11章第5节由朱锡昶高工编写；第9章第1~3节由汪滨高工编写。全书由柯敏勇高工负责统稿，刘海祥工程师和叶小强参与了统稿工作。

在编著过程中，参阅了南京水利科学研究院材料结构研究所和其他兄弟单位的水闸安全检测与评估分析报告，以及国家自然科学基金重点项目“水工混凝土建筑物老化病害的防治及评估的研究”报告。本书的编著和出版，得到了南京水利科学研究院出版基金的资助。在此，一并向他们表示衷心的感谢！

本书可供水闸管理单位及其上级行政主管部门，水闸安全检测与评估单位及其工作人员学习、使用，也可作为高等学校水利类专业的教材或参考书。由于作者水平所限，不当之处敬请读者批评指正，并将意见反馈给作者。

编著者

2006年9月

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.2 水闸概述	3
1.3 病险水闸的主要问题	6
第 2 章 水闸安全鉴定	15
2.1 水闸的检查与观测	15
2.2 水闸安全鉴定的内容与要求	16
2.3 水闸安全鉴定的程序与分工	22
2.4 水闸安全鉴定的特点	23
2.5 水闸技术管理与安全鉴定的讨论	23
第 3 章 水闸工程现状与调查分析	26
3.1 调查内容与要求	26
3.2 基本情况调查与分析内容	26
第 4 章 水闸混凝土结构检测方法	30
4.1 水闸结构材料强度的检测	30
4.2 混凝土缺陷的超声检测	44
4.3 钢筋分布与锈蚀的检测	50
4.4 混凝土碳化深度的检测	54
4.5 与氯离子渗透的检测	55
4.6 水闸的荷载试验	56
第 5 章 闸门及启闭机安全检测	66
5.1 概述	66
5.2 安全检测的基本要求	67
5.3 安全检测的内容与方法	69
5.4 电气设备的安全检测	90
5.5 检测结果及处理	91

第 6 章	观测设施的检测与观测资料的整编分析	93
6.1	概述	93
6.2	观测设施的检测	93
6.3	观测资料的整编分析	96
第 7 章	水下缺陷的检测技术	103
7.1	概述	103
7.2	水下成像技术	104
7.3	水下超声波技术	107
7.4	探地雷达探测水下缺陷	109
第 8 章	工程复核计算与分析	112
8.1	概述	112
8.2	洪水复核及防洪经验分析	113
8.3	水闸水力学复核	120
8.4	水闸防渗排水复核	126
8.5	结构稳定计算复核	132
8.6	钢筋锈蚀混凝土构件的复核分析	143
第 9 章	腐蚀后水工钢闸门的复核计算和安全评估	149
9.1	钢闸门的腐蚀后评估	149
9.2	平面闸门的校核	154
9.3	弧形闸门的校核	159
9.4	钢闸门的综合评估法	162
9.5	实例分析	164
第 10 章	水闸安全评估方法	172
10.1	评估依据和准则	173
10.2	评估指标和方法	179
10.3	确定性的整体评估法	182
10.4	灰色理论评估法	187
10.5	可靠度理论评估法	189
10.6	多层次模糊综合评判法	192
10.7	神经网络评估法	198
10.8	中小型水闸安全评估的传力树法	203
10.9	专家系统法	210
10.10	多因素评估法	214
10.11	模式识别法	220
10.12	总结	223
第 11 章	水闸安全检测与评估分析的工程实践	225
11.1	宿迁闸的安全检测与评估分析	225

11.2	朱家站水闸的安全检测与评估分析·····	239
11.3	瑞安下埠水闸的安全检测与评估分析·····	249
11.4	榆林庄闸的安全检测与评估分析·····	258
11.5	蒙城节制闸的安全检测与评估分析·····	267
11.6	红山窑枢纽工程的质量检测与评估分析·····	280
11.7	韩庄闸的安全检测与评估分析·····	289
11.8	嶂山闸的安全检测与评估分析·····	300
11.9	汤泾闸的安全检测与评估分析·····	316
11.10	斗龙港闸的安全检测与评估分析·····	319
附录 1	水闸安全鉴定规定（部分）·····	331
附录 2	水闸技术管理规程（部分）·····	343
参考文献	·····	358

第 1 章 概论

1.1 概述

水闸是防洪保安、水资源调控、蓄水灌溉的重要公共基础设施,具有很强的公益性,社会效益巨大。在资源水利中,水闸除了在流域的工业、农业生产及水运和交通等方面发挥重大作用外,还具有洪水资源的调控和利用作用。2003 年,淮河流域出现了全流域性的洪水灾害,通过水闸枢纽进行科学决策和调度,累计下泄洪水 200 亿 m^3 ,使淮河洪水始终处于可控状态,洪水在超过 1991 年的情况下造成的灾害远远小于 1991 年。较 1991 年减少撤退人口约 36 万人,减少淹没面积 96 万亩,财产 76 亿元。新建成的人海水道和水闸枢纽使洪泽湖的防洪标准从 50 年一遇提高到百年一遇,降低洪泽湖水位 0.3~0.4m,确保淮河下游地区 2000 万人口、3000 万亩耕地防洪安全。水闸具有保护生态和环境保护作用。我国曾数次利用水闸、泵站等枢纽工程在黄河、黑河、塔里木河和嫩江等流域进行生态和环境补水。2002 年,北方最大淡水湖——南四湖发生特大干旱,从长江向南四湖应急生态补水 1.1 亿 m^3 ,保护了南四湖湖区的生态系统和环境。可见,水闸在资源水利中占有非常重要的位置。

目前我国现有水闸 50000 余座,其中大型水闸 486 座,中型水闸 3278 座,小型水闸 4.6 万座,数量之多为世界之冠。与水库大坝相比,水闸具有设计和施工水平相对较低,加之管理和维护较差、运行条件改变等后天因素,在运行过程中逐渐产生老化病害,导致建筑物的安全性、适用性和耐久性下降,功能得不到正常发挥,逐步产生安全隐患。根据 1999 年底统计,全国共有病险大型水闸 248 座,占大型水闸总数的 51%;中型水闸 1505 座,占中型水闸总数的 46%。淮河流域 87 座大中型水闸中,影响正常应用的 53 座,占 60%,其中有 14 座严重影响防洪安全,被列为病险水闸,占总数的 16%;河南省的 19 座大型水闸,可靠性略低于现行规范要求的 9.5 座,占总数的 50%,可靠性不满足规范要求的 9.5 座,占总数的 50%,19 座水闸无一满足设计要求。广西的 17 座大型水闸中有 14 座水闸为病险水闸,比例高达 80%;78 座中型水闸中有 51 座为病险水闸,比例为 65%。而数量占优的小型水闸,由于运行环境相对恶劣,设计标准偏低、安全富裕量较少,其出现病险的比例将远高于大、中型水闸的病险的比例。水闸作为洪水调控和水资源合理利用的重要手段,老化病害的存在不仅严重威胁工程上、下游地区安全,而且影响当地经济和社会的全面进步;老化病害和年久失修大大降低了水闸结构本身的可靠性,垮闸的可能性也逐渐增加;病险水闸作为防洪保障体系的一部分,使工程防洪保障抵御风险能力大大降低,影响了兴利作用的发挥。另外,病险水闸的存在,影响了社会公众的安定心理,对社会发展和稳定有不良的心理暗示。

从整个国家的基本建设投资来看,随着国家经济和社会的全面进步,用于维修改造的

投资会逐步增加,以致超过新工程的投资比重(发达资本主义国家,有的维修改造比重已经达70%),因而对建筑物的诊断将面临艰巨的任务,对检测方法和评估准则的研究和规范已刻不容缓。在国外,如日本、美国、原苏联、德国等十分重视这项工作,并设立专门机构,广泛组织力量进行理论研究和技术开发。我国这项工作起步较晚,虽早在20世纪50年代,建工部门曾翻译出版了苏联的《建筑物缺陷和对策》,铁道部出版了《铁路维修工作》等书,但直到80年代初,国家强调工业技术改造是工业发展的重要任务后,建筑物诊断问题才开始受到普遍关注。

20世纪80年代后期先后制定了混凝土强度、民用及工业厂房建筑质量检验和评定的规程和标准。如CJ13—86《危险房屋鉴定标准》、GBJ107—87《混凝土强度检验评定标准》、YJB219—89《钢铁工业建(构)筑物可靠性鉴定规程》、GBJ144—90《工业厂房可靠性鉴定标准》以及《房屋完损等级评定标准》(试行)等。90年代初出版了有关旧建筑物质量检测、评定及加固方面的论著。我国交通部门近年来在旧桥测试、承载能力评定及加固技术的试验研究方面,开展了大量工作。在JTJ073—96《公路养护技术规范》中,对桥梁技术状况评定标准及裂缝宽度评定级别有了规定。

在水利工程方面,1967年第9届国际大坝会议上已经提出。20世纪80年代以来,许多国家对大坝老化病害的监测诊断,可靠性评估及工程加固等问题开展了研究。随后,美国、加拿大等国相继制订出了关于水工建筑物的评估标准与准则。我国在港工、水工建筑物的老化、病害研究也较早开展,南京水利科学研究院从20世纪50年代就开始注意到混凝土耐久性问题,20世纪60年代在混凝土耐久性、钢筋混凝土及钢结构的金属腐蚀与防腐等方面开展了大量的室内试验研究工作;20世纪70年代之后,开展了现场暴露试验及港口码头、矿桥的现场检测与评估。水闸方面,20世纪80年代,对崂山闸进行了抗震检测与评估。此外,在水工建筑物的老化病害调查和评估方面,江苏省水利科学研究所、淮河水利委员会安徽省水利科学研究院、浙江省水利科学研究所、中国水利水电科学研究院、河海大学等单位也做了大量的工作。1992年,国家自然科学基金委员会批准“水工混凝土建筑物老化病害的防治及评估研究”,作为重点项目开展研究,水闸也是其中一个方面。

水利部对水闸的鉴定十分重视,早在20世纪80年代初就认识到这个问题,在1981年颁布的SLJ704—81《水闸工程管理通则》中就明确提出,水闸建成后,在运用的头3~5年进行一次安全鉴定,以后每隔5~10年进行一次。但由于当时的要求偏高,难以贯彻执行。建国以来,只在1973年进行的一次水利大检查和1983年进行的“三查三定”工程大检查可作为安全鉴定。1994年,水利部颁发的SL75—94《水闸技术管理规程》明确规定,水闸安全鉴定周期为:水闸投入运行后,每隔15~20年应进行一次全面的安全鉴定;当工程达到折旧年限时,也应进行一次;对存在安全问题的单项工程和易受腐蚀损坏的结构设备,应根据情况适时进行安全鉴定。20世纪90年代以来,制定了一系列标准,包括:SL75—94《水闸技术管理规程》,SL101—94《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》,SL170—96《水闸工程管理设计规范》,SL214—98《水闸安全鉴定规定》,SL226—98《水利水电工程金属结构报废标准》,SL240—1999《水利水电工程闸门及启闭机、升船机设备管理等级评定标准》等。

1998年我国长江中下游和嫩江、松花江流域发生特大洪水后,1999年,水利部委托天津水利水电勘测设计研究院编制了《全国病险水闸除险加固专项规划》,建议在“十五”(2001~2005年)期间,完成包括大江大河、蓄滞洪区、海口挡潮和西部地区等四个方面583座大中型病险水闸除险加固;在2006~2015年期间,完成其余1199座水闸的加固;对于有条件的、地方资金到位的病险水闸,也可提前安排除险加固。因此,国家在近几年已投入大量经费进行病险水闸加固。根据水闸除险加固基本建设程序,要求对这些水闸进行现场检测和评估分析,实施安全鉴定,提出修复加固的方案。现在水利系统有不少单位从事该项工作,但采用的技术、工作的深度、分析的方法等方面都各不相同,提出的评估报告的质量也相差较大。

本书在南京水利科学研究院10多年水闸安全检测与评估分析工程实践的基础上,总结国内外水闸安全检测与评估分析的理论和方法,结合结构无损检测、安全评估理论等国家和部颁标准编写,对水闸安全鉴定的各项工作进行阐述,内容包括:工程现状调查的内容和要求,安全检测的内容与要求,复核计算内容和要求,水闸检测方法,安全评估准则、指标、方法,耐久性评估方法,水闸安全类别评定标准与方法等方面。可为水闸管理单位开展安全鉴定提供参考,对检测单位和工作人员的检测评估工作也有指导作用。

本文参照的标准有:

- (1) SL214—98《水闸安全鉴定规定》;
- (2) SL265—2001《水闸设计规范》;
- (3) SL75—94《水闸技术管理规程》;
- (4) SL170—96《水闸工程管理设计规范》;
- (5) SL101—94《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》;
- (6) SL226—98《水利水电工程金属结构报废标准》;
- (7) SL252—2000《水利水电工程等级划分及洪水标准》;
- (8) DL5077—1997《水工建筑物荷载规范》;
- (9) DL/T5150—2001《水工混凝土试验规程》;
- (10) DL/T5151—2001《水工混凝土砂石骨料试验规程》;
- (11) DL/T1552—2001《水工混凝土水质分析技术规程》;
- (12) JGJ/T23—2003《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》;
- (13) CECS02:88《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》;
- (14) CECS03:88《钻芯法检测混凝土强度技术规程》;
- (15) SL203—97《水工建筑物抗震设计规范》;
- (16) SL/T191—96《水工混凝土结构设计规范》。

1.2 水闸概述

1.2.1 水闸的功能与分类

水闸是一种利用闸门挡水和泄水的低水头水工建筑物,多建于河道、渠系及水库、湖泊岸边。关闭闸门,可以拦洪、挡潮、抬高水位以满足上游引水和通航的需要;开启闸门,可以泄洪、排涝、冲沙或根据下游用水需要调节流量。水闸在水利工程中的应用十分

广泛。

我国修建水闸的历史可追溯到公元前 6 世纪的春秋时代,据《水经注》记载,在位于今安徽寿县城南的芍陂灌区中即设有进水和供水用的 5 个水门。至 1991 年,全国已建成水闸 3 万座,其中,大型水闸 300 余座,促进了我国工农业生产的不断发展,给国民经济带来了很大的效益,并积累了丰富的工程经验。1988 年建成的长江葛洲坝水利枢纽,其中的二江泄洪闸,共 27 孔,闸高 33m,最大泄量达 $83900\text{m}^3/\text{s}$,位居全国之首,运行情况良好。现代的水闸建设,正在向形式多样化、结构轻型化、施工装配化、操作自动化和遥控化方向发展。目前世界上最高和规模最大的荷兰东斯海尔德挡潮闸,共 63 孔,闸高 53m,闸身净长 3000m,连同两端的海堤,全长 4425m,被誉为海上长城。

水闸按其所承担的任务,可分为 6 种,如图 1.1 所示。

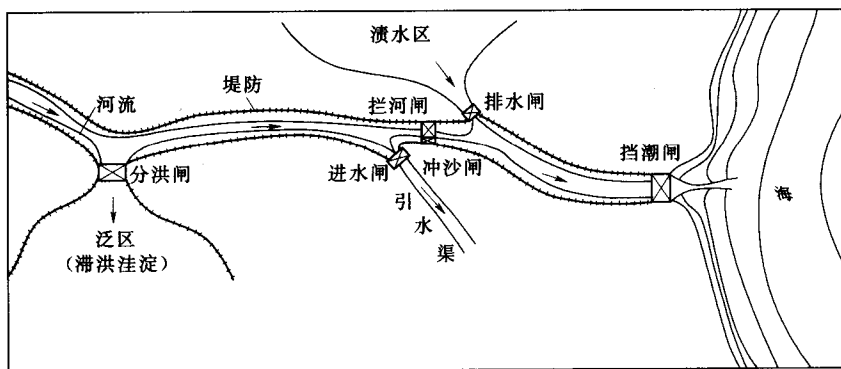


图 1.1 水闸分类示意图

(1) 节制闸。拦河或在渠道上建造,用于拦洪、调节水位以满足上游引水或航运的需要,控制下泄流量,保证下游河道安全或根据下游用水需要调节放水流量。位于河道上的节制闸也称拦河闸。

(2) 进水闸。建在河道、水库或湖泊的岸边,用来控制引水流量,以满足灌溉、发电或供水的需要。进水闸也称取水闸或渠首闸。

(3) 分洪闸。常建于河道的一侧,用来将超过下游河道安全泄量的洪水泄入分洪区(蓄洪区或滞洪区)或分洪道。

(4) 排水闸。常建于江河沿岸,用来排除内河或低洼地区对农作物有害的渍水。当外河水位上涨时,可以关闸,防止外水倒灌。当洼地有蓄水、灌溉要求时,也可关门蓄水或从江河引水,具有双向挡水,有时还有双向过流的特点。

(5) 挡潮闸。建在入海河口附近,涨潮时关闸,防止海水倒灌;退潮时开闸泄水,具有双向挡水的特点。

(6) 冲沙闸(排沙闸)。建在多泥沙河流上,用于排除进水闸、节制闸前或渠系中沉积的泥沙,减少引水水流的含沙量,防止渠道和闸前河道淤积。冲沙闸常建在进水闸一侧的河道上与节制闸并排布置或设在引水渠内的进水闸旁。

此外还有为排除冰块、漂浮物等而设置的排冰闸、排污闸等。

根据闸室结构型式不同,水闸可分为开敞式、胸墙式及涵洞式等,见图 1.2。对有泄洪、过木、排冰或其他漂浮物要求的水闸,如:节制闸、分洪闸大都采用开敞式。胸墙式一般用于上游水位变幅较大、水闸净宽又为低水位过闸流量所控制、在高水位时尚需闸门控制流量的水闸,如:进水闸、排水闸、挡潮闸多用这种形式。涵洞式多用于穿堤取水或排水。

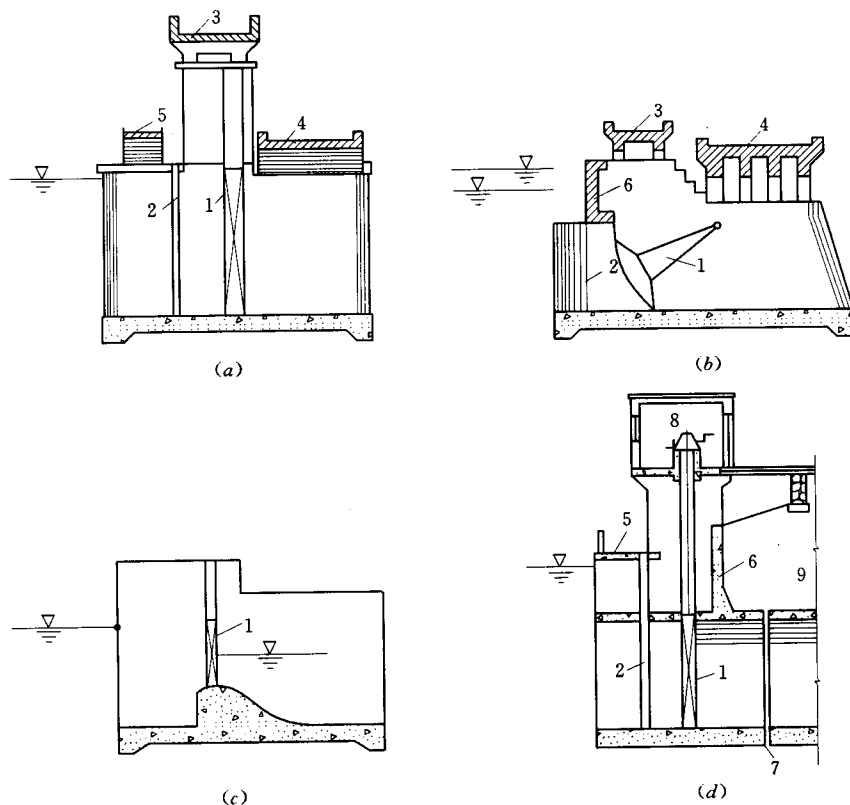


图 1.2 闸室结构型式

(a)、(c) 开敞式; (b) 胸墙式; (d) 涵洞式

1—闸门; 2—检修门槽; 3—工作桥; 4—交通桥; 5—便桥; 6—胸墙; 7—沉降缝; 8—启闭机房; 9—回填土

根据 SL265—2001《水闸设计规范》,可按过闸流量大小,将水闸划分为大、中和小型,如:过闸流量在 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上的为大型水闸; $100\sim 1000\text{m}^3/\text{s}$ 的为中型水闸。也还有按设计水头高低划分水闸类型的。

1.2.2 水闸的组成部分

水闸一般由闸室、上游连接段和下游连接段三部分组成,如图 1.3 所示。

闸室是水闸的主体,包括:闸门、闸墩、边墩(岸墙)、底板、胸墙、工作桥、交通桥、启闭机等。闸门用来挡水和控制过闸流量。闸墩用以分隔闸孔和支承闸门、胸墙、工作桥、交通桥。底板是闸室的基础,用以将闸室上部结构的重量及荷载传至地基,并兼有防渗和防冲的作用。工作桥和交通桥用来安装启闭设备、操作闸门和联系

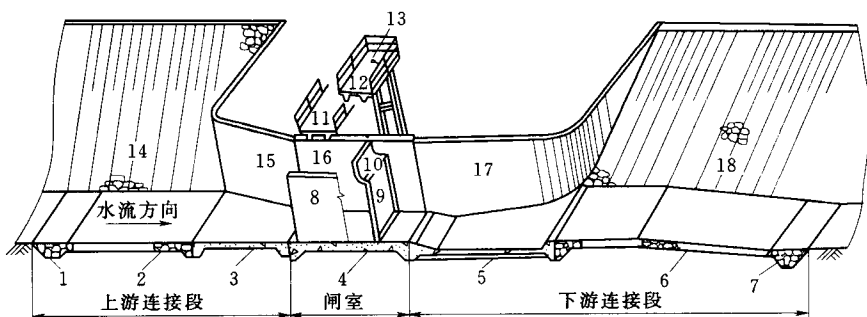


图 1.3 水闸的组成部分

- 1—上游防冲槽；2—上游护底；3—铺盖；4—底板；5—护坦（消力池）；6—海漫；7—下游防冲槽；
8—闸墩；9—闸门；10—胸墙；11—交通桥；12—工作桥；13—启闭机；14—上游护坡；
15—上游翼墙；16—边墩；17—下游翼墙；18—下游护坡

两岸交通。

上游连接段包括：两岸的翼墙和护坡以及河床部分的铺盖，有时为保护河床免受冲刷加做防冲槽和护底。用以引导水流平顺地进入闸室，保护两岸及河床免遭冲刷，并与闸室等共同构成防渗地下轮廓，确保在渗透水流作用下两岸和闸基的抗渗稳定性。

下游连接段包括：护坦、海漫、防冲槽以及两岸的翼墙和护坡等。用以消除过闸水流的剩余能量，引导出闸水流均匀扩散，调整流速分布和减缓流速，防止水流出闸后对下游的冲刷。

1.2.3 水闸的工作特点

大多数水闸是建在土基上，一般具有以下一些工作特点：

(1) 软土地基的压缩性大，承载能力低，细砂容易液化，抗冲能力差。在闸室自重及外荷作用下，地基可能产生较大的沉降或沉降差，造成闸室倾斜，止水破坏，闸底板断裂，甚至发生塑性破坏，引起水闸失事。

(2) 水闸泄流时，尽管流速不高，但水流仍具有一定的剩余能量，而土基的抗冲能力较低，可能引起水闸下游的冲刷。此外，水闸下游常出现的波状水跃和折冲水流，将会进一步加剧对河床和两岸的淘刷。同时，由于闸下游水位变幅大，闸下出流可能形成远驱水跃、临界水跃直至淹没度较大的水跃。因此，消能防冲设施要在各种运用情况时都能满足设计要求。

(3) 土基在渗透水流作用下，容易产生渗透变形，特别是粉、细砂地基，在闸后易出现翻砂冒水，严重时闸基和两岸会被掏空，引起水闸沉降、倾斜、断裂甚至倒塌。

1.3 病险水闸的主要问题

1999 年，水利部组织开展了《全国病险水闸除险加固专项规划》，根据全国 31 个省（市、自治区）、4 个计划单列市、7 个流域机构和新疆生产建设兵团等共 43 个单位的资料统计，共有大型水闸 486 座，中型水闸 3278 座。山东省大中型水闸数量最多，共 584 座。对其中 24 个省（市、自治区）、2 个计划单列市、4 个流域机构和新疆生产建设兵团等 31

个单位的调查共发现大中型病险水闸 1782 座, 其中大型水闸 260 座, 中型水闸 1522 座。经过审核和落实, 列为重点的大型病险水闸有 174 座, 重点中型病险水闸 216 座, 西部地区一般中型病险水闸 193 座, 总计 583 座。表明大中型水闸的病险率相当高。而数量占优的小型水闸, 由于运行环境相对恶劣, 设计标准偏低、安全富裕量较少, 其出现病险的比例将远高于大、中型水闸的病险的比例。根据统计, 病险水闸的主要问题表现为以下 10 个方面:

- (1) 防洪标准低, 不满足现行规范要求的, 占大中型水闸总数的 36.4%。
- (2) 闸室不稳定, 抗滑稳定安全系数不满足要求的占 10.0%。
- (3) 渗流不稳定, 闸基或墩墙后填土产生渗流破坏的占 22.3%。
- (4) 抗震不满足要求或震害后没有彻底修复的占 7.2%。
- (5) 闸室结构混凝土老化及损坏严重的占 76.4%。
- (6) 闸下游消能防冲设施严重损坏的占 42.3%。
- (7) 泥沙淤积问题严重的占 17.9%。
- (8) 闸门及机电设备老化失修或严重损坏的占 76.7%。
- (9) 观测设施缺少或损坏失效的水闸相当普遍。
- (10) 存在其他问题(如枢纽布置不合理, 铺盖、翼墙、护坡损坏, 管理房屋失修, 防汛道路损坏, 缺少备用电源、交通车辆和通信设施等)的占 51%。

值得注意的是, 在上述 10 种病险类型中, 大量水闸发现一种以上的病害同时存在。

1.3.1 防洪标准偏低

我国建成的水闸, 大多数是建国后兴建的。造成防洪标准偏低的主要原因有三个方面: 首先由于当时水文系列较短, 加之水闸在长期的运行中, 建闸后自然环境改变, 如城市防洪工程建设、上游水利工程建设, 上游河道淤积导致河床抬高, 河道过流能力降低; 另一方面, 建在软土地基上的水闸不可避免的会产生沉降, 导致闸顶高程降低; 另外部分水闸受当时技术经济和历史条件的限制, 防洪标准偏低, 在“98.8”长江大洪水后, 长江沿线各种堤防均相应的提高了防洪标准; 2000 年, 《中华人民共和国工程建设标准强制性条文》(水利工程部分) 批准颁布实施, 对水利工程勘测、规划、设计和施工提出了强制性规定。

位于湖北蕲州与八里湖农场交界处的蕲春牛皮垸排水闸原设计标准偏低, 达不到防御 1954 年洪水的标准。又如位于大清河与子牙河汇合处的独流减河进洪闸由于闸室整体沉降, 该闸已不能满足闸上正常蓄水位 4.64m 的蓄水要求。广东汕头市梅溪水闸位于韩江下游出海支流, 原设计分流量为韩江干流总流量的 1/20, 即 $823\text{m}^3/\text{s}$ 。1975 年后由于韩江另一出海支流红莲池河分洪闸封堵, 改变了各出海支流的分流比, 使梅溪水闸的分流量增大到超过 $1000\text{m}^3/\text{s}$, 较原设计加大 21.5% 以上, 造成下游护坦冲刷损坏。广东高要市新兴江上的泥塘嘴水闸, 1951 年设计建造, 当时设计外江水位为现珠江基面的 12.0 m, 根据广东省水电厅 1995 年颁布的防洪(潮)标准, 按该水闸防护对象, 防洪标准应定为 50 年一遇, 相应外江水位为 13.66 m, 相差 1.66 m。

1.3.2 不均匀沉降引起的损坏普遍

地基不均匀沉降一般是由于地基抗力不均匀及荷载分布不均匀引起的。荷载的不均匀

性影响较大,且易为人们忽视。如边墙后填土荷载大于闸室,闸室荷载大于上游铺盖及下游护坦,闸室顺水流方向荷载分布相差悬殊等。荷载大的部位沉降值也大,当沉降差过大时,则会造成闸基及上部结构一系列病害,主要表现为:

(1) 闸室倾斜,导致止水破坏而漏水,闸门启动不灵。

(2) 闸室缝墩张开,上下游护坦接缝错动,导致止水片断裂失效。

(3) 闸室的胸墙、底板、桥梁等由于支座的相对变位(由相邻闸墩沉降差引起)而出现裂缝。

(4) 上下游护坦因闸室和翼墙的沉降影响而开裂。

(5) 边墙在墙后填土重作用下,墙后地基沉降大于墙前,致使边墙后仰等。

如安徽安庆枞阳闸由于岸墙与上下游翼墙联结处未设分缝以及地基的不均匀沉降,造成上游左翼墙和右翼墙以及下游右翼墙各有一条竖向裂缝,裂缝最宽达 13.0mm,最长的有 6.85m。位于江苏省大丰县的斗龙港闸,由于地基不均匀沉降,通航孔发生倾斜,各分缝已有设计的 20mm 从左到右变成目前的 53mm、139mm、42mm、110mm 和 45mm,闸墙与岸墙也有较大错位,8 号孔 T 梁与右端支座的搁置移动达 25mm,严重影响水闸安全运行。位于浙江省苍南县龙港镇的朱家站水闸闸室发生不均匀沉降,导致闸门启闭非常困难。位于江苏省如东县的小洋口闸地基不均匀沉降,在胸墙上形成了贯穿性剪切裂缝。如位于浙江省瑞安市的东山下埠水闸同样发生了不均匀沉降,结构缝被严重拉开,止水已经全部失效。

1.3.3 渗漏导致的破坏严重

建在土基上的水闸,由于渗流控制不当,会引起地基及两岸土的渗透变形(管涌及流土)、塌坡、扬压力增加等,直接影响闸室的稳定。造成这种病害的原因及表现形式主要有以下几种:

(1) 地下轮廓和两岸边墙后的防渗设施不协调,防渗设施向两岸延伸不足造成绕岸渗流水头损失小于闸下渗流水头损失,形成空间渗流。实际渗流情况与设计(一般按平面渗流计算)结果不符,导致渗流坡降及扬压力的变化。

(2) 渗流逸点(排水孔)布置在消力池斜坡急流低压区内,水闸泄水时,该处水流流速大,压力低,如出口反滤层级配不良或厚度过小,有可能导致反滤料被带出和地基土的渗透变形。

(3) 反滤层、排水孔堵塞失效,或地下轮廓线范围内伸缩缝止水不严或开裂失效,防渗设施不可靠,均可导致闸底板扬压力增加,直接危及水闸的稳定安全。

位于益阳市烂泥湖垸内撇洪渠下游的大路坪节制闸属典型的“三边”工程,设计过于追求经济节省,施工过于追求速度,施工质量未达到规范要求。在水闸投入运行后上游铺盖和两岸翼墙裂缝,产生严重渗漏。安全鉴定表明水闸闸基抗渗稳定和抗滑稳定不满足规范要求。同处益阳市烂泥湖垸内的新河节制闸,1993 年冬枯水位时发现闸前钢筋混凝土铺盖有 3 条横向贯穿裂缝穿透铺盖,形状比较规则,最大缝宽达 45 mm,且原有的两条结构缝的止水橡皮也多处破坏,铺盖渗径减短,防渗性能降低。刘家湾涵闸由于建闸时没有做地质勘探,未进行防渗设计,水平防渗长度仅 56.6 m,远远不能满足防渗要求,多次发生管涌。

1.3.4 闸室结构混凝土老化导致的破损严重

闸室结构混凝土老化是指其在所处环境（包括时间和空间）的作用下，混凝土的性能开始下降，并随着时间的增长，性能下降逾甚，最终导致破坏的过程。对水闸混凝土最有危害性的外来作用有：环境水和其所含有溶解物质的化学作用；负温和正温的更迭作用；混凝土交替更迭的湿润和干燥作用；由于毛细管吸水以及矿化水蒸发而引起的盐类在混凝土内部的结晶作用。前一种是化学或化学和物理共同作用，而后三者则是归结为物理作用。正是它们的长期作用造成混凝土的老化破坏。通常混凝土的老化破坏常有如下几类：碳化、开裂、钢筋锈蚀破坏、混凝土渗漏、冻融和磨蚀等。

(1) 混凝土碳化。混凝土是由水泥与砂、石骨料和水混合后硬化，并随时间延长其强度不断增长的包括有固、液、气相的多相体物质。其中容纳液、气两相物质的空间，是由混凝土内部不同直径的孔隙相互贯通、连接而成的孔隙网络。空气中的 CO_2 进入混凝土的孔隙内，与溶于孔隙液的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应生成 CaCO_3 和水。其反应式为



结果使孔隙液的 pH 值由 13.5 下降到 9 以下。这种因 CO_2 进入混凝土而造成混凝土中性化的现象，叫做混凝土的碳化现象。

在碳化的混凝土中，碳酸盐的分散度随 CO_2 浓度的提高而提高。混凝土碳化时，开始形成无定形 CaCO_3 ，然后结晶，在碱性条件下，有生成碱性复合盐的可能性，但最后产物是 CaCO_3 。研究表明，碳化后固相体积与原 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的体积相比，可增加 12%~17%，同时化学反应生成的水向外排出。因此，碳化会使混凝土产生一系列物理上的、化学上的以及力学上的变化，而这必然会导致混凝土一些性能发生变化。

(2) 混凝土开裂。裂缝是水工混凝土建筑物最常见的病害之一。裂缝主要由荷载、温度、干缩、地基变形、钢筋锈蚀、碱骨料反应、地基冻胀、混凝土质量差、水泥水化热温升等原因引起，往往是多种因素联合作用的结果。裂缝对水闸混凝土建筑物的危害程度不一，严重的裂缝不仅会危害建筑物整体性和稳定性，而且还会导致大量漏水，使水闸的安全受到严重威胁。另外，裂缝往往会引发其他病害的发生与发展，如渗漏溶蚀、环境水侵蚀、冻融破坏及钢筋锈蚀等。这些病害与裂缝相互作用，形成恶性循环，会对建筑物耐久性危害极大。裂缝按深度的不同，可分为表层裂缝、深层裂缝和贯穿裂缝；按裂缝开度变化可分为死缝、活缝和增长缝；按成因分，裂缝可分成温度裂缝、干缩裂缝、钢筋锈蚀裂缝、超载裂缝、碱骨料反应裂缝、地基不均匀沉降裂缝等。

(3) 钢筋锈蚀。水工混凝土中钢筋锈蚀的原因主要有两方面：一是由于混凝土在空气中发生碳化而使混凝土内部碱度降低，钢筋钝化膜破坏，从而使钢筋产生电化学腐蚀现象，导致钢筋生锈；二是由于氯离子侵入到混凝土中，也使钢筋的钝化膜破坏，从而形成钢筋的电化学腐蚀。因此，钢筋锈蚀过程实际是大气（ CO_2 、 O_2 ）、水、侵蚀介质（ Cl^- 等）向混凝土内部的渗透、迁移而引起钢筋钝化膜破坏，并产生电化学反应，使铁变成氢氧化铁的过程。钢筋生锈后，其锈蚀产物的体积比原来增长 2~4 倍，从而在其周围的混凝土中产生膨胀应力，最终导致钢筋保护层混凝土开裂、剥落。而保护层的剥落又会进一步加速钢筋锈蚀。这一恶性循环将使混凝土结构的钢筋保护层大量剥落、钢筋截面积减小，从而降低结构的承载能力和稳定性，影响结构物的安全。