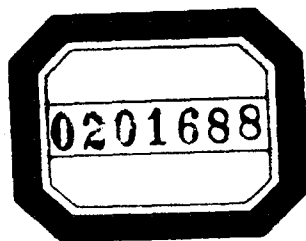
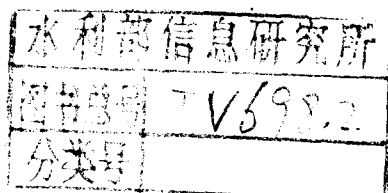


水工混凝土建筑物 老化病害及防治

国家自然科学基金资助项目 论文集
第四届水工混凝土建筑物修补技术交流会

罗建群 罗金好 主编

中国农业科技出版社



水工混凝土建筑物 老化病害及防治



029507 水利部信息所

国家自然科学基金资助项目
第四届水工混凝土建筑物修补技术交流会论文集

罗建群 罗金好 主编

中国农业科技出版社

一九九五年

(京)新登字 061 号

内容简介

本书精选了国内中小型水利水电工程中混凝土建筑物老化病害及防治方面的论文 57 篇。其中 25 篇为国家自然科学基金资助的重点项目“水工混凝土建筑物老化病害的防治与评估研究”之最新成果。全书共分五部分：老化病害调查分析；老化病害危害性评估及检测方法；老化病害的破坏机理；修补材料的研究与应用；老化病害修复技术与工程实例。既有理论分析与试验研究，又介绍了一些最新的修补材料与修补技术，还提供了许多工程修复实例，具有较高的理论水平和工程应用价值。可供高等院校、科技、设计、施工、管理单位及广大水利水电工程技术人员阅读参考。

21166/35

责任编辑	刘国芬 李芸
技术设计	吴悦明
出版发行	中国农业科技出版社 (北京海淀区白石桥路 30 号)
经 销	新华书店北京发行所发行
印 刷	山东农业大学印刷厂
开 本	787×1092 毫米 1/16 印张: 20.25
印 数	1—1000 册 字数: 478 千字
版 次	1995 年 9 月第一版 1995 年 9 月第一次印刷
定 价	25.00 元

ISBN 7-80026-998-1/TU·2

第四届水工混凝土建筑物修补技术交流会

1995 年 10 月 10 日~14 日 河北省秦皇岛市

中国水利学会水工结构专业委员会
混凝土建筑物病害修补和处理情报网 主办
中国水利水电科学研究院结构材料研究所

学术委员会

主任: 于晓中

委员: (以姓氏笔划为序)

于晓中	孙凤阁	江仪贞	李金玉	何绍苏
邵瑛瑛	林宝玉	罗建群	周群力	譙常忻

序 言

第二次世界大战以后，建造了大量混凝土建筑物，至今它们已运行了近 50 年。经历了 50 年的风风雨雨，它们已逐渐老化，各种型式的破坏层出不穷。为此，1985 年~1987 年曾召开了数次国际混凝土建筑物老化和病害修补会议，研究对策，讨论修补方法。在国外，混凝土建筑物的修补工作已逐渐成为一大行业。鉴于上述情况和国内运行中的水工混凝土建筑物也存在各种问题，1987 年 10 月，中国水利学会水工结构专业委员会和中国水力发电学会水工及水电站建筑物专业委员会在京召开了水工混凝土建筑物病害修补和处理座谈会。与会代表一致认为水工混凝土建筑物老化和病害已是当前生产中非常重要和紧迫的问题。因此，1987 年 11 月经水电部科技情报研究所批准成立了混凝土建筑物病害修补和处理情报网。8 年来情报网出版了 5 期网刊和 20 期通讯，报导了混凝土建筑物老化病害调查、评估方法、修补材料、修补技术等方面的大量信息。情报网协同其他单位召开了三次水工混凝土建筑物修补技术交流会。第一届水工混凝土建筑物修补技术交流会于 1988 年 10 月 25 日至 29 日在青岛市召开。会议收到 80 篇论文，网讯报导了论文的详细提要。在水利部水利管理司的支持下，于 1991 年 4 月 5 日至 8 日在河南省三门峡市召开了第二届会议。会议出版了论文集，收入论文 46 篇。第三届会议是在能源部电力司的支持下，于 1992 年 6 月 5 日至 8 日在吉林市丰满发电厂召开的。会议也出版了论文集，共收入论文 41 篇。

本届会议的主要议题是中小型水利水电工程中的水工混凝土建筑物老化病害的修补技术，如坝、水闸、溢洪道、泄水洞以及涵管、渡槽、倒虹吸、隧洞等灌区建筑物。内容包括老化病害的区别和定义，产生原因的分析方法，危害性评估方法；老化病害调研报告；检测技术；修补材料和工艺；工程修补准则及工程修补经验和教训等。本届会议的论文集包括 57 篇论文。1991 年国家自然科学基金委员会设立了重点项目“水工混凝土建筑物老化病害的防治和评估”的研究。论文集包括了该项目的 25 篇论文。本届会议论文集得以公开出版，是因为得到了国家自然科学基金委员会的资助。我对此深表感谢。

作为情报网负责人我感到欣慰的是，8 年来情报网得到了各位同行的支持。借此机会向他们致以衷心的感谢。

混凝土建筑物的老化是自然规律，是必然要发生的；而病害则不是必然要出现的。病害主要是人们的错误造成的，或者是由于人们还没有认识客观规律引起的。对于运行着的混凝土建筑物，加强维护可延缓它的老化速度；而对其病害则应及时修补或处理。因此我们这一领域的主要任务应当是加深对老化和破坏机理的认识，研究维护和修补的技术。预祝我国同行今后在这两方面取得更多的成果。

于 骁 中

1995.5.3

序 言

建国以来,我国兴建了大、中、小型水库和水电站 86000 多座,总库容约 $450 \times 10^8 \text{m}^3$,对国民经济的发展起了重要的作用。随着使用年限的增长,水工混凝土建筑物的老化病害问题日益突出。1985 年、1987 年、1990 年水电部组织了对水库及灌区建筑物老化病害问题的调查,发现水工混凝土建筑物的裂缝、渗漏溶蚀、冻融破坏、磨损和空蚀破坏、碳化引起的钢筋锈蚀、环境水浸蚀等老化病害不仅普遍存在,而且有的已相当严重。每年都需要大量资金进行加固和修补。老化及病害的评估与防治是一个复杂体系,它涉及很多学科领域,如水利、材料、环境、管理等,有必要进行系统分析研究,建立具有较大覆盖率和先进水平的老化评估和防治体系。

为此,国家自然科学基金委员会在“八五”期间设立了重点项目“水工混凝土建筑物老化病害的防治与评估的研究”,该项目主要研究中小型水利水电工程中的水闸、溢洪道和灌区建筑物的老化病害的防治和评估技术。通过专家申请,同行专家评议,学科评审组会议讨论投票,按照择优资助的原则,选定中国水利水电科学研究院于晓中教授级高级工程师为项目负责人,武汉水利电力大学江仪贞教授、中国水利水电科学研究院李金玉高级工程师和于晓中高级工程师分别担任三个课题的负责人。参加单位有:中国水利水电科学研究院、武汉水利电力大学、山东工业大学、合肥工业大学、北京市水利科学研究所、安徽省水利厅、淮河水利委员会及淮委水科所。国家自然科学基金委员会资助 70 万元,水利部科教司、农水司各资助 10 万元,合计 90 万元。项目的执行期限为:1992 年 1 月~1995 年 12 月。

该项目下设三个课题,十个子题。其主要研究内容如下:

(1) 水工混凝土建筑物老化病害评估准则的研究:水闸、溢洪道和灌区建筑物(包括水闸、渡槽、隧道、涵管和倒虹吸)的老化病害评估准则。

(2) 混凝土防护理论及防护技术研究:混凝土表面物理化学作用破坏机理;表面涂层与混凝土基底联合作用的破坏机理;有机材料防护技术;水泥基复合材料防护技术。

(3) 水工混凝土病害修补技术研究:国内外水工混凝土老化病害及修补调查;混凝土建筑物病害修补准则;水工混凝土建筑物修补技术应用指南;水工混凝土建筑物裂缝修补技术。

在项目学术领导小组的领导下,严格执行动态管理,奖优罚劣的原则,通过课题组全体成员的艰苦努力,已经取得了一批重要成果,除了已经公开发表的论文外,这次在本论文集集中发表 25 篇,占本论文集的 43.9%。另外该项目还打算出版几本专著,直接指导工程技术人员应用。它将产生明显的经济效益和社会效益。

国家自然科学基金委员会
材料与工程科学部水利学科

陈 式 慧

1995.5.4

目 录

第一篇 老化病害现状调查与分析

水闸老化病害及修补技术现状*	曹建国 李金玉 徐文雨 林 莉	(1)
灌区混凝土建筑物老化病害及修补技术现状*	罗建群 孙纪正 武甲庆	(8)
北京城区水工闸涵钢筋混凝土病害及对策	季诗政	(16)
将军山渡槽裂缝观测与分析	马奕旺	(23)
三铰拱渡槽破坏原因分析与修补措施	黄胜伟 徐学东 李广义	(30)
钢筋混凝土闸门老损破坏调查及对策	张锁厚	(34)
菏泽地区水闸工程混凝土老化病害及防治调查	陈世敬 陈金瑞	(37)
潘家口混凝土坝 41 [#] 坝段水平裂缝的分析及处理	耿存淑	(40)

第二篇 老化病害危害性评估及检测方法

建筑物老化病害综合评估中变权法的理论探讨*	彭祖赠 雷声隆	(47)
混凝土结构耐久性的模糊概率分析*	吴成清 乔润德	(55)
水工混凝土建筑物耐久性评估指标研究*	徐云修 刘柏青 张劲松	(61)
水闸老化病害评估的一种指标系统*	张志俊	(66)
水闸和溢洪道可靠性评估方法*	乔润德	(70)
混凝土管涵工程老化病害评估方法探讨*	周素真 张劲松 徐云修	(79)
既有钢筋混凝土渡槽槽身安全性评价方法的研究*	尚 伟 江仪贞	(85)
混凝土碳化对水闸耐久性影响评估分级研究*	刘柏青 徐云修 周素真	(92)
大坝混凝土老化的损伤模型*	李庆斌	(98)
混凝土表面的透气特性*	孟振全 吴振琰 陆 苏 周子昌	(102)
QC—100 透气仪的研制*	孟振全 吴振琰 陆 苏 周子昌	(106)
廊道内混凝土管裂缝修复后的现场观测与分析*		
.....	张慧娟 罗建群 赵治广 王滋军 雷淑忠	(110)
黑虎山水库放水洞混凝土裂缝的检测与分析		
.....	曹光炬 王升文 王汝照 宋春法	(117)
钢筋混凝土放水洞病害检测与修补	戴凤涛 亓振平 张旭东	(122)
某新建建筑群施工质量问题的分析与研究	刘丽艳	(126)

第三篇 老化病害的破坏机理

混凝土冻融破坏机理的研究*		
.....	李金玉 徐文雨 曹建国 林 莉 关遇时	(130)
混凝土渗漏溶蚀破坏机理的研究*		
.....	李金玉 徐文雨 曹建国 林 莉 关遇时	(137)
聚合物涂层与混凝土联合作用的破坏机理		
——涂层与混凝土相互作用机理研究*	买淑芳 梅 梅 陈贻研	(146)
混凝土防护修补构件温变适应性试验研究*	许冠绍 张武功	(153)
修补体和结合界面的温度应力分析*	张武功 郭桂兰 于晓中	(158)

充填法修补混凝土裂缝的试验研究 *	赵治广 荣济平 罗建群(163)
混凝土抗折试件粘钢补强的试验研究 *	
.....	罗建群 汤红卫 孙纪正 赵治广 荣济平(171)

第四篇 修补材料的研究与应用

修补加固材料 NSF 砂浆的研究与应用	林宝玉 单国良 蔡跃波(181)
低聚灰比复合改性水泥混凝土的研究及应用	谭日升(187)
J-1 和 CPM 防渗补强材料的应用	童凤昭(192)
水工建筑物有机防护层的应用及改进 *	傅元茂 张雅媛(194)
SH 防渗堵漏材料在水工建筑物上的应用	戴雷霓(201)
抗磨蚀混凝土及其在三屯河水库泄水洞的应用	
.....	廖碧娥 白福来 刘永生 徐进森(203)
水乳型环氧水泥砂浆的研制与应用	李令明 吴雪雄 王继红(208)
PT 型防渗胶泥的应用及耐久性调查	吕瑞堂(214)
U 型嵌缝止水技术在延庆县南干渠渡槽的应用	施民栋(219)
土工膜在混凝土坝防渗处理中的应用	肖田元 邢京平(223)

第五篇 老化病害修复技术与工程实例

水工混凝土建筑物裂缝修补技术 *	黄国兴 陈改新(229)
水工混凝土建筑物渗漏处理技术 *	陈改新 黄国兴(234)
玻璃钢补强加固方法研究 *	罗建群 张慧娟(241)
水工混凝土表面防护处理技术的研究 *	
.....	周子昌 吴振琰 陆 苏 孟振全(247)
桩基冻拔及补救措施	王希尧 杨万志 马艳霞(252)
潘家口水库十五坝段基础问题分析及处理措施	赵文亭(257)
潘家口水库大坝贯穿性裂缝处理技术	张云岐(262)
纪村混凝土坝基防渗加固及堵排效应分析	邢林生(267)
参窝水库主要加固措施与效果	袁世茂 高玉桓(273)
渔子溪二级电站导流排沙洞冲蚀及修补	李其才(278)
海子水库溢洪道及阻滑板混凝土的修补	周子昌 赵希敬(284)
桃园水库放水洞补强加固	李安孝 杨茂勤 于 春(288)
王圈水库钢筋混凝土放水洞破损及修补	潘孝忠 吕志仁(294)
龚咀水电站溢洪道消力塘区冲刷磨损与修补	刘书珍(298)
潘家口水库水电厂常规机组尾水管损坏及处理	赵文亭(304)
南京第二热电厂污水泵站沉井漏水的处理	邓义隆 朱菊妹(309)
混凝土粘钢加固技术的应用	王珍兰 黄根民(313)

水闸老化病害及修补技术现状*

曹建国 李金玉 徐文雨 林 莉

(中国水利水电科学研究院结构材料所 北京 100038)

摘要 介绍了我国水闸的老化病害及修补技术的现状。对全国 206 座水闸混凝土建筑物的老化病害及修补技术进行了调查,结果表明,我国水闸混凝土建筑物的老化病害日益严重。水闸混凝土结构的裂缝、基础渗流破坏、混凝土表面剥蚀破坏等,已不同程度地危害着水闸的安全运行。水闸的加固修补技术到目前已具有一定的水平,有些修补技术应用较为成功,而有些还需要进一步研究与完善。

关键词 混凝土;水闸;老化;病害;修补;加固

建国以来,我国修建的水闸约有 26000 座,其中大中型的约 300 座。这些水闸在水利灌溉、航运、排洪和挡潮等方面,发挥了重要的作用,为我国的经济建设和抵御自然灾害作出了贡献。然而,随着时间的推移,许多工程已不同程度地出现了老化病害,有的已影响到工程的安全运行。水闸老化病害的修补在我国也早就开始,有些修补技术较为成功,而有些工程却屡修屡坏。因此,系统地总结我国水闸混凝土建筑物老化病害及修补技术的现状,可为有关主管部门提供可靠的决策依据,对提高工程管理水平,进一步开展建筑物老化病害的防治研究,提高加固设计和施工的水平,都是有益的。

本文对全国 206 座水闸的老化病害情况进行了调查分析,对加固修补技术作了总结。老化病害分类统计结果见表 1、2。由调查结果可以看出,我国水闸混凝土建筑物的老化病害问题较为普遍,应引起有关部门的重视。相应的修补加固技术在多年的实践中积累了不少经验与教训,近年来又出现了一些新技术新材料,在水闸加固中得到初步应用并取得了较好效果。

表 1 206 座水闸老化病害分类统计

老化病害水闸	裂 缝				基础渗流破坏
	温度缝	沉陷缝	冻胀缝	其它缝	
水闸数量(座)	8	9	6	72	8
占调查总数(%)	3.9	4.4	2.9	35.0	3.9
	46.2				

表 2 206 座水闸老化病害分类统计

老化病害水闸	表 面 剥 蚀			
	冻融剥蚀	碳化及钢筋锈蚀	冲刷磨损	环境水侵蚀
水闸数量(座)	56	117	44	3
占调查总数(%)	27.2	56.8	21.4	1.4

1 裂缝

水闸混凝土建筑物的裂缝是最常见的一种病害。按裂缝形成的原因可分为温度裂缝、

* 国家自然科学基金资助项目。

沉陷裂缝、冻胀裂缝和其它原因引起的裂缝等四类。

1.1 温度荷载引起的裂缝

发生温度裂缝的水闸占调查水闸总数的 3.9%。温度裂缝多发生在水闸闸墩、底板、胸墙和翼墙等体积较大、较厚的部位。

典型工程实例:

(1) 北京芦沟桥分洪枢纽工程中的永定河拦河闸和小清河分洪闸。在施工浇筑期间,两个闸的 31 个闸墩中,有 30 个出现了竖向裂缝,虽然当时采取了降温措施,但闸墩中心温度仍高达 52℃,比浇筑期间的日平均气温高 25℃左右。裂缝大部分是贯穿性的,缝宽在 0.2~0.7mm 之间,并随气温变化而变化。

(2) 湖北荆江分洪北闸,该闸建于 1952 年,共 54 孔,每孔净宽 19.5m。60 年代后,由于闸前修建了拦淤堤,闸前无水,其阻滑板、闸室底板,护坦及消力池等完全暴露在大气中。闸区混凝土表面年温差高达 50℃,混凝土受气温的反复作用,再加上原混凝土施工质量差、设计配筋少等原因,使 54 孔闸底板均出现了裂缝,其中阻滑板裂缝最为严重,贯穿性裂缝使 $\phi 12\text{mm}$ 的主筋锈蚀 2~3mm, $\phi 6\text{mm}$ 钢筋已基本锈断。

水闸混凝土结构产生温度裂缝的原因很多,而在我国的水闸设计规范中没有考虑温度荷载,因此产生温度应力裂缝是在所难免的。为防止或减少新建水闸出现混凝土因温度荷载而产生裂缝的问题,建议从设计、施工和管理等方面尽快制定相应的要求。

1.2 基础不均匀沉陷引起的裂缝

水闸大都建筑在土基上,因基础不均匀沉陷引起的混凝土结构开裂与位移问题也时有发生。基础土质不均匀或土质较松散压缩性大,闸前淤积荷载的作用以及水闸上部结构载荷超过原设计水平等因素,均可导致基础的不均匀沉陷。

工程实例:

(1) 山东四女寺水利枢纽南进洪闸是 1958 年建成的。其基础为河床冲积层,由粘土、亚粘土、亚砂土及细砂组成,土质分布不均并且较松散。水闸共有 12 孔,每孔净宽 10m。闸底板为整体式,每三孔为一联孔,底板厚 2m。闸室上游与钢筋混凝土铺盖连接。该闸从 1966 年发现闸室底板和铺盖出现少量裂缝,而至 1994 年检查时,闸室底板每孔都有裂缝,共 22 条总长 100 多米,缝宽不大于 1mm。裂缝主要发生在联孔的中孔底板。整个铺盖裂缝共有 37 条,总长 375m。裂缝间高低错位最大达 4~5cm。

(2) 位于汉江下游的杜家台分洪闸,基础为汉江冲击层,由粘土、砂质粘土和细砂组成。土质较松散压缩性较大。该闸共有 30 孔,每孔净宽 12m。建闸蓄水后,上游闸前淤积达 3~5m 深。由于设计时没有考虑这种荷载,闸室发生较大的沉降。使同一闸室的左右闸墩沉陷不均匀。墩头和墩尾的沉陷也不均匀,墩头大于墩尾,最大沉陷的差值为 7.5cm。所有闸墩上的公路桥上游侧,都有一条竖向贯穿性裂缝,最大缝宽 1.25mm,有的已裂到底板。

基础不均匀沉陷使混凝土结构产生裂缝的水闸,占调查总数的 4.4%。

1.3 冻胀裂缝

我国北方寒冷地区的水闸,由于基础土冻胀融沉作用,使水闸底板、边墙或挡土墙、消力池等部位的混凝土结构,产生裂缝和位移的破坏现象较为常见。

工程实例:

(1) 河北省白沟引河闸, 建于 1970 年。该闸共有 5 孔, 每孔 8m。由于基础土壤遭受多年冻胀融沉循环作用, 水闸上游阻滑板、防渗板混凝土产生裂缝, 缝宽 2~11mm。混凝土板普遍抬高, 最大抬高量 141mm, 残余位移达 44mm, 基础土已松散, 形成渗漏通道。该闸已进行了加固处理。

(2) 内蒙古河套地区永济灌区的新华一闸, 混凝土底板厚 60cm, 基础为砂壤土, 受基础土壤土冻胀作用, 底板每 12m² 就有一条裂缝。并且这些裂缝逐年加长加宽, 部分裂缝宽度达 3cm 左右。

在冻胀土的作用下, 水闸建筑物产生裂缝的工程, 占调查总数的 2.4%。

1.4 其它裂缝

其它裂缝包括: 在施工期产生的冷缝, 浇筑质量控制不严格或养护不善引起的表面龟裂, 结构几何不连续点或集中载荷引起的裂缝以及地震引起的裂缝等。在这些裂缝中的前几种, 如果结构设计中配筋是合适的, 则在运行中这些裂缝不会引起对结构产生危害。而地震引起的裂缝, 对水闸结构的破坏是比较严重的。河北省唐山地区一些水闸, 由于 1976 年的唐山大地震, 使结构产生了许多危害性裂缝。如河北涧河防潮闸, 各孔胸墙均出现裂缝, 缝宽 5mm 左右。丰南县西排干防潮闸, 地震使上游护坦、下游消力池、海漫及两岸护坡产生严重裂缝, 而胸墙裂缝缝宽达 3cm。这些水闸在震后都作了加固处理。属其它类型裂缝的水闸, 占调查总数 35%。

1.5 裂缝的修补技术和效果

水闸混凝土建筑物裂缝的修补处理技术, 基本采用的是封堵、内灌和适当加固的方法。封堵是在裂缝表面涂抹或涂贴补强材料, 防止裂缝的继续发展和防渗, 内灌是指对结构内的裂缝采取灌浆方法。用封堵和灌浆还不足以解决问题时, 则采用综合加固的方法, 以达到恢复结构的整体性和稳定性。

(1) 抹水泥砂浆 此方法工艺简单, 材料易得, 但新老混凝土结合面易脱开。而用膨胀型水泥砂浆、高标号预缩砂浆的效果较好。采用抹水泥砂浆处理混凝土裂缝表面的方法, 应用比较普遍, 技术难度不大, 有一定修补效果。

(2) 抹(灌)环氧树脂和环氧树脂砂浆 在裂缝的修补中采用环氧树脂材料的工程很多。该材料具有粘接强度高, 固化后耐水性好等特点, 但施工时对混凝土表面的处理要求高, 在低温、潮湿情况下粘接强度低、造价也较高。调查中发现环氧树脂材料在大气中会逐渐变脆甚至脱落, 一般使用年限 5~7 年。但在水下使用的时间可达十年以上, 其效果仍好。

另外, 聚胺酯材料也用于裂缝的修补, 该材料具有较好的弹性变形性能, 对裂缝开合有较好的适应能力。但此种材料在大气中抗老化能力较差, 使用年限一般为 3~5 年。从 70 年代末开始, 水溶性聚胺酯材料作为深层裂缝的灌浆材料, 已在工程中得到了应用, 防水堵漏效果比较显著。

(3) 锚固法及综合法 锚固法和综合法多用于裂缝危害较大的部位。如杜家台分洪闸的闸墩裂缝加固、河南陆浑水库溢洪道闸墩裂缝的加固, 都曾采用预应力锚固技术, 取得了良好的加固效果。

水闸底板的裂缝较多或危害性比较大时, 则采取大面积综合加固措施, 其方法是将底板表面部分混凝土凿除, 对裂缝进行相应的处理后, 再浇筑一层新混凝土, 在新老混凝土

结合面涂刷(铺)一层粘接剂或水泥砂浆并用钢筋锚杆联结新老混凝土,以此提高新老混凝土的粘结强度和底板的整体稳定性。如荆江分洪北闸闸底板,独流减河闸阻滑板,都采用此综合锚固方法进行底板裂缝处理与加固,取得良好的效果。

2 水闸的渗流破坏

对在软基上的水闸,由于渗流的作用会导致建筑物产生不均匀沉陷和倾斜,结构发生裂缝,严重时还引起水闸的跨塌事故。所以闸基础渗流引起的破坏是一种比较危险的病害,在调查的 206 座水闸中由于渗流引起破坏的水闸有 8 座,占总数的 3.9%。

2.1 工程实例

(1) 河北省白官屯节制闸,建于 1978 年。该闸共有 9 个闸孔、五个中孔、两边各两个边孔,闸体为钢筋混凝土结构。由于地基在施工时被扰动,回填土又未做认真质量控制,运行中也未能发现管涌现象。在 1986 年 6 月 5 日的蓄水运行中出现突然跨闸事故,左 4 孔由于地基大量流土,闸室及下游结构全部损毁。

(2) 淮河支流的蒙城节制闸,该闸建在近代河漫沉积层上,土质分布不均匀,左侧较坚实,右侧松软。水闸共 10 孔,每孔净宽 12m,在 1958 年 7 月该闸建成开始挡水期间,当上游水位到达设计水位仅两天时,水闸突然倒塌。

水闸的基础渗流破坏多发生在细砂、轻质壤土、轻砂土及松软土壤的基础中。设计上采取的结构措施不当,防渗结构施工质量差,是水闸基础渗流破坏的主要原因。在北方寒冷地区水闸基础受冻胀融沉作用,使闸底板逐年上抬,基土逐年松散而出现渗流管涌现象。所以,冻胀土的作用也是渗流破坏原因之一。

2.2 水闸渗漏的修补技术

水闸发生渗流破坏采取加固的主要措施是对基础进行灌浆,以此改善基础的密实度和阻断渗漏通道。灌浆材料主要有水泥浆、水泥粘土混合浆、粘土浆以及一些化学材料。水工建筑物基础的加固大多采用灌浆方法,技术上也比较成熟。

辽宁省浑河冲砂闸,该闸在运行 30 年后发现闸底板 6m 以内的基础有管涌现象。为此,该闸进行了基础灌浆处理。闸室底板前部采用了高压旋喷技术建筑一防渗帷幕,在下游护坦处构筑旋喷桩。基础加固处理后,在高水头运行时检查底板及护坦,管涌现象消失,达到预期的加固要求。

河北白沟引河闸,由于基土冻胀融沉作用,闸底板部分与基土脱空并产生裂缝,该闸在进行加固时,对底板裂缝进行了相应处理后,对基础进行了灌浆加固,使基础土达到一定的密实度,并且还对基础采取了保温措施,防止基础的冻胀破坏。

3 混凝土表面剥蚀

常见的几种表面剥蚀及其破坏情况的调查统计见表 2。

3.1 混凝土的冻融剥蚀

混凝土的冻融剥蚀破坏由表及里,剥蚀深度可达 2~10cm 以上,严重时局部裸露出钢筋。水闸冻融破坏的部位多在闸墩,导流墙等水位变化区及有干湿循环环境的底板、护坦和消力池等部位。在我国长江以北及西南高山地区,气温低于零度的水域均存在混凝土冻融剥蚀的破坏,而东北、西北和华北地区尤为严重。

在调查的 206 座水闸中有 56 座发生混凝土冻融剥蚀, 占调查总数的 27%。

例如: 黑龙江省汤旺河首进水闸的闸墩, 边墙等在水位变化区部位的混凝土, 冻融破坏的深度在 20cm 以上, 胸墙已剥蚀穿透, 钢筋裸露, 水闸已不能正常使用。江苏省沛县的华山闸, 闸墩的冻融深度也在 10cm 以上, 两侧冻融深度之和已超过闸墩设计厚度的 $1/3$ 。

3.2 混凝土的冲磨与空蚀

冲磨及空蚀破坏是水闸泄水部位常见的病害。闸室底板、下游护坦、消力池及岸坡和海漫等结构是冲刷磨损破坏的主要部位。当水流中挟带有大量的悬移质和推移质时, 混凝土的冲刷磨损剥蚀尤为严重。

如江苏省的嶂山闸、万福闸、泗阳闸和三河闸等, 水流中带有较多的泥砂, 因而造成消能设施的混凝土磨损破坏。泗阳闸消力池中最深冲蚀坑有 30cm。吉林省的付家拦河闸由于设计消能工不合理, 1974 年运行以来, 多次将消力池底板及海漫冲坏, 冲坑平均深度 1.5~1.0m, 并使陡槽段混凝土大面积剥落, 最大剥蚀深度达 27cm。

四川映秀湾闸、石棉闸、玉溪闸、新疆客群引水枢纽泄洪闸等, 大多位于多泥砂或多推移质的河流上, 底板冲刷磨损破坏十分严重。玉溪闸闸墩、底板等部位最大磨损深度在 70cm 以上, 局部钢筋被拉断。

水闸下泄水流消能不足, 下游余能较大, 下游佛数低等易产生水流冲刷及回流淘刷, 水跃不完全或水跃长度超过消力池, 水流挟带大量推移质、悬移质均可造成混凝土的冲刷破坏。有冲刷磨损破坏的水闸, 占调查总数的 21.4%。

3.3 钢筋锈蚀

钢筋的锈蚀破坏主要发生在钢筋混凝土结构中。水闸的上部结构, 如公路桥、工作桥、排架、交通桥等建筑物发生钢筋锈蚀破坏比较普遍。混凝土的碳化和氯离子侵蚀导致钢筋锈蚀, 钢筋锈蚀会使混凝土保护层表面产生裂缝、疏松与剥落, 甚至钢筋断裂。从而降低了结构的承载能力。

在调查的 206 座水闸中有 117 座有钢筋锈蚀的破坏, 占调查总数的 56.8%。

钢筋锈蚀破坏实例:

(1) 江苏省蔺家坝闸的工作桥墩及工作桥大梁, 运行 29 年后, 混凝土的碳化深度最深处达 103mm, 一般为 56mm, 混凝土表面产生顺筋裂缝、疏松并且局部剥落, 钢筋锈蚀严重, 主筋锈蚀率达 75%。工作桥已不能正常运行。

(2) 湖北杜家台分洪闸工作桥及排架混凝土的碳化深度已超过钢筋保护层, 钢筋严重锈蚀。混凝土表面出现裂缝和剥落。该闸 1991 年全面加固时已将工作桥全部拆除重建。

(3) 据江苏省对 61 座挡潮闸统计, 遭受氯离子侵蚀的水闸约占 60%; 受氯离子和二氧化碳侵蚀的约占 40%。三里挡潮闸距海口 10km, 该闸公路桥大梁钢筋严重锈蚀, 经对大梁混凝土化验检定, 氯离子含量为砂浆重量的 0.6%。

3.4 环境水侵蚀

水闸遭受含硫酸根离子的地下水侵蚀破坏已有报道。如新疆博湖引水工程的达吾提分水闸, 该闸址地下水硫酸根离子含量很高, 混凝土水下部位已遭到侵蚀破坏。

工业污水的侵蚀也可使混凝土表面剥蚀破坏。如秦淮河上的武定门水闸, 由于河水受

到上游硫酸厂和化肥厂排出废水的污染,使水闸的闸墩和边墙受到酸性腐蚀,与水面相接触的部位混凝土表面砂浆已剥落,石子露出。再如,天津屈家店枢纽工程永定新河进洪闸,河水污染后 pH 值仅为 3.5,呈明显酸性,闸墩等与水面接触部位的混凝土出现了侵蚀破坏。

在 206 座水闸中有 3 座水闸存在环境水侵蚀破坏的问题,占总数 1.4%。

3.5 混凝土表面剥蚀的修补技术

(1) 冻融剥蚀面的修补 水闸建筑物混凝土剥蚀修补,一般仍为凿旧补新的施工方法。修补材料采用掺优质引气剂的抗冻混凝土。对于剥蚀深度小于 10mm 的修补面,还可采用喷混凝土技术。冻融剥蚀面的修补技术,在水闸工程修补中已具有一定水平,如万福闸、嶂山闸、汤旺河灌区首进水闸的修补效果都比较好。

(2) 冲刷磨损面的修补 水工混凝土冲刷磨损与修复工作频率比较高,因此,抗冲耐磨措施及材料的研究发展也比较快。水闸建筑物混凝土表面冲刷磨损破坏的修补材料主要有,高强水泥预缩砂浆、铸石砂浆和铸石混凝土、硅粉高强砂浆和硅粉混凝土,这些材料在工程应用中比较普遍,技术上比较成熟。

对于悬质含量较多,并且含有较多推移质水流的地区,混凝土冲磨破坏的修复,可采用以硬质高强耐磨的铁矿石为骨料,掺用硅粉和优质减水剂,强度在 60~100MPa 的铁矿石、硅粉混凝土和砂浆材料。有时还在高强砂浆或混凝土中掺钢纤维,以提高材料的抗冲击性。以上材料具有整体抗磨性、抗冲击性、新老混凝土粘结强度较高和耐久性好等特点。其施工方法基本与常规混凝土相同。在一些工程中已得到应用,抗冲耐磨效果较显著。

有机和复合材料适用于抗冲磨要求比较高的局部表面的修补。如普通环氧砂浆、潮湿或水下环氧砂浆以及丙乳砂浆等。在水闸混凝土冲蚀破坏面的修补中应用也比较普遍。上述材料在施工时对粘接面处理要求高,工艺严格。

(3) 钢筋锈蚀面的修补技术 钢筋混凝土结构钢筋锈蚀剥蚀面的修补技术,仍以凿旧补新的施工方法为主。施工工艺基本按常规浇捣、涂抹或喷涂作业。工程应用比较普遍。

修补及防护材料有:①富水泥砂浆或混凝土,这些材料具有水泥用量大,水灰比小,抗碳化能力强的特点,适于修补量较大的碳化防护工程。应用比较普遍;②环氧砂浆、呋喃环氧砂浆等材料,具有粘结强度高,气密和水密性强的特点。环氧玻璃钢及改性环氧玻璃钢还具有防腐性能。这些材料在水闸钢筋混凝土钢筋锈蚀剥蚀面修补应用也比较多,其耐久性一般为 5~7 年;③丙乳砂浆, EVA 砂浆和丁苯砂浆等水泥基复合材料是近几年开发出的新型修补材料,这些材料具有较高的粘结力和变形能力,还有较高的抗渗性和良好的耐久性。因此近年来在工程修补中得到应用,且效果良好;④环氧树脂涂料、聚胺酯涂料(树脂型和乳化型)、氯磺化聚乙烯、氯丁胶乳涂料等材料适用于钢筋混凝土的防护工程,在许多水闸中得到应用。

(4) 水质侵蚀面的修补 目前对地下水硫酸盐侵蚀和酸性侵蚀主要采取的技术措施是建立防侵蚀帷幕,隔离或减少硫酸盐和酸性介质与水闸建筑物的接触。对已被侵蚀破坏的混凝土,根据侵蚀的种类和程度采用抗硫酸盐水泥或抗酸水泥进行修补。还可采用抗侵蚀涂料进行表面防护,如环氧树脂和呋喃改性环氧树脂涂料、聚脂涂料,氯磺化聚乙烯涂料

等。

4 结语

通过对水闸混凝土建筑物老化病害及修补技术现状调查总结可以得出一些带有普遍性的经验教训和建议。

(1) 凡是建筑物符合设计规范, 工程质量较好, 建筑物的耐久性较好, 经济和社会效益也比较高。

(2) 在“大跃进”或“文革”期间, 由于土法上马或违反了客观规律搞的“三边”(边勘测、边设计、边施工)工程, 一般在设计上就存在问题, 施工中采用劣质原材料, 基本不执行或不严格执行质量控制规程, 这些工程耐久性差, 甚至在工程建设中或运行初期就出事故, 危及安全运行。

(3) 在 40 多年水闸管理与维护修补及加固实践中, 创造和积累了许多行之有效的修补技术, 如喷混凝土、预应力锚固技术、有机高分子材料和聚合物砂浆及特殊混凝土材料的应用。它为水闸的正常运行提供了技术保障。

(4) 目前我国水闸混凝土建筑物老化病害的状况严峻, 已进入应大规模修补加固时期, 应引起有关部门的重视。

(5) 应尽快制定有关水工混凝土建筑物修补评估准则及修补技术规程。针对水闸出现的老化病害状态及原因, 对现有水闸设计、施工规范应补充有关混凝土耐久性的要求, 增加或更改以前未考虑或考虑不合适的内容与要求。以提高今后新建水闸的安全运行能力和耐久性。

(6) 有关上级部门应加强水工建筑物耐久性研究的立项工作, 促进修补技术和材料的开发与利用, 加强水工混凝土老化病害机理的研究。

参 考 文 献

- [1] 水闸设计规范 SD-133-84. 北京: 水利水电出版社, 1985 .
- [2] 水闸设计规范 SD-133-84 (试行)编写说明. 北京: 1985 .
- [3] 刘金源. 河北白官屯节制闸的失事原因和修复措施. 水利水电技术, 1989, (2) .
- [4] 水利电力部东北勘测设计院等编. 水工建筑物冻害及其防治. 长春: 吉林学术出版社, 1990 .
- [5] 栗秦玉. 付家拦河闸工程消能防冲运行情况及加固设计. 东北水利水电, 1988, (9) .
- [6] 孙景进, 赵元弟. 用喷射混凝土修补加固冻融破坏水工建筑物. 东北水利水电, 1986, (9) .

灌区混凝土建筑物老化病害 及修补技术现状^{*}

罗建群 孙纪正 武甲庆

(山东工业大学土木工程系 山东济南 250014)

摘要 在对国内灌区水工混凝土建筑物老化病害及修补技术进行广泛调查的基础上,系统地总结了此类工程老化病害的主要破损类型、破坏形态和形成原因,并对目前最常采用的裂缝及渗漏修补技术、表面及断面修补技术和结构补强加固技术的现状、应用范围及效果等作了较为客观的分析与评价。

关键词 混凝土;灌区建筑物;老化病害;修补技术

1 现状调查

混凝土(钢筋混凝土、钢丝网水泥结构、预应力钢筋混凝土等)建筑物,在灌区中多是大型骨干和咽喉工程。如放水洞、溢洪闸、拦河闸、进水闸和各类渡槽(管)、倒虹吸、涵洞、隧洞、闸门及桥梁等,其数量多,分布广,遍及山区、丘陵、平原及滨海地区。由于当时设计、施工和运行管理等方面的原因,目前此类混凝土建筑物老化病害问题日益严重,直接影响工程效益,甚至危及工程安全(罗建群,张慧娟,山东省水工混凝土建筑物老化病害修复技术现状调查,山东工业大学,1993)。

笔者近年来通过实地调查或资料收集掌握了国内200座经修复过的灌区混凝土建筑物老化破损及修复情况。其中包括渡槽(管)50座、放水洞33座、水闸36座、倒虹吸9座、涵洞32座、隧洞18座、闸门8座、桥梁14座。对上述200座建筑物中的破损形式及修补加固方法进行分类统计,结果见表1、2。

表1 200座建筑物破损形式分类统计结果

破损形式	裂 缝	渗 漏	碳化锈蚀	冻 融	气蚀冲磨	构造老化
数量(座)	155	107	74	15	31	32
百分比(%)	77.5	53.5	37.0	7.5	15.5	16.0

^{*} 国家自然科学基金资助项目。

表 2 200 座混凝土建筑物修补及加固方法分类统计结果

修补方法	裂缝及渗漏修补			表面及断面修补				结构补强加固				
	表面密封法	充填法	注浆法	表面局部抹浆	重做保护层	续浇混凝土	喷射混凝土	加大截面	外包内衬钢	外包内衬玻璃钢	改变构造传力途径	预应力加固
数量 (座)	47	35	38	33	27	7	11	21	11	27	40	3
单项百分比(%)	41.5	31.0	33.6	47.1	38.5	10.0	15.7	22.3	11.7	28.7	42.6	3.2
总数(座)	113			70				94				
总数百分比(%)	56.5			35.0				47.0				

2 常见破损形式

2.1 混凝土裂缝及保护层破坏

混凝土裂缝是水工混凝土建筑物中最普遍、最常见的破损形式。其主要原因在于设计不合理、施工质量差或存在施工隐患。另外,温度变化、地基不均匀沉陷、事故灾害等环境影响也易导致裂缝及保护层破坏。仅举数例如下:

(1) 安徽省淠史杭灌区将军山渡槽为钢筋混凝土双曲拱结构,共 16 孔,全长 840m,1971 年建成。由于局部结构设计不合理,工程质量差,运行中先后在不同部位出现各类裂缝 1600 条。据 1990 年检测,槽墩裂缝 169 条,最长达 5m,宽度 2.5mm;主拱圈拱波裂缝 14 条,长达 12m,宽度 4mm;槽壁内侧裂缝 458 条,外侧裂缝 76 条,最大宽度 0.95mm;底板裂缝 85 条,渡槽两侧人行道面裂缝 579 条。目前,裂缝仍有进一步发展的趋势,导致渡槽大量漏水,钢筋锈蚀严重,拱波濒临断裂,危及工程安全(马奕旺,将军山渡槽裂缝观测与分析,安徽淠史杭灌区管理总局,1995)。

(2) 山东嵩山水库放水洞的廊道式钢筋混凝土衬管,全长 149.6m,内径 2.0m,1971 年建成使用。据 1990 年检查,发现衬管内壁环向裂缝 38 条,外壁 39 条,最大缝长 6.28m,最大缝宽 2.11mm,多数裂缝内外贯通,造成渗漏和钢筋锈蚀。^[1]

(3) 薄壳渡槽产生裂缝及保护层破坏尤为严重。据山东莱芜市对 29 座薄壳渡槽的调查,产生裂缝及保护层破坏的占 95%,其中严重破坏的占 50%,槽身裂缝普遍,保护层大面积脱落,筋网裸露,锈蚀严重。^[2]

调查统计表明,产生裂缝及保护层破坏的灌区建筑物占调查总数的 77.5%。

2.2 渗漏

渗漏破坏在管、槽、洞等水工建筑物中最为常见。它不仅造成水量损失,还会诱发管涌、流土、钢筋锈蚀、冻融破坏及混凝土溶蚀等多种病害。造成渗漏的原因常在于工程设计不合理,施工质量欠佳、运行管理不善、遭受意外荷载等引发贯穿性裂缝或在混凝土内部形成连通的蜂窝孔洞。另外,施工缝、伸缩缝处理不当,止水结构失效,亦是引起渗漏的重要原因。例如: