

水工混凝土

缺陷

检测和处理

乔生祥 主 编

黄华平 副主编

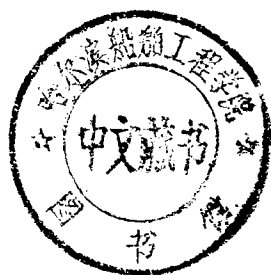


中国水利水电出版社

462796

水工混凝土缺陷 检测和处理

乔生祥 主 编
黄华平 副主编



中国水利水电出版社

DUL39 / 15

图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土缺陷检测和处理/乔生祥主编. —北京: 中国水利水电出版社, 1997. 3

ISBN 7-80124-335-8

I. 水… I. 乔… III. ①混凝土结构-水工建筑物-检测②混凝土结构-水工建筑物-维修 N. TV698. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06208 号

书 作 者	名 者	水工混凝土缺陷检测和处理 乔生祥 主编 黄华平 副主编
出版、发 行 经 售		中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 全国各地新华书店
排 印 规 版 印 定	版 刷 格 次 数 价	北京金剑照排厂 北京市朝阳区小红门印刷厂 850×1168 毫米 32 开本 8.375 印张 216 千字 1997 年 7 月第一版 1997 年 7 月北京第一次印刷 0001—3330 册 18.00 元

序

“千里长堤，溃于蚁穴”。建筑物自身存在的缺陷对它的正常运行和使用寿命影响极大，这是不言而喻的，尤其对于水工混凝土建筑物，由于它长年经受着高压、高速水流的渗透、侵蚀、冲刷、磨损的作用，以及地震、曝晒和冰冻的破坏，所以任何设计与施工中留下的缺陷或隐患，可以逃过监理人员的检查，却绝对逃不过大自然的严峻考验。随着这些缺陷不断发展，从量变走向质变，酿成破坏性的事故后，将给国家、人民带来难以弥补的灾难，历史上这种惨痛教训已不少见，实宜引起高度重视。

对于建筑物的缺陷问题，我们应该有一全面和辩证的认识。首先，必须确认缺陷是影响建筑物安全和寿命的大敌，建设者们必须以极其严肃负责的精神，严格按照科学原则办事，建立完善的质保制度，采用先进的手段，尽一切可能消灭缺陷特别是防止重大缺陷的出现。“百年大计质量第一”应永远成为我们的信条。另一方面，也要理解到在工程建设中有一些规律人们还不能完全掌握，有一些因素也难以完全控制或避免，因此，缺陷也不可能“完全”、“彻底”地避免，尤其对水工混凝土建筑物，由于体积庞大，施工周期长，自然、人为因素极为复杂，要消除一切缺陷更不容易。实际上，世界上没有不存在风险的工程建设，也找不到一座绝对没有出现过缺陷的建筑物。

那么，如何解决上述矛盾呢？我想正确的做法是：对尽了一切合理可行的努力后仍然出现的缺陷必须认真对待、坚决处理。首先是要加强检查，发现一切暴露和隐蔽的缺陷；其次是深入分析、查明原因、制定措施、坚决处理，一方面消除后患，一方面总结经验，防止今后再出现类似缺陷。总之，既不可以缺陷难免论为借口而放松检查处理与改进，也不能在缺陷前手足无措，影响工程进展。实践证明，只要认真对待，缺陷是可以处理的，质量是

可以提高的，经过不断的检查、分析、处理、提高，最后可以达到较完善的程度。实际上，千百年来，人们在修建各类工程的同时，也在不断与建筑物的缺陷做顽强的斗争。这种斗争的经验(包括对缺陷产生的原因研究预防措施、影响分析、检测手段和处理技术)是工程技术中的重要组成部分，反映着人类对工程技术的探索 and 进步，其重要性不亚于建筑物的设计理论和施工技术。

以闻名遐迩的葛洲坝水利枢纽为例，这座称为万里长江第一坝的宏伟工程，是中国人民智慧和能力的结晶。由于主客观的种种因素，尤其它是在“文革”中兴建的，施工初期就出现过那样那样的缺陷，如混凝土开裂、架空、低强、渗漏、过流面不平整、冲蚀磨损、预埋系统失效等等，有的还相当严重。葛洲坝工程能否安全长期运行，一度成为人们担心的问题。我有机会多次去工地调查研究，使我感到有信心的是，建设者们对出现的事故绝不讳疾忌医，而是将一切情况无保留地曝光，然后认真负责地检测、分析、试验和处理。经过艰苦细致的工作，缺陷得到全面整治，使葛洲坝工程恢复健康。投入运行十多年来，经受了百年洪水的考验，巍然屹立在长江之上，发挥着巨大的效益。葛洲坝工程是在“文革”期间建设的，许多做法不符合科学施工原则，但由于建设者们对工程、对国家的极端负责，坚决抵制错误路线，终于闯过惊涛骇浪。它不仅是我国水电建设史上的一座丰碑，其缺陷处理技术更是宝贵的经验。今后的工程建设是在正确路线指引下兴建的，相信要比葛洲坝顺利得多，对防治缺陷应该有更大的信心。

葛洲坝水利水电工程集团公司(原葛洲坝工程局)在修建葛洲坝、丹江口、隔河岩、漫湾、大广坝、黄龙滩等一大批大中型水电工程中，积累了丰富的防治水工混凝土缺陷的经验，摸索出一套行之有效的检测与处理缺陷的方法。集团公司领导组织了一批有理论造诣和实践经验的专家，整理总结了这方面的经验，编成了《水工混凝土缺陷的检测与处理》一书奉献给读者，这可能是我国第一本系统阐述水工混凝土建筑物缺陷防治的专著，我感到这是一次有意义的尝试，相信对我国水利水电建设会起到好的作

用，并可作为水利水电工程技术人员、领导、研究人员和院校师生的良好参考书。我作为编写本书的推动者，乐观其成，并愿作一小序介绍给广大读者。

潘家铮

1995年6月26日

中国工程院

前 言

1824 年制成波特兰水泥以来,混凝土作为一种优良的建筑材料,得到了广泛的应用。在水利水电工程中,采用混凝土建坝也已有一百多年的历史,可以说人类已经积累了丰富的用混凝土筑坝的经验。我国自从新中国成立以来,水利水电事业得到了很大的发展,在采用混凝土筑坝方面,无论是施工速度、施工技术水平、质量控制等都已达到或接近世界先进水平。然而,由于水利水电工程的特殊性(可以说在水工建筑的形式上,到目前为止还没有完全相同的建筑物),因此在设计、施工、运行、管理上也是每个工程都不尽相同。这样给建筑物造成缺陷的机率比工业产品出现残品的机率要大大地增加了,加上在施工实践中,质量管理制度并没有达到十分健全的程度,原材料供应不及时也时有发生,因赶工期而放松质量控制、施工工艺粗糙、自然气候条件突变等等,所有这些都可能给水工混凝土造成这样那样的缺陷,可以说,当今世界上还没有出现过无任何缺陷的水工混凝土建筑物。所以对水工建筑物存在的缺陷进行检查和处理就显得十分重要和必要了。正因为如此,编者根据葛洲坝集团公司广大工程技术人员多年来积累的丰富经验,编印此书,希望对从事这方面工作的同志有一些参考价值,对我国水利水电事业的发展有所裨益。

本书由中国工程院副院长潘家铮提议编著,潘副院长还为本书拟写了章节提纲并作序。参加本书编写和修改工作的除主编乔生祥副主编黄华平外,还有葛洲坝集团公司的王存信、王美烈、刘建国、孙瑞兴、汪世屏、郑少明、周厚贵、侯全光、傅万绪、傅华、彭明鑫、楼小武及长江水利委员会的黄国强等。统稿工作由汪世屏、郑少明、侯全光、秦俊文、楼小武担任,审稿工作由孙瑞兴负责。长江水利委员会的林少漩、许春云、黄国强和葛洲坝

集团公司的周世明、王忠烈参加了本书的初审工作，在此忱致谢意。

编著者

1996.11

目 录

序

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水工混凝土的缺陷难以避免.....	1
第二节 造成水工混凝土缺陷的主要原因.....	3
一、设计方面	3
二、施工方面	4
三、运行管理方面	7
第三节 常见的缺陷种类及其成因.....	8
一、裂缝	8
二、内部架空	10
三、表面不平整与空蚀磨损	11
四、渗漏溶蚀和化学侵蚀	12
五、低强混凝土	13
六、止排水质量事故.....	13
七、混凝土碳化	14
第四节 缺陷的性质与缺陷的处理	14
一、缺陷的性质	14
二、缺陷处理的必要性	15
第五节 水工混凝土缺陷的预防	18
一、缺陷预防的意义.....	18
二、预防缺陷的基本措施	19
第二章 混凝土裂缝	23
第一节 概述	23
第二节 裂缝的成因和预防	24

一、裂缝的主要成因	24
二、裂缝的预防	28
第三节 裂缝的检查与分类	30
一、裂缝检查	30
二、裂缝分类	35
第四节 裂缝补强处理	39
一、裂缝危害性评估	39
二、补强处理时段的确定	40
三、裂缝补强处理方法	40
第五节 综合补强处理实例	55
一、葛洲坝工程实例	55
二、东江水电站实例	58
三、陈村水电站实例	62
第三章 混凝土局部不密实和架空	65
第一节 概述	65
第二节 检查范围和检查方法	66
一、检查范围	66
二、检查方法	66
第三节 事故判定标准	70
第四节 补强处理	71
一、水泥灌浆	72
二、化学灌浆	74
三、局部凿除	75
四、喷射混凝土	75
第五节 工程实例	75
第四章 低强混凝土	80
第一节 概述	80
第二节 低强混凝土的检查	82
一、取样抽查	82
二、无损检测	82
第三节 低强混凝土的处理	84
一、挖除重浇	85

二、局部凿除修补	87
三、浸渍增强处理	88
第四节 过流面高低标号混凝土层间结合强度的检查与 处理	88
一、层间结合强度检查	89
二、层间结合强度不足的处理	92
三、影响层间结合的因素	92
第五章 渗漏	95
第一节 概述	95
一、水工混凝土产生渗漏的原因	95
二、渗漏的分类	96
三、渗漏的危害	96
第二节 水工混凝土渗漏检查、观测及处理原则	97
一、渗漏检查与观测	97
二、渗漏处理原则	98
第三节 迎水面渗漏处理	98
一、止水结构缝渗漏处理	98
二、抗渗标号低于设计标准的处理	103
三、冷缝、蜂窝麻面渗漏处理	106
第四节 接缝渗漏处理	110
一、接缝渗漏处理	111
二、止排水结构缝渗漏处理	114
第五节 混凝土渗漏处理	120
第六节 工程实例——陈村水电站	120
第六章 过流面不平整	122
第一节 概述	122
第二节 不平整度控制标准	122
第三节 不平整缺陷的处理	130
一、缺陷分类及检查方法	130
二、整平处理方法	130
三、主要修补材料及施工工艺	131
第四节 掺气防蚀、减蚀	138

一、掺气后降低不平整度控制标准的工程实例	139
二、不平整突体的空蚀破坏试验	140
三、掺气浓度为 1.1% 条件下不平整度控制和处理标准	143
四、临界免蚀掺气浓度	144
第七章 冲磨与空蚀	146
第一节 概述	146
第二节 推移质对水工混凝土的冲磨破坏	148
一、推移质冲磨破坏的特点	148
二、过流面抗冲耐磨层设计与修补	150
三、遭受推移质冲磨破坏的工程及修补实例	155
四、各种修补材料抵御推移质冲磨能力评价	174
第三节 悬移质泥沙对水工混凝土的磨损破坏	176
一、磨损特性和抗冲磨层设计及修补	176
二、悬沙磨损工程实例	178
三、各种抗磨材料磨损状况比较	181
第四节 高速水流对水工混凝土过流面所产生的空 蚀破坏	183
一、工程实例	183
二、空蚀破坏机理及其防止措施	193
第八章 预埋系统缺陷	196
第一节 止水和排水系统	196
一、止水和排水	196
二、处理的原则和标准	197
三、施工中的检查处理	198
四、系统形成后的检查处理	198
第二节 接缝灌浆系统	201
一、接缝灌浆系统缺陷	201
二、处理原则和标准	202
三、检查和处理方法	203
第三节 冷却水管系统	205
一、冷却水管缺陷	205
二、处理的原则和标准	206

三、施工中的缺陷检查和处理	206
四、系统形成后的缺陷检查和处理	207
第四节 其他预埋件	208
一、其他预埋件	208
二、金属预埋件的检查和处理	208
三、内部观测仪器埋件缺陷的预防	209
四、坝面排水管缺陷处理	210
第九章 特种修补技术	211
第一节 聚合物浸渍混凝土	211
一、混凝土与浸渍	211
二、单体和浸渍液的基本性能	212
三、聚合物浸渍混凝土的施工工艺及要求	213
四、应用实例	214
第二节 预应力补强	216
一、坝体加固	217
二、裂缝处理	222
第十章 水下检修技术设备和材料	229
第一节 水工混凝土水下检修技术	229
一、气压式自浮沉柜	229
二、RCV-225 潜水器及 TC-125 手提式水下摄像机的应用	231
三、水下不分散混凝土及其应用	233
第二节 水下快速修补材料之一——聚合物氯偏水泥 砂浆	237
一、概述	237
二、聚合物氯偏水泥砂浆基本特性	237
三、聚合物氯偏水泥砂浆施工配合比及其性能	239
四、聚合物氯偏水泥砂浆的应用范围	241
五、聚合物氯偏水泥砂浆施工工艺及要求	241
六、工程应用实例	242
第三节 水下快速修补材料之二——聚合物树脂砂浆	243
一、聚合物树脂材料的基本性能	243
二、聚合物树脂砂浆(或混凝土)施工配合比及其性能	246

三、聚合物树脂砂浆(或混凝土)施工工艺及要求	248
四、工程应用实例	250
参考资料.....	252

第一章 绪 论

第一节 水工混凝土的缺陷难以避免

随着科学技术的发展，混凝土被越来越多地用来建筑各类水工建筑物。

水工混凝土建筑物，有的构成水利枢纽的主体，似长龙卧波，横断滔滔江河；有的作为水利枢纽的一部分，如溢洪道、取水塔等，似一夫当关，吞吐浩浩江水。它们无不担负着重要的历史使命，斩江驯浪，兴利除害。

水工混凝土建筑物，矗立在江河之上，身系人民生命财产的安危，它们的质量优劣对人类的生存与幸福有着极其密切的联系。成则造福人类，功盖千秋；败则酿成巨灾，为害一方。

然而尽管水利水电工程的建设者们殚精竭虑、呕心沥血，以如履薄冰、如临深渊的精神抓好工程质量，冀求建成没有毛病的水工混凝土建筑物，但是由于主客观上各种因素的影响，从整体而言水工混凝土总难免会存在一些缺陷。其主要影响因素如下：

1. 认识的局限性

水工建筑物是人与大自然搏斗的产物，其水平高低，反映着人类对大自然认识的程度。人类在生产斗争实践中，对大自然的认识是不断发展、不断深化的，在一定认识阶段完成的水利工程只能达到一定的完美程度，在某个时期修建的水工混凝土建筑物会不可避免地打上该时期的烙印，留下当时认识的痕迹。例如，我国在五六十年代曾较多地兴建连拱坝、大头坝、宽缝重力坝，就反映了这一时期认识的局限，这些坝型由于体型薄、暴露面多等原因容易出现裂缝。我国坝工实践表明，选用实体重力坝、拱坝等暴露面较少的坝型，能有效地减少裂缝发生的机率，因此随着

认识的深化，八九十年代建设的大坝以重力坝、拱坝居多。

2. 自然因素的影响

造成水工混凝土缺陷的原因除了人为因素外，另一个重要原因是自然因素的影响。尽管现代科学技术相当发达，但许多自然因素的影响人类还无法控制，所采取的一些防护措施在恶劣的自然环境面前仍无可奈何，以致不能阻挡自然环境使水工混凝土造成缺陷。以长江水流挟沙对葛洲坝工程的冲磨为例，长江年平均输沙量 5.2 亿 t，推移质 70 万 t，实测最大粒径 350mm。这些泥沙对泄水建筑物的冲磨是相当厉害的，尤其是汛期，洪水挟带着大量泥沙、卵石咆哮而来，冲击泄水闸的底板、闸墩，在检查廊道内可以听到卵石过闸的碰撞摩擦声。枯水期抽水检查可以看到闸室、护坦被不同程度地磨损，部分地方形成冲坑。很明显，人类还不能阻止泥沙对泄水建筑物的冲磨，虽然可以提高水工混凝土的抗冲耐磨程度，但水工混凝土最终被磨损总是不可避免的。

3. 社会的制约

技术工作是与社会息息相关的，技术必然受到政治经济制约。例如在“文革”期间，违背经济建设规律，搞“三边”工程，许多行之有效的规范、规程、制度被抛到一边，浇筑了一批质量低劣的水工混凝土，留下很多隐患，妨碍工程安全运行。即使在社会稳定时期，有时为了经济上的利益，不得不在保证建筑物安全运行的前提下，对技术要求作出一些让步。20 世纪 80 年代我国南方一些水电站建设时，依然采用相对落后的老式木模板，浇出的混凝土难以避免地存在一些缺陷，一个主要的原因就是为了充分利用当地丰富的木材资源以节省投资。另一方面，技术与经济的统一也是有条件的，不可能为了达到过高的技术要求而一味增加宝贵的投资，必须适度地求得技术与经济的统一。众所周知，采用低温混凝土是控制混凝土裂缝的一项行之有效的技术措施，但低温控制要有经济基础，投资很大。许多工程因资金不富裕只得降低技术措施，增大了缺陷产生的机率。

4. 人为因素的影响

除了上述自然、社会、经济和认识等因素外，影响水工混凝土质量的另一重大方面是人为因素。人为因素包括设计、施工、运行等各个方面，任一方面的不慎都可能造成水工混凝土的缺陷。

由于影响水工混凝土缺陷的因素错综复杂且多变，人们难以掌握缺陷产生的所有规律，因此尽管水电建设者们采取各种措施去预防和控制缺陷的产生，但直至今日还达不到消除缺陷的目的。只能把缺陷控制到最低程度；或者当缺陷出现后，及时地加以检测与处理，防止缺陷的扩展与恶化，以减轻对水工混凝土建筑物的危害。

第二节 造成水工混凝土缺陷的主要原因

水工混凝土常年经受着自然环境的考验，基础约束、气温变化、气候骤变、水质污染、酸碱腐蚀、泥沙冲磨、相邻混凝土块体制约等都会使它产生缺陷。但外因是通过内因起作用的，如果混凝土品质优良、抗御外来侵扰的能力很强，那么出现缺陷的机率就会大大降低。反之，若混凝土质量有问题，本身存在薄弱环节，那么在自然力作用下就容易形成缺陷。

影响混凝土质量而产生缺陷的原因，大致可分为设计、施工、运行三个方面。

一、设计方面

因设计造成水工混凝土缺陷的原因很多，常见的有设计方案选择不当、设计因素考虑不周、数据引用不准、计算出错误等。举例如下：

1. 结构形式选择不当

黄河八盘峡水电站溢流坝段挑流鼻坎，由于设计选型不够合理，挑流时只能呈半挑流、半底流状态，导致泄流时水流紊乱，在消力池内产生回流和竖流，从而造成鼻坎下发生较严重的冲磨淘