

水工混凝土耐久性的研究和应用

Research and Application of Durability in Hydraulic Engineering Concrete

李金玉 曹建国 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

水工混凝土耐久性的研究和应用

Research and Application of Durability in
Hydraulic Engineering Concrete

季金玉 曹建国 著

插图 - 1

ISBN 7-5083-0000-0 字数 250千字



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

5

内 容 提 要

本书总结了作者近 20 年来在水工混凝土耐久性研究领域中的主要成果,其中不少是国家“九五”和“十五”科技攻关的最新成果。本书共分七章,包括:概述、混凝土的抗冻性、混凝土的渗漏溶蚀、混凝土的抗裂性、混凝土的水质侵蚀、混凝土的抗冲磨技术、水工钢筋混凝土的防碳化技术。书后还附有水工混凝土工程老化病害典型图例。

本书介绍了许多提高混凝土耐久性的新技术、新材料,如:HBC 低热高抗裂新型大坝混凝土、高抗冻超抗冻混凝土、柔性全封闭抗冲耐磨混凝土、大坝保温防渗抗裂技术及防碳化技术、混凝土抗冻性的量化设计及施工等,将进一步推动我国水工混凝土及其他工程混凝土耐久性研究及应用的发展。

本书适用于水利水电工程设计、施工、维护人员、科研单位水工建筑物耐久性及相关材料研究人员,高校相关专业师生。也可供交通、土建等行业设计、科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土耐久性的研究和应用/李金玉,曹建国著.
北京:中国电力出版社,2004
ISBN 7-5083-2422-6

I. 水… II. ①李…②曹… III. 水工材料-混凝土-耐用性-研究 IV. TV431

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 059744 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
航远印刷有限公司印刷
各地新华书店经售

2004 年 11 月第一版 2004 年 11 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 11.125 印张 295 千字 18 彩页
印数 0001—3000 册 定价 29.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

随着混凝土工程建设的日益发展，混凝土耐久性问题越来越受到人们的重视，这是由于它直接影响到工程的安全性和使用寿命，与工程的经济效益和社会效益密切相关。水利水电混凝土工程直接为人民生活用水、工农业供水、防洪度汛和水力发电等服务，在国计民生中具有重大作用，因此水工混凝土的耐久性更为重要。混凝土的耐久性是一个多因素的复杂系统，既包括了材料本体的特性，又包括了复杂多变的环境因素以及工程的实际运行条件等，因此混凝土耐久性的研究又是一个较为困难的研究领域。

本书作者李金玉教授级高级工程师 20 世纪 60 年代前期参加工作，70 年代由于开发了混凝土新型外加剂并在工程中取得了良好的实用效果，获得了全国科技大会奖和国家科技进步三等奖。从 80 年代开始，历三十年之久一直从事着混凝土耐久性的研究和应用，在混凝土抗冻性、抗裂性、渗漏溶蚀、水质侵蚀、抗冲耐磨、碳化、碱活性骨料反应等研究中获得了多项成果，尤其是在国家自然科学基金重点项目“水工混凝土建筑物老化病害及防治”、国家“九五”科技攻关项目“重点工程混凝土安全性的研究”和国家“十五”科技攻关项目“新型高性能混凝土及其耐久性的研究”中，作出了大量优秀成果，并因而获得了国家科技部等四部委的优秀科技成果奖和先进个人奖。

本书在耐久性研究中，既有突出的创新性，又有很强的实用性，作者提出的以工程安全运行寿命为目标的“混凝土耐久性定量设计的研究”更具有重要的意义。当今我国又进入了一个基本建设的新高潮，水利水电事业的发展迎来了又一个春天，相信

本书的出版一定会得到水利水电工程以及土木工程界广大科技工作者及高校师生的欢迎，并进一步推动混凝土耐久性研究和应用的发展，故乐为之序。

朱伯芳

2004.7.23

前 言

强度和耐久性是混凝土材料的两大基本特性，水泥混凝土作为人工建筑材料在工程中应用，尚不足 200 年的历史。但随着混凝土工程的发展，混凝土耐久性问题越来越受到人们的重视，其原因在于，众多的混凝土结构在运行 20~40 年甚至更短的时间内，由于耐久性不良及环境条件的恶化，从而使混凝土建筑物出现过早的“老化病害”，甚至危及其运行安全，不得不花费巨资进行工程的修补加固，甚至推倒重建。

发达国家在 20 世纪 70 年代后，为吸取经验教训，掀起了混凝土耐久性及修补技术的研究热潮，成立了专门的国际性研究机构，如“欧洲混凝土委员会”（CEB）和“材料与结构试验室联合会”（RILEM）等。截至 2000 年，国际混凝土耐久性学术会议已召开了 5 次，混凝土耐久性的研究已经从工程调研、性能研究，发展到以寿命为目标的耐久性设计研究。

水工混凝土建筑物主要包括混凝土大坝、水闸、堤防、隧洞、渡槽等。这些水工混凝土建筑物能否长期安全运行，不仅影响着巨大的经济效益，更是关系大江、大河防洪度汛等国计民生的大事。因此水工混凝土建筑物的耐久性问题，一直得到各级领导部门的重视。中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土分会，在 1985 年就成立了混凝土耐久性专业委员会，并挂靠在中国水利水电科学研究院结构材料所，至 2004 年已组织召开了 6 届全国混凝土耐久性学术交流会。

我国是世界上水电资源最丰富的国家，同时又是一个发展中的国家。20 世纪初期，国家已将“西电东送”、“南水北调”工程列为重点发展项目，一批 300m 级的高混凝土坝工程将相继兴建。如何确保新建工程较长的安全运行寿命（100 年~数百年），以及充分发挥众多已建大型水工混凝土建筑物的经济效益和社会

效益，是摆在我国广大水利水电建设者面前的一个重要课题。

本书总结了作者近 30 年来在水工混凝土耐久性研究领域中的主要成果，其中不少是国家“九五”和“十五”科技攻关的最新成果。许多成果已经在众多大坝工程中应用，并取得良好效果。作者在水工混凝土耐久性研究的同时，也开发了提高水工混凝土耐久性 & 修补加固的新材料、新技术，如 HBC 低热高抗裂新型大坝混凝土、高抗冻超抗冻混凝土、混凝土抗冻性的定量化设计及施工、柔性全封闭抗冲耐磨技术、大坝保温防渗抗裂技术及防碳化技术等。本书内容可供科研、设计、施工管理及高校师生等参考。相信本书的出版，将进一步推动我国水工混凝土及其他工程混凝土耐久性研究及应用的发展。

先后参加过本书研究工作的还有范沈抚、杜小春、徐文雨、亢景富、彭小平、邓正刚、关遇时、林莉、田军涛、韩本正、王爱勤等，因此本书可以说是一个研究集体的成果。本书第二章三、四、五节，第三章二、四节及第六章一、二节由曹建国高级工程师编写，其余各章节及全书统稿由李金玉教授级高级工程师完成。

在本书出版之际，首先要感谢赵佩钰、于晓中、甄永严、董哲仁、黄国兴、贾金生、鲁一暉等历届新老所长的支持，以及吴中伟院士、朱伯芳院士、关英俊教授等老一辈科学家的培养和支持，更要感谢朱伯芳院士为本书作序。同时也要感谢原中国建材工业总局王绥刚副司长、中国建筑材料科学研究院姚燕院长、隋同波所长等领导 & 诸多同仁的大力支持和协作。

混凝土耐久性的研究 & 应用是一个复杂的综合的“系统工程”，本书的研究成果有些尚属起步，错误 & 不当之处在所难免，敬请读者指正。

作者

2004 年 7 月 4 日于北京

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 水工混凝土建筑物耐久性的调查	2
第二节 水工混凝土建筑物典型病害的工程 实例及成因分析	17
第三节 有益的启示和建议	91
第二章 混凝土的抗冻性	94
第一节 混凝土冻融破坏的机理	94
第二节 硬化混凝土中的气泡性质对混凝土 抗冻性的影响	106
第三节 高抗冻超抗冻混凝土	121
第四节 粉煤灰高抗冻混凝土在三峡 工程中的应用	130
第五节 高强混凝土抗冻性的研究	140
第六节 混凝土抗冻性的定量化设计与施工	154
第三章 混凝土的渗漏溶蚀	168
第一节 压力水下混凝土渗漏溶蚀的机理	168
第二节 混凝土抗溶蚀技术及在三峡大坝工程 中的应用	180
第三节 塑性防渗墙混凝土耐久性的研究和评估	186
第四节 三峡二期围堰塑性防渗墙混凝土的 配合比设计	200

第五节	100m 深高强低弹复合混凝土墙体材料的开发和初步应用	212
第四章	大坝混凝土的抗裂性	219
第一节	HBC 低热高抗裂新型大坝混凝土的研究	219
第二节	混凝土表面保温抗裂喷涂技术的开发及应用	250
第五章	大坝混凝土的水质侵蚀	262
第一节	高浓度及应力状态下混凝土硫酸盐侵蚀的研究	262
第二节	高浓度和应力状态下混凝土抗硫酸盐侵蚀技术的开发及现场实施	283
第六章	大坝混凝土的抗冲磨技术	292
第一节	铁矿石骨料超高强抗冲磨混凝土的研究	292
第二节	万家寨大坝低热微膨胀混凝土抗冻和抗冲磨耐久性的研究	304
第三节	柔性全封闭抗冲磨喷涂技术的开发及应用	314
第七章	水工钢筋混凝土结构的防碳化技术	334
第一节	混凝土防碳化技术的研究	334
第二节	北京永定河珠窝和落坡岭水电站防碳化处理	338
参考文献		345
水工混凝土工程老化病害典型图例		

概 述

我国是世界上水电资源最丰富的国家，理论蕴藏量 6.76 亿 kW，可开发的水电资源 3.78 亿 kW，位于世界之首。到 20 世纪末期，已开发的水电资源为 7680 万 kW，为可开发总量的 20.3%，还有近 80% 的水电资源尚未开发。目前国家已把“西电东送”、“南水北调”作为一个战略性目标进行大力开发，国家规划要求 2001~2015 年水电装机容量将达到 1.5 亿 kW，比 20 世纪总发电量要增加一倍。因此可以说水利水电事业是一个可持续发展的朝阳产业。

建国以来，我国兴建了众多的大坝工程。在高坝工程中，近 90% 为混凝土坝，其原因是混凝土坝相对于当地材料坝，具有更可靠的安全性。我国混凝土高坝工程的建设发展很快，20 世纪 50 年代兴建了 100m 级的高坝，如新安江水电站、广东新丰江水电站、湖南拓溪水电站等；60 年代以刘家峡水电站为代表的混凝土高坝已达 147m（150m 级）；70 年代乌江渡水电站大坝高 165m，龙羊峡水电站大坝（黄河第一坝龙头电站）高 178m，高坝建设进入了 180m 级；80 年代以二滩水电站为代表，大坝高度已达 240m（混凝土双曲拱坝），达到了 250m 级；90 年代开始设计目前已开始施工的云南小湾水电站拱坝高 292m；即将兴建的溪洛渡大坝高 283m，向家坝高 300m，锦屏一级大坝高 300m，即 21 世纪初我国已开始兴建 300m 级的高坝，从而使得我国成为当今世界上的筑坝大国。

大坝工程规模宏大，对我国的国民经济建设、城乡人民用水及防洪度汛等方面，具有巨大的经济效益和社会效益。因此要求大坝工程能有较长的安全运行寿命，即要求有良好的耐久性。一

般认为，高坝工程其安全运行寿命（即满足设计功能要求，安全运行而不大修的使用年限）至少要达 80~100 年（不修不足以满足设计功能的修补加固工作为大修）。但是半个世纪来的实践证明，我国 20 世纪 80 年代以前建设的混凝土大坝，由于设计标准偏低、施工质量不良、管理不善等原因，导致大坝混凝土过早地出现了老化和病害，不少大坝工程运行不到 30 年就需大修，耗资巨大。这不仅降低了水利水电工程的经济效益，而且有些工程直接威胁到大江大河的防洪度汛安全。因此，积极开展大坝混凝土耐久性的研究和应用，延长混凝土大坝的安全运行寿命，充分发挥巨大的经济和社会效益，已成为我国水利水电事业中迫切需要解决的重大问题。

第一节 水工混凝土建筑物耐久性的调查



为了对我国 20 世纪 80 年代前兴建的水工混凝土建筑物耐久性有较全面的认识，原水电部在 1985 年组织了中国水利水电科学研究院、南京水利水电科学研究院、长江水利科学研究院等 9 个单位，对全国 32 座混凝土高坝和 40 余座钢筋混凝土水闸等水工混凝土建筑物进行了耐久性和老化病害的调查，并编写了“全国水工混凝土建筑物耐久性及其病害处理调查报告”^①。调查的水工混凝土建筑物的基本资料及主要老化病害问题列于表 1-1-1、表 1-1-2 和表 1-1-3。

通过调查可以看出，在我国大型水利水电混凝土工程中，由于耐久性不良而出现的病害主要有以下六类：

(1) 混凝土的裂缝。在调查的 32 座大坝中，均存在有裂缝问题，而且调查中发现，电站厂房钢筋混凝土结构中的裂缝问题

① 参加调查的人员为：关英俊、李金玉、韩本正、范沈抚、杜小春、高文英、吴秋冬、朱兴华、孙凤阁、韩文根、王再芳、贺湘琦、周海秋、吴太平、苏军。报告编写组成员为：关英俊、李金玉、高文英、朱兴华、孙凤阁，统稿：李金玉。

令人瞩目，有的已危及安全生产。

(2) 渗漏和溶蚀。渗漏问题与裂缝问题同样普遍，在调查的 32 座混凝土大坝中均存在不同程度的渗漏病害，而且由于渗漏，大坝混凝土产生了溶蚀破坏及由此带来的其他病害。

(3) 冲刷磨损和气蚀破坏。有 22 个工程存在着气蚀和冲刷磨损对混凝土泄流建筑物的破坏，所占比例为 68.7%。

(4) 冻融破坏。大型工程的冻融破坏问题主要集中在东北、西北和华北地区，共有 7 个工程发生，占 21.9%，其中东北地区工程的混凝土冻融破坏最为严重。

(5) 混凝土的碳化和钢筋锈蚀。由于空气中二氧化碳对混凝土的侵蚀，继而引起钢筋混凝土结构中钢筋锈蚀而产生破坏的工程，在本次调查中有 13 个，占 40.6%。

(6) 水质侵蚀。调查中有 10 个工程存在这种病害，占 31.2%。西北地区的硫酸盐侵蚀，已经造成了一些工程混凝土的破坏，并构成了安全运行的潜在威胁。

除以上六种病害以外，在大型工程中，混凝土耐久性还存在一些其他问题，如大坝混凝土中的碱活性骨料问题、大坝混凝土因强度低而产生风化剥落问题，以及某些混凝土大坝局部坝顶异常升高问题等。

在调查的 40 余座钢筋混凝土水闸和混凝土坝溢洪道工程中，混凝土耐久性老化病害问题比大坝工程更为突出。在众多的钢筋混凝土闸坝工程中，混凝土的裂缝仍然是主要的病害，发生裂缝的部位主要是闸底板、闸墩、胸墙及各种大梁，存在此类病害的工程，占所调查中小型工程的 64.3%；混凝土的碳化和氯离子侵蚀而造成内部钢筋锈蚀，甚至引起结构物破坏的事例，在中小型工程中较为普遍，占 47.5%；冻融破坏在中小型水利工程中分布的区域较为广泛，不仅在东北、西北、华北地区存在，而且在华东地区也存在，例如山东、安徽乃至江苏都有发生，有些类病害的工程占 26%；其他病害如冲磨气蚀、渗漏、水质侵蚀等也都存在，分别占 24%、28.3% 和 4.3%。

表 1-1-1

调查的大型水利水电

序号	工程名称	所在省区	所在河流	工程效益	库容 (亿 m ³)	装机容量 (万 kW)	主要建筑物
1	丰满水电站	吉林省 吉林市	第二松花江	发电、防洪、灌溉等	107.8	55.73	大坝、厂房、泄洪洞
2	云峰水电站	吉林省 保安县	鸭绿江	发电为主	38.95	40	大坝、输水洞、厂房
3	桓仁水电站	辽宁省 桓仁县	鸭绿江支流浑江	发电为主	34.6	22.25	大头坝、厂房、泄洪道
4	夔窝水库	辽宁省 辽阳县	太子河	防洪、灌溉	7.91	3.72	挡水坝、溢流坝、厂房
5	潘家口水库	河北省 迁西县	滦河	供水、防洪等	29.3	4.5 设计	挡水坝、溢流坝、厂房、底孔
6	大黑汀水库	河北省 迁西县	滦河	供水等	4.73	2.16 设计	大坝、泄洪洞、输水洞
7	刘家峡水电站	甘肃省 永靖县	黄河	发电、防洪、灌溉	61.2	122.5	大坝、厂房、泄水建筑物
8	盐锅峡水电站	甘肃省 永靖县	黄河	发电为主	2.8	35.4	挡水坝、溢流坝、输水洞
9	八盘峡水电站	甘肃省 兰州市	黄河	发电为主	0.49	18	挡水坝、溢流坝、厂房等
10	三门峡水电站	河南省 三门峡市	黄河	防洪、排沙、淤积、发电	354.0	25	挡水坝、排沙孔、泄洪洞、深孔、厂房
11	丹江口水电站	湖北省 丹江口市	汉江	防洪、灌溉、发电等	208.9	90	挡水坝、溢流坝、泄洪洞、厂房
12	新安江水电站	浙江省 建德县	新安江	发电、防洪、灌溉	216.26	66.25	挡水坝、溢流坝等
13	富春江水电站	浙江省 桐庐县	富春江	发电为主	8.74	29.72	挡水坝、溢流坝、厂房
14	湖南镇水电站	浙江省 衢县	衢江支流乌溪江	发电	20.6	17.0	挡水坝、溢流坝、泄洪洞、厂房等
15	上犹江水电站	江西省 上犹县	赣江支流上犹江	发电为主	8.22	6.0	挡水坝、溢流坝、厂房
16	古田溪一级水电站	福建省 古田县	闽江支流古田溪	发电	6.42	6.2	挡水坝、溢流坝、厂房等

混凝土工程基本参数表

坝型	最大坝高(m)	坝顶长度(m)	混凝土方量(万m ³)	设计单位	施工单位	建设起止年份	工程总投资(万元)
混凝土重力坝	91.0	1080	210	伪满电气建设局	伪满电气建设局	1937~1959	27600
宽缝重力坝	113.75	828	304.86	东北勘测设计研究院、朝鲜方	云峰工程局、朝鲜方	1959~1967	30200
单支墩大头坝	78.5	593.3	129.4	东北勘测设计研究院	水电一局	1958~1972	22000
混凝土重力坝	50.3	532	51	辽宁省水利勘测设计研究院	蓑窝水库总指挥部	1970~1972	9000
低宽缝重力坝	107.5	1039.11	280	天津勘测设计研究院	00619部队	1975~1985	68000
混凝土重力坝	52.8	1354.5	135.7	河北省海河设计院	大黑汀水库指挥部	1973~1980	24023
宽缝重力坝	146.6	204	155.9	北京勘测设计研究院	水电四局	1958~1975	63500
混凝土重力坝	57.2	276.93	53	西北勘测设计研究院	水电四局盐锅峡分局	-	-
混凝土重力坝	43.6	396.4	38	西北勘测设计研究院	水电四局、813分局	1958~1961	15491
混凝土重力坝	106	713.2	210	苏联列宁格勒水电设计院	黄河三门峡工程局	1969~1975	14307.9
宽缝重力坝	97	2494	326	长委设计院	水电十局	1957~1960	94200
宽缝重力坝	105.0	466.5	175.5	上海勘测设计研究院	水电十二局	1958~1973	100180
混凝土重力坝	47.7	560	62.4	华东勘测设计研究院	水电十二局	1957~1960	44305
梯形重力坝	129	440	145	华东勘测设计研究院	水电十二局	1958~1968	26166.02
混凝土重力坝	67.5	153	22.34	北京勘测设计研究院	上犹江水电工程局	1958~1980	25000
混凝土宽缝重力坝	71	412	39.84	上海勘测设计研究院	闽江工程局	1955~1957	5776.9

序号	工程名称	所在省区	所在河流	工程效益	库容 (亿 m ³)	装机容量 (万 kW)	主要建筑物
17	古田溪三级水电站	福建省古田县	闽江支流古田溪	发电	0.149	3.3	大坝、厂房等
18	安砂水电站	福建省永安县	沙溪支流九龙溪	发电为主	7.474	11.35	挡水坝、溢流坝、厂房
19	梅山水库	安徽省金寨县	淮河支流史河	防洪、灌溉、发电	22.75	4.0	挡水坝、溢流坝、厂房
20	响洪甸水库	安徽省响洪甸县	淮河支流淠河西源	防洪、灌溉、发电	26.31	4.0	挡水坝、泄流洞、厂房
21	陈村水电站	安徽省陈村县	长江支流青弋江	防洪、发电	24.76	15.0	大坝、溢洪道、中孔、底孔、厂房
22	佛子岭水库	安徽省霍山县	淮河支流淠河东源	灌溉、发电	4.83	3.1	大坝、溢洪道、输水钢管、厂房
23	磨子潭水库	安徽省黟山县	淮河支流淠河东源	防洪、灌溉	3.37	1.6	大坝、溢洪道、泄洪洞、厂房
24	纪村水电站	安徽省泾县	长江支流青弋江	发电	前池 21.7 万 m ³	3.4	挡水坝、泄水道、电站、厂房等
25	新丰江水电站	广东省河源县	东江支流新丰江	发电为主	138.96	29.25	挡水坝、溢流坝、泄洪洞、厂房
26	枫树坝水电站	广东省龙川县	东江	航运、发电	19.4	15.0	挡水坝、溢流坝、泄洪洞、厂房
27	合面狮水电站	广西省架县	西江支流贺江	灌溉、发电等	2.96	6.8	挡水坝、溢流坝、输水管、厂房、筏道
28	以礼河水电站	云南省会泽县	金沙江支流以礼河	发电、防洪等	5.62 (四级总和)	32.15 (四级总和)	大坝、输水洞、泄洪洞、厂房
29	凤滩水电站	湖南省沅陵县	沅水支流	发电为主	15.44	40.0	挡水坝、坝内厂房、溢流坝
30	柘溪水电站	湖南省安化县	洞庭湖水系资河	发电为主	35.65	44.75	挡水坝、溢流坝、厂房
31	龚嘴水电站	四川省乐山市	大渡河	发电为主	3.57	70.25	挡水坝、溢流坝、冲沙底孔、厂房
32	黄龙滩水电站	湖北省十堰市	汉江支流堵河	发电为主	11.625	15.0	挡水坝、溢流坝、非常溢洪道、厂房

续表

坝型	最大坝高 (m)	坝顶长度 (m)	混凝土方量 (万 m ³)	设计单位	施工单位	建设起止年份	工程总投资(万元)
钢筋混凝土平板坝	43	225	7.49	华东勘测设计研究院	闽江工程局	1958 ~ 1961	2330
宽缝重力坝	92	168	40.3	华东勘测设计研究院	闽江工程局	1970 ~ 1978	10037
连拱坝	88.24	443.5	35.2	梅山水库工程指挥部	梅山水库指挥部	1954 ~ 1958	9268
重力拱坝	87.5	361	30	前准委设计院	响洪甸水库工程局	1956 ~ 1958	6163
重力拱坝	76.3	410.38	81	安徽省水利设计院	原水电十四局	1958 ~ 1971	17406
连拱坝	74.4	510	23.9	佛子岭工程指挥部	佛子岭工程指挥部	1952 ~ 1954	7755
双支墩坝	82.0	331	33	前准委设计院	磨子潭水库工程指挥部	1956 ~ 1958	4396
重力坝	28.5	136.4	9	华东勘测设计研究院	00639 部队	1974 ~ 1977	2700
单支墩大头坝	105.0	440	99.9	广东省水电勘测设计研究院	广东省水电一局	1958 ~ 1969	20878
宽缝重力坝	95.1	399	80.5	广东省水电勘测设计研究院	广东省水电二局	1970 ~ 1975	15000
宽缝重力坝	54.5	190	14.6	梧州地区水电设计队	梧州地区水电局	1970 ~ 1974	4800
土坝(一、三级)重力坝(二级)轻型坝(四级)	80.5 (一级)	467 (一级)	9.3 (一级)	昆明勘测设计研究院	云南水电工程局	1958 ~ 1971	18600 (一级)
空腹重力坝	112.5	487.73	127.7	湖南省水电设计院	凤滩工程指挥部	1970 ~ 1979	26200
单支墩大头坝宽缝重力坝	104.0	330	88.5	长沙勘测设计研究院	柘溪工程局	1958 ~ 1962	22000
混凝土重力坝	85.5	447	111.79	成都勘测设计研究院	水电七局	1965 ~ 1979	49000
混凝土重力坝	107.0	371	116.43	330 工程局设计院	330 工程局	1969 ~ 1978	19000

表 1-1-2 调查的大型水电工程混凝土耐久性主要问题统计表

序号	工程名称	裂缝	渗漏和溶蚀	冻融破坏	冲磨和气蚀	碳化和钢筋锈蚀	环境水侵蚀	其他
1	丰满水电站	坝体	坝体	上、下游坝面尾水墩	溢流面	坝顶栏杆、立柱	弱酸性、碳酸盐侵蚀	碱性骨料、坝顶升高
2	云峰水电站	坝体	坝体	溢流面		大坝支墩	弱酸性、溶出性侵蚀	
3	桓仁水电站	大头坝头等	坝体	上、下游坝面尾水墩				
4	蓑腐水库	坝体	坝体	上游面、溢流面	底孔			
5	潘家口水库	坝体、上游面等	坝体	溢流面反弧段	溢流面反弧			碱性骨料
6	大黑汀水库	溢流孔闸墩、机架桥	坝体	溢流面				碱性骨料
7	刘家峡水电站	坝体、坝顶盖板、厂房	左、右岸绕坝体		左岸泄水道、右岸泄洪洞	坝顶盖板	硫酸盐侵蚀	尾水位偏高
8	盐锅峡水电站	坝体上部结构	坝体		一、二级消力池、消力墩	启闭机大梁开关站、排架	硫酸盐侵蚀	库水污染、左岸危石、尾水位高

