

国内外水利水电工程

混凝土裂缝及其 防治技术研究

戴会超 王建 主编



黄河水利出版社

国内外水利水电工程混凝土裂缝 及其防治技术研究

戴会超 王 建 主编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书选编了国内外有关水利水电工程混凝土裂缝及其防治技术的论文 76 篇,其中国内论文 46 篇,国外论文 30 篇,从不同角度论述了各种自然条件下大体积水工混凝土建筑物裂缝的实例,分析了产生裂缝的原因,介绍了预防裂缝的措施和裂缝处理的技术经验。可供水利水电工程设计、施工、科研人员参阅,也可作为有关大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

国内外水利水电工程混凝土裂缝及其防治技术研究/戴会超,
王建主编. — 郑州:黄河水利出版社,2005.2

ISBN 7-80621-851-3

I. 国… II. ①戴… ②王… III. 水利水电-水利工程-
混凝土-裂缝-防治-文集 IV. TV543-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 111557 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:河南第二新华印刷厂

开本:889mm×1194mm 1/16

印张:37.75

字数:1090 千字

印数:1-1 000

版次:2005 年 2 月第 1 版

印次:2005 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-851-3/TV·376

定价:126.00 元

前 言

大坝等水工混凝土建筑物的裂缝,不仅会影响工程外观和正常运行,还可能影响工程安全,缩短工程寿命。原水电部曾组织国内有关专家对全国大中型水电工程的耐久性进行调查,调查结果表明,影响大坝耐久性的最主要和最普遍因素是混凝土裂缝。因为坝体一旦有了裂缝,混凝土内的氧化钙就会随裂缝中的渗水析出,使混凝土强度明显降低,并加快表层风化;如果是钢筋混凝土,裂缝的存在会使钢筋很快锈蚀,有效断面减小直到断裂,从而使结构发生破坏。因此,防止水工混凝土建筑物产生裂缝,历来是水工建筑物设计和施工的重要研究课题。长期以来,国内外工程专家、学者对此开展了大量的研究,并取得了一系列具有实际意义的重要成果,对大坝结构的防裂、限裂发挥了积极作用。然而,由于问题的复杂性,裂缝问题目前仍未彻底解决,依然困扰着混凝土建筑物的设计和施工。随着现代筑坝技术的进步及水电开发的深入,高坝大库不断涌现,对水工混凝土结构的抗裂性能也提出了更高的要求。这些现实问题要求我们对混凝土抗裂特性、裂缝机理、控制措施和裂缝修补技术等进行更为深入的研究。

本书收集了国内外近 50 座典型大坝的裂缝情况。坝型包括重力坝、拱坝、面板堆石坝、支墩坝等,裂缝类型涉及温度裂缝、干缩裂缝、荷载裂缝等多种形式,并详细地描述和分析了裂缝的原因及发生发展过程,对广大工程技术和研究人员了解裂缝产生的机理以及裂缝预防控制措施,具有较强的指导作用。同时,本书还收集了裂缝检测与处理的相关内容。希望本书的出版,能够为我国大坝及其他水工混凝土结构的设计、施工和运行以及病险结构的补强加固处理略尽微薄之力。

本书内容大部分摘录自国内外公开发表的文献,其中也有一些是国内科研机构的内部科研成果和资料。这些文献的作者是本书内容的创造者,这里谨向他们表示衷心的感谢。

限于时间和编者水平,书中很可能存在不足之处乃至错误,这一切都是编者的原因,与原文作者无关,请读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月

目 录

国内部分

国内典型混凝土坝裂缝情况调查与分析·····	中国水利水电科学研究院结构材料所(3)
国内混凝土坝裂缝成因综述与防止措施·····	丁宝瑛 王国秉 黄淑萍 岳跃真等(49)
防止三峡大坝上游坝面产生垂直裂缝的研究·····	汪安华 许志安(56)
二滩水电站拱坝混凝土配合比和温控·····	李嘉进 陈万涛(64)
二滩高拱坝混凝土的特点和裂缝的关系·····	李嘉进(68)
混凝土重力拱坝出现裂缝的初步分析·····	宋恩来 孙向红(73)
李家峡水电站混凝土裂缝分析及处理·····	王再芳 刘正兴 金永才(77)
青铜峡大坝电站坝段三大条贯穿性裂缝及3号胸墙裂缝处理·····	王春华 邹少军(82)
青铜峡大坝变形“疑点”的物理成因分析·····	顾冲时 马福恒 吴中如 贾思宏(87)
浅谈佛子岭水电站连拱坝裂缝处理·····	朱彤(92)
观音阁水库大坝施工中的温控措施及裂缝处理·····	杜志达 关佳茹(96)
丰满大坝溢流面裂缝问题研究·····	李正国 赵淑明 王永志(101)
丰满大坝溢流坝段闸墩加固技术·····	李才 朴灿日(106)
故县水库大坝溢流面反弧段裂缝分析及处理·····	张平安 支维定 崔晓波 胜洪勋(110)
预应力锚固技术在混凝土坝裂缝处理中的应用·····	汪强(114)
大峡水电站溢洪道边墩裂缝处理·····	黄波(117)
陈村大坝补强加固工程取得良好效果·····	邢林生(122)
陈村重力拱坝裂缝加固方案及其效应初探·····	沈长松 陆绍俊 林益才(127)
虎盘水电站大坝裂缝成因分析与处理·····	陈维杰 张建生 刘建国 李孟奇(133)
东江坝体混凝土裂缝及其处理·····	中南勘测设计研究院(136)
西北口面板堆石坝面板裂缝成因分析·····	罗先启 刘德富 黄峰(143)
三峡二期工程泄洪坝段裂缝处理质量控制·····	杜泽快 郑路(166)
柘溪大坝1号支墩劈头裂缝处理·····	李友楼(170)
水工大体积高性能混凝土裂缝原因分析·····	曹恒祥 殷保合(174)
小浪底水利枢纽导流洞混凝土衬砌裂缝分析·····	徐运汉 薛喜文 肖强(186)
李家峡水电站主坝混凝土裂缝及缺陷处理·····	钱宁 薛振江(190)
从丰乐混凝土双曲拱坝裂缝的分析探讨拱坝设计中的有关问题·····	张丹青 陈怀宝(195)
防止水工混凝土裂缝的措施和修补方法·····	王国秉 丁宝瑛 王历 江光亚等(199)
葛洲坝1号船闸混凝土裂缝成因及加固研究·····	杨本新 李江鹰(208)
潘家口水库主坝水平裂缝问题探讨·····	徐宏宇(214)

松山堆石坝面板混凝土裂缝成因调查与分析·····	梁龙 黄如卉 韩会生 王德库(220)
柘溪支墩坝劈头裂缝研究及其强度监测 ·····	Tu Chuanlin(231)
三峡工程大体积混凝土裂缝处理施工技术 ·····	傅自义 赵葳 王剑(240)
三峡永久船闸中隔墩裂缝原因分析 ·····	杨启贵 王冬珍(246)
三峡二期工程大坝混凝土施工温度控制的综合技术·····	周厚贵(249)
三峡工程混凝土施工及温控科研成果 ·····	戴会超 张超然(256)
加强混凝土坝面保护 尽快结束“无坝不裂”的筑坝历史 ·····	朱伯芳 许平(262)
重力坝的劈头裂缝·····	朱伯芳(267)
从拱坝实际裂缝情况来分析边缘缝和底缝的作用·····	朱伯芳(274)
通仓浇筑常态混凝土和碾压混凝土重力坝的劈头裂缝和底孔超冷问题 ·····	朱伯芳 许平(280)
三峡大坝 16 号泄洪坝段跨缝板对上游面应力的影响 ·····	许平 朱伯芳 杨波(286)
新安江水电站 19~20 号坝段伸缩缝上游面水下防渗处理 ·····	包银鸿 谭建平 周华文(293)
水工大体积混凝土裂缝的预防与处理·····	许春云(300)
CW 系化学灌浆材料的性能及工程应用 ·····	魏涛 薛希亮 苏杰(305)
大坝水平裂缝端部防渗灌浆 ·····	袁世茂 宋明波 齐勇才(308)
三峡二期工程混凝土裂缝化灌材料及工艺研究 ·····	何小鹏 颜家军(312)

国外部分

混凝土坝的裂缝——美国垦务局工程实例 ·····	[美国]H. L. 鲍格斯(319)
美国陆军工程师团对所属混凝土大坝产生裂缝原因的再分析 ·····	[美国]C. D. 诺曼 F. A. 安德森(327)
因混凝土膨胀而引起的大坝裂缝 ·····	[法国]J. C. 米勒 D. 瑞尼埃尔 B. 哥格尔 G. 米歇尔(333)
膨胀作用原因以外的混凝土坝裂缝 ·····	[法国]A. 卡列尔等(343)
避免大体积混凝土温度变化产生裂缝的预防措施 ·····	[巴西]V. A. 保伦等(354)
弗卢门多萨拱坝的修补工程 ·····	[意大利]R. 西尔瓦诺等(362)
韩国忠州大坝对所出现的细小裂缝采取的对策·····	[韩国]H. S. LEE, PE(368)
巴伊纳巴什塔坝左坝肩裂缝分析与修补 ·····	[南斯拉夫]V. 利迪卡(373)
雷维尔斯托克重力坝大体积混凝土的开裂 ·····	[加拿大]W. J. 布鲁尼尔等(376)
萨彦舒申斯克大坝上游面渗漏裂缝灌浆处理的经验 ·····	[俄]B. H. 布雷兹加洛夫等(385)
用合成树脂修复大坝混凝土裂缝 ·····	[西班牙]F. 马泽斯等(390)
混凝土坝温度应力裂缝的成因与控制·····	[日本]Tadahiko Fujisawa 等(394)
如何避免大体积混凝土的温度裂缝 ·····	[奥地利]R. 威德曼(405)
重力拱坝受损的一个原因——环境的温度作用·····	[西班牙]佩雷兹 卡斯特兰诺斯, J. L. 等(412)
大体积混凝土坝温度裂缝形成的准则和预防措施 ·····	[苏联]N. S. 罗沙诺夫等(415)
按浇筑层施工的混凝土坝块温度应力状态的数学模型 ·····	[保加利亚]O. 桑特吉安(420)
土耳其奥马皮纳尔拱坝为防止施工混凝土出现裂缝所采取的技术措施 ···	[德国]H. J. 缪尔等(427)

硅粉在挪威弗尔瓦斯大坝中的使用	[挪威]I. 博尔塞斯(432)
对 20 座拱坝损坏现象的探讨	[瑞士]M. 赫尔措格(436)
拱坝的剪切破坏	隆巴迪·吉凡尼(450)
高拱坝坝体中开裂的模拟(I)	[奥地利]H.N. 林斯鲍尔 H.P. 罗斯马尼斯等(461)
高拱坝坝体中开裂的模拟(II)	[奥地利]H.N. 林斯鲍尔 H.P. 罗斯马尼斯等(472)
柯恩布赖茵拱坝:特殊问题特殊处理	G. 隆巴迪(480)
法国四座拱坝的严重损坏情况	刘泊生(摘译)(485)
Kolnbrein 拱坝坝踵开裂机理探讨	夏颂佑 鲁慎吾(494)
苏联混凝土高坝建设中的温度控制问题	丁宝瑛 王国秉 杨菊华(501)
德沃夏克坝和利贝坝采取的大体积混凝土裂缝控制措施	D. L. Houghton 著 傅振邦译(558)
彼得拉得阿吉拉坝裂缝预防和处理措施	[阿根廷]A. 帕奇尔等(568)
大体积混凝土温差应力引起的裂缝的监测与分析	Takushi Yonezawa Shigeharu Jikan(574)
一个老问题:混凝土坝裂缝 一种新技术:碾压混凝土	Robert E. Philleo(586)

国内部分

国内典型混凝土坝裂缝情况调查与分析

中国水利水电科学研究院结构材料所

1 前言

混凝土高坝体积庞大,受其自身和周围介质温度、湿度变化的影响,以及基础约束的作用,往往在不同部位产生很大的约束应力,极易产生裂缝。几十年来,如何防止混凝土坝裂缝,一直是世界各国坝工建设中的一项重大技术问题。遗憾的是,到目前为止这项技术还不够完善,甚至在一些基本观点上,诸如:温度控制防止裂缝的重点是防止基础贯穿裂缝,还是防止表面裂缝;温控措施是以降温为主,还是以保温为主;在分缝分块方面是柱状块还是通仓浇筑等等,在国内外都还存在着相当大的分歧。总而言之,在混凝土坝温控防裂方面,还没有一个统一的认识。这既与每一个国家技术发展程度有关,也与这项技术的理论与实践认识水平有关。

早在 20 世纪 30 年代,美国由于当时几座未能很好地采取温控防裂措施的大坝,发生了严重裂缝,所以在修建胡佛坝(原名为 Boulder 坝)时,曾进行了较系统的温控防裂研究,到目前为止这些研究总结还有很大的参考价值。胡佛坝是美国垦务局(U.S.Bureau of Reclamation)的代表作,其特点是柱状分块、水管冷却(二期)、接缝灌浆形成整体。这项技术对温控要求较低是其优点,在世界各国多有仿效;但按这种方法施工对大坝的整体性形成较多弱点,以及由于冷却灌浆可能延误工程投入运行的时间,又使相当多的工程技术人员持有异议。其中就有美国另一著名筑坝机构美国陆军工程师团(U.S.A.Army Corps of Engineers)倡导了一种通仓浇筑的技术,大坝全断面整体薄层浇筑,不分任何纵缝(最长底宽达到 150m,如德沃夏克坝)。这项技术的特点是使大坝整体性好,基本上浇筑结束后工程即可投入运行,提前发挥效益;但是其温控要求严,技术水平要求高。与陆军工程师团持相似观点的,在美国尚有田纳西河流域管理局(T.V.A.)、哈扎公司(Harza Engineering Company)等一些公、私工程单位。由于他们在世界各地承建工程较多,使这项技术具有世界范围的影响。目前,我国有的工程也在研究采用这项技术(如二滩拱坝、五强溪重力坝等)。

20 世纪 50 年代以来,苏联在西伯利亚和中亚细亚地区修建了一系列高坝,基本上采用了美国垦务局倡导的柱状分块方法。由于气候严寒和温控要求不严,控制不力,出现了大量裂缝,有的还相当严重(如布拉茨克 Братск 坝)。以全苏水工研究院艾捷里曼(Эйдепман)为首的许多科研人员,对布拉茨克大坝的裂缝,进行了系统的调查研究和观测分析,取得了十分宝贵的资料。

至于欧洲和日本,在温控防裂方面没有什么特色,基本上沿袭美国的方法,值得注意的是,他们能很好地安排工期,躲开严冬和酷暑,基础混凝土又能安排在最有利季节浇筑(如日本),从而也能节省投资、减少裂缝,并保证质量。

值得一提的是加拿大的情况。以往加拿大热衷于提倡高块浇筑,当时他们修筑的大坝一般较低。近些年,由于修筑了像瑞沃尔斯脱克(Raverstock Dam)这样 150m 高的重力坝,底宽 126m,竟一反常态也采用了通仓薄层浇筑的方案。

参加本文工作的有丁宝瑛、王国秉、黄淑萍、岳跃真、胡平、董福品和孙计平。原水电部中南勘测设计院、华东勘测设计院、西北勘测设计院、东北勘测设计院、天津勘测设计院、海河设计院、水电部第八工程局、第四工程局、水电部引滦管理局、河北省大黑汀工程指挥部、水电部第十二工程局、葛洲坝工程局、长江科学院等兄弟单位,大力协作提供大量资料并给予方便,特此鸣谢。本文由丁宝瑛执笔编写。

尽管目前国内外在大坝温度控制和防裂的观点上甚至在理论上还有不同看法,但有一点是相同的,那就是,裂缝的出现会破坏大坝的整体性、降低混凝土的耐久性并可能导致渗漏。笔者认为:在坝体裂缝中,平行坝轴线的垂直贯穿性裂缝最危险,它可能因破坏坝的整体性而威胁坝的安全,因而在施工中和运行时应绝对防止。上游顺水流方向的深层裂缝,一般会引起渗漏和溶蚀,对特殊坝型(如大头坝)也会造成坝的整体安全问题,要小心从事。对于表面裂缝,由于其深度较浅,危害性一般较小,但其发生在不同部位,引起的危害也不同。例如基础约束部位,由于这里最终产生大面积拉应力,表面裂缝也可能发展成贯穿裂缝。对于脱离基础约束区的坝体,由于其变形比较自由,应力较小,较浅的表面裂缝的危害性也较小。一般在施工时发生的大坝裂缝,大多数是表面裂缝,如上所述,在一定条件下可能发展为贯穿性裂缝。因此,近年来国外对如何防止表面裂缝的问题给予了高度重视,发展了高分子类的化学材料,起到很好的保护效果。国内在这方面也有很大发展。

一般说来,大坝的大部分裂缝是在施工期内产生的,但是运行期间有些工程也产生了不少裂缝,笔者研究了国内外这类裂缝的情况后认为:这种情况的发生与设计原则关系极为密切,基本上可以说是设计考虑不周造成的。施工期产生的裂缝,处理不当或不彻底,在运行期有些裂缝会发展,有时会造成很大的问题,如我国柘溪大头坝的劈头裂缝的发展就属此类。

新中国建立以来,我国已经兴建了不少各类混凝土坝,目前已建或正在建设的百米以上混凝土坝有 25 座。由于种种原因,我国混凝土坝裂缝问题未能在实践中很好解决,近期正在施工的一些混凝土高拱坝,有的曾经发生过相当严重的裂缝,从而引起各方面的重视。

本文通过对国内典型混凝土坝裂缝情况的调研及裂缝原因的分析,希望总结出一些规律,提出一些问题,供以后在混凝土高坝设计和施工中制定防止裂缝的原则、方法和措施时考虑。

2 裂缝调查概况

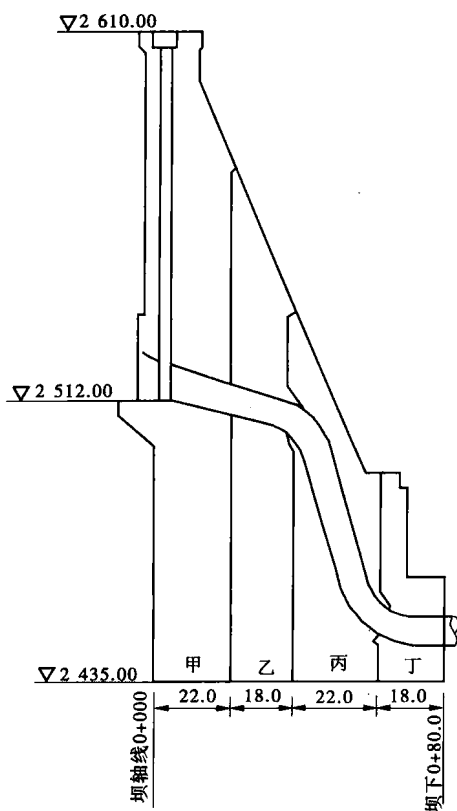


图1 龙羊峡拱坝剖面图(单位:m)

自 1987 年 1 月开始,到 1988 年 5 月先后多次对国内一些典型混凝土坝工程,进行了裂缝调查和资料收集的工作。这些工程计有:龙羊峡重力拱坝、紧水滩双曲拱坝、东江双曲拱坝、白山重力拱坝、乌江渡拱形重力坝、刘家峡实体重力坝、潘家口低宽缝重力坝、新安江宽缝重力坝、丹江口宽缝重力坝、柘溪单支墩大头坝、葛洲坝水电站、筏窝重力坝、桓仁单支墩大头坝、枫树坝空腹宽缝重力坝、大黑汀宽缝重力坝等共 15 座大坝,除了筏窝、葛洲坝和大黑汀坝高 50m 左右外,其余大坝均属高坝。最高的为龙羊峡重力拱坝,坝高 178m。最大混凝土工程量为葛洲坝工程,总方量为 990 万 m^3 。这些工程分布在全国各地。最北的白山重力拱坝位于吉林省第二松花江上;最南的枫树坝位于广东省东江干流上;最东的为浙江紧水滩拱坝;最西的有龙羊峡大坝。这些工程地处不同地区,其气象、水文、地质、坝型、坝高等都不同,所用混凝土标号、水泥、掺合料各异,分缝、分块也有差别,施工方法也不尽一样。因此,大坝的裂缝多少,裂缝严重程度也不同。表 1 列出了这些工程的一些重要数据,现摘其要者简述如下。

2.1 龙羊峡重力拱坝

龙羊峡水电站(拱坝剖面见图 1)位于我国西北青海

表 1

我国 15 座大坝有关裂缝问题统计 (一)

序号	工程名称	修建年代 (年)	坝型	坝高 (m)	基岩		混凝土量 (万 m ³)	混凝土标号	水泥		掺合料	外加剂	分块长度 (m)	分层厚度 (m)
					种类	弹模 (MPa)			品种	单位用量 (kg/m ³)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	龙羊峡	1982~1989	重力拱坝	178			154	R ₂₈ 200 S ₈ D ₅₀ R ₂₈ 200 S ₈ D ₂₅₀ R ₂₈ 150 S ₈ D ₅₀ R ₂₈ 250 S ₈ D ₂₅₀	永登 525 号 大坝硅酸盐	基础 混凝土 167	30% 粉煤灰	DH ₃ 松香热聚物	纵缝 18~22 横缝最大 24	一般 3 个别 6
2	紧水滩	1984~1987	双曲拱坝	102	花岗岩	河床: 1.8×10 ⁴ 两岸: 1.5×10 ⁴	30	R ₉₀ 250 S ₈₋₈ D ₁₀₀	江山 525 号 硅酸盐	148~170	20% 粉煤灰 37~43 kg/m ³	糖蜜 0.2%	最长 26.5 拱冠梁 24.6	一般 1.0~1.5
3	东江	1983~1989	双曲拱坝	157			94.7	R ₉₀ 350 S ₁₂ D ₁₅₀ R ₉₀ 300 S ₁₀ D ₁₀₀ R ₉₀ 250 S ₈ D ₁₀₀ R ₉₀ 200 S ₈ D ₅₀	湘东 525 号 普通大坝水泥	R ₉₀ 350 号 设计 249 实际 206 或 173 加 15% 煤灰	15% 粉煤灰	DH ₄ 801	最长为 35	1.0~2.0
4	白山	1976~1988	重力拱坝	147.5			163		抚顺 525 号大 坝 425 号矿渣大 坝	基础混凝土 193~217 施工时多用 20~50		金城 塑化剂 (0.2%)	25~40	近基岩处 3×1.5, 以上 3
5	乌江渡	1974~1982	拱形重力坝	165	灰岩	(1.8~2.0) ×10 ⁴	186.46	基础混凝土 R ₉₀ 200 S ₁₀ D ₂₅ 内部混凝土 R ₉₀ 150 S ₄ D ₂₅	主要为 水城水泥 500 号矿渣 500 号矿渣 500 号普通	154		OP 平平 加纸浆废 液 NNNO 木质素磺 酸钙	分为 5 仓 (1)28.5×23 (2)24.5×21.5 (3)18×20 (4)22.5×19 (5)26×18	一般为 3, 接近基岩 处为 1.5
6	刘家峡	1958~1961 停工 1964~1974	重力坝	148	云母石英 片岩	(2~3)×10 ⁴	91	基础混凝土 R ₂₈ 200 内部混凝土 R ₂₈ 150	抗酸 500 号 粉煤灰 大坝 600 号	基础混凝土 170~180		天津纸浆 废液, 松 香热聚物	最大 26.5 一般 22	基础 1.5, 一般 3.0
7	潘家口		低宽缝 重力坝	107	角闪斜 长片麻岩	1.2×10 ⁴	266		初期少量本溪 水泥, 以后固 定抚顺 600 号 和 500 号大坝 水泥	210	粉煤灰	木质素 磺酸钙	甲戊块 19~25 乙丙块 14 丁块 17~19	

续表 1(一)

序号	工程名称	修建年代 (年)	坝型	坝高 (m)	基岩		混凝土量 (万 m ³)	混凝土标号	水泥		掺合料	外加剂	分块长度 (m)	分层厚度 (m)
					种类	弹模(MPa)			品种	单位用量 (kg/m ³)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	新安江	1957~1963	宽缝重力坝	105			138	R ₂₈ 200 R ₂₈ 150 R ₂₈ 100	矿渣、火山灰、 硅酸盐 400 号	240 188 161	石煤渣 粉煤灰	上海、 天津纸 浆废液		
9	丹江口	1958~1968	宽缝重力坝	97			292	R ₂₈ 200 R ₂₈ 100	华新大坝 600 号 华新矿渣 500 号	216 163	用过 烧黏土	双阳纸 浆废液 松脂皂	13~30	≤3.0
10	柘溪	1958~1963	大头坝	104			65.8		火山灰 矿渣 多种	210 165 110	烧黏土 (20%~ 30%)	松叶碱水 剂、松香 热聚物		
11	葛洲坝	1970~1981	闸坝	47	粉砂岩 砾岩	0.33×10 ⁴	990	R ₂₈ 100~ R ₂₈ 350	华新 525 大坝 华新 425 矿大 荆门 525 大坝 425 矿大	159 185 246		木质素 磺酸钙		
12	夜窝	1970~1972	重力坝	50.3					本溪普硅 500 号				36.4~56.0	
13	柜仁	1958~1967	大头坝	78.5			129.4				早期掺烧 黏土和烧 白土 (20%~ 30%)			1.5~2.0
14	枫树坝	1970~1975	宽缝重力坝 空腹重力坝	95.1			80.5	R ₁₂₀ 170 R ₂₈ 170	五羊牌水泥	200 350				
15	大黑汀	1973~1979	宽缝重力坝	52.8			135.7	R ₂₈ 150 R ₂₈ 100 R ₂₈ 200	抚顺 600 纯大坝 抚顺 500 矿大 邯郸 400 矿大 本溪 600 纯大坝 水泥	按进场大平均 1974 年 240 1975 年 212 1976 年 208 1977 年 171	粉煤灰	糖密	横缝<20 纵缝长 20~50	初期 1~1.5, 以后为 2~3

表 1

我国 15 座大坝有关裂缝问题统计(二)

序号	工程名称	基础温度		最高温度 $T_{\max}$ 或内外温差 $\Delta T_{\text{内外}}$		上下层温差		浇筑温度			
		设计	实际	设计	实际	设计	实际	设计	实际		
1	龙丰峡	L<20m 23~26℃, L>20m 20~23℃	9号坝段较好 $\Delta T=16\sim 20^{\circ}\text{C}$; 其他 $\Delta T=21\sim 32^{\circ}\text{C}$	17	18	基础混凝土 $T_{\max}=26\sim 27^{\circ}\text{C}$ 上部水下混凝土 $T_{\max}=32\sim 34^{\circ}\text{C}$ 上部外部 $T_{\max}=35\sim 37^{\circ}\text{C}$	基础:28~32℃ 上部:32~40℃	20	21	基础约束区: 10~3月,5~8℃ 4月,5~10℃ 5~9月,≤13℃ 上部混凝土: 5~9月,16~18℃ 其他同上,有水管冷却	一般在夏季为 14~17℃
2	紧水滩	5~15号坝段 21~24℃,1~4号、 16~20号坝段 23~25℃	10号坝测得为 20~21℃			(1) $\Delta T_1=T_{\max}-T_{\text{平均}}=20^{\circ}\text{C}$ (2) $\Delta T_2=T_{\max}-T_{\text{月}}=15\sim 17^{\circ}\text{C}$	10号坝段测得基础为: $\Delta T_1=15.5^{\circ}\text{C}$, $\Delta T_2=11^{\circ}\text{C}$, 70 以上的 $\Delta T_1=21.2^{\circ}\text{C}$, $\Delta T_2=10.2^{\circ}\text{C}$	20℃		按温差计算	8~29℃ 基本上为每月气温
3	东江	19~22℃, 斜坡上 17~20℃			$\Delta T_{\text{内外}}<15^{\circ}\text{C}$ $T_{\max}$: 12~2月为 25~27℃, 3、11月为 28~30℃, 4、5、9、10月为 31~33℃,6~8月为 35℃		20℃, 当侧边 长期暴露 时为 17℃		15℃		1984 年 11 月以前较差, 以后基本满足设计要求
4	白山	4、5、10 月浇筑为 22℃;11~3 月 为 12~17℃;6~9 月 为 32~37℃			$T_{\max}$: 4、5 月为 30℃ 6~9 月为 40~45℃ 个别 50.4℃ 10 月为 30℃ 11~3 月为 20~25℃						4、5、10 月为 10℃左右; 11~3 月为 5~10℃; 6~9 月普遍≥20℃
5	乌江渡	22~23℃,陡坡加严; 基础 19℃; 2 号仓 21℃;3号仓 22℃	基础混凝土一般在 11~4月浇筑, $T_p\approx$ 10~15℃,一般满足 设计要求,13号坝 段为 18.7~25℃ ($T_i=10\sim 14^{\circ}\text{C}$)		$\Delta T_{\text{内外}}=23^{\circ}\text{C}$	由 4、6、8、13 坝段统计, 不少层都超过,最大为 30.6℃	间歇>28d 为老混凝土, $\Delta T_{\text{上下}}<20^{\circ}\text{C}$		(1)厚 3m 水管间距 1.5m×3m $T_p=14.5\sim 19.5^{\circ}\text{C}$ (2)层厚 1.5m 时, 水管间距 1.5m×1.5m $T_p=19\sim 24^{\circ}\text{C}$		基础混凝土一般在 11~4 月浇筑, $T_p\approx 10\sim 15^{\circ}\text{C}$, 上部混凝土在 5、6~8 月 浇筑的 $T_p\approx 23\sim 26^{\circ}\text{C}$
6	刘家峡	主坝 22~23℃; 副坝: 25~30m 长为 24℃, <25m 为 26℃	主河床三个坝段实 测统计为 26.5~ 34.5℃			基础混凝土 34~44℃	观测到 24.5℃			按采用温度措施拟定	基础混凝土 13~24℃

一般在夏季为
14~17℃

8~29℃
基本上为每月气温

1984 年 11 月以前较差,
以后基本满足设计要求

4、5、10 月为 10℃左右;
11~3 月为 5~10℃;
6~9 月普遍 $\geq 20^\circ\text{C}$

基础混凝土一般在 11~4
月浇筑, $T_p \approx 10 \sim 15^\circ\text{C}$,
上部混凝土在 5、6~8 月
浇筑的 $T_p \approx 23 \sim 26^\circ\text{C}$

基础混凝土 13~24℃

续表 1(二)

序号	工程名称	基础温度		最高温度 $T_{\max}$ 或内外温差 $\Delta T_{\text{内外}}$		上下层温差		浇筑温度	
		设计	实际	设计	实际	设计	实际	设计	实际
		16	17	18	19	20	21	22	23
7	潘家口	$L=24\text{m}$ 为 $20\sim 22^{\circ}\text{C}$ $L=17\text{m}$ 为 $22\sim 24^{\circ}\text{C}$ $L=14\text{m}$ 为 $23\sim 25^{\circ}\text{C}$	平均 $23.2\sim 25.2^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}$: 12~2月 20°C , 3月 $25\sim 26^{\circ}\text{C}$, 9月 32°C , 4月 $28\sim 30^{\circ}\text{C}$, 10月 30°C , 5月 $31\sim 33^{\circ}\text{C}$, 6月 $35\sim 37^{\circ}\text{C}$, 7 月 $38\sim 40^{\circ}\text{C}$, 8月 $36\sim$ 38°C , 11月 24°C	平均 33.2°C 最高 49.4°C	$<17^{\circ}\text{C}$			16.5°C
8	新安江								$<28^{\circ}\text{C}$
9	丹江口	$0\sim 0.2L$ 范围为 $15\sim$ 19°C , $0.2\sim 0.4L$ 范围 为 $18\sim 22^{\circ}\text{C}$, L 最大为 50m	1962 年以前 56 块 中, 基础温差大于 20°C 的有 38 块, 大 于 24°C 的有 24 块	$\Delta T_{\text{内外}} = 20^{\circ}\text{C}$					
10	柘溪								$26\sim 32^{\circ}\text{C}$
11	葛洲坝	$\frac{H}{L} \leq 0.5$, 粉砂岩为 23°C , 砾岩为 20°C ; $\frac{H}{L} >$ 0.5 , 粉砂岩为 $26\sim 28^{\circ}\text{C}$, 砾岩为 $22\sim 26^{\circ}\text{C}$				$17\sim$ 20°C (上 下各 $0.2L$)		6~8 月为 20°C 5、9 月为 18°C 4、10 月为 15°C 3、11 月为 12°C 12~2 月自然入仓	
12	傅家				$T_{\max} \approx 40\sim 50^{\circ}\text{C}$				
13	桓仁								
14	枫树坝		$\approx 20^{\circ}\text{C}$						
15	大黑汀	约束区: 强 弱	强约束区: 1974 年 $25\sim 27^{\circ}\text{C}$ 1975 年 $13\sim 27^{\circ}\text{C}$ 1976 年 $13.7\sim 29.5^{\circ}\text{C}$ 1977 年 $6.6\sim 22^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_{\text{内外}} = 21\sim 24^{\circ}\text{C}$ 允许 $T_{\max}$: 4 月为 30°C , 5 月为 34°C 6 月为 36°C , 7 月为 38°C 8 月为 34°C , 9 月为 32°C 10 月为 27°C , 11 月为 20°C	$T_{\max}$ (强约束区): 1974 年 $34\sim 36^{\circ}\text{C}$ 1975 年 $12\sim 36^{\circ}\text{C}$ 1976 年 $22.7\sim 38.5^{\circ}\text{C}$ 1977 年 $15.6\sim 31^{\circ}\text{C}$	正常块: 18°C 薄层: $10\sim 15^{\circ}\text{C}$		随采用层厚而不同	强约束区: 1974 年 19.1°C 1975 年 13.2°C 1976 年 12.7°C 1977 年 10.8°C 约为年平均

表 1

我国 15 座大坝有关裂缝问题统计表(三)

序号	工程名称	表面保护		裂缝数量	裂缝部位	裂缝概况											
		标准	实际			28											
		24	25	26	27	截至 1986 年 8 月,共 222 条											
1	花 峡	新浇混凝土 $\beta < 1$, 10~4 月过冬混凝土不拆模,模板外加 3cm 玻璃棉,第二年减半	钢模板外肋间填 5cm 厚岩棉板外加保温被,木棉外只挂保温被	380 多条,主体工程为 2.1 条/万 m^3	截至 1986 年 8 月:甲块裂缝最多,按顺序为甲、乙、丙、丁。一般水平表面裂缝较多	部位	甲	乙	丙	丁	拦污栅						
						水平缝	68	32	30	6							
						侧面缝	32	23	20	9	2						
						小计	100	55	50	15	2						
2	紧水滩	上游面 160m 以下喷珍珠岩 4cm,其他外部用 12cm 稻草垫或玻璃棉毯覆盖	1985 年以后采用聚苯乙烯泡沫塑料板(厚 2cm)	截至 1986 年,共有 316 条,水平裂缝 64 条	$\nabla 102 \sim 112m$ 几乎每层都有水平裂缝	以 9 号、10 号坝段裂缝较严重,水平裂缝也主要发生在该坝段											
3	东 江	寒潮时用 5cm 稻草袋覆盖	采用聚苯乙烯保温被效果显著	截至 1986 年 4 月,共发现 464 条	浇筑层面与侧面	项目	1983 年 11 月~1984 年 7 月	1984 年 11 月~1985 年 5 月	1985 年	1986 年 1~4 月							
						裂缝条数	177	74	179	34							
						平均(条/万 m^3)	26.4	4.17	12.18	30							
						性质	严重	一般	严重	微细	一般	微细	严重				
							41	62	74	0	2	72	1	13	165	0	8
4	白 山	上下游面用 5cm 厚木丝板,侧面用 10cm 厚草垫子	基本满足设计要求	截至 1982 年 6 月,共有 324 条	施工层水平缝 96 条,上游坝面 15 条,侧面 180m,纵缝上游面 10 条,下游面 32 条,15 号坝段 347.5m 高程有 4 条深层裂缝												
5	乌 江渡			截至 1982 年底:143 条,大坝为 126 条,基础贯穿 1 条(6 号坝段)	以溢流孔面板最多 37 条,8 号坝段 19 条,14 号坝段 11 条,9 号、13 号坝段各为 8 条	溢流面高标号 $R_{28} 250$,一级配砂率 49%,水泥用量为 $375kg/m^3$,底部留台级。帷幕灌浆上面为新浇混凝土压重小,灌浆压力为 4MPa											
6	刘 峡	9~5 月层面保温,11~3 月侧边拆模后立即保护 $\beta = 2 \sim 1.6$	冬天表面草袋保温	截至 1986 年 11 月,有少量表面裂缝,无贯穿裂缝,有记录的为 200 余条	廊道的外表面、副坝裂缝多于主坝	副坝上游面裂缝 50 条,占 25%;副坝下游面裂缝 60 余条,占 30%											

续表 1(三)

序号	工程名称	表面保护		裂缝数量	裂缝部位	裂缝概况
		标准	实际			
		24	25	26	27	28
7	潘家口	11月下旬~3月上旬用保温模板施工,顶面保护,冬季有暖棚		995条		贯穿裂缝3条,深层85条,其余为浅层。其中上游面498条,坝内311条,溢流面55条,灌浆廊道内41条,闸墩上44条,厂房33条。 $\nabla 154\text{m}$ 廊道17条
8	新安江					
9	丹江口			1964年3月以前为2273条,1954年以后为1059条,合计3332条	基础混凝土,浇筑层面,上游基础廊道内	在3332条裂缝中,基础贯穿裂缝18条,深层裂缝19条
10	柘溪				迎水面上共有垂直裂缝94条,水平裂缝26条	
11	葛洲坝			3300多条	2400多条发生在闸墩等薄壁结构上	一期工程3号船闸下闸首左右墙上深5m以下,二期工程1982年浇筑,1983年发现157条,1984年发现240条
12	蔺窰			641条	坝体、廊道、底孔、闸墩	施工期发生350条,最大缝深17.65m,缝宽1~3mm
13	桓仁			1964年调查为1986条	大头、空腹、廊道	大头部位699条
14	枫树坝			225条		上游面通水水库19条,贯穿到基岩5条,一侧贯通基岩26条,贯通全坝段43条,其他112条
15	大黑汀	无具体设计只有原则要求		940条	迎水面、背水面、廊道	迎水面154条,背水面65条,堰面254条,浇筑层面193条,侧墙84条,廊道81条,宽缝16条,闸墩两侧67条,其他36条