

水工混凝土建筑物 裂缝分析及其处理

邓进标 邹志晖 韩伯鲤等编

武汉水利电力大学出版社

水工混凝土建筑物 裂缝分析及其处理

邓进标 邹志晖 韩伯鲤等 编

武汉水利电力大学出版社

1998·武汉

(鄂)新登字 15 号

图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土建筑物裂缝分析及其处理/邓进标,邹志晖,韩伯鲤等编. —武汉:武汉水利电力大学出版社,1998.12

ISBN 7-81063-010-5

I.水… II.①邓… ②邹… ③韩… III.水工建筑物-裂缝-分析处理 IV.TV698.1

责任编辑:瞿扬清 封面设计:涂 驰

武汉水利电力大学出版社出版发行

(武汉市武昌东湖南路8号 邮编 430072)

湖北省汉川市地方税务局印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:374千字

1998年12月第1版 1998年12月第1次印刷 印数:0 001—1 500册

ISBN 7-81063-010-5/TV·1 定价:30.00元

《水工混凝土建筑物裂缝分析及其处理》

编 委 会

主 任 委 员： 曾凡荣

副 主 任 委 员： 邓进标 刘厚斌 闵富根 李芳元

主 编： 邓进标

副 主 编： 闵富根 邹志晖 陈霞龄 韩伯鲤

主要编写成员： 邹志晖 韩伯鲤 陈霞龄 黄桂林 龚义斌 叶文华 宋建新
刘光临 朱以文 张志斌 欧光华 陈容新 章贤东 陈德雄
周志立 田 斌 邓进标 孙裕球 胡丹兵 汪天翼 金日经
姜运胜 李庆国 张幼书 罗先启 黄 峰 刘德富 彭正光
卞肇瑜 王瑞雄 王万林 冯贤华 刘承玉 聂运钧 黄达海
匡奕方 李玉森 邹慧如 (以上排名不分先后)

前 言

新中国成立以来,我国为防洪、灌溉、发电、排涝等兴建了数以万计的各类水工建筑物,这些水利工程为工农业生产的发展,经济振兴起到了巨大的作用。

然而,有不少工程,经过多年运行,暴露出了不少问题,其中混凝土建筑物裂缝就是较为普遍的现象。据调查,无论是六、七十年代兴建的工程,还是80年代以后兴建的工程,混凝土构筑物都产生了不同程度的裂缝。如湖北省现有单机800 kW以上的大型泵站72座,其中裂缝比较严重的就有21座。裂缝出现的主要部位大都在泵站出水流道和电机大梁上。1980年建成的樊口泵站,单机容量6000 kW,投产运行后,由于地基不均匀沉陷、大型拍门撞击力、机组运行振动和温度应力的综合作用,引起主副厂房之间的沉陷缝被拉裂破坏,泵房上下四层和出水流道等部位发现100余条裂缝,总长9180 m,渗水面积达1880 m²,最近建成的闸口、杨林尾泵站和在建的分水泵站均在出水流道发现纵向裂缝。陈家冲溢洪道,1965年建成,1989年2月检查,发现在闸墩、底板、公路桥等部位发生各类裂缝有81条。马头寨溢洪道1988年3月浇筑混凝土,1992年混凝土浇筑完工,1991年2月陆续在进口底板、陡坡底板、侧墙及闸墩等部位发生69条裂缝,总长达931 m以上。同期施工的巩河水库溢洪道也产生类似裂缝。位于长江江堤的大型涵闸(新滩口、余码头、武穴等)均在底板和胸墙部位发生较为严重的裂缝。又如西北口混凝土面板堆石坝,1988年面板浇筑,1989年8月上游面板就产生裂缝58条,1990年检查,裂缝达262条。汉江杜家台分洪闸1956年建成,1983年3月检查,查出裂缝651条。葛洲坝一期工程各类建筑物出现裂缝3156条(平均407条/万m³混凝土)。丹江口大坝初期发生裂缝1050条,后期发展到3327条;刘家峡水电站初期发生200余条裂缝,炸除数万方混凝土;桓仁电站发生2000多条裂缝,迫使坝高降低。

总之,混凝土结构物出现裂缝是颇为常见的现象,究其原因有内部和外部原因。设计不周、计算简化、地基处理不善、分缝分块尺寸不合理,浇筑顺序不当、混凝土水化热、施工质量欠佳、运行工况、外界气温变化等,都可能引起混凝土裂缝。

因此,重视和研究混凝土结构物裂缝产生的原因,科学地提出裂缝处理和防裂的综合措施,对保持混凝土结构物的正常、安全运用、充分发挥工程效益都是非常必要和具有现实意义的。

鉴于上述情况,我们以湖北省为主将历年来处理和防治混凝土结构物裂缝的经验进行总结,从中选出若干有典型代表性的材料,并结合国内外学者目前所提出的研究成果及实践经验汇编成册,作为从事水工结构设计、施工工作人员的参考,也为防治和处理裂缝问题提供借鉴。

本书分上下两篇:上篇主要是从理论方面阐明有关裂缝成因、类型、特点以及防治和处理裂缝的措施和方法;下篇则是湖北省有关部门、部分大学院校、科研单位和专家教授结合工程实际归纳、分析、计算的成果以及混凝土裂缝的处理和防治裂缝问题的经验总结。由于篇幅限制,采取有选择性的摘录形式收入本书。因资料繁多,编者水平有限,书中反映的内容不够全面,错误遗漏之处在所难免,诚恳地欢迎广大读者批评指正。

本书在资料收集、编写出版过程中得到湖北省水利厅、武汉水利电力大学、湖北省水利科学研究所、田关泵站管理处、湖北省水利勘测设计院、漳河水库管理局、西北口水库管理处、当阳市水利局及其它有关工程部门大力支持和帮助，在此，谨表示衷心的感谢。

编 者

1998 年 4 月

目 次

前 言

上 篇 混凝土结构裂缝的理论分析

第一章 概 述	(1)
1.1 混凝土结构裂缝的基本认识	(1)
1.2 混凝土结构裂缝的处理原则	(1)
1.3 混凝土结构的微观裂缝与宏观裂缝	(2)
1.4 结构物的混凝土裂缝与漏水问题	(3)
1.5 裂缝对混凝土构件及结构物的危害	(4)
1.6 混凝土结构的抗裂韧性问题	(5)
第二章 混凝土裂缝的成因与分类	(8)
2.1 裂缝的分类	(8)
2.2 荷载裂缝	(8)
2.3 变形裂缝	(11)
2.4 施工裂缝	(15)
2.5 混凝土碱骨料反应裂缝	(18)
第三章 混凝土结构温度裂缝的计算原则和方法	(22)
3.1 温度裂缝的特点	(22)
3.2 温度场基本方程	(25)
3.3 混凝土的绝热温升与散热温升	(26)
3.4 温度场的计算	(29)
3.5 温度应力计算的原则和方法	(39)
第四章 裂缝的检查和控制	(53)
4.1 裂缝参数的测量与计算	(53)
4.2 裂缝检查	(53)
4.3 裂缝的控制	(55)

第五章 混凝土裂缝的修补和结构的补强加固	(63)
5.1 裂缝的一般修补方法	(63)
5.2 大体积混凝土的裂缝处理	(66)
5.3 结构构件裂缝修补加固实例	(78)
第六章 混凝土裂缝的灌浆修补	(86)
6.1 化学灌浆修补	(86)
6.2 水泥灌浆修补	(88)
6.3 灌浆施工工艺和效果分析	(89)
第七章 混凝土裂缝的嵌缝处理	(91)
7.1 嵌缝材料的选择	(91)
7.2 混凝土裂缝嵌缝修补要求	(94)
7.3 密封膏施工方法	(95)

下 篇 混凝土结构裂缝的调查、分析及处理

第一章 大型泵站建筑物裂缝情况调查	(99)
1.1 大型泵站为防洪排涝发挥了巨大的作用	(99)
1.2 泵站结构裂缝是一个较普遍存在的问题	(100)
1.3 泵站结构裂缝的特点	(101)
1.4 裂缝原因浅析	(103)
第二章 大型泵站水工建筑物裂缝分析	(108)
2.1 分水泵站混凝土裂缝概况及原因分析	(108)
2.2 裂缝计算的数学模型	(109)
2.3 计算成果分析	(112)
2.4 结论及建议	(112)
第三章 混凝土建筑物裂缝的成因及防止混凝土温度裂缝的综合措施	(114)
3.1 混凝土建筑物裂缝的危害性及原因分析	(114)
3.2 防止混凝土建筑物温度裂缝的综合措施	(125)
第四章 泵站出水流道裂缝原因分析	(135)
4.1 闸口二站出水流道裂缝情况	(135)
4.2 闸口二站出水流道的温度场分析	(138)
4.3 泵房结构的温度裂缝分析	(143)
4.4 结 论	(146)

第五章 大型泵站裂缝检测及分析	(147)
5.1 裂缝检测及裂缝现状	(147)
5.2 裂缝原因分析	(152)
第六章 巩河水库正常溢洪道裂缝成因及其危害性分析	(155)
6.1 概 述	(155)
6.2 计算原理	(158)
6.3 溢洪道加固前的工作性态	(162)
6.4 溢洪道加固后的工作性态	(164)
6.5 加固工程对坝体工作性态的影响	(164)
6.6 结论及建议	(165)
第七章 大型水库溢洪道混凝土底板出现裂缝原因分析及处理	(166)
7.1 裂缝产生原因分析	(166)
7.2 裂缝处理	(170)
7.3 溢洪道裂缝处理超声波检测	(177)
7.4 陈家冲溢洪道启闭梁混凝土裂缝补强处理	(183)
第八章 渡槽裂缝的发生与处理	(187)
8.1 排架出现的裂缝与断裂	(187)
8.2 渡槽槽身的裂缝与剥蚀	(190)
8.3 加固与处理措施	(192)
8.4 经济与效益	(194)
第九章 西北口面板堆石坝蓄水前面板裂缝调查及成因分析	(196)
9.1 概 述	(196)
9.2 混凝土面板裂缝状况及其特点	(197)
9.3 蓄水前面板荷载分析及计算	(199)
9.4 面板弹性温度应力的有限元分析	(207)
9.5 面板裂缝分布规律的理论分析	(212)
9.6 面板混凝土抗裂能力分析	(220)
9.7 结论及建议	(224)
第十章 余码头排水闸混凝土裂缝及处理方案	(226)
10.1 概 况	(226)
10.2 裂缝检测成果简介	(226)
10.3 裂缝成因分析	(228)
10.4 加固修补措施	(230)

上篇 混凝土结构裂缝的理论分析

第一章 概 述

1.1 混凝土结构裂缝的基本认识

混凝土是当今土木建筑工程中使用最广泛、应用量最大的一种建筑材料。因为它可以配制成不同强度、不同性能和不同形状的各种混凝土结构物,并具有较好的耐久性,除非受到侵蚀性环境的化学腐蚀或者遭到物理破坏,混凝土几乎具有无限的生命潜力。但是任何混凝土构件都是带裂缝工作的。裂缝的存在和扩展,使相应部位构件的承载力受到一定程度的削弱;同时结构物裂缝还会引起渗漏、保护层剥落、钢筋腐蚀、混凝土碳化、持久强度降低等,甚至危害建筑物的正常运行或缩短建筑物的使用寿命。另外,结构物的破坏常常是从裂缝开始的,所以,人们常常把裂缝的存在视作结构物濒临破坏的危险征兆。

1.2 混凝土结构裂缝的处理原则

大量的工程实践经验和理论分析说明,混凝土结构的裂缝是不可避免的,只是有些裂缝是无害的或其害处是可控制的。如果对建筑物的抗裂要求过严,必将付出太大的经济代价,甚至无法实现。科学的要求应是將裂缝的有害程度控制在允许范围之内。从国内外有关规范及一些重大工程的实际设计看出,对混凝土结构裂缝,客观上存在着两种处理原则:

第一种:设计规范对裂缝验算无明确规定。设计方法由设计人员选取。对伸缩缝的设置无严格限制,有许多工程根本不留伸缩缝,采取裂后处理的办法。采用这种处理原则的有日本、英国等。

第二种:设计规范对裂缝的验算有明确的规定和要求。对荷载裂缝,规定了裂缝验算公式和允许裂缝宽度的要求。为限制温度裂缝,明确提出隔一定距离需预留伸缩缝的要求。采用这种处理原则的有前苏联,德国,东欧及中国。

第一种处理原则自然难以控制混凝土的温度裂缝,就是第二种处理原则也不能完全避免混凝土裂缝的出现。在实际工程中,按规定要求留有伸缩缝的混凝土结构物同样会出现裂缝,这说明影响混凝土裂缝产生和发展的因素繁多而复杂。

1.3 混凝土结构的微观裂缝与宏观裂缝

采用现代观测设备发现在尚未承受外荷的混凝土和钢筋混凝土结构中存在肉眼不可见的微观裂缝(简称微裂)。其特点是细而短,肉眼不可见。一部分微裂缝存在于砂浆中;一部分存在于骨料与砂浆的界面上。这种裂缝一般产生于混凝土凝结硬化时,由于内应力或应力流的转向而致,它可用混凝土的构造理论加以解释。

混凝土是由骨料、水泥、水分和气体组成的非均质材料,因此,其内部同时存在着固相、液相和气相。在混凝土的凝固过程中,随着温度和湿度的变化而产生体积变形,但这种变形是不均匀的:水泥和水的作用随着水化热的降低,收缩变形较大,而骨料收缩很小(因水泥石的热胀系数大,骨料则较小)。然而它们之间又是相互胶结在一起的。因此,它们之间的变形相互约束,当水泥石因温降和失水干缩时,骨料因约束其变形而引起的内应力(此时水泥石本身的抗拉强度及骨料与水泥石的粘结强度极低),将造成在水泥石本身或骨料与水泥石的粘结面上出现肉眼看不见的细微裂缝(少数情况下也可以出现骨料自身的裂缝)。裂缝的危险主要发生在混凝土浇筑后的 10~40 h 内,即新浇混凝土几乎还未产生抗拉强度(或抗拉强度极其微小)之前,由于温差而形成较高的内应力或约束力所致。

这种细微裂缝的分布极不规则,且互不连贯,但在荷载或进一步产生温差和干缩的情况下,裂缝会扩展而逐步互相串通,从而出现较宽的肉眼可见的裂缝,称为宏观裂缝。

根据试验,当混凝土受压时,荷载在 30% 的极限强度以下时,微裂几乎不变动,在 30%~70% 极限强度时,微裂开始扩展并增加,到 70%~90% 极限强度时,微裂显著扩展并迅速增多,且微裂之间相互串连起来,直至完全破坏,如图 1-1。

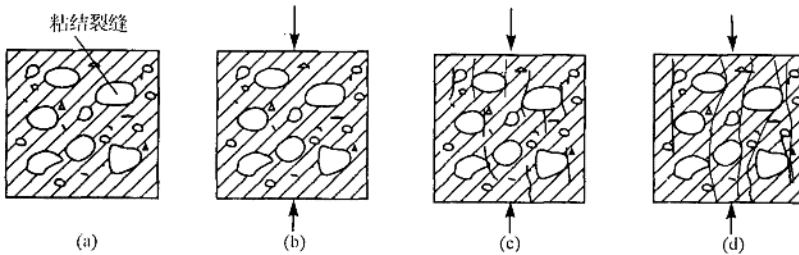


图 1-1 混凝土内部微细裂缝的发展

(a) 加荷前; (b) 荷载小于 30% 极限强度时;
(c) 荷载在 30%~70% 极限强度时; (d) 荷载在 70%~90% 极限强度时。

一般肉眼可见裂缝宽度范围约为 0.05 mm。因此,也可以说小于 0.05 mm 的不可见裂缝称为“微观裂缝”或“微裂”,大于等于 0.05 mm 的可见裂缝称为“宏观裂缝”。实际上通常所说的混凝土裂缝是微裂的扩展,在一般工业与民用建筑中微裂对使用无重大危害。因此,在钢筋混凝土设计规范(JJ-78 和 SDJ-78)中明确规定,对有些结构按其所处条件的不同,允许存在一定宽度的裂缝。

宏观裂缝也是可以控制的,随着混凝土制作工艺的不断改进,例如采用真空脱水,掺入各

种外加剂等,使微裂也逐步减少。高强度甚至超高强度的混凝土构件正逐步得到开发和运用。

1.4 结构物的混凝土裂缝与漏水问题

从物理概念上说,水分子的直径约 0.3×10^{-6} mm,可穿过任何肉眼可见的贯穿裂缝。根据试验资料:宽为 0.12 mm 的裂缝,开始每小时漏水量为 500 ml,一年后每小时漏水减少到 4 ml;宽为 0.25 mm 的裂缝,开始漏水量每小时 10 000 ml,一年后每小时减少到 10 ml,说明混凝土裂缝有自愈和自封现象。一般说来,宽度为 0.12 ~ 0.2 mm 的裂缝虽然不能完全胶合,但可逐渐自封。

根据试验,当裂缝宽度超过自愈范围以后,裂缝漏水量和裂缝宽度的三次方成正比。

石川(承压水)公式:

$$Q = \frac{L a^3 \rho H}{12 \sigma \eta d} \quad (1-1)$$

松下(非承压水)公式:

$$Q = \frac{c \rho g a^3}{12 \eta} \cdot L \quad (1-2)$$

式中 Q —— 每 10 mm 裂缝长度漏水量, cm^3/s ;

η —— 液体粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

g —— 重力加速度, m/s^2 ;

a —— 裂缝宽度, mm;

c —— 经验常数;

ρ —— 液体密度, kg/m^3 ;

L —— 裂缝长度, mm;

H —— 水头 m;

d —— 壁厚, m;

σ —— 经验系数。

如果把裂缝分散,即设法把具有 a 宽度的缝分散为 m 条,则 m 条裂缝的总漏水量为

$$\begin{aligned} Q &= \frac{c \rho g (a/m)^3}{12 \eta} \cdot L \cdot m \\ &= \frac{c \rho g a^3}{12 \eta m^2} \cdot L \end{aligned} \quad (1-3)$$

由(1-3)式可见,漏水量与 m^2 成反比,这一重要的规律给我们以启示,如果通过合理的配筋“分散裂缝”,即增加裂缝条数,减小裂缝宽度,可大大地减少渗漏。应用上述公式计算渗漏量,通常要比实际和试验的渗漏量大。

1.5 裂缝对混凝土构件及结构物的危害

1.5.1 产生渗漏

混凝土裂缝将使水工建筑物产生渗漏,渗漏的结果,一方面在压力水作用下使裂缝逐步扩宽和发展;另一方面当水渗入混凝土内部后将一部分水泥的某些水化产物溶解并流失。水泥水化产物中最容易被溶解的是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 它的被溶蚀会促使水泥水化物的水解。首先引起水解破坏的是水化硅酸三钙和水化硅酸二钙的多碱性化合物,然后是低碱性的水化产物(如 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$)的破坏,由此可能导致混凝土结构物的破坏。根据调查,由裂缝引起的各种不利结果中,渗漏水占 60%,这种危害主要出现在水工结构物、地下洞室、防水屋面和建筑物外墙等。

1.5.2 加速混凝土碳化

混凝土裂缝的存在,使空气中的二氧化碳极易渗透到混凝土内部与水泥的某些水化产物相互作用形成碳酸钙,这就是常说的混凝土碳化。在潮湿的环境下二氧化碳能与水泥中的氢氧化钙、硅酸三钙、硅酸二钙相互作用并转化成碳酸盐,中和水泥的基本碱性,使混凝土的碱度降低,使钢筋钝化膜遭受破坏,当水和空气同时渗入时,钢筋就产生锈蚀。同时由于混凝土碳化会加剧混凝土收缩开裂,导致混凝土结构物破坏。

国内外大量的研究资料表明,在非侵蚀性介质和正常的大气条件下,混凝土碳化深度 D 与时间 t 的平方根成正比,混凝土碳化特性曲线,可用幂函数方程表示。

$$D = \alpha \sqrt{t} \quad (1-4)$$

式中 α 为碳化速度系数,它与混凝土的水泥含量、水灰比、骨料品种及混凝土的渗透性能等密切相关。根据中国科学院混凝土研究所提供的资料,对普通混凝土 $\alpha = 2.32$;对轻骨料混凝土 $\alpha = 4.18$ 。由此可见,轻骨料混凝土由于其内部多孔性的影响,其碳化速度比普通混凝土快 0.8 ~ 1.0 倍。

碳化深度(D)和碳化速度系数(α)是用来表征混凝土碳化特征的主要指标,称为碳化特征值, D 和 α 越大,混凝土越易碳化。但由于影响混凝土碳化的因素十分复杂, D 和 α 并不能真正表示在某种影响因素作用下混凝土碳化特征值。

通常在空气中二氧化碳的浓度很低时,混凝土的碳化速度非常缓慢,但当混凝土不密实或布满裂缝时,则可能在 1 ~ 2 年内就使混凝土钢筋保护层完全碳化。

1.5.3 降低混凝土抵抗各种侵蚀性介质的耐腐蚀性能力

混凝土腐蚀有三种类型:

(1)溶蚀型混凝土腐蚀。即当水通过裂缝渗入混凝土内部或是软水与水泥石作用时,将一部分水泥的水化产物(如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)溶解并流失,引起混凝土破坏。

(2)酸盐(酸性液体)腐蚀和镁盐腐蚀。这类腐蚀的主要生成物是不具有胶凝性,且易被水溶解的松软物质。这类物质能被通过裂缝或孔隙渗透入混凝土内部的水所溶蚀,使混凝土中的水泥石遭受破坏。

(3)结晶膨胀型腐蚀。它是混凝土受硫酸盐的作用,在裂缝和混凝土孔隙中形成低溶解度的新生物,逐步累积后将产生巨大的应力使混凝土遭受破坏。

1.5.4 影响混凝土结构物的结构强度和稳定性

混凝土裂缝直接影响混凝土结构物的结构强度和整体稳定性。轻则会影响建筑物的外

观、正常使用和耐久性,严重的贯穿性裂缝则可能导致混凝土结构物的完全破坏。

目前在国内外的实际工程中,大量使用泵送大流态混凝土,采用所谓“富配比”混凝土,其含砂率由普通混凝土的 35% ~ 36% 增加到 42% ~ 45%,水灰比由 0.5 增加到 0.7。水泥用量增加、规模不断扩大、结构物型式不断复杂化、施工速度不断增加等,使混凝土结构物的裂缝概率大为增加,控制裂缝的难度不断增大。所以控制裂缝的技术研究与开发工作显得越来越重要。

1.6 混凝土结构物的抗裂韧性问题

所谓“韧性”是指使材料达到破坏时单位体积所需要的功(能量)。也有把韧性看作是材料的“粘性强度”,即材料不仅须有足够的强度,而且要有良好的变形能力。其变形包括弹性和粘性两部分,其中粘性包括塑性和徐变。韧性按能量概念可用应力-应变关系来定量表示。把材料应力-应变曲线(从加荷直至完全破坏的全过程)所包围的面积叫作材料的韧性,该面积表示材料达到破坏时所需要的功,如图 1-2 所示。某材料的应力-应变曲线包围的面积 Ω 即为材料韧性,可用公式表示如下:

$$\Omega = \int_0^{\epsilon_u} \sigma \, d\epsilon \quad (1-5)$$

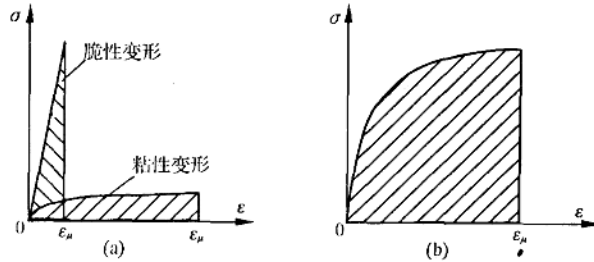


图 1-2 韧性示意图

(a) 韧性不好 (b) 韧性良好

由图 1-2 可见,虽有很高的强度,但变形很小的材料,破坏所需的单位能量小,韧性不好,如普通玻璃等脆性材料;或虽有很大的粘性变形,但强度太低,韧性也不好,如橡皮,其特性如图 1-2(a)所示。只有强度和抗拉变形能力兼有的材料才是一种良好韧性材料,如图 1-2(b)所示。

关于材料“韧性”的研究是 50 年代金属物理研究方面的一项重要进步,是断裂力学中的一项基本课题。在较均质的金属材料领域中,断裂力学获得了有效的应用,在那里“断裂韧性”有明确的定义,并且可用若干定量的物理力学参数加以表达。但是对于钢筋混凝土和混凝土,其自身破坏的韧性与单一均质的金属材料的韧性(单一裂纹扩展破坏)是有区别的。

纯混凝土是一种多相复杂的组合体,其抗压强度较高,但抗拉强度很低,约为其抗压强度的 10%,如作为单独承拉或受弯结构使用,由于其韧性很差易出现低应力脆断。钢筋混凝土

结构则大大改善了混凝土结构“韧性”，它不会因混凝土内部裂缝传播发展导致低应力脆断，但钢筋混凝土本身组合构造的弹塑性质及徐变性质对裂缝扩展影响极其复杂。因此，对于混凝土和钢筋混凝土不能直接应用均质的金属材料的断裂力学的定义和计算公式来确定其韧性参数。

在目前，结合混凝土及钢筋混凝土结构的受力特点，只是引用断裂力学材料韧性的基本概念及某些原则，并把“延性比”或“韧性率”的概念移植到混凝土结构的裂缝控制中来。所谓延性比(韧性率 G) 就是结构受力破坏过程中极限变形与屈服变形之比。按此定义：

$$G = \frac{\text{极限破坏变形}}{\text{屈服时的变形}}$$

当构件受弯时：

$$G = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} \quad (1-6)$$

当构件受轴向拉压时：

$$G = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \quad (1-7)$$

式中 φ_u ——极限转角；
 φ_y ——屈服转角；
 ϵ_u ——极限拉伸；
 ϵ_y ——屈服拉伸。

这种定义对外荷载及变形作用下的结构都同样适用。结构具有足够的韧性率可以避免偶然超载引起的脆性破坏，在破坏前可以给人以预兆，并能较好地适应约束应力状态下对变形的要求。材料的极限拉伸也是材料控制裂缝能力方面的重要评定指标，是材料韧性的一种参数。但是上述表达式不能完全反映钢筋混凝土结构物的抗裂及扩展韧性。因为钢筋混凝土结构物在变形以及荷载作用下承拉或受拉区应有三个阶段的变形特征：① 出现裂缝时的变形；② 钢筋到达屈服时的变形；③ 钢筋到达极限强度时的变形。

因此，除了③与②之比所表达的破坏韧性之外，尚有②与①及③与①所表达的抗裂韧性特征。因此，为了评定结构物的抗剪能力和裂缝扩展程度，有关专家建议采用极限拉伸与约束拉伸之比作为“结构物抗裂度因子 k_0 ”，借以定量评定其抗裂能力：

$$k_0 = \frac{\epsilon_p}{(\alpha T + \epsilon_y + \epsilon_s) R} \quad (1-8)$$

式中 ϵ_p ——混凝土或钢筋混凝土主要部位(裂缝控制部位)的极限拉伸，mm/mm；
 αT ——相应部位的自由相对降温温差变形，mm/mm；
 ϵ_y ——相应部位的自由收缩相对变形，mm/mm；
 ϵ_s ——由差异沉降或其他变形因素在结构相应部位引起的相对拉伸变形，mm/mm；
 R ——约束系数。

$0 \leq R \leq 1$ ， R 的精确值由约束变形、自由变形之比确定，一般情况下，作为估算 R 取值如下：轻微约束取 0.1 ~ 0.2，中等约束取 0.4 ~ 0.6，强约束取 0.8 ~ 1.0。“结构物抗裂度因子 k_0 ”与结构抗裂能力关系如表 1-1 所示。

表 1-1 k_0 与结构抗裂能力关系

k_0	抗裂能力	裂缝状况
< 0.5	很 低	严重开裂
$0.5 \sim 0.8$	较 低	开 裂
$0.8 \sim 1.0$	一般(中等)	轻微开裂
> 1.0	较高(良好)	无宏观裂缝

混凝土的极限拉伸与其材料组成和荷载性质及加荷速度有关,就国内大多数试验结果而言,混凝土在静荷作用下其极限拉伸约为 1×10^{-4} 左右。美国对华西坝混凝土的试验研究表明,混凝土的极限拉伸一般是 1×10^{-4} ,但当快速加荷时,该值降至 0.8×10^{-4} ,而慢速加荷时可提高到 1.6×10^{-4} 。

对于钢筋混凝土,不考虑徐变影响,只考虑配筋的影响时,其极限拉伸为:

$$\epsilon_{pa} = 0.5 R_L \left(1 + \frac{p}{d} \right) \times 10^{-5} \quad (1-9)$$

式中 R_L ——混凝土抗拉标准强度;

p ——配筋率;

d ——钢筋直径,mm。

近几年来,在改善混凝土韧性方面进行了大量的试验研究工作,诸如在混凝土中掺入各种纤维(如钢纤维混凝土),掺入化学外加剂等,可大大改善混凝土韧性,并已取得实用性的成果。

第二章 混凝土裂缝的成因与分类

2.1 裂缝的分类

混凝土及其构件裂缝成因复杂而繁多,一般裂缝的分类如下。

2.1.1 按裂缝的成因

- (1)荷载裂缝 由施工和运行阶段的静荷载和动荷载所引起的裂缝。
- (2)变形裂缝 由温度和湿度变形及不均匀沉陷等所引起的裂缝。
- (3)施工裂缝 由于施工操作(如浇捣、脱模、养护、堆放、运输、吊装等)引起的裂缝。
- (4)碱骨料反应裂缝 由于混凝土骨料中某些矿物与混凝土微孔中的碱性溶液间的化学反应引起体积膨胀而导致的裂缝。

2.1.2 按裂缝的深度

- (1)表面裂缝 仅混凝土表面出现的浅层裂缝,如干缩裂缝、塑性裂缝等。
- (2)深层裂缝 裂缝由混凝土内部延伸至部分结构面,这种裂缝一般要影响结构安全,要进行必要处理。
- (3)贯穿裂缝 裂缝延伸至整个结构面,将结构分离,严重影响和破坏结构的整体性和防渗性。

2.1.3 按裂缝的活动性质

- (1)死缝 裂缝的宽度和长度已经稳定,不再发展。
- (2)准稳定裂缝 裂缝开展随季节或某因素呈周期性变化,长度变化缓慢或不变,这种运动属稳定的运动。例如许多防水工程冬季渗漏,夏季停止就是这种裂缝的表现。
- (3)不稳定裂缝 裂缝的开度和长度随外界因素的变化而增长。例如荷载裂缝的产生和发展。

2.1.4 按裂缝的方向和形状

水平裂缝、垂直裂缝、纵向裂缝、横向裂缝、斜向裂缝及放射裂缝等。

上述裂缝综合表示在图 2-1 中。

2.2 荷载裂缝

在常规计算中由主应力所引起的裂缝,称为荷载裂缝。荷载裂缝有两种:外荷载直接应力裂缝;荷载及结构次应力裂缝。

2.2.1 外荷载直接应力裂缝

由外荷载(如静、动荷载)引起的直接应力在结构体内超过一定数值后在相应部位产生裂缝。这类裂缝在荷载作用下的典型表现形式如表 2-1 所示。