

混凝土温度—应力检测 原理与装备

*Principle and Equipment for Concrete
Temperature-Stress Detection*

胡曙光 陈 静 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

混凝土温度—应力检测 原理与装备

Principle and Equipment for Concrete
Temperature-Stress Detection

胡曙光 陈静 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是国内第一本关于约束条件下混凝土温度—应力检测原理与装备的专著。

全书共分7章,详细介绍约束条件下混凝土温度—应力检测的理论、关键技术和装备研制及其工程应用。系统分析了混凝土抗裂性能评价及混凝土温度—应力检测原理,提出并解决了约束条件下混凝土温度—应力检测的主要关键技术:无接触激光位移测量技术,提高了测量精度;自然环境模拟技术,设计一种新型的分流式内加湿型环境箱,可实现高精度的温度、湿度和风速调节;拉/压力传感器的量程切换技术,解决测量精度与量程扩展的矛盾,保证了混凝土不同凝结阶段应力的精确测量。应用这些关键技术,研制了新型约束可调式单轴温度—应力开裂试验机,可满足混凝土基准试验、大体积混凝土温度控制、等温控制试验、约束度变化试验、环境条件模拟试验、裂缝观测等六大功能要求,整体水平达到国外同类装置的水平,且性价比高。以实际工程混凝土温度—应力的影响分析为例,介绍了新型约束可调式单轴温度—应力开裂试验机的应用。

本书可供材料科学与工程、控制科学与工程和检测技术领域的高等院校、科研院所以及工程建设单位的教学、科研、工程技术人员和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土温度—应力检测原理与装备/胡曙光,陈静著.

北京:国防工业出版社,2009.1

ISBN 978-7-118-06041-6

I.混... II.①胡...②陈... III.混凝土结构—温度变化—应力分析 IV.TU370.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第177769号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 121千字

2009年1月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 28.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

我国正处于基础设施建设的高速期,混凝土工程用量巨大,减少或避免混凝土开裂对提高混凝土的工程质量和安全性意义重大。检测与评价混凝土的开裂敏感性是采取有效措施减少或避免混凝土开裂的前提。混凝土结构施工中裂缝的产生与早期混凝土的力学性能(主要是温度—应力)有直接关系。在大体积混凝土结构中,温度变化对结构的应力状态具有重要影响。实际混凝土构件的应力发展,不仅取决于自身变形和温度变形的程度,还取决于结构约束条件。

温度—应力试验是检测混凝土开裂敏感性的有效方法,但目前国内外混凝土温度—应力检测装备均处于研究试验阶段,其性能还不能满足实际要求。

武汉理工大学结合国家“十五”、“211 工程”等重点建设项目,开展了混凝土温度—应力检测原理与装备系统的研究工作,其研究成果凝聚成本书的核心内容。主要内容如下:

总结国内外研究现状,系统研究了混凝土抗裂性能评价及混凝土温度—应力检测的原理。在此基础上,利用控制科学和材料科学交叉的优势,将控制理论、计算机控制技术与材料科学理论相互融合,采取理论分析和实际相结合的方法,提出并解决了约束条件下混凝土温度—应力检测的主要关键技术:

(1) 无接触激光位移测量技术,提高测量精度。

(2) 自然环境模拟技术。设计一种新型的分流式内加湿型环境箱,可实现高精度的温度、湿度和风速调节,便于研究温度、湿度和风速变化对混凝土性能的影响。

(3) 拉/压力传感器的量程切换技术。采用电机技术与软件相结合的方法来实现,解决测量精度与量程扩展的矛盾,保证混凝土不同凝结阶段应力的精确测量。

应用这些关键技术,研制了新型约束可调式单轴温度—应力开裂试验机,实现了检测数据采集自动化、数据显示图形化,试验机操作数字化。配备先进的裂缝宽度检测仪器,整体结构设计新颖,可操作性强。拓展了功能范围,可满足混凝土基准试验、大体积混凝土温度控制、等温控制试验、约束度变化试验、环境条件模拟试验、裂缝观测等六大功能要求。整体水平达到国外同类装置的水平,部分指标超过国外同类设备,性价比较高。目前新型试验机已通过试运行,取得具有自主知识产权的研究成果,申报国家专利4项(其中发明专利2项,已获得实用新型专利2项),已于2006年6月通过了教育部组织的“十五”、“211工程”建设工作的验收。以广州珠江黄埔大桥的锚碇混凝土、四川雅泸高速公路黑石沟大桥和腊八斤大桥的承台大体积混凝土、武汉阳逻长江大桥的锚碇和承台大体积混凝土、广州东沙大桥的承台大体积混凝土等为例,介绍了新型约束可调式单轴温度—应力开裂试验机的工程应用。

全书共7章,主要研究和撰写工作由胡曙光、陈静完成,王发洲参加了第4章、第6章的部分研究和撰写工作,丁庆军参加了第7章的试验和撰写工作。研究过程中,得到了国家“十五”、“211工程”重点建设项目资助,以及武汉理工大学硅酸盐材料工程教育部重点实验室、武汉理工大学自动化学院、长沙亚星数控技术有限公司和武汉康德仪器设备有限公司的支持,在此谨表谢意!感谢出版社的大力支持和责任编辑的辛勤工作!

约束条件下混凝土温度—应力检测是本领域的研究前沿与热点。

本书谨作尝试。大量深入的研究有待控制界和材料界各位同仁的共同推动。限于作者的水平,书中错误和疏漏之处难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2008年3月于武汉理工大学

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 研究背景、意义和方法	1
1.1.1 研究背景和意义	1
1.1.2 国内外研究现状	2
1.1.3 研究方法	6
1.2 混凝土的早期力学性能	7
1.2.1 弹性模量	7
1.2.2 温度应力	8
1.2.3 混凝土的应变	9
1.2.4 混凝土的体积变形及早期收缩的变形特征	12
1.3 混凝土早期应力发展和约束程度对其抗裂性能的影响	14
1.3.1 混凝土结构约束形式	14
1.3.2 混凝土约束试验与约束程度	15
1.3.3 约束程度对抗裂性能的影响	16
1.4 混凝土内部温差和湿度变化对其抗裂性能的影响	17
1.5 混凝土早期开裂敏感性评价试验及其指标	18
1.5.1 混凝土早期开裂敏感性评价的试验参数	18
1.5.2 混凝土早期开裂敏感性评价的试验指标体系	20
1.5.3 混凝土早期开裂敏感性评价的评价流程	21
1.6 本章小结	22
第 2 章 混凝土温度—应力检测要求与装置	23
2.1 混凝土温度—应力检测的要求	23

2.1.1	混凝土温度—应力检测的基本要求	23
2.1.2	混凝土温度—应力检测装置——单轴约束试验装置	24
2.1.3	混凝土温度—应力检测试验对设备的要求	24
2.2	固定横梁的单轴约束试验机	24
2.2.1	固定横梁的单轴约束试验机的结构	24
2.2.2	固定横梁的单轴约束试验机的测试参数	25
2.2.3	固定横梁的单轴约束试验机的主要功能	27
2.3	约束可调式单轴温度—应力试验机	27
2.3.1	约束可调式单轴温度—应力试验机的结构	28
2.3.2	约束可调式单轴温度—应力试验机的试验方法	29
2.4	国内外典型约束可调式单轴温度—应力试验机性能分析	32
2.4.1	清华大学混凝土开裂试验机性能分析	32
2.4.2	瑞典 W+B 公司混凝土温度—应力试验机性能分析	33
2.4.3	其他混凝土温度—应力试验机	34
2.5	新型试验机的研发方向	35
2.6	本章小结	36
第 3 章	混凝土温度—应力检测的关键技术	37
3.1	混凝土温度—应力检测关键技术的提出	37
3.2	无接触激光位移测量技术	38
3.2.1	无接触式激光位移测量装置结构	39
3.2.2	无接触测量方法原理	40
3.2.3	无接触式激光位移测量装置的优点	43
3.3	自然环境模拟技术	44
3.3.1	环境箱控制系统组成	44
3.3.2	环境箱结构组成	44
3.3.3	环境箱的工作原理	45
3.3.4	环境箱的优点	46
3.4	拉/压力传感器的量程切换技术	47
3.4.1	小量程传感器测量量程切换方法	47
3.4.2	拉力超量程量程切换方法	48
3.4.3	压力超量程量程切换方法	49

3.5 本章小结	50
第4章 新型约束可调式单轴温度—应力开裂试验机的研制	52
4.1 主要功能与技术指标	52
4.1.1 新型试验机的主要功能	52
4.1.2 新型试验机的主要技术指标	54
4.2 结构与系统组成	54
4.3 控制系统	57
4.3.1 新型试验机的控制系统组成	57
4.3.2 位置荷载测控子系统	59
4.3.3 温度湿度控制子系统	61
4.4 混凝土试件裂纹图像采集与处理	65
4.4.1 混凝土裂纹检测方法	65
4.4.2 混凝土试件裂纹图像采集与处理技术	66
4.4.3 混凝土试件裂纹图像采集与处理系统组成 及工作原理	67
4.4.4 基于组合滤波器的裂纹图像预处理	68
4.4.5 基于迭代剪枝算法的裂纹图像分割	70
4.4.6 混凝土试件裂纹识别	71
4.5 供配电系统和混凝土试件运送装卸系统	72
4.5.1 供配电系统	72
4.5.2 混凝土试件运送装卸系统	72
4.6 新型试验机的工作过程	75
4.7 本章小结	75
第5章 基于虚拟仪器技术的新型试验机软件开发	77
5.1 虚拟仪器技术和 LabVIEW 软件	77
5.1.1 虚拟仪器的概念与特点	77
5.1.2 虚拟仪器的硬件和软件	78
5.1.3 LabVIEW 软件	79
5.2 新型试验机的软件功能设计	81
5.2.1 软件设计要求	81

5.2.2	工控机软件功能设计	81
5.2.3	SCC 级 PC 监控软件功能设计	82
5.3	程序设计	83
5.3.1	主程序设计	83
5.3.2	数据库设计	84
5.3.3	数据采集	86
5.3.4	约束控制方式	87
5.3.5	温度和湿度控制	88
5.3.6	数据维护	89
5.3.7	各 vi 文件说明	90
5.4	本章小结	91
第 6 章	系统调试与试验方法	93
6.1	设备安装	93
6.2	单元调试	94
6.3	整机调试	95
6.3.1	实施方案	95
6.3.2	试验内容——混凝土配比及力学性能	95
6.4	试验方法	97
6.4.1	试验操作步骤	97
6.4.2	试验操作注意事项	98
6.4.3	试验结果分析方法	98
6.5	软件操作说明	98
6.5.1	试验控制和数据采集窗体	98
6.5.2	数据维护	101
6.5.3	分配温度通道	102
6.6	新型试验机的性能和特色	102
第 7 章	工程应用实例	105
7.1	广州黄埔大桥	105
7.1.1	工程背景	105
7.1.2	锚碇混凝土配合比设计	107

7.1.3	混凝土单轴温度—应力试验与抗裂性评价	108
7.1.4	应用效果	109
7.2	四川雅泸高速公路黑石沟大桥和腊八斤大桥	110
7.2.1	工程背景	110
7.2.2	承台大体积混凝土配合比设计	112
7.2.3	混凝土温度—应力试验及抗裂性能评价	113
7.2.4	应用效果	114
7.3	武汉阳逻长江大桥	116
7.3.1	工程背景	116
7.3.2	锚碇和承台大体积混凝土配合比设计	117
7.3.3	承台大体积混凝土温度—应力试验及抗裂性能评价	118
7.3.4	应用效果	119
7.4	广州东沙大桥	120
7.4.1	工程背景	120
7.4.2	承台大体积混凝土配合比设计	121
7.4.3	混凝土温度—应力试验及抗裂性能评价	122
7.4.4	应用效果	123
结束语		125
参考文献		129

第1章 绪 论

水泥混凝土是世界上应用最广、用量最大、几乎随处可见的建筑材料,广泛应用于工业与民用建筑、港口、道路桥梁和大坝等工程中。如果一种混凝土结构在温度或湿度变化引起体积变化的情况下能够自由收缩和膨胀,那么这种结构的混凝土就不会开裂。实际上,混凝土的各部分在不同程度上都受到一定的约束,它不能自由收缩,当应变产生的拉应力大于抗拉强度时便产生裂缝。

当今,我国正处于基础设施建设发展的高速期,混凝土工程量巨大,因而此问题的严重性和需要解决的紧迫性就更为突出。高精度抗裂试验检测设备的缺乏极大地限制了相关研究水平的提高和工程技术的进步。因此,无论是混凝土材料理论研究,还是实际工程难题攻关,都迫切需要开发出先进的混凝土抗裂试验检测装备。

1.1 研究背景、意义和方法

1.1.1 研究背景和意义

混凝土的开裂问题非常严重和普遍。随着混凝土技术的进展,开裂问题,尤其是早期各种收缩现象因受约束产生应力而导致的开裂,已经成为结构混凝土劣化的重要原因。其中,大体积混凝土的裂缝问题更为人们所重视。

大体积混凝土具有体积大、数量多、工程条件复杂和施工技术要求高等特点,在设计和施工中除了必须满足强度、刚度、整体性和耐久性的要求外,还必须控制温度变形裂缝的开展,保证结构的整体性和建筑物的安全。因此,控制温度应力和温度变形裂缝的扩展,是大体积混凝土设计和施工中的一个重要课题。

过去大体积混凝土的定义主要根据几何尺寸,当混凝土的几何尺寸大于某一尺寸或可能出现的混凝土内外温差超过某一定值时,就被认为是大体积混凝土,国际上一般采用 $0.8\text{m} \sim 1\text{m}$ 作为界限。20 世纪 80 年代以后,大体积混凝土的定义有了改变,美国混凝土协会给出了新的定义:任何现浇混凝土,其尺寸达到必须解决水化热及随之引起的体积变形问题,以最大限度减少开裂影响,即成为大体积混凝土。从这点上就可以看出,人们越来越重视大体积混凝土裂缝问题^[1-3]。

因此,对材料的抗裂性能进行评价并作为设计、施工与原材料选用的依据,已成为当今一些工业国家混凝土研究领域的热点与难点。与之相适应,国际上对可模拟工程实际条件的抗裂试验设备的研制开发也成为热点与难点。

混凝土温度—应力检测原理与装备系统的研制这一课题,围绕应力开裂试验功能的增强和使用的便捷性,探索适合这种试验机的关键技术并进行理论和试验研究,其研究成果将促进混凝土温度—应力检测装备的改进,扩展其功能,推进混凝土抗裂性能的评价技术的发展,对我国土木、水利、建筑工程领域混凝土结构的研究与应用很有必要,有助于缩短我国在同类设备与国际先进水平的较大差距,具有理论和实际工程意义。

1.1.2 国内外研究现状

国外从 20 世纪 30 年代就开始关注混凝土早期开裂问题。20 世纪 30 年代在北美一座坝体的施工过程中,人们就已经认识到大体积水工混凝土会因水泥水化放热而产生明显的温升,并在降温过程中因体积收缩受约束而产生开裂,此后又发现大面积混凝土结构若失水收缩也会出现显著的裂缝,并因此根据施工经验采用掺火山灰、浇水、潮湿覆盖养护等预防措施。

在以后的几十年中,各国学者对影响开裂的混凝土早期力学性能、水化规律以及环境因素等做了广泛而深入的试验研究。然而那时的大多数试验都集中于对混凝土某种特性的研究,不同研究者采用的试验方法又各不相同,致使研究结论很难比较,且对早期混凝土迅速而复杂的收缩规律和强度发展、徐变特性等缺乏有效的试验手段和系统分析。因此,这些研究对混凝土早期收缩与开裂的认识不够深入。

混凝土在不受荷载作用的情况下,各种物理的或化学的因素会引起局部或整体的体积变化。如果混凝土处于自由的非约束状态,那么体积变化一般不会产生不利影响。但是,实际使用中的混凝土总会受到内部或外部的制约,处于不同的约束状态,因此,体积变化在约束的条件下将产生材料内部的拉应力,并由此形成变形、开裂以及破坏。

近20年来,在以约束为前提条件进行混凝土开裂的试验和研究方法方面,主要意见和相关工作包括:

(1) 理论研究,探讨早期混凝土水化机理、热力学性能、变形性能,尤其是混凝土早期黏弹性和徐变、强度、弹性模量以及损伤等随时间发展的规律。

(2) 探索和改进混凝土的受约束试验方法,尤其是适用于混凝土早期变形行为和针对特定混凝土式样的试验方法。

目前,主要研究开发的约束试验方法有平板约束试验、环约束试验和单轴约束试验等三种,其各自的特点如下^[4]。

1. 平板式约束收缩开裂试验

试件为平板状,试件的变形受到底部或两端的钢模板或钢架的约束。该试验可以提供较多的约束种类,如端部约束(可以两端或者周边双向约束)、底部约束、底部和端部同时提供约束等,处于双向受约束状态的板状试件较好地符合了工程实际中的板状构件的开裂情况,能较为明显地反映出混凝土裂缝随龄期的发展变化,而且具有简单、易操作的特点。由于它难以提供均匀性的约束,试验结果对试件尺寸、材料特性、环境状况等的依赖性很大,不利于相互比较及标准化,约束程度不明确,进行精确的理论分析比较困难。因此,它主要应用于研究混凝土的塑性收缩开裂试验。

2. 环形约束收缩开裂试验

试件为圆环状,约束来自外钢环。砂浆或混凝土沿钢环周边浇筑,其产生的收缩受到金属内环的约束。圆环形试件的构造不会产生应力集中,它允许试件产生体积变化和应力发展,包括徐变松弛。同一半径上的应力大小比较均匀,在一定范围内,试件尺寸、边界情况对试验结果影响不大。试验装置简单,试验方法易操作,易于推广及标准化。其缺点是混凝土受力状态与实际工况不符,约束程度不明确,收缩状态表里不一。受试件尺寸等因素的影响,用于水泥砂浆的抗裂试验较好,用于混凝土抗裂试验效果一般。因此,它主要应用于水泥砂浆的塑性收缩开裂试验。

3. 单轴约束收缩试验

试件为棱柱体,约束由两端提供,受力状态较好地符合了杆状试件的收缩开裂情况,物理意义明确,约束程度明确,可进行素混凝土的试验,也适用于配筋混凝土的试验,试验结果基本不受试件尺寸限制。它可以测定一系列混凝土的早期力学性质(如应变、应力、弹性模量、徐变和抗拉强度等),以及不同程度轴约束条件下的混凝土开裂行为,解决了平板式约束和环形约束试验只能定性评价混凝土的开裂性能而一般无法测定混凝土的应力发展的问题,从而实现对混凝土开裂敏感性进行定量评价和预测。由于对系统的灵敏性和敏感性要求较高,试验装置复杂,因此价格昂贵,限制了它的推广。

由于约束可调的单轴约束试验为定量分析早期混凝土的徐变、开裂等行为及建模计算混凝土开裂趋势和抗裂性能创造了条件,近年来,德国、日本、美国以及我国清华大学、武汉理工大学均在开发先进的可调单轴约束试验装置。单轴约束试验方法及装置有较快的发展,先后开发了第一代和第二代的单轴约束试验装置。

单轴约束试验装置最早由德国慕尼黑技术大学的 Springenschmid、Breitenbücher和 Nischer 等人开发。他们根据道路和水工工程建设的需要,开发了固定横梁的单轴约束试验机,使得热应力的测量成为现实,试验架可以被称为第一代单轴约束试验装置,由 RILEM-TC119 制定了固定横梁的单轴约束试验机的推荐性标准。第一代单轴约束试验装置能够测定早期约

束混凝土的应力发展,提供了高的但未知的约束程度^[5]。

控制约束程度这一问题在 20 世纪 80 年代得到了解决,以控制可调横梁的运动而保证试件长度不变,从而实现 100% 约束的单轴约束试验装置在不同国家与地区开发出来。其中,1976 年法国的 Paillre 和 Serrano 开发的此类装置,使得截面积为 $175 \times 175 (\text{mm}^2)$ 混凝土试件的变形可以从初龄期开始测量^[6]。该装置的活动横梁与一气压设施相连接。德国的 Spingenschmid 等人则进一步开发了被称为温度—应力试验机的装置来研究 100% 约束条件下水化热引起的约束应力^[7],其可调横梁通过步进电机进行控制,同时混凝土初龄期的弹性模量也能够通过这类装置进行测定。这就是第二代单轴约束试验装置。

此后,很多研究者相继探索使用可调横梁的单轴约束试验方法来研究混凝土初龄期收缩受约束的影响。例如,以色列的 Bloom 和 Bentur 等人通过监测可调横梁的位移进行周期性的拉应力补偿来实现 100% 约束程度,并将其用于研究高强度混凝土早期干燥和自收缩的影响^[8-10];Kovler 使用闭环计算机控制系统,并使用了两个相同的试件进行试验(一个在约束条件下收缩,另外一个为自由收缩)^[11],最重要的是通过综合两个试件的试验结果能够对徐变进行定测量定;美国 UIUC 大学的 Slah 和 David 对单轴约束混凝土的受拉徐变进行了系统研究^[12];日本的 Penev 和 Kawamura 采用单轴约束试验装置研究了土壤——水泥拌和物的收缩断裂性能,获得了应变能释放速率的数据^[13]。

此后,日本东京大学与欧洲的一些研究者在第二代约束可调式混凝土开裂试验机的基础上,发展了约束可调式混凝土温度—应力试验机,即第三代单轴约束试验装置。与第二代产品相比,该设备增加了温度模板,利用温度模板对混凝土试样水硬化过程的温度进行了检测与控制,从而实现了模拟大体积混凝土所处的类似绝热条件,研究了在约束条件下混凝土温度应力对抗裂性能的影响。随后,一些研究者利用这类设备发展了可进行等温控制、跟踪环境温度等一些新的混凝土开裂敏感性试验方法,进一步推动了混凝土技术的发展。

长期以来,我国对评价材料的抗裂性能方面的研究停留在传统的水泥

水化热与混凝土绝热温升、收缩测量等检测方法上,并以此为依据进行工程的原材料选择与混凝土配合比设计^[14]。由于影响混凝土体内拉应力增长的主要因素,如早期的弹性模量、徐变松弛能力等,不能从水化热与绝热温升试验的数据中得到反映,而测得的混凝土收缩量值也不能很好地预计混凝土的开裂趋势。此外,施工中规定的混凝土体与基础之间或混凝土体内外的最大允许温差值仅仅是根据经验而得出的,混凝土材料本身特性的差异,如抗拉强度、热膨胀系数和弹性模量、徐变等带来的影响并没有考虑进去。造成这一局面的原因很多,高精度抗裂试验检测设备的缺乏是其中非常重要的原因之一,我国仅清华大学水利与土木工程学院建材所于2002年根据第二代单轴约束试验架原理开发了一台混凝土开裂试验机,这项研究正在发展之中。

武汉理工大学在水泥与混凝土材料研究方面具有悠久的历史和丰富的成果。学校先后承担了国家“973”、“863”、国家重点自然科学基金、国家科技攻关以及省科技攻关项目等数十项混凝土材料科学与工程的研究工作,包括先进水泥基复合材料、高性能混凝土、大体积混凝土、钢管混凝土、轻质混凝土、机敏智能混凝土等,取得了一些有影响的研究成果。与此同时,运用这些科技成果在工程应用开发方面也取得了突破,先后参与了长江三峡大坝、京珠高速公路、武汉长江隧道等数十项国家重点工程的建设,并取得了显著的经济与社会效益。

随着仪器设备的改进和试验方法的进一步完善,单轴约束试验方法将在我国混凝土工程中得到广泛推广与应用。编者在研究和技术开发过程中,针对实际工作的迫切需要,结合国家“十五”和学校“211工程”建设,研制开发出了具有自主知识产权的新型约束可调式单轴温度—应力开裂试验机。

1.1.3 研究方法

在研究工作中,我们将控制理论、计算机控制技术与材料工程理论深度结合,采取理论分析和试验手段,利用学科交叉的优势,通过研究和总结现有的成果,特别是单轴约束试验方法与混凝土抗裂性能评价,结合我国混凝土使用环境条件,提出约束条件下混凝土温度—应力检测的关键技术并进

行研究,并将研究成果应用于实际,利用第二代单轴约束试验架的原理,研制出了具有自主知识产权的新型约束可调式单轴温度—应力开裂试验机。

1.2 混凝土的早期力学性能

混凝土结构施工中裂缝的产生与早期混凝土的力学性能有直接的关系。混凝土的早期力学性质包括弹性模量、应力(主要是温度应力)、应变、徐变、抗拉强度等。

1.2.1 弹性模量

弹性模量是混凝土重要的力学性能,它反映了混凝土所受应力与所产生应变之间的关系,是计算混凝土结构变形、裂缝开展和温度应力所必需的参数之一。为了提高混凝土的抗裂能力,通常提高混凝土的抗拉强度和极限拉伸值,降低混凝土的弹性模量及收缩变形等。降低混凝土的弹性模量将有助于提高混凝土的抗裂性能。对于均质材料,其密度与弹性模量之间存在直接的关系。在实际工程结构中,材料弹性模量 E 的意义通常是以零件的刚度体现出来的,这是因为一旦零件按应力设计定型,在弹性变形范围内的使役过程中,是以其所受负荷 P 而产生的变形量 ϵ 来判断其刚度的。一般将引起单位应变的负荷作为该零件的刚度,例如,在拉压构件中其刚度为

$$\frac{P}{\epsilon} = \frac{\sigma A_0}{\epsilon} = E \cdot A_0 \quad (1-1)$$

式中 A_0 ——零件的横截面积。

由式(1-1)可见,要想提高零件的刚度 $E \cdot A_0$,即减少零件的弹性变形,可选用高弹性模量的材料和适当加大承载的横截面积,刚度的重要性在于它决定了零件使役时的稳定性,对细长杆件和薄壁构件尤为重要。因此,对于构件的理论分析和设计计算来说,弹性模量 E 是经常要用到的一个重要力学性能指标。在弹性范围内,大多数材料服从胡克定律,即变形与受力成正比。纵向应力与纵向应变的比例常数就是材料的弹性模量 E ,也叫杨氏