

过镇海 等 编著

常温和高温下混凝土材料 和构件的力学性能

清华大学出版社

常温和高温下混凝土材料 和构件的力学性能

过镇海 等 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是钢筋混凝土材料和构件在常温 and 高温(达 900℃)下力学性能的试验研究论文集,是从作者从事教学和科研工作 50 年以来所撰写的多篇论文以及与合作者(包括所指导的研究生)共同发表的约百篇论文中选编而成。全书共有论文 35 篇,编为 6 个专题:新型构件和结构,加气混凝土材料和板材,混凝土的基本力学性能,混凝土的多轴强度和本构关系,材料的高温性能和耦合本构关系,构件的高温性能和计算方法。它们从一个侧面反映了我国国民经济和基本建设事业发展和需求的历程,以及钢筋混凝土结构工程的实际应用和研究工作技术水平的不断提升。

书中介绍了有关研究课题的具体试验研究方案和主要成果,其中属于应用基础类的研究成果占很大篇幅。书中提供的试验数据、性能规律、机理分析、计算模型和公式,以及理论分析方法等可供工程实际应用。此外,书中所展示的开展钢筋混凝土结构工程类研究工作的思路和方法,也将对研究人员有所启示。书中特别强调了突破试验技术的障碍,自行设计新型试验方法和研制专用试验设备的重要性。例如书中创建的叠合梁的二阶段加载试验方法,混凝土受压和受拉应力应变全曲线的试验量测方法,混凝土立方试件的真三轴加载设备,以及材料和构件的高温试验炉等,对于开拓新的研究领域,提高研究水平,深入揭示重要的力学现象和规律,提供机理分析和物理模型,获取高质量研究成果等起了决定性的作用。

本书可供从事结构工程的科研和设计技术人员,以及高等学校结构工程专业师生的在研究、设计和教学工作中作参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

常温和高温下混凝土材料和构件的力学性能/过镇海等编著. —北京:清华大学出版社,2005. 11
ISBN 7-302-12109-5

I. 常… II. 过… III. ①混凝土—建筑材料—力学性能试验—文集②混凝土结构—力学性能试验—文集 IV. ①TU502-53 ②TU370.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 132935 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 徐晓飞 江亚丁

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市春园印刷有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×235 印张: 32 字数: 639 千字

版 次: 2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12109-5/TU·276

印 数: 1~3000

定 价: 58.00 元

作者简介

过镇海 1934年生，江苏省无锡市人。1955年毕业于清华大学土木工程系工业与民用建筑专业。1985年与1986年先后任土木工程系教授和博士生导师。曾任全国钢筋混凝土结构标准技术委员会副主任，土木工程学会混凝土和预应力混凝土学会理事等职。

主要研究领域有：预应力混凝土结构，结构工程的整体性能，二阶段受力叠合梁，加气混凝土的材料和构件性能，素混凝土和约束混凝土在单调和重复受压应力作用下的性能，混凝土的受拉和剪切性能，混凝土的多轴强度和本构关系，混凝土材料的高温—力学耦合性能和本构关系，混凝土构件和结构的高温性能和计算方法等。多次参与混凝土结构类设计规范（程）的编制和修订工作。

著或合著专业书籍多种，包括“清华大学学术专著”《混凝土的强度和变形（试验基础和本构关系）》（1997）和《钢筋混凝土的高温性能及其计算》（2003），以及研究生教材《钢筋混凝土原理》（1999）和《钢筋混凝土原理和分析》（2003）。在国内外学术刊物上发表论文约百篇。曾获部委级科技进步奖一等奖一次、二等奖三次和三等奖二次，并获高等教育国家级教学成果奖二等奖（2005）。



序

过镇海教授是我国结构工程界的著名学者，他长期从事混凝土结构的科研与教学工作，发表过多本专著和大量论文，并积极组织和参与相关的学术活动，对推动我国混凝土结构工程学科的发展起到了很大的作用。

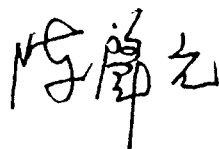
这本文集选编了作者在混凝土结构几个重要研究方向上的论文和报告，反映了作者从20世纪50年代以来不同时期所从事的主要研究工作概貌。这些论文有的虽曾在刊物上公开发表过，但受期刊篇幅所限未能展示全貌，而在这一文集内就能见到更为详细的数据和完整的阐述。也有的论文在当初发表时的印数很少，现已难以寻觅，这次重印得以解决一些读者的需要。例如，文集中编入的《钢筋混凝土肋形楼盖实测研究》一文，是作者在20世纪60年代对北京一幢砖混结构办公楼的性能测试研究，它真实地揭示了砖混结构房屋的实际工作性能与理论计算之间可能存在的重大差异，是一项很有价值并对工程设计人员极具启示性的成果，过去只在清华大学土木系的一本交流资料中刊载过，知道的人非常少。

我们在这本文集中可以看到，其中的许多研究内容，例如叠合梁的性能、混凝土应力-应变全曲线及其试验方法、混凝土真三轴试验装置的研制、混凝土在多轴受力下的性能、混凝土材料及其构件在高温下的试验与分析等，都是国内在这些研究方向上最早进行并最早取得的成果。作者的这些工作，起到了先导作用，并为后来的研究者所广泛引用。

这本文集不仅反映了作者在学科领域上的贡献，也体现了他严谨治学、联系实际、脚踏实地、深入试验的作风与理念。为了获得混凝土在复杂应力状态下的本构关系，过镇海教授靠的并不是进口设备，而是利用实验室内一台极端老旧的普通压力试验机，经过改装并与校外的液压专业技术人员合作，共同研制出国内第一台可以在三轴方向上同时进行拉压的真三轴试验装置。为了从事火灾下混凝土及其构件性能的研究，也是自行研制多个高温炉设备。在清华大学的工程结构实验室内，有许多基本的试验装置都是过镇海教授设计的，参与试验研究的教师也多自行研制加

载或量测工具。可惜这种自力更生的精神如今逐渐淡薄了，年轻人中愿意在试验室内摸爬滚打的也越来越少了。像混凝土结构这样的研究对象，如果不是通过试验，不在试验或工程实践中踏踏实实地干，仅靠计算机的虚拟或理论上的演绎，恐怕难以得出可用的成果。从过镇海教授的实践中，也许我们可以体会到这一道理。

我有幸与过镇海教授共事几十年，他身上有太多东西值得我们学习。在他辛勤耕耘混凝土结构领域正值半个世纪的时刻，我衷心祝贺这一文集的出版发行。



清华大学土木系教授 陈肇元

2004年7月13日

前 言

这是一本钢筋混凝土材料和构件在常温和高温（达 900℃）下力学性能的试验研究论文选集。

从 20 世纪 50 年代中期起，作者开始从业于高等学校的工程教学工作，几乎同时踏进了钢筋混凝土结构的科学研究门槛，延续到跨入新世纪的今日，已历时约 50 年。这期间，作者曾相继参加和主持了不同类型的多项课题的研究工作，在完成研究任务的同时，以多种形式发表了研究论文约百篇（详见附录）。

这些先后发表的论文，从一个侧面反映了我国国民经济和基本建设事业发展和需求的历程，以及钢筋混凝土结构工程的实际应用和研究工作技术水平的不断提升。

- 新中国成立初期，建筑钢材奇缺，开展了混凝土结构中钢筋代用品，如竹筋和球墨铸铁筋的试探性研究。

- 20 世纪 50 年代后期，预应力作为提高混凝土构件质量、节约钢材和扩大应用范围的新技术被引入我国，并首先在当时大量建设的单层工业厂房中广泛应用。寻求新型、合理的大跨屋架和承受疲劳荷载的吊车梁成为首需。此后，又推广至各种特殊结构，如高压输电线路的大型杆塔等。

- 20 世纪 60 年代初国民经济的调整期，基本建设紧缩，对已建工程进行质量检查，对工程事故加以处理。已交付使用的某小办公楼，被发现其肋形楼盖的设计中存在计算错误，通过现场加载的实测试验，探明了砖-混凝土混合结构的实际整体工作性能。

- 20 世纪 60 年代中期，多层工业和民用建筑中推广装配整体式框架体系，促使了二次受力叠合梁和新型梁-柱、柱-柱节点的研究。

- 全国“文化大革命”十年灾难时期，百业凋零，科研工作几近停顿，试验室瘫痪。

- 20 世纪 70 年代，为减轻与农争田，寻找粘土砖的替代，并发展工业化生

产的新型建筑(结构)材料,从国外引进了轻质材料(如加气混凝土)的生产设备和技术。为了在国内推广应用,对加气混凝土的材料和配筋板材、砌体构件等进行了系统性试验研究*,为制定“蒸压加气混凝土应用技术规程(JGJ 17—1984)”奠定了基础。

● 1976年唐山的毁灭性大地震,造成人民生命财产和国家经济、物资的惨重损失。为保证结构安全、庇护生命和财富,必须深入研究结构的抗震性能,特别是混凝土开裂,甚至钢筋屈服后的构件性能。混凝土材料在单调加载和反复加载情况下的受压和受拉应力-应变全曲线(包括上升段和下降段)成为结构非线性抗震分析的基础。箍筋约束混凝土是提高构件抗震性能的有效而简易的措施,认识其受力机理,并提供计算方法是必要的。

● 20世纪80年代我国国民经济迅速发展,各个领域中的多项重大结构工程纷纷兴建,例如高大水坝、核电站、海洋工程、重型模锻水压机等。这些工程大多为三维或二维结构,在分析和设计过程中必须掌握混凝土的多轴强度和本构关系。在同一时期,计算机技术飞速发展和普及,有限元分析方法渐趋成熟,二者的完美结合构成了强有力的手段,使得复杂结构的准确分析和合理设计迎刃而解。同时推动了混凝土非线性本构(应力-应变)关系的深入研究。

以上二项课题中的论文,都是国内最先开展研究并取得成果,主要内容已纳入“混凝土结构设计规范(GB 50010—2002)”。

● 20世纪90年代后,我国城市化趋势加速,高层建筑普遍兴建,人口和财产大量集中,建筑火灾成为严重威胁,防火和抗火成为亟待解决的重大问题。混凝土和钢材的力学性能在高温下严重恶化,致使结构和构件的承载力在火灾时急剧降低,是酿成事故的主要原因。因此对材料 and 结构的高温性能反应,以及相应的分析方法进行系统的试验研究是必要和适时的。论文中特别强调了温度和应力(荷载)的耦合作用对材料和构件性能的特殊影响。

在所有论文中,选择有代表性和启发性的,以及在发表当时有较大影响或至今和以后仍有一定价值的论文共35篇,编成六个专题即6篇构成本书。这些论文按发表年代划分为三个时期,研究对象具有不同的特点:书中第1、2篇(1956—1980年)为新型结构(构件)和新材料的工程应用类研究;第3、4篇(1980—1996年)注

* 过镇海,张秀琴. 加气混凝土构件的计算及其试验基础. 见:清华大学抗震抗爆工程研究室 科学研究报告集(第2集),北京,1981

重于混凝土的基本力学性能和多轴强度、本构关系的基本规律,属应用基础类研究;第5、6篇(1990年以后)则为混凝土材料和构件在高温(抗火)下特殊性能的全面、系统性试验研究。

钢筋混凝土是我国结构工程中最广泛、大量应用的材料。钢筋混凝土学科从属于结构工程科学,研究的课题必须服务于结构工程,但可以是立见成效地即时为具体工程项目服务,也可以是应用基础类研究,为今后的、普遍的工程建设服务。

混凝土是一种人工合成的地方性材料,其力学性能显著地呈现非匀质、非线性和变异大等特点,且直接地影响混凝土构件和结构的性能。当研究课题确定后,为获得合理的高水平成果,切实解决工程问题,必须有相适应的科学研究方法。本书中各论文的主要特点是立足于试验研究,一般的研究过程如下:全面、深入地调研结构工程中提出的问题和国内外的研究现状;制定周密的试验研究大纲和实施方案;进行准确而足量的试验和量测;细致观察材料和结构的各种力学反应过程;归纳和发现力学性能的变化规律;分析受力、变形和破坏的机理;寻找合理的力学模型和数学表达;必要的理论运算和验证;建立适合工程应用的简明计算方法;最终通过实际工程或更多试验加以验证或作出修正。

在开展钢筋混凝土结构的试验研究工作时,突破现有试验技术的障碍,自行设计新型的试验方法和研制专用的试验设备,对于创建新的研究领域,提高研究水平,揭示重要的力学现象和规律,提供机理分析和物理模型,获取高质量成果有着特别重要的意义。本书中论文5设计的二阶段加载试验方法,揭示了叠合梁的“超应力现象”和“存在假定拉力”等特殊性能,为正确分析叠合梁的受力特点和提供设计方法奠定了理论基础;论文9和12设计的用液压千斤顶和刚性框架增强普通液压试验机的刚度,在我国首次顺利地量测和记录了混凝土的受压和受拉应力-应变全曲线(下降段)。至于研制成的“混凝土真三轴加载设备”(论文14)和混凝土材料和构件的“高温试验炉”(论文21、27),更是为相应的研究课题开辟了宽广的研究领域,通过大量的试验,获得了全面、系统的研究成果*。

所以,读者从本书中不仅可了解有关研究课题的具体试验方案和主要研究成

* ① 清华大学学术专著:过镇海.混凝土的强度和变形(试验基础和本构关系).北京:清华大学出版社,1997

② 清华大学学术专著:过镇海,时旭东.钢筋混凝土的高温性能及其计算.北京:清华大学出版社,2003

果,并获取所需的试验数据、研究结论、分析方法和计算公式,而且如果注意书中所展示的开展科研工作的思路和试验研究的方法(途径),必将大有裨益。

很明显,本书是作者所在研究群体共同劳动的结晶,反映了合作研究的成果。在所选编的35篇论文中,仅在标题下直接署名和各首页末提到的参加研究工作的就超过60人,再加上虽未具名而在试验研究全过程中曾实际参与者,总数约计百人。他们中有:

带领笔者进入科学殿堂,并加以关心和指导的师长,如吴柳生、陈致忠、王传志教授;

共同劳动和思索、出汗和熬夜,相帮助、同忧喜的同事们,如甄文铎、张秀琴、时旭东副教授;

提供研究课题和工程经验,并直接参与试验研究工作的协作单位(如北京市建筑设计研究院,北京加气混凝土厂,中国建筑东北设计院)的工程师和技术工人;

配合研制试验设备、开发新型试验方法,以及进行大量试验准备和量测工作、制作专用试件的本校工程结构试验室的试验技术人员和工人;

还有既参加试验研究工作又从中学习的在读博士和硕士研究生,以及相配合的本科(毕业班)学生。从20世纪80年代起,他(她)们成为了高等学校的骨干科研力量,承担了大部分的试验准备、量测和分析工作,本书中也融入了他们的大量劳动成果和创造性思维。

正是由于所有参与者的共同努力和钻研、相互协作和启发,才能顺利地地完成各项科研任务,获取满意的成果,从而为本书提供丰富的素材和坚实的基础。

本书中选编的论文,大多数发表在公开出版的国内外学术期刊、专题研究报告集和学术会议论文集上。早期的论文较多以单行本刊印(铅印或油印)、作为内部资料通过交流方式发行。由于各论文刊出的年代和方式的不同,致使其排版格式和版面效果多有差别。本书编纂时作统一处理如下:

版面——统一排版格式,字体的种类和大小,调整插图的位置和尺寸,编写规则力求一致;而文中关键词和英文摘要的有无,参考文献的格式等,仍按原样保留;

删节——原文中的过繁计算过程,不同论文间的重复阐述,模糊不清的照片,以及现在已不通行的俄文的论文名和摘要等,予以删除;

改错——原文中的错别字和标点符号，以及图文表达不规范、词语不达意等处，在保持原意的情况下作少量订正；

早期论文中特有的问题——繁体汉字改为标准简体字。不合现今标准的计量单位未予更改，但给出基本单位的换算表（见17页）。与今不同的专业术语和物理量的名称和符号，例如水泥的标号，混凝土的强度等级，钢筋的强度等级和种类等，在文中有明确说明者仍予保留，读者不难理解，应用时可作必要的置换。

此外，在各篇论文的标题下面标明原刊载方式、所在处和时间，以便查对。与每篇论文密切相关的其他研究内容和成果，请从附录所列论文目录或专著中查阅。

在本书付梓之时，作者谨以衷心的谢意致向：曾共同进行并完成各项课题的试验研究任务的师长、同事、研究生和本科生与协作单位的技术人员，以及试验室的技术人员和工人；为有关科研项目提供经费资助的国家自然科学基金、国家科委“863”高科技计划、国家教委博士点科研基金等组织，以及有关协作单位；为出版提供经费资助、编辑和审校的组织和人员。对多年来一直在工作上给予支持和帮助，并为本书撰写序的中国工程院院士陈肇元教授致以特别的谢意。

限于作者的学术水平和分析能力，书中的不足甚或谬误之处难免。特别是早期发表的论文，问题更多，如今读之汗颜。敬请专家和读者批评指正。

过镇海

于清华园荷清苑

2004年7月

目 录

第 1 篇 新型构件和结构的试验研究

1	18 公尺预应力混凝土杆件拼装式桁架设计试验总结	3
2	6 米 30 吨预应力钢筋混凝土叠合式吊车梁静力及多次重复荷重下的 工作性能.....	18
3	660 千伏超高压输电线路预应力混凝土三铰拱形直线杆塔 设计试验研究.....	31
4	钢筋混凝土肋形楼盖实测研究.....	49
5	钢筋混凝土叠合梁(叠合前后二次受力)的受力性能 and 设计方法 试验研究.....	63

第 2 篇 加气混凝土材料和板材的力学性能

6	加气混凝土的力学性能.....	93
7	钢筋调直蒸养后的强度	107
8	配筋加气混凝土受弯构件鉴定技术报告	116

第 3 篇 混凝土的基本力学性能

9	混凝土应力-应变全曲线的试验研究.....	133
10	混凝土在反复荷载作用下的应力-应变全曲线	150
11	箍筋约束混凝土的受力机理及应力-应变全曲线的计算	157

12	混凝土受拉应力-变形全曲线的试验研究	180
13	混凝土抗剪强度和剪切变形的研究	193

第 4 篇 混凝土的多轴强度和本构关系

14	混凝土真三轴加载设备的研制	207
15	二轴和三轴受压混凝土的强度试验	218
16	多轴应力下混凝土的强度和破坏准则研究	232
17	混凝土非线性弹性正交异性本构模型	249
18	不同应力途径下混凝土多轴受压强度的试验研究	257
19	重复荷载作用下混凝土二轴受压性能的试验研究	271
20	定侧压下混凝土二轴受压变形特性的试验研究	292

第 5 篇 材料的高温力学性能和本构关系

21	高温下混凝土的强度和变形性能试验研究	305
22	混凝土在不同应力-温度途径下的变形试验和本构关系	318
23	温度升降循环下混凝土变形性能的试验研究	331
24	混凝土的温度-应力耦合本构关系	342
25	高温下 I ~ V 级钢筋的强度和变形试验研究	350

第 6 篇 高温下混凝土构件的性能和分析

26	高温下钢筋混凝土受力性能的试验研究	365
27	高温下钢筋混凝土简支梁受力性能的试验研究	384
28	三面受火钢筋混凝土轴心受压柱的受力性能试验研究	393
29	三面受热钢筋混凝土偏心受压柱的试验研究	409
30	不同温度工况下钢筋混凝土偏压构件受力性能的对比试验研究	419
31	两面高温下钢筋混凝土压弯构件的试验研究	430

32	高温下钢筋混凝土连续梁的受力性能试验研究·····	440
33	高温下钢筋混凝土框架的受力性能试验研究·····	452
34	高温下钢筋混凝土压弯构件极限承载力简化计算·····	470
35	有应力史差非匀质截面轴心受压杆的性能研究·····	478
附录 发表的论文·····		485

第 1 篇

新型构件和结构的试验研究



18 公尺预应力混凝土 杆件拼装式桁架设计试验总结

钢筋混凝土结构教研组*

(原载于《清华大学学报》 1959. 4, 6(2): 1~20)

提 要

本文介绍了工业厂房屋盖桁架的一种新型结构方案——杆件拼装式桁架。桁架各杆件全部在预应力长线台座上成批生产,因杆件断面小,运输方便,运输中不会出裂缝,运往工地焊接拼装后就能架设,大大缩短了工地的生产时间,工地也不必具备预应力张拉设备、压力灌浆设备、锚具加工等,就能应用预应力结构,因此这种结构特别适合于工业化施工。

桁架的经济指标比较突出。由于全部杆件采用预应力先张构件,省却绝大部分钢箍和构造筋,省却锚固设备和局部承压钢筋。承受压弯的上弦杆采用变截面后大大改善了受力条件。因之,比一般后张法预应力混凝土结构省钢 30%~40%,重量轻 10%。

本文介绍了这种桁架的设计、试制及试验过程,并提出了改进的方向。

一、绪论

我国社会主义建设正以“一天等于二十年”的高速度向前跃进,工农业在飞跃地发展,基本建设的速度也随之加快。钢铁在工业建设中占首要地位,而我国目前钢铁产量还不能满足建设的要求,因此在基本建设中节约钢材就具有特别重要的意义。

党中央提出教育和生产劳动相结合的方针后,我校开始实行半工半读。土木系成立了土建综合设计院,接受校内外建筑物设计的任务。设计院结构研究组结合生产需要,研

* 本研究工作的参加者有钢筋混凝土结构教研组吴柳生、过镇海、王玉庭,房 59 同学刘平、杨玉麟、廉慧珍及房 61 部分同学。本文集体执笔,由过镇海整理。