

钢-混凝土组合结构 抗火设计原理

(第二版)

FIRE SAFETY DESIGN
THEORY OF STEEL-CONCRETE
COMPOSITE STRUCTURES
(SECOND EDITION)

韩林海 宋天诣 周 侃 著



科学出版社

钢-混凝土组合结构抗火设计原理

(第二版)

**FIRE SAFETY DESIGN THEORY OF STEEL-CONCRETE
COMPOSITE STRUCTURES**

(SECOND EDITION)

韩林海 宋天诣 周 侃 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书论述了第一作者领导的课题组在钢-混凝土组合结构抗火设计原理方面开展的研究工作和取得的研究成果,具体内容包括:高温下和高温作用后组合结构构件中的钢-混凝土界面的粘结性能;组合结构构件,如型钢混凝土、中空夹层钢管混凝土、不锈钢管混凝土和FRP(fiber reinforced polymer)约束钢管混凝土等的耐火性能;全过程火灾作用下型钢混凝土构件和钢管混凝土叠合柱等的力学性能;火灾作用后钢管混凝土构件的力学性能、评估和修复方法;全过程火灾作用下组合框架梁-柱连接节点,如型钢混凝土柱-型钢混凝土梁连接节点、钢管混凝土柱-组合梁连接节点、钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁连接节点等的力学性能;钢管混凝土柱-钢梁连接节点的耐火性能和火灾作用后的滞回性能;钢-混凝土组合框架结构,如钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁平面框架、钢管混凝土柱-型钢混凝土梁平面框架结构等的耐火性能;全过程火灾作用下型钢混凝土柱-钢筋混凝土梁平面框架、型钢混凝土柱-型钢混凝土梁平面框架等的力学性能。

本书内容具有系统性、理论性和实用性,可供土木工程领域的科研人员及高等院校土建类专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢-混凝土组合结构抗火设计原理/韩林海,宋天谕,周侃著. —2版. —北京:科学出版社,2017.10
ISBN 978-7-03-054769-9

I. ①钢… II. ①韩…②宋…③周… III. ①钢筋混凝土结构—防火—结构设计 IV. ①TU375.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第246980号

责任编辑:童安齐/责任校对:王万红

责任印制:吕春眠/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年6月第1版 开本:787×1092 1/16

2017年10月第2版 印张:43 1/2

2017年10月第二次印刷 字数:1000 000

定价:220.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈中科〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

第二版前言

近 20 年来,本书第一作者领导的课题组循序渐进且有计划地开展了钢 - 混凝土组合结构抗火设计原理研究工作。结合本书作者近年来研究工作的最新进展,对《钢 - 混凝土组合结构抗火设计原理》再版,即在原书内容的基础上进行完善和补充,以期使钢 - 混凝土组合结构抗火设计原理方面的内容更加系统和丰富。

掌握高温对钢 - 混凝土组合构件界面粘结滑移性能的影响规律,以及基本组合构件的耐火性能是进行组合结构体系抗火性能研究的基础。本次再版,补充型钢混凝土和钢管混凝土中钢 - 混凝土界面高温下和高温后的粘结性能研究成果(第 2 章)。

众所周知,建筑火灾是建筑结构在全寿命周期过程中可能发生的灾害性作用之一。实际建筑结构发生火灾时,结构或构件受到温度和荷载的共同作用,一般会经历常温下加载、升温阶段持荷、降温阶段持荷和火灾后继续工作四个阶段,这是一个考虑全过程火灾作用的过程,结构或构件可能在升温阶段、降温阶段和火灾后继续工作阶段发生破坏。在对结构或构件的火灾下和火灾后性能进行研究时,考虑全过程火灾作用的研究成果将更接近实际工况,从而提供更为安全、合理的结构抗火设计和火灾后评估、修复加固方法。本书第 3 章论述型钢混凝土构件的耐火性能和抗火设计方法,第 4 章阐述全过程火灾作用下型钢混凝土构件的力学性能。

关于普通钢管混凝土构件的耐火性能及火灾作用后的力学性能,已在专著《钢管混凝土结构——理论与实践》(科学出版社,2000 年第一版;2004 年修订版;2007 年第二版;2016 年第三版)一书中进行了论述。有关研究表明,组成钢管混凝土的钢管及其核心混凝土之间的协同互补使得这种结构具有良好的耐火性能,主要体现在两个方面:一是火灾作用下构件具有良好的抗火性能;二是火灾作用后构件具有较好的可修复性,因而也就具有较好的灾后功能可恢复性。也就是说,火灾下钢管混凝土柱表现出良好的“韧性”(resilience),本书不再赘述。本书第 5 章论述一些新型钢管混凝土构件,如中空夹层钢管混凝土柱、不锈钢管混凝土柱和 FRP 约束钢管混凝土柱的耐火性能;第 6 章论述火灾后钢管混凝土柱的修复加固方法;第 7 章则论述钢管混凝土格构式柱耐火性能研究方面的成果。

钢管混凝土叠合柱是由核心钢管混凝土部件及其外围的钢筋混凝土部件共同组合而成的一种组合结构构件,已在高层建筑结构中得到推广应用。本书第 8 章论述了全过程火灾作用下钢管混凝土叠合柱的力学性能。

准确掌握结构体系中节点的力学性能和工作机理是进行火灾下结构体系受力全过程分析的关键。本书第 9 章论述型钢混凝土柱 - 型钢混凝土梁连接节点的耐火性能;第 10 章论述全过程火灾作用下型钢混凝土柱 - 型钢混凝土梁连接节点的力学性能;第 11 章论述钢管混凝土柱 - 钢筋混凝土梁连接节点的耐火性能;第 12 章论述全过程火

灾作用下钢管混凝土柱-组合梁连接节点的力学性能;第13章论述火灾作用后钢管混凝土柱-钢梁连接节点的滞回性能;第14章则论述全过程火灾作用下钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁连接节点的力学性能。

本书第15章阐述单层、单跨钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁,钢管混凝土柱-型钢混凝土梁平面框架和钢管混凝土柱-钢梁,三层、三跨型钢混凝土柱-型钢混凝土梁平面框架结构耐火性能的研究成果;第16章则论述了全过程火灾作用下单层、单跨型钢混凝土柱-钢筋混凝土梁、型钢混凝土柱-型钢混凝土梁平面框架的力学性能。

本书的研究工作先后得到国家杰出青年科学基金(项目编号:50425823)、国家自然科学基金重点项目(项目编号:50738005)、国家重点基础研究发展计划(“973”计划)课题(项目编号:2012CB719703)、国家科技支撑计划子课题(项目编号:2006BAJ06B06、2006BAJ03A03-11、2008BAJ08B014-07、2012BAJ07B014和2014BAL05B04)、高等学校博士学科点专项科研基金课题(项目编号:20090002110043)、公安部应用创新计划项目(项目编号:2007YYCXTXS155)、清华大学“百名人才引进计划”资助课题、清华大学自主科研计划课题(攻坚专项)(项目题号:2011THZ03)等的资助,特此致谢!

本书第一作者感谢他的合作伙伴对本书所反映的研究工作做出的重要贡献:王卫华和陶忠进行钢-混凝土界面高温下和高温后粘结性能的研究(第2章);王卫华、谭清华和郑永乾进行型钢混凝土构件耐火性能的研究(第3章);卢辉、廖飞宇、陶忠、杨有福、王志滨、陈峰、崔志强和宋谦益等进行新型钢管混凝土柱耐火性能的研究(第5、7章);陶忠和林晓康进行火灾后钢管混凝土构件力学性能的研究(第6章);郑永乾、王卫华和谭清华进行组合框架梁-柱连接节点耐火性能的研究(第9、11章);霍静思进行火灾后钢管混凝土节点滞回性能的研究(第13章);谭清华、江莹和侯舒兰进行全过程火灾作用下组合结构构件、节点或平面框架力学性能的研究(第4、8、10、12、14和16章);王卫华和王广勇进行组合框架结构耐火性能的研究(第15章)等。作者在此谨向他(她)们致以诚挚的谢意!

作者感谢国家固定灭火系统和耐火构件质量监督检验中心、亚热带建筑科学国家重点实验室、建筑安全与环境国家重点实验室、土木工程安全与耐久教育部重点实验室、澳大利亚莫纳什大学(Monash University)土木工程系结构实验中心、澳大利亚西悉尼大学(Western Sydney University)结构实验室等单位为进行本书所反映的有关火灾试验给予的支持和帮助!

正如本书第一版前言中所述,组合结构学科所包含的内容广泛,其抗火设计原理研究的内容自然也非常丰富。本书仅结合作者所熟悉的领域和取得的阶段性研究结果进行论述,内容远非全面和系统。作者期待随着有关研究工作的不断深入,能逐步对本书的内容进行充实和完善。

由于作者学识水平所限,书中难免存在不妥之处,作者怀着感激的心情期待读者给予批评指正!

韩林海

2017年5月22日于清华园

第一版前言

众所周知,火灾会严重威胁人类的生命财产安全,同时也会产生不良的社会影响,并对环境造成污染。在可能发生的火灾中,建筑火灾的发生最为频繁。火灾之所以对建筑结构产生危害,实际上是由建筑结构的属性决定的。火灾发生具有随机性,面对火灾,人类需掌握其灾变机理,深入研究建筑结构的抗火设计原理,进行科学的抗火设计,从而使建筑结构具备要求的“抗火”性能。

组合结构(composite structures)是目前在建筑结构中应用较广泛,且发展较快的一种结构形式,它是由两种或两种以上结构材料组合而成的结构。作者有幸在我国土木工程建设事业快速发展时期进行了一些组合结构方面的研究工作。关于钢管混凝土构件方面的研究成果在《钢管混凝土结构》(科学出版社,2000年第一版;2004年修订版;2007年第二版)中进行了论述;有关一些新型组合结构构件、组合结构节点和平面框架、混合剪力墙结构、混合结构体系等方面的研究成果则在《现代组合结构和混合结构》(2009年,科学出版社)中进行了阐述。本书论述作者在钢-混凝土组合结构抗火设计原理方面取得的研究结果。

建筑结构抗火设计的总体目标可概括为:最大限度地减少人员伤亡、降低财产的直接和间接损失、减轻对环境的污染和影响。以往,人们已在建筑结构抗火设计原理方面取得了不少成果,积累了不少工程实践经验,但对钢-混凝土组合结构抗火设计原理方面仍有不少问题需要继续深入研究,有关设计规程也需要制订、补充或完善。

钢-混凝土组合结构抗火设计原理的研究包括其耐火性能、抗火设计方法和防火保护措施等方面,其中耐火性能研究是确定抗火设计方法的前提,而如何根据工程结构的特点,“因地制宜”地采用适当的防火保护措施是最大限度地实现建筑投入经济性与结构性能有效性统一的保证,是保证实现结构抗火设计目标的基础。

掌握基本构件的耐火性能是进行组合结构体系抗火性能研究的基础。本书第2章论述了型钢混凝土构件的耐火性能和抗火设计方法;第3章论述了中空夹层钢管混凝土、不锈钢管混凝土、FRP约束钢管混凝土和钢筋混凝土构件的耐火性能。第4章中论述了火灾后钢管混凝土构件修复加固方面的研究成果。

实际建筑结构多为超静定结构,因此火灾作用下单个构件的破坏并不等同于整个建筑结构的破坏。例如,在局部火灾下,即使某一构件达到耐火极限,往往也不会因为单根构件的失效而导致整体结构破坏;但节点的破坏却使得整体建筑可能从结构转变为机构,从而失去整体稳定性而倒塌。在对火灾下结构体系的力学分析中,合理地模拟节点的工作机理往往是难点,也是关键点。本书第5章论述了型钢混凝土柱-型钢混凝土梁、钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁连接节点的耐火性能;第6章论述了考虑升、降温影响时钢管混凝土柱-钢梁、型钢混凝土柱-型钢混凝土梁连接节点火灾后的

力学性能;第7章则论述了火灾后钢管混凝土柱-钢梁连接节点的滞回性能。

研究火灾下单层、单跨框架的力学性能是进行多层、多跨框架以及空间框架结构体系耐火性能和性能化抗火设计的基础。本书第8章论述了钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁平面框架结构耐火性能的研究结果。

本书第9章对钢-混凝土组合结构抗火设计原理研究的一些关键问题进行了探讨和展望。

本书的研究工作先后得到国家杰出青年科学基金(项目编号:50425823)、国家自然科学基金重点项目(项目编号:50738005)、国家重大基础研究计划(“973”计划)(项目编号:2012CB719703)、国家科技支撑计划子课题(项目编号:2006BAJ06B06, 2006BAJ03A03-11, 2008BAJ08B014-07和2012BAJ07B014)高等学校博士学科点专项科研基金课题(项目编号:20090002110043)、公安部应用创新计划项目(项目编号:2007YYCXTXS155)、清华大学“百名人才引进计划”资助课题、清华大学自主科研计划课题(攻坚专项,课题号:2011THZ03)等的资助,特此致谢!

本书第一作者感谢他的博士后和研究生们对本书所论述内容做出的重要贡献,如王卫华、谭清华和郑永乾进行了型钢混凝土构件耐火性能的研究(第2章);卢辉、廖飞宇、陶忠、杨有福、陈峰等进行了组合柱耐火性能的研究(第3章);陶忠、林晓康和陈峰进行了钢管混凝土火灾后性能的研究(第4章);郑永乾、王卫华和谭清华进行了组合框架梁-柱节点耐火性能的研究(第5章);霍静思和江莹等进行了火灾后框架梁-柱节点力学性能的研究(第6章和第7章),王卫华和王广勇进行了组合框架结构耐火性能的研究(第8章和第9章)等。作者谨向他(她)们致以诚挚的谢意!

作者感谢公安部天津消防科学研究所、国家固定灭火系统和耐火构件质量监督检验中心,亚热带建筑科学国家重点实验室,澳大利亚莫纳什大学土木工程系结构实验中心等单位为进行本书所反映的有关火灾试验给予的支持和帮助!

组合结构学科所包含的内容广泛,其抗火设计原理研究的内容非常丰富。本书仅结合作者所熟悉的领域和取得的阶段性研究结果进行论述,内容远非全面和系统。开展本书有关研究工作的目的,一则期望能解决一些具体组合结构抗火设计原理研究方面的问题;二则期望能为有关领域研究工作的进一步深入开展提供参考。随着课题组研究工作的不断深入,作者期望能对本书内容进行充实和完善。

由于作者学识水平所限,书中难免存在不妥乃至错误之处,作者怀着感激的心情期待读者给予批评指正!

2012年3月16日于清华园

主要符号表

a_b	梁防火保护层厚度
a_c	柱防火保护层厚度
A_c	混凝土横截面面积
A_s	钢管横截面面积；型钢横截面面积
A_{sb}	钢筋总截面面积
A_{sc}	钢管混凝土横截面面积
A_{sv}	箍筋单肢的面积
b_e	方形钢管截面有效计算宽度
b_f	钢梁的翼缘宽度
b_{slab}	楼板宽度
B	矩形截面短边边长；方形截面边长
B_b	型钢混凝土或钢筋混凝土梁截面宽度
B_i	中空夹层钢管混凝土柱内方钢管的外直径
B_o	方套方型中空夹层混凝土柱外方钢管边长
B_r	修复后外套矩形钢管横截面短边边长
c	混凝土保护层厚度；材料的比热
c_c	混凝土的比热
c_s	钢材的比热
C	组合结构构件横截面周长
d	钢筋直径；距外表面深度；栓钉直径
D	矩形截面长边边长；圆形截面外直径
D_b	型钢混凝土或钢筋混凝土梁截面高度
D_c	钢管混凝土格构式柱柱肢钢管外径
D_i	中空夹层钢管混凝土或钢管混凝土叠合柱中内圆钢管外直径
D_l	钢管混凝土格构式柱缀管钢管外径
D_o	中空夹层混凝土柱外圆钢管外直径
e	轴向荷载偏心距
e/r	柱荷载偏心率
e_o	轴向荷载初始偏心距
E_c	常温下混凝土弹性模量
E_{cT}	高温下混凝土弹性模量
E_s	常温下钢材（钢管或型钢）弹性模量

E_{sb}	钢筋的弹性模量
f_c	常温下混凝土棱柱体抗压强度
f'_c	常温下混凝土圆柱体强度
$f'_c(T)$	温度 T 时混凝土圆柱体强度
$f'_{cp}(T_{max})$	最高温度为 T_{max} 时的火灾后混凝土圆柱体抗压强度
f_{ck}	常温下混凝土抗压强度标准值
f_{cT}	高温下混凝土棱柱体抗压强度
f_{cu}	常温下混凝土立方体强度
f_{cuT}	高温下混凝土立方体强度
f_t	常温下混凝土抗拉强度
f_u	常温下钢材(型钢或钢管)的极限强度
f_{ucor}	冷弯钢材弯角处的极限强度
f_y	常温下钢材(型钢或钢管)的屈服强度
f_{yb}	常温下钢筋的屈服强度
f_{ycor}	冷弯钢材弯角处的屈服强度
h	钢梁的高度或梁拉压区边缘间距离
h_j	不锈钢管和核心混凝土的接触导热系数
h_{sc}	栓钉长度
H	节点(或框架)柱的高度
I_c	混凝土的截面惯性矩
I_s	型钢(钢管)的截面惯性矩
I_{sb}	钢筋的截面惯性矩
I_{sc}	钢管混凝土截面抗弯惯性矩
k	梁柱线刚度比
k_b	梁的线刚度
k_c	组合柱的线刚度;混凝土的导热系数
k_i	火灾下节点初始刚度变化系数
k_j	节点初始抗弯刚度
k_m	梁柱强度比
k_M	火灾下节点弯矩变化系数
k_s	钢材的导热系数
k_t	火灾下构件的承载力影响系数
k_u	火灾下梁跨中挠度变化系数
k_v	竖直向线弹簧刚度
k_θ	火灾下转角变化系数
$k_{\theta b}$	火灾下节点梁转角变化系数
$k_{\theta c}$	火灾下节点柱转角变化系数
$k_{\theta r}$	火灾下节点相对转角变化系数

k_{rT}	高温下粘结强度的变化系数
K	火灾后剩余刚度系数
K_0	第一级加载位移时的环线刚度
K_i	组合节点的初始刚度
K_j	同级变形下的环线刚度
K_r	组合节点的相对初始刚度
K_s	火灾前型钢混凝土柱的抗弯刚度
K_{sf}	火灾后型钢混凝土柱的抗弯刚度
K_{ss}	加固后型钢混凝土柱的抗弯刚度
K_{sT}	高温下极限滑移量变化系数
K_t	混凝土抗拉强度降低系数
L	构件计算长度
L_b	框架中梁的跨度
L_i	钢管和混凝土接触长度；型钢和混凝土接触长度
L_{slab}	楼板长度
m	梁荷载比
M	弯矩
M_b	节点梁极限弯矩；梁截面轴力
M_c	节点柱极限弯矩；柱截面弯矩
M_F	梁端弯矩
M_j	节点弯矩
M_p	梁的全塑性弯矩
M_u	常温下梁的抗弯极限承载力
M_{ub}	钢梁的抗弯承载力
M_{uc}	组合构件极限弯矩计算值或钢管混凝土柱的抗弯承载力
M_{uc}	组合构件的极限弯矩实测值
M_{uj}	节点的极限抗弯承载力
$M_u(t)$	火灾作用下梁的抗弯承载力
n	柱荷载比
n_o	钢管混凝土叠合柱叠合比
N	轴向荷载
N_b	梁截面轴力
N_c	混凝土承受的荷载；柱截面轴力
N_F	柱轴向荷载
N_{ur}	火灾后剩余承载力
N_u	常温下柱的极限承载力
$N_{u, cr}$	轴心受压柱的稳定承载力
N_{uc}	组合柱轴压极限承载力计算值

N_{ue}	组合柱轴压极限承载力实测值
$N_u(t)$	火灾下柱的极限承载力
P	水平荷载
P_F	梁上竖向荷载
P_{max}	水平荷载极限值
P_u	常温下梁受集中荷载时的极限承载力
P_{uc}	压弯构件(或节点、框架)计算极限水平承载力
P_{ue}	压弯构件(或节点、框架)实测极限水平承载力
P_{ur}	火灾后梁剩余承载力
P_y	屈服荷载
q_F	梁上均布荷载
q_u	常温下梁受均布荷载时的极限承载力
Q	栓钉剪力
Q_{uT}	高温下栓钉的极限抗剪承载力
R	火灾后剩余承载力系数
S	相对滑移
S_T	高温下(后)相对滑移量
S_u	极限相对滑移
S_{uT}	高温下(后)极限滑移量
t	受火时间
t_c	混凝土龄期
t_d	恒高温持续时间
t_f	钢梁的翼缘厚度
t_h	升温时间
t_i	中空夹层钢管或钢管混凝土叠合柱柱中内钢管的壁厚
t_r	修复后外套钢管壁厚
t_R	耐火极限
t_s	碳素钢管或不锈钢管壁厚
t_{sc}	钢管混凝土格构式柱柱肢钢管壁厚
t_{si}	中空夹层混凝土柱内钢管壁厚
t_{sl}	钢管混凝土格构式柱缀管钢管壁厚
t_{slab}	楼板厚度
t_{so}	中空夹层混凝土柱外钢管壁厚
t_w	钢梁的腹板厚度
T	温度
T_{cr}	临界温度
T_{act}	实际温度
T_f	火焰温度

$T_{\max}$	火灾的最高温度
T_o	环境温度
T_s	不锈钢管与混凝土接触点的温度
T_{tar}	目标温度
u	梁的挠度
u_m	构件跨中挠度
V	剪力
V_b	梁截面剪力
V_c	柱截面剪力
V_j	节点区所受剪力
V_y	屈服剪力
W_{nx}	钢梁净截面抗弯抵抗模量
W_{scm}	构件截面抗弯模量
α_c	柱截面含钢率
α_b	梁截面含钢率
β	钢管混凝土格构式柱缀管柱肢管径比
β_H	水平向约束刚度比
β_R	平面内转动约束刚度比
β_V	竖向向约束刚度比
δ_b	梁端挠度或梁竖向变形
δ_p	节点火灾后峰值转动变形系数
δ_u	节点火灾后残余转动变形系数
Δ_c	柱轴向变形
Δ_h	水平变形
Δ_y	屈服位移
ε	综合辐射系数; 应变
ε_c	混凝土的应变
ε_{ccr}	混凝土的高温徐变
ε_{cth}	混凝土的自由膨胀应变
$\varepsilon_{\text{c}\sigma}$	混凝土的应力应变
ε_o	截面形心处应变
ε_s	钢材的应变
ε_{scr}	钢材的高温瞬时蠕变
ε_{sth}	钢材的自由膨胀应变
ε_{sr}	钢材的应力应变
$\varepsilon_{\text{IcrT}}$	高温下混凝土峰值拉应力对应的应变
ε_{tr}	混凝土的瞬态热应变
ε_{LT}	高温下混凝土拉应变

ε_{tuT}	高温下混凝土受拉最大应变
ε_y	钢材的屈服应变
ϕ	曲率
φ	轴心受压柱的稳定系数
γ	剪切角; 钢梁截面塑性发展系数
λ	构件长细比
λ_{cp}	型钢混凝土柱等效长细比
λ_i	同级荷载强度退化系数
λ_j	总体荷载退化系数
μ	构件位移延性系数; 框架柱计算长度系数
μ_{c0}	型钢混凝土柱等效计算长度系数
μ_{cp}	型钢混凝土火灾后计算长度系数
μ_θ	构件层间变形角延性系数
ν_c	混凝土弹性阶段的泊松比
ν_s	钢材弹性阶段的泊松比
θ	夹角
θ_b	梁端转角
θ_c	柱端转角
θ_d	层间位移角
θ_p	塑性转角
θ_r	梁柱相对转角
σ	应力
σ_c	混凝土应力
σ_s	钢材应力
σ_{to}	混凝土峰值拉应力
σ_{tT}	高温下混凝土拉应力
τ	粘结应力
τ_T	高温下(后)粘结应力
τ_u	粘结强度
τ_{uT}	高温下(后)极限粘结强度
ξ	钢管混凝土的约束效应系数 $\left(\xi = \frac{A_s \cdot f_y}{A_c \cdot f_{ck}} \right)$

目 录

第二版前言	
第一版前言	
主要符号表	
第 1 章 绪言	1
1.1 概述	1
1.2 组合结构抗火设计原理研究现状	3
1.2.1 组合结构构件	3
1.2.2 梁 - 柱连接节点	10
1.2.3 框架结构	13
1.3 本书的目的和内容	14
参考文献	18
第 2 章 高温下 (后) 组合构件中钢 - 混凝土界面的粘结性能	21
2.1 引言	21
2.2 高温下钢管混凝土中钢管 - 核心混凝土界面粘结性能试验	21
2.2.1 试验概况	21
2.2.2 试验结果及分析	25
2.2.3 小结	30
2.3 高温后钢管混凝土中钢管 - 核心混凝土界面粘结性能试验	30
2.3.1 试验概况	30
2.3.2 试验结果及分析	34
2.3.3 小结	37
2.4 高温后型钢混凝土中型钢 - 混凝土界面粘结性能试验	37
2.4.1 试验概况	37
2.4.2 试验结果及分析	40
2.4.3 小结	44
2.5 本章结论	45
参考文献	45
第 3 章 型钢混凝土构件的耐火性能	46
3.1 引言	46
3.2 数值计算模型	46
3.2.1 纤维模型法	46
3.2.2 有限元法	54

3.3	型钢混凝土柱耐火性能试验研究	62
3.3.1	试验概况	62
3.3.2	试验结果及分析	63
3.4	耐火性能分析	68
3.4.1	破坏形态	69
3.4.2	应力、应变分布规律	71
3.4.3	滑移影响分析	75
3.5	承载力影响因素分析和实用计算方法	76
3.5.1	火灾下承载力影响因素分析	76
3.5.2	火灾下承载力实用计算方法	78
3.5.3	耐火极限实用计算方法	80
3.6	本章结论	83
	参考文献	83
第4章	全过程火灾作用下型钢混凝土构件的性能	87
4.1	引言	87
4.2	有限元模型	87
4.3	型钢混凝土柱全过程火灾下力学性能试验研究	92
4.3.1	试验概况	92
4.3.2	试验结果及分析	94
4.4	工作机理分析	104
4.4.1	温度-受火时间关系	104
4.4.2	荷载-柱轴向变形关系	106
4.4.3	截面荷载分布	107
4.5	型钢混凝土构件火灾后力学性能评估	108
4.5.1	火灾后剩余承载力及实用计算方法	108
4.5.2	受火后结构性能的评估方法	114
4.5.3	工程应用	116
4.6	本章结论	120
	参考文献	120
第5章	新型钢管混凝土柱的耐火性能	122
5.1	引言	122
5.2	中空夹层钢管混凝土柱	122
5.2.1	短柱耐火性能试验	122
5.2.2	长柱耐火性能试验	129
5.2.3	有限元模型	135
5.2.4	小结	137
5.3	不锈钢管混凝土柱	137
5.3.1	试验概况	137

5.3.2	试验结果及分析	141
5.3.3	有限元模型	147
5.3.4	小结	150
5.4	FRP 约束钢管混凝土和钢筋混凝土柱	150
5.4.1	试验概况	150
5.4.2	试验结果及分析	152
5.4.3	小结	157
5.5	钢管混凝土柱的抗火设计方法	157
5.5.1	防火保护措施	157
5.5.2	抗火设计方法	160
5.5.3	计算示例	169
5.6	本章结论	170
	参考文献	170
第 6 章	火灾后钢管混凝土柱的修复加固方法	173
6.1	引言	173
6.2	加固后钢管混凝土柱的静力性能	174
6.2.1	“增大截面法”	174
6.2.2	“FRP 包裹法”	183
6.3	加固后钢管混凝土柱的滞回性能	185
6.3.1	“增大截面法”	185
6.3.2	“FRP 包裹法”	203
6.4	火灾后钢管混凝土柱修复加固措施	205
6.5	本章结论	207
	参考文献	207
第 7 章	钢管混凝土格构式柱的耐火性能	208
7.1	引言	208
7.2	有限元模型	208
7.3	三肢钢管混凝土格构式柱耐火性能试验研究	209
7.3.1	试验概况	209
7.3.2	试验结果及分析	213
7.4	火灾下三肢钢管混凝土格构式柱工作机理分析	219
7.4.1	典型破坏形态	219
7.4.2	典型柱轴向变形 - 受火时间关系	221
7.4.3	各柱肢轴力 - 受火时间关系	221
7.5	三肢钢管混凝土格构式柱耐火极限实用计算方法	223
7.5.1	参数分析	224
7.5.2	耐火极限实用计算方法	226
7.6	本章结论	228

参考文献	228
第8章 全过程火灾作用下钢管混凝土叠合柱的力学性能	229
8.1 引言	229
8.2 有限元模型	229
8.2.1 温度场计算模型	229
8.2.2 力学性能分析模型	229
8.3 全过程火灾作用下钢管混凝土叠合柱的试验研究	235
8.3.1 试验概况	235
8.3.2 试验结果及分析	239
8.4 工作机理分析	256
8.4.1 温度-受火时间关系	256
8.4.2 荷载-柱轴向变形关系	257
8.4.3 截面内力分布	257
8.5 钢管混凝土叠合柱耐火极限	258
8.5.1 有限元方法	258
8.5.2 实用计算方法	261
8.6 钢管混凝土叠合柱火灾后剩余承载力	263
8.6.1 有限元方法	263
8.6.2 实用计算方法	267
8.7 本章结论	268
参考文献	268
第9章 型钢混凝土柱-型钢混凝土梁连接节点的耐火性能	271
9.1 引言	271
9.2 有限元模型	271
9.3 型钢混凝土柱-型钢混凝土柱梁连接节点耐火性能试验研究	273
9.3.1 试验概况	273
9.3.2 试验结果及分析	276
9.4 火灾下节点工作机理分析	281
9.4.1 钢和混凝土之间粘结滑移的影响	281
9.4.2 变形及破坏形态	282
9.4.3 内力变化	288
9.4.4 应力分布	290
9.4.5 混凝土的塑性应变	294
9.5 节点耐火极限影响因素分析	296
9.6 本章结论	300
参考文献	300
第10章 全过程火灾作用下型钢混凝土柱-型钢混凝土梁连接节点的性能	302
10.1 引言	302