



节能防灾型 钢管混凝土结构

查晓雄 著



科学出版社

节能防灾型钢管混凝土结构

查晓雄 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

钢管混凝土结构在我国得到越来越多的应用,一方面钢管混凝土结构显示出一些比其他结构更好的性能,如抗冲击、抗倒塌等,另一方面在节能环保方面也显示出巨大的优越性。

本书全面介绍了钢管混凝土结构在抵抗意外灾害荷载下的性能和节能环保方面的应用,涉及最新的钢管混凝土结构抗冲击性能、抗倒塌性能,椭圆形钢管混凝土性能,海砂钢管混凝土性能的研究,以及可利用二氧化碳钢管混凝土性能的研究成果。

本书可供高等院校土木工程专业作为选修课程的教材,也可供土木工程方面的技术人员和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

节能防灾型钢管混凝土结构 / 查晓雄著. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-029908-6

I. 节… II. 查… III. ①钢管结构:混凝土结构 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 000065 号

责任编辑:余 丁 / 责任校对:钟 洋

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕 者

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>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011年1月第一次印刷 印张:20 1/2

印数:1—2 500 字数:397 000

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

本书是作者收集国内外有关资料,及本人多年来科学研究的成果编辑而成。内容十分丰富多彩。主要内容有:

一,钢管柱、钢筋混凝土柱和钢管混凝土柱在微型汽车、小型货车和中型货车作用下的撞击试验,并进行了有限元模拟,证明了钢管混凝土柱具有良好的抗冲击性能,得到了我国现行规范中对汽车冲击荷载取值过小的结论。

二,对钢管混凝土框架结构在火灾、地震等灾害下的抗连续性倒塌性能进行了计算模型和计算方法的简化,及有限元分析的验证。分析了各种因素的影响,提出了加强的方法。

三,对大江中的深水平台柱和大桥桥墩应采用椭圆形钢管混凝土柱进行了研究。作者对椭圆形钢管混凝土柱轴压短柱和长柱进行了理论分析和实验验证,并分析研究了受弯的工作性能,得到了承载力计算公式;最后提出了承载力实用计算公式,可供设计应用。

四,首次提出钢管海砂混凝土,合理利用大量廉价海砂来浇注混凝土。为了避免海砂中所含盐分对钢管的腐蚀,开创性地提出了在钢管内壁铺一层 FRP 板,再灌海砂混凝土,及在钢管内先浇灌一层普通混凝土,再灌海砂混凝土的新方案,并进行了试验验证。试验结果与有限元模型结果吻合很好。此项创新成果,已申请专利。

五,提出了采用再生混凝土,利用废弃的混凝土,粉碎后作为骨料,再次利用。

此外还分析了空气中的二氧化碳对钢管混凝土性能的影响等。

总之,全书提出的以节能防灾为核心的内容与措施,十分必要。众所周知,节能、环保和低碳是当今世界特别关心的问题,是关系着人类生存的大问题。该书完全符合国家节能、环保和低碳的国策,是一本很好的参考资料,可供相关专业的高年级本科生和研究生作为教材,也可供相关工程技术人员参考。

钟善桐

2011 年 1 月

前 言

随着全球能源危机的爆发和地球气候环境的日益恶劣,节能、环保、低碳日益成为社会生活中的重要概念。

钢管混凝土由于本身的优势,完美地结合了钢材和混凝土二者的性能,从而节省了钢材和混凝土的用量,加快了施工进度,施工现场对环境污染少,表面无裂纹免维护,从总体而言就是一种节能环保型结构。这是这种结构从出现就自然而然存在的优良特性。近两三年,研究者发现经过适当处理,钢管混凝土还能发挥更大的作用,在节能环保领域具有得天独厚的优势,这已经逐渐引起注意。

本书结合作者近年来在此方面的研究工作,以及与国外高校的合作成果,对此进行探索,以期更大发挥钢管混凝土的优势并推广应用,相信随着逐步的重视和开发,更多更好的钢管混凝土节能环保形式会出现,使得这一结构为我国的现代化建设和人类文明的发展做出更大的贡献,相信这也是我们科研的主要目的。

撞击荷载属意外载荷,近年来随着交通工具的增加和更频繁的使用,撞击事件不断发生,也出现了很多重大的事故和伤亡。在容许的条件下使结构更安全可靠,是工程技术人员的攻关方向,钢管混凝土结构在此方面同样表现出很强的优越性,故本书将钢管混凝土抗撞击和倒塌性能的研究也列入其中。

虽然如此,此方面的研究尚不多见,需要更多的开创性学者投入到这个行列,不断创新,相信社会的需要就是这个领域发展的无限动力,它的前景一定无限光明。

本书的编排如下:

第一章主要介绍钢管混凝土结构的发展现状和存在的问题;

第二章介绍实心 and 空心钢管混凝土抗冲击性能研究;

第三章详细讲解实心 and 空心钢管混凝土结构抗连续性倒塌性能研究;

第四章详细讲解椭圆钢管混凝土结构;

第五章讲解钢管海砂混凝土结构;

第六章讲解可利用二氧化碳钢管混凝土构件。

作者衷心感谢导师钟善桐教授在此领域长期的指导,他在九十多岁高龄还表现出旺盛的科研热情和对新领域的探索精神,令后辈永远学习。感谢英国皇家协会和国家留学基金管理委员会提供的多次出国合作资助,感谢英国伯明翰大学李龙元博士、英国曼彻斯特大学王永昌教授、英国里兹大学叶建乔博士、英国帝国理工大学 Izzuddin 教授等提供的合作机会和创新想法。每每想起他们对我的巨大帮

助及在最困难时候的关心,我感激不尽,同时深深的自责,感到自己付出太少,对社会的贡献太少。感谢近年来一道同甘共苦、默默无闻参与其中的研究生,正是这种亦师亦友、如琢如磨的交流促成本书的完成。所有帮助过我的人和对社会的感恩之心是激励我不断前进的动力。

虽然经过日日夜夜的努力,但由于作者的水平有限,不尽如人意的地方一定很多,不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
1.1 普通钢管混凝土构件	1
1.2 节能环保防灾型钢管混凝土	5
1.2.1 钢管混凝土抵抗撞击等意外荷载的性能	5
1.2.2 钢管混凝土抗连续性倒塌的性能	13
1.2.3 椭圆形钢管混凝土	22
1.2.4 钢管海砂混凝土柱	23
1.2.5 能利用二氧化碳的钢管混凝土构件	34
1.2.6 再生混凝土的研究	44
参考文献	47
第二章 实心和空心钢管混凝土抗冲击性能研究	57
2.1 钢管混凝土构件试验研究	57
2.1.1 试验目的	57
2.1.2 试验测量数据	57
2.1.3 冲击设备介绍	57
2.1.4 试验过程	59
2.1.5 构件材料属性	60
2.1.6 试验现象和结果	61
2.2 空心钢管混凝土构件在侧向冲击下的有限元计算	64
2.2.1 有限元模型建立	64
2.2.2 空心钢管混凝土构件抗侧向冲击性能的参数影响研究	66
2.3 钢管混凝土构件在汽车撞击下的性能研究	69
2.3.1 汽车撞柱有限元模型及相关参数取值	69
2.3.2 计算结果及评价	74
2.3.3 汽车撞击试验中对滤波的要求	78
2.3.4 冲击力时程曲线的滤波处理及分析	79
2.3.5 冲击力和各种参数之间的关系	80
2.3.6 汽车撞击荷载模拟结果和规范的对比	84

2.3.7 三种柱子在汽车撞击作用下的耐撞性研究	84
2.4 总结和展望	85
参考文献	86
第三章 实心 and 空心钢管混凝土结构抗连续性倒塌性能研究	87
3.1 引言	87
3.2 结构连续性倒塌简化分析流程	87
3.2.1 基于计算模型的简化	88
3.2.2 基于计算方法的简化	91
3.2.3 评估标准	92
3.3 多层框架与单层框架的简化对比分析	93
3.3.1 层间相互作用力的计算	93
3.3.2 单层简化方法有限元验证	95
3.4 非线性拟静力分析方法研究	106
3.4.1 基于能量守恒原理的简化计算方法研究	106
3.4.2 基于梁构件组合模型的简化计算方法验证	108
3.4.3 基于组合梁框架模型的简化计算方法验证	114
3.4.4 基于带楼板的框架模型的简化计算方法验证	115
3.4.5 二维楼板效应放大系数研究	120
3.5 结构整体稳定验算	121
3.6 钢管混凝土单层简化框架模型抗连续性倒塌性能研究	124
3.6.1 混凝土强度对框架抗连续性倒塌性能的影响分析	125
3.6.2 梁配筋率对框架抗连续性倒塌性能的影响分析	128
3.6.3 牛腿长度对框架抗连续性倒塌性能的影响分析	130
3.7 总结和展望	133
参考文献	134
第四章 椭圆形钢管混凝土结构	136
4.1 前言	136
4.2 椭圆形钢管混凝土轴压短柱性能研究	136
4.2.1 引言	136
4.2.2 椭圆形钢管混凝土核心混凝土与外钢管环向受力分析	136
4.2.3 椭圆形钢管混凝土轴压组合强度公式	140
4.2.4 椭圆形钢管混凝土短柱轴压试验	147
4.3 椭圆形钢管混凝土轴压长柱性能研究	159
4.3.1 引言	159
4.3.2 基本理论	160

4.3.3 椭圆形钢管混凝土轴压长柱绕长、短轴稳定系数	160
4.4 椭圆形钢管混凝土纯弯构件性能研究	164
4.4.1 引言	164
4.4.2 理论假设	165
4.4.3 椭圆形钢管混凝土绕长轴抗弯性能研究	165
4.4.4 椭圆形钢管混凝土绕短轴抗弯性能研究	170
4.5 椭圆形钢管混凝土压弯构件性能研究	174
4.5.1 引言	174
4.5.2 基本理论	175
4.5.3 椭圆形钢管混凝土压弯构件	176
4.6 椭圆形截面绕流数值模拟	184
4.6.1 引言	184
4.6.2 流体力学基本知识	184
4.6.3 计算流体力学基本知识	187
4.6.4 椭圆形截面在空气中绕流数值模拟	188
4.6.5 椭圆形截面在水中绕流数值模拟	195
4.7 总结和展望	196
参考文献	197
第五章 钢管海砂混凝土结构	199
5.1 前言	199
5.2 两种隔离海砂方法研究	199
5.2.1 引言	199
5.2.2 钢管-FRP 板-混凝土构件试验探究	200
5.2.3 双层海砂混凝土初探	203
5.3 FRP 有限元建模及试验验证	205
5.3.1 引言	205
5.3.2 单层板弹性常数和极限强度的预测	205
5.3.3 试验验证	211
5.4 钢管-GFRP 管-混凝土短柱轴压性能研究	215
5.4.1 引言	215
5.4.2 试验介绍	215
5.4.3 有限元分析	219
5.4.4 组合构件轴压承载力理论推导	221
5.5 钢管-GFRP 管-混凝土构件抗震性能研究	225
5.5.1 引言	225

5.5.2	相关试验验证	226
5.5.3	典型滞回曲线分析	230
5.5.4	骨架曲线的简化模型	231
5.5.5	延性系数的推导	240
5.6	电化学方法去除海砂中氯化物	242
5.6.1	影响脱盐效率因素分析	242
5.6.2	混凝土防腐电化学脱盐有限元模型	243
5.6.3	各因素间的耦合作用和修正拟合方程	258
5.6.4	脱盐效率总方程	259
5.7	总结和展望	260
	参考文献	261
第六章	可利用二氧化碳钢管混凝土构件	263
6.1	高压下混凝土碳化的有限元模型	263
6.1.1	引言	263
6.1.2	碳化耦合方程的建立	263
6.1.3	混凝土试块的碳化模拟	267
6.1.4	钢管混凝土的碳化模拟	275
6.2	试验设计及试验研究	280
6.2.1	引言	280
6.2.2	钢管压力测试试验设计	281
6.2.3	改造空心钢管混凝土试验准备	282
6.2.4	材性试验	288
6.2.5	试验过程及破坏形式	290
6.2.6	X射线衍射分析	293
6.3	混凝土试块及空心钢管混凝土试验结果分析	295
6.3.1	混凝土试块力学试验及微观试验结果分析	295
6.3.2	空心钢管混凝土力学试验结果分析	302
6.4	高压碳化深度与各影响因素关系的拟合	307
6.4.1	混凝土试块方形碳化模型的拟合	307
6.4.2	钢管混凝土环形碳化模型的拟合	309
6.5	结论和展望	313
	参考文献	314

第一章 绪 论

1.1 普通钢管混凝土构件

通常,钢管混凝土是指在钢管中填充混凝土而形成的构件。按制作不同,可分为实心钢管混凝土和空心钢管混凝土。其中,实心钢管混凝土采用浇灌的方式制作,混凝土完全填满钢管,空心钢管混凝土是采用离心法浇筑管内混凝土并通过蒸汽养生制成,混凝土部分为中空。

钢管混凝土柱根据形状可分为圆形、正方形、矩形和多边形等,如图 1-1 所示。圆形钢管混凝土柱受压时具有诸多优点,在实际工程中应用最多,往往成为钢管混凝土柱的代名词;正方形、矩形钢管混凝土柱因外形在建筑上有利,主要应用于多层和高层民用建筑中。内填混凝土强度级别较高的又称为钢管高强混凝土柱。钢管混凝土柱最宜用作轴心受压构件以及小偏心受压构件,当偏心较大时,应采用二肢、三肢或四肢组成的组合式构件。

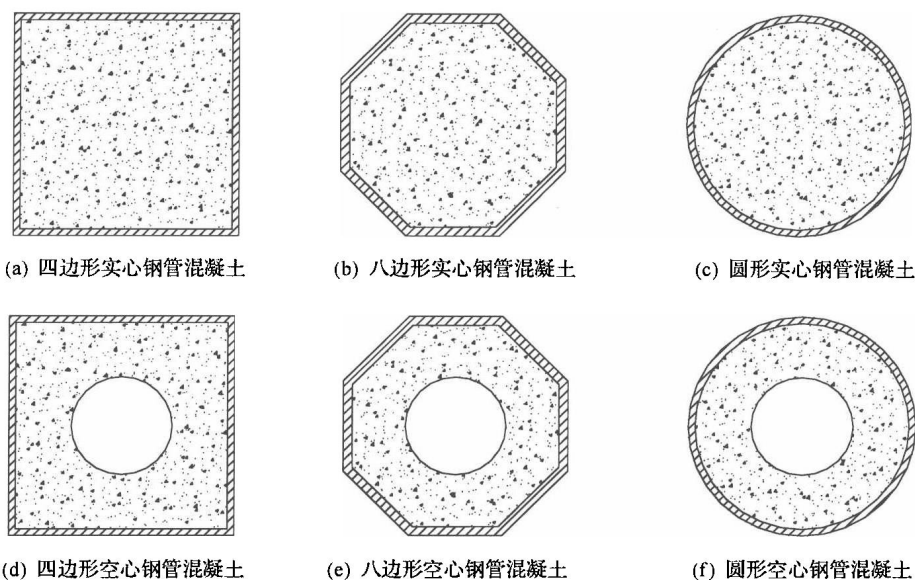


图 1-1 钢管混凝土截面

钢管混凝土中外钢管的作用:由于钢管对其核心混凝土的约束作用,使混凝土处于三轴应力状态,从而提高了混凝土的强度、塑性等力学性能;钢管包裹在混凝土

土外面,解决了钢筋混凝土构件所面临的表面纵向裂缝问题,延长使用寿命和减少维护;提高了抗冲击能力,减少了起吊、运输和安装工程中的破损率,在生产过程中能有效避免出现跑浆、麻面等问题,因此基本上不存在废品率的问题;钢管还可以作为浇筑混凝土的模板,可节省模板费用,加快施工速度;可安全可靠地采用高强度混凝土,混凝土的强度越高,其脆性就越突出,采用钢管混凝土,不但构造简捷,施工方便,而且能达到防止高强混凝土脆性破坏的目的。

钢管混凝土中混凝土的作用:由于混凝土的存在,可以延缓或避免钢管过早地发生局部屈曲,从而可以保证钢材性能的充分发挥;核心混凝土使钢管遭受环境腐蚀的接触面减少一半,解决了钢管内壁的防腐问题;能吸收大量热能,因此遭受火灾时,延长了柱子的耐火时间,可节约防火涂料。

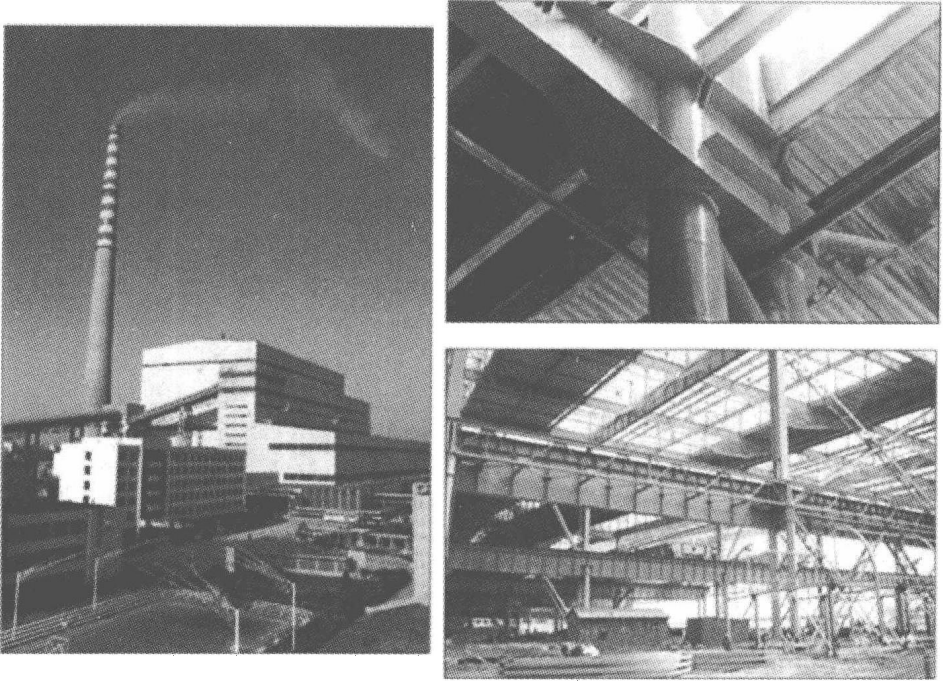
因此钢管混凝土不仅可以弥补两种材料各自的缺点,而且能够充分发挥它们的优点,使得钢管混凝土具有承载力高、塑性和韧性好、施工方便、耐火性能较好和经济效果好等优点。空心钢管混凝土结构相对钢管混凝土结构具有诸多优点:避免了现场高空浇灌混凝土,可节省混凝土用量;由于构件工厂化生产,混凝土成形和养护条件优越,质量稳定可靠;中空的部分可以布置各种管线,节省空间。

钢管混凝土结构特别符合我国的国情,使得我国成为钢管混凝土结构应用最广泛的国家,主要有以下几个方面^[1~4]:工业厂房、高炉和锅炉构架、送变电杆塔、公路和城市桥梁、高层建筑。如图 1-2 所示。

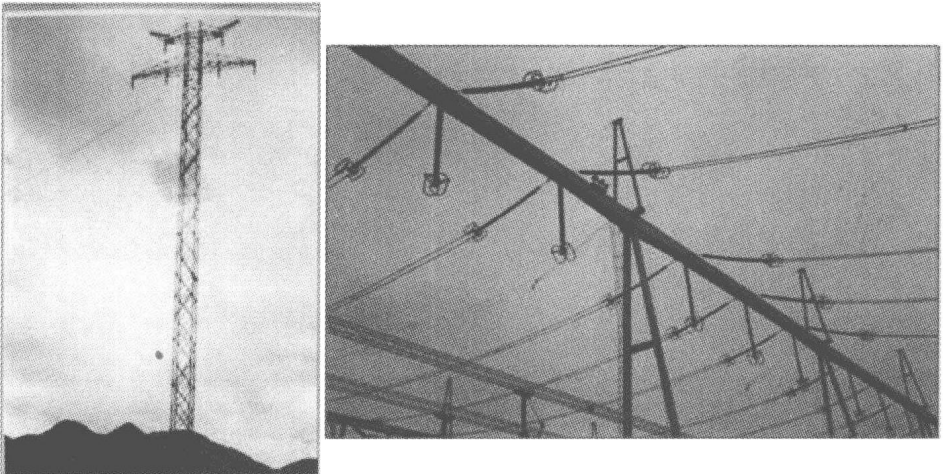
在设计方面,国外影响较大的钢管混凝土结构的设计规范有:美国混凝土协会的 ACI318-89 规程(American Concrete Institute 318-89)、美国钢结构协会的 AISC-LRFD(99) 规程(American Institute of Steel Construction—Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings (99))、欧洲标准协会的 EC4(94) 规程(Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures (94))、日本建筑协会的 AIJ(97) 规程(Architectural Institute of Japan—Standards for Structural Calculation of Tubular Steel Concrete Composite Structures (97))。由于历史的原因,我国现有三部有关计算圆钢管混凝土结构的行业规程:国家建筑材料工业局标准《钢管混凝土结构设计规程》(JCJ01-89)、中国工程建设标准化协会标准《钢管混凝土结构设计规程》(CECS28:90)、中华人民共和国电力行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》(DL/T5085-1999)。计算矩形钢管混凝土柱的行业规程有中国标准化协会标准《矩形钢管混凝土柱结构技术规程》(CECS159:2004)。空心钢管混凝土结构的设计规范有最新颁布发行的《空心钢管混凝土结构技术规程》(CECS254:2009)。

1986 年,我国组建了我国钢结构协会钢-混凝土组合结构分会,每两年组织一次全国性组合结构学术讨论和交流会,到 2009 年先后共组织了 12 次全国组合结构学术讨论和交流会,参加协会的团体会员单位近百个,已经成为我国研究、推

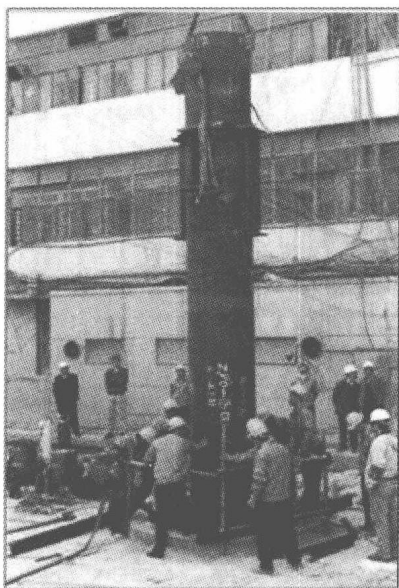
广、交流钢管混凝土及组合结构重要平台。



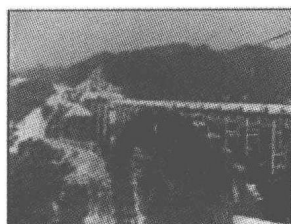
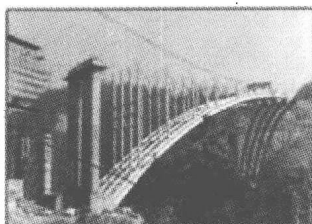
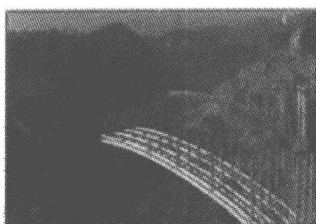
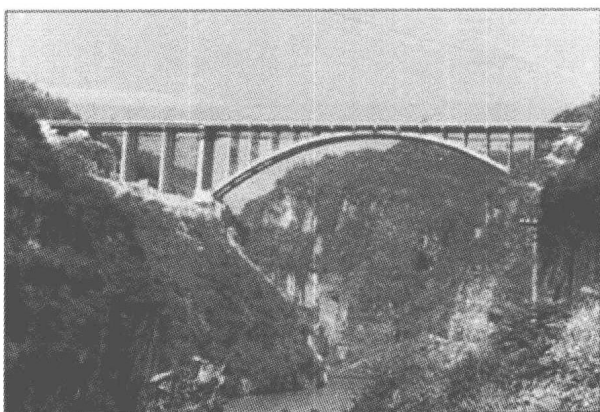
(a) 钢管混凝土结构在工业厂房中的应用



(b) 钢管混凝土结构在送变电杆塔中的应用



(c) 钢管混凝土结构在高层建筑中的应用



(d) 钢管混凝土结构在桥梁中的应用

图 1-2 钢管混凝土结构工程应用实例

1.2 节能环保防灾型钢管混凝土

随着社会的发展,工程建筑不仅要求结构更加安全可靠,同时环境保护、资源节约、二氧化碳减排提出更高的要求,需要工程技术和研究人员在发展和保护中保持平衡,在这种形势下,一方面出现了一些新型节能环保型钢管混凝土结构,另一方面对钢管混凝土结构新性能的研究和开发提出要求,下面分别论述近年来我们对几种立项研究的新型节能环保钢管混凝土结构的成果,以期丰富和发展这种结构。

1.2.1 钢管混凝土抵抗撞击等意外荷载的性能

1.2.1.1 概况及意义

近几十年,在各种意外荷载的作用下许多结构都出现了破坏甚至倒塌的事故,造成了巨大的经济损失和人员伤亡,结构在遭受意外荷载作用下的抗倒塌能力已经是结构工程师在设计时必须考虑的问题。意外荷载的来源很多,大体上可以将其分为撞击和爆炸,其中以撞击最为常见。自1964年5月发生的Maracaibo桥灾难性撞击事故以来,已发生多起船舶驶离航道而撞击桥墩的重大事故。切尔诺贝利核电站核泄漏,就是初期爆炸产生的碎片猛烈冲击周围混凝土结构,使之产生变形、破坏而引起的。震惊全球的9·11事件,也是飞机对高层建筑的直接撞击。这些事故的损失难以估量。同时各国都有不少具有重要政治与经济意义的标志性建筑和重大工程,迫切需要评价这些建筑物的安全以及提出防止结构倒塌的措施。因此,结构受撞击破坏的研究有着十分重要的社会背景和工程背景,受到工程界的高度重视。

随着社会的高速发展,现代交通工具已经成为人们生活中必不可少的一部分,它直接影响到人们的日常生活乃至国家经济建设。然而,随之而来的交通安全问题越来越引起人们的广泛关注,它不仅导致巨大的财产损失,更加威胁到人们的生命安全。交通工具之间的撞击屡见不鲜,最常见的就是汽车相撞。此外,交通工具撞击建筑物的事情也时有发生,如:飞机撞击大楼、汽车撞击道路护栏或城市立交桥的桥墩、轮船撞击桥墩等,如图1-3所示。撞击事故中,在交通工具破坏的同时,建筑物也有可能由于突然的撞击而破坏甚至倒塌,这样将导致更大的人员伤亡和财产损失,如何评估撞击中和撞击后的建筑物的安全问题就显得非常重要^[5~8]。在常见的交通工具中,汽车是最普遍的,在20世纪60年代以前,汽车普及程度还不高,路况较好,交通安全问题还不突出,相关的研究也较少。近二三十年来,随着各国城市人口的日益密集,汽车制造技术的提高,以及汽车的普及,保有量的不

断增多,道路交通安全问题越发突出。最近几年,我国道路交通每年的死亡人数一直维持在 10 万人左右的高位上(如 2004 年道路交通死亡人数为 107 077 人),这相当于我国每年有一个中等县城的人死于非命。欧盟国家 2000 年道路交通死亡人数为 4 万人,日本 2003 年道路交通死亡人数为 7 702 人^[9]。据统计,目前全世界每年因交通事故而死亡的人数竟高达五六十万,即交通事故死亡居当今人类非正常死亡之首,其中汽车撞击柱子(包括树、电线杆等)的事故也是频频可见^[10]。比较著名的由汽车撞击引起的灾难性事故有^[11]:1983 年 4 月 18 日下午,一辆载有 900kg 炸药的卡车撞向了美国驻黎巴嫩大使馆,致使一幢 7 层的结构局部倒塌,造成 63 人死亡;1998 年 8 月 7 日早上,一辆满载炸药的黄色接送车撞向美国驻肯尼亚大使馆,导致这幢 5 层高的主楼严重损伤和一幢 7 层高的附属大楼完全倒塌,219 人丧失生命,与此同时,另一辆载有炸药的卡车撞向美国驻坦桑尼亚大使馆,由于使馆外防护墙的作用,没有导致大楼倒塌,但是 11 人在此次爆炸中丧生。可以说,交通工具的撞击特别是汽车撞击已经是结构最有可能会遭受的意外荷载之一。图 1-3 为交通工具撞击结构导致结构倒塌的事故图片。



(a) 飞机撞击大楼

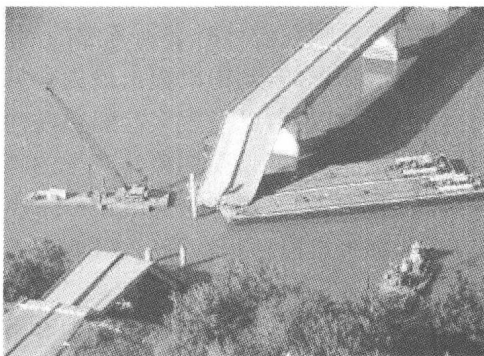
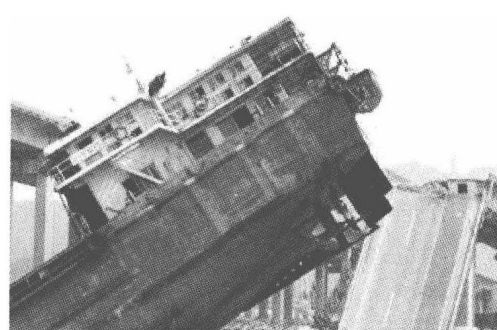
(b) 轮船撞击桥墩^[8](c) 卡车撞击公路桥^[8]

图 1-3 在意外荷载作用下的结构倒塌事故

结构遭受碰撞及以后发生的冲击振动、爆炸、火灾等次生灾害的过程是很复杂的,其中涉及了多种几何、材料和接触类非线性问题,如何简化计算模型去模拟结构在受到冲击后的响应及倒塌效应是很关键的问题。而柱子作为结构中最重要 的受力构件,其重要性不言而喻。柱子在撞击作用下的安全性将直接关系到整个结构的安全,研究柱子在冲击荷载作用下的性能具有代表性。而汽车撞击事故非常普遍,汽车撞击结构也到处可见,近年来国际上发生多次大型建筑物在冲击荷载作用下倒塌破坏的惨剧,造成巨大的损失,而使用汽车撞击建筑物,成了恐怖分子常见的进攻方式。在设计结构的时候如何考虑汽车的冲击荷载的大小和研究柱子的抗撞击能力也就显得非常必要。

目前的设计规范和方法对于结构的抗倒塌还基本处于概念设计阶段,其中也有通过使用尝试荷载、控制关键部件或是风险评估的方法来控制结构的倒塌,但是还不是很完善,并非涉及所有结构类型,也缺乏相应的理论和试验研究。但是其重要性已经很明显了。规范中也很少涉及汽车撞击荷载的计算要求,只有少数几个国家有关于汽车撞击荷载的规定,如英国 BS5400 规范。但是它们基本上是根据经验给出汽车撞击荷载的值和通过一些构造措施来保证结构安全,而且相关的计算方法和设计要求也很粗糙。不过这也正说明了汽车撞击荷载已经到了不可以忽视的地步。如中国最新的《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60-2004)^[12]中就对旧规范进行了修正,其中重要的一项就是加入了关于汽车撞击荷载的计算和设计要求。但是其内容只有 100 多个字,加上后面的条文说明也才 200 来个字,其计算要求和设计要求很笼统,其中规定:在车辆行驶方向是 1000kN,垂直行驶方向是 500kN,两个方向不同时考虑,没有考虑撞击过程的动态特性及结构类型的不同,主要是参考的英国规范 BS5400^[13]。

鉴于上面的原因,研究不同类型柱子在汽车撞击作用下的性能及汽车对撞击过程中不同柱子的冲击荷载的大小,对柱子的设计及柱子在撞击后的安全评估是很有意义的,同时为研究结构在汽车撞击作用下的鲁棒性乃至整个结构的安全评估提供一定的前提条件。

自 1990 年以来,钢管混凝土在我国已用于送变电杆塔结构中,但钢管混凝土用于高压送电杆塔结构时,现场浇灌混凝土是很困难的。因送电杆塔都建于野外,跨越山岭,杆塔档距达数百米,且无道路,现场浇灌混凝土几无可能。为解决此问题,必须改为在工厂预制。这时,为方便运输和现场组装,应把中心混凝土抽去,以减轻自重,这就出现了空心钢管混凝土。

由于空心钢管混凝土有着质量轻、承载力高等特点,已逐渐使用在高层、超高层以及桥梁等结构中^[1]。空心钢管混凝土和其他混凝土结构一样,不可避免地要受到意外撞击,如飓风飞卷的碎片和失事飞机对高层、超高层建筑的冲击,船舶因偏离航线对桥墩及平台的撞击,爆炸对地面及地下结构的冲击碰撞等。在高层、超