

马怀忠 王天贤 编

钢—混凝土 组合结构

GANG-HUNNINGTU
ZUHE JIEGOU

中国建材工业出版社

钢 - 混凝土组合结构

马怀忠 王天贤 编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢-混凝土组合结构/马怀忠,王天贤编. —北京:
中国建材工业出版社, 2006. 1
ISBN 7-80159-989-6

I. 钢... II. ①马... ②王 III. 钢结构:混凝土
结构:组合结构 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 132808 号

内容简介

本书以现行规范、规程为准则编写,内容有:绪论、组合结构材料、钢与混凝土组合梁、压型钢板混凝土组合板、型钢混凝土梁、型钢混凝土柱、型钢混凝土剪力墙、钢管混凝土组合结构等。

本书注重实用,可作为土木工程专业高年级学生选修课的教材,也可作为土木工程技术人员参考书。

钢-混凝土组合结构

马怀忠 王天贤 编

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街6号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.75

字 数:389千字

版 次:2006年1月第1版

印 次:2006年1月第1次

定 价:26.00元

网上书店:www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

前 言

钢 - 混凝土结构具有承载力高、自重轻、节约材料、截面尺寸小、抗震性能好等突出优点,适应建筑结构的发展,是 21 世纪土木工程结构的发展方向之一。

本书以现行规范、规程为准则编写而成。其内容包括:绪论、组合结构材料、钢与混凝土组合梁、压型钢板混凝土组合板、型钢混凝土组合梁、型钢混凝土组合柱、型钢混凝土剪力墙、钢管混凝土组合结构。

本书以教材的形式编写,内容充实,语言简明,例题完备,实用性强,并照顾到各类土建工程技术人员和学校师生需要,在编写过程中,力求内容的系统性、先进性、适用性。在编写方法上,既考虑了学习规律又兼顾设计工作特点,力求由浅入深,循序渐进。本教材既讲理论又讲构造,并编选了足够的例题,以供参考。

本书编写分工如下:马怀忠:第 1 章~第 4 章,王天贤:第 5 章~第 8 章,全书由马怀忠统编定稿。

本书编写过程中除参考相关的规范、规程,还参考了一些公开出版的各类教材和著作,在此向书中参考引用公开发表文献资料的各位作者,表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免存在不足的地方,敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 8 月

目 录

第1章 概论	1
1.1 组合结构的分类	1
1.2 组合结构的特点	3
1.3 组合结构的发展与应用	4
第2章 组合结构材料	6
2.1 混凝土	6
2.2 钢筋	7
2.3 型钢	8
2.4 连接材料	12
第3章 钢-混凝土组合梁	16
3.1 概述	16
3.1.1 钢-混凝土组合梁的类型	16
3.1.2 组合梁工作基本原理	18
3.1.3 组合梁截面分析方法	19
3.1.4 组合梁的施工方法	20
3.2 构造要求	20
3.2.1 材料	20
3.2.2 截面尺寸	20
3.2.3 主、次梁的连接	23
3.3 组合梁试验结果分析	23
3.3.1 组合梁正截面受力性能	23
3.3.2 组合梁交接面上滑移特征	24
3.4 组合梁按弹性理论分析	25
3.4.1 截面几何特征值	25
3.4.2 施工阶段组合梁计算	27
3.4.3 使用阶段计算	29
3.5 组合梁按塑性计算理论分析	33
3.5.1 组合梁受弯承载力计算	33
3.5.2 组合梁受剪承载力计算	35

3.6 抗剪连接件的设计	37
3.6.1 构造要求	37
3.6.2 抗剪连接件受力性能	38
3.6.3 单个抗剪连接件承载力	39
3.6.4 连接件的计算和配置	42
3.6.5 纵向界面受剪承载力计算	44
3.7 组合梁的挠度和裂缝宽度验算	47
3.7.1 概述	47
3.7.2 挠度验算	48
3.7.3 裂缝宽度验算	50
3.8 组合梁稳定验算	53
3.8.1 概述	53
3.8.2 整体稳定性验算	53
3.9 部分抗剪连接组合梁	54
3.9.1 部分抗剪连接组合梁承载力计算	54
3.9.2 部分抗剪组合梁挠度计算	55
3.10 设计例题	56
3.10.1 设计资料	56
3.10.2 次梁设计	56
3.10.3 主梁设计	64
第4章 压型钢板混凝土组合楼盖	73
4.1 概述	73
4.1.1 组合楼板的分类	73
4.1.2 组合楼板与非组合板的特点	74
4.1.3 计算方法	75
4.2 压型钢板的型号及截面特性	75
4.2.1 压型钢板的型号	75
4.2.2 压型钢板截面特征	76
4.3 组合楼板构造	79
4.4 非组合楼板的计算	82
4.4.1 计算原则	82
4.4.2 计算简图	82
4.4.3 荷载	82
4.4.4 承载力验算	83
4.4.5 挠度验算	83
4.5 组合楼板设计计算	83
4.5.1 计算原则	83
4.5.2 正截面承载力计算	85

4.5.3	受剪承载力计算	87
4.5.4	抗冲切承载力计算	89
4.5.5	挠度、裂缝及自振频率验算	89
4.6	组合板的配筋	91
4.7	例题	92
第5章	型钢混凝土梁	95
5.1	概述	95
5.2	型钢混凝土梁构造要求	95
5.2.1	型钢	95
5.2.2	栓钉	96
5.2.3	纵向受力钢筋	96
5.2.4	箍筋	96
5.2.5	截面尺寸	97
5.2.6	混凝土强度等级	97
5.3	型钢混凝土梁正截面受弯承载力计算	97
5.3.1	试验研究分析	97
5.3.2	型钢混凝土梁正截面受弯承载力计算	98
5.4	型钢混凝土梁斜截面抗剪承载力计算	104
5.4.1	试验研究分析	104
5.4.2	影响型钢混凝土梁斜截面承载力的主要因素	105
5.4.3	型钢混凝土梁斜截面抗剪能力计算	107
5.5	型钢混凝土梁的挠度验算	110
5.5.1	计算原则	110
5.5.2	挠度限值	111
5.5.3	抗弯刚度计算	111
5.6	型钢混凝土梁的裂缝验算	112
5.6.1	裂缝宽度计算方法(一)	113
5.6.2	裂缝宽度计算方法(二)	114
第6章	型钢混凝土柱	115
6.1	概述	115
6.2	型钢混凝土柱构造要求	115
6.2.1	型钢	115
6.2.2	纵向受力钢筋	116
6.2.3	箍筋	116
6.2.4	混凝土强度等级及截面形状和尺寸	118
6.3	型钢混凝土轴心受压柱承载力计算	118
6.3.1	试验研究分析	118

6.3.2	承载力计算公式	119
6.4	型钢混凝土偏心受压柱正截面承载力计算	119
6.4.1	试验研究分析	119
6.4.2	界限破坏及大小偏压的界限	120
6.4.3	型钢混凝土偏心受压长柱的纵向弯曲影响	120
6.4.4	附加偏心距	121
6.4.5	型钢混凝土偏心受压柱正截面承载力计算	121
6.5	关于绕“弱轴”方向弯曲的验算	135
6.6	型钢混凝土柱斜截面承载能力计算	138
6.6.1	试验研究分析	138
6.6.2	斜截面承载力计算	139
6.7	型钢混凝土梁、柱节点	141
第7章	型钢(钢管)混凝土剪力墙	144
7.1	概述	144
7.2	型钢混凝土剪力墙构造要求	144
7.2.1	剪力墙端部的型钢	144
7.2.2	剪力墙腹板的配筋、厚度及混凝土强度等级	144
7.3	型钢混凝土剪力墙正截面承载力计算	145
7.3.1	试验研究分析	145
7.3.2	型钢混凝土剪力墙正截面承载力计算	145
7.4	型钢混凝土剪力墙斜截面承载力计算	147
7.4.1	试验研究分析	147
7.4.2	型钢混凝土剪力墙斜截面承载力计算	147
第8章	钢管混凝土组合结构的计算	153
8.1	概述	153
8.2	钢管混凝土结构的构造要求	154
8.2.1	钢管	154
8.2.2	混凝土	171
8.2.3	柱的计算长度	171
8.2.4	柱的长径比和长细比	173
8.3	钢管混凝土结构力学性能	173
8.3.1	钢管混凝土短柱轴压试验研究	173
8.3.2	影响钢管混凝土短柱受压性能的主要因素	174
8.4	圆钢管混凝土结构受压构件承载力计算	175
8.4.1	圆钢管混凝土柱极限平衡理论计算法	175
8.4.2	圆钢管混凝土柱强度提高系数计算法	184
8.4.3	圆钢管混凝土柱组合强度理论(钢管混凝土统一理论)计算法	188

8.5	方钢管混凝土结构受压构件承载力计算	196
8.5.1	轴心受压构件	196
8.5.2	纯弯构件	197
8.5.3	单向压弯构件	198
8.5.4	双向压弯构件	199
8.6	矩形钢管混凝土结构受压杆件承载力计算	201
8.6.1	轴心受压构件	202
8.6.2	单向压弯构件	203
8.6.3	单向拉弯构件计算	205
8.6.4	纯弯构件计算	205
8.6.5	双向压弯构件	206
8.6.6	双向拉弯构件	206
8.6.7	矩形钢管混凝土柱的剪力计算	206
8.7	格构式钢管混凝土柱的承载力计算	211
8.7.1	格构式柱的承载力计算	211
8.7.2	格构柱缀材的构造与计算	228
8.8	钢管混凝土局部受压时的承载力计算	233
8.8.1	圆钢管混凝土局部受压计算	234
8.8.2	方钢管混凝土局压承载力计算公式	234
8.9	钢管混凝土构件的变形验算	235
8.9.1	变形计算方法	235
8.9.2	刚度取值	235
8.10	钢管混凝土梁、柱节点受力性能及节点构造	235
8.10.1	梁、柱铰接节点受力性能及节点构造	236
8.10.2	梁、柱半刚性节点的受力性能及节点构造	238
8.10.3	梁、柱刚性节点的受力性能及节点构造	239
8.10.4	其他节点构造	240
	参考文献	242

第 1 章 概 论

1.1 组合结构的分类

由几种不同受力性质的建筑材料组成的构件或结构,在荷载作用下能够共同受力、变形协调的结构称为组合结构。

组合结构具有能发挥不同材料各自优良性能的特点,使得不同材料的力学性能得到充分的发挥,具有较大延性,抗震性能好,造价低,施工方便。由于组合结构具有许多优点,因而在许多国家得到了广泛的应用。

土木工程中采用的组合结构大致可分为以下几类:

1. 钢 - 混凝土组合梁

钢 - 混凝土组合梁是由钢梁和楼板通过剪力连接件而组成。混凝土楼板有现浇混凝土板、预制混凝土板、压型钢板组合板。钢梁与楼板间通过栓钉连接件连成整体,保证钢梁与楼板共同工作,如图 1.1.1 所示。

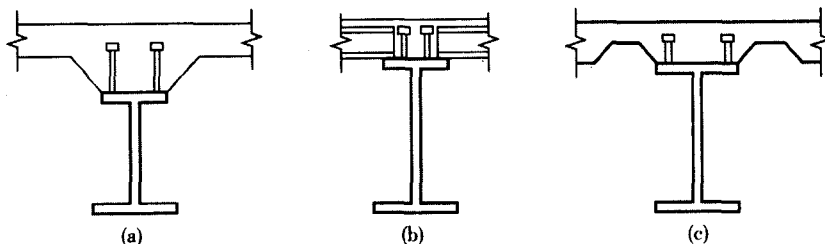


图 1.1.1 组合梁截面构造

(a) 现浇混凝土翼缘板组合梁截面; (b) 预制混凝土翼缘板组合梁截面;
(c) 压型钢板混凝土翼缘板组合梁截面

2. 压型钢板混凝土组合板

压型钢板混凝土组合楼板是在带有各种形式的凹凸肋或各种形式槽纹的钢板上浇混凝土而制成的组合楼板,它是依靠各种凹凸肋或各种形式的槽纹将钢板与混凝土连接在一起,如图 1.1.2 所示。

3. 型钢混凝土组合结构

型钢混凝土组合结构构件是由型钢、纵筋、箍筋及混凝土组合而成,即核心部分有型钢结构构件,其外部则为以箍筋约束并配以适当的纵向受力钢筋的混凝土结构。型钢混凝土组合结构分为以下两类:

- (1) 全部结构构件均采用型钢混凝土结构;
- (2) 部分结构采用型钢混凝土结构。

型钢混凝土梁、柱是型钢混凝土结构基本构件,如图 1.1.3 所示。

型钢混凝土组合结构的共同工作则主要依靠箍筋的约束作用,有时也设抗剪连接件。

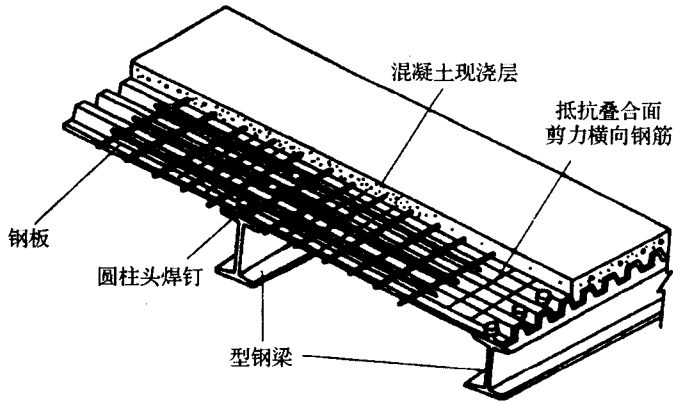


图 1.1.2 压型钢板混凝土组合板

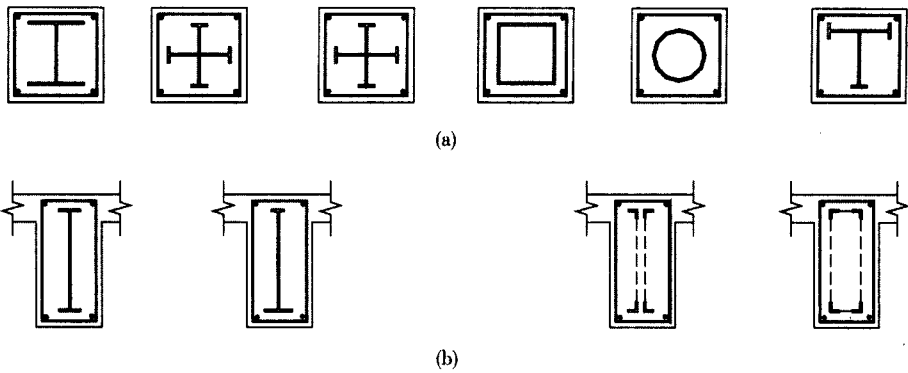


图 1.1.3 型钢混凝土柱和梁截面图
(a)型钢混凝土柱截面；(b)型钢混凝土梁截面

4. 钢管混凝土组合结构

钢管混凝土组合结构构件是指用混凝土填入薄钢管内形成的结构构件。钢管混凝土组合结构是指其主要构件采用钢管混凝土杆件所组成的结构。目前，在工程应用中最多的是钢管混凝土柱，其截面形式有圆形、矩形、方形、多边形，用的最多的是圆形，如图 1.1.4 所示。

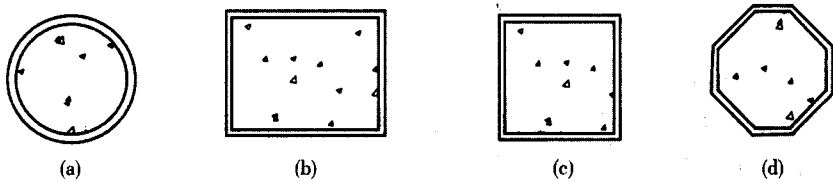


图 1.1.4 钢管混凝土柱的截面形式
(a)圆形钢管截面；(b)长方形钢管截面；(c)正方形钢管截面；(d)多边形钢管截面

钢管混凝土组合结构的共同工作则主要是依靠钢管与混凝土的相互约束、层间横隔板等形成。

1.2 组合结构的特点

1. 钢-混凝土组合梁的特点

(1)组合梁能合理地利用材料,充分发挥钢和混凝土各自的材料特性,与钢结构相比,节约钢材 20%~40%。

(2)组合梁比钢筋混凝土梁节约混凝土,减轻自重且截面高度小。

(3)组合梁截面的上翼缘为宽大的混凝土板,增强了组合梁的侧向刚度,可以防止钢梁在使用荷载下发生扭曲失稳。

(4)组合梁的整体性、抗剪性能好,耗能能力强,因而表现出良好的抗震性能。

(5)钢梁在施工阶段可以作为混凝土板支承,可以简化施工工艺。

(6)组合梁的耐火性能差,需要涂耐火性的涂料来提高钢梁的耐火性。

2. 压型钢板混凝土组合板的特点

(1)施工工期短。压型钢板作为混凝土楼板的永久模板,取消了现浇混凝土所需的模板与支撑系统,免除了支模和拆模的施工工序,加快了施工进度。

(2)自重轻,节约钢材。压型钢板不仅可以作为混凝土板的永久型模板,还可以起到组合板中受拉钢筋的作用。这样,只在楼板支撑处设置抵抗负弯矩的钢筋即可,省去了钢筋的敷设和绑扎工作。由于压型钢板自重轻,减小了结构作用效应,从而使梁、柱截面尺寸减小,设计更加经济合理的地基与基础。

(3)增加结构的抗震性能。组合楼板不仅增强了竖向刚度,而且压型钢板组合楼板和钢梁起着加劲肋的作用,因而有很好的抗震和抗风的作用。

(4)防火性能差。压型钢板作为组合楼板的受力钢筋,外表无保护,当遇到火灾时,耐火时间短,所以,应在板底涂防火涂料。

3. 型钢混凝土组合结构特点

型钢混凝土组合结构与钢结构相比具有以下特点:

(1)耐火性能好。包裹在型钢外的钢筋混凝土,可取代型钢外所涂的防锈和防火涂料,由于混凝土的蓄热较大,可以提高构件的耐火性能。

(2)节约钢材。采用型钢混凝土组合结构的高楼可以节约钢材 50%左右。

(3)兼做模板支架。型钢混凝土结构的型钢,在混凝土尚未浇之前即已形成钢架,已具有相当大的承载力,可用作施工模板支架和操作平台。

型钢混凝土组合结构与混凝土结构相比具有以下特点:

(1)整体工作性能好。型钢骨架与外包钢筋混凝土形成整体,共同受力。

(2)截面尺寸小。钢筋混凝土受到配筋率的限制,提高承载力的途径只能是加大截面尺寸,而型钢混凝土组合结构可以设置较大的型钢,在截面尺寸相同的条件下,可以提高构件的承载力。

(3)构件截面延性好。由于构件中型钢的作用,型钢混凝土组合结构的延性远高于钢筋混凝土结构。

4. 钢管混凝土组合结构特点

与钢结构、混凝土结构相比具有以下特点:

(1)构件承载力高。当钢管混凝土构件轴心受压时,由于产生紧箍效应,核心混凝土的强度大大提高,而钢管也能充分发挥强度作用,因而构件的抗压承载力高。

(2)具有良好的塑性和韧性。单纯混凝土受压属于脆性破坏,但管内的核心混凝土在钢管约束下,不但在使用阶段提高了弹性,扩大了弹性工作的阶段,而且破坏时产生很大的塑性变形。

(3)经济效益显著。与钢结构相比,可节约钢材 50%左右,造价也可降低。

(4)施工方便,可大大缩短工期。

1.3 组合结构的发展与应用

1. 钢-混凝土组合梁

钢-混凝土组合梁试验研究始于 20 世纪 20 年代初,在这一时期,钢-混凝土组合梁按弹性理论进行分析,其基本原理是将组合截面换算成同一材料的截面,然后根据初等弯曲理论进行截面计算和设计。60 年代以后,则逐渐转入塑性理论分析,探讨了组合梁的破坏形态、极限承载力、荷载与滑移的关系以及连续组合梁的性能和塑性内力重分布的规律,并建立了相应的计算公式。

在国外,钢-混凝土组合梁最早应用在桥梁结构中,随着理论研究工作的发展,将钢-混凝土组合梁应用到建筑工程中。我国在 20 世纪 60 年代,将钢-混凝土组合梁应用到建筑工程及桥梁结构中,并建立了相应的设计和施工规范。

2. 压型钢板混凝土板组合楼盖

20 世纪 60 年代前后,日本等国家大量兴建多层及高层建筑,采用压型钢板作为楼板的永久模板或用作施工作业平台。随后,结构工程师发现在压型钢板表面上做出凸凹不平的齿槽,使它与混凝土粘结成整体共同受力,可以作为楼板的部分纵向受力钢筋使用,之后,各国对此进行大量的试验研究工作。60 年代末,美国钢结构学会和国际桥梁结构工程联合会制定了组合结构统一规定。20 世纪 70 年代以来,组合楼盖结构试验和理论研究工作有了新的发展。日本建筑学会于 1970 年出版了《压型钢板结构设计与施工规范及其说明》,欧洲钢结构协会(ECCS)于 1981 年制定的《组合结构规程及说明》、欧洲经济共同体(EEC)建筑与土木工程部 1985 年制定的统一标准规范《钢与混凝土组合结构》,都有组合楼盖的规定。加拿大、美国、德国、前苏联等国家也出版了组合结构的设计计算图表与手册。

20 世纪 80 年代,我国在组合楼板技术方面的研究和应用方面发展迅速。1984 年,冶金工业部冶金建筑研究总院对压型钢板的选型、加工工艺、抗剪连接件等配套技术进行了大量的开发、研究与应用,制定了冶金行业标准《钢-混凝土组合结构楼盖设计与施工规程》(YB 9238—92)。国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、电力行业标准《钢-混凝土组合结构设计规范》(DL/T 5085—1999)等对压型钢板-混凝土组合楼盖设计作了规定。1984 年以来,我国兴建的高层钢结构建筑中大部分采用组合楼盖。

3. 型钢混凝土组合结构

日本在 1905 年建造了第一栋型钢混凝土柱的组合结构,1921 年日本采用型钢混凝土结构建成了兴业银行,总面积 1500m² 左右,总高为 30m,在 1923 年东京大地震中几乎完整无损。在以后的地震调查中,发现结构变形能力对结构物抗震性能具有重要意义,从此开始对型

钢筋混凝土结构的延性进行研究。日本在 1987 年对《型钢混凝土结构计算标准》进行了第五次修订,欧洲也进行了大量的型钢混凝土结构的研究和应用。欧洲统一规范《组合结构规范》中也包括型钢混凝土结构的设计规定。我国从 20 世纪 50 年代中期应用型钢混凝土结构,进入 80 年代以后,随着经济的发展,我国开始进行型钢混凝土结构的研究和应用,并制定了建设部行业标准《型钢混凝土组合结构技术规程》(JGJ 138—2001),冶金行业标准《钢管混凝土结构设计规程》(YB 9058—97)等。

4. 钢管混凝土结构

在 1879 年,英国赛文铁路桥的建造中采用了钢管桥墩,在管中灌注了混凝土,以防止钢管内壁腐蚀,并承受压力。拜耳(Burr W. H.)在 1908 年首次在美国纽约对外包混凝土的钢柱进行了试验,发现由于混凝土的存在,柱的承载能力提高了。之后前苏联、日本、英国、美国等对此进行了广泛研究,并相继制定和颁布了钢管混凝土结构设计规程,或将其设计部分纳入国家设计规范。

从 20 世纪 60 年代中期钢管混凝土开始进入我国。它在我国的应用和发展经历了两个阶段,60 年代中期到 80 年代中期为应用推广阶段,从 80 年代中期迄今为提高发展阶段。

应用推广阶段的特点是:从厂房柱开始迅速推广应用到各种工业建筑中,在这一阶段采用钢管混凝土柱单层厂房的有本溪钢铁公司铸锭模车间、大连造船厂的船体车间、太原钢铁公司连铸车间、鞍山钢铁公司新轧炼钢炼铸车间、上海国棉 31 厂的机修车间等工业厂房,还应用于首都地铁 1 号线和北京站、前门站两个站台工程中。

提高发展阶段的特点是:推广应用到高层建筑和公路拱桥领域,发展十分迅速,同时在理论研究方面取得了进展,逐步形成了完整的理论体系和独立的新学科。在这一阶段经历了由局部采用、大部分采用到全部采用钢管混凝土柱的过程。已建成的有北京的世界金融大厦(36 层,高度 120m,1988 年建成)、深圳的赛格广场大厦(76 层,高度 291m,1999 年建成),它是世界目前最高的钢管混凝土高层建筑。钢管混凝土结构在桥梁结构中的应用形式主要是拱式结构,拱式结构跨度很大,拱肋承受很大的轴向压力,采用钢管混凝土结构是十分合理的。而且,在施工时加工成型后的空钢管骨架刚度很大、承载力高、重量轻,可以解决转体结构的承载力、刚度和转体重量的矛盾,解决拱桥材料向高强度发展和无支架施工拱圈轻型化两大问题,因此深受桥梁工程师的青睐。

起初,人们对钢管混凝土的研究和设计采用传统的叠加法,即分别研究钢管和核心混凝土的工作性能和极限承载力。随着研究的深入,人们把钢管混凝土视为一种新的组合材料统一体,并根据统一体的工作性能指标,来建立计算构件的承载力、刚度、变形等关系式。

第 2 章 组合结构材料

2.1 混凝土

1. 混凝土的强度等级

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)规定,混凝土的强度等级分 C15~C80 共 14 级,C15~C40 为普通混凝土,C40~C80 为高强度混凝土。混凝土强度指标按表 2.1.1、表 2.1.2 的规定采用。

表 2.1.1 混凝土强度标准值(N/mm²)

强度种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

表 2.1.2 混凝土强度设计值和弹性模量(N/mm²)

强度种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22
E_c	2.20	2.55	2.80	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80

2. 混凝土受压时的应力 - 应变关系

混凝土受压时的应力 - 应变关系是混凝土最基本的力学性能之一。《混凝土结构设计规范》规定,混凝土的受压应力 - 应变关系曲线按图 2.1.1 所示取用。

当 $\epsilon_c \leq \epsilon_0$ 时

$$\sigma_c = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^n \right] \quad (2.1.1)$$

当 $\epsilon_0 < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$ 时

$$\sigma_c = f_c \quad (2.1.2)$$

$$n = 2 - \frac{1}{60} (f_{cu,k} - 50) \quad (2.1.3)$$

$$\epsilon_0 = 0.002 + 0.5 (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (2.1.4)$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (2.1.5)$$

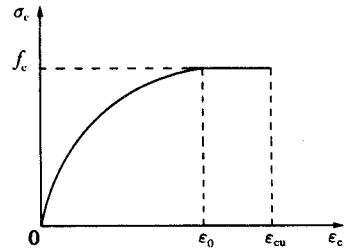


图 2.1.1 混凝土受压时的应力 - 应变关系曲线

式中 σ_c ——混凝土压应变为 ϵ_c 时的混凝土压应力;

f_c ——混凝土的轴心抗压强度;

- ϵ_0 ——压应力达到 f_c 时的混凝土压应变,当计算的 ϵ_0 小于 0.002 时,取为 0.002;
- ϵ_{cu} ——正截面的混凝土极限压应变,当处于非均匀受压时,按公式(2.1.5)计算,若计算的值大于 0.0033 时,取为 0.0033(型钢混凝土结构中,取 0.003);当处于轴心受压时取为 ϵ_0 ;
- $f_{cu,k}$ ——混凝土的立方体抗压强度标准值;
- n ——系数,当计算的值大于 2.0 时,取为 2.0。

3. 混凝土弹性模量

见表 2.1.2。

4. 混凝土剪变模量 G_c

按表 2.1.2 中弹性模量 E_c 规定的 0.44 倍采用。

2.2 钢筋

1. 钢筋的级别

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)规定用于钢筋混凝土结构的国产普通钢筋可使用热轧钢筋。热轧钢筋为软钢,其应力 - 应变曲线有明显的屈服点和流幅,断裂时有颈缩现象,伸长率比较大,热轧钢筋根据其力学指标的高低,分为 HPB 235 级,HRB 335 级,HRB 400 级和 RRB 400 级四个种类。其强度标准值和设计值分别见表 2.2.1 和表 2.2.2。

表 2.2.1 普通钢筋强度标准值(N/mm²)

种 类		符号	d (mm)	f_{yk}
热 轧 钢 筋	HPB 235(Q235)	Φ	8~20	235
	HRB 335(20MnSi)	$\underline{\Phi}$	6~50	335
	HRB 400(20MnSiV, 20MnSiNb, 20MnTi)	Φ	6~50	400
	RRB 400(K20MnSi)	Φ	8~40	400

表 2.2.2 普通钢筋强度设计值(N/mm²)

种 类		符号	d (mm)	f_y	f'_y
热 轧 钢 筋	HPB 235(Q235)	Φ	8~20	210	200
	HRB 335(20MnSi)	$\underline{\Phi}$	6~50	300	200
	HRB 400(20MnSiV, 20MnSiNb, 20MnTi)	Φ	6~50	360	360
	RRB 400(K20MnSi)	Φ	8~40	360	360

2. 钢筋应力 - 应变关系

钢筋应力 - 应变曲线按下列规定采用,如图 2.2.1 所示。

3. 钢筋的弹性模量 E_s (表 2.2.3)

表 2.2.3 钢筋弹性模量(10^5 N/mm²)

种 类	E_s
HPB 235 级钢筋	2.1
HRB 335 级钢筋、HRB 400 级钢筋、RRB 400 级钢筋、热处理钢筋	2.0

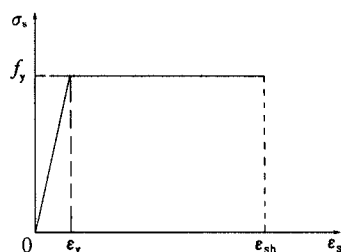


图 2.2.1 钢筋应力 - 应变关系曲线

2.3 型钢

1. 型钢的种类

型钢按用途分为结构钢、工具钢和特殊钢。结构钢又分为建筑用钢和机械用钢,按脱氧方法不同分为沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢。按成型方法分为轧制钢、锻钢和铸钢。按化学成分的不同分为碳素钢和低合金钢。在建筑工程中采用的是碳素钢、低合金钢和优质的碳素结构钢。

(1) 碳素结构钢

国家标准(碳素结构钢)GB/T 700—88 按质量等级将钢分为 A, B, C, D 四级, A 级只保证抗拉强度、屈服点、伸长率,必要时附加冷弯试验要求,对碳、锰化学成分可以不作为交货条件。B, C, D 级钢均要保证抗拉强度、屈服点、伸长率、冷弯性能和冲击韧性等力学性能。

钢牌号由代表屈服点的字母 Q, 屈服点数值, 质量等级符号(A, B, C, D), 脱氧方法符号等四部分按顺序组成。

根据钢材厚度(直径) $\leq 16\text{mm}$ 时的屈服点数值, 分为 Q195, Q215, Q255, Q275。组合结构中的钢构件, 一般用 Q235, 因此, 钢的牌号可根据需要选用 Q235-A, Q235-B, Q235-C, Q235-D 等。

(2) 低合金高强度结构钢

国家标准(低合金高强度结构钢)GB/T 1591—94, 采用与碳素结构钢相同的钢的牌号表示方法, 仍然按钢材的厚度(直径) $\leq 16\text{mm}$ 时的屈服点的大小, 分别为 Q295, Q345, Q390, Q420, Q460。

钢的牌号仍有质量等级符号, 除与碳素结构钢 A, B, C, D 四个等级相同外, 又增加一个等级 E, 主要是要求 -40°C 的冲击韧性。钢的牌号有 Q345-B, Q390-C 等。

A 级钢应进行冷弯试验, 其他质量级别的钢如供方能保证弯曲试验结果符合规定要求, 可不作检验。

2. 钢材的强度

(1) 高层建筑钢结构所采用的钢材, 其强度设计值, 应根据钢材的厚度或直径, 按表 2.3.1 采用。

表 2.3.1 钢材的设计强度(N/mm²)

钢 材			极限抗拉 强度最小 值 f_u	屈服强度 (屈服标准 值) f_{sy}	强度设计值		
牌号	组别	厚度或直径(mm)			抗拉、抗压 和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶 紧) f_{ce}
Q345 钢	一组	≤ 16	470	345	310	180	400
	二组	$> 16 \sim 35$		325	295	170	
	三组	$> 35 \sim 50$		295	265	155	
	四组	$> 50 \sim 100$		275	250	145	