

钢 - 混凝土

组合结构

■ 林宗凡 编著

同济大学出版社



土
木
工
程
系
列
丛
书

土木工程系列丛书

钢-混凝土组合结构

林宗凡 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书结合最新研究成果、我国设计规范和规程,系统介绍了钢-混凝土组合结构设计的原理和方法,内容包括钢-混凝土组合结构概论、钢-混凝土组合楼盖结构、型钢混凝土组合结构、钢管混凝土组合结构以及组合结构施工和质量验收要点等。

本书理论与应用并重,可作为结构工程研究生非学位课程、工程硕士研究生班和土木工程专业高年级选修课的教材使用,也可供土木工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢-混凝土组合结构/林宗凡编著. —上海:同济大学出版社,2004.2

(土木工程系列丛书)

ISBN 7-5608-2609-1

I. 钢… II. 林… III. 钢筋混凝土结构:组合结构 IV. TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 097068 号

钢-混凝土组合结构

林宗凡 编著

责任编辑 司徒妙龄 责任校对 徐 栩 封面设计 龙 樱

出 版
发 行

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销

全国各地新华书店

印 刷

江苏句容排印厂印刷

开 本

787mm×1092mm 1/16

印 张

9.25

字 数

237000

印 数

1--3000

版 次

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

书 号

ISBN 7-5608-2609-1/TU·522

定 价

15.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

钢-混凝土组合结构的应用最早可以追溯到 19 世纪末期,20 世纪 60 年代以来,无论试验研究、理论分析和工程应用都有令人瞩目的成就和发展。至今,钢-混凝土组合结构已经成为与钢结构、混凝土结构、砌体结构、木结构并列的一大结构类型。

钢材和混凝土材料的力学性质迥异,然而,在钢-混凝土组合结构中,二者可以扬长避短,发挥各自的性能。例如,钢-混凝土组合梁中置混凝土于受压区、型钢于受拉区,而且其组合作用显著改善了材料的受力性能;型钢混凝土组合构件中混凝土和箍筋对型钢的有效约束提高了型钢的稳定性;钢管混凝土结构构件中钢管和混凝土的相互约束不仅使混凝土处于三向受压状态、强度和变形能力大为提高,钢管管壁也因而不会丧失稳定等等。钢-混凝土组合结构的优良性能显示了它广阔的发展前景。现代土木工程师不可缺乏对钢-混凝土组合结构性能的认识和设计方法的掌握。

我们频繁使用的“design”(设计)一词,在英语国家还用于称呼“技术美学”。它的含义不止是“设计”,而是“美的设计”、“不同寻常的、别出心裁的设计”。在科学技术美学中,和谐是核心范畴,是美的基本特征,也是美的最高层次。自然界本身是统一与和谐的,追求和谐成为科学技术发展史的主旋律。成功的土木工程设计,不仅要使其与自然界和谐共存,而且要体现其各个组成部分之间、材料之间的和谐性。人们为完善工程结构设计理论与方法孜孜不倦地努力,正是对美的追求。在学习钢-混凝土组合结构设计、探索结构中不同材料的和谐性时,我们将感受科学之美。

本书是在多年来授课讲义的基础上编写的,用作结构工程研究生的非学位课程、工程硕士研究生班和土木工程专业高年级选修课教材。限于篇幅,本书所及内容主要反映我国钢-混凝土组合结构的最新研究成果和工程标准的应用,未能对有关研究和设计理论作全面和详细的介绍。作者对中国建筑科学研究院孙慧中教授的帮助表示感谢。

书中不足之处,希望学生、教师和读者不吝指正。

林宗凡
2003 年 6 月

目 录

前 言

第一章 概论	(1)
第一节 钢-混凝土组合结构	(1)
第二节 组合结构材料的力学性能	(11)
第二章 钢-混凝土组合楼盖结构	(15)
第一节 基本原理	(15)
第二节 压型钢板-混凝土组合板	(16)
第三节 钢-混凝土组合梁的组成和构造	(26)
第四节 组合梁施工阶段计算	(30)
第五节 组合梁的承载力	(31)
第六节 抗剪连接件设计	(37)
第七节 组合梁的变形计算	(43)
第八节 部分抗剪连接组合梁	(48)
第九节 连续组合梁	(50)
第三章 型钢混凝土组合结构	(57)
第一节 一般要求和结构的整体作用	(57)
第二节 型钢混凝土框架梁	(62)
第三节 型钢混凝土框架柱	(79)
第四节 框架梁柱节点	(93)
第五节 型钢混凝土剪力墙	(100)
第六节 连接构造	(105)
第四章 钢管混凝土组合结构	(109)
第一节 钢管混凝土构件及其一般规定	(109)
第二节 受压承载力	(112)
第三节 变形计算	(122)
第四节 连接构造	(122)

第五章 组合结构施工及质量验收要点..... (129)

第一节 钢-混凝土组合楼盖结构 (129)

第二节 型钢混凝土组合结构..... (134)

第三节 钢管混凝土组合结构..... (136)

参考文献..... (140)

第一章 概 论

第一节 钢-混凝土组合结构

由几种不同受力性质的建筑材料组成、在荷载作用下具有整体作用的结构称为组合结构。

根据组成材料的不同,组合结构有诸多类型。例如,钢筋混凝土结构也是一种组合结构,但是由于对其理论研究比较深入、应用极为广泛,它已形成成为一种成熟的结构类型。另如钢木屋架、砌体结构中的墙梁等等都属于组合结构。目前,组合结构一般是指由钢材(包括轧制或焊接成型型钢、钢筋)和混凝土组成的结构,统称钢-混凝土组合结构(Steel-concrete composite structure)。

组合结构具有能发挥不同材料各自的优良性能,钢材、混凝土的利用比较充分,造价较低,抗震性能好以及施工方便等优点。第二次世界大战以后,欧洲百废待兴,急需医治战争的创伤,由于钢材短缺,工程师们采用了大量的组合结构修建房屋和桥梁,取得了很好的经济效益。半个多世纪以来,随着理论研究不断深入,应用逐渐广泛,许多国家制定了相应的技术标准,设计和施工都有章可循。我国对组合结构的研究与应用虽然起步较晚,但近年来取得了不少成就,科学研究水平也在不断提高,陆续制定了各类钢-混凝土组合结构的技术标准,并建成了许多工程项目,积累了丰富的经验。

组合结构以其优良的结构性能显示了深厚的发展潜力和广阔的应用前景,已经成为和钢结构、混凝土结构、砌体结构、木结构并列的新的结构类型。

一、组合结构的分类

组合结构有钢-混凝土组合楼盖结构、型钢混凝土组合结构、钢管混凝土组合结构及外包钢混凝土结构等。

1. 钢-混凝土组合楼盖结构(Steel-concrete floor composite structure)

钢-混凝土组合楼盖结构(也称为钢-混凝土组合梁结构)是指通过抗剪连接件或粘结作用连接钢梁和混凝土板的结构体系。按楼板形式分类,有以下四种:

(1) 现浇钢筋混凝土板组合楼盖

现浇钢筋混凝土组合楼盖如图 1.1.1 所示。这类组合楼盖的特点是混凝土板在现场浇筑,需要搭设脚手架,安装模板,施工周期较长。

(2) 预制钢筋混凝土板组合楼盖

其连接构造如图 1.1.2 所示,预制混凝土板支承于钢梁上。为了抵抗混凝土板和钢梁之间的纵向剪力,在钢梁上应焊有抗剪连接件,在板的边缘应留有槽口以便连接件穿过,用细石混凝土浇灌槽口与板间缝

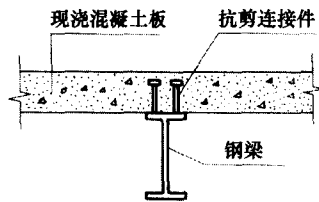


图 1.1.1 现浇钢筋混凝土板组合楼盖

隙,并采取措施保证板与钢梁以及板与板之间的可靠连接。这类组合楼盖的缺点是传递水平力的能力较差,楼板施工时也必然干扰钢结构的吊装。

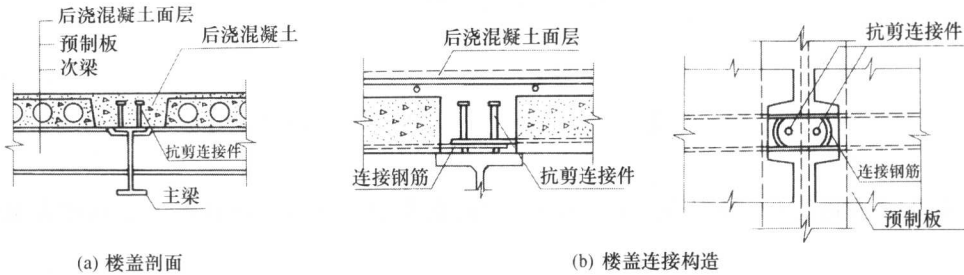


图 1.1.2 预制混凝土板组合楼盖

(3) 钢-混凝土叠合板组合楼盖

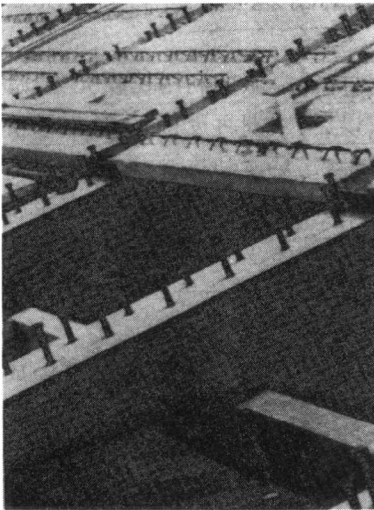


图 1.1.3 采用混凝土叠合板的组合屋面梁

近年来,钢-混凝土叠合板组合楼盖结构成功地应用于火力发电厂主厂房等工程,技术经济效益和社会效益比较显著。混凝土叠合板翼缘由预制板和后浇混凝土层构成,预制板既作为模板,又作为楼板的一部分参与楼盖受力。混凝土叠合板的设计应参照《混凝土结构设计规范》进行。图 1.1.3 为采用混凝土叠合板的组合屋面梁。

(4) 压型钢板-混凝土板组合楼盖

压型钢板-混凝土板组合楼盖由压型钢板-混凝土板、抗剪连接件和钢梁三部分组成,如图 1.1.4 所示。抗剪连接件承受混凝土楼板和钢梁交界面的纵向剪力,抵抗相对滑移,以保证二者共同工作。这种楼盖主要应用于高层钢结构建筑中,结构性能较好,综合经济效益优于其他组合楼盖。也有一种观点认为,在工业建筑中采用压型钢板-混凝土组合楼板造价偏高,耐久性较差,如果考虑

与钢梁的组合作用,就要保证抗剪连接件穿过压型钢板及与钢梁的焊接质量,施工程序比较复杂,不推荐采用压型钢板组合楼板^[4]。

压型钢板用冷轧钢板或镀锌薄钢板制作,宜采用后者,一般厚度为 0.5~1.2mm。图 1.1.5 为国产压型钢板的板型。

20 世纪 60 年代前后,欧美、日本等国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,工程师们认识到,在压型钢板表面上做出凹凸不平的齿槽,使它和混凝土粘结成整体共同受力,可以作为或部分作为楼板的纵向受力钢筋使用,各国对此作了许多试验研究工作。60 年代末,美国钢结构学会(AISC)和国际桥梁和结构工程联合会制订了组合结构的统一规定。20 世纪 70 年代以来,组合楼盖结构的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《压型钢板结构与施工规

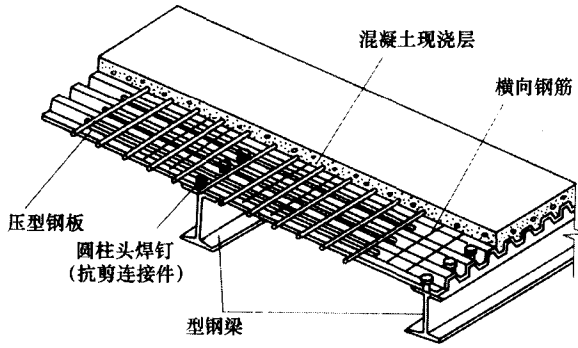


图 1.1.4 压型钢板-混凝土楼盖结构

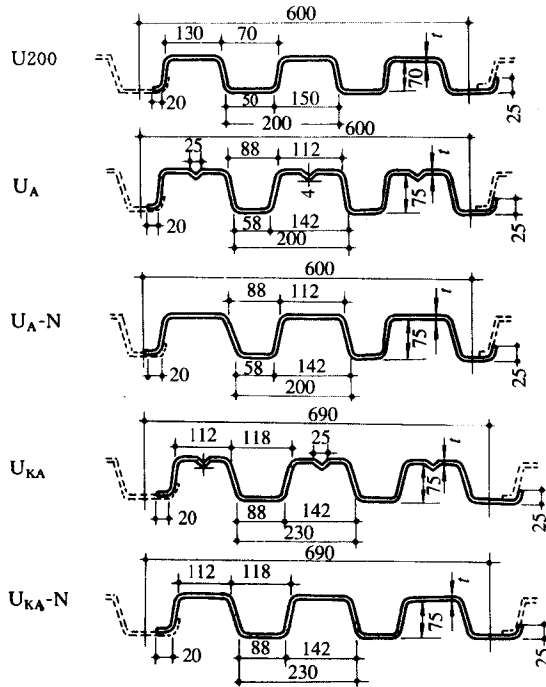


图 1.1.5 国产压型钢板的板型

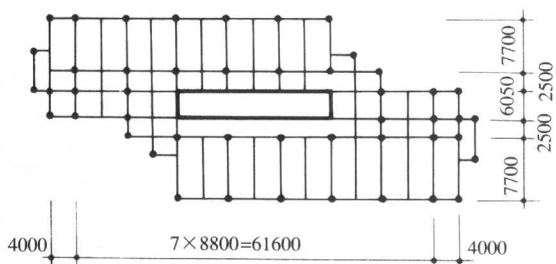
范及其说明》，欧洲钢结构协会(ECCS)于1981年制订的《组合结构规程及其说明》、1985年欧洲经济共同体(EEC)建筑与土木工程部制订的统一标准规范《钢与混凝土组合结构》都有组合梁结构的规定。加拿大、美国、德国、前苏联等也出版了组合梁结构的设计计算图表与手册。

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、研究与应用工作，制定了冶金行业标准《钢-混凝土组合楼盖结构设计规程》YB 9238-92。国家标准《钢结构设计规范》GB50017-2003、电力行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085-1999 等对压型钢板-混凝土组合楼盖的设计作了规定。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,如上海瑞金大厦(27层,高107m),10层以上采用压型钢板-混凝土板,楼盖组合梁上焊有一排或两排 $\phi 16$ 、间距230mm的栓钉抗剪连接件;北京香格里拉饭店(图1.1.6,26层,高82.75m),采用预制钢筋混凝土板与钢梁的组合结构,用 $\phi 22 \times 107$ 两排栓钉及两个钢筋卡子作为抗剪连接件;北京京城大厦(52层,高183.5m)的压型钢板-混凝土板组合楼层主次梁全部采用 $\phi 19$ 或 $\phi 16$ 栓钉抗剪连接件。此外,北京长富宫中心(26层)、京广中心(53层)、中国国际贸易中心(39层)、深圳发展中心大厦(41层)、上海国际贸易中心大楼(37层)、上海静安-希尔顿酒店(43层)等工程,均采用了栓钉抗剪连接件的压型钢板-混凝土板组合楼盖。



(a) 全景



(b) 结构平面图

图 1.1.6 北京香格里拉饭店

2. 型钢混凝土组合结构(Steel reinforced concrete composite structure)

混凝土内配置型钢(轧制或焊接成型)和钢筋的结构称为型钢混凝土组合结构。过去也称其为钢骨混凝土结构或劲性钢筋混凝土结构。它的突出优点是承载力高、构件截面较小、可降低结构层高;可以利用型钢的承载力减少模板工程量、缩短工期;结构延性好、抗震性能优良;耐久性和防火性能均明显优于钢结构。

型钢混凝土结构除了用于框架结构、剪力墙结构外,也可制作拱和壳体,在桥梁和原子能反应堆保护壳等工程中使用。

日本是强地震多发国家,对型钢混凝土结构的理论研究和试验工作比较深入,应用最广。1905年日本便建造了第一个采用型钢混凝土柱的结构;1921年建成的日本兴业银行采用型钢混凝土结构,总面积 1500m^2 左右,高约30m,在1923年东京大地震中几乎完整无损。1968年十胜冲发生大地震,震害调查使人们认识到结构的变形能力对结构物抗震性能的重要意义,从此对型钢混凝土结构的延性研究给予了充分的重视。1965~1980年向日本建筑中心申请的347幢建筑物中,型钢混凝土结构占98幢,足见其应用之广泛。1987年,日本《钢-钢筋混凝土结构计算标准》第五次修订出版。英、美和其他西欧国家,加拿大,前苏联都有大量的型钢混凝土结构研究成果和应用实践。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 年代开始应用型钢混凝土结构,80 年代中期以后进行了大量的试验研究工作,近年来应用日渐增多,并已制定了建设部行业标准《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ138—2001,电力行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085—1999,冶金工业部行业标准《钢管混凝土结构设计规程》YB 9058—97 等。北京香格里拉饭店采用框架-剪力墙结构体系,2 层以上为型钢混凝土柱、组合梁组成的刚接框架,柱内配置轧制 H 型钢。上海金茂大厦(88 层,高 420.5m)周边采用 8 根截面尺寸为 1.5m×5.0m 的巨型型钢混凝土柱,柱中配有两根焊接 H 型钢(图 1.1.7)。深圳地王大厦(81 层,高 325m)在 58 层以下采用型钢混凝土柱,是我国目前最高的钢混凝土混合结构。

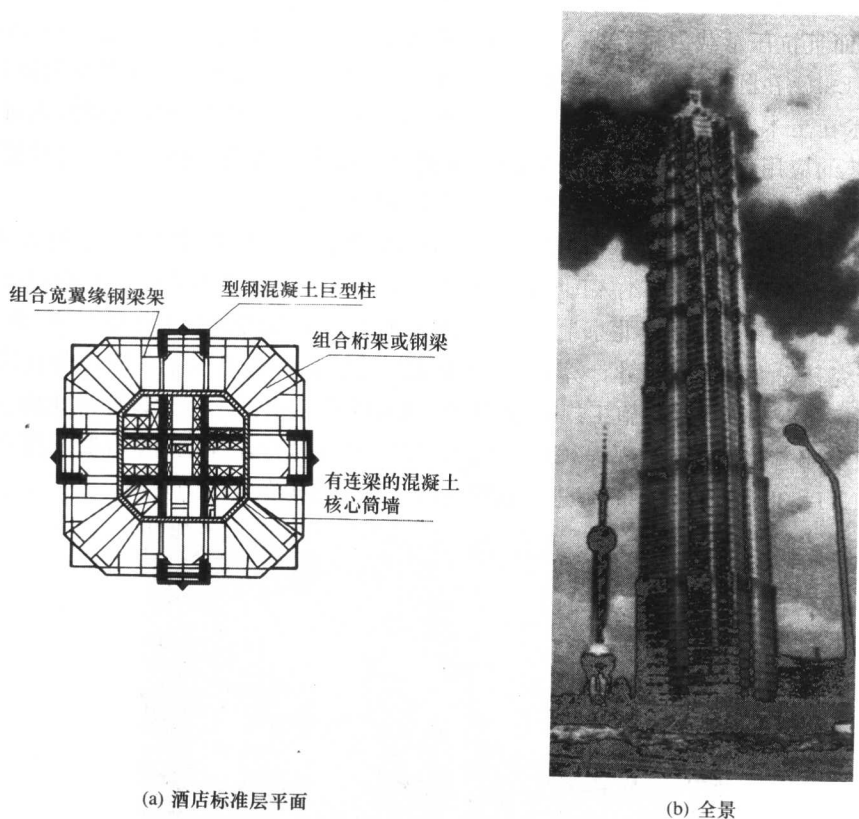


图 1.1.7 金茂大厦

3. 钢管混凝土组合结构(Concrete filled steel tubular composite structure)

钢管混凝土结构是用水泥混凝土填入薄壁钢管内形成的组合结构(图 1.1.8),通常不必配置钢筋。钢管混凝土结构能充分发挥混凝土和钢材各自的优点,受力合理,节省材料。其基本原理有二:一是借助核心混凝土增强钢管壁的稳定性,二是借助钢管对核心混凝土的约束作用,使混凝土处于三向受压状态,提高混凝土的强度和变形能力。

钢管混凝土结构是在型钢混凝土结构、配螺旋箍筋混凝土结构以及钢管结构的基础上发展起来的。早在 1879 年,英国赛文铁路桥中采用了浇灌混凝土的钢管桥墩,当时的目的是防止钢管内部锈蚀。在认识到钢管中填筑混凝土不仅可以防止钢管内部锈蚀、增强钢管

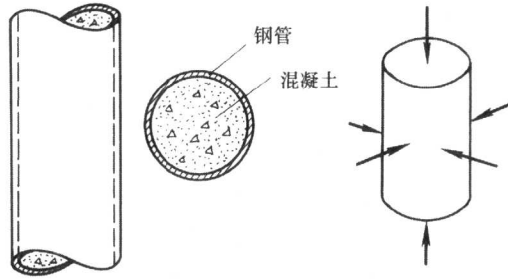


图 1.1.8 钢管混凝土

的稳定性,而且抗压承载力显著提高后,钢管混凝土结构才迅速地发展起来。从 1897 年美国 John Lally 在圆钢管中填充混凝土用作承重柱(称为 Lally 柱)并取得专利算起,钢管混凝土技术在土木工程中的应用已有一百余年的历史。20 世纪 80 年代后期,先进的泵送混凝土工艺的应用,解决了在现场浇灌钢管内混凝土的技术难关,同时高强、高性能混凝土技术的可喜进展为钢管混凝土结构的发展注入了新的活力。

自 20 世纪 60~70 年代以来,前苏联、日本、英国、美国等国相继制定颁发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。我国钢管混凝土技术的开发利用已有近 40 年的历史,1966 年首次应用于北京地铁车站(图 1.1.9)。系统的研究工作始于 20 世纪 80 年代,主要研究其受力性能和设计计算方法,研究成果达到国际先进水平。1990 年国家建材工业局颁发《钢管混凝土设计与施工规程》JCJ101—89,1991 年中国工程建设标准化协会制定了《钢管混凝土结构设计规程》CECS28:90,1999 年电力行业标准《钢-混凝土组合结构设计规程》DL/T 5085—1999 发布,促进了钢管混凝土组合结构在我国的发展。

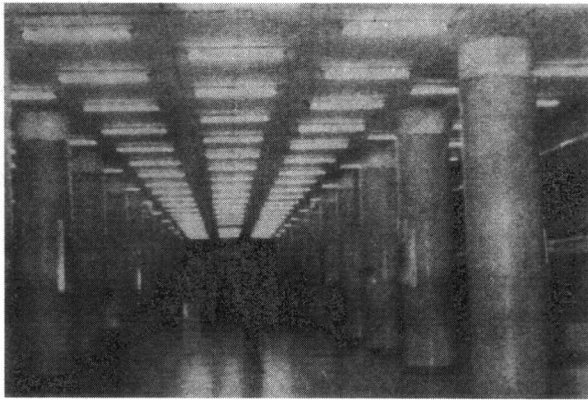


图 1.1.9 北京地铁站内景

钢管混凝土结构适应现代工程结构向大跨、高耸、重载发展和承受恶劣条件的需要,符合现代施工技术的工业化要求,越来越广泛地应用于单层和多层工业厂房柱、设备构架柱、各种支架、栈桥柱、地铁站台柱、送变电杆塔(图 1.1.10)、桁架压杆、桩、空间结构、高层和超高层建筑以及桥梁结构中,都取得了良好的经济效果。

我国是应用钢管混凝土工业厂房柱最多的国家,与钢筋混凝土柱及钢柱相比,钢管混凝土柱特别轻巧。本溪钢铁公司第二炼钢厂轧辊钢锭模车间(1972 年)、上海中华造船厂船体

结构车间(1986年)、上海宝钢某电炉废钢车间和某热轧厂房(1996年,图1.1.11)等均采用了钢管混凝土格构式柱;在各种平台或构筑物的设备构架柱、支架柱和栈桥柱中,下部支柱常为轴心受压,且往往荷载较大,采用钢管混凝土柱是合理的。例如,首钢二号高炉构架(1978年)、江西德兴铜矿矿石储仓支架柱(1983年)等;地下铁道站台采用钢管混凝土柱可减小截面,扩大使用空间,例如,北京地铁北京站和前门站、天安门东站、大北窑站及永安里站以及南京地铁三山街站等;间距大的高压输电杆塔或微波塔,可用钢管混凝土构件作立柱;桁架压杆中采用钢管混凝土可达到节省钢材、减少投资的目的。日本北九州多目的赛车场(1998年,图1.1.12)在空间结构中利用钢管混凝土结构,建筑面积 94835m^2 ,地上8层,地下1层。地上1~8层采用了钢管混凝土柱和钢结构梁,充分发挥了钢管混凝土构件刚度大、承载力高、抗变形能力强和耐火特性好等特点。

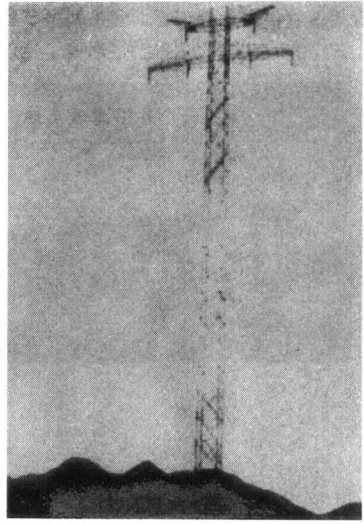


图 1.1.10 瓯江大跨越杆塔

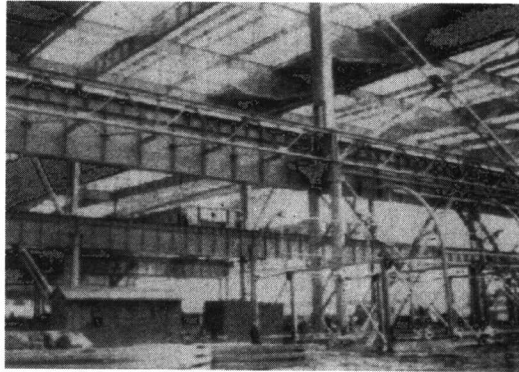


图 1.1.11 上海宝钢某热轧厂房内景

钢管混凝土在我国高层建筑中的应用发展很快,自20世纪90年代以来,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,1998年)、深圳的赛格广场大厦(76层,高度291.6m,1999年,图1.1.13)等,后者是目前世界上最高的钢管混凝土高层建筑。美国双联大厦(Two Union Square)56层,高度220m,于1989年建成,钢管混凝土柱截面 $\phi 1400 \times 25$,内灌混凝土强度等级高达C130。

钢管混凝土结构在桥梁结构中的应用形式如图1.1.14所示。拱式结构跨度很大时,拱肋承受很大的轴向压力,采用钢管混凝土是十分合理的。而且,施工时加工成型后的空钢管骨架刚度大、承载能力高、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,深受桥梁工程师的青睐。图1.1.15为钢管混凝土拱肋的截面形式。1990年,钢管混凝土技术首次成功应用于跨度115m的四川省旺苍东河大桥(图1.1.16)。桥拱采用哑铃形截面,Q345钢管外径800mm,壁厚10mm,内填C30混凝土,拱轴线为悬链线,矢跨比1/6。

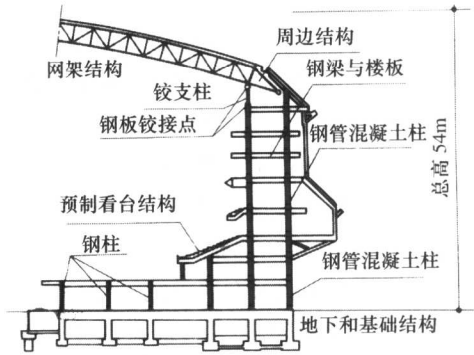
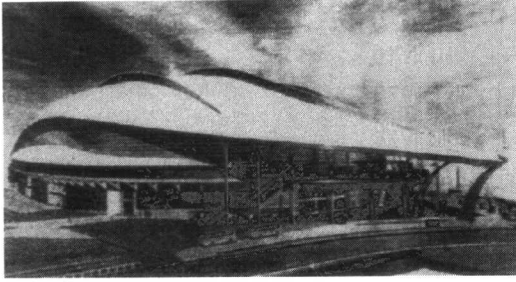
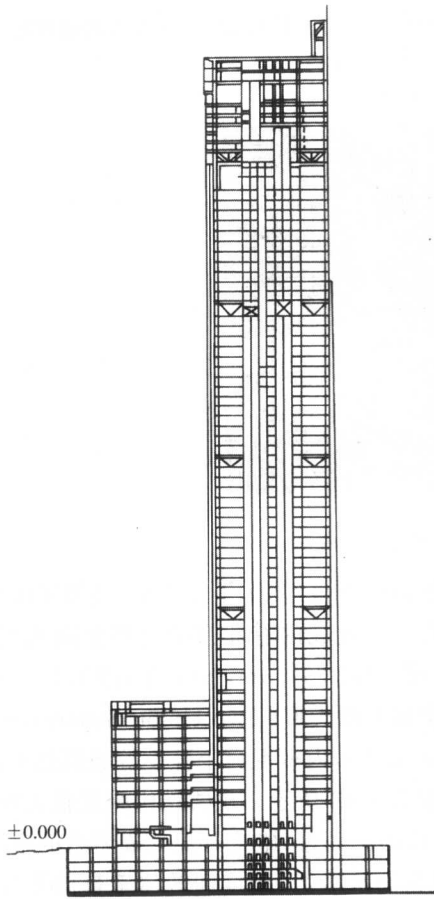
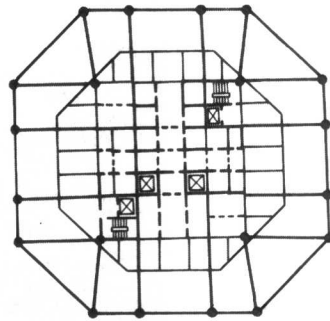


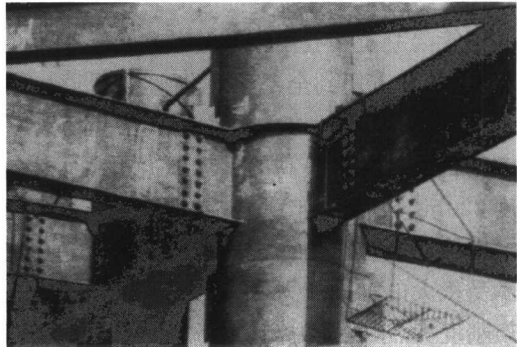
图 1.1.12 日本北九州多目的赛车场



(a) 塔楼结构剖面



(b) 塔楼平面



(c) 中柱节点形式

图 1.1.13 赛格广场大厦

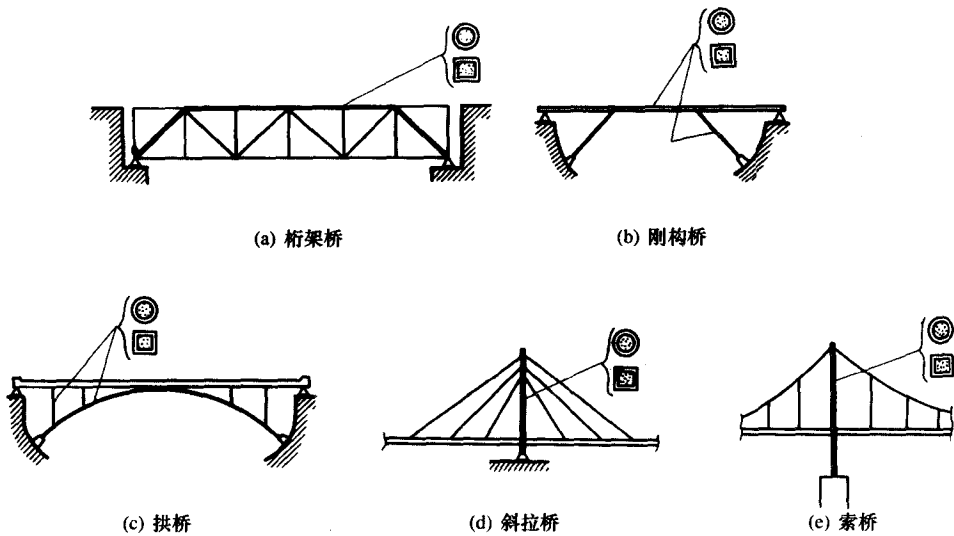


图 1.1.14 钢管混凝土在桥梁结构中的应用形式

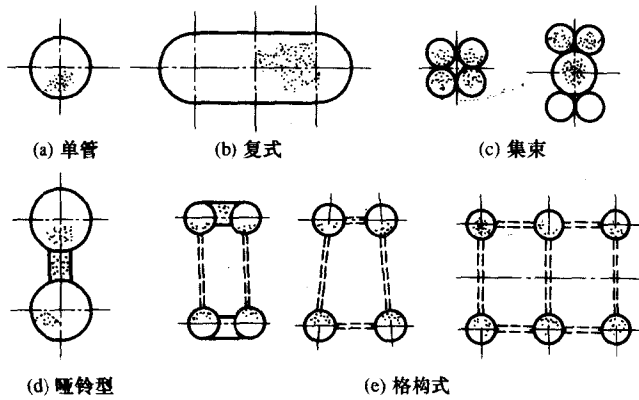


图 1.1.15 钢管混凝土拱肋的截面形式

利用钢管混凝土桩作为沿海软土地基上高层建筑、桥梁、码头等重要建筑物的基础，也具有广阔的推广应用前景。

4. 外包钢混凝土组合结构(Steel encased reinforced concrete composite structure)

从广义上说，外包钢混凝土结构是指外部配筋的钢筋混凝土结构，简称外包钢结构。它是在克服装配式钢筋混凝土结构需大量采用钢筋剖口焊、接头二次浇筑混凝土等缺点的基础上发展起来的。应用较多的是四角配置角钢的钢筋混凝土结构，角钢的外表面与混凝土表面取平或稍突出表面 $0.5\sim 1.5\text{mm}$ 。横向箍筋与角钢焊接成骨架，为了满足箍筋保护层的要求，可将箍筋两端墩成球状再与角钢内侧焊接(图 1.1.17)。

外包钢混凝土结构构造简单，连接方便，使用灵活，用于一般工业厂房框架和排架结构，目前在电力以及石油工业部门的应用较多。角钢对混凝土的约束作用，有利于提高抗剪承载力和延性性能。

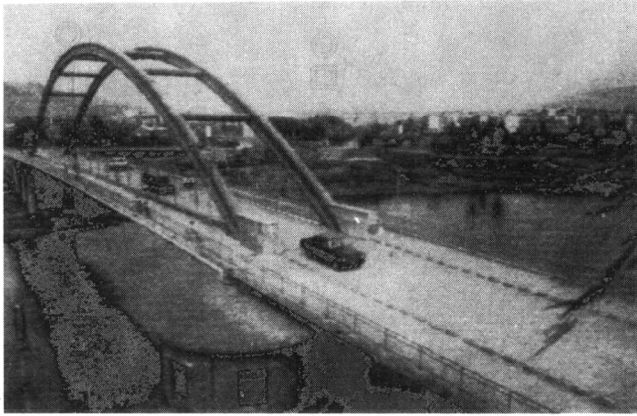


图 1.1.16 四川省旺苍东河大桥

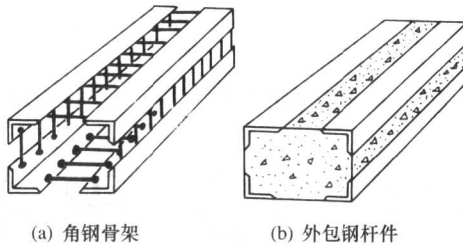


图 1.1.17 外包钢杆件

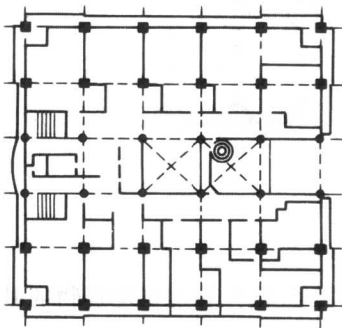


图 1.1.18 日本东京中央区高层住宅

除了外包钢混凝土结构多用于工业厂房外,前述三类钢-混凝土组合结构也可以根据需要在同一结构中采用。例如,日本东京中央区高层住宅,地上 33 层,高 99.9m,采用钢管混凝土柱(内部 2 排柱用圆管,外部 4 排柱用方管)、型钢混凝土梁,是一个成功的工程范例(图 1.1.18)。此外,钢-混凝土组合结构可以在钢筋混凝土结构中部分使用(例如,金茂大厦等),称为混合结构。

二、组合结构的共同工作

组合结构中钢材与混凝土材料的共同工作机理,是由二者之间的粘结力、抗剪连接件及钢材对混凝土的约束作用实现的。

压型钢板与混凝土组合楼板的共同工作,主要依靠钢板上压制的齿槽、穿过压型钢板焊在钢梁上的抗剪连接件或焊在压型钢板端部的横向钢筋的作用。钢-混凝土组合梁中二者的共同工作主要依靠抗剪连接件形成。所以,抗剪连接件设计是工程关键之一,计算和构造都应满足规定的要求。

型钢混凝土结构的共同工作则主要依靠箍筋的约束作用,有时也设置抗剪连接件。

钢管混凝土结构的共同工作主要依靠钢管与混凝土的相互约束、层间横隔板等形成。

三、组合结构的基本设计原则和设计表达式

和其他类型的结构一样,钢-混凝土组合结构设计应遵照《建筑结构设计可靠性统一标准》GB50068 的规定。抗震设计时还应遵照《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定。

第二节 组合结构材料的力学性能

与钢结构和混凝土结构相比,组合结构对钢和混凝土材料的力学性能并无特殊的要求,现择要介绍如下。

一、混凝土

1. 混凝土强度等级及其设计指标

《混凝土结构设计规范》GB50010—2001 规定,混凝土的强度等级分 C15~C80 共 14 级(级差 5)。C15~C50 为普通混凝土,C55~C80 为高强混凝土。混凝土强度等级是检验和评价混凝土质量的标准之一,有时也是确定设计和构造有关规定应考虑的因素。

混凝土的受压应力应变关系曲线按下列规定取用(图 1.2.1)。

当 $\epsilon_c \leq \epsilon_0$ 时

$$\sigma_c = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^n \right] \quad (1.2.1)$$

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

$$\sigma_c = f_c \quad (1.2.2)$$

$$n = 2 - \frac{1}{60} (f_{cu,k} - 50) \quad (1.2.3)$$

$$\epsilon_0 = 0.002 + 0.5 (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (1.2.4)$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (1.2.5)$$

式中 σ_c ——混凝土压应变为 ϵ_c 时的混凝土压应力;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

ϵ_0 ——压应力刚达到 f_c 时的混凝土压应变,当计算的 ϵ_0 值小于 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,按式(1.2.5)计算,若计算的 ϵ_{cu} 值大于 0.0033 时,取为 0.0033(型钢混凝土结构中,取 $\epsilon_{cu} = 0.003$)。当处于轴心受压时取为 ϵ_0 ;

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值;

n ——系数,当计算的 n 值大于 2.0 时,取为 2.0。

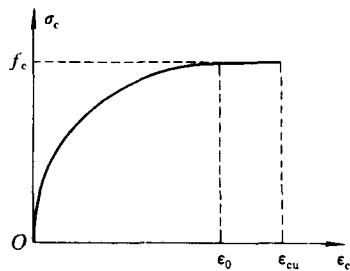


图 1.2.1 混凝土受压应力应变关系曲线