



北京市高等教育精品教材立项项目

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢—混凝土

组合结构

G ANGHUNNINGTU
G ZUHEJIEGOU

聂建国 刘 明 叶列平 编著

中国建筑工业出版社

北京市高等教育精品教材立项项目

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢-混凝土组合结构

聂建国 刘明 叶列平 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢-混凝土组合结构/聂建国等编著. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2005
北京市高等教育精品教材立项项目. 高校土木工程专业指导
委员会规划推荐教材
ISBN 7-112-07189-5

I. 钢… II. 聂… III. 钢结构—混凝土结构—组
合结构—高等学校—教材 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 143413 号

北京市高等教育精品教材立项项目
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢-混凝土组合结构

聂建国 刘明 叶列平 编著

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)
新华书店总店科技发行所发行
北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 19 $\frac{1}{4}$ 字数: 400 千字
2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月第一次印刷
印数: 1—3500 册 定价: 27.00 元

ISBN 7-112-07189-5
TU·6424 (13143)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

近 20 年来, 钢-混凝土组合结构在我国发展很快, 并展示了广阔的应用前景。本书共分五篇 25 章, 较为系统地介绍了钢-混凝土组合结构的基本理论、设计计算方法、构造措施以及部分工程实例, 结构形式包括钢-混凝土组合梁、钢管混凝土、钢筋混凝土和组合节点等。

本书可作为高等学校建筑结构、桥梁结构、地下结构、水工结构等工程类专业本科生和研究生的教材, 也可供结构工程领域从事科学研究、设计和施工管理的技术人员参考使用。

* * *

责任编辑: 王 跃 朱首明

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 刘 梅 王金珠

前 言

钢-混凝土组合结构是继钢结构和混凝土结构之后发展起来的新型结构，它综合了钢结构和混凝土结构的优点，具有承载力高、刚度大、抗震性能好、施工快速方便等特点，在建筑及桥梁工程等领域已经得到越来越广泛的应用，显示出良好的技术经济效果和社会效益。近年来的大量工程实践表明，钢-混凝土组合结构尤其适用我国基本建设的国情，应用前景广阔。

本书在编写过程中力求反映我国近年来在组合结构研究及工程应用方面的最新成果，包括钢-混凝土组合梁（组合楼盖）、钢管混凝土柱、钢管混凝土柱以及组合节点等。结合研究成果和现行有关规范规程介绍组合结构的设计计算理论、设计方法、构造措施，以供国内外同仁研究和设计钢-混凝土组合结构时参考。所有内容力求从原理上阐述清楚，并附有相关例题，注重可读性、可参考性、实用性，便于读者对组合结构原理的理解，也便于工程的实际应用。

本书可以作为土木工程学科本科生、研究生的专业课教材，也可以作为土木结构工程师的设计参考用书。

本书共分五篇 25 章，其中第一篇、第二篇、第五篇第 23 章由清华大学聂建国编写，第三篇、第五篇第 24 章由沈阳建筑大学刘明编写，第四篇、第五篇第 25 章由清华大学叶列平编写。全书由聂建国修订与统稿。在本书的编写过程中，樊健生做了大量工作，在此表示感谢。此外，对田春雨、陈戈、陈必磊、秦凯、温凌燕、徐桂根、唐亮等研究生为本书编写所付出的劳动也表示感谢。

本书在编写过程中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一篇 绪 论

第 1 章 钢-混凝土组合结构介绍	1
1.1 概述	1
1.2 钢-混凝土组合结构的特点	2
1.3 钢-混凝土组合结构的适用范围	2
1.4 钢-混凝土组合梁	3
1.5 钢管混凝土	10
1.6 钢骨混凝土	12
第 2 章 钢与混凝土的力学性能	15
2.1 混凝土的强度等级	15
2.2 混凝土轴心抗压强度及抗拉强度	15
2.3 混凝土的多轴强度	18
2.4 混凝土的应力-应变曲线	21
2.5 混凝土的变形模量	23
2.6 混凝土的徐变及收缩	24
2.7 钢筋的基本力学性能	25
2.8 钢材的力学性能	27
第 3 章 基本设计原则及一般规定	30
3.1 建筑结构设计功能及结构的极限状态	30
3.2 极限状态的设计表达式	31
3.3 钢与混凝土的标准强度与设计强度	33

第二篇 钢-混凝土组合梁及组合楼盖

第 4 章 组合梁的试验研究	37
4.1 概述	37
4.2 组合梁截面的受弯性能	40
4.3 组合梁的滑移效应	44
4.4 组合梁的延性	46
4.5 抗剪连接程度对组合梁工作性能的影响	46
第 5 章 组合梁的分析方法与规定	49

5.1	组合梁的分析方法	49
5.2	组合梁截面尺寸的一般规定	50
5.3	组合梁混凝土翼板有效宽度	51
	思考题	55
	习题	55
第6章	组合梁截面的弹性分析	56
6.1	概述	56
6.2	组合梁的正应力分析	56
6.3	组合梁的剪应力分析	60
6.4	温差应力及混凝土收缩应力分析	64
	思考题	67
	习题	67
第7章	组合梁截面的塑性分析	68
7.1	概述	68
7.2	组合梁截面分类	68
7.3	组合梁受弯承载力计算	69
7.4	组合梁竖向抗剪承载力计算	72
	思考题	74
	习题	74
第8章	抗剪连接件设计	75
8.1	抗剪连接件的形式	75
8.2	抗剪连接件的试验研究	77
8.3	抗剪连接件的静力工作性能	79
8.4	疲劳荷载下抗剪连接件的工作性能	80
8.5	抗剪连接件的设计承载力	81
8.6	抗剪连接件的弹性设计方法	85
8.7	抗剪连接件的塑性设计方法	86
8.8	抗剪连接件设计的构造要求	87
	思考题	88
	习题	89
第9章	组合梁纵向抗剪设计	90
9.1	组合梁纵向劈裂破坏机理	90
9.2	组合梁的潜在纵向剪切破坏面	91
9.3	纵向剪切面的抗剪设计强度	92
9.4	混凝土翼板及板托的纵向抗剪验算	94
9.5	板托的构造	97
	思考题	97
	习题	98

第 10 章 简支组合梁挠度计算	99
10.1 引言	99
10.2 简支组合梁考虑滑移效应的短期刚度及变形计算	100
10.3 简支组合梁考虑滑移效应的长期刚度及变形计算	105
10.4 《钢结构设计规范》(GB50017—2003) 对组合梁挠度计算的规定	108
思考题	110
习题	110
第 11 章 连续组合梁	111
11.1 概述	111
11.2 连续组合梁的内力分析	112
11.3 中间支座截面负弯矩抗弯承载力计算	119
11.4 中间支座截面的抗剪承载力计算	122
11.5 连续组合梁负弯矩区段的整体稳定	123
11.6 连续组合梁支座负弯矩区钢梁的局部稳定问题	126
11.7 连续组合梁抗剪连接件的设计原理	127
11.8 连续组合梁挠度计算	128
11.9 混凝土翼板裂缝计算	133
思考题	136
习题	136
第 12 章 钢-混凝土叠合板组合梁	137
12.1 钢筋混凝土叠合板	137
12.2 钢-混凝土叠合板组合梁的构造	138
12.3 钢-混凝土叠合板组合梁的工作机理	138
12.4 钢-混凝土叠合板组合梁的构造	139
12.5 工程实例	139
思考题	140
第 13 章 压型钢板-混凝土组合楼板	141
13.1 概述	141
13.2 施工阶段压型钢板设计	143
13.3 使用阶段组合楼板设计	145
13.4 组合楼板的构造要求	149
思考题	150
习题	150
第 14 章 钢-混凝土组合梁的工程实例	151
14.1 组合楼盖在高层建筑中的应用	151
14.2 组合梁在桥梁结构中的应用	158
思考题	162

第三篇 钢管混凝土结构

第 15 章 钢管混凝土结构基本性能和设计方法	163
15.1 钢管混凝土的基本材料性能	163
15.2 钢管混凝土的基本力学性能	164
15.3 钢管混凝土设计的基本原则和方法	169
思考题	171
习题	172
第 16 章 钢管混凝土柱承载力计算	173
16.1 钢管混凝土短柱破坏形式	173
16.2 轴心受压短柱的极限分析	174
16.3 受压承载力的影响因素	176
16.4 钢管混凝土单肢柱的轴向受压承载力	177
16.5 钢管混凝土格构柱的承载力	183
16.6 局部受压承载力计算	189
16.7 计算例题	191
思考题	195
习题	195
第 17 章 钢管混凝土结构的施工	196
17.1 钢管混凝土结构的施工特点	196
17.2 钢管构件的制作	197
17.3 钢管内混凝土的施工	198
17.4 钢管混凝土结构的质量标准和验收	200
思考题	202
第 18 章 钢管混凝土结构的工程实例	203
18.1 重载柱和桩	203
18.2 各种构架	206
18.3 桥梁和大跨度结构	207
18.4 高层和超高层建筑	211
思考题	215

第四篇 钢骨混凝土结构

第 19 章 钢骨混凝土结构的设计要点和基本要求	216
19.1 结构设计要点	216
19.2 钢骨与混凝土的共同工作	217
19.3 一般构造要求	218
思考题	221
第 20 章 钢骨混凝土梁	222

20.1	钢筋混凝土梁的受弯性能	222
20.2	受剪性能	223
20.3	钢筋混凝土梁开孔	230
	思考题	231
	习题	231
第 21 章	钢筋混凝土柱	232
21.1	压弯承载力计算	232
21.2	偏心距增大系数	237
21.3	受剪性能	245
21.4	轴压力限值	250
21.5	柱脚设计	251
	思考题	256
	习题	256
第 22 章	钢筋混凝土剪力墙	257
22.1	概述	257
22.2	受弯性能	258
22.3	受剪性能	258
	思考题	260

第五篇 钢-混凝土组合节点

第 23 章	钢-混凝土组合节点	261
23.1	概述	261
23.2	组合节点的应用现状	266
	思考题	274
第 24 章	钢管混凝土结构的连接	275
24.1	钢管的对接	275
24.2	框架节点	275
24.3	格构柱节点	277
24.4	桁架节点	279
24.5	柱脚	280
	思考题	281
第 25 章	钢筋混凝土的连接	282
25.1	概述	282
25.2	节点抗剪验算	284
25.3	节点抗弯验算	286
	思考题	286
参考文献		287
附录		291

第一篇 绪 论

第 1 章 钢-混凝土组合结构介绍

1.1 概 述

钢-混凝土组合结构是在钢结构和钢筋混凝土结构基础上发展起来的一种新型结构,它扬长避短,充分利用了钢结构和混凝土结构的各自优点。钢-混凝土组合构件是由钢构件和钢筋混凝土构件组合而成,如组合梁、组合楼板、组合桁架、组合柱等组合承重构件,以及组合斜撑、组合剪力墙等组合抗侧力构件。含有钢-混凝土组合构件的结构,称之为钢-混凝土组合结构。当竖向承重构件和横向承重构件都为钢-混凝土组合构件时,可以称之为全钢-混凝土组合结构。钢-混凝土组合构件主要有钢-混凝土组合梁和钢-混凝土组合柱。钢-混凝土组合梁是由钢梁和混凝土板通过抗剪连接件连成整体而共同受力的横向承重构件。钢-混凝土组合柱包括钢管混凝土柱和钢骨混凝土柱。钢管混凝土柱是由钢管和内填混凝土所构成,而钢骨混凝土柱则是把钢柱埋在钢筋混凝土中,钢骨混凝土柱也可以称为型钢混凝土柱或劲性混凝土柱。

随着我国钢产量的不断提高,用钢量已不再成为制约结构发展的瓶颈,钢结构在我国的应用正蓬勃兴起。但钢结构在应用中仍有一些问题有待解决,如纯钢结构的超高层建筑刚度较小、抗侧移能力较差,即使增加支撑系统和减振系统也难免在地震和强风作用下产生过大的摇摆和振动,正常使用的舒适度较差。同时钢结构抗火能力差也是一大难题,至今在技术上尚没有很好的解决方案,纽约世界贸易中心的倒塌就是由于结构受撞击后燃料爆炸燃烧产生的高温所引起。对于钢筋混凝土结构而言,随着建筑层数的增加和柱网尺寸的增大,单柱荷载的提高必然要求加大柱截面,形成对抗震不利的短柱。而且混凝土本身延性较差,需要通过很多构造措施来加以控制。通过组合概念则可以充分发挥钢材和混凝土的材料特性,形成一系列新颖、高效的结构体系。

钢-混凝土组合结构是结构工程领域近年来发展很快的一个方向。世界各国已经将组

合结构成功应用于许多超高层建筑及大跨桥梁。自 20 世纪 80 年代初以来,随着我国经济建设的快速发展、钢产量的大幅度提高、钢材品种的增加、科研工作的深入、应用实践经验的积累,钢-混凝土组合结构在我国也得到了迅速的发展和越来越广泛的应用,应用范围已涉及建筑、桥梁、高耸结构、地下结构、结构加固等领域。例如,我国的上海环球金融中心、金茂大厦、深圳地王大厦、赛格广场等超高层建筑,都全部或部分采用了组合结构。工程应用实践证明,组合结构综合了钢结构和钢筋混凝土结构的优点,可以用传统的施工方法和简单的施工工艺获得优良的结构性能,技术经济效益和社会效益显著,非常适合我国现阶段基本建设的国情,是具有广阔应用前景的新型结构体系之一。

1.2 钢-混凝土组合结构的特点

钢-混凝土组合结构充分利用了钢材和混凝土各自的材料性能,具有承载力高、刚度大、抗震性能和动力性能好、构件截面尺寸小、施工快速方便等优点。同钢筋混凝土结构相比,组合结构可以减小构件截面尺寸、减轻结构自重、减小地震作用、增加有效使用空间、降低基础造价、方便安装、缩短施工周期、增加构件和结构的延性等;同钢结构相比,可以减小用钢量、增大刚度、增加稳定性和整体性、提高结构的抗火性和耐久性等。

采用组合结构可以节省脚手架和模板,便于立体交叉施工,减小现场湿作业量,减轻施工扰民程度。如在城市高架桥梁结构中采用组合结构,在施工期间可以不中断交通,缩短施工周期;在建筑结构中采用组合结构,同样可以便于立体交叉施工,缩短施工周期,减轻结构自重,减小构件截面尺寸并增大净空和使用面积。1995 年日本阪神地震震害调查显示,与钢筋混凝土结构和钢结构相比,组合结构的破坏率最低。组合结构的造价介于钢筋混凝土结构和钢结构之间,如果考虑到因自重减轻而带来的竖向构件截面尺寸减小、地震作用减小、基础造价降低、施工周期缩短等有利因素,组合结构比钢筋混凝土结构的造价甚至还要略低。如北京国际技术培训中心的两幢塔楼就是一个很好的实例,它采用轻钢-混凝土组合楼盖,因自重减轻、节省模板等效益,综合造价降低约 5%。相对于混凝土结构,组合结构的缺点是需要采取防火及防腐措施。不过,组合结构的防火及维护费用比钢结构低,并且随着科学技术的发展,防腐涂料的质量和耐久性也在不断提高,这就为组合结构的应用进一步提供了有利条件。

1.3 钢-混凝土组合结构的适用范围

钢-混凝土组合结构可以广泛应用于多层及高层房屋、大跨结构、高耸结构、桥梁结构、地下结构、结构改造及加固等。凡是能够采用钢结构和钢筋混凝土结构的地方,当其跨度比较大、荷载比较重时,都可以采用钢-混凝土组合结构。是否采用组合结构,要对综合效益进行分析比较,包括使用性能、构件尺寸、有效使用空间、施工周期、基础造价

等。对于钢-混凝土组合结构，不能只简单地把一个构件孤立地同钢筋混凝土构件的造价相比较，而要考虑综合效益。例如，从技术和经济的角度出发，新的超高层建筑结构体系应当是以钢-混凝土组合柱、钢-混凝土组合梁、钢-混凝土组合剪力墙等组合构件为骨架，楼盖则由压型钢板混凝土组合楼板或预应力混凝土楼板构成，从而使结构拥有多道抗震、抗火防线，并具有更好的综合效益。同时，组合结构还非常适用于斜拉桥、悬索桥等大跨桥梁结构体系。

钢-混凝土组合结构以其优越的受力性能、施工性能和良好的综合效益，将成为本世纪结构体系的重要发展方向之一。当前我国基本建设发展很快，规模越来越大，对结构形式也提出了越来越高的要求。钢-混凝土组合结构适应现代结构对“轻型大跨、预制装配、快速施工”的要求，在建筑及桥梁结构等领域具有广阔的应用前景。

1.4 钢-混凝土组合梁

1.4.1 钢-混凝土组合梁的特点

组合梁具有截面高度小、自重轻、延性好等优点。一般情况下，钢-混凝土简支组合梁的高跨比可以做到 $1/16 \sim 1/20$ ，连续组合梁的高跨比可以做到 $1/25 \sim 1/35$ 。如珠海清华大学科技园连体结构，跨度 35m，采用未施加预应力的钢-混凝土简支组合梁，截面高度 1.52m，高跨比为 $1/23$ 。北京某人行天桥，采用三跨连续组合梁，中间主跨 26m，结构高度仅 0.62m，高跨比为 $1/42.3$ 。江苏盐城通榆河大桥，采用了跨度 60m 的简支组合梁，结构高度 2.2m，高跨比为 $1/27.3$ 。同钢筋混凝土梁相比，组合梁可以使结构高度降低 $1/3 \sim 1/4$ ，自重减轻 $40\% \sim 60\%$ ，施工周期缩短 $1/2 \sim 1/3$ ，同时现场湿作业量减小，施工扰民程度减轻，保护了环境，且延性大大提高。同钢梁相比，组合梁同样可以使结构高度降低 $1/3 \sim 1/4$ ，刚度增大 $1/3 \sim 1/4$ ，整体稳定性和局部稳定性增强，耐久性提高，动力性能改善。对于人行天桥，如果采用钢桥，人行时往往感觉较柔并且伴有颤振，为了解决舒适度问题，不得不增大梁高，增加用钢量。如果采用组合梁桥，人行时就会感觉结构刚度较大、振动较小，舒适度提高。对某人行天桥方案的动力性能进行比较表明，在高跨比为 $1/42.3$ 时，其自振频率为 3.3Hz，仍可满足相关设计规范的要求。组合梁另一个显著优点是可以节省施工支模工序和模板，当应用于城市桥梁时可以减小对桥下交通的影响，用于建筑则可以多层立体交叉施工，省掉满堂红脚手架，有利于现场文明施工。

钢-混凝土组合梁可以广泛应用于建筑结构和桥梁结构等领域。在跨度比较大、荷载比较重的情况下，采用组合梁具有显著的技术经济效益和社会效益。在建筑领域，组合梁可以用于多、高层建筑和多层工业厂房的楼盖结构、工业厂房的吊车梁、工作平台、栈桥等。在桥梁结构领域，可以广泛用于城市桥梁、公路桥梁、铁路桥梁，还适用于大跨拱桥、大跨悬索桥、大跨斜拉桥的桥面结构等，应用领域广阔。

1.4.2 钢-混凝土组合梁工作机理

钢-混凝土组合梁的工作原理可以用如图 1-1 所示的模型加以简单说明。两根相同的匀质材料的梁，截面为矩形，作用有均布荷载 q 。每根梁的宽度均为 b ，高度为 h ，跨度为 L ，如图 1-1 (a) 所示。当两根梁之间为光滑的交界面，只能传递相互之间的压力而不能传递剪力时，在荷载作用下的变形情况如图 1-1 (b) 所示。由于每根梁的变形情况相同，均只承担 1/2 的荷载作用，则跨中截面的最大正应力为：

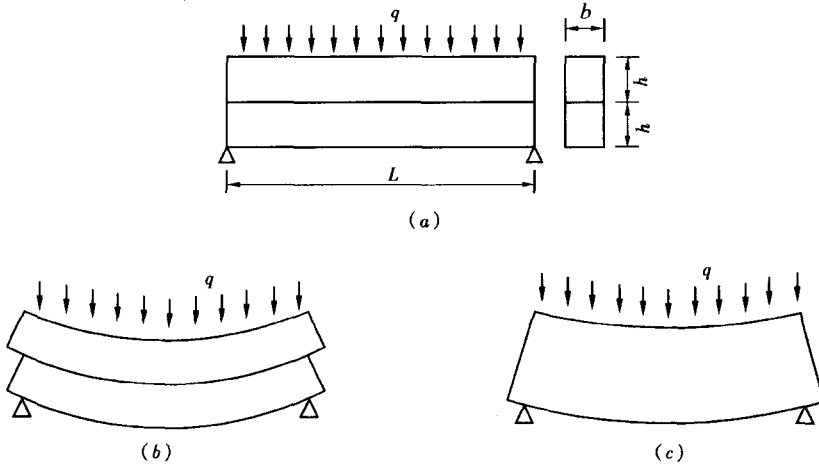


图 1-1 组合梁工作机理

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{qL^2}{16} \frac{12}{bh^3} \frac{h}{2} = \frac{3qL^2}{8bh^2} \quad (1-1)$$

跨中挠度为

$$\delta = \frac{5(q/2)L^4}{384EI} = \frac{5}{384} \frac{q}{2} \frac{12L^4}{Ebh^3} = \frac{5qL^4}{64Ebh^3} \quad (1-2)$$

当两根梁之间完全粘结在一起没有任何滑移时，可以作为一根整体受力的梁来进行考虑，如图 1-1 (c) 所示，则跨中截面的最大正应力为：

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{qL^2}{8} \frac{3}{2bh^3} h = \frac{3qL^2}{16bh^2} \quad (1-3)$$

跨中挠度为：

$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5q}{384} \frac{12L^4}{8Ebh^3} = \frac{5qL^4}{256Ebh^3} \quad (1-4)$$

比较以上各式可知，当将两根相同材料和截面尺寸的矩形梁组合在一起，可以使截面最大应力和挠度降低为原来的 1/2 和 1/4。因此，通过将两根梁组合在一起，能够在不增加材料用量和截面高度的情况下，使结构的承载力和刚度均显著增加。

对于实际使用的楼盖结构和桥面结构，通常由钢筋混凝土板与 T 形或箱形的钢梁组

成。当钢梁和混凝土翼板之间无抗剪构造措施时，组合梁截面的刚度等于钢梁的刚度和混凝土翼板刚度的简单叠加。由于混凝土的抗拉强度很低，并且截面高度相对较小，所以其抗弯刚度可以忽略不计，整个截面的刚度近似等于钢梁的刚度。如果通过抗剪连接件将钢梁和混凝土翼板连成整体共同受力，则组合梁截面整体受弯，其弯曲刚度比钢梁的刚度一般要提高1倍以上，同时抗弯承载力也有显著提高。抗剪连接件能够传递钢梁与混凝土翼板交界面的剪力，抵抗钢梁与混凝土翼板之间的相对滑移和防止掀起，以保证钢梁与混凝土翼板整体受力，是保证组合梁组合作用发挥的关键部件。

1.4.3 钢-混凝土组合梁的分类

组合梁按照截面形式可以分为外包混凝土组合梁和T形组合梁，如图1-2所示。外包混凝土组合梁又称为劲性混凝土梁，主要依靠钢材与混凝土之间的粘结力协同工作，T形组合梁则依靠抗剪连接件将钢梁与混凝土翼板组合在一起。

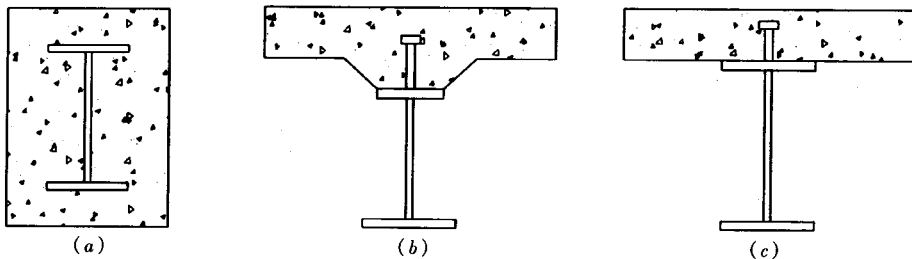


图 1-2 不同的组合梁截面形式

(a) 外包混凝土组合梁；(b) 有托座的T形组合梁；(c) 无托座的T形组合梁

T形钢-混凝土组合梁按照混凝土翼板的构造不同又可以分为现浇混凝土翼板组合梁、预制混凝土翼板组合梁、叠合板翼板组合梁以及压型钢板混凝土翼板组合梁，如图1-3所示。

现浇混凝土翼板组合梁（图1-3a）的混凝土翼板全部现场浇筑，优点是混凝土翼板整体性好，缺点是需要现场支模，湿作业工作量大，施工速度慢。

预制混凝土翼板组合梁（图1-3b）的特点是混凝土翼板预制，现场仅需要在预留槽口处浇筑混凝土，可以减小现场湿作业量，施工速度快，但是对预制板的加工精度要求高，不仅需要在预制板端预留槽口，而且要求两板端预留槽口在组合梁的抗剪连接件位置处对齐，同时槽口处需附加构造钢筋。由于槽口构造及现浇混凝土是保证混凝土翼板和钢梁共同工作的关键，因此槽口构造及混凝土浇筑质量直接影响到混凝土翼板和钢梁的整体工作性能。作为大规模推广应用的构造形式，实现预制混凝土翼板组合梁的精确施工并确保其质量，在目前尚有一定的困难。

叠合板翼板组合梁（图1-3c）是我国科技工作者在现浇混凝土翼板组合梁和预制混凝土翼板组合梁的基础上发展起来的新型组合梁，具有构造简单、施工方便、受力性能好

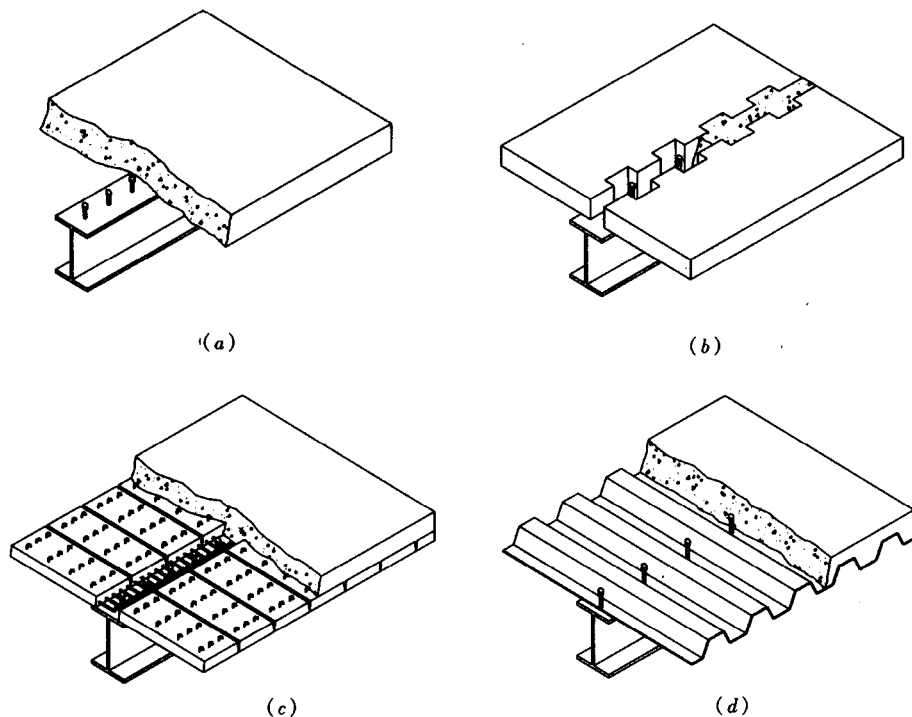


图 1-3 不同混凝土翼板的钢-混凝土组合梁截面形式
 (a) 钢-现浇混凝土翼板组合梁；(b) 钢-预制混凝土翼板组合梁；
 (c) 钢-混凝土叠合板翼板组合梁；(d) 钢-压型钢板混凝土组合梁

等优点。预制板在施工阶段作为模板，在使用阶段则作为楼面板或桥面板的一部分参与板的受力，同时还作为组合梁混凝土翼板的一部分参与组合梁的受力，做到了物尽其用。这种形式的组合梁可以用传统的简单施工工艺取得优良的结构性能，适合我国现阶段基本建设的国情，是对传统组合梁的重要发展。

近年来，随着我国钢材产量和加工技术的提高，压型钢板的的应用越来越广泛，尤其是在高层建筑中的应用越来越多（图 1-3d）。压型钢板在施工阶段可以代替模板，在使用阶段的功能则取决于压型钢板的形状和构造。对于带有压痕和抗剪键的开口型压型钢板以及近年来发展起来的闭口型和缩口型压型钢板，可以代替混凝土板中的下部受力钢筋，其他类型的压型钢板一般则只作为永久性模板使用。

混凝土翼板还有带托座和无托座之分，如图 1-2 (b)、(c) 所示。带托座的组合梁增大了截面惯性矩，可以获得更大的刚度和承载力，但托座部分的施工和构造较为复杂。从方便施工的角度出发，目前带托座的组合梁应用较少，无托座的组合梁在工程应用中占据了主导地位。

组合梁所采用的钢梁形式有工字形（轧制工字型钢、H型钢或焊接组合工字形钢）、箱形、钢桁架、蜂窝形钢梁等，如图 1-4 所示。箱形钢梁可以分为开口截面和闭合截面两类。开口箱形梁的优点是节省钢材，缺点是在施工阶段抗扭刚度较小；闭口箱形梁在施工阶段的整体性好，抗扭刚度较大，但在正弯矩作用下钢梁上翼缘发挥的作用较小，相对于开口箱形梁用钢量略有增加。桁架组合梁在结构跨度较大时具有一定的优越性，在施工阶段桁架梁的刚度较大，可以分段运输和现场拼装，适用于桥梁结构和建筑中的大跨连体和连廊结构。蜂窝形钢梁通常由轧制工字型钢或 H 型钢先沿腹板纵向切割成锯齿形后再错位焊接相连而成，有时也可以直接在钢梁腹板挖孔而形成。采用蜂窝形钢梁的优点是利用钢梁腹板的开孔可以方便地布置设备及电器管道等。在一般情况下，蜂窝形钢梁的加工制作工艺比一般钢梁要复杂一些，而且腹板的抗剪能力有所削弱，一般情况下由腹板抗剪控制设计。因此，当没有加工制作蜂窝形钢梁的专用设备时，采用蜂窝形组合梁的经济效益并不显著。目前，我国有关规范规程与组合梁相关的内容还没有涉及蜂窝形组合梁。

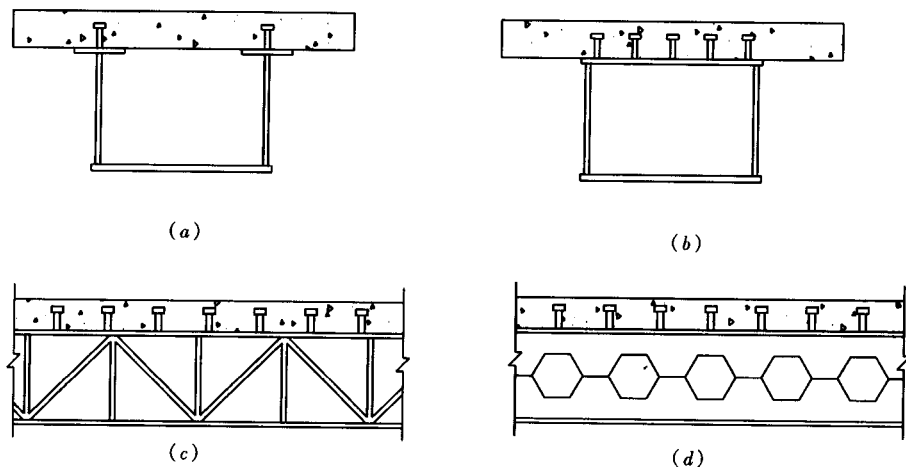


图 1-4 不同形式钢梁的钢-混凝土组合梁
 (a) 开口箱形钢梁；(b) 闭口箱形钢梁；
 (c) 钢桁架梁；(d) 蜂窝形钢梁

按照是否对组合梁施加预应力，组合梁可以分为非预应力组合梁和预应力组合梁。预应力组合梁又可以分为：(1) 仅在钢梁内施加预应力，目的是减小在使用荷载下组合梁正弯矩区钢梁的最大拉应力，增大钢梁的弹性范围，以满足设计对钢梁应力水平的控制要求；(2) 仅在组合梁负弯矩区的混凝土翼板中施加预应力，目的是降低组合梁负弯矩区混凝土翼板的拉应力以控制混凝土开裂或减小裂缝宽度；(3) 在正弯矩区和负弯矩区都施加预应力，可以曲线形式布置预应力筋，也可以在正弯矩区和负弯矩区分别布置预应力筋，以同时达到 (1) 和 (2) 的目的。是否需要组合梁施加预应力，取决于梁的高跨比、荷