

住宅钢结构设计与施工必备参考书

钢与混凝土

组合结构设计与施工

周学军 王敦强 编著

- 钢管混凝土结构设计与施工
- 钢骨混凝土结构设计与施工
- 钢与混凝土组合梁设计与施工
- 压型钢板组合楼板设计与施工
- 附有详细实例及有关国家标准

山东科学技术出版社 www.lkj.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

钢与混凝土组合结构设计/周学军,王敦强编
著.—济南:山东科学技术出版社,2003
ISBN 7-5331-3474-5

I. 钢... II. ①周...②王... III. ①钢结构:混凝土结构—结构设计②钢结构:混凝土结构—工程施工
IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 042889 号

钢与混凝土组合结构设计/施工

周学军 王敦强 编著

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)2065109

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@jn-public.sd.cninfo.net

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)2020432

印刷者:山东新华印刷厂

地址:济南市胜利大街 56 号

邮编:250001 电话:(0531)2059512

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:18.75

字数:424 千

版次:2003 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1-3000

ISBN 7-5331-3474-5 TU·139

定价:30.00 元

前 言

21 世纪前 20 年是中国全面建设小康社会的战略机遇期,在这个过程中建筑业必将作为一个国民经济的重要支柱产业得到快速发展,而钢结构作为建筑结构的形式之一也一定会受到大家愈来愈多的重视。我国目前钢产量已突破亿吨,居世界首位。国家正在实施“优先发展钢结构”的战略方针,近十年的发展也充分证明了这一点,门式刚架轻钢结构、网架网壳等空间结构得到了大力推广,取得了十分明显的社会效益和经济效益。而今后相当长的时期内住宅将是需求量最大的建筑产品之一,住宅钢结构、多高层钢结构必将有一个大的发展,这已是被业内许多有志之士广泛看好的主要发展方向之一。在住宅钢结构和其他多高层钢结构建筑中,钢与混凝土组合结构是主要结构形式,但是目前许多设计和施工技术人员对钢与混凝土组合结构缺乏系统的了解,迫切需要一本这方面的参考资料,为此,我们编写了本书。在编写过程中避免了理论的繁杂描述,而是偏重于实际设计和施工;书中每章都详细介绍了每一种组合结构形式的设计与构造及施工质量要求,并均附有详细设计实例,以便于读者参考。

本书是一本较为系统介绍钢与混凝土组合结构方面的用以指导设计和施工的实用参考书,编写紧扣规范和规程,书末还附有相关设计规范和设计计算常用表格。本书共分五章:第一章绪论,第二章钢与混凝土组合梁结构设计与施工,第四章钢骨钢筋混凝土结构设计与施工,第五章压型钢板与混凝土组合楼板设计与施工由周学军编写;第三章钢管混凝土结构设计与施工由王敦强编写;全书由周学军教授统编定稿。

在编写过程中,参考了许多学者和专家在组合结构方面的著作和文章(已列于书末参考文献中),同时研究生张祥龙、陈鲁、曲慧、杨秀英、宋杰等为本书绘制了插图并校对了原稿,付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

由于编者学识和水平所限,书中内容难免存在错误和不足,恳希各位专家批评指正,作者在此深表感谢。

编 者

目 录

前 言	1
第一章 绪论	1
第二章 钢与混凝土组合梁结构设计与施工	7
第一节 概 述	7
第二节 钢与混凝土组合梁截面设计与一般构造	13
第三节 抗剪连接件的设计与构造	27
第四节 托板的设计与构造	34
第五节 组合梁的施工要点	38
第六节 设计实例	41
第三章 钢管混凝土结构设计与施工	66
第一节 概 述	66
第二节 钢管混凝土柱截面设计与构造	68
第三节 钢管混凝土结构施工及质量要求	88
第四节 工程实例	92
第四章 钢骨混凝土结构设计与施工	97
第一节 概 述	97
第二节 钢骨混凝土梁的设计与构造	102
第三节 钢骨混凝土柱设计与构造	114
第四节 钢骨混凝土剪力墙的设计与构造	129
第五节 钢骨混凝土梁柱节点的设计与构造	137
第六节 设计实例	143
第五章 压型钢板与混凝土组合楼板的设计与施工	154
第一节 概 述	154
第二节 压型钢板与混凝土非组合楼板的计算	160
第三节 压型钢板与混凝土组合楼板的设计与构造	162
第四节 压型钢板与混凝土组合楼板施工要点	171
第五节 设计实例	173
附录一 和钢与混凝土组合结构相关的标准及条文	175
附录 1.1 中华人民共和国国家标准《钢结构设计规范》(GBJ17—88)(节录)	
关于钢与混凝土组合梁方面的规定	175
附录 1.2 中华人民共和国国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》	

目 录

(GB50018—2002)关于压型钢板方面的规定(节录)	179
附录 1.3 中华人民共和国行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》	
(JGJ99—98)关于组合梁、组合楼板方面的规定(节录)	183
附录 1.4 中国工程建设标准化协会标准《钢管混凝土结构设计与施工规程》	
(CECS28:90)(节录)	197
附录 1.5 中华人民共和国行业标准《钢筋混凝土结构设计规程》	
(YB9082—97)(节录)	236
附录二 设计计算常用表格	271
参考文献	294

第一章 绪 论

21 世纪将是钢结构的新纪元。近年来,我国建筑业正在全力发展钢结构和钢 - 混凝土组合结构。国家经济建设的快速发展,钢产量的提高,给钢结构的发展和应用带来了前所未有的机遇。自改革开放以来至 1990 年间,深圳、海南等沿海地区引进轻型钢结构房屋建筑,国内各种钢结构工业厂房,钢结构体育场馆,以及北京、上海、深圳等地的十余幢高层钢结构建筑的建成,形成我国钢结构建筑发展的第一次高峰。从 1991 年至今,形成了钢结构发展的又一高峰。除大跨度钢结构桥梁、大型飞机库、厂房、体育场馆建设外,已建和正在建设新的一批如深圳帝王大厦、上海金茂大厦、大连远洋大厦、上海环球金融中心等近 30 幢高层钢结构房屋建筑,这些多高层钢结构的建成标志着我国高层钢结构房屋建筑的设计、制造、安装以及钢材的供应完全国产化已经起步。在此期间,钢结构的发展和应用以轻型房屋钢结构发展最快,普及面最广。轻型房屋钢结构应用于各种工业与民用建筑,其结构形式主要有拱形波纹金属屋顶结构和门式刚架结构,它们以新颖、美观的造型,较低的用钢量和较短的施工周期而备受业主的欢迎。而多高层房屋钢结构建筑以其结构的重量轻,抗震性能好,建造速度快,空间布置灵活,管线安装方便,装修快捷,有利于配套开发,材料可回收重复使用,有利于自然环境保护等诸多优点,日益受到人们越来越多的关注和欢迎。美国、日本、韩国等发达国家的许多新建多层房屋建筑都采用这种建筑结构体系。住宅便是多高层钢结构的应用领域之一。

在我国,住宅产业化是住宅业发展的必由之路,住宅产业将成为推动我国经济发展的新的增长点。而住宅产业化的前提是具备与住宅产业化相配套的新技术、新材料和新体系。如新型的墙体及楼板材料,新的结构体系(如钢与混凝土组合结构)等。钢结构体系住宅易于实现工业化生产,标准化制作,而与之相配套的墙体材料可以采用节能、环保的新型材料;钢结构建筑属绿色环保型建筑,可再生重复利用,符合可持续发展的战略。因此,钢结构体系住宅成套技术的研究成果必将大大促进住宅产业化的快速发展,而且该成套技术是住宅产业化的核心技术之一,其研究成果的水平直接影响着我国住宅产业的发展水平和发展前途。

我国年钢产量已高达 1.2 亿吨,而钢材在建筑钢结构中的使用量却极少,所占比例仅在 1% 左右,距发达国家相差十几倍甚至二十几倍。国家建设部及国家冶金工业局成立了建筑用钢领导小组,其主要任务就是督促加大在建筑上用钢的比例。因此,钢结构建筑,尤其是占建筑比例较大的钢结构住宅建筑是我国重点发展的对象。钢结构具有重量轻、抗震性能好、工业化生产程度高和施工速度快等优点。虽然我国将钢结构已经用于高层、超高层建筑、轻钢厂房以及大跨度的空间结构中,并且制订了相应的规范、标准,但在住宅建筑中还极少甚至可以说还没有完整的钢结构体系住宅,属国内空白,没有相应标

准。因此,经济合理、安全可靠的住宅钢结构体系还需要进行系统的研究,例如对不同层数和高度的住宅应采用不同的结构形式,是采用纯钢框架或支撑框架,还是采用钢框架加混凝土剪力墙以及钢骨混凝土结构或钢管混凝土结构;其钢构件的截面形式是采用热轧 H 型钢,还是采用焊接 H 型钢,或是采用箱形截面更合理等等;结合住宅的可改造性,灵活分隔的特性,采用巨型结构加子结构,主结构构件与非主结构构件相结合等;研究钢结构新的防火措施,研制并应用耐火钢也具有重要的经济和社会效益;新型的节能墙体材料可在我国目前现有的产品基础上进行技术改造,提高技术含量,生产出高品质的墙体板材,现场施工便捷,施工质量易于保证;楼板形式应是钢结构体系相配套的研究内容。

然而因各国的情况不同,节能环保型钢结构体系住宅的发展途径和方式各有所不同。在欧洲及美国,该住宅主要用于多层结构,因为其高层住宅较少。而在日本由于地震的经常发生,故大量采用这种结构体系的住宅。据悉,台湾大地震调查结果表明,在强地震带附近凡是没有倒塌的建筑几乎全部是钢结构建筑,因此在台湾新建的住宅及其他建筑中几乎全部是钢结构方案。

从住宅建筑的发展来看,钢结构住宅具有以下技术优势:

①比起传统的结构,可以更好地满足建筑上大开间、灵活分隔的要求,并可以提高使用面积率 5%~8%。

②与钢结构配套技术的轻质墙板、复合楼板等采用新型材料,符合节能建筑的要求。

③钢结构构件及其配套技术相应部件绝大部分可以实现工厂化制做。

④钢结构住宅体系可以实现住宅建筑技术集成化的产业化新思路。

⑤钢结构住宅体系工业化生产程度高,现场湿作业少,符合环保建筑的要求。

⑥钢结构体系自重轻(约为混凝土结构的一半),可以大大减少基础的造价。

⑦钢结构体系施工周期短(约为混凝土结构的 $1/3 \sim 1/2$),可以大大缩短投资资金的占有周期,可以大大提高资金的投资效益。

⑧钢结构体系住宅直接造价略高于混凝土结构,但其综合效益却明显高于传统的住宅体系。

一、多高层钢结构体系

1. 结构形式

目前多高层轻型房屋钢结构建筑多采用框架结构体系或钢与混凝土组合结构体系,柱、梁为轧制 H 形、轻型工字钢和焊接工字形钢。也可以采用钢管混凝土结构和钢骨混凝土结构。由于受到型钢品种的限制,大多数采用焊接工字形钢。框架结构平面布置灵活,柱网尺寸可大可小,多数为 6~9m。为增强框架结构的侧向刚度,需要设置各种侧向支撑。当房屋有电梯时,结合电梯井的布置,可以采用框架—抗剪桁架体系或框架—钢板剪力墙结构体系。

2. 梁柱节点

梁柱节点连接有三种形式:刚接、铰接和半刚接。铰接构造简单,制造安装方便,但需要设置支撑或剪力墙承受水平荷载和提供抗侧刚度。不设置支撑时,梁与柱的连接节点都做成刚接。但这只是理论上简化的理想模型,实际中很难做到,实际工程中的节点准确的讲应是半刚性连接。半刚性连接比刚性连接施工简单,比较接受力性能好,近十年来国

内外在这方面的研究较多,因其受力难以控制,需要结合试验才能实际采用,目前多高层钢结构多采用刚接和铰接形式,绕强轴做成刚接,绕弱轴因腹板较薄而做成铰接。

3. 楼盖结构

常用楼盖结构有:压型钢板—混凝土组合楼板、现浇钢筋混凝土板以及预应力混凝土薄板,而以前两种常用,梁格一般采用等高布置,次梁与主梁铰接,当现浇混凝土楼板与梁有可靠连接时,形成钢与混凝土组合梁,有效地保证梁的整体稳定性,可以显著提高其承载力。

4. 支撑体系

多高层钢框架结构的侧向刚度较弱,需要加侧向支撑来抵抗水平荷载和地震作用。根据需要在房屋的纵向或横向布置支撑体系。常用支撑形式有:X形、人字形、倒人字、单斜杆等。当采用单斜杆中心支撑时,则做成对称布置。为在强震作用下具有良好的吸能耗能性能,则采用偏心支撑。

5. 围护结构

多高层钢结构的围护结构一般采用轻质材料,有空心砌块、加气混凝土砌块、压型钢板或彩色钢板与轻质保温材料组成的复合墙板(夹心板)。夹心板分三种类型:表面为平面、表面为浅压型和表面为深压型,用于墙体的夹心板通常选用表面为浅压型或表面为平面的夹心板。墙梁采用C形或Z形冷弯薄壁型钢,也有许多房屋采用轻质美观的玻璃幕墙结构。

6. 基础形式

多高层钢结构房屋一般采用刚接柱脚,由于结构自重轻,基础较砌体或钢筋混凝土结构小。以柱下独立基础为主,当地基条件较差时,则采用条形、井字形甚至筏板基础。基础梁一般采用钢筋混凝土或预制混凝土结构或外包混凝土的钢梁。

以轻型房屋钢结构住宅为特点的新型住宅建筑结构是近年来欧美一些国家住宅结构发展的标志之一,我国正在加速发展住宅产业化进程,发展以标准化、系列化、通用化,专业化、社会化生产和商品化供应为基本方向的住宅产业现代化体制,轻型房屋钢结构是符合这一发展要求的建筑体系之一。国家建设部正在组织研制和开发多高层轻钢结构的住宅建筑体系的结构选型,新型围护结构与隔断体系以及钢结构构件及配件的选择,结构体系设计与施工技术,编制相应的设计与施工技术规范 and 规程。可以预见,不久的将来轻型房屋钢结构的发展和应用会有新的飞跃。

二、钢与混凝土组合结构的范畴

如上所述,多高层钢结构体系中,梁可采用钢骨混凝土结构或钢与混凝土组合梁;柱可采用钢管混凝土结构或钢骨混凝土结构;楼板可采用压型钢板与混凝土组合楼板等。所有这些构件都是由钢与混凝土两种材料组成的,他们正是本书讨论的内容,下面分别简要介绍。

1. 钢与混凝土组合梁

钢与混凝土组合梁由钢梁和钢筋混凝土板以及两者之间的剪切连接件组成。工程中常采用不对称组合梁,钢梁主要有以下几种形式:

(1) 三块不同厚度与宽度的钢板焊接而成。

- (2)将大型工字钢割去宽厚的上翼缘加焊宽度较小的钢板。
- (3)将工字钢沿腹板纵向割开,然后将不同大小的半工字钢对焊而成。
- (4)蜂窝梁(如图 1-1 所示)。

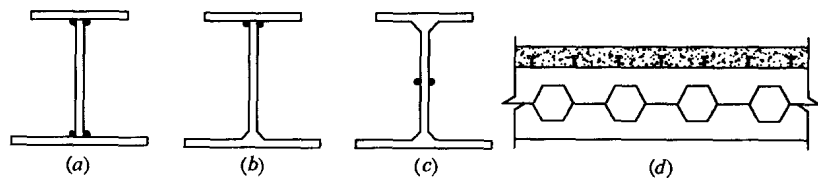


图 1-1 工字形及蜂窝形钢梁

组合梁中的剪切连接件的主要作用有:

- (1)抵抗混凝土板与钢梁叠合面上的纵向剪力,使两者不能自由滑移。
- (2)抵抗使混凝土板与钢梁具有分离趋势的“掀起力”。

剪切连接件的形式:分为柔性连接件(带头栓钉、斜钢筋、环形钢筋、带直角弯钩的短钢筋)和刚性连接件(块式连接件)。

组合梁根据混凝土板与钢梁部分的组合连接程度可分为完全剪切连接组合梁(完全组合梁)和部分剪切连接组合梁(部分组合梁)。完全组合梁中配有足够的剪切连接件,极限弯矩作用下的纵向剪力完全由所配剪力连接件承担。部分组合梁中剪力连接件所能承担的剪力小于在极限弯矩作用下所产生的纵向剪力。

2. 钢管混凝土结构

钢管混凝土是指在钢管中填充混凝土而构成的构件,按截面形式的不同,分为方钢管混凝土、圆钢管混凝土和多边形钢管混凝土。钢管混凝土目前已被广泛应用于单层和多层工业厂房柱、设备构架柱、地铁站台柱、各种支架柱、送变电塔杆、桁架主要压杆、高层建筑和拱架等结构形式中。

3. 劲性钢筋混凝土(钢骨混凝土)结构

劲性钢筋混凝土构件是在混凝土中主要配置型钢也配有构造钢筋及少量受力钢筋的构件。

配钢(钢骨)的形式可分为实腹式型钢和空腹式配钢两大类。实腹式型钢主要有工字钢、槽钢及 H 型钢;空腹式配钢是由角钢构成的空间桁架式的骨架。钢骨混凝土与钢筋混凝土最显著区别之一是型钢与混凝土的粘结力远远小于钢筋与混凝土的粘结力。

4. 压型钢板与混凝土组合楼板

压型钢板与混凝土组合楼板兴起于 20 世纪 90 年代,开始仅作为楼板的永久性模板。我国自 20 世纪 80 年代以来逐步推广,主要在北京长富宫中心、京城大厦、香格里拉饭店,上海的锦江饭店、静安饭店,深圳的发展中心大厦、深圳大学,沈阳沈海热电厂的平台等得到应用。由于此种结构的大量使用,带动了相关理论的研究。

三、钢结构设计施工常用的标准规范

为了方便读者全面了解我国钢结构方面的标准规范,下面将分材料、设计、施工三个方面,对标准的现状和发展做简要的介绍。

1. 材料标准

涉及钢结构用的材质标准、型材标准、板材标准、涂料标准和各种性能的试验方法标准共有百余本,现将最常用的标准列举如下:

(1) 材质标准:

- ① 碳素结构钢 GB/T700 - 88。
- ② 优质碳素结构钢 GB/T699 - 1999。
- ③ 低合金高强度结构钢 GB/T1591 - 94。

(2) 型材标准:

- ① 热轧等边角钢 GB/T9787 - 88。
- ② 热轧不等边角钢 GB/T9788 - 88。
- ③ 热轧工字钢 GB/T706 - 88。
- ④ 热轧槽钢 GB/T707 - 88。
- ⑤ 热轧 H 型钢和剖分 T 型钢 GB/T11263 - 1998。
- ⑥ 焊接 H 型钢 YB3301 - 92。
- ⑦ 结构用高频焊接薄壁 H 型钢 JG/T137 - 2001。
- ⑧ 冷弯型钢 GB/T6725 - 92。

(3) 板材标准:

- ① 一般结构用热连轧钢板和钢带 GB/T2517 - 81。
- ② 碳素和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带 GB/T912 - 89。
- ③ 碳素和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带 GB/T3274 - 88。
- ④ 厚度方向性能钢板 GB/T5313 - 85。
- ⑤ 连续热镀锌薄钢板和钢带 GB/T2518 - 88。
- ⑥ 彩色涂层钢板和钢带 GB/T12754 - 91。
- ⑦ 建筑用压型钢板 GB/T12755 - 91。

(4) 其他标准: 钢结构防火涂料应用技术规程 CECS24:90。

2. 设计标准

(1) 通用标准(2 本):

- ① 钢结构设计规范 GB50017(待报批)。
- ② 薄壁型钢结构技术规范 GB50018 - 2002。

(2) 高耸高层钢结构标准(3 本):

- ① 高层建筑钢结构技术规程 JGJ99 - 98(待局部修订)。
- ② 热轧 H 型钢构件设计规程 CECS(在编)。
- ③ 高耸结构设计规范 GBJ135 - 90。

(3) 空间钢结构标准(4 本):

- ① 网架结构技术规程 JGJ7 - 91(待修订)。
- ② 网壳结构技术规程 JGJ(待报批)。
- ③ (悬)索结构技术规程 JGJ(待报批)。
- ④ 索膜结构技术规程 CECS(在编)。

(4) 轻型钢结构标准(6 本):

①门式刚架轻型房屋钢结构技术规程 CECS102:2002。

②门式刚架轻型房屋钢构件 JG144 - 2002。

③拱形波纹钢屋盖结构技术规程 CECS(待报批)。

④钢龙骨结构技术规程 CECS(在编)。

⑤轻型房屋钢结构技术规程 CECS(在编)。

⑥冷弯型钢受力蒙皮结构设计规程 CECS(在编)。

(5)组合结构标准(5本):

①钢管混凝土结构技术规程 CECS28:90(在修订)。

②矩形钢管混凝土结构技术规程 CECS(在编)。

③混凝土钢管叠合柱技术规程 CECS(在编)。

④型钢混凝土组合结构技术规程 JGJ138 - 2001。

⑤钢骨混凝土结构技术规程 YB9082 - 97。

(6)钢结构连接标准(2本):

①建筑钢结构焊接规程 JGJ81 - 2002。

②钢结构高强度螺栓技术规程 JGJ82 - 91。

(7)钢结构加固标准(1本):钢结构加固技术规范 CECS77:96。

3. 施工标准

(1)通用标准(1本):钢结构工程施工质量验收规范 GB50205 - 2001。

(2)专用标准:上述设计标准中的“技术规程”,均包含施工及验收的内容。

在以上介绍的 43 本钢结构标准中,现行标准为 32 本,其他 11 本标准正在积极制订中。

注:GB—国家标准(强制性);GB/T—国家标准(推荐性);GBJ—工程建设国家标准;CECS—中国工程建设标准化协会标准;YB—冶金工业行业标准;JG/T—建筑工业行业标准(推荐性);JGJ—建筑工程行业标准。

第二章 钢与混凝土组合梁结构设计施工

第一节 概 述

不同材料具有不同的力学性能,对结构的安全可靠而言,各有其优缺点,一个优秀的结构工程师,应该充分利用不同材料的力学性能和不同的施工方法,设计和建造出既安全可靠又经济合理的建筑。

钢材是性能优良的抗拉材料,而混凝土则是良好的抗压材料。我们欲改变材料的使用方法,其选择可分两类,一是选择合适的材料形成具有所需特性的复合材料,如玻璃纤维、水泥、添加外加剂的混凝土以及合金钢和耐火耐侯钢材等;二是将不同的材料按最佳的几何构造布置,使每种材料因所放置的特定位置而发挥各自的特点,钢与混凝土组合梁即是这种选择的结果之一。这种结构有效地利用了混凝土和钢的最佳特点,梁的主要受力特点是承受弯矩和剪力,而为了抵抗力矩,两种材料被合理地布置在顶部和底部以得到最大的力臂,而竖向腹板则承担了大部分的剪力。

一、钢与混凝土组合梁的类型

钢-混凝土组合梁可以分为外包混凝土的组合梁(如图 2-1 所示)及钢梁外露的组合梁(如图 2-2 所示)两种。外包混凝土的组合梁是对钢梁围上足够的箍筋后再用混凝土将钢梁包上。这种形式早在 19 世纪初期就已经出现,当时主要是出于对结构防火要求考虑的,以后才按钢与混凝土共同工作来计算梁的强度。它的计算原理属于钢筋混凝土结构范畴,在我国称之为“劲性钢筋混凝土或钢骨混凝土梁”。本章不涉及这方面问题,留在本书第四章讨论,只专门讨论钢梁外露这一类形式的组合梁。

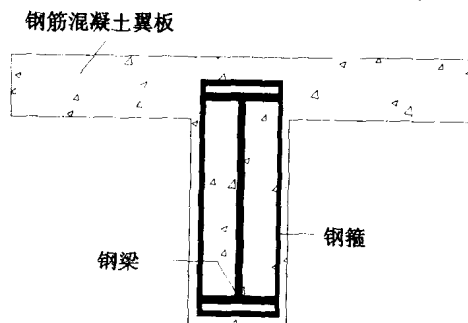


图 2-1 外包混凝土的组合梁

钢梁外露的钢-混凝土组合梁(以后简称为组合梁)的截面由四部分组成(见图2-2)。分述如下:

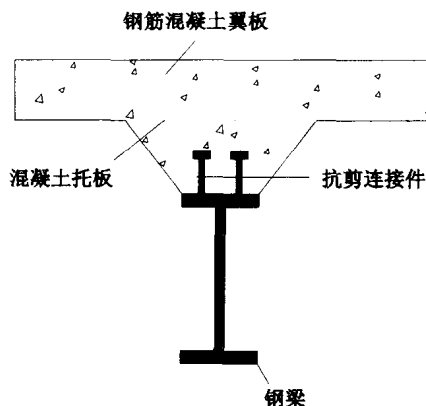


图2-2 钢梁外露的组合梁

1. 钢筋混凝土翼板

在平台结构或桥梁结构中,它是楼板或桥面板的本身。对于独立的组合梁,作为翼板的钢筋混凝土板除可提高构件的强度及变形性能外,还可防止梁的出平面失稳。

翼板的形式除为图2-2所示常见的现浇混凝土楼板外,生产实践中还出现了多种结构形式,如:

(1)压型钢板的组合楼板如图2-3(a)、(b)所示:这种楼板利用成形的压型钢板铺设在钢梁上,通过连接件和钢梁的上翼缘焊牢,然后在压型钢板上浇灌混凝土构成。压型钢板可以当作模板并承担施工荷载;混凝土硬化后钢板还可兼作配筋(见本书第五章)。这种楼板施工便捷,能加快施工进度;缺点是用钢量多些;一般用于高层钢结构或某些工业厂房楼盖中。从压型钢板的铺设方向来看,它又可分为压型钢板肋平行于钢梁和垂直于钢梁的两种。前者是采用主次梁楼板体系中将压型钢板搁置在次梁上时的组合主梁见图2-3(a);后者是压型钢板直接搁置在钢梁上的组合梁见图2-3(b)。

(2)预制装配式钢筋混凝土板如图2-3(c)、(d)所示:采用预制钢筋混凝土板可以减少现场现浇混凝土用量,减少现场湿作业。预制板可以用来承受施工荷载,在有后浇层的混凝土现浇层时还可以兼作模板。从预制板的跨度走向来看,它同样可分为与钢梁平行和与钢梁垂直的两种。前者是将预制板支承在钢梁上的次梁上,只在主梁上留出一定宽度以后浇灌混凝土构成组合主梁见图2-3(c);后者是将预制板直接支承在钢梁上,或支承在钢梁附带的小支托上,在钢梁的上翼缘上的两块板端之间后浇混凝土见图2-3(d)。对于后一种形式,为了保证预制板能发挥作用,须要注意预制板之间的可靠灌缝以保证楼板能承受压力,并应在板端伸出环筋以加强预制板和后浇混凝土的连系。

2. 板托

板托是在混凝土翼板与钢梁上翼缘之间的混凝土局部加肥部分,见图2-2。板托有时是专门设置的,有时是由于客观上存在着某个空间而必需设置的,有时也可以不设。设置板托虽然会给模板施工及配筋带来一些麻烦,但也带来不少好处。首先,由于设置板托

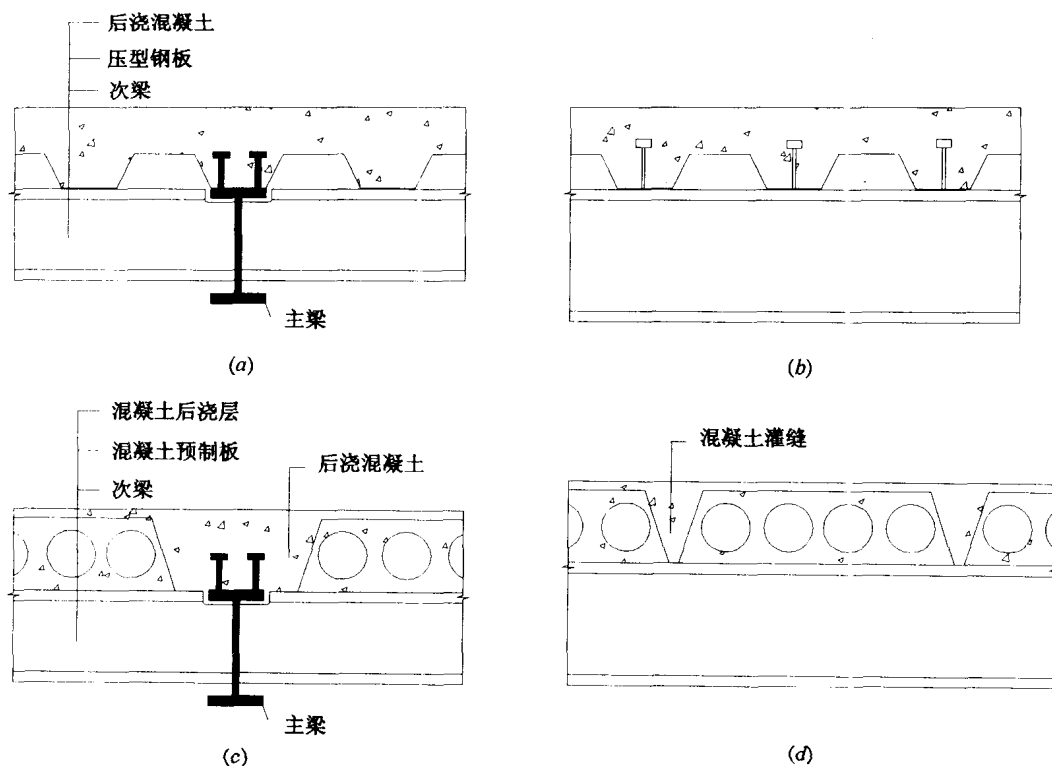


图 2-3 组合梁的翼板

(a)压型钢板楼板的组合梁;肋平行于钢梁;(b)同上,肋垂直于钢梁;(c)预制钢筋混凝土板,板跨平行于钢梁;

(d)预制钢筋混凝土板,板跨垂直于钢梁

增加了截面总高度,可以节省钢材;其次,可以在不改变钢筋混凝土翼板厚度的情况下改变板托高度为结构顶面找坡;当翼板厚度有限而抗剪连接件高度较大时,板托可以为连接件提供一个设置空间;最后,板托还可以改善钢筋混凝土板的横向受弯性能。如图 2-4 所示。

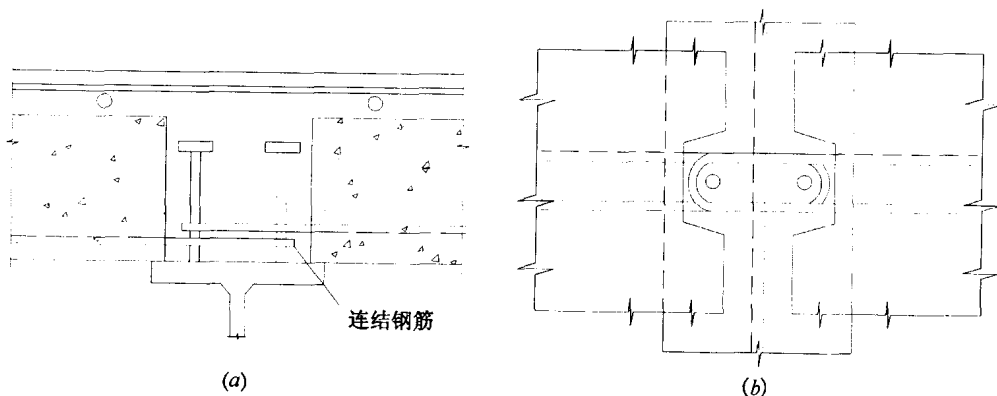


图 2-4 混凝土预制板的连接构造

(a)剖面;(b)平面(未表示后浇混凝土)

3. 抗剪连接件

抗剪连接件是钢筋混凝土翼板与钢梁共同工作的基础,它主要是用来承受钢筋混凝土翼板与钢梁接触面之间的纵向剪力,抵抗两者之间的相对滑移。

4. 钢梁

钢梁在组合梁中主要是处于受拉状态,故有时又称为“钢部件”。为了充分发挥钢梁的效能,钢梁一般作成如图 2-5 所示的形式。

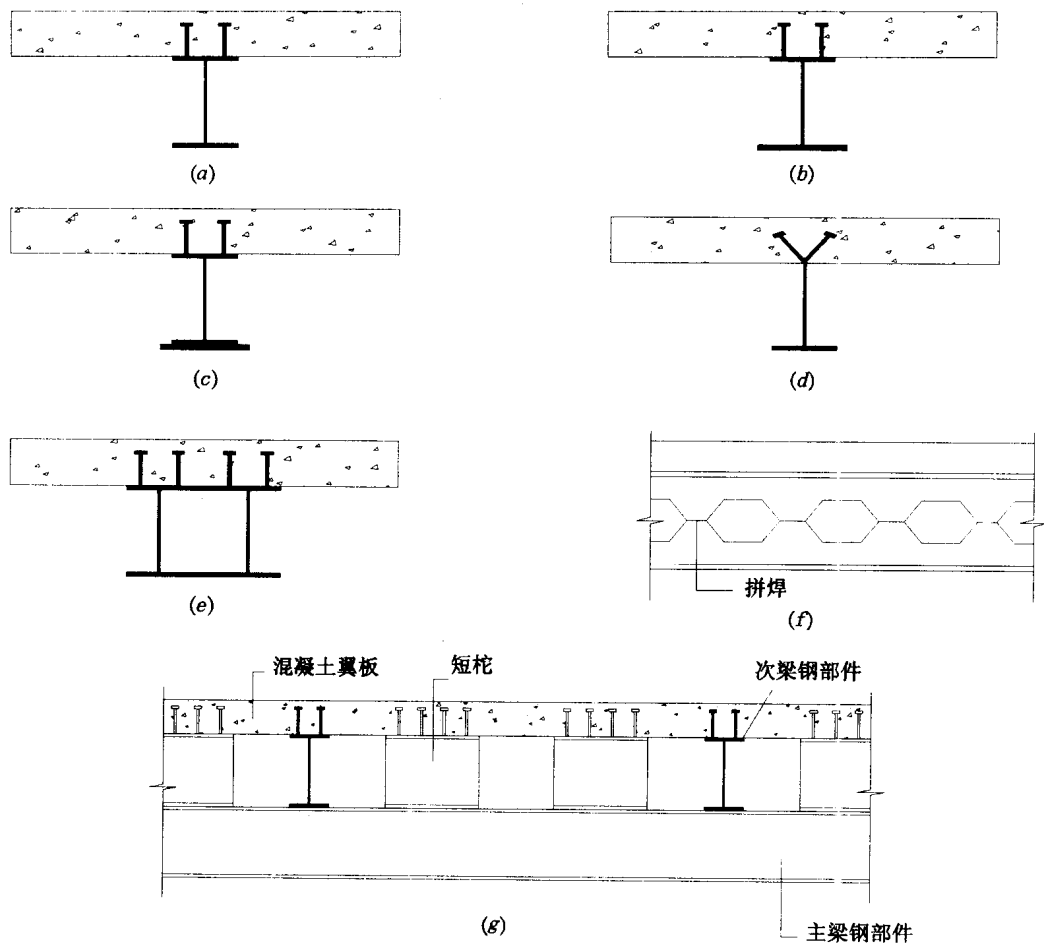


图 2-5 组合梁的钢部件形式

(a)工字形钢梁;(b)宽下翼缘的钢板梁;(c)下翼缘加盖板的钢板梁;(d)倒 T 形钢梁;
(e)箱形梁;(f)蜂窝梁;(g)短桁梁

(1)工字形钢梁如图 2-5(a)所示:工字形钢梁加工简便,但过大的工字形钢供货不多。一般用于楼盖的次梁组合梁。

(2)钢板梁如图 2-5(b)、(c)、(d)所示:大型组合梁的钢部件一般用钢板拼焊而成,为了充分利用钢材,一般可作成对横轴非对称的,见图 2-5(b),或在下翼缘加焊盖板见图 2-5(c),个别也有设计成倒 T 形钢部件的,见图 2-5(d)。楼盖的组合主梁、组合桥梁、组合吊车梁等大多用钢板梁作钢部件。

(3)箱形钢梁如图 2-5(e)所示:大型组合梁中的钢部件还可以设计成箱形钢梁,箱形截面钢梁的整体稳定性好,结构高度可做得小一些,承载能力亦高。

(4)蜂窝梁如图 2-5(f)所示:蜂窝梁是用工字形钢经过切割后再错位拼焊而成,其截面高度可比原来的工字钢增加不少,具有刚度大,省钢和可穿行管线等优点,但略为费工。

(5)短栓梁如图 2-5(g)所示:在组合结构楼盖中,当次梁钢部件支承在主梁钢部件之上时(叠接连接),在混凝土翼板与主梁钢部件之间形成了一个空间,可以在主梁钢部件上间断地填入若干个短工字钢(称为短栓)。短栓高度等于次梁工字钢高度,短栓的下翼缘焊在主梁钢部件上翼缘上,在短栓的上翼缘上焊抗剪连接件与混凝土翼板相连。短栓之间或短栓与次梁之间的空隔可通过风道或管线,在结构空间利用上有独到之处,国外有这方面的工程实例。由于这种短栓组合主梁受力比较复杂,整体性也略差一些,设计时如能配合一些构件试验,似乎更为妥善。

以上所介绍的只是几种基本的形式。组合梁还可以做成预应力的或是其他空间结构形式,设计者可参阅专门文献或报导。

二、钢-混凝土组合梁的优缺点

组合梁由于能按各组成部件所处的受力位置和特点,较大限度地充分发挥出钢与混凝土各自材料的特性,不但满足了结构的功能要求,而且还有较好的经济效益。

概括起来,组合梁有以下的优点:

①实践表明,组合梁方案与钢结构方案相比,可节省钢材 20%~40%,每平方米造价可降低 10%~30%。

②组合梁方案与钢梁方案相比,截面刚度大,梁的挠度可减少 $1/3 \sim 1/2$;此外,还可提高梁的自振频率。国内实践表明,对于某些承受竖向低频振动荷载的大跨平台结构,采用钢梁方案时,往往要发生共振。钢梁的刚度至关重要,这时可在不增加钢梁截面尺寸的前提下,将混凝土楼板与钢梁组合在一起,提高梁的刚度,增加梁的自振频率,避开可能发生的共振频率区。

③组合梁方案与钢梁或钢筋混凝土梁方案相比,可减少结构高度。对于高层结构,若每层减少十几厘米,数十层累计将是一个可观的数字。从而,即可降低整个房屋的造价。国内有多项改建与扩建的工程,也是采用了组合梁结构方案,使净空高度受限制的问题获得圆满解决的。

④组合梁方案与钢筋混凝土梁方案相比,除可省去梁身混凝土外,还可自由地用焊接固定管线装置。在电站厂房结构中,埋件用钢量占全部用钢量的 3.5%~7%,采用组合梁方案时,它的优点就更加突出。这时候,除可节省大量埋件用钢材外,还可有效地加快设计与施工的进度。

⑤组合梁方案由于它的整体性强,抗剪性能好,表现出良好的耐震性能。组合梁一开始出现就广泛地在桥梁结构中应用,我国在 20 世纪 60 年代采用组合梁方案设计建造的某煤矿井塔结构,使用中常年受振动作用,但至今仍完好无恙;又如某电厂采用组合梁方案的平台结构还经受了地震的考验等,这都说明组合梁具有相当好的耐震性能。

⑥可以利用钢梁作混凝土楼板的模板支承,以节约费用。对于高度较高的大跨度结

构,如栈桥等,这一优点将更为突出。

组合梁不足之处主要表现为:

①耐火等级差,对耐火要求高的结构,需对钢梁涂耐火涂料,或做其他防护措施。

②在钢梁制作过程中需要增加一道焊接连接件的工序,有的连接件需用专门的焊接工艺;有的连接件在钢梁吊装就位后还需进行现场校正。此外,在钢梁上焊上连接件后,吊装时就不便于在其上行走。

三、钢-混凝土组合梁发展概况

钢-混凝土组合梁大致可以分为三个发展阶段:

①组合梁大约出现于 19 世纪末和 20 世纪初。当时主要考虑防火的要求在钢梁外面包混凝土,而未考虑两者的组合工作效应。随后在 20 世纪 20 年代至 30 年代期间,即出现了在钢梁与覆盖的混凝土之间加入各式各样连接件的构造方法。1926 年 J·Kahn 曾获得组合梁结构的专利权,这可以认为是组合梁的创始阶段。

②从 20 世纪 40 年代到 60 年代可以认为是组合梁发展的第二阶段。这时,对组合梁有了深入、细致、全面的研究和应用;几乎所有技术先进的国家,如美国、英国、德国、加拿大及前苏联等国都制定了有关组合梁的设计规范或规程。最早的组合梁规范大都属于桥梁结构的,美国颁布于 1944 年,德国颁布于 1945 年。前苏联第一座组合公路桥建于 1944 年;日本第一座组合公路桥建于 1955 年,自 1959 年制定规范后便有 80% 的公路钢桥均改为组合式的。由此可见,各国应用和研究组合梁起步几乎差不多,而且都是从桥梁结构开始的。在这期间组合梁的设计理论也逐渐完善了。大致在 20 世纪 60 年代以前,基本上按弹性理论进行分析,20 世纪 60 年代开始则逐步转为按塑性理论分析。

③从 20 世纪 70 年代开始,可以认为是组合梁发展的第三阶段,一些主要产钢国家,20 世纪 70 年代曾促进了建筑钢结构的发展并使钢结构一直处于各类结构的领先地位。然而,当组合结构兴起之后,从 20 世纪 70 年代开始,它的发展几乎日趋赶上钢结构,且在一定的领域内能够代替钢结构及钢筋混凝土结构。当前,俄罗斯公路组合桥的跨度已达 120m,个别的为 154m。各国 30 层以上的高层结构中有 20% 采用了压型钢板组合楼盖,其中也包括了组合梁。组合梁的这种发展趋势必然吸引不少学者与工程技术人员,使他们的注意力转移到这方面来。早在 1960 年美国钢结构协会及钢筋混凝土协会就联合组成了 AISC-ACI 组合梁联合委员会开展工作。最值得注意的是,在国际土木工程师协会联合委员会主持下,于 1971 年成立了由欧洲国际混凝土协会(CEB)、欧洲钢结构协会(EC-SS)、国际预应力联合会(FIP),以及国际桥梁与结构工程协会(IABSE)共同组成组合结构委员会,并于 1981 年发表了《组合结构》规范,为组合结构的发展及应用作了肯定的总结并展示了新的努力方向。

至于我国,和世界各国相比,组合梁应用的起步也不算太晚,在交通、冶金、电力、煤矿等系统中都有应用。在 20 世纪 50 年代建成的长江大桥,其上层公路桥的纵梁(跨度 18m,梁距 1.8m)就采用了组合梁;铁道部还编制了钢筋混凝土板与钢梁联合梁通用图,梁的跨度达到 44m;交通部 1974 年颁布的公路桥涵设计规范中亦有组合梁的专门条款;沈阳煤矿设计院早在 1963 年就把组合梁结构用于煤矿井塔结构;北京钢铁设计研究总院设计并建成了 18m 跨的吊车梁;近年来电力系统及冶金系统厂房中的平台结构,采用组合