

朱聘儒 著

钢—混凝土组合梁 设计原理

(第二版)



中国建筑工业出版社



责任编辑：黎 钟

封面设计：王 显

ISBN 7-112-08669-8



9 787112 086696 >

(15333) 定价：17.00 元

图书销售分类：
建筑结构与岩土工程 (S10)



钢-混凝土组合梁设计原理

(第二版)

朱聘儒 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢-混凝土组合梁设计原理/朱聘儒著. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2006

ISBN 7-112-08669-8

I. 钢... II. 朱... III. 钢结构: 混凝土结构-组合梁-结构设计 IV. TU375.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118357 号

钢-混凝土组合梁设计原理

(第二版)

朱聘儒 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 7 $\frac{1}{2}$ 字数: 211 千字

2006 年 12 月第二版 2006 年 12 月第四次印刷

印数: 11071—14570 册 定价: 17.00 元

ISBN 7-112-08669-8

(15333)

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.cabp.com.cn>

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

本书目的是对钢-混凝土组合梁的设计作一全面介绍。第二版中除按最新的《钢结构设计规范》(GB 500017—2003)修订外,又充实了近期国内外组合梁的设计与研究成果,同时对新规范中钢-混凝土组合梁结构新的规定加以分析研究,提出了作者的认识,并加强其与钢结构塑性设计及混凝土梁理论间的沟通,以及力学分析。全书包括:概论;基本设计原则;多跨连续组合梁的内力分析;组合梁截面弹性分析;组合梁截面塑性分析;抗剪连接件设计;混凝土翼板与板托的界面受剪设计;组合梁挠度及裂缝宽度验算;组合梁楼盖设计与例题共九章。书中有大量例题,通过例题进行系统分析,还提出一些构造建议和设计思路。可供土木工程技术人员、研究人员、教学人员、研究生参考,也可作为高等学校本科生选修课教材。

* * *

责任编辑:黎 钟

责任设计:赵明霞

责任校对:张树梅 张 虹

第二版前言

本书首发至今已有 16 年了，当时是国内首先系统地介绍组合梁的一本专著。该书的出版背景是迎接 1989 年《钢结构设计规范》的修订，为规范中新增加的“钢与混凝土组合梁”一章造势。该书流传很广，得到了读者的认可，至今仍有论文把它作为参考文献，谢谢读者们的厚爱。

现在，《钢结构设计规范》GB 500017 在 2003 年重新修订，其中组合梁一章又充实了不少，加之期间国内外在组合梁方面的研究及实践成果也很多，为了与时俱进，深感有必要以第二版的形式对本书重新编写。编写的背景与第一版相同，只是第一版是在规范修订事前，第二版是在规范修订事后，本书所起的作用也将稍微有点不同。

和第一版一样，本书仍旧定位在响应规范而又不完全因循规范，还要继续保持深入浅出、理论联系实际的优良学风。读者对象是工程技术人员、研究人员、教师、研究生，本书也可以作为高等学校本科生的选修课教材。

本书第二版较大的变化有三个方面：

一是通过大量试算试设计把规范新增加的规定的底线弄清楚，做到心中有数，哪些没有问题，哪些须要注意，哪些要留有余地，还有哪些规律等等。这些都是设计者所关心的问题。

二是加强和钢结构塑性设计及混凝土梁理论的沟通，虽然它们和组合梁材料不同，结构形式也不同，但在“梁”的问题上却有不少共性的东西。互相沟通借鉴，组合梁获益颇多，有利于组合梁的全面发展。

三是加强了力学的力度。一门结构要持续全面发展，离不开雄厚的力学基础。力学源于实践而又高于实践，它逻辑严密；力学在实践中也有诸多现实意义，荷载作用下梁的内力效应、应力效应以及位移效应都要用力学解析；实践上难以决断的事要靠力学去推理；力学分析结果可以作为近似法及试验结果的参照准绳；力学可以指引结构的改进方向；力学也是人们对结构问题形成共识的基础。因此，作者多年来就有一个愿望，要为组合梁构建一个初步的力学框架，而这方面的文献国内尚见得不多，国外资料也仅仅是一点信息，本书第二版所增加的力学内容中有一些是作者与研究生们共同探索的成果。

本书第二版中算例也不少，它们仍旧是本书的一个重要组成部分，是理论联系实际的一个重要平台，用数字说话更具体、更形象、效果更好。至于“组合楼盖设计与例题”一章，重点是学以致用，全部改写之后，除了与新版钢结构设计规范接轨之外，还首先提出了一些组合梁特色的构造规定（建议）和有指导意义的设计小结，请读者关注并提出宝贵意见。

朱聘儒 2006 年于苏州

目 录

第一章 概论	1
1-1 组合梁的基本概念	1
1-2 钢-混凝土组合梁的截面组成	5
1-3 钢-混凝土组合梁的优缺点	10
1-4 钢-混凝土组合梁发展概况	11
第二章 基本设计原则及一般规定	15
2-1 结构设计的功能要求及荷载效应	15
2-2 结构的极限状态设计表达式及荷载效应组合	16
2-3 组合梁的材料选用	26
2-4 组合梁中钢梁的板件宽厚比	28
2-5 组合梁截面混凝土翼板的计算宽度	29
2-6 组合梁混凝土翼板的等效换算宽度	31
第三章 多跨连续组合梁的内力分析	33
3-1 概述	33
3-2 连续组合梁的工作截面	34
3-3 单跨变截面组合梁的位移计算公式	35
3-4 多跨连续组合梁的内力分析	39
3-5 多跨连续组合梁的塑性分析	49
第四章 组合梁截面的弹性分析	55
4-1 概述	55
4-2 组合梁的换算截面	55
4-3 组合梁的法向应力分析	60
4-4 组合梁的剪应力分析	63

4-5	温差应力及混凝土收缩应力分析	69
4-6	组合梁考虑叠合缝相对滑移的弹性分析 (基本原理及内力计算实例)	76
4-7	组合梁考虑叠合缝相对滑移的弹性分析 (位移部分)	91
第五章	组合梁截面的塑性分析	97
5-1	概述	97
5-2	组合梁的抗弯承载力计算	97
5-3	组合梁竖向抗剪承载力计算	108
5-4	负弯矩区段组合梁钢部件的稳定分析	114
5-5	正弯矩作用下组合截面的弯曲变形分析	124
5-6	负弯矩作用下组合截面的弯曲变形分析	129
第六章	抗剪连接件设计	139
6-1	抗剪连接件的形式	139
6-2	抗剪连接件的试件与试验	141
6-3	抗剪连接件的静力工作性能	142
6-4	抗剪连接件的动力工作性能	150
6-5	连接件的抗剪承载力设计值	152
6-6	组合梁抗剪连接件的弹性设计法	157
6-7	组合梁抗剪连接件的塑性设计法	161
6-8	抗剪连接件的构造要求	166
6-9	抗剪连接程度对组合梁工作性态的影响	168
6-10	部分抗剪连接的组合梁设计	170
第七章	混凝土翼板与板托的界面受剪设计	175
7-1	概论	175
7-2	混凝土界面受剪的破坏机理及其强度	176
7-3	混凝土界面抗剪强度及界面抗剪承载力的设计 表达式	180
7-4	混凝土翼板及板托的横向钢筋设计	182

7-5	板托的构造	187
第八章	组合梁的挠度及裂缝宽度验算	188
8-1	一般规定	188
8-2	组合梁的截面刚度	189
8-3	关于组合梁截面刚度折减系数的分析与建议	192
8-4	连续组合梁负弯矩区混凝土翼板的最大裂缝宽度 计算	196
第九章	组合楼盖设计与例题	201
9-1	组合楼盖的组成	201
9-2	组合楼盖的梁格布置	202
9-3	板和梁的构造考虑	205
9-4	设计例题	211
附表 1	热轧普通工字钢的尺寸、截面面积、理论重量 及截面特性	237
附表 2	经供需双方协议，可供应的普通工字钢	239
附表 3	钢筋的计算截面面积及理论重量	240
附表 4	每米板宽内的钢筋截面面积	241
	参考文献	242

第一章 概 论

1-1 组合梁的基本概念

本书所介绍的只是一种特定的组合梁，关于组合梁的基本概念早已有之，组合梁的形式也很多，它与钢、木、砌体及混凝土等结构都有关系，目前仍在不断发展着。宏观地归纳，组合梁有以下三大类：

(1) 同种材料构成的组合梁

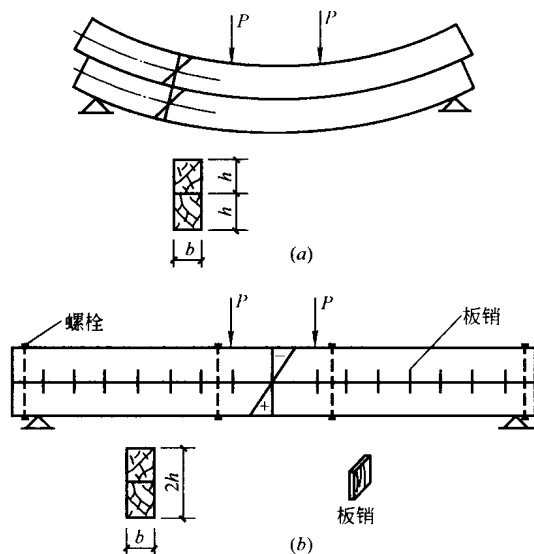


图 1.1-1 木组合梁示意图

(a) 未组合的；(b) 板销梁

先以木结构为例。现有两根截面尺寸为 $b \times h$ 的木梁，未有任何组合措施，只是将它俩简简单单地叠在一起，见图 1.1-1 (a)，那么受力之后，两根梁各自受弯，各有其自身的中和轴，上面梁的下纤维微受拉伸长，下面梁的上纤维微受压缩短，两者之间有明显的滑移错动，其受弯承载力 $M = 2 \times \frac{1}{6}bh^2 f$ ，为两根木梁之和，其中 f 为木材强度，其截面惯性矩 $I = 2 \times \frac{1}{12}bh^3$ ，亦为两者之和，1 加 1 等于 2。

现在，为了实现小材大用，沿它们的纵向在垂直于叠合面方向用开榫机横穿叠合面开凿出一系列榫槽，并往其中插入用硬木制成的片状“板销”，见图 1.1-1 (b)；规定板销的木纹与叠合面相垂直，它有足够的抗剪能力，可以阻碍上下梁在叠合面处相对滑移错动，构成一根整体性很好的组合梁。这种梁在木结构中称为“板销梁”。板销梁的受弯承载力 $M = \frac{1}{6}b(2h)^2 f = 4 \times \frac{1}{6}bh^2 f$ ，是组合前两根木梁抗弯能力之和的两倍，其截面惯性矩 $I = \frac{1}{12}b(2h)^3 = 8 \times \frac{1}{12}bh^3$ ，是两者之和的 4 倍。可见，组合起来的板销梁，可以小材大用，其受弯承载力及截面刚度与组合前的两根木梁相比，都是 1 加 1 远远大于 2。

同理，由不同的小尺寸型材，如角钢、钢板等，通过铆钉或螺栓连接，也可以构成大截面的钢梁，其中铆钉受剪，它可以阻碍角钢肢背与钢腹板之间的相对滑动，这种梁在钢结构中正式地称为“组合梁”，见图 1.1-2。钢组合梁也是小材大用，其承载力及截面刚度与组合前相比，也是 1 加 1 远远

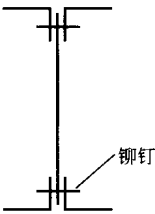


图 1.1-2 钢组合梁截面 大于 2。

(2) 异种混凝土构成的组合板

混凝土拌合物是可塑的，可以不受尺寸限制，但是异种混凝土

土组合在一起之后，可以实现功能多样化，现举两个应用实例。

如所周知，预应力混凝土抗裂性好，可以节约钢材，在高层建筑混凝土结构中，有一种叫做预应力混凝土薄板叠合板的楼盖方案，见图 1.1-3 (a)，其要点是先在预制厂中加工预应力混凝土薄板，板厚为 50~60mm，尺寸视运输条件而定，吊装就位后，再在其上浇筑 80~120mm 厚的后浇混凝土，等待后浇混凝土硬化后，便形成了两种混凝土构成的叠合板（图 1.1-3a）。后浇混凝土与预应力混凝土薄板的结合，是依靠它们两者的粘结强度，以及预应力混凝土薄板在板面上预先伸出的短筋埋入到后浇混凝土中进一步加强两种混凝土之间的连接。预应力混凝土薄板叠合板与纯装配式楼板相比整体性好，与纯现浇混凝土楼板相比省去了模板及施工工序；预应力薄板在竣工后是叠合板的受拉配筋，在施工时又兼作模板，体现了一物两用。

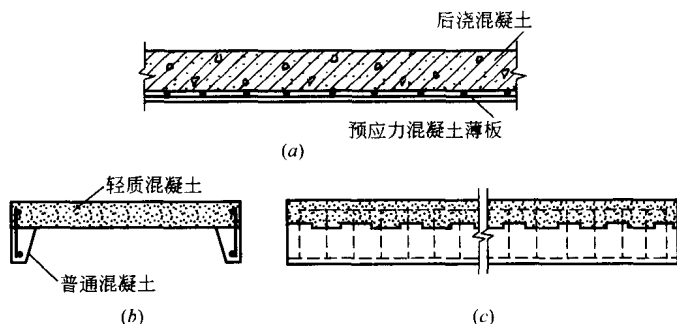


图 1.1-3 异种混凝土组合板示意图

(a) 预应力混凝土薄板叠合板；(b) 复合大型屋面板剖面；

(c) 复合大型屋面板侧面

作为另一个实例，为图 1.1-3 (b)、(c) 所示可用于单层厂房房屋盖的复合大型屋面板。按照常规，槽形大型屋面板由面板及纵肋构成，保温层铺设在屋面板上面。本方案则不然，它利用保温的轻混凝土板替代了大型屋面板中的面板，只是两条纵肋仍旧属于普通钢筋混凝土，其剖面见图 1.1-3 (b)。为了克服轻混凝土

土与纵肋沿接触面上的剪力作用，纵肋顶面除了形成凸出凹进的齿状平面外，两种混凝土还用箍筋相连，见图 1.1-3 (c)。在这种复合的大型屋面板内，轻混凝土实现了一物三用，一是作为保温层，二是替代了原大型屋面板中的面板，作为围护结构，三是作为大型屋面板的一个组成参与承重受力。可见，这种由异种混凝土构成的组合板，其组成材料可以综合利用，实现功能多样化。

(3) 异种材料构成的组合梁

这方面的例子很多，其中首推钢与混凝土构成的组合梁，常见的钢筋混凝土梁从本质上讲就是典型的异种材料构成的组合梁，钢筋处于混凝土之中，它们共同工作的基础是混凝土对钢筋表面有足够的粘结抗剪强度，钢筋在混凝土中基本上无滑移，钢筋混凝土梁的特点是两种材料各自扬长避短和优势互补，构件承载能力及刚度都很大，混凝土还为钢筋防火防锈。如果不用钢筋而将型钢置入混凝土中，则构成“钢骨混凝土梁”，见图 1.2-1。钢骨混凝土梁与钢筋混凝土梁本质上没有区别，故又称“劲性钢筋配筋的混凝土梁”，而在组合结构范畴内则称作组合梁。第三种钢与混凝土组合梁就是本书将要所研讨的型钢外露的组合梁，它与前两种钢筋混凝土梁的区别在于钢与混凝土是体外接触，见图 1.2-2，因为接触面上混凝土的粘结抗剪能力微不足道，需要设置专门的抗剪连接件，连接件的下端焊在钢梁的上翼缘上，上端则埋入混凝土内，关于这种组合梁的详细情况，留待以后逐一介绍。

用钢筋混凝土加强砌体也可以构成组合砌体结构，可以显著提高砌体的受弯及受剪承载力。按照规范，在抗震设防烈度 6 度地区，配筋砌块砌体剪力墙房屋的适用高度可达 54m。此外，规范中还专门设置了组合砖砌体构件一节，认为它是砖砌体的主要配筋形式。

近 20 年来，工程界研制出了很多如建筑结构胶、碳纤维等新型建筑材料，相应地也出现了不少新型的组合梁，如果将钢板

用胶粘贴在混凝土的下表面就构成了钢板胶结混凝土组合梁，如果将碳纤维用胶粘贴在混凝土的下表面或木材的下表面，就构成了碳纤维胶结混凝土组合梁或碳纤维胶结木组合梁，这些组合梁目前正在结构加固领域中广为应用，国家专门有这方面的技术规程。

综上所述，组合梁的优点确实很多，可以小材大用，可以显著地提高构件的承载能力和刚度，所组合的材料可以扬长避短和优势互补，可以一物多用，实现结构功能多样化。关于组合梁的关键，在于接触面上的抗剪连接，除了混凝土或胶的抗剪粘结外，还有很多如板销、铆钉、螺栓、箍筋、混凝土齿等专门的连接件，因为它们都是用以承受纵向剪力，不妨统称为“抗剪连接件”。可以认为，没有抗剪粘结或抗剪连接件就没有组合梁。

以上所述的仅仅是关于组合梁的共性知识，由于研究工作的深入和推广应用的普及，有不少种类的组合梁早已经成为主要的分支学科，如钢筋混凝土梁、钢骨混凝土梁、钢组合梁、胶合组合梁等，还有本书所介绍的组合梁。

1-2 钢-混凝土组合梁的截面组成

钢-混凝土组合梁可以分为外包混凝土的组合梁（图 1.2-1）及型钢外露的组合梁（图 1.2-2）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的考虑，以后才按钢与混凝土共同工作来计算梁的承载力及刚度。它的计算原理属于钢筋混凝土结构范畴，在我国过去称之为“劲性钢筋配筋的混凝土梁”，本书不准备涉及它。关于钢梁与混凝土体外接触这一类形式的组合梁，其专门的英文名词为“Steel and Concrete Composite Beam”，这种组合梁适用于桥梁结构、楼盖结构或平台结构。在房屋建筑中，它和主体钢结构的梁格体系关系密切，同时在学科理论上又和钢结构中的塑性设计有诸多沟通之

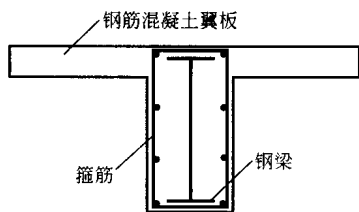


图 1.2-1 外包混凝土的组合梁

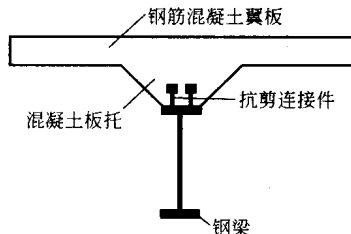


图 1.2-2 型钢外露的组合梁

处，故不少国家将它纳入《钢结构设计规范》范畴，我国亦然。

型钢外露的钢-混凝土组合梁（以后简称为组合梁）的截面由四部分组成（图 1.2-2），分述如下：

（1）钢筋混凝土翼板——在楼盖结构、平台结构或桥梁结构中，它是楼板、平台板或桥面板的本身。对于独立的组合梁，作为翼板的钢筋混凝土板除了可提高构件的强度及变形性能外，还可以防止梁的出平面失稳。

翼板的形式除图 1.2-2 所示应用较多的现浇混凝土楼板外，常见的还有多种结构形式，如：

（a）压型钢板的组合铺板（1.2-3a, b）这种楼板是将成型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承受施工荷载，有些压型钢板在混凝土硬化后还可以兼作板的配筋。这种楼板施工便捷，缺点是用钢量多了一点。它一般用于高层建筑钢结构或某些工业厂房的楼盖。从压型钢板的铺设方向来看，它可以分为压型钢板肋平行于钢梁和垂直于钢梁两种。对于主次梁楼盖结构，压型钢板肋（强边方向）一定垂直地搁置在次梁上，此时对主梁来说，压型钢板肋就平行于主梁方向，见图 1.2-3（a）。如果是独立的钢梁，压型钢板肋也是垂直地搁置在钢梁上的，见图 1.2-3（b）。

（b）混凝土叠合板（图 1.2-3c, d）混凝土叠合板由混凝土预制板及现浇混凝土层组成，在混凝土预制板表面采取拉毛及设

置抗剪钢筋等措施，以保证预制板和现浇混凝土层形成整体。混凝土预制板可以用来承受施工荷载，为后浇混凝土兼作模板，现场的混凝土湿作业也少，还可以立体交叉施工。从预制板的跨走向来看，同样可以分为与钢梁平行与钢梁垂直两种，见图 1.2-3 (c)，(d)。对于预制板跨度方向与钢梁垂直情况，为了保证混凝土叠合板能充分参与组合工作，应在板端伸出环筋或胡子筋以加强预制板、后浇混凝土及钢梁三者之间的连系，见图 1.2-4。图中的预制板端头呈燕尾形，以容纳后浇混凝土和钢梁上的连接件，板端还伸出钢筋环，套在连接件上，加强整体性。我国山西省电力勘察设计研究院与郑州工学院合作，在这方面作了专门的试验研究，并在国内建造了首个试点工程，证明结构是可靠的，而且技术经济效益极佳。

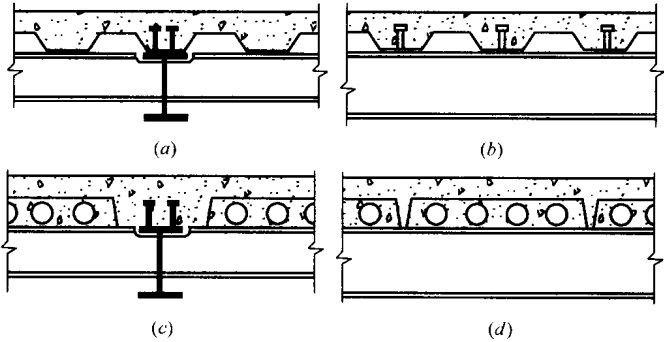


图 1.2-3 组合梁的翼板

- (a) 压型钢板的组合板，肋平行于钢梁；
- (b) 同 (a)，肋垂直于钢梁；
- (c) 混凝土叠合板，板跨平行于钢梁；
- (d) 同 (c)，板跨垂直于钢梁

(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大部分，见图 1.2-2。板托有时是为了容纳体形尺寸较大的抗剪连接件而专门设置的，有时是客观上存在着某个空间而必须设置的，有时也可以不设。一般而言，不带板托的组合梁施工方便，带板托的组合梁材料较省，但板托构造复杂。高层建筑钢结构中的组合梁大多不带板托。