

钢— 混凝土组合梁 设计原理

朱聘儒 编著



中国建筑工业出版社

86.243
90/0358

钢-混凝土组合梁 设计原理

朱 聘 儒 编著

中国建筑工业出版社

本书叙述混凝土板与钢梁“组合”一起的钢-混凝土组合梁的设计计算方法。全书按新规范编写。内容包括：一般设计原则、截面的弹性分析、截面的塑性分析、抗剪连接设计、板托设计、连续组合梁的设计以及组合结构楼盖的设计与计算例题。

可供建筑设计、施工技术人员以及土建专业大专院校师生参考。

钢-混凝土组合梁设计原理

朱聘儒 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本：850×1168毫米 1/32 印张：7¹/₂。插页：1 字数：191千字

1989年11月第一版 1989年11月第一次印刷

印数：1-6430册 定价：5.35元

ISBN7-112-00774-7/TU·547

(5852)

前 言

由于建筑科学技术的发展和建设事业的需要，我国《钢结构设计规范》已增加了“钢与混凝土组合梁的若干问题”一章。作者有幸参加了该章的编制工作，得益不少；同时也感到由于规范条款是指令性的，不阐述基本原理，对于钢与混凝土组合梁这样比较新的构件一时恐难以为大多数人所熟悉理解。而且目前规范条款也只限于对承受静载作用的单跨简支梁作规定，不是以反映组合梁的全貌，有些问题尚待开展研究和总结。因此作者结合近年来在工程及科研实践方面的体会，编写了本书。

编写本书时考虑某些读者对组合梁可能是初次接触的，因此本书中将原理阐述与例题示范并重，使例题也成为本书的一个重要组成部分。这些例题除可作演算过程的参考外，每道例题的选择均有寓意，希望能通过例题说明某些规律，以加强对基本原理的认识。

本书中内容的分量和安排，既考虑了便于工程技术人员的参考，也考虑可以作为大专院校学生选修课的教材之用，以求适应面较广，这是作者的愿望。

本书由朱聘儒主编，国明超同志编写其中的第九章，并担任对全稿作校阅及绘图工作，朱起同志对稿件作了初步审阅。由于水平所限，书中可能会有不少缺点或错误，请读者批评指正。由于书稿在脱稿时，国家有关规范尚未正式颁行，书中若有个别术语、符号或取值与新颁布的规范有不符之处，应以正式颁行的规范为准，亦请读书注意。谢谢。

目 录

第一章 概论	1
1-1 钢-混凝土组合梁的一般概念	1
1-2 钢-混凝土组合梁的截面组成	3
1-3 钢-混凝土组合梁的优缺点	8
1-4 钢-混凝土组合梁发展概况	9
第二章 钢与混凝土的物理力学性能	12
2-1 混凝土的立方强度与强度等级	12
2-2 混凝土的轴心抗压强度、弯曲抗压强度及轴心抗拉强度	13
2-3 混凝土的应力-应变曲线	14
2-4 混凝土的变形模量	15
2-5 混凝土的徐变及收缩	16
2-6 有明显屈服点钢材的应力-应变曲线	20
第三章 基本设计原则及一般规定	22
3-1 建筑结构的设计功能及结构的极限状态	22
3-2 极限状态的设计表达式	23
3-3 钢与混凝土的标准强度与设计强度	31
3-4 组合梁的分析方法	33
3-5 组合梁截面尺寸的一般规定	34
第四章 组合梁截面的弹性分析	37
4-1 概述	37
4-2 组合梁的正应力分析	38
4-3 组合梁的剪应力分析	50
4-4 极限状态设计中若干问题	51
4-5 温差应力及混凝土收缩应力分析	58
第五章 组合梁截面的塑性分析	66
5-1 概述	66

5-2	组合梁的截面分类	66
5-3	组合梁抗弯承载力计算	68
5-4	组合梁竖向抗剪承载力计算	79
5-5	组合梁受弯过程的性态分析	83
第六章 抗剪连接件设计		87
6-1	抗剪连接件的形式	87
6-2	抗剪连接件的试件与试验	88
6-3	抗剪连接件的静力工作性能	90
6-4	抗剪连接件的动力工作性能	97
6-5	连接件的抗剪设计承载力	99
6-6	组合梁抗剪连接件的弹性设计法	105
6-7	组合梁抗剪连接件的塑性设计法	111
6-8	抗剪连接件设计的构造要求	115
6-9	抗剪连接程度对组合梁工作性态的影响	116
6-10	部分抗剪连接的组合梁设计	118
第七章 板托设计		123
7-1	钢筋混凝土界面受剪的破坏机理及其强度	123
7-2	界面抗剪设计强度	127
7-3	板托及混凝土翼板的横向钢筋设计	128
7-4	板托的构造	133
第八章 连续组合梁		136
8-1	概述	136
8-2	连续组合梁强度极限状态时的内力分析	137
8-3	中间支座截面负弯矩抗弯承载力计算	149
8-4	中间支座截面的抗剪承载力	152
8-5	连续组合梁负弯矩跨的总体稳定	154
8-6	塑性设计时连续组合梁支座负弯矩区钢梁的稳定问题	164
8-7	连续组合梁负弯矩区抗剪连接件的塑性设计法	167
8-8	连续组合梁正常使用极限状态验算	169
第九章 组合结构楼盖设计与例题		175
一、基本条件		175
二、结构体系的选择		175
三、楼板设计		177

四、次梁设计	179
五、主梁设计	200
六、施工草图	208
附录	210
参考文献	219

第一章 概 论

1-1 钢-混凝土组合梁的一般概念

一个比较成功的结构设计，往往都能做到合理选择材料，充分利用材料的性能，扬长避短，使所有材料各尽所能，协同工作，充分发挥结构的作用。此外，还能因时因地地使一个部件或一个构件具有多种的用途，做到“一物”多用，以取得最大的综合技术经济效益。钢-混凝土组合梁就是基于这种思想创造的一种结构形式。

图1-1a是一般的钢筋混凝土楼板和钢梁的结构体系，其中钢筋混凝土板只有一个功能，就是横向受弯；下面的钢梁只作为支座。钢梁受力后产生弯曲变形，钢筋混凝土板与钢梁之间产生相对滑移，变形情况如图1-1b所示。这时，截面上作用的弯矩将等于钢筋混凝土板与钢梁各自承受的弯矩之和 ($M_c + M_s$)，见图1-1c。因为混凝土板绕自身重心轴的截面刚度 $E_c I_c$ 远小于钢梁绕自身重心轴的截面刚度 $E_s I_s$ ，若按截面刚度比分配弯矩的原则，则 M_c 与 M_s 相比可以忽略不计，认为全部弯矩由钢梁单独承担；楼板对钢梁来讲只是一种负担。

在相同的条件下，如果在混凝土板与钢梁之间设置若干个连接件（图1-1d），以抵抗它们之间的相对滑移，则在弯矩作用下截面的应变将接近平截面假定（图1-1e）。这样，钢筋混凝土板和钢梁就组成一个具有公共中和轴的组合截面；钢筋混凝土板除承受横向弯曲外，在组合截面上还可以看作翼板，作为组合截面的受压区（图1-1f）。显然，组合截面的截面几何特性比非组合截面的几何特性大有改善；因而前者的承载力及刚度将远远超过后者。

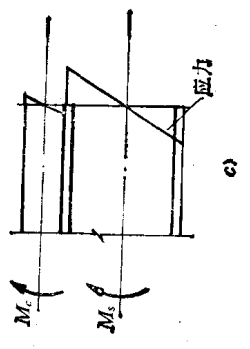
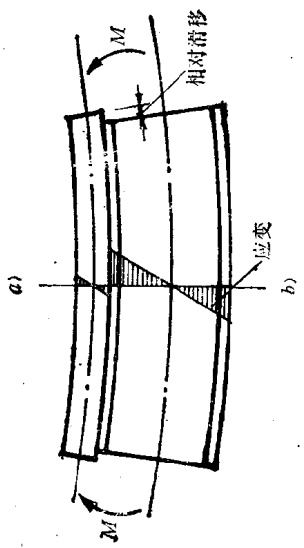
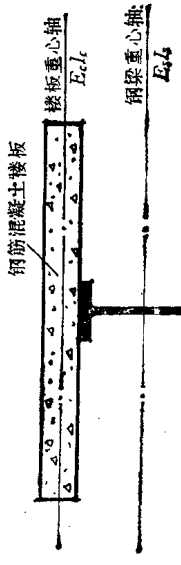
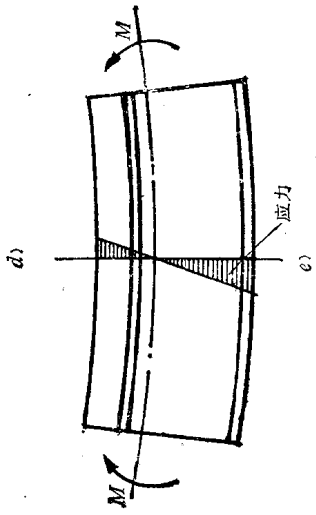
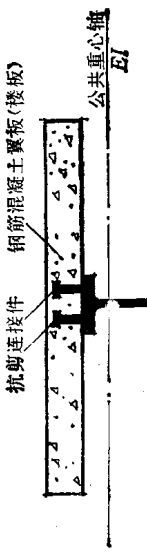


图 1-1 钢-混凝土组合梁的工作简图

a、b、c—非组合的；
d、e、f—组合的

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）及钢梁外露的组合梁（图1-3）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，在我国过去称之为“劲性钢筋配筋的混凝土梁”。本书不准备涉及这方面问题，只专门讨论钢梁外露这一类形式的组合梁。

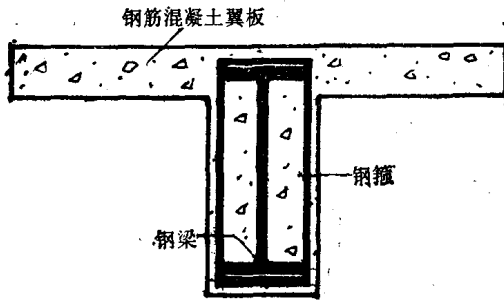


图 1-2 外包混凝土的组合梁

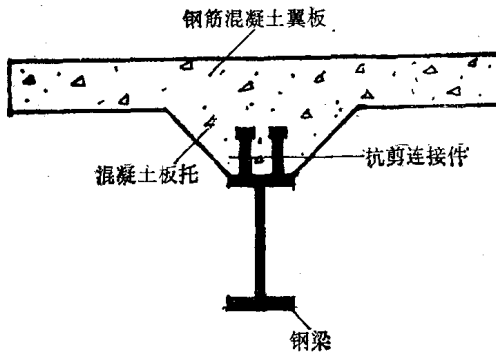


图 1-3 钢梁外露的组合梁

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（图1-3）。分述如下：

（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。

翼板的型式除为图1-3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型式，如：

（a）压型钢板的组合楼板（图1-4a、b） 这种楼板利用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并承担施工荷载；混凝土硬化后钢板还可兼作配筋。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（图1-4a）；后者是压型钢板直接搁置在钢梁上的组合梁（图1-4b）。

（b）预制装配式钢筋混凝土板（图1-4c、d） 采用预制钢筋混凝土板可以减少现场现浇混凝土用量。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时的主梁，只在主梁上留出一定宽度以后浇灌混凝土构成组合主梁（图1-4c）；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（图1-4d）。对于后一种型式，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1-3。板托有时是专门设置的，有时是

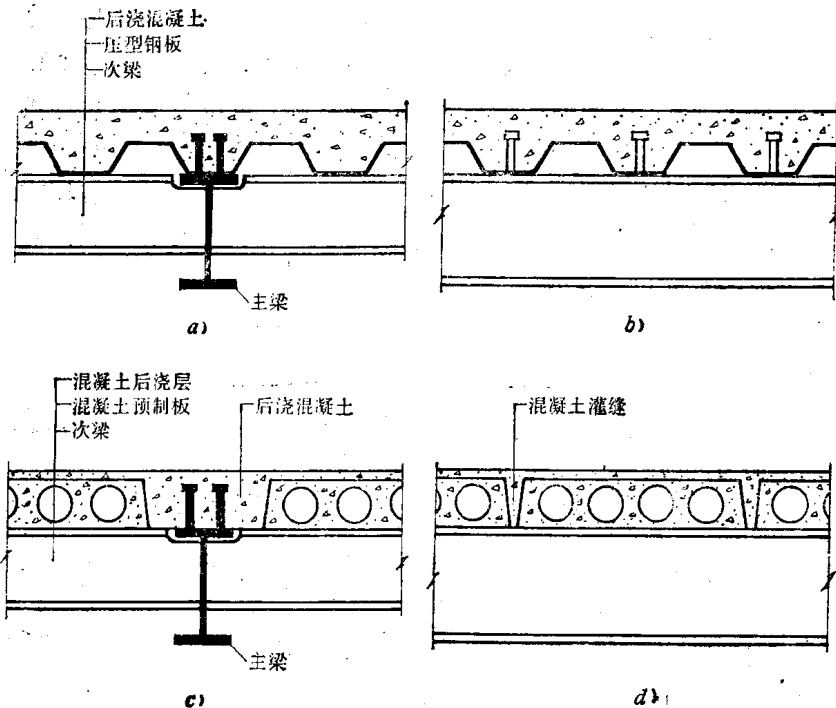


图 1-4 组合梁的翼板

- 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。

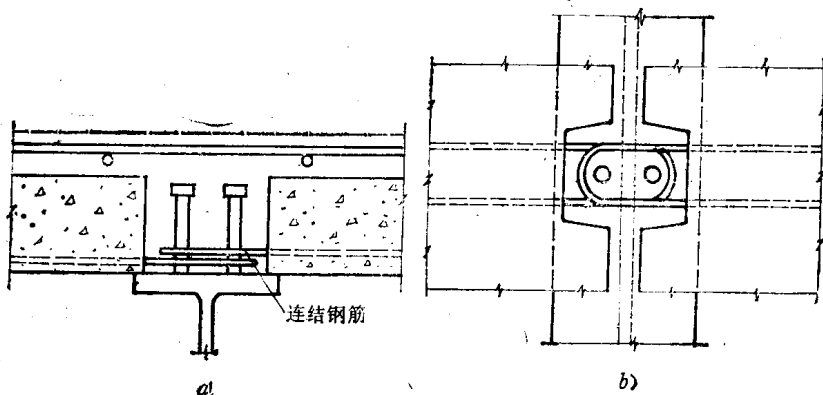


图 1-5 混凝土预制板的连接构造
a) 剖面；b) 一平面(未表示后浇混凝土)

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。设置板托虽然会使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条件。

(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，抵抗二者之间的相对滑移。关于连接件的型式和受力性能，将在第六章专门介绍。

(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1-5所示的形式。

(a) 工字型钢梁(图1-6a) 工字型钢梁加工简便，但过大的工字型钢供货不多。一般用于楼盖的次梁组合梁。

(b) 钢板梁(图1-6b、c、d) 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(图1-6b)，或在下翼缘加焊盖板(图1-6c)，个别也有设计成倒T形钢部件的(图1-6d)。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。

(c) 箱形钢梁(图1-6e) 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，结构高度可作得小一些，承载能力亦高。

(d) 蜂窝梁(图1-6f) 蜂窝梁是用工字型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，有钢和可穿行管线等优点，但略为费工。

(e) 短柱梁(图1-6g) 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

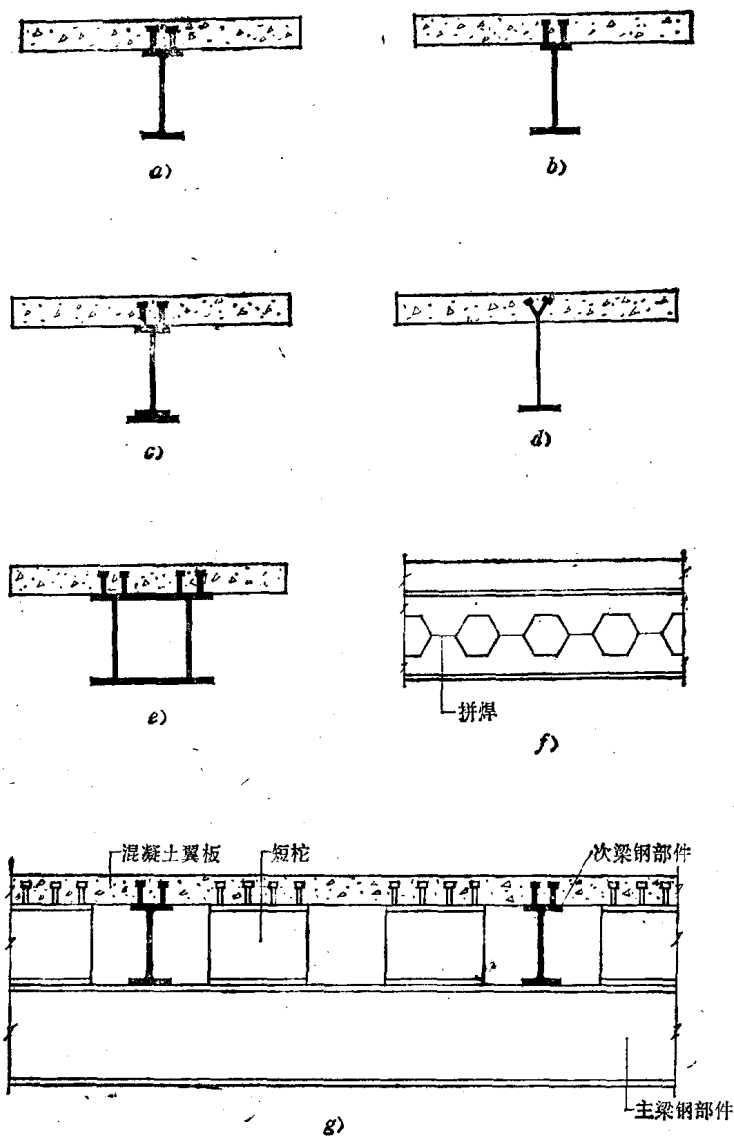


图 1-6 组合梁的钢部件形式

a—工字型钢梁；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—短桩梁

干个短工字钢（称为短桩）。短桩高度等于次梁工字钢高度，短桩的下翼缘焊在主梁钢部件上翼缘上，在短桩的上翼缘上焊抗剪连接件与混凝土翼板相连。短桩之间或短桩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。由于这种短桩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。组合梁还可以作成预应力的或是其它空间结构形式，设计者可参阅专门文献或报导。

1-3 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，而且还有较好的技术经济效益。

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10~40%。

（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，埋件用钢量约占全部用钢量的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，但今仍完好无恙，又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，以节约木材。对于高度较高的跨度结构，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。

(2) 在钢梁制作过程中需要增加一道焊接连接件的工艺序，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。

1-4 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) 组合梁大约出现于本世纪的20年代。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初始阶段。

(2) 从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。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60年代以前，基本上按弹性理论进行分析，60年代开始则逐步转为按塑性理论分析。

(3) 从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，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，苏联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(ECSS)、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年颁行的公路桥涵设计规