

钢-混凝土组合结构设计

[英]劳埃·扬 著

张培信 译

黄鼎业 审

同济大学出版社

构所独有的问题。某些教科书里有解决问题的一般原则，但不能直接应用于组合结构。这些问题在第六章中讨论，并用公式有系统地分析说明收缩、蠕变与温差的效应。组合柱的设计方法在第七章中循序渐进地加以阐述——从受轴向力的铰支柱到受双向弯曲的约束柱。其中提出了复合柱子强度的简单方法，它对于实际应用是足够精确的。最后一章包括许多实例，有简支梁，各种荷载条件下的柱和公路桥台的连续桥面等。

我要对建筑研究所和运输与道路研究实验室的同事们表示感谢，他们直接地或间接地协助了我编写出这本书。我已尽一切可能消除了文中的错误和模棱两可的地方，如果有读者向我提出需要进一步澄清或纠正的地方，我将表示衷心地感谢。

劳埃·扬

内 容 提 要

本书是一本阐述钢-混凝土组合结构理论与设计的专业著作。内容叙述深入浅出，理论分析简洁明瞭。本书还备有一定量的例题，供设计人员参考。

本书可供工程技术人员、大专院校师生学习参考。

责任编辑 方 芳

封面设计 陈益平

钢-混凝土组合结构设计

劳埃·扬 著

张培信 译

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

同济大学印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.375 字数: 132千字

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数: 1—5000 定价: 3.30元

ISBN 7-5608-0744-5/TU·94

译者的话

钢-混凝土组合结构是建筑结构中继钢结构与钢筋混凝土结构之后而兴起的一种新型结构。与钢结构相比，它节省钢材，并增强了构件及建筑物的刚度；与钢筋混凝土结构相比，它减轻了重量，增大了构件的延性，并具有更高的强度，充分发挥了钢（受拉）和混凝土（受压）两种不同材料的特点。至今为止，我国应用这种结构较少，因此，介绍国外有关这方面的研究成果，对我国的土木工程建设来说是有益的。同样，对从事土木工程工作的专业人员来说也是有益的。

本文译自Lloyd C. P. Yam《Design of Composite Steel-Concrete Structures》一书。

全书共分：丛书前言；序；第一章 绪论；第二章 结构设计概论；第三章 组合梁；第四章 连续组合梁设计；第五章 剪力连接件；第六章 其他各类问题；第七章 组合柱；第八章 例题。

译文由黄鼎业教授校丛书前言、序、第一章、第二章、第八章；徐鼎新高级工程师校第四章、第六章；赵志缙教授校第五章、第七章；范家骥教授校第三章。最后由黄鼎业教授总审。对以上各位老师的热情支持与指教表示感谢。

由于译者水平有限，疏漏、错误之处，敬请读者批评指正。

张培信

1990年12月于上海

丛 书 前 言

本书为结构设计丛书之一。

本书着重于“设计”这个词，因为这是工程师最重要的工作，以区别于从事有关领域研究工作的科学家。工程师一定要善于综合那些对设计有用并可能得到的资料，即进行设计。这就要求具有能对设计对象作整体和局部分析的知识，且要详细了解有关规范和标准，以及何者有良好的工程实践。设计是需要工程判断力的，而判断力只能凭藉实践经验。这就是为什么大学的课程，即使是设计而设的课程，并不能培养出设计师来的原因。年轻的大学毕业生，不论他多么聪明，当他首次（也许不仅是第一次）搞设计时，还是缺乏应付新工作所需要的经验。这便是现在这套丛书的着眼之处，丛书使读者有可能用合理的方法进行设计工作。

丛书主要涉及结构设计方面的知识。在最近的书目里，列有《玻璃筋塑料在结构中的应用》(L. Hollo Way) 及《钢结构设计》(P. R. Knowles)。这些都是土木工程师所关注的设计问题。这些书较简单地叙述了工程设计中的一些问题及其背景，而详细叙述了设计过程中的主要特点，且辅以实例来作充分解释。这样的一本入门书，注重纯理论分析的读者看来也许觉得是老一套，可是，如果说现代的设计应该建立在以往成功经验的基础上的话，那么实践的教益是必不可少的。事实上，现代工程训练法借鉴了我们的方法而改名为“方案研究”。

本丛书对年轻工程师和从事一种陌生工程设计的年资稍高的同事来说，具有很大价值。对于这些读者，本书是一本必读的书。对尚在大学求学并很重视设计的大学生来说，添置本书也是一项明智的投资，有了本书的帮助，学生能够获得比大学学习或理工课程学习所能得到的更多的教益，为就业做更为充分的准备。

丛书的作者均为专家，他们以工程师职业崇高的精神为基

础，来传授他们的知识和经验。

毫无疑问，本丛书将不仅能满足人们真正的需要，而且将是很出色的。

总编辑 亚当·内维尔
丹地*大学
1980年5月

符 号

- A : 面积
- a : 连接件间距
- α : 组合刚度系数 (在梁里)
混凝土的作用系数 (在柱子里)
- B : 板宽度 (T 型梁)
梁间距
- b : 有效宽度 (梁翼缘)
柱宽度
- b_f : 工字梁上翼缘宽度
较小的柱端弯矩与较大的柱端弯矩之比
常数
- C : 板中压力
- D : 板厚度
圆柱外径
- d : 钢梁高度
- d_c : 钢梁中心至板中面距离
组合柱截面高度的一半
- δ : 挠度
- E : 杨氏模量 (弹性模量)
- e : 表面应变差 (没有下标)
应变 (有下标时)
- F : 连接件设计强度
- f : 强度 (钢或混凝土)
- f_y : 钢的屈服应力
- ϕ : 徐变系数
- h : 组合梁截面全高
- I : 惯性矩
- K : 连接件刚度 (产生单位滑移的力)

- k : 曲率
 L : 跨度
 l : 半跨度
 柱长度
 λ : 细长比参数
 M : 弯矩
 M' : 弯矩的正值
 m : 最大跨中弯矩与支座弯矩比值
 N : 连接件数量
 轴向荷载
 n : 中和轴高度
 连接件数量与最大弯矩需要的数量之比
 P : 集中荷载值
 Q : 连接件上的力
 q : 单位长度上的表面剪力
 R : f'_{cu} 和 f_y 之比
 r : 迴转半径
 s : 滑移
 σ : 应力
 T : 钢截面拉力
 t : 钢截面腹板的厚度
 t_f : 工字型钢截面翼缘厚度
 V : 垂直剪力 (弯矩的导数)
 ω : 常数
 裂缝宽度
 x : 距离
 y : 距离
 中性轴高度 (柱)
 z : 截面模量
 下标

- c : 混凝土
徐变影响
- cu : 立方强度
- E : 欧拉荷载
- f : 全连接设计
由于收缩、徐变和温度而产生的自由应变
弯曲强度（仅根据受压方法）
- p : 全部塑性值
部分连接设计
- r : 钢筋
- s : 钢
- sh : 混凝土的收缩固化应变
- t : 温度
- u : 极限荷载状态
- y : 屈服

序

以极限状态为基础的结构设计规范现在已经出版了。其中推荐了许多新的设计方法，但基本原则仍然是不变的。虽然有些技术资料是工程师唾手可得的，但工程师很少能有时间去研究它们，而在组合结构方面，即使是科研工作人员也得承认，有关资料是相当的不一致和不完全的。本书的主要目的是从简单材料特性来扩展到组合结构的受力情况，这样能提高读者对各种极限状态出现的结构性能的理解能力。

在准备本书的过程中，我假定读者以前对极限状态设计或组合结构是没有经验的。因此，大学生和工程师将认为它对学位与职业考试的准备是适宜的。有经验的工程师也会觉得本书有用，因为新概念是从基本原则发展出来的，而且包括允许应力设计。本书还对许多重要课题都列出了充分的基础研究资料，所以研究工作者就能知道在哪些地方需要作进一步研究。

本书包括组合结构的建筑物和桥梁。第一章简要地讨论了组合结构的原理。由于各个发展阶段制定出来的规范长期共存，对允许应力，荷载系数以及极限状态设计方法作了一番比较（第二章）。由于英国结构设计规范与标准越来越受到国际上同类规范的影响，在第二章中对国际上各类规范的技术水平作了回顾。第三章用简支 T 型梁说明组合结构的基本特性，所推导出来的公式适用钢与混凝土之间的相互作用不存在，部分存在或完全存在相互作用时的各种情况。第四章讨论连续组合梁，包括弹性和塑性两种设计方法。该章对有关的试验和理论工作情况作一简略的回顾，然后对连续组合梁中简单的弹性理论的适用性问题提出了指导意见。第五章论述剪力连接件的形式，包括成型钢板。连接件周围的局部应力的详尽描述将有助于读者对规范中所推荐的有关内容的了解。

在结构设计中，存在着许多与组合结构有关但又不是组合结

目 录

译者的话

丛书前言

第一章 绪论

| | |
|-----------|---|
| 1.1 绪论 | 1 |
| 1.2 定义 | 1 |
| 1.3 组合作用 | 1 |
| 1.4 本书的范围 | 3 |
| 1.5 优缺点 | 4 |

第二章 结构设计的概念

| | |
|----------------------|----|
| 2.1 结构设计目的 | 5 |
| 2.2 设计方法与实际使用的规范 | 5 |
| 2.3 允许应力设计法 | 8 |
| 2.4 极限荷载设计法(荷载系数法) | 9 |
| 2.5 极限状态设计法 | 9 |
| 2.5.1 极限状态 | 9 |
| 2.5.2 部分安全系数 | 9 |
| 2.5.3 可靠度理论 | 10 |
| 2.5.4 结构规范的未来 | 11 |
| 2.6 欧洲共同体的发展与国际规范和标准 | 11 |
| 2.6.1 引言 | 11 |
| 2.6.2 各国结构规范的基本依据 | 12 |

第三章 组合梁

| | |
|----------------------|----|
| 3.1 简支梁 | 15 |
| 3.1.1 完全共同作用和部分共同作用 | 15 |
| 3.1.2 作为设计依据的极限荷载 | 21 |
| 3.1.3 剪切连接件设计 | 23 |
| 3.2 梁板体系的有效宽度 | 24 |
| 3.3 部分连接设计 | 28 |
| 3.3.1 一项合理的设计方法 | 28 |
| 3.3.2 部分连接设计对极限荷载的影响 | 30 |

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 3.3.3 | 部分连接设计对挠度的影响 | 31 |
| 3.3.4 | 部分连接设计对应力的影响 | 33 |
| 3.3.5 | 部分连接对连接件受力的影响 | 33 |
| 3.3.6 | 在使用荷载作用下, 评价部分共同作用效果的实用表达式 | 34 |

第四章 连续组合梁

| | | |
|-------|-----------------|----|
| 4.1 | 一般设计问题 | 36 |
| 4.2 | 连续组合梁的弹性特征 | 37 |
| 4.2.1 | 完全共同作用 | 37 |
| 4.2.2 | 不完全共同作用 | 39 |
| 4.3 | 连续组合梁的非弹性特征 | 41 |
| 4.3.1 | 完全共同作用 | 41 |
| 4.3.2 | 组合截面的弯矩-曲率关系 | 42 |
| 4.3.3 | 连续组合梁塑性理论中的几个问题 | 44 |
| 4.3.4 | 连续组合梁的塑性设计 | 45 |
| 4.3.5 | 不完全共同作用 | 53 |
| 4.4 | 连续组合梁中剪力连接件的设计 | 56 |

第五章 剪力连接件

| | | |
|-------|-----------------|----|
| 5.1 | 结论 | 61 |
| 5.2 | 连接件的形式 | 62 |
| 5.3 | 连接件的特征和影响其功能的因素 | 63 |
| 5.4 | 横向钢筋 | 67 |
| 5.5 | 带有压型钢板的组合楼板 | 70 |
| 5.5.1 | 结论 | 70 |
| 5.5.2 | 组合作用 | 70 |
| 5.5.3 | 设计 | 71 |

第六章 其他各类问题

| | | |
|-------|-------------|----|
| 6.1 | 收缩、蠕变和温度效应 | 73 |
| 6.1.1 | 各种问题的定义 | 73 |
| 6.1.2 | 计算的基本依据 | 75 |
| 6.1.3 | 设计要求 | 79 |
| 6.1.4 | 温度影响在桥梁上的确定 | 80 |
| 6.2 | 有支撑和无支撑施工 | 82 |
| 6.3 | 预应力组合梁 | 83 |

| | | |
|----------------|---------------|-----|
| 6.3.1 | 引述 | 83 |
| 6.3.2 | 预加应力的方法 | 84 |
| 6.4 | 疲劳 | 86 |
| 6.4.1 | 引言 | 86 |
| 6.4.2 | 由重复荷载产生的应力 | 86 |
| 6.4.3 | 疲劳计算 | 86 |
| 6.5 | 细长的横截面 | 89 |
| 6.6 | 混凝土裂缝控制 | 90 |
| 第七章 组合柱 | | |
| 7.1 | 绪论 | 93 |
| 7.2 | 设计方法 | 94 |
| 7.3 | 仅承受轴向荷载的端部铰接柱 | 95 |
| 7.3.1 | 压碎荷载 | 95 |
| 7.3.2 | 压曲荷载 | 97 |
| 7.4 | 有端部弯矩的铰接柱 | 104 |
| 7.4.1 | 在平面内弯曲 | 104 |
| 7.4.2 | 双向弯曲 | 110 |
| 7.5 | 端部弹性约束柱 | 114 |
| 7.5.1 | 横向荷载 | 114 |
| 7.6 | 钢管混凝土截面 | 115 |
| 7.6.1 | 矩形和圆形截面 | 115 |
| 7.6.2 | 钢管混凝土柱的设计 | 115 |
| 第八章 实例 | | |
| 8.1 | 绪论 | 119 |
| 8.2 | 简支梁设计 | 120 |
| 8.2.1 | 设计资料 | 120 |
| 8.2.2 | 荷载和荷载影响的计算 | 123 |
| 8.2.3 | 有效宽度 | 120 |
| 8.2.4 | 截面选择和校核 | 121 |
| 8.3 | 公路桥板梁设计 | 124 |
| 8.4 | 组合柱设计 | 144 |
| 8.4.1 | 设计资料 | 144 |
| 8.4.2 | 初步设计 | 145 |
| 8.4.3 | 极限强度验算 | 146 |
| 8.4.4 | 简化设计 | 148 |

第一章 绪 论

1.1 绪论

在土木工程结构中，材料的价值决定于许多因素，如它的性质、结构强度、耐久性和施工方便性等。天然材料不可能具有上述所有这些性能，即使具有这些性能，也不一定达到要求的指标，这是不足为怪的。因此，工程师遇到的是一个优化问题，即用不同材料和不同的施工方法，建造出造价最低而又满足需要的建筑。

1.2 定义

改进材料的使用方法，可分成两类。

第一类是选择合适的材料形成具有所需特性的新产品，这可称为复合材料。例如，玻璃纤维、水泥和添加剂制成的相对廉价的产品，如用作建筑物的覆面板。这种复合材料由玻璃纤维提供抗拉强度，而水泥提供抗压强度，它的耐久性则由于使用了掺合剂而明显地得到了改善。

第二类方法是将不同的材料按最佳几何构造布置，使每种材料因所放的特定位置而发挥各自的特点，这种结构即称为组合结构，相应的建筑物则称组合结构物。图 1.1 介绍的例子是组合混合梁。此简支梁承受静荷载产生的弯曲和剪切。弯矩主要有混凝土压力和钢梁下翼缘的拉力抵抗。

由此可见，组合混合梁有效地利用了混凝土和钢的最佳特点。为了抵抗弯矩，这些材料被合理地布置在顶部和底部以得到最大的力臂。为了抵抗剪力，竖向腹板是起主要作用的部份。

1.3 组合作用

应当注意，将上述组合混合梁作为组合结构的例子，只是由

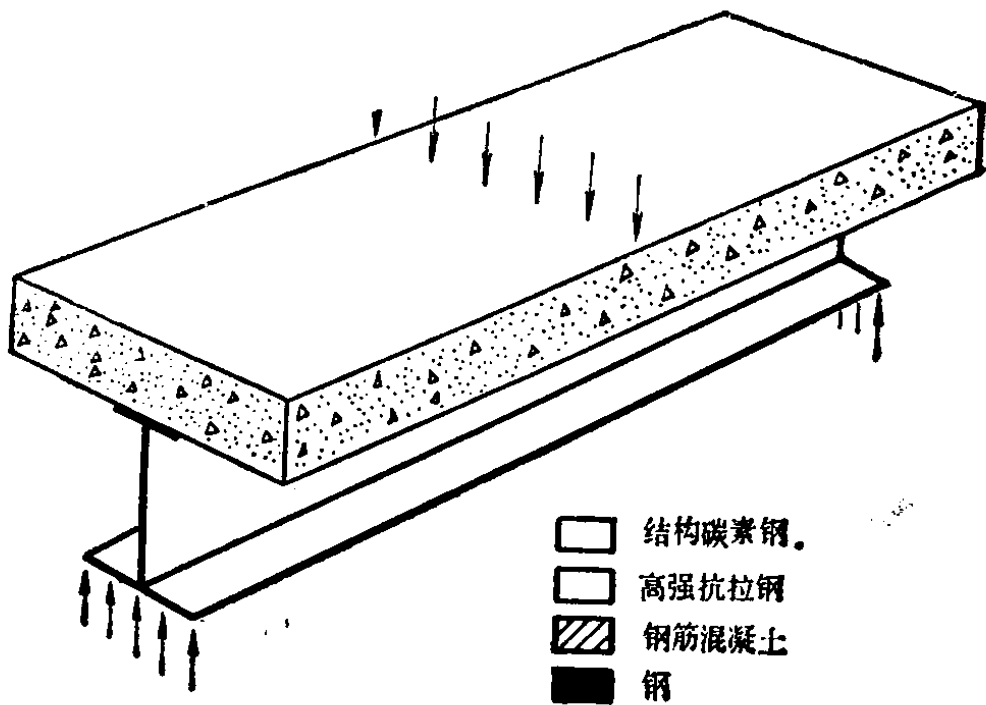


图 1.1 说明结构效果的组合混合梁

于各部分联接在一起，能起整体作用。结构的性能决定于组合作用达到的程度。图1.2说明由于组合作用使梁的挠度和应变减小。

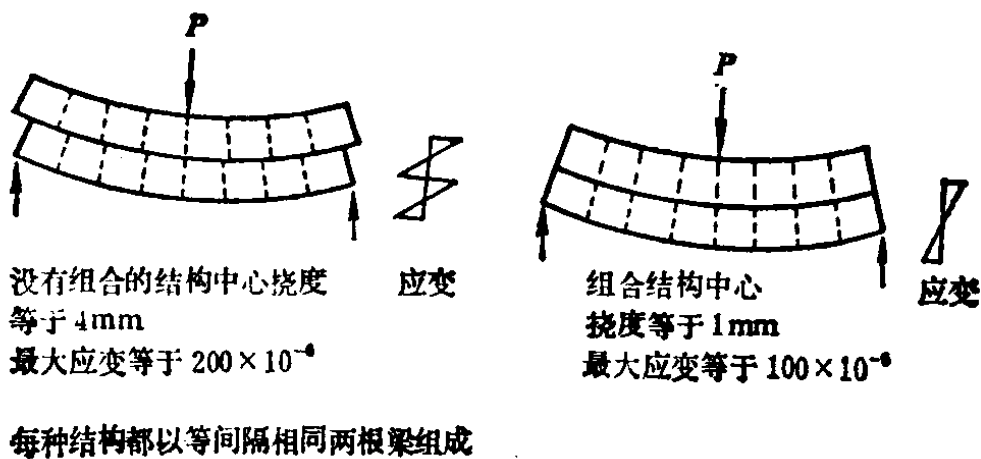


图 1.2 相同荷载下的组合梁和非组合梁

从图中也可看到交接面上存在着滑移（即梁之间垂直标记线的位移），它随着界面处刚性连接而消除，并保证组合作用。实际上，在这两部分里由于预埋了剪力刚性连接件，从而提供了这样的连接。

1.4 本书的范围

从以上说明，我们能推论不同结构部件的组合，可制成许多组合结构。这些部件，包括圆钢梁、组合截面、木梁、预制和现浇的混凝土梁板、平钢板、加肋及无肋的钢板墙、钢管和框架等。这本书的范围限于钢—混凝土结构，这类结构是从事房屋和桥梁设计的工程师特别感兴趣的。本文中提到的混凝土，指素混凝土和钢筋混凝土，钢的含义，包括各种型钢，在图 1.3 中表示

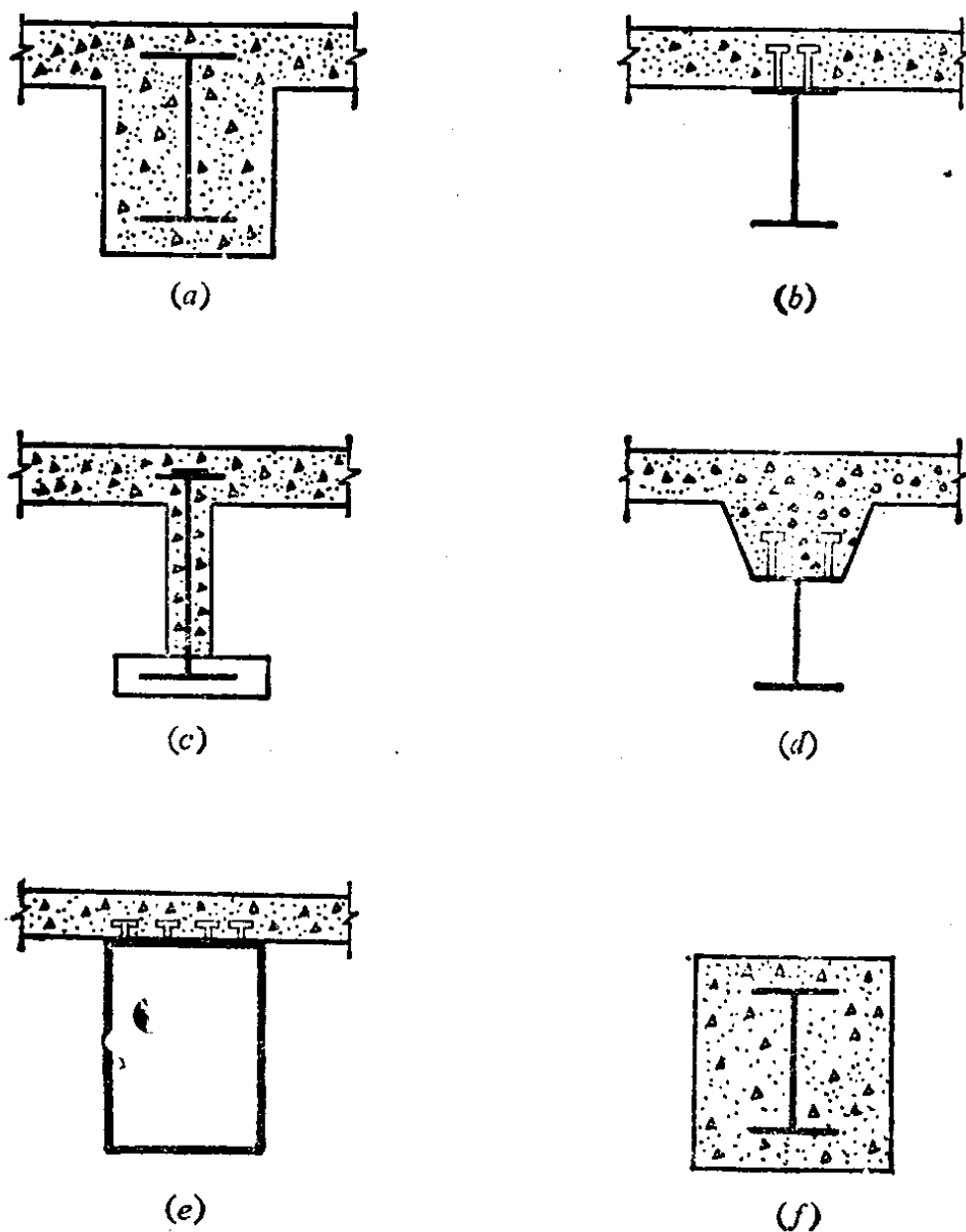


图 1.3 组合截面形式：
(a) 外包混凝土钢梁 (b) 组合T型梁 (c) 预弯曲梁
(d) 带托座板的组合梁 (e) 带有组合板的钢箱型梁
(f) 组合柱

的是一些实际的例子。

限定本书的范围，仅仅是为了方便介绍，然而分析的基本原则则可应用于组合结构的其他形式，这些结构材料的应力应变关系是已知的。

1.5 优缺点

在一般情况下，在土木工程中，任何一种结构形式的优点，是由整个结构的造价和以后的一系列维修费用来衡量的。这种估价的方法，特别在欧洲和美国，由于人工费占的比例逐渐增加，而又更多地被采用，并在最近几年里变得越来越复杂了。孤立地考虑结构价格不再是正确的了，需同时将与特定施工场地有关的施工方法、施工者的经验和有关材料及劳动力一起考虑。在这些因素里，本书只考虑组合结构的质量方面。

优点：与非组合结构比较，具有同样大小的组合结构，具有较大的刚度，较大的承载力和具有较高的倒坍承载力。所以组合截面一般比承受同样荷载的别的截面形式要小，因此节约了材料，减轻了重量，增加了净空高度或结构高度。与钢筋混凝土结构比较，组合结构也允许使用预制构件，并具有能支承下部设备的优点（桥梁中的钢梁）。

缺点：需要提供剪力连接件和相应的人工。与钢筋混凝土比较，组合桥板将需要钢的维修费，即油漆等。