



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

钢结构 上册

钢结构基础

(第三版)

西安建筑科技大学 编
陈绍蕃 顾 强 主编

中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

钢 结 构

上册 钢结构基础 (第三版)

西安建筑科技大学 编
陈绍蕃 顾 强 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构. 上册, 钢结构基础/陈绍蕃, 顾强主编. —3 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 5

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材 (经典精品系列教材)

ISBN 978-7-112-16499-8

I. ①钢… II. ①陈… ②顾… III. ①钢结构-高等学校-教材
IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 038967 号

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

钢 结 构

上册 钢结构基础(第三版)

西安建筑科技大学 编

陈绍蕃 顾 强 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 25 $\frac{3}{4}$ 字数: 518 千字

2014 年 8 月第三版 2014 年 8 月第二十七次印刷

定价: 52.00 元 (含光盘)

ISBN 978-7-112-16499-8

(25362)

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)

本书第三版对前版作了较大的更新和充实，以适应当前钢结构的发展和高等学校本科土木工程专业培养创新型人才的需要。全书分上、下册。上册《钢结构基础》着重阐述钢结构的基本性能，包括材料、构件、连接和节点的性能和承载能力计算原理和方法。体系上改变过去按构件类型分章为按极限状态分章。截面强度、单个构件稳定、整体结构中构件稳定、脆性断裂和疲劳属于承载能力极限状态的不同侧面和层次，分列四章论述。正常使用极限状态也单列一章。第三版增添了简单设计示例和防腐、防火两章。

为适应当前教学需求，本书作者制作了配套的《学习辅导材料》光盘，附于书后。光盘中有每一章的教学电子课件，供有需要的读者学习使用。

本书内容密切结合新修订的《钢结构设计规范》GB 50017，除用作教材外，也可供工程设计和施工人员在工作中参考。

* * *

责任编辑：王 跃 吉万旺

责任校对：李美娜 陈晶晶

出版说明

1998年教育部颁布普通高等学校本科专业目录，将原建筑工程、交通土木工程等多个专业合并为土木工程专业。为适应大土木的教学需要，高等学校土木工程学科专业指导委员会编制出版了《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》，并组织我国土木工程专业教育领域的优秀专家编写了《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》。该系列教材2002年起陆续出版，共40余册，十余年来多次修订，在土木工程专业教学中起到了积极的指导作用。

本系列教材从宽口径、大土木的概念出发，根据教育部有关高等教育土木工程专业课程设置的教學要求编写，经过多年的建设和发展，逐步形成了自己的特色。本系列教材投入使用之后，学生、教师以及教育和行业行政主管部门对教材给予了很高评价。本系列教材曾被教育部评为面向21世纪课程教材，其中大多数曾被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十五”、“十一五”、“十二五”规划教材，并有11种入选教育部普通高等教育精品教材。2012年，本系列教材全部入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

2011年，高等学校土木工程学科专业指导委员会根据国家教育行政主管部门的要求以及新时期我国土木工程专业教学现状，编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。在此基础上，高等学校土木工程学科专业指导委员会及时规划出版了高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材。为区分两套教材，特在原系列教材丛书名《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》后加上经典精品系列教材。各位主编将根据教育部《关于印发第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材书目的通知》要求，及时对教材进行修订完善，补充反映土木工程学科及行业发展的最新知识和技术内容，与时俱进。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2013年2月

第三版序

为了培养创新型人才，教科书应该不仅是传授知识的工具，还需担负起开发智力、启迪思辨精神的任务。为此，本书这次修订从两方面着手：一是更新内容，这是每次修订不可或缺的。二是改进写法，改定势思维为开放性思维：避免刻板式叙述，关注条件变化；树立全面考察、争取最优化的思想；结合论述的内容提出讨论和思考的问题。以梁的截面选择为例，过去只是结合截面强度给出一系列经验公式。这次的改进是：（1）指出公式是前人在低碳钢的基础上得出的，有局限性，用于高强度钢时需要适当修正；（2）在评论三种不同的 H 型钢的优劣时，不仅比较耗钢量，还引进占用建筑净空问题；（3）增加按整体稳定要求选择截面的分析，指出和按强度选截面的差异。

教科书如何对待设计规范，这次也有所改变。以前是对规范的每一条款都奉为圭臬，只能遵守，不能违反或置疑。这次修订，对高强度螺栓抗拉连接的分类和相关计算方法进行评论，指出其缺点，有利于解除思想禁锢。

更新内容必然涉及《钢结构设计规范》的新旧更替问题。规范的修订工作已经启动多年。我们原以为这本第三版可以依照新规范来写，但事与愿违，交稿之前新规范尚未问世。这一情况使我们陷于两难的境地。最后决定：GB 50017—2003 规范明显陈旧的内容，教材有必要加以更新，可以选用新规范草案的内容，但一般不加以联系。

从更新内容的角度，这次增加了两章：简单钢结构设计示例（第 9 章）和钢结构的防腐蚀和防火（第 10 章）。第 9 章把前 8 章串联起来，给出钢结构设计的概貌，有助于形成钢结构设计的整体概念，对只学本书上册而不学下册的学生提供一个有益的总结。防腐蚀和防火是建造钢结构必然遇到的问题。缺了这部分，对钢结构的认识就不够完整。在增加内容的同时，我们也删去一些，包括 1.4.3 节概率极限状态法和第 7 及第 8 章一些次要内容。

为适应当前教学需求，本书作者制作了配套的《学习辅导材料》光盘，附于书后。光盘中有每一章的教学电子课件，供有需要的读者学习使用。

从事本版编写工作的人员分工如下：第 1、2 章陈绍蕃，第 3、10 章郝际平，第 4、8 章郭成喜，第 5、6 章于安林，第 7 章顾强，第 9 章杨应华，各章习题李峰，全书最后由陈绍蕃定稿。我们虽然致力于启迪思辨精神，但未能完全摆脱旧习惯的束缚，具体做得仍然很不够。希望读者不吝提出改进意见。

编者

2013 年 10 月

第二版序

本书 2003 年版是 1994 年《钢结构》第二版的延伸，因而编者把它看作是第三版。但是，由于体系和内容含量都有很大变动，且从单册扩展为上、下两册，出版社把它作为新书对待。因此，这次修订的新版本应为新第二版。

时间已经进入第十一个五年规划的年代，本着与时俱进的精神并鉴于几年来使用过程中发现不少缺点，现在对 2003 年出版的本书第一版上、下册进行全面修订。上册修改概况如下：

1. 增加新内容和以新代旧

第 2 章增加了耐火钢；第 7 章增加了焊接热影响区；有关稳定性的两章增加了以下内容：T 形截面压杆的板件宽厚比限值，板件宽厚比的限值何时可以放宽，框架柱基于层刚度的计算长度系数。焊缝代号原来是按 1988 年的《焊缝符号表示方法》写的，现在改按 2001 年的《建筑结构制图标准》(GB/T 50105—2001)重写。

2. 加强概念，有利于读者较深刻理解钢结构的性能

主要是有关稳定性的概念：格构柱换算长细比的实质；梁整体失稳时既弯又扭的原因；梁等效临界弯矩系数和弯矩分布及支撑的关系；圆管壁厚比限值和屈服强度的关系何以和板件宽厚比不同；杆件计算长度不仅和端部约束情况有关，也和自身受力情况有关；刚架柱计算长度和柱顶荷载分布有关（柱相互支持作用）。此外，还有方管桁架节点连接焊缝的有效长度和两种连接类型中高强螺栓抗拉承载力的一致性。

3. 删去较为繁琐的次要内容，以免篇幅过大

删去内容包括：有关塑性设计的表 3-3 和公式 (3-46)、公式 (3-47)；与图 4-45 差别不大的图 4-47；斜角焊缝的图 7-32（复杂，存在问题较多）；图 7-57 (a)（和图 7-53 重复）；图 7-58 (e)（过分夸张）；图 7-91 (e)，(h)（删繁就简）。

4. 改正错误和不尽确切的论述

有关受拉高强度螺栓的论述；变截面梁的算例；板件厚度大于 16mm 的截面， f 误用 215MPa；图 2-1 低合金钢伸长率应小于低碳钢；图 2-6 高温下钢材屈服强度曲线偏高，和文字叙述不一致；相当一部分图中存在的缺点。

5. 增强教材内在联系

轴心拉杆的性能和拉伸试件相联系；压杆选截面中的局部稳定因素。

我们力争在这次修订后不再存在错误和不够完备之处，并做到概念清楚完整，文字叙述容易读懂。但是实际上难于完全做到。对于仍然存在的这样或那样

不足之处，请广大读者不吝提出改进意见。

下册的修订概况在该书前言中说明。

此外，与本教材配套的《钢结构学习辅导与习题精解》已由中国建筑工业出版社出版，欢迎参阅。

编 者

2007年4月

第一版序

鉴于钢结构的应用范围迅速扩展,高等学校土木工程专业的调整和《钢结构设计规范》的修订,本书1994年第二版已经不能适应当前的需要。新的版本和第二版的差别主要有以下几个方面。

1. 扩充内容。把全书分为《钢结构基础》和《房屋建筑钢结构设计》两部分,分册出版。上册阐述钢结构的基本性能及设计原理;下册阐述各类房屋钢结构的设计要领和方法。

2. 改变教材体系。除划分为基础和设计两大部分外,基础部分采用了新的体系,改变过去的按构件类型分章为按极限状态分章。各类构件的强度计算属于截面承载能力问题,稳定计算则属于整个构件的承载能力问题,二者的性质截然不同。对这两个问题分章论述,概念较为清晰。构件只是整体结构的一个组成部分,由于构件之间相互制约,失稳实质上涉及整个结构。这种整体性目前由构件的计算长度系数来解决,集中写在第5章中。正常使用极限状态单列一章。此外,把节点构造集中起来和连接合为一章,便于读者掌握构造设计的原理。

3. 更新内容。新钢结构设计规范 GB 50017—2003 在原 GBJ 17—88 规范的基础上做了很多更新和充实。本书除全面吸收这些内容外,还适当更新一些其他内容。例如,对牛腿连接焊缝的计算和高强度螺栓抗拉连接的计算都提出了新的、更为经济合理的观点。配合近年来钢结构应用范围的扩展,下册列入了轻型门式刚架设计和多层和高层房屋结构的设计。

4. 拓宽理论基础,密切联系实际。在基础部分注意用发展的观点处理问题。例如随着轻型钢结构的推广应用,扭转和局部变形的影响在设计中愈来愈显得重要。为此,在强度一章中较全面地阐述了扭转的效应;同时还在第7章专门写了一节《节点构造对构件承载力的影响》。在基础部分还注意密切联系实际,在第2章中除对结构用钢的质量分级和选用做了较全面的阐述外,还写了有关钢材性能鉴定的内容以适应从事实际工作的需要。

参与第三版编写工作的有:陈绍蕃(第一主编和上册第1章),顾强(第二主编,上册第3、7章,下册第3章),于安林(上册第2、5、6章,下册第1章),郭成喜(上册第4、8章,下册第2、4章)。李峰参加了习题编选工作。本书的第一版和第二版原编写人员为陈绍蕃、永毓栋、蒋焕南、陈骥和郭在田。

第三版变动很大,内容取舍、论述和前后衔接难免存在不妥之处。敬希读者发现后予以指正!

编者

2002年7月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 钢结构的特点和应用	1
1.2 钢结构的建造过程和内在缺陷	7
1.3 钢结构的组成原理	8
1.4 钢结构的极限状态.....	11
1.5 钢结构的发展.....	13
1.6 钢结构课程的特点和学习建议.....	15
习题	16
第 2 章 钢结构的材料	17
2.1 对钢结构用材的要求.....	17
2.2 钢材的主要性能及其鉴定.....	18
2.3 影响钢材性能的因素.....	23
2.4 钢材的延性破坏和非延性破坏、循环加载和快速加载的效应.....	29
2.5 结构钢材的类别及钢材的选用.....	34
习题	40
第 3 章 构件的截面承载能力——强度	41
3.1 轴力构件的强度及截面选择.....	41
3.2 梁的类型和强度.....	45
3.3 梁的局部压应力和组合应力.....	56
3.4 按强度条件选择梁截面.....	58
3.5 梁的内力重分布和塑性设计.....	69
3.6 拉弯、压弯构件的应用和强度计算.....	70
习题	76
第 4 章 单个构件的承载能力——稳定性	78
4.1 稳定问题的一般特点.....	78
4.2 轴压构件的整体稳定性.....	82
4.3 实腹式柱和格构式柱的截面选择计算	100
4.4 受弯构件的弯扭失稳	109
4.5 压弯构件的面内和面外稳定性及截面选择计算	118
4.6 板件的稳定和屈曲后强度的利用	134
习题.....	161
第 5 章 整体结构中的压杆和压弯构件	166
5.1 桁架中压杆的计算长度	166

5.2 框架稳定和框架柱计算长度	169
习题	179
第6章 钢结构的正常使用极限状态	181
6.1 正常使用极限状态的特点	181
6.2 拉杆、压杆的刚度要求	181
6.3 梁和桁架的变形限制	183
6.4 钢框架的变形限制	185
6.5 振动的限制	186
习题	186
第7章 钢结构的连接和节点构造	187
7.1 钢结构对连接的要求及连接方法	187
7.2 焊接连接的特性	189
7.3 对接焊缝的构造和计算	197
7.4 角焊缝的构造和计算	203
7.5 焊接热效应	224
7.6 普通螺栓连接的构造和计算	230
7.7 高强度螺栓连接的性能和计算	244
7.8 焊接梁翼缘焊缝的计算	255
7.9 构件的拼接	257
7.10 梁与梁的连接	264
7.11 梁与柱的连接	267
7.12 柱脚设计	276
7.13 桁架节点设计	285
7.14 节点构造对构件承载力的影响	301
习题	302
第8章 钢结构的脆性断裂和疲劳	307
8.1 钢结构脆性断裂及其防止	307
8.2 钢结构抗疲劳设计	312
习题	329
第9章 简单钢结构设计示例	331
9.1 厂房的天窗结构	331
9.2 桁架桥的桥面系设计	342
第10章 钢结构的防腐蚀和防火	352
10.1 钢结构的腐蚀	352
10.2 钢结构的防腐蚀方法	356
10.3 钢结构重防腐蚀涂料	358
10.4 钢结构的火灾危险	360
10.5 钢结构的火灾防治	362

习题	366
附录	367
附录 1 型钢规格表	367
附录 2 螺栓和锚栓规格	384
附录 3 钢材的化学成分和力学性能	385
附录 4 钢材、焊缝和螺栓连接的强度设计值	387
附录 5 各种截面回转半径的近似值	389
附录 6 工字形截面简支梁弹性屈曲临界弯矩的资料	390
附录 7 轴心受压构件的稳定系数	391
附录 8 框架柱计算长度系数	393
参考文献	397

第 1 章 概 述

1.1 钢结构的特点和应用

1.1.1 钢 结 构 的 特 点

钢结构是用钢板、热轧型钢或冷加工成型的薄壁型钢制造而成的。和其他材料的结构相比，钢结构有如下一些特点：

(1) 材料的强度高，塑性和韧性好，但压力会使强度不能充分发挥。

钢材和其他建筑材料诸如混凝土、砖石和木材相比，强度要高得多。因此，特别适用于跨度大或荷载很大的构件和结构。钢材还具有塑性和韧性好的特点。塑性好，结构在一般条件下不会因超载而突然断裂；韧性好，结构对动力荷载的适应性强。良好的吸能能力和延性还使钢结构具有优越的抗震性能。另一方面，由于钢材的强度高，做成的构件截面小而壁薄，受压时需要满足稳定的要求，强度有时不能充分发挥。图 1-1 给出同样断面的拉杆和压杆受力性能的比较：拉杆的极限承载能力高于压杆。这和混凝土抗压强度远远高于抗拉强度形成鲜明的对比。

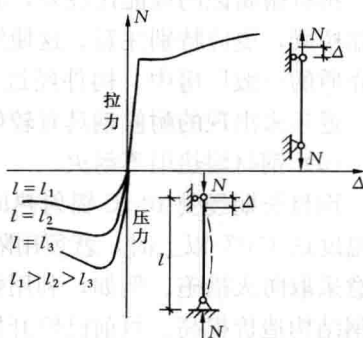


图 1-1 钢拉杆和压杆性能比较

(2) 材质均匀，和力学计算的假定比较符合。

钢材内部组织比较接近于匀质和各向同性体，而且在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的。因此，钢结构的实际受力情况和工程力学计算结果比较符合。钢材在冶炼和轧制过程中质量可以严格控制，材质波动的范围小。

(3) 钢结构制造简便，施工周期短。

钢结构所用的材料单纯而且是成材，加工比较简便，并能使用机械操作。因此，大量的钢结构一般在专业化的金属结构厂做成构件，精确度较高。构件在工地拼装，可以采用安装简便的普通螺栓和高强度螺栓，有时还可以在地面拼装和焊接成较大的单元再行吊装，以缩短施工周期。小量的钢结构和轻钢屋架，也可以在现场就地制造，随即用简便机具吊装。此外，对已建成的钢结构也比较容易

进行改建和加固，用螺栓连接的结构还可以根据需要进行拆迁。

(4) 钢结构的质量轻。

钢材的密度虽比混凝土等建筑材料大，但钢结构却比钢筋混凝土结构轻，原因是钢材的强度与密度之比要比混凝土大得多。以同样的跨度承受同样荷载，钢屋架的质量最多不过钢筋混凝土屋架的 $1/4\sim 1/3$ ，冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ ，为吊装提供了方便条件。对于需要远距离运输的结构，如建造在交通不便的山区和边远地区的工程，质量轻也是一个重要的有利条件。屋盖结构的质量轻，对抵抗地震作用有利。另一方面，质轻的屋盖结构对可变荷载的变动比较敏感，荷载超额的不利影响比较大。受有积灰荷载的结构如不注意及时清灰，可能会造成事故。风吸力可能造成钢屋架的拉、压杆反号，设计时不能忽视。设计沿海地区的房屋结构，如果对飓风作用下的风吸力估计不足，则屋面系统有被掀起的危险。广东湛江地区就发生过这种情况。

(5) 钢材耐腐蚀性差。

钢材耐腐蚀的性能比较差，必须对结构注意防护。尤其是暴露在大气中的结构如桥梁，更应特别注意。这使维护费用比钢筋混凝土结构高。不过在无侵蚀性介质的一般厂房中，构件经过彻底除锈并涂上合格的油漆，锈蚀问题并不严重。近年来出现的耐候钢具有较好的抗锈性能，已经逐步推广应用。

(6) 钢材耐热但不耐火。

钢材长期经受 100°C 辐射热时，强度没有多大变化，具有一定的耐热性能；但温度达 150°C 以上时，就须用隔热层加以保护。钢材不耐火，重要的结构必须注意采取防火措施。例如，利用蛭石板、蛭石喷涂层或石膏板等加以防护。防护使钢结构造价提高。目前已经开始生产具有一定耐火性能的钢材，是解决问题的一个方向。

(7) 钢结构对缺陷较为敏感

任何事物都不是十全十美的，钢结构也不例外。不仅钢材出厂时就有内在缺陷，构件在制作和安装过程中还会出现新的缺陷。钢结构对缺陷较为敏感，设计时需要考虑其效应。

(8) 钢结构的变形有时会控制设计

由于钢材强度高而构件截面小，钢结构在荷载作用下的变形比较大。尤其是采用高强度钢材的结构，构件可能因变形限制而需要加大构件截面。

(9) 钢结构对生态环境的影响小

建造钢结构不需要开山采石、河底挖砂等破坏生态环境的行为。终止服役的钢结构，可以用作炼钢的原材料，不产生大量垃圾。

1.1.2 钢结构的应用范围

钢结构的合理应用范围不仅取决于钢结构本身的特性，还受到国民经济发展

情况的制约。从建国到 20 世纪 90 年代中期，钢结构的应用经历了一个“节约钢材”阶段，即在土建工程中钢结构只用在钢筋混凝土不能代替的地方。原因是钢材短缺：1949 年全国钢产量只有十几万吨，虽然大力发展钢铁工业，钢产量一直跟不上社会主义建设宏大规模的要求。直至 1996 年钢产量达到一亿吨，局面才得到根本改变，钢结构的技术政策改成“合理使用钢材”。此后，钢结构在土建工程中的应用日益扩展。

从技术角度看，钢结构的合理应用范围包括以下几个方面（图 1-2~图 1-7）。

（1）大跨度结构。

结构跨度越大，自重在全荷载中所占比重也就越大，减轻自重可以获得明显的经济效果。因此，钢结构强度高而质量轻的优点对于大跨桥梁和大跨建筑结



图 1-2 高层钢结构建筑



图 1-3 斜拉桥

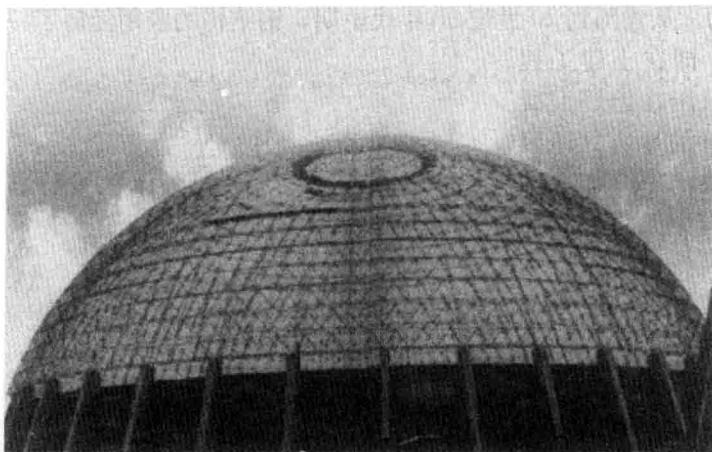


图 1-4 穹顶结构

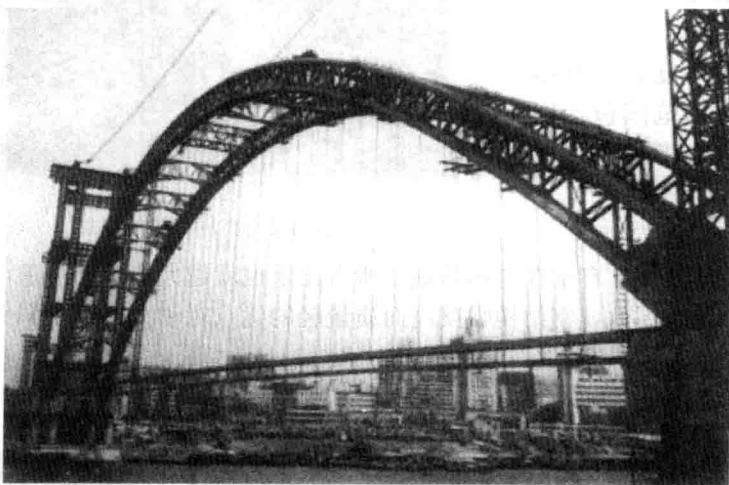


图 1-5 钢拱桥

构特别突出。我国人民大会堂的钢屋架、各地体育馆的悬索结构、钢网架和网壳，陕西秦始皇墓陶俑陈列馆的三铰拱架都是大跨度屋盖的具体例子。很多大型体育馆屋盖结构的跨度都已超过 100m。1968 年在长江上建成的第一座铁路公路两用的南京桥，最大跨度 160m，其后在九江和芜湖建成的，跨度分别增大到 216m 和 312m。长江上的公路桥跨度更大，有：628m 的南京斜拉桥，900m 的西陵峡悬索桥和 1385m 的江阴悬索桥。

(2) 重型厂房结构。

钢铁联合企业和重型机械制造业有许多车间属于重型厂房。所谓“重”，就

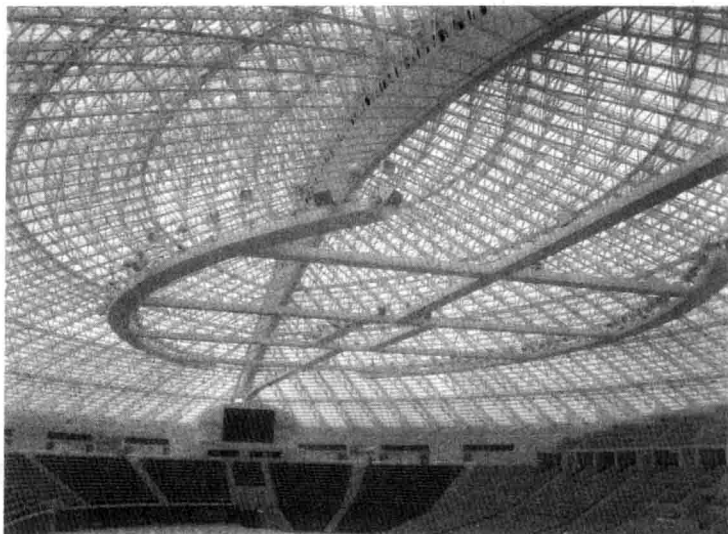


图 1-6 杂交结构

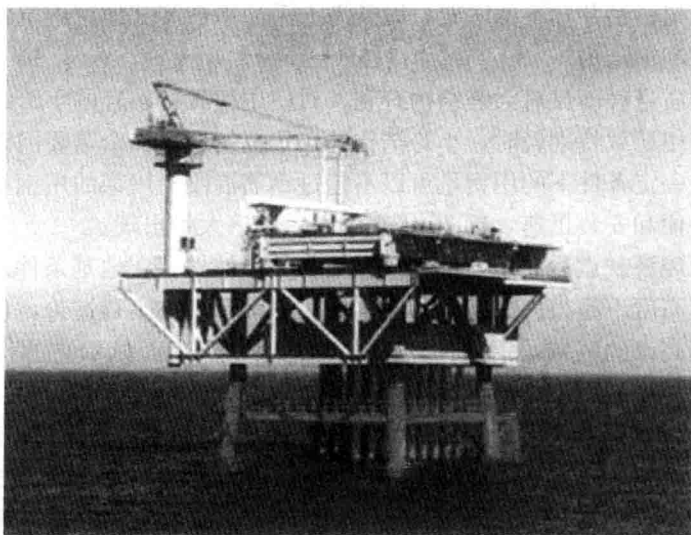


图 1-7 海上采油平台

是车间里吊车的起重质量大（常在 100t 以上，有的达到 440t），其中有些作业也十分繁重（24h 运转）。这些车间的主要承重骨架往往全部或部分采用钢结构。新建的宝山钢铁公司，主要厂房都是钢结构的。另外，有强烈辐射热的车间，也经常采用钢结构。