
钢结构 设计与施工



[日]渡边邦夫 大泽茂树 内藤龙夫 近角真一 著

周耀坤 滕百 译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-1999-2733 号

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计与施工/(日)渡边邦夫等著;周耀坤,滕百译. —北京:中国建筑工程出版社, 2000

ISBN 7-112-04159-7

I. 钢… II. ①渡…②周…③滕… III. ①钢结构-结构设计②钢结构-工程施工 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 13785 号

Copyright © 1998 by SHOKOKUSHA Publishing Co., Ltd.

Original Japanese edition

published by SHOKOKUSHA Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan

本书由日本彰国社授权翻译出版

责任编辑:白玉美

钢结构设计与施工

[日]渡边邦夫 大泽茂树 内藤龙夫 近角真一 著
周耀坤 滕百 译

中国建筑工程出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京建筑工程印刷厂印刷

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 9 字数: 334 千字

2000 年 6 月第一版 2000 年 6 月第一次印刷

定价: 26.00 元

ISBN 7-112-04159-7

TU·3278(9638)

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)

前 言

日本曾经历过所谓“钢铁立国”的年代。现在，“钢铁时代”已成过去，一般认为，电子工业和原子能产业成了国家的骨干产业，前些时候，曾听到有人说：“钢铁热降温”的话，实在令人感叹不已。虽然“钢铁热降温”好像指的是不景气的社会结构，但是，作为社会总体的经济活动的晴雨表，截至现在为止，仍停留在概念上，经过对“钢铁”的重新认识之后，只有在日常的设计活动中，不断地与“钢铁”打交道的情况下，对它的客观存在，才放下心来。

在现在的社会里，钢铁的利用范围极其广泛，自从日本的早期钢铁技术从欧美引进以来，随着时代的变迁，可以说，在各个不同领域都建立了完整的技术体系。建筑钢结构如同桥梁、船舶、车辆等一样，使其使用范围特定化，促进钢铁技术向前发展。有人说，由于各个领域的钢铁的吨单价不同，相互交叉使用是不对头的，这完全是无稽之谈。如果想将钢铁技术摆在中心位置的话，就必须拆除这堵墙。要更加自由，不受任何拘束地赋予钢铁技术足够的生命力，在今后的时代里，这个可能性正在出现。本书不局限于以往的建筑钢结构的范畴，而是试图写得既深广，而又充满现实意味。

此外，要想具体构成一幢建筑，结构、内外装修、设备这三者应高度协调，并根据它们之间的相互关系，对建筑的平面、剖面、立面做出设计。三者协调是一个格外困难的问题，需要综合分析建筑的创立条件和选址、环境、设计意图，以及其他诸多条件，才能达到协调的地步。因而，作为“结构设计”就应以追求三者的协调为立足点之后，结构上则应是积极地参与一幢建筑物的建成。往往有这样的误解，那就是认为诸如壳体结构、悬索体系，以及空间网架等特种结构的设计不能算是“结构设计”，像这样的特殊结构与“结构设计”没有关系，而认为，哪怕是一幢极其普通的五层楼高的办公楼，也存在框架如何布置，核心筒体怎样设置，每根柱的形状，梁和楼板的作用，以及楼梯样式等，从这些组成建筑结构的总体直到各部件在总体中如何布置的种种思考，才能算上真正的“结构设计”。其实不然，在那些特种结构中，不仅有力学上的思考，而且更重要的是对钢铁材料的深刻了解，结构上的美感，以及施工上的合理性等的研究和分析。

尤其是钢结构，若不能在制造厂和生产商，以及从事运输、起重、临建等技术工作的人士与施工部门的众多专家的协作下形成团队力量，是成功不了的。

本书收集了有关钢铁的各个领域中的专家共同感兴趣的题材，并以建立一种共同语言为目的。为此，我们将30年来从钢结构设计中学到的技术信息和实践经验加以浓缩，写成此书。如能给正在从事实际工作的人们提供参考，深表荣幸。

渡边邦夫
1998年9月

钢结构 设计与施工

[日]渡边邦夫 大泽茂树 内藤龙夫 近角真一 著

周耀坤 滕百 译

中国建筑工业出版社

著者 渡边邦夫（结构设计集团（SDG）代表）
1、2、3、4、5 及资料篇
大泽茂树（大泽涂饰株式会社社长）
6
内藤龙夫（鹿岛建设建筑技术本部副本部长）
7
近角真一（集工舎建筑城市设计研究所代表）
8

前 言

日本曾经历过所谓“钢铁立国”的年代。现在，“钢铁时代”已成过去，一般认为，电子工业和原子能产业成了国家的骨干产业，前些时候，曾听到有人说：“钢铁热降温”的话，实在令人感叹不已。虽然“钢铁热降温”好像指的是不景气的社会结构，但是，作为社会总体的经济活动的晴雨表，截至现在为止，仍停留在概念上，经过对“钢铁”的重新认识之后，只有在日常的设计活动中，不断地与“钢铁”打交道的情况下，对它的客观存在，才放下心来。

在现在的社会里，钢铁的利用范围极其广泛，自从日本的早期钢铁技术从欧美引进以来，随着时代的变迁，可以说，在各个不同领域都建立了完整的技术体系。建筑钢结构如同桥梁、船舶、车辆等一样，使其使用范围特定化，促进钢铁技术向前发展。有人说，由于各个领域的钢铁的吨单价不同，相互交叉使用是不对头的，这完全是无稽之谈。如果想将钢铁技术摆在中心位置的话，就必须拆除这堵墙。要更加自由，不受任何拘束地赋予钢铁技术足够的生命力，在今后的时代里，这个可能性正在出现。本书不局限于以往的建筑钢结构的范畴，而是试图写得既深广，而又充满现实意义。

此外，要想具体构成一幅建筑，结构、内外装修、设备这三者应高度协调，并根据它们之间的相互关系，对建筑的平面、剖面、立面做出设计。三者协调是一个格外困难的问题，需要综合分析建筑的创立条件和选址、环境、设计意图，以及其他诸多条件，才能达到协调的地步。因而，作为“结构设计”就应以追求三者的协调为立足点之后，结构上则应是积极地参与一幢建筑物的建成。往往有这样的误解，那就是认为诸如壳体结构、悬索体系，以及空间网架等特种结构的设计不能算是“结构设计”，像这样的特殊结构与“结构设计”没有关系，而认为，哪怕是一幢极其普通的五层楼高的办公楼，也存在框架如何布置，核心筒体怎样设置，每根柱的形状，梁和楼板的作用，以及楼梯样式等，从这些组成建筑结构的总体直到各部件在总体中如何布置的种种思考，才能算上真正的“结构设计”。其实不然，在那些特种结构中，不仅有力学上的思考，而且更重要的是对钢铁材料的深刻了解，结构上的美感，以及施工上的合理性等的研究和分析。

尤其是钢结构，若不能在制造厂和生产商，以及从事运输、起重、临建等技术工作的人士与施工部门的众多专家的协作下形成团队力量，是成功不了的。

本书收集了有关钢铁的各个领域中的专家共同感兴趣的题材，并以建立一种共同语言为目的。为此，我们将 30 年来从钢结构设计中学到的技术信息和实践经验加以浓缩，写成此书。如能给正在从事实际工作的人们提供参考，深表荣幸。

渡边邦夫

1998 年 9 月

—— 钢结构设计与施工	5
1 钢结构设计	6
[1] 钢结构的现状	
[2] 从水晶宫到洛依兹大厦的“铁结构设计”	
[3] 适应当前时代要求的“钢结构设计”	
2 型钢结构设计	10
[1] 轧制型钢的多样性	
[2] 型钢的力学性能及截面几何特性	
3 钢的应用	18
4 结构型式	23
[1] 简支梁、连续梁、悬臂结构	
[2] 拱结构	
[3] 桁架结构	
[4] 框架结构	
[5] 支撑体系	
[6] 网格梁结构	
[7] 折板结构	
[8] 穹顶结构	
[9] 壳体结构	
[10] 悬索结构	
[11] 充气结构	
[12] 混合结构	
5 钢材的连接	38
[1] 连接方法的种类、性质和性能	
[2] 配合建设机械的连接条件	
[3] 锚栓的种类和使用方法	
6 防锈涂饰	46
[1] 防锈机理	
[2] 防锈法的种类和特点	
[3] 在维修保养体系中的应用	
7 耐火保护层	55
[1] 耐火保护层的意义和机理	
[2] 耐火结构的有关规定	
[3] 耐火保护层施工法的分类	
[4] 详图	
[5] 新耐火设计法	
[6] 新材料及新方法	
8 钢骨架与装饰墙板的装配式建筑	65
[1] 装饰墙板(BE)围成的建筑	
[2] 钢制装饰墙板	
[3] 钢结构建筑使用的材料	
[4] 局部构造选择的基本条件	
[5] 局部构造的选择	
—— 设计洽商用基础资料	103
等边角钢/不等边角钢/不等边不等厚角钢/槽钢/卷边槽钢/宽翼缘 H 型钢/中宽翼缘 H 型钢/窄翼缘 H 型钢/外部尺寸固定 H 型钢/T 型钢/宽翼缘切制 T 型钢/中宽翼缘切制 T 型钢/窄翼缘切制 T 型钢/外部尺寸固定切制 T 型钢/方型钢管/钢屋面板/宽波纹钢板/圆钢/异形圆钢/普通结构钢管/高压管线用碳素钢管/离心铸钢管(G 柱)/扁钢/热挤压型钢/螺旋钢绞绳/不锈钢绞绳/拉杆及高强拉杆/拉杆的螺纹规格/平行钢丝绳/7 股钢绞线/7 股钢绞线的锚固装置/预应力钢筋/预应力钢筋的锚固装置/斯皮洛尔锁定/钢板单位重量表/容许压应力表/各种钢材的材质一览表	



钢结构设计

纵观为创造高大宽阔空间做出巨大贡献的铁结构设计的历史脉络，并指出适应今后时代要求的“钢结构设计”。

[1] 钢结构的现状

支撑现代建筑的结构材料仍然是钢铁、混凝土和玻璃的事实，并无改变。但是，每种材料都随着时代的发展，其技术领域不断扩大并向前推进，钢铁也从早年的锻铁和铸铁时代过渡到了当今的品种繁多的合金时代，技术革新神速。因此，必须沿着钢铁的历史变革来探讨“钢结构的设计”。

这样做的理由是，因为在钢铁的技术革新上，并不是摒弃旧技术，就立即拾起新技术的，而是旧技术尚在温存留恋的情况下，逐渐蓄积新的技术。因而，根据这一发展进程，可以摸索出钢结构设计的今后发展方向的无数线索。

在钢铁中，现在应用最多的是钢。这是由于钢材的高强度和稳定的性能，韧性好而且适合批量生产的特点，使得钢材成了甚佳的结构材料。从钢材的生产过程的角度来看也不失为一种极好的工厂化生产的结构材料。因而，必须认为构件本身和构件的连接方法是同样重要的。同时，它们又与由它们构成的整个结构体系存在着不可分割的关系，因此，在确定结构和从事设计作业时，一定要经过从整体到局部，再由局部到全局地反复推敲和思考。

[2] 从水晶宫到洛依兹大厦的“铁结构设计”

以英国为开端的产业革命，不仅以铁的技术为中心，促进了当时的建筑技术的变革，而同时又使普通市民的生活也发生了根本性的变化，从这一点来说，也算得上是人类历史上值得大写一笔的一次伟大的科学技术发展浪潮。17~18世纪是手工业式的锻铁被批量生产，而且具有良好可塑性的铸铁所代替的时期。除了在特殊用途方面使用钢材以外，18世纪的纺织机械和蒸汽机，还有工作母机的发展无不借助铸铁才得以实现的。从18世纪的后半叶到19世纪前半期，在多层工厂建筑、仓库、商店、大跨度的市场和停车场等建筑的结构方面引进了铸铁技术，于是，多层框架、桁架和拱等结构型式获得了广泛的应用。

1779年建成了世界上最早的铸铁桥——科尔布鲁克德尔

大桥，桥跨长约为30m、高度为12.2m。现在仍在使用的，接待着来自世界各地的观光客。作为产业革命以来的铸铁技术成果，这座诞生在英国的大桥，被誉为史无前例的大型结构物，自从这座大桥完成以后，不仅在土木、建筑领域，就是在工业技术史上也算得上一座丰碑。桥的结构是由五榀并列的半圆形主拱和主拱上边的两层半拱，此外，还有连结两岸桥台的两组竖向构件，共同构成的三铰拱体系。当时是利用该地区盛产的煤炭进行高炉炼铁，成功地制造出了优质铸铁。各个构件之间的连接采用的是过去木结构上使用的接头和榫接技术，完美的构造，令人赞叹。



铁桥

世界上最早建成，迄今仍在使用的现存铸铁桥。作为土木和建筑领域永无止境的工业技术发展史的象征长留人间。桥的中央埋设着建桥时立下的石碑。

铁桥细部构造

结构为5对接近半圆形的主拱肋（顶点有铰链连接）和拱上的两层半拱，其上由两岸桥台上的两组竖向构件支承，属于三铰拱结构。各构件间的连接采用木桥的接头和榫接技术，以惊人的精度组装成型。

作为世界上第一次万国博览会的 1851 年伦敦万国博览会会场的水晶宫(长 563m, 宽 124m, 最大跨度 22m, 最高顶棚高度 33m)曾是 19 世纪前半期的铸铁技术总检阅之一。约瑟夫·帕科斯顿的这幢历史性的建筑物的特征当然不单单是看它的结构造型和跨度多大, 更主要的是它的经济性和快速性。帕科斯顿置身于当时英法两国工业能力的源头, 提出完全利用单元部件的连续生产方式, 通过装配式结构的手法来建造大型空间这一点显示了其人的突出特点。在伯明翰的各种工厂内, 批量生产铁的、木的和玻璃的部件, 在位于伦敦的建设现场内装配成型, 这幢总建筑面积约 9 万 m² 的建筑只用 6 个月就建成了。这里所采用的标准化网格式平面布置, 全面彻底的单元部件的划分, 简单明确的连接细部构造等是以前建筑中从未见过的, 划时代的手法。可以说, 这不仅是仰仗现代工业技术提供的可能性, 而是一个由包括工业技术所拥有的精确性, 堂皇的宏大感, 优雅别致的灵气浑然一体的产物。

到了 19 世纪后半期, “铁结构设计” 出现了两大发展。
一个是从 19 世纪后半期开始发展起来的结构力学理论和

实验汇总为统一的静力学体系。纳维叶的梁弯曲理论与克拉贝龙三弯矩方程和梅纳布雷的最小功原理共同扩充成初步的框架弯曲理论。此外, 借助最近一直大量采用的, 立德、卡门、科雷蒙纳等人的系统著述, 使静定结构理论分析得以普及, 结构技术人员能够计算出静定结构和简单的超静定结构的内力分布, 并据此又能求得各个构件的内力和变形, 从而实现结构的设计工作。

另一个发展则是轧制锻铁和轧制钢材的普及。19 世纪前半期的铸铁存在脆性和抗弯强度低的问题, 曾采用与手工锻造的锻铁和简单的熟铁制造的板材和角钢混合使用的办法解决。因此, 采取铆接轧制锻铁构件的方法组装大型和组合更加有效截面形状的结构构件的施工方法逐渐得到了普及。大跨度结构从原来的那种虽可塑性好, 但很笨重的铸钢的形态过渡到由标准化的小型构件铆接组装的轻型轧制构件的形态。随后, 由于贝氏的底吹转炉炼钢法和西门子的平炉炼钢法的出现, 确立了钢锭的批量生产技术, 从而开始出现了强度高、韧性好的轧制钢。进入 19 世纪 80 年代, 结构用钢材开始使用轧制的了。

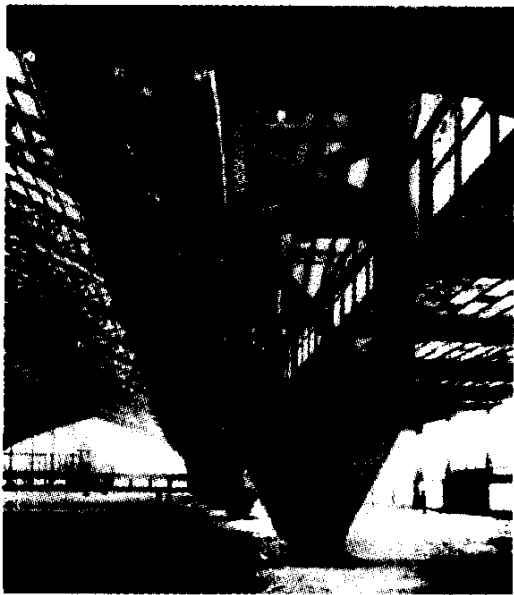


举办伦敦博览会的水晶宫

1851 年竣工, 处于从 18 世纪普及起来的铸铁向锻铁过渡的时期, 正是产业全面技术革新, 并取得飞速发展的时代。博览会闭幕后, 迁移到早先预定的伦敦南边的西大纳姆(1852 年), 1936 年火灾被烧毁, 现已无存, 但是, 作为铁结构设计的历史业绩, 仍给今日的世界留下了许多教益和启示。

巴黎博览会的机械馆

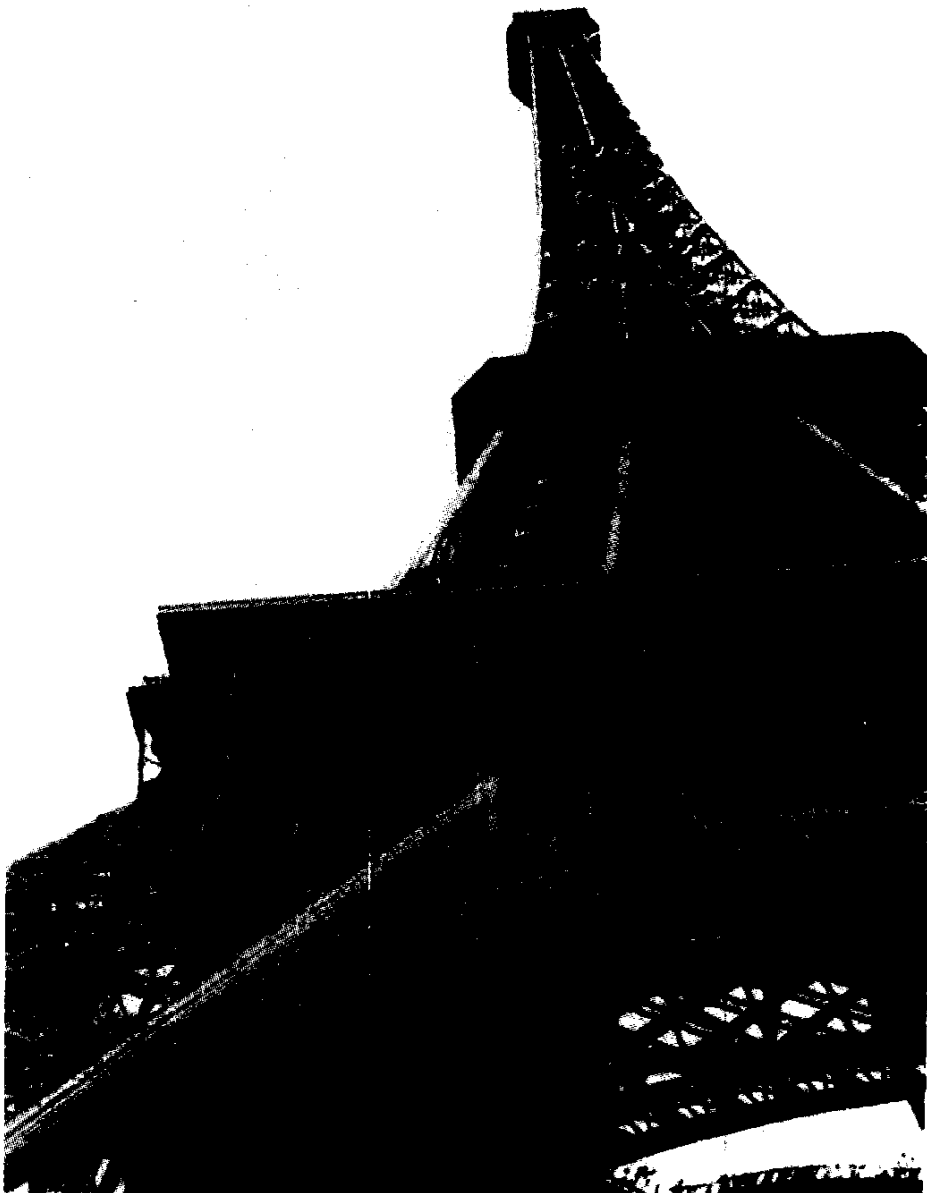
关于该机械馆, 意大利结构专家 P. L. 奈尔比(1891~1979) 写道: “设计的大部分都是根据理论和力学方法决定的。所采用的变截面框架和简支于地基上的手法完全符合工程学的原理。” 确实是按照当时的成熟概念处理的, 从力学的原有形态看来, 是信心十足的有力表现。



埃菲尔铁塔

与机械馆一样, 是为巴黎博览会而建造的 300m 高塔。建造的当时, 尽管当地的艺术家和文化人们发起了猛烈的反对运动, 可是, 竣工后, 却成了象征巴黎的代表性结构物。

埃菲尔的作品是以工程技术知识为基础, 综合了力学和美学, 也可以说是将人的理性和感性凝缩在结构物上的杰作, 埃菲尔铁塔是他的代表作。



循着上述这些技术上和工业上的进展步伐，车站的站房等美观的大跨度结构不断涌现，直至今日仍在充分发挥着各自的功能，例如，伦敦的圣·班库拉斯车站(1865年)的由轧制锻铁构件装配而成的三铰拱结构，跨度为75m；巴黎的东站和西站的大跨桁架结构等。

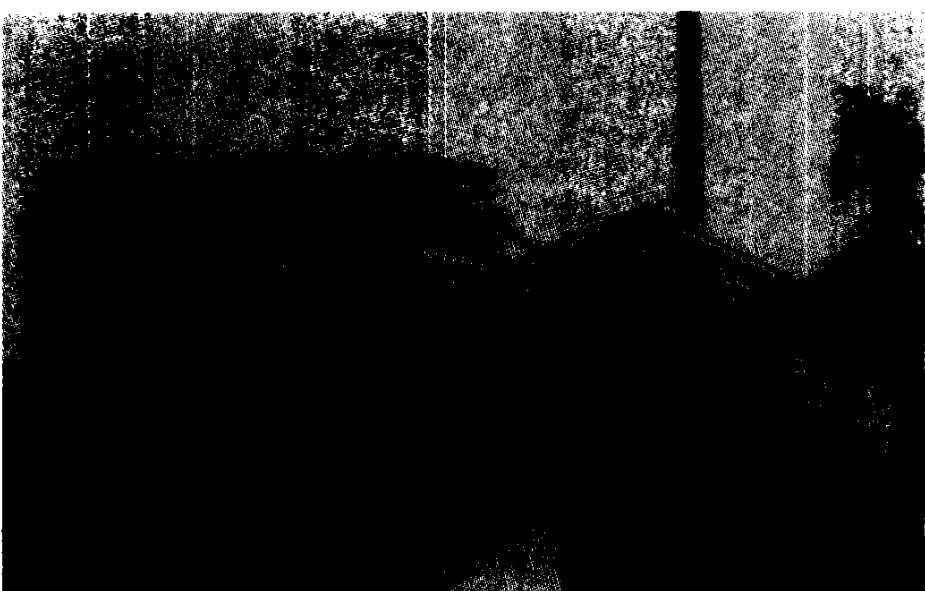
说起来，这项成果的最显赫的表现当属1889年的巴黎博览会的机械馆和埃菲尔铁塔。覆盖着高45m、长420m、跨度115m的特大空间的这个机械馆的结构是三铰拱，它的庞大而又确切符合力的传递机制的轻快形态，充分显示了负责该结构的昆塔曼的才能。至于埃菲尔其人的结构才能就像人们已经熟知的那样。从这两个结构在充分展示铆接轧制构件这一构造技术可能性的意义来说，堪称无可挑剔的“铁结构设计”当中的杰作。

正当埃菲尔奋斗正酣的这个时期，日本才处于从英国、法国、德国刚刚开始引进铁的技术的时期。在富国强兵的国家需要之下，日本的有关铁的技术最早是从造船技术起步的(1907年，利用八幡制铁所生产的钢材建造的安芸号战舰竣工)，这项技术对建筑和土木等量大面广的领域的贡献也是很大的。

1894年建于东京京桥的三层楼的秀英社印刷厂据说是日本最早的钢结构建筑。柱用钢管，而梁则是角钢组合梁，材料由法国进口，是由海军造船技师若山铤吉设计建造的。后来，日本国内的钢结构的开拓者佐野利器完成了丸善大厦(1909年)，建筑面积约为500m²，三层楼高，框架、楼板结构、屋架全部是钢结构，所以门窗洞口都做得很大。

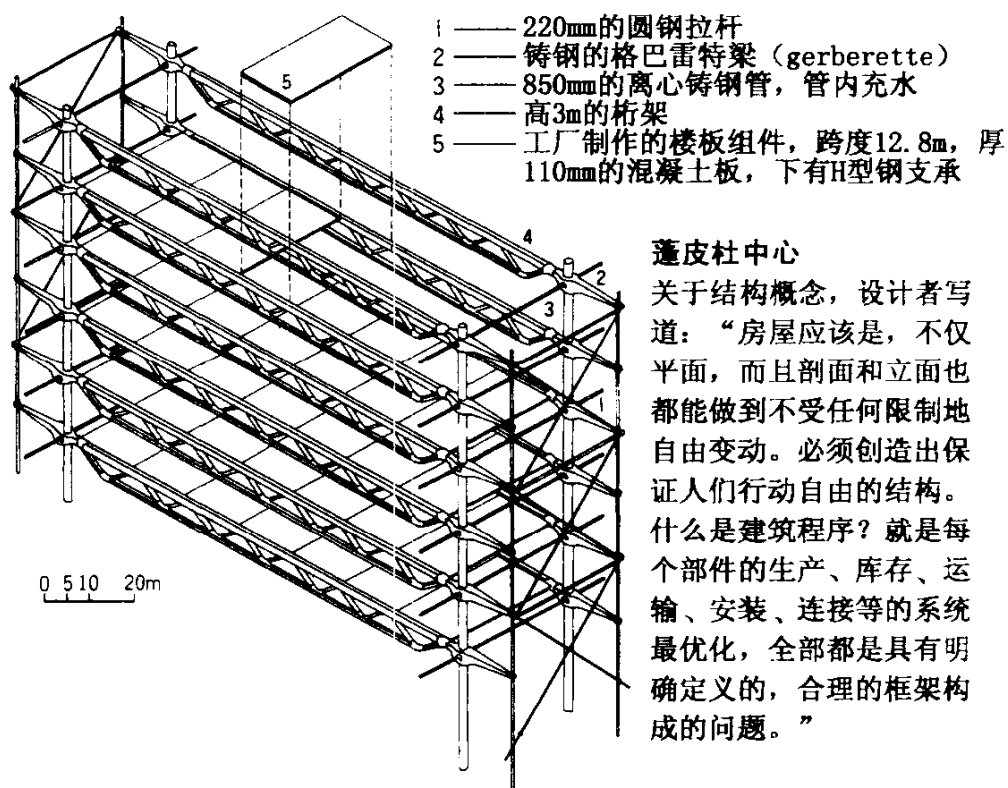
20世纪后半期的结构技术的进步要比19世纪时期快得多，而且更加发达。1977年，由连佐·皮阿诺与理查德·罗杰斯共同完成的巴黎蓬皮杜中心恰好可以作为适应这个命题的建筑，而备受世界瞩目。蓬皮杜中心的价值不仅表现在城市规划上和建筑设计上，而且在结构设计上的独创性也获得了高度评价。结构的确是轻盈明快，在相距50m的两侧主结构之间架设着巨大的桁架，创造出50m×170m的顶棚高7m的六层无柱空间，在这里，不论是什么样的活动都能举行。两侧的结构当中内藏着全部垂直与水平方向的人流流线，一

秀英社印刷厂



秀英社印刷厂

建于1894年，为日本最早的钢结构建筑。设计师是海军造船技师，但是，承担了将欧洲的钢结构引进日本的角色。

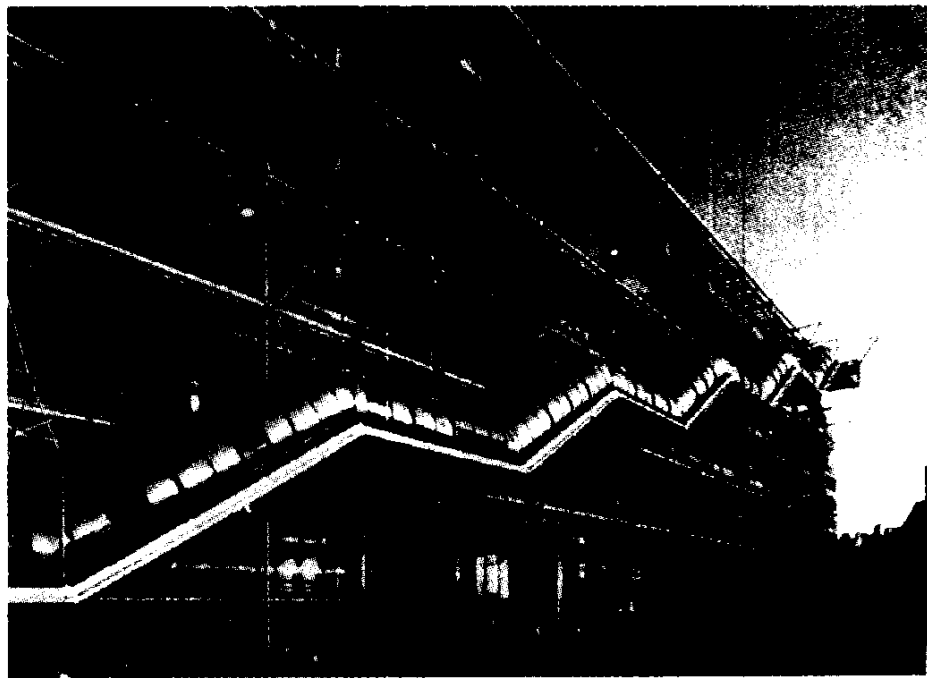


蓬皮杜中心

关于结构概念，设计者写道：“房屋应该是，不仅平面，而且剖面 and 立面也都能做到不受任何限制地自由变动。必须创造出保证人们行动自由的结构。什么是建筑程序？就是每个部件的生产、库存、运输、安装、连接等的系统最优化，全部都是具有明确定义的，合理的框架构成的问题。”

丸善大厦

明治时代后半期，日本也采取了用铁代替砖的做法，但那时铁件只用作加固件，因而并没产生新的施工方法。丸善大厦是由日本的钢结构的开拓者佐野利器设计的，全部是用钢材构成的钢框架。此举为各个楼层提供了设置大型门窗的条件。外观虽然还有过多使用装饰性手法的残迹，但是，明快的玻璃造的建筑立面，给人以一种新型楼宇萌生的感受。

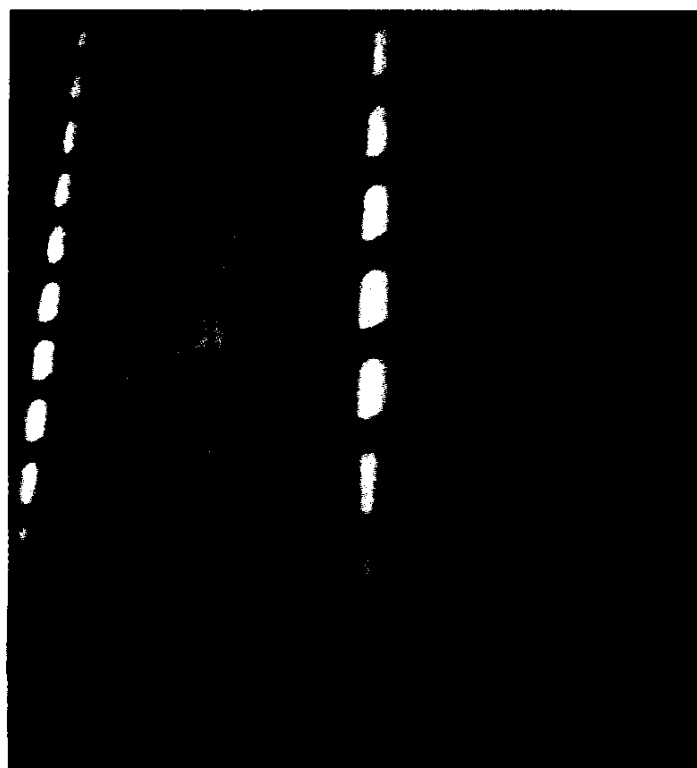
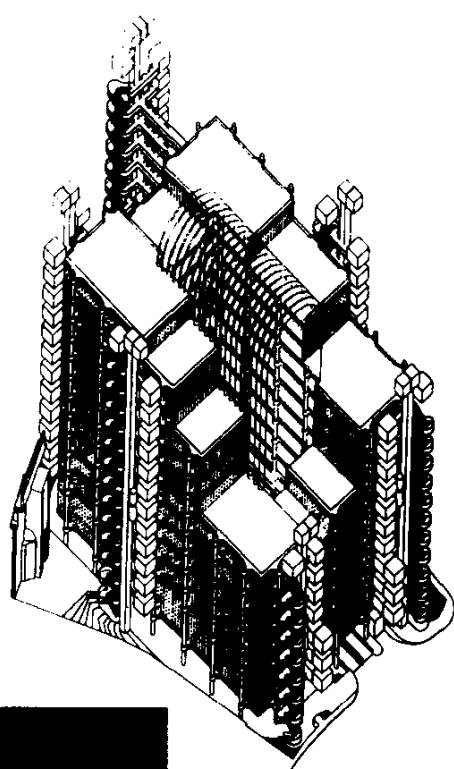


方面是人的流线系统，有楼梯、电动扶梯、电梯和通路，另一方面承担着设备的流线功能。两侧的主要结构由直径 80cm 的中空钢柱和号称格巴雷特梁的 60t 重铸钢的悬挑构件支承。每个格巴雷特梁的端部连接在外部的受拉一边的柱子上。纵向立面上的对角线方向支撑是保证该建筑物的稳定性不可缺少的部件。主柱上装备循环泵用来向柱内充水，以便保证耐火性能，内部主跨的桁架梁表面包敷着极薄的保护层和不锈钢的饰面层，但面朝外部的结构没有防火保护层。外部采取彻底消除火灾源的办法来解决。这样一来，使得生动的新的“钢结构设计”成了可能。

1986 年，理查德·罗杰斯建成了伦敦洛依兹大厦。建筑的中央是贯通全部楼层的天井，围绕着天井的是由预制混凝土构成的办公用的空间，电梯、楼梯、厕所等服务性设施容纳在一个塔楼里，设置在办公用空间的外侧。天井的“钢结构设计”不论是对内部空间，还是对外部空间的构成都做得精巧美观，这幢建筑物是对现代社会的挑战性的一个象征性的综合回应。究其根底还是应该归功于现代的科学和技术，

伦敦洛依兹大厦

将一个由钢材和玻璃构成的轻盈明快的天井非常自然地插进预制混凝土结构物的内部空间当中，成了大厦的标志性特征。透明感和混凝土的厚重感，以及砌石般的牢固性等的巧妙配合也是这幢建筑的特点。



加上追随社会变革的使命感。

从水晶宫到洛依兹大厦这些历史性的钢结构设计中，可以揭示出多方面的价值和意义。在集中地展示包含科学技术成就的结构构件和连接手段的同时，还可以了解到，用它们来营造空间的舞台潜存着无限的可能性。技术在不停顿地往下传，再加上新技术的投入，又可以营造出前所未有的空间，这就是技术发展史，与此同时，又可以知晓对建筑师和结构工程师，还有钢铁工程师们的挑战和他们自己的意愿。也能理解，为什么在产业革命时期诞生的工人和技术工作者们能在从直接生产的场所到作为知识职业的设计部门，如此宽广领域内大显身手的事实了。

[3]适应当前时代要求的“钢结构设计”

的确，自从 19 世纪前半期开始的追求大跨和巨大空间的竞赛和技术上的挑战时代已经持续了相当长的时间。更轻、更大、更高的巨大的内部空间的实现曾经是人类的梦想。这种倾向就是到了 20 世纪末的今天也许并未完全放弃。但在当前，已将争取大跨和高度的结构技术上的挑战切实地变成了现实，尽管跨度并未达到预期的那么大，但在结构技术上却表现出了内部和外部空间在质上的时代要求。因此，建设的规模和建筑功能已非决定性因素，所有的建筑，需要的是建筑设计 with 结构技术的二为一体般的融合，“结构设计”应在这个意义上展示其才华。那就一定是经常给人以美感，追求力学上和几何学上的逻辑论理性，更加有意识地提高生产率和施工方法上的合理性，力争为使上述条件得到进一步的满足而追求新技术的问世。

关东大地震和第二次世界大战导致日本许多城市夷为焦土，所以，城市的不燃化就成了至高无上的命令，耐火建筑势在必行。众所周知，钢铁的最大缺点是易锈蚀，怕高温(火灾)。因而，多数结构物中的钢材上都加有防火保护层，克服钢材的这个缺点，近年来，对钢材本身实行改良，例如，耐候性钢板、不锈钢及耐火钢板等都达到了实用化的程度。只要使用了这类特殊钢板，钢结构设计不再被防火保护层所左右，就可以说钢结构设计不受限制地自由开展的时代已经到来。

此外，钢材还要向高强度化的方向发展，钢丝和高强度拉杆使得张拉型结构的出现成为可能；以与层压板、薄膜、预制混凝土、玻璃等不同材质的混合或综合利用为目标的混合结构设计的开展也是颇有前途的。这样做，才能扩大钢结构设计的领域，才能在创造高大广阔的空间方面做出更大的贡献。



型钢结构设计

目前，生产和在市场销售的型钢有很多品种。每种型钢分别具有不同的力学的和几何学的特性，只有在掌握了这些特性之后，才能进行钢结构的设计。

[1] 轧制型钢的多样性

目前，在结构设计中，可以任意选用的钢材是以轧制型钢，或者用钢板切割并焊接成型的钢材为主。轧制分为在高温下的热轧和在接近常温下的冷轧，钢材通过轧制，不仅可以轧成预定形状，而且在轧制的强大外力作用下，使内部组织压密。所以，经过轧制的钢材材质得到了改善，提高了强度，从而成为高韧性的结构钢材。可见，彻底了解成品的轧制型钢，对钢结构设计多么重要。

一般来说，实现建筑工业化的条件，可列举如下：

- ① 构件标准化和规格化；
- ② 各类构件应有变通的可能性；
- ③ 需求预测要准确，伸缩幅度控制在最低限度内；
- ④ 必须适合自动化生产方式和进行机械加工；
- ⑤ 具有互换性；
- ⑥ 便于组装和拆卸；
- ⑦ 重量轻；
- ⑧ 运输方便；
- ⑨ 具有耐久性；
- ⑩ 价廉；
- ⑪ 一旦投产，必须确保销售市场货源不断；

⑫ 实际条件与上述各项发生矛盾时，必须设法调整是至关重要的。

现在的钢铁企业生产的轧制型钢几乎完全符合上述条件，堪称大批生产的工业产品的典型。

目前，市场销售的型钢品种如下(图 2-1)。

等边角钢：使用频率极高，而且容易操作。

不等边角钢：由于角钢的两个边长不等，可以根据构件的要求，组合成合理的截面，是一种很巧妙的型钢，现在一般已经不生产了。只有达到某种程度的产量，才能组织生产。

不等边不等厚角钢：这种型钢的截面也很美，但现在已成为除非强烈交涉，不会再生产的型钢了。

槽钢：这是一种用途广泛的型钢，缺点是尺寸规格少。

卷边槽钢：俗称 C 型槽钢，用做檩条和横向加劲构件，也可用于主要结构中的组合构件。

平行翼缘槽钢(PFC)：普通的槽钢翼缘内侧为斜面，但这种槽钢的翼缘为平行、等厚的，所以与其他构件垂直相交或用螺栓固定时，非常方便。不够批量，不专门订货是不生产的。钢材的最小批量视品种不同而异，但大体上以 30t 左右为标准。

H 型钢：使用最多，是型钢中具有代表性的品种，类型也多，一般可分为宽翼缘 H 型、中宽翼缘 H 型钢和窄翼缘 H 型钢三种。

特厚 H 型钢：翼缘和腹板的厚度都很厚，可承受很大内力，用于截面尺寸受限时。虽为超高层建筑开发制造的，但现在已可自由使用了，但价格高于普通 H 型钢。

外侧尺寸一定的 H 型钢：普通 H 型钢由于生产方法的不同，在保持型钢内侧尺寸一定的前提下，即使尺寸相同的型钢，当壁厚改变时，型钢外侧尺寸就会改变。例如，对于 H208 × 202 × 10 × 16 的型钢等，都是使用以 H200 × 200 × 8 × 12 型钢为基准的阴模轧制出来的。因此，不利于构件尺寸模数化的形成，外侧尺寸一定的 H 型钢就排除了这个缺点，最近需要量在不断增多。原来是为在劲性钢筋混凝土(SRC)结构中使用而制造的，目的是为了避免普通 H 型钢使混凝土保护层随尺寸的大小而改变。当然，在纯钢结构中也可以使用。由于需要量的关系，目前价格尚嫌略高。

T 型钢：翼缘宽度为 125mm、250mm、300mm，有几种不同厚度，腹板高度只有 39 ~ 58mm。这是一种在许多结构上都可应用的型钢品种，但现在已经很少使用了，只有达到一定的数量，才能制造。

切制 T 型钢：简称为 CT 型钢，是将 H 型钢在腹板中央处一分为二切割而成，所有的 H 型钢在尺寸上都有这样的安排。

外侧尺寸一定的切制 T 型钢：与普通 CT 型钢不同，是取用外侧尺寸一定的 H 型钢的一半。

工字钢：是最古老的型钢，现在已全部被 H 型钢所代替。它

的形状充分代表热轧技术，很好看，已不再生产。若提出订货，或许也会生产。

方钢管：截面形状有正方形和矩形，属小型型钢。由于制法的关系，棱边为圆形，而不是直角是一大缺点。通常用于轻型结构，当要求两个方向的强度相等或抗扭时，用它代替卷边槽钢来使用。

轻型方钢：薄壁型钢。

宽波纹钢板：市场有各种这样的钢板出售。平置可做楼板，竖立可做墙壁等。主要有 V 型、U 型等不同形状，尺寸类型也很多。特别是，薄板 ($H = 25\text{mm}$) 称为瓦楞钢板。最近，将这种楼板的端部压扁后再架在梁上，使楼板厚度变薄的做法很是流行。

网纹钢板：在平钢板上加凹凸条纹，提高刚度。

钢轨：铁路钢轨，以前在车站的站房屋盖上使用。独特而又合理的截面形状很是美观。尽管有着广泛的使用可能性，但是连接困难，还没听说哪里用得很出色。

钢筋及异形钢筋：钢筋混凝土结构的主要材料，在钢结构上也常有应用。现在，用高炉热轧的钢筋已很少见，几乎全部是用电炉利用废钢铁来生产。

方钢：现在已不生产。

六角钢、八角钢、半圆形钢：这些特殊的钢条都已不再生产了，但是若用得恰当是可以收到良好效果的。

普通结构钢管：目前生产着多种尺寸的这类钢管，可以说是一种主要结构用型钢。

高压管道用碳素钢管：普通结构钢管只有壁厚较薄的，不论在强度和稳定性能上，以大直径为宜。这种钢管壁较厚，直径小，有节流要求时使用。

离心铸造钢管：不是热轧，而是离心铸造，所以壁厚上自由度高，可以制造壁厚很厚的钢管。

扁钢：用途广。看上去好像从普通钢切割下来的板条，其实是热轧成型的。从钢板切割下来的边缘称为切割边，而扁钢的边缘称为轧制边。轧制能保证边缘部分的强度。

特厚扁钢：厚度超过 45mm ，很少直接使用，而是机械加工成部件使用。

球扁钢：任何一家钢厂的产品目录上都会有这种钢材，是为造船业而开发的一种型钢。主要用作船底的加劲肋，油污等不易积聚。建筑上虽无使用先例，但采用的可能性还是很大的。

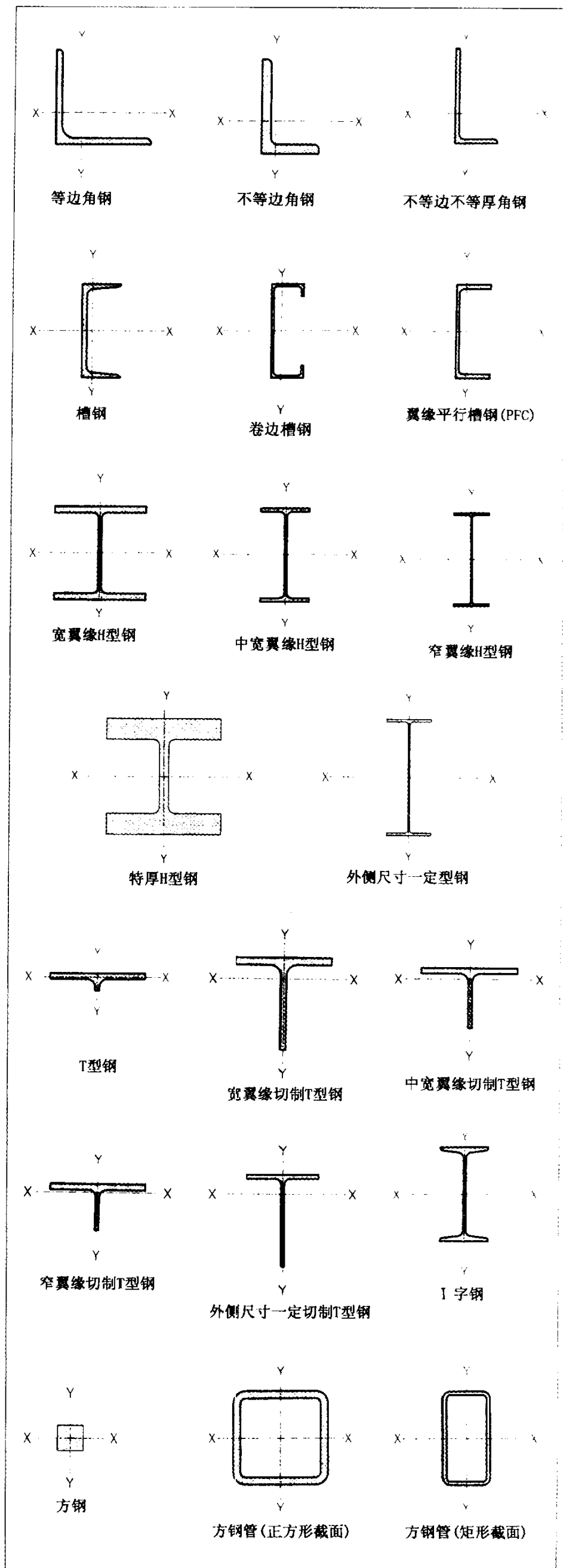


图 2-1 轧制型钢的品种-1

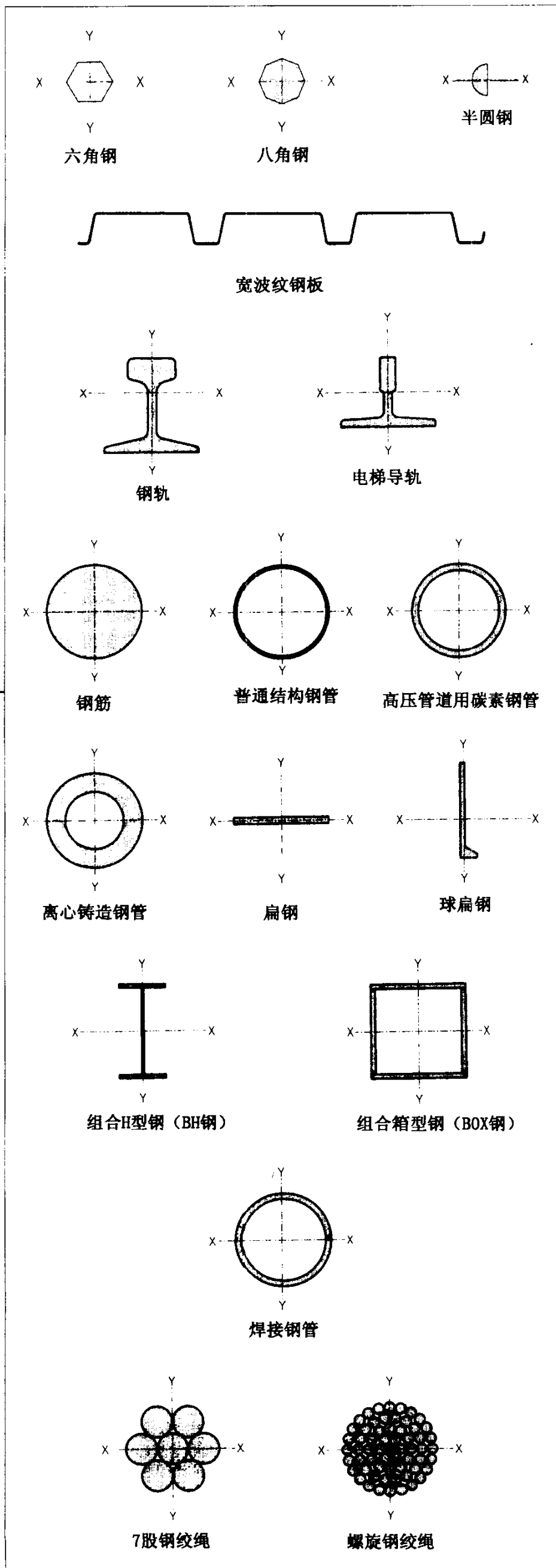


图 2-1 轧制型钢的品种-2

钢板：使用频率最高。从卷材到板材，各种厚度齐备。按厚度分为薄钢板、中厚钢板和特厚钢板，大体上反映了生产成本的差别。除可切割成各种形状应用外，还可焊接成新的截面形状的钢材，例如，组合 H 型钢(BH 钢)、组合箱型钢 (BOX 钢)和焊接钢管。

组合 H 型钢：简称 BH 钢，用钢板做翼缘和腹板，再用自动焊接机焊接成 H 型组合截面。热轧 H 型钢的翼缘和腹板的厚度在成型上相互制约。由于内力性质的不同，对翼缘和腹板厚度之间必然没有一定的关系，因此热轧 H 型钢有时不能适应，同时，也不可能想要多大尺寸，就制作多大尺寸。为此，用钢板组成的 H 型截面就是组合 H 型钢(BH 钢)，由于自动焊接机的进步，这种钢材得到了广泛应用。

组合箱型钢(BOX 钢)：用钢板围成箱形，最初是作为超高层建筑的柱而开发的。承受很大的轴力的柱，需要屈曲抗力很强，截面积很大的构件，所以要用厚板做成组合箱型截面。这类构件也是借重特殊的焊接技术的开发和完善，获得世界范围的广泛应用。目前，这种技术不仅用于超高层建筑，而且在一般结构中也得到了应用。

焊接钢管：热轧钢管的壁厚有一定限度，于是出现了利用压力机等将厚钢板弯曲成型，再将接缝焊接起来成为钢管，许许多多实用的制管法，技术达到了可以焊制任何形状的钢管的水平。

线材：虽然已逐渐脱离了型钢的范畴，但如果作为一般钢材来认识的话，线材是很容易了解的。由于线材用于受拉构件，所以有一个向着高抗拉强度化的发展过程，这种钢材与轧制型钢搭配起来构成构件时，需要对它有一个深入了解。线材大致可分为直线材和曲线材。具有代表性的直线材有圆钢、拉杆、高强拉杆、预应力钢筋等。曲线材一般指钢丝绳、钢绞线、钢丝。至于索结构中的缆索则属于作为结构构件的称呼，其实就是钢丝绳和钢绞线。制作钢丝绳和钢绞线的最小组成单位就是高强度的钢丝。钢绞线有钢丝绞制的，也有平行集束的。钢丝绳是由钢绞线或者用钢丝绞制的钢索的总称，现有多股钢绞绳、螺旋钢绞绳和平行钢绞绳。多股钢绞绳是用钢绞线绞制的，而螺旋钢绞绳是以螺旋形绞绕钢丝的钢绞绳的总称。为了区别，将外层包有异形钢丝的平行钢绞绳称为密封钢丝绳。螺旋钢绞绳的绞线部分受拉时会出现拉伸变形，所以它的弹性模量不是直线，必须注意开始受拉时的表观弹性变形。平行钢丝绳中的钢丝是平行集束的，钢丝相互平行受力，所以抗拉强度和弹性模量都很稳定。

如能活用上述各种性质不同的型钢，就能做好“钢结构设计”的四分之一。怎样选用每个型钢的问题与如何将不同的型钢组合起来或复合起来应用的问题属于同等重要的问题。对于每一种型钢的全面了解是至关重要的。

[2]型钢的力学性能及截面几何特性

开口截面及闭合截面

前节中列举的型钢若按结构性质来分，大致可分为开口截面和闭合截面两大类。

H型钢为具有代表性的开口截面型钢，其特征如下。

①组成型钢的平板一律面朝外，便于与其他构件连接。

②构件楞角清晰，能显示出钢结构的鲜明轮廓。

③开口截面型钢沿两个轴方向的截面几何特性不同。就是说，使用时必须注意截面的朝向。

④对于受压构件来说，尽管强轴方向的屈曲抗力很高，但弱轴方向的屈曲抗力低，所以整个截面的屈曲抗力仍然较低。

⑤型钢都可以单独使用，但是，开口截面可以很方便地用两个截面组合成为组合构件。

另一方面，例如钢管等的闭合截面型钢，在截面形状上，恰好与开口截面具有相反的性质，列举如下。

①型钢只有一个表面露在外面，内侧是封闭的，与其他构件连接和进行内力传递时，要求特殊的连接节点。

②构件尺寸就是型钢尺寸。

③截面在各方向的截面特性相同。

④良好的抗压构件，有利于减少用钢量。

⑤由于截面是封闭的，适于单独使用，但很难实现由几个截面组成的组合截面。

⑥由于是封闭截面，必是高效率的抗扭构件。以上就是由型钢形状决定的基本性质。

截面几何特性

对于型钢来说的截面几何特性是指型钢自身的结构性能。一般，结构构件内产生的内力有弯曲、剪切、轴力、扭转四种。轴力又分拉力和压力，尽管都称为轴向力，但二者性质完全不同。

对于结构构件，问题在于如何承受这些内力，除此之外，还有如何控制变形量的问题。对于一般构件来说，需要考虑的变形有轴向变形和平面外变形及平面内变形，也就是

构件的三个正交轴方向的变形。

在型钢的产品目录上，纵向列有型钢截面形状及其尺寸，而横向开列的是截面几何特性(表2-1)。这些截面特性值与其构件的内力和变形值互相对应，所以了解它们的含意是很有用的。

●截面积 $A(\text{cm}^2)$ ：表中右侧紧靠截面尺寸的栏目中列有型钢的截面积。这是简单明确的几何特性，用该截面积乘以钢材的容许应力，即可求得这个构件的抗拉承载力(虎克定律)。例如， $H200 \times 200 \times 8 \times 12$ 的截面积 $A = 63.53$ ，而钢材 SM490 的屈服强度 $f = 3300\text{kgf/cm}^2 (\approx 330\text{MPa})$ ，若安全系数取为 1.5 时，则该构件的抗拉承载力 $T = A \times f / 1.5 = 63.53 \times 3.3 / 1.5 = 139.7\text{tf} (1369\text{kN})$ ，这样就求得了长期承载力。如果是简单拉伸构件，只要通过截面积相同的各种形状型钢的分析比较，就可以自由选用哪种型钢最适合手头正在设计的结构的总体形象，或者结构体系。就本例来说，表 2-1 中所列形状的型钢就是截面积差不多相同抗拉构件的事实即可不言而喻了。

截面面积相同的型钢可以找到 14 种(表 2-1)。如此简单的设计，市场上已预先准备好这么多的形状和尺寸的型钢的事实就不言而喻了。

此外，由截面面积 A 还可以知道，与轴向拉力相应的构件变形和拉伸长度。钢材具有稳定的弹性模量 ($E = 2100\text{tf/cm}^2, \approx 210000\text{MPa}$)，内力与伸长率呈正比例关系，举例来说，将 $100\text{tf} (\approx 1000\text{kN})$ 的拉力作用在由 H 型钢 $H200 \times 200 \times 8 \times 12$ 的构件上，构件的 $A = 63.53\text{cm}^2$ ，作用在构件内的应力 $\sigma = 100 / 63.53 = 1.57\text{tf/cm}^2 (\approx 157\text{MPa})$ ，相应的伸长率 $\epsilon = \sigma / E = 0.0007$ 。假设构件长度为 10m，则伸长量 $\Delta L = 0.0007 \times 1000\text{cm} = 0.7\text{cm}$ 。若长度为 20m，伸长量增大一倍，成为 1.4cm，由于保持正比例关系，很容易确定具体数值。可以利用截面面积 A 的选取来验证伸长量的比例关系。

●产品目录中，截面积 A 的右侧载有单位重量 $w(\text{kg/m})$ ，是截面积 A 与钢的容重 $\gamma = 7.85$ 相乘求得的，便于计算构件自重和估算用钢量，但不属于构件截面几何特性。

●单位重量 w 的右侧为截面惯性矩 $I(\text{cm}^4)$ 。这是一项与截面弯曲变形有关的数值， I_x 和 I_y 表示，变形方向不同，承载能力则不相同，由于强轴与弱轴差别很大，所以在构件设计时，就可以了解怎样安排型钢的朝向是正确的。对于开口截面来说， I_x 与 I_y 肯定具有不同数值，而闭合截面则数值相同。

受拉构件的截面惯性矩的数值越大，则弯曲变形值(挠度值)越小，呈简单的反比例关系。

●其次，它的右侧一栏是截面回转半径 $i(\text{cm})$ ，其数值与构件受压时的抗屈曲承载力有直接关系，在产品目录的表中也是重要数值。

手执橡皮条两端，拉长后，再放开，则恢复原状；若一个劲地往长拉，拉到发白的程度，放开后，不再回到原来长度。如果一直往长拉就会断掉。这个现象是一个初浅的力学问题，可以用虎克定律来说明。

此外，物体在压力作用下的话题稍微复杂一些，在两端用力压一根细长杆，发现用不大的力，杆就被折断了。对于压力，虎克定律就不成立了。从理论上确立这种屈曲现象的是瑞士数学家欧拉(1757年)。这一理论直到今天仍是结构设计上的重要理论，根据这一理论，受压构件的抗屈曲承载力与构件长度的平方成反比。就是说，构件长度增加2倍，则抗屈曲承载力下降 $1/4$ ；增加3倍，下降 $1/9$ 。

尤为重要的是，构件的抗屈曲承载力与构件的抗弯刚度成正比。表达构件抗弯刚度高低的指标，就是本栏中的截面回转半径 i 。当构件具有强轴和弱轴两个不同的轴时，必定向弱轴方向弯曲。例如H型钢，关于翼缘方向为强轴，而另一方向为弱轴，压力很小时，就会屈曲。像钢管一类的型钢，对任何一个方向的刚度都相同，所以，尽管截面积相同，但抗屈曲能力却很强。如果想知道各种型钢和形状的抗屈曲能力相差多少，只要用截面面积相等的型钢去比较，即可一目了然。表2-1中的截面回转半径一栏中列出了前边所举例子中的截面回转半径 i 的不同数值。

能够定量了解不同形状型钢的不同的截面惯性矩和抗屈曲承载力。槽钢和角钢只列出了 i 值，因为二个一组时， i_x 将随二者间距的不同而改变的缘故。如果反过来说，利用填入垫板使间距增大的办法可以在低于 i_x 的范围内自由调整组合构件的抗屈曲承载力。这也是组合构件的灵活之处。

由于构件的抗屈曲承载力取决于构件长度 L_k 和截面回转

表 2-1
截面面积相近的型钢承载力比较表

因为截面面积相等，所以抗拉承载力相等，但是，受压构件承载力由屈曲决定，所以，截面形状不同，承载力相差很大。即使是同一构件，抗拉与抗压承载力也大不相同。表中的容许压力为长5m的构件，两端受压时的数值。构件越短，承载力越大；构件越长，承载力越小。

	截面积	断面回转半径		容许拉力	容许压力	
	$A(\text{cm}^2)$	$i_x(\text{cm})$	$i_y(\text{cm})$	$T(\text{t})$	$f_c(\text{t/cm}^2)$	$C(\text{t})$
H-200×200×8×12	63.53	8.6	5.0	209.6	0.95	60.4
H-350×175×7×11	63.14	14.7	3.9	208.4	0.58	36.6
H-450×450×6×12	62.80	19.0	3.4	207.2	0.44	27.6
H-450×200×6×9	64.70	18.8	4.3	213.5	0.71	45.9
T-225×200×9×22	63.66	5.9	4.8	210.1	0.88	56.0
T-250×250×9×16	62.78	7.0	5.7	207.2	1.18	74.1
T-275×200×9×19	62.76	7.9	4.5	207.1	0.77	48.3
T-350×200×9×16	63.78	10.9	4.1	210.5	0.65	41.5
T-300×200×11×17	62.71	9.3	4.1	206.9	0.65	40.8
2C-200×80×7.5×11	62.66	15.6	4.4	206.8	0.74	46.4
2L-150×150×12	69.54	9.2	7.2	229.5	1.48	102.9
○-165.2×14.3	67.77	5.4	5.4	223.6	1.09	73.9
○-216.3×10.3	66.62	7.3		219.8	1.51	100.6
●φ90	63.58	2.2	2.2	209.8	0.18	11.4

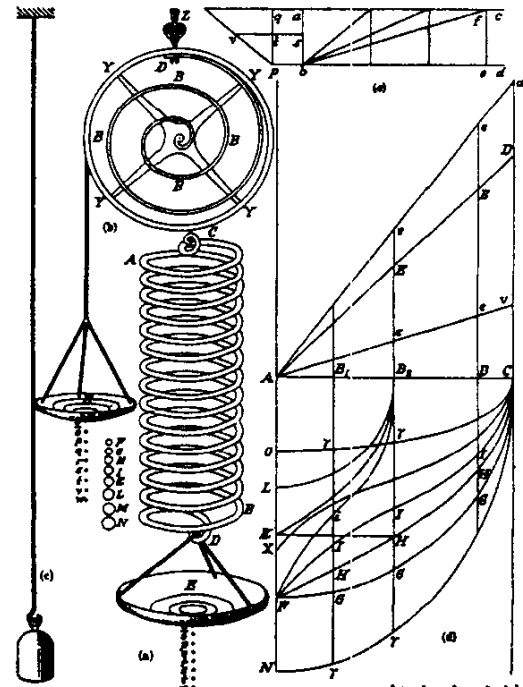
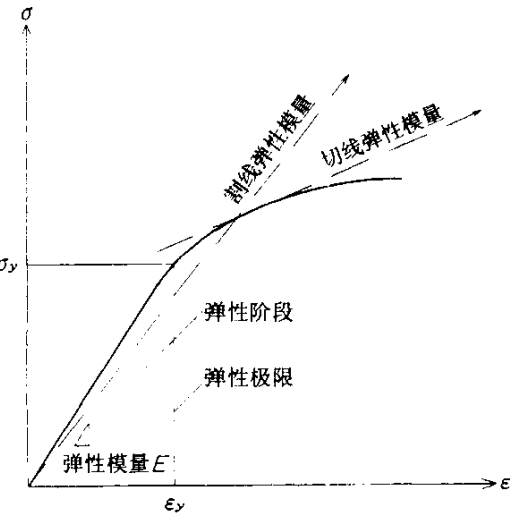
屈曲长度 $l_k=5\text{m}$ 时

图 2-2 虎克定律

虎克(Robart Hook, 1635~1703, 英国)通过对弹簧的研究，发现弹性体的应变与应力成正比。这个定律不仅是对弹簧，而是对金属、木、石、砖、毛发、角、绢、骨、肌肉等全部具有弹性的物体都进行过观察。

弹性模量

托马斯·扬(Thomas Young, 1773~1829, 英国)在虎克定律之后，提出应力—应变曲线上的任意一点的切线的斜率称为切线弹性模量，该点与坐标原点的连线的斜率则称为割线弹性模量，它们的总称，则定名为杨氏模量(弹性模量)。



虎克实验使用的器材