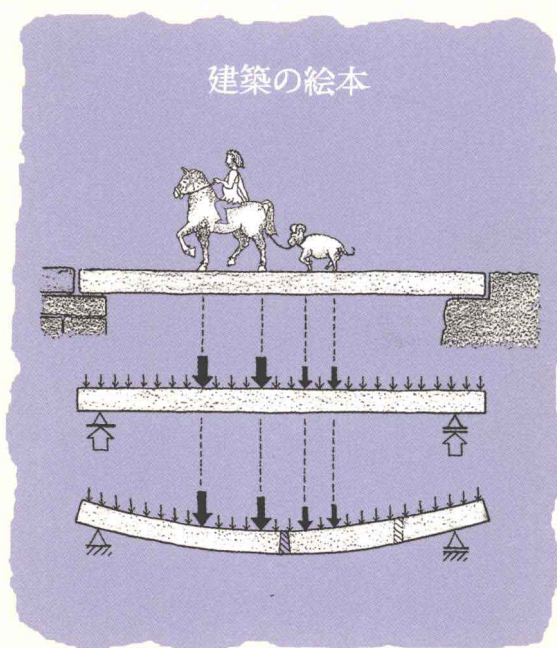


建筑结构的奥秘

力的传递与形式

[日] 川口卫 阿部优 松谷宥彦 川崎一雄 著
王小盾 陈志华 译



建筑结构的奥秘

力的传递与形式

【日】川口卫 阿部优 松谷宥彦 川崎一雄 著
王小盾 陈志华 译

清华大学出版社
北京

Japanese title: Kenchiku-Kouzou no Shikumi/Chikara no Nagare to Katachi(Kenchiku no Ehon)
by Mamoru Kawaguchi, Masaru Abe, Yuken Matsutani, Kazuo Kawasaki
Copyright © 1990 by Mamoru Kawaguchi, Masaru Abe, Yuken Matsutani, Kazuo Kawasaki
Original Japanese edition published by SHOKOKUSHA Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan

引进版图书版权登记号 图字: 01-2009-2961

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构的奥秘: 力的传递与形式 / (日) 川口卫等著; 王小盾, 陈志华译.
--北京: 清华大学出版社, 2012.6

ISBN 978-7-302-27871-9

I. ①建… II. ①川… ②王… ③陈… III. ①建筑结构 IV. ①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第007996号

责任编辑: 徐颖

装帧设计: 李文建

责任校对: 王凤芝

责任印制: 杨艳

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京天成印务有限责任公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 200mm×285mm 印 张: 9.25 字 数: 210千字

版 次: 2012年6月第1版 印 次: 2012年6月第1次印刷

印 数: 1~6000

定 价: 49.00 元

产品编号: 032158-01

目 录

译者序 003

前言 005

第 1 章

梁和柱 007

梁的理论及应用 008

梁承受的力 010

梁的材料及形状 011

梁的种类 012

梁的应用——桥梁 013

日本建筑中梁的原理 014

寺院建筑的屋顶结构 016

斗拱 017

屋架和挑檐木 018

法隆寺的屋檐及斗拱 019

梁和柱的结构 020

柱的作用与形状 021

装饰用梁、柱 022

虚梁、柱 023

用斜撑支承的屋檐 024

第 2 章

桁架 025

三角桁架的原理及应用 026

三角桁架的构思 028

三角桁架的例子 029

三角桁架的种类和力的传递 030

梁桁架的种类和力的传递 031

梁桁架的原理 032

从组合到分离——梁桁架的出现 033

梁桁架的发展 034

第 3 章

现代的桁架结构 036

框架结构 037

木框架结构 038

框架结构的原理 040

传统木结构的框架效果 041

现代建筑的框架结构 042

框架结构的作用 043

现代的框架结构 044

第 4 章

拱, 拱顶结构 045

砌筑拱的出现 046

砌筑拱的原理和应用 048

拱顶结构的发展 050

交叉拱 052

肋的造型 053

日本的拱结构 054

欧洲の木拱结构 056

铸铁拱 057

锻铁拱 058

钢铁拱 060

拱的造型——建筑 062

拱的造型——桥梁 064

第 5 章

穹顶, 壳 065

砌筑穹顶的产生与发展 066

大穹顶的典范——万神庙 068

穹隅和角拱 069

文艺复兴的先驱——佛罗伦萨大教堂 070

圣彼得大教堂——改建与科学手法运用的开始 071

现代的穹顶、壳结构 072

壳的形状与力流 074

壳体结构的经典尝试 076

寻求更加自由的形状 078

折板结构的原理与实例 080

折板结构的造型 082

第 6 章

空间网架 083

空间网架 084

网壳结构形式 086

网格穹顶 088

空间网架的节点 090

古典式空间网架 091

木结构的空间网架, 重复样式 092

第 7 章

索结构 093

索结构的产生与发展 094

索结构的原理——桥 096

近代的悬索桥 098

斜拉桥 099

悬索屋盖结构的产生与发展 100

悬索屋盖结构——各种组合方式 102

悬索屋盖结构的展开 104

拱与索进行组合——索拱结构 106

索拱结构的浪漫色彩 108

第 8 章

膜结构 109

向膜结构的挑战 110

充气膜结构的力学原理 112

充气膜结构的展开 114

非充气膜结构 116

第 9 章

塔 117

日本的塔 118

竞争高度的塔 120

宗教与塔 122

铁塔 123

塔式建筑的力和形状 124

参考文献 125

索引 129



译者序

《建筑结构的奥秘》一书是川口卫教授的重要著作之一，作者花费了大量的精力和时间，以图文并茂的方式深入浅出地揭示了建筑结构的本质和构成规律，总结了建筑结构，特别是大跨度结构的发展历史，使人对建筑结构的學習产生浓厚的兴趣和探索意愿，是一本不可多得的建筑结构专业书籍，不仅对专业研究工作者提供了参考，也能帮助非专业人员对建筑结构的知識加深理解。

川口卫教授先后两次共三届担任国际薄壳与空间结构学会主席，担任亚洲创新性建筑学会主席和日本空间结构学会主席等。川口卫教授在科研领域成果卓著，出版多部论著，发表了大量高水平学术论文，拥有发明专利17项，原创设计了大量结构工程经典作品，成为当代著名的结构设计大师和结构艺术家。川口卫教授的代表性设计作品为1964年日本东京奥运会主场馆代代木体育馆、1992年西班牙奥运会主场馆和新加坡国立体育馆等。川口卫教授发明了世界著名的攀达穹顶工法，先后用于神户纪念堂、福井太阳穹顶、新加坡国立体育馆、奈良大会堂、浪速穹顶、巴塞罗那圣乔地体育馆、日本储煤仓和西班牙斗牛场等重要建筑中，大规模地提高了施工效率，体现了现代建筑结构的精髓和技术水平。

本书的翻译稿得到了留日博士贺明玄教授级高级工程师认真仔细的校对审核，在部分建筑用语上得到了天津大学建筑学院徐苏斌教授的指导，天津大学建工学院钢结构研究所硕士生陈坤（现日本东京大学博士生）参与了大量的翻译工作，硕士生白晶晶、刘燕燕参与了本书的译校工作，译者在此一并表示感谢。

前 言

本书从结构力学与结构设计的观点出发，对建筑的形式进行了阐述。

在建筑领域中，结构扮演着两个重要角色。首先是要保证建筑的安全。建筑物需要抵御地震和台风的作用，为了使建筑物能够充分发挥其应有的功能，结构方面的知识和技术是必不可少的。

结构扮演的另外一个重要角色是对于建筑美学的贡献。建筑与雕塑不同，由于它是规模较大的实体，通常建筑物不可能像雕塑那样随心所欲地表现作者所期望的造型，而仅能实现与其所承受力的大小及力的作用原理相适应的造型。当然，也有通过直接或者间接展示结构中力的传递原理手法来实现建筑特有的优美造型的实例。

力与建筑造型之间的相互依存关系一直备受关注。本书旨在把力与造型之间的这种关系用浅显易懂的方式描述出来。

本书由川口和阿部编写，插图由松谷和川崎完成。

本书也适合有兴趣的初中、高中生阅读，对于建筑、结构方面的专家若通过阅读本书在某种程度上感到耐人寻味，有所收获，作者将不胜荣幸。

作者在执笔本书时参考了大量资料，为避免与同类书产生雷同倾向，作者尽力通过自己的思想和见解进行阐述。此外，对于已往涉足较少的部分日本传统建筑也进行了积极的考察，试图对先人们的技术与思想进行更深刻的理解。

希望本书能够被广大读者所喜爱，并且有助于对建筑和结构的理解。

川口卫

1989年12月

第 1 章 梁和柱

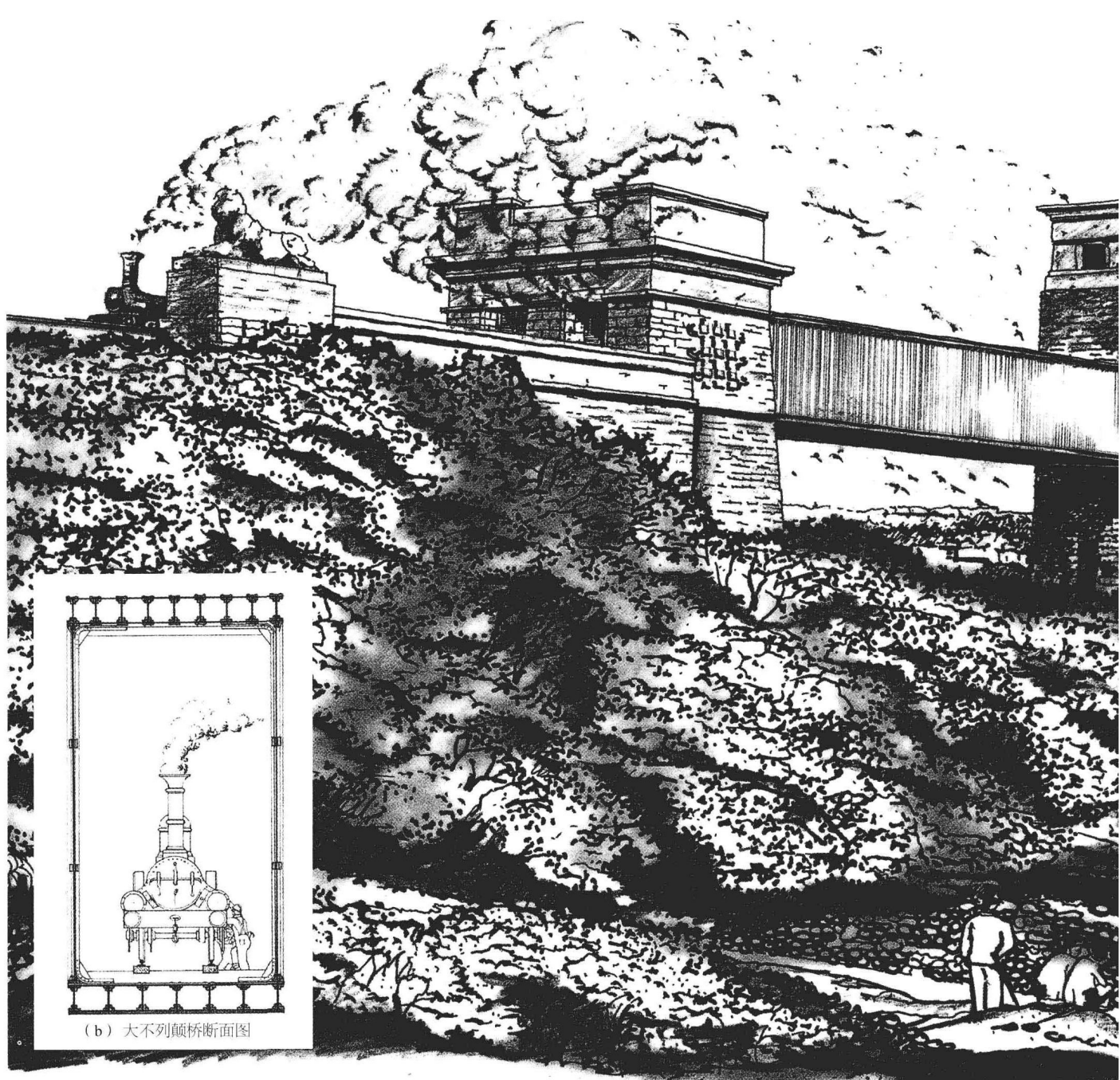
要想跨越一段距离时，最简单的方法就是将粗棒状的物体横置于两个支点之间。这种方法，我们的祖先恐怕在几万年前就已经知道了。在他们的原始生活中被风刮倒的树木偶然横跨在小河上，被当作圆木桥使用。从而将此方法作为渡河和跨越山谷的手段。

横架（水平放置）于支点之间的棒状物称为梁。梁是现代建筑以及桥梁结构中应用最广泛的构件之一。

为了把梁架设在一定高度上，就要借助于柱子。柱子是将棒状物竖直放置用来支承荷重的一种构件。柱子与梁都具有悠久的历史，也是现代建筑结构中使用最为普遍的一种构件。



图 1.1 被风刮倒的独木桥



(b) 大不列颠桥断面图

梁的理论及应用

梁是最简单的结构体系。但是，人们在很久以前并不能够全面细致地掌握梁的受力情况。有关梁强度的科学研究是在17世纪前半叶，由伽利略开始的。其后，经过了反复的尝试、发现问题，大约在19世纪中叶，才大致了解了梁内部的力和变形情况。关于这方面的研究，主要是以擅长数学的法国学者及技术人员为中心进行的，在其他地区，研究相对迟缓。特别是英国，尽管通过产业革命向世界展示了其先进工业的发展，在当时却没有能够直接运用梁的理论进行设计的技术人员和科学工作者。1843年，罗伯特·斯蒂文生（乔治·斯蒂文生的儿子）开始寻求在跨度为

400m的美那依海峡上建造可通行列车的大桥，即大不列颠桥[图1.2(a)]。幸运的是，到19世纪前半叶为止，一直使用的脆性铸铁在结构领域基本不使用了。取而代之被广泛使用的是延性很好的锻铁板，这在蒸汽装置的高压锅炉等中也是不可缺少的。斯蒂文生在得到熟知锻铁性质的造船工程师菲尔贝尔和材料力学专家荷吉金森的帮助后，开始了这座铁路桥的设计与研究。最初斯蒂文生考虑将此桥设计成索链桥（悬索桥的一种，参照94页），桥的重量由索链承担，用恰好可嵌入列车的箱形梁（箱形截面的梁，参照截面图）来防止易引起晃动的悬索桥的变形。往返

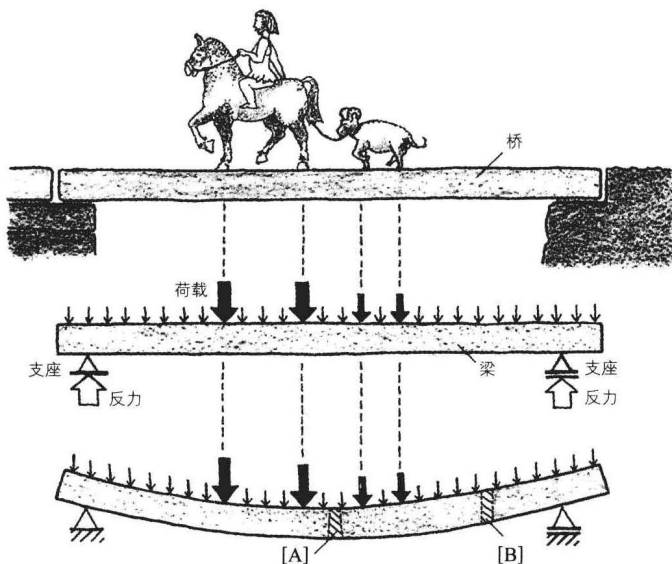


图 1.2 (a) 大不列颠桥

两道桥身独立结构并列放置在相同的桥台上。箱形梁的上下两面作为抵抗弯曲应力的翼缘（参照下一页之后的内容），并开始将此应用于当时的船体结构。制作出带有坚固隔板的双层结构，其侧壁作为抵抗剪力的腹板，采用角钢加固的铁板。材料全部采用锻铁板，连接处使用铆钉。

对于梁的性质，斯蒂文生和他的同伴们在没有充分掌握理论背景的情况下，制作了1/6缩尺的模型，采用实验为主的方法，逐渐积累设计所需的知识。根据一系列实验，得知此箱形梁的刚度要大于预想刚度，作为独立的结构能够用于铁路桥，于是终止了采

用索链进行悬吊桥梁的初始计划。因那时桥塔已根据所设定的高度施工完成，所以桥塔的形状就保留了下来。因此，此桥的3座桥塔，在结构上被描述为“无用的高塔”，但幸运的是，在造型上还看不出不太自然。假如在塔顶从一对小窗口向其他桥塔眺望，试着想象连接桥塔的索链群飘浮在空中、描绘成抛物线形的曲线幻象，也是一种乐趣（参照第7章克里夫顿桥的形态）。大不列颠桥直到1970年发生火灾不能使用为止，120多年间一直作为铁道桥使用。



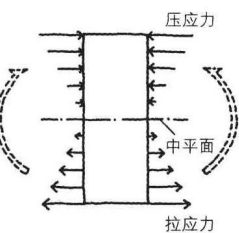
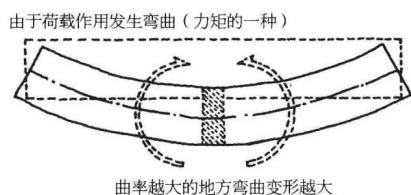
(a) 现实中的桥

(b) 梁的受力特性（考虑梁的自重荷载）

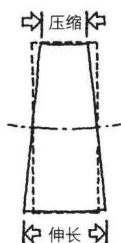
(c) 梁的变形

图 1.3 梁的力与变形

[A] 处发生弯曲变形



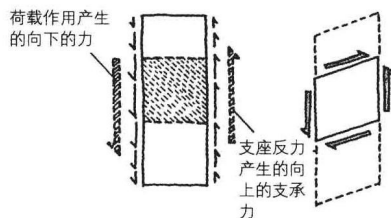
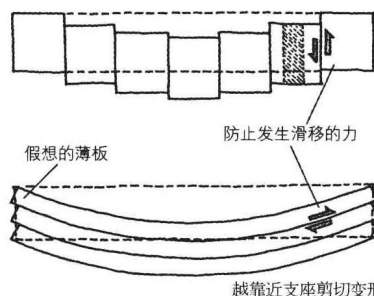
(a) 弯曲应力



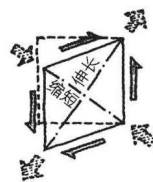
(b) 弯曲变形

图 1.4 弯曲应力和弯曲变形

[B] 处发生剪切变形



(a) 剪应力



(b) 剪切变形

图 1.5 剪应力和剪切变形

梁承受的力

在地球上，无论是过桥的人、动物还是桥体本身，都要受到垂直向下的重力的作用。作用在结构（此处为桥）上的力称为“荷载”。当然也有风力作用的水平荷载。当考虑结构物内部产生的力（应力）和结构本身的变形时，可认为荷载作用在无重量的结构上。也可将结构物自身的重量（自重）当作荷载来考虑。在支座处产生与荷载相平衡的反力（参照图1.3）。

梁的变形分为“弯曲变形”和“剪切变形”。

弯曲变形是指梁的一侧伸长，另一侧缩短的变形。产生此类变形是因为梁截面的一侧受拉应力，而另一侧受压应力作用的结果。这种应力被称为弯曲应力。梁截面的中间为无伸缩的面（中和轴）。弯曲应

力大小与距中和轴的距离成正比例增大（参照图1.4）。

此外，试想沿梁长将梁垂直切成几个部分，各个部分因荷载作用将会向下滑动。我们发现，向下滑动部分与相邻部分之间的垂直截面上存在着支承应力作用。这种应力被称为“剪应力”。同时，还可以将梁在水平方向切分成薄板，当各薄板都能够发生自由伸缩时，很容易得知，各部分将会沿着薄板面滑动。而梁作为一个整体，不会产生这种滑动，于是沿着薄板面必然存在着应力。这种应力也称为“剪应力”。如此，剪应力是纵向和横向的一对应力，作用于梁的各个部分。因此，在梁中正方形单元上，剪切变形就是欲使正方形变成菱形的变形（参照图1.5）。

梁的材料及形状

弯曲应力与距中和轴的距离成比例增大，制作梁时，在离中和轴较远的地方布置的材料效率高。考虑上述因素，钢梁等在工厂里生产的构件在梁的上下边缘设置抵抗弯曲应力的部分（称之为翼缘），上下翼缘的连接部分（腹板）用来抵抗剪力（图1.6）。对于钢筋混凝土梁，为弥补混凝土抗压性能强而受拉性能弱的特点，需要在混凝土中有效地布置钢筋。

为抵抗弯曲产生的拉应力，在梁的长度方向布置的钢筋被称为“主筋”。主筋尽可能布置在距中和轴较远的位置（图中的下端）。在梁的支座附近会产生较大的剪力。为抵抗剪力，沿梁长度方向按一定间隔布置“箍筋”。钢筋混凝土梁常因弯曲拉应力而出现开裂（弯曲裂缝）。另外，如果剪力非常大，会产生

“剪切裂缝”。因为剪切变形为菱形变形，梁会沿着伸长端对角线方向发生变形，导致混凝土发生断裂，产生斜裂缝（参照图1.7）。为了消除混凝土抗拉性能差的缺点可以采用预应力混凝土。预应力混凝土梁是在混凝土梁中贯穿高强度张拉钢筋，通过对其施加较大的张拉力并锚固后，在混凝土梁中，沿长度方向会产生较大的压应力（预应力）。梁处于此种状态时，即使梁受弯，只要弯曲产生的拉应力小于预应力值，梁中就不会产生弯曲裂缝。这种预应力混凝土梁与普通钢筋混凝土梁相比，不仅截面效率更高，而且经过一定时间之后性能也不会降低。因此，在桥梁和大跨度建筑物中广泛采用预应力钢筋混凝土梁（参照图1.8）。

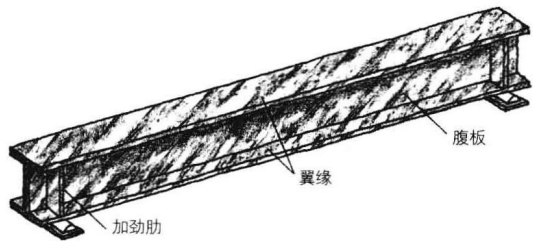
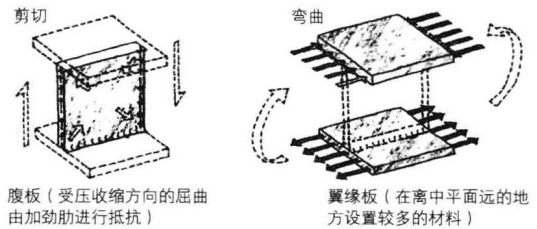


图 1.6 (a) 钢梁



(b) 钢结构的受力原理

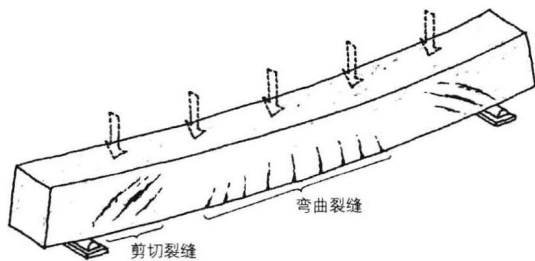
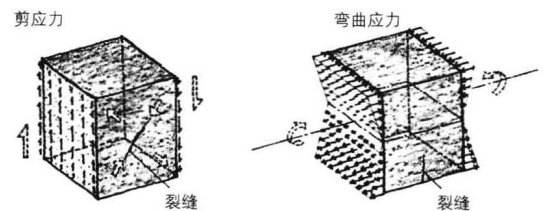
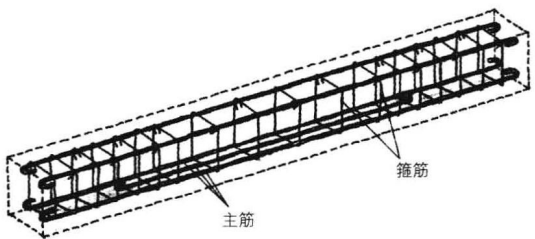


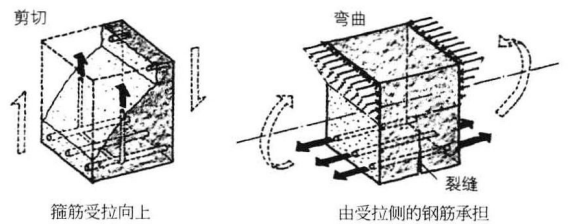
图 1.7 (a) 钢筋混凝土梁



(c) 混凝土的应力



(b) 配筋



(d) 钢筋混凝土的受力原理

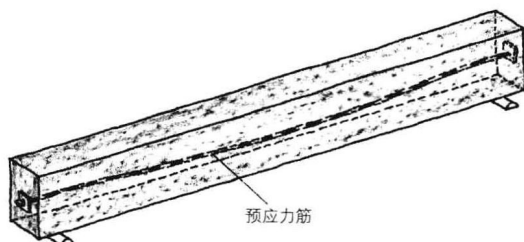
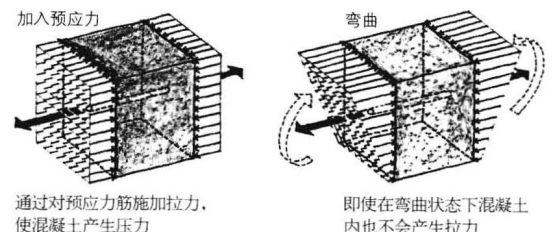


图 1.8 (a) 预应力混凝土梁



(b) 采用预应力抗弯的原理