

图解建筑结构： 模式、体系与设计

Building Structures Illustrated:
Patterns, Systems, and Design

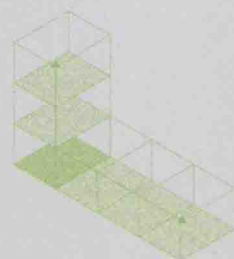
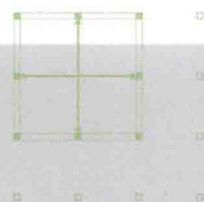
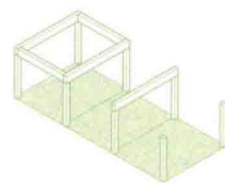
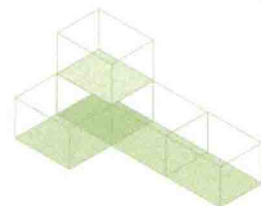
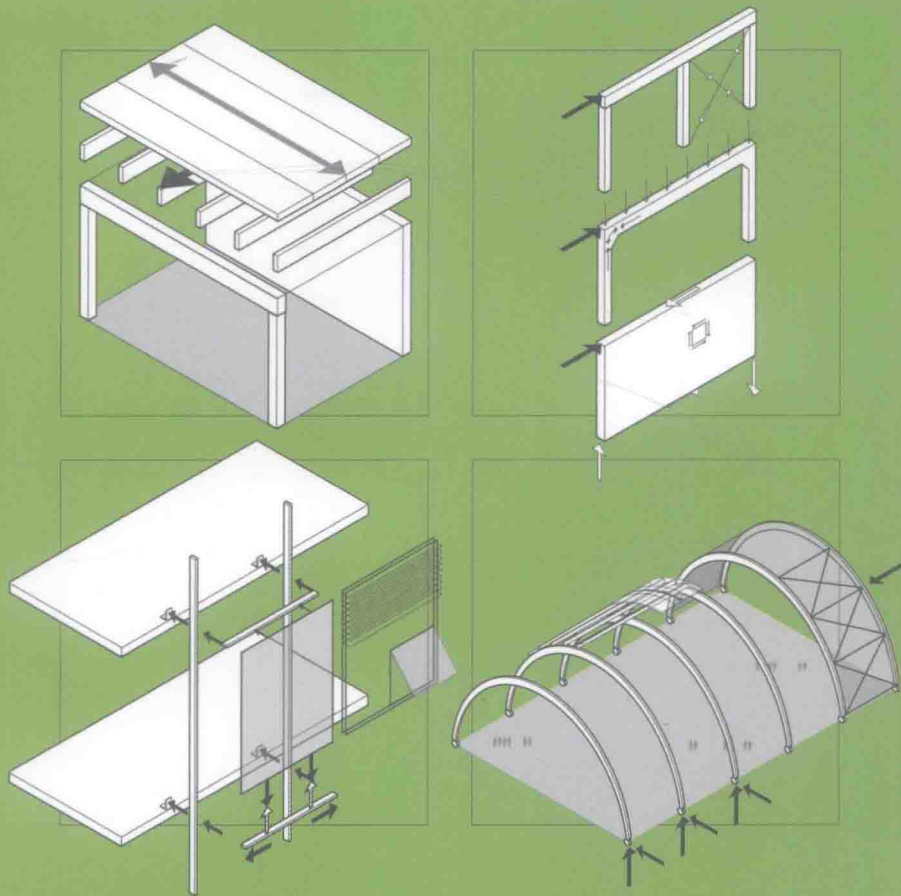
程大金 | Francis Dai-Kam Ching

巴里·S. 奥诺伊 | Barry S. Onouye

道格拉斯·祖贝比勒 | Douglas Zuberbuhler

张宇 陈艳妍 译

著



WILEY

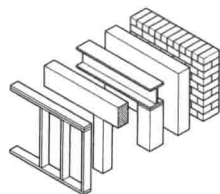
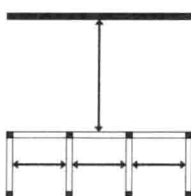
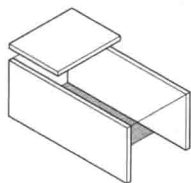
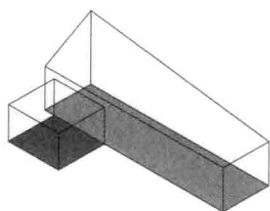


天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

全国高等学校建筑学学科专业指导委员会推荐教学参考书

图解建筑结构： 模式、体系与设计

Building Structures Illustrated:
Patterns, Systems, and Design



程大金 | Francis Dai-Kam Ching

巴里·S. 奥诺伊 | Barry S. Onouye

著

道格拉斯·祖贝比勒 | Douglas Zuberbuhler

张宇 陈艳妍 译

WILEY



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design by Francis
D.K.Ching, Barry S.Onouye and Douglas Zuberbuhler
Copyright © 2009 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.
Simplified Chinese edition copyright © 2015 Tianjin University Press

天津市版权局著作权合同登记图字 02-2009-8 号

本书中文简体字版由约翰·威利父子公司授权天津大学出版社独家出版。

图书在版编目 (CIP) 数据

图解建筑结构: 模式、体系与设计 / (美) 程大金, (美) 奥诺伊,
(美) 祖贝比勒著; 张宇, 陈艳妍译 — 天津: 天津大学出版社, 2015.1
ISBN 978-7-5618-5256-9

I . ①图 ... II . ①程 ... ②奥 ... ③祖 ... ④张 ... ⑤陈 ... III . ①建
筑结构 — 图解 IV . ① H314

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 017177 号

出版发行	天津大学出版社
出 版 人	杨欢
地 址	天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编: 300072)
电 话	发行部: 022-27403647
网 址	publish.tju.edu.cn
印 刷	北京信彩瑞禾印刷厂
经 销	全国各地新华书店
开 本	210mm×285mm
印 张	19.5
字 数	379 千
版 次	2015 年 2 月第 1 版
印 次	2015 年 2 月第 1 次
定 价	70.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 烦请向我社发行部分联系调换。

版权所有 侵权必究

图解建筑结构： 模式、体系与设计

Building Structures Illustrated:
Patterns, Systems, and Design

Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design

Preface to Chinese Edition

I am extremely grateful to Liu Daxin of the Tianjin University Press for again offering me the opportunity to address architecture and design students and faculty in the People's Republic of China through his publication of my works. At the same time special thanks go to Mr.Zhang yu and Ms.Chen yanyan of Southwest Jiaotong University, for their expert and sympathetic translation of my text.

Following on *Architecture: Form, Space and Order*, *Interior Design Illustrated* and *Architectural Graphics*, *Building Structures Illustrated* provides a clear and straightforward guide to understanding how building structures can be seen to be systems of interrelated parts for creating and supporting the habitable environments we call architecture. As with all of my works, the illustrations are instrumental in illuminating the ideas and concepts described in the text. I am privileged and honored to be able to offer this text and I hope it not only teaches but also inspires the reader to achieve the highest success in their future endeavors!

Francis Dai-Kam Ching
Professor Emeritus
University of Washington
Seattle, Washington
USA

图解建筑结构： 模式、体系与设计

中文版序言

衷心感谢天津大学出版社刘大馨编辑出版我的作品，再次让我有机会向中国建筑与设计专业的学生传授知识。同时，特别感谢西南交通大学的张宇、陈艳妍两位译者精准专业的中文翻译。

继《建筑：形式、空间和秩序》《图解室内设计》和《建筑绘图》之后，《图解建筑结构》为理解建筑结构提供了清晰直观的指导，建筑结构是由相互紧密联系的不同组成部分构成的多个系统，它们共同创造并支撑着我们称之为“建筑”的居住环境。本书继续秉承我著书的一贯风格，还是将插图作为图解阐释书稿文字内容的介质工具。我很荣幸地奉献此书，并且期盼它不仅仅服务于教学目的，而且能够激励读者通过自己未来的努力，取得最大的成功！

程大金
华盛顿大学荣誉教授
华盛顿州，西雅图
美国

序 言

已有许多卓有声誉的著作探讨到建筑结构问题，有的聚焦于静力学与材料强度，有的则涉及对结构部件（诸如梁、柱）进行设计及分解研究，还有的话题延伸到某些特殊结构材料。对从业者来说，关键是要通晓不同荷载条件下结构单件的性能表现，还要有能力遴选、掌握和塑造适合的结构材料及其连接方式。读读者不难获取这些宝贵知识资源，故本书转而专注于：建筑结构如何由各局部组成一整合体系，以此生成并维持大家习称为“建筑学”（architecture）的适居环境。

本书的首要特色在于它是从整体上来把握建筑结构的。一开始简要回顾了结构体系怎样一路演化而来，随之讨论了结构模式概念以及这些支撑和横跨模式如何维系及强化建筑设计构想。全书的核心部分是剖析那些水平跨件和竖向支撑体系，正是它们庇护了我们的日常活动，并对外形和空间的垂直维度起作用。接下来转而讨论并回顾了一些关键方面：侧向力和静力、大跨结构的独特性质、高层结构的当前法则。书中末章对结构和其他建筑系统的整合作了简短而重要的回顾。

本书有意识避免以一种精确的数学方法来探讨建筑结构，与此同时，本书并未忽视那些支配着结构单件、组件及体系性能的基本原则。为了更好地起到指导初步设计过程的作用，本书讨论中伴有大量图解，以告知及导引读者，使他们了解结构模式是如何渗入到某个设计构思中的，甚而或可启发这方面更多的想法。

本书作者希望，这本有丰富图解的著作可用作学生及青年执业者设计时的案头资料，帮助他们认识到结构体系是设计、营造过程中关键而不可分的一环。

公制换算

国际单位制是世界公认的一套计量进位单位系统，采用米、千克、秒、安培、开（尔文）、坎（德拉）分别作为长度、质量、时间、电流、温度、发光强度的基本单位。为加强读者对国际单位制的认识，本书全文中将贯穿公制换算，其转换如下：

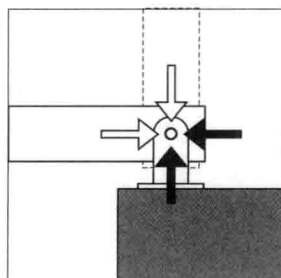
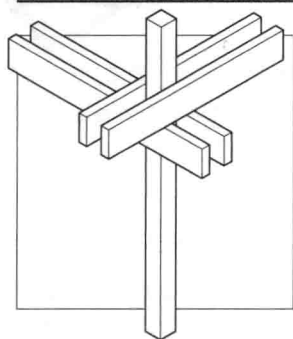
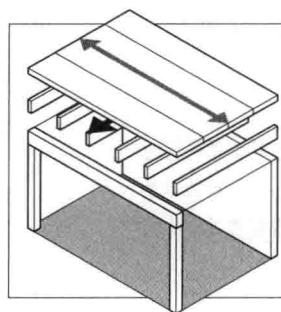
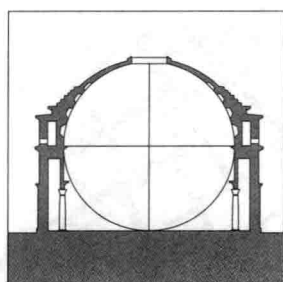
- 括号内所有数目字皆表示毫米单位，除非另加注明；
- 大于等于 3 英寸的尺寸换算成毫米数时，尾数就近约整到 0 或 5；
- 注释：3847 毫米 = 3.847 米；
- 在其他情况下，将指明公制度量单位。

目 录

中文版序言 Preface For Chinese Edition	VI
序言 Preface	VII
1 建筑结构 Building Structures	1
2 结构模式 Structural Patterns	39
3 水平跨件 Horizontal Spans	81
4 竖向维度 Vertical Dimensions	135
5 侧向稳定 Lateral Stability	179
6 大跨结构 Long-Span Structures	217
7 高层结构 High-Rise Structures	249
8 系统整合 Systems Integration	273
参考书目 Bibliography	303

1 建筑结构

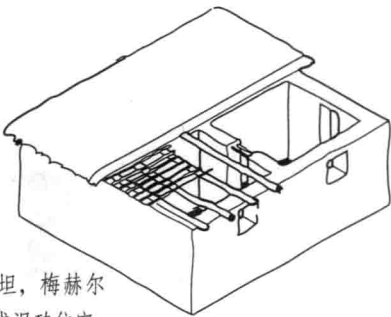
Building Structures



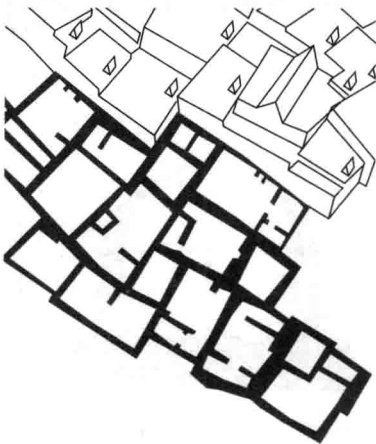
建筑，亦即我们在大小用地上所建可居的相对耐久构筑物，在历史流程中从枝条、泥砖、石头构筑的简陋棚屋发展为更复杂精巧的今日混凝土、钢与玻璃构筑物。在建筑技术的这种演进中，保持始终如一的是结构体系中一些持久不变的形式，凭借它们方可经受住地心引力、风力以及时不时的地震。

我们可将“结构体系”定义为由各构件组成的一套稳定组件，它被设计、建造出来，以一个整体来发挥支撑作用，并将外加荷载安全地传递到地面，而不过各结构单元所容许的应力。尽管随着技术和文化进步，结构体系的种种形式、材料已有演化发展（且不提由不计其数的失败建造中得到的经验教训），但它们仍旧是所有建筑实体的基本要素，不论建筑的尺度、环境、功用为何。

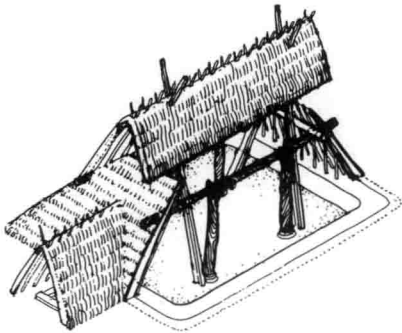
下文作有扼要的历史纵览，图解了结构体系的历时发展，从最初尝试满足人们蔽日晒、遮风雨的基本需求，到跨度更大、高度更高、复杂程度日增的现代建筑。



公元前 6500 年：巴基斯坦，梅赫尔格尔（Mehrgarh）。隔间式泥砖住宅。



公元前 7500 年：安纳托利亚，分叉泥丘（Catal Hüyük）。泥砖住宅，内墙涂以灰泥。



公元前 5000 年：中国半坡遗址。地穴式住宅，以粗柱子支撑屋顶。

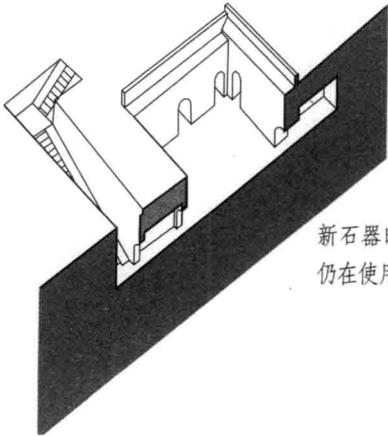
公元前 5000 年

青铜时代

新石器时代发端于约公元前 8500 年农耕的出现，又随着约公元前 3500 年金属器具的发展而过渡到早期青铜时代。以洞穴遮蔽、栖居的时间已存在了数千年，并继而发展为一种建筑形式，有的将自然洞穴简单扩展为凿出的神庙、教堂，有的则在山体的某一面中凿就整座城镇。

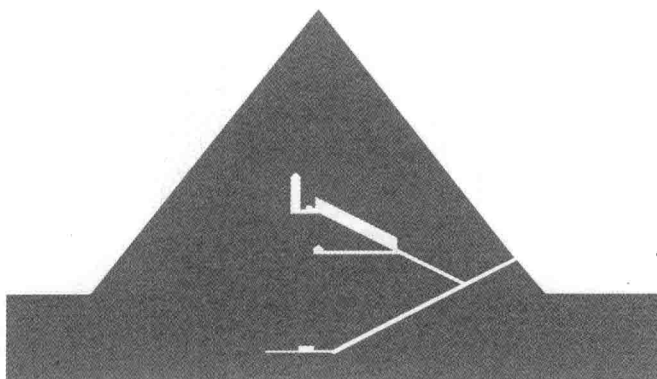


公元前 9000 年：土耳其，哥贝克力山丘（Göbekli Tepe）。世界上现知最早的石制神庙。



新石器时代：中国陕北，穴居 [译注：即窑洞]，今天仍在使用的。

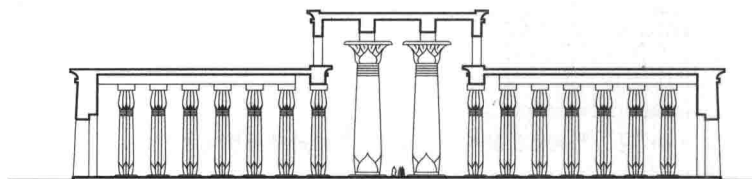
公元前 3400 年：苏美尔人开始使用砖窑。



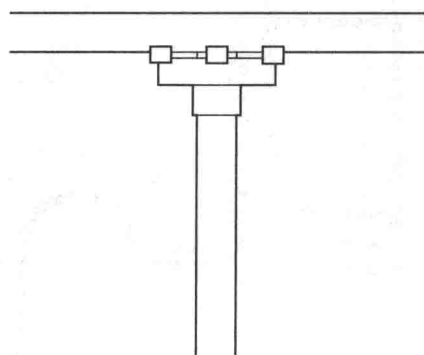
公元前 2500 年：埃及，胡夫大金字塔。
这一石砌金字塔直至 19 世纪时还是世界
上最高的构筑物。



公元前 2600 年：印度河流域，哈拉帕（Harappa）
与摩亨—佐达罗（Mohenjo-daro），今巴基斯坦和
印度一带。烘烤砖块所砌的托梁拱圈。



公元前 1500 年：埃及，卡纳克（Karnak）的阿蒙神庙。
大柱厅（Hypostyle Hall）为横梁式（即柱—梁式）石
砌建筑的主要实例。

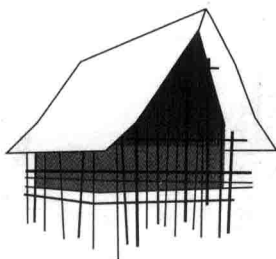


公元前 12 世纪：周代建筑。柱头上的托臂支架（斗拱）
支撑着出挑的屋檐。

公元前 2500 年

公元前 1000 年 铁器时代

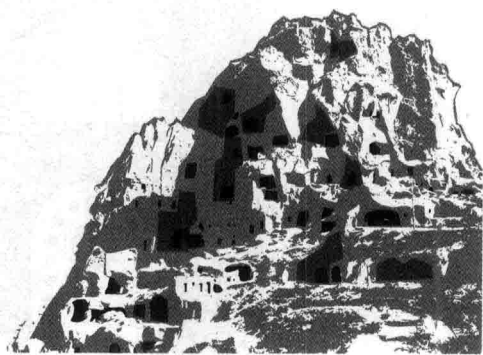
虽然穴居在全世界各地以各种形式持续下来，然而大多数建筑是通过把材料组装起来而创建的，由此限定空间，为遮风避雨、家庭活动及纪念活动提供空间，并彰显意义。早期的住屋由未剥皮的木材框架构成，辅以泥砖墙和茅草屋顶。有时候也在土中挖掘地穴，以提供额外的温暖与保护；另一些时候，住居则被建立在高脚柱上，以便在温热、潮湿气候下通风，抑或架于河湖滨岸之上。将厚重大木作为结构性墙体框架和屋顶跨梁的做法随后继续得到发展，历经推敲改进，尤其是在中国、朝鲜、日本的建筑中。



公元前 3000 年：斯堪的纳维亚，阿尔瓦斯特拉（Alvastra）。建于高脚柱上的住屋。

公元前 3000 年：埃及人将麦秆与泥土混合，
以黏合焙干的砖块。

公元前 1500 年：埃及人加工
熔融的玻璃。

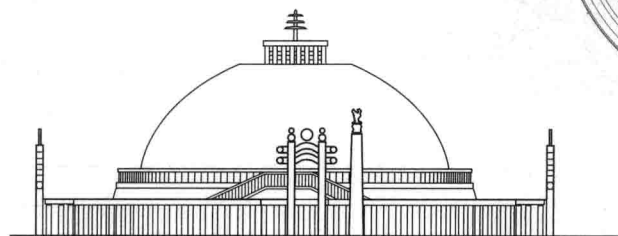
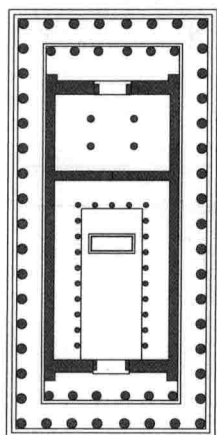


公元前 1000 年：安纳托利亚，卡帕多西亚（Cappadocia）。广泛挖掘的洞穴构
作了住宅、教堂、修道院。

公元前 1350 年：商代（中国）形成
了高级铸铜技术。



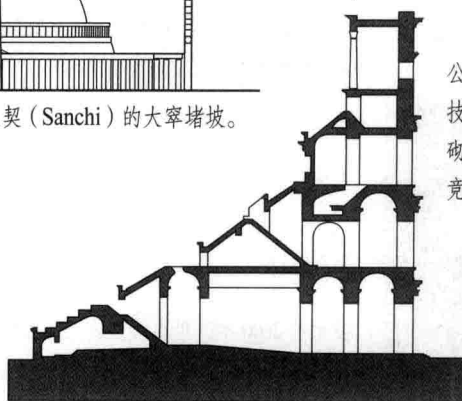
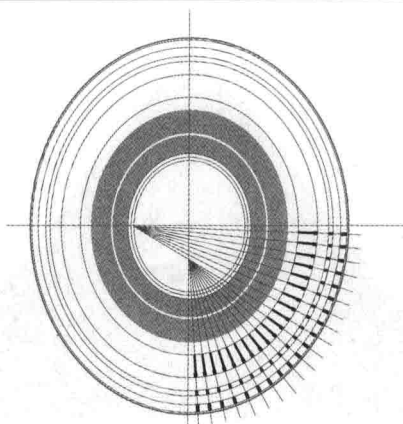
公元前 447 年：雅典帕提农神庙。这一雅典娜的神庙被认为是多立克柱式的典范。



公元前 3 世纪：印度，桑契（Sanchi）的大窣堵坡。石凿佛教庙宇。



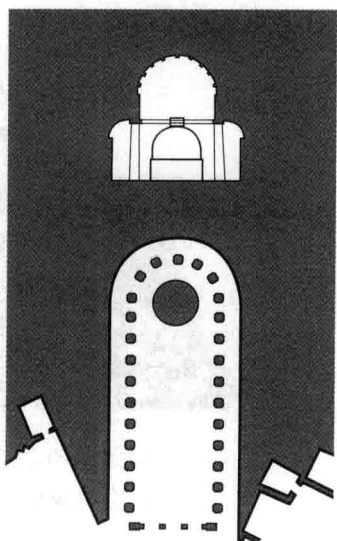
公元前 4 世纪：伊特鲁里亚人（Etruscan）发明出砖拱和砖拱顶。意大利佩鲁贾的美丽门（Porta Pulchra）。



公元 70 年：罗马竞技场。砖与混凝土砌筑的石贴面圆形竞技场。

公元前 500 年

公元元年



公元前 200 年：印度。佛教、耆那教、印度教的大量洞穴建筑实例。

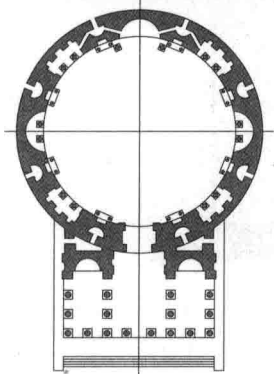
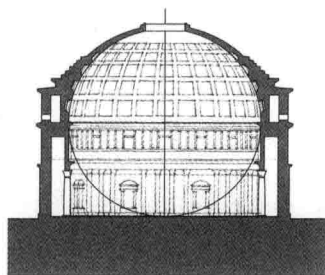


公元前 10 年：约旦，佩特拉（Petra）。其宫殿式陵墓系一半新建而成，另一半在岩石中凿出。

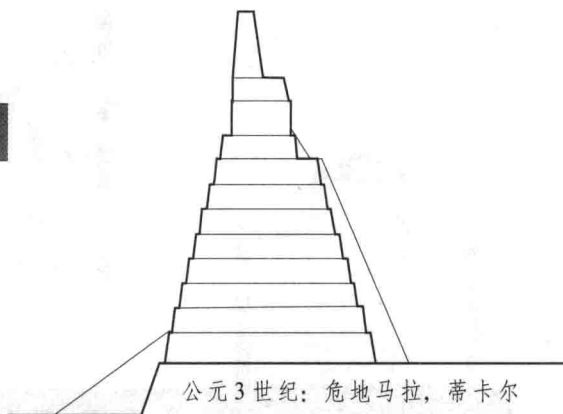
公元前 5 世纪：中国人铸铁。

公元前 4 世纪：巴比伦人和亚述人用沥青来黏合砖石。

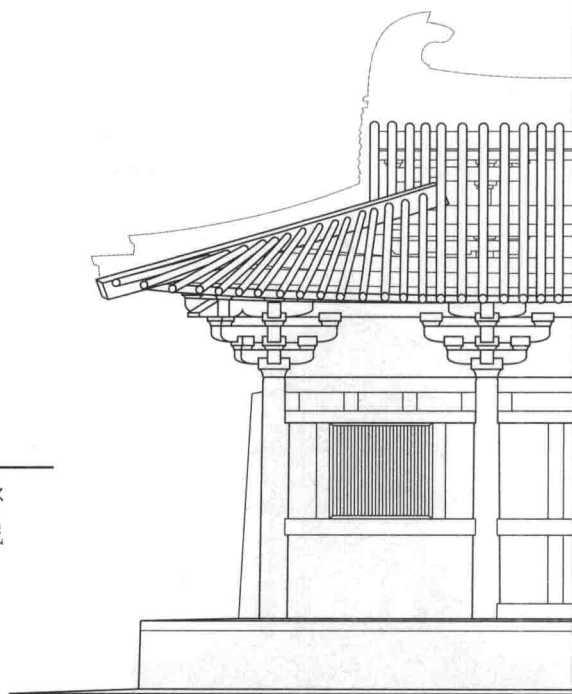
公元前 3 世纪：罗马人用凝硬性的火山灰水泥制造混凝土。



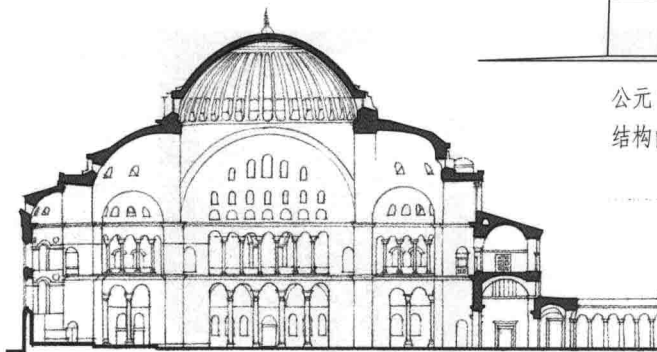
公元125年：罗马万神庙。其格子状混凝土穹顶直至18世纪时，还是世界上最大的穹顶。



公元3世纪：危地马拉，蒂卡尔（Tikal）。由石头金字塔与宫殿构成的玛雅人城市。

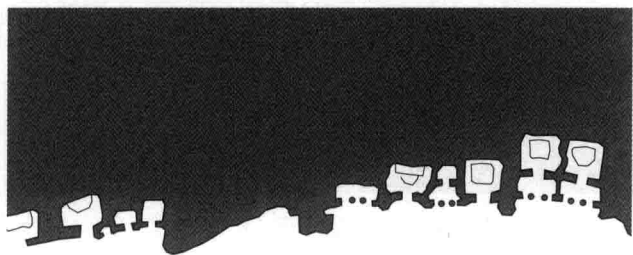


公元7世纪：唐朝建筑。抗震的大木结构由柱、梁、檩及众多斗拱组成。



公元800年

公元532—537年：伊斯坦布尔，圣索菲亚大教堂。中央穹顶展开为交叉拱顶，由此从圆形穹顶过渡到方形平面。混凝土被用于建造拱顶及较低处的拱。



公元460年：中国云冈石窟。在砂岩峭壁上凿就的佛寺。

公元2世纪：中国发明纸。

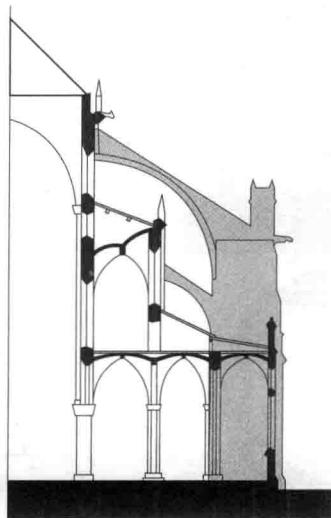
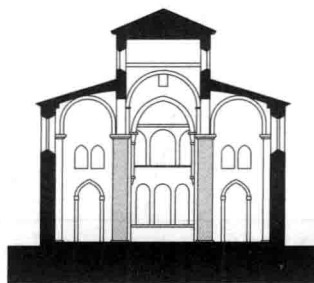


公元752年：奈良东大寺。该佛寺是世界上最大的木构建筑。现今所见的重修模样只及最初寺庙规模的三分之二。

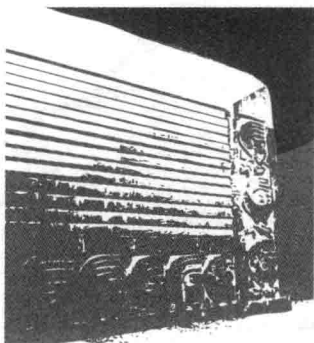
11 世纪：法国图尔尼（Tournus），圣·菲利贝尔修道院（Abbey Church of St-Philibert）。未加装饰的圆柱超过 4 英尺（1.2 米）粗，它支撑着开阔而明亮的中厅。



1056 年：中国，释迦塔 [译注：即应县木塔]。世界上现存最古老的木塔，也是最高的木建筑，高达 220 英尺（67.3 米）。



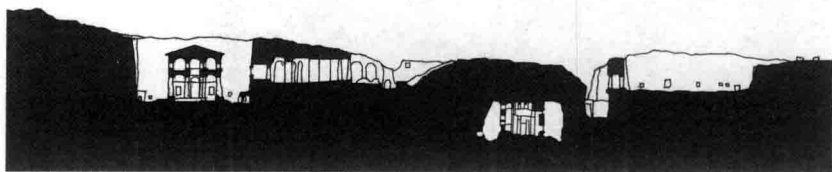
1163—1250 年：巴黎圣母院。琢石结构（cut stone structure）采用了室外飞扶壁，以将向外和向下的推力从屋顶或拱顶传递到某个坚固的扶壁上。



1100 年：秘鲁，昌昌（Chan Chan）。城堡墙壁为泥砖砌成，灰泥覆盖。

公元 900 年

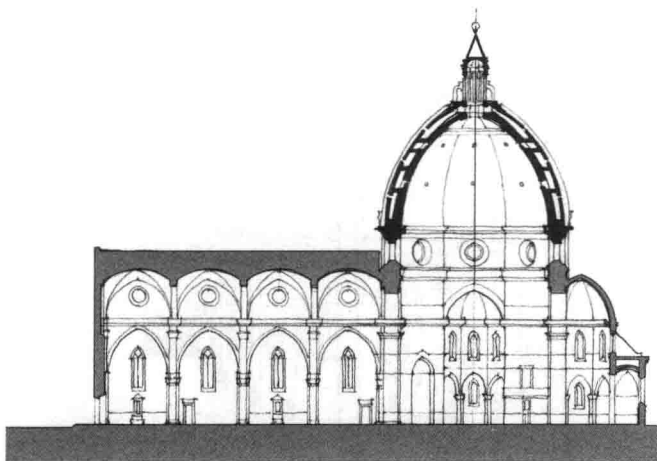
在有石材可用的地方，一开始是用它建造防御性的壁垒以及用作承重墙，来支撑木跨梁所承的楼板和屋顶。砖石拱顶和穹顶引导高度提升，跨度增大，而尖拱、簇柱、飞扶壁的出现使得更轻盈、更开敞的石骨架结构得以产生。



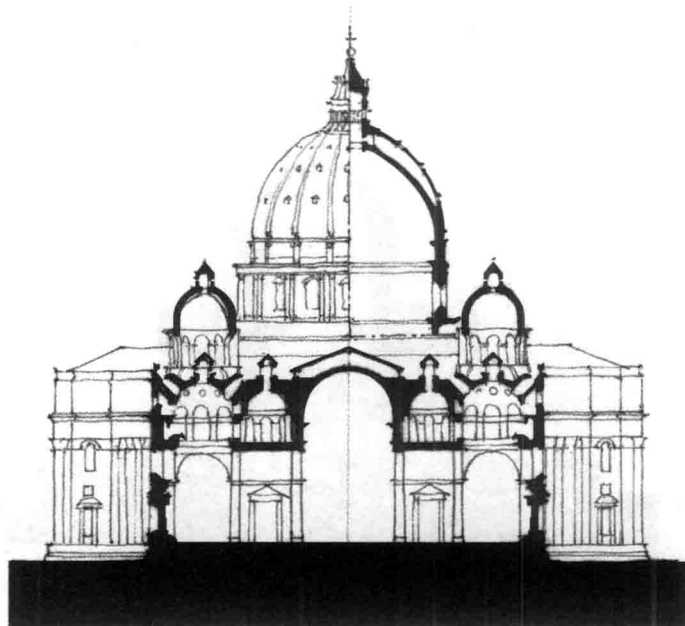
1100 年：埃塞俄比亚，拉利贝拉（Lalibela）。由整块石料凿出的教堂古迹。

1170 年：欧洲生产铸铁。

15 世纪：菲利波·伯鲁内列斯基（Filippo Brunelleschi，1377—1446，意大利建筑师）提出了直线透视法理论。



13 世纪：意大利佛罗伦萨大教堂（Cathedral of Florence）。菲利波·伯鲁内列斯基设计出双壁穹顶，坐落在鼓座上，以使其能够不必从地上立脚手架就可建造。

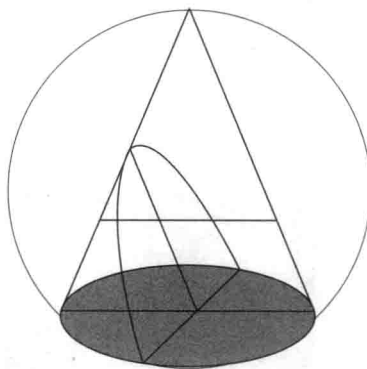


1506—1615 年：罗马圣彼得大教堂，多纳托·伯拉孟特（Donato Bramante, 1444—1514, 意大利建筑师）、米开朗琪罗（Michelangelo, 1475—1564, 意大利艺术家）、贾科莫·德拉·博尔塔（Giacomo della Porta, 1533—1602, 意大利建筑师）设计。直到最近仍是世界上已建的最大教堂，占地面积 5.7 英亩（23000 平方米）。

公元 1400 年

早在公元 6 世纪，伊斯坦布尔的圣索菲亚大教堂主拱廊就已加入铁条，以作连接拉杆。在中世纪和文艺复兴时期，铁既被用作装饰部件，也被用作结构部件，例如暗榫和连接杆，以加固砖石结构。不过，直到 18 世纪新的生产方法的出现，生铁和熟铁才得以大量生产，作为结构材料用在火车站、市场大厅及其他公共建筑的骨架结构上。石墙、石柱的厚重体量转变为钢铁框架，给人更轻盈的印象。

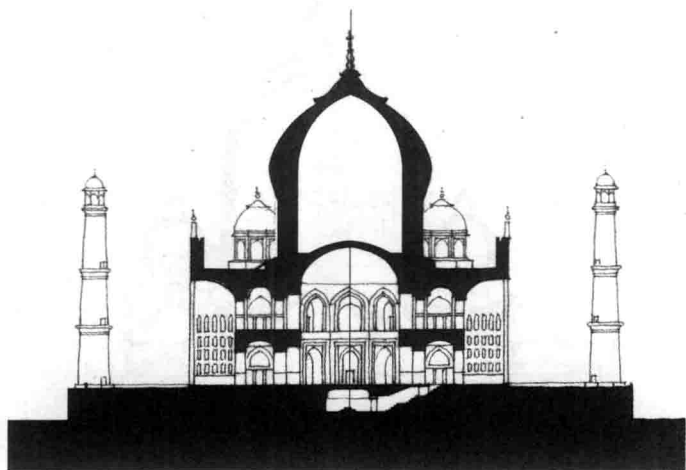
公元 1600 年



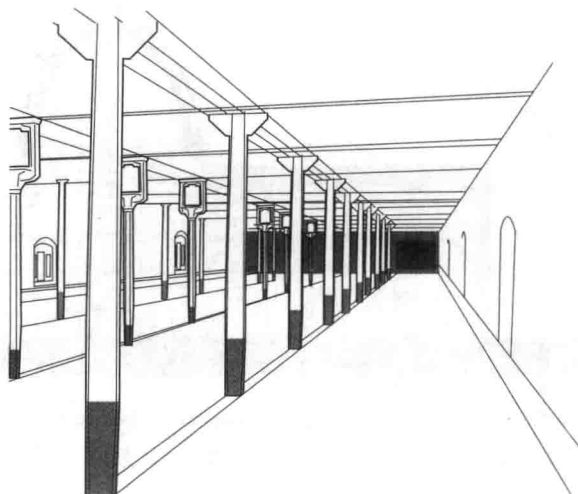
1638 年：伽利略（Galileo Galilei, 1564—1642, 意大利物理学家）出版了他的最后一部著作《论两门新科学》（*The Discourses and Mathematical Demonstrations Relating to Two New Sciences*），其所指两门新科学即材料强度和物体运动。

16 世纪早期：鼓风炉可以大量生产生铁。

1687 年：伊萨克·牛顿（Isaac Newton, 1643—1727, 英国物理学家）出版了《自然哲学的数学原理》（*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*），书中描述了万有引力和三大运动定律，奠定了经典力学的基础。



1653年：印度阿格拉（Agra），泰姬陵。艾哈迈德·拉合尔（Ahmad Lahauri，17世纪波斯建筑师）设计。这一标志性的白色穹顶大理石陵墓是莫卧尔王朝皇帝沙贾汗（Shah Jahan，1592—1666）为纪念爱妃姬曼·玛哈（Mumtaz Mahal，1593—1631）而建造的。

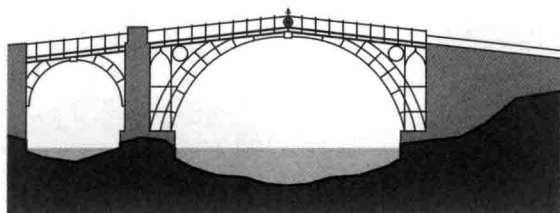


1797年：迪塞灵顿亚麻纺织厂（Ditherington Flax Mill），英格兰舒兹伯利（Shrewsbury）。威廉·斯特拉特（William Strutt，1756—1830，英国纺织工）设计。世界上最古老的钢架建筑，有着生铁梁柱结构框架。

1700 年

18世纪晚期和19世纪早期：工业革命在农业、制造业、交通上带来了重大变化，改变了英国及世界其他地方的社会经济与文化风气。

1711年：亚伯拉罕·达比（Abraham Darby，1678—1717，英国工业革命家）生产出高质量的铁，由焦炭冶炼，由砂模具铸造。



1735年：夏尔·玛丽·德·拉·孔达米纳（Charles Marie de la Condamine，1701—1774，法国探险家）在南美发现橡胶。

1738年：丹尼尔·伯努利（Daniel Bernoulli，1700—1782，瑞士物理学家）将液体流动与压力联系起来。

1800 年

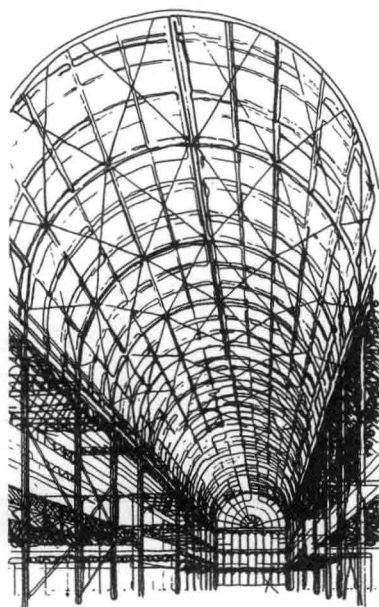
在19世纪早期，中央供暖被广泛采用，此时，工业革命促使工业建筑、居住建筑、服务建筑规模的扩大。

1777—1779年：英格兰煤溪谷铁桥（Iron Bridge at Coalbrookdale）。托马斯·法罗斯·普里查德（Thomas Farnolls Pritchard，1723—1777，英国建筑师）设计。

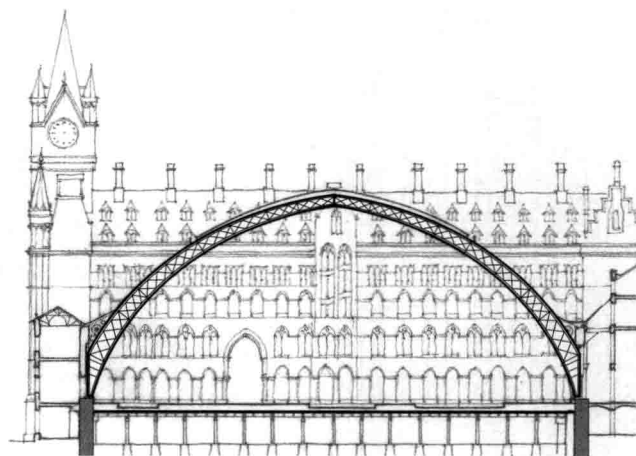
1801年：托马斯·杨（Thomas Young，1773—1829，英国学者）研究了弹性，并以其名字来命名弹性模量〔译注：称“杨氏模量”（Young's modulus）〕。

1778年：约瑟夫·布拉默（Joseph Bramah，1748—1814，英国发明家）取得了带抽水马桶的实用厕所之专利。

1779年：布里·希金斯（Bry Higgins，1741—1818，爱尔兰化学家）取得了可供室外涂刷的水凝水泥之专利。



1851年：伦敦海德公园水晶宫，约瑟夫·帕克斯顿（Joseph Paxton, 1803—1865, 英国园艺家）设计。熟铁和玻璃的预制件被组装起来，建成了990000平方英尺（91974平方米）的展览空间。



1868年：伦敦圣·潘克拉斯火车站（St. Pancras Station），威廉·亨利·巴洛（William Henry Barlow, 1812—1902, 英国铁路工程师）设计。桁构拱结构及楼板层下的横拉杆可承抵向外的推力。

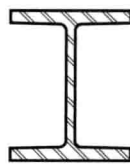
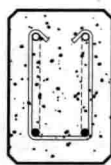
1860年

有证据表明，几千年以前中国人已用石灰和火山灰的混合物来建造陕西的金字塔群[译注：指咸阳五陵塬，有西汉9个皇帝的陵墓]，但罗马人采用凝硬性火山灰制造的混凝土更像由硅酸盐水泥制成的现代混凝土。1824年由约瑟夫·阿斯普丁（Joseph Aspdin, 1778—1855, 英国水泥制造商）提出了硅酸盐水泥的配方，1848年由约瑟夫—路易·朗波（Joseph-Louis Lambot, 1814—1887, 法国水泥发明家）发明了钢筋混凝土，这促进了混凝土在建筑结构上的应用。

1824年：约瑟夫·阿斯普丁取得了硅酸盐水泥制品的专利。

1827年：乔治·西蒙·欧姆（George Simon Ohm, 1789—1854, 德国物理学家）用公式表述出电流、电压、电阻相关联的定律。

炼钢的现代纪元则始于1856年，亨利·贝塞麦（Henry Bessemer, 1813—1898, 英国工程师）描述了一种相对廉价的大量产钢法。



1850年：亨利·沃特曼（Henry Waterman）发明升降机。

1853年：伊莱沙·格雷夫斯·奥的斯（Elisha Graves Otis, 1811—1861, 美国工业家）推出了电梯安全系统，以防止缆绳破损时梯厢跌落。第一部奥的斯乘客电梯于1857年在纽约安装。

1855年：亚历山大·帕克斯（Alexander Parkes, 1813—1890, 英国冶金学家）取得了赛璐珞的专利，这是第一种合成塑胶材料。

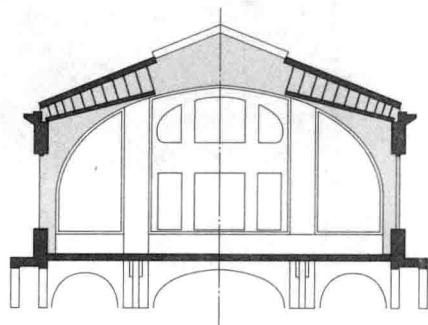
1867年：约瑟夫·莫尼耶（Joseph Monier, 1823—1906, 法国园艺学家）取得了钢筋混凝土的专利。



1884年：芝加哥家庭保险大楼，威廉·勒·巴隆·詹尼（William Le Baron Jenney, 1832—1907, 美国建筑师）设计。10层的钢与生铁结构框架承载了楼板与外墙的大部分重量。



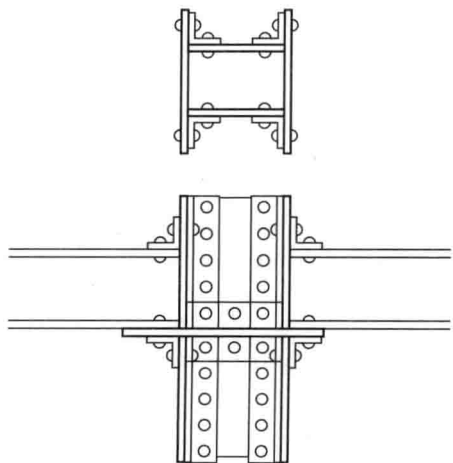
1889年：巴黎埃菲尔铁塔，亚历山大·古斯塔夫·埃菲尔（Alexandre Gustave Eiffel, 1832—1923, 法国工程师）设计。铁塔取代了美国华盛顿纪念碑，成为世界上最高的构筑物，这一头衔一直保持到1930年纽约克莱斯勒大厦建成。



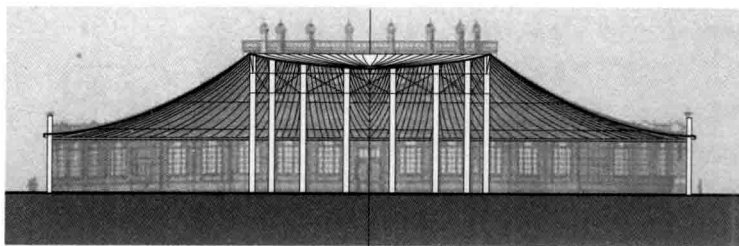
1898年：法国盖布维莱尔（Gebweiler）的公共游泳馆，爱德华·朱布林（Eduard Züblin, 1850—1916, 法国工程师）设计。钢筋混凝土屋面拱顶由五个刚性框架组成，框架两两之间跨以薄板。

1875 年

1900 年



1881年：夏尔·路易·斯特罗贝尔（Charles Louis Strobel, 1852—1936, 美国工程师）规范化了轧制熟铁截面及铆固结点。



1896年：全俄工业及艺术展的圆厅展馆，下诺夫哥罗德，弗拉基米尔·舒霍夫（Vladimir Shukhov, 1853—1939, 俄国工程师）设计。世界上第一座钢拉结构建筑。