

# 绪 论



PPT0-1

我们的祖先早在 1000 多年以前就开始利用石材、木材建造复杂的建筑物。比如：西安大雁塔建于唐代，塔身全部采用砖石材料，如图 0-1 所示；山西应县佛光寺的木塔建于辽代，为木结构楼阁式塔身，总高超过 67 m，经过十几次大地震，木塔仍安然无恙，如图 0-2 所示。随着生产力的不断发展，现代化建筑物层出不穷，比如：我国第一座独立自主建造的现代化桥梁——南京长江大桥，形式优美、设计先进的上海卢浦大桥，北京的国家体育场——鸟巢，现今亚洲最高的建筑——上海环球金融中心等现代化建筑物见证了我国建筑业在新材料、新结构、新技术方面的迅猛发展，如图 0-3(a)~(d)所示。但这些建筑工程的设计与施工，都离不开“建筑力学”课程的基本知识。



图 0-1 西安大雁塔

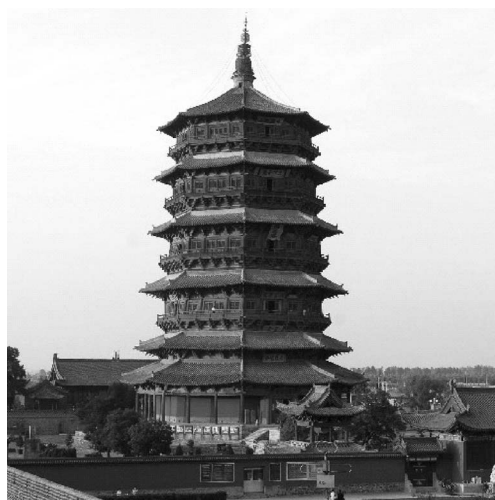
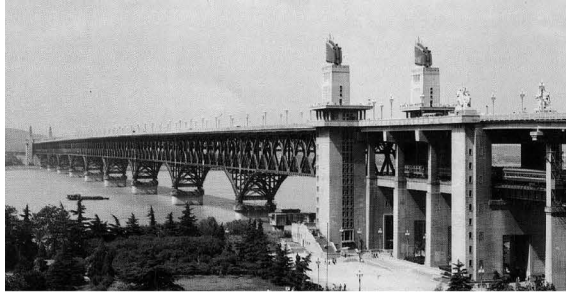
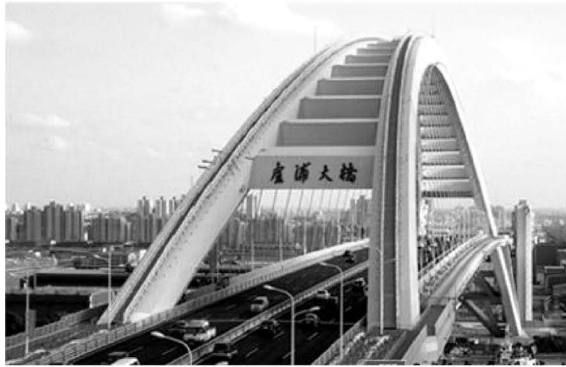


图 0-2 山西应县木塔

“建筑力学”是对建筑物进行力学分析和计算的一门学科。一个合理的建筑物在建造之前，设计人员将对其进行受力分析和力学计算，从而保证建筑物的经济性和安全性。经济性是指用的材料节省，易于建造，生产成本低廉等；安全性是指长时间使用不易损坏。另外，读者通过学习“建筑力学”这门课程，能够解决建筑物设计和施工中所遇到的很多受力问题。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 0-3 我国的一些现代化建筑

(a) 南京长江大桥; (b) 上海卢浦大桥; (c) 北京的国家体育场——鸟巢; (d) 上海环球金融中心

## 0.1 建筑力学研究的对象和任务

建筑力学研究的对象为建筑工程的结构与构件。建筑物一般都是由板、梁、墙(或柱)、基础等构件组成的,这种构件互相连接、互相支承,合理地构成各种形式的平面或空间体系,能承受荷载、维持平衡,并起到建筑物的骨架作用。这种骨架称为建筑工程的结构,简称结构。图 0-4 所示的房屋楼板、主梁、次梁、柱、基础等构成的体系,称为房屋的结构。而构成结构的零部件称为构件。如图 0-4 所示房屋结构中的主梁、次梁、柱等皆为构件。

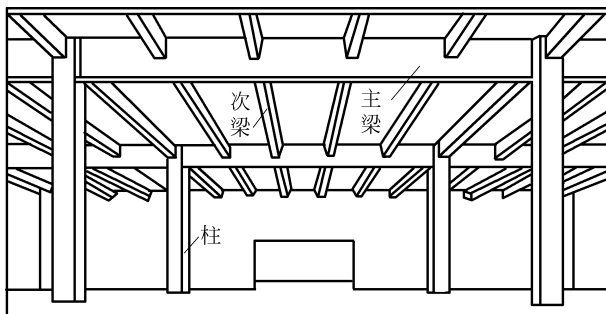


图 0-4 房屋结构图

建筑工程的结构与构件在施工或使用期间会受到各种力的作用,如建筑物顶部的积雪重力,楼板上的人群、家具、设备重力以及本身的重力,墙上承受楼面传来的压力和风力,基础则承受墙身传来的压力,等等。这些主动作用在建筑物上的力在建筑工程中称为荷载。荷载作用在构件上,会引起周围物体对它的反作用力,比如:一根受荷载作用的梁搭在柱子上会受到柱子对梁的支持力。这样任何一个构件在设计时都需要分析它们受到哪些荷载的作用以及周围物体对它有哪些反作用力,并分析计算构件上力的大小和方向。

另外,当构件受到上述各种力的作用时会发生变形,存在破坏的可能,因此,要求结构或构件都必须具有抵抗外部作用的能力。根据工程要求,构件首先不能发生破坏,因此在设计结构构件时,必须保证它具有足够的抵抗破坏的能力,即具有足够的强度。在有些情况下,还要求构件在荷载等因素作用下不能产生较大的变形。例如屋盖中的檩条,如变形过大会造成屋面漏水;再如工业厂房楼面变形过大会使加工的工业产品质量不合格等。因此,在设计时除需要构件具有足够的强度外,还要具有足够的抵抗变形的能力,使变形的量值不超过工程所允许的范围,即具有足够的刚度。此外,像柱子之类的受压杆件,如果比较细长,当压力达到某一定值时将会突然变弯再不能保持它原有的直线状态而发生破坏,这种现象叫压杆失去稳定性,简称失稳。因此,设计压杆或其他受压结构时必须保证其具有保持原有平衡状态的能力,即具有足够的稳定性。构件的强度、刚度和稳定性,统称为构件的承载能力。

为了保证构件具有足够的承载能力,往往需要选用优质材料或较大的构件横截面尺寸。但任意选用优质材料或过大的横截面又会造成浪费。建筑结构应当以最经济的代价,获得最大的承载能力。提高构件或结构的承载能力,并不意味着只有增大横截面尺寸才能达到。例如,用一张硬纸片,一端固定,另一端放一个砝码,如图 0-5(a)所示,将会看到:硬纸片因承受不了砝码的重力而发生很大的变形,最后造成破坏;若把纸片折成 W 形,它不仅



0-1

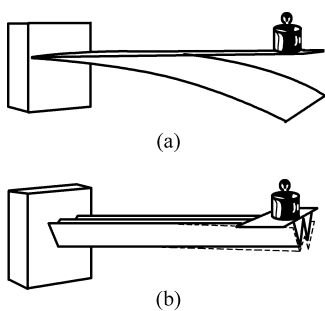


图 0-5 构件的承载能力

承受该砝码的重力,而且变形很小,如图 0-5(b)所示。可见构件的承载能力不但与材料的力学性质和截面尺寸有关,还与构件的横截面形状有关。而建筑结构的承载能力,不仅与组成结构的单个构件有关,还与各构件间的连接方式有关。不同的连接方式会形成不同的结构形式,而不同的结构形式则具有不同的力学特性和承载能力。

综上所述,建筑力学的主要任务是研究构件(或结构)的受力情况和构件(或结构)的承载能力,以保证建筑结构的安全性和经济性。



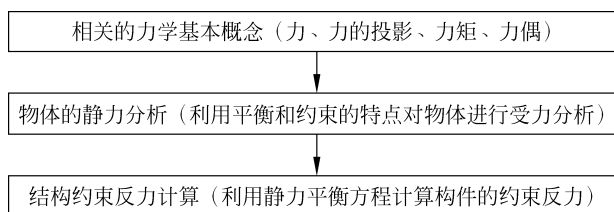
0-2

## 0.2 建筑力学的主要内容

建筑力学应用于工程实际,直接为发展生产力服务,它研究的正是建筑工程实际问题。本着“实用”和“少而精”的原则,本书安排了三篇内容。

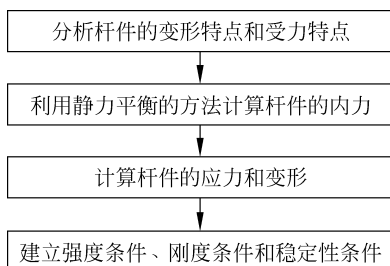
力学基础。本篇研究的主要问题是结构中各构件及构件之间作用力的问题。因为在正常情况下,建筑结构或构件相对于地球是静止的,工程上称为平衡状态。建筑结构或构件处于平衡状态时作用在它上面的力是有条件的,这些条件称为平衡条件。因此构件上所受到的各种力都要符合使物体保持平衡状态的条件,利用平衡条件可以确定作用力的大小和方向。本篇的重点是以研究力之间的平衡关系为主题,并将它应用到结构的受力分析中。

学习思路为:



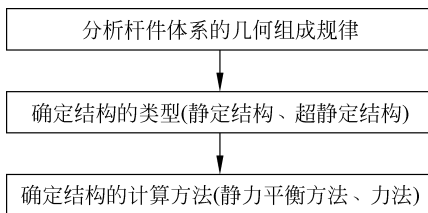
承载能力。本篇研究的主要问题是杆件的强度、刚度和稳定性,又统称为构件的承载能力。首先研究杆件在外力作用下会产生什么样的变形规律、内力分布规律以及应力分布规律,分析得到构件的强度条件、刚度条件和稳定性条件,并为设计既安全又经济的构件选择适当的材料、截面形状和尺寸,从而掌握构件承载能力的计算。本篇的重点是研究构件的承载能力,保证建筑物正常、安全地工作。

学习思路为:



结构的受力分析。本篇研究的主要问题是以杆件体系作为研究对象讨论其承载能力。首先研究平面杆件结构的几何组成规律,保证各个部分不致发生相对运动,并在荷载的作用下维持平衡。然后研究分析不同形式的杆件体系的内力和变形情况,为工程设计提供分析方法和计算公式,为结构的承载能力计算打下基础。结构的受力分析包括静定结构受力分析和超静定结构受力分析。

学习思路如下:



## 0.3 建筑力学的基本研究方法

### 1. 受力分析法

建筑结构或构件上受力都是比较复杂的。在对其进行力学计算前,一定要弄清哪些是已知力,哪些是未知力,这些力之间存在什么内在联系,根据计算需要画出结构或构件的受力图,这一分析过程叫作物体的受力分析。掌握这一分析方法十分重要,它是解决各种力学问题的前提,如果这一步错了,那么以后一切计算皆是错。

### 2. 平衡条件分析法

平衡条件是指物体处于平衡状态时,作用在物体上的力系所应满足的条件。我们知道,如果一个物体或物系处于平衡状态,那么它所截取的任一部分都处于平衡状态。因此,当要计算物体所受的未知力时,可以去掉外部约束,取出隔离体,画出隔离体的受力图,利用平衡条件计算未知的约束力,这种方法称为隔离体法。当要计算某个截面的内力时,就可假想地用一平面将这一截面切开,任取一部分为研究对象,画出其受力图,利用平衡条件计算出未知的内力,这种方法称为截面法。隔离体法和截面法都是利用平衡条件计算未知力的方法,统称为平衡条件分析法,这是求解未知力的一种普遍方法,贯穿于建筑力学课程的始终。

### 3. 变形连续假设分析法

变形连续条件是指变形连续固体受力变形后仍然是均匀连续的,这样就可以用数学连续函数来分析问题。尽管它不完全符合实际情况,但基本上可以满足工程要求,且能使计算大大简化。

### 4. 力与变形的物理关系分析法

变形固体受力作用后要发生变形,根据小变形假设可以证明,力与变形成正比(即胡克定律)。这样就可以利用外力、变形和应力、应变的物理关系方便地建立构件的强度条件、刚度条件和稳定性条件。

### 5. 小变形分析法

小变形系指结构或构件在外力等因素作用下产生的变形与原尺寸相比是非常微小的,为了简化计算,在某些具体问题计算中可忽略不计,即外荷载的大小、方向、作用点在变形前

后都一样,仍用原尺寸进行计算,这样可以用叠加法计算内力和变形,从而大大简化计算工作量。

#### 6. 实验分析法

材料的力学性质都是通过实验测量出来的。因此,实验是建筑力学课程的一个重要的教学内容,通过实验可使学生巩固所学的力学基本理论,掌握测定常用建筑材料力学性质的基本方法和技能,提高学生的动手能力,并锻炼学生实事求是的思维方式。

### 0.4 建筑力学的学习方法

#### 1. 建筑力学与其他课程的关系

在建筑力学的学习过程中,经常会遇到高等数学、物理学中的一些知识,因此,在学习中应该根据需要对相关的内容进行必要的复习,并在运用中得到巩固和提高。在后续课程中,建筑力学又是建筑结构、地基基础和施工技术等课程的基础,如果学不好建筑力学,将给后继课程的学习带来很多困难。

#### 2. 建筑力学具体学习方法指导

(1) 建筑力学系统性较强,各部分有较紧密的联系,学习中要循序渐进,及时解决不清楚的问题,以免在以后的学习中失去信心。

(2) 上课要用心听讲,听老师是如何引出概念、如何阐明理论、如何分析问题和解决问题的。这样才能深入体会和理解基本概念、基本理论和基本方法,不能满足于背公式、记结论。要重点学习建筑力学分析问题的思路和解决问题的方法。

(3) 课后应及时复习,加深对所学内容的理解。在复习理解的基础上,再做一定量的练习。练习是运用基本理论解决实际问题的一种基本训练,要在理解概念与掌握公式的基础上进行,切忌死记硬背。可以说,不联系实际、不做习题是学不好建筑力学的。

(4) 学完一章或一篇后,要将主要内容进行提纲挈领的归纳和总结,对新概念、新理论要多问几个“为什么”,弄清新旧知识之间的联系与区别,这样才能将书本上的知识变成自己的知识。

(5) 建筑力学的知识源于实际,因此也必须用于实际。学习这门课程必须联系实际,要大量地观察实际生活中的力学现象,并学会用力学基本知识去解释这些现象,在力学的实际应用中学会创新,并提高分析问题与解决问题的能力。

### 0.5 建筑力学在建筑设计和施工中的作用

从事建筑设计和施工的工程技术人员,必须掌握建筑力学的基本理论和知识。从事建筑施工的人员,只有掌握了这些知识,才能懂得建筑物中各种构件的作用、受力情况、传力途径以及它们在各种力的作用下和一定的工作条件下可能产生的破坏机理等。这样,在施工中就可以正确理解设计意图,确保工程质量,避免事故发生。比如:某建筑因工程需要缩短桁架的跨度,施工人员为省工时,擅自将原屋架的端节点处的蹬口及上、下弦全部锯掉以减小跨度,只用三个圆钉和两块木夹板在两面固定,以达到方便施工的目的,如图 0-6 所示。这样,完全破坏了屋架的正常受力状态,在屋面荷载作用下,圆钉被推弯、拔出,屋架端部失

去承载力,导致整个屋盖倒塌。究其原因是施工人员不懂得桁架的受力分析,不能正确理解桁架设计的意图,盲目蛮干。因此,施工中切不可随意修改图纸,也不可盲目套用图纸。一定要用力学知识去分析施工现场的实际问题,以杜绝事故的发生。

另外,只有掌握了这些知识,才能在不同的施工情况下提出合理的施工方法及正确分析工程事故原因。许多工程事故是施工人员不懂得力学知识而造成的。例如:不懂梁的内力分布规律,将阳台的受力筋放在阳台的下侧面部位而造成阳台折断;不懂结构的几何组成规则,在脚手架中不搭设斜撑而导致脚手架倒塌;不懂温度、支座沉陷对超静定结构内力造成的巨大影响,使超静定结构受内力过大出现裂纹而不能正常工作等。所以,《建筑力学》的基本理论和知识,是从事建筑设计、建筑施工的工程技术人员所必须掌握的,也是建筑类专业学生所必须掌握的。

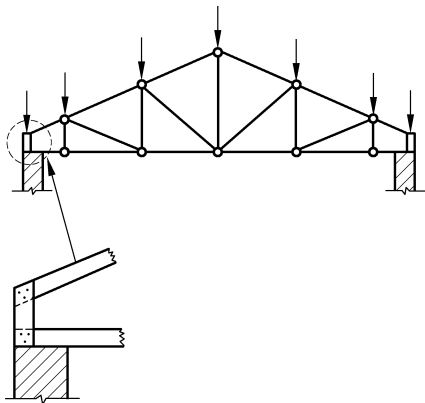


图 0-6 桁架破坏图

## 0.6 力学与建筑力学发展简况

力学是研究物质机械运动规律的一门学科,是最古老的科学之一。中国春秋时期,在墨翟及其弟子的著作《墨经》中,就有了关于力的概念,以及杠杆的平衡、重心、浮力、强度和刚度的概念。

18 世纪,科学家借助于当时取得的数学进展,使力学取得了十分辉煌的成就,在整个知识领域中起着支配作用。到 18 世纪末,经典力学的基础(静力学、运动学和动力学)得到极大的完善。

19 世纪,欧洲完成了工业革命,大机器工业生产对力学提出了更高的要求。为适应当时土木工程建筑、机械制造和交通运输的发展,解决建筑、机械中出现的大量强度和刚度问题,材料力学、结构力学和流体力学得到了发展和完善。

20 世纪上半叶,在航空、航天方面,飞机成为重要的交通工具,人造地球卫星成功发射,使得空气动力学得到迅猛发展,成功地解决了各种飞行器的空气动力学性能、推进器动力学、飞行稳定性等问题。

在这一时期,固体力学由古老的材料力学、19 世纪发展起来的弹性力学和结构力学及 20 世纪前期的塑性力学融合而成,且发展很迅速,很快又建立和开辟了弹性动力学、塑性动力学等新的领域。空气动力学则是流体力学在航空、航天事业推动下的主要发展。

20 世纪 60 年代以来,力学同计算技术和其他自然科学学科广泛结合,进入了现代力学的新时代。计算机超强的运算能力使得过去力学中大量复杂、困难而使人不敢问津的问题有了解决希望。60 年代兴起的有限元法,发源于结构力学。一个复杂的连续体结构,经离散化处理为有限单元的组合后,计算机便可对这种复杂的结构系统计算出结果来。有限元法一出现,就显示出无比的优越性,被广泛地应用于力学的各个领域。

总之,力学和工程是紧密结合的。力学在研究自然界物质运动普遍规律的同时,其成果

不断地服务于工程,促进工程技术的发展;反之,由于工程技术进步的要求,也不断地向力学工作者提出新课题,在解决这些课题的同时,力学自身也不断地得到丰富与发展。

建筑力学作为力学的一个分支,它以静力学、材料力学、结构力学中的主要内容,按照相似、相近的内容集中于一的原则,重新组合而成,专门服务于建筑工程技术专业,它是建筑工程技术专业的一门技术基础课,广泛应用于冶金、煤炭、公路、铁路、石油、化工和航天、航空等工程中。改革开放以来,这些行业都得到飞速的发展,高层建筑、超高层建筑、大跨度桥梁层出不穷,这样对力学的要求也越来越高,建筑力学也随之得到发展。比如:钢结构的出现,使大跨度的钢架桥梁得到迅猛发展,如图 0-3(b)所示的上海卢浦大桥,超大跨度的桥梁需要技术人员的智慧设计出合理的受力结构形式,避免其承受异乎寻常的巨大内力。如图 0-3(c)所示的北京的国家体育场——鸟巢,其造型新颖优美,受力复杂,在施工中需要复杂的技术支持满足其施工过程中精确的受力要求。超高层建筑的出现,如图 0-3(d)所示的上海环球金融中心,使得复杂的力学结构计算必须应用计算机的高速运算能力,促进了力学电算化的发展。

今天,人们已经普遍认识到,要使建筑工程建设不断在既有水平上得到提高和发展,就必须对建筑力学进行研究;要使建筑工程设计既保障工程安全可靠,又能省钱,建筑工程建设人员就应熟练地掌握建筑力学,只有这样才能灵活、合理地解决建筑工程设计、施工中遇到的问题。

## 拓展阅读

### 力学名人及著名建筑简介

建筑与力学发展相辅相成,随着新技术、新材料、新工艺的发展,新型建筑提出新的力学问题,在解决力学问题的同时,力学体系也得到丰富和发展。力学工作者应该顺应历史发展的潮流,将工程技术与力学发展紧密结合,不断创新,服务于人类生活、生产,创造美好未来。

#### 一、力学名人及贡献

**墨子**(约公元前 476—前 390 年),名翟,春秋战国时期思想家、教育家、科学家、军事家。作为科学家,在哲学、数学、物理、机械制造方面均有突出贡献。在墨翟及其弟子的著作《墨经》中曾给出力的定义:“力,刑(形)之所以奋也”,即力是使物体运动的原因。更重要的是,他提出了“止,以久也……无久之不止,当牛非马”的观点,即物体运动的停止缘于阻力阻抗的作用,如果没有阻力的话,物体会永远运动下去。这个观点被认为是牛顿惯性定律的先驱,比同时代的思想超前了 1000 多年,而同时代的亚里士多德则认为力是使物体运动的原因,没有力物体就不会运动,如此观点虽符合常人观测结果,却是肤浅和错误的。

**拉格朗日**(Lagrange,1736—1813)法国人,在数学、力学和天文学中均有巨大贡献,其著于 1788 年的《分析力学》建立了完整的力学体系,使力学分析化。拉格朗日在总结历史上各种力学基本原理的基础上,根据达朗贝尔、欧拉等的研究成果,运用静力学和动力学的普遍方程,建立了拉格朗日方程,把力学体系的运动方程从以力为基本概念的牛顿形式改变为以能量为基本概念的分析力学形式,为把力学理论推广应用拓展到其他领域、丰富和发展力学体系、促进工程技术发展,作出了巨大贡献。

朗肯(Rankine, 1820—1872), 英国著名工程师、物理学家。朗肯在力学上有多方面理论研究。他在分析研究土对挡土墙的压力和挡土墙的稳定方面, 取得了重要成果; 同时, 在理论方面他提出了新的动能表示方法和较完善的能量守恒定理。朗肯 1858 年出版的《应用力学手册》, 对工程师和建筑师而言是很有用的一本书籍, 为建筑工程的设计、施工提供了力学依据。

古斯塔夫·埃菲尔(Gustave Eiffel, 1832—1923), 法国著名建筑大师、结构工程师、金属结构专家。他设计了桥梁、教堂、纪念塔、车站等数十座建筑, 其中包含著名的巴黎埃菲尔铁塔和纽约自由女神的支撑结构。埃菲尔肯钻研, 敢革新, 成为用钢铁代替砖石土木为主要建筑材料的代表性人物, 他利用现代结构力学的分析手段创造了许多新型钢结构。他设计建造的索尔河高架桥用两座高达 59m 的铁塔支撑着整个桥梁结构, 使其可以承受山谷强风, 保持稳定。

茅以升(1896—1989), 中国著名土木工程学家、桥梁专家。茅以升在自然条件比较复杂的钱塘江上主持修建了中国人自己设计并建造的第一座现代化大型桥梁——钱塘江大桥, 大桥为钢结构桁梁桥, 结构整体上为梁的受力方式, 即主要承受弯矩和剪力的结构。建桥过程中困难重重, 架设钢梁时茅以升巧妙利用自然力的“浮运法”, 潮涨时用船将钢梁运至两墩之间, 潮落时钢梁便落在两墩之上, 省工省时, 进度大大加快; 大桥建成后, 为了阻止日军攻打杭州, 茅以升亲自参与了炸桥, 炸桥前曾赋诗一首: “斗地风云突变色, 炸桥挥泪断通途。五行缺火真来火, 不复原桥不丈夫。”此诗流露出茅以升为国家民族利益被迫炸桥以及今后复建的决心。抗日战争胜利后钱塘江大桥被成功修复。钱塘江大桥建成于抗日烽火之中, 再生于和平建设之世。

## 二、著名建筑与力学

赵州桥(图 0-7), 始建于隋代, 由李春设计建造, 在世界桥梁史上首创“敞肩拱”结构形式, 具有较高的科学研究价值, 对全世界后代桥梁建筑有着深远的影响。它坐落在河北省赵县, 横跨 37m 宽的河面, 桥体全部用石料建成。其敞肩拱的两个拱肩部分各建两个对称的小拱, 伏在主拱的肩上, 符合结构力学原理, 减轻桥身自重, 节省材料, 也减轻了桥身对桥台的垂直压力和水平推力; 通过敞肩调整荷载分布, 使恒载压力线和大拱的轴线极为接近; 拱的构造经济合理, 大大降低了拉应力, 使赵州桥更加稳固、耐用。每一拱券采用“下宽上窄、略有收分”的方法, 使每个拱券向里倾斜、相互挤靠, 增强其横向联系, 防止拱石向外倾倒; 在桥的宽度上也采用“少量收分”方法, 从桥两端到桥顶逐渐收缩桥的宽度, 加强稳定性。

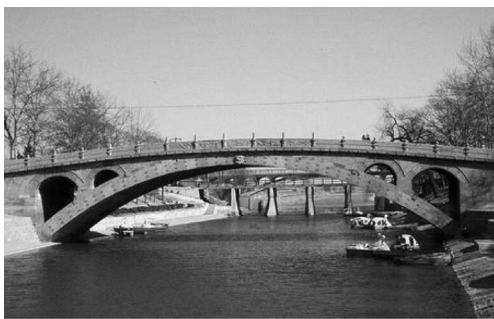


图 0-7 赵州桥

把赵州桥圆弧形拱轴线与理论曲线进行比较,会发现古代设计与理论曲线基本吻合。分析赵州桥的受力,让人不得不感叹古代工匠的高超建造技巧、对工程的整体把握能力和灵活应用力学概念进行结构创新的精神。1000多年前的先人都能设计出具有如此优良力学性能的桥梁,我们更应该精益求精为我国工程建设的进步而努力。

**应县木塔**(图 0-2),位于山西省应县,木塔高约 67m,相当于现在 20 层楼高,这样高的一座纯木结构的塔,为何能历经十几次大地震而近千年不倒呢?木塔外观为 5 层,而实际为 9 层,每两层之间都设有一个暗层,这个暗层是坚固的结构层。在历代的加固过程中,又在暗层内非常科学地增加了许多弦向和径向斜撑,加强木塔结构的整体性,组成了类似于现代的框架结构层,这个结构层具有较好的力学性能。正因为木塔有了这 4 道圈梁,其强度和抗震性能也就大大增强了。

从下仰望木塔,发现每层木塔都有很多斗拱,斗拱是我国古代木建筑中独特的结构形式。对于应县木塔来说,斗拱起着关键的稳定作用,由于斗拱系统本身是由若干个小木料衔接在一起的,能够调整倾斜、平衡弯矩,因此在受到地震、炮击等异常震动时,斗拱会成为一种阻尼装置,通过斗拱卯榫间的摩擦错位,可以消耗掉外来的巨大能量,使得木塔有较好的抗震性能、抗冲击性能,即使在现代这也是理想的抗震结构。这种结构布局的合理性,使应县木塔受到地震甚至炮击仍然屹立不倒。

**中央电视台总部大楼**(图 0-8),总建筑面积约 55 万  $\text{m}^2$ ,最高 234m,主楼的两座塔楼在 162m 以上由悬臂结构连为一体,有 14 层是悬空的,悬空部分通过钢桁梁、外龙骨和斜向拉杆分散受力。央视大楼的结构由许多个不规则的菱形网状金属结构组成,由于大楼的不规则设计造成楼梯各部受力差异很大,这些菱形块就成为调节受力的工具,受力大的部位,用较多的网纹构成很多小块菱形,分解受力,受力小的部位刚好相反,用较少的网纹构成大块菱形。



图 0-8 中央电视台总部大楼

**国家体育场——鸟巢**(图 0-3(c)),是 2008 年北京奥运会主体育场,是全民参与体育活动及享受体育娱乐的大型专业场所。鸟巢各结构元素之间相互支撑,汇聚成网格状,把建筑