

# 力学与土木工程



航天航空学院

---

---

---

---

---

---

---

---

## 主要内容

- 1 概述
- 2 土木工程的发展
- 3 建筑结构体系
- 4 建筑结构的设计

---

---

---

---

---

---

---

---

概述

# 土木工程

## CIVIL Engineering

Military Engineering (18世纪)



---

---

---

---

---

---

---

---

**概述**

## 土木工程

**建造各类工程设施的科学技术统称为土木工程**

具体指用工程材料如土、石、砖、木、钢筋砼、建筑塑料、铝合金等修建房屋、道路、铁路、桥梁、隧道、运河、堤坝、港口、特种结构和市政卫生工程等的生产活动和工程技术。

这里指的生产活动和工程技术包括对上述各类工程的**勘测、设计、施工、保养、维修**等活动以及相应的工程技术。




---

---

---

---

---

---


---

---

**概述**

## 土木工程学科

土木工程也是一种学科，称为**土木工程学**。它是指运用数学、物理、化学等基础科学知识，**力学**、材料等技术科学知识以及土木工程方面的工程技术知识来研究、设计、修建各种**建筑物和构筑物**的一门学科。




---

---

---

---

---

---

---

---

**概述**

## 土木工程学科

土木工程是一个涵盖极广的**一级学科**，下设**6个二级学科**：

1. 岩土工程（地下、地基、基坑）
2. 结构工程（地上）
3. 市政工程（配套的公共基础设施）
4. 供热、供燃气、通风及空调工程（建筑内）
5. 防灾减灾工程及防护工程（抗风、火、震、爆设施）
6. 桥梁与隧道工程（交通设施）




---

---

---

---

---

---

---

---



**概述 建筑结构** 保持建筑物的外部形态并形成内部空间承重骨架

建筑的三个基本要素：  
**强度、适用、美观**

满足强度所需要的建筑物部分是**结构**。  
结构是建筑物的**基础**。  
结构是建筑物的基本**受力骨架**。

结构的基本功能要求：  
**安全、适用、耐久**

结构的安全性、适用性和耐久性总称为**结构的可靠性**。

少侠 我看你骨骼惊奇 并且你有缘 这本秘籍就送给你了

---

---

---

---

---

---

---

---

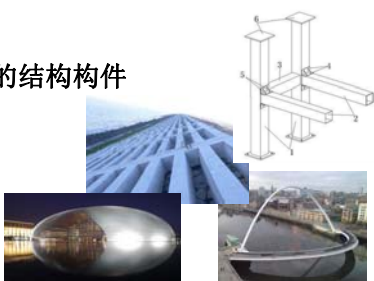
---

---

**概述 结构构件**

土木工程中常用的结构构件

- 杆、梁、柱
- 板、壳
- 块体
- 悬索



在这些结构构件**力学分析**的基础上，土木工程师可以建造出**结构优化、安全可靠**的现代大型结构物。

---

---

---

---

---

---

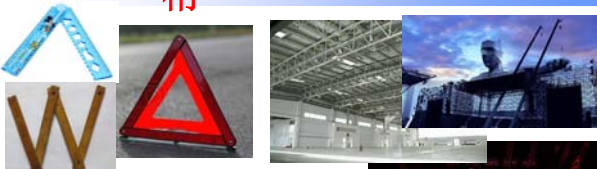
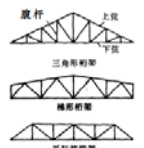
---

---

---

---

**概述 桁**

计算简图

结构实例

**桁 (héng) 架结构**

---

---

---

---

---

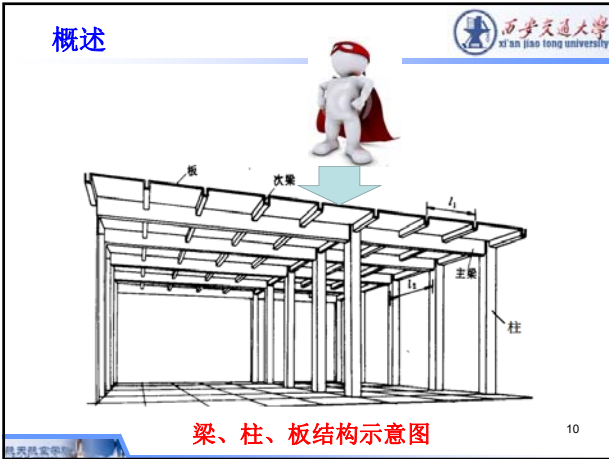
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

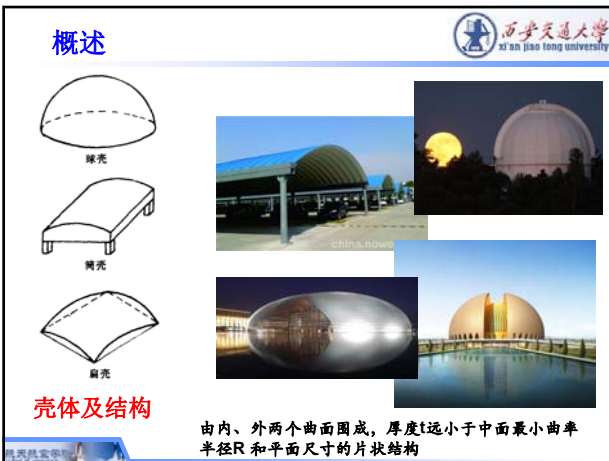
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

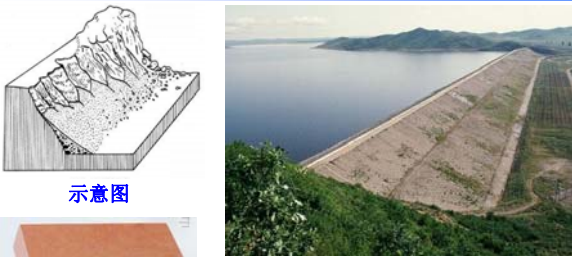
---

---

---

---

概述



示意图

大坝结构实例

块体及结构

13

---

---

---

---

---

---

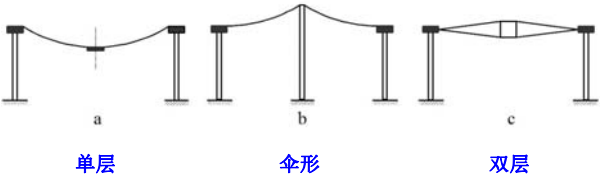
---

---

---

---

概述



单层

伞形

双层

悬索（剖面示意图）

14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

概述



悬索桥结构

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

概述

西安交通大学  
xi'an jiao tong university

## 土木工程与力学

人类创造文明的历史进程一直伴随着土木工程的繁荣与发展。在土木工程漫长的发展过程中，**力学知识**一直有着广泛的应用。

通过经验的积累，人类很早就会建造房子、架设桥梁，但是只有拥有了现代力学知识之后，人们才能建造出摩天大楼、巨型水坝、大跨度新造型的桥梁、海洋平台、海底隧道、移山填海等宏伟工程。

安全、适用、耐久??

力学

分析

强度、适用、美观??

---

---

---

---

---

---

---

---

西安交通大学  
xi'an jiao tong university

## 2. 土木工程的发展

17

---

---

---

---

---

---

---

---

土木工程的发展

西安交通大学  
xi'an jiao tong university

土木工程的发展经历了古代、近代和现代三个历史时期

- ❖ 古代土木工程 (约公元前5000~17世纪中叶)
- ❖ 近代土木工程 (17世纪中叶至20世纪中叶)
- ❖ 现代土木工程 (20世纪中叶至今)

---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



### • 古代土木工程

时间跨度长。大致从新石器时代（约公元前5000年起开始）至17世纪中叶。

古代土木工程的特点：

□ 修建各种设施主要靠**经验**。

□ 所用的材料主要取自于**自然材料**，如泥土、砾石、树干、竹、茅草、芦苇等，后来发展了土坯、石材、砖、瓦、木、青铜、铁、铅以及混合材料如草筋泥、混合土等。

□ 生产工艺、施工机具也很简单，主要有斧、锤、刀、铲和石夯等**手工工具**。

---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展

具有代表性的工程有：

◆ 我国黄河流域的仰韶文化（约公元前5000~3000我国新石器时代的一种文化）遗址。

1921年首次发现于河南渑池仰韶村。

半坡遗址1953年发现，是一个典型的母系氏族公社村落遗址，属于仰韶文化。这类遗址仅在黄河流域的关中地区就发现了400多处，因此，黄河流域素有中国古代文化发源地之美称。



---

---

---

---

---

---

---

---

◆ 建于公元前2700~2600年

埃及帝王陵墓建筑群—吉萨金字塔群。



---

---

---

---

---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

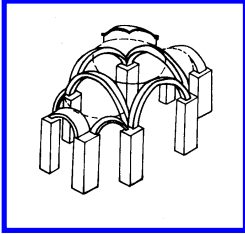
---

---

## 土木工程的发展



◆ 公元532~537年间建造在君士坦丁堡（今土耳其伊斯坦布尔）的索菲亚大教堂。该教堂为砖砌穹顶（圆形球壳），直径30余米，穹顶高50余米，穹顶支承在大跨砖拱和用巨石砌筑的巨型柱（截面约7×10m）上。



---

---

---

---

---

---

---

---

索菲亚大教堂



---

---

---

---

---

---

---

---

## 世界石拱桥的杰作



◆ 隋代赵州安济桥，又称赵州桥。桥为**敞肩圆弧石拱**，拱券并列28道，净跨37.02米，矢高7.23米，上狭下宽总宽9米。主拱券等厚1.03米，主拱券上有护拱石。在主拱券上两侧，各开两个净跨分别为3.8米和2.85米的小拱，以泻泄洪水，减轻自重。桥面呈弧形，。桥始建于隋·开皇十五年（公元595年），完工于隋·大业元年（公元605年）。

---

---

---

---

---

---

---

---

◆ 山西应县木塔，建于公元1056年，塔高67.3m，八角形，底层直径30.27m。该塔共9层，是我国保存至今的**唯一木塔**，也是现存的最高的木结构之一。它虽经多次大地震仍完整无损，足以证明我国历史上木结构的辉煌成就。




---

---

---

---

---

---

---

---

◆ 意大利比萨大教堂建于公元11到12世纪，系一组由教堂（1063~1118）、洗礼堂（1153）、钟塔（1174~1350）组成的建筑群。




---

---

---

---

---

---

---

---

◆ 巴黎圣母院建于1163~1250年，是法国早期哥特建筑的典型。平面宽约47m，长约125m，可容近万人。圣坛上部的尖塔高达90m。正面是一对高60余米的塔楼，下部有三个尖券门洞。




---

---

---

---

---

---

---

---

◆ 北京故宫太和殿。建于明永乐18年，（1420年）是故宫最壮观的建筑，也是我国现存最大的木构殿堂。




---

---

---

---

---

---

---

---

### 土木工程的发展



◆ 斗拱是中国古代木结构建筑中最具特色的一种构件，某种程度上也可称得上是中国古代传统木结构建筑的象征。



故宫的角楼及斗拱

---

---

---

---

---

---

---

---

### 土木工程的发展

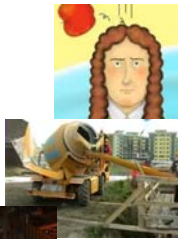


#### • 近代土木工程

近代土木工程的时间跨度为从17世纪中叶至20世纪中叶的300年间。

主要特征是：

- 有**力学和结构理论**作指导；
- 砖、瓦、木、石等建筑材料广泛使用；**混凝土、钢材、钢筋砼**以及早期的**预应力砼**得到发展。
- **施工技术**进步很大。




---

---

---

---

---

---

---

---



## 土木工程的发展



这个历史时期，土木工程在理论、材料、施工领域出现的具有重大意义大事有：

- ✓ 意大利科学家**伽利略**在1683年出版的著作《关于两门新科学的谈话和数学证明》中论述了建筑材料的力学性质和梁的强度，首先用**公式表达了梁的设计理论**。
- ✓ 英国科学家**牛顿**在1687年总结了**力学三大定律**，它们是土木工程设计理论的基础。
- ✓ 瑞士数学家**欧拉**在1744年出版的《曲线的变分法》建立了**柱的压屈理论**，为分析土木工程结构物的稳定问题奠定了基础。



---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



✓ 1825年**纳维**建立了土木工程中结构设计的**容许应力法**；19世纪末里特尔等人提出了**极限平衡的概念**。这为土木工程的结构理论分析打下了基础。

> 1824年英国人**阿斯普丁**取得了**波特兰水泥**的专利权，1850年开始生产。20世纪初，有人发表了水灰比等学说，才初步**奠定了混凝土强度的理论基础**。

> 1859年**转炉炼钢法**的成功，使钢材得以大量生产，并广泛应用于土木工程。

> 1867年法国人**莫尼埃**用铁丝加固混凝土制成花盆，并推广到工程中，建造了一座蓄水池，**这是应用钢筋砼的开端**。



---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



- ◆ 1875年法国人**莫尼埃**主持建造了第一座长16m的**钢筋砼桥**。
- ◆ 1883年美国芝加哥由称为“摩天楼之父”的**詹莱**（B.Jenney）建造的**11层住宅保险大楼**，是世界最先用**铁框架**（部分钢架）承受全部大楼的重力，外墙仅为自承重墙的高层建筑。被誉为现代高层建筑的开端。



---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



◆ 1883年美国建成世界上第一座大跨钢悬索桥 - **布鲁克林桥**。主跨长486米，两个侧跨每跨长284米，全长1053米，竖塔为花岗岩砌体结构，坐落在庞大的混凝土沉箱基础上，竖塔高出东河水面84米，桥面高出水面41米，大型船只可以自由通航。



---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



◆ 1889年法国在巴黎建造了高300m的**埃菲尔铁塔**，用钢8500t。这是近代高层建筑结构的萌芽。



---

---

---

---

---

---

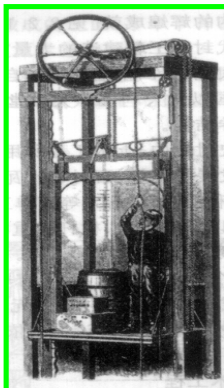
---

---

## 土木工程的发展



◆ **奥蒂斯** (E. Otis, 1811年~1861年, 美国人, 电梯的发明者) 在19世纪50年代初期发明的**安全升降机**也使高层建筑成为可能; 他最先采用的是蒸汽动力升降机, 直到1857年在纽约才安装了第一台乘人用的**电梯**。



---

---

---

---

---

---

---

---



## 土木工程的发展



- ◆ 1886年美国人**杰克逊**首先应用**预应力混凝土**制作建筑配件，后又制作楼板。
- ◆ 1890年英国建成两孔主跨达521m的悬臂式**桁架梁桥**。
- ◆ 1930年法国工程师**弗涅希内**将高强度钢丝用于预应力混凝土。克服了因混凝土徐变造成所施加的预应力完全丧失的问题，**预应力混凝土**在土木工程得到广泛应用。



福斯桥

---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



- ◆ 1931年美国建成纽约曼哈顿的**帝国大厦**。帝国大厦高1250英尺（381米），102层。钢骨架总重超过50000t，内装67部电梯。帝国大厦保持世界纪录达40年之久。



44

---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



- ◆ 1936年美国旧金山的**金门大桥**，主跨为1280m，是世界上第一座单跨超过千米的大桥，保持世界纪录27年。



---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



◆ 1934年建成的**上海国际饭店**，大楼24层，其中地下2层，地面以上高83.8m，钢框架结构，钢筋混凝土楼板。直到20世纪80年代广州白云宾馆建成之前，一直是中国的最高建筑。



46

---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



◆ 1937年桥梁专家**茅以升**主持建造了**钱塘江大桥**。全长1453米，宽9.1米，高7.1米。这是中国自行设计、建造的第一座双层铁路、公路两用桥。



47

---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



### • 现代土木工程

时间跨度为**20世纪中叶**第二次世界大战结束后**至今**。

社会经济建设对土木工程提出日益复杂和高标准的要求。一般表现为三个方面：

- A. 土木工程**功能化**
- B. 城市建设**立体化**
- C. 交通运输**高速化**



精英精英

---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



### 土木工程功能化

土木工程日益同它的**使用功能或生产工艺紧密结合**。

——公共和住宅建筑物要求建筑、结构、给水排水、采暖、通风、供燃气、供电等现代技术设备结合成整体。



现代住宅建筑

---

---

---

---

---

---

---

---

巴西国会大厦。建于1957~1959。27层板式办公楼。右侧**众议院**的碗口朝上，象征“民主”、“广开言路”；左侧**参议院**的碗口朝下，象征“集中民意”、“议决提案”。



---

---

---

---

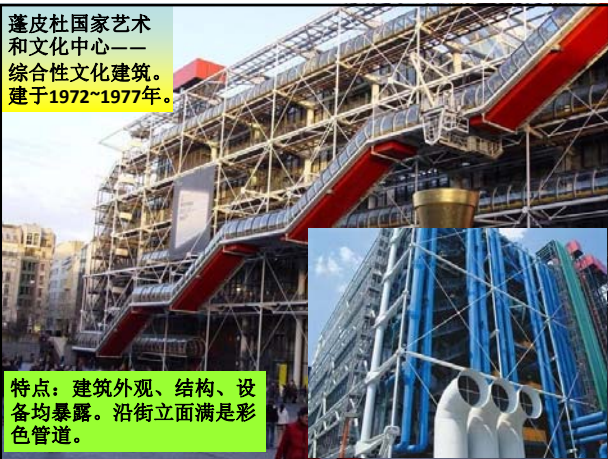
---

---

---

---

蓬皮杜国家艺术和文化中心——综合性文化建筑。建于1972~1977年。



特点：建筑外观、结构、设备均暴露。沿街立面满是彩色管道。

---

---

---

---

---

---

---

---

——工业建筑物围绕生产工艺在功能要求方面越来越高。并向**大跨度、超重型、灵活空间**方向发展。



CKD(Completely Knock Down)全散装件

**大众汽车制造厂CKD车间**

---

---

---

---

---

---

---

---

### 土木工程的发展

——发展高科技和新技术对土木工程提出高标准要求。如核反应堆、核电站；海洋工程等。




---

---

---

---

---

---

---

---

### 土木工程的发展

**城市建设立体化**

20世纪中叶以来，城市建设有三个趋向：

- 高层建筑的大量兴起。**

由于城市人口大量积聚，密度猛增，用房紧张，地价昂贵，建筑物向空间发展。

- 地下工程高速发展。**

如地下铁道、商业街、停车库、体育馆、影剧院、工业厂房、地下仓库等。

- 城市高架公路、立交桥大量涌现。**

---

---

---

---

---

---

---

---

——高层建筑的大量兴起



全景图 www.quanjing.com

航空摄影

---

---

---

---

---

---

---

---



上海中心大厦：  
2016年，632米

环球金融中心：  
2008年，492米

上海金茂大厦：  
1998年，421米

---

---

---

---

---

---

---

---

世界上最高的“摩天大厦”- 迪拜大厦（总高828米）

哈利法塔



---

---

---

---

---

---

---

---



——地下工程高速发展



西安地铁

---

---

---

---

---

---

---

---



地下超市

59

西安地铁

---

---

---

---

---

---

---

---

——城市  
高架公路、  
立交桥大量涌现。

北京建国门立交桥



---

---

---

---

---

---

---

---



北京四元立交桥



---

---

---

---

---

---

---

---

上海南浦大桥



---

---

---

---

---

---

---

---

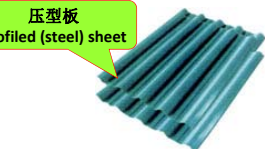
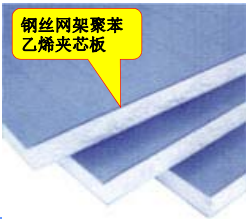
### 土木工程的发展



土木工程的功能化、城市建设的立体化、交通运输的高速化必然使得构成土木工程的三个要素：**材料、施工、理论**出现了新的发展趋势。

\* 建筑材料的轻质高强度

压型板  
Profiled (steel) sheet



---

---

---

---

---

---

---

---

## 土木工程的发展



\* 施工过程中的工业化、装配化。



---

---

---

---

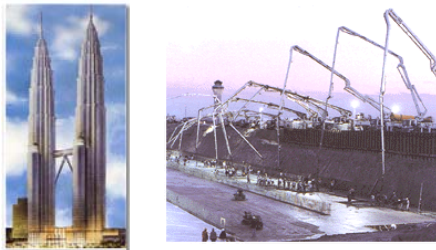
---

---

---

---

## 土木工程的发展



钢筋混凝土泵送的记录！摩天大楼，混凝土灌注量达160,000立方米之巨。为确保连续泵送并达到385米这样一个高度，采用**六台超高压混凝土泵**及**六根分离式布料杆灌注混凝土**。

航天航空学院

---

---

---

---

---

---

---

---

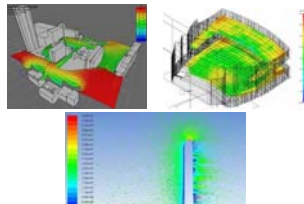
## 土木工程的发展



\* 设计理论的精确化、科学化

主要表现在理论分析由线性到**非线性分析**；由平面分析到**空间分析**；由单个到系统的**综合整体分析**；由静态到**动态分析**；由经验定值分析到**随机分析**；由数值分析到**模拟实验分析**；由人工手算、人工做比较方案、人工制图到**计算机辅助设计、计算机优化设计、计算机制图**等。

土木工程学的学科理论如**可靠性理论、土力学和岩体力学理论、结构抗震理论、动态规划理论、网络理论**得到迅速发展。



航天航空学院

---

---

---

---

---

---

---

---

### 3. 建筑结构体系

---

---

---

---

---

---

---

---

#### 建筑结构体系

房屋建筑工程的类别有多种分法

按房屋的使用性质分：**住宅建筑、公共建筑、商业建筑、文教卫生建筑、工业建筑、农业建筑等；**

按房屋结构所采用的材料分：**砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构、木结构、生土结构、薄膜充气结构等；**

按房屋主体结构的型式和受力系统（结构体系）分：**混合结构、框架结构、剪力墙结构、筒体结构、大跨空间结构等**

---

---

---

---

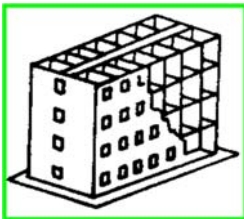
---

---

---

---

#### 混合结构



**混合结构**的屋盖一般采用**钢筋混凝土**构件，墙体及基础采用**砌体结构**。

**受力特点：**利用房屋的墙体作为竖向承重和抵抗水平作用的结构。同时墙体也作为维护及房间分隔的构件。

主要用于多层住宅楼中。



---

---

---

---

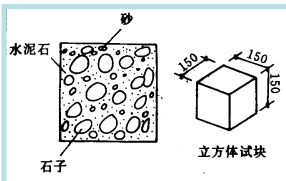
---

---


---

---

混凝土：用水泥（硅酸盐）作胶凝材料，砂、石作集料，与水（可含外加剂和掺合料）按一定比例配合，经搅拌而得的水泥混凝土，也称普通混凝土，它广泛应用于土木工程。



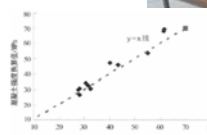
水泥石  
砂  
石子



立方体试块

**混凝土立方体抗压强度试验试件**

砼抗压强度是指在外力的作用下，单位面积上能够承受的压力，亦是指抵抗压力破坏的能力。



70

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

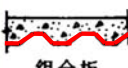
---

---

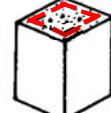
**钢筋混凝土梁**



**组合板**

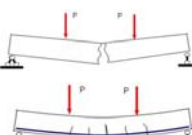


**组合柱**




**钢筋混凝土（Reinforced Concrete）**，工程上常被简称为钢筋砼：通过在混凝土中加入钢筋网、钢板或纤维而构成的一种组合材料与之共同工作来改善混凝土力学性质的一种组合材料。为加劲混凝土最常见的一种形式。

相似线膨胀系数  
粘结力（肋条-机械咬合）



砼抗拉强度低（1/10抗压强度），与钢筋粘结组成钢筋砼结构




---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

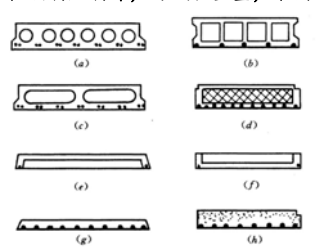

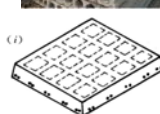

---

---

**常见的楼盖与屋盖结构**



钢筋混凝土预制楼板经常用于砌体结构的楼盖和屋盖，当跨度较大时，也可采用预应力混凝土预制楼板。预制楼板通常在预制厂制作，为减轻重量，采用空心或肋形的截面型式。

**混凝土预制楼板**

---

---

---

---

---

---

---


---

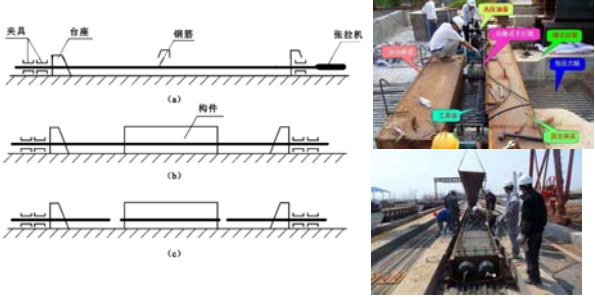
---

---

---

---


 西安交通大学  
 xi'an jiao tong university



(a) 张拉钢筋 (b) 支模并浇筑混凝土 (c) 放松并截断预应力钢筋

**预应力钢筋混凝土先张法主要工序示意图**

73

---

---

---

---

---

---

---


---

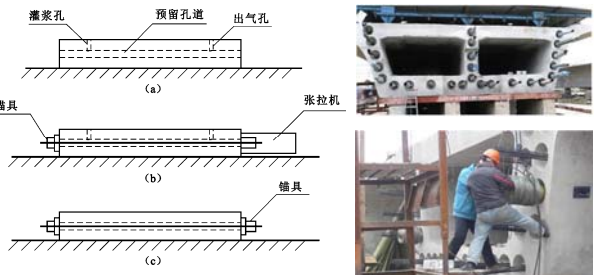
---

---

---

---


 西安交通大学  
 xi'an jiao tong university



(a) 制作混凝土构件 (b) 张拉钢筋 (c) 张拉端锚固并对孔道灌浆

**预应力钢筋混凝土后张法主要工序示意图**

74

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



砖石结构的住宅      砖墙承重的混合结构多层学生宿舍  
 砖石结构的小型旅馆      某混合结构的多层教学楼

**砖混结构实例**

75

---

---

---

---

---

---

---

---

---

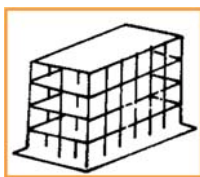
---

---

---

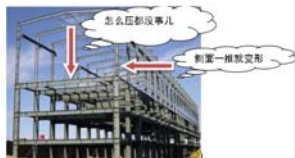


### 框架结构



**框架结构**由梁、柱、基础组成。柱子在平面上有规律地布置，形成柱网，通常在两个正交方向上对齐，以使传力明确。外荷载（自重、楼面活荷载、风、地震等）通过空间框架承担，**墙体只起围护和隔断作用**。

**受力特点：**采用梁、柱组成的框架作为房屋的竖向结构，并同时承受水平荷载。承受竖向荷载的能力较强，**承受水平荷载的能力较弱，侧向刚度较小**，属于柔性体系，因而其高度受到限制。




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



多层  
框架  
结构

现浇钢筋混凝土  
框架结构

装配式钢框架结构




---

---

---

---

---

---

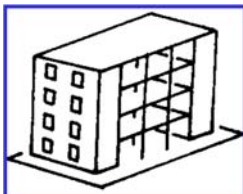
---

---

---

---

### 剪力墙结构



**剪力墙结构**由**钢筋混凝土**纵、横墙体组成结构的骨架体系，墙体兼有承重、围护和分隔作用。为了满足使用功能，墙上需开有窗洞、门洞。有时为了减轻结构自重，在保证结构抗侧刚度的前提下，在适当位置处开洞，在结构形成后再填充轻质墙体，形成建筑功能要求的分隔。

**受力特点：**利用剪力墙构成**承受竖向作用和水平作用**（风、地震荷载等）的结构。特点是比框架结构具有更强的侧向和竖向刚度，抵抗水平作用的能力强。




---

---

---

---

---

---

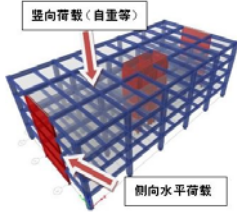
---

---

---

---





在框架中适当布置一定数量的剪力墙构成以框架和剪力墙共同承受水平和竖向荷载作用的结构称为**框架-剪力墙结构**。

79

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



住宅楼

饭店

商业住宅楼

由于剪力墙结构采用墙体承重，比较适合住宅、宾馆类的多开间建筑。有时将相邻的多个剪力墙结构的底部大开间部分连成整体，形成大底盘多塔楼剪力墙结构，更便于底部商业使用。

80

---

---

---

---

---

---

---

---

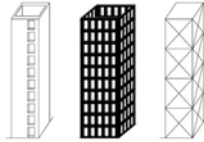
---

---

### 筒体结构

**筒体结构**是以**框筒结构**、**桁架筒结构**、**钢筋混凝土实腹筒**等形式的单筒、筒中筒或多筒结构作为主要**抗侧力体系**的结构。

**受力特点：**利用房间四周墙体形成的封闭筒体（也可利用房屋外围由间距很密的柱与截面很高的梁组成一个形式上像框架，实质上是一个有许多窗洞的筒体）作为主要**抵抗水平荷载**的结构。



利用框架和筒体组合成**框架-筒体结构**。框筒是由钢筋混凝土或钢结构的密排柱和窗楣深梁组成的框架围成的筒。常用于建筑物的外围，以实现开窗的要求。框筒可单独作为抗侧力结构，但更常见的是与内部电梯、楼梯处的筒体结构形成筒中筒结构。



建筑结构设计

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

西安交通大学  
xi'an jiao tong university



筒中筒结构



结构平面图                      结构实例

北京中央彩色电视中心

82

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

西安交通大学  
xi'an jiao tong university



筒体-框架结构



结构平面图                      结构实例

南京玄武饭店

83

---

---

---

---

---

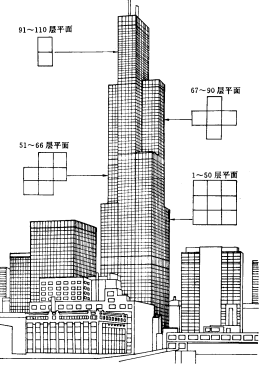
---

---


---

---

---



91~110 层平面      67~90 层平面  
51~66 层平面      1~50 层平面



美国芝加哥西尔斯大厦

84

---

---

---

---

---

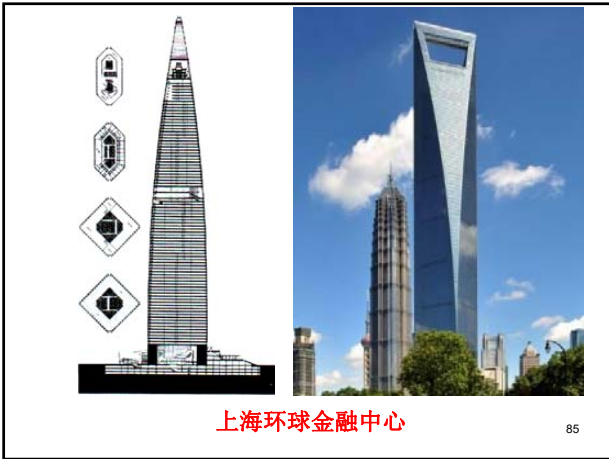
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---


---

---

---


---

**巨型框架结构**

 西安交通大学  
xi'an jiao tong university

**巨型框架（主次框架）**是将钢管混凝土柱、钢格构柱或筒等作为柱，每隔数层用刚度很大的水平构件作为梁形成的结构体系，在其上设置必要的柱、吊杆、梁等来支承或悬挂各建筑自然楼层。

**结构体系的优点：**巨型框架的梁、柱数量可以根据建筑高度和刚度需要设置，在巨型框架的梁之间形成了较大的灵活空间，可以布置小框架形成多层房间，也可以形成内部的中庭或者立面大洞口。



航天航空学院

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

香港汇丰银行大厦      台北101大厦      台湾高雄东帝士大厦

**巨型框架结构**

87

---

---

---

---

---

---

---

---

---

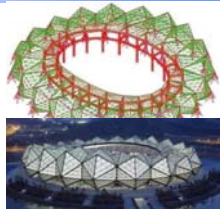
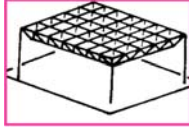
---

## 大跨空间结构

横向跨越60米以上空间的各种结构可称为大跨度空间结构

### 网格结构:

网格结构是由多根杆件按照一定规律组合形成的网格状高次超静定空间杆系结构。



网格结构是大跨空间结构实现水平跨越内部大空间的最常见的结构类型。将网格结构的四周架设在柱、墙、梁、桁架等下部结构上，即可形成需要的内部大空间。

**受力特点:**由多根杆件按照一定的网格形式通过节点连接而成的空间结构。具有空间受力合理、重量轻、刚度大，跨度大、抗震性能好等优点。

88

---

---

---

---

---

---

---

---

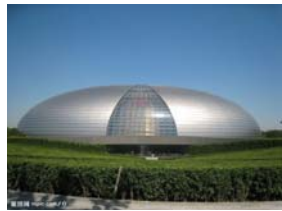
---

---



国家体育场—“鸟巢”

网格结构的杆件连接形式为铰接的称为**网架结构**，连接形式为固接的称为**网壳结构**。**网架结构**的外形多为**平板状**。而**网壳结构**的外形则具有**各种曲面形状**，按层数分为单层、双层网壳两类，前者适用于中小跨度，后者适用于大中跨度。



国家大剧院

89

---

---

---

---

---

---

---

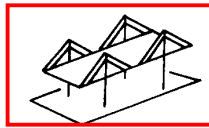
---

---

---

### 张拉结构:

张拉结构主要指**索**和**膜结构**，这类结构中的主要受力单元是单向**受拉**的索和双向**受拉**的膜。



**受力特点:**屋面荷载通过吊索或吊杆传递到**支承柱**上去，再由柱传递到基础，其中，**索**：以柔性受拉钢索组成的构件，直线或曲线形。**膜**：以薄膜材料（如玻璃纤维布）组成的构件，**只能承受拉力**。

由于索和膜结构可以充分发挥高强钢索的抗拉性能及膜的轻质特性，造型轻盈、优美，加上运输、建造、安装的便利性，其经济性和美观性明显优于传统结构。



---

---

---

---

---

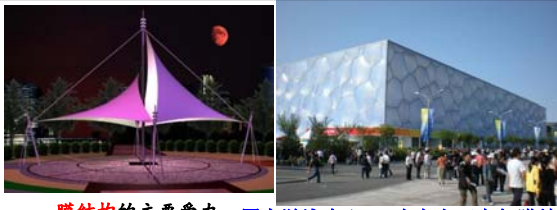
---

---

---

---

---



**膜结构**的主要受力单元是双向受拉的膜，为了给膜提供支承点或支承线，需要设置一些刚性梁、桁架、或索。  
**充气膜结构**是通过膜曲面内外的气压差维持膜曲面形状；**张拉膜结构**是通过膜内预拉应力维持自身形状。

国家游泳中心——“水立方（充气膜结构）”

韩国釜山体育馆（张拉膜结构）

---

---

---

---

---

---

---

---



**苏通大桥（斜拉桥）**  
 斜拉桥是利用高强度钢材制成的斜索将主梁多点吊起，再由塔柱基础传给地基。

**索结构**在力的传递过程中，吊杆和主缆索承受很大的拉力，此拉力由两岸桥台后修筑的巨型锚碇平衡。

**江阴大桥（悬索桥）**  
 悬索桥由两个主塔将作为主要承重构件的主缆索架起，再由固定在主缆索上的吊杆将作为桥面承重构件的主梁悬吊住。

92

---

---

---

---

---

---

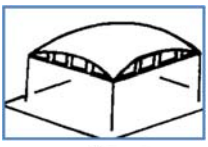
---

---


西安交通大学  
 xi'an jiao tong university

**空间薄壳结构：**

空间薄壳结构主要指由钢筋混凝土或预应力混凝土做成的**薄壳或折板**构成水平跨越结构。



**受力特点：**由曲面形板与边缘构件（梁、拱或桁架）组成的空间结构。与常见的楼盖及屋盖结构比较，空间薄壳结构能以较薄的板面形成承载能力高、刚度大的承重结构，但跨越能力不及上述的网格结构及张拉结构，又需现场浇注混凝土，施工成本高、工期长，现在已较少使用。




---

---

---

---

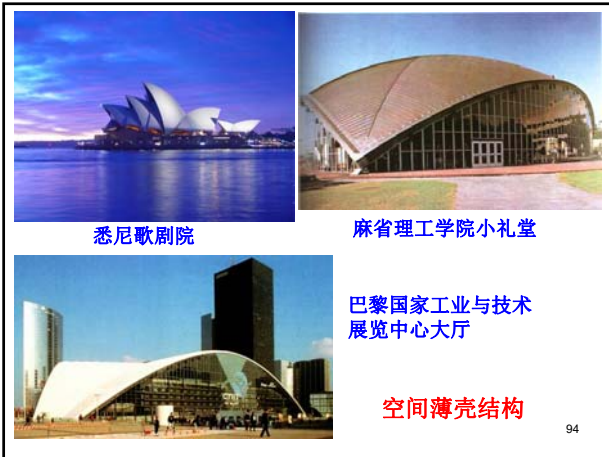
---

---

---

---






---

---

---

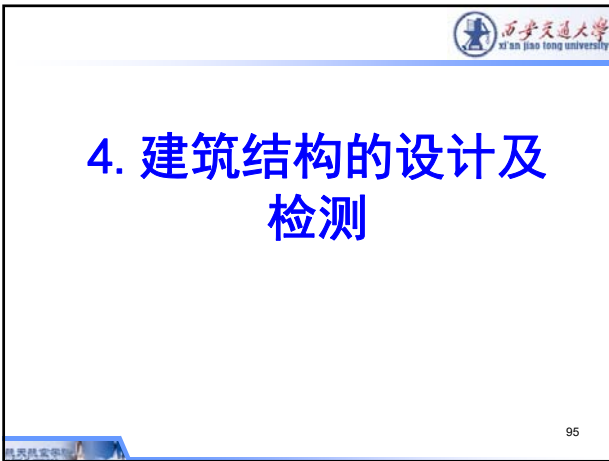
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---



## 结构设计的主要步骤



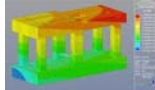
### 第一步:方案设计

根据建筑师对整个建筑物的初步设计,提出相应的结构方案。包括地面上方的承重结构系统的构成方式和结构系统埋在地面下方的基础的形式、结构材料、结构构件的大体尺寸等。



### 第二步:技术设计

结构工程师要详细计算作用在建筑物上的载荷,采用**力学分析方法**计算出各种载荷对结构系统产生的效应,进行结构的安全性校核。



### 第三步:施工设计



施工可行性是结构设计时必须考虑的问题之一。虽然施工设计和方案设计、技术设计常常由不同的工程师分别完成,但它也是结构设计的一部分。

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 结构设计理论的进展



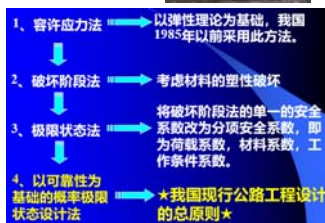
当选择了结构体系、结构材料和结构构件的尺寸之后,结构安全性的概念可以用是否满足如下简单的公式来表达:

$$\text{载荷(作用)的效应} \leq \text{结构的抵抗能力}$$



我国结构设计经历了以下几个阶段的发展:

1. 容许应力法 (线性分析)
2. 破损阶段法 (经验安全系数)
3. 极限状态设计法
4. 概率极限状态设计法



98

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 建筑结构设计



### 半概率论的极限状态设计方法

我国现行规范采用了半概率论的极限状态设计方法,即在同时考虑**极限状态的发生概率**和**工程经验**的基础上,对荷载取值、构件强度以分项安全因数加以保证。

规范中的荷载值是指结构在正常使用条件下,或在一定使用期间可能出现的最大荷载,但偶然情况下,结构可能受到的荷载要超出这个最大荷载,于是规范采用“荷载安全因数”,将设计荷载增大。

规范中构件的强度值是按97.73%保证率规定的,但在正常情况下,由于施工误差、材料不均匀等方面因素的影响,所以需考虑“构件强度安全因素”。按结构的重要性,还需考虑“附加安全因素”。

用结构的失效概率或可靠指标度量结构可靠度,在结构极限状态方程和结构可靠度之间以概率理论建立关系。



99

---

---

---

---

---

---

---

---

---

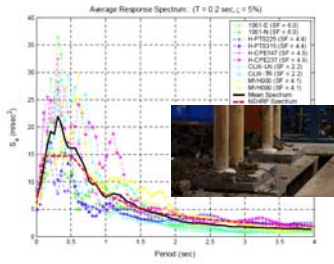
---

## 抗震结构设计



地震设计反应谱是现阶段计算地震作用的基础，它是通过反应谱把随时间变化的地震作用转化为最大的等效侧向力。规范所采用的设计反应谱以地震影响系数曲线的形式给出。

工程中求解结构地震反应的方法大致可分为两类：一类是拟静力法，也称为等效荷载法，即通过反应谱理论将地震对建筑物的作用以等效荷载的方法来表示，然后用静力学的方法对结构进行分析；另一类为直接动力分析法，即通过对结构动力方程的直接积分，求出结构的地震反应与时间变化的关系，得出时程曲线。



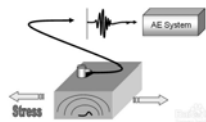
机电实验教学

## 服役建筑结构的无损检测技术



**无损检测：**在不破坏（Non-destructive）被查工件、不影响（Noninvasive）其用途的前提下检查工件中的裂纹、腐蚀或其他缺陷（Defects），推知缺陷的类型、大小、位置等信息，或者测量工件的材料（Materials）特性。

- 声发射检测
- 微波检测
- 涡流检测
- .....



机电实验教学

## 服役建筑结构的无损检测技术



检测线圈  
线圈磁场  
涡流  
涡流激发磁场  
金属被测体

Detection of cracks 8 mm (0.320 in) under the surface with PEC

2D scan with a slider probe: 1 mm step; 5 cm/s  
Through layer EDM matches in 3dr layer

4 mm per layer

机电实验教学