

建筑结构原理及设计

王永亮

TEL: +86 13426072664

E-mail: wangyl@tsinghua.org.cn

煤炭资源与安全开采国家重点实验室



1 课程内容与要求

■ 参考书

- **建筑结构**：熊丹安, 杨冬梅. 华南理工大学出版社, 2013.
- **建筑结构原理与设计**：林宗凡. 高等教育出版社, 2002.
- **混凝土结构（第5版）**：东南、天大、同济合编, 清华主审. 中国建筑工程出版社. 2012.
上册-混凝土结构设计原理, 主要讲述基本理论和基本构件;
中册-混凝土结构与砌体结构设计, 主要讲述楼盖、单层厂房、多层框架、高层建筑;
下册-公路桥梁设计。
- **钢结构原理与设计（第2版）**：姚谏, 夏志斌. 中国建筑工程出版社. 2011.
- **高层建筑结构与计算（第2版）**：包世华, 张铜生. 清华大学出版社. 2013.
- **建筑结构抗震设计（第4版）**：李国强, 李杰, 陈素文, 陈建兵. 中国建筑工程出版社. 2014.
- **大跨空间结构（第2版）**：张毅刚, 薛素铎, 杨庆山, 范峰. 机械工业出版社. 2014.

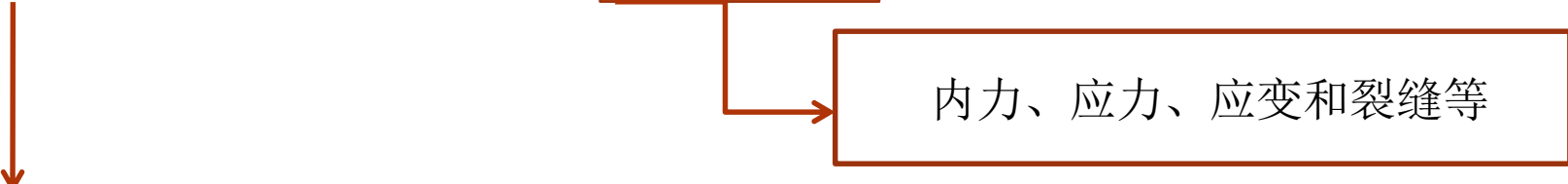
第一部分：建筑结构设计总论

- 建筑结构的组成
- 建筑的分类
- 建筑结构的受力
- 建筑结构材料的力学性能
- 建筑结构设计原则和过程

- 为什么要计算建筑结构的受力？

3. 建筑结构的受力

- 荷载是指施加在结构上的外力。
- 作用是指使结构产生**作用效应**的各种原因的总称。



内力、应力、应变和裂缝等

- 直接作用和间接作用

按时间变异性分为：永久作用、可变作用、偶然作用

按作用方向分为：竖向作用、水平作用

按空间位置变化分为：固定作用、自由作用

- 设计基准期（50年）：确定可变荷载值以及与时间有关的材料性能取值而采用的时间参数。
- 设计使用年限：在正常维护的条件下，结构和结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的年限。

荷载的代表值和标准值

- 荷载代表值

永久荷载（恒载）——标准值

可变荷载（活载）——标准值、组合值、频遇值和准永久值

- 荷载标准值：结构使用期间内可能出现的最大荷载值。
- 可变荷载组合值（组合值系数）：使组合后的荷载效应在设计基准期内的超越概率能与该荷载单独出现的相应概率趋于一致的荷载值。
- 可变荷载频遇值（频遇值系数）：在设计基准期内，其超越的总时间为规定的较小比率或其超越概率为规定频率的荷载值。
- 可变荷载的准永久值（准永久系数）：在设计基准期内，其超越的总时间约为设计基准期的一半时的荷载值。

不同荷载的计算

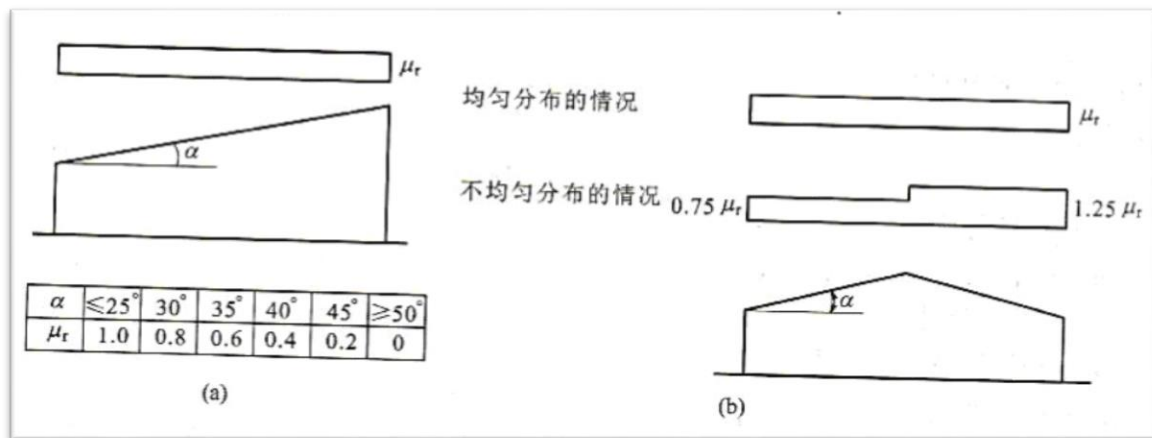
- 恒载：

混凝土 22~24kN/m³、钢筋混凝土 25kN/m³、砖 19kN/m³、钢 78.5kN/m³

- 楼面活荷载及折减系数（表2-1）

- 雪荷载和屋面均布活荷载（设计时取较大值）

$$S_k = \mu_r S_0$$



部分地区基本雪压

乌鲁木齐 0.80kN/m²

哈尔滨 0.45kN/m²

北京 0.40kN/m²

南京 0.65kN/m²

上海 0.20kN/m²

广州 0

屋面积雪分布系数 (a) 单跨单坡屋面；(b) 单跨双坡屋面

不同荷载的计算

- 风荷载

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$$

主要承重结构

$$w_k = \beta_{gz} \mu_{sl} \mu_z w_0$$

围护结构

β_z 高度 z 处的风振系数

μ_s 风荷载体型系数

μ_z 风压高度变化系数(见表)

w_0 基本风压

- **基本风压**是风荷载的基准压力，是按空旷平坦地面离地10m高度处的10min平均风速观测数据，经概率统计得到的50年一遇最大值，再考虑相应的空气密度、通过风速和风压的换算关系得到的。北京为0.45kN/m²，广州为0.50kN/m²，上海为0.55kN/m²。

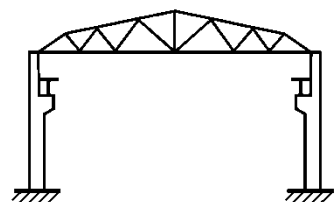
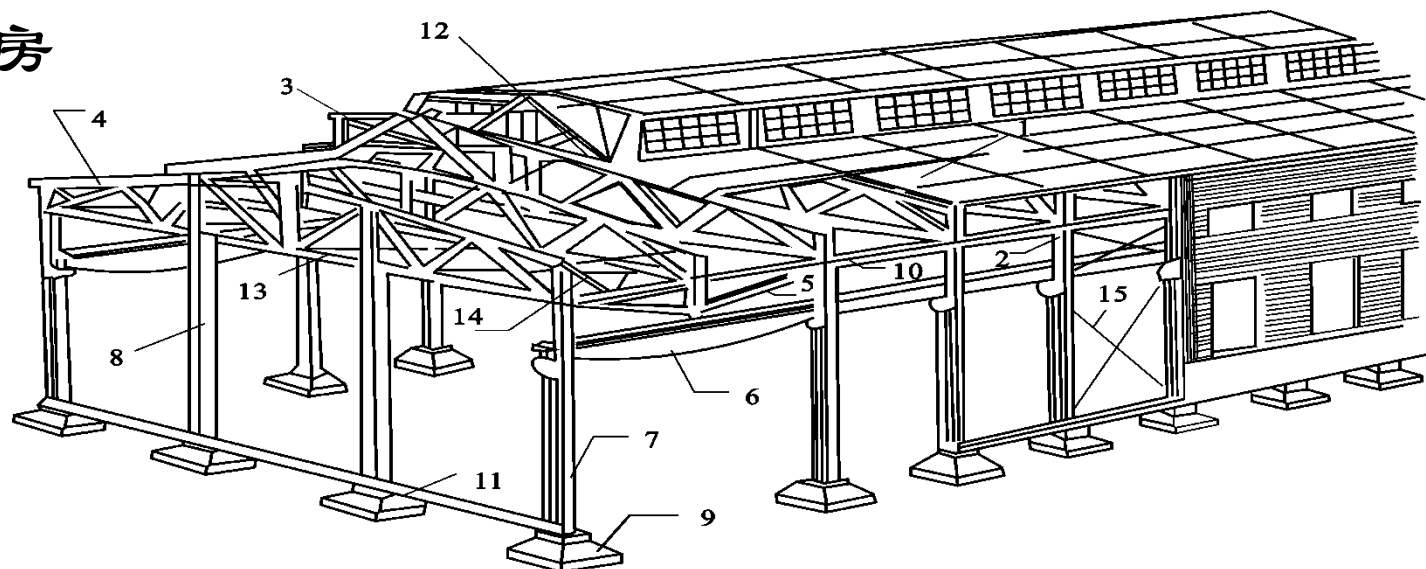
μ_z 风压高度变化系数(见下表)

离地面或海平面高度/m	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.17	1.00	0.74	0.62
10	1.38	1.00	0.74	0.62
15	1.52	1.14	0.74	0.62
20	1.63	1.25	0.84	0.62
25	1.80	1.42	1.00	0.62
30	1.92	1.56	1.13	0.73
35	2.03	1.67	1.25	0.84
40	2.12	1.77	1.35	0.93
.....				
100	2.40	2.09	1.70	1.27

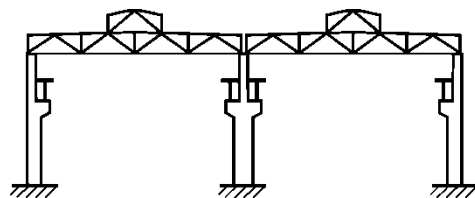
- A类：近海海面和海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；
B类：田野、乡村、丛林、丘陵及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区；
C类：有密集建筑群的城市市区；
D类：有密集建筑群及房屋较高的城市市区

不同荷载的计算

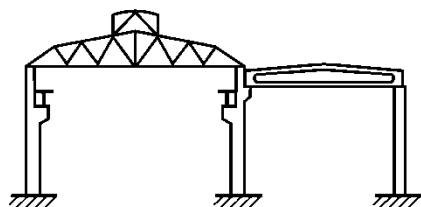
● 工业厂房



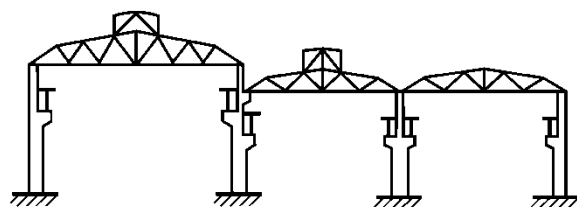
(a)



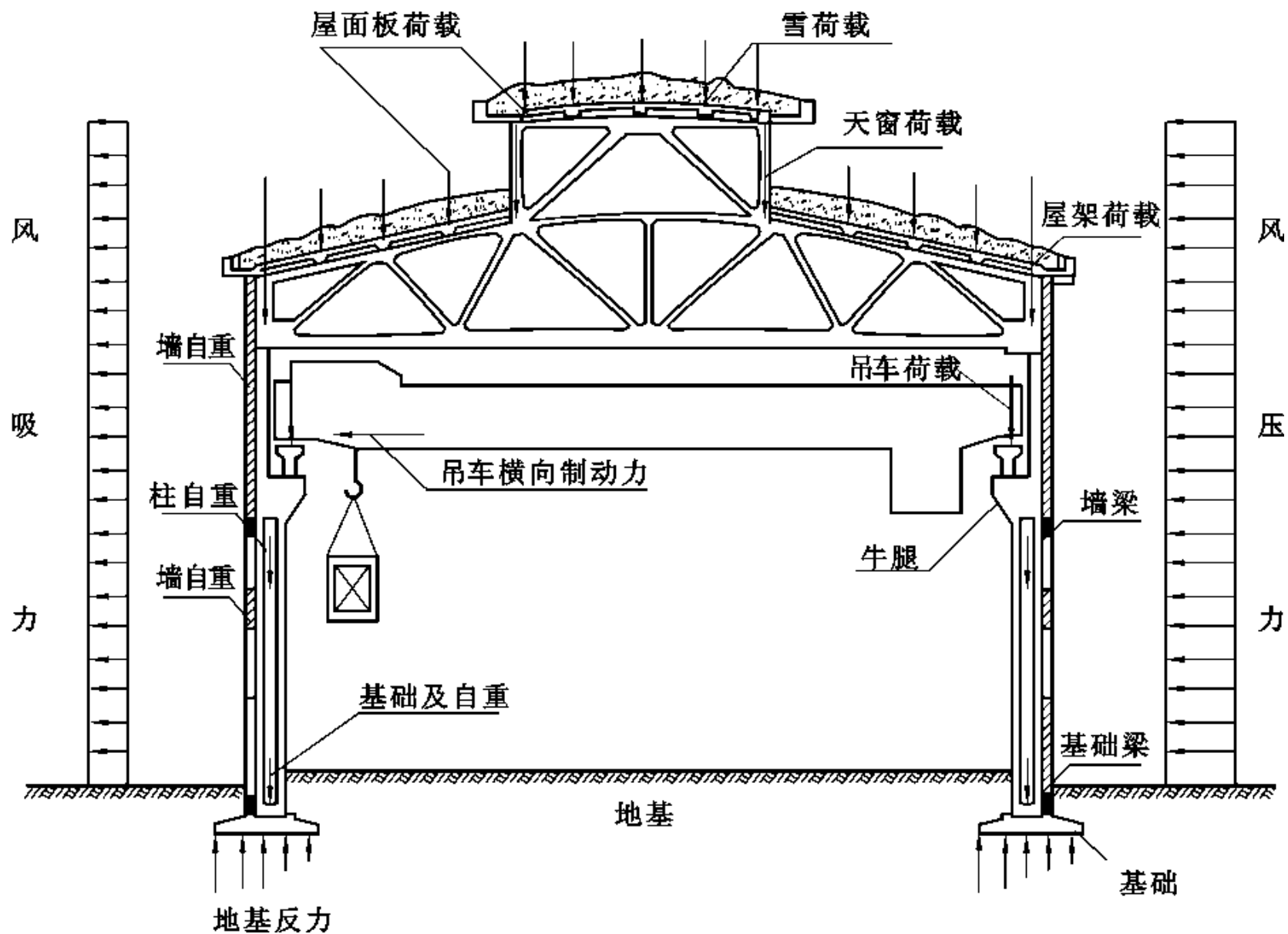
(b)



(c)



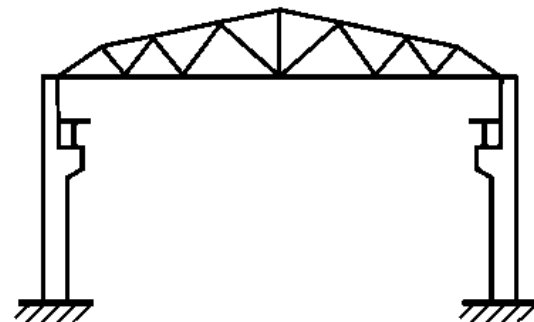
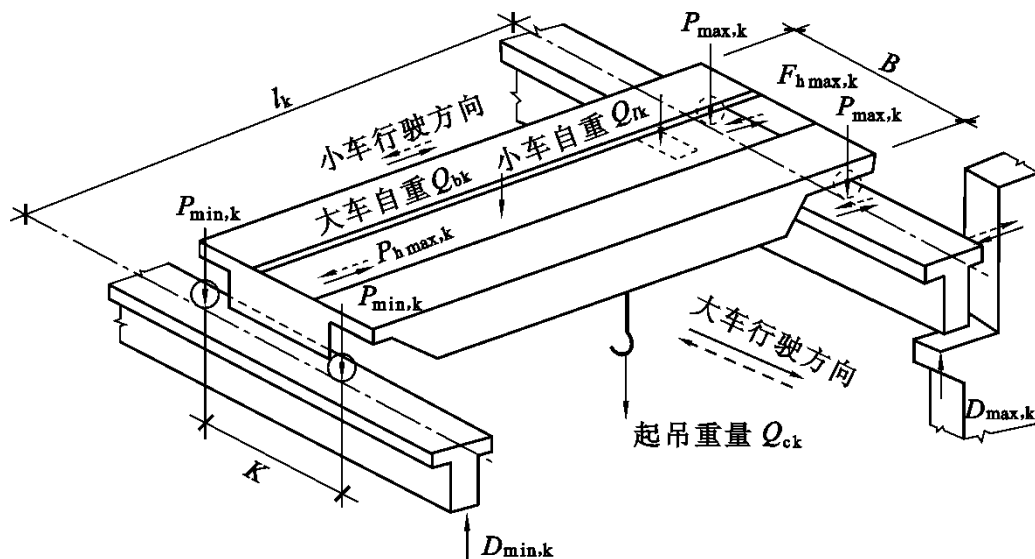
(d)



● 工业厂房中的特殊载荷是什么？



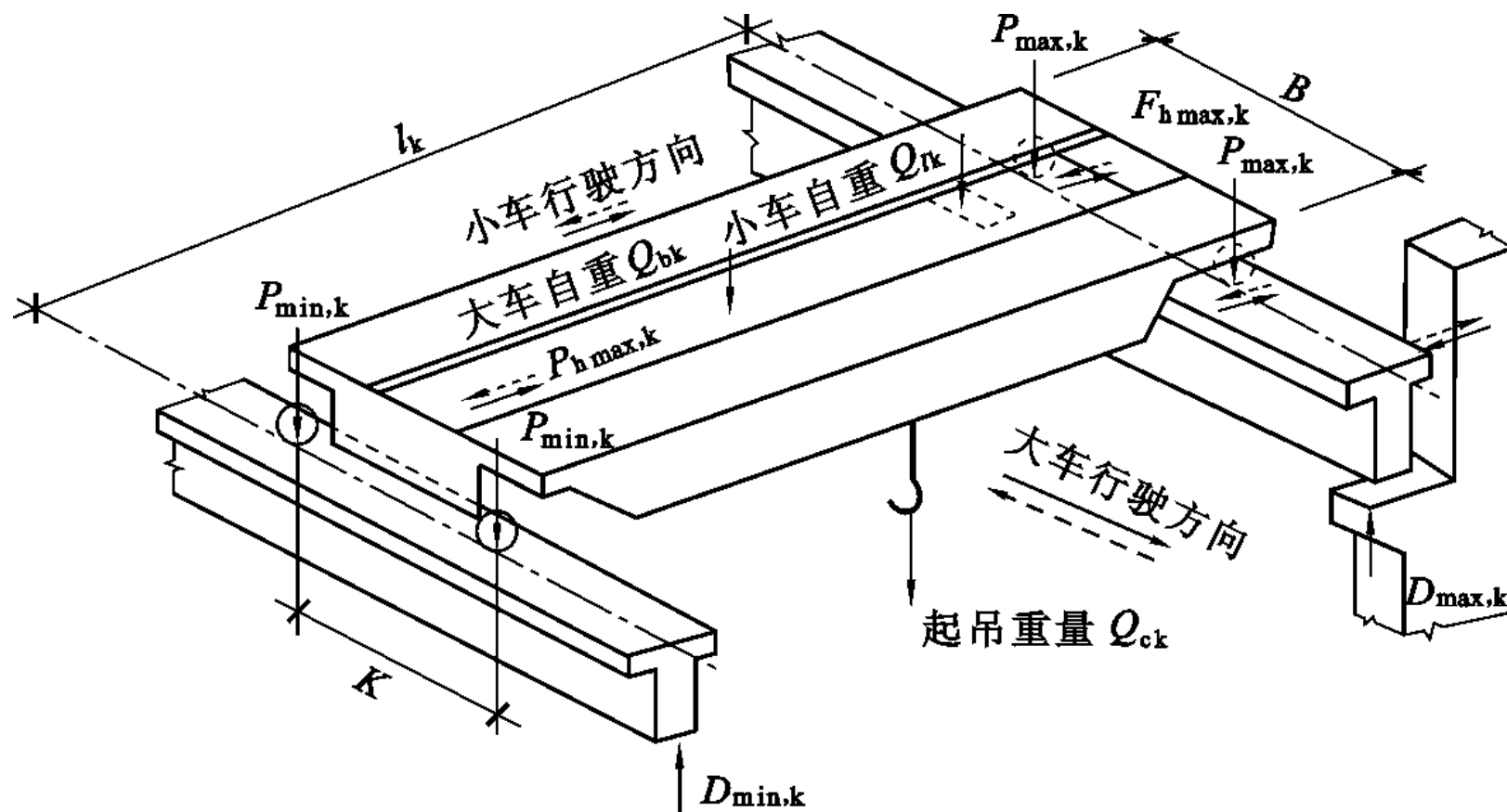
● 吊车荷载的特点



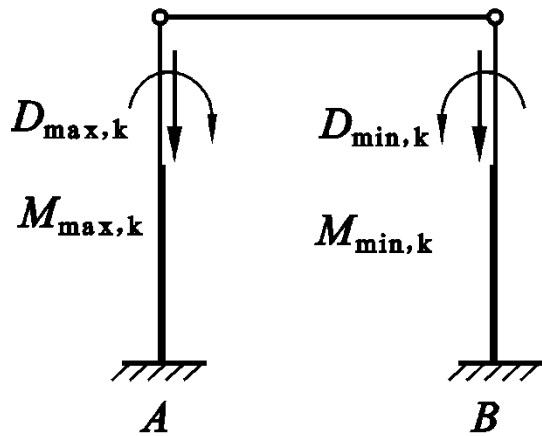
传力途径：吊车轮—吊车梁—排架柱

- 吊车的型号和规格——吊车荷载值
- 吊车的循环开动次数和荷载达到额定值的频度——分级
- 吊钩的种类

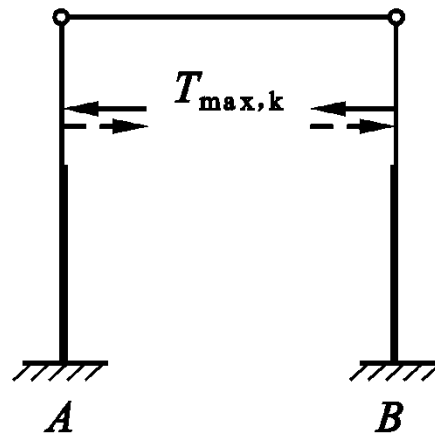
- 吊车荷载是移动荷载，排架梁受力最不利情况是什么？



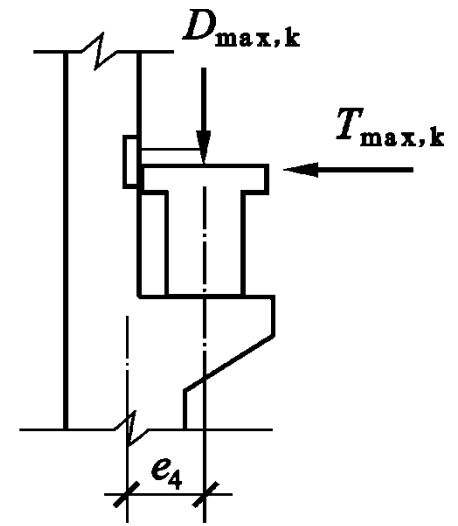
- 吊车的竖向荷载和横向水平荷载



(a)



(b)



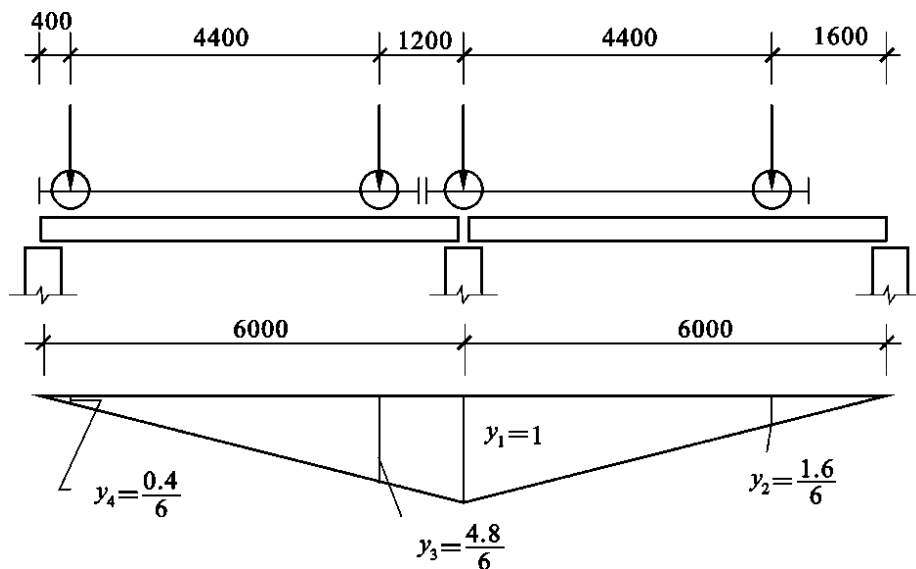
(c)



反力影响线

——表示反力变化规律的图形

演示：简支梁A端支座反力影响线的画法

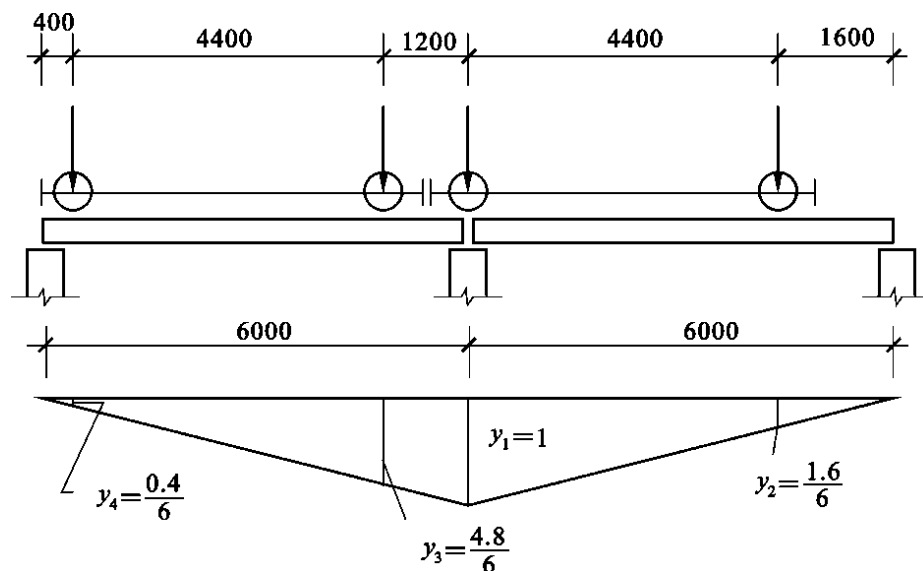


● 吊车的竖向荷载

作用在排架柱上的吊车荷载要用**反力影响线**原理求解。

$$D_{\max} = \sum F_{pi \max} y_j$$

$$D_{\min} = \sum F_{pi \min} y_j$$



$F_{pi \max}, F_{pi \min}$ 第*i*台吊车的最大轮压和最小轮压

y_i 反力影响线中与*j*轮压位置对应的横坐标值

● 吊车的横向水平荷载

横向水平荷载——桥式吊车的横行小车吊起重物后在启动或制动时产生的制动力。

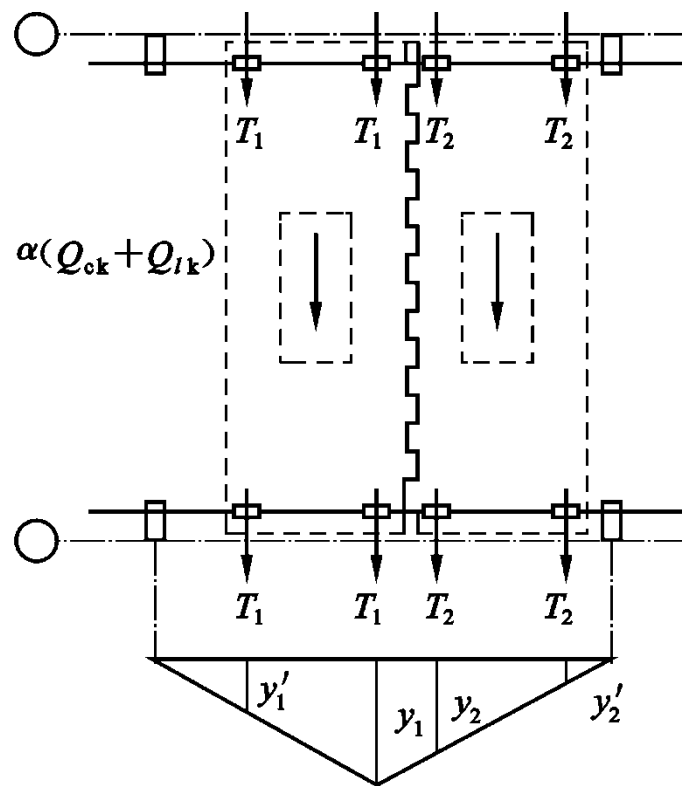
$$T = \frac{1}{4} \alpha (Q + Q_1)$$

α 横向水平制动力系数（软钩额定起重量 $Q \leq 10\text{t}$ 取 0.12，额定起重量 $Q = 16 \sim 50\text{t}$ 取 0.1，额定起重量 $Q \geq 75\text{t}$ 取 0.08，硬钩取 0.2）

Q 吊车的额定起重量的重力荷载

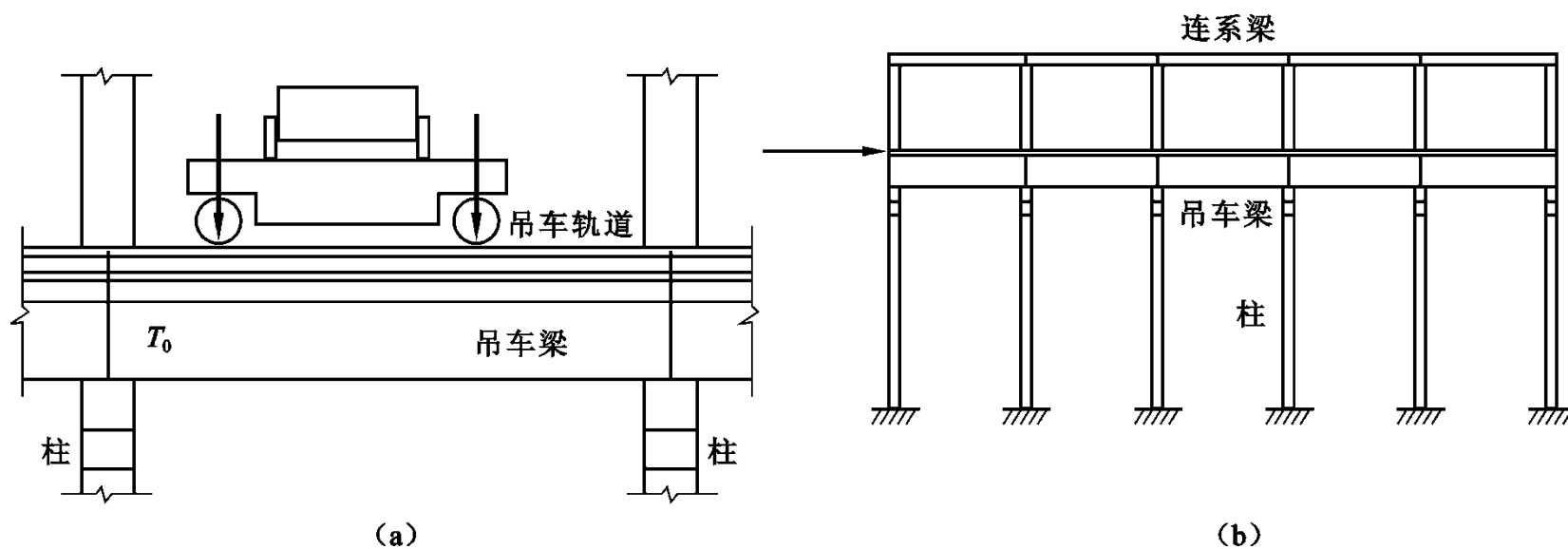
Q_1 小车重量

$$T_{\max} = \sum T_i y_j$$



● 吊车的纵向水平荷载

桥式吊车在厂房纵向启动和制动时产生的制动力。

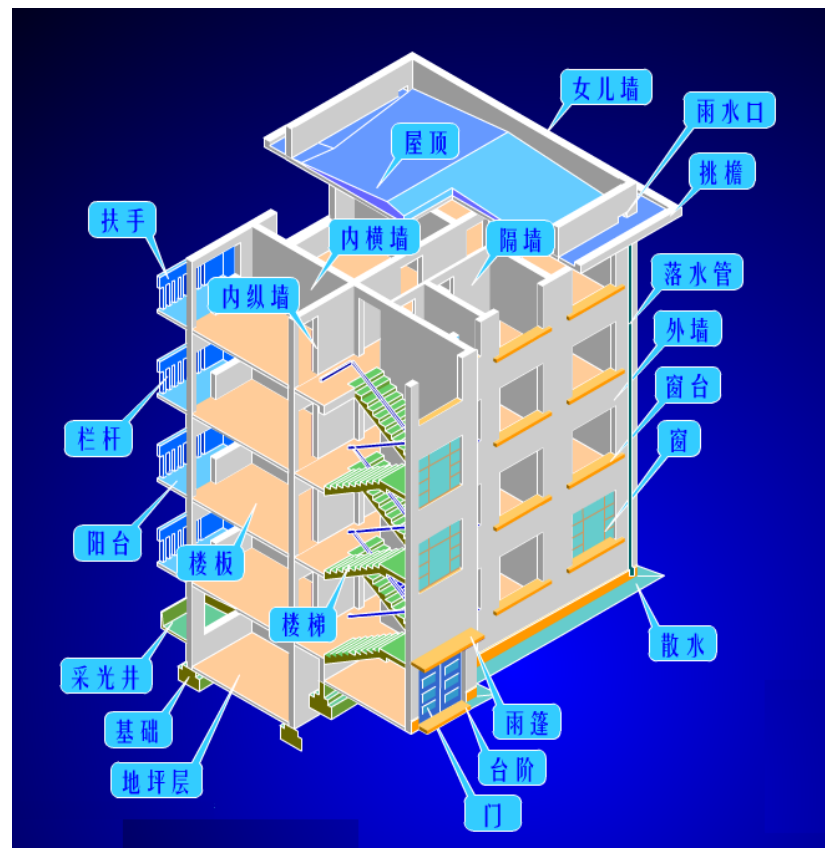
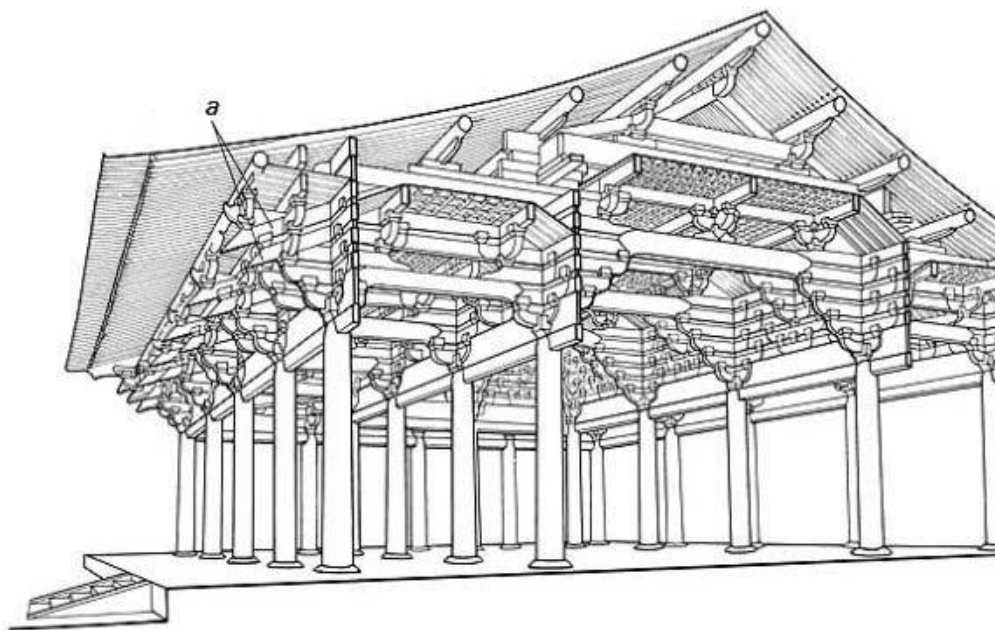


$$T_0 = nF_{p\max} / 10$$

n 施加在一边轨道上所有刹车轮数之和，对于一般的四轮吊车， $n=1$

基本构件

- 板——荷载、跨度、支撑条件和建筑设计有关
- 梁——建筑设计、受力需要、材料性能
- 柱
- 墙
- 桁架



第一部分：建筑结构设计总论

- 建筑结构的组成
- 建筑的分类
- 建筑结构的受力
- 建筑结构材料的力学性能
- 建筑结构设计原则和过程

建筑结构材料的力学性能

- 抗拉强度
- 抗压强度
- 弹性模量
- 剪变模量
- 钢材塑性

伸长率
冷弯性能
焊接性
冲击韧性



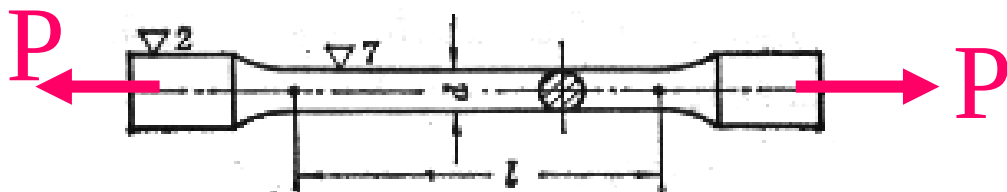
建筑结构材料的力学性能

- 基本概念

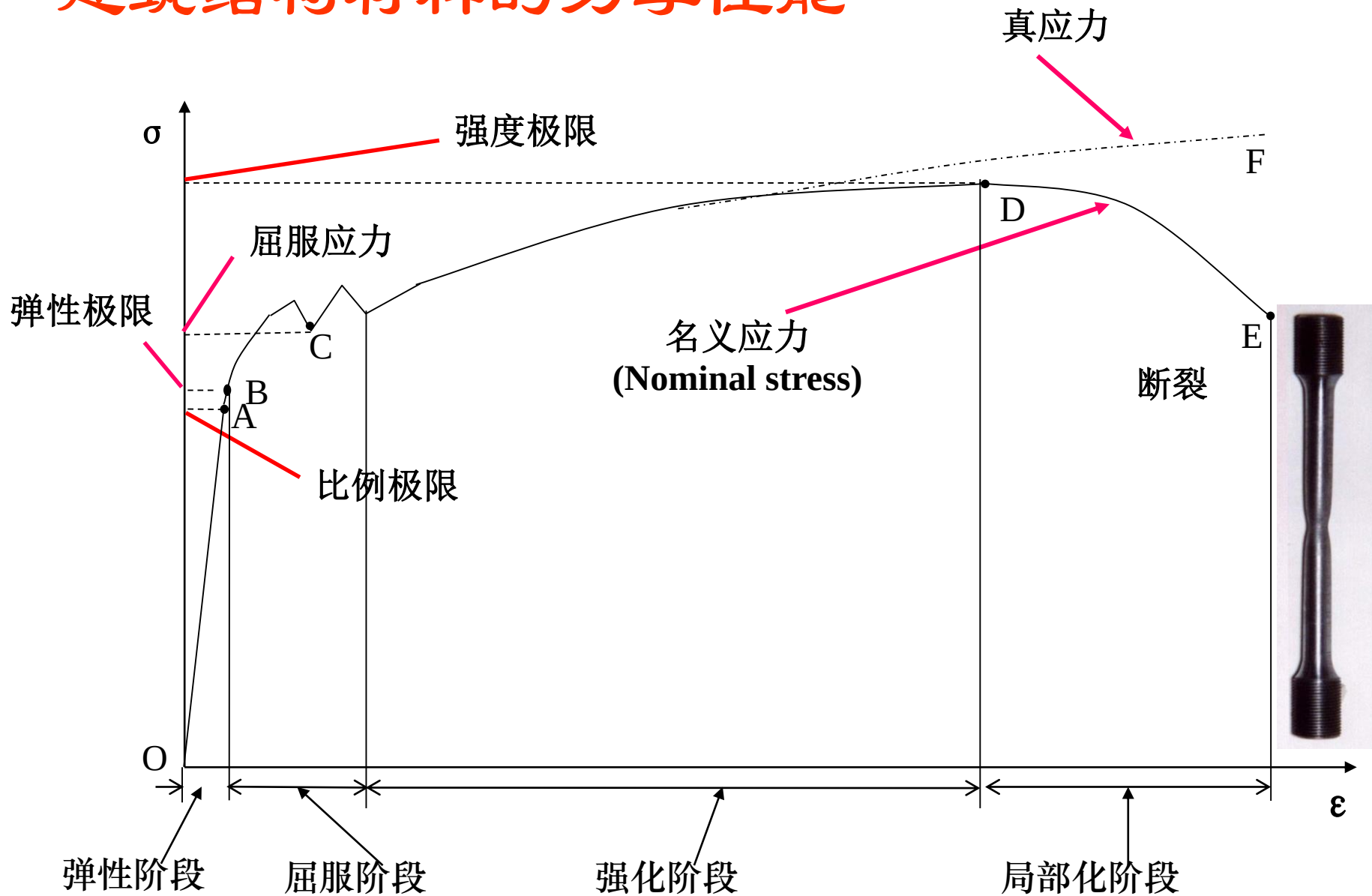
- 弹性

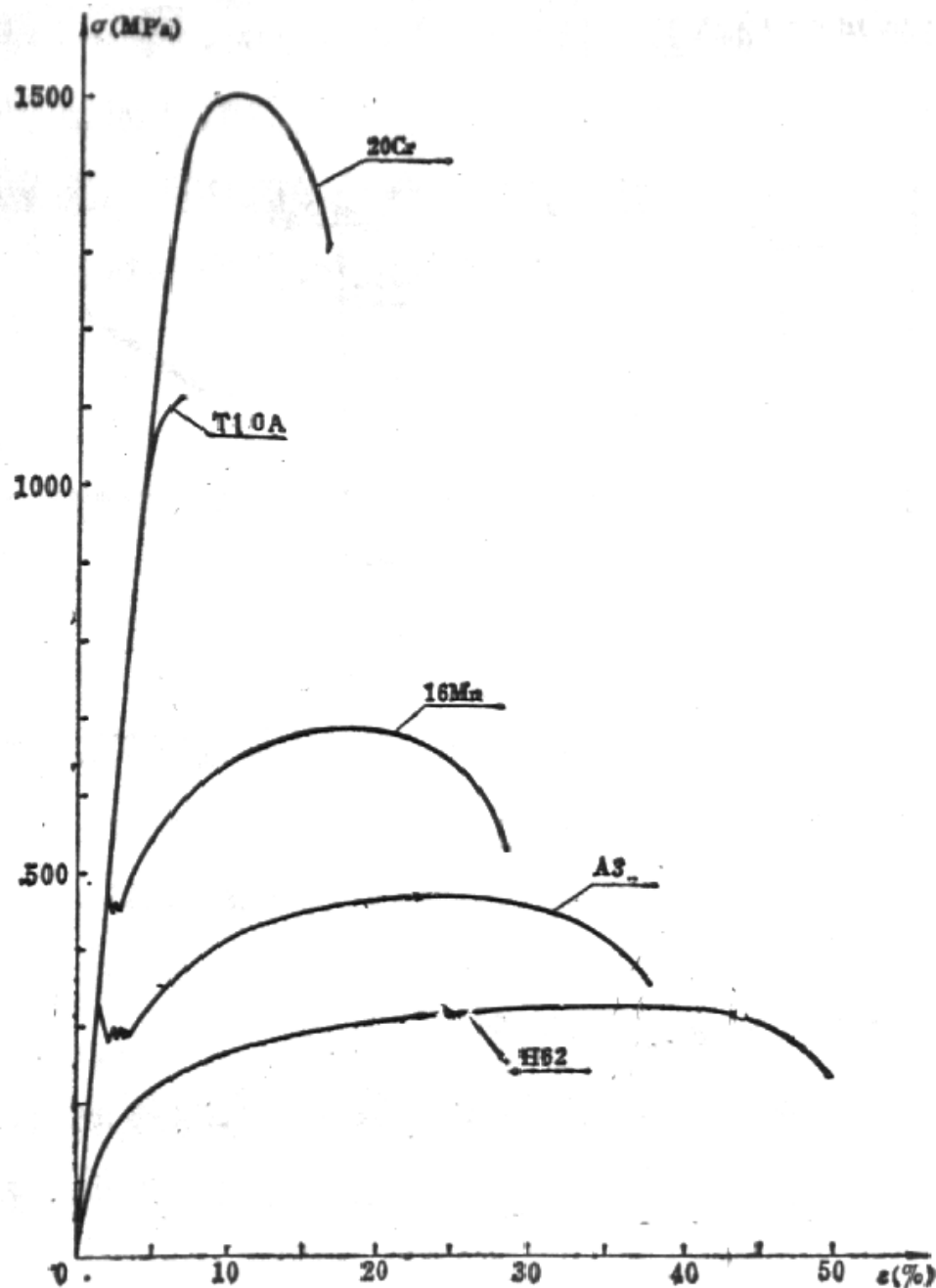
- 塑性

- 延性：超过弹性极限后直至破坏的过程中，材料耐受变形的能力。



建筑结构材料的力学性能





合金钢20Cr

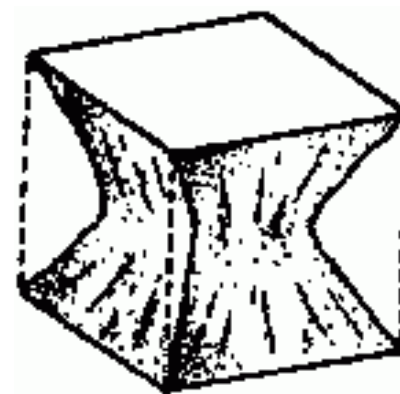
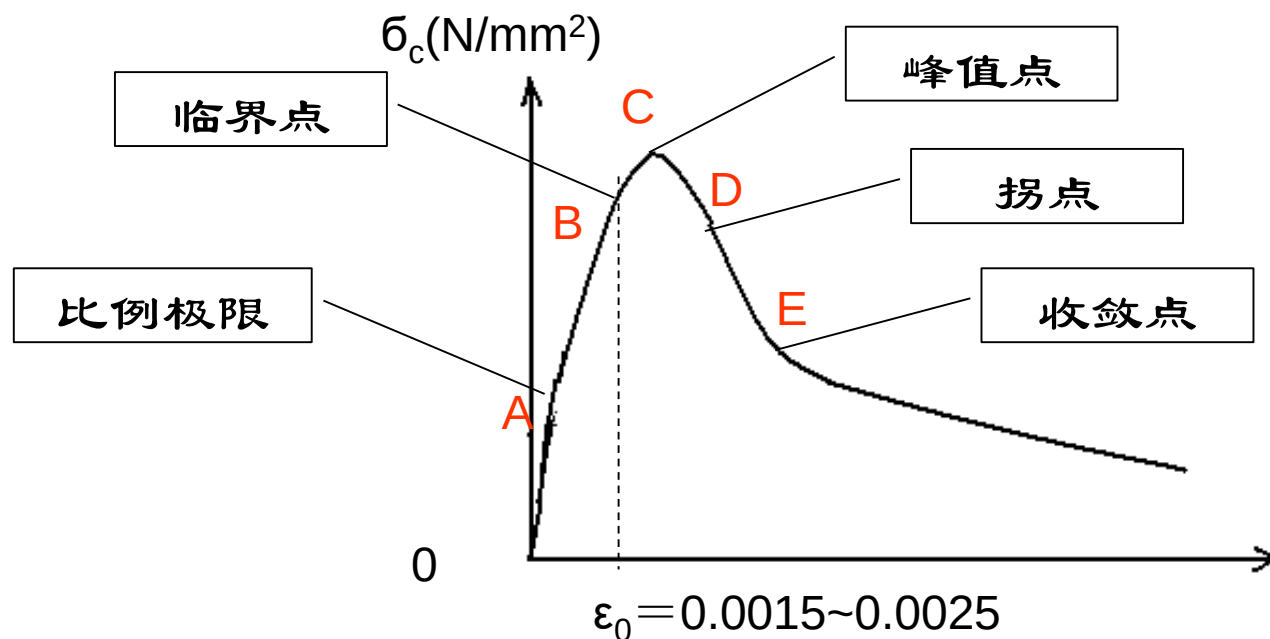
高碳钢T10A

螺纹钢16Mn

低碳钢A3

黄铜H62

建筑结构材料的力学性能



OA段——弹性变形阶段

AB段——稳定裂缝开展阶段，B点可作为长期抗压强度的依据

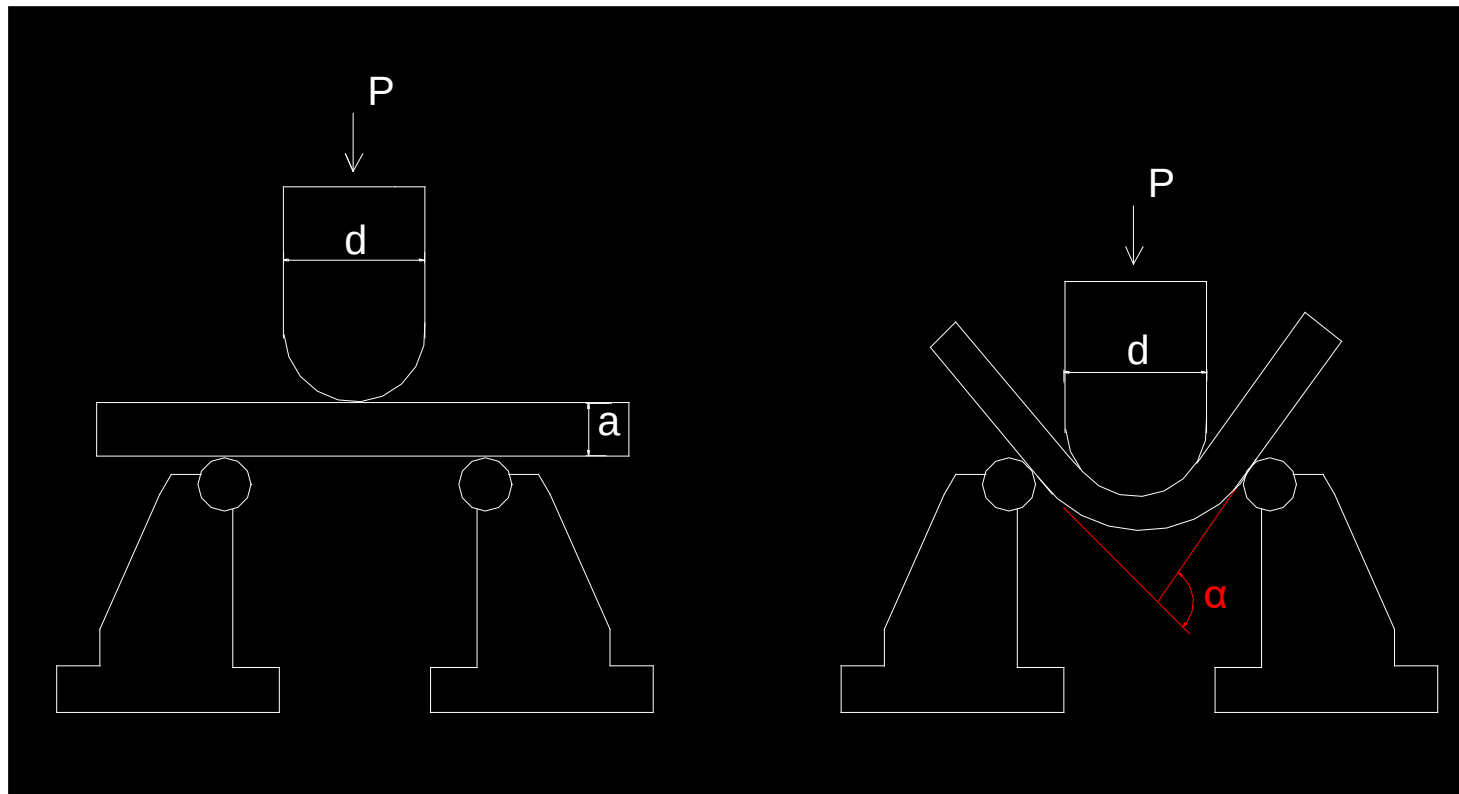
BC段——裂缝不稳定扩展阶段，C点应力 $\sigma_{\max}$ 即为 f_c ，相应应变为峰值应变 ϵ_0

CE段——峰值应力以后的裂缝继续开展阶段

超过D点结构受力性能开始发生本质变化，残余承压面承受荷载。

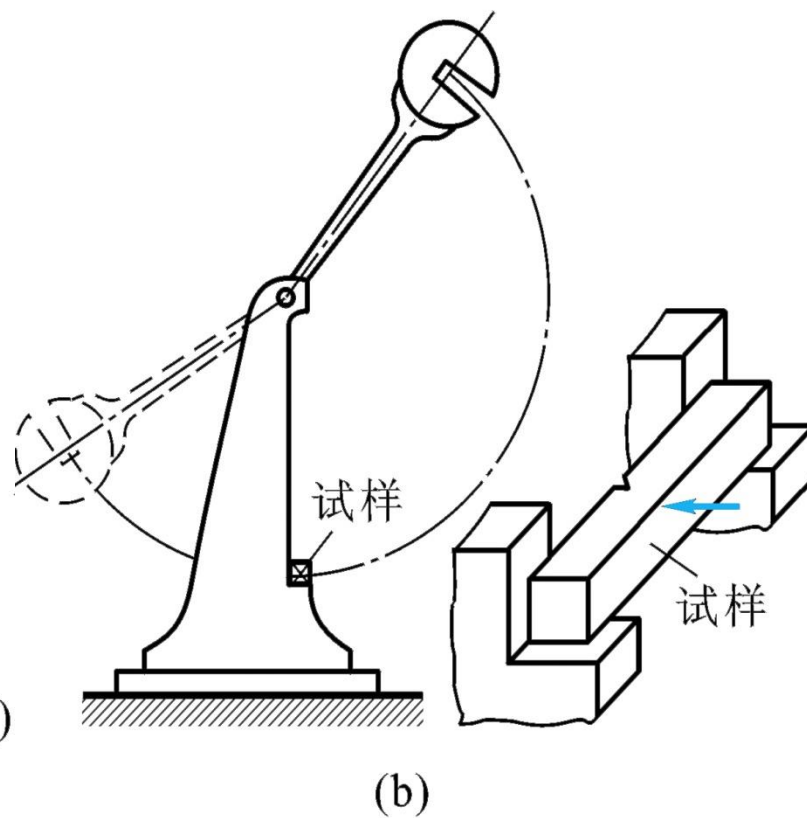
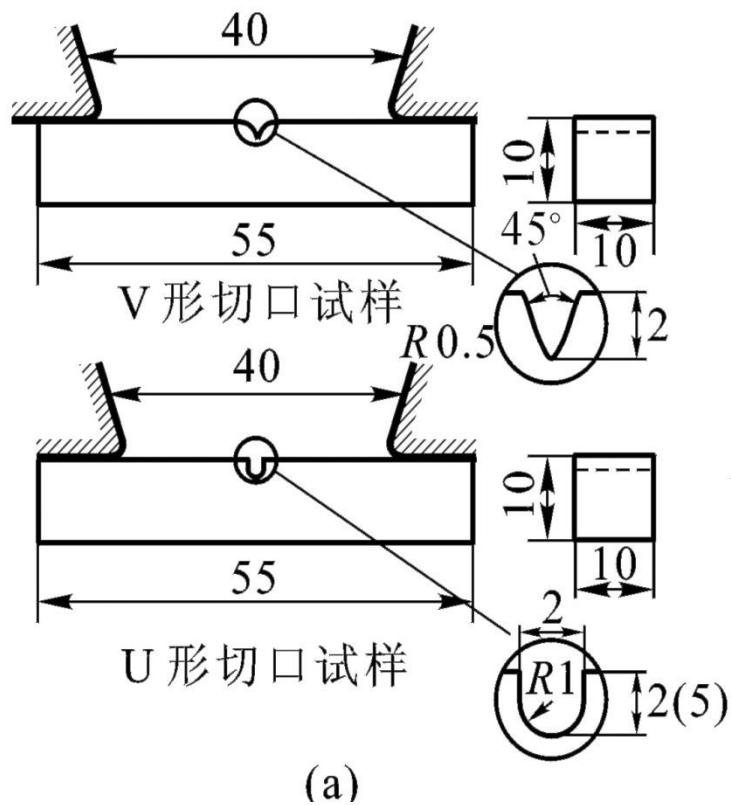
从E点以后，贯通的主裂缝已经很宽，对无侧向约束混凝土已失去结构意义

建筑结构材料的力学性能



冷弯性能是衡量钢材在常温下弯曲加工产生塑性变形时对产生裂纹的抵抗能力的一项指标，是判别钢材塑性变形能力及冶金质量的综合指标。

建筑结构材料的力学性能



冲击韧性是指钢材在冲击荷载作用下断裂时吸收机械能的一种能力，是衡量钢材抵抗可能因低温、应力集中、冲击荷载作用而致脆性断裂的一项机械性能。

第一部分：建筑结构设计总论

- 建筑结构的组成
- 建筑的分类
- 建筑结构的受力
- 建筑结构材料的力学性能
- 建筑结构设计原则和过程

概念设计和数值设计

- 数值设计
- 概念设计

出于对结构地震反应（内力和变形）复杂性和不确定性的认识，强调建筑物总体方案和构造设计在抗震设计中的首要地位。

抗震设计、静力设计（沉降、温差等）

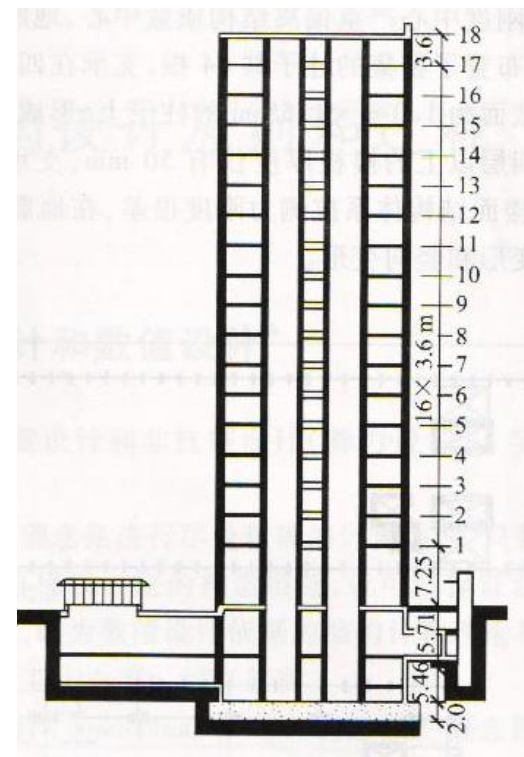
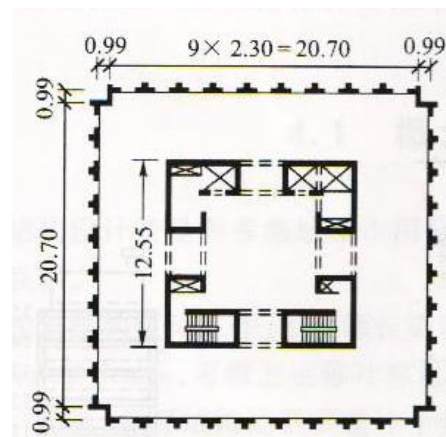
抗震设计中概念设计的重要性

建筑结构的规则性对抗震能力的重要影响的认识始自若干现代建筑在地震中的表现。最为典型的例子是1972年12月23日南美洲的马那瓜地震。

马那瓜有相距不远的两幢高层建筑，一幢为15层高的中央银行大厦，另一幢为18层高的美洲银行大厦。当地地震烈度估计为8度。一幢破坏严重，震后拆除；另一幢轻微损坏，稍加修理便恢复使用。



抗震设计中概念设计的重要性



美洲银行大厦——结构是均匀对称的，基本的抗侧力体系包括4个L形的筒体，对称地由连梁连接起来，这些连梁在地震时遭到剪切破坏，是整个结构能观察到的主要破坏。

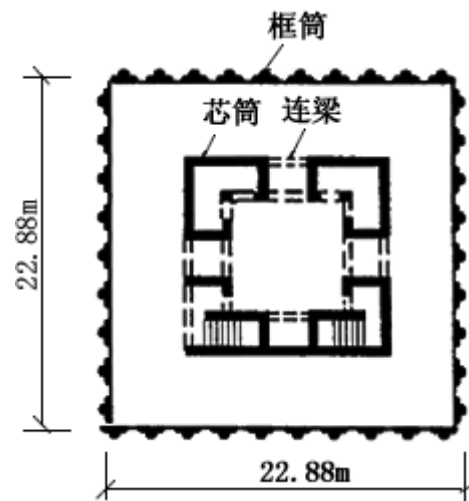
抗震设计中概念设计的重要性

分析表明：

1. 对称的结构布置及相对刚强的联肢墙，有效地限制了侧向位移，并防止了明显的扭转效应；

2. 避免了长跨度楼板和砌体填充墙的非结构构件的损坏；

3. 当连梁剪切破坏后，结构体系的位移虽有明显增加，但由于抗震墙提供了较大的侧向刚度，位移量得到控制。

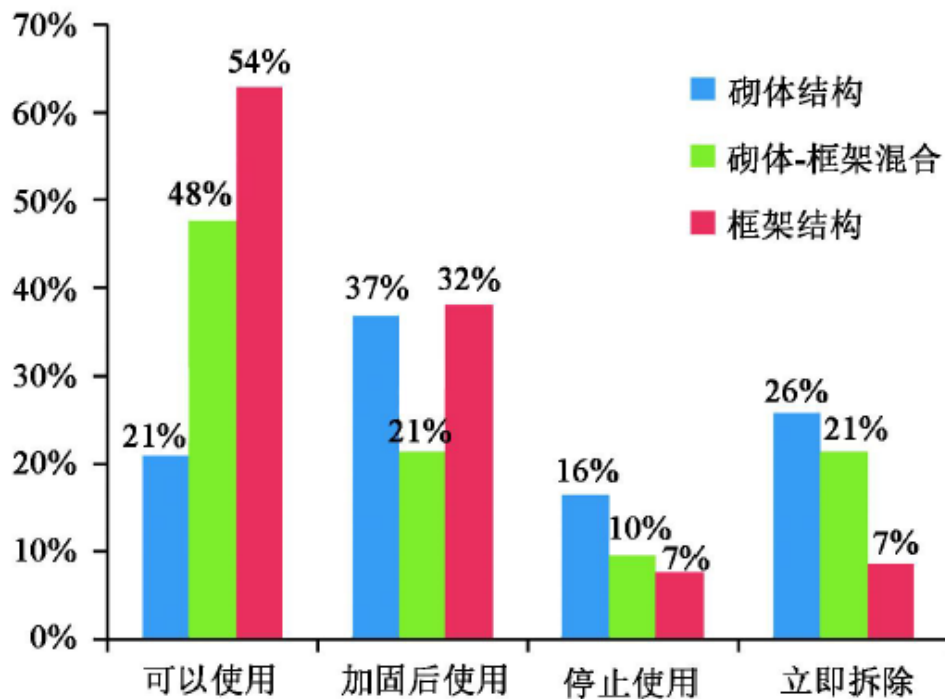


中央银行大厦震后分析结果

1. 结构存在十分严重扭转效应；
2. 塔楼3层以上北面和南面大多数柱子抗剪能力大大不足，率先破坏；
3. 水平地震作用下，柔而长的楼板产生可观的竖向运动等。



抗震设计中概念设计的重要性



汶川地震中各类结构体系的震害情况对比

建筑结构设计基本原则

- 结构的功能要求
- 结构的极限状态
- 结构设计原则
- 实用设计表达式

结构的功能要求

- **建筑结构应满足的功能要求：**

1. 安全性
2. 适用性
3. 耐久性

- **结构的可靠性：**

结构在规定时间内、规定条件下完成预定功能的能力。

结构的极限状态

荷载效应S和结构抗力R

注意：R和S均为随机变量

- 荷载效应是指荷载引起的结构构件产生的内力和变形，用S表示。
- 结构抗力是指整个结构或结构构件承受内力和变形的能力，用R表示。

结构功能函数

因为结构抗力和作用效应是随机变量，功能函数 Z 也是随机变量。

$R > S$ 结构处于可靠状态

$R < S$ 结构处于失效状态

$R = S$ 结构或构件已达到预定功能的极限状态

令 $Z = R - S$

Z 作为结构功能总体的随机变量，称为结构功能函数。

$Z = R - S = 0$ (或 $R = S$) 称为极限状态方程

结构的极限状态

- 承载力极限状态
- 正常使用极限状态

- **承载力极限状态**

1. 结构或结构一部分作为刚体失去平衡
2. 构件或连接因超过材料强度而破坏或过度变形不适于继续承载
3. 结构变为机动体系
4. 结构或构件丧失稳定性
5. 地基丧失承载力

- **正常使用极限状态**

1. 影响正常使用或外观的变形
2. 结构出现影响正常使用或耐久性能的局部破坏
3. 影响正常使用的振动
4. 影响结构正常使用的其他特定状态

极限状态设计的实用表达式

在进行结构设计时，应根据结构在施工和使用中的环境条件和影响，区分不同状况，同时对结构上可能出现的荷载，要按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行组合，并取各自的最不利的效应组合进行设计。

- 承载能力极限状态的实用表达式
- 正常使用极限状态的实用表达式

承载能力极限状态的实用表达式

设计表达式： $\gamma_0 S \leq R$

S ——荷载组合的效应设计值

① 由可变荷载效应控制的组合：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}$$

② 由永久荷载效应控制的组合：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}$$

正常使用极限状态的实用表达式

设计表达式： $S \leq C$

荷载作用效应的组合 S 为：

1. 荷载的标准组合——产生严重的永久性损害

$$S = S_{Gk} + S_{Q_{1K}} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Q_{iK}}$$

2. 荷载的频遇组合——产生局部损害或较大变形

$$S = S_{Gk} + \psi_{f1} S_{Q_{1K}} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Q_{iK}}$$

3. 荷载的准永久组合——长期效应是决定因素

$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Q_{iK}}$$

建筑结构设计的一般过程

