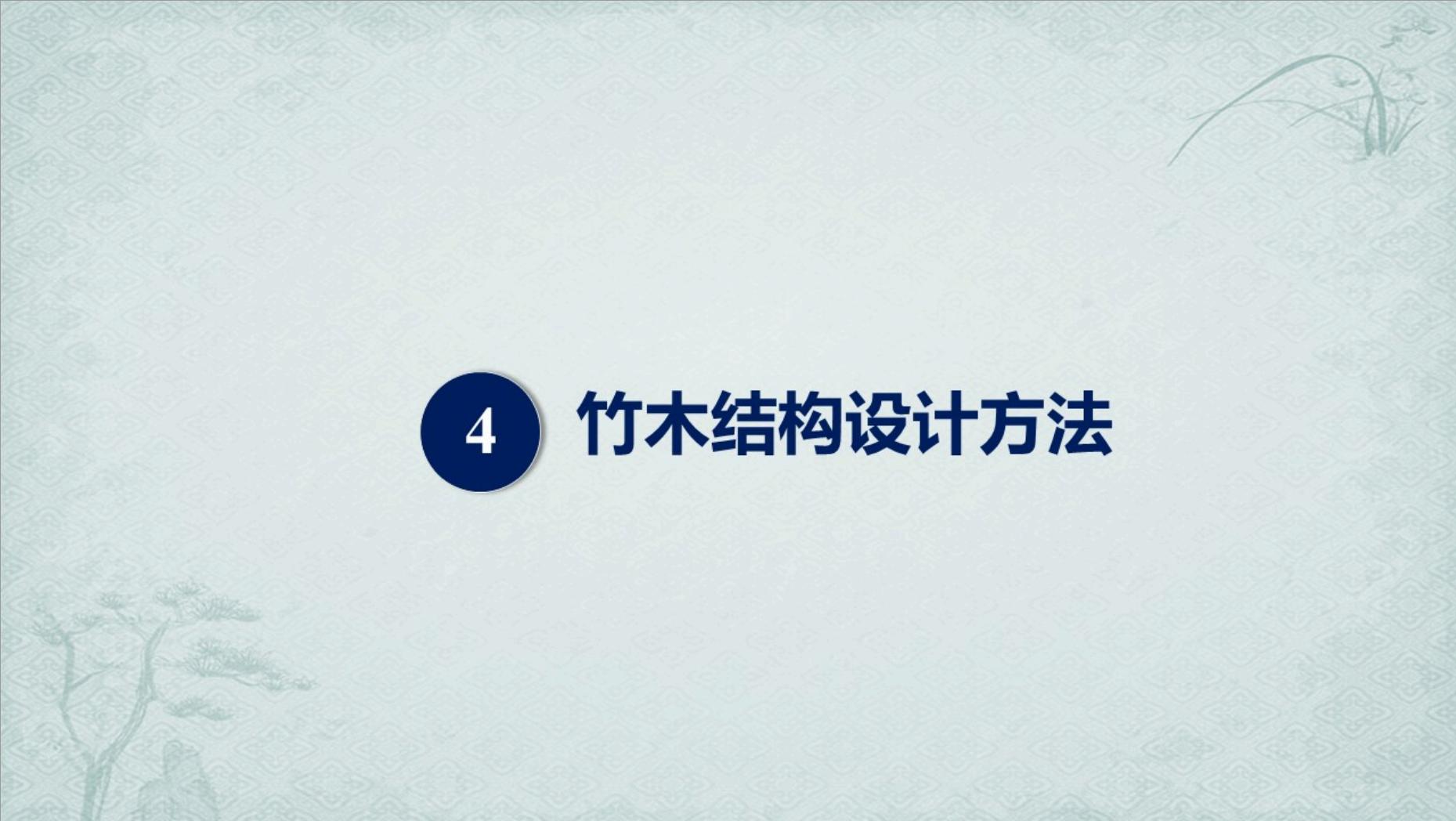




竹木结构

● 主讲教师：周淑容

开课单位：土木工程学院



4

竹木结构设计方法

CONTENTS

目录



4.1 结构设计的要求

4.2 设计方法的发展 (补充)

4.3 竹木结构设计

4.4 基本设计规定

4.5 设计指标

4.1 结构设计的要求

➤ 建筑结构组成及类型

✓ 建筑结构组成

上部结构

水平结构体系: 楼盖和屋盖 (板、梁组成)。

作用: 承受竖向荷载，并传递给竖向结构；

将水平力传递和分配给竖向结构。

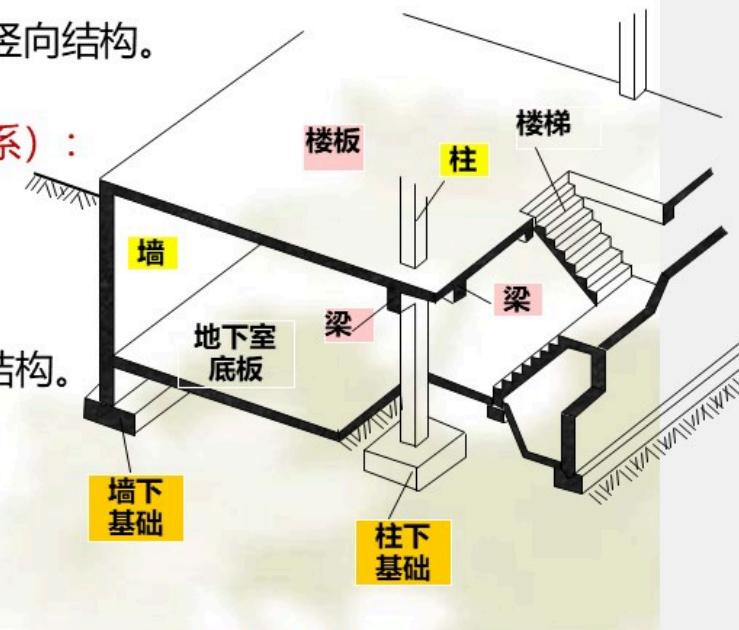
竖向结构体系 (抗侧力结构体系):

柱、墙等

作用: 承受水平结构传递的
竖向力和水平力，并传递给下部结构。

下部结构: 地下室和基础等

作用: 将上部结构传来的力可靠地传递给地基。



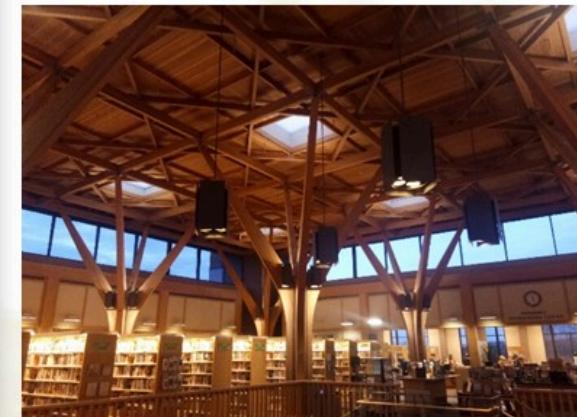
竹木结构

4.1 结构设计的要求

➤ 建筑结构组成及类型

✓ 结构类型

- ◆ 按**结构材料**分：砌体结构、混凝土结构、钢结构、木结构、组合结构和混合结构。



竹木结构

4.1 结构设计的要求

➤ 建筑结构组成及类型

✓ **结构类型** 按上部结构中**竖向结构体系**的结构类型划分

- ◆ 按**竖向结构体系**分：框架结构、框架-支撑结构、剪力墙结构、
框架-剪力墙结构等。



梁柱式



伦敦Stadthaus住宅大楼
(2019, 1层混凝土+8层CLT剪力墙)



挪威Treet大楼 (2015, 14层)
胶合木梁柱+支撑+CLT剪力墙



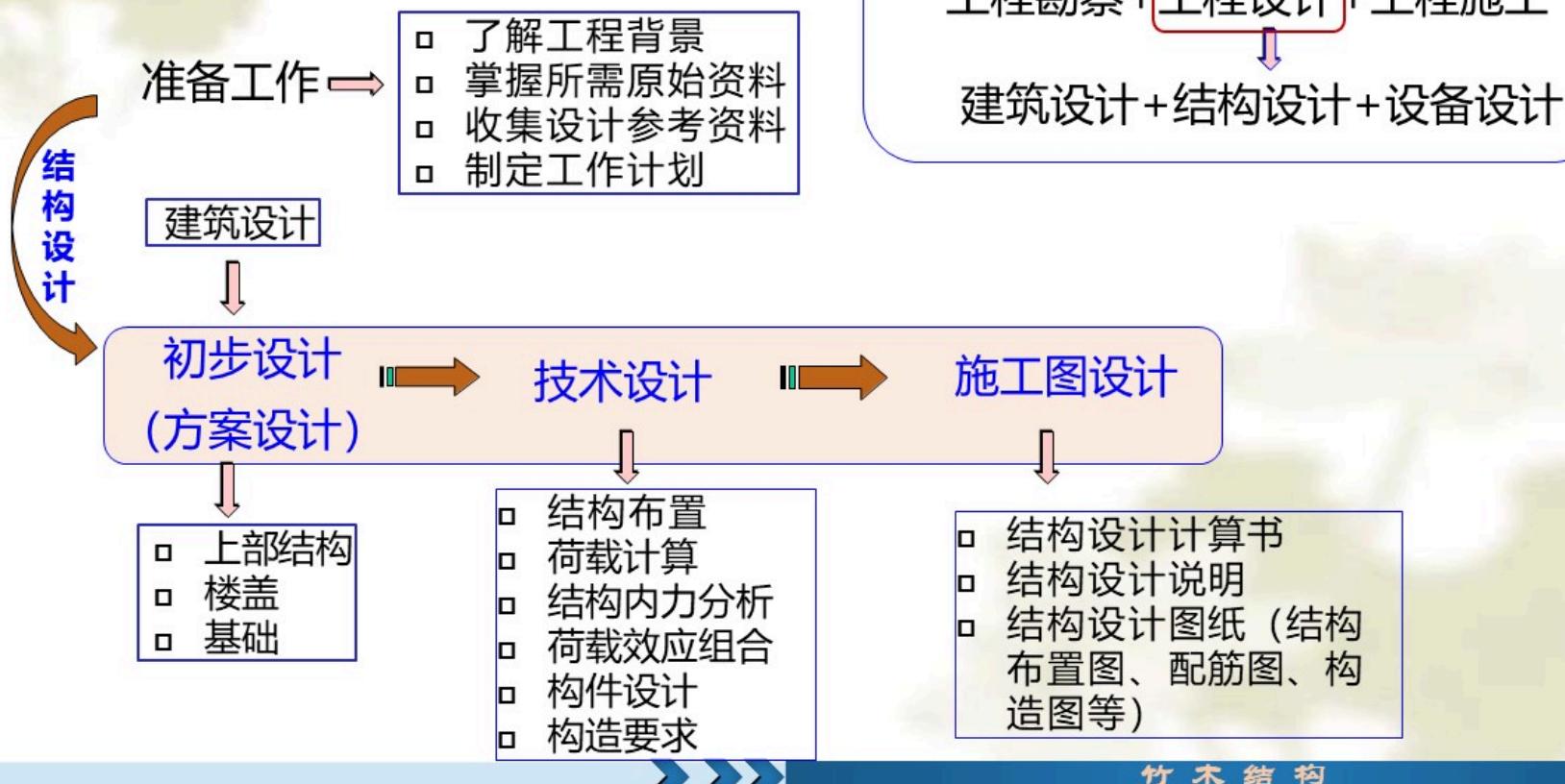
加拿大UBC学生宿舍楼
(2017, 18层)
框架支撑+混凝土核心筒



竹木结构

4.1 结构设计的要求

➤ 建筑结构的设计步骤



4.1 结构设计的要求

✓ 结构设计涉及的问题

■ 第一类：共性的问题

- 作用在构件上的荷载：其大小如何确定？
- 所用材料的强度如何确定？
- 结构安全可靠标准是什么？

➡ 属于基本计算原则

荷载与结构
设计方法

■ 第二类：具体问题

- 应用基本原则对不同构件进行设计和计算，并采取相应的构造措施使所设计的构件满足要求。

构件如何设计？
如何保证安全、
经济、合理？



竹木结构

4.1 结构设计的要求

✓ 建筑结构设计的要求

安全性
适用性
耐久性 } 功能要求

经济合理

结构设计时应考虑功能要求和经济性之间的均衡，在保证结构可靠的前提下，设计出**经济的、技术先进的，施工方便的**结构。

竹木结构

4.1 结构设计的要求

✓ 建筑结构设计的要求

➤ 安全性

在使用年限内，足够的承载力，能够承受正常施工和正常使用时的荷载和变形。并在**偶然事件**(如地震、爆炸)发生时，仍能保持整体稳定性。



燃气爆炸



连续倒塌



竹木结构



4.1 结构设计的要求

✓ 建筑结构设计的要求

➤ 适用性

正常使用时有良好的工作性能，
不产生过大的变形、振动和裂缝。



过大变形



裂缝

➤ 耐久性

在正常维护条件下应具有良好的耐久性，如结构
不产生风化、腐蚀、脱落、碳化和钢筋锈蚀。



竹木结构



CONTENTS

目录



4.1 结构设计的要求

4.2 设计方法的发展 (补充)

4.3 竹木结构设计

4.4 基本设计规定

4.5 设计指标

4.2 设计方法的发展

✓ 结构上的作用、作用效应及抗力

作用

——使结构产生内力和变形的所有原因。

➤ **直接作用（荷载）**：直接施加于结构上、且使其产生内力效应的作用力被称为荷载。如自然作用力中的重力荷载、风荷载、冰雪荷载、屋面积灰荷载、静水压力以及人为作用产生的动力荷载等。

➤ **间接作用**：指引起结构外加变形或约束变形或振动的原因，如混凝土收缩或徐变、温度变化、基础沉降、地震作用、焊接等。

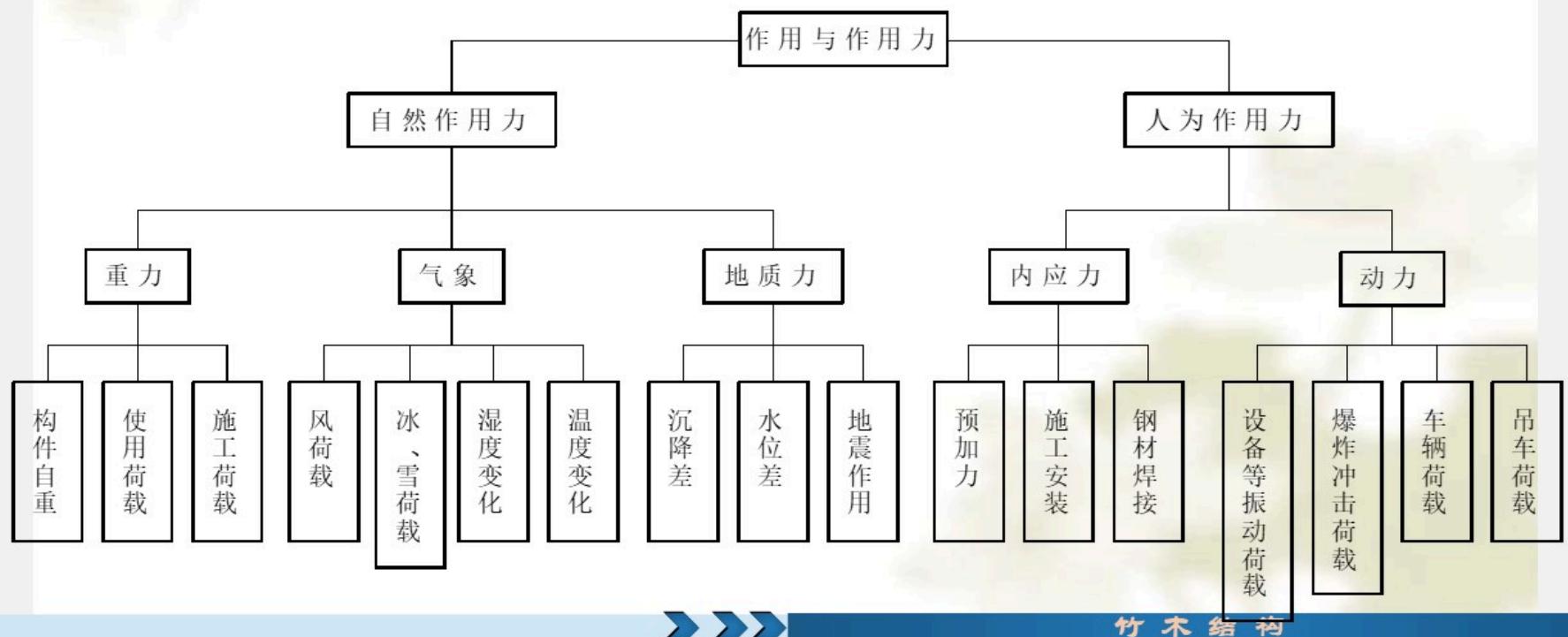
间接作用与外界因素和结构本身特性有关。



4.2 设计方法的发展

✓ 结构上的作用、作用效应及抗力

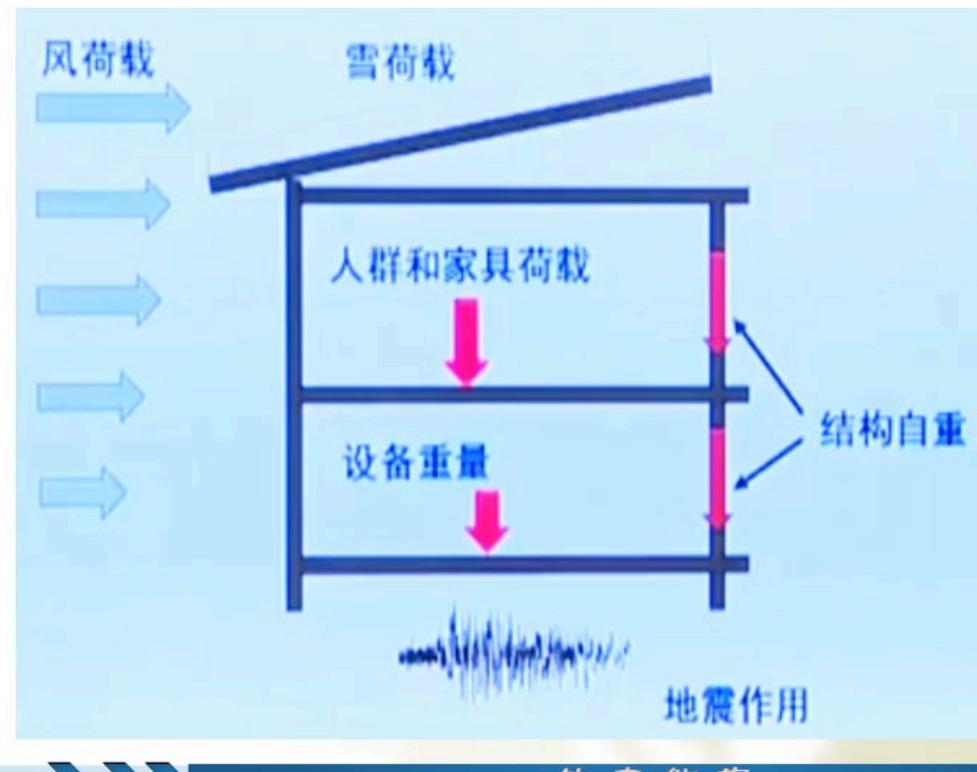
□ 建筑结构所承受的作用及作用力种类



4.2 设计方法的发展

✓ 结构上的作用、作用效应及抗力

□ 建筑结构的常见荷载



竹木结构

4.2 设计方法的发展

✓ 结构上的作用、作用效应及抗力

作用（或荷载）效应S

—— 结构上的作用使结构或构件产生的内力和变形等。

{ **内力**: 拉力、压力、弯矩、剪力、扭矩等;
变形: 拉伸、压缩、弯屈、挠度、扭转、转角和裂缝等。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

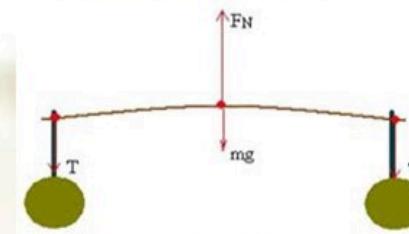
✓ 结构上的作用、作用效应及抗力

结构的抗力R

——指结构或构件承受作用效应的能力。

- 结构抗力的影响因素：

{ 材料性能
几何参数
计算模式



竹木结构

4.2 设计方法的发展

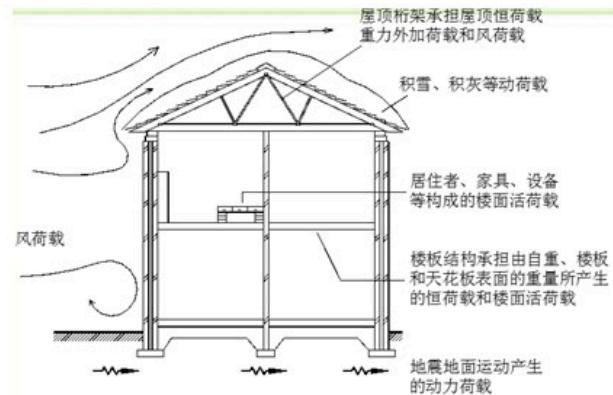
✓ 作用或荷载的分类

(1) 按照方向分类：

竖向作用/荷载、水平作用/荷载

(2) 按照随时间的变化和出现的可能性分类：

- ◆ 永久作用/荷载（恒荷载）：结构自重、土压力、预应力等。
- ◆ 可变作用/荷载（活荷载）：如楼、屋面活荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载、多遇地震等。
- ◆ 偶然作用/荷载：如爆炸力、冲击力等



竹木结构

4.2 设计方法的发展

✓ 作用或荷载的分类

(3) 按照空间位置的变化分类：

- ✓ 固定作用：恒荷载、固定设备
- ✓ 移动作用：车辆荷载、人群荷载、吊车荷载等

(4) 按照结构的反应特点(是否产生加速度)分类：

- ✓ 静力作用：结构自重、雪荷载和楼面活荷载
- ✓ 动力作用：风荷载、地震作用、振动设备、撞击力和爆炸力等

(5) 按照荷载的分布情况分类：

- ✓ 集中荷载和分布荷载。



» 4.2 设计方法的发展 <

✓ 作用或荷载的分类

➤ 设计基准期

为确定可变作用及与时间有关的材料性能取值而选用的时间参数，一般情况下不可随意更改。

我国建筑工程的设计基准期为50年，即建筑结构设计所考虑的荷载统计参数都是按50年确定的。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

✓ 作用或荷载的分类

➤ 结构的设计工作年限

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的时间，结构在此年限内应满足安全性、适用性和耐久性的要求。

类别	设计工作年限(年)	示例	可变荷载调整系数 γ_L
1	5	临时性建筑结构	0.9
2	25	易于替换的结构构件	~
3	50	普通房屋和构筑物	1.0
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构	1.1

竹木结构

4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

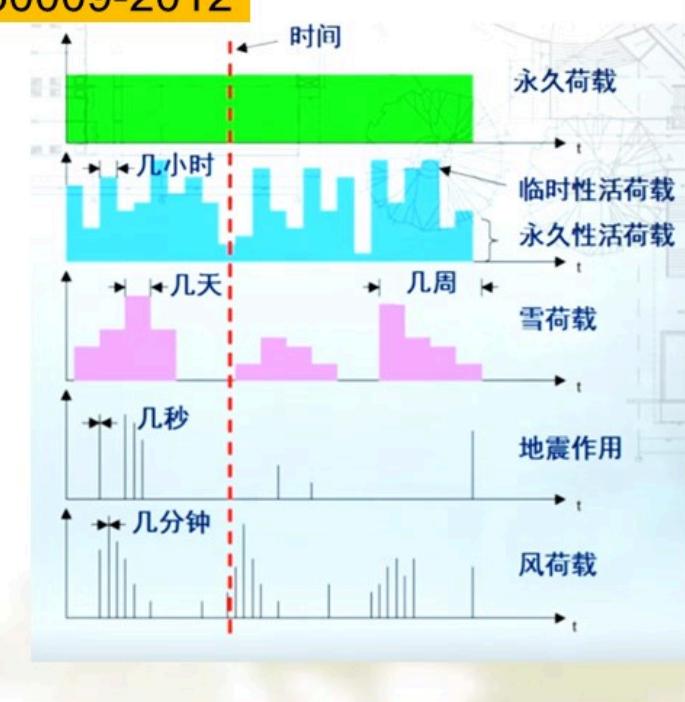
✓ 荷载代表值——《建筑结构荷载规范》 GB50009-2012

各种荷载具有不同的变异性，其大小、发生时间和作用位置都具有随机性。

为方便设计，将荷载取为具体的量值，这些规定的荷载值即荷载代表值。

标准值、组合值、频遇值或准永久值

基本代表值



竹木结构

4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

✓ 荷载代表值——《建筑结构荷载规范》 GB50009-2012

标准值、组合值、频遇值或准永久值



基本代表值

- ✓ 永久荷载代表值：标准值
- ✓ 可变荷载代表值：根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值
- ✓ 偶然荷载代表值：按结构的使用特点确定。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 荷载标准值的确定

✓ 荷载的统计特性

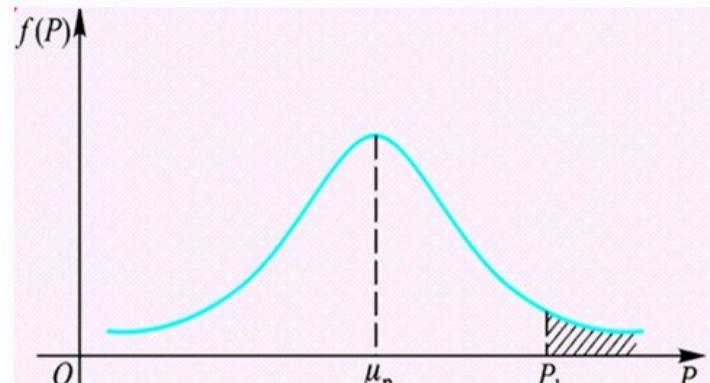
永久荷载：随机变量符合正态分布。

可变荷载：随时间的变异可统一用随机过程来描述。根据概率统计确定。

✓ 荷载标准值——基本代表值

正常使用情况下可能出现的保证率为95%的上限分位值。

$$P_k = \mu_p + 1.645\sigma_p$$



荷载标准值的概率含义

可变荷载标准值：

住宅：2kN/m²

教室：3kN/m²

车库：4kN/m²

竹木结构

4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

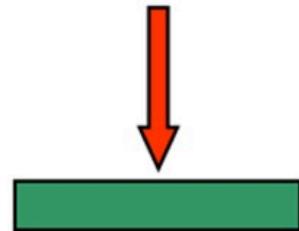
□ 荷载标准值的确定

✓ 永久荷载标准值

□ 按构件设计尺寸和材料容重计算确定。

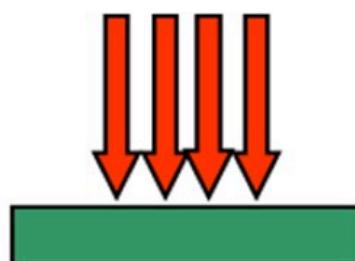
□ 荷载集度：指荷载的集中程度

容重	木材: $\gamma = 4 \sim 9 \text{ kN/m}^3$
	竹材: $\gamma = 6 \sim 8 \text{ kN/m}^3$
	钢材: $\gamma = 78 \text{ kN/m}^3$
	钢筋混凝土: $\gamma = 25 \sim 27 \text{ kN/m}^3$
	实心粘土砖: $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$



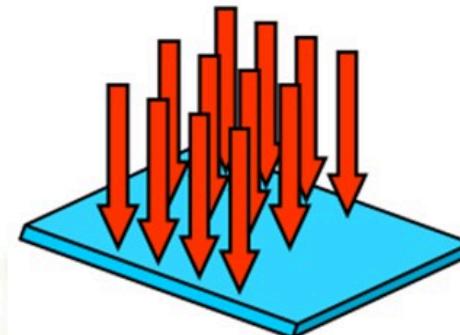
设备自重

集中荷载 (kN)



梁、墙自重

线荷载 (kN/m)



板自重

面荷载 (kN/m²)



竹木结构

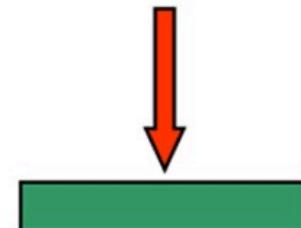
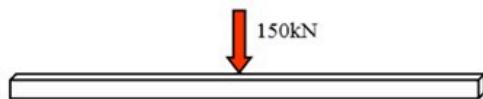
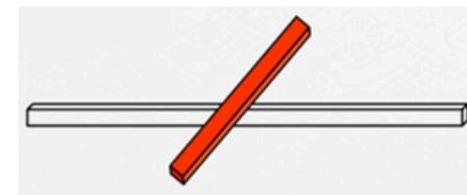
4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 荷载标准值的确定

✓ 永久荷载标准值

□ 集中荷载：直接根据重力的大小和方向及位置确定



设备自重

竹木结构

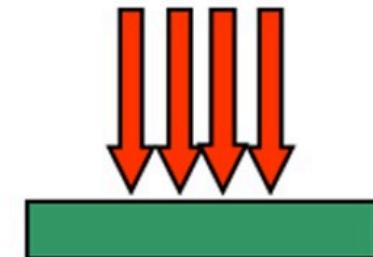
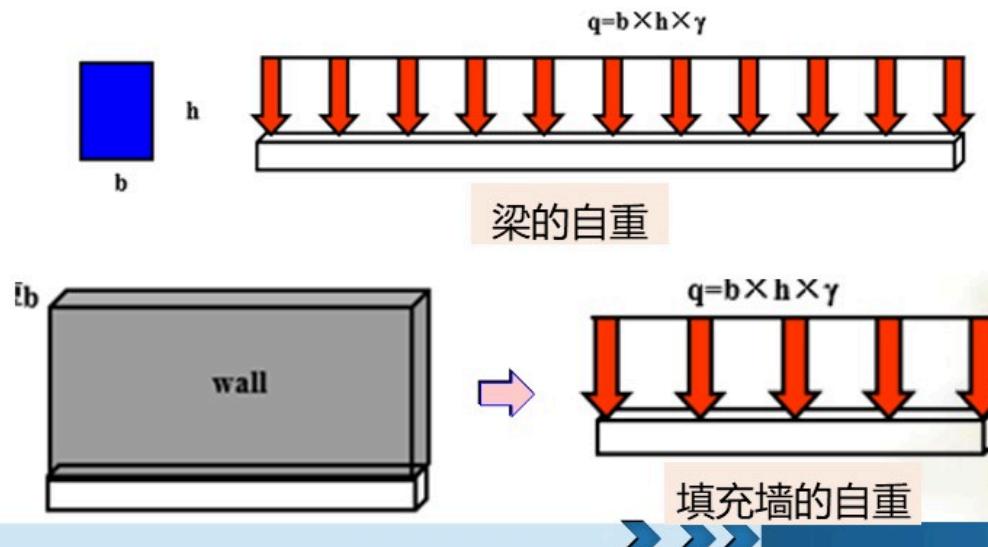
4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 荷载标准值的确定

✓ 永久荷载标准值

□ 线荷载 (kN/m) : 根据重力的分布长度和大小确定。



梁、墙自重

钢材容重: $\gamma = 78\text{kN/m}^3$

钢筋混凝土容重: $\gamma = 25\sim27\text{kN/m}^3$

实心粘土砖容重: $\gamma = 22\text{kN/m}^3$

竹木结构

4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 荷载标准值的确定

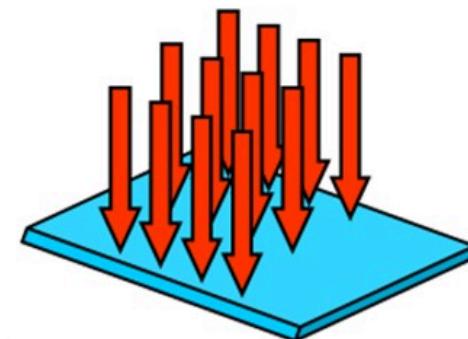
✓ 永久荷载标准值

□ 面荷载 (kN/m²) : 根据重力的分布面积和大小确定。

钢筋混凝土楼板的自重=板厚x容重

例: 已知钢筋混凝土容重25kN/m³, 板厚120mm。

$$\text{面荷载} = 0.12 \times 25 = 3 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



竹木结构



4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 其他荷载代表值的取值

✓ 可变荷载的组合值=标准值*组合值系数 Ψ_c

当结构或其构件承受两种或两种以上可变荷载作用时，它们同时达到其标准值的概率将有所降低。对不起控制作用的标准值乘以相应的组合系数而得到其组合值。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 其他荷载代表值的取值

✓ 可变荷载的频遇值=标准值*频遇值系数 Ψ_f

- 对结构上时而遇到的活荷载考虑的折减系数。
- 频遇值系数根据在设计基准期内可变荷载超越的总时间或超越的次数来确定。

✓ 可变荷载的准永久值=标准值*准永久值系数 Ψ_q

- 在设计基准期内荷载达到和超过该值的总持续时间约为设计基准期一半的荷载值。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 其他荷载代表值的取值

准永久值与频遇值的区别

准永久值的总持续时间 t 较长，一般与永久荷载组合用于结构的长期变形和裂缝宽度计算； $t/T=0.5$

频遇值持续时间 t 较短，一般与永久荷载组合用于结构振动变形计算； $t/T<0.1$

t 为设计基准期内荷载达到和超过该值的总持续时间，

T 为设计基准期。

竹木结构



4.2 设计方法的发展

➤ 荷载和材料强度的取值

□ 材料强度标准值的确定

✓ 材料强度的变异性

材质以及工艺、加载、尺寸等因素引起的材料强度的不确定性。

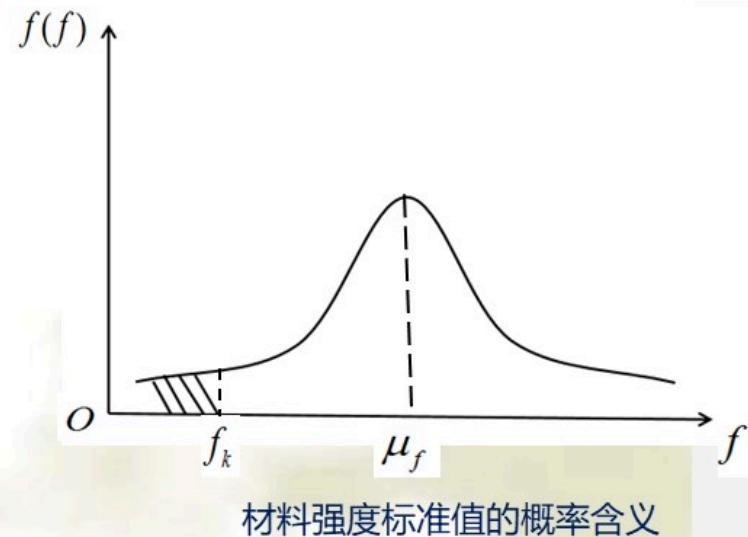
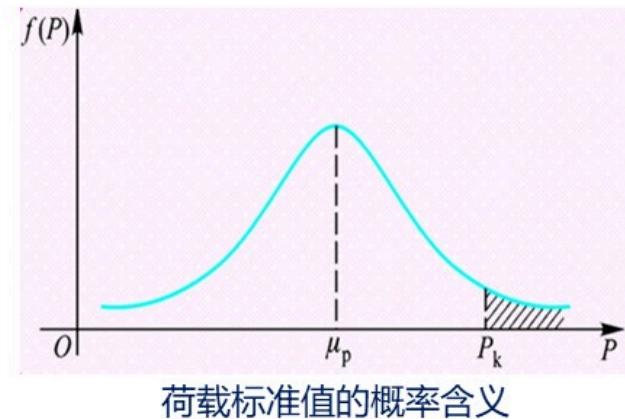
✓ 材料强度的统计特性

材料的强度的概率分布一般符合正态分布。

✓ 材料强度标准值

根据统计资料，运用数理统计方法确定的具有一定保证率（95%）的统计特征值：

$$f_k = \mu_f - \alpha \sigma_f$$



竹木结构

» 4.2 设计方法的发展 «

✓ 设计方法的发展

设计方法的演化：经验法→容许应力法→概率极限状态设计法

➤ 容许应力设计法 (Allowable stress design, ASD)

构件中的最大应力 \leq [容许应力]

\leq (弹性极限强度 f_s)/(安全系数 k)

- 该法没有考虑材料的非线性及引起的应力分布及荷载分布的变化，也没有考虑荷载及结构材料的变异性。
- 安全系数的取值（大于1.0）往往是基于经验。
- 方法简单，美国和日本仍在采用。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

✓ 设计方法的发展

➤ 基于概率的极限状态设计法

有效状态：结构能有效、安全可靠的完成各项功能。

失效状态：结构失去完成预定功能的能力。

} 分界状态 极限状态

极限状态：结构或构件的某一部分超过某一**特定状态**就不能满足设计指定的某一功能要求。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

✓ 设计方法的发展

➤ 基于概率的极限状态设计法

极限状态

- ◆ **承载能力极限状态**: 结构或构件达到最大承载力或达到不适用于继续承载的变形状态的临界状态。
——对应结构的**安全性**, 如倾覆、材料强度不足、疲劳破坏、丧失稳定、结构变为机动体系等。
- ◆ **正常使用极限状态**: 结构或构件达到正常使用中某项规定限值的状态。
——对应结构的**适用性**, 如过大的变形、过宽的裂缝或振动等。



竹木结构

4.2 设计方法的发展

✓ 设计方法的发展

□ 承载能力极限状态

- 结构整体或部分作为刚体失去平衡（如倾覆等）
- 结构或构件达到最大承载力
- 受动力荷载作用而产生疲劳破坏
- 结构塑性变形过大而破坏
- 结构形成几何可变体系
- 构件由于压屈而丧失稳定

◆ 工程实例

- ✓ 烟囱抗风不足而倾倒
- ✓ 楼房倒塌
- ✓ 阳台挑梁压重不足发生阳台整体倾覆
- ✓ 挡土墙抗滑不足在土压力作用下整体滑移



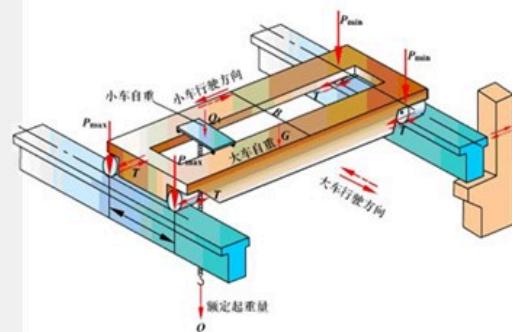
竹木结构

4.2 设计方法的发展

✓ 设计方法的发展

□ 正常使用极限状态

- 影响正常使用或外观的变形
- 影响正常使用的局部破坏
- 影响正常使用的振动
- 影响正常使用的其它特定状态



◆ 工程实例

- ✓ 吊车梁变形过大使吊车不能平稳行驶等
- ✓ 梁挠度过大，影响外观或使非结构构件开裂等
- ✓ 水池池壁开裂漏水，不能正常使用
- ✓ 设备振动导致结构振幅超过按正常使用要求所规定的限值；
- ✓ 基础相对沉降量过大



竹木结构

CONTENTS

目录



4.1 结构设计的要求

4.2 设计方法的发展 (补充)

4.3 竹木结构设计

4.4 基本设计规定

4.5 设计指标

4.3 竹木结构设计

✓ 极限状态方程

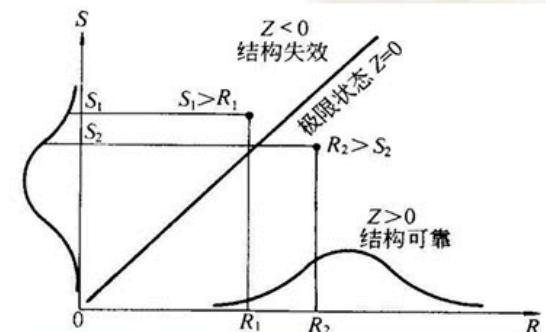
➤ 功能函数

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_n) = g(R, S) = R - S$$

$Z > 0$ 结构处于可靠状态

$Z = 0$ 结构处于极限状态

$Z < 0$ 结构处于失效状态



Z, R, S 均为随机变量

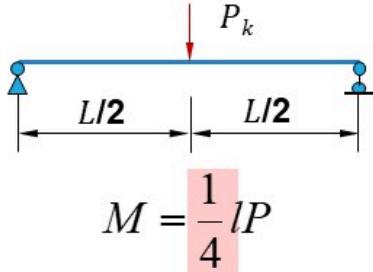
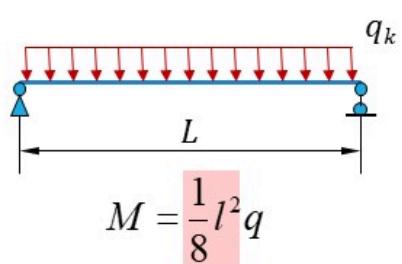
竹木结构

4.3 竹木结构设计

✓ 极限状态方程

$$Z = R - S$$

➤ **作用效应S:** 各种作用产生的效应（内力和变形）的组合。取决于作用的方式及结构或构件的几何尺寸及支承条件。



$$S = cQ$$

⇒

c — 荷载效应系数
 Q — 荷载

- ✓ 内力：轴力、弯矩、剪力、扭矩；
- ✓ 变形：拉伸、压缩、挠度、转角、裂缝。



4.3 竹木结构设计

✓ 极限状态方程

$$Z = R - S$$

➤ **结构抗力R：**指结构或构件承受作用效应（内力和变形）的能力，如构件的承载能力、刚度、抗裂能力等。

✓ 影响因素：材料性能、几何参数、计算模式



竹木结构

4.3 竹木结构设计

✓ 结构的可靠度

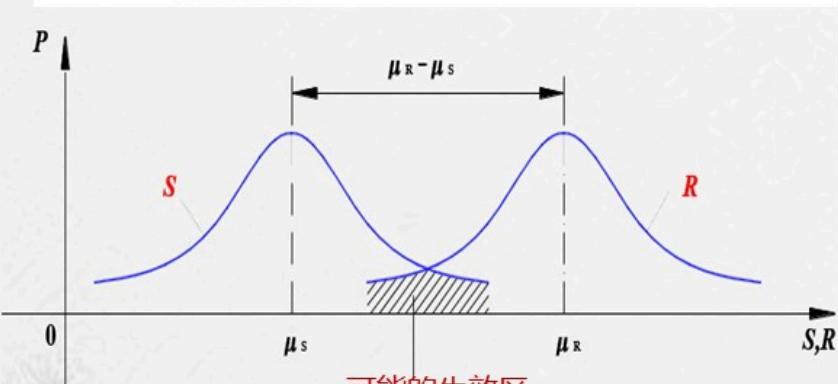
设计工作年限

正常设计、正常施工、正常使用

安全性、适用性、耐久性

可靠性：结构在规定的时间内、在规定的条件下，完成预定功能的能力。

可靠度：结构可靠性的概率度量。



R, S的概率密度曲线

$$\underline{p_s = 1 - p_f}$$

可靠概率

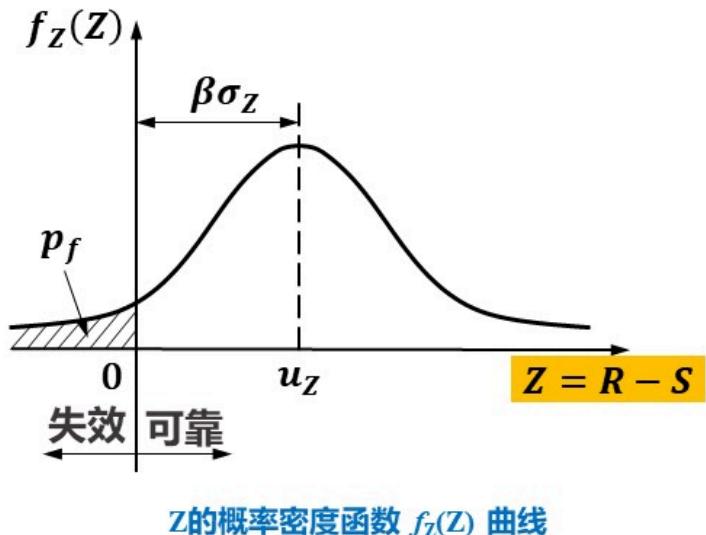
失效概率

竹木结构

4.3 竹木结构设计

✓ 结构的可靠度

可靠度：指结构在规定的时间内、在规定的条件下，完成预定功能的**概率**。



$$Z = R - S$$

可靠概率： $p_s = P(Z \geq 0)$

失效概率： $p_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f(Z) dz$

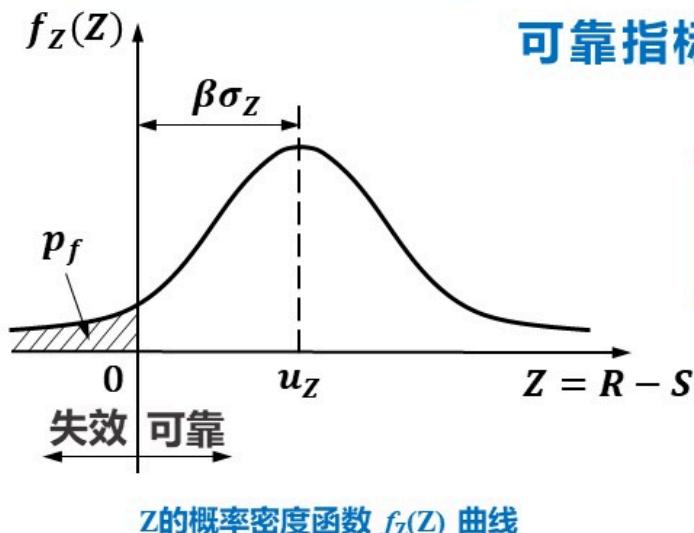
竹木结构

4.3 竹木结构设计

✓ 结构的可靠度

可靠度：指结构在规定的时间内、在规定的条件下，完成预定功能的**概率**。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}$$



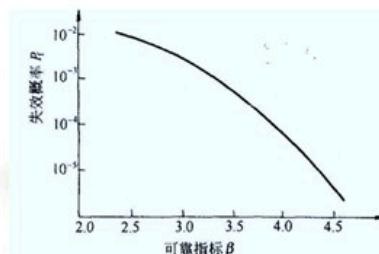
$$p_s = 1 - p_f$$

可靠指标：

$$\beta = \frac{\ln(R_m/S_m)}{\sqrt{V_R^2 + V_S^2}}$$

R_m 、 S_m ：承载力和效应的均值

V_R 、 V_S ：承载力和效应的变异系数



**Z分布一定时，
 β 越大， p_f 越小**

竹木结构

4.3 竹木结构设计

✓ 结构的可靠度

正态分布时 β 与 p_f 的对应值

Z 分布一定时, β
越大, p_f 越小

β	2.5	2.7	3.2	3.7	4.2
p_f	6.21×10^{-3}	3.47×10^{-3}	6.87×10^{-4}	1.08×10^{-4}	1.33×10^{-5}

《建筑结构可靠度设计统一标准》对 β 的规定

破坏形式	安全等级		
	一 级	二 级	三 级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

$\beta \geq [\beta]$

目标可靠指标 $[\beta]$: 取值
与构件的破坏类型及结构的
重要性有关。



竹木结构

CONTENTS

目录



4.1 结构设计的要求

4.2 设计方法的发展 (补充)

4.3 竹木结构设计

4.4 基本设计规定

4.5 设计指标

4.4 基本设计规定

现行《木结构设计标准》采用的是以概率理论为基础的极限状态设计法，以可靠指标 β 来度量构件和连接的可靠度，采用的是分项系数的设计表达式。

《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068-2018规定：

结构构件的极限状态设计表达式，应根据各种极限状态的设计要求，采用有关的荷载代表值、材料性能标准值、几何参数标准值以及各种分项系数等表达。

竹木结构

4.4 基本设计规定

✓ 承载能力极限状态

——结构或构件达到最大承载力或达到不适于继续承载的变形状态的临界状态。

➤ 设计表达式

$$\gamma_0 S \leq R$$

γ_0 — 结构重要性系数，对安全等级为一级、二级、三级的结构构件分别取不小于1.1、1.0、0.9；

S —作用组合的效应设计值

R —结构构件的抗力（**承载力**）设计值



4.4 基本设计规定

✓ 承载能力极限状态

□ 建筑结构安全等级

根据建筑结构破坏时可能产生的后果严重与否，分为三个安全等级。

安全等级	破坏后果的影响程度	建筑物的类型
一级	很严重	重要的建筑物
二级	严重	一般的建筑物
三级	不严重	次要建筑物

- 划分结构安全等级的依据主要是其用途；
- 对部分特殊构件可根据其重要程度作适当调整。

竹木结构

4.4 基本设计规定

✓ 承载能力极限状态

➤ 按荷载效应的基本组合：

分项系数：间接考虑目标可靠指标 β ，
通过反算确定，隐含了失效概率。

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{Gj} + \gamma_{Q1} \gamma_{L1} S_{Q1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \gamma_{Li} \psi_{ci} S_{Qi}$$

ψ_{ci} — 第*i*个可变荷载组合值，按《建筑结构荷载规范》取值。

γ_G — 永久荷载分项系数，对结构不利时取1.3，有利时取不大于1.0；

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} — 可变荷载分项系数，其中 γ_{Q1} 对应起控制作用的可变荷载。

对结构不利时取1.5，有利时取0

γ_L — 可变荷载考虑设计使用年限的调整系数。

设计使用年限(年)	γ_L
5	0.9
50	1.0
100	1.1



4.4 基本设计规定

✓ 承载能力极限状态

注意：教材P63表4.5-4的注1：当仅有恒荷载或恒荷载产生的全部内力超过全部荷载产生的内力的80%时，应单独以恒荷载验算，即

$$\gamma_0 \gamma_G \sigma_{GK} \leq f \times 0.8$$

竹木结构

4.4 基本设计规定

✓ 承载能力极限状态

木材强度设计值理论上应为：

$$f = \frac{\gamma_{DOL} f_K}{\gamma_R}$$

γ_{DOL} ——长期荷载作用系数，取0.72。

γ_R ——材料的抗力系数。

木结构设计规范根据可靠指标，并考虑了部分树种的缺陷特别严重等情况，根据主要使用地区的经验做了适当调整后得到的。

顺纹受拉： $\gamma_R = 1.95$

顺纹受剪： $\gamma_R = 1.50$

顺纹受压： $\gamma_R = 1.45$

顺纹受弯： $\gamma_R = 1.60$

竹木结构

4.4 基本设计规定

✓ 正常使用极限状态

——结构或构件达到正常使用中某项规定限值的状态。

➤ 设计表达式

$$S_k \leq C$$

S_k ——正常使用极限状态的荷载效应设计值。

C ——结构构件正常使用规定的变形限值，应按相关结构设计标准采用。

☛ 有时正常使用极限状态在结构设计中起控制作用。



4.4 基本设计规定

✓ 正常使用极限状态

➤ 按荷载效应的标准组合：

$$S_k = v_{GK} + v_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} v_{QiK} \leq [v]$$

v_{GK} ——永久荷载标准值在结构或构件中产生的变形值；

v_{Q1k} ——起控制作用的第1个可变荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值（该值使计算结果为最大）

v_{Qik} ——其他第*i*个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值。

[v]——结构或结构构件的容许变形值。



CONTENTS

目录



4.1 结构设计的要求

4.2 设计方法的发展 (补充)

4.3 竹木结构设计

4.4 基本设计规定

4.5 设计指标

4.5 设计指标

- **结构形式多元化**: 木结构的发展由单一的传统木结构向轻型木结构、胶合木结构与传统木结构多元化的发展趋势。
- **木结构材料种类较多**: 每种材料的设计指标不尽相同, 需明确常用材料的设计指标: 原木方木木材、规格材、胶合木、胶合竹等。

4.5 设计指标

施工现场分等级的结构用原木与方木

强度等级

- 材质等级采用现场目测分级，与用途有关，但与强度取值不相关。
- 强度等级按针叶树和阔叶树的树种分等。

将常用建筑木材树种归类，按其抗弯强度设计值分别划分为4个和5个强度等级，针叶材的每一强度等级又分为A、B两组。

TC 17
↓
针叶材

TB 17
↓
阔叶材



4.5 设计指标

✓ 施工现场分等级的结构用原木与方木

➤ 强度等级

表4.5-1 针叶树种木材适用的强度等级

强度等级	组别	适用树种
TC17	A	柏木 长叶松 湿地松 粗皮落叶松
	B	东北落叶松；欧洲赤松 欧洲落叶松
TC15	A	铁杉 油杉 太平洋海岸黄柏 花旗松-落叶松 西部铁杉 南方松
	B	鱼鳞云杉 西南云杉 南亚松
TC13	A	油松 新疆落叶松 云南松 马尾松 扭叶松 北美落叶松 海岸松
	B	红皮云杉 丽江云杉 樟子松 红松 西加云杉 俄罗斯红松 欧洲云杉 北美山地云杉 北美短叶松
TC11	A	西北云杉 新疆云杉 北美黄松 云杉-松-冷杉 (SPF) 铁-冷杉 东部铁杉 杉木
	B	冷杉 速生杉木 速生马尾松 新西兰辐射松

4.5 设计指标

施工现场分等级的结构用原木与方木

强度等级

表4.5-2 阔叶树种木材适用的强度等级

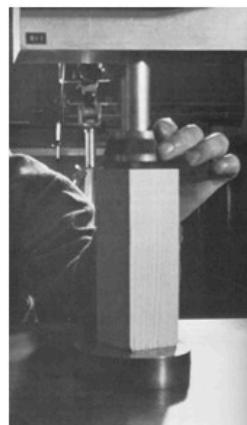
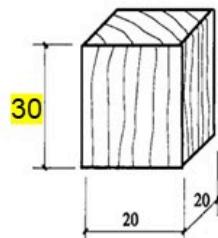
强度等级	适 用 树 种
TB20	青冈 桤木 门格里斯木 卡普木 沉水稍克隆 绿心木 紫心木 李叶豆 塔特布木
TB17	栎木 达荷玛木 萨佩莱木 苦油树 毛罗藤黄
TB15	锥栗(栲木) 桦木 黄梅兰蒂 梅萨瓦木 水曲柳 红劳罗木
TB13	深红梅兰蒂 浅红梅兰蒂 白梅兰蒂 巴西红厚壳木
TB11	大叶椴 小叶椴

4.5 设计指标

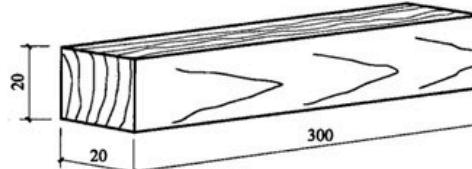
✓ 施工现场分等级的结构用原木与方木

➤ 设计指标——清材小试件方法

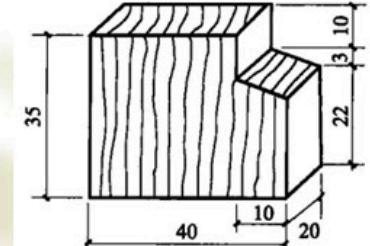
无任何缺陷的木材，将其制作成各种受力情况的**标准小试件**。



顺纹受压



弦向受弯



切向受剪



竹木结构

4.5 设计指标

施工现场分等级的结构用原木与方木

➤ 设计指标 (按清材小试件试验确定, 取决于树种)

强度等级	组别	抗弯 f_m	顺纹抗压及承压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v	横纹承压 $f_{c,90}$			弹性模量 E
						全表面	局部表面和齿面	拉力螺栓垫板下	
TC17	A	17	16	10	1.7	2.3	3.5	4.6	10000
	B		15	9.5	1.6				
TC15	A	15	13	9.0	1.6	2.1	3.1	4.2	10000
	B		12	9.0	1.5				
TC13	A	13	12	8.5	1.5	1.9	2.9	3.8	10000
	B		10	8.0	1.4				9000
TC11	A	11	10	7.5	1.4	1.8	2.7	3.6	9000
	B		10	7.0	1.2				
TB20	—	20	18	12	2.8	4.2	6.3	8.4	12000
TB17	—	17	16	11	2.4	3.8	5.7	7.6	11000
TB15	—	15	14	10	2.0	3.1	4.7	6.2	10000
TB13	—	13	12	9.0	1.4	2.4	3.6	4.8	8000
TB11	—	11	10	8.0	1.3	2.1	3.2	4.1	7000

TC 17

→ 抗弯强度设计值
单位 : N/mm²
→ 针叶材

TB 17

→ 抗弯强度设计值
→ 阔叶材

竹木结构

4.5 设计指标

✓ 施工现场分等级的结构用原木与方木

➤ 设计指标的调整

(1) 未切削原木

顺纹抗压、抗弯强度设计值和弹性模量可提高15%；

(2) 大尺寸矩形截面

当构件矩形截面的短边尺寸不小于150mm时，其强度设计值可提高10%；

(3) 湿材（含水率大于25%）

各种木材的横纹承压强度设计值和弹性模量以及落叶松木材的抗弯强度设计值宜降低10%；

4.5 设计指标

✓ 施工现场分等级的结构用原木与方木

➤ 设计指标的调整

(4) 不同使用条件的调整

使 用 条 件	调 整 系 数	
	强度设计值	弹性模量
露天环境	0.9	0.85
长期生产性高温环境，木材表面温度达 40 ~ 50°C	0.8	0.8
按恒荷载验算时	0.8	0.8
用于木构筑物时	0.9	1.0
施工和维修时的短暂情况	1.2	1.0

注：1 当仅有恒荷载或恒荷载产生的内力超过全部荷载所产生的内力的80%时，应单独

以恒荷载进行验算；

2 当若干条件同时出现时，表列各系数应连乘。



4.5 设计指标

✓ 施工现场分等级的结构用原木与方木

➤ 设计指标的调整

(5) 不同设计使用年限的调整

设计使用年限	用 途	调整系数	
		强度设计值	弹性模量
5年	临时性结构	1.1	1.1
25年	易于替换的结构构件	1.05	1.05
50年	普通房屋和一般构筑物	1.0	1.0
100年及以上	纪念性建筑物和特别重要建筑结构	0.9	0.9

竹木结构

4.5 设计指标

✓ 施工现场分等级的结构用原木与方木

表4.5-6 考虑长期荷载作用和木质老化的调整系数

建筑物建造年限 (T)	调整系数		
	顺纹抗压强度设计值	抗弯和顺纹抗剪强度设计值	弹性模量和横纹承压强度设计值
100年≤T < 300年	0.95	0.90	0.90
300年≤T < 500年	0.85	0.80	0.85
≥500年	0.75	0.70	0.75

4.5 设计指标

✓ 施工现场分等级的结构用原木与方木

➤ 设计指标的调整

(6) 木材斜纹承压强度的修正

当 $\alpha < 10^\circ$ 时: $f_{c\alpha} = f_c$

当 $10^\circ < \alpha < 90^\circ$ 时,

$$f_{c\alpha} = \frac{f_c}{1 + \left(\frac{f_c}{f_{c,90}} - 1 \right) \frac{\alpha - 10^\circ}{80^\circ} \sin \alpha}$$

$f_{c\alpha}$ ——木材斜纹承压的强度设计值(N/mm^2);

α ——作用力方向与木纹方向的夹角($^\circ$)。



竹木结构

4.5 设计指标

✓ 工厂目测分等的结构用方木木材

表4.5-7 工厂目测分等的进口方木材强度设计值和弹性模量(N/mm²)

树种	用途	材质等级	抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v	横纹承压 $f_{c,90}$	弹性模量E
花旗松(北)	梁	II _{a1} II _{a2} II _{a3}	17 14 9.4	12 9.9 6.4	10 7.2 4.6	1.8 1.8 1.8	7.3 7.3 7.3	11000 11000 9000
	柱	III _{a1} III _{a2} III _{a3}	16 13 7.8	12 11 7.5	11 8.8 5.1	1.8 1.8 1.8	7.37 7.37 7.3	11000 11000 9000
铁杉(北)	梁	II _{a1} II _{a2} II _{a3}	13 11 7.2	9.7 8.0 5.1	7.8 5.4 3.5	1.4 1.4 1.4	4.7 4.7 4.7	9000 9000 7600
	柱	III _{a1} III _{a2} III _{a3}	12 9.9 5.9	10 9.1 6.2	8.3 6.7 4.0	1.4 1.4 1.4	4.7 4.7 4.7	9000 9000 7600
南方松	梁	II _{a1} II _{a2} II _{a3}	16 14 9.1	10 8.8 5.6	11 9.6 5.9	1.8 1.8 1.8	6.6 6.6 6.6	10300 10300 8300
	柱	III _{a1} III _{a2} III _{a3}	16 14 9.1	10 8.8 5.6	11 9.6 5.9	1.8 1.8 1.8	6.6 6.6 6.6	10300 10300 8300
云杉-松-冷杉	梁	II _{a1} II _{a2} II _{a3}	12 9.7 6.4	8.3 6.7 4.6	7.0 4.8 3.2	1.3 1.3 1.3	4.9 4.9 4.9	9000 9000 6900
	柱	III _{a1} III _{a2} III _{a3}	11 9.1 5.4	8.6 7.5 5.4	7.5 5.9 3.5	1.3 1.3 1.3	4.9 4.9 4.9	9000 9000 6900
其它北美树种	梁	II _{a1} II _{a2} II _{a3}	11 9.7 6.2	8.0 6.7 4.6	6.7 4.8 3.2	1.3 1.3 1.3	4.0 4.0 4.0	7600 7600 6200
	柱	III _{a1} III _{a2} III _{a3}	11 8.6 5.1	8.6 7.5 5.1	7.2 5.6 3.5	1.3 1.3 1.3	4.0 4.0 4.0	7600 7600 6200

67



竹木结构

4.5 设计指标

✓ 工厂目测分等的结构用方木木材

□ 当用于梁时，应考虑尺寸调整系数。

表4.5-8 尺寸调整系数

木材受荷载方向	调整条件		抗弯强度设计值 f_m	其它强度设计值	弹性模量 E
宽面	材质等级	II _{a1}	0.86	1.00	1.00
		II _{a2}	0.74	1.00	0.90
		II _{a3}	1.00	1.00	1.00
窄面	窄面尺寸	≤285	1.00	1.00	1.00
		>285	$k = \left(\frac{305}{h}\right)^{\frac{1}{9}}$	1.00	1.00

竹木结构

4.5 设计指标

✓ 规格材

采用目测分级或机械定级，并结合大量足尺试验，确定了每个等级的强度取值。

表4.5-9 国产树种规格材强度设计值和弹性模量(N/mm²)

树种名称	材质等级	强度设计值					弹性模量E
		抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v	横纹承压 f_{c90}	
杉木	I _c	13	11	9.0	1.3	4.1	10000
	II _c	11	10	8.0	1.3	4.1	9500
	III _c	11	10	7.5	1.3	4.1	9500
兴安落叶松	I _c	17	16	9.0	1.6	4.6	13000
	II _c	11	14	5.5	1.6	4.6	12000
	III _c	11	12	3.8	1.6	4.6	12000
	IV _c	8.9	9.5	2.9	1.6	4.6	11000

4.5 设计指标

✓ 规格材

表4.5-10 北美地区目测分等进口规格材强度设计值和弹性模量(N/mm²)

树种名称	树种名称	截面最大尺寸 (mm)	强度设计值					弹性模量 E
			抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v	横纹承压 $f_{c,90}$	
花旗松— 落叶松类 (南部)	I _c	285	16	18	11	1.9	7.3	13000
	II _c		11	16	7.2	1.9	7.3	12000
	III _c		9.7	15	6.2	1.9	7.3	11000
	IV _c , V _c		5.6	8.3	3.5	1.9	7.3	10000
	VI _c	90	11	18	7.0	1.9	7.3	10000
	VII _c		6.2	15	4.0	1.9	7.3	10000
	I _c	285	15	20	8.8	1.9	7.3	13000
花旗松— 落叶松类 (北部)	II _c		9.1	15	5.4	1.9	7.3	11000
	III _c		9.1	15	5.4	1.9	7.3	11000
	IV _c , V _c		5.1	8.8	3.2	1.9	7.3	10000
	VI _c		10	19	6.2	1.9	7.3	10000
	VII _c		5.6	16	3.5	1.9	7.3	10000
	I _c	285	15	16	9.9	1.6	4.7	11000
	II _c		11	15	6.7	1.6	4.7	10000
	III _c		9.1	14	5.6	1.6	4.7	9000
	IV _c , V _c		5.4	7.8	3.2	1.6	4.7	8000
铁—冷杉 (南部)	VI _c	90	11	17	6.4	1.6	4.7	9000
	VII _c		5.9	14	3.5	1.6	4.7	8000

竹木结构

4.5 设计指标

✓ 规格材

表4.5-11 欧洲地区目测分等进口规格材强度设计值和弹性模量(N/mm²)

树种名称	树种名称	截面最大尺寸 (mm)	强度设计值					弹性模量 E
			抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v	横纹承压 $f_{c,90}$	
欧洲赤松 欧洲落叶松 欧洲云杉	树种名称	285	17	18	8.2	2.2	6.4	12000
			14	17	6.4	1.8	6.0	11000
			9.3	14	4.6	1.3	5.3	8000
	VI _c VII _c	90	8.1	13	3.7	1.2	4.8	7000
			14	16	6.9	1.3	5.3	8000
	欧洲道格拉斯松	I _c , II _c III _c IV _c , V _c	90	12	15	5.5	1.2	4.8
欧洲道格拉斯松	I _c , II _c III _c IV _c , V _c	285	12	16	5.1	1.6	5.5	11000
			7.9	13	3.6	1.2	4.8	8000
			6.9	12	2.9	1.1	4.4	7000

4.5 设计指标

✓ 规格材

➤ 规格材截面尺寸

截面尺寸 宽(mm)×高(mm)	40×40	40×65	40×90	40×115	40×140	40×185	40×235	40×285
截面尺寸 宽(mm)×高(mm)	—	65×65	65×90	65×115	65×140	65×185	65×235	65×285
截面尺寸 宽(mm)×高(mm)	—	—	90×90	90×115	90×140	90×185	90×235	90×285

4.5 设计指标

✓ 规格材

➤ 尺寸调整系数

表4.5-12 尺寸调整系数

等 级	截面高度 (mm)	抗 弯		顺纹抗压	顺纹抗拉	其 他			
		截面宽度(mm)							
		40 和 65	90						
I _c , II _c , III _c , IV _c , V _c	≤90	1.5	1.5	1.15	1.5	1.0			
	115	1.4	1.4	1.1	1.4	1.0			
	140	1.3	1.3	1.1	1.3	1.0			
	185	1.2	1.2	1.05	1.2	1.0			
	235	1.1	1.2	1.0	1.1	1.0			
	285	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0			
VII _c , VII _c	≤90	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			

73



竹木结构

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

层板胶合木：简称胶合木（或称结构用集成材）。



74

竹木结构

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

□ 普通层板胶合木

普通层板胶合木的设计指标与表4.5-3中的TC级木材（即针叶材）的相同。

□ 采用目测分级和机械弹性模量分级层板制作的胶合木

采用目测分级或机械分级层板制作胶合木。层板需进行组坯，其树种分级、树种和树种组合应符合表4.5-13中的规定。

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 层板组坯

制作胶合木采用的木材树种级别、适用树种及树种组合：

表4.5-13 适用树种分级表

树种分 级组别	适用树种及树种组合名称吧
SZ1	南方松、花旗松—落叶松、欧洲落叶松以及其他符合本强度等级的树种
SZ2	欧洲云杉、美国扁柏、东北落叶松以及其他符合本强度等级的树种
SZ3	阿拉斯加黄扁柏、西部铁杉、欧洲赤松、樟子松及其他符合本强度等级的树种
SZ4	鱼鳞云杉、北美红松、铁—冷杉、云杉—松—冷杉以及其他符合本强度等级的树种
注：1.表中花旗松—落叶松产地为美国； 2.南方松产地为美国，主要包括长叶松、短叶松、火炬松和湿地松； 3.铁—冷杉产地为美国，主要树种包括西部铁杉、太平洋银冷杉、壮丽冷杉、巨冷杉、加州红杉以及白冷杉。	

76

竹木结构

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 层板组坯

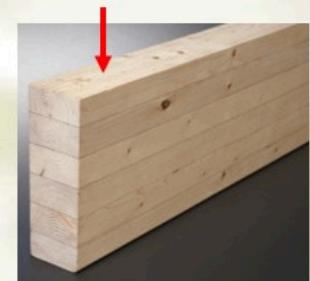
同等组合：各层层板采用同一材质等级的目测分级或机械分级层板胶合而成。

——适用于轴心受力构件和当受弯构件的荷载作用方向与层板窄边垂直时。



对称或非对称异等组合：胶合木的上、中、下层板可采用不同材质等级的目测分级或机械分级层板，材质等级配置可在中和轴上、下对称或不对称配置。

——受弯构件和压弯构件宜采用。



4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 胶合木强度等级的表示方法

$TC_T +$ 抗弯强度标准值：同等组合

$TC_{YD} +$ 抗弯强度标准值：对称异等组合

$TC_{YF} +$ 抗弯强度标准值：非对称异等组合

TC_T 32

抗弯强度标准值为32MPa (N/mm²)

同等组合胶合木

竹木结构

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 设计指标

TC_{YD} 32

抗弯强度标准值为32MPa (N/mm²)

→对称异等组合胶合木

表4.5.14 对称异等组合胶合木的强度设计值和弹性模量 (N/mm²)

强度等级	抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	弹性模量 E
TC _{YD} 40	27.9	21.8	16.7	14000
TC _{YD} 36	25.1	19.7	14.8	12500
TC _{YD} 32	22.3	17.6	13.0	11000
TC _{YD} 28	19.5	15.5	11.1	9500
TC _{YD} 24	16.7	13.4	9.9	8000

注：当荷载的作用方向与层板窄边垂直时，抗弯强度设计值 f_m 应乘以 0.7 的系数，弹性模量 E 应乘以 0.9 的系数。



竹木结构

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 设计指标

TC_{YF} 31

抗弯强度标准值为32MPa (N/mm²)

→ 非对称异等组合胶合木

表4.5.15 非对称异等组合胶合木的强度设计值和弹性模量 (N/mm²)

强度等级	抗弯 f_m		顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	弹性模量 E
	正弯曲	负弯曲			
TC _{YF} 38	26.5	19.5	21.1	15.5	13000
TC _{YF} 34	23.7	17.4	18.3	13.6	11500
TC _{YF} 31	21.6	16.0	16.9	12.4	10500
TC _{YF} 27	18.8	13.9	14.8	11.1	9000
TC _{YF} 23	16.0	11.8	12.0	9.3	6500

注：当荷载的作用方向与层板窄边垂直时，抗弯强度设计值 f_m 应采用正向弯曲强度设计值，并乘以 0.7 的系数，弹性模量 E 应乘以 0.9 的系数。



竹木结构

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 设计指标

TC_T 32

抗弯强度标准值为32MPa (N/mm²)

同等组合胶合木

表4.5.16 同等组合胶合木的强度设计值和弹性模量 (N/mm²)

强度等级	抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	弹性模量 E
TC _T 40	27.9	23.2	17.9	12500
TC _T 36	25.1	21.1	16.1	11000
TC _T 32	22.3	19.0	14.2	9500
TC _T 28	19.5	16.9	12.4	8000
TC _T 24	16.7	14.8	10.5	6500

云杉-松-冷杉

TC11A

11

10

7.5

9000



竹木结构

4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 设计指标

胶合木构件斜纹承压强度设计值可按下式计算：

$$f_{c,\theta} = \frac{f_c f_{c,90}}{f_c \sin^2 \theta + f_{c,90} \cos^2 \theta} \quad (4.5-1)$$

式中： f_c ——胶合木的顺纹抗压强度设计值（N/mm²）；

$f_{c,90}$ ——胶合木的横纹承压强度设计值（N/mm²）；

$f_{c,\theta}$ ——胶合木的斜纹承压强度设计值（N/mm²）；

θ ——荷载与构件顺纹方向的夹角（0°~90°）。



82

竹木结构



4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 设计指标的修正

- 不同使用条件和不同设计使用年限，胶合木的强度设计值和弹性模量应乘以相应的调整系数（表4.5-4和表4.5-5）；
- 当构件截面高度大于300mm，荷载作用方向垂直于或平行于层板截面宽度方向时，抗弯强度设计值应分别乘以体积调整系数 k_v 、 k_h ：

$$k_v = \left[\left(\frac{130}{b} \right) \left(\frac{305}{h} \right) \left(\frac{6400}{L} \right) \right]^{\frac{1}{c}} \leq 1.0$$



$$k_h = \left(\frac{300}{h} \right)^{\frac{1}{9}}$$



竹木结构



4.5 设计指标

✓ 胶合木 (Glulam)

➤ 设计指标的修正

- 对于工字型和T形截面受弯构件，尚需乘以截面形状修正系数0.9；
- 对于曲线形构件，抗弯强度设计值还应乘以式4.5-4修正系数。

$$k_r = 1 - 2000 \left(\frac{t}{R} \right)^2 \quad (4.5-4)$$

式中： k_r ——胶合木曲线形构件强度修正系数；

R ——胶合木曲线形构件内边的曲率半径 (mm)；

t ——胶合木曲线形构件每层木板的厚度 (mm)。

4.5 设计指标

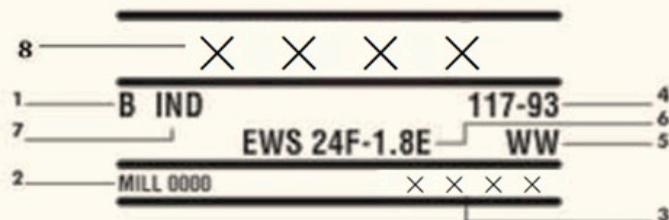
✓ 进口材的标识举例



目测分级规格材的标识

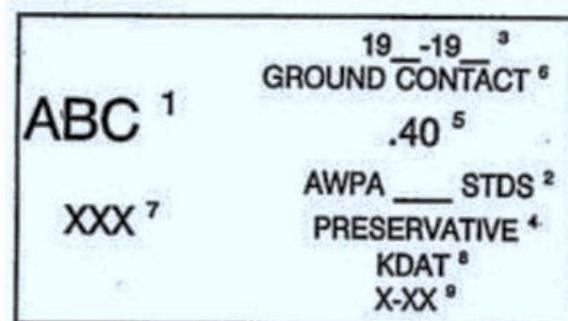


机械分等规格材的标识



1. B- 简支受弯构件；2. 生产商代码/名称；3. 胶合木生产标准号；4. 层板标准号
5. 树种名称；6. 结构强度等级；7. 外观等级；8. 质量认证机构名称标识

胶合木的标识



1. 认证机构名称；2. 防腐处理标准名称；3. 处理年份；4. 防腐剂名称；
5. 防腐剂保持量；6. 使用环境；7. 生产商名称或代码；8. 处理干燥状态（可无此项）；9. 长度（可无此项）

经加压防腐处理木材的标识

85

竹木结构

本节结束

