

第10章 结构概率可靠度设计法

10.1 结构设计的目标

一、设计要求

$$R \geq S$$

不能绝对满足，只能在一定概率意义下满足，即

$$P\{R \geq S\} = p_s$$

10.1 结构设计的目标

二、目标可靠度

- 可靠度 β 的大小对结构设计的影响

p_s 太大 → 成本高

p_s 太小 → 失效概率大

- 目标可靠度的确定

ü 目标可靠度 β 的确定应考虑经济与安全的合理平衡；

10.1 结构设计的目标

ü 一般需考虑以下四个因素：

- (1) 公众心理；
 - (2) 结构重要性；
 - (3) 结构破坏性质；
 - (4) 社会经济承受力。
- 各种因素对目标可靠度的影响
 - ü 公众心理的影响

10.1 结构设计的目标

一些事故的年死亡率

事故	年死亡率	事故	年死亡率
爬山、赛车	5×10^{-3}	汽车旅行	2.5×10^{-5}
飞机旅行	1×10^{-4}	游泳	3×10^{-5}
采矿	7×10^{-4}	结构施工	3×10^{-5}
房屋失火	2×10^{-5}	电击	6×10^{-6}
雷击	5×10^{-7}	暴风	4×10^{-6}

10.1 结构设计的目标

年危险率	可承受人群
10^{-3}	胆大的人
10^{-4}	一般的人
10^{-5}	不再考虑其危险性

50年失效率	公众心理
5×10^{-3}	较安全
5×10^{-4}	安全
5×10^{-5}	很安全

10.1 结构设计的目标

ü 结构重要性的影响

一般结构 ρ_s
 重要结构 $\rho_s \uparrow$
 次要结构 $\rho_s \downarrow$

ü 结构破坏性质的影响

脆性结构 $\rho_s >$ 延性结构 ρ_s

ü 社会经济承受力的影响

经济越发达 $\rightarrow \rho_s \uparrow$

10-7

10.1 结构设计的目标

● 校准法

承认传统设计所具有的可靠度的合理性，通过计算得出的传统设计的可靠度水平作为参考目标可靠度。

10-8

10.2 结构概率可靠度的直接设计法

● 定义：直接基于结构可靠度分析理论的设计方法。

● 简单示例

$$b = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{s_R^2 + s_S^2}}$$

已知 μ_S 、 δ_R 、 δ_S ，求 μ_R 。
 则由

$$b = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{m_R^2 d_R^2 + m_S^2 d_S^2}}$$

10-9

10.2 结构概率可靠度的直接设计法

得

$$b^2 d_R^2 m_R^2 + b^2 d_S^2 m_S^2 = m_R^2 - 2m_R m_S + m_S^2$$

$$(b^2 d_R^2 - 1)m_R^2 + 2m_R m_S + (b^2 d_S^2 - 1)m_S^2 = 0$$

由上式可解得 μ_R 。

10-10

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

● 单一系数设计表达式

$$k_0 \mu_S \leq \mu_R$$

由

$$b = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{s_R^2 + s_S^2}}$$

得

$$\frac{m_R}{m_S} = 1 + b \sqrt{\left(\frac{m_R}{m_S} d_R^2\right) + d_S^2}$$

10-11

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

或

$$k_0 = 1 + b \sqrt{k_0^2 d_R^2 + d_S^2}$$

可解得

$$k_0 = \frac{1 + b \sqrt{d_R^2 + d_S^2 (1 - b^2 d_R^2)}}{1 - b^2 d_R^2}$$

10-12

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

习惯上设计表达式采用设计值(公称值), 即

$$kS_k \leq R_k$$

其中

$$m_S = h_S S_k \quad h_S = \frac{1}{1+k_S d_S} < 1$$

可得

$$m_R = h_R R_k \quad h_R = \frac{1}{1-k_R d_R} > 1$$

$$k = k_0 \frac{h_S}{h_R} = k_0 \frac{1-k_R d_R}{1+k_S d_S}$$

10-13

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

● 分项系数设计表达式

$$g_{0S1} m_{S1} + g_{0S2} m_{S2} + \mathbf{L} + g_{0Sn} m_{Sn} \leq \frac{1}{g_{0R}} m_R$$

或

$$g_{S1} S_{k1} + g_{S2} S_{k2} + \mathbf{L} + g_{Sn} S_{kn} \leq \frac{1}{g_R} R_k$$

功能函数

$$Z = S_1 + S_2 + \mathbf{L} + S_n - R = 0$$

10-14

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

由结构可靠度分析的验算点法, 可得满足可靠度要求的验算点

$$X_i^* = m_{X_i} + a_i b_{X_i}$$

由此可得各分项系数

$$g_{0s} = 1 + a_s b_{X_s} \quad (s = 1, 2, \mathbf{L}, m)$$

$$g_{0r} = \frac{1}{1 + a_r b_{X_r}} \quad (r = m+1, \mathbf{L}, n)$$

10-15

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

或

$$g_s = \frac{1 + a_s b_{X_s}}{1 + k_s d_{X_s}} \quad (s = 1, 2, \mathbf{L}, m)$$

$$g_r = \frac{1 - k_r d_{X_r}}{1 + a_r b_{X_r}} \quad (r = m+1, \mathbf{L}, n)$$

● 关于设计表达式的主要结论

- (1) 若不同设计荷载变量所占的比重不同(ρ 值不同), 则严格按验算点确定的分项系数将不同;

10-16

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

(2) 预先设定各荷载分项系数, 然后按可靠度要求计算确定结构抗力分项系数, 受不同荷载变量间比值的大小影响较小。

(3) 单一系数设计表达式的安全系数值受不同荷载变量间比值的大小影响较大。

(4) 设计变量的分布类型, 对分项系数值的大小有一定的影响。

10-17

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

● 规范设计表达式

$$g_0 \left(g_G S_{Gk} + g_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n g_{Qi} \gamma_{ci} S_{Qik} \right) \leq \frac{1}{g_R} R(f_k, a_k, \mathbf{L})$$

式中:

γ_0 : 结构重要性系数;

γ_G : 恒载分项系数;

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} : 第一个和其他第*i*个可变荷载分项系数;

10-18

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

S_{Gk} : 恒载标准值效应;
 S_{G1k} : 第一个可变荷载标准值效应, 该效应大于其他任何第*i*个可变荷载标准值效应;
 S_{Gik} : 第*i*个可变荷载标准值效应;
 ψ_{ci} : 第*i*个可变荷载的组合值系数;
 $R(\bullet)$: 结构构件的抗力函数;
 γ_R : 结构构件的抗力分项系数;
 f_k : 材料性能的标准值;
 a_k : 几何尺寸的标准值。

10-19

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

我国现行建筑结构设计规范分项系数取值:
 $\gamma_G=1.2$ $\gamma_Q=1.4$ $\psi_c=0.6$

$\gamma_0 = \begin{cases} 1.1 & \text{重要结构} \\ 1.0 & \text{一般结构} \\ 0.9 & \text{次要结构} \end{cases}$

10-20

10.3 结构概率可靠度设计的实用表达式

设计可靠度指标

	重要结构	一般结构	次要结构
延性结构	3.9	3.2	2.7
脆性结构	4.2	3.7	3.2



10-21