

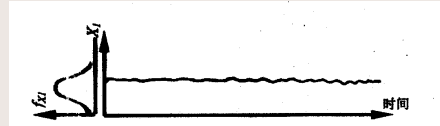
# 第2篇 工程结构可靠度设计原理

## 第7章 荷载的统计分析

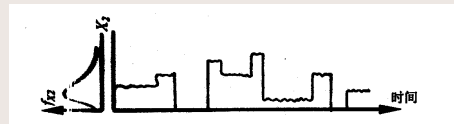
### 7.1 荷载的概率模型

#### 荷载类型

- 永久荷载 (如自重)



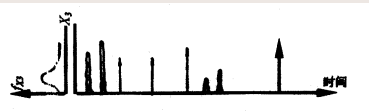
- 持久荷载 (如建筑楼面活荷载)



7-2

### 7.1 荷载的概率模型

- 短时荷载 (如风载)



#### 荷载的随机过程模型

- 任意时点荷载  
相同条件下的同类结构上作用的以上各类荷载在任一确定时刻的量值, 为随机变量。

7-3

### 7.1 荷载的概率模型

- 随机过程

不同时刻任意时点荷载将不同, 因此荷载实际上是一个随时间变化的随机变量, 在数学上可用随机过程模型来描述。

- 平稳二项随机过程荷载模型

#### △ 假定

- (1) 根据荷载每变动一次作用在结构上的时间长短, 将设计基准期  $T$  等分为  $r$  个相等的时段  $t$ , 或认为设计基准期  $T$  内荷载均匀变动  $r=T/t$ ;

7-4

### 7.1 荷载的概率模型

- (2) 在每个时段  $t$  内, 荷载  $Q$  出现 (即  $Q>0$ ) 的概率为  $p$ , 不出现 (即  $Q<0$ ) 的概率为  $q=1-p$ ;
- (3) 在每一时段  $t$  内, 荷载出现时, 其幅值是非负的随机变量, 在不同的时段上的概率分布是相同的, 记时段  $t$  内的荷载概率分布 (也称为任意时点荷载分布) 为:

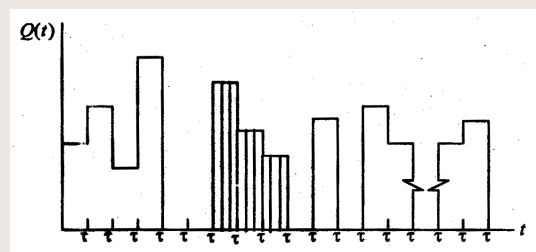
$$F_i(x) = P[Q(t) \leq x, t \in t]$$

- (4) 不同时段  $t$  上的荷载幅值随机变量相互独立, 且与在时段  $t$  上是否出现荷载无关。

7-5

### 7.1 荷载的概率模型

- 平稳二项随机过程荷载模型



7-6

## 7.1 荷载的概率模型

### △ 各类荷载模型系数

永久荷载:  $p=1, \tau=T=50$ 年

持久荷载: 按实际情况确定

如楼面活载  $\tau=10$ 年,  $r=5, p=1$

短时荷载: 一般取  $\tau=1$ 年,  $r=50, p=1$

### △ 荷载在设计基准期T内的最大值的概率分布

$F_T(x)$

$$F_i(x) \rightarrow F_\tau(x) \rightarrow F_T(x)$$

7-7

## 7.1 荷载的概率模型

任意时点分布  $\tau$ 时段分布

$$F_t(x) = P[Q(t) \leq x, t \in t] \\ = 1 - p[1 - F_i(x)]$$

$$F_T(x) = [F_t(x)]^N \\ = [F_i(x)]^{rp}$$

$$N = rp$$

7-8

## 7.1 荷载的概率模型

### ○ $F_T(x)$ 与 $F_i(x)$ 统计参数关系

○  $F_i(x)$ 为正态分布时

$$F_i(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2p}S_i} \exp\left[-\frac{(y-m_i)^2}{2S_i^2}\right] dy$$

$$F_T(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2p}S_T} \exp\left[-\frac{(y-m_T)^2}{2S_T^2}\right] dy$$

$$m_T \approx m_i + 3.5\left(1 - \frac{1}{\sqrt[4]{N}}\right)S_i$$

$$S_T \approx \frac{S_i}{\sqrt[4]{N}}$$

7-9

## 7.1 荷载的概率模型

○  $F_i(x)$ 为极值I型分布时

$$F_i(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-u_i}{a_i}\right]\right\}$$

$$a_i = \frac{S_i}{1.2826}$$

$$u_i = m_i - 0.5772a_i$$

$$F_T(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-u_T}{a_T}\right]\right\}$$

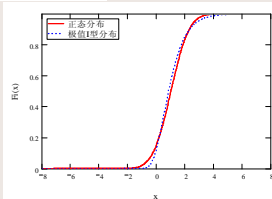
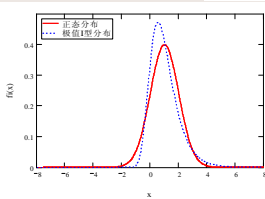
$$S_T = S_i$$

$$m_T = m_i + \frac{S_i \ln N}{1.2826}$$

7-10

## 正态分布和极值I型分布对比

$$m_i := 1 \\ \sigma_i := 1 \\ \alpha_i := \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_i \\ u_i := m_i - 0.5772156649 \alpha_i$$



7-11

## 7.2 荷载的各种代表值

○ 各种荷载的最大值  $Q_T$  一般为随机变量, 为实际设计方便, 采用具体数值代表  $Q_T$ , 称为代表值。

○ 可变荷载代表值: 标准值、准永久值、组合值  
永久荷载代表值: 标准值

✓ 荷载标准值  $Q_k$  —— 基本代表值

1. 定义

$$F_T(Q_k) = P_k$$

7-12

## 7.2 荷载的各种代表值

我国现行各种荷载标准值的 $P_k$

荷载类型	$P_k$
恒载	0.21
住宅楼面活荷载	0.80
办公楼楼面活荷载	0.92
风荷载	0.57
屋面雪荷载	0.36

7-13

## 7.2 荷载的各种代表值

### 2. 重现期 $T_k$

$Q_k$ 也可用 $T_k$ 年一遇来定义

$$T_k = \frac{1}{1 - P_k^{\frac{1}{T}}}$$

### 3. 标准值定义的统一

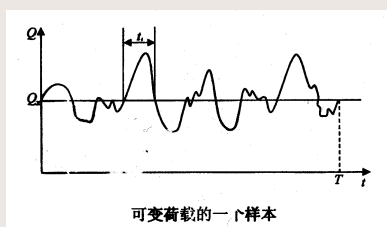
取相同的 $P_k$ 或 $T_k$ 值

7-14

## 7.2 荷载的各种代表值

### √ 准永久值

荷载的准永久值 $Q_x$ 指在结构上经常作用的可变荷载值，它在设计基准期内具有较长的持续时间 $T_x$ ，其对结构的影响相似与永久荷载。



可变荷载的一个样本

7-15

## 7.2 荷载的各种代表值

$$T_x = \sum_{i=1}^n t_i (Q \geq Q_x)$$

令

$$m_x = \frac{T_x}{T}$$

一般取  $\mu_x \geq 0.5$

7-16

## 7.2 荷载的各种代表值

荷载准永久值系数

可变荷载种类	适用地区	$\phi_x$
办公楼、住宅楼面活荷载	全国	0.40
风荷载	全国	0
雪荷载	东北	0.20
	新疆北部	0.15
	其他有雪地区	0

7-17

## 7.2 荷载的各种代表值

### √ 荷载组合值

当作用在结构上有两种或两种以上的可变荷载时，由于同时以最大值出现的概率很小，可采用其组合值。

7-18

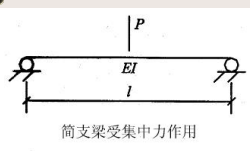
### 7.3 荷载效应及荷载效应组合

#### Ø 荷载效应

定义：结构上的荷载所产生的内力、变形、应变等，为荷载效应。

#### Ø 荷载效应系数

$$S = CP$$



$$M = \frac{l}{4}P \quad C = \frac{l}{4}$$

$$f = \frac{l^3}{48EI}P \quad C = \frac{l^3}{48EI}$$

7-19

### 7.3 荷载效应及荷载效应组合

#### • 荷载与荷载效应统计参数关系

• 定义变异系数

$$m_s = Cm_Q$$

$$s_s = Cs_Q$$

则

$$d = \frac{S}{m}$$

$$d_s = d_Q$$

7-20

### 7.3 荷载效应及荷载效应组合

#### • 荷载效应组合

当结构承受两种以上可变荷载时，应考虑荷载效应组合规则。

#### Δ Turkstra组合规则

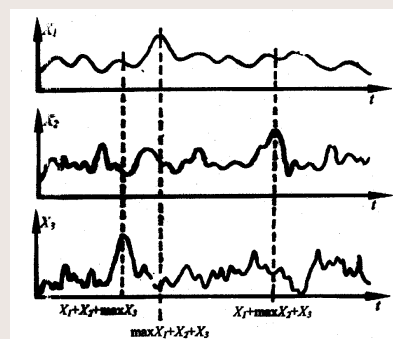
$$S_{Ci} = \max_{t \in [0, T]} S_i(t) + S_1(t_0) + L + S_{i-1}(t_0) + S_{i+1}(t_0) + L + S_n(t_0) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$S_C = \max(S_{C1}, S_{C2}, \dots, L, S_{cn})$$

7-21

### 7.3 荷载效应及荷载效应组合

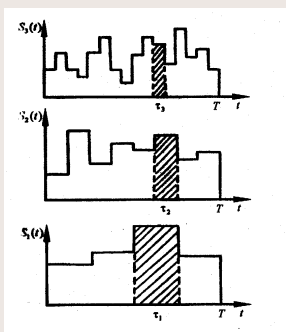
#### • 三种不同荷载的组合



7-22

### 7.3 荷载效应及荷载效应组合

#### Δ JCSS组合规则



7-23

### 7.3 荷载效应及荷载效应组合

#### Δ 不同组合规则的优缺点

Turkstra组合规则易理解，便于应用，但可能遗漏更不利组合。

JCSS组合规则可考虑所有不利组合，但组合数较多。



7-24