



模块三： 极限状态设计法

单元一： 极限状态法基本概念

主讲人： 土木工程学院 安蕊梅

本单元主要内容

- 结构功能要求；
- 结构可靠性与可靠度；
- 极限状态；
- 作用与作用效应、抗力；
- 功能函数；
- 失效概率与可靠指标。

1、 结构的功能要求

安全性 (safety)

指能承受正常出现的荷载不破坏，在偶然荷载时能保持整体稳定，不出现倒塌或连续破坏。如 $M \leq M_u$ 。

适用性 (Serviceability)

指在正常工作条件下没有过大的变形（挠度、侧移）、振动（振幅和频率）、裂缝和局部损坏。

耐久性 (Durability)

在规定的使用环境和条件下，在设计使用年限内，结构不需要加固和大修，就能满足结构功能要求的性能。

2、结构的可靠性与可靠度

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。是安全性、适用性、耐久性的统称。

可靠性与安全性的关系：

可靠度：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。是结构可靠性的度量指标。

结构可靠与否与所受荷载、材料性能、几何参数等有关。

结构可靠与否是不能确定的，没有100%可靠的结构。

3、结构的极限状态

所谓极限状态，是指整个结构、构件的一部分或全部超过某一特定状态，就不能满足某一功能要求，此特定状态称为该功能的极限状态。是结构可靠与不可靠的界限。

我国将结构的极限状态分为：

承载能力极限状态 (ultimate limit state)

正常使用极限状态 (serviceability limit state)

3、结构的极限状态

1) 承载能力极限状态：

指结构或构件达到最大承载力或出现不适于继续承载的变形、变位的状态。

当结构或构件出现下列状态之一时，认为超过了承载能力极限状态：

- (1) 结构或结构的一部分作为刚体失去平衡；
- (2) 结构、结构构件或其连接因超过材料强度而破坏，或因过度的塑性变形而不能继续承载；
- (3) 结构转变为机动体系；
- (4) 结构或结构构件丧失稳定。

3、结构的极限状态

2) 正常使用极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定值。

当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了正常使用极限状态：

- ①影响正常使用或外观的变形；
- ②影响正常使用或耐久性能的局部损坏（如过大的裂缝宽度）
- ③影响正常使用的振动；
- ④影响正常使用的其它特定状态。

3、结构的极限状态

•问：

- 结构达到哪种极限状态损失大？
- 哪种极限状态被超越的概率应该很低？



4、作用和作用效应、抗力

(1) 作用：指结构产生内力、变形、应力、应变的所有原因。

分为：直接作用和间接作用。

直接作用指：直接施加在结构上的荷载，也叫荷载，我们本书只讨论直接作用即荷载。

荷载是随机变量。

间接作用指：引起结构外加变形和约束变形的因素。如地震，基础沉降，混凝土收缩，温度变化等。

4、作用和作用效应、抗力

根据作用值随时间的变化将作用分为：

永久作用 (dead load)：结构重力，预加力，水浮力。

可变作用 (live load)：汽车荷载、人群荷载、风力。

偶然作用：台风、船舶的撞击力等。

4、作用和作用效应、抗力

(2) 作用效应 (S)

也叫荷载效应，指作用引起的内力（例如，弯矩、剪力、轴力、扭矩等）和变形（挠度、裂缝等）。

一般，作用大，作用效应也大。因此，可用作用的特性来描述作用效应的特性。

作用效应也是随机变量。

4、作用和作用效应、抗力

(3) 抗力定义：指结构构件承受内力和变形的能力。
如 M_u , N_u , V_u , T_u , $[f]$ 、 $[w_{lim}]$ 。

**结构抗力的大小，主要取决于结构所用材料强度、
构件的几何尺寸和配筋、计算模式。**

结构抗力为随机变量

材料强度是随机变量。

构件几何尺寸也是随机变量。

结构抗力亦具有随机性，为随机变量。

5 结构的功能函数

作用效应 S ，结构抗力 R ，令 $Z=R-S$ ，则 $Z=R-S$ 为结构的功能函数。功能函数针对结构某一功能，有一个功能，就可以建立一个对应的功能函数。

如： $Z=Mu-M$ ， $Z=Vu-V$ ， $Z=[f]-f$

Z 的大小有三种可能：

- $Z > 0$ ，即 $R > S$ ，结构有效，可靠
 - $Z < 0$ ，即 $R < S$ ，结构失效
 - $Z = 0$ ，即 $R = S$ ，结构达到极限状态，此时的方程为极限状态方程，是结构有效和失效的界限。
- Z 为随机变量。

6 结构的失效概率和可靠指标

可靠状态和失效状态的大小用概率表示，前者称为可靠概率 p_s ，后者称为失效概率 p_f 。

可靠概率：
$$p_s = p(z > 0) = \int_0^{\infty} f(z) dz$$

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

失效概率可靠概率与失效概率之和为：

$$p_s + p_f = 1$$

6 结构的失效概率和可靠指标

若假定 R 、 S 均服从正态分布，且都用内力表示，则将其分布曲线并列于同一坐标内进行分析。

横坐标：作用效应（ S ）和结构抗力（ R ）

纵坐标：出现的概率密度 f ；

概率分布曲线示意图见图（2-1）。

Z 为结构抗力与作用效应之差，则 Z 值也必然是一个正态分布的随机变量。将结构抗力与作用效应两条概率分布曲线合成后示于图（2-2），

6 结构的失效概率和可靠指标

令：

$$\beta = \frac{m_z}{\sigma_z}$$

均值

$$m_z = m_R - m_S$$

可靠指标

标准方差

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

☆可以知道：可靠指标越大，失效概率越小，结构可靠度越大

6 结构的失效概率和可靠指标

目标可靠指标 $[\beta]$:

指设计规范所规定的作为设计结构或构件时所应达到的可靠指标。规范确定时要考虑结构破坏类型和安全等级。

表2-2 公路桥梁结构构件的目标可靠指标

构件破坏类型	结构安全等级	一级	二级	三级
	延性破坏		4.7	4.2
脆性破坏		5.2	4.7	4.2

表 2-1 失效概率与可靠指标的对应关系

β	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
P_f	158.7×10^{-3}	66.81×10^{-3}	22.75×10^{-3}	6.21×10^{-3}	1.35×10^{-3}	0.232×10^{-3}	0.317×10^{-4}	0.034×10^{-4}