

第 2 章 结构设计方法及计算原则

◆本章学习内容及意义

本章主要介绍混凝土结构上的作用、作用效应、结构抗力、结构的功能要求、结构功能的极限状态，以及可靠度、可靠指标的概念，同时还介绍了荷载的分类和取值的方法，最后给出了概率极限状态设计实用表达式，对结构设计的基本原理做了一定的阐述，对初学者有非常重要的指导意义，本章内容是后续各章学习的基础。

◆本章习题内容

结构上的作用、作用效应、结构抗力的含义；结构功能要求及可靠度的含义；结构安全等级的划分原则；结构的功能函数和极限状态方程的表达式；失效概率和可靠指标的关系；设计基准期和设计使用年限的概念；各类荷载代表值的取值方法；材料强度值的取值方法；引入荷载分项系数的意义；正态分布的有关特征；两类极限状态的分类；两类极限状态下荷载组合基本要求及其表达式等。

一、概念题及答案

(一) 填空题

1. 结构的可靠性包括安全性、适用性、耐久性。

2. 结构的极限状态有承载能力极限状态和正常使用极限状态。

3. 结构上的作用按其随时间的变异可分为永久作用、可变作用、偶然作用。

4. 结构上的作用是指施加在结构上的分布力或集中力，以及引起结构外加变形或约束变形的原因。

5. 极限状态是区分结构可靠与结构失效的界限。

结构能完成预定功能的概率称为可靠概率，不能完成预定功能的概率称为失效概率，两者相加的总和为1。

(二) 选择题

1. 若用 S 表示结构或构件截面上的荷载效应，用 R 表示结构或构件截面的抗力，结构或构件截面处于极限状态时，对应于（ B ）式。

A. $R > S$

B. $R = S$

C. $R < S$

D. $R \leq S$

2. 设计基准期是为确定可变荷载及与时间有关材料性能取值而选用的时间参数，桥梁结构设计基准期定为（ C ）年。

A. 25

B. 50

C. 100

D. 75

3. 下列（ B ）状态应按正常使用极限状态验算。

A. 结构作为刚体失去平衡

B. 影响耐久性能的局部损坏

C. 因过度的塑性变形而不适于继续承载

D. 构件失去稳定

4. 荷载代表值有荷载的标准值、组合值、频遇值和准永久值，其中（ D ）为荷载的基本代表值。

A. 组合值 B. 准永久值 C. 频遇值 D. 标准值

5. 对所有钢筋混凝土结构构件都应进行（ D ）。

A. 抗裂度验算 B. 裂缝宽度验算
C. 变形验算 D. 承载力能力计算

6. 下列（ B ）项属于超出正常使用极限状态。

A. 在荷载设计值作用下轴心受拉构件的钢筋已达到屈服强度
B. 在荷载标准值作用下梁中裂缝宽度超出规范规定的限值
C. 吊车梁垫板下混凝土局部受压，承载力不足
D. 构件失去稳定

7. 承载能力极限状态设计时，应进行荷载效应的（ A ）。

A. 基本组合和偶然组合 B. 基本组合和标准组合
C. 偶然组合和标准组合 D. 标准组合和准永久组合

8. 正常使用极限状态设计时，应进行荷载效应的（ A ）。

A. 标准组合、频遇组合和准永久组合
B. 基本组合、偶然组合和准永久组合

C. 标准组合、基本组合和准永久组合

D. 频遇组合、偶然组合和准永久组合

9. 工程结构的可靠指标 β 与失效概率 P_f 之间存在下列 (D) 关系。

A. β 愈大, P_f 愈大

B. β 与 P_f 呈反比关系

C. β 与 P_f 呈正比关系

D. β 与 P_f 存在一一对应关系, β 愈大, P_f 愈小

10. 设功能函数 $Z=R-S$, 结构抗 R 和作用效应 S 均服从正态分布, 平均值

$m_R = 120 \text{ kN}$, $m_S = 60 \text{ kN}$, 变异系数 $d_R = 0.12$, $d_S = 0.15$, 则 (B)。

A. $\beta = 2.56$

B. $\beta = 3.53$

C. $\beta = 10.6$

D. $\beta = 12.4$

(三) 判断题

1. 结构可靠度定义中的“规定时间”是指结构的设计基准期。(\checkmark)

2. 结构上的永久作用的值在使用期间内不随时间变化。(\checkmark)

3. 结构上的荷载效应和结构抗力都是随机变量。(\checkmark)

4. 我国公路工程结构设计采用近似概率极限状态设计法。(\checkmark)

5. 荷载标准值是建筑结构按极限状态设计所采用的荷载基本代表值。(\checkmark)

6. 结构的可靠指标越大, 其失效概率就越小, 结构使用的时间达到设计使用年限后, 失效的概率会增大。(\checkmark)

7. 偶然作用发生的概率很小, 持续的时间很短, 但对结构造成的危害可能很大。

(√)

8. 结构的承载能力极限状态和正常使用极限状态是同等重要的, 在任何情况下都应该计算。(×)

9. 结构的承载能力极限状态和正常使用极限状态计算中, 都采用荷载设计值, 因为这样偏于安全。(×)

10. 荷载的组合值系数是当结构上作用有几个可变荷载时, 由于可变荷载的最大值同时出现的概率较小, 为避免造成组合时结构可靠度不一致, 对可变荷载设计值采取的组合系数。(√)

二、复习思考题及答案

1. 桥梁结构的功能包括哪几方面的内容? 何谓结构的可靠性?

答: (1) 桥梁结构的功能由其使用要求决定, 具体有如下四个方面:

① 桥梁结构应能承受在正常施工和正常使用期间可能出现的各种荷载、外加变形、约束变形等的作用。

② 桥梁结构在正常使用条件下具有良好的工作性能, 例如, 不发生影响正常使用的大变形和局部损坏。

③ 桥梁结构在正常使用和正常维护条件下, 在规定的时间内, 具有足够的耐久性,

例如，不出现过大的裂缝宽度，不发生由于混凝土保护层碳化导致钢筋的锈蚀。

④ 在偶然荷载（如地震、强风）作用下或偶然事件（如爆炸）发生时和发生后，桥梁结构仍能保持整体稳定性，不发生倒塌。

(2) 结构的可靠性是指结构的安全性、适用性和耐久性的统称。

2. 结构的设计基准期和使用寿命有何区别？

答：设计基准期是指对结构进行可靠度分析时，结合结构使用期，考虑各种基本变量与时间的关系所取用的基准时间参数，设计基准期可参考结构使用寿命的要求适当选定，但二者不完全等同。当结构的使用年限超过设计基准期，表明它的失效概率可能会增大，不能保证其目标可靠指标，但不等于结构丧失了所要求的基本功能。一般来说，使用寿命长，设计基准期也可以长一些，使用寿命短，设计基准期应短一些，通常设计基准期小于使用寿命。

3. 什么叫极限状态？我国《公路桥规》规定了哪两类结构的极限状态？

答：(1) 当整个结构或结构的一部分超过某一特定状态而不能满足设计规定的某一功能要求时，此特定状态称为结构的极限状态。

(2) 我国《公路桥规》将结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

4. 试解释以下名词：作用、直接作用、间接作用、抗力。

答：(1) 作用：使结构产生内力、变形、应力和应变的所有原因。

- (2) 直接作用：施加在结构上的集中力和分布力。
- (3) 间接作用：引起结构外加变形和约束变形的原因。
- (4) 抗力：结构构件承受内力和变形的能力。

5. 我国《公路桥规》规定了结构设计的哪三种状况？

答：我国《公路桥规》规定的结构设计状况分为：持久状况、短暂状况和偶然状况。

6. 结构承载能力极限状态和正常使用极限状态设计计算原则是什么？

答：我国《公路桥规》采用的是近似概率极限状态设计法。

(1) 承载能力极限状态的计算以塑性理论为基础，设计的原则是作用效应最不利组合（基本组合）的设计值必须小于或等于结构抗力设计值，即 $\gamma_0 S_d \leq R$ 。

(2) 正常使用状态是以结构弹性理论或弹塑性理论为基础，采用作用（或荷载）的短期效应组合、长期效应组合，或采用短期效应组合并考虑长期效应组合的影响，对构件的抗裂、裂缝宽度和挠度进行验算，并使各项计算值不超过《公路桥规》规定的各相应限值。设计表达式为 $S \leq C_1$ 。

7. 作用分为几类？什么叫作用的标准值、可变作用的准永久值、可变作用的频遇值？

答：(1) 作用分为永久作用（恒载）、可变作用和偶然作用三类。

(2) 作用的标准值是指结构和结构构件设计时，采用的各种作用的基本代表值。

(3) 可变作用的准永久值是指在结构上经常出现的且量值较小的荷载作用取值。

(4) 可变作用频遇值是指结构上较频繁出现的且量值较大的荷载作用取值。

8. 钢筋混凝土梁的支点截面处, 结构重力产生的剪力标准值 $V_{Gk} = 187.01 \text{ kN}$; 汽车荷载产生的剪力标准值 $V_{Q1k} = 261.76 \text{ kN}$ (不计入冲击系数), 冲击系数 $(1 + \mu) = 1.19$; 人群荷载产生的剪力标准值 $V_{Q2k} = 57.2 \text{ kN}$; 温度梯度作用产生的剪力标准值 $V_{Q3k} = 41.5 \text{ kN}$ 。参照例题 2-1, 试进行设计时的作用效应组合计算。

解: 1) 承载能力极限状态设计时作用效应的基本组合

钢筋混凝土梁桥主梁现按结构的安全等级为二级, 取结构重要性系数为 $g_0 = 1.0$ 。永久作用效应的分项系数, 因恒载作用效应对结构承载能力不利, 故取 $g_{G1} = 1.2$ 。汽车荷载效应的分项系数为 $g_Q = 1.4$ 。对于人群荷载和温度梯度作用效应的分项系数 $g_{Qj} = 1.4$ 。本组合为永久作用与汽车荷载、人群荷载和温度梯度作用组合, 故取可变作用效应的组合系数为 $y_c = 0.70$ 。

按承载能力极限状态设计时作用效应值基本组合的设计值为:

$$\begin{aligned} g_0 V_d &= g_0 \left(\sum_{i=1}^m g_{Gi} V_{Gik} + g_{Q1} V_{Q1k} + y_c \sum_{j=2}^n g_{Qj} V_{Qjk} \right) \\ &= 1.0 [1.2 \cdot 187.01 + 1.4 \cdot 261.76 \cdot 1.19 + 0.7 \cdot (1.4 \cdot 57.2 + 1.4 \cdot 41.5)] \\ &= 757.23 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) 正常使用极限状态设计时作用效应组合

(1) 作用短期效应组合。

根据《公路桥规》规定, 汽车荷载作用效应不计入冲击系数, 不计冲击系数的汽车荷载产生的剪力标准值 $V_{Q1k} = 261.76 \text{ kN}$ 。汽车荷载作用效应的频遇值系数 $y_{11} = 0.7$, 人群荷载作用效应的频遇值系数 y_{12} 为 1.0, 温度梯度作用效应的频遇值系数 y_{13} 为 0.8。

由式 (2-16) 可得到作用短期效应组合设计值为

$$\begin{aligned} V_{sd} &= \sum_{i=1}^m V_{Gik} + \sum_{j=1}^n y_{1j} V_{Qjk} \\ &= 187.01 + 0.7 \cdot 261.76 + 1.0 \cdot 57.2 + 0.8 \cdot 41.5 \\ &= 460.64 \text{ kN} \end{aligned}$$

(2) 作用长期效应组合。

根据《公路桥规》的规定，汽车荷载作用效应不计入冲击系数，不计冲击系数的汽车荷载产生的剪力标准值 $V_{Q1k} = 261.76 \text{ kN}$ ，汽车荷载作用效应的准永久值系数 $y_{21} = 0.4$ ，人群荷载作用效应的准永久值系数 $y_{22} = 0.4$ ，温度梯度作用效应的准永久值系数 $y_{23} = 0.8$ 。由式 (2-17) 可得到作用长期效应组合设计值为

$$\begin{aligned}
 V_{\text{id}} &= \sum_{i=1}^m S_{ik} V_{Gik} + \sum_{j=1}^n y_{2j} V_{Qjk} \\
 &= 187.01 + 0.4 \times 261.76 + 0.4 \times 57.2 + 0.8 \times 41.5 \\
 &= 347.79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

