

混凝土结构碳化耐久性的概率设计表达式

姚继涛, 谷 慧, 张义九, 程凯凯

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 随着施工工艺的不断改进和业主对可靠度的不同选择, 现行耐久性设计方法在灵活性、通用性和可靠度控制精度上越来越表现出其自身的局限性。根据理论和经验相结合的碳化深度模型, 选用最新统计数据, 考虑保护层厚度, 抗压强度以及混凝土结构碳化深度计算模型的不定性系数三个基本随机变量, 提出结构关于时间的功能函数。依据设计值法和结构可靠度的基本理论, 考虑基本变量的概率特性、结构设计的目标可靠指标以及其设计使用年限对设计结果的直接影响, 用基本变量的基准值与分项系数的乘积来表达其设计值, 在分项系数中全面反映了目标可靠指标的影响, 建立了基于碳化寿命准则的混凝土结构耐久性概率设计表达式。该耐久性设计方法适用于一般大气环境下任意设计使用年限的不允许出现钢筋锈蚀的混凝土结构, 根据表达式可直接确定新材料、新工艺在满足不同可靠指标和设计使用年限的耐久性要求下的保护层厚度和混凝土强度。

关键词: 碳化; 耐久性设计; 结构可靠度; 概率设计; 设计值法

中图分类号: TU318+1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2015)01-0001-05

The probability expression for concrete structure carbonization durability design

YAO Jitao, GU Hui, ZHANG Yijiu, CHENG Kaikai

(School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: With the development of the construction process and the different reliability options, the current method of durability design is increasingly showing its limitations on the side of flexibility, generality and accuracy for reliability control. According to the combination of theory and experience carbonation depth model, choosing the latest statistical data, considering the concrete protective cover thickness, compressive strength and carbonation depth calculation model uncertainty factor as the basic random variables, the paper puts forward the function of the structure about time. Drawing lessons from the basic idea of design-value method, with the basis of the existing structure reliability theory, considered directly of the influence of basic variables probabilistic properties, target reliability index and design working life to design result, and the design values are expressed as the product of reference design value and partial factor, it set up the probability expression of concrete structure durability design based on the rule of carbonation life. The influence of target reliability index roundly by each partial factors, which is benefit to reliability control. This durability design method is suitable for concrete structure design which not allowing the steel corrosion in any design working life under common atmosphere environment. Based on the expression, the protective cover thickness and concrete strength can be directly designed for the require of the durability with the new material, new technology to meet different reliability index and design working life.

Key words: carbonation; durability design; structural reliability; probability design; design-value method

混凝土结构耐久性设计在拟建结构的设计中具有重要地位,决定了结构在将来使用过程中的维护成本,越来越受到设计者的重视。现行《混凝土结构耐久性设计规范》GB50010-2010^[1]通过宏观控制混凝土的常规指标和限定构造措施来达到结构的设计使用寿命。这些偏重于定性的概念设计方法有很大的局限性,无法实现对耐久性设计目标的量化规定^[2]。针对规范中的不足,文献[2]提出基于可靠度理论的混凝土结构耐久性设计方法,建立分项系数

设计表达式,比较全面的考虑了影响耐久性的各个因素。然而,由于该设计方法只给出了两种可靠指标的建议值,理论上缺乏通用性和灵活性,且推导过程中采用拟合优化的方法,所得实际可靠指标与目标可靠指标之间的相对误差大多在20%以上,可靠度的控制精度较低,故不建议用于指导耐久性设计。

本文在当前耐久性设计研究^[1-3]的基础上,通过系统分析,从时间角度考察结构的耐久性,建立概率模型。借鉴设计值法的基本思想,采用可靠指标

收稿日期: 2014-10-16 修改稿日期: 2015-03-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50678143; 51278401)

作者简介: 姚继涛 (1965-), 男, 博士, 教授。主要从事结构可靠性设计与评定, 既有结构可靠性检测与加固方面研究。E-mail: yaojitao@163.com

计算的 JC 法,在其基础上将基本变量的设计值表达为其概率特性、结构目标可靠指标和结构设计使用年限的函数,提出了基于概率设计的混凝土结构碳化耐久性设计表达式,从形式上克服了目前耐久性设计方法的缺陷^[4]。

1 碳化寿命准则的极限状态方程

对于一般大气环境下的混凝土结构,钢筋的锈蚀是混凝土耐久性损伤的关键问题,而混凝土的碳化通常是混凝土中钢筋锈蚀的前提条件,因而研究混凝土的碳化现象对认识和研究混凝土结构的耐久性具有非常重要的意义。混凝土耐久性研究中的碳化寿命准则定义耐久性的终点为保护层混凝土由于碳化失去对钢筋的保护作用,将钢筋开始产生锈蚀作为混凝土结构耐久性的极限^[5]。由于碳化残量的原因,钢筋开始锈蚀时,混凝土碳化深度可能尚未达钢筋表面,或者碳化深度已超过钢筋表面。本文针对一般大气环境下的混凝土结构,考虑碳化残量的影响所采用的极限状态方程为^[6]:

$$g_1 = c - x_0 - K_c k_1 \left((57.94/f_{cu}) m_c - 0.76 \right) \cdot \sqrt{t} = 0 \quad (1)$$

式(1)中: x_0 为碳化残量^[6]

$$(x_0 = k_0 (c-5) (\ln(f_{cu}/m_c) - 2.30))$$

其中: $k_0 = 4.86(-RH^2 + 1.5RH - 0.45)$; K_c 为碳化深度计算模型不定性系数; m_c 指混凝土立方体抗压强度平均值与标准值之比; k_1 为碳化发展阶段的条件系数,计算式为^[6]

$$k_1 = K_e k_j k_{co_2} k_p k_s \quad (2)$$

式(2)中: K_e 为环境因子 ($K_e = 2.56\sqrt{T}(1-RH)RH$, RH 为环境年平均相对湿度); k_j 为角部修正系数 (设计时角部取 1.4, 非角部取 1.0); k_{co_2} 为二氧化碳浓度影响系数 ($k_{co_2} = (C_{co_2}/0.03)^{0.5}$, C_{co_2} 为环境二氧化碳浓度)。

2 结构功能函数

由极限状态方程式(1), 求解时间 t , 即是钢筋开始锈蚀的时间, 记为 t_1 :

$$t_1 = \left[\frac{c - k_0 (c-5) (\ln(f_{cu}/m_c) - 2.30)}{K_c k_1 ((57.94/f_{cu}) m_c - 0.76)} \right]^2 \quad (3)$$

根据结构时域可靠度的概念, 对于同一结构, 只要保证设计使用年限、极限状态或寿命准则一致, 从结构状态角度和从时间角度用概率度量结构的可靠性所对应的可靠概率相等^[7]。本文从时间角

度出发, 限定结构的状态, 保证结构的使用寿命, 用可靠度概率度量的方法来解决结构的耐久性问题。

若用极限状态 Λ 表示结构的寿命准则, 则结构的耐久性可靠度表示为: $P_r(\Lambda) = P\{t_{\max}(\Lambda) \geq T\}$, 功能函数为 $Z = t_{\max} - T$ 。为使结构满足耐久性要求, 只需保证钢筋表面开始锈蚀的时间 t_1 满足:

$$t_1 = \left[\frac{c - k_0 (c-5) (\ln(f_{cu}/m_c) - 2.30)}{K_c k_1 ((57.94/f_{cu}) m_c - 0.76)} \right]^2 \geq T_1 \quad (4)$$

式(4)中, T_1 为结构设计使用年限, 可理解为结构允许钢筋开始锈蚀的最大使用时间, 具体取值一般根据实际情况规定, 是一个确定性变量。由此得结构的功能函数

$$Z = T_1 - t_1 = T_1 - \left[\frac{c - k_0 (c-5) (\ln(f_{cu}/m_c) - 2.30)}{K_c k_1 ((57.94/f_{cu}) m_c - 0.76)} \right]^2 \quad (5)$$

3 基本随机变量的统计特征

由极限状态方程可知, 影响混凝土耐久性的因素很多, 但是如果将这些变量全部作为随机变量来处理, 将导致计算非常繁琐。为简化求值, 本文将对结果影响较小且变异性不大的影响因素作为确定性变量, 取保守值参与计算; 将对结构影响较大或变异性较大的影响因素作为随机变量, 考虑其统计特征对耐久性设计的影响。根据以上原则, 只考虑三个随机变量, 即混凝土保护层厚度 c , 立方体抗压强度 f_{cu} 以及碳化深度计算模型不定性系数 K_c 。

文献[8]根据统计知混凝土保护层厚度 c 和混凝土立方体抗压强度 f_{cu} 均服从正态分布。由于施工工艺的不断改进, 在新建结构中混凝土保护层的质量控制有了很大程度的改善, 所以, 对于拟建结构应考虑引入最新的统计数据。西安建筑科技大学在 2005 年通过工程实测调查了西安地区正在施工的部分构件, 得出保护层厚度的变异系数取值: 梁柱与墙板分别取为 0.16 和 0.2; 混凝土立方体抗压强度的变异系数为 0.2^[2]。根据文献[2]知混凝土碳化深度计算模型不定性系数 K_c 服从均值为 0.996, 标准差为 0.355, 变异系数为 0.356 的正态分布。

4 耐久性概率设计表达式

根据式(5), 设按 JC 法^[9]确定的可靠指标为 β , 设计验算点为 (c^*, f_{cu}^*, K_c^*) , 灵敏度系数分别为 α_c^* 、 $\alpha_{f_{cu}}^*$ 、 $\alpha_{K_c}^*$ 则应有

$$T_1 - \left[\frac{c^* - k_0(c^* - 5)(\ln(f_{cu}^*/m_c) - 2.30)}{K_c^* k_1((57.94/f_{cu}^*)m_c - 0.76)} \right]^2 = 0 \quad (6)$$

式中: x^* 代表基本变量 X 的设计验算点坐标, 满足 $F_X(x^*) = \Phi(-\alpha_x^* \beta)$, α_x^* 为灵敏度系数. 若 β 恰好为目标可靠指标, 则各基本变量的设计值为 $x_d = x^* = F_X^{-1}[\Phi(-\alpha_x^* \beta)]$, 此时直接以设计值建立的设计表达式应为:

$$t_1 = \left[\frac{c_d - k_0(c_d - 5)(\ln(f_{cu,d}/m_c) - 2.30)}{K_{cd} k_1((57.94/f_{cu,d})m_c - 0.76)} \right]^2 \geq T_1 \quad (7)$$

上式可保证结构在正常使用和正常的维护条件下, 在可能引起材料性能恶化的环境中, 混凝土结构中钢筋表面开始锈蚀的时间 t_1 大于规定时间 T_1 的前提下可靠指标不低于目标可靠指标 β .

基本变量 X 的设计值 x_d 与 β 、 α_x^* 有关, 取值多样. 为便于设计, 可人为设定一个 β_0 、 α_0 为 β 、 α_x^* 的基准值, 相应的设计值 x_{d0} 为 X 的基准设计值, 并通过引入新的分项系数, 将基准设计值转化为设计值, 即 $x_d = \gamma_{\beta X} x_{d0}$, 则此时设计表达式可由基准设计值和分项系数表示为:

$$t_{1d} = \left[\frac{\gamma_{\beta c} c_{d0} - k_0(\gamma_{\beta c} c_{d0} - 5)(\ln(\gamma_{\beta f_{cu}} f_{cu,d0}/m_c) - 2.30)}{\gamma_{\beta K_c} K_{cd0} k_1((57.94/\gamma_{\beta f_{cu}} f_{cu,d0})m_c - 0.76)} \right]^2 \geq T_1 \quad (8)$$

此式即为基于碳化寿命准则的混凝土结构耐

表 1 基本变量的基准设计值和分项系数

Tab.1 The reference design values and partial factors of basic variables

基本变量	基准设计值	分项系数
混凝土保护层厚度 c	$c_{d0} = \mu_c (1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_c)$	$\gamma_{\beta c} = \frac{1 - \alpha_c^* \beta \delta_c}{1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_c}$
混凝土立方体抗压强度 f_{cu}	$f_{cu,d0} = \mu_{f_{cu}} (1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_{f_{cu}})$	$\gamma_{\beta f_{cu}} = \frac{1 - \alpha_{f_{cu}}^* \beta \delta_{f_{cu}}}{1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_{f_{cu}}}$
碳化深度计算模式不确定性系数 K_c	$K_{cd0} = \mu_{K_c} (1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_{K_c})$	$\gamma_{\beta K_c} = \frac{1 - \alpha_{K_c}^* \beta \delta_{K_c}}{1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_{K_c}}$

显然, 施工工艺的不断改进, 可以在上式中直接反映为 δ_x 取值的减小, 设计方法方便引入新的统计数据, 具有很好的灵活性和通用性; 分项系数和目标可靠指标存在一一对应的关系, 方便业主对目标可靠指标的不同选择; 可以通过优化灵敏度系数的取值来提高可靠度的控制精度.

6 基准设计值和分项系数的确定

式(9)中 β_0 、 α_0 为 β 、 α_x^* 的基准值, 可自行选取, 本文选用 $\beta_0 = 1.28$ (失效概率为 10%)、 $\alpha_0 = \pm 0.35$

久性概率设计的一般表达式, 式中 x_{d0} 代表基本变量 X 的基准设计值, $\gamma_{\beta X}$ 代表 X 的重要性系数, 与可靠度 β 有关. 此处将设计值表达为基准值与分项系数的乘积, 方便设计人员使用.

5 基准设计值和分项系数的表达式

国际标准 ISO2394 中提出的基于概率的设计值法可以建立基本变量的设计值与其概率特性、目标可靠指标、设计使用年限之间的一般函数关系^[4,10], 基本表达式为: $F_X(x_d) = \Phi(-\alpha_x^* \beta)$, 则 $x_d = F^{-1}[\Phi(-\alpha_x^* \beta)]$. 若基本变量 X 服从正态则有 $x_d = \mu_X - \alpha_x^* \beta \sigma_X = \mu_X (1 - \alpha_x^* \beta \delta_X)$ ($x_{d0} = \mu_X (1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_X)$), δ_X 为基本变量 X 的变异系数. 上式建立了基本变量 X 的设计值 x_d 与其均值 μ_X 、标准差 σ_X 、目标可靠指标 β 的函数关系, 其中灵敏度系数 α 的取值直接影响可靠度的控制精度.

由基本变量设计值表达式 $x_d = \gamma_{\beta X} x_{d0}$ 可确定基本变量的分项系数为

$$\gamma_{\beta X} = \frac{x_d}{x_{d0}} = \frac{\mu_X (1 - \alpha_x^* \beta \delta_X)}{\mu_X (1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_X)} = \frac{1 - \alpha_x^* \beta \delta_X}{1 - \alpha_0 \beta_0 \delta_X} \quad (9)$$

基本变量基准设计值和分项系数的表达式详见表 1.

(正负号与 α_x^* 对应), 计算确定分项系数的取值, α_x^* 依据基本变量是否对结构耐久性有利, 分别取 α_c^* 、 $\alpha_{f_{cu}}^*$ 为正值, $\alpha_{K_c}^*$ 为负值. 其具体取值按可靠度最优控制方式, 利用解析优化法确定: 若基本变量为主控量, 取 $\alpha_x^* = \pm 0.85$, 若为非主控量则取 $\alpha_x^* = \pm 0.35$ ^[10]. 对于主控量的判断, 采用枚举法, 给定一组基本变量的取值, 选择不同的目标可靠指标 β_T ; 依次假定 c 、 f_{cu} 、 K_c 为主控量, 对耐久性概率设计的通用表达式进行可靠度精度分析; 将可靠度精度最高的假定主控量初步判定为实际主控量, 进

而初步确定各灵敏度系数的取值;最后,按照初步确定的灵敏度系数取值,选取不同的基本变量组合,再次校核精度,验证所得结果的正确性。

本文以一般大气环境下拟建建筑的混凝土受压柱为例介绍基准设计值和分项系数的具体表达式的确定方法。对于一般大气环境下的混凝土结构碳化设计的基本条件如下: m_c 为混凝土立方体抗压强度平均值与标准值之比,保证率为 95% 时,取 $m_c = 1/(1-1.645 \times 0.2) = 1.4903$, k_s 取 1.0, 环境年平均相对湿度 RH 取 60%, 角部修正系数 k_f 为非角部时取 1.0, 环境二氧化碳浓度 C_{co_2} 取 2. 在此条件下采用解析优化法来确定主控量, 此处以混凝土保护层厚度 c 为主控量为例, 选择 $c = 25 \text{ mm}$ 、 $f_{cu} = 60 \text{ MPa}$ (强度等级为 C40)、 $K_c = 0.996$, 选取 $\delta_c = 0.2$ 、 $\delta_{f_{cu}} = 0.2$ 、 $\delta_{K_c} = 0.356$, $\alpha_c^* = 0.85$, $\alpha_{f_{cu}}^* = 0.35$, $\alpha_{K_c}^* = -0.35$, $\beta_0 = 1.28$ (失效概率为 10%)、 $\alpha_0 = \pm 0.35$ 进行计算。将以上基本变量取值代入表 1 即可得到各变量的基准设计值和分项系数, 依据所选的目标可靠指标 β_r , 代入设计表达式 (式(8)) 得到的 $t_d = T_1$, 即确定了设计使用年限 T_1 。将 T_1 代入结构的功能函数 (式(5)), 利用 JC 法计算出实际可靠指标 β , 对比目标可靠指标与实际可靠指标, 对结果进行可靠

表 2 基本变量的基准设计值和分项系数

Tab.2 The reference design values and partial factors of basic variables

基本变量	基准设计值	分项系数
混凝土保护层厚度 c	$c_{d0} = 0.9104 \mu_c$	$\gamma_{\beta_c} = 1.098 - 0.077\beta$
混凝土立方体抗压强度 f_{cu}	$f_{cud0} = 0.9104 \mu_{f_{cu}}$	$\gamma_{\beta_{f_{cu}}} = 1.098 - 0.187\beta$
碳化深度计算模式不确定性系数 K_c	$K_{cd0} = 0.8405 \mu_{K_c}$	$\gamma_{\beta_{K_c}} = 1.183 - 0.148\beta$

此表可应用于一般大气环境下拟建建筑的混凝土受压柱的设计, 直接确定满足碳化耐久性的混凝土保护层厚度和强度等级。针对其他构件仍可采用本文给出的设计方法来确定具体的设计表达式。此表达式将基本变量设计值表达为其概率特性、目标可靠指标和设计使用年限的函数, 允许业主自由选取目标可靠指标和设计使用年限, 具有良好的灵活性和通用性。当然, 本文灵敏度的确定采取了解析优化的方法, 对设计表达式进行了初步的简化, 但这种确定灵敏度的方法有一定的工程局限性, 对于精度要求较高的建筑需要寻求更佳的方法来进行灵敏度的优化。

基于设计值法的碳化耐久性设计表达式依据设计值法和 JC 法直接建立, 具有良好的理论基础。相比于现行设计表达式更加灵活通用, 能完整

度精度分析。统计得选择不同基本变量作为主控量的可靠度计算误差结果见图 1。

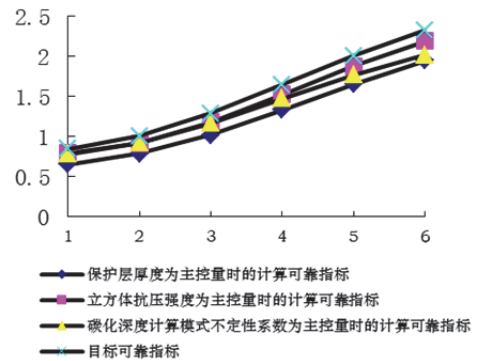


图 1 不同基本变量作为主控量的计算可靠度

Fig.1 The calculating reliability with different basic variable as the master variable

由图 1 知选取 f_{cu} 为主控量, 可以控制相对误差在 10% 以内。最后, 按照 f_{cu} 为主控量, 再选取不同的基本变量组合, 再次校核精度, 验证所得结果。且计算中发现随着混凝土强度等级的提高, 统计误差逐渐减小。对于拟建建筑, 由于当前经济的发展, 混凝土强度等级不会太低, 故选用 f_{cu} 为主控量较为合理。因此, 灵敏度系数的取值确定为 $\alpha_c^* = 0.35$, $\alpha_{f_{cu}}^* = 0.85$, $\alpha_{K_c}^* = -0.35$ 。将确定取值代入表 1, 即可得基本变量的基准设计值和分项系数的具体表达式, 见表 2。

考虑各种不确定性的影响, 以及新材料新工艺对基本变量统计特征的影响; 分项系数反映了目标可靠指标的影响, 直接实现了对可靠度的控制。

选择基准设计值作为基本变量的代表值为耐久性设计建立了统一的取值方法 (保证率为 $\Phi(\alpha_0 \beta_0)$), 利于提高设计方法的实用性。本文通过当前的统计结果计算给出了具体的设计表达式取值, 设计人员可根据随着施工工艺的改善自行调整分项系数的取值。

7 结论

本文引用国际标准中设计值法的基本思想, 建立了基于碳化寿命准则的混凝土结构耐久性设计表达式, 改善了传统的耐久性设计方法缺乏足够的灵活通用性和可靠度控制精度低的缺陷, 由此可设

计满足设计使用寿命的混凝土结构,并通过解析优化的方法以一般大气环境下拟建建筑的混凝土受压柱的设计为例给出了表达式中各分项系数的具体取值。

基于碳化寿命准则的耐久性设计表达式适用于一般大气环境下不允许出现钢筋锈蚀的混凝土结构的耐久性设计,方便新材料、新结构的可靠度设计,对目标可靠指标和设计使用年限的选取更加灵活。同时也为碳化耐久性评估与寿命预测提供了重要参考。本方法仅适用于建筑物所处的环境为一般大气环境下的耐久性评定,如果与大气环境条件差异过大,则应建立新的环境参数和耐久性碳化模型进行分析。

参考文献 References

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构耐久性设计规范(GB50010-2010)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
Housing and urban-rural development of the People's Republic of China. Code for durability design of concrete structures (GB50010-2010) [S]. Beijing : China Architecture and Building Press, 2010.
- [2] 刘海,姚继涛,牛荻涛. 混凝土结构耐久性的概率极限状态设计法[J].混凝土,2008(9):16-18.
LIU Hai, YAO Jitao, NIU Ditao. Probability limit states method for durability design based on criterion of carbonation life[J].Concrete, 2008(9): 16-18.
- [3] 金伟亮,吕清芳,赵羽习,等. 混凝土结构耐久性设计方法与寿命预测研究进展[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(1): 7-13.
JIN Weiliang, LÜ Qingfang, ZHAO Yuxi, et al. Research progress on the durability design and life prediction of concrete structures[J]. Journal of Building Structures, 2007, 28(1):7-13.
- [4] 姚继涛,程凯凯. 结构安全性设计的通用表达式[J]. 应用力学学报,2014(02): 275-281+315-316.
YAO Jitao, CHENG Kaikai. General expressions for structural security design [J].Chinese Journal of Applied Mechanics, 2014 (02): 275-281+315-316.
- [5] 刘海,姚继涛,牛荻涛,等. 混凝土结构碳化耐久性的分项系数设计法[J].建筑结构学报, 2008 (S1):42-46.
LIU Hai, YAO Jitao, NIU Ditao, et al. Partial factor durability design rules for carbonation of concrete structure[J]. Journal of Building Structures, 2008 (S1):42-46.
- [6] 牛荻涛. 混凝土结构耐久性与寿命预测[M]. 北京: 科学出版社,2003.
NIU Ditao. Durability and life forecast of reinforced concrete structure[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [7] 姚继涛,李琳,马景才. 结构的时域可靠度和耐久性[J]. 工业建筑, 2006 (S1):913-916.
YAO Jitao, LI Lin, MA Jingcai. Time-depended reliability and durability of structures[J].Industrial construction, 2006 (S1): 913-916.
- [8] 马景才. 基于碳化寿命准则的耐久性概率分析与设计方法[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
MA Jingcai. The method of probability analysis and design of durability based on carbonation life criterion[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. &Tech., 2007.
- [9] 姚继涛. 基于不确定性推理的既有结构可靠性评定[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
YAO Jitao. Uncertainty reasoning based on the reliability evaluation of existing structures[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [10] 冯云芬,贡金鑫. 建筑结构基于可靠指标的设计方法[J]. 工业建筑,2011,41(7):1-8.
FENG Yunfen, GONG Jinxin. Reliability index-based design for building structure[J]. Industrial construction, 2011, 41(7): 1-8.

(本文编辑 吴海西)