

文章编号: 1673-2049(2008)01-0038-05

多轴强度安全系数的定义及应用

钱向东, 姜弘道

(河海大学 土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对基于古典强度理论的传统安全系数定义不能确切地表示材料在多轴应力状态下的安全度, 也很难直接应用于一般的多参数强度准则的问题, 引入失效距离的概念, 给出了多轴强度安全系数的定义及其计算方法。以混凝土材料为例, 选择常用的 5 种强度准则, 分别给出了多轴强度安全系数的计算公式。选取 3 组较为典型的应力组合, 分别计算了 5 种强度准则对应的多轴强度安全系数, 所反映的混凝土材料强度状态与三轴试验结果相当吻合。结果表明, 所定义的多轴强度安全系数有利于改变现行设计准则中经常采用单轴强度安全系数的习惯, 为更加科学合理地进行结构强度设计和校核提供了有效的工具。

关键词: 多参数强度准则; 多轴应力状态; 失效距离; 安全系数; 三轴试验

中图分类号: TU311.2 **文献标志码:** A

Definition and Application of Safety Factor for Multiaxial Strength

QIAN Xiang-dong, JIANG Hong-dao

(School of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu, China)

Abstract: The conventional safety factor based on classical strength theory could not exactly express the safety for materials in multiaxial stress states, and it was difficult to apply the general multi-parameter strength criteria directly. The definition and calculation method of the safety factors for multiaxial strength were proposed by using the concept of failure distance, which was applicable in any stress state and multi-parameter strength criteria. Taking concrete materials as an example, 5 common strength criteria were selected, and the calculation formulae of the safety factors for these criteria were discussed, and the safety factors of concrete in 3 types of stress state were computed for each criterion. The numerical examples for concrete show that the states of strength described by the safety factor proposed agree with the results of triaxial test. The results indicate that the safety factor for multiaxial strength has advantage of changing present design criterion which is used to apply the safety factor for uniaxial strength, so as to provide more reasonable and scientific tools for strength design of structures.

Key words: multi-parameter strength criterion; multiaxial stress state; failure distance; safety factor; triaxial test

0 引言

点强度安全系数是结构强度校核的重要指标,

其大小与各点的应力状态以及材料的强度准则、强度参数有关。传统的点强度安全系数 K_0 的定义是基于四大古典强度理论的, 其表达式为^[1]

收稿日期: 2007-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(50379005)

作者简介: 钱向东(1963-), 男, 江苏吴江人, 教授, 工学博士, E-mail: xdqian@hhu.edu.cn.

$$K_c = \frac{\sigma_s}{\sigma_r} \quad (1)$$

式中: σ_s 为材料的单轴强度指标(单轴抗拉强度 f_t 、单轴抗压强度 f_c); σ_r 为相当应力,与材料的强度参数无关,只是应力的函数。

现代强度理论认为,大部分工程材料的失效模式并不符合古典强度理论,从而提出了一系列强度准则^[2-3],如岩土工程中的 Mohr-Coulomb 准则、混凝土多参数强度准则、统一强度理论等,这些理论或准则一般包含有 2~5 个强度参数。

对于多参数强度准则,文献[4]中推广了传统安全系数的定义,给出了 K_c 的一般表达式,分析比较了工程中常用的超载系数和强度折减系数的定义,指出这些安全系数的定义均存在一定的局限性,相互之间的差异有时十分显著,不能确切地表示材料在各种应力状态下的安全度,很难直接应用于一般的多参数强度准则。为此,本文中笔者通过引入失效距离(应力点到强度极限面的最短距离)的概念,重新定义了适用于各种应力状态和强度准则的点安全系数表达式,便于工程结构的强度设计和校核。

1 强度极限面与失效距离

不失一般性,假设材料的强度准则可以用应力状态和强度参数表示为

$$F(\boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\sigma}_s) = 0 \quad (2)$$

式中: $\boldsymbol{\sigma}$ 为一点的 3 个主应力, $\boldsymbol{\sigma} = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)^T$; $\boldsymbol{\sigma}_s$ 为材料的强度参数, $\boldsymbol{\sigma}_s = (a, b, c, d, \dots)^T$ 。显然式(2)表示在应力空间中的一个曲面,称其为强度极限面,见图 1。

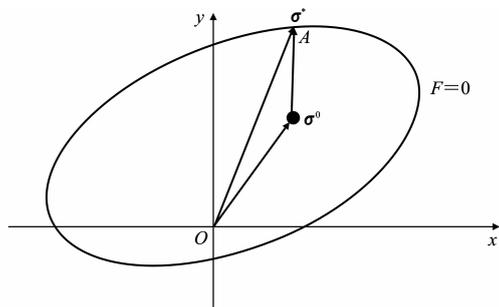


图 1 强度极限面

Fig. 1 Strength Critical Surface

对位于强度极限面内任意的应力点($\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$),设在应力空间中该点到强度极限面的最短距离为 A ,与之对应的强度极限面上的点为($\sigma_1^*, \sigma_2^*, \sigma_3^*$),记为 $\boldsymbol{\sigma}^*$,则称($\sigma_1^*, \sigma_2^*, \sigma_3^*$)为($\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$)的失效点,称 A 为应力点($\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$)的失效距离,见图 1。

$$A = \|\boldsymbol{\sigma}^* - \boldsymbol{\sigma}^0\| \quad (3)$$

当应力点($\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$)位于强度极限面以外时,表示已失效,此时

$$A = -\|\boldsymbol{\sigma}^* - \boldsymbol{\sigma}^0\| \quad (4)$$

失效距离 A 反映了应力点离强度极限面的远近, A 越大表示应力点离极限面越远,即越安全。

2 基于失效距离的安全系数定义

第 1 节中定义的失效距离 A 可以作为安全度的一种度量,但其量纲为应力的量纲,与传统的量纲一的安全系数不同。根据工程习惯,安全系数的定义必须满足以下 5 个条件:

(1) 大于 0 的量纲一参数;

(2) 当应力点 $\boldsymbol{\sigma}^0 = (\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0)$ 落在强度极限面以内,即 $F(\boldsymbol{\sigma}^0, \boldsymbol{\sigma}_s) < 0$ 时,安全系数大于 1;

(3) 当应力点 $\boldsymbol{\sigma}^0 = (\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0)$ 落在强度极限面以外,即 $F(\boldsymbol{\sigma}^0, \boldsymbol{\sigma}_s) > 0$ 时,安全系数小于 1;

(4) 当应力点 $\boldsymbol{\sigma}^0 = (\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0)$ 正好落在强度极限面上,即 $F(\boldsymbol{\sigma}^0, \boldsymbol{\sigma}_s) = 0$ 时,安全系数等于 1;

(5) 当 $\boldsymbol{\sigma}^0 = (\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0)$ 为静水压力,即 $\sigma_1^0 = \sigma_2^0 = \sigma_3^0 < 0$ 时,安全系数为无穷大。

为此,引入平均应力点($\sigma_m, \sigma_m, \sigma_m$),记为 $\boldsymbol{\sigma}_m$,其中, $\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_1^0 + \sigma_2^0 + \sigma_3^0)$ 。不难验证表达式

$\frac{\|\boldsymbol{\sigma}^0 - \boldsymbol{\sigma}_m\| + A}{\|\boldsymbol{\sigma}^0 - \boldsymbol{\sigma}_m\|}$ 满足上述安全系数定义的全部条件。综合考虑式(3)、(4)后,定义新的强度安全系数为

$$K_n = \frac{\|\boldsymbol{\sigma}^0 - \boldsymbol{\sigma}_m\| - \text{sgn}(F) \|\boldsymbol{\sigma}^* - \boldsymbol{\sigma}^0\|}{\|\boldsymbol{\sigma}^0 - \boldsymbol{\sigma}_m\|} \quad (5)$$

式中: $\text{sgn}(F)$ 表示 $F(\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0)$ 的正负号。

3 确定失效点的算法

计算安全系数 K_n 的关键是失效点的确定。根据定义,失效点 $\boldsymbol{\sigma}^* = (\sigma_1^*, \sigma_2^*, \sigma_3^*)$ 的计算可以归结为以下约束最优化问题

$$\min D(\boldsymbol{\sigma}) = \min \|\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}^0\|^2$$

s. t.

$$F(\boldsymbol{\sigma}) = 0 \quad (6)$$

$$D(\boldsymbol{\sigma}) = \|\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}^0\|^2 = (\sigma_1 - \sigma_1^0)^2 + (\sigma_2 - \sigma_2^0)^2 + (\sigma_3 - \sigma_3^0)^2 \quad (7)$$

利用 Lagrange 乘子法很容易求解约束最优化问题[式(6)],设 λ 为 Lagrange 乘子,则 Lagrange 函数为

$$L(\boldsymbol{\sigma}, \lambda) = D(\boldsymbol{\sigma}) + \lambda F(\boldsymbol{\sigma}) \quad (8)$$

极值条件为

$$\nabla L(\boldsymbol{\sigma}, \lambda) = 0 \quad (9)$$

将(8)代入式(9),有

$$\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}^0 = \frac{1}{2} \lambda \nabla F(\boldsymbol{\sigma}) \quad (10)$$

$$F(\boldsymbol{\sigma}) = 0 \quad (11)$$

当 $F(\boldsymbol{\sigma})$ 为应力的线性函数时, 梯度向量 $\nabla F(\boldsymbol{\sigma})$ 为常向量, 且式(11)可以表示为

$$F(\boldsymbol{\sigma}) + \nabla F^T(\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}^0) = 0 \quad (12)$$

在式(10)等号两边乘以 ∇F^T , 联合式(12)有

$$\lambda = \frac{2F(\boldsymbol{\sigma}^0) \nabla F}{\nabla F^T \nabla F} \quad (13)$$

将式(13)代入式(10), 可得

$$\boldsymbol{\sigma}^* = \boldsymbol{\sigma}^0 - \frac{F(\boldsymbol{\sigma}^0) \nabla F}{\nabla F^T \nabla F} \quad (14)$$

当 $F(\boldsymbol{\sigma})$ 为应力的非线性函数时, 式(12)相当于约束条件的线性化处理, 由(14)得到的 $\boldsymbol{\sigma}^*$ 只是失效点 $\boldsymbol{\sigma}^*$ 的一次近似值, 但可根据式(14)构造计算失效点 $\boldsymbol{\sigma}^*$ 的迭代格式为

$$\boldsymbol{\sigma}^{k+1} = \boldsymbol{\sigma}^k - \frac{F(\boldsymbol{\sigma}^k) \nabla F(\boldsymbol{\sigma}^k)}{\nabla F^T(\boldsymbol{\sigma}^k) \nabla F(\boldsymbol{\sigma}^k)} \quad (15)$$

取初始值 $\boldsymbol{\sigma}^0 = \boldsymbol{\sigma}^0$ 。当 $|F(\boldsymbol{\sigma}^k)| \leq \varepsilon$ 时迭代终止, 取 $\boldsymbol{\sigma}^* \approx \boldsymbol{\sigma}^k$ 。由此可以证明迭代格式(15)具有较高的收敛速度。

由上述可知, 确定失效点 $\boldsymbol{\sigma}^*$ 后, 由式(5)可计算安全系数 K_n 。

4 混凝土材料的安全系数计算

试验证明混凝土材料具有显著的多轴强度特性, 现已提出了许多混凝土强度准则, 它们一般包括 3~5 个参数, 强度极限面与试验结果比较吻合, 在反映复杂应力状态下混凝土强度特性方面各不相同, 目前还没有统一的准则。因此, 本文中比较常用的 5 种强度准则进行研究。各准则中涉及的应力不变量、Lode 角以及它们对应力的导数不在本文中列出, 仅列出各准则的函数形式及其梯度表达式, 以供参考。

4.1 Ottosen 四参数准则

Ottosen 四参数强度准则表达式为^[5]

$$F = a \frac{J_2}{f_c^2} + \lambda \frac{\sqrt{J_2}}{f_c} + b \frac{I_1}{f_c} - 1 = 0 \quad (16)$$

$$\lambda = \begin{cases} k_1 \cos\left[\frac{1}{3} \cos^{-1}(k_2 \cos 3\theta)\right] & \cos 3\theta \geq 0 \\ k_1 \cos\left[\frac{\pi}{3} - \frac{1}{3} \cos^{-1}(k_2 \cos 3\theta)\right] & \cos 3\theta < 0 \end{cases} \quad (17)$$

式中: θ 为 Lode 角; 参数 a, b, k_1, k_2 分别由单轴抗拉强度 f_t 、单轴抗压强度 f_c 、二轴等压强度 f_{cc} ($f_{cc} = 1.16 f_c$) 和三轴拉压强度 ($\theta = 60^\circ, \xi/f_c = -5.0, r/f_c = 4.0$) 来确定。梯度向量 $\nabla F(\boldsymbol{\sigma})$ 的各分量为

$$\frac{\partial F}{\partial \sigma_i} = \frac{a}{f_c^2} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_i} + \frac{\sqrt{J_2}}{f_c} \frac{\partial \lambda}{\partial \sigma_i} + \frac{\lambda}{f_c} \frac{1}{2 \sqrt{J_2}} \cdot \left(\frac{\partial J_2}{\partial \sigma_i} + \frac{b}{f_c} \right) \quad i=1, 2, 3 \quad (18)$$

当 $\cos 3\theta \geq 0$ 时

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \sigma_i} = -k_1 k_2 \sin\left[\frac{1}{3} \cos^{-1}(k_2 \cos 3\theta)\right] \cdot \frac{\sin 3\theta}{\sqrt{1 - k_2^2 \cos^2 3\theta}} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_i} \quad i=1, 2, 3 \quad (19)$$

当 $\cos 3\theta < 0$ 时

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \sigma_i} = -k_1 k_2 \sin\left[\frac{\pi}{3} - \frac{1}{3} \cos^{-1}(-k_2 \cos 3\theta)\right] \cdot \frac{\sin 3\theta}{\sqrt{1 - k_2^2 \cos^2 3\theta}} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_i} \quad i=1, 2, 3 \quad (20)$$

4.2 Hsieh-Ting-Chen 四参数准则

Hsieh-Ting-Chen(H-T-C)四参数强度准则表达式为^[6]

$$F = a \frac{J_2}{f_c^2} + b \frac{\sqrt{J_2}}{f_c} + c \frac{\sigma_1}{f_c} + d \frac{I_1}{f_c} - 1 = 0 \quad (21)$$

式中: 参数 a, b, c, d 分别由单轴抗拉强度 f_t 、单轴抗压强度 f_c 、二轴等压强度 f_{cc} ($f_{cc} = -1.16$ 和 f_c)、三轴受压强度 ($\theta = 60^\circ, I_1/f_c = -5.85, \sqrt{J_2}/f_c = 1.96$) 来确定。梯度向量 $\nabla F(\boldsymbol{\sigma})$ 的各分量分别为

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \sigma_1} &= \frac{a}{f_c^2} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_1} + \frac{b}{f_c} \frac{1}{2 \sqrt{J_2}} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_1} + \frac{c+d}{f_c} \\ \frac{\partial F}{\partial \sigma_2} &= \frac{a}{f_c^2} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_2} + \frac{b}{f_c} \frac{1}{2 \sqrt{J_2}} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_2} + \frac{d}{f_c} \\ \frac{\partial F}{\partial \sigma_3} &= \frac{a}{f_c^2} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_3} + \frac{b}{f_c} \frac{1}{2 \sqrt{J_2}} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_3} + \frac{d}{f_c} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

4.3 江见鲸四参数准则

江见鲸四参数强度准则表达式为^[7]

$$F = a \frac{J_2}{f_c^2} + (b + c \cos \theta) \frac{\sqrt{J_2}}{f_c} + d \frac{I_1}{f_c} - 1 = 0 \quad (23)$$

式中: 参数 a, b, c, d 分别由单轴抗拉强度 f_t 、单轴抗压强度 f_c 、二轴等压强度 f_{cc} ($f_{cc} = 1.2 f_c$) 和三轴拉压强度 ($\theta = 60^\circ, \xi/f_c = -4.0, r/f_c = 5.0$) 来确定。梯度向量 $\nabla F(\boldsymbol{\sigma})$ 的各分量为

$$\frac{\partial F}{\partial \sigma_i} = \frac{a}{f_c^2} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_i} - \frac{c \sin \theta \cdot \sqrt{J_2}}{f_c} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_i} + \frac{b + c \cos \theta}{f_c} \frac{1}{2 \sqrt{J_2}} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_i} + \frac{d}{f_c} \quad i=1, 2, 3 \quad (24)$$

4.4 过镇海-王传志五参数准则

过镇海-王传志五参数强度准则表达式为

$$F = \tau_0 - a \left(\frac{b - \sigma_0}{c - \sigma_0} \right)^d = 0 \quad (25)$$

$$c = c_t \left(\cos \frac{3}{2} \theta \right)^{\frac{3}{2}} + c_c \left(\sin \frac{3}{2} \theta \right)^2 \quad (26)$$

$$\sigma_0 = \frac{I_1}{3f_c} = \frac{1}{3f_c} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (27)$$

$$\tau_0 = \frac{\sqrt{2} \sqrt{J_2}}{\sqrt{3} f_c} = \frac{1}{3f_c} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (28)$$

$$\cos \theta = \frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{2\sqrt{3} \sqrt{J_2}} \quad (29)$$

式中:参数 a, b, c_t, c_c, d 可采用单轴受压、单轴受拉、二轴等压、三轴受压、三轴等拉 5 个特征强度确定。根据清华大学的多轴试验资料,建议取: $a=6.9638$, $b=0.09$, $d=0.9297$, $c_t=12.2445$, $c_c=7.3319$ 。

梯度向量 $\nabla F(\boldsymbol{\sigma})$ 的各分量分别为

$$\frac{\partial F}{\partial \sigma_i} = \frac{\partial \tau_0}{\partial \sigma_i} + ad \left(\frac{b - \sigma_0}{c - \sigma_0} \right)^{d-1} \cdot \left[(c - \sigma_0) \frac{\partial \sigma_0}{\partial \sigma_i} + (b - \sigma_0) \left(\frac{\partial c}{\partial \sigma_i} - \frac{\partial \sigma_0}{\partial \sigma_i} \right) \right] / (c - \sigma_0)^2 \quad i=1, 2, 3 \quad (30)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \tau_0}{\partial \sigma_i} &= \frac{1}{f_c \sqrt{6} J_2} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma_i} \quad i=1, 2, 3 \\ \frac{\partial \sigma_0}{\partial \sigma_i} &= \frac{1}{3f_c} \quad i=1, 2, 3 \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

$$\frac{\partial c}{\partial \sigma_i} = - \left[\frac{9}{4} c_t \sin \frac{3}{2} \theta \left(\cos \frac{3}{2} \theta \right)^{\frac{1}{2}} - 3c_c \sin \frac{3}{2} \theta \cos \frac{3}{2} \theta \right] \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_i} \quad i=1, 2, 3 \quad (32)$$

4.5 俞茂宏双剪统一强度理论

俞茂宏双剪统一强度准则表达式为:

当 $\sigma_2 \leq \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{\beta}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$ 时

$$F = \frac{1+b}{2}(1+\beta)\sigma_1 - \frac{1-\beta}{2}(b\sigma_2 + \sigma_3) + \frac{a}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) - C = 0 \quad (33)$$

当 $\sigma_2 > \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{\beta}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$ 时

$$F' = \frac{1+\beta}{2}(\sigma_1 + b\sigma_2) - \frac{1+b}{2}(1-\beta)\sigma_3 + \frac{a}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) - C = 0 \quad (34)$$

式(33)、(34)中的材料参数 β, C 和 a 分别可由材料的 3 个特征强度,即单轴抗拉强度 f_t 、单轴抗压

强度 f_c 和双轴等压强度 f_{bc} 确定

$$\beta = \frac{f_{bc} f_c + 2f_t f_c - 3f_t f_{bc}}{(f_c + f_t) f_{bc}} = \frac{\bar{\alpha} + 2\alpha - 3\alpha\bar{\alpha}}{(1+\alpha)\alpha} \quad (35)$$

$$C = \frac{2f_c f_t (1+b)}{f_c + f_t} = \frac{1+b}{1+\alpha} f_t \quad (36)$$

$$a = \frac{3f_t (1+b)(f_{bc} - f_c)}{(f_c + f_t) f_{bc}} = \frac{3\alpha(1+b)(\bar{\alpha} - 1)}{(1+\alpha)\alpha} \quad (37)$$

梯度向量 $\nabla F(\boldsymbol{\sigma})$ 的各分量分别为

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \sigma_1} &= \frac{a}{3} + \frac{1}{2}(1+b)(1+\beta) \\ \frac{\partial F}{\partial \sigma_2} &= \frac{a}{3} - \frac{1}{2}b(1-\beta) \\ \frac{\partial F}{\partial \sigma_3} &= \frac{a}{3} - \frac{1}{2}(1-\beta) \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F'}{\partial \sigma_1} &= \frac{a}{3} + \frac{1}{2}(1+\beta) \\ \frac{\partial F'}{\partial \sigma_2} &= \frac{a}{3} + \frac{1}{2}b(1+\beta) \\ \frac{\partial F'}{\partial \sigma_3} &= \frac{a}{3} - \frac{1}{2}(1+b)(1-\beta) \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

4.6 混凝土材料的强度安全系数比较

为了比较不同应力状态下各种强度准则对应的安全系数,本文中中以 3 组较为典型的应力组合(2.0, 0.0, -25.0)、(2.0, -10.0, -25.0)、(0.0, -30.0, -35.0)为例(单位为 MPa),采用不同的强度理论(准则)计算其安全系数,同时还列出了基于第一强度理论的传统安全系数。根据文献[3]中的试验结果,取材料的抗压强度 $f_c = 30$ MPa,抗拉强度 $f_t = 3$ MPa,则有关计算结果见表 1。

表 1 强度安全系数计算结果

Tab. 1 Calculation Results of Safety Factors of Strengths

应力/MPa		(2.0, 0.0, -25.0)	(2.0, -10.0, -25.0)	(0.0, -30.0, -35.0)
三轴强度试验结果		破坏	破坏	不破坏
本文中定义的 安全系数 K_n	Ottosen 准则	0.96	0.98	1.01
	H-T-C 准则	0.94	0.97	1.01
	江见鲸准则	0.94	0.97	1.01
	过镇海准则	0.92	0.99	1.03
	双剪统一理论	0.94	0.97	1.00
传统安全系数 K_c (第一强度理论)		1.20	1.20	0.86

从表 1 可以看出,采用基于第一强度理论的传统安全系数判别材料是否破坏时,给出了错误的结果,而基于多轴强度理论计算得到的新安全系数均与试验结果相符。从表 1 还可以看出,对于这 3 组应力,各种多轴强度准则下的 K_n 值都比较接近,进一步验证了它们代表的强度极限面非常接近。

5 结 语

(1)基于失效距离定义的强度安全系数具有明确的物理意义,拓展了传统安全系数的涵义,适用于材料的多轴强度理论(准则),且符合强度安全的传统度量方式。

(2)通过对混凝土材料的多种强度准则的计算,本文中定义的强度安全系数能够正确地反映复杂应力状态下材料的安全度,与试验结果相吻合。

(3)本文中定义的安全系数改变了现行设计准则中经常采用单轴强度安全系数的习惯,为在复杂结构的强度设计或验算中科学合理地采用材料的多轴强度提供了依据。

参考文献:

References:

- [1] 范钦珊. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
FAN Qin-shan. Mechanics of Materials[M]. Beijing: Higher Education Press,2000.
- [2] 俞茂宏. 工程强度理论[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
YU Mao-hong. Strength Theory in Engineering[M].

Beijing: Higher Education Press,1999.

- [3] 过镇海. 混凝土的强度和变形[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
GUO Zhen-hai. Strength and Deformation of Concrete[M]. Beijing: Tsinghua University Press,1997.
- [4] 钱向东,焦彩虹. 基于多参数强度准则的安全系数定义问题[J]. 水利水电科技进展,2007,27(4):34-37.
QIAN Xiang-dong, JIAO Cai-hong. On Definitions of Safety Factor Based on Multi-parameter Strength Criterion[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2007,27(4):34-37.
- [5] OTTOSEN N S. A Failure Criterion for Concrete[J]. Journal of the Engineering Mechanics Division,1977,103(4):527-535.
- [6] HSIEH S S, TING E C, CHEN W F. An Elastic-fracture Model for Concrete[C]//ASCE. Proceedings of the Third Engineering Mechanics Division Speciality Conference, Austin:ASCE,1979:437-440
- [7] 江见鲸. 钢筋混凝土结构非线性有限元分析[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1994.
JIANG Jian-jing. Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Publishing House,1994.

《建筑科学与工程学报》影响力大幅度提高

根据《中国学术期刊综合引证年度报告》(2007)统计,《建筑科学与工程学报》2006年的影响因子已达到1.139,影响力大幅度提高。《中国学术期刊综合引证年度报告》是中国科学文献计量评价研究中心、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社根据《中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)》2006年6182种统计刊源析出的214万条中国期刊引文数据及CNKI“中国期刊网”中心网站2006年1~12月全文下载记录(1.5亿篇次)的大样本数据进行统计分析的,具有一定的权威性。此数据表明,《建筑科学与工程学报》在中国土木建筑领域的影响力已得到大幅提升。

《建筑科学与工程学报》自2005年改刊名以来,加大了约稿力度,汇集了众多建筑科学领域的名家、大家的稿件,国家自然科学基金、“八六三”、“九七三”等国家级科研项目产生的学术论文占70%以上。《建筑科学与工程学报》荣获“2005、2006年度陕西省科技期刊审读优秀奖”。2006年11月,在教育部科学技术司组织开展的“首届中国高校精品·优秀·特色科技期刊奖评比活动”中,《建筑科学与工程学报》荣获首届中国高校特色科技期刊奖。《建筑科学与工程学报》正在不断进步,不断完善,已成长为建筑领域的权威性学术期刊。