

既有结构可靠性评定的设计值法

姚继涛, 罗张飞, 程凯凯, 李凯凯

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 目前对既有结构可靠性的评定主要采用结构可靠度设计中的校核方法, 即以分项系数表达的实用设计表达式。虽然在具体的校核过程中, 一般会考虑既有结构实际的材料性能、几何尺寸和所承担的作用, 但这种评定方法并不完全适用于既有结构的可靠性评定。借鉴国际标准中设计值法的基本思想, 在前期工作的基础上, 提出既有结构可靠性评定的设计值法。该方法在可靠性评定中直接考虑了基本变量概率特性、目标可靠指标和后续使用年限变化对评定结果的影响, 引用既有结构的作用和性能的最新统计结果, 建立可靠性评定方法, 允许业主自由选取目标可靠指标和后续使用年限, 较现有的结构可靠度设计中的校核方法更具有良好的灵活性和通用性。同时, 根据此方法确定了现有规范规定的既有结构构件承载能力的鉴定等级与结构构件可靠指标之间的关系。

关键词: 既有结构; 可靠性评定; 分项系数法; 设计值法

中图分类号: TU311.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)01-0018-06

Design value method of assessing the existing structural reliability

YAO Jitao, LUO Zhangfei, CHENG Kaikai, LI Kaikai

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

Abstract: Presently, the method about the assessment of the existing structure reliability mainly uses the verification method of structure reliability design, which is the practical design expression with the partial coefficient. The actual material performance, geometry and performed function of the existing structure can be taken account into the process of the specific verification. However, this assessment method is not fully applicable to assess the existing structure reliability. Thus, with the reference from the basic idea of the design value method in international standard, the design value method of assessing the existing structural reliability can be put forward on the basis of previous work. This methodology takes account directly the characteristics of the basic variable probability, target reliability index and design working life on design results into the reliability assessment. Moreover, it can also establish the method of reliability evaluation and allow owners to choose flexibly the target reliability index and design working life with citing the latest statistics of structural functions and performance. Compared with the current verification method of the reliability design, the design value method of assessing the existing structural reliability can possess more excellent flexibility and versatility. Simultaneously, this method can identify the relationship between the identification grade of the structural elements' bearing force provided in existing specifications and the reliability index of the structural elements.

Key words: existing structure; reliability assessment; Partial factors method; design-value method

为充分利用老旧建筑并对其可靠性维护和现代化改造, 有必要对既有结构进行可靠性的评定。目前对既有结构可靠性的评定主要采用结构可靠度设计^[1-2]中的校核方法, 即以分项系数表达的实用设计表达式。虽然在具体的校核过程中, 一般会考虑既有结构实际的材料性能、几何尺寸和所承担的作用, 但这种评定方法并不完全适用于既有结构的可靠性评定。因为在作用效应、材料性能、几何尺寸等的概率特性方面, 人类认识的不确定性方面, 以及目标可靠指标和目标使用期的取值方面, 既有结构与拟建结构都可能存在较大差别。世界上很多国家都开始根据既有结构自身的特点, 从经济合理的角度出发, 逐步建立适用于既有结构构件的鉴

定准则。

鉴于分项系数法存在的缺陷, 国际标准 ISO2394:1998^[3]中提出了一种新的设计方法—基于概率的设计值法, 根据目标可靠指标和基本变量的概率分布直接确定基本变量的设计值, 在一定程度上建立了设计值与目标可靠指标、基本变量概率特性之间的关系。设计值法是近似概率极限状态设计法中直接以设计值表达的新方法, 为解决设计值法的实用化过程, 文献[4]借鉴设计值法的基本思想, 采用作用的随机过程组合方法^[6]和可靠指标计算的 JC^[7]法, 从实用角度提出了安全性设计的通用表达式。文献《设计值法中灵敏度系数的优化与取值》则按可靠度的最优控制方式, 利用解析优化法确定

了其中关键的灵敏度系数的取值方法, 使可靠度的控制精度得到明显提高. 这些成果的提出只关心基本变量的概率特性, 而并不关心基本变量是涉及既有结构还是拟建结构. 为此, 将在这些成果的基础上建立既有结构可靠性评定的设计值法.

1 既有结构可靠性评定的设计值法

根据作用的随机过程组合方法和相应的可靠度分析模型^[5], 文献[4]利用可靠指标计算的 JC 法, 提出了以抗力表达的安全性设计的通用表达式. 文献《设计值法中灵敏度系数的优化与取值》提出统一的标准灵敏度系数的建议值: 对于主控量, 取 $\alpha_X^* = \alpha_A = \pm 0.85$; 对于非主控量, 取 $\alpha_X^* = \alpha_B = \pm 0.35$. 在不考虑计算模式不确定性和结构性能不确定性的影响下根据之前的研究成果提出对既有结构的承载能力极限状态的验算表达式:

$$S[\sum_{i \geq 1} \gamma_{\beta G_i} G_{id0} + \gamma_{\beta P} P_{d0} + (\gamma_{\beta Q_i} + \gamma_{TQ_i}) Q_{id0} + \sum_{j \neq i} (\gamma_{\beta Q_j} + \gamma_{cQ_j}) Q_{jd0}] \leq \gamma_{\beta R} R_{d0} \quad (1)$$

$$S[\sum_{i \geq 1} \gamma_{\beta G_i} G_{id0} + \gamma_{\beta P} P_{d0} + \gamma_A A_{d0} + (\gamma_{\beta Q_i} \text{ 或 } \gamma_{cQ_i}) Q_{id0} + \sum_{j \neq i} \gamma_{\beta Q_j} Q_{jd0}] \leq \gamma_{\beta R} R_{d0} \quad (2)$$

$$S(\sum_{i \geq 1} \gamma_{\beta G_i} G_{id0} + \gamma_{\beta P} P_{d0} + \gamma_{\beta A_E} \gamma_{TA_E} A_{Ed0} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{\beta Q_j} Q_{jd0}) \leq \gamma_{\beta R} R_{d0} \quad (3)$$

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 β 有关; γ_{TX} 代表可变和偶然作用 X 的设计使用年限系数, 与 T 有关; $\gamma_{\tau Q_j}$ 、 $\gamma_{\tau' Q_j}$ 均按 $\tau_j = \tau_{j-1} = 10a$ 的情况计算, 并统一记其为组合系数 γ_{cQ_j} ; γ_{EX} 、 γ_{qX} 分别代表可变作用 X 的频遇值系数和准永久值系数, 均与 β 、 T 有关; γ_A 为偶然作用的分项系数. 取 $T_0 = 50a$, $\alpha_0 = 0.35$, (抗力和预应力作用) 或 -0.35 (其他作用), $w_f = 0.1$, $w_q = 0.5$ ^[1], 未注明有关函数与变量按文献[4]确定, 此时的基本变量基准设计值和分项系数的表达式详见表 1.

表 1 基准设计值和分项系数
Tab.1 The reference design values and partial factors

基本变量	基准设计值	分项系数	
R	$R_{d0} = \gamma_{0R} \mu_R$	$\gamma_{\beta R} = \exp[-(0.35\beta - 1.12)\sqrt{\ln(1+\delta_R)}]$ $\gamma_{0R} = \exp[-(1.12 + 0.5\delta_R)\sqrt{\ln(1+\delta_R)}]$	$\tilde{\gamma}_{\beta R} = \exp[-(0.85\beta - 1.12)\sqrt{\ln(1+\delta_R)}]$
G_i	$G_{id0} = \mu_{G_i} (1 + 1.12\delta_{G_i})$	$\gamma_{\beta G_i} = \frac{1 + 0.35\beta\delta_{G_i}}{1 - 1.12\delta_{G_i}}$	$\tilde{\gamma}_{\beta G_i} = \frac{1 + 0.85\beta\delta_{G_i}}{1 + 1.12\delta_{G_i}}$
P	$P_{d0} = \mu_P (1 - 1.12\delta_P)$	$\gamma_{\beta P} = \frac{1 - 0.35\beta\delta_P}{1 - 1.12\delta_P}$	$\tilde{\gamma}_{\beta P} = \frac{1 - 0.85\beta\delta_P}{1 - 1.12\delta_P}$
Q_i	$Q_{id0} = \mu_0 (1 + 1.078\delta_0)$	$\gamma_{\beta Q_i} = \frac{1 + L_1(0.35\beta)\delta_0}{1 + 1.078\delta_0}$	$\tilde{\gamma}_{\beta Q_i} = \frac{1 + L_1(0.85\beta)\delta_0}{1 + 1.078\delta_0}$
		$\gamma_{TQ_i} = \frac{0.78\delta_0}{1 + 1.078\delta_0} \ln \frac{T}{T_0}$	$\gamma_{cQ_i} = \frac{-1.2549\delta_0}{1 + 1.078\delta_0}$
		$\gamma_{\beta Q_i} = \frac{1 + [W(0.1, T/\tau_i, 0.35\beta) - 0.78 \ln(T_0/\tau_i)]\delta_0}{1 + 1.078\delta_0}$	
		$\gamma_{qQ_i} = \frac{1 + [W(0.5, T/\tau_i, 0.35\beta) - 0.78 \ln(T_0/\tau_i)]\delta_0}{1 + 1.078\delta_0}$	
A	$A_{d0} = F_{A_0}^{-1}(0.8686)$	$\gamma_A = \frac{F_{A_0}^{-1}[\Phi^{T_0/T}(0.35\beta)]}{F_{A_0}^{-1}(0.8686)}$	$\tilde{\gamma}_A = \frac{F_{A_0}^{-1}[\Phi^{T_0/T}(0.85\beta)]}{F_{A_0}^{-1}(0.8686)}$
A_E	$A_{Ed0} = \mu_0 \frac{7.1011^{(0.7763-0.4387\delta_0)\delta_0}}{0.9948 + 0.5404\delta_0}$	$\gamma_{\beta A_E} = [\frac{L_{II}(0.35\beta)}{7.1011}]^{\frac{1}{H^{-1}(\delta_0)}}$ $\gamma_{TA_E} = (\frac{T}{T_0})^{\frac{1}{H^{-1}(\delta_0)}}$	$\tilde{\gamma}_{\beta A_E} = [\frac{L_{II}(0.85\beta)}{7.1011}]^{\frac{1}{H^{-1}(\delta_0)}}$

注: 抗力或预应力作用效应对可靠度不利时以及其他作用效应对可靠度有利时, 应分别以 “-0.35”、“-0.85” 替代相应分项系数表达式中的 “0.35”、“0.85”.

其中:

$$L_I(x) = \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln \frac{-1}{\ln \Phi(x)} - C_E] \quad (4)$$

$$L_{II}(x) = \frac{-1}{\ln \Phi(x)} \quad (5)$$

$$W(w, T/\tau, x) = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[\ln \frac{-1}{\ln B_{\left[\frac{T}{(1-w)\tau}, 1 + \frac{wT}{\tau} \right]}^{-1} [\Phi(x)]} - C_E \right] \quad (6)$$

式中: 欧拉常数 $C_E \approx 0.5772$, 灵敏度系数的取值方法: 基本变量对可靠度有利时, 取正值, 否则, 取负值. 主控量指对结构可靠度起控制作用的基本变量. 按最优可靠度控制方式, 所有基本变量中设且只设一个主控量, 除了作用, 它还可能是抗力, 这时所有基本变量中主控量灵敏度系数的绝对值应最大. 评定中可能的主控量包括永久作用、可变作用、偶然作用、地震作用、预应力作用和抗力, 这时每类组合中只有两个可能的主控量. 先分别假设以上可能的作用为主控量, 确定作用效应组合的设计值 S_{d1} ; 再选择抗力为主控量, 重新确定作用效应组合的设计值 S_{d2} , 最后取最不利的组合进行可靠性评定.

在对既有结构进行可靠性评定时, 我们可以根据其具体的统计参数按文章提出的表达式计算作用的基准设计值、结构性能的中心值以及评定使用年限的分项系数, 最后得出结构构件的评定等级.

2 构件承载能力评定分级

实际工程应用中, 对于既有结构构件而言, 如果要进行安全性鉴定^[8-9], 其标准是按承载能力评定时的等级而不是可靠指标, 即其等级直接用构件的抗力与其荷载效应的比值确定, 如对于主要构件, 抗力与其荷载效应的比值不小于1则为a级构件. 因此, 如果按照检测的有关数据结论进行构件的可靠指标计算是不能得出其安全等级的, 即评定标准是直接对构件的可靠指标进行要求, 而鉴定标准是间接涉及到可靠指标 β 的问题. 因此, 检测及计算结论要按照鉴定标准划分构件的等级, 只有按照某一规律转换, 要求寻找两个标准之间的隐含关系, 即按现行鉴定标准中的现有构件安全性可靠指标设置标准, 以便与评定标准要求的定量指标一致. 因此, 为满足工程需求, 现依据文中提出的方法, 考虑了19种有代表性的结构构件(表2)的统计参数^[10], 不同的荷载效应常用比值 $\rho = Q_k/G_k = 0.1, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2$, 并考虑了永久荷载+楼面活荷载、永久荷载+风荷载的情况, 计算出不同 R/S 值下的计算可靠指标均值, 如表2所示.

当荷载效应的统计参数为已知时, 可靠指标是结构构件抗力均值及其标准差的函数, 而结构构件的抗力又与材料或构件的质量密切相关. 文献[3]

规定了两种质量界限, 即设计要求的质量和下限质量, 前者为材料和构件的质量应达到或高于目标可靠指标要求的期望值, 后者系按目标可靠指标减少0.25确定的, 此值相当于其失效概率运算值上升半个数量级. 基于以上考虑, 参考文献[8], 采取以下分级原则:

a_u 级: 既有结构构件的可靠度达到目标可靠指标 β_0 , 其验算表征为 $R/S \geq 1$, 实物完好, 具有足够的承载能力, 不必采取措施.

b_u 级: 既有结构构件的可靠度率低于现行规范对 β_0 的要求, 但尚可达到或超过相当于工程质量下限的可靠度水平. 即可靠指标 $1 > \beta \geq \beta_0 - 0.25$, 该类构件尚不显著承载能力, 可不采取措施, 继续使用. 验算表征为 $a \leq R/S < 1.0$ (其中 a 需要根据可靠性分析结构确定).

c_u 级: 既有结构构件没有达到目标可靠指标 β_0 , 其可靠指标下降已超过工程质量下限, 但未达到随时有破坏可能的程度, 因此, 其可靠指标 β 的下浮可按构件的失效概率增大一个数量级估计, 即下浮下列区间内: $\beta_0 - 0.25 > \beta \geq \beta_0 - 0.5$, 此时构件的安全性等级比现行规范要求的下降了一个档次. 显然, 对承载能力有不容忽视的影响. 对于这种情况, 验算表征为 $a > R/S \geq b$ (其中 b 需要根据可靠性分析结构确定), 对于此类构件, 安全性不符合标准对 a_u 级的要求, 显著影响构件承载能力, 应采取措施.

d_u 级: 既有结构构件的可靠度严重低于现行规范对 β_0 的要求, 其可靠指标的下降已超过0.5, 这意味着失效概率大幅度提高, 实物可能处于濒临危险的状态. 此时验算表征为 $b > R/S$, 此类构件的安全性不符合标准对 a_u 级的要求, 已严重影响构件承载, 必须立即采取措施, 才能防止事故的发生.

ISO/CD 13822 建议既有结构的目标可靠指标应该基于现行规范、总费用最小原则和/或者与社会的其他风险相比较而综合确定, 应能反映结构的类型和重要性, 可能的失效后果和社会经济条件, 其所建议的既有结构承载能力极限状态的目标可靠指标为2.3~4.3^[11].

在我国的设计规范中^[1-2], 根据建筑结构的破坏后果, 即危及人的生命、造成的经济损失、产生的社会影响等严重程度, 把建筑结构划分为三个等级, 相邻等级之间的目标可靠指标相差0.5, 目标可靠指标一共有四个等级, 即2.7、3.2、3.7和4.2. 和ISO/CD 13822 比较可以看出, 对于承载能力极限状态, ISO/CD 13822 所建议的对于结构的目标与我国

设计规范所规定的目标可靠指标基本上处于同一水平。为此，本文在进行既有结构构件的安全性分析时，对既有结构的目标可靠指标仍采用设计规范得规定值，故取 $\beta_0=3.2$ 和 $\beta_0=3.7$ 。

依据上述的划分标准、目标可靠指标 β_0 的取值和表 2 的数值，我们就可以确定分级原则中的 a、b 值进而得到不同的结构构件承载能力的评定等级，如表 3 所示。

表 2 结构构件的计算可靠指标
Tab.2 Calculating reliability index of structural member

结构构件种类	受力状态	目标可靠指标	不同的 R/S 值情况下的计算可靠指标												
			1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
钢结构构件	轴心受拉	3.70	3.69	3.63	3.57	3.52	3.46	3.40	3.33	3.27	3.20	3.14	3.08	3.01	2.94
		3.20	3.19	3.13	3.08	3.01	2.95	2.89	2.83	2.76	2.70	2.63	2.56	2.50	2.43
	轴心受压	3.70	3.69	3.63	3.57	3.52	3.46	3.40	3.33	3.27	3.20	3.14	3.08	3.01	2.94
		3.20	3.18	3.13	3.08	3.01	2.95	2.89	2.83	2.76	2.70	2.63	2.56	2.50	2.43
	偏心受压	3.70	3.66	3.61	3.56	3.48	3.45	3.39	3.17	3.28	3.23	3.17	3.11	3.05	2.99
		3.20	3.17	3.11	3.06	3.01	2.95	2.90	3.10	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
薄壁型钢结构构件	3.7计算可靠指标均值		3.68	3.62	3.57	3.50	3.45	3.39	3.28	3.27	3.21	3.15	3.09	3.02	2.96
	3.2计算可靠指标均值		3.18	3.12	3.07	3.01	2.95	2.89	2.92	2.77	2.71	2.64	2.58	2.52	2.45
	轴心受压	3.70	3.66	3.61	3.56	3.48	3.45	3.39	3.17	3.28	3.23	3.17	3.11	3.05	2.99
		3.20	3.17	3.11	3.06	3.01	2.95	2.90	3.02	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
	偏压受压	3.70	3.66	3.61	3.56	3.50	3.45	3.39	3.34	3.28	3.39	3.17	3.11	3.05	2.99
		3.20	3.17	3.11	3.06	3.01	2.95	2.90	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
钢筋混凝土结构构件	3.7计算可靠指标均值		3.66	3.61	3.56	3.49	3.45	3.39	3.25	3.28	3.31	3.17	3.11	3.05	2.99
	3.2计算可靠指标均值		3.17	3.11	3.06	3.01	2.95	2.90	2.93	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
	轴心受拉	3.70	3.71	3.65	3.51	3.52	3.47	3.39	3.32	3.25	3.18	3.11	3.04	2.97	2.90
		3.20	3.21	3.15	3.09	3.02	2.95	2.89	2.81	2.74	2.68	2.60	2.53	2.46	2.38
	轴心受压	3.70	3.63	3.58	3.53	3.48	3.44	3.39	3.34	3.28	3.24	3.19	3.14	3.08	3.03
		3.20	3.24	3.11	3.06	3.01	2.96	2.91	2.86	2.81	2.75	2.70	2.64	2.59	2.53
钢筋混	小偏受压	3.70	3.66	3.61	3.56	3.50	3.41	3.39	3.34	3.28	3.22	3.17	3.11	3.05	2.99
		3.20	3.17	3.11	3.06	3.01	2.95	2.90	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
	大偏受压	3.70	3.67	3.62	3.56	3.50	3.45	3.37	3.33	3.27	3.19	3.15	3.00	3.02	2.96
		3.20	3.17	3.12	3.06	3.00	2.95	2.89	2.83	2.77	2.71	2.65	2.66	2.52	2.45
	受弯	3.70	3.71	3.65	3.59	3.52	3.45	3.43	3.32	3.26	3.18	3.11	3.04	2.97	2.90
		3.20	3.21	3.15	3.09	3.02	2.95	2.89	2.81	2.74	2.68	2.60	2.53	2.46	2.38
凝土结	受剪	3.70	3.63	3.60	3.55	3.51	3.45	3.41	3.36	3.31	3.26	3.21	3.17	3.11	3.07
		3.20	3.16	3.12	3.07	3.02	2.98	2.93	2.88	2.83	2.78	2.73	2.69	2.63	2.63
	3.7计算可靠指标均值		3.67	3.62	3.55	3.50	3.44	3.40	3.33	3.28	3.21	3.16	3.08	3.03	2.97
	3.2计算可靠指标均值		3.19	3.13	3.07	3.01	2.96	2.90	2.84	2.78	2.72	2.66	2.61	2.53	2.48
	轴心受压	3.70	3.65	3.62	3.58	3.54	3.50	3.47	3.43	3.39	3.35	3.31	3.27	3.23	3.18
		3.20	3.16	3.13	3.09	3.05	3.01	2.97	2.94	2.90	2.86	2.82	2.78	2.74	2.69
砌体结构构件	小偏受压	3.70	3.65	3.62	3.58	3.55	3.52	3.49	3.45	3.42	3.38	3.35	3.31	3.28	3.24
		3.20	3.16	3.12	3.09	3.06	3.03	2.99	2.97	2.93	2.89	2.85	2.82	2.78	2.75
	齿缝受弯	3.70	3.65	3.62	3.41	3.54	3.50	3.46	3.42	3.38	3.34	3.30	3.25	3.21	3.17
		3.20	3.16	3.13	3.09	3.05	3.01	2.97	2.93	2.89	2.85	2.81	2.77	2.72	2.68
	受剪	3.70	3.65	3.62	3.58	3.55	3.51	3.47	3.44	3.40	3.36	3.33	3.29	3.25	3.21
		3.20	3.16	3.13	3.09	3.05	3.02	2.98	2.95	2.91	2.87	2.83	2.80	2.76	2.72
木结构构件	3.7计算可靠指标均值		3.65	3.62	3.54	3.54	3.51	3.47	3.43	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
	3.2计算可靠指标均值		3.16	3.13	3.09	3.05	3.02	2.98	2.94	2.90	2.87	2.83	2.79	2.75	2.71
	轴心受拉	3.70	3.64	3.62	3.59	3.56	3.53	3.50	3.46	3.43	3.40	3.37	3.34	3.30	3.27
		3.20	3.15	3.12	3.09	3.06	3.03	3.00	2.97	2.94	2.91	2.88	2.84	2.81	2.77
	轴心受压	3.70	3.65	3.48	3.58	3.53	3.49	3.45	3.41	3.37	3.33	3.28	3.24	3.20	3.15
		3.20	3.16	2.99	3.09	3.05	3.01	2.96	2.92	2.88	2.84	2.79	2.75	2.71	2.66
构件	受弯	3.70	3.65	3.62	3.58	3.55	3.51	3.47	3.44	3.40	2.87	3.33	3.29	3.25	3.21
		3.20	3.16	3.13	3.09	3.05	3.02	2.98	2.95	2.91	2.87	2.83	2.80	2.76	2.72
	顺纹受剪	3.70	3.65	3.62	3.58	3.54	3.50	3.47	3.43	3.39	3.35	3.31	3.27	3.23	3.18
		3.20	3.16	3.13	3.26	3.05	3.01	2.97	2.94	2.90	2.86	2.82	2.78	2.74	2.69
	3.7计算可靠指标均值		3.65	3.58	3.58	3.54	3.51	3.47	3.43	3.40	3.24	3.32	3.28	3.24	3.20
	3.2计算可靠指标均值		3.16	3.09	3.13	3.05	3.02	2.98	2.94	2.91	2.87	2.83	2.79	2.75	2.71

注：“3.7 计算可靠指标均值”和“3.2 计算可靠指标均值”指在目标可靠指标为 3.7 和 3.2 的情况下计算可靠指标的均值

表 3 既有结构构件承载能力等级的评定
Tab.3 Classification assessment for bearing capacity of existing structural members

构件种类	构件类别	R/S			
		a_u 级	b_u 级	c_u 级	d_u 级
钢结构构件	重要构件	≥ 1.00	≥ 0.96 且 <1	≥ 0.92 且 <1	<0.92
	一般构件	≥ 1.00	≥ 0.96 且 <1	≥ 0.92 且 <1	<0.92
薄壁型钢钢结构构件	重要构件	≥ 1.00	≥ 0.96 且 <1	≥ 0.92 且 <1	<0.92
	一般构件	≥ 1.00	≥ 0.96 且 <1	≥ 0.92 且 <1	<0.92
混凝土结构构件	重要构件	≥ 1.00	≥ 0.96 且 <1	≥ 0.92 且 <1	<0.92
	一般构件	≥ 1.00	≥ 0.96 且 <1	≥ 0.92 且 <1	<0.92
砌体结构构件	重要构件	≥ 1.00	≥ 0.94 且 <1	≥ 0.88 且 <1	<0.88
	一般构件	≥ 1.00	≥ 0.94 且 <1	≥ 0.88 且 <1	<0.88
木结构构件	重要构件	≥ 1.00	≥ 0.95 且 <1	≥ 0.88 且 <1	<0.88
	一般构件	≥ 1.00	≥ 0.95 且 <1	≥ 0.88 且 <1	<0.88

注：表中 R 和 S 分别为结构构件的抗力和作用效应，应该依据文中提出的设计值法确定。

3. 工程实例

某办公楼建于 1972 年，原为三层砖混结构，经过加层改建，后来加至四层，建筑面积 1 232 m²，基础为砖砌条基，横墙承重。该办公楼三层结构平面布置图如图 1 所示。现以三层楼面梁 L₁ 为例(如图中所示 L₁)，验算其承载能力是否满足要求，并给出其评定等级。

经现场调查、统计与检测得出三层平面的有关数据。楼面恒荷载标准值取：4 kN/m²，楼面活荷载标准值取 2 kN/m²，L₁ 的截面尺寸为 200 mm×400 mm，钢筋的保护层厚度为 25 mm，跨中截面纵筋为 2Φ14，支座截面负筋为 2Φ12，箍筋为 Φ6@200，

混凝土强度为 10.5 MPa。表 4 依据以上的资料利用设计值法与《民用建筑可靠性鉴定标准》分别得出了梁 L₁ 的评定等级。

从表 4 可以看出利用设计值法对梁的跨中截面抗弯承载能力的评定等级与《民用建筑可靠性鉴定标准》的评定等级相差两个等级，利用文献[8]的有关规定应对梁 L1 进行加固，但是设计值法的评定结果说明该构件却是安全的，可见规范的方法是偏于保守的。以规范方法对既有结构构件进行加固可能会造成经济损失，当然设计值法的计算结果仅供业主作为参考。

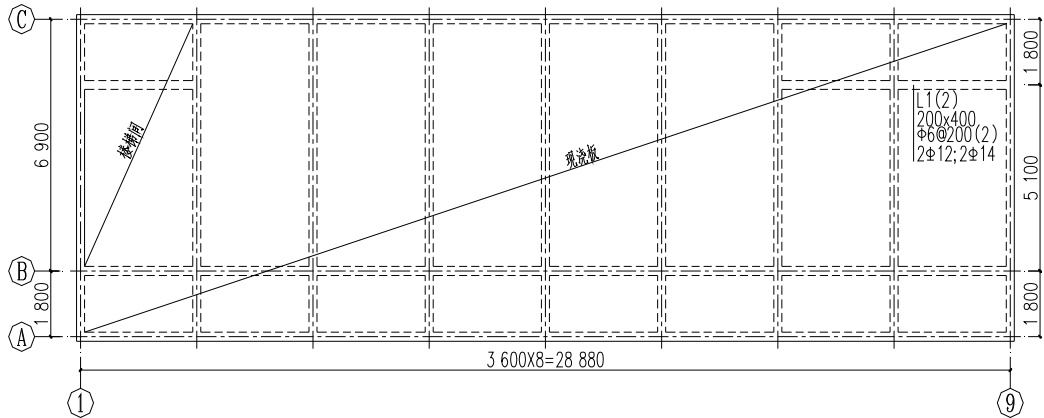


图 1 三层结构平面图
Fig.1 Framing plan of the 3rd floor

表 4 L1 的评定等级
Tab.4 Grade capacity of L1

评定方法	$g+q/\text{KN}\cdot\text{m}^{-1}$	跨中弯矩 $/\text{kN}\cdot\text{m}$	抗弯承载力 $/\text{kN}\cdot\text{m}$	R/S	评定等级	支座处剪力 kN/m	计算抗剪承载力	R/S	评定等级
规范方法	17.54	28.41	26.66	0.94	c_u 级	31.57	72.24	2.3	a_u 级
设计值法	14.47	23.44	25.42	1.08	a_u 级	26.05	68.88	2.6	a_u 级

注：规范指《民用建筑可靠性鉴定标准》

4. 结语

目前对既有结构可靠性的评定主要采用结构可靠度设计中的校核方法,即以分项系数表达的实用设计表达式。既有结构与拟建结构有很大的不同,虽然实际评定中对标准值采用了实测统计或调整后的值,但对直接影响可靠度的分项系数则是按设计标准的规定取用的,它并不能准确反映既有结构在不确定方面的差异。设计值法是根据作用的随机过程组合方法和可靠指标计算的JC法建立的,直接建立了基本变量设计值与基本变量概率特性、目标可靠指标、目标使用年限之间的函数关系,引用既有结构的作用和结构性能的统计结果,并便于设置和选择不同的目标可靠指标和目标使用年限。

以提出的既有结构可靠性评定的设计值法为基础计算出了不同类型构件的计算可靠指标,以此为划分依据提出了既有结构构件承载能力分级准则,并给出了等级评定的参数限值。设计值法的部分等级评定参数限值与现行规范不同,这可能是统计数据不足、没有完全考虑荷载组合、历史经验利用等方面的问题造成的。鉴于这些方面的问题,在实用过程中可以考虑完善,以便能够更好地适用于结构构件的评定。评定者在对既有结构构件进行可靠性性评定时可以以本文得出的结论为参考,不能作为依据。

参考文献 References

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工程结构可靠性设计统一标准: GB50153-2008[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
Housing and urban-rural development of the People's Republic of China. Unified standard for reliability design of engineering structures: GB50153-2008[S].Beijing: China Architecture and Building Press,2008.
- [2] 中华人民共和国建设部. 建筑结构可靠度设计统一标准: GBJ68-84[S].北京: 中国建筑工业出版社,1984.
Ministry of construction of the People's Republic of China. Unified standard for reliability design of building structures: GBJ68-84[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1984.
- [3] International Organization for Standardization. International Standard: General principles on reliability for structures: ISO2394:1998[S]. Switzerland: Geneve, ISO, 1998.
- [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, 31(2): 275-281.
YAO Jitao, Cheng Kaikai. General expressions for structural safety design[J]. CHINESE JOURNAL OF APPLIED MECHANICS, 2014,31(2):275-281.
- [5] International Organization for Standardization. International Standard: Bases for design of structures – Assessment of existing structures: ISO13822:2003[S]. Geneve, Switzerland: ISO, 2003.
- [6] 姚继涛,解耀魁. 结构可靠度分析中作用的随机过程组合方法[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(2): 125-130.
YAO Jitao, XIE Yaokui. Method combination of actions based on stochastic processes in analysis of structural reliability[J]. Journal of Building Structures, 2013, 34(2): 125-130.
- [7] JCSS. JCSS probabilistic model code: ISBN 978-3-909386-79-6[S]. Denmark: Copenhagen, Joint Committee on Structural Safety, 2011.
- [8] 中华人民共和国建设部. 民用建筑可靠性鉴定标准: GB50292-1999[S].北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
Ministry of construction of the People's Republic of China. Standard for appraiser of reliability of civil engineering: GB50292-1999[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工业建筑可靠性鉴定标准: GB 50144-2008[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
Housing and urban-rural development of the People's Republic of China. Standard for appraiser of reliability of industrial buildings and structures: GB 50144-2008 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008.
- [10] 李继华. 建筑结构概率极限状态设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1990.
LI Jihua. Building structure probability limit state design[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1990
- [11] International Organization for Standardization. International Standard: Bases for design of structures – assessment of existing structures: ISO13822:2003 [S]. International Organization for Standardization, 2003
- [12] 姚继涛. 既有结构可靠性理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
YAO Jitao. The reliability theory and application of existing structures[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [13] 张俊芝.服役工程结构可靠性理论及其应用[M].北京:中国水利水电出版社, 2007.
ZHANG Junzhi. The reliability theory and application of existing structures[M].Beijing: China Water & Power Press, 2007.

(编辑 桂智刚)