

既有结构构件承载能力评定的分级标准

姚继涛¹, 罗张飞²

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安, 710055; 2. 中国建筑一局(集团)有限公司西北分公司, 陕西 西安, 710075)

摘要: 既有结构构件承载能力评定的基本方法应与目前可靠度的控制方法一致, 以度量结构可靠性的可靠指标为评定指标, 以可靠指标表达的分级标准为判定标准, 并以其为基础建立以抗力与荷载效应比表达的实用分级标准。现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144-2008 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292-2015 中均提出了构件承载能力评定的实用分级标准和相应的可靠度控制水平, 但两者之间存在一定的差异。综合考虑我国在构件可靠度控制方面的经验和现状, 提出较为稳妥的可靠指标分级标准, 并据此通过可靠度分析提出相应的实用分级标准, 可为国家标准的修订提供参考。

关键词: 既有结构; 可靠性评定; 承载能力; 分级标准; 可靠指标

中图分类号: TU311

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)06-0784-07

Grading standard for carrying capacity assessment of existing structural members

YAO Jitao¹, LUO Zhangfei²

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

2. China Construction First Building (Group) Corporation Limited, Xi'an 710075, China)

Abstract: The fundamental carrying capacity assessment method of existing structural members should be in accordance with that of present reliability control, taking reliability index measuring structural reliability as assessment index, and taking grading standard expressed by reliability index as judgment standard. On this basis, the practical grading standard is established expressed by ratio of resistance to load effect. In current national standards "Standard for Appraisal of Reliability of Industrial Buildings and Structures" GB 50144-2008 and "Standard for Appraisal of Reliability of Civil Buildings" GB 50292-2015, the practical grading standard and corresponding reliability control level are both presented, but they are different in some extent. Taking account of the experience and status of reliability control in our country, a sound reliability index grading standard is presented, and the corresponding practical grading standard is put forward by reliability analysis on this basis, which could be taken as a reference for national standard revision.

Key words: existing structure; reliability assessment; carrying capacity; grading standard; reliability index

既有结构可靠性评定的实质是依据现行设计规范判定既有结构实际的可靠度是否满足要求, 并在不满足时, 根据相差的程度提出相应的处理方案。按分级方式评定构件的承载能力时, 无论形式上采用怎样的方式, 其基本的评定方法应与目前可靠度的控制方法一致, 以度量结构可靠性的可靠指标为评定指标, 以可靠指标表达的分级标准为判定标准。对构件承载能力的评定宜直接采用这种基于可靠指标的评定方法, 但现行设计方法^[1]并不能直接反映可靠指标的影响, 因此目前还难以建立这种评定方法, 更为可行的途径是以其为基础建立以抗力与荷载效应比为指标的评定

方法, 这时首先需建立以可靠指标表达的分级标准, 即可靠指标分级标准。

我国既有结构构件承载能力评定的分级标准主要体现于现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144-2008^[2]和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292-2015^[3]中, 它们均采用了以抗力与荷载效应比表达的形式, 但其等级界限值并不完全相同, 相应的可靠度控制水平亦存在差异。论文将根据我国在构件承载能力可靠度控制方面的经验和现状, 探讨和建立更为合理的可靠指标分级标准, 并据此通过可靠度分析提出以抗力与荷载效应比表达的实用分级标准, 为国家标准的修订提

收稿日期: 2016-11-09

修改稿日期: 2017-11-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51278401)

第一作者: 姚继涛(1965—), 男, 博士, 教授, 主要从事结构可靠性理论方面的研究. E-mail: yaojitao@163.com

通讯作者: 罗张飞(1989—), 男, 助理工程师, 主要从事结构可靠性理论方面的研究. E-mail: luozhangfei01@163.com

供参考.

1 现行分级标准

我国对既有结构的可靠性评定采用分级评定的方式,并在构件承载能力的评定中,利用设计中的校核方法,以抗力与荷载效应比 $R/\gamma_0 S$ 为指标,将其等级划分为 a、b、c、d 或 au、bu、cu、du 四级,其中 a 级和 au 级指满足现行设计规范要求的情况,b、c、d 级和 bu、cu、du 级则指不满

足的情况,且不满足的程度依次增大,其中对 c、d 级和 cu、du 级构件需采取加固等提高构件可靠度的措施.国家标准 GB 50144-2008 中的分级标准见表 1^[2],其对钢结构构件的要求要严于对混凝土、砌体结构构件的要求,后两者的分级标准相同.国家标准 GB 50292-2015 中对这三类构件则采用了相同的分级标准(见表 2)^[3].相对于国家标准 GB 50144-2008,其对混凝土、砌体结构构件的要求更为严格.

表 1 国家标准 GB 50144-2008 中构件承载能力评定的分级标准

Tab. 1 Grading standard for assessing member carrying capacity in national standard GB 50144-2008

构件类型		a 级	b 级	c 级	d 级
钢结构构件	重要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.95$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$R/\gamma_0 S < 0.90$
	次要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.92$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.87$	$R/\gamma_0 S < 0.87$
混凝土和砌体结构构件	重要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.85$	$R/\gamma_0 S < 0.85$
	次要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.87$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.82$	$R/\gamma_0 S < 0.82$

表 2 国家标准 GB 50292-2015 中构件承载能力评定的分级标准

Tab. 2 Grading standard for assessing member carrying capacity in National Standard GB 50292-2015

构件类型		au 级	bu 级	cu 级	du 级
钢、混凝土和砌体结构构件	主要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.95$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$R/\gamma_0 S < 0.90$
	一般构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.85$	$R/\gamma_0 S < 0.85$

我国构件承载能力评定中的分级标准是利用人们熟知的设计中的校核方法建立的,可称之为实用分级标准.它虽然是以抗力与荷载效应比 $R/\gamma_0 S$ 表达的,但其实质是对构件可靠度水平的控

制.国家标准 GB 50144-2008 和 GB 50292-2015 中均给出了与实用分级标准相对应的可靠指标,分别见表 3 和表 4^[2-3].

国家标准 GB 50144-2008 中的实用分级标准是

表 3 国家标准 GB 50144-2008 中构件承载能力分级标准对应的可靠指标

Tab. 3 Reliability index corresponding to grading standard for assessing member carrying capacity in national standard GB 50144-2008

构件类型		a、b 级界限	b、c 级界限	c、d 级界限
重要构件	延性破坏	$\frac{3.04 \sim 4.08}{3.50}$	$\frac{2.89 \sim 3.67}{3.24}$	$\frac{2.73 \sim 3.47}{3.07}$
	脆性破坏	$\frac{3.70 \sim 4.70}{4.11}$	$\frac{3.33 \sim 4.23}{3.70}$	$\frac{3.14 \sim 3.99}{3.49}$
次要构件	延性破坏	$\frac{3.04 \sim 4.08}{3.50}$	$\frac{2.79 \sim 3.55}{3.14}$	$\frac{2.64 \sim 3.34}{2.96}$
	脆性破坏	$\frac{3.70 \sim 4.70}{4.11}$	$\frac{3.22 \sim 4.09}{3.57}$	$\frac{3.03 \sim 3.85}{3.37}$

注:分子为各等级界限值对应的典型构件可靠指标的变化范围,分母为其平均值.

表 4 国家标准 GB50292-2015 中主要构件承载能力分级标准对应的可靠指标

Tab. 4 Reliability index corresponding to grading standard for assessing major member carrying capacity in national standard GB 50292-2015

评定指标	au 级	bu 级	cu 级	du 级
可靠指标	$\beta \geq \beta_0$	$\beta_0 > \beta \geq \beta_0 - 0.25$	$\beta_0 - 0.25 > \beta \geq \beta_0 - 0.50$	$\beta < \beta_0 - 0.50$
抗力与荷载效应比值	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.95$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$R/\gamma_0 S < 0.90$

注: β_0 为现行设计规范规定的目标可靠指标.

在大量工程实践经验总结、工程倒塌事故分析、可靠度校核分析和专家意见征询的基础上建立的^[2],其对应的可靠指标是通过校核的方式确定的,是在一定的范围内变化的.国家标准 GB 50292-2015 中的实用分级标准则是直接根据可靠指标分级标准建立的,其中 bu 级主要构件的可靠指标下限按质量管理中极限质量水平对应的可靠指标确定,并依据国家标准《建筑结构设计统一标准》GB J68-84^[4]中对极限质量水平的规定,取其值为 $\beta_0 - 0.25$,验算表征为 $1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.95$; cu 级主要构件的可靠指标下限按失效概率增大一个数量级的原则确定,取其值为 $\beta_0 - 0.50$,验算表征为 $0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$ ^[3]. 国家标准 GB 50292-2015 中与可靠指标分级标准对应的 $R/\gamma_0 S$ 值实际上也是在一定范围内变化的,只是最终选择了特定的数值,其可靠度控制方式本质上与国家标准 GB 50144-2008 中的控制方式是相通的.

2 可靠指标分级标准

我国对构件承载能力可靠度的控制包括两个层次:现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008^[1]中规定的目标可靠指标 $[\beta]$ (见表5),它为各类结构设计规范中必须保证的最低可靠度水平;现行各类结构设计规范中实际隐含的目标可靠指标 β_0 ,它们一般高于或明显高于 $[\beta]$.按国际标准《结构设计基础——既有结构评定》ISO13822:2010^[5]中提出的“最小处理原则”,对既有结构应在保证基本安全的前提下尽可能避免采取处理措施,因此至少对于可靠指标低于 β_0 、但不低于 $[\beta]$ 的构件,可不必采取提高构件可靠度的措施.在制定构件承载能力评定的可靠指标分级标准时,有必要考虑 β_0 与 $[\beta]$ 之间的差异,并应综合考虑构件类型、构件地位、破坏形式、安全等级等因素的影响.

表5 国家标准 GB 50153-2008 中规定的目标可靠指标^[6]

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

这里以承受永久作用 G 和两个可变作用 Q_1 、 Q_2 的构件为典型,首先分析现行设计规范中隐含的目标可靠指标 β_0 ,并将极限状态下的设计公式和各等级界限下的评定公式统一表达为

$$k\gamma_0(1.2S_{G_k} + 1.4\gamma_{L1}S_{Q_{1k}} + 1.4\gamma_{L2}\psi_{c2}Q_{Q_{2k}}) = R_k/\gamma_R \quad (1)$$

$$k\gamma_0(1.35S_{G_k} + 1.4\gamma_{L1}\psi_{c1}S_{Q_{1k}} + 1.4\gamma_{L2}\psi_{c2}Q_{Q_{2k}}) = R_k/\gamma_R \quad (2)$$

式中: k 为分级标准中抗力与荷载效应比 $R/\gamma_0 S$ 的某一等级界限值, $k=1$ 时对应于设计公式; γ_0 为结构重要性系数,这里仅考虑一级、二级安全等级的构件,取其值分别为1.1和1.0,三级安全等级的构件在评定工作中几乎不会遇到; γ_{L1} 、 γ_{L2} 分别为考虑设计使用年限的可变作用 Q_1 、 Q_2 的调整系数,这里取其值为1.0; ψ_{c1} 、 ψ_{c2} 分别为可变作用 Q_1 、 Q_2 的组合值系数,按常遇情况取其值为0.7; γ_R 为抗力分项系数.令, $\rho_1 = S_{Q_{1k}}/S_{G_k}$, $\rho_2 = S_{Q_{2k}}/S_{G_k}$ 则当 $\rho_1 \geq 0.357$ 时,应取式(1);否则,取式(2).

分析现行设计规范中隐含的目标可靠指标 β_0 时,抗力分项系数 γ_R 应直接取用现行设计规范中规定的数值,或根据规定的材料分项系数通过计算确定.对钢结构构件,可直接取 $\gamma_R = 1.087$ (Q235 钢)或1.111(Q345、Q390、Q420 钢)^[6].对混凝土结构构件,可取混凝土材料分项系数 $\gamma_c = 1.4$,钢筋材料分项系数 $\gamma_s = 1.10$ (延性较好的热轧钢筋)或1.15(高强度500 MPa 级钢筋)^[7].混凝土构件的抗力一般由混凝土、钢筋所提供的抗力组成,若记两者的标准值与抗力标准值的比值分别为 p_c 和 p_s ,则一般情况下有

$$\frac{1}{\gamma_R} = \frac{p_c}{\gamma_c} + \frac{p_s}{\gamma_s} \quad (3)$$

这里偏于保守地对延性破坏构件按 $p_s = 0.80$ 取 $\gamma_R = 1.15$,对脆性破坏构件按 $p_s = 0.50$ 取 $\gamma_R = 1.23$.对砌体结构构件,可按B级施工质量控制等级取材料分项系数 $\gamma_f = 1.6$ ^[8].由于 $\gamma_f = \gamma\alpha\kappa_R\gamma_R$,且 $\gamma = 0.72$ (受压)或0.67(受拉、受弯、受剪), $\alpha\kappa_R = 1.06$ ^[9],故可取 $\gamma_R = 2.10$ (受压)或2.25(受拉、受弯、受剪).

可靠度分析中与式(1)和式(2)对应的功能函数均可表达为

$$Z = R - S_G - S_{Q_1} - S_{Q_2} \quad (4)$$

根据我国的统计资料和现行国家标准的规定,可分别按表6~7取用作用和抗力的统计参数,其中,考虑了我国荷载取值增大和混凝土构件抗剪承载力提高的情况^[6-8,10,11].表7中还针对不同材料的构件,按常遇情况给出 ρ_1 的取值范围^[4].为简化分析,这里按偏于不利的情况选择参与组合的可变作用和各类构件中的典型构件.经初步分析,选择住宅楼楼面活荷载、风荷载为参与组合

的两个可变作用，并取前者为主导可变作用 Q_1 ，后者为可变作用 Q_2 ，取 ρ_2 为 ρ_1 的下限值；对钢结构构件，选择偏心受压构件为典型构件；对混凝土

土结构构件，选择大偏心受压构件(延性破坏)和受剪构件(脆性破坏)为典型构件；对砌体结构构件，选择受剪构件为典型构件。

表 6 作用统计参数
Tab. 6 Statistical parameters of actions

作用类型		均值系数	变异系数	时段长度
永久作用		1.060	0.070	
可变作用	办公楼楼面活荷载	0.524	0.288	10a
	住宅楼楼面活荷载	0.644	0.233	10a
	风荷载	1.109	0.193	1a
	雪荷载	1.045	0.225	1a

表 7 抗力统计参数
Tab. 7 Statistical parameters of resistant

构件类型		均值系数	变异系数	ρ_1
钢结构构件	轴心受拉(延性破坏)	1.13	0.12	0.25~2.0
	轴心受压(延性破坏)	1.11	0.12	
	偏心受压(延性破坏)	1.21	0.15	
	受弯(延性破坏)	1.15	0.12	
混凝土结构构件	轴心受拉(延性破坏)	1.10	0.10	0.1~2.0
	轴心受压(脆性破坏)	1.33	0.17	
	小偏心受压(脆性破坏)	1.30	0.15	
	大偏心受压(延性破坏)	1.16	0.13	
	受弯(延性破坏)	1.13	0.10	
	受剪(脆性破坏)	1.40	0.19	
砌体结构构件	轴心受压(脆性破坏)	1.21	0.25	0.1~0.75
	偏心受压(脆性破坏)	1.26	0.30	
	齿缝受弯(脆性破坏)	1.06	0.24	
	受剪(脆性破坏)	1.02	0.27	

目标可靠指标 β_0 的分析结果见表 8。总体而言， β_0 的平均值要高于或明显高于 $[\beta]$ ，其最小值接近或高于 $[\beta]$ 。国家标准 GB 50292-2015 中 bu 级的可靠指标下限是以 β_0 为基准，按较严格的工程质量要求确定的。 $\beta_0 - [\beta] > 0.25$ 时，不满足现行

设计规范要求、但满足国家标准 GB 50153-2008 要求的构件会被判为 cu 级，从而需采取提高构件可靠度的措施，这是偏于保守的。根据表 8 中的分析结果，至少对于混凝土结构构件而言，这种情况是易出现的。

表 8 现行设计规范中隐含的目标可靠指标 β_0
Tab. 8 Target reliability index β_0 implied in present design code

构件类型		一级安全等级		二级安全等级	
		β_0	$[\beta]$	β_0	$[\beta]$
钢结构构件	Q235 钢	$\frac{3.79 \sim 4.17}{3.98}$	3.70	$\frac{3.21 \sim 3.73}{3.46}$	3.20
	Q345、Q390、Q420 钢	$\frac{3.92 \sim 4.27}{4.10}$	3.70	$\frac{3.21 \sim 3.73}{3.46}$	3.20
混凝土结构构件	延性破坏	$\frac{4.34 \sim 4.56}{4.47}$	3.70	$\frac{3.70 \sim 4.05}{3.88}$	3.20
	脆性破坏	$\frac{4.40 \sim 4.74}{4.57}$	4.20	$\frac{3.92 \sim 4.35}{4.12}$	3.70
砌体结构构件		$\frac{4.19 \sim 4.55}{4.30}$	4.20	$\frac{3.84 \sim 4.21}{3.96}$	3.70

注：分子为典型构件目标可靠指标的变化范围，分母为其平均值。

根据上述分析结果,建议评定既有结构构件的承载能力时采用表9中所示的可靠指标分级标准。在表9中,无论是对于重要、主要构件还是次要、一般构件,按国内外相关标准的规定,a级和au级的可靠指标下限仍为现行设计规范中隐含的目标可靠指标 β_0 ^[2-3,5]。对于重要和主要构件,b级和bu级构件的可靠指标虽不满足现行设计规范的要求,但只略低于国家标准GB 50153-2008中的目标可靠指标 $[\beta]$,且不低于 $[\beta]$ 对应的极限质量水平,可不采取提高构件可靠度的措施;c级和cu

级构件的可靠指标较国家标准GB 50153-2008的要求最多低一个安全等级的数值,至少具有二级或三级安全等级的可靠度水平,虽需采取提高构件可靠度的措施,但不至于发生严重的事故。对于次要和一般构件,b级和bu级构件至少具有二级或三级安全等级的可靠度水平,考虑到构件地位上的差别,可不采取提高构件可靠度的措施;c级和cu级构件的可靠指标虽达不到二级或三级安全等级的要求,但不低于二级或三级安全等级对应的极限质量水平,发生严重事故的可能性较小。

表9 构件承载能力评定的可靠指标分级标准

Tab. 9 Grading standard of reliability index for assessing member carrying capacity

构件类型	a、au级	b、bu级	c、cu级	d、du级
主要或重要构件	$\beta \geq \beta_0$	$\beta_0 > \beta \geq [\beta] - 0.25$	$[\beta] - 0.25 > \beta \geq [\beta] - 0.50$	$\beta < [\beta] - 0.50$
次要或一般构件	$\beta \geq \beta_0$	$\beta_0 > \beta \geq [\beta] - 0.50$	$[\beta] - 0.50 > \beta \geq [\beta] - 0.75$	$\beta < [\beta] - 0.75$

表9中的可靠指标分级标准综合考虑了我国在构件可靠度控制方面的经验和现状,是较为稳妥的。由于 β_0 与 $[\beta]$ 之间的差异与构件类型、构件地位、破坏形式、安全等级等因素有关,因此它们也隐性地反映了这些因素的影响。与国家标准GB 50292-2015中的可靠指标分级标准(见表4)相比,这里bu级、cu级的可靠指标下限是以国家标准GB 50153-2008中规定的目标可靠指标 $[\beta]$ 为基准建立的,且明确了次要、一般构件的分级标准。

3 实用分级标准

根据表9中的可靠指标分级标准,通过可靠度

分析可确定式(1)和式(2)中抗力与荷载效应比 $R/\gamma_0 S$ 的等级界限值 k ,并通过可靠度校核明确其实际对应的可靠指标,结果见表10。显然,构件类型、构件地位、破坏形式和安全等级等对 k 值都有一定的影响,其中钢结构构件的 k 值总体上高于混凝土结构构件、砌体结构构件的值,这主要是因为钢结构构件承载力的变异性相对较小,其可靠指标对 k 值的变化更为敏感。为便于应用,建议在工程应用中采用表11所示的实用分级标准,它们总体上与表10中的数值相符。需要说明,表10中的 k 值是按较保守的原则确定的,表11中的分级标准是按各类情况的平均值确定的。

表10 抗力与荷载效应比 $R/\gamma_0 S$ 的等级界限值 k 及相应的可靠指标Tab. 10 Grade limit k and corresponding reliability index of ratio $R/\gamma_0 S$ of resistant to load effect

构件类型	一级安全等级			二级安全等级		
	$[\beta] - 0.25$	$[\beta] - 0.50$	$[\beta] - 0.75$	$[\beta] - 0.25$	$[\beta] - 0.50$	$[\beta] - 0.75$
钢结构构件	0.946 ($\frac{3.45 \sim 3.90}{3.68}$)	0.908 ($\frac{3.20 \sim 3.72}{3.45}$)	0.871 ($\frac{2.95 \sim 3.54}{3.23}$)	0.958 ($\frac{2.95 \sim 3.54}{3.22}$)	0.920 ($\frac{2.70 \sim 3.37}{3.00}$)	0.884 ($\frac{2.45 \sim 3.21}{2.78}$)
	Q235 钢					
混凝土结构构件	0.925 ($\frac{3.45 \sim 3.90}{3.68}$)	0.889 ($\frac{3.20 \sim 3.73}{3.46}$)	0.853 ($\frac{2.95 \sim 3.55}{3.23}$)	0.938 ($\frac{2.95 \sim 3.55}{3.23}$)	0.900 ($\frac{2.70 \sim 3.37}{3.00}$)	0.864 ($\frac{2.45 \sim 3.20}{2.77}$)
	Q345、Q390、 Q420 钢					
砌体结构构件	0.877 ($\frac{3.45 \sim 3.86}{3.66}$)	0.846 ($\frac{3.20 \sim 3.68}{3.44}$)	0.817 ($\frac{2.95 \sim 3.51}{3.22}$)	0.899 ($\frac{2.95 \sim 3.52}{3.22}$)	0.867 ($\frac{2.70 \sim 3.35}{3.00}$)	0.836 ($\frac{2.45 \sim 3.20}{2.77}$)
	延性破坏					
混凝土结构构件	0.915 ($\frac{3.95 \sim 4.38}{4.15}$)	0.871 ($\frac{3.70 \sim 4.18}{3.92}$)	0.829 ($\frac{3.45 \sim 3.99}{3.69}$)	0.912 ($\frac{3.45 \sim 3.99}{3.69}$)	0.868 ($\frac{3.20 \sim 3.81}{3.45}$)	0.826 ($\frac{2.95 \sim 3.62}{3.22}$)
	脆性破坏					
砌体结构构件	0.938 ($\frac{3.95 \sim 4.32}{4.07}$)	0.876 ($\frac{3.70 \sim 4.08}{3.82}$)	0.818 ($\frac{3.45 \sim 3.84}{3.57}$)	0.900 ($\frac{3.45 \sim 3.84}{3.57}$)	0.841 ($\frac{3.20 \sim 3.60}{3.33}$)	0.785 ($\frac{2.95 \sim 3.35}{3.07}$)

注:括号中数值为典型构件的可靠指标,其中分子为可靠指标的变化范围,分母为其平均值。

表 11 以抗力与荷载效应比 $R/\gamma_0 S$ 表达的分级标准
Tab. 11 Grading standard expressed by ratio $R/\gamma_0 S$ of resistant to load effect

构件类型		a、au 级	b、bu 级	c、cu 级	d、du 级
钢结构构件	重要、主要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.94$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$R/\gamma_0 S < 0.90$
	次要、一般构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.87$	$R/\gamma_0 S < 0.87$
混凝土结构构件	重要、主要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.90$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.86$	$R/\gamma_0 S < 0.86$
	次要、一般构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.86$	$0.86 > R/\gamma_0 S \geq 0.83$	$R/\gamma_0 S < 0.83$
砌体结构构件	重要、主要构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.92$	$0.95 > R/\gamma_0 S \geq 0.86$	$R/\gamma_0 S < 0.86$
	次要、一般构件	$R/\gamma_0 S \geq 1.0$	$1.0 > R/\gamma_0 S \geq 0.86$	$0.86 > R/\gamma_0 S \geq 0.80$	$R/\gamma_0 S < 0.80$

通过与表 1、表 2 的对比可知，我国目前的构件承载能力分级标准总体上是合理的。相对而言，国家标准 GB 50292-2015 中有关混凝土结构构件、砌体结构构件承载能力的分级标准偏于保守。

4 结语

评定既有结构构件的承载能力时，其基本的评定方法应与目前可靠度的控制方法一致，以度量结构可靠性的可靠指标为评定指标，以可靠指标表达的分级标准为判定标准。依据现行结构设计中的校核方法建立构件承载能力的评定方法时，应以可靠指标分级标准为基础建立以抗力与荷载效应比表达的实用分级标准。文中综合考虑我国在构件可靠度控制方面的经验和现状，提出了较为稳妥的可靠指标分级标准，并据此通过可靠度分析提出以抗力与荷载效应比表达的实用分级标准。需要说明，在实际制定分级标准时，除考虑构件可靠度的分析结果，尚需综合考虑工程实践经验、与过去国家标准的衔接等因素，这些也是非常重要的，这里的分析结果仅为国家标准中分级标准的制定提供参考。

参考文献 References

[1] 中华人民共和国国家标准. 工程结构可靠性设计统一标准:GB 50153-2008[S]. 北京:中国建筑业出版,2008.
National standards of the People's Republic of China. Unified standard for reliability design of engineering structures:GB 50153-2008[S]. Beijing:China Architecture and Building Press,2008.

[2] 中华人民共和国国家标准. 工业建筑可靠性鉴定标准:GB 50144-2008[S]. 北京:中国建筑业出版,2008.
National standards of the People's Republic of Chi-

na. Standard for appraiser of reliability of industrial buildings and structures:GB 50144-2008[S]. Beijing: China Architecture and Building Press,2008.

[3] 中华人民共和国国家标准. 民用建筑可靠性鉴定标准:GB 50292-2015[S]. 北京:中国建筑业出版,2015.
National standards of the People's Republic of China. Standard for appraiser of reliability of civil engineering:GB 50292-2015[S]. Beijing:China Architecture and Building Press,2015.

[4] 中华人民共和国国家标准. 建筑结构可靠度设计统一标准:GB J68-84[S]. 北京:中国建筑业出版,1984.
National standards of the People's Republic of China. Unified standard for reliability design of building structures:GB J68-84[S]. Beijing:China Architecture and Building Press,1984.

[5] ISO13822:2010 International Standard. Bases for Design of Structures-Assessment of Existing Structures,2010.

[6] 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计规范:GB 50017-2003[S]. 北京:中国建筑业出版,2003.
National standards of the People's Republic of China. Code for design of steel structures:GB 50017-2003[S]. Beijing: China Architecture and Building Press,2003.

[7] 中华人民共和国国家标准. 混凝土结构设计规范:GB 50010-2010[S]. 北京:中国建筑业出版,2010.
National standards of the People's Republic of China. Code for design of concrete structures:GB 50010-2010[S]. Beijing:China Architecture and Building Press,2010.

[8] 中华人民共和国国家标准. 砌体结构设计规范:GB 50003-2011[S]. 北京:中国建筑业出版,2011.
National standards of the People's Republic of China. Code for design of masonry structures:GB 50003-2011[S]. Beijing:China Architecture and Building Press,2011.

- 8-11.
- [12] 马晓燕,梁国正,鹿海军. 聚合物/天然硅酸盐粘土纳米复合材料[M]. 北京:科学出版社,2009.
MA Xiaoyan, LIANG Guozheng, LU Haijun. Polymer unmodified clay silicate nanocomposite [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [13] 罗曦芸. 调湿材料的开发[J]. 化工新型材料,1997(3):9-12,2.
LOU Xiyun. The development of humidity controlling materials[J]. New Chemical Materials, 1997(3):9-12,2.
- [14] 张子洋. 蒙脱土/有机高分子复合调湿抗菌材料的制备与性能[D]. 天津:天津大学,2009.
ZHANG Ziyang. Preparation and properties of humidity controlling and antiseptic montmorillonite/polymer composite[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [15] WANG Rongmin, WANG Junfeng, WANG Xiaowen, et al. Preparation of acrylate based copolymer emulsion and its humidity controlling mechanism in interior wall coatings[J]. Progress in Organic Coatings,2011,71(4):369-375.
- [16] 袁鹏,吴大清,林种玉. 硅藻土表面羟基的漫反射红外光谱(DRIFT)研究[J]. 光谱学与光谱分析. 2001, 21(6): 783-786.
YUANG Peng, WU Daqing, LIN Zhongyu. Study on the surface hydroxyl species of diatomite using DRIFT spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2001, 21(6): 783-786.
- (编辑 吴海西)

(上接第 789 页)

- [9] 施楚贤. 砌体结构理论与设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
SHI Chuxian. Masonry structures theory and design [M]. Beijing: China Architecture and Building Press,2014.
- [10] 中华人民共和国国家标准. 建筑结构荷载规范:GB 50009-2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
National standards of the People's Republic of China. Load code for the design of building structures:GB 50009-2012 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press,2012.
- [11] 夏正中. 钢结构可靠度分析[J]. 冶金建筑,1981(11): 43-46.
XIA Zhengzhong. Safety assessment of steel structures [J]. Metallurgical construction,1981(11):43-46.
- (编辑 吴海西)