

文章编号:1007-6492(1999)04-0010-04

砌体结构可靠度分析及可靠度水平调整的建议

刘立新, 谢丽丽

(郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 根据我国目前要求适当提高建筑结构可靠度的需要, 分析了原《砖石结构设计规范》GBJ 3-73和现行《砌体结构设计规范》GBJ 3-88的可靠度水平, 详细比较了几种调整可靠度水平方案以及材料用量增加情况, 并提出了砌体结构设计可靠度水平调整的建议, 可供《砌体结构设计规范》修订时参考。

关键词: 砌体; 结构; 可靠度

中图分类号: TU 362 **文献标识码:** A

0 引言

建筑结构的可靠度是指结构在规定的时间内, 在规定的条件下完成预定功能的概率。提高结构的可靠度, 将增加结构造价和耗费较多的材料, 但能相应降低结构失效的风险; 反之, 则可降低结构造价, 节约材料, 但也相应地增大了结构失效的风险。所以结构设计可靠度水平的确定, 不是一个单纯的技术问题, 而是一个国家的经济 and 资源状况、社会财富以及设计、施工技术水平与材料质量水准的综合反映, 应在体现投资者或使用者的利益, 在结构造价和结构风险之间权衡得失, 寻求较优的选择。

70年代末, 我国各种材料结构设计规范管理组联合开展了“结构安全度与荷载组合”的重大课题研究, 并于1984年编制完成了国家标准《建筑结构设计统一标准》(以下简称《统一标准》), 采用以概率理论为基础的极限状态设计方法以及采用分项系数的设计表达式, 成为各种材料结构设计规范共同遵守的准则。《统一标准》以及当时设定的结构可靠度水平主要反映了建国以来到80年代初前几个五年计划的工程实践经验。近十几年的工程实践检验表明, 《统一标准》规定的以概率理论为基础的极限状态设计方法是可行的, 设计规定的可靠度水平也是符合当时国情的。目前我国经济水平已经有了很大提高, 综合国力显著增

强, 结构造价在房屋的整体造价和室内装备费用中所占的比重逐渐降低, 并且随着人们生活水平的提高、社会财富的增多, 降低结构失效风险的要求增大, 因此在即将进入21世纪的世纪之交的时刻, 配合我国各类结构设计规范的全面修订, 适当提高我国结构设计的可靠度水平是很有必要的。

近一年来, 我国不少学者提出了提高结构设计可靠度水平的建议^[1], 有关主管部门也就这一问题多次组织了研讨会, 在修订的《统一标准》(征求意见稿)中建议活荷载分项系数 γ_Q 取1.4或1.5, 在以恒载为主的(恒载作用效应占总效应70%以上)极限状态设计中将恒载分项系数 γ_G 由1.2改为1.35(此时 γ_Q 取1.0), 以适当提高可靠度水平。本文是在学习有关专家建议的基础上^[2], 结合砌体结构的特点, 分析比较几种提高可靠度水平的方案, 并提出相应的建议, 供砌体结构设计规范修订时参考。

1 原《砖石结构设计规范》GBJ 3-73的可靠度分析

原《砖石结构设计规范》GBJ 3-73采用多系数分析、经验系数调整、单一安全系数表达的总安全系数方法进行设计, 其受压构件设计计算表达式为

$$KN \leq N_p = \alpha \varphi R A, \quad (1)$$

式中: K 为总安全系数, 对砖砌体取 $K=2.3$; N 为纵向压力; α 为偏心距影响系数; φ 为受压构件的

收稿日期: 1999-07-05; 修订日期: 1999-08-30

基金项目: 国家标准《砌体结构设计规范》研究项目

作者简介: 刘立新(1947-), 男, 湖北省汉川县人, 郑州工业大学教授, 硕士, 主要从事混凝土、砌体结构基本理论及工程应用方面的研究。

纵向弯曲系数; R 为砌体的抗压强度, 取试验结果的平均值; A 为构件截面面积。

为了按照《统一标准》的要求进行可靠度校准,《砌体结构设计规范》修订时进行了大量的有关砌体材料强度、砌体截面几何特征和计算模式不确定的统计分析,在此基础上求出了砌体抗力的统计参数^[2],其中,砖砌体受压构件的统计参数见表1。

表1 GBJ 3-73 受压构件可靠度校准结果

受力状态	χ_R	δ_R	K	可靠指标 β
轴压	1.211	0.2495	2.3	3.845(3.89)
偏压($e_0 \leq 0.5y$)	1.257	0.3025	2.3	3.344(3.35)
偏压($e_0 > 0.5y$)	1.224	0.3051	2.3	3.233(3.23)

说明: y 为截面形心到轴向力所在偏心方向截面边缘的距离;括号内的数据为文献[2]中的结果。

为了同时适应原《砖石结构设计规范》GBJ 3-73 的总安全系数表达式和《统一标准》的荷载分项系数表达式,本文在进行可靠度分析时,将设计表达式改写为

$$K(\gamma_G N_{GK} + \gamma_Q N_{QK}) \leq R, \quad (2)$$

式中: N_{GK} , N_{QK} 分别为恒载和活载标准值产生的轴力; R 为抗力的计算表达式; K 为总安全系数; γ_G , γ_Q 分别为恒载和活载的分项系数。当采用总安全系数表达式时,取 $K = 2.3$, $\gamma_G = 1.0$, $\gamma_Q = 1.0$; 当采用荷载分项系数表达式时,取 $K = 1.0$, γ_G , γ_Q 则按规定取值。

用一次二阶矩验算点法按式(2)对原《砖石结构设计规范》GBJ 3-73 的受压构件计算公式进行可靠度校准,校准时考虑了恒载加住宅楼面活载、恒载加办公楼楼面活载、恒载加风荷载3种组合,活载和恒载的比值 ρ 取0.1, 0.25, 0.5三种情况,各种荷载的统计参数按《统一标准》的规定取用, β 值取上述3种组合计算结果的平均值,计算结果如表1所示。表1中括号内的 β 值是文献的校准结果^[2],二者十分接近,说明按式(2)进行校准

是可行的。从表1中还可看出,原《砖石结构设计规范》受压构件计算公式对轴心受压的情况可满足 $\beta \geq 3.7$ 的要求,对偏心受压的情况则可靠度偏低。

2 现行《砌体结构设计规范》GBJ 3-88 可靠度分析

现行《砌体结构设计规范》GBJ 3-88 采用了以概率理论为基础,以荷载分项系数表示的极限状态设计表达式,对受压构件的设计计算公式为^[3]:

$$\gamma_0(\gamma_G N_{GK} + \gamma_Q N_{QK}) \leq \varphi f A, \quad (3)$$

式中: γ_0 为结构重要性系数; $\gamma_G = 1.2$; $\gamma_Q = 1.4$; φ 为偏心距和高厚比的综合影响系数; f 为砌体强度的设计值,按下式确定:

$$f = \frac{\mu_f(1 - 1.645\delta_f)}{\gamma_f}, \quad (4)$$

式中: μ_f 为砌体抗压强度平均值; δ_f 为抗压强度变异系数,取0.17; γ_f 为砌体材料分项系数,取为1.5。

由于 GBJ 3-88 的可靠度分析是在原《砖石结构设计规范》试验资料基础上进行的,为利用原有统计资料,将式(4)代入式(3),并改写为下面形式:

$$\gamma_0 \frac{\gamma_f}{1 - 1.645\delta_f} \cdot \frac{\mu_R}{\mu_f} (\gamma_G N_{GK} + \gamma_Q N_{QK}) \leq \varphi \mu_f A, \quad (5)$$

式中: μ_R , μ_f 分别为按原《砖石结构设计规范》和现行《砌体结构设计规范》标准得到的砌体抗压强度平均值; μ_R/μ_f 根据对比试验结果按文献[2]取值;对于一般建筑结构取 $\gamma_0 = 1.0$ 。

将 γ_f , δ_f , γ_G , γ_Q 值代入,用验算点法计算的砖砌体受压构件的可靠度指标,如表2所示。从表中可以看出,GBJ 3-88 受压构件的可靠度指标是满足 $\beta \geq 3.7$ 的要求的,且随着活载和恒载比值 ρ 的增大, β 值有所增大。

表2 GBJ 3-88 受压构件可靠度分析结果

荷载组合	$\rho = 0.1$	$\rho = 0.25$	$\rho = 0.5$	总平均值	失效概率 p_f
恒载 + 住宅活载	$\beta = 3.781$	$\beta = 4.000$	$\beta = 4.185$	$\bar{\beta} = 3.879$	5.2×10^{-5}
恒载 + 办公楼活载	$\beta = 3.729$	$\beta = 3.884$	$\beta = 4.006$		
恒载 + 风荷载	$\beta = 3.684$	$\beta = 3.786$	$\beta = 3.858$		
平均值	$\beta = 3.731$	$\beta = 3.890$	$\beta = 4.016$	—	—

3 可靠度水平调整方案的比较

由式(5)可以看出,在荷载统计参数和抗力统

计参数保持不变的情况下,增加 γ_G , γ_Q 及 γ_f 均可使可靠度指标 β 的值增大,从而提高可靠度水平。根据《统一标准》(征求意见稿)的建议和砌体

结构的特点,保持砌体抗压强度变异系数 $\delta_f = 0.17$ 不变,选用以下 5 种调整方案进行比较:(1) $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.5, \gamma_f = 1.5$; (2) $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.4, \gamma_f = 1.7$; (3) $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.5, \gamma_f = 1.7$; (4)

$\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.0, \gamma_f = 1.5$; (5) $\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.0, \gamma_f = 1.7$. 各方案可靠指标及材料用量增加比例(以表 2 材料用量为 100%)分别见表 3.

表 3 可靠度水平调整方案的比较

调整方案	$\rho = 0.1$		$\rho = 0.25$		$\rho = 0.5$		平均 β 值
	β	材料用量增加/%	β	材料用量增加/%	β	材料用量增加/%	
(1) $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.5, \gamma_f = 1.5$	3.761	0.82	3.953	1.61	4.115	2.60	3.943
(2) $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.4, \gamma_f = 1.7$	4.236	13.3	4.394	13.3	4.509*	13.3	4.379
(3) $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.5, \gamma_f = 1.7$	4.265*	14.3	4.456*	15.2	4.607*	16.3	4.443
(4) $\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.0, \gamma_f = 1.5$	4.042	7.79	4.015	3.22	3.916	-0.27	3.994
(5) $\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.0, \gamma_f = 1.7$	4.544*	22.2	4.515*	16.7	4.406	10.3	4.488

说明:带“*”者为本文建议方案选用的 β 值.

分析比较表 2、表 3 可以看出,由于砌体结构活荷载所占比例较小,方案(1)保持砌体材料分项系数 $\gamma_f = 1.5$ 不变,仅将活荷载分项系数 γ_Q 从 1.4 提高到 1.5,可靠度指标 β 提高很有限,效果不明显.方案(4)仍保持 $\gamma_f = 1.5$ 不变,考虑恒载为主的组合时(恒载作用效应占总效应的 70% 以上,活载和恒载的比值 $\rho < 0.5$),可靠度指标 β 提高也不明显.从方案(2), (3), (5)中可以看出,将材料分项系数 γ_f 从现行规范 GBJ 3-88 所采用的 1.5 提高到 1.7,即降低材料的强度设计值,可靠度指标提高显著,而材料用量的增加也能控制在一个合理的范围内.方案(2)和方案(5)的组合,当 $\rho = 0.1$ 及 $\rho = 0.25$ (以恒载为主)时,按方案(5) β 值分别为 4.544 及 4.515,当 $\rho = 0.5$ (一般组合)时按方案(2) β 值为 4.509,平均 $\beta = 4.523$,相应的失效概率 $p_f = 3.0 \times 10^{-6}$,比现行砌体设计规范的失效概率降低了一个数量级(见表 2),而材料用量平均增加 17.4% 是可以接受的,因此是一种较合理的方案.方案(3)和方案(5)的组合,当以恒载为主的组合时 β 按方案(5)取值,一般组合时, β 按方案(3)取值为 4.607,平均 $\beta = 4.555$,相应的失效概率 $p_f = 2.6 \times 10^{-6}$,材料用量平均增加 18.4%,也是一较好的方案.此外,为简化设计,不区分以恒载为主的组合或一般组合,可只选用方案(3),此时平均 $\beta = 4.443$,相应的失效概率 $p_f = 4.4 \times 10^{-6}$,材料用量平均增加 15.3%,也是一种可行的方案.

4 可靠度水平调整的建议

按照《统一标准》(征求意见稿)的建议,在一般情况下, γ_G 取 1.2,而 γ_Q 有取 1.4 和 1.5 两种

方案,对钢筋混凝土受压构件,可考虑以恒载为主的组合($\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.0$),并说明其他规范可根据自身的特点决定是否采取以恒载为主的组合.根据《统一标准》的建议和前面分析的结果以及砌体结构的特点,建议砌体结构设计规范可靠度水平调整时,可采用下面 3 种方法之一:

(1) 取 $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.4, \gamma_f = 1.7$; 当以恒载为主的组合时,取 $\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.0$. 此方法的平均 $\beta = 4.523$,失效概率 $p_f = 3.0 \times 10^{-6}$,材料用量平均增加 17.4%.

(2) 取 $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.5, \gamma_f = 1.7$; 当以恒载为主的组合时,取 $\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.0$. 此方法的平均 $\beta = 4.555$,失效概率 $p_f = 2.6 \times 10^{-6}$,材料用量平均增加 18.4%.

(3) 不考虑以恒载为主的组合,统一取 $\gamma_G = 1.2, \gamma_Q = 1.5, \gamma_f = 1.7$. 此方法的平均 $\beta = 4.443$,失效概率 $p_f = 4.4 \times 10^{-6}$,材料用量平均增加 15.3%,并可简化设计.

5 结束语

建筑结构设计可靠度水平的调整,涉及到各种材料结构的设计规范,必须在《统一标准》的原则指导下相互协调配合.上述建议的 3 种方法均可使可靠度水平明显提高(失效概率降低了一个数量级),材料用量增加 15% ~ 20%,符合我国现有国情以及国家主管部门多次组织的研讨会的精神,可根据我国《统一标准》的最终修订结果选择其中一种.应该指出的是,上述建议中材料用量的增加值是在现有砌体结构材料强度的基础上计算的,而可靠度水平的提高不能单纯依赖增加材料的用量来实现,更重要的是依靠技术进步提高建

筑材料的质量和强度来实现,近十年来,我国已采取了多种措施来提高建筑材料的质量,并增添了一些强度高、质量好的新型材料。因此,随着我国建筑技术的进步、材料强度的提高,将不会增加过多的材料和造价,而能使建筑结构的可靠度提高到一个新的水平。

参考文献:

[1] 陈肇元.要大幅度提高建筑结构设计的安全度[J].

建筑结构,1999(1):3-6.

[2] 严家喜.无筋砌体结构的可靠度分析和工程试验设计[A].砌体结构规范组.砌体结构研究论文集[C].长沙:湖南大学出版社,1989.1-3.

[3] GBJ 3-88,砌体结构设计规范[S].

Analysis and Suggestions of Adjustment on Reliability Degree of Masonry Structure

LIU Li-xin, XIE Li-li

(College of Civil & Building Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this paper, the reliability degree of "Masonry Structure Design Code" GBJ 3-73 and GBJ 3-88 of P. R. China is analysed. Based on the requirements of increasing the reliability degree of masonry structure, some adjustable programmes for increasing the reliability degree of masonry structure and the quantity of increasing masonry material are discussed and compared in detail, and some suggestions for increasing the reliability degree of masonry structure are also presented.

Key words: masonry; structure; reliability degree

本刊加入万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,我刊现已入网“万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群”,所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入万方数据资源系统(ChinaInfo),进入因特网提供信息服务。凡有不同意见者,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬,不再另付。

万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群是国家“九五”重点科技攻关项目,截止1999年7月,已有600种期刊全文上网(网址: <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>),将在年内增至1000余种科技期刊。本刊全文内容按照统一格式制作,编入万方数据资源系统(ChinaInfo),读者可上因特网进入万方数据资源系统(ChinaInfo),免费(一年后开始酌情收费)查询、浏览本刊内容,欢迎各界朋友通过万方数据资源系统(ChinaInfo),向我刊提出宝贵意见、建议,或征订本刊。

《郑州工业大学学报》编辑部

一九九九年十一月