

DOI: 10.19701/j.jzjg.20222432

砌体结构静力与抗震受剪承载力的计算方法研究

施楚贤, 陈大川, 彭理智, 黄 靓, 周 云, 周章涛
(湖南大学土木工程学院, 长沙 410082)

摘要: 深入分析了《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)的砌体结构受剪承载力的理论基础和计算方法,并对此进行了全面探讨。采用剪压复合受力影响系数表达的剪压相关计算方法,有效地涵盖了砌体结构受剪时的剪摩、剪压和斜压等整个受力特征与承载力的取值,确保了砌体结构设计规范的连续性和稳定性,体现了其合理性。结果表明:提出的砌体结构抗震受剪承载力计算方法,不仅满足了《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)的强制性要求,而且实现了抗震与静力受剪承载力在理论基础和取值上的统一和协调。

关键词: 通用规范; 砌体结构; 剪压复合受力; 受剪承载力; 抗震性能

中图分类号: TU365 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-848X(2025)16-0129-04

[引用本文] 施楚贤,陈大川,彭理智,等. 砌体结构静力与抗震受剪承载力的计算方法研究[J]. 建筑结构,2025,55(16):129-132. SHI Chuxian, CHEN Dachuan, PENG Lizhi, et al. Study on calculation method for static and seismic shear bearing capacity of masonry structure[J]. Building Structure, 2025, 55(16):129-132.

Study on calculation method for static and seismic shear bearing capacity of masonry structure

SHI Chuxian, CHEN Dachuan, PENG Lizhi, HUANG Liang, ZHOU Yun, ZHOU Zhangtao
(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Code for design of masonry structures (GB 50003—2011) and Code for seismic design of buildings (GB 50011—2010) were deeply analyzed, and the theoretical basis and calculation method of shear capacity of masonry structures were comprehensively discussed. The shear-compression correlation calculation method was expressed by the shear-compression composite stress influence coefficient effectively, which covered the whole stress characteristics and bearing capacity of the masonry structure, such as shear friction, shear compression and oblique compression, and ensured the continuity and stability of the masonry structure design code, reflecting its rationality. The results show that calculation method of seismic shear bearing capacity of masonry structures proposed not only conforms to the mandatory requirements of *General code for seismic precaution of buildings and municipal engineering* (GB 55002—2021), but also makes the calculation theory and value of seismic and static shear bearing capacity consistent and coordinated.

Keywords: general code; masonry structure; shear-compression composite stress; shear bearing capacity; seismic behavior

0 引言

《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)^[1](简称 11 版砌体规范)在修订过程中,关于砌体结构构件在静力(非抗震)条件下的受剪承载力计算方法,存在两种不同的修订方案:一种方案建议沿用砌体规范的现有模式,而另一种方案则倾向于采纳《砌体结构设计规范》(GBJ 3-88)^[2](简称 88 版砌体规范)的计算模式。本研究旨在分析并探讨哪一种修订方案更为合理,并依据现行通用规范的要求,对砌体结构构件在抗震条件下的受剪承载力计算方法提出相应的修改建议。

1 砌体结构受剪性能研究的简要回顾

国内外对砌体结构在剪应力和竖向压应力作用下的受力性能,做了许多研究和分析^[3-7],所采用的分析方法主要按主拉应力破坏理论和库仑破坏理论。俄罗斯、英国及美国等国家的规范大多采用剪摩模式计算砌体构件的受剪承载力^[8-11]。我国曾采用此方法,如 88 版砌体规范。实际工程中,尤其是地震作用下,砌体结构墙体往往形成交叉对角斜裂缝,这一普遍现象难以用库仑破坏理论做出解释。20 世纪 80 年代,我国依据较大量的试验研究和分析^[3-4],建立了以剪压复合受力影响系数表达的剪压相关计算方法,较好地描述了砌体构件受剪

第一作者:施楚贤,学士,教授,博士生导师,一级注册结构工程师,主要从事无筋及配筋砌体结构理论与设计、结构可靠性检测鉴定与加固研究,Email:shichuxian@sina.com。

通信作者:陈大川,博士,教授,主要从事结构加固改造理论与技术研究,Email:hdc67@163.com。

时的剪摩、剪压和斜压三种破坏形态及其承载力的计算公式,首次为《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)^[12](简称01版砌体规范)采纳,并沿用至11版砌体规范。许多学者^[13-17]在01版砌体规范的抗剪计算方法基础上,又进行了大量的普通烧结砖和其他砖砌体在剪压复合作用下的试验和理论研究,论证计算方法的不足之处,对01版砌体规范中无筋砌体的抗剪计算方法提出一定的改进意见,今后还应进一步深入开展对砌体结构在复合受力下的理论和计算方法的研究。

2 静力受剪承载力的两种计算模式

(1) 11版砌体规范

11版砌体规范的静力受剪承载力计算如下:

$$V \leq V_1 \quad (1)$$

$$V_1 = (f_v + \mu \sigma_0) A \quad (2)$$

$$\mu = 0.151 - 0.044 \frac{\sigma_0}{f} \quad (3)$$

式中: V 为剪力设计值; V_1 为按11版砌体规范计算的受剪承载力; f_v 为砌体抗剪强度设计值; μ 为剪压复合受力影响系数; σ_0 为永久荷载设计值产生的水平截面平均压应力,其值不应大于 $0.8f$; f 为砌体的抗压强度设计值; A 为水平截面面积。

(2) 88版砌体规范

$$V \leq V_2 \quad (4)$$

$$V_2 = (f_v + 0.129\sigma_0) A \quad (5)$$

式中 V_2 为按照88版砌体规范计算的受剪承载力。

之所以称为“模式”,在于以上公式不是相应原规范的公式,而是按现行规范的材料性能分项系数、永久作用分项系数等取值,经转换而得。且上述公式符合《工程结构通用规范》(GB 55001—2021)^[18]和《砌体结构通用规范》(GB 55007—2021)^[19]的要求,可考虑采用。

3 两种计算模式的取值分析

当 $\sigma_0/f=0.5$ 时,式(3)中的 $\mu=0.129$,恰好与式(2) σ_0 前的系数相等。

图1为 V_1 、 V_2 与 σ_0/f 关系的部分计算结果,由图可见,经不同块体类别及强度等级、不同强度等级砂浆和 σ_0 及 σ_0/f 等组合下的计算,当 $\sigma_0/f < 0.5$ 时, V_1 较 V_2 偏大,但其误差不超过5%;当 $\sigma_0/f > 0.5$ 时, V_1 较 V_2 减小,最大达9%。总体来看,两种计算方法的受剪承载力的计算值接近。

以往诸多实际多层砌体结构房屋工程案例的计算结果表明,两种计算公式的结果更为接近。图2为上述两种计算模式的受剪承载力与 σ_0 关系的对比结果。

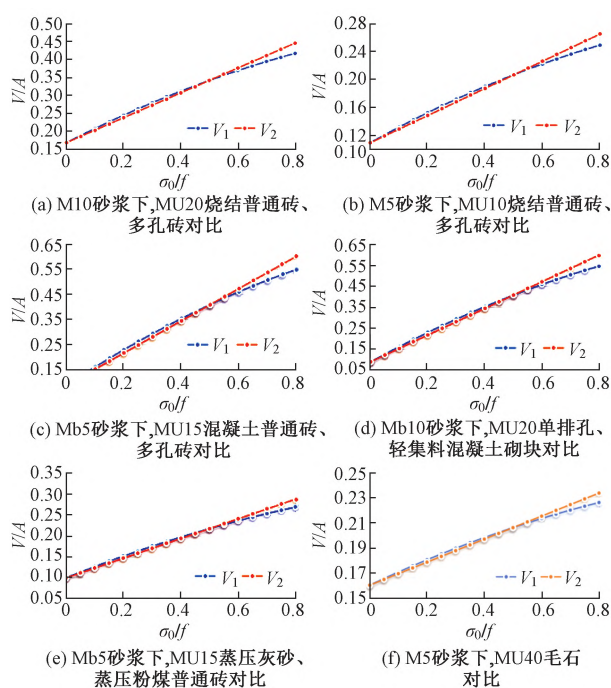


图1 V/A 与 σ_0/f 关系

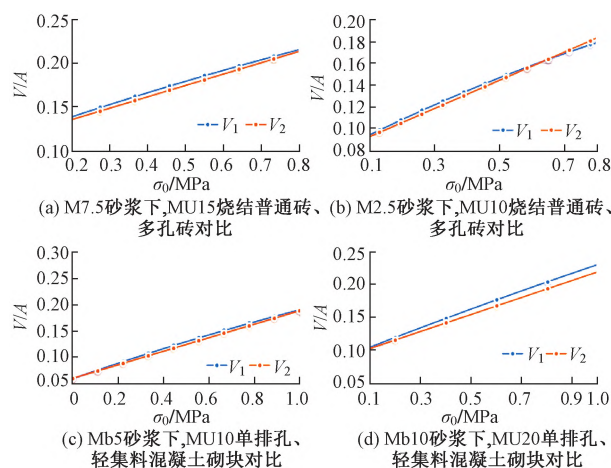


图2 V/A 与 σ_0 关系

综上,本文建议规范修订采用11版砌体规范的计算模式,理由如下:

(1) 两种计算模式的结果十分接近,均涵盖了剪摩模式,且在 $\sigma_0/f > 0.5$ 时,按11版砌体规范的计算结果较式(5)结果低,更显合理。

(2) V_1 基于对砌体结构剪压复合受力时的三种破坏特性而建立,在一定程度上丰富了砌体结构受剪的计算理论,有可取之处。

(3) 11版砌体规范在01版砌体规范的基础上,通过理论分析和较大量的砌体与墙体试验研究,经规范编制组充分讨论和不断完善下编制完成,并沿用至今,已载入两个版本达二十余年。宜保持11版砌体规范的连续性和稳定性。

(4) 以往砌体构件受剪承载力的计算,需取不同的永久作用分项系数,使得计算稍显繁琐^[1],而按《工程结构通用规范》(GB 55001—2021)^[18]和《砌体结构通用规范》(GB 55007—2021)^[19],该系数只取一种,计算工作得到简化。

(5) 11 版砌体规范计算模式在参考对比了欧盟、美国等国家的砌体结构抗剪承载力计算公式基础上,采用剪压复合受力影响系数表达的剪压相关计算方法,有效地涵盖了砌体结构受剪时的剪摩受力特征,该计算公式受到普遍认可^[8-11]。

4 抗震受剪承载力的取值分析

4.1 抗震验算的基本原则和要求

《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)^[20](简称通用规范)明确指出,“抗震设计的抗力分项系数就相应的变为非抗震设计的构件承载力设计值的抗震调整系数 γ_{RE} ”,即 $\gamma_{RE} = R_d / R_{dE}$,或抗震受剪承载力 R_{dE} 应按下式计算:

$$R_{dE} = R_d / \gamma_{RE} \quad (6)$$

式中 R_d 为非抗震设计的构件承载力设计值,按各有关标准的规定计算。

“为了保证结构构件抗震承载力验算的准确性,对抗震验算的基本表达式及关键参数取值提出强制性要求是必要的”。长期以来,我国相关结构设计标准均遵照此规定进行抗震承载力的计算,如《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(2015 年版)^[21]等。《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(2016 年版)^[22](简称抗震规范)对混凝土结构和钢结构,亦是如此。但抗震规范中唯独砌体结构不遵守此原则而是另作规定的,即:

$$V \leq f_{VE} A / \gamma_{RE} \quad (7)$$

$$f_{VE} = \zeta_N f_v \quad (8)$$

式中: f_{VE} 为砌体的抗震抗剪强度设计值; γ_{RE} 为承载力抗震调整系数; ζ_N 为砌体抗震抗剪强度的正应力影响系数; f_v 为非抗震设计的砌体抗剪强度设计值。

式(7)的计算结果(取 $\gamma_{RE} = 1$)与式(6)和式(2)、式(5)的计算结果会出现不一致的情况。此外,在抗震规范中砖砌体 ζ_N 的确定,按主拉应力公式得到,混凝土砌块砌体按剪摩公式得到,并沿用静力指标。可见式(7)在计算理论或是强度取值上均不一致。

4.2 抗震规范与 11 版砌体规范取值分析

同样选取不同块体类别及强度等级、砂浆不同强度等级和 $\sigma_0 = 0.1 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 等组合下的计算, $f_{VE} A$ 较 $(f_v + \mu\sigma_0)A$ (为便于比较,取 $\gamma_{RE} = 1.0$) 的取值不相

等,如图 3 所示,图中 V_3 为按照抗震规范计算的受剪承载力。对于砖砌体构件, V_3 较 V_1 的取值要小,见图 3(a)、(b),约低 10%;而对于混凝土砌体构件, V_3 反而较 V_1 取值大,见图 3(c)、(d),约高 20%,显然不合理。对此,已有研究^[23]提出质疑。

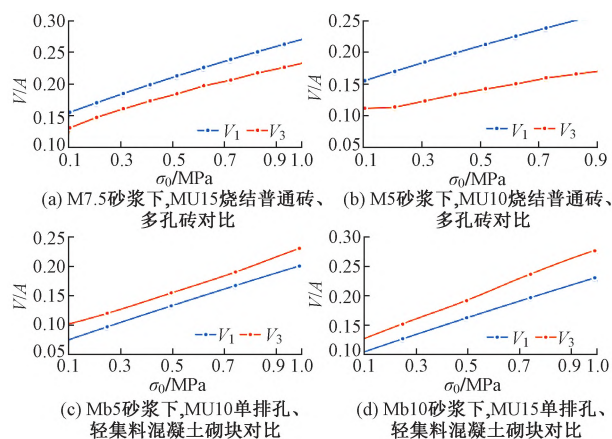


图 3 抗震计算结果

为遵照通用规范的基本原则和要求,避免上述设计计算取值结果的不相同与矛盾及确保设计计算理论上的一致性,在修订抗震规范时,应取消砌体抗震抗剪强度设计值 (f_{VE}) 这一指标,砌体构件抗震受剪承载力应按下列公式验算:

$$V \leq (f_v + \mu\sigma_0) A / \gamma_{RE} \quad (9)$$

$$\mu = 0.151 - 0.044 \frac{\sigma_0}{f} \quad (10)$$

式中 σ_0 为对应于重力荷载代表值产生的水平截面平均压应力,其值不应大于 $0.8f$ 。

5 结语

砌体结构构件的静力受剪承载力宜采用 11 版砌体规范的计算模式,能较好反映砌体结构在剪压复合受力状态下的剪摩、剪压与斜压破坏特征,理论基础较为完善,较国外的取值方法有一定的改进,有利于砌体规范的连续性和稳定性。砌体结构构件的静力受剪承载力与抗震受剪承载力的计算方法应相互协调、一致。建议砌体结构构件抗震受剪承载力,采用式(9)和式(10)进行计算。

通过对式(7)、式(8)与式(1)、(2)、(3)和式(6)的比较分析,提出以下问题:式(7)与式(8)的取值是否合理,可否修改 γ_{RE} 的取值;抗震规范抗剪强度取值方法违背了通用规范的规定;是否需要重新界定通用规范对此作所强制性规定的合理性和必要性;承载力取值的理论依据不统一;承载力取值与静力受剪承载力的计算结果不协调。为解决这些问题,砌体规范修订编制组与抗震规范修订编制组应共同研讨,予以解决。

参 考 文 献

- [1] 砌体结构设计规范:GB 50003—2011[S]. 北京:中国计划出版社,2012.
- [2] 砌体结构设计规范:GBJ 3-88[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1989.
- [3] 王庆霖. 无筋墙体的抗震剪切强度[M]. 长沙:湖南大学,1989:103-115.
- [4] 施楚贤,钱义良,吴明舜,等. 砌体结构理论与设计[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,2014:67-78.
- [5] HENDRY A W. Structural brick[M]. New York:John Wiley and Sons, Incorporated, 1981:45-51.
- [6] T. PAULAY, M. J. N PRIESTLEY. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings [M]. New York:John Wiley and Sons, Incorporated, 1992:563-568.
- [7] ROBERT G. DRYSDALE, AHMAD A. HAMID. Masonry structures behavior and design [M]. 3ed. Colorada: The Masonry Society, 2008:187-201.
- [8] Каменные и Армокаменные Конструкции СНиП*, Своды норм и правил II 22-81 [S]. Москва: Gosstroy SSSR, 2012.
- [9] British standards code of practice for the use of masonry-Part I ;Structural use of unreinforced masonry ;BS5628-1 [S]. London:British Standards Institution, 1992.
- [10] Design of masonry structure; EN1996-1-1; 2005 [S]. European Committee for Standardization, 2005.
- [11] International recommendations for masonry structures ;CIB Report Publication 58[S]. Rotterdam:CIB, 1980.
- [12] 砌体结构设计规范:GB 50003—2001[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [13] 蔡勇,施楚贤,马超林,等. 砌体在剪-压作用下抗剪强度研究[J]. 建筑结构学报,2004,25(5):118-123.
- [14] 宋力. 混凝土砌块砌体基本力学性能试验研究与非线性有限元分析[D]. 长沙:湖南大学,2005:45-50.
- [15] 杨春侠,施楚贤,杨伟军,等. 混凝土多孔砖砌体模型房屋抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2006,27(3):84-92.
- [16] 徐建,梁建国,施楚贤. 《砌体结构设计规范》的若干问题和修订建议,砌体结构理论与新型墙材应用[M]. 北京:中国城市出版社,2007:15-16.
- [17] 吕伟荣,施楚贤,刘桂秋. 剪压复合作用下砌体的静力与抗震抗剪强度[J]. 工程力学,2008,25(4):158-164.
- [18] 工程结构通用规范:GB 55001—2021[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [19] 砌体结构通用规范:GB 55007—2021[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [20] 建筑与市政工程抗震通用规范:GB 55002—2021[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [21] 混凝土结构设计规范:GB 50010—2010[S]. 2015年版. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [22] 建筑抗震设计规范:GB 50011—2010[S]. 2016年版. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [23] 吕伟荣. 砌体基本力学性能及高层配筋砌块砌体剪力墙抗震性能研究[D]. 长沙:湖南大学,2007:34-35.