

文章编号:1006-7329(2001)01-0010-07

砖砌体的非线性计算^{*}

王 珊, 武建华

(重庆大学B区 建筑工程学院, 重庆 400045)

摘 要:在分析总结近年来国内外对砖砌体的本构关系和破坏准则的理论研究成果的基础上,找出了较合理、适用的本构关系和破坏准则的组合,能较好地描述砖砌体受力破坏的力学特性。并通过自行编制的“砖混结构平面有限元分析程序”对一些算例进行了验算,得到较好的结果。

关键词:砖砌体; 本构关系; 破坏准则

中图分类号:TU362

文献标识码:A

随着计算机应用的发展,利用计算机来模拟分析建筑结构性能的方法也得到了越来越广泛的关注。结构分析的一个重要的前提就是要有一个能恰当描述由试验得出的材料性能的本构关系及合理的破坏准则。针对砖砌体(以下的砌体均指砖砌体)结构的非线性分析,其分析模型主要由砌体在各种作用力下的应力应变关系及破坏准则构成。由于砌体材料的复杂性,工程中一般套用混凝土的本构关系来描述砌体的本构关系,对砌体完整的本构关系的研究,可找到的资料不多。笔者在对前人的研究成果分析总结的基础上,找出了较合理、适用的本构关系和破坏准则的组合,并通过自行编制的“砖混结构平面有限元分析程序”对一些算例进行了验算,得到较好的结果。

1 砖砌体的应力—应变关系

砌体的应力—应变关系是砌体结构的一项基本力学性能。由于实践中主要利用砌体承受压力,对其单轴应力—应变关系的研究也主要集中在单轴受压方面。试验研究表明砌体抗拉时强度较小,受拉应力—应变曲线在相当大范围内近似呈线性;单轴受压时表现出较好的延性,同时由于组成砌体的材料中存在初始微裂缝等诸多因素的影响,其单轴受压应力—应变曲线呈现出明显的非线性特点。现有的描述砌体单轴受压应力—应变关系的公式大都是在试验的基础上选取适当的数学形式拟和而来的,有对单轴受压全曲线(包括上升段和下降段)的完整描述,也有只描述上升段的。笔者比较了六种较有代表性的砌体单轴受压应力—应变关系的表达式。其中 ОНИЩЕК 在 30 年代提出的对数型公式和湖南大学的施楚贤改进的对数型公式,都只限于描述曲线的上升段,前者无法反映块体强度的影响,而后者在 σ 趋近于 f_m 时, ϵ 趋近于 ∞ , 与事实不符^[1]; Powell & Hodgkinson, Turnsek & Cacovic 均提出了可描述全曲线的抛物线型表达式,仅在具体的系数上有差异,只是两者都无法描述全曲线中诸如极限点、拐点等控制点,无法展示曲线的物理意义;湖南大学的杨伟军和施楚贤在对数型公式的基础上采用分段多项式的形式描述了全曲线,且各系数均有明确的物理意义,只是将之应用于计算机分析时诸多连接点不易处理; M. Danasekar 等提出可用 Ramberg-Os-

* 收稿日期:2000-05-15

作者简介:王 珊(1975-),女,湖南人,硕士,主要从事结构工程与工程力学的研究。

good 公式来描述曲线的上升段^[2]。

Ramberg-Osgood 公式的提出,最早是用以描述航空工业中常用的铝合金、不锈钢等合金的应力应变关系。它采用杨氏弹性模量和两个割线屈服强度(secant yield strength)三参数来表述应力应变关系,不同于用杨氏弹性模量和屈服强度两个参数描述的传统作法,可以较好地拟和试验曲线。其原型为:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + K \left(\frac{\sigma}{E} \right)^n \quad (1)$$

M. Dhanasekar 等发现上式同样可以较好地拟合试验^[3]所得砖砌体应力应变曲线,并将公式(1)稍加变化:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{E} \right)^n \quad (2)$$

本文在公式(2)的基础上,采用无量纲形式的 Ramberg-Osgood 公式:

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \left(\frac{\sigma}{\sigma_1} \right) + \alpha \left(\frac{\sigma}{\sigma_1} \right)^n \quad (3)$$

式中: $\epsilon_0 = \frac{\sigma_1}{E}$, $\epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{m_1 E}$, $\alpha = \frac{1-m_1}{m_1}$,

σ_1 对应于 Osgood 所说的第一割线屈服强度; ϵ_1 是与 σ_1 相应的应变; E 代表材料初始切线模量; m_1 、 n 是与材料有关的常数,由试验确定。图 1 给出了包括 Osgood 公式在内的三个公式曲线与试验曲线的比较。由图 1 可见,在无量纲的形式下,强度对 m_1 、 n 影响并不明显。

对于混凝土、砌体等混合材料而言,没有明显的屈服点,破坏点却很明显。在工程中,常将屈服点与破坏点混为一谈,但严格来说两者是有区别的。研究表明, σ_1 的取值将明显影响曲线的线弹性部分。故本文中令 σ_1 对应于砖砌体应力应变试验曲线中的比例极限点。考虑到我国《砖石结构设计规范》(GBJ3-73)中认为,在安全系数为 2.3 时可按直线确定砖砌体受压弹性模量。为了与规范对应,本文取 $\sigma_1 = 0.43 f_m$, 赋予 σ_1 具体的物理意义。公式(3)只能表示单轴受压 $\sigma-\epsilon$ 曲线的上升段。考虑到实际结构中,当 $\sigma \geq 0.8-0.9 f_m$ 时,已处于危险状态,实际设计中是不考虑下降段的。本文仿照美国学者 Hongnestad 对于混凝土单轴受压 $\sigma-\epsilon$ 曲线的下降的处理方法,用斜直线来模拟。同时本文中对下降段的模拟止于拐点处,即砌体已基本丧失承载能力处。结合国外 A. Madan 等对曲线拐点的取法和四川省建研院的试验,本文中取拐点处 $\sigma_u = 0.85 f_m$, $\epsilon_u = 1.65 \epsilon_m$ 。则完整的单轴受压 $\sigma-\epsilon$ 曲线表达式为:

$$\begin{aligned} \text{上升段} \quad \frac{\epsilon}{\epsilon_0} &= \left(\frac{\sigma}{\sigma_1} \right) + \alpha \left(\frac{\sigma}{\sigma_1} \right)^n & (0 \leq \epsilon \leq \epsilon_m) \\ \text{下降段} \quad \frac{\sigma}{f_m} &= 1 - 0.15 \left(\frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon_u - \epsilon_m} \right) & (\epsilon_m \leq \epsilon \leq 1.65 \epsilon_m) \end{aligned} \quad (4)$$

式中: f_m 代表砌体抗压强度的平均值; ϵ_m 是与 f_m 对应的应变。

用 Osgood 公式表示的砌体单轴受压应力应变曲线与四川建研院的试验曲线的比较见图 2。

单轴受拉 $\sigma-\epsilon$ 曲线表达式为:

$$\begin{aligned} \text{上升段} \quad \sigma &= E \epsilon & (0 \leq \epsilon \leq \epsilon_i) \\ \text{下降段} \quad \sigma &= \frac{m \epsilon_i - \epsilon}{(m-1) \epsilon_i} f_i & (\epsilon_i \leq \epsilon \leq \alpha \epsilon_i) \end{aligned} \quad (5)$$

式中: f_i 代表砌体抗压强度的平均值; ϵ_i 是与 f_i 对应的应变; m 代表极限拉应变与 ϵ_i 的比值。参看图 3。

在双向应力状态下视砌体为正交各向异性。假定砌体的应变由弹性应变 ϵ^e 和非线性弹性应变 ϵ^{ne} 两部分组成,其中 ϵ^{ne} 只与本方向的正应力有关,由此得出砌体的双向受压增量型应力应变关系表

① 按破坏特征的不同,分为沿齿缝截面破坏和沿块体截面破坏两种,分别与砂浆或块体强度对应。

达式:

$$\begin{bmatrix} \delta\sigma_n \\ \delta\sigma_p \\ \delta\tau \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \frac{1}{E_{tp}} & \frac{\nu_p}{E_p} & 0 \\ \frac{\nu_n}{E_n} & \frac{1}{E_{tn}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E_{ts}}{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\epsilon_n \\ \delta\epsilon_p \\ \delta\gamma \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中^①: $A = \left[\frac{1}{E_{tn}E_{tp}} - \frac{\nu_n\nu_p}{E_nE_p} \right]^{-1}$, $E_{ti} = \frac{E_i}{1 + \alpha_{ni} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{li}} \right)^{n_i-1}}$ ($i=n, p, s$).

n, p, s 分别表示垂直于水平灰缝方向、平行于水平灰缝方向和剪应力方向。

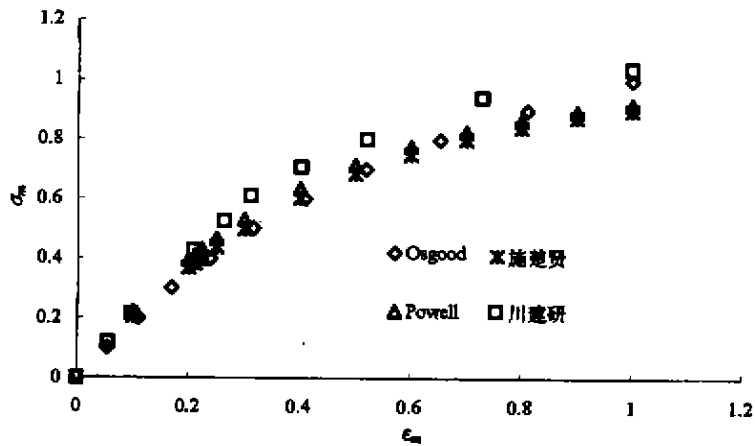


图1 砌体单轴受压应力应变曲线(上升段)对比图

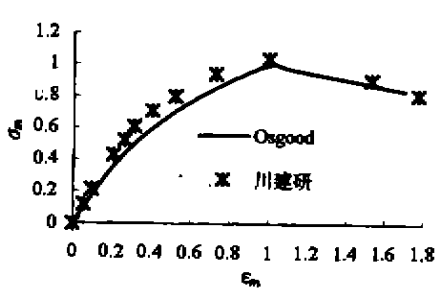


图2^② 砌体单轴受压 $\sigma-\epsilon$ 曲线

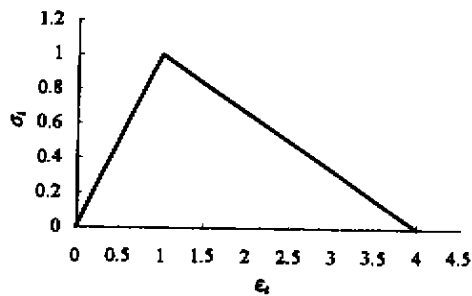


图3 砌体单轴受拉 $\sigma-\epsilon$ 曲线

2 砖砌体的破坏准则

国外从80年代初期就加强了对砌体破坏准则的研究,不是将砌体结构抗压、抗拉、抗剪强度分别考虑,而是在 $(\sigma_1, \sigma_2, \theta)$ 主应力空间或 $(\sigma_n, \sigma_p, \tau)$ 应力空间中综合考虑砌体在复杂应力状态下的破坏准则^③。由于砌体中大多数非线性变形都发生在节点^④中,大多数破坏都包含了节点破坏,笔者认

① 对于双向受拉及一向受压、一向受拉应力状态下,受拉方向的切线弹性模量可取初始切线模量。

② 图中 Osgood 曲线下降段为式(4)第二部分。

③ 这里所说的破坏准则只考虑砌体处于平面内受力状态,不考虑平面外弯曲或侧向失稳的影响,这是一种较接近实际的简化。

④ 本文中的节点专指砂浆界面。

为在 $(\sigma_n, \sigma_p, \tau)$ 应力空间讨论砌体破坏较在 $(\sigma_1, \sigma_2, \theta)$ 应力空间更有意义。下面即将提及的四种破坏准则也都是在 $(\sigma_n, \sigma_p, \tau)$ 应力空间中表述的。

A. W. Page^[3]在1981、1983所作的一系列平板受压试验中所获得大量的试验数据成为后来研究砌体破坏准则的基础。M. Dhanasekar等在Page试验的基础上提出了由三个椭圆锥组成的破坏面,其中拉-拉区由拉-压区外推得到。该破坏面与试验吻合良好,但三段曲面与实际的破坏形态不相应,不便于破坏形态的区分。Krishna Naraine & Sachchidanand Sinha在对砌体平板单轴、双轴受压循环加载实验的基础上得出的破坏准则仅与 σ_n, σ_p 两者的比值有关,无视剪应力 τ 的影响,而剪切型破坏是砌体主要破坏形态之一,故而该准则是不全面的。Paulo B. Lourenco等借用Rankine-type和Hill-type等传统的破坏准则分别描述了砌体的拉型破坏和压型破坏,但是两种类型的交集是不确定的,而且不同的试验结果给出差异较大的交集,定义该准则所需的参数也不易确定。U. Andraeus^[5]同样是用传统的破坏准则来描述砌体的破坏。

平面应力状态下砖砌体的破坏可归结为三种:(a)砂浆节点的剪切滑移(slipping)破坏;(b)砖撕裂(cracking)和砂浆节点的劈裂(splitting)破坏;(c)平行于板面的劈裂(spalling)破坏。对应于三种破坏状态,Andraeus分别采用了三个常用的破坏准则来描述,使砖砌体的破坏与传统的破坏准则联系起来。

1)改进的摩尔-库仑破坏准则(Modified Mohr-Coulomb Friction Law)

当剪应力达到极限值时,砌体的竖缝和(或)水平缝中出现剪切滑移,发生(a)类破坏。考虑到砖砌体剪切破坏的特性,即抗剪强度与 σ_n 非线性相关,Andraeus采用了改进的摩尔-库仑破坏准则:

$$\Phi_A = \tau^2 - (c_{ie} - \mu_i \sigma_n)^2 > 0 \quad (i = c, t) \quad (7)$$

式中: $\mu_i = \tan(i_n + i_p + \varphi)$; $i_n = 0$; $\ln \left(\frac{f_{cn} - \alpha f_{tn}}{\sigma_n - \alpha f_{tn}} \right)$;

$$\text{当 } f_{cp} < \sigma_p \leq 0 \text{ 时, } c_{ie} = \frac{c}{\ln 2} \ln \left[1 - \frac{f_{cp}}{\sigma_p - f_{cp}} \right], i_p = 2 \ln \left[1 + \frac{\sigma_p}{f_{cp}} \right];$$

$$\text{当 } f_{ip} \geq \sigma_p \geq 0 \text{ 时, } c_{ie} = \frac{c}{\ln 2} \ln \left[1 + \frac{f_{ip} - \sigma_p}{f_{ip}} \right], i_p = -0.2 \ln \left[1 + \frac{\sigma_p}{f_{ip}} \right];$$

f_{cn}, f_{cp} 分别为 σ_n, σ_p 方向上的单轴抗压强度; f_{tn}, f_{tp} 分别为 σ_n, σ_p 方向上的单轴抗拉强度; φ 为残余摩擦角(residual frictional angle); c 为初始粘结力($\sigma_n = \sigma_p = 0$)。

2)圣维南最大拉应变理论(Maximum Tensile Strain Criterion(Saint Venant))

当压应力逐渐增大时,灰缝中剪切型破坏受到抑制,破坏始于单元中最大主拉应变超过极限值 ϵ_u ,即

$$\epsilon_1 = \frac{1}{2} \left[(\epsilon_n + \epsilon_p) + \sqrt{(\epsilon_p - \epsilon_n)^2 + \gamma^2} \right] > \epsilon_u$$

这样,有

$$\Phi_B = \tau^2 - (2G)^2 \left\{ \left[\epsilon_u - \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \nu_m}{E_p} \sigma_p + \frac{1 - \nu_{np}}{E_n} \sigma_n \right) \right]^2 - \frac{1}{4} \left(\frac{1 + \nu_{pm}}{E_p} \sigma_p - \frac{1 + \nu_{np}}{E_n} \sigma_n \right)^2 \right\} > 0$$

式中 ϵ_u 为最大拉应力方向上的极限拉应变,以裂缝即将张开(crack opening)为界。这里假定广义虎克定理破坏前一直成立。定义 $E_n = \frac{f_{tn}}{\epsilon_u}, E_p = \frac{f_{tp}}{\epsilon_u}, \nu_{np} = \frac{f_{tn}}{|f_{cn}|}, \nu_{pm} = \frac{f_{ip}}{|f_{cp}|}, \epsilon_u = 10^{-4}$,可将上式化为:

$$\Phi_B = F_1 \sigma_p + F_2 \sigma_n + F_{11} \sigma_p^2 + F_{22} \sigma_n^2 + F_{33} \tau^2 + 2F_{12} \sigma_p \sigma_n - 1 > 0 \quad (8)$$

其中: $F_1 = \frac{1}{f_{ip}} - \frac{1}{|f_{cp}|}$; $F_2 = \frac{1}{f_{tn}} - \frac{1}{|f_{cn}|}$; $F_{11} = \frac{1}{|f_{ip}| |f_{cp}|}$; $F_{22} = \frac{1}{|f_{tn}| |f_{cn}|}$; $F_{33} = \frac{1}{(2G \epsilon_u)^2}$; $F_{12} = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{f_{ip} f_{tn}} + \frac{1}{|f_{cp}| |f_{cn}|} \right)$ 。

3)Navier最大压应力理论(Maximum Compressive Stress Criterion)

当双向压应力远大于剪应力时,材料的破坏源于最大主压应力超过抗压强度,即^①

$$\sigma_z = \frac{\sigma_n + \sigma_p}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_p - \sigma_n}{2}\right)^2 + \tau^2} < f'_c$$

这样,有

$$\Phi_c = \tau^2 - (\sigma_p - f'_{cp})(\sigma_n - f'_{cn}) > 0 \quad (9)$$

其中: f'_{cn} , f'_{cp} 分别表示双轴受压状态下相应方向上的抗压强度; f'_c 表示主压应力方向上的双轴抗压强度。将式(9)用式(8)同样的形式表达,则式中参数等于:

$$F_1 = \frac{1}{f_{cp}}; F_2 = \frac{1}{f_{cn}}; F_{11} = F_{22} = 0; F_{33} = \frac{1}{f_{cp}f_{cn}}; F_{12} = -\frac{1}{2}F_{33}$$

这里不考虑双轴受压状态下对砖砌体单轴抗压强度提高的作用,偏于保守。

Andreaus 明确地将剪切型破坏单列出来,而且破坏准则与试验所得的破坏类型一一对应;其定义破坏准则所需的参数与材料强度直接相连,便于实际运用。其欠缺之处在于,结合试验可以发现,材料满足 Andreaus 的某一破坏准则时,并不一定意味着材料的最终破坏。所以如将之应用于计算机分析时,材料满足破坏准则后的处理应具体情况具体分析,不可单纯地处理为强度的完全丧失。笔者将破坏后裂缝处理为弥散型裂缝,并根据开裂释放应力前一瞬间实际的应力状态,针对前述三种破坏类型,有选择地将某向刚度降为零,具体处理如下:

1) 砂浆节点的剪切型破坏

当单元中的剪应力 τ_x 超过抗剪强度,则认为发生剪切型破坏。由试验可知,这种破坏基本上表现为水平通缝或呈阶梯形沿水平与竖向灰缝发展。本文认为该类破坏发生后,若 σ_n 为压应力,则水平裂缝面上为压应变,裂缝没有沿裂缝面法线方向张开的趋势,仅仅将剪切刚度降为零,同时暂不释放该面上的剪应力;若 σ_n 为拉应力,则水平裂缝面上为拉应变,裂缝有沿裂缝面法线方向张开的趋势,不仅将剪切刚度降为零,同时释放该面上的剪应力。实际计算中是将一个极小的正数赋给此时的剪切刚度。至于该类破坏对于正应力 σ_n 、 σ_p 方向上的影响,还需结合圣维南最大拉应变准则,作进一步的判断。

2) 砖开裂和砂浆节点垂直于板面的劈裂破坏

当单元中最大拉应变超过极限拉应变发生该类破坏。从文献[4]中可知,根据正应力 σ_n 、 σ_p 拉压性质的不同,破坏表现出不同的形态。当双向正应力均为拉时,鉴于砌体较低的抗拉能力,认为一旦发生该类破坏,裂缝即弥漫于整个单元的各个方向,材料完全丧失强度,双向刚度降为零。当双向正应力为一拉一压时,一旦发生该类破坏,单元被平行于压应力方向的裂缝分割成一个个的小砖柱。这是对试验现象一种合理的理想化描述。本文认为此时拉应力方向上的刚度降为零,而压应力方向的刚度不变,并忽略泊松比的影响,同时剪切刚度有一定的退化(若之前无发生剪切型破坏)。若之前已发生剪切型破坏,处理方法同上,只是剪切刚度为零。

3) 平行于板面的劈裂破坏

当单元承受双向压应力时,若最大主压应力超过抗压强度,将在平行 oxy 平面的单元中面上发生突然的脆性劈裂破坏,并迅速蔓延至整个中面。此时认为单元完全丧失承载能力, $[D]=0$ 。

经与 Andreaus 的算例对比,上述处理方法是可行的。

3 算例对比和结论

经过分析对比,笔者选用公式(6)来描述砌体双轴受力下增量型的应力应变关系;破坏准则以 Andreaus 的三准则为基础,并对裂缝开裂后作合理的处理,编制成“砖混结构非线性有限元分析程

^① 式中应力是有正负之分的。

序”。通过计算一片承受侧向水平力的开洞墙体,并将计算结果与 U. Andreaus 的结果相对比,以验证程序的正确性。

由求得的 $P-\Delta$ 曲线(图 4)可见,两者基本吻合,本文极限荷载较 U. Andreaus 的低 2.5%。究其原因,在程序设计中,单元破坏完全发展后,其双向刚度可能均降为零,导致整体刚度矩阵无法维持正定,计算结果发散,这正是笔者该算例计算终止的原因。而实际结构中,单元在相应状况下仍具备一定的刚度。而且两者的误差不超过 5%,是可以接受的。

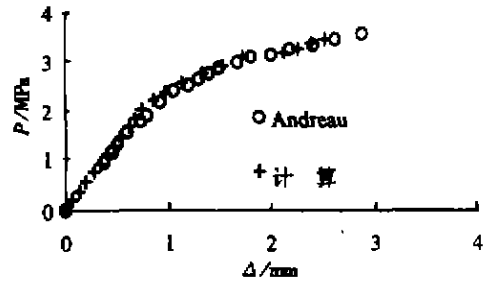


图 4 $P-\Delta$ 曲线对比图

开洞墙体的构件尺寸、单元划分情况见图 5(a), 荷载分布和裂缝分布情况见图 5(b)。其中圆圈中的数字表示裂缝出现的先后顺序,英文字母 A, B, C 分别代表砌体的剪切型破坏,拉型破坏,压型破坏。若 B, C 前加负号,则表示先发生 A 型破坏,再发生 B 或 C 型破坏。斜线表示裂缝的方向。从图 5 中可以看到,破坏类型主要为剪切型破坏,其次是拉型破坏。裂缝最早出现在洞口单元左上角和右下角的结点附近,即结点 14、16、3、9 的附近,在单元 3、6、8、12 中斜向延伸。随着荷载的增加,裂缝进一步发育,图中表现为单元 3、6、8、12 中的裂缝增多,裂缝分布区域扩大至单元 4、5、10、13、14,同时单元 1 中由于主拉应变过大,出现了接近水平的裂缝,即水平灰缝处受拉破坏,并向上蔓延至单元 6 中。破坏时结点 11 附近由于洞口的削弱作用和外荷载在此处引起的弯压剪复合作用较强,裂缝最为充分,环结点 11 的单元全部破坏,整体刚度矩阵非正定,结构破坏,与文献[4]的结果基本一致。

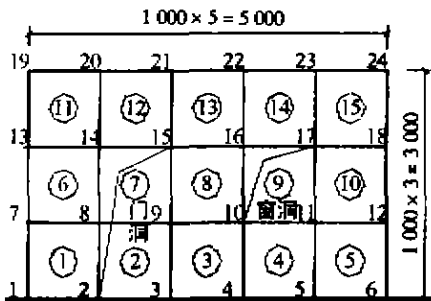


图 5(a) 构件尺寸及单元划分图

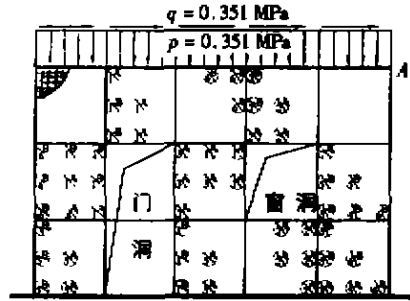


图 5(b) 荷载及单元内各高斯点裂缝分布图

笔者还选取了素墙片、两边设置构造柱的约束砌体、两边及中间均设置构造柱的约束砌体、两边及中间均设置构造柱且施加了预应力的约束砌体共四片墙进行了演算,并和相应的试验结果进行了对比,结果详见文献[5]。分析结果表明,笔者基于将砌体视为正交各向异性的连续体所采用的本构关系、破坏准则及破坏后的处理是合理的、可行的,能较好地模拟砖砌体在复合受力状态下的变形,较准确地再现砖砌体的破坏时机、破坏类型、裂缝的发展趋势等。在此基础上编制的“砖混结构非线性有限元分析程序”可用于模拟分析砖砌体结构平面内受力状况,具有一定的实用价值。

参考文献:

[1] 施楚贤. 砌体结构理论与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992
 [2] M. Dhanasekar, Peter W. Kleeman, and Adrian W. Page. Biaxial Stress-Strain Relations for Brick Masonry [J]. Journal of Structural Engineering, Vol. 111, No. 5, May, 1985. ASCE
 [3] Page, A. W. The Biaxial Compressive Strength of Brick Masonry [A]. Proceedings, Institution of Civil Engineers

(C), Part 2, Vol. 71, Sept., 1981

- [4] U. Andraus. Failure Criteria for Masonry Panels under In-Plane Loading(J). Journal of Structural Engineering, Vol. 122, No. 1, Jan. 1996. ASCE
- [5] 王珊. 约束型组合砖砌体墙的非线性模拟分析(D). 重庆: 重庆建筑大学硕士学位论文, 2000

The Nonlinear Analysis of Brick Masonry

WANG Shan, WU Jian-hua

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing University B, Chongqing 400045, China)

Abstract: On the basis of analyzing and summarizing the recent theoretical researches on constitutive models and failure criteria for brick masonry, a combination of a useful constitutive model with a reasonable failure criterion is used for describing the behavior of brick masonry under the loading in plane. A finite element program of nonlinear analysis is compiled. The predicted results are found to be in good agreement with Andraus's results.

Keywords: brick masonry; constitutive model; failure criteria

上接第5页

Urban Environmental and Urban Ecological Problems in the Sustainable Development of Chongqing City and Its Countermeasures

DOU Jun-feng¹, ZHOU Zhen-yang¹, HUANG Tian-qi²

(1. Faculty of Applied Science and Technology, Chongqing University B, Chongqing 400045, China; 2. Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University B, Chongqing 400045, China)

Abstract: The main urban environmental and urban ecological problems existing in the sustainable development of Chongqing city were introduced in this paper. Furthermore, the causes and features of these problems were analyzed. At last, some countermeasures, which would provide some scientific bases for accelerating the urban sustainable development of Chongqing city, were suggested.

Keywords: Chongqing city; sustainable development; urban environmental problem; urban ecological problem; countermeasures