

核爆地震动作用下的支承式隔震基础设计

蔡 汉, 顾强康, 陈 涛

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘 要:通过对核爆炸地震动作用下基础结构体系的动载反应的分析,设计了一种由叠层橡胶隔震器支承的隔震基础,对抵御核武器爆炸带来的破坏具有积极的意义。

关键词:核爆地震动;叠层橡胶;基础隔震

中图分类号: TU2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)02-0087-03

核武器地面爆炸或触地爆炸时,爆炸冲击波对地下岩土体的冲击将产生强烈的地震波,即核震动^[1]。空气中核爆炸时,在较近的区域空气冲击波拍击地面也会产生感生地震动。国内外大量的核效应试验资料表明^[2-4],这些地震动使防护工程内的人员和设备因结构的突然运动可能受到严重的冲击,即使结构在核爆动荷载作用下仍然保持完好,也可能发生人员致伤或设备受损的现象。这一点对于指挥、通信类工程特别重要。因此,关于工程的隔震问题已引起各国防护工程界的普遍重视,并采取了相应的隔震措施和编制了有关的抗震设计规范。

1 工程概例

某一办公用楼建筑面积 3 630 m²,地上 6 层,地下 1 层,平面尺寸 36.3 × 10 m,檐高 19.2 m,3-6 层为砖混结构,其余是钢筋混凝土框架结构。采用独立基础,地基承载力按 210 kN/m² 设计。36 个无粘结铅芯叠层橡胶隔震器置于距地下室底面 2.1 m 高的柱子处将整个上部结构托起。这些隔震器在水平方向具有良好的弹性,又有合适的阻尼,组成了对上部结构而言的“隔震层”。

隔震器材料:橡胶硬度(邵氏)43;破断硬度 20.9 Mpa;伸长率 7;30% 定伸长强度 0.9;永久变形 12%;普通碳素钢板;铅(纯度 99.99% 以上)。

2 基础隔震结构体系的动载反应分析

2.1 计算模型

工程中常用简单的力学模型^[2],如将支承在结构上的设备简化为单自由度系统来确定系统的动力反应特征。结构受地震动的冲击运动时,对于用复刚度表示的具有粘滞阻尼的单自由度结构,自由运动方程式为 $m\ddot{x} + \bar{k}x = 0$ 。式中: $\bar{k} = (1 + i\eta)k$ 为复刚度系数, $i = \sqrt{-1}$; k 为结构的静刚度系数; η 为粘滞阻尼损失系数。对于简谐振动,恢复力为 $F = kx + \eta k\sqrt{X^2 - x^2}$ 。根据上述公式,可导出具有粘滞阻尼的单自由度结构在简谐振动中一个周期所消耗的能量为 $W_D = \oint F dx = \int_0^{2\pi} (kx \pm \eta k\sqrt{X^2 - x^2}) dx = \pi X^2 \eta K$ 。而由粘滞阻尼力引起的每周期的能量耗散为 $W'_D = 4 \int_0^X cx dx = \pi c \omega X^2$ 。根据能量消耗相等的原则($W_D = W'_D$),确定粘滞阻尼的等效粘滞阻尼系数为 $c_H = \eta k / \omega$ 。从该结论可以看出,粘滞阻尼结构的单自由度振动方程写为 $m\ddot{x} + c_H \dot{x} + kx = 0$ 。式

收稿日期:2005-06-22

作者简介:蔡 汉(1980-),男,浙江鄞州人,硕士,主要从事特殊土与地基处理研究。

中： m 、 c 、 k 分别为系统的质量、阻尼、刚度矩阵； \ddot{x} 、 \dot{x} 、 x 分别为质点相对于地面运动的加速度、速度和位移列向量。计算分别在 x 、 y 方向对一榀框架及相应部分进行。采用8质点层状剪切模型图1。各质点重量及刚度列于表1。

输入 El Centro (N-S)地震波,将波的最大幅值调至 $0.4g$,相当于8度地震的加速度峰值。

2.2 分析

应用程序 PBIB (Program of Base - Isolated Buildings)对建筑物的横向和纵向进行了地震反应时程分析。本文列出有关横向分析的部分结果。

第一周期： $T = 0.592\text{ s}$ (基础固定)； $T = 2.210\text{ s}$ (基础隔震)。

结果显示,各层层间水平位移(Δx_i)与层高(h_i)之比列于表2,可以看出,所有 Δx_i 均小于 $0.112h_i\%$ 。

表1 横向模型各层重量与刚度

层数	重量/t	刚度/(10^5 N/m)
屋顶	32.4	749
6	54.5	749
5	54.5	749
4	54.5	749
3	61.3	1 153
2	53.2	1 153
1	40.0	3 560
隔震器	1.0	015

表2 层间水平位移

位置	h_i/m	$\Delta x_i/\text{mm}$
6层-屋顶	2.80	0.278
5-6层	2.80	0.629
4-6层	2.80	0.928
3-6层	2.80	1.120
2-3层	4.00	0.563
1-2层	4.00	0.579
隔震器-1	0.90	0.056

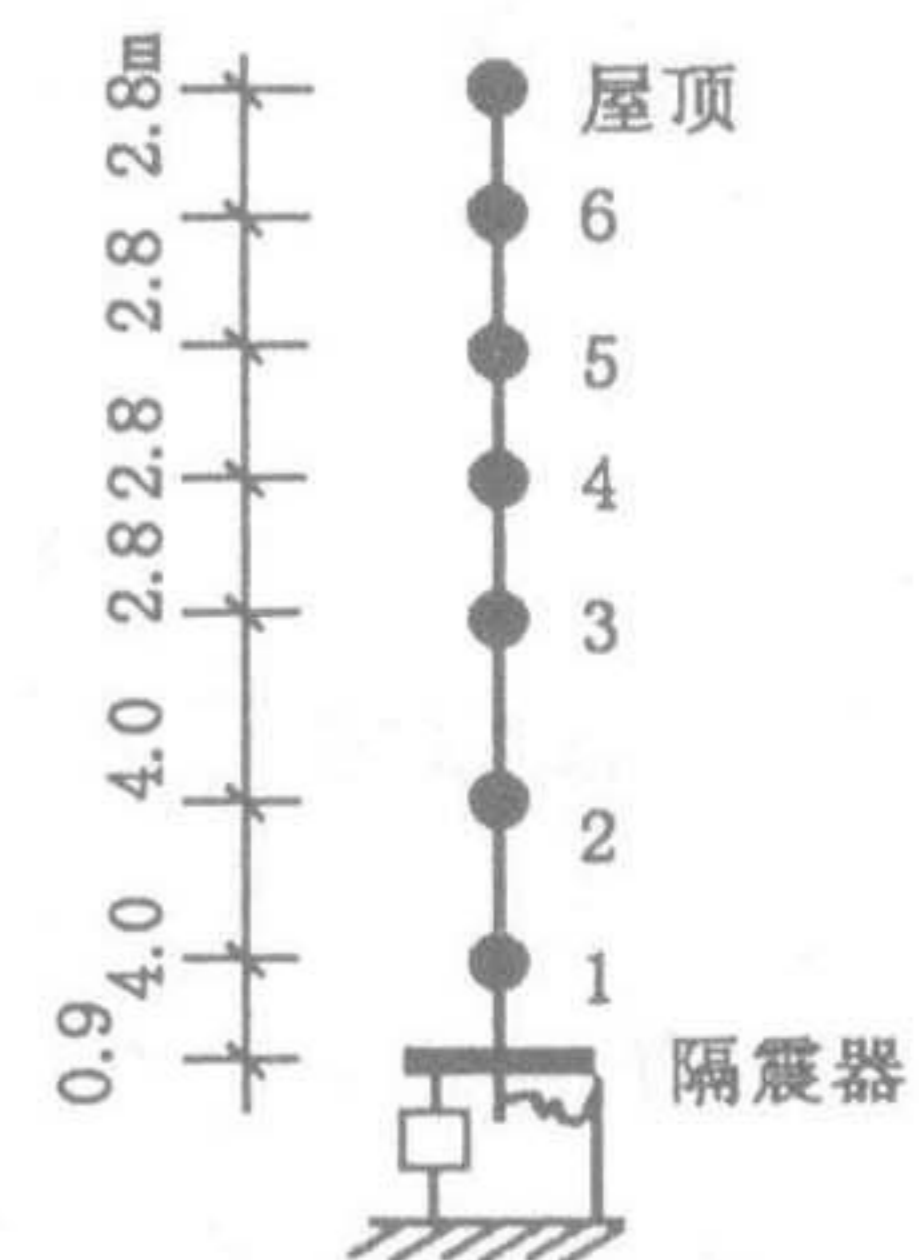


图1 计算模型

3 叠层橡胶隔震器设计

3.1 隔震器的设计

考虑到柱子的静压力分布和减小地震引起的隔震层在水平面的转动,而采用了2种型号的无粘结铅芯叠层橡胶隔震器。见图2,其中I型隔震器20个、II型隔震器16个。

2种隔震器分别设计为:I型的橡胶硬度是40,直径360 mm,层厚5 mm,共10层;钢板直径为430 mm,厚2.5 mm,共11层。II型与I型的区别在于橡胶与钢板的直径,II型橡胶直径为320 mm,钢板直径为370 mm。两种隔震器中的铅芯直径均为50 mm。

隔震器的设计是基础隔震结构设计的特殊内容,应满足以下6项内容:应能地支承建筑物;有适当的水平刚度;能适应建筑物与地基之间的相对位移;当隔震器大变形时,不发生失稳;水平刚度对压缩荷载变化的敏感性小;有满足使用要求的耐久性^[3]。

3.2 隔震器布置

设计隔震器时,不仅要注意隔震器的性能、型号,同时还要注意隔震器的布置,尽量使隔震层有较多的对称轴,以使不同类型的地震反应解耦,并减弱上部结构的扭转振动。上例办公楼的隔震器布置见图3。

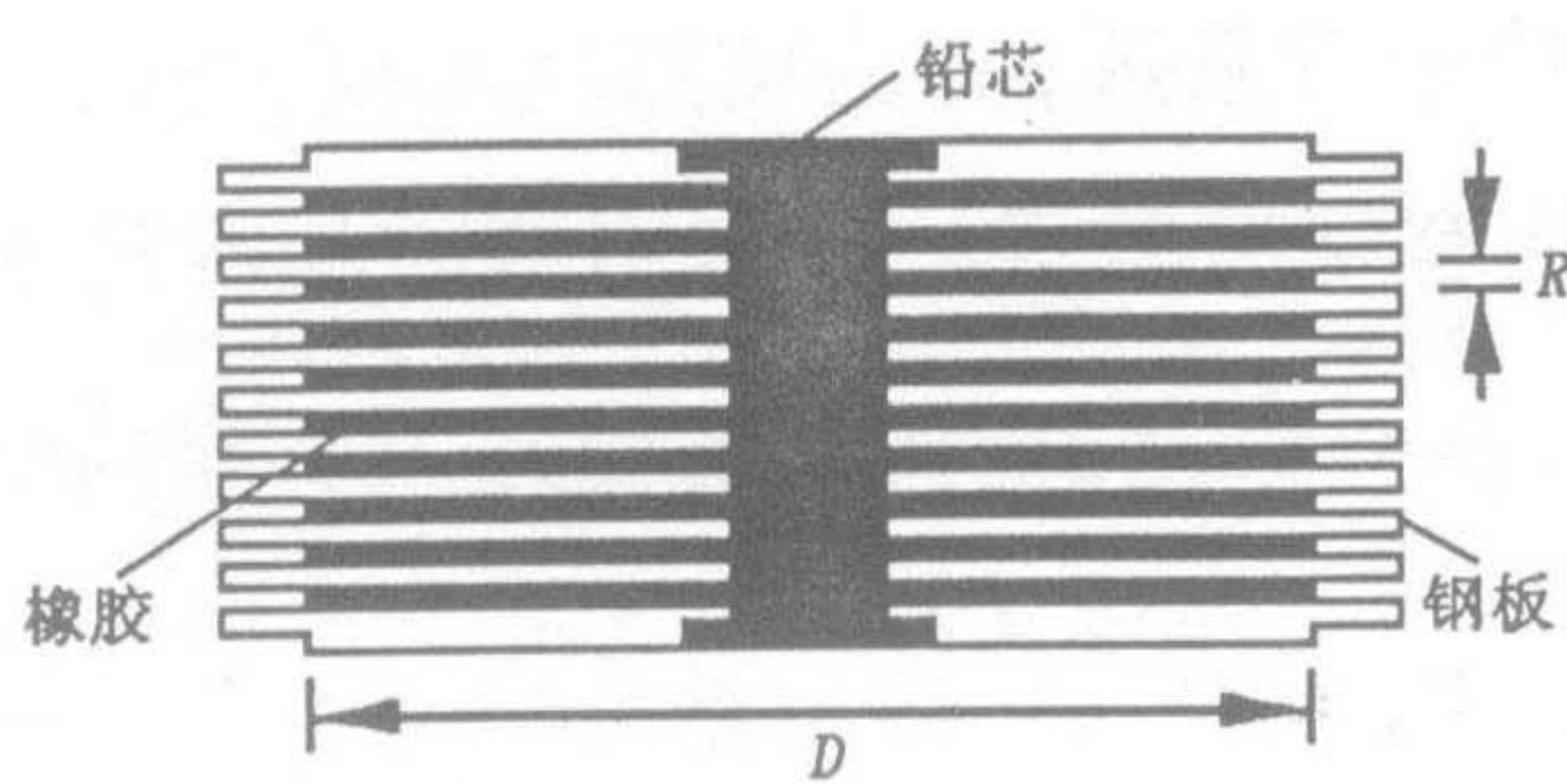


图2 隔震器构造

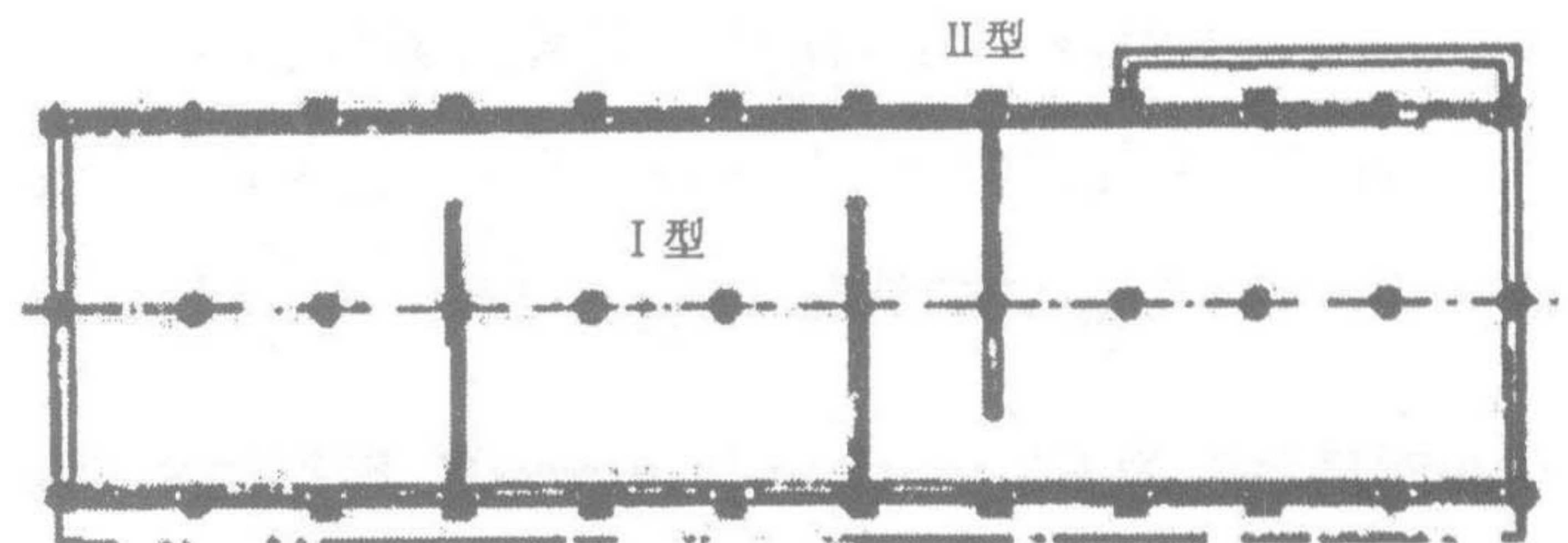


图3 隔震器平面布置

4 结束语

抗震设计应遵循保证重点,兼顾一般,安全可靠,经济合理,构造简单,安装维护方便和隔、防结合的原

则。重点工程的抗震设计,最好在核爆条件下或核地震动的条件下,对设计的隔震系统进行试验验证。

参考文献:

- [1] Constantious M C. A Simplized Analysis Procedure for Base - Isolated Structures on Flexible Foundation [J]. Eearthquake Eng&structural Dyn, 1987. 15:162 - 163.
- [2] 李国豪. 工程结构抗震动力学[M]. 上海:上海科技技术出版社, 1980.
- [3] 唐家祥,刘再华. 建筑结构基础隔震[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1993.
- [4] 许金余,赵 靖,曹定国. 防空阵地防护等级模糊综合评判[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(5):86 - 90.

(编辑:姚树峰)

Design of a Support Style of Isolation Base Acting on Nuclear Explosion Earthquake

CAI Han, GU Qiang - kang, CHEN Tao

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: This text analyzes the structure system's impact reaction acting on nuclear explosion earthquake, designs a kind of isolation base supported by the laminated rubber bearings, which has a positive meaning in resisting the breakage and destruction brought by the explosion of nuclear weapon.

Key words: nuclear explosion earthquake; laminated rubber bearings; base isolation

(上接第 86 页)

- [3] Eshelby J G. The Determination of Elastic Field of Ellipsoidal Inclusion, and Related Problems [J]. Proceeding of the Royal Society, Series A - Mathematical Physical and Engineering Science, 1957, A241:376 - 396.
- [4] England A H. Complex Variable Methods in Elasticity [M]. New York: Wiley Interscience, 1971.
- [5] Creager M, Paris P C. Elastic Field Equations for Blunt Cracks With Reference to Stress Corrosion Cracking [J]. International Journal of Fracture, 1967, 3:247 - 251.
- [6] Gong S X, Meguid S A. A General Treatment of the Elastic Field of An Elliptical Inhomogeneity Under Antiplane Shear [J]. ASME Journal Applied Mechanics, 1992, 59:131 - 135.
- [7] Thomson R D, Hancock J W. Local Stress and Strain Field Near a Spherical Elastic Inclusion in a Plastically deforming Matrix [J]. Journal of Fracture, 1984, 24:209 - 228.
- [8] 曹宗杰,高 平,孟庆迪. 三维裂纹应力强度因子的计算[J]. 空军工程学院学报, 1999, 19(1):18 - 22.
- [9] Kuang Z B, Ma F S. The Crack Tip Fields [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Publishing House, 2002.

(编辑:姚树峰)

Numerical Analysis of Blunt Crack Problems Based on the Singular Finite Element Method

CAO Zhong - jie, WANG Ming - wei, QUAN Ji - cheng

(Department of Aeronautic Mechanical Engineering, Aviation University of Air Force, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract: A new displacement model of blunt cracks is constructed by using the local solutions. The new singular element at the end of a blunt crack is obtained, the new method for calculating stress intensity factors of blunt crack problems is presented. Solutions obtained by using the present method are in agreement with the theoretical solutions. The validity of the present method is illustrated by numerical examples.

Key words: stress intensity factor; singular element; blunt crack; finite element method