

文章编号: 1006-9941(2012)03-0382-02

## PBX 衬垫巴西试验研究

庞海燕, 李明, 温茂萍, 蓝林刚

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

### 1 引言

巴西试验也称径向加载试验,此方法在圆片试样的柱面施加一对径向载荷,使受压直径产生拉应力,当圆心处的拉应力超过材料的拉伸强度时起裂破坏<sup>[1]</sup>,用此拉应力表征材料的拉伸强度。由于传统巴西试验的施力装置为刚性板,因此在加载末期试样与装置接触区域存在较大的应力集中,从而对测试结果产生重大影响。为了改善或消除应力集中的影响,Hondros<sup>[2]</sup>将平面加载板改为弧面,弧面直径与试样直径相同,建立了弧面加载的基本理论,Satoh Y<sup>[3]</sup>通过数值模拟研究了弧面角度对受压直径上应力分布的影响,以 Griffith 断裂准则计算出了中心起裂的最小加载角;王启智<sup>[4-5]</sup>等在圆形试样的对称位置设置了两个平台(平台试样),通过数值模拟分析了平台角度对受压直径上应力分布,建立了平台试样巴西试验方法。为了降低或消除刚性板加载引起的应力集中,本文在刚性板与圆形试样之间放置一块高弹性橡胶作为衬垫进行巴西试验,建立了衬垫巴西试验方法。

### 2 试验方法及试验结果

衬垫巴西试验加载装置如图 1 所示,衬垫材料为高弹性橡胶,厚 4.5 mm,宽 6 mm,沿试样轴线对称地放置,为了降低衬垫与试样之间的摩擦,可在试样或衬垫上涂抹一层石墨粉等润滑剂。在加载过程中衬垫沿样品弧面被挤压,形成了一定角度的弧面,实现了弧形加载,如图 1b 所示。

衬垫巴西试验依据式(1)计算抗拉强度<sup>[1]</sup>:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi Dt} \quad (1)$$

式中, $\sigma_t$ 为脆性材料的拉伸强度, $P$ 为集中载荷, $t$ 为试样厚度。

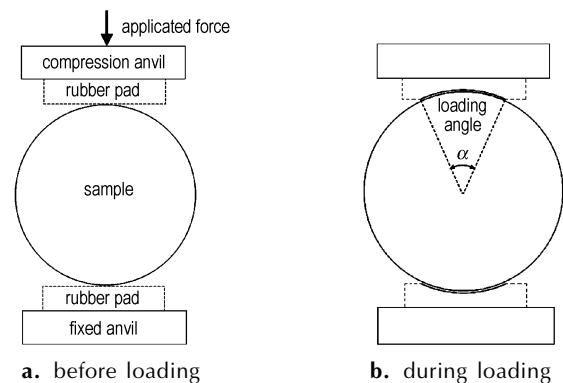


图 1 衬垫巴西试验示意图

Fig. 1 Diagram of the elastic cushion Brazilian test

PBX 试样尺寸为  $\Phi 25 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm}$ ,以  $0.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  的速度对试验进行加载,力-位移曲线如图 2 所示,以式(1)计算的拉伸强度为 5.57 MPa。

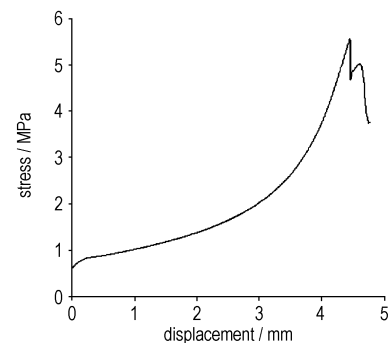


图 2 衬垫巴西试验曲线

Fig. 2 Test curve of the elastic cushion Brazilian test

### 3 衬垫巴西试验方法有效性

文献[7]给出了巴西试验力-位移曲线,如图 3 所示,呈现非线性弹性、弹性、裂纹萌生及稳定扩展、失稳扩

收稿日期: 2011-10-20; 修回日期: 2012-03-01

基金项目: 国家自然科学基金(10832003)

作者简介: 庞海燕(1976-),男,助理研究员,主要从事炸药等高分子材料力学性能测试与研究。e-mail: Panghy@caep.ac.cn

展破坏和再加载等五个阶段,最主要特点是当载荷达到低点(D点)之后还存在一个小幅爬升过程。衬垫巴西试验力-位移曲线(见图2)与图3曲线基本相似,也存在载荷低点,因此可以说明衬垫巴西试验力-位移曲线是有效曲线。

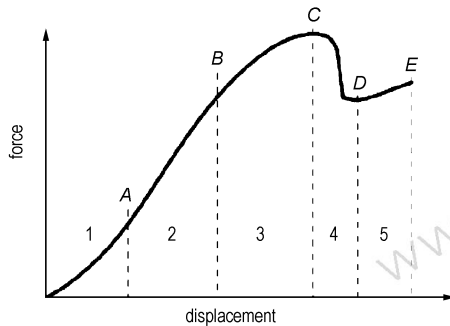


图3 有效载荷-位移曲线<sup>[7]</sup>

1—非线性弹性, 2—线弹性, 3—裂纹稳定扩展, 4—失稳扩展, 5—再加载

**Fig. 3** A typical force-displacement curve of Brazilian test  
1—nonlinear elastic, 2—linear elastic, 3—stable crack extension, 4—'unstable' crack extension, 5—stable loading of two halves

衬垫巴西试验后的破坏样品如图4所示,只有一条主裂纹,没有其它的次裂纹生成,不存在应力集中,满足巴西试验“中心最早起裂”的条件<sup>[5]</sup>。

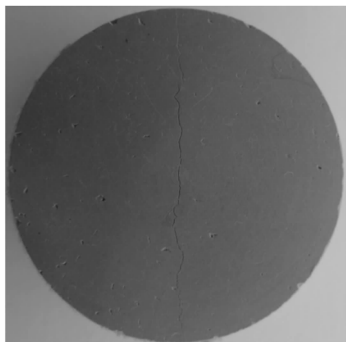


图4 衬垫巴西试验后样品的外貌

**Fig. 4** Failure sample appearance in the elastic cushion Brazilian test

传统的直接拉伸试验测得的拉伸强度值为5.50 MPa<sup>[8]</sup>,用衬垫巴西试验测得的PBX炸药的拉伸强度为5.57 MPa,两种方法测试结果基本相同。

## 4 结论

用衬垫巴西试验测得的PBX炸药间接拉伸强度值与直接拉伸强度值基本相同,力-位移曲线有效,样品从中心起裂破坏,因此,衬垫有效地降低了应力集中的影响,衬垫巴西试验方法也可以准确地表征PBX炸药的拉伸性能。该方法可以进一步拓展到岩石等脆性材料的间接拉伸试验。

### 参考文献:

- [1] Akazawa T. International association of testing and research laboratories for materials and structures[J]. *RILEM Bull*,1953,13: 13-23.
- [2] Hondros G. The evaluation of Poisson's ratio and modulus of materials of a low tensile resistance by the brazilian (indirect tensile) test with particular reference to concrete[J]. *Australian J Appl Sci*,1959,10: 243-268.
- [3] Satoh Y. Position and load of failure in Brazilian test, a numerical analysis by Griffith criterion[J]. *J Soc Mater Sci Japan*,1987,36(10): 1219-1224.
- [4] WANG Q Z, XING L. Determination of fracture toughness  $K_{Ic}$  by using the flattened Brazilian disk specimen for rocks[J]. *Eng Fract Mech*,1999,64(2): 193-201.
- [5] 王启智,贾学明. 用平台巴西圆盘试样确定脆性岩石的弹性模量、拉伸强度和断裂韧度——第一部分: 解析和数值结果[J]. *岩石力学与工程学报*,2002,21(9): 1285-1289.  
WANG Qi-zhi, JIA Xue-ming. Determination of elastic modulus, tensile strength and fracture toughness of brittle rocks by using flattened Brazilian disk specimen Part I: Analytical and numerical results[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*,2002,21(9): 1285-1289.
- [6] 王启智,吴礼舟. 用平台巴西圆盘试样确定脆性岩石的弹性模量、拉伸强度和断裂韧度——第二部分: 试验结果[J]. *岩石力学与工程学报*,2004,23(2): 199-204.  
WANG Qi-zhi, WU Li-zhou. Determination of elastic modulus, tensile strength and fracture toughness of brittle rocks by using flattened Brazilian disk specimen part II: Experimental results[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*,2004,23(2): 199-204.
- [7] Jonsén P, Häggblad H Å, Sommer K. Tensile strength and fracture energy of pressed metal powder by diametral compression test[J]. *Powder Technology*,2007,176: 148-155.
- [8] 庞海燕,李明,温茂萍,等. PBX巴西试验与直接拉伸试验的比较[J]. *火炸药学报*,2011,34(1): 42-44.  
PANG Hai-yan, LI Ming, WEN Mao-ping, et al. Comparison on the Brazilian test and tension test of the PBX[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*,2011,34(1): 42-44.

**关键词:** 高聚物粘结炸药(PBX); 衬垫巴西试验; 拉伸强度  
**中图分类号:** TJ55; O34  
**文献标识码:** A  
**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.03.025