

文章编号: 1001-4888(2013)04-0517-07

预制裂缝宽度对 HCFBD 试件 确定岩石断裂韧度的影响^{*}

张盛¹, 梁亚磊^{1,2}

(1. 河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南焦作 454001; 2. 中国平煤神马集团十矿, 河南平顶山 467000)

摘要: 为了考察人工预制裂缝宽度对确定岩石断裂韧度的影响, 采用大理岩制作了含有不同预制裂缝宽度的中心圆孔裂缝平台巴西圆盘试件(hole-cracked flattened Brazilian disc, HCFBD), 在 RMT150B 试验机上进行试验, 对不同预制裂缝宽度圆盘的应力强度因子进行有限元计算, 并对测试方法进行了研究。结果表明, 采用将预制裂缝宽度视作零宽度裂缝方法确定的断裂韧度值偏低, 给出了一种采用最小载荷和最大无量纲应力强度因子确定岩石断裂韧度的新方法, 该方法能够消除预制裂缝宽度对圆盘试件测定岩石断裂韧度的影响。

关键词: 预制裂缝宽度; 岩石断裂韧度; 中心圆孔裂缝平台巴西圆盘; 最大无量纲应力强度因子

中图分类号: TD313; O346.4

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-12-166

0 引言

岩石断裂韧度表征岩石抵抗裂纹扩展的能力, 可用来分析矿井钻探、爆破等工程所遇到的岩石破裂问题^[1,2]。目前, 岩石断裂韧度的研究以 I 型(张开型)断裂为主^[3,4]。国际岩石力学协会于 1988 年^[5]和 1995 年^[6]推荐了三种测试岩石断裂韧度的试件。其中, 1995 年推荐的人字形切槽巴西圆盘试件(cracked chevron notched Brazilian disc, CCNBD)具有体积小、加载方便、对试验设备要求不高等优点, 得到了广泛应用。但是 CCNBD 试件构形复杂, 不能按平面问题进行分析, 其断裂韧度公式中 $Y_{\min}$ 值的准确标定非常不易, 贾学明^[7]、戴峰^[8]、樊鸿^[9]等人先后进行了大量的标定工作, 而关于此类工作仍在进行中。戴峰^[8]最先通过三维边界元分析的方法, 考虑切槽宽度对 CCNBD 试件最小无量纲应力强度因子 $Y_{\min}$ 标定值的影响, 得出切槽宽度越大, $Y_{\min}$ 的标定值就越大的结论。

针对 CCNBD 复杂的三维构形 $Y_{\min}$ 值不易标定的问题, 一些构形相对简单并能够简化为平面问题的直裂缝圆盘试件被用来测试岩石的断裂韧度^[10-12], 如中心裂缝圆盘试件(cracked straight-through Brazilian disc, CSTBD)^[10]和中心圆孔裂缝平台圆盘试件(holed-cracked flattened Brazilian disc, HCFBD)^[10-12]。但是, 在岩石上预制裂缝宽度小于 1mm 的直裂缝是有很难度的, 而预制裂缝宽度对测试值的影响目前缺乏足够的研究。陈勉^[13,14]等人对中心受水压的带孔裂缝试件裂缝宽度的影响进行研究指出, 当人工制作裂缝宽度大于 0.8mm 以上时, 试验所测得的岩石断裂韧度值将带来极大的误差, 建议尽量减小预制裂缝的宽度。董世明^[15]采用有限元方法对承受复合加载情况下不同裂缝宽度和中心孔径 CSTBD 试件的应力强度因子规律进行了研究, 对试件相对于理想中心裂纹圆盘试件应力强度

^{*} 收稿日期: 2012-11-19; 修订日期: 2013-01-05

基金项目: 国家自然科学基金(51004043), 河南理工大学博士基金(B2008-66648270)资助

通讯作者: 张盛(1976—), 男, 博士, 副教授, 主要从事岩石力学与工程及巷道围岩控制方面的研究。E-mail: zsroy2002@163.com

因子的解析值从理论上进行了一些完善。显然,深入研究人工预制裂缝宽度的影响,对采用直裂缝圆盘试件准确测试岩石 I 型断裂韧度具有重要的意义。

鉴于此,本文采用大理岩制作了 HCFBD 圆盘试件,对其进行径向加载试验和有限元计算,分析了预制裂缝宽度对 HCFBD 试件测试岩石断裂韧度的影响。

1 HCFBD 试件的测试方法和原理

HCFBD 试件加载及裂纹起裂前后试件参数如图 1 所示。图 1 中,试件所受均布压力为 P ,圆盘平台加载角为 2β ,圆盘半径为 R ,圆盘厚度为 t ,圆盘中心孔半径为 r ,人工预制裂缝宽度为 $2b$,人工预制裂缝长度为 $2a_0$ 。图 1(a)为 HCFBD 试件受压力 P 作用前,圆盘试件不存在扩展裂纹,只有预制裂纹存在;图 1(b)为当压力 P 径向作用后,沿加载直径 AB 方向人工预制裂缝尖端处引起高度的应力集中,随着加载载荷的增大,裂纹首先在具有一定宽度的裂缝尖端应力集中处萌生,进而沿加载直径 AB 方向对称扩展过程中的一个形式。

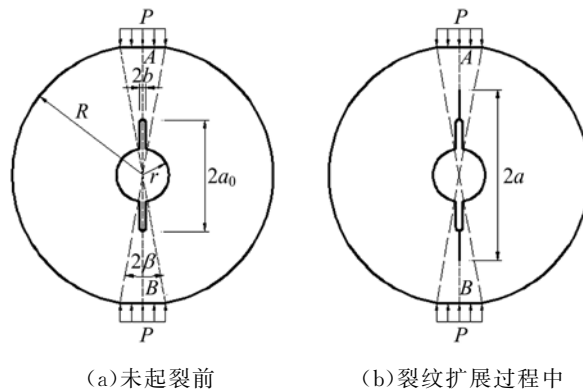


图 1 HCFBD 试件加载及裂纹扩展前后参数图

Fig. 1 Loading mode and parameters of HCFBD specimen before and after fracture process

当不考虑预制裂缝宽度的影响时,HCFBD 试件受载起裂后裂纹前缘应力强度因子 K_I 可表示为:

$$K_I = \frac{P}{\sqrt{Rt}} Y \left[\beta, \alpha_0, \frac{r}{R} \right] \quad (1)$$

式中, Y 为无量纲应力强度因子,与圆盘试件的几何构形相关; $\alpha_0 = a_0/R$ 为无量纲裂缝长度。基于断裂力学原理,当裂纹前缘应力强度因子达到某个临界值时,裂纹将发生扩展,此时对应的应力强度因子临界值称为断裂韧度 K_{IC} ,即 $K_I = K_{IC}$ 。如果已知受载材料裂纹扩展过程中的任何载荷 P 与其对应的裂纹长度标定无量纲应力强度因子,可由式(1)计算得出岩石断裂韧度。

当人工预制裂缝宽度足够小时,通常我们采用峰值载荷与人工预制裂缝长度所对应的无量纲应力强度因子通过式(1)直接计算岩石的断裂韧度。但是,当人工预制裂缝宽度较大时,将裂缝的宽度假定为理想的零宽度裂纹,会给测试值带来较大的误差。因此,如何在裂纹扩展过程中,确定一定载荷及其对应的已扩展裂纹的无量纲应力强度因子成为考虑裂纹宽度影响的关键所在。由于 HCFBD 试件随着人工预制裂缝尖端裂纹的扩展,裂纹的无量纲应力强度因子将会经历一个上升、达到最大值、再次下降的过程,而最大无量纲应力强度因子 Y_{max} 正好对应于加载曲线上局部最小载荷 P_{min} (临界裂纹长度与之对应)^[9]。因此,对于预制裂缝宽度不能忽略的 HCFBD 试件,能够采用局部最小载荷 P_{min} 和最大无量纲应力强度因子 Y_{max} 确定岩石的断裂韧度 K_{IC} ,见公式(2)。

$$K_{IC} = \frac{P_{min}}{\sqrt{Rt}} Y_{max} \left[\beta, \alpha_0, \alpha_b, \frac{r}{R} \right] \quad (2)$$

式中, $\alpha_b = b/R$ 表示为无量纲裂缝宽度;局部最小载荷 P_{min} 可以通过试验获得,通常为首个峰值载荷之后出现的最小载荷;最大无量纲应力强度因子 Y_{max} 与圆盘试件的几何构形有关,因此, Y_{max} 考虑了试件预制裂缝宽度的影响。

2 含有人工预制裂缝的 HCFBD 试件的制备

试件材料选用白色大理岩,采自河南南阳,该岩石属粉晶变晶结构,晶粒在 0.1~0.3mm 之间,其主要矿物成分为方解石、白云石和菱镁矿,泊松比为 0.3,杨氏弹性模量为 7.5GPa,密度为 2.71g/cm³。

试件在制作时,先将均质的料石制作成直径为 84.4mm 的圆柱体,并切割成厚度为 30mm 的巴西圆盘岩样,然后经过中心钻孔、端面磨平、人工制缝、平台制作四个步骤,见图 2 所示。首先,使用带有直径为 15mm 钻头的 C260 型车床对圆盘试件进行中心钻孔;其次,采用 SHM-200B 双端面磨石机将圆盘试件两端面磨平,保证试件两端面平行度偏差不大于 0.02mm;然后,利用不同打磨厚度锯条对圆盘试件人工制缝,同时,为了消除人工预制裂缝尖端处的影响,使用细钢丝将裂缝尖端细加工为圆弧状;最后,再由 SHM-200B 双端面磨石机完成圆盘试件的平台制作。

加工的试件见图 3 所示。HCFBD 试件中心孔半径 $r=7.9\text{mm}$,平台加载角 $2\beta=20^\circ$,无量纲裂缝长度 $\alpha_0=0.4$,预制裂缝宽度分别为 $2b=0.55\text{mm}$ 、 0.64mm 、 1.08mm 、 1.3mm 、 1.42mm 、 1.94mm 、 2.02mm 。

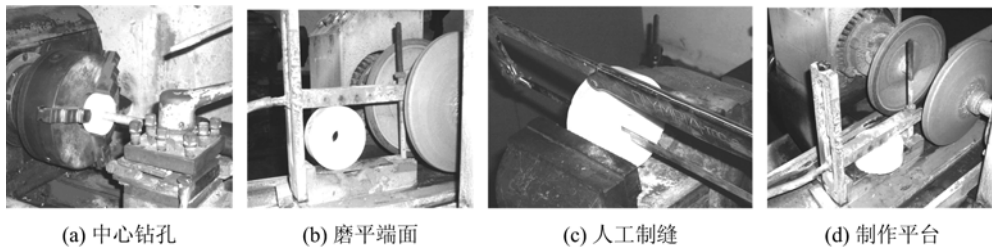


图 2 HCFBD 试件的制备过程

Fig. 2 Preparation process of HCFBD specimens

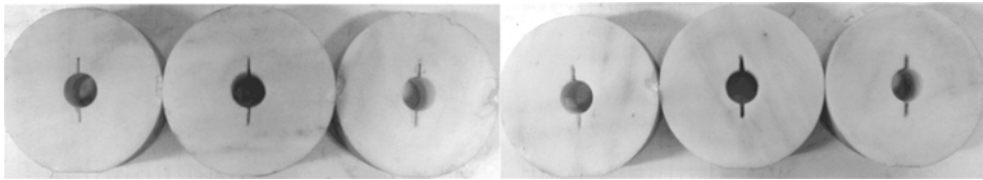


图 3 不同预制裂缝宽度 HCFBD 试件

Fig. 3 HCFBD specimens having different prefabricated crack width

3 最大无量纲应力强度因子 $Y_{\max}$ 的标定

对 HCFBD 圆盘试件进行最大无量纲应力强度因子的标定时,对一定人工预制裂缝宽度和长度条件下,不同虚拟裂纹长度的试件进行无量纲应力强度因子进行了计算。采用 ANSYS 有限元软件,对 HCFBD 试件圆盘直径 $R=42.2\text{mm}$,中心孔半径 $r=7.9\text{mm}$,平台加载角 $2\beta=20^\circ$,无量纲裂缝长度为 $\alpha_0=0.4$,含有不同预制裂缝宽度的试件进行最大无量纲应力强度因子的标定。有限元标定值和曲线拟合的结果如图 4 所示,公式(3)给出了具有不同裂缝宽度的 HCFBD 试件对应的最大无量纲应力强度因子的关系。

$$Y_{\max} = -100.82\alpha_B^3 + 9.5\alpha_B^2 + 0.0246\alpha_B + 1.005 \quad (3)$$

通过图 4 中的 $Y_{\max}$ 标定值可以看出,随着 HCFBD 试件人工预制裂缝宽度的增加,最大无量纲应力强度因子 $Y_{\max}$ 逐渐增大。因此,在一个试件承受载荷已确定的情况下,如果忽略预制裂缝宽度的影响,必然导致 $Y_{\max}$ 值偏小,使得由公式(2)确定的岩石断裂韧度的测试值偏小。

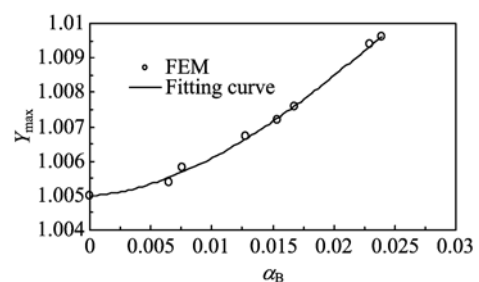


图 4 具有不同裂缝宽度的 HCFBD 试件对应的最大无量纲应力强度因子

Fig. 4 Maximum dimensionless stress intensity factors of HCFBD specimen having different prefabricated crack width

4 HCFBD 圆盘试件的加载曲线

HCFBD 试件加载试验是在河南理工大学能源学院的 RMT-150B 型岩石力学试验机上进行的,采用 0.0005mm/s 的位移加载速率对圆盘试件进行径向劈裂加载试验,加载中的圆盘试件如图 5 所示。

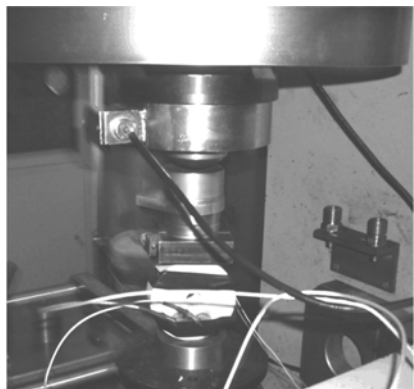


图 5 HCFBD 试件的加载装置

Fig. 5 Loading system of HCFBD specimen

圆盘试件的载荷—加载点位移曲线与其裂纹扩展及破坏形式是密切相关的。在劈裂试验测试岩石 I 型断裂韧度的过程中,出现了三种典型的载荷—加载点位移曲线,如图 6 所示。

图 6(a)的第一个峰值前一段,加载点载荷与位移基本呈线性关系,但是当载荷达到首个峰值 $P_{\max}^1$ 时,由于应力集中,人工裂缝尖端积聚的能量突然释放,尖端发生起裂,裂纹由内向外沿加载直径方向迅速扩展,加载载荷急剧下降;当加载载荷到达至局部最小载荷 $P_{\min}$ 时,裂纹扩展至临界裂纹长度,此时的 $P_{\min}$ 是确定岩石断裂韧度的关键;随着加载载荷继续增加,裂纹扩展至圆盘试件加载平台;当加载载荷到达第二个峰值时,圆盘试件纵向变形使其横向外侧达到极限,圆盘试件横向两侧破裂,裂纹由外向内迅速扩展,最终破坏成四部分。这种情况下,裂缝不能作为无宽度裂纹来处理,裂缝可以被看作是切槽,与中心圆孔圆盘的载荷曲线相似。该类圆盘试件应该采用公式(2)进行岩石断裂韧度的确定。

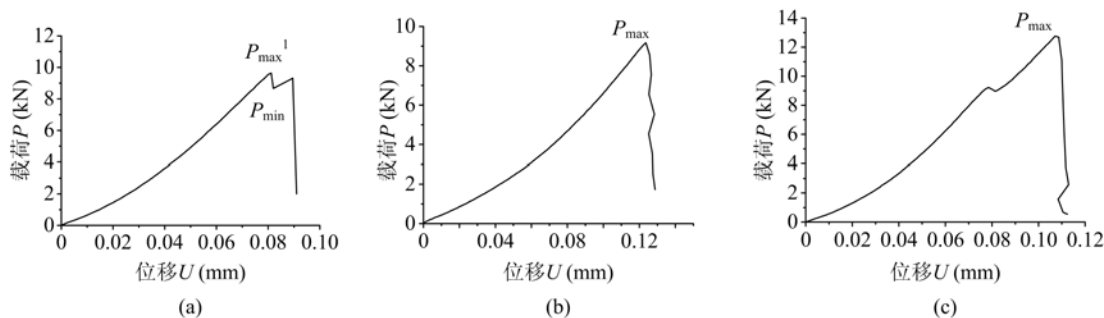
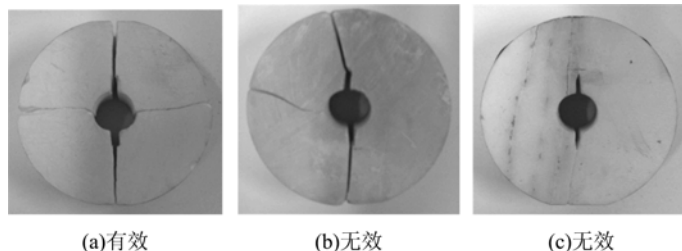


图 6 HCFBD 试件的载荷与位移曲线图

Fig. 6 The loading and displacement curve of HCFBD specimen

图 6(b)对应裂缝宽度较小的情况,此时裂缝接近理想裂纹,尖端起裂后迅速扩展,引起裂纹贯穿试件发生完全破坏,这种情况只有一个峰值载荷 $P_{\max}$,无局部最小载荷 $P_{\min}$,采用公式(1)进行岩石断裂韧度的确定。图 6(c)出现的载荷曲线多与试件加工质量差以及具有天然缺陷造成试件在加载过程中出现偏心破坏有关,该类曲线属于无效试验曲线,不可取。



(a)有效

(b)无效

(c)无效

图 7 HCFBD 试件的破坏形式

Fig. 7 Fracture modes of HCFBD specimens

试验的有效性判断需要结合载荷加载曲线和 HCFBD 试件的破坏形式来进行。试件的破坏如图 7 所示。有效试验破坏的试件裂纹沿着预制裂缝方向扩展,如图 7(a)所示,无效试验的破坏裂纹偏离于

人工预制裂缝方向,如图 7(b)、(c)所示。

5 岩石断裂韧度测试结果分析

在测定岩石的断裂韧度时,尽量使得人工预制裂缝宽度小于 1mm,并将裂尖进行细化加工。此时,预制裂缝作为理想裂纹来处理,裂纹的长度就是人工裂缝的长度,所对应的载荷为试件加载的第一峰值载荷。由第一峰值载荷结合理想裂纹数值计算结果确定岩石断裂韧度,见公式(1)。但是,通过前面对 HCFBD 试件的载荷与位移曲线图的分析,我们不难得出,公式(1)仅仅适用于裂缝宽度较小的情形(预制裂缝宽度小于 0.64mm),当预制裂缝宽度大于 1mm 时,载荷位移曲线出现了二次倒拐现象。根据前面的分析,必须考虑裂缝宽度的影响,通过劈裂试验得到 HCFBD 试件的有效 $P_{\min}$ 值,结合有限元 AN-SYS 标定的 $Y_{\max}$ 的值,采用公式(2)计算岩石的断裂韧度测试值。

表 1 为试验采用的圆盘试件尺寸及两种方法测得的关键载荷和无量纲应力强度因子以及测得的断裂韧度值。其中,试件编号“M”表示采用的岩石是大理岩,“a”和“g”表示具有不同裂缝宽度类型的试件,数字“1”表示该种类型的第“1”个试件数。

表 1 HCFBD 试件尺寸及试验测试数据

Tab.1 Geometry size and experiment values of HCFBD specimens

试件 编号	试件尺寸					公式(1)			公式(2)		
	R (mm)	r (mm)	t (mm)	a_0	a_B	$P_{\max}^1$ (kN)	Y	$K_{IC}^{(1)}$ (MPa · m ^{1/2})	$P_{\min}$ (kN)	$Y_{\max}$	$K_{IC}^{(2)}$ (MPa · m ^{1/2})
M-a1	42.2	7.9	30.58	0.4	0.0065	13.33	0.631	1.339	—	1.0054	—
M-a2	42.2	7.9	33.92	0.4	0.0065	14.27	0.631	1.292	—	1.0054	—
M-b1	42.2	7.9	33.78	0.4	0.0076	13.56	0.631	1.233	—	1.0058	—
M-c1	42.2	7.9	35.34	0.4	0.0128	11.93	0.631	1.037	10.06	1.0067	1.396
M-d1	42.2	7.9	28.94	0.4	0.0154	9.14	0.631	0.970	8.75	1.0072	1.482
M-e1	42.2	7.9	33.14	0.4	0.0168	11.56	0.631	1.072	10.81	1.0076	1.600
M-f1	42.2	7.9	31.66	0.4	0.0230	11.53	0.631	1.118	9.41	1.0094	1.460
M-g1	42.2	7.9	36.22	0.4	0.0239	10.26	0.631	0.870	9.57	1.0096	1.299

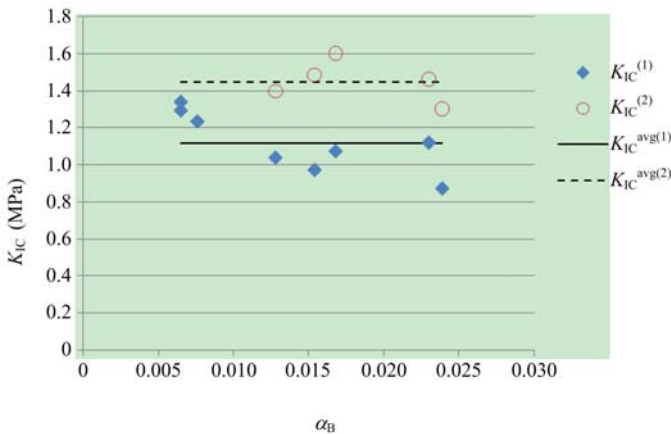


图 8 两种方法确定的不同预制裂缝宽度圆盘试件测试的岩石断裂韧度值

Fig. 8 Rock fracture toughness determined with disc specimen having different prefabricated crack width by two methods

由公式(1)和公式(2)确定的岩石断裂韧度值和其平均值如图 8 所示。图 8 中横坐标 α_B 表示无量纲裂缝宽度,纵坐标 K_{IC} 表示由公式(1)和公式(2)通过试验计算的岩石断裂韧度值和平均断裂韧度值。图 8 中, $K_{IC}^{(1)}$ 表示采用公式(1)计算的断裂韧度值; $K_{IC}^{(2)}$ 表示采用公式(2)计算的断裂韧度值; $K_{IC}^{avg(1)}$ 表示采用公式(1)计算的断裂韧度平均值; $K_{IC}^{avg(2)}$ 表示采用公式(2)测得的断裂韧度平均值。

由图 8 可以看出,采用公式(1)测试得到的平均断裂韧度值为 $1.116\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,最大断裂韧度值为 $1.339\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,最小断裂韧度值为 $0.87\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。采用公式(2),考虑不同裂缝宽度影响的计算方法,平均断裂韧度值为 $1.447\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,最大断裂韧度值为 $1.60\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,最小断裂韧度值为 $1.299\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。由测试结果容易得出,当试件裂缝宽度一定时, $K_{\text{IC}}^{(1)} > K_{\text{IC}}^{(2)}$, $K_{\text{IC}}^{\text{avg}(1)} > K_{\text{IC}}^{\text{avg}(2)}$ 。因此,如果将人工制作裂缝宽度作为理想裂纹处理时,会造成岩石断裂韧度的测试值偏低。尤其当人工预制裂缝宽度大于 0.64mm 时,公式(1)计算的比公式(2)计算的偏小 35% ,且数据较为离散。在 HCFBD 试件制作时,建议预制裂缝的宽度最大不宜超过 2mm ,因为裂缝宽度的增加会钝化裂纹的集中程度,增加试验数据的离散型。

6 结 论

对含有人工预制裂缝宽度 $0.55\text{mm} \sim 2.02\text{mm}$ 的 HCFBD 试件,在有限元分析及试件径向加载载荷曲线和破裂形式研究的基础上,采用两种不同的公式计算岩石断裂韧度的测试值,研究结果表明:

(1) 对于本文所采用的 HCFBD 圆盘试件,预制裂缝宽度小于 0.64mm 时,采用公式(1)确定岩石的断裂韧度是合理的。采用公式(1)时,为了避免预制裂缝宽度的影响,要尽可能地将试件的预制裂缝宽度加工到 1mm 以下。

(2) 有限元数值分析表明,随着人工预制裂缝宽度的增加,HCFBD 试件的最大无量纲应力强度因子 Y_{max} 随之增大,见图 1 和公式(3)。当对 HCFBD 试件进行径向加载试验时,如果载荷位移曲线出现二次倒拐现象,此时不能将预制裂缝作为理想裂纹处理,应采用公式(2)进行岩石断裂韧度的确定。

(3) 将有一定宽度的人工预制裂缝作为理想裂纹确定的岩石断裂韧度值比实际值偏低,本文提出的公式(2)采用最小载荷和最大无量纲应力强度因子确定岩石断裂韧度的方法,弥补了公式(1)不能考虑预制裂缝宽度影响的不足。

参考文献:

- [1] 唐辉明 等. 岩体断裂力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993 (TANG Huiming, et al. Rock fracture mechanics[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993 (in Chinese))
- [2] 黎振兹, 张静宜, 刘大安. 断裂力学及断裂物理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003 (LI Zhenci, ZHANG Jingyi, LIU Da'an. Fracture mechanics and fracture physics[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2003 (in Chinese))
- [3] 张盛, 李小军, 李大伟. 岩石 I 型断裂韧度测试技术和理论研究综述[J]. 河南理工大学学报, 2009, 28(1): 33—38 (ZHANG Sheng, LI Xiaojun, LI Dawei. A review of test technique and theory of mode I rock fracture toughness[J]. Journal of Henan Polytechnic University(Natural Science), 2009, 28(1): 33—38 (in Chinese))
- [4] 崔振东, 刘大安, 安光明, 周苗. 岩石 I 型断裂韧度测试方法研究进展[J]. 测试技术学报, 2009, 2(3): 189—196 (CUI Zhendong, LIU Daan, AN Guangming, ZHOU Miao. Research progress in mode-I fracture toughness testing methods for rocks[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2009, 2(3): 189—196 (in Chinese))
- [5] ISRM Testing Commission, (co-ordinator: F. Ouchterlony). Suggested methods for determining the fracture toughness of rock[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1988, 25: 71—96.
- [6] ISRM Testing Commission, (co-ordinator: R. J. Fowell). Suggested method for determining mode I fracture toughness using cracked chevron notched Brazilian disc (CCNBD) specimens [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1995, 32: 57—64.
- [7] 贾学明, 王启智. 断裂韧度试件 CCNBD 宽范围应力强度因子标定[J]. 岩土力学, 2003, 21(6): 907—912 (JIA Xueming, WANG Qizhi. Wide range calibration of the stress intensity factor for the fracture toughness specimen CCNBD[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 21(6): 907—912 (in Chinese))
- [8] 戴峰, 王启智. 有限宽切槽对 CCNBD 断裂试件应力强度因子的影响[J]. 岩土力学, 2004, 25(3): 427—431 (DAI Feng, WANG Qizhi. Effects of finite notch width on stress intensity factor for CCNBD specimen[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(3): 427—431 (in Chinese))

- [9] 樊鸿, 张盛, 苟小平, 王启智. 岩石断裂韧度试件 CCNBD 临界应力强度因子的全新数值标定[J]. 应用力学学报, 2011, 28(4): 416—422 (FAN Hong, ZHANG Sheng, GOU Xiaoping, WANG Qizhi. A completely new numerical calibration of the critical stress intensity factor for the rock fracture toughness specimen CCNBD[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2011, 28(4): 416—422 (in Chinese))
- [10] 张盛, 王启智. 用五种圆盘试件的劈裂试验确定岩石断裂韧度[J]. 岩土力学, 2009, 30(1): 12—18 (ZHANG Sheng, WANG Qizhi. Determination of rock fracture toughness by split test using five types of disc specimen[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(1): 12—18 (in Chinese))
- [11] Fischer M P, Elsworth D, Alley R B, Engelder T. Finite element analysis of the modified ring test for determining mode I fracture toughness[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1996, 33(1): 1—15.
- [12] 张盛, 王启智. 采用中心圆孔裂缝平台圆盘确定岩石的动态断裂韧度[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(6): 723—728 (ZHANG Sheng, WANG Qizhi. Method for determination of dynamic fracture toughness of rock using holed-cracked flattened disk specimen[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(6): 723—728 (in Chinese))
- [13] 张广清, 陈勉, 杨小远. 裂纹宽度对岩石断裂韧性测试结果的影响[J]. 石油大学学报, 2002, 26(6): 42—45 (ZHANG Guangqing, CHEN Mian, YANG Xiaoyuan. Influence of fracture width on rock toughness measurement [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2002, 26(6): 42—45 (in Chinese))
- [14] Chen M, Zhang G Q. Laboratory measurement and interpretation of the fracture toughness of formation rocks at great depth[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004, 41: 221—231.
- [15] 董世明, 方美彦, 夏源明. 中心裂纹圆盘裂纹形状尺寸对应力强度因子的影响[J]. 中国科学技术大学学报, 2004, 34(4): 449—455 (DONG Shiming, FANG Meiyuan, XIA Yuanming. Effect of crack shape and size on stress intensity factors of central cracked circular disk[J]. Journal of University of Science And Technology of China, 2004, 34(4): 449—455 (in Chinese))
- [16] 潘鹏志, 丁梧秀, 冯夏庭 等. 预制裂纹几何与材料属性对岩石裂纹扩展的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(9): 1882—1889 (PAN Pengzhi, DING Wuxiu, FENG Xiating, et al. Research on influence of pre-existing crack geometrical and material properties on crack propagation in rocks[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(9): 1882—1889 (in Chinese))

Influence of Prefabricated Crack Width on Determining Rock Fracture Toughness for Hole-cracked flattened Brazilian Disc

ZHANG Sheng¹, LIANG Ya-lei^{1,2}

(1. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454001, China;

2. China Pingmei Shenma Group No. 10 Coal Mine, Pingdingshan, Henan 467000, China)

Abstract: In order to investigate the influence of prefabricated crack width on determining rock fracture toughness accurately, some marble specimen of hole-cracked flattened Brazilian disc (HCFBD) with different prefabricated crack widths were prepared. Loading experiments were accomplished on test machine RMT150B. Stress intensity factor of disc specimens with different prefabricated crack widths was calibrated by finite element method, and the test methods were also studied. Results show that the tested fracture toughness values were low, when regarding the prefabricated crack width as zero-width crack. A new method to determine rock fracture toughness is presented in this paper, which adopts the minimum load and the maximum dimensionless stress intensity factor. This method can eliminate the influence of prefabricated crack width on the determining rock fracture toughness of disc specimen.

Keywords: prefabricated crack width; rock fracture toughness; hole-cracked flattened brazilian disc (HCFBD); maximum dimensionless stress intensity factor