

文章编号: 1001-4888(2024)01-0034-09

II 型断裂韧度测试功能开发与试验分析^{*}

卓莉, 裴建良, 刘怀忠, 肖明砾, 谢红强

(四川大学 水利水电学院, 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川成都 610065)

摘要: 断裂韧度作为岩石的重要力学指标, 对认识压剪破坏规律具有重要意义。为解决现有设备缺乏围压冲剪试验(PTS/CP)测试功能的问题, 本文基于 II 型断裂韧度测试方法进行试验装置开发, 在现有设备上实现了 PTS/CP 测试功能, 并通过青砂岩的 PTS/CP 试验验证了开发装置的可靠性。青砂岩 PTS/CP 试验结果表明, 在围压侧向约束条件下岩石试样可获得较理想的冲剪破坏面, 且随着围压的增大, II 型断裂韧度 K_{IIc} 先增大后趋于稳定; 通过 PTS/CP 试验所获得的青砂岩 K_{IIc} 与其单轴抗拉强度、I 型断裂韧度指标之间的关系符合常规认识, 说明了 PTS/CP 测试功能的合理性和装置的可操作性。PTS/CP 测试功能的开发可为岩石及类似工程材料的相关教学和科研工作提供试验支撑。

关键词: 围压冲剪试验; 测试功能开发; II 型断裂韧度; 压剪破坏

中图分类号: TU45 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-23-055

0 引言

岩体作为基础建设中常见的一类复杂工程介质, 其力学特性直接影响, 甚至决定着工程的稳定安全^[1-2]。在外部荷载作用下, 岩体的破坏主要是由于岩体裂纹尖端应力集中, 导致裂纹开裂、扩展到贯通所造成的, 岩石力学特性研究中一般采用岩石断裂韧度来表征岩石材料抵抗裂纹扩展引起断裂的能力, 断裂韧度也是岩石断裂学科的主要研究对象。自然界中的大部分岩体都处于受压状态, 压剪破坏是岩体材料破坏的主要形式^[3-4], 对岩石压剪断裂的研究有助于对脆性材料压剪破坏规律的认识, 因此压剪断裂受到国内外岩石力学工作者的普遍关注, 在理论与工程实际应用中都有着不可替代的作用^[1,5]。

目前对于脆性材料压剪断裂韧度即 II 型断裂韧度的测试, 研究人员已提出多种不同的试验方法来开展相关研究^[6-7], 但大部分研究都是基于纯剪切或拉剪复合条件的断裂试验来开展的, 对压剪条件下的岩石断裂特性研究相对较少。2012 年国际岩石力学学会(ISRM)建议采用 BACKERS 和 STEPHANSSON^[8]提出的围压冲剪试验方法(The Punch-Through Shear with Confining Pressure, 简称 PTS/CP 试验)来确定 II 型断裂韧度 K_{IIc} , 这也是 ISRM 建议的首个关于 II 型断裂韧度的测试方法, 对研究岩石的压剪破坏特性具有重要意义。

本研究针对 ISRM 建议的 II 型断裂韧度测试方法, 在已有岩石力学试验机的基础上开展 PTS/CP 试验测试功能的开发工作, 以实现采用围压冲剪试验对岩石 II 型断裂韧度的测定, 并通过青砂岩的 PTS/CP 试验, 研究围压对岩石 II 型断裂韧度 K_{IIc} 的影响。

^{*} 收稿日期: 2023-03-22; 修回日期: 2023-06-20

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(52109135); 2020 年四川大学实验技术立项(项目编号: SCU202011)

通信作者: 裴建良(1976—), 男, 博士, 讲师。主要研究方向: 岩石力学理论、试验与岩土工程应用。Email: peijl@scu.edu.cn

1 PTS/CP 试验方法

PTS/CP 试验要求岩石试样的几何形状为圆柱形,在圆柱形试样的 2 个端面上钻磨不同深度的切槽用作无摩擦初始裂缝,试样形状如图 1 所示。试验时圆柱形试样在如图 2 所示的加载外力条件下,可获得岩石试件在不同围压水平下的轴向荷载位移和应力规律。

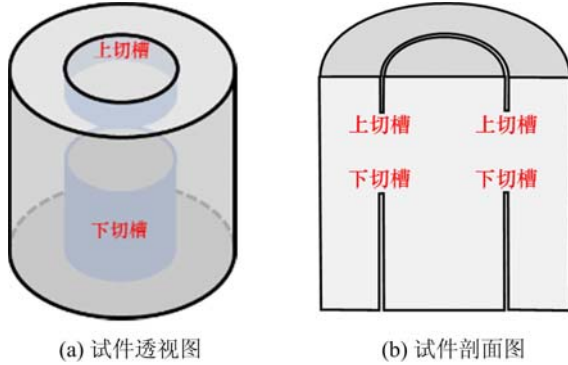


图 1 试样示意图

Fig. 1 Schematic diagram of rock specimen

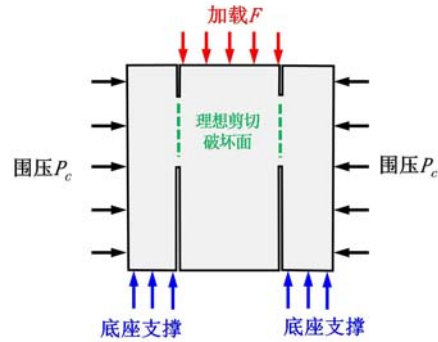


图 2 试样加载示意图

Fig. 2 Schematic diagram of loading on rock specimen

试验过程中记录施加的围压 P_c ,以及试验全过程的轴压 F 和轴位移 d ,根据轴压-轴位移($F-d$)曲线确定不同围压 P_c 下岩石试样所能承受的荷载最大值,即极限荷载 $F_{\max}$;再采用 BACKERS 和 STEPHANSSON^[8]提出的 II 型断裂韧度公式(1)计算求解试验岩样的 K_{IIc} :

$$K_{IIc} = 7.74 \times 10^{-2} F_{\max} - 1.8 \times 10^{-3} P_c \quad (1)$$

式中: $F_{\max}$ 为试样在试验中承受的极限荷载,kN; P_c 为试验时施加的围压,MPa。

2 基于现有设备 PTS/CP 测试功能的开发

2.1 方案设计依据

根据 ISRM 建议的 II 型断裂韧度测试方法及测试试件尺寸的相关规定^[8],本研究选取试件尺寸如图 3 所示,图中 ID 为切槽直径, IP 为无切槽岩石部分的长度, a 为顶部切槽深度, b 为底部切槽深度, t 为切槽宽度,试件高度 L 与直径 D 之比为 1:1、直径 D 为 50mm,端面应平整至 0.01mm,且与试样纵轴的垂直度偏差不超过 0.5° 。为了形成理想的剪切破坏面,在圆柱形试样的 2 个断面需要加工不同深度的切槽,一个端面上加工 1 个直径 $ID=0.5D=(25\pm0.2)$ mm、深度 $a=0.1D=(5\pm0.2)$ mm 的圆形切槽,另一个端面上加工 1 个直径 $ID=0.5D=(25\pm0.2)$ mm、深度 $b=0.6D=(30\pm0.20)$ mm 的圆形切槽,切槽的宽度为 $t=(1.5\pm0.2)$ mm,试件中完整无切槽岩石部分的长度为 $IP=L-a-b=15$ mm,同时要求试件圆形切槽的轴线必须与试样的圆柱轴线对齐。

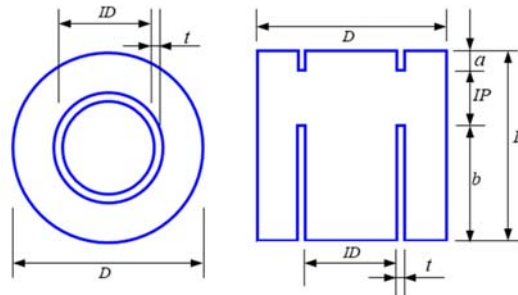


图 3 PTS/CP 试验试件几何形状和尺寸

Fig. 3 Shape and dimensions of PTS/CP test specimen

岩石试样加载时需将试样放置在如图 4 所示的承载底座顶部,承载底座是一个具有中心空槽的金

属加工部件,中心空槽的直径大于 $ID+2t$ 且小于 $(ID+5)\text{mm}$,深度大于 $0.1D$ 。试样切槽长度为 b 的端面朝下放置在承载底座顶部,辅助压头放置在试样顶部,辅助压头中间放置直径为 ID 的活塞式加载压头,为避免围压液体的浸入,在辅助压头和加载压头之间应做好密封。试验时将承载底座、试件、辅助压头和加载压头组成的整个组件放入封闭膜管内,如隔油热缩管,主要是将试样与围压介质隔绝,避免围压介质浸入岩石试件,影响岩石的力学性质及测试结果。

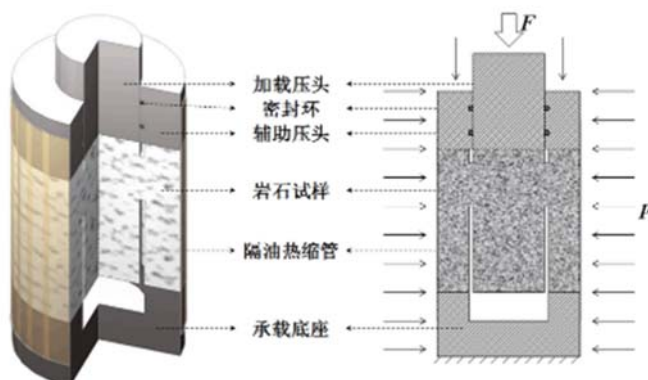


图 4 PTS/CP 试验装置示意图(F 为轴压, P 为围压)

Fig. 4 Principle of PTS/CP testing device(F represents axial pressure, P represents confining pressure)

2.2 方案设计原则

为充分利用实验室设备资源,在我校岩石力学实验室现有的 TAW-2000 岩石试验机上开展了 II 型断裂韧度试验测试功能的装置研制,该设备为自平衡式三轴岩石力学试验机,具有较高的刚度,采用两套独立的伺服系统分别控制轴压和围压,伺服反应敏捷,能提供 2000kN 的轴向荷载和 80MPa 的围压,配备计算机系统控制,可以完成高低速数据自动采集,实现试验全过程应力应变的精确测量。

试验功能开发设计方案不仅需要满足 PTS/CP 试验要求,还需要满足行业断裂破坏研究工作的需求,以确保试验操作简便安全,并能够有效开展试验研究。为实现 II 型断裂韧度试验测试功能,本文根据 TAW-2000 岩石试验机的技术参数、PTS/CP 试验基本要求以及岩体的基本性质,结合如下设计原则开展 PTS/CP 试验装置的开发。

(1) 充分考虑现有 TAW-2000 岩石试验机的技术参数、试验模块结构和性能,确保在不影响原有测试性能的前提下,实现新功能的易操作性和有效性,装置设计尽量方便拆卸和安装。

(2) 新的装置、部件满足压力室内部空间尺寸,能准确地施加轴向荷载和围压,避免试验过程中轴向荷载偏心和围压介质浸入,保证试验压力的稳定。

(3) 设备装置的设计满足原有位移引伸计的安装和调试,在满足位移、力等试验监测值量程和精度要求的前提下,尽量减少开发成本。

2.3 方案设计参数

基于 PTS/CP 试验目的,综合考虑试验机功能和试验测试参数要求,对试验功能开发方案参数进行了如下设计。

(1) 根据相关文献^[8-11]研究提出的岩石抗拉强度指标 σ_t 、I 型断裂韧度及 II 型断裂韧度之间的相关关系,得出常见岩石 II 型断裂的断裂韧度为 $0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \sim 10\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。由式(1)得出 PTS/CP 试验过程中需要提供的轴向力为 5kN~150kN。但现有设备的力传感器有效测力为 40kN~2000kN,测力分辨率为 10N,因此为了保证荷载测量精度,增设了小量程高精度力(量程 200kN,精度 0.5N)传感器 1 个,通过数据接口连接进行力传感器的切换。

(2) 因试验时 PTS/CP 试验装置和位移测量设备均放置在岩石试验机的三轴压力室中,PTS/CP 试验装置的承载底座、辅助压头、加载压头不仅需要与岩石试样的形状与尺寸匹配,PTS/CP 试验装置的总高度(图 4 中加载压头顶面至承载底座底面之间的距离)还需小于自平衡三轴压力室内部空间的高度 21cm~23cm,才能保证岩石试样的居中安装,避免轴向荷载的偏心,同时确保三轴压力室上部的滑

动压头与加载压头之间的紧密接触、均匀传力。

(3) PTS/CP 试验装置各部件均需承担较大的荷载,为保证岩石试件位移测量的精度,要求 PTS/CP 试验装置各部件的刚度远大于岩石刚度,因此选用 Cr12MoV 冷作模具钢加工, Cr12MoV 冷作模具钢硬度为(50~55)HRC。处于辅助压头中部的加载压头在岩石试件变形破坏过程中可自由滑动,各部件在满足刚度的前提下还需满足一定的加工精度,因此采用光面加工,表面光洁度需达到 7 级以上,表面粗糙度低于 $Ra1.6$ 。

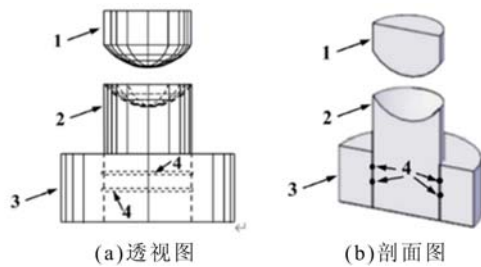
此外, TAW-2000 岩石试验机的轴向位移引伸计量程为 0~10mm、测量分辨率为 0.0001mm,能够满足 PTS/CP 试验的测量要求,无需重新配置。

3 试验系统的组成和测试步骤

3.1 试验系统组成

PTS/CP 测试系统是在三轴岩石力学试验机的基础上改造三轴压力室内的试样承载底座及加载压头,并在试验机上置换小量程力传感器装置而成的。图 5 为配置的小量程力传感器,试验时将原有的大量程力传感器换成小量程力传感器即可。

图 6 和图 7 分别为 PTS/CP 试验测试装置组件设计示意图。承载底座上表面与辅助压头的直径与试样直径 D 一致;承载底座顶面被掏空,掏空直径等于试样中部圆形切槽直径($ID+2$)mm(切槽宽度 1mm),其深度需满足测试试样的冲剪位移;内嵌在辅助压头中的加载压头直径等于试样中部圆形切槽直径 ID 。



(1—加载压头上弧形压头;
2—加载压头可滑动压头;3—辅助压头;4—密封圈)

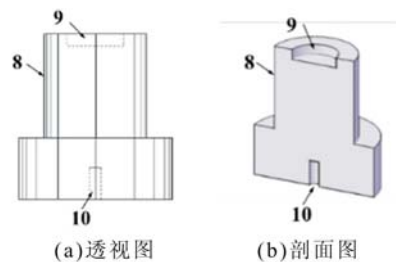
图 6 PTS/CP 试验测试装置上部组件

Fig. 6 The upper assembly of PTS/CP test device



图 5 PTS/CP 试验测试小量程传感器

Fig. 5 The small range sensors for PTS/CP test



(8—承载底座;9—承载底座空槽;10—插销孔)

图 7 PTS/CP 试验测试装置承载底座

Fig. 7 The bearing base of PTS/CP test device



图 8 PTS/CP 试验测试装置压头加工成品

Fig. 8 The end product of PTS/CP test device

为防止加载压头偏心受压带来的不利影响,将加载压头设计为弧形可滑动压头,由上弧形压头和可滑动压头两部分组成(如图 6 中的 1、2 两部分),PTS/CP 试验测试装置在试验过程中可实现压头的垂直传力。环形辅助压头的内侧有两条密封槽,密封槽中安装橡胶密封圈,滑动压头放置在环形辅助压头内部,可上下滑移,密封圈可避免三轴压力室内的液压油浸入试样,影响试验测试结果。为了防止承载底座在施加围压过程中产生滑动,在承载底座底部设计插销孔(如图 7 中的 10),与三轴压力室底座的插销孔对中和连接,PTS/CP 试验测试装置压头加工成品如图 8 所示。

3.2 测试过程

PTS/CP 试验过程主要包括试样与压头组件安装、位移传感器安装、试样-压头组件与压力室底座的对中以及施加荷载测试。

(1) 试样-压头组件安装

图 9 给出了 PTS/CP 试验测试装置与岩石试样安装图,岩石试样上部切槽外环形表面与辅助压头下表面接触,切槽内的圆形表面与加载压头下表面接触,试验过程中,荷载通过加载压头传递到岩石试样上。承载底座环形顶面与试样底端外环相接触,起到支撑外环作用,加载压头施加轴向荷载后形成冲剪力,试样将沿内圆柱面剪断破坏。安装试样时要注意区分试样的正反,要将浅切槽置于上部,深切槽置于下部,否则试样将发生内部圆柱被压碎而没有冲剪断裂面的现象。在试样、承载底座辅助压头周围辅以透明热缩管,防止油浸入试样影响试验结果,同时防止试样产生破坏后的碎屑进入油缸,导致试验机油管堵塞。



图 9 PTS/CP 试验测试装置岩石试样与压头组件

Fig. 9 The rock specimen and pressing block of PTS/CP test device

(2) 位移传感器的安装

对试样安装轴向引伸计以测量变形来实施变形控制,轴向引伸计的安装如图 10(a)所示。

(3) 试样-压头组件与三轴压力室底座对中

将安装好位移引伸计的试样连同承载底座放置在三轴压力室底座上,通过插销孔与承载底座对中连接,压力室底座如图 10(b)所示、试样与底座的对中安装如图 10(c)所示。



图 10 PTS/CP 试验测试引伸计安装及试样安装

Fig. 10 Installation of extensometer and specimen in the PTS/CP test device

(4) PTS/CP 试验测试

PTS/CP 试验测试步骤主要包括封闭压力室、压力室与试验机加载轴线对中、压力室充油、施加围压以及轴向荷载、采集数据等,试验步骤与常规三轴试验相同。加载时首先按照 TAW-2000 设备操作规程以 0.05MPa/s 的加载速率施加围压至预定的侧压力值 P_c ,当达到所需的围压水平时保持围压在试验过程中始终不变,再以 $0.2\text{MPa/s} \sim 1.0\text{MPa/s}$ 的加载速率施加轴向荷载 F 直至试件破坏。

4 岩石 II 型断裂韧度测试与结果分析

本文通过 PTS/CP 试验测试装置的研制,实现了对三轴岩石力学试验机 II 型断裂韧度测试功能的开发,并基于该测试装置开展不同围压条件下的青砂岩 PTS/CP 试验,研究了岩石材料的 II 型断裂韧

度及破坏特征,试验结果表明了 PTS/CP 试验测试功能的可靠性。

4.1 试样制备

PTS/CP 试验岩石试样材料为隆昌青砂岩,自然状态下其平均密度为 2295.53kg/m^3 ,平均纵波波速约为 2819.56m/s 。本文通过常规三轴试验、巴西劈裂试验获得其基本物理力学参数见表 1。

表 1 隆昌青砂岩物理力学参数表

Tab. 1 Mechanical parameters of Longchang green sandstone

密度/(g/cm^3)	弹性模量/GPa	泊松比	抗拉强度/MPa
2.296	11.55	0.21	5.06
黏聚力/MPa	内摩擦角/($^\circ$)	单轴抗压强度/MPa	
22.64	31	49.14	

由于岩石材料的脆性极强,试样上切槽和下切槽不能采用铣刀在高精度数控机床按照程序设定直接加工,因此试样制作采用深度和厚度满足本试验设计要求的开孔器进行切槽、打磨加工,最后获得直径为 50mm 、高度为 50mm 的圆柱体试件,岩石试件上表面切槽深度为 5mm ,下表面切槽深度为 30mm ,切槽宽度约为 1mm ,岩石试样如图 11 所示。

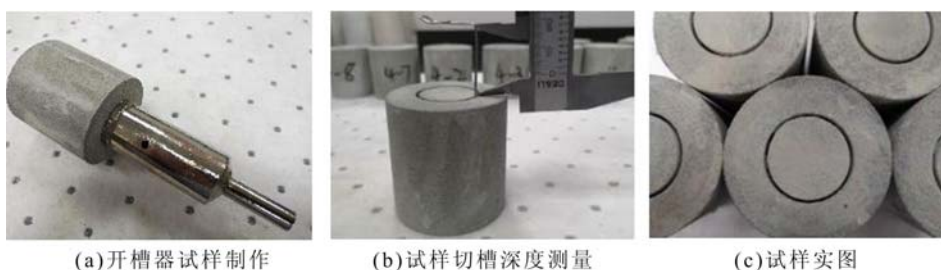


图 11 岩石试样加工实物图

Fig. 11 Preparation and finished products of rock samples

4.2 试样压剪破坏形态分析

开展了围压分别为 0MPa 、 10MPa 、 20MPa 和 30MPa 的 PTS/CP 试验,图 12 给出了不同围压条件下岩石试样加载结束后的冲剪破坏情况,由图可知,在围压为 0MPa 时,岩石在加载过程中随着荷载的增大,切槽内岩柱在轴向荷载下存在侧向膨胀变形,导致试样的切槽外侧圆环形成裂纹从而导致外壁破坏;在 10MPa 、 20MPa 围压侧限约束条件下,切槽外侧圆环仅有少许裂纹且没有贯通,在 30MPa 下没有观察到裂纹出现。不同围压条件下的试件裂纹发展及贯通情况说明了围压的增大能有效抑制切槽内岩柱的侧向膨胀,围压约束作用有利于内外环之间形成剪切面,并保证试样形成 II 型断裂破坏面。

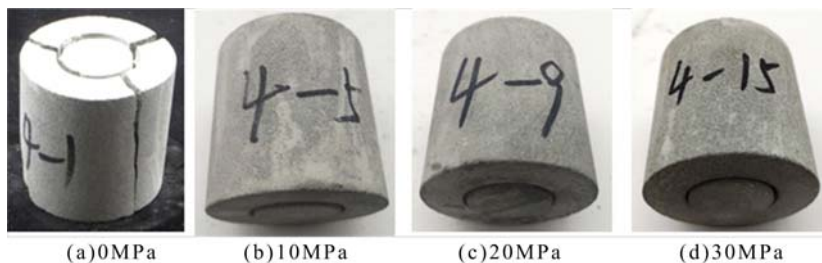


图 12 不同围压条件下的试样破坏图

Fig. 12 The failure modes under different confining pressure conditions

4.3 荷载位移曲线分析

不同围压下的轴压 F -轴位移 d 曲线如图 13 所示,曲线形态与常规单轴、三轴压缩曲线类似。由图可知,在单轴加载情况下,轴压达到加载峰值荷载后试样突然破坏,没有获得峰后数据;在施加围压后,均能获得较好的峰后曲线,轴压达到峰值荷载后,承载能力逐渐降低,最后保持不变。其原因是在没有围压条件下,试样被冲剪破坏后,切槽内岩柱底部为承载底座空槽,内有支撑作用,导致轴压迅速降低;

有围压约束作用下,切槽内岩柱与切槽外侧圆环之间的岩桥虽然已被剪切断裂,但受到围压侧向约束,还存在一定的抗剪切能力,使得试样还能继续承受外部荷载。

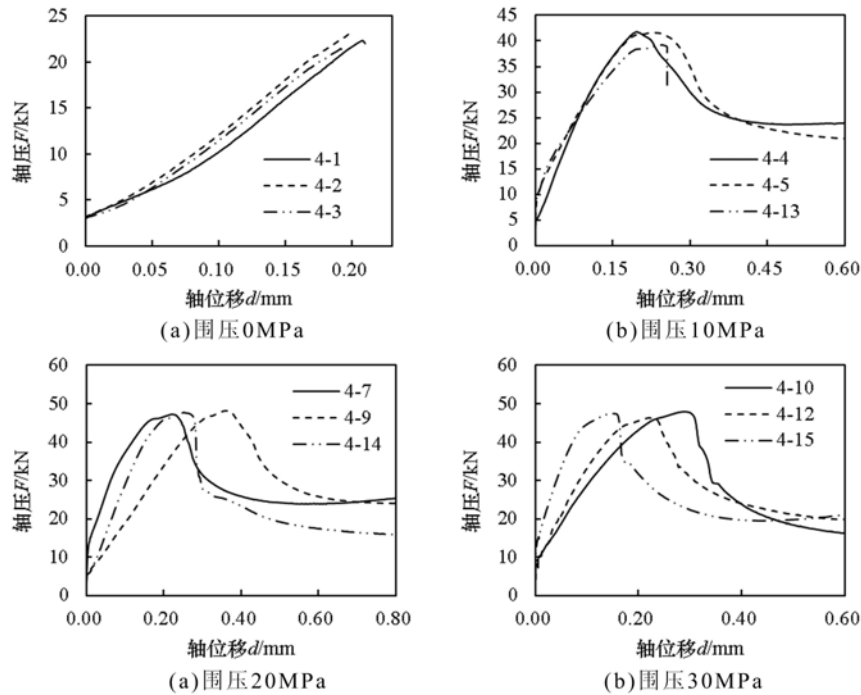


图 13 不同围压下的轴压 F -轴位移 d 曲线

Fig. 13 The curve of axial pressure F and axial displacement d under different confining pressures

4.4 II 型断裂韧度分析与计算

将青砂岩不同围压下的极限荷载 $F_{\max}$ 和试验围压 P_c 代入式(1),得到岩石的 II 型断裂韧度值,详见表 2。根据表中数据可知,II 型断裂韧度 K_{IIc} 与围压 P_c 的关系和破坏荷载 $F_{\max}$ -围压 P_c 的关系趋势相同。围压从 0MPa 开始到 20MPa,随着围压的增大,砂岩材料的 II 型断裂韧度 K_{IIc} 逐渐增大;围压从 20MPa 增加到 30MPa 时,断裂韧度 K_{IIc} 基本保持不变。说明在一定范围内,随着围压约束作用的增大,冲剪试验获得的 II 型断裂韧度值逐渐增大,当围压达到一定值后继续增大围压约束作用对 II 型断

表 2 青砂岩 II 型断裂韧度测试结果

Tab. 2 Mode II fracture toughness test results of green sandstone

围压/MPa	试样编号	破坏荷载/kN	断裂韧度 $K_{IIc}/(\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2})$	
			单值	均值
0	4-1	22.37	1.73	1.73
	4-2	23.35	1.81	
	4-3	21.41	1.66	
10	4-4	41.77	3.25	3.17
	4-5	41.69	3.23	
	4-13	39.23	3.04	
20	4-7	49.47	3.86	3.81
	4-9	48.15	3.73	
	4-14	49.69	3.85	
30	4-10	47.97	3.77	3.68
	4-12	46.36	3.59	
	4-15	47.43	3.67	

裂韧度值的影响减弱。采用 PTS/CP 试验获得的青砂岩 II 型断裂韧度 K_{IIc} 与该岩石的单轴抗拉强度、I 型断裂韧度之间的关系与其他学者的研究成果基本一致^[8,10-11], 证明了该测试方法和开发功能的合理性和可靠性。

5 结语

本文基于现有岩石试验机和国际岩石力学学会推荐的 II 型断裂韧度测试方法, 对三轴岩石力学试验机的 PTS/CP 试验测试功能进行开发。通过对测试装置主要组件的参数设计和加工实施, 实现了现有设备 PTS/CP 试验测试功能的拓展, 并利用该装置开展青砂岩的 PTS/CP 试验, 研究了青砂岩的冲剪破坏特性以及 II 型断裂韧度 K_{IIc} 与围压 P_c 的关系。

PTS/CP 试验测试结果表明在围压侧向约束条件下, 岩石试样可获得较理想的冲剪破坏面, 且随着围压的增大, II 型断裂韧度先增大后趋于稳定; 通过 PTS/CP 试验所获得的试验岩石的 II 型断裂韧度与其单轴抗拉强度、I 型断裂韧度指标之间的关系符合常规认识, 证明了 PTS/CP 测试功能的合理性, 以及开发设备的可靠性。

参考文献:

- [1] 李宁, 张平, 陈蕴生. 裂隙岩体试验研究进展与思考[C]//中国岩石力学与工程学会第七次学术大会论文集, 2002;63—69 (LI Ning, ZHANG Ping, CHEN Yunsheng. The headway and think of the experimentation of the cranny rock mass[C]//Proceedings of the 7th Academic Conference of Rock Mechanics and Engineering Society of China, 2002;63—69 (in Chinese))
- [2] 蒲成志. 单轴压缩下类岩体裂隙材料断裂破坏机制的实验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010 (PU Chengzhi. Experiment research on the fracture failure mechanism of rock-like material with fissures under uniaxial compression[D]. Changsha: Central South University, 2010 (in Chinese))
- [3] 陈枫. 岩石压剪断裂的理论与实验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2002 (CHEN Feng. The theoretical and experimental investigation on rock fracture due to shear-compression loading[D]. Changsha: Central South University, 2002 (in Chinese))
- [4] 黄伟. 单轴压缩下裂隙岩体变形破坏机制研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018 (HUANG Wei. Research on deformation and failure mechanism of fractured rock mass under uniaxial compression[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2018 (in Chinese))
- [5] 李启月, 孙丽. 基于颗粒流法的岩石断裂韧度确定[J]. 科技导报, 2012, 30(22):55—59 (LI Qiyue, SUN Li. Determination of rock fracture toughness based on particle flow method[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(22):55—59 (in Chinese))
- [6] 童谷生, 姚良发, 徐攀. C40 自密实混凝土 II 型断裂韧度的确定[J]. 力学季刊, 2021, 42(4):800—810 (TONG Gusheng, YAO Liangfa, XU Pan. Determination of type II fracture toughness of C40 self-compacting concrete [J]. Chinese Quarterly of Mechanics, 2021, 42(4):800—810 (in Chinese))
- [7] 华文, 董世明, 徐积刚. 复合型加载条件下锈岩断裂韧度试验研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(3):753—758 (HUA Wen, DONG Shiming, XU Jigang. Experimental research on fracture toughness of rust stone under mixed mode loading conditions[J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(3):753—758 (in Chinese))
- [8] BACKERS T, STEPHANSSON O. ISRM suggested method for the determination of mode II fracture toughness [J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2012, 45(6):1011—1022.
- [9] 吴顺川. 岩石力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2021 (WU Shunchuan. Rock mechanics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2021 (in Chinese))
- [10] 刘军, 孙辉. 一种岩石 I 型断裂韧度 K_{Ic} 估算方法[J]. 土木工程, 2018, 7(1):81—84 (LIU Jun, SUN Hui. An estimation method for mode I fracture toughness K_{Ic} of rock[J]. Hans Journal of Civil Engineering, 2018, 7(1): 81—84 (in Chinese))
- [11] ZHANG Z X. An empirical relation between mode I fracture toughness and the tensile strength of rock[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2002, 39(3):401—406.

Test function development and experimental analysis of mode II fracture toughness

ZHUO Li, PEI Jianliang, LIU Huaizhong, XIAO Mingli, XIE Hongqiang

(College of Water Resource and Hydropower, State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

Abstract: As an important mechanical index of rock, fracture toughness is of great significance to understanding the compression-shear failure. In order to carry out a punch-through shear test with confining pressure (PTS/CP), the test function was developed based on the existing equipment, and the PTS/CP experiment research of green sandstone was carried out. The test results show that under the constraint of confining pressure, the rock has an ideal punching shear failure surface, and with the increase of confining pressure the mode II fracture toughness (K_{IIc}) first increases and then tends to be stable. The relationship between (K_{IIc}) obtained through PTS/CP, uniaxial tensile strength, and mode I fracture toughness index of green sandstone conforms to the conventional understanding, which shows the reliability and effectiveness of this functional development, and it can provide experimental support for the related teaching and scientific research.

Keywords: the punch-through shear test with confining pressure; test function development; mode II fracture toughness; compression-shear failure