



岩石切削断裂的应力性质研究

王成勇

(广东工学院 广州 510090)

刘培德 胡荣生

(大连理工大学 大连 116023)

提 要

本文在〔1〕研究结果的基础上,采用岩石断口分析技术,进一步研究了三种硬岩的切削断裂应力性质.文中分析了岩石受纯拉应力、纯剪应力作用后的断口形貌,将岩石切削断裂切屑断口形貌与它作了对比分析;指出,岩石切削断裂裂纹的生成和扩展,主要是由拉应力作用引起的,剪应力的作用相对较小.

一、前 言

迄今为止,在煤岩、软岩和中硬岩切削机理研究方面,已提出了不少切削机理模型.这些模型对岩石切削断裂应力性质认识不一. Evans认为切削断裂裂纹是由拉应力产生的〔2〕. 别隆〔3〕和铃木光等〔4〕认为切削断裂裂纹是由剪应力产生的. 中岛严和木下重教认为切削岩石时,前刀面岩石屈服剪切产生粉状切屑,拉应力裂纹随后产生大块切屑〔5〕. 会田俊夫和冈本隆认为切削煤岩时的切削断裂应力性质,与切削深度和刀具前角有关〔6〕. 由于上述研究结果,均缺乏较直接的实验验证;因此,为正确地认识岩石切削过程,改进岩石切削刀具,提高岩石切削破碎效率,降低岩石切削破碎能耗;对岩石切削断裂应力性质作进一步的研究是必要的.

在〔1〕中,作者采用激光散斑干涉法测量了岩石切削应变场后指出,岩石切削初始断裂裂纹是由拉应力作用产生的. 本文在此基础上,采用岩石断口分析技术,进一步研究了三种硬岩的切削断裂应力性质.

二、实 验

材料断口分析技术是研究材料断裂和进行断裂破坏分析的重要方法,通过材料断口形貌的分析,可以判定断裂的应力性质,分析并找出破坏的原因,有助于阐明断裂机理,它已被广泛应用于金属断口分析和地质勘探等领域[7,8]。在采矿方面,金国栋采用断口分析技术,研究了盘形滚刀破碎辉长玢岩等的拉应力作用性质[9]。李先炜等采用透射和扫描电子显微镜,研究了岩石在不同应力作用下的断口花样[10]。作者曾采用断口分析技术,研究了大理石磨削断口形貌[11]。

岩石是由各种不同的矿物组成的,岩石的断口形貌,实际上就是各种不同矿物晶体受应力作用后的断口特征。由于岩石中还存在着各种微裂纹、微裂隙和杂质等缺陷,这些缺陷无论在拉伸、压缩和剪切应力状态下,均可能因存在着局部拉应力场而使其断口呈现拉断断口形貌。因此,岩石断口上某点的形貌只能反映该点处的局部应力状态,为了准确地和全面地了解岩石切削断裂应力性质,必须对实验所使用的岩石进行纯拉、纯剪实验,将其断口形貌作为由断裂切屑断口形貌确定切削应力性质的基准;对不同切削条件下的断裂切屑断口形貌,需作大量的观察,并从中找出断口形貌特征的规律*。

实验所用的三种岩石(表1)均取于福建惠安。岩石纯拉、纯剪实验在拉伸试验机和自制纯剪切装置上进行。采用正交切削法,获得大量的岩石断裂切屑*。切削实验在牛头刨床上进行,工件为厚7.5mm的岩石薄板。刨刀刀具材料为YG8,刀具前角为 $-10^{\circ}\sim 30^{\circ}$,刀具后角为 6° ,前后刀面用金刚石砂轮精密磨削。采用XJL-01型立体显微摄影仪观察记录切削某

表 1 岩石性质

Tab.1 The properties of rocks

岩石种类	岩性描述	矿物成份	晶粒尺寸 (mm)	肖氏硬度 (HS)	抗弯强度 (MPa)
花岗岩	花岗结构	钾长石(40%) 石英(35%) 斜长石(20%) 黑云母	2~5	101	18
细粒花岗岩	花岗结构	钾长石(45%) 石英(30%) 斜长石(23%) 黑云母	1~2	103	22
辉绿岩	辉绿结构	斜长石 普通辉石	0.2~0.8	79	—

一瞬间的图像,获取的断口表面均喷碳增加导电性,在对断口表面喷碳前,对断口矿物成份作了大致的鉴定,并作了记号,在Amray型扫描电子显微镜上观察断口形貌。

三、实验结果与分析

1. 典型岩石断口形貌

(1) 拉伸断裂断口形貌 岩石拉伸断裂断口形貌主要有解理断裂花样和完整颗粒断裂

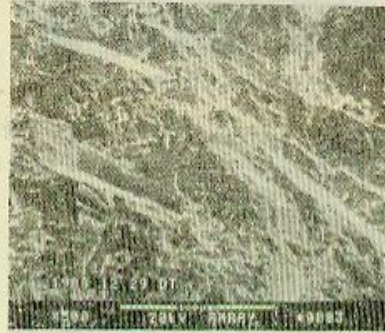
*王成勇,岩石切削加工研究,大连理工大学博士论文,1989年9月

花样两大类(8-11)。

(a)解理断裂解理断裂在晶体内部解理面上产生。由于晶体内部存在有缺陷，故在解理时，不是沿一个晶面而是沿着一簇相互平行、位于不同高度的晶面。因解理晶面的汇合方式不同，形成河流状花样和台阶状花样。在实验所用的三种岩石的主次矿物中，长石具有{001}、{001}发育解理；普通辉石具有{110}完全发育解理；黑云母具有{001}极完全解理[12]。图1为受纯拉应力作用后，岩石断口上的解理断裂花样。



(a)河流状花样(细粒花岗岩, 500×)

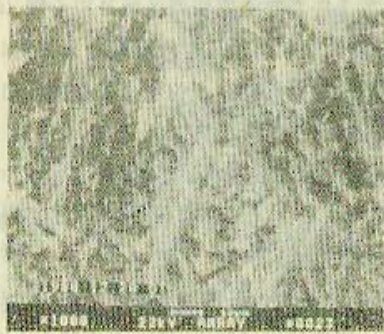


(b)台阶状花样(辉绿岩, 500×)

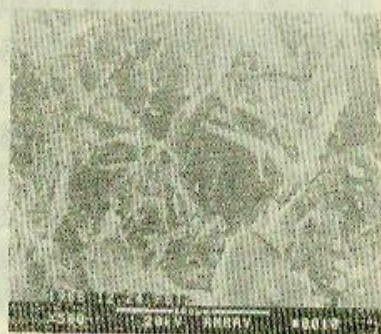
图1 解理断裂花样(纯拉伸断口)

Fig.1 Fractographies of rock cleavages from tensile test

(b)完整晶粒断裂花样各种矿物以及同一矿物间的晶界,对裂纹的产生和扩展有很大的影响,沿晶界扩展的裂纹,产生完整晶粒脱落,形成沿晶断裂花样;断口面可看出晶粒结晶特征。若矿物的结晶颗粒本身强度小于晶界强度时,产生晶粒局部断裂,形成穿晶断裂花样;断口面通常很不规则,不能明显看出晶粒结晶特征。石英颗粒断口的典型特征是贝壳状断口花样,它往往呈现各种形态,如凸弧状盘形或凹陷状盘形,并且往往互相重叠,交错形成颗粒棱角和不规则的凸起和坑。贝壳状断口花样是裂纹在石英内部不规则扩展时,产生了弹性波释放留下的痕迹。图2为受纯拉应力作用后,断口上的完整晶粒断裂花样。

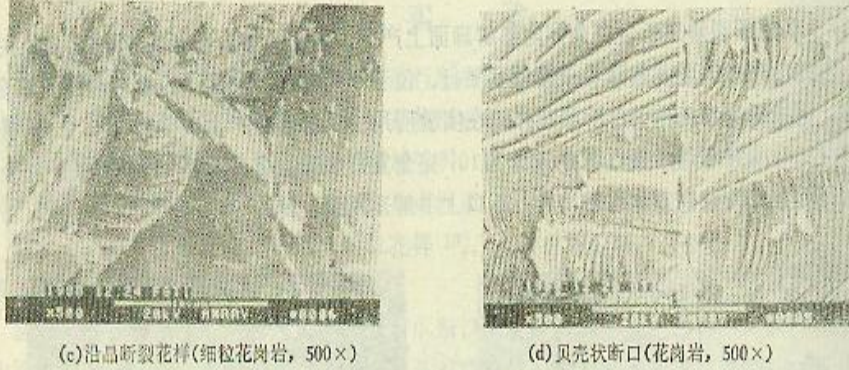


(a)沿晶断裂花样(辉绿岩, 1.0k×)



(b)穿晶断裂花样(细粒花岗岩, 500×)

(2)剪切断裂断口形貌 岩石剪切断裂断口的显著特征是平坦且有擦痕等平行条纹花样(8-11)(图3)。

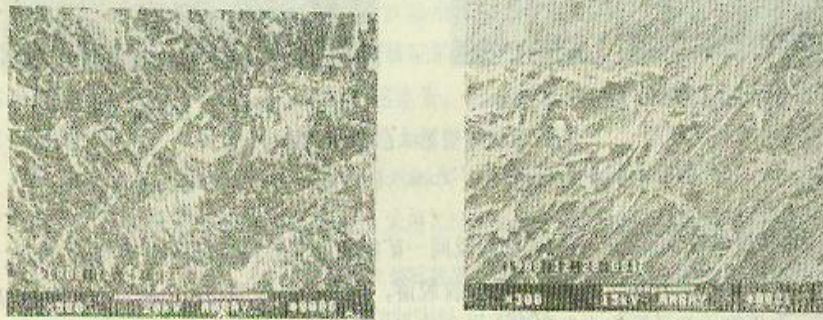


(c)沿晶断裂花样(细粒花岗岩, 500×)

(d)贝壳状断口(花岗岩, 500×)

图2 完整晶粒断裂花样(纯拉伸断口)

Fig.2 Fractographies of rock crystalline grains from tensile test



(a)平坦状花样(辉绿岩, 500×)

(b)条纹花样(花岗岩, 500×)

图3 剪切断裂花样(纯剪切断口)

Fig.3 Fractographies of rock from shear test

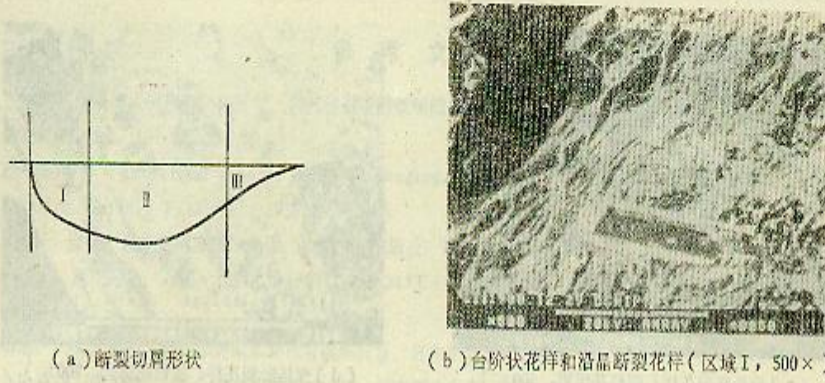
2. 岩石切削断裂切屑断口形貌

(1) 辉绿岩切削断裂切屑断口形貌 大量观察结果*表明,在辉绿岩大块断屑的初始裂纹形成和扩展区域Ⅰ、裂纹扩展区域Ⅱ和裂纹扩展至工件表面生成切屑区域Ⅲ中(图4a),辉绿岩断裂切屑断口形貌有所差异,部分典型辉绿岩断裂切屑断口形貌观察结果如图4(b)至图4(d)所示。(a)在区域Ⅰ和区域Ⅲ中,切屑断口形貌均表现为明显的拉伸断口形貌,在图4(b)中,切屑断口形貌表现为台阶状花样(图4b左侧)和沿晶断裂花样(图4b中部)。在图4(d)中,切屑断口表现为穿晶断裂花样和台阶状花样。(b)在区域Ⅱ中,可以观察到图4(c)所示的剪切断裂花样。在切削宽度方向上,呈现剪切断裂花样的区域大小是不同的,在该区域中,拉伸断裂花样仍是断口形貌的主要特征。

因此,在辉绿岩大块断屑切屑形成过程中,断裂初始裂纹及扩展是由拉伸应力作用产生的,这一结论与〔1〕前结论是一致的。在进一步的裂纹扩展过程中,拉应力和剪应力共同起作用,当裂纹近于扩展到工件表面时,又受拉伸应力的作用。

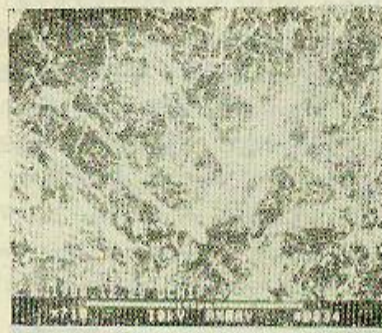
(2) 花岗岩材料切削断裂切屑断口形貌

花岗岩和细粒花岗岩的切削过程不同于辉绿岩的切削过程;其切削断裂切屑形状,受到切削条件和材料性质等的很大影响,因而不象图4(a)所示辉绿岩切削断裂切屑形状那样规则。

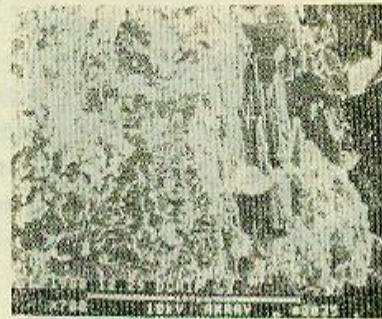


(a) 断裂切屑形状

(b) 台阶状花样和沿晶断裂花样(区域I, 500×)



(c) 条纹花样和平坦状花样(区域II, 710×)



(d) 穿晶断裂花样和台阶状花样(区域III, 700×)

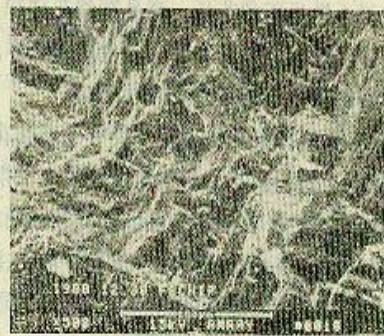
图4 辉绿岩切削断裂切屑断口形貌

Fig.4 Fractographies of diabase cutting chips

对大量细粒花岗岩和花岗岩的切屑断口形貌进行了观察，其断口形貌具有各种典型的拉伸断裂花样(图5a至图5e)，较少见到典型剪切断裂花样(图5f)。因此，花岗岩材料的切削断裂裂纹，是由拉应力起主要作用而产生并扩展形成断裂切屑的，剪应力的作用相对较小。



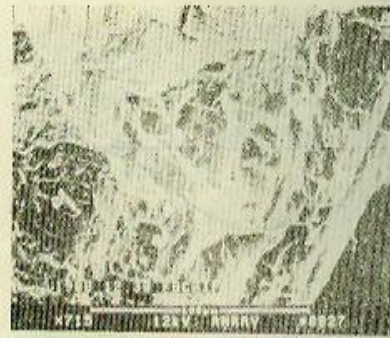
(a) 河流状花样(花岗岩, 700×)



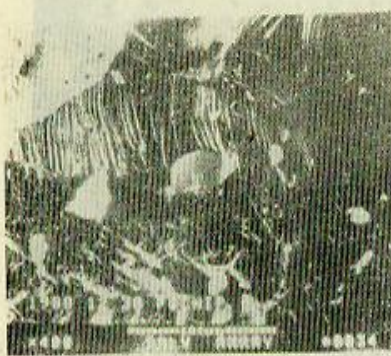
(b) 台阶状花样(细粒花岗岩, 500×)



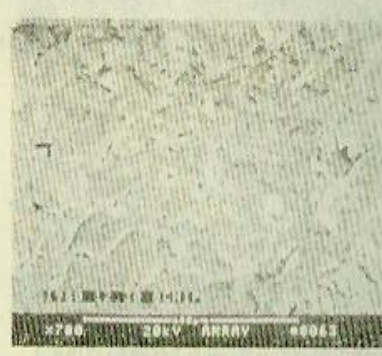
(c) 沿晶断裂花样(细粒花岗岩, 500×)



(d) 穿晶断裂花样(细粒花岗岩, 700×)



(e) 贝壳状断口(细粒花岗岩, 400×)



(f) 平坦状花样(花岗岩, 700×)

图5 花岗岩材料切削断裂切屑断面形貌

Fig.5 Fractographics of two kinds of granite cutting chips

四、结 论

1. 岩石典型拉断断面形貌主要有解理断裂花样(河流状花样和台阶状花样)和完整晶粒断裂花样(沿晶断裂花样、穿晶断裂花样和贝壳状断口等)。矿物的晶体特征对拉断断面形貌有一定的影响。黑云母常具有台阶状花样,长石和辉石则可见到河流状、台阶状、沿晶和穿晶断裂花样,石英具有贝壳状断口。
2. 岩石典型剪断断面形貌主要有平坦状花样和条纹状花样。
3. 辉绿岩的切削初始裂纹是由拉应力作用产生的,在裂纹扩展过程中,存在有一定的剪应力作用;在裂纹扩展到工件表面形成切屑时,又受拉应力作用。
4. 花岗岩材料的切削裂纹生成和扩展,主要是拉应力作用的结果,剪应力作用较小。
5. 本文的结论为提出正确的岩石切削机理模型、理论计算岩石切削力和改进岩石切削刀具^[13],提供了理论依据。

致谢: 感谢辽宁师范大学实验中心电镜室对本工作的支持,本课题由中国高校科学基金资助。

参 考 文 献

- [1] 王成勇, 刘培德, 胡荣生, 孙秀堂. 研究岩石切削过程的一种新方法—激光夹层散斑法. 有色金属, (季刊) 1988, 40(4), 18—22.
- [2] Evans, I., Theoretical aspects of coal ploughing, *Material property of Non-Metallic Material*, London, Science Publisher, 1958, 459—468.
- [3] A. N. 别隆. 煤炭切削原理. 北京: 中国工业出版社, 1965.
- [4] 铃木光, 西松裕一. 石炭·岩石类的切削机构について(第1报)—解析の考察. 日本矿业会志, 1965, 81, 1039—1044.
- [5] 中岛严, 木下重教. 岩石の切削における破壊現象. 日本矿业会志, 1973, 89: 291—295.
- [6] 会田俊夫, 岡本隆. 石炭の切削机构について. 日本矿业会志, 1958, 76, 167—172.
- [7] 上海交通大学《金属断口分析》编写组. 金属断口分析. 北京: 国防工业出版社, 1979.
- [8] 陈丽华, 缪昕, 于众. 扫描电镜在地质上的应用. 北京: 科学出版社, 1986.
- [9] 金国栋, 彭庆霖等. 岩石破碎断口电子扫描分析. 煤炭学报, 1984, (2), 69—78.
- [10] 李先沛, 兰勇瑞, 邹俊兴. 岩石断口分析. 中国矿业学院学报, 1983, (1), 15—21.
- [11] 王成勇, 刘培德, 陈培元. 大理石磨削加工表面断口形貌的扫描电镜分析. 磨床与磨削, 1988, (3), 19—21.
- [12] 北京大学地质系. 光性矿物学. 北京: 地质出版社, 1985.
- [13] Wang Chengyong, Liu Peide and Hu Rongsheng, The study of rock cutting force by fracture mechanics. *Proceedings of the 2nd World Conference of Non-Metallic Minerals*, Beijing, International Publisher, 1989.

Study of the Nature of Fracture Stress Induced by Rock-cutting

Wang Chengyong

(Guangdong Institute of Technology, Guangzhou, 510090)

Liu Peide Hu Rongsheng

(Dalian University of Technology, Dalian, 116023)

Abstract

Based on the results of ref. [1], the nature of rock-cutting-induced fracture stress in three kinds of hard rocks are studied by the technique of fractographic analysis of rock chips. The fractographic results of rock fragments obtained by tensile and shear tests are compared with those of rock chips produced by rock-cutting. The results show that the fracture initiation and propagation induced by rock-cutting are mainly caused by the action of tensile stresses while the effect of shear stresses plays only an insignificant role.