

组合切削具产生的预破碎区对钻进效果的影响

鄢泰宁^{1,2}, 段隆臣^{1,2}, P. K. 波格丹诺夫³, И. А. 斯维什尼科夫³

(1. 教育部岩土钻掘工程中心, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 3. 乌克兰国家科学院超硬材料研究所, 乌克兰 基辅 04074)

摘要:从组合切削具将在岩石中产生预破碎区的论点出发,通过实验定量研究了预破碎区深度与掏槽刃切入深度的关系,得出了预破碎区有利于降低岩石强度及岩石破碎能耗的结论,并用生产试验结果进行了验证。提出了孕镶金刚石钻头钻进Ⅶ~Ⅷ级硬岩时仍存在预破碎区和切削、微切削破岩方式,以及预破碎区并非越大越好的学术观点。

关键词:预破碎区;组合切削具;岩石破碎机理;钻进效果

中图分类号:P634.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)12-0005-04

Influence of Pre-break Zone Generated by the Combination of Cutting Tools to Drilling Effect/YAN Tai-ning^{1,2}, DUAN Long-chen^{1,2}, Bogdanof P. K³, Cveshikov И. А³ (1. Engineering Research Center of Rock-Soil Drilling & Excavation and Protection, Ministry of Education of the People's Republic of China, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 3. National Academy of Sciences of Ukraine, Science and Technology Diamond Concern, Kiev 04074, Ukraine)

Abstract: Based on the view that the combination of cutting tools can produce pre-break zone in rock, this paper quantitatively studies the relationship between the depth of pre-break zone and the cut depth of cutting edge. The results show that the pre-break zone can contribute to reduce rock strength and rock fragmentation energy, which is also verified by the field test results. It gets the following two academic views: there are still pre-break zone, cutting and micro-cutting rock breaking modes when drilling VII ~ VIII - class hard rock with the impregnated diamond bit; the view "the bigger of pre-break zone, the better of drilling effect" is not correct.

Key words: pre-break zone; combination of cutting tools; rock fragmentation mechanism; drilling effect

1 问题的提出

研究孔底岩石破碎机理是钻探(钻井)专业最重要的研究方向之一,是设计高效、长寿命岩石破碎工具及制定合理钻进规程的理论基础。前人在该领域已做过大量工作,并取得了许多成果。但他们多是以一个切削具或一粒金刚石为观察对象来研究在外载作用下岩石内部的应力、应变规律和岩石破碎的条件。而在钻探生产中,每个钻头上必然有若干个(组)切削具。因此,研究组合切削具在岩石中产生的预破碎区对钻进效果的影响,更具有重要理论意义和实用价值。

可以预计,当多个切削具同时参与破碎岩石时,它们之间的相互作用将明显降低岩石的强度及岩石破碎的能耗。

2 预破碎区深度及其对岩石强度、破岩功耗的影响

笔者曾在实验室用一组切削具同时作用于岩块进行钻进试验,当切削具之间的间距 T 达最优值时,由于多个切削具产生的预破碎区裂纹相互贯通,使两个相邻切削具之间的岩脊不用消耗附加能量就能破碎(图1)。因此,在多个切削具相互作用下岩石破碎的能耗明显下降。

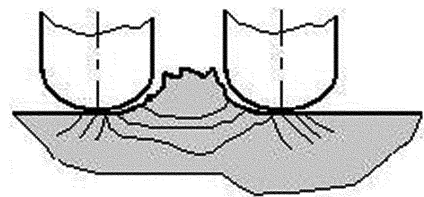


图1 两个切削具共同作用下岩脊中生成贯通式裂纹的示意图

为了研究预破碎区深度与切入深度的关系,曾

收稿日期:2010-07-14

基金项目:科技部中乌国际科技合作项目(项目编号:2008DFR70510)

作者简介:鄢泰宁(1945-),男(汉族),江西人,中国地质大学(武汉)教授、博士生导师,俄罗斯自然科学院外籍院士,探矿工程专业,长期从事钻探工程的教学与科研工作,湖北省武汉市鲁磨路,tnyan@cug.edu.cn;段隆臣(1967-),男(汉族),江西都昌人,中国地质大学(武汉)教授、博士生导师,探矿工程专业,博士,从事岩石破碎与金刚石工具的教学与科研工作,duanlongchen@163.com;P. K. 波格丹诺夫(1940-),男,乌克兰国家科学院超硬材料研究所研究员,独联体著名超硬材料及钻头研制专家,工学博士。

安排在光学玻璃和砂岩上的切削破碎试验。其中,用光学玻璃来模拟花岗岩或石英岩类的弹脆性岩石,它的预破碎区用肉眼就可以直接观察到;而砂岩中的预破碎区则用乌克兰超硬材料研究所研制的裂纹荧光分析法作为观察手段。

砂岩和光学玻璃中预破碎区深度 h_y 与切削具切入深度 h_p 之间的关系如图2所示。可见,砂岩预破碎区深度 h_y 是切入深度 h_p 的2~3倍;而光学玻璃的增长幅度更大,达5~8倍,这与其具有明显的弹脆性有关。图3显示,在各向同性的光学玻璃中,切入深度 h_p 达2 mm时预破碎区深度 h_y 已近14 mm。

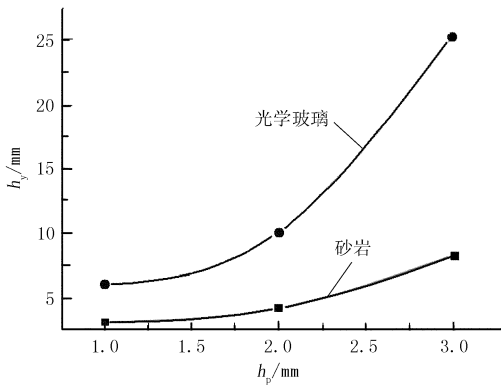


图2 预破碎区深度 h_y 与切入深度 h_p 的关系

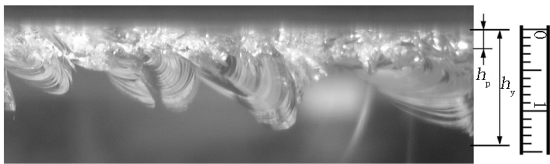


图3 玻璃试样切口深2 mm时出现的预破碎区达14 mm深

为了研究预破碎区对岩石强度及破岩功耗的影响,采用7B36卧式刨床改装的试验台来模拟切削破碎过程,采用前苏联 YMIIT-3 自动记录式标准试验台(图4)来测量每次切削破碎后岩石的强度及破岩功耗。试验技术参数如下:



图4 YMIIT-3 自动记录式标准试验台外形

牛头刨行程300~700 mm,切削速度0.23 m/s (15次行程/min),牛头二次行程中工作台横向给进量3.2 mm,岩样的最大尺寸830 mm×450 mm×700 mm。

试验中把5 mm×5 mm×15 mm的方柱状BK6B(相当于中国的YG6x)硬质合金固定在试验台刀架上,与切削面呈15°角。切削对象为150 mm×100 mm×50 mm的砂岩块。

开始试验前,先用金刚石工具磨平岩块表面,然后在 YMIIT-3 试验台上用硬质合金平头压模做10个点的压入试验,测出相应的弹性极限 σ_y (MPa)、弹性变形 ε_y (mm)及其最大值 ε_m (mm),弹性变形功 A_E 和岩石破碎总功 A_F 。分析压头压入岩石的曲线,可确定岩石的弹性极限 σ_y (MPa)及其接触强度 P_k (MPa)。用 A_F/A_E 之比求出其塑性系数。把这些参数作为原始数据。然后,在半封闭的条件下进行岩石切削试验,共切10~11层岩石,切削深度分别为1 mm和2 mm。切掉每层岩石后,都在 YMIIT-3 试验台上取10个点测定上述参数。试验数据列于表1、2,试验结果示于图5。

表1 不同切削深度下破碎砂岩时测得的岩石物理-力学参数

切削深度 h_p /mm	被切岩层的总厚度 H /mm	强度参数		能耗参数	
		弹性极限 σ_y /MPa	接触强度 P_k /MPa	弹性变形功 耗 A_E /kJ	破碎总功 耗 A_F /kJ
0(岩石的原始参数)					
$h_p = 1$	1	2160	3200	265.24	259.00
	2	2033	2533	218.00	233.00
	3	1830	2600	207.55	222.06
	4	1700	2320	158.83	187.50
	5	1650	2200	118.33	142.50
	6	1590	2300	201.79	187.60
	7	1490	2330	158.32	219.23
	8	1400	2100	147.23	187.30
	9	1390	2050	135.15	118.00
	10	1350	2100	126.57	118.52
$h_p = 2$	2	2100	2833.33	205.00	340.10
	4	1900	2920	177.25	340.10
	6	1780	2425	182.84	301.60
	8	1733	2530	159.33	165.20
	10	1770	2480	149.23	171.00
	12	1633	2440	139.80	154.87
	14	1620	2410	175.97	256.58
	16	1540	2030	117.27	189.16

由表1、表2和图5可以看出,在多次切削砂岩的过程中,由于前一个切削具产生的预破碎区裂纹相互贯通,使岩石强度和破碎能耗明显下降。因此,设计钻头时必须根据所钻岩石的实际情况选择最优的切削具间距,使后一个切削具的切削作用能与前

表 2 切削砂岩的综合破碎指标

切削深度 h_p/mm	弹性极限 σ_y /(MPa/%)	接触强度 P_k /(MPa/%)	弹性变形功耗 $A_E/(kJ/%)$	破碎总功耗 $A_F/(kJ/%)$
砂岩块的 原始参数	3230 100	5070 100	308 100	508 100
1	2160 ~ 1350 67 ~ 42	3200 ~ 2100 63 ~ 41	265 ~ 126 86 ~ 41	259 ~ 118 51 ~ 23
2	2100 ~ 1540 65 ~ 48	2833 ~ 2030 56 ~ 40	205 ~ 117 67 ~ 38	340 ~ 189 67 ~ 37

注:表中数据分子为原始值或计算值;分母为计算值占原始值的百分数。

表 3 AKTM 的物理 - 力学性能

指标	值
密度/($g \cdot cm^{-3}$)	3.45
克氏硬度/GPa	50 ~ 55
断裂韧性/($MPa \cdot m^{1/2}$)	10 ~ 12
抗压强度/GPa	2.2 ~ 3.1
杨氏模量/GPa	970
热传导性/[$W \cdot (m \cdot K)^{-1}$]	250 ~ 300
与刚玉砂轮对磨的耐磨性/($mg \cdot kg^{-1}$)	~4.4
热稳定性/K	~1500

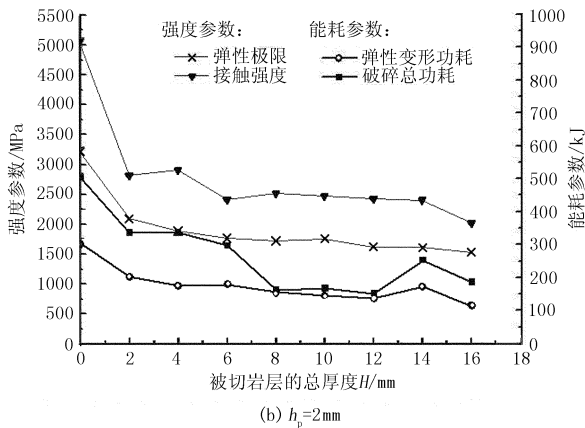
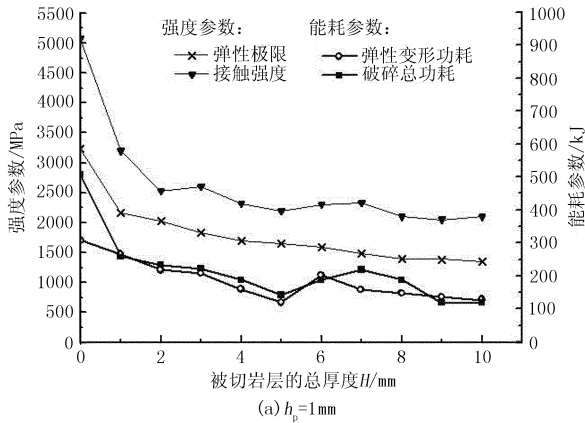


图 5 不同切削深度 (h_p) 下破碎砂岩时岩石物理 - 力学参数与岩石层厚度的关系

面切削具形成的预破碎区产生相互作用,使岩石破碎的能耗最小。

3 利用预破碎区提高钻进效果的实验研究

为了检验预破碎区对实际岩石破碎效果的影响,研制了在人造金刚石孕镶钻头胎体上镶嵌 AKTM 掏槽刃的 $\varnothing 76$ mm 试验钻头。其中,AKTM 是乌克兰超硬材料研究所研制的含金刚石和碳化硅的新型复合耐热岩石破碎材料。AKTM 的物理 - 力学性能示于表 3。试验钻头的结构示于图 6,钻头 4 个扇形胎块上沿同心圆均布了 3 个与唇面呈 -20° 角、直径 4 mm 的圆柱形 AKTM 切削单元。

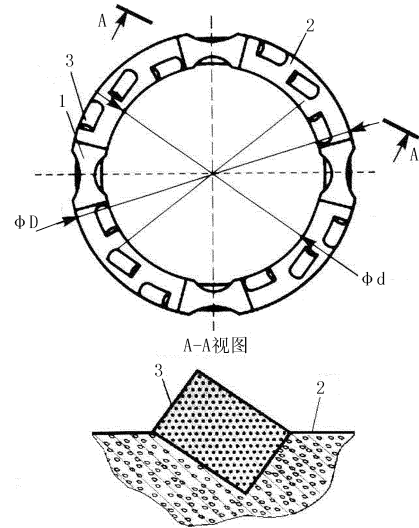


图 6 含有 AKTM 镶嵌体的试验钻头

1—水口;2—金刚石孕镶钻头胎体;3—AKTM 镶嵌体

钻进过程中,AKTM 掏槽刃上的金刚石超前切入岩石,在岩石上产生预破碎区。当胎体和切削具中的金刚石数量搭配合理时,掏槽刃预破碎区中的岩石仅出现大量裂纹,但并未完全破碎。这时钻头唇面下的钻渣量较少,从而减轻了胎体金刚石用于重复破碎的负担。而胎体上的金刚石随后可以较小的能耗破碎唇面接触的预破碎区岩石,从而明显提高钻探效率。

在实验室条件下,用镶有 AKTM 的试验钻头与金刚石牌号、粒度相似的商品钻头进行钻进 VII ~ VIII 级辉长岩的对比试验。

根据试验结果,机械钻速随轴向载荷变化的关系如图 7 所示。可以看出,试验钻头的机械钻速在载荷 5 kN 时比商品钻头增大了 80%,而载荷 10 kN 时机械钻速增长 1 倍以上。说明在该载荷下,AKTM 镶嵌体(掏槽刃)产生的预破碎区效果最好。

在实验室实钻试验之后,还把上述试验钻头用于野外生产试验。试验条件为:孔深 600 m,使用 3И \varnothing -650 (相当于中国的 XY-4) 型钻机,转速在 87 ~ 800 r/min 范围内可调,所钻地层为可钻性 VII ~

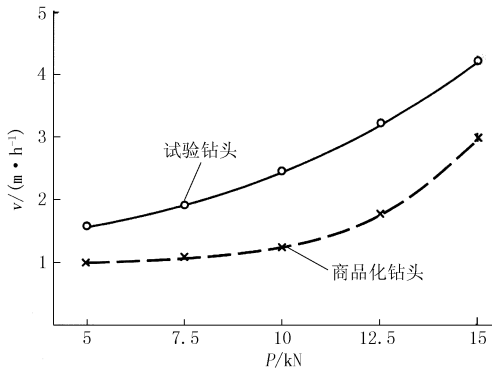


图7 机械钻速与轴向载荷的关系

Ⅷ级的砂岩、辉长岩和风化花岗岩互层。

试验结果列于表4。结果表明,镶有 AKTM 的试验钻头进尺总量是商品钻头的 1.6 倍,而机械钻速为商品钻头的 1.9 倍。

表4 试验钻头和商品钻头的生产试验对比结果

钻头类型	个数	钻进规程		平均钻速 /(m·h ⁻¹)	平均进 尺/m
		钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)		
试验钻头	10	10~15	340~576	3.35	36.4
商品钻头	20			1.8	22.3

4 结论

(1) 组合切削具破碎岩石时产生的预破碎区可降低岩石的强度及岩石破碎的能耗。能形成阶梯形孔底的钻头结构有利于发挥预破碎区的作用,使岩石破碎更容易。

(2) 一些学者认为,孕镶金刚石钻头钻进硬岩的破碎机理主要是磨削。本文的实验研究表明,金

刚石破碎岩石时决定性因素仍是剪切过程,对于Ⅶ~Ⅷ级(甚至部分Ⅸ级)岩石都可能存在着切削和磨削的组合作用过程。尤其是当钻头有掏槽单元并可切入岩石时,形成的预破碎区将使钻进效率明显提高。本文提出的试验钻头在硬岩钻进中耐磨性提高 63%,平均机械钻速提高 86%,就是例证。

(3) 经验表明,并非预破碎区越大越好。如果参与超前破碎的金刚石太多,孔底预破碎区大量裂纹提前贯通,形成大量钻渣填充在胎体与金刚石出刃之间,使金刚石不能接触岩石表面,而重复破碎钻渣,不仅增大了附加能耗,而且可能导致烧钻。当胎体和掏槽切削具中的金刚石数量搭配合理时,岩石预破碎区仅出现大量裂纹但并未贯通,从而减轻了重复破碎的负担,使机械钻速最大,钻头磨损最小。

参考文献:

- [1] 斯彼瓦克 A. И., 波波夫 A. Н. 钻井岩石破碎学[M]. 吴光琳, 等译. 北京:地质出版社,1983.
- [2] Богданов Р. К., Загора А. П. и др. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте[M]. Киев, Украина: УГГА, 2003.
- [3] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M], 湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [4] Исаев М. И., Пономарев П. В. Основы прогрессивной технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин[M]. Москва: Недра, 1975.
- [5] Свешников И. А., Майстренко А. Л. и др. Экспериментальные исследования влияния зоны предразрушения на прочность горной породы при резании[A]. Сборник научных трудов[C]. Киев, Украина: 2009.

南海神狐海域圈定 11 个可燃冰矿体 预测储量近 200 亿 m³

地质勘查导报 2010-12-21 消息 近日,由广州海洋地质调查局完成的《南海北部神狐海域天然气水合物钻探成果报告》通过终审,在神狐海域钻探目标区内圈定 11 个可燃冰矿体,储量约为 194 亿 m³,显示出良好的天然气资源潜力。

2007 年 5 月,由广州海洋地质调查局组织实施,委托辉固国际集团公司 Bavenit 号钻探船承担我国首个天然气水合物钻探航次,历时 52 天,完成先导孔钻探 8 个,取心孔钻探 5 个,在其中 3 个钻孔发现并获取了天然气水合物实物样品,实现了我国天然气水合物勘探的重大突破。

两年来,广州海洋地质调查局利用钻探现场成果和室内样品分析及地球物理处理成果资料,结合以往资料,通过测井评价、有井约束地震反演、矿体描述及水合物样品测试等,开展了天然气水合物成矿地质条件和富集特征研究,计算了钻探区天然气水合物资源量,提交了成果报告。

根据成果报告,我国神狐海域天然气水合物为扩散型,富集在稳定带下部 BSR 之上。研究人员在 140 km² 的钻探

目标区内圈定出 11 个可燃冰矿体,含矿区总面积约 22 km²,矿层平均有效厚度约 20 m,预测储量约 194 亿 m³。对含水合物样品气体组分及同位素分析表明,钻探区水合物富集层位气体主要为甲烷,其平均含量高达 98.1%,主要为微生物成因气。

研究人员发现,强 BSR 是神狐海域水合物赋存的主要标志。反射强度与沉积物孔隙中水合物饱和度有关。获得水合物的三个站位含水合物的饱和度最高值分别为 25.5%、46% 和 43%,是目前世界上已发现水合物地区中饱和度最高的地方。控制该区天然气水合物成藏的关键因素是气体通量和温度。钻探区地温梯度变化较大,水合物形成与分解的临界温度约为 16℃。钻探区沉积物孔隙水(SO₄)²⁻含量在垂向上变化迅速,较好地指示了水合物的存在。有井约束波阻抗体反演技术能够有效提高分辨率,利用反演数据能较好地描述水合物矿体的厚度和平面变化特征,从三维空间预测水合物矿体的空间分布形态。