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, U. A. 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Wa~Wa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 H. A³ (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 $\sqrt{II} \sim \sqrt{III}$ – 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! 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:鄔泰宁(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 事钻採工程的教学与科研工作,湖北省武汉市魯磨路,tnyan@ cug. edu. cn;段降臣(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 $h_{,}$ 与切削具 切入深度 $h_{,}$ 之间的关系如图 2 所示。可见,砂岩预 破碎区深度 $h_{,}$ 是切入深度 $h_{,}$ 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 $h_{,}$ 达 2 mm 时预破碎区深度 $h_{,}$ 已近 14 mm。







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 УΜΠΓ-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 УMΠΓ-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 YC6x)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 УМПГ-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 , (MPa)、弹性变形 ε_y (mm)及其最大值 ε_m (mm),弹 性变形功 A_{ε} 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_F 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 УМПГ-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	被切岩层	强度参数		能耗参数	
深度	的总厚度	弹性极限	接触强度	弹性变形功	破碎总功
h_p/mm	H∕ mn	σ,∕MPa	P _k ∕MPa	耗A _E /kJ	耗A _F /kJ
	0(岩石的	3230	5070	308.20	508.36
	原始参数)				
	1	2160	3200	265.24	259.00
	2	2033	2533	218.00	233.00
	3	1830	2600	207.55	222.06
1 . 1	4	1700	2320	158.83	187.50
$n_p \approx 1$	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
	2	2100	2833.33	205.00	340.10
	4	1900	2920	177.25	340.10
h _p = 2	6	1780	2425	182.84	301.60
	8	1733	2530	159.33	165.20
	10	1770	2480	149.23	171.00
	12	1,633	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

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	$\frac{3230}{100}$	<u>5070</u> 100	<u>308</u> 100	$\frac{508}{100}$
1	$\frac{2160 \sim 1350}{67 \sim 42}$	$\frac{3200 - 2100}{63 - 41}$	$\frac{265 \sim 126}{86 \sim 41}$	$\frac{259 \sim 118}{51 \sim 23}$
2	<u>2100 ~ 1540</u> 65 ~ 48	<u>2833 ~ 2030</u> 56 ~ 40	$\frac{205 - 117}{67 - 38}$	$\frac{340 \sim 189}{67 \sim 37}$

切削动学的综合破碎指标

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。



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 Ø76 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。

表 3 AKTM 的物理 – 力学性能

指标	值	
密度/(g・cm ⁻³)	3.45	-
克式硬度/GPa	50 ~ 55	
断裂韧性/(MPa・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・(m・K) ⁻¹ 〕	250 ~ 300	
与刚玉砂轮对磨的耐磨性/(mg・kg ⁻¹)	~4.4	
执稳定性/K	~ 1500	



1一水口;2一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 人岩石,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 314Ø-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\//~



图 7 机械钻速与轴向载荷的关系

Ⅲ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	平均进
		钻压/kN	转速/(r・min ⁻¹)	∕(m • h ⁻¹)	尺/m
试验钻头	10	10 16	240 676	3.35	36.4
商品钻头	20	10~15	540 ~ 576	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₩ ~ ₩级(甚至部分 K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 刀之间,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:

- 斯彼瓦克 A. H., 波波夫 A. H. 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., Закора А. П. и др. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте [М]. Киев, Украина: УГГА, 2003.
- [3] 鄙泰宁.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 [М]. Москва: Недра, 1975.
- [5] Свешников И. А., Майстренко А. Л. и др. Экспериментальные исследования влияния зоны предразрушения на прочность горной пароды при резании [А]. Сборник научных трудов[С]. 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,显现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。