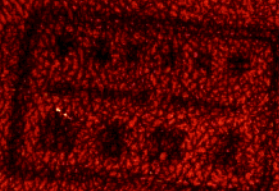


701984

坚硬致密弱研磨性岩层 金刚石钻进技术

徐晓军 李世京 编著



地质出版社

坚硬致密弱研磨性岩层 金刚石钻进技术

徐晓军 李世京 编著

地质出版社

坚硬致密弱研磨性岩层

金刚石钻进技术

徐晓军 李世京 编著

•
责任编辑：冯士安

地质出版社出版发行

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

•
开本：850×1168¹/₃₂ 印张：4.125 字数：106000

1989年6月北京第一版·1989年6月北京第一次印刷

印数：1—1000册 国内定价：1.80元

ISBN 7-116-00432-7/P·383

前 言

坚硬致密弱研磨性岩层钻进效率低的问题，是钻探行业长期存在的一大技术难题。采用金刚石钻探新技术之后，这个问题依然突出，以致影响金刚石钻探优越性的发挥，从而困扰了这一新技术的推广应用。为解决这个问题，国内许多单位先后做了大量的技术攻关和科学试验工作，并取得了显著的成效。本书以江西省地质矿产局的研究试验成果为基础，吸取国内外同行研究的成果，编著成册，供有关工程技术人员、工人及从事金刚石钻头研制的同志参考。

本书在编写过程中，得到了不少同志的帮助，一些科研人员和野外施工单位提供了技术资料，李砚藻同志对全书进行了审阅，在此表示衷心的感谢！

尽管本书编写之前，笔者曾从事过这方面的专题试验研究，但由于微观测试手段不足，加之水平有限，书中存在缺点和错误在所难免，热忱欢迎读者批评指正。

作者

目 录

第一章 概论	1
第二章 坚硬致密弱研磨性岩层的岩石特性	5
第一节 岩石的矿物组成及物理力学性质	5
第二节 坚硬致密弱研磨性岩层的含义	10
第三章 钻进打滑的过程与原因分析	14
第一节 孕镶金刚石钻头破碎岩石机理与井底过程	14
第二节 孕镶金刚石钻头的磨损机理与金刚石出刃	20
第三节 钻进打滑的过程与产生原因	27
第四节 解决钻进打滑问题的途径	30
第四章 孕镶金刚石钻头的合理设计	32
第一节 金刚石强度	32
第二节 金刚石粒度	37
第三节 金刚石浓度	40
第四节 胎体耐磨性	47
第五节 钻头底唇面形状	52
第六节 钻头水口数目	64
第七节 孕镶层高度	66
第八节 对各种试验钻头的评价	67
第五章 电镀金刚石钻头	74
第一节 电镀金刚石钻头的特点	74
第二节 电镀金刚石钻头的设计	77
第六章 金刚石回转冲击钻进	87
第一节 孕镶金刚石钻头用于回转冲击钻进的 基本观点	87
第二节 回转冲击钻进时孕镶金刚石钻头的磨损	90

第三节	高频液动冲击器	95
第四节	金刚石回转冲击钻进效果	98
第七章	钻进参数的合理选择	103
第一节	钻压	103
第二节	转速	108
第三节	泵量	113
第八章	孕镶金刚石钻头的人工出刃	116
第一节	喷砂法	116
第二节	酸蚀法	119
第三节	研磨法	121
结论		122
主要参考文献		125

第一章 概 论

金刚石是人们公认最坚硬最耐磨的矿物。地质岩心钻探采用金刚石作为破碎岩石的刃具，钻探效率和质量得到了突破性的提高。在中硬及硬的岩石中，一开始使用就体现了这种钻进方法有无可比拟的优越性。但对于可钻性X级以上的坚硬致密弱研磨性岩层，其高效率的优越性并没有顺利地展现出来。常规金刚石钻头下孔钻进不久，随着钻头金刚石出刃的磨损，机械钻速急剧下降，以至经常出现不进尺的情况。人们把这种客观存在的现象称之为“钻进打滑”，把钻进打滑的这一类岩石统称为“打滑岩层”。

坚硬致密弱研磨性岩层在一般矿区所占比例虽然不大，但由于打滑现象的发生，即使很少几米，也要耗费大量的时间，导致钻孔施工周期增长，勘探成本增高。因此，引起了国内外广大钻探工作者的关注。笔者所在工作单位——江西省地质矿产局，因为较多的钻探工作是投入金属与稀贵金属的普查勘探，不少矿区遇到这种坚硬致密弱研磨性岩层。层厚由几米，乃至上百米。这些矿区用常规的金金刚石钻头钻进，都不同程度上遇到了钻进打滑的麻烦。例如：德安新屋宋锡矿区ZK530孔，钻进到291m处遇到了硅质胶结的含砾石英砂岩和硅质板岩，其压入硬度为4513—7171MPa，单轴抗压强度为237—256MPa。用常规孕镶人造金刚石钻头钻进出现打滑现象，接连几个班不进尺。特别是从孔深301.50—329.27m一段，足足花了33天，纯钻进246.25h，才进尺27.77m，平均小时效率只有0.11m/h，其中有18个回次进尺为零。

荷沂多金属矿区施工的ZK1401孔，孔深212.17m至230.49m孔段为斑状黑云母花岗岩，其压入硬度4738—5690MPa，单轴抗压

强度197—212MPa,研磨性为3mg。用常规孕镶人造金刚石钻头钻进了51个回次,纯钻进109.67h,只进尺18.14m。平均小时效率0.166m/h,平均回次进尺0.36m/回次。其中,有12个回次的平均小时效率0.016m/h,平均回次进尺0.038m/回次,几乎不进尺。

大湖钨矿区施工的ZK54孔,孔深从86.77m至95.85m是细粒二云母花岗岩和石英脉,其压入硬度5307—5729MPa,单轴抗压强度218—224MPa,研磨性为2.5—4mg。用常规孕镶人造金刚石钻头钻进,纯钻121.75h,只进尺9.13m,平均小时效率0.07m/h,平均回次进尺0.13m/回次。

留龙金矿区施工的ZK703孔,在孔深53.80m至60.59m段遇变沉凝灰岩,压入硬度5660—7760MPa,单轴抗压强度226—394MPa,研磨性为1.6mg。用常规孕镶人造金刚石钻头钻进,纯钻38.67h,才进尺6.59m,平均小时效率0.17m/h,平均回次进尺0.25m/回次。

特别是南冲矿区施工的ZK201孔,几乎全部是坚硬致密的石英花岗斑岩和石英脉。其中,133.26—160.22m段尤为坚硬致密。用常规孕镶天然金刚石钻头钻进,纯钻454h,只进尺26.96m,平均小时效率为0.059m/h,平均回次进尺为0.2m/回次。该孔设计孔深290m,1980年9月初开钻,因钻进打滑,进尺缓慢或根本不进尺,直到1982年5月24日才钻进到孔深228.59m处,不得不提前终孔。

类似问题,我国其他省也不同程度的存在,例如,山西岚县铁矿区的ZK4—8孔,设计孔深570m,其中坚硬致密的磁铁石英岩就厚达500m。据测定,这种磁铁石英岩的压入硬度为4964—5131MPa,单轴抗压强度为285—324MPa。该孔采用金刚石钻进,3月30日开孔,到5月25日总共才进尺了57m。在该孔孔深47—73m孔段,投入常规孕镶人造金刚石钻头11个,表镶天然金刚石钻头5个,纯钻86.25h,才进尺10.88m,平均小时效率0.12m/h。

坚硬致密弱研磨性岩层的金刚石钻进打滑问题，国外亦很突出。据对外技术座谈及有关资料介绍，美国田纳西州东部有一层严重打滑的石英质岩层，其石英含量占90%。据称，有七家钻头和钻井公司在该地区进行了为期两年的研究试验，但适应于该岩层钻进的钻头品种和钻进工艺均没有取得突破性的进展。美国克里斯坦森公司采用30/60目MSD型人造金刚石制成的孕镶金刚石钻头，钻进2h，进尺3英尺后，钻头即被磨平抛光，不再进尺；采用80—100粒/克拉的优质天然金刚石制成的表镶金刚石钻头，钻进1h，进尺1英尺之后，也不再进尺了。又如，在孕镶金刚石钻头制造方面，享有较好声誉的比利时戴蒙特公司，在用于磁铁石英岩这样一类岩层，其钻头小时效率也只能达到0.1m/h的水平⁽¹⁾。

地质矿产部勘探技术研究所从1977年底开始对这类坚硬致密弱研磨性岩层的金刚石钻进打滑问题进行了研究。该所在山西岚县铁矿区的磁铁石英岩中试验了孕镶金刚石钻头43个。其中，孕镶天然金刚石钻头（加纳孕镶料，20—40目）20个，国产孕镶人造金刚石钻头（国产人造金刚石JR₃型，80目为主）21个，英国孕镶人造金刚石钻头（英国产人造金刚石，强度1962—2943MPa）2个。试验结果是，孕镶天然金刚石钻头的平均小时效率0.47m/h，平均钻头寿命3.05m/个，国产孕镶人造金刚石钻头的平均小时效率0.30m/h，平均钻头寿命1.46m/个；英国孕镶人造金刚石钻头的平均小时效率0.48m/h，平均钻头寿命4.36m/个。该研究所也曾到江西德安新屋宋锡矿区进行过试验。试验是在ZK530孔的含砾石英砂岩和硅质板岩中进行的。第一批试验孕镶金刚石钻头4个（孕镶天然金刚石钻头2个，孕镶人造金刚石钻头2个），平均小时效率0.42m/h，平均钻头寿命5.18m；第二批试验孕镶金刚石钻头10个（孕镶天然金刚石钻头3个，孕镶人造金刚石钻头7个），平均小时效率0.45m/h，平均钻头寿命8.43m/个。总的看来，第二批试验钻头的小时效率和钻头寿命比第一批试验钻头有所提高，但提高的幅度不大，仍不能满足坚硬致密

打滑岩层钻进的需要。

笔者自1981年3月起,在前人工作的基础上,对坚硬致密弱研磨性岩层的金刚石钻进打滑问题进行了专题研究。从鉴定测试这类岩层的矿物成分、组织结构及物理力学性质,分析研究金刚石钻头的破碎岩石及其唇面磨损机理入手,对钻头的金刚石参数、胎体性能、唇面形状的确定,钻进规程的优选,以及钻头人工出刃方法的选择等方面做了大量的系统的试验研究工作。整个工作分三个阶段进行:第一阶段,以优选金刚石钻头的基本技术参数为主,分组进行了钻头的金刚石参数的单参数的变更对比试验。优选出了适应坚硬致密弱研磨性岩层钻进需要的金刚石钻头的金刚石强度、粒度、浓度及胎体硬度。第二阶段,在优选金刚石钻头基本参数的基础上,对钻头唇面造型进行了分析对比和试验优化。第三阶段,在头两轮试验的基础上,择优对各类型钻头进行了校核性的系统的对比试验。

试验钻头共119个,全采用人造金刚石制成。分热压法、电镀法制造的两大类。热压孕镶人造金刚石钻头又分平底形、圆弧形、双阶梯、三阶梯、尖齿形、交叉式、凹凸式、薄壁、多水口、宽水口钻头等多种,先后分三批在五个矿区的坚硬致密弱研磨性岩层中进行了生产性试验。试验采用现场跟班,逐个钻头标定的办法。为确保试验钻头都能在坚硬致密弱研磨性岩层中钻进,现场还采用WXY-1型岩石压入硬度计,按回次测定试验钻头所钻岩石的压入硬度值。不属坚硬致密弱研磨性岩层不试验,所取数据也删去。

试验结果令人鼓舞。试验钻头钻进坚硬致密弱研磨性岩层的总进尺1815.08m,平均小时效率1.07m/h,平均回次进尺1.21m/回次,平均钻头寿命15.25m/个,比试验前提高了几倍,乃至十几倍。基本上解决了本局坚硬致密弱研磨性岩层的金刚石钻进“打滑”和钻进效率低的问题。

第二章 坚硬致密弱研磨性岩层的岩石特性

第一节 岩石的矿物组成及物理力学性质

岩石的矿物成分、胶结物质、颗粒大小及组织结构等对岩石可钻性的影响极大。它决定着金刚石钻头类型和钻进规程的确定。因此，要解决坚硬致密弱研磨性岩层的金刚石钻进打滑和效率低的问题，首先就要分析研究这类岩层的岩石特性。为此，笔者收集了各矿区中金刚石钻进“打滑”的主要岩层的岩心样品，进行了岩石成分的鉴定和物理力学性质的测定。

岩石成分鉴定和物理力学性质测定分别由江西地质科研所的岩矿鉴定室和探矿技术研究室完成。测定的岩石物理力学性质如下。

1) 压入硬度 压入硬度是岩石抵抗标准形状压头压入的阻力，其值用岩样被压入到产生体积破碎时压头单位面积上的载荷量来表示，单位为MPa。测定时，使用的是国产WXY-1型岩石压入硬度计。采用的压头是硬质合金压头，压头直径为 $d=1.00\pm0.01$ mm。岩样是用 $\phi 56$ mm金刚石钻头钻进后所得的完整岩心，加工时使其高度与直径之比为1:1，两端严格保持平行，并磨平抛光（下同）。

室内测试时，将加工好的岩样置于岩石压入硬度计的托盘上，使其与压头接触，然后缓慢均匀加压，直到压头底部的岩样产生体积破碎为止（这时岩样表面产生爆裂声，压力表表针会突跳），记下压力表读数。为使测量结果具有较好的代表性，每块

岩样测定五个点（岩样表面划十字，中心一点，前后左右各一点），取其平均值。岩石压入硬度计算公式如下：

$$H_y = \frac{\bar{P} \cdot S}{A} \quad (2-1)$$

式中， H_y ——岩石压入硬度（MPa）；

$\bar{P}$ ——压力表平均读数（MPa）；

S ——手动千斤顶活塞面积（mm²）；

A ——压头截面积（mm²）。

野外现场测试时，由于不具备岩样加工的条件，故将 $\phi 56$ mm 金刚石钻头所钻完整岩心横躺放置于岩石压入硬度计托盘上的V型架上（自行加工的），使岩心侧面（适当锉平）与压头接触，保持压头与横躺岩心的轴线相互垂直。然后按室内测试的方法加压，并读数。考虑野外工作特点，每块岩心只测3点，取其平均值。

2) 单轴抗压强度 单轴抗压强度是岩石整体抵抗单轴载荷破坏的能力。其值用岩样在单轴压缩载荷作用下完全破坏时的单位承载面积上的载荷量来表示，单位为MPa。测试是在200吨材料力学试验机上进行的。

3) 摆球硬度 摆球硬度是动载测量岩石硬度的一种方法。其值用摆动的钢球在冲击被磨平抛光的岩样表面的回跳次数来表示。测试是在WYQ-1型摆球硬度仪上进行的。

4) 岩石声波速度 岩石声波速度是利用实测到的声波在岩石中的传播速度测定岩石的物理力学参数的一种方法。其原理是：超声波是一种机械波，机械振动在弹性介质里会引起波动。由波动方程推导出纵波声速为：

$$V_p = \sqrt{\frac{E_d}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (2-2)$$

式中， V_p ——纵波在岩石中的传播速度；

E_d ——岩石的弹性模量；

ρ ——岩石的密度；

μ ——岩石的泊桑比。

很显然，由于岩石内部结构特征上的差异，即矿物成分、胶结状况、容重、孔隙度、松散程度、颗粒大小、风化程度等因素，必然会引起声速的差异，测得纵波在岩石中的传播速度，便反映出岩石的物理力学参数。

岩石声波速度的测定，采用的是 CYC-4 型超声波岩石探测仪。岩样为 $\phi 56\text{mm}$ 金刚石钻头钻进的岩心，长度 35—100mm，两端切平抛光。

声波速度值按下式计算：

$$V_p = \frac{L}{t} \quad (2-3)$$

式中， V_p ——纵波速度 (m/s)；

L ——岩样长度 (m)；

t ——超声波穿透岩样的时间 (s)。

5) 研磨性 研磨性是岩石对破碎岩石工具的研磨能力。其测量方法和衡量指标，目前不统一。笔者采用的是标准杆研磨法，其装置见图2-1。标准杆用45°钢加工而成。岩样表面用100°金刚砂纸磨平。标准杆规格和研磨规程参见表2-1。以规定时间内标准杆磨损后失去的重量作为岩石的研磨性，单位为mg。

表 2-1 岩石研磨性的测定规程

标准杆规格					研磨时规程				
材质	外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)	硬度 (HRC)	轴压力 (N)	转速 (r/min)	研磨 时间 (min)	冲洗液 类型	冲洗液量 (ml/min)
45°钢	8	4	80	74—78	10	550	8	清水	20

各矿区坚硬致密弱研磨性岩层的几种代表性岩样的主要矿物成分和物理力学性质的测定结果参见表2-2。

由表2-2可明显看出：坚硬致密弱研磨性岩层具有下列共同特性：

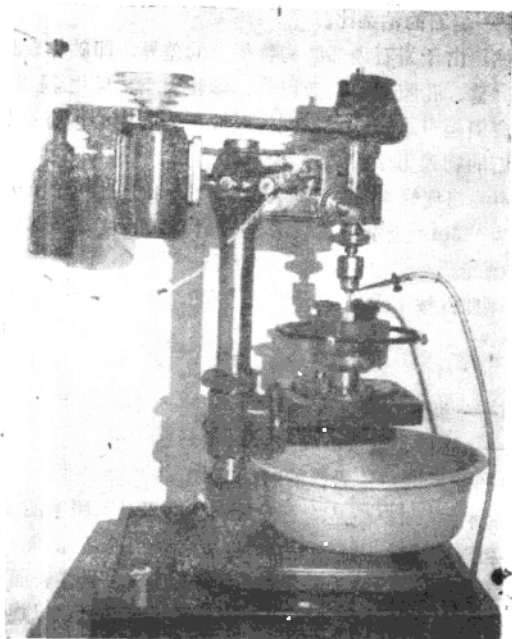


图 2—1 岩石研磨性测量装置

1) 硬度大 这类岩层主要成分是石英和长石。其石英含量大都在50%以上,个别高达89—90%。众所周知,石英是造岩矿物中硬度较大的矿物,它在莫氏硬度分级中定为第七级,仅次于黄玉、刚玉和金刚石。故以石英为主所组成的岩石,其表面硬度大。据测定,这类岩层的压入硬度均大于5000MPa,绝大多数在5500—6500MPa之间。这么坚硬的岩石,仍用常规的金金刚石钻头钻进,即使允许采用强力钻进规程,成倍增大轴向载荷,亦难实现体积破碎。

2) 强度高 这类岩石的造岩矿物的颗粒度细,其粒度大都在0.01—0.2mm之间,而且矿物颗粒之间由硅质胶结,结合力

表 2-2 坚硬致密弱研磨性岩层的几种有代表性岩样的主要矿物成分和物理力学性质的测定结果

矿 区 名 称	岩 石 名 称	石英含量 (%)	长石含量 (%)	一般粒径 (mm)	抗压强度 (MPa)	摆球硬度		研磨性 (mg)	超声波速度 (m/s)	肖氏硬度 (HS)	岩石类别
						第一次回弹角 (度)	摆球弹次 (次)				
藕沂多金属矿区	似斑状白云母花岗岩	>42	>47	<0.1	5160	73	37	2			X
	钾长花岗岩				5199	77	42	3	5866	103	X
	似斑状黑云母花岗岩	>74	15	0.08—0.3	5729	77	47	3			X
大湖扩钙矿区	细粒二云母花岗岩	56	20	0.02—0.15	5307	74	50	4	5528	94	X
	石英脉	100		0.1—0.5	5503	77	42	2.5	5585	105	X
	细粒二云母花岗岩	>50	15	0.15—0.2	5023	73	39				X
南冲多金属矿区	硅化石英岩	92		0.005—0.08	6622	78	56	3			Ⅺ—Ⅻ
	石英脉	>95		<0.01	5798	78	46	2	5493	102	X
	则起石化变沉凝灰岩	>56	25	0.05	6602	74	43	2			Ⅺ
留龙金矿区	硅化变质粉砂岩	>50	22	<0.01	7328	219					Ⅺ
	变沉凝灰岩	>65	20	0.05	7760	394	39	1.6	6060	107	Ⅺ—Ⅻ
	变沉凝灰岩	>64	20	0.03	7152	232	31		6203	100	Ⅺ—Ⅻ
冷水坑铅锌矿区	流纹质熔结凝灰岩				4984	189	37	2.6	4280		X
	熔结凝灰岩				6337	189	38	2.4			Ⅺ—Ⅻ
德安锡矿区	石英砂砾岩	>50	20	0.05—0.50	4513	237					X
	硅质板岩				6995	256					Ⅺ—Ⅻ

大。这样，整个岩石坚硬致密，不仅表面硬度大，而且整体强度高。据测定，这类岩石的单轴抗压强度均大于150MPa，绝大多数在200—250MPa之间。

3) 研磨性弱 研磨性弱是坚硬致密打滑岩层的显著特点。人们常说，组成岩石的矿物硬度大，其研磨性就强，其实不然。对于坚硬致密打滑岩层，尽管其主要成分是硬度较大的石英和长石，而其研磨性却不强。用标准钢杆磨损法测定，其研磨性均在5mg以下，个别的只有2mg左右。这是因为，岩石的研磨性不仅仅取决于岩石主要成分及其硬度，而且还与岩石主要成分的颗粒度、颗粒的均匀度、以及颗粒之间的胶结物质的性质等密切相关。坚硬致密打滑岩层的主要成分是石英和长石，其颗粒度小，均匀度好，颗粒之间由硅质胶结，整个岩石坚硬而致密，故其研磨性弱。

岩石的研磨性对孕镶金刚石钻头的出刃起着极为重要的作用。生产实践表明，岩石的研磨性越弱，孕镶金刚石钻头就越难出刃，容易出现“打滑”现象。

第二节 坚硬致密弱研磨性岩层的含义

人们常常将金刚石钻进出现打滑现象的岩层统称为“打滑层”，这是不科学的。

有些岩层，金刚石钻进出现打滑现象，并不是岩石本身如何坚硬致密而难以钻进，而明显是由于所选用的金刚石钻头与所钻进的岩石不相适应，或钻进时操作不当所致。例如，阳储岭钨矿区施工的ZK502孔，在孔深70.44m至86.05m处有一层花岗岩，虽说岩石比较坚硬，但结构粗糙，研磨性较强，其可钻性并不差。开始时，采用胎体硬度为42—46HRC的孕镶人造金刚石钻头钻进，前几个回次的小时效率低，平均只有0.1m/h。后适当降低钻头胎体硬度，选用胎体硬变为30—35HRC的孕镶人造金刚石钻头钻进，并适当增大钻压，打滑现象便得到消除，小时效率

提高到0.85m/h。可见，在这类岩层中钻进，只要适当注意选用金刚石钻头和钻进规程，打滑问题不难解决。

而另一些岩层，主要成分是硬度大的石英和长石，矿物颗粒细，且均匀，矿物颗粒之间硅质胶结。这类岩层的岩石坚硬，硬度大，强度高，岩石结构致密，研磨性弱。在这类岩层中钻进，采用常规金刚石钻头，不管使用何种钻进规程，金刚石钻头都不易出刃，钻进效率低，甚至根本不进尺。孕镶金刚石钻头如此，表镶金刚石钻头也是如此。前述几种岩石就属此类。这类岩层才是本书所要讨论的所谓“打滑岩层”，科学的叫法是坚硬致密弱研磨性岩层。

为了统一认识，便于分析研究和采取对策，有必要对坚硬致密弱研磨性岩层作出比较确切的定义，赋予定量的含义。但由于我国金刚石钻探的岩石可钻性分级工作尚在进行，要对这种较特殊的坚硬致密弱研磨性岩层作出比较确切的定义，赋予定量的含义，还有一定的困难。笔者用数理统计的方法，对本局几个矿区的坚硬致密弱研磨性岩层的岩石矿物进行鉴定和物理力学性质测定的结果，作了分析和研究。考虑到我国当前金刚石钻探生产的实际水平，初步认为：目前我国金刚石钻探大致可按以下三项指标作为划分坚硬致密弱研磨性岩层的界线：

压入硬度： 大于5000MPa；

单轴抗压强度： 大于150MPa；

研磨性： 小于5mg（钢杆磨损法测定）。

笔者之所以采用这三项指标作为划分坚硬致密弱研磨性岩层的依据，是因为这三项指标能比较集中地反映该类岩层的主要物理力学特征和可钻性。压入硬度反映了岩石表面抵抗其他物体压入的阻力；单轴抗压强度反映了岩石抵抗外力作用使其产生体积破碎的能力；研磨性则反映了岩石磨损破碎岩石工具的能力。岩石的这三种特性的综合出现，是导致金刚石钻进打滑的外部条件，如果除去其中的某一个，特别是大压入硬度和弱研磨性，则金刚石钻进打滑现象将不复存在，有可能实现恒速钻进。所以，