

Е.Ф. 埃卜斯杰
Э.И. 阿士 著
Г.К. 維托特
陶在朴 譯

新的 岩石破碎方法

中国工业出版社

新的岩石破碎方法

Е.Ф.埃卜斯杰、Э.И.阿士、Г.К.維托特 著

陶在朴 譯

中国工业出版社

本书介绍凿岩、二次破碎以及开采金属矿床和煤矿用的各种新的岩石破碎方法。书中详细论述了用潜入式水力钻头进行冲击迴轉式凿岩，以及利用水电效应装置和高频电流破碎岩石的方法。此外，还列举了各种装置的工业试验和实验室试验的有关数据。

本书的读者对象为金属采矿、采油、采煤以及建筑工业的工程技术人员和科学研究人员。

Е.Ф.ЭПШТЕЙН Э.И.АРШ
Г.К.ВИТОРТ
НОВЫЕ МЕТОДЫ РАЗРУШЕНИЯ
ГОРНЫХ ПОРОД
ГОСТОПТЕХИЗДАТ
МОСКВА 1960

* * *

新的岩石破碎方法

陶在朴 译

* * *

冶金工业部图书编辑室编辑(北京猪市大街73号)

中国工业出版社出版(北京德胜门内大街10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

* * *

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $3^{1/16}$ ·字数62,000

1962年12月北京第一版·1962年12月北京第一次印刷

印数001—780·定价(10-7) 0.44元

* * *

统一书号: 15165·2037 (冶金-297)

前 言

由于科学技术的普遍发展，特别是物理学的发展，提供了采用新法破碎岩石的可能性。这些新方法是指热学的、电物理的、热机械的以及利用在液体中放电破碎岩石（水电效应）等各种方法。

在所有情况下，不论上述破碎岩石作用过程的特征如何，岩石从母体上被分离成碎块，都是因为岩石内部的应力达到它的强度极限的结果。某种材料的强度极限取决于变形的类型（拉、压、剪切、弯曲、扭转）和应力状态的特征，应力状态可能是綫的（单轴），平面的（双轴）和空间的（三轴）。拉、压等力综合作用时发生复杂应力状态。根据弹性理论，固体的各种变形可归结为压变形或拉变形以及剪切变形。

岩石在它被破坏以前这一期间的应力状态特性以及强度极限的大小，取决于被分离岩石相对于母体所处的条件以及在岩体上是何种作用力（压，拉，剪切）。根据眼底的形式，进一步说便是从母岩上分离岩石碎块时所具有的自由面数，岩石的破碎是在不同的强度极限下发生的，这些强度极限是与该种变形类型及应力状态的特征相应的。

在一定条件下，可使岩石内部在破坏以前发生某种变化，这些变化能使岩石原有的强度极限降低。比如，某些岩石在高速交变的电磁场作用下，其强度降低 $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ 倍。介质的特性影响到岩石的破坏过程，特别是当施加冲击载荷时。如果与破坏区接触的介质内部，存在表面-活性物质时，岩石的原

有强度极限也会降低。

岩石的破坏方法是根据引起岩石内部破坏应力发生的物理，化学和物理-化学过程的特征确定的。

可将破碎岩石的主要方法分为以下几大类：机械的，热学的，电物理的和综合的。

这样的分类多少是相对的，比如，应用电物理和热学法时，岩石的破碎都是由于岩石局部受热的结果。

不过，电物理破碎法所引起的岩石局部受热过程要特殊一些。

利用水中放电所发生的冲击波破碎岩石的方法，应与机械破碎法分别研究，因为这种过程有其独特性。

要对新法破碎岩石进行大量综合叙述确有困难，因此，这本小册子存在缺点是难免的。批评和意见请寄给莫斯科，K-12，亚科夫斯基三街，1/19，燃料出版社。

目 录

前言

I. 破碎岩石的机械方法.....	1
概述.....	1
岩石的力学特性.....	4
用压气冲击机械进行冲击-旋轉式钻进炮眼和深孔的 試驗及基本規律.....	8
用潛入式水力钻头的冲击-旋轉式钻眼	13
附加諧振的冲击-旋轉式钻眼	19
超声波破碎.....	23
水射流破碎.....	25
爆破法掘进深孔.....	27
II. 水电破碎.....	33
研究水中放电的方法.....	33
研究結果.....	38
实际应用的建議.....	48
III. 岩石的热力破碎.....	53
火焰噴射器钻眼.....	53
热力钻眼的岩石破坏力学.....	59
用鋁热剂时岩石的破坏.....	61
热机械破碎.....	62
IV. 电物理破碎法.....	65
岩石的电、磁特性.....	66

岩石在高交變電磁場下的破壞.....	70
論電流击穿時岩石的破碎.....	76
結束語.....	86
參考文獻.....	89

I. 破碎岩石的机械方法

概 述

根据能量在岩石内部传递的方式，使用机械法时，岩石可能是被专门的碎岩工具，炸药或是水射流所破碎，此外，超声波破碎岩石也可以相对地列入这类。

在破碎过程中，由于碎岩工具被磨损。一般說其几何型体发生变化，这种结果首先引起工具工作表面与岩石接触处的应力发生变化。因而，随着工具磨损程度的增加，碎岩生产率降低，而破碎单位体积岩石的能量消耗将增加。用碎岩工具破碎岩石的劳动生产率和工作的经济性，很大程度上取决于碎岩工具的抗磨性能。

近十年来，工具的抗磨性已有提高，其结构也有改善。創造一种能够长期工作而不会被磨钝，并能在单位时间内向眼底传送大量能量的碎岩工具，能够确保生产率的增长，特别是钻眼生产率的增长。

用金刚石装备碎岩工具，在一定程度上能够解决上述问题。但是具有高硬度同时又是高强度的人工材料，正引起了人们的强烈兴趣。这类材料中特别值得一提的是波拉佐（Боразон）（美国电气家德惹涅拉里公司制造的一种氮化硼立方体），这种材料的硬度与金刚石相同，但比金刚石更能忍受高温，大约是它的二倍。

由于高强度的工具目前还没有創造出来，因此，首先要注意在寻找一种使工具磨损减小的机械碎岩法；其次才是寻求不用碎岩工具的破碎方法。下列方法都属于用碎岩工具的

碎岩法。

岩石切削法 用这种方法时钻具的推进可能是随意的（力恒定时），或是强制的（速度恒定时）。用钻头旋轉式钻孔时，钻进深孔时；以及采煤机械工作时，都是应用着这类碎岩法。从能量的观点看，岩石切削法的作用过程倒是十分完善的，不过，由于钻具易于磨损，所以在研磨性强的，硬度中等或很高的岩石中工作时，这种方法的生产率是低的。在某种条件下，在坚硬的研磨性强的岩石中切削法也可能取得良好效果。Г.П.維列士庫諾夫讲师（德聶泊罗彼得罗夫斯克矿业学院）的研究說明，只要創造了有利于岩石破坏的眼底形状，使用一定型式的钻头，工作时并施以高推进力，就是在坚硬岩石中切削法的钻眼速度也会高于冲击-迴轉式的钻眼速度。

比如，普罗托吉亚科諾夫教授岩石强度系数 $f=14\sim 16$ 的岩石，其钻进速度可达 $10\sim 14$ 厘米/分，这就是說，比冲击-迴轉式钻眼的速度高 $0.5\sim 1.0$ 倍。

岩石的冲击破碎法 鋼繩冲击钻机和风钻工作时（冲击-迴轉式钻眼）就是利用这种碎岩法。冲击迴轉式钻眼的特点在于，每一次冲击后，钻头离开眼底并轉动某个角度。这种钻眼法，当冲击频率不高时（鋼繩冲击钻）生产率是低的。

附加冲击载荷的切削和钻进碎岩法 冲击载荷可以沿着推进方向作用（如，冲击旋轉式），也可以沿着切削力的作用方向作用（旋轉式钻眼时）。后一种施加冲击载荷的方法，暂时还没有在钻眼中得到应用。附加冲击载荷的切削和钻进碎岩法近来应用得已經很普遍。有一种动力刨煤机是为开采煤矿床制造的，这种刨煤机的冲击载荷是通过落煤鏟类型的工作机构或是非平衡轉动质量的离心力而实现的〔43〕。在后一

种情况下，某一方向的冲击载荷，在时间上是按正弦曲线的规律变化着。

冲击-旋轉式钻眼时可以应用各种各样的发生冲击载荷的装置。冲击-旋轉式钻眼不同于一般的，在于作用在碎岩工具上还有附加的靜推进力，扭矩和一定频率的冲击力。动推进力（冲击力）和时间的函数关系可能有各种各样的类型。

这种应用特殊冲击机构的钻眼法，在苏联首先是被工程师柯馬諾維实现的。冲击-旋轉式钻眼的实验室研究已经完成，而且于1934—1937年间在德涅泊彼得罗夫斯克矿业学院奠定了理论基础（45，73，78）。战后，苏联科学院西西伯利亚分院采矿地质研究所，頓涅茨矿业学院金属矿科学研究所以及美国、德国和若干其他国家进行了大量的冲击-旋轉式钻眼的研究工作。

齿輪钻头钻眼时，动载荷是当钻头齿在眼底滚动时发生的。

齿輪钻头在钻进石油和天然气的深孔时已经得到广泛的应用。战后，在钻进坚硬有用矿物的勘探钻眼，以及地下和露天开采的爆破孔时，齿輪钻进应用得很有效。当应用杆式齿輪钻头并强化工况时，可以得到很高的钻眼速度：普氏系数 $f=12-14$ 的岩石大约是 $1.0-0.7$ 米/分， $f=16-20$ 的岩石大约是 $0.6-0.4$ 米/分。这样高的速度，用普通的齿輪钻头，只有在塑性系数不大的岩石中才能得到。

在高塑性系数的岩石内钻眼，用普通的齿輪钻并不能保证高钻日速，这是因为，普通的带有銑头作单纯滚动的齿輪钻，是用冲击力破坏眼底的，而没有发生足够的，剪切岩石的作用力，而塑性岩石在这种剪切力作用下，会显著地加速

破坏。

切刃型钻头的冲击-旋轉式钻眼,其动推进力的发生要用特殊的机构,这点已經提过。

如果改变冲击次数和冲击力之間,靜推进力和圓周速度(每分钟轉数)之間的比例关系,就可以在很大幅度內变化钻头对岩石作用过程的性质。換句話說,可以变化破坏岩石的冲击功和岩石受两次冲击凿刻后所分离区段移动間的比例关系。

在正确选择钻眼工况的参数和正确选择工作工具結構的条件下,对于大多数岩石冲击-旋轉式钻眼将比冲击-迴轉式和旋轉式更有效。

岩石的力学特性

岩石这一方面或那一方面的特性对于岩石破坏过程的特点具有重要意义。因此在一般情况下,不能用任何一个总指标,比方是强度来概括岩石的所有特征。不过从强度这样一些指标对于在一定工艺条件下,估价采用某种方法时岩石的破坏难易度則是有用的,但也仅仅是在解决狹隘的实际問題时有用而已。制訂新的高效率的岩石破碎法时,还必须了解岩石构造,力学,电,磁和其他等方面的性质。

岩石的裂隙,层理,片理以及由此引起的力学和其他方面的各向異性,和岩石的均质性,粒度,孔隙性等都可以作为岩石构造方面的特征。岩石的結構和构造取决于矿物的成分,大小,形状和各种造岩矿物間的粒度比;取决于賦存和生成的条件以及后来与地质构造和其他地质活动有关的变化。

綜合硬度是代表岩石破坏的最重要的力学特性。綜合硬

度可以根据一定类型的器具（切刃-楔，角锥，圆压模等）在物体中的压入深度 h 和压力 P 间的关系确定。

用这种测定法时，压具的类型和规格不同， $P = f(h)$ 的值也不一样。欲将某种类型压具的测定结果转为用另一种类型压具的测定结果时，要引用类型系数。在这种情况下就可以得到与压具类型无关的岩石综合硬度值。

当压具压入岩石的深度 h 很大时，存在下列关系

$$h^k = \frac{P}{b\sigma},$$

式中 P ——力； b ——压具的类型系数； σ ——系数，为 b 的压具所测得的岩石综合硬度。

当 h 不大时（通常使用碎岩工具的机械碎岩法时就是如此）， $K = 1$ 是足够精确的，此时

$$h = \frac{P}{b\sigma} \text{ 和 } \sigma = \frac{P}{bh}.$$

这种测定 σ 的方法曾被 E. Φ. 艾伯斯杰提出 [78]。这些有关的 σ 值，可以用来确定与压入力有关的钻头在岩石内的凿入深度。根据钻眼速度所算出的岩石综合硬度值与钻头在岩芯内直接测得的压入深度值是一致的 [79]。

由于综合硬度随着碎岩工具的类型和大小而变化，所以它不是一种仅有的岩石的特征。这点已由 Л. А. 斯列涅的试验所证明（用菱锥，锥，圆柱冲头和球等物来测定矿物的硬度）[77]。用不同类型的压具测出不同的硬度，这不仅应解释为压具在几何型体方面的差别，而且还有别的原因，首先是比例方面的因素 [77]。

为了从抵抗碎岩工具压入岩石的观点来比较岩石的特性，Л. А. 斯列涅和他的助手们曾经制订了一种特殊的方法

論。用这种方法論所得到的成果，使得有可能比較彼此不同的岩石，而且可能得到它們的全部特征，但是不能用这种成果来直接計算某种碎岩工具工作时所必需的作用力，特别是当数值过大时。

利用这种方法可以制定出圓柱压模压入深度的关系曲綫〔76〕，在某种条件下，也可以获得其他类型压具的关系曲綫。如果知道泊桑系数 μ ，用这种关系式可以近似的确定杨氏模数 E ：

$$E = \frac{P(1-\mu^2)}{2\alpha\varepsilon_{yn}}$$

式中 P ——压具上的載荷； ε_{yn} ——弹性变形； α ——压具半径。

此外，还可以算出单位功 A_n ，也就是压入岩石的压具的单位面积上的功：

$$A_n = \frac{P^2(1-\mu^2)K}{4E\pi\alpha^3} = \frac{P_m^2(1-\mu^2)\pi\alpha K}{4E}$$

式中 P_m ——压具的硬度； K ——按下式計算的塑性系数

$$K = \frac{A_{o\sigma}}{A_{yn}}$$

式中 $A_{o\sigma}$ ——压具压到岩石破坏时所消耗的总功；

A_{yn} ——弹性变形功。

这样一来，单位功是取决于岩石的四个力学特性的。有关岩石性质的某些資料載于表 1。

根据压具作用时岩石动态的特点，Л.А.斯列涅将岩石分为三大类：第一类是弹-脆性岩石，第二类是弹-塑性岩石，第三类是压具作用时不发生破坏的岩石。第一类岩石的特征在于压具从开始作用直到岩石被破坏的瞬間，作用力和变形

間保持綫性关系，第二类岩石的特征在于变形的弹性和塑性区域能够明显的区别。压具压入第三类岩石时（多孔隙的和极塑性的岩石），在压具的底脚并不发生通常的破坏，因此硬度和塑性系数都无从测定。在这种情况下可以用屈服极限来度量硬度，至于塑性系数可以相对地认为 ∞ 。

表 1

岩 石	P_{III} , 公斤/平方毫米	流动极限 公斤/平方毫米	K	$E \times 10^{-5}$, 公斤/平方厘米
泥质岩和泥頁岩·····	20—75	15—40	1.3—3.3	0.5—0.9
带有碳酸盐胶质物的細粒砂岩···	250—330	100—160	1.7—3.0	2.7—3.5
带有碳酸盐胶质物的中粒砂岩···	170—300	140—210	1.7—2.8	1.8—2.5
带有粘土胶质物的細粒砂岩·····	40—95	40—55	1.3—2.4	1.0—1.9
带有再生胶质物的砂岩（致密砂岩）·····	520	—	1.0	7.5
致密的細粒石灰岩·····	120—200	90—120	2.5—4.5	2.0—4.0
花崗岩（乌克兰共和国）（长石60%，石英35%，黑云母5%）···	500	—	1.0	>10
石英岩（卡拉干达）·····	580—730	—	1.0	6.9—7.3
碧石铁质岩（克里沃罗格区）·····	810	—	1.0	>10
霓石角岩（克里沃罗格区）·····	800	580	2.5	>10.0
大理岩·····	95—130	65—70	2.2—3.0	3.5

单向压缩时，岩石的强度极限和岩石的硬度之間并没有直接的联系，因此就不可能将某一个数乘上相应的系数而得出另一个数。这就意味着不能利用单向压缩时岩石强度极限的资料来解决有关局部承载的岩石破碎的问题。综合硬度大致是岩石单向压缩强度极限的3—22倍〔78，79〕。

变质岩石的强度极限和综合硬度，在相对于层面的各个方向上是不相同的，也就是说变质岩石是以力学性上的各向异性为特征的。

岩石的拉应力强度极限 $\sigma_{\text{раст}}$ ，压应力强度极限 $\sigma_{\text{сж}}$ 和切应力强度极限 τ 的差别很大（表2）〔58〕。

表 2

試样号	岩 石	$\sigma_{\text{раст}}$	$\sigma_{\text{сж}}$	τ
		公斤/厘米 ²	公斤/厘米 ²	公斤/厘米 ²
7	粗粒砂岩.....	110	1420	430
8	同上.....	172	1560	330
13	細粒砂岩.....	250	1900—2200	580
26	粉砂岩.....	118	715—835	115

根据岩石破碎的方法和条件以及所求问题的性质，必须使用岩石的这一方面或那一方面的特性。用碎岩工具破坏岩石时，岩石的研磨性，即岩石磨損工具的能力对岩石破坏的作用过程有重大影响〔76, 79〕。

用压气冲击机械进行冲击-旋转式钻进炮

眼和深孔的试验及基本规律

冲击-旋转式钻眼时，静推进力和冲击载荷是并施的，这就能提高冲击载荷的破碎效果，并且使不断凿入岩石内的转动着的钻头之前（按移动方向）的部分岩石错动。

岩石的弹性模数越大，用冲击载荷的破碎方法就越有效；岩石的塑性系数越大，用不断旋转并受冲击载荷的钻头，使岩石部分错动的方法的破碎效果就越高。因此，静推进力对塑性系数、弹性模数和硬度不同的岩石钻眼速度的影响是不同的。

根据O.Д.阿里莫夫，И.Г.良比切夫和Я.А.謝罗夫的資料〔3〕，钻具的静推进力和每分钟轉数对钻眼速度的影响

如图 1 所示。

作者們指出，即使靜推进力很高，冲击-旋轉式鑽眼仍优于旋轉式。对于 $f=8-10$ 的岩石，И.Ф. 麦德維杰夫和Л.И. 普俩耶夫 [47] 也得出了相同特性的冲击-旋轉式鑽速 v 和推进力 P 的关系。对于 $f=12-18$ 的岩石他們得到这样的情况；起初，当推进力增加时，冲击-旋轉式鑽眼的速度变化和 $f=8-10$ 的岩石是相同的受到鑽头的冲击稳定性限制的。

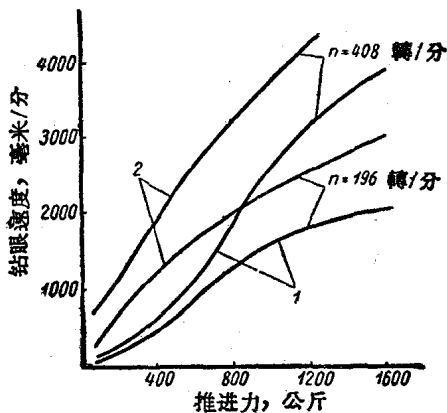


图 1 $f=8-12$ 的砂岩鑽眼速度和靜推进力的关系

1—旋轉式鑽眼；2—冲击-旋轉式鑽眼

提高鑽头在高推进力条件下長時間工作的可能性，在于采取适当的鑽头几何形状。

对于許多坚硬的和研磨性較强的岩石，采用旋轉-冲击式鑽眼时，推进力的增加，如超过一定数值，是不合理的。这一定数值相当于 $v=f(P)$ 曲綫的开始段，它几乎平行于 P 軸。

可以利用鑽眼速度 v 和工作時間 t 的关系来判断鑽头的磨耗。图 3 所示为旋轉式，冲击-旋轉式和冲击-迴轉式鑽眼时的 $v=f(t)$ [82]。在比較砂岩的旋轉式鑽眼和冲击-迴轉式鑽眼时也可得到类似的結果 (图 4) [3]。可以看出，

冲击-旋轉式钻眼优越于旋轉式钻眼。

冲击-旋轉式钻眼时，动力容量(也就是破碎单位体积岩

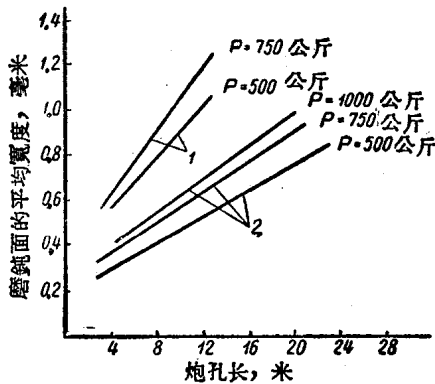


图2 各种推进力时，钻头被磨平面的平均宽度与掘进米数的关系

1—旋轉式钻眼；2—冲击-旋轉式钻眼

平面的平均宽度与钻进米数的关系如图2所示〔3〕。

即使减小推进力，

也可以不降低冲击-旋轉式钻眼的速度，只要在限制推进力的同时提高冲击的频率或单位冲击功(或是提高某一方面，或是两方面同时提高)。不过冲击频率和单位冲击功的提高是最初随着推进力的增加而很快地减少，以后进一步增加推进力时，它保

石的能量消耗，公斤米/立方厘米或千瓦小时/立方厘米)，进一步增加推进力时，曲线 $v=f(P)$ 变緩，而后又升高变得很陡。随着推进力的增高，钻头的磨损也加剧。旋轉和冲击-旋轉法钻眼，不同推进力时钻头被磨

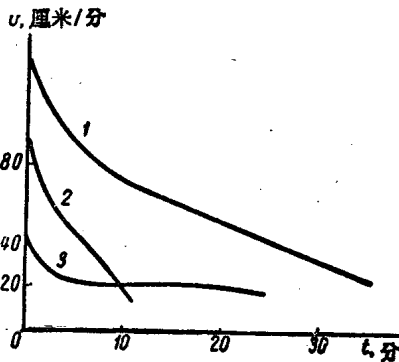


图3 钻眼速度随着时间的变化

1—冲击-旋轉式钻眼；2—旋轉式钻眼；3—冲击-迴轉式钻眼