



岩石的可钻性和可爆性

62
·1

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是根据И.А.Тангаев1978年编写的《Буримость и взрываемость горных пород》一书翻译的。

书中阐述了研究开采工艺特性的成果,这些研究是以单位能耗为准则,在评价岩石抗钻、抗爆和抗铲挖的基础上进行的;论证了根据牙轮钻单位能容来确定这种特性的可能性;描述了单位能容的记录装置、岩石可钻性连续控制方法和凿岩爆破参数的变化;在工业试验中验证了监测和控制工艺过程新原则的高度可靠性,同时还利用统计学原理、概率和随机函数理论,根据岩石强度和非均质特性援引了岩体评价的基本准则,研究了目前开采规模中岩石开采工艺特性的预测原则,这些原则是实现露天爆破工程自动控制系统的基礎。

本书供从事露天矿穿孔爆破工作的工程技术人员和科学工作者参考。

岩石的可钻性和可爆性

〔苏〕 И. А. 坦加耶夫

王维德 译
周叔良

陈 深 校

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

三河县印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张6 3/8 字数 166千字

1987年3月第一版 1987年3月第一次印刷

印数00,001~1,680册

统一书号: 15062·4389 定价1.85元

译 者 的 话

为利用现代科学技术开发矿产资源，应当在掌握开发对象工艺特性的基础上，研究和制定合理的生产工艺参数和工作制度，以期最大限度地提高劳动生产率和设备利用率，节省能耗和降低成本。为此目的，本书作者试图以单位能耗为准则，在评价岩石可钻性、可爆性和可铲挖性的基础上，利用这三者之间的相关关系，综合论证了矿岩的开采工艺特性，同时提出了利用新研制的单位能容记录装置在钻进过程中获得的可钻性数据改进露天穿孔和爆破工艺参数的新方法。在大量的现场试验中，验证了监测和控制工艺过程新原则的高度可靠性。此外，作者卓有远识地利用统计学原理、概率论和随机函数理论，根据岩石强度和非均质特性探讨了岩体评价的基本准则，利用这些原则可以实现露天牙轮穿孔和爆破工程的自动化管理体系。通览全书，作者自始至终注意到矿岩的能容参数对生产工艺过程和技术经济指标的影响。在有用矿物矿床的露天开采设计中，利用书中提供的研究成果势必会立见成效。

全书共分四章。第一章论述了利用单位能容准则确定牙轮穿孔中岩石的可钻性，利用仪器监测方法可以为制定适于现代化钻机应用的岩石可钻性分级，而利用这种分级可以制定更有科学依据的生产定额指标，从而为确立合理的工资制度奠定良好的基础。作者在全面研究了牙轮穿孔的单位能容指标之后，确立了有关钻头寿命和性能、技术经济指标和制度参数评价等一系列新的关系，利用这些关系可以在能耗最小的基础上实现穿孔过程的最优化。

第二章以分析现有准则为背景，论述了岩石可爆性的评价方法和手段。利用地震声学法测定穿孔能容和爆破破碎能容，并进

行了综合研究，阐明了岩石的可爆性与单位穿孔能容之间存在着稳定的相关关系，在钻机上装备特制的仪器和利用这种相关关系为发展新的穿孔爆破工艺创造了良好的条件。这一章也着重分析了岩石的非均质性对爆破破碎质量的影响。在此基础上提出了有充分依据的试验关系式，为改变穿孔爆破参数提供了依据。

第三章从总能耗的角度上探讨了岩石的可铲挖性。描述了包括大块率和松散系数在内的爆下矿岩的物理力学特性，在此基础上提出了沿台阶全高松散系数发生变化的种种关系，从而建立了新的基本概念。

作者在最后一章讨论了矿床的定性和定量评价的新方法，以单位穿孔能容测定值分布曲线形式建立了统计模型，通过模型研究和根据岩石强度及非均质性特性提出了矿床的分类方法。计算技术经济指标和制定生产计划时可以利用这种分类。这一章也阐述了下部岩层开采工艺性质的预测问题，作者认为这个问题的解决有利于制定生产工艺过程的自动控制体系。

综上所述，译者认为，本书提供的大量试验研究资料和各种研究方法和手段，对我国从事露天爆破研究工作和现场技术工作的科研设计人员、工程技术人员将大有补益。

作者序

采矿工业在共产主义物质、技术基础的建设中起着重大的作用。1976~1980年苏联发展国民经济的基本方针规定，要大幅度增加各种有用矿物的开采量。

根据苏联科学院院士H.B.梅利尼科夫（Мельников）的资料^(1,2)，1974年苏联各种有用矿物露天开采量比重为：煤36%，铁矿石81%，有色金属矿石71%，农用化学矿石、非金属有用矿物和建筑材料100%。大部分剥离采矿工程都要求用穿孔爆破法预先松动矿岩。1972年上述各部门的主要露天矿共完成穿孔量8.26亿米³，而穿孔总费用为7.27亿卢布⁽³⁾。这些数字表明，为准备下一步工艺过程所必要的矿岩要耗用大量材料、劳力和资金。众所周知，在开采1吨有用矿物的总成本中，视矿岩开采工艺特性的不同，穿孔爆破成本约占10~40%。

穿孔爆破作业组织和工艺的完善程度将影响装载、运输和选矿厂机械破碎等工序的生产能力和效率。

近些年来，趋向于不仅根据最终技术经济指标，而且还考虑实现这些指标的具体条件（矿岩的坚固特性、设备类型、采矿方法特点），来评价工艺过程参数和工艺制度的最优化程度。客观评价矿岩开采工艺特性（即其抗外力作用）的倾向已越加明朗化。这些特性在很大程度上是不可定的，而且迄今尚未得到深入的研究，但相对于穿孔、爆破和装载工作制度、参数和经济指标而言，又是可定的。

因此，在当今的露天开采工程中，主要靠确定和监测矿岩的开采工艺特性，亦即矿岩的可钻性、可燃性和可铲挖性，才能进一步完善各个工艺过程和实现其最优化。

岩石可钻性 岩石可钻性系指岩石抗钻具钻凿的能力，或岩石在钻凿力作用下形成炮孔的强度。一般用穿孔速度（毫米/分）来说明岩石可钻性，也有用穿凿1米炮孔的连续时间（分/米）来说明的〔4〕。

岩石可爆性 岩石可爆性系指岩石抗爆破破碎的特性。与水平自由面成 45° 角钻凿一直径为40毫米的炮孔，将药包埋置在1米深处、爆成直角爆破漏斗，根据其所需标准炸药量或单位耗药量（公斤/米³）或炸药能量即可确定岩石的可爆性〔4〕。

用来说明岩石抗铲挖力的简明术语在辞典中是查找不到的。单位铲挖阻力是个复杂的概念，它乃是矿岩铲挖阻力与铲挖碎块面积的比值，借此将铲挖过程中力的参数和几何参数关联了起来。因此，除可钻性和可爆性之外，还应提出可铲挖性这一概念。

岩石可铲挖性 所谓岩石可铲挖性系指岩石抗挖掘机铲斗的铲装特性，以铲挖1米³矿岩所耗的能量或时间说明此特性。

目前，在露天开采工程中上述各种特性的确定往往缺乏客观性和代表性。例如，以偶然测时标定的机械穿孔速度评价岩石可钻性；以岩体的裂隙性或单位耗药量的试验值确定岩石可爆性；在一定程度上说明矿岩开采特性的破碎质量，可用各种方法测定的块度加以评价，而在生产条件下则以大块率评定。上述各种方法具有以下缺点：

- 1.用以确定这些指标的各种方法实质上有很大差别，所以不能在统一的原则基础上利用可比的定量标准评价岩石的抗力。
- 2.由于缺乏统一的方法和同一量纲指标，故难以研制岩性检测仪器，有时甚至根本没有这种可能性。
- 3.没有检测装置就不可能研究和实现穿孔爆破和装载过程的自动控制。

由于岩石物理技术特性的多变性和对于这些特性的客观认识不足，致使一些最重要的工艺过程产生随机特性，使组织机构和生产管理系统大为复杂化，而为了提高采矿设备的工作可靠性又要加大设备功率和生产能力的储备。

因此，为进一步完善穿孔、爆破和铲装工艺，并使之达到最优化程度，就要解决以下几个相关的问题：

1. 选择和论证原岩和爆下矿岩的最重要开采工艺特性的统一评价准则；

2. 研究这些特性的有关数据的搜集、储存和处理手段及方法；

3. 探讨有关开采对象的这些知识付诸实现的方法；

4. 为发展工艺过程和整个生产过程的自动控制系统，研究其科学的和方法学的基础。

运用长期积累的实践经验结合理论研究和试验成果，就可根据统一的能容准则评价矿岩的开采工艺特性。其实，既然有用矿物的开采必定要涉及破碎，那么，就应当把破碎能耗作为岩石对某种破碎方式的抗力准则。许多学者，如М.М. 普罗托基雅高诺夫（Протоальяконов）〔5〕，Я.Д. 扎伊德曼（Зайдман）和 П.П. 纳扎罗夫（Назаров）〔7〕，В.В. 勒热夫斯基（Ржевский）〔8〕，Б.Н. 库图佐夫（Кутузов）〔9〕，Н.В. 梅利尼科夫〔2〕，М.М. 小普罗托基雅高诺夫〔10〕，В.Н. 莫西涅茨（Мосинец）〔11〕，Г. 拉列斯（Ларес）〔6〕等人，早已指出了利用能容指标评价岩石对各种工艺过程抗力的可能性。吉尔吉斯苏维埃社会主义共和国科学院岩石破碎试验室早在1964年就已根据露天开采条件评价矿岩的开采工艺特性。除进行理论研究，也提出了切合实际的最终目标，为制定矿岩开采工艺特性的评价准则奠定了基础，同时为控制穿孔、爆破和铲挖工艺过程，就确定和运用矿岩开采工艺特性的手段和方法进行了研究。

这些研究工作的基础是测定生产过程的相关特性，继而确定这些特性的相互关系。由于解释试样试验结果相当复杂和把它转换到岩体上又相当困难，故摒弃了岩石物理技术特性的试样法研究，而把露天矿各个生产过程的主要技术指标和参数的大量统计资料加以利用，作为基本试验数据的补充材料。总之，这种方法决定了全部研究工作具有试验统计性质。

本书介绍的研究成果和实用建议只适用于露天采矿工程和牙轮穿孔，因此，针对性比较强，可直接运用于露天矿。1976年批量试制了单位穿孔能容记录仪供给许多采矿企业使用，这为检验和运用评价岩石可钻性和可爆性的有关建议增加了更多的机会。因此，本书的目的旨在阐述与利用统一能容准则的可能性有关的科学问题及方法学和工程方面的一些问题，也在于指出在矿床几何测量和矿岩开采工艺特性的预测，以及在研究生产工艺过程自动控制系统中运用统一能容准则的前景。

作者谨向技术科学博士Е.Г. 巴拉诺夫 (Баранов) 教授在研究中给予科学上和方法上的指导，技术科学副博士 Ю.В. 普列汉诺夫 (Плеханов) 在研制《预测-1号》仪器中给予的合作，以及技术科学博士В.Н. 莫西涅茨在本书复印前提出的宝贵意见深表谢意。

目 录

译者的话

作者序	V
-----	---

第一章 岩石可钻性.....1

第一节 岩石可钻性的评价	1
第二节 岩石物理技术特性对可钻性的影响	3
第三节 露天矿岩石可钻性的评价准则、方法和手段	5
第四节 岩石可钻性和劳动定额	14
第五节 岩石可钻性和穿孔过程的技术经济指标	27
第六节 岩石可钻性和穿孔制度参数	39

第二章 岩石可爆性.....53

第七节 岩石可爆性评价	53
第八节 岩石物理技术特性对可爆性的影响	54
第九节 岩石可爆性的评价准则、方法和手段	60
第十节 评价岩石硬度和可爆性的能容原则	70
第十一节 非均质性对岩石可爆性的影响	81
第十二节 根据岩石硬度的有效信息组织穿孔爆破作业	95

第三章 岩石可铲挖性.....114

第十三节 爆下矿岩性质和工作面参数对挖掘机 生产率的影响	114
第十四节 提高挖掘机生产率的途径	134

第四章 按矿岩开采工艺特性的评价矿床的原则.....138

第十五节 矿床的统计模型	138
第十六节 开采对象按硬度和非均质性的评价和 几何测量原理	160
第十七节 矿岩开采工艺特性的预测	174

参考文献.....188

第一章 岩石可钻性

第一节 岩石可钻性的评价

在现阶段人们从理论、技术和工艺这三个最重要方面来研究岩石可钻性，这意味着在最终结果和达到规定目标所用的方法中存在着本质性的差别。

在理论上研究穿孔过程的目的在于为改进现有的破岩工具和研制新的破岩工具奠定科学基础。同时，用各种形式的能量（机械能、热能、电能等）、不同的能量传递方法（冲击、冲击旋转等）和加载速度等研究岩石的性态。为提出新钻机和钻具的计算方法，要研究岩石物理技术特性对各种穿孔方法效率的影响。

凿岩理论的最主要任务是研究钻进过程及其伴生现象的物理实质，并以此为依据提出数学计算式计算穿孔速度、能容和其它参数。根据试验室条件下的试验研究结果检验理论假说和公式的正确性。

迄今为止，Б.Н. 库图佐夫^[12]，Б.И. 沃兹德维任斯基（Воздвиженский）^[13]，О.Н. 戈卢宾采夫（Голубинцев）和И.А. 奥斯特鲁什科（Остроушко）^[15]等人在这方面完成了一系列综合性的研究工作。

在试验设计过程中研制各种新式破岩工具和钻机、制造样机，以及在样机的半工业试验和工业试验阶段，确定各种强度岩石中的穿孔技术经济指标，寻求有效的工作制度和穿孔过程参数，并在此基础上确定新设计方案的合理应用范围。在这种情况下，测得的穿孔速度、单位能容、输入功率、钻具寿命和其它指标与岩石强度系数、硬度和磨蚀性等基本特性的关系，构成了试验方法和试验结果的分析方法的基础。试验场试验、半工业和工业试验结果可用来改进和调整结构，提高其可靠性，并可为研制新钻机和钻具提供计算依据。

与试验室试验不同，在此阶段多用比较简单的方法评价岩石可钻性。但是，利用此时所得的经验关系式，与利用试验室试验数据，尤其是与理论研究数据相比，能在较准确可靠的水平上进行必要的计算。这是因为成批生产的机械与试验台不同，其工作制度参数的范围较小，利于选择这些参数的合理值和便于确定岩石可钻性的特征。

就内容和最终结果而言，在生产条件下确定岩石可钻性的目的在于制定生产定额，计算劳动生产率和穿孔工作的计件工资，以及制定作业量计划。其实，在采用计件加奖励工资制度时，按照穿孔米数计算实际劳动生产率是与准确确定各种矿山地质条件下的岩石可钻性密切相关的。

在各种露天矿的长期试验观测表明，以现行抽检穿孔法确定岩石强度标准常会导致岩石可钻性等级偏高，从而使钻机在那样条件下技术上可能达到的生产率偏低。此外，这种差错不仅反映出生产定额和劳动生产率定额低，同时还会利用已达到的指标制定较低的月生产计划。

单靠改善作业组织和压缩辅助作业时间，有可能超额百分之几完成有技术依据的客观定额。露天矿普遍能完成计划任务和工作定额120~130%，仅此就可证明岩石硬度定得太高。这种情况不仅破坏了按实际完成的工作量支付工资的原则，也会增加钻机台数和操作人数，凡此种种，都会反映在整个企业和部门的技术经济指标上。由此可见，正确评价岩石的可钻性具有重大的技术、经济、社会和道德意义。

必须指出，在生产条件下造成岩石可钻性评价误差的许多原因中，最主要的两个原因是抽样试验的偶然性和缺乏自动检验岩石硬度的工具。

现行规程规定^[16]，应在每个爆区内标定2~3个孔的穿孔速度来评价岩石可钻性，而岩石极不均质时标定孔数应增加到5个。同时要遵守许多标定要求：用新钻头按给定的轴压和转速穿孔和取一定的深度间隔等等。在这些要求中最易发生抵触的是遵

守穿孔制度参数的条件。为了正确地给定这些参数，可利用普氏硬度系数 f 的近似值，而此值的确定要使普氏硬度系数与所钻岩石的岩相学描述相吻合。

但是，由于同名岩石的 f 值相差很大和在实际条件下又常出现交替互层，所以这种评价只能是近似的。总之，规程的这项基本要求已失去实用意义。因此，许多企业对岩石可钻性的抽检试验通常是几年进行一次。根据对各种主要岩石进行的试验结果，编制每台钻机的月备查表，列出各种可钻性等级的岩石比例。这个文件是确定生产定额和加算工资时计算完成定额百分比的依据。用这种方法确定钻机生产率和制定全露天矿穿孔作业计划，有其固有的大量不定因素。岩石可钻性评价的不准确和钻机生产率的计算误差不可避免地会造成计划误差。

因此，为了客观地评价岩石可钻性，应以下列先决条件作为基点：可钻性标准应是岩石抗具体破碎形式的实际特性，并能借此特性评价可钻性；标准应当是客观的，不受穿孔制度参数变化的牵制，并应排除主观评价的可能性；应适合于监测装置的检验条件；借助监测装置检验可钻性应取任意穿孔量在不限定的时间内连续进行。

第二节 岩石物理技术特性对可钻性的影响

岩石的物理技术特性可能个别地或综合地影响穿孔制度参数，如轴压、转速、排粉介质量（输入）及其速度和功能（输出），而影响程度又千差万别，因此，许多研究者特别注意其中与穿孔速度有最大和最稳定相关性的那些性质，并在这方面进行了大量工作，制定和完善了数十种岩石物理技术特性的确定方法，提出了数百个预测穿孔速度和穿孔制度参数的分析和经验关系式。

但是，尽管研究范围如此之广，以及关于穿孔中伴随岩石破碎而产生的各种现象在定性和定量方面的理论和试验资料相应增多，但所得结果的实际运用却极其有限，主要原因是研究条件不

完全合适。如果说在做穿孔过程分析模型时破碎对象的性质可以预先给定，而用整体岩石进行试验室研究时能相当精确地加以确定，那末在露天矿台阶上只能近似地确定岩石的任何物理技术特性。事实上，在生产条件下穿孔时，岩石性质，也就是岩石可钻性，可能受以下主要因素的影响发生很大变化：沿炮孔全深岩石的岩相学组成的变化；由构造作用和采矿影响引起的岩石破坏程度的变化；由风化作用引起的垂直方向上物理技术特性的变化。

所有这些因素都不允许通过试样试验总括起来评价岩石性质，因为在任何情况下试样都不能全面反映实际岩体的上述多种特性。在所研究区段的钻孔岩芯中采取的试样可认为具有代表性。如果试样取自岩体受爆破破坏后的个别区段，则其性质由于受爆破的影响将会失真。此外，利用岩石物理技术特性的试验室研究结果来预测其可钻性是困难的，而有时是完全不可能的，因为：1. 在选择所确定的准则时迄今缺乏共同性；2. 岩石物理技术特性的评价方法有多种多样。在某些学术性综合著作中^(13,14)相当详细地论述了在一定程度上影响可钻性的岩石物理特性，但是，其中没有哪一部著作可作为编制实用分类的基础。B. И. 沃兹德维任斯基认为，不可能有一种统一的强度指标适于在各种穿孔方法中表示岩石特性，而在现有的各种分类法中最值得重视的是，以所钻岩石的物理技术特性和生产指标为基础的联合分类法⁽¹³⁾。

至于为实际应用的目的和在生产条件下评价岩石可钻性，则此时不可能也不必考虑岩石的物理技术特性。岩石性质沿深度和在平面内的变化取决于许多自然的和工艺上的因素，而在确定矿岩特性的现有方法中完全未考虑这些因素。此外，只有那些直接影响穿孔过程输出参数的综合指标才具有意义。通过对这些指标的测定，可以建立关于岩石对某种破碎方式阻力较客观的概念。

第三节 露天矿岩石可钻性的评价准则、方法和手段

在穿孔过程中取标准参数时，穿孔速度（机械速度）是露天采矿工程中评价岩石可钻性的主要准则。管理部门和企业根据这项指标制定适合于各种类型和规格的钻机应用的可钻性分类法和等级。为了统一众多的可钻性等级，苏联中央工业劳动定额管理局制定了以岩石单轴抗压强度特性为基础的统一分类法⁽¹⁶⁾。按照这个分类法将所有岩石划分成20个可钻性等级（I~XX），对应于这些等级的极限抗压强度为10~3000公斤/厘米²和以上。

因此，岩石统一分类法是一种特殊的标准，不仅在编制岩石的各种机械破碎方法专用等级时要利用这个标准，就是在论证任何新的可钻性准则时也要利用这个标准。随着钻进技术的发展，有必要制定适于通常应用的新的可钻性准则。

露天采矿工程实践证明，依照穿孔速度评价岩石可钻性的原则与现代高度机械化和自动化生产的要求处于明显的矛盾状态，只有在精确了解和客观掌握岩体性质和工艺过程参数的基础上，才能对生产进行灵活管理。这些要求有助于组织和开展新准则和新方法的广泛研究和制定，以排除那种按穿孔速度评价岩石硬度的方法所固有的弊端。

过去已十分重视岩石破碎的单位能容指标。M.M. 普罗托基亚科诺夫曾有用这个指标作为岩石可钻性和岩石相对硬度特性准则的想法。1948年Я.Д. 翟德曼和П.П. 纳扎罗夫⁽⁷⁾为制定钢绳冲击钻的穿孔定额，曾根据这个准则提出了岩石分类法。以单位穿孔能容为基础将所有各种岩石划分成10个等级（表1）。能耗计算公式考虑了钻具重量、钻具提升高度、每分钟冲击次数和钻进1米炮孔的时间。推荐用的分类法与许多露天矿（马格尼托戈尔斯克、科温拉德、诺里尔斯克）现用的分类法相比，其特点是评价岩石可钻性的通用性大和准确性高。但是，由于要求相当准确地控制列入计算式中的各主要参数，此分类法并未得到广

泛应用。各露天矿仍沿用传统的方法在最有代表性的岩石中标定钻机，并按照地区和部门的分类法制定工作定额标准。

随着旋转钻机尤其是牙轮钻机的出现，这个问题重又提到了议事日程。利用成批生产的自记式装置控制穿孔制度参数的可能性，在很大程度上简化了研究工作，并提高了研究结果的选取和评价的准确性。

表 1

Я.Д.扎依德曼和П.П.纳扎罗夫 硬度等级	岩石特性	穿孔比功, 公斤·米/厘米 ³
I	松 散	6 以下
II	软	6~8.5
III	中硬以下	8.5~12
IV	中 硬	12~17
V	中硬以上	17~23
VI	颇 硬	23~31
VII	硬	31~43
VIII	很 硬	43~60
IX	极 硬	60~85
X	最 硬	85以上

吉尔吉斯苏维埃社会主义共和国科学院岩石物理力学研究所岩石爆破破碎研究室在卡利马魁尔 (Кальмакыр) 露天矿, 以及在萨雅克矿务局 (Саяковское рудоуправления) 所属露天矿和库尔加什坎 (Кургашикан) 及科恩拉 德 (Коунрад) 露天矿, 在以穿孔速度和穿孔能容评价岩石可钻性方面做了大量研究工作。

研究工作所采用的方法是同时记录穿孔速度和单位穿孔能容这两个穿孔制度的最主要输出参数, 其间的关系可用下式表示

$$v = \frac{N}{e} \quad (1)$$

式中 N ——回转机构电动机的需用功率, 千瓦;

e ——单位穿孔能容, 千瓦·小时/米。

在回转机构电动机电路中安装了H-348型自记式瓦特表记录这两个参数。由于BCIII-1M型钻机结构上的特点, 每单元记录台阶的底代表穿凿1米炮孔的时间, 它与所取钻杆段的长度相对应, 而台阶的高则代表回转机构电动机需用的电网功率。根据自记式瓦特表笔尖圈出的面积图解积分法, 可以确定穿凿1米炮孔的能耗(图1)。破碎孔底岩石所需的能耗来自回转机构电动机、液压系统油泵和排粉系统的空压机。若排粉风量充足而稳定实际上不会影响能容, 在一定孔深范围内测定时尤为如此。轴压能耗不超过回转机构电动机所需能量的20%, 而且其量值相当稳定, 并与其它能耗无关。事实证明⁽¹⁷⁾, 用牙轮钻头穿孔时主要依靠回转机构的能量, 其中用于破碎岩石的部分比轴压的能量部分大一个量级。

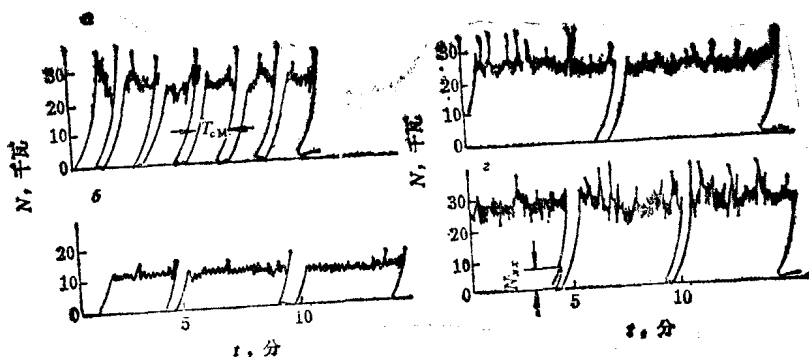


图1 几种岩石中有代表性的能容记录

a—易钻进的多裂隙岩石; b—易钻进的相当致密岩石;

c—相当致密的硬岩; d—多裂隙硬岩

由于油泵电动机的工作特性稳定, 且与岩石物理技术特性无关, 故记录回转机构电动机所需的能量就足以确定单位穿孔能容。计算一定时间间隔内一定孔深上的这一能耗, 就可代表穿孔

总能容，并可用来判断岩石硬度。穿孔总能容包括牙轮钻头破碎岩石和热损失及机械损失的有关能耗。破碎孔底的单位能容是岩石硬度的最大表征，计算其值最有意义。但在确定破碎能容时，必须从穿孔总能耗中减去热损失和机械损失的非做功能耗。这些损失发生于电动机绕组发热，克服电动机、减速器和牙轮轴承对钻具的旋转阻力，减速器的齿轮传动系统，以及钻杆旋转时与岩粉的摩擦。在完全取消轴压的条件下使牙轮在孔底上滚动，记录此时系统的需用功率，即可确定非做功能耗。在短时间内转动钻具即可在示功图纵坐标上得出需用功率。

在论证新准则和检验其可靠性及完整性时，必须测定破岩能耗。同时，由于这种方法太复杂，所以排除了实际应用的可能性。为确定岩石硬度评价误差所做的分析表明〔18〕，根据孔底破碎过程的能容评价岩石硬度，要比利用穿孔能容评价岩石硬度的误差大。岩粉密度、钻杆在钻台上和对孔壁的摩擦等许多难以考虑的因素，对非做功功率有显著影响，尽管这种功率 N_x 本身并不大，但却是上述情况所引起的后果。因此，确定非做功功率的误差可能达100%，从而会加大功率 $N_p = N - N_x$ 计算中的误差。然而，这些误差对总功率值的影响却很小，正如计算表明，对于硬岩和软岩来说此影响分别不超过5%和10%，因此，也可作为恒定标志和绝对值不大的系统误差来考虑。

根据这种情况，可以研制简单可靠的穿孔能容测定装置。这种装置主要用现在成批生产的元件装配而成，并以数字形式记录穿孔能容。它与同类的和自记式装置不同，可简化单位穿孔能容准则的实际应用，并使监测方法更加工艺化。

只有在钻机上安装穿孔能容记录装置后，研究成果才能得到实际应用。分析有关技术文献、专利和发明证书表明，用于现场评价穿孔能容或穿孔速度，以及在研究中用于评价岩石硬度系数的各种装置，其用途很广，但往往都是结构复杂，使用不便，价格昂贵，而且不宜连续使用。

在生产条件下的试验研究确定了对使用穿孔能容记录装置的