

岩石多次全过程压入硬度的测试试验

薛 军 马孝春 何德成

摘 要 介绍了在MTS815型岩石力学试验机上配置专用夹具和平底圆柱压模后成功地进行岩石表面多次全过程压入破碎试验的情况,分析了这种试验方法与传统的单次压入硬度测试法相比在反映岩石破碎过程特征、表征岩石压入硬度方面所具有的优点。最后指出了进一步研究应解决的几个问题。

关键词 MTS岩石力学试验机 平底圆柱压模 压入硬度 压入试验 岩石可钻性

0A Study on Rock Indentation Hardness with MTS Rock Mechanics Test System

Xue Jun, Ma Xiaochun, He Decheng

(China University of Geo-sciences, Beijing, 100083)

Abstract This article introduced author's successful several post failure rock indentation experiment using their special implement and indenter with flat fundus under MTS815 Rock Mechanism Test System. The author analyzed the advantage in characterizing rock crush process and rock indentation hardness compared with traditional testing methods. At the end of the article, a few interesting subjects were presented which need to be further researched.

Key words MTS rock mechanics test system, indenter with falt fundus, indentation hardness, rock indentation, rock's drillability

在地质钻探、石油钻探以及工程钻探中,为了选择钻井工艺技术和制订材料消耗定额,需要开展对岩石破碎过程的研究以及对岩石进行合理的可钻性分级。由于钻进过程是一种孔底岩石的局部破碎过程,因此,一般不通过岩石的整体抗压强度、抗剪强度或抗拉强度测试去研究和表征,而通常采用不同形状的压模(球形、平底圆柱形、截头棱柱形等),在岩石表面进行局部压入硬度试验进行研究或表征。

1 测定岩石压入硬度的常规方法及其缺点

50年代初期,苏联著名学者史立涅尔在进行了大量岩石压入硬度试验的基础上,曾按岩石的塑性分为3组6个等级,又依据岩石的抗压入硬度值将岩石分为3组15个等级〔1〕,用以指导钻探生产。70年代末期,我国由于金刚石钻进在地质勘探中的大量推广和应用,在主要是平底圆柱压模压入硬度测试的基础上,于1984年提出了适用于金刚石钻进的12级岩石可钻性分级方法〔2〕,供生产中使用。

图1是在北京周口店地区4种岩石中采用这种方法测得的4条压入硬度曲线，从这4条曲线中可以得到压入硬度值和塑性系数以及按压入硬度值划分的岩石可钻性分级，如表1所示。

生产实践表明，这种压入硬度测试方法及岩石可钻性分级可反映出岩石力学性质的一般规律，但涉及到具体的岩石种类时，则常与实际生产指标不完全相符，经常需用实际的钻进机械钻速或其它测试方法(声波法、摆球硬度法等)加以修正。这一方面与岩石组织结构的不均匀性、复杂性有关；另一方面也与这种测试方法的不完善有关，这种不完善至少有下面几点：

(1)这种常规的测试方法主要是手动方式，在液压千斤顶上进行的，压模的加载和位移速率很难做到均匀一致，因此增大了测试的随机性；

(2)岩石的破碎有时间效应，压模加载和位移速率可以影响岩石的脆性或塑性，这种测试方法尚不能根据实际钻进过程给出恰当的加载或位移速率条件；

(3)由于采样很慢，手动方式很难获得岩石破碎瞬间压模和岩石、力及位移之间相互作用关系，而此点对于揭示岩石破碎过程却又是十分重要的；

(4)目前手动测试方式只做岩石一次破碎过程，而实际的钻探生产过程常常是2次及多次连续压入破碎过程。

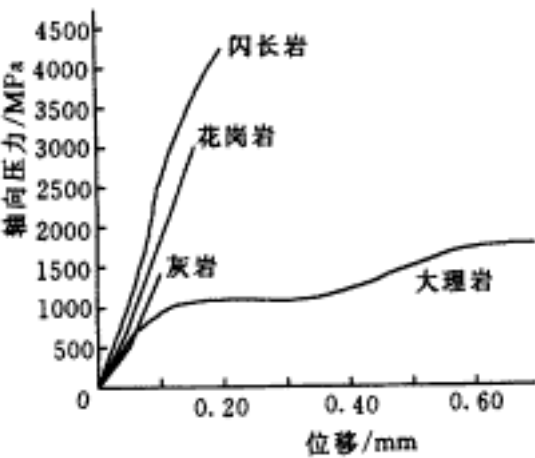


图1 用常规方法测出的压入硬度曲线

表1 岩石可钻性分级

岩石	压入硬度/MPa	塑性系数	可钻性分级
闪长岩	4200	1.5	7～9
花岗岩	3450	1	8
大理岩	1900	7.6	5～6
灰岩	1580	1.1	5

2 MTS815型岩石力学试验机

要改进上述不完善性，一个重要的条件是必须有可精确地、均匀地控制载荷或位移速率的，具有快速自动采样功能的测试设备和检测仪器。MTS815型岩石力学试验机是岩石整体强度试验设备，具有载荷、位移和应变3种数字控制功能，具有很高的自动采样速率，可否用于岩石表面压入强度试验，为此进行了探索性试验研究。

首先加工一配套夹具，选用 $\phi 2\text{ mm}$ 平底圆柱压模(图2)，采用位移控制方式，速率为 0.01 mm/s ，采样时间设定为 $0.25\sim 0.50\text{ s}$ ，为保护压模，每次试验均设 $2\sim 3\text{ mm}$ 的位移自动停机功能。

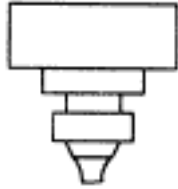


图2 夹具和压模组装示意图

试验成功地测得了一批曲线，上述4种岩石的较有代表性的曲线如图3~6所示。通过试验证实：

(1)MTS815型岩石试验机配上相应的夹具和压模，完全可用于岩石表面局部压入破碎测试，压模的位移速率、力和位移的采样速率以及设备安全参数都可通过计算机TESTSTAR程序方便地设定，全部测试过程实时控制，自动进行。采取的数据量可通过设定较高的采样速率而极大地丰富，得出的压入破碎曲线可反映出压入过程的微小变化。这些对研究碎岩过程极为有用，是手动压入试验无法相比的。

(2)在MTS815型试验机上不仅可测得岩石表面一次压入破碎曲线(如图6)，而且可连续测得2次和多次压入破碎曲线(如图3~5)。每次压入破碎曲线，不仅可圆满地反映破碎穴形成前力和位移的关系，也可以反映出破碎穴形成瞬间以及形成之后力和位移的关系，也即反映了全过程压入破碎曲线及形态的特征。

这种连续多次的全过程压入破碎曲线可以更好地模拟生产过程中孔底岩石实际破碎过程，因为钻头上

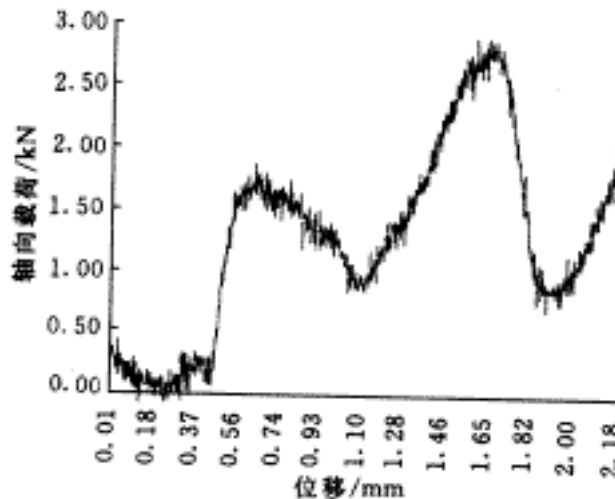


图3 大理岩2次压入全过程曲线

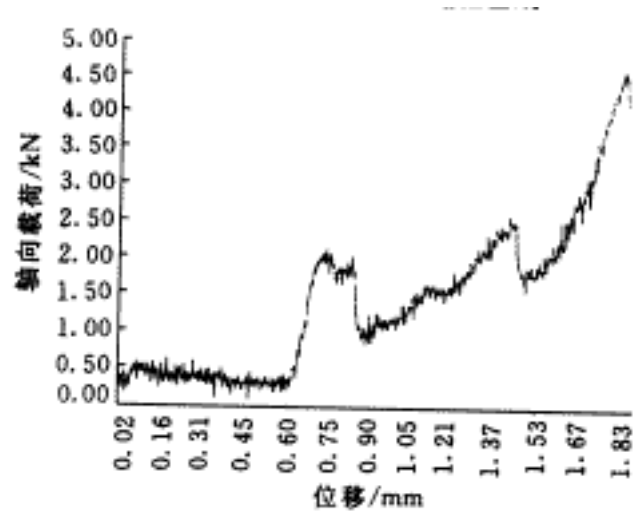


图4 灰岩2次压入全过程曲线

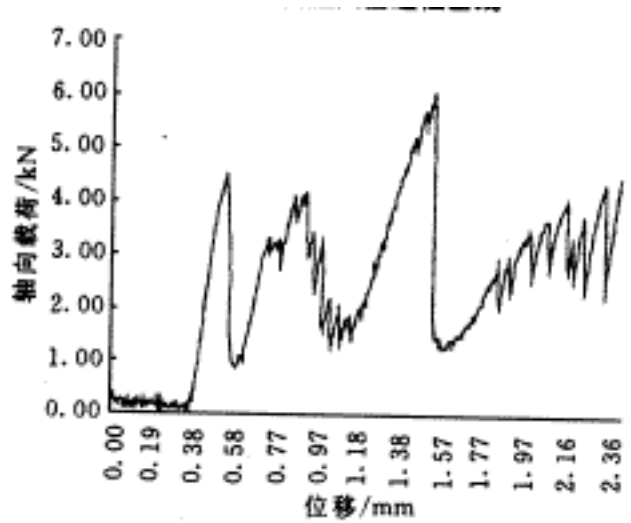


图5 闪长岩多次压入全过程曲线

的切削具对孔底岩石的破碎，并不只是简单的一次压入过程，常常是连续多次全过程压入破碎过程。因此通过研究这些连续多次全过程压入破碎曲线有可能找到提高钻探生产效率的较好的技术参数以及更全面、更正确地表征岩石可钻性的指标。

3 试验结果分析

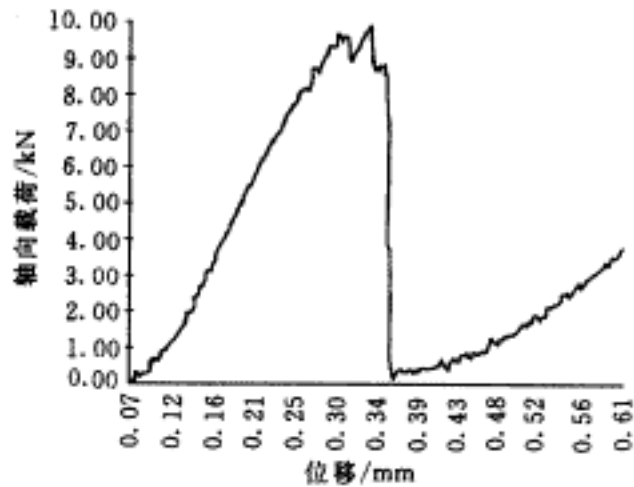


图6 花岗岩一次压入全过程曲线

从上述4种岩石的全过程压入破碎曲线中，至少有下列数据和曲线特征是很有意义的：

(1)从压入破碎曲线的第1个波峰反映的第1次压入破碎曲线中，仍然可以获得压入硬度的相对指标，如果给出专门的计算程序，也可以求得塑性系数。

(2)从岩石破碎瞬间曲线形态，可以判断岩石破碎的弹塑性状态。图3所示的大理岩破碎曲线，无论是第1次波峰还是第2次波峰，其破碎时的压力随着位移的增大呈缓慢衰减状态，可以推测，在破碎穴形成过程中，压模底端始终与破碎了的岩石表面接触着，反映的正是塑性岩石破碎的状态和过程。图4所示的灰岩曲线虽不如大理岩明显，但也基本反映了塑性破碎状态。对于图5和图6的闪长岩、花岗岩，其破碎时的特征为：位移不增加或增加很少时，压力从波峰处陡直下降，对于花岗岩几乎降至零位。这说明，这种岩石破碎时具有突发性，虽然平底压模以0.01 mm/s的位移速率下移，但并不能与破碎了的岩石表面接触，出现了压模与岩面的短暂分离过程，这应该是脆性岩石的破碎特征。由此可以设想，如果设定不同的压模位移速率，有可能在不同塑脆性的岩石中找到破碎瞬间压模与破碎的岩石表面分离的临界速率，则对于更好地揭示碎岩过程的规律、指导钻头设计、改进钻进工艺具有较大的作用和意义。

(3)图3~5所示的第2次连续压入破碎全过程曲线的上升阶段的斜率一般低于第1次破碎曲线的斜率，并且出现了破碎瞬间的压力值，位移量大于第1次的特征，斜率的变化以及压力和位移量的变化幅度是否取决于不同岩石的力学性质以及内在的结构构造，是需要进一步试验研究的课题。

4 结语

这次利用MTS815型岩石力学试验机进行的岩石压入破碎试验，以及测得的破碎过程曲线虽然是初步的，但对岩石的压入破碎过程进行了微观和宏观的考察，获得了新的认识。进一步研究岩石的压入破碎机理和比较完整、准确地表征岩石可钻性指标，至少必须在下述几方面开展工作：

- (1)岩石不同结构构造在连续多次全过程压入破碎过程中的不同特征与规律；
- (2)不同加载及位移速率、采样速率条件下多次全过程连续压入破碎过程的特征与规律；
- (3)动载条件下的连续多次全过程压入破碎的特征与规律；
- (4)长时间静载条件下，岩石压入过程的蠕变规律；

(5)不同形状压模的连续多次全过程压入破碎的特征与规律；

(6)反映全过程压入破碎曲线形态的数值模拟的计算方法及岩石可钻性的表征方法。

作者简介：薛军：男，1942年生，中国地质大学(北京)工程技术学院副教授；1982年毕业于武汉地质学院北京研究生部，获工学硕士学位；目前主要从事岩石力学性质及钻头、钻具方面的研究工作。地址：100083 北京市海淀区学院路29号；电话：010-82323273。 马孝春，何德成：中国地质大学(北京)工程技术学院。

参考文献

- [1] (苏联)史立涅尔.岩石力学的物理基础.朱德懿，等译.1962.
- [2] 地矿部探矿工程装备工业公司.金刚石钻探岩石可钻性分级表(试行).1984.

收稿日期：1998-09-01