

# 岩石的微观结构特征与其力学行为启示<sup>\*</sup>

冯文凯, 黄润秋, 许强

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

**摘要:** 岩石的微观结构特征往往能很好反映其宏观特性, 深入研究其微观结构特征对宏观特性的把控及工程建设具有重要意义。通过对常见砂、泥岩微观结构特征进行的电镜扫描实验, 从微观结构特征上充分解释了其软化特性、抗冲击特性及波的传播特性等宏观力学特性方面表现的异同, 并据此建议工程施工爆破中针对硬岩应注意爆破药量和爆破方式对岩石强度的影响, 软岩应特别注意水的影响。同时, 认为地震中硬脆岩石的大规模破坏和破碎可能与其微观结构也存在一定联系并建议进行深入研究。

**关键词:** 岩石; 微观结构; 电镜扫描; 宏观力学特性; 施工爆破; 地震

中图分类号: P574.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0026-04

## The Enlightenment of Microstructure Characteristic and Mechanical Behavior of Rock

FENG Wen-kai, HUANG Run-qi, XU Qiang

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The microstructure characteristic of rock frequently can reflect its macroscopic properties well, so it is very important and significant to deeply study on the microstructure characteristic of rock for controlling its macroscopic properties and engineering construction. This paper, through the electronic microscope scanning experiment to the common sandstone and mudstone, fully explain the similarities and differences of macroscopic mechanical characteristics from microstructure characteristic, such as softening, shock resistance and wave transmission, and so on. Base on this, it suggests that blast construction to hard rock ought to pay attention to the influence of blasting quantity and way to rock strength, and soft rock should especially take note of the influence of water. At the same time, it still thinks that the large scale destruction and cracking of hard brittle rock in earthquake are able to have connection with its microscopic characteristic, and suggests deeply study it.

**Key words:** rock; microscopic characteristic; electronic microscope scanning; macroscopic mechanical characteristics; blast construction; earthquake

大量的实验和工程实践均显示, 岩石的物理力学性质是控制边坡、地下洞室等工程稳定性最基本和重要的因素, 因此, 在诸如公路、铁路、水电、矿山等不同的工程中, 针对不同的岩性, 结合工程实际, 均进行了不同程度的物理力学性质实验和监测等方面的研究, 并对其力学行为进行了较为深入的分析, 以便为工程设计提供较为切合实际的性能指标, 并为工程施工控制提供较为合理的依据。然而, 针对

这方面的研究, 多集中在岩石宏观力学行为方面的重复实验、验证和分析, 对其微观结构的研究、应用及其与宏观特性方面的关联性等方面研究还远远滞后。事实上, 岩石的微观结构往往对其宏观力学行为具有很强的控制作用<sup>[1-3]</sup>, 如果能大量深入研究其微观结构特征, 并与其宏观力学行为进行对比, 将会对不同岩性获得更为深入的和较为系统的认识, 从而更好地掌控其力学行为, 更好地为工程建设服

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-05-07

基金项目: “科技减灾、重建家园”专项基金(DZJK-0811); 国家自然科学基金(青年)(40802073); 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2008CB425801)

作者简介: 冯文凯(1974-), 男, 河南省原阳县人, 副教授, 博士后, 主要从事区域稳定与岩体稳定以及地质灾害评价与防治方面的教学与研究工作。E-mail: fwkhy1@163.com

务<sup>[1-7]</sup>。为此, 针对常见的砂岩、泥岩, 采用电子显微镜扫描实验, 对其微观结构特征进行了初步探索性研究, 分析了其力学行为表现, 从微观角度对其力学行为进行了分析和解释, 同时, 初步对工程爆破施工中应注意的问题以及地震中的一些灾害表现, 根据其岩性特征提出了深入研究的建议。

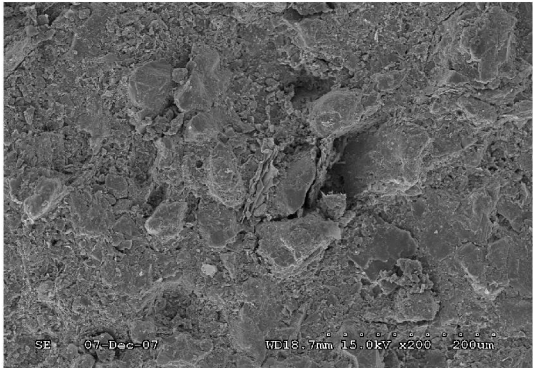
## 1 砂泥岩微观结构特征

针对常见的砂岩和泥岩, 分别采集样本并按要求磨片制作成规定的试样, 进行了不同放大倍率条件下的电镜扫描实验, 获得了较为详细的微观结构特征, 具体如下:

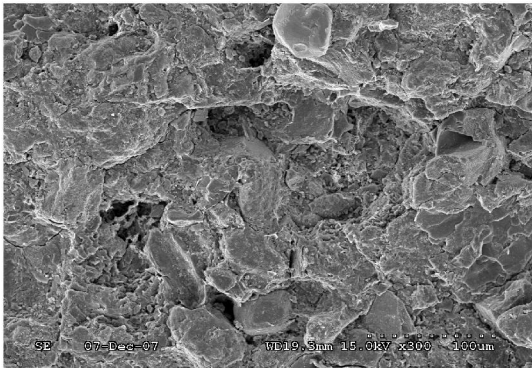
### 1.1 泥岩的微观结构特征

针对泥岩, 做了电镜下比例分别为 20  $\mu\text{m}$ 、10  $\mu\text{m}$ 、5  $\mu\text{m}$ 、2  $\mu\text{m}$  和 1  $\mu\text{m}$ (放大倍数逐渐增加) 的扫描

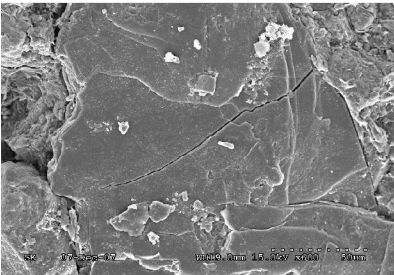
实验。从 20  $\mu\text{m}$  微观结构可以看出, 泥岩结构较松散, 总体呈团块状, 孔隙大, 磨片一般不能形成较光滑的磨面(见图 1a)。从 10  $\mu\text{m}$  微观结构来看, 试样表面凹凸不平, 存在较明显的孔洞, 直径可达 30~ 40  $\mu\text{m}$ , 形状不规则, 团块状结构及局部片状结构开始显现(见图 1b)。从 5  $\mu\text{m}$  微观结构来看, 局部较致密, 且发育有微裂隙, 裂隙边缘平滑, 张开度约 1  $\mu\text{m}$ , 延伸长度约 100  $\mu\text{m}$  逐渐尖灭, 为张裂隙(见图 1c)。另外, 从 2  $\mu\text{m}$  微观结构来看, 松散结构中局部还存在较短小的微裂隙, 裂隙边缘粗糙, 且不规则(见图 1d)。从 1  $\mu\text{m}$  及个别 2  $\mu\text{m}$  微观结构来看, 泥岩的微观结构最为清晰, 总体呈现出明显的碎屑状或团粒状(见图 1e, f), 形态不规则, 粒径小, 结构松散, 胶结差, 孔洞明显; 另外, 局部还有呈现片状结构(见图 1g) 或似羽状结构(见图 1h)。



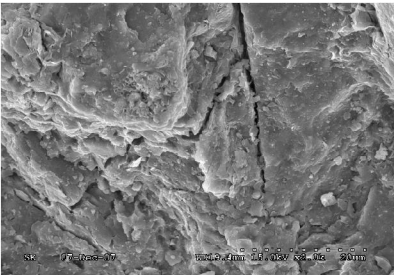
a 20  $\mu\text{m}$  微观结构



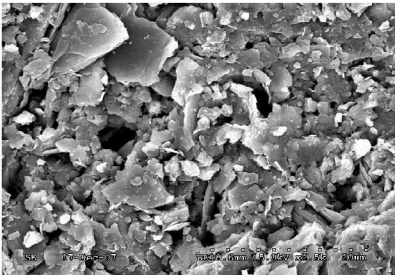
b 10  $\mu\text{m}$  微观结构



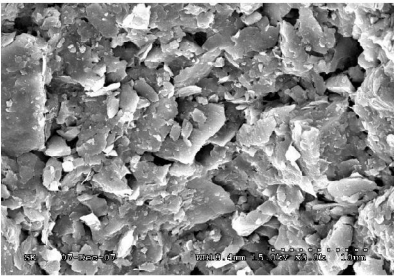
c 5  $\mu\text{m}$  微观结构



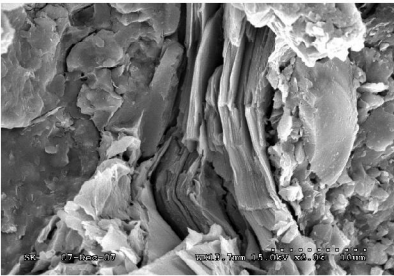
d 2  $\mu\text{m}$  微观结构



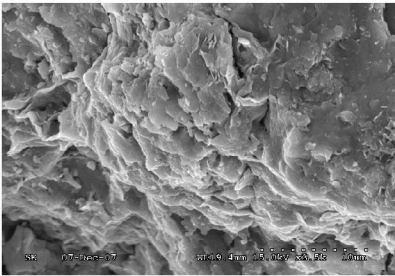
e 2  $\mu\text{m}$  微观结构 (碎屑或团粒状)



f 1  $\mu\text{m}$  微观结构 (碎屑或团粒状)



g 1  $\mu\text{m}$  微观结构 (片状结构)



h 1  $\mu\text{m}$  微观结构 (似羽状结构)

图 1 泥岩不同放大倍率微观结构特征

### 1.2 砂岩的微观结构特征

针对砂岩, 主要做了电镜下比例分别为 50  $\mu\text{m}$ 、

10  $\mu\text{m}$ 、5  $\mu\text{m}$ 、3  $\mu\text{m}$  和 1  $\mu\text{m}$ (放大倍数逐渐增加) 的扫描试验。从 50~ 10  $\mu\text{m}$ (放大倍数逐渐增大) 的微

观结构可以看出,砂岩虽然表面也有空洞,但很少,整体结构致密,可形成较大范围的光滑磨面(见图 2a 和 b)。而从 5~ 1  $\mu\text{m}$ (放大倍数逐渐增大)的微观结构可以看出,孔洞发育特征比较明显,但砂岩总体仍表现为致密块状,局部发育微裂隙(见图 2c-f)。

2 砂泥岩力学行为表现

针对泥岩,从微观上来讲,总体微裂隙不发育,呈碎屑状或团粒状,局部为片状或似羽状,结构松散、胶结差、孔洞明显,孔隙水容易快速进入粒间,对松散的泥粒进行软化,这是造成其强度迅速降低的原因。泥岩的软化系数较小,甚至强度下降幅度可

以超过一半,这是众所周知的,从微观结构来解释这一现象非常明确。

另外,泥岩微观上裂隙也不发育,加之岩性强度较低,孔隙较多,很不利于波的传播,因此爆破冲击对泥岩破坏力度大但影响范围有限,如果将泥岩 1  $\mu\text{m}$  微观结构表现出的团粒状结构看作土颗粒,地震中它将表现出类似土体对地震加速的放大作用(卓越周期)。事实上,不同岩性条件下岩土体对地震加速度的放大作用是不同的,硬脆岩体(硬岩),强度高,地震波传播速度快,地震加速度的放大效应低于软岩,针对地震中边坡坡面地震加速度的放大效应数值模拟分析结果充分显示了这一现象(见图 3、图 4)。

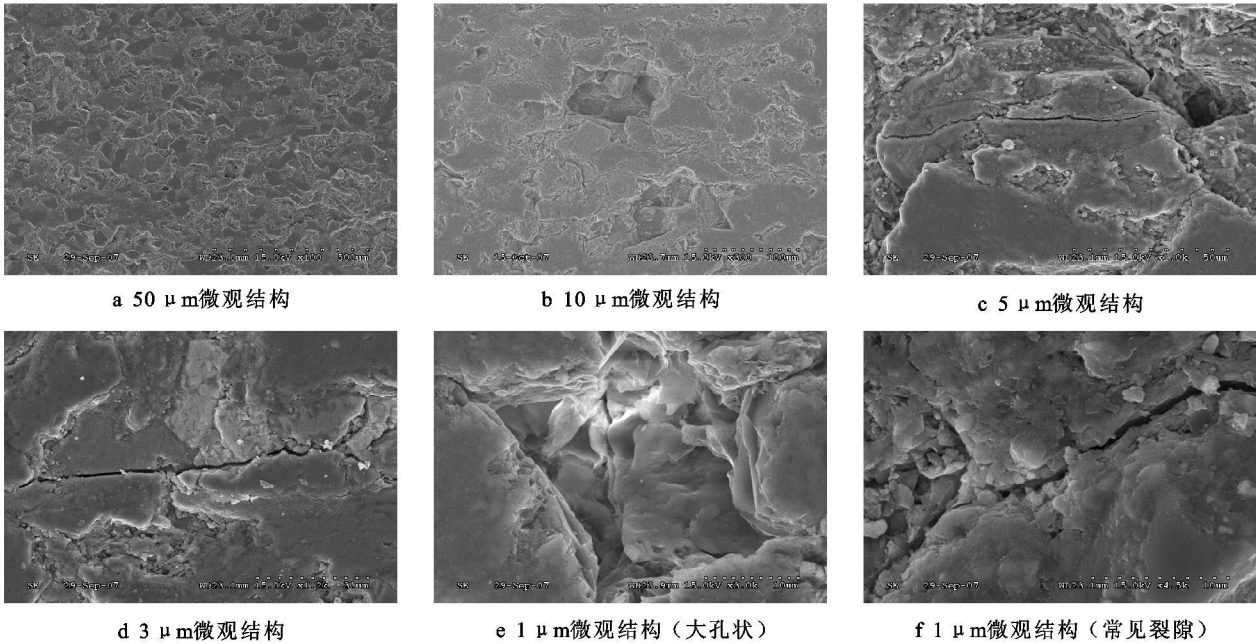


图 2 砂岩不同放大倍率微观结构特征

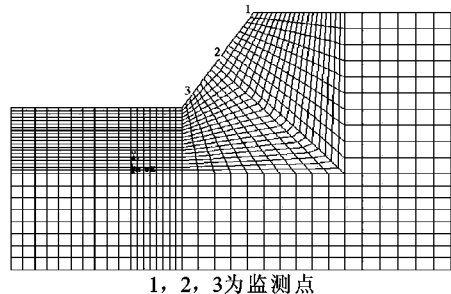


图 3 建立的数值分析模型及监测点

针对砂岩,虽然局部小范围为片状或团块状,但总体呈现为致密块状,胶结好,孔隙水不易渗入;另外,由于张裂隙相对较发育,给水的渗入提供了一定通道,但由于裂隙所占比例很小,水的软化作用并不明显,所以饱和强度降低不大,其软化系数较大,这也是众所周知的。然而微观裂隙的存在,加之砂岩强度较

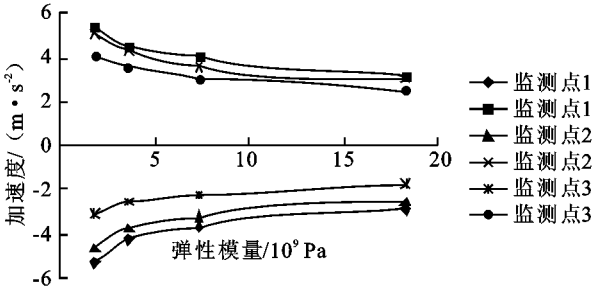


图 4 不同弹性模量与加速度关系

高,波的传播速度快,能量损失小,在外力作用下,特别是如爆破等强度很大持续时间短的冲击力作用下,对坚硬岩体不但破坏力度大而且影响范围广,极易造成微观裂隙扩展、延伸贯通,甚至破坏。隧道的施工爆破及地震中的边坡破坏,尤其是地震中硬脆岩体很容易发生崩塌甚至大规模的崩滑破坏,而软

岩一般以变形为主也是对此很好的说明。

由此可见,针对砂岩和泥岩,由于其微观结构特征存在明显差别,其软化特性、抗冲击特性、以及波的传播特性等方面存在明显差异,而这种差异是与其宏观特征相一致的。

### 3 启示

(1) 砂岩、泥岩的微观结构特征与宏观结构特征有一定的一致性,如宏观上砂岩中裂隙发育而泥岩中裂隙一般不发育。因此,深入研究岩石的微观结构特征,可获得更多宏观特征方面的认识。

(2) 泥岩微观结构显示胶结松散,有大量孔隙和空洞,在浸水条件下,水很容易进入孔隙,对粒间力造成一定影响,加之碎屑状或团粒状和片状结构更容易被压密和滑动,使岩石强度降低较大;而砂岩结构致密,水不易进入岩石内部。因此,水对泥岩的影响程度较砂岩大。

(3) 砂岩中发育有微观裂隙,在外力作用下,特别是如爆破等强度很大持续时间短的冲击力作用下,微观裂隙极易扩展、延伸贯通,造成岩石结构强度的下降,同时,由于波的传播能量损失小,其影响范围较大;与之对应,泥岩较松软,内部的空隙可以消散冲击力作用,波向外传播时能量迅速降低,岩石受的局部影响较大,但影响范围有限,说明泥岩自身的强度受损程度迅速减小。

(4) 考虑到爆破冲击对硬岩(如砂岩)强度的负面作用,与爆破施工类似或相关的工程建设中应注意对硬岩做到控制药量,减少由于爆破引起设计开挖面以外(如洞室围岩、开挖边坡面岩石)岩石强度

大大降低,造成不必要的影响(如洞室拱顶及拱肩部位的失稳、边坡的局部失稳及未来的大变形)。对于软岩(如泥岩)则应在施工中注意防排水,阻止水进入其内部引起强度的大大降低,造成洞室围岩、边坡等稳定性的迅速下降。针对这方面可结合更多的岩类进行大范围的深入研究,获取系统性的研究规律,从而更好指导施工。

(5) 根据地震中大量硬脆岩体的大规模崩塌、崩滑破坏事实,且破坏的岩体一般变得很破碎,建议可从硬脆岩石的微观结构特征上做进一步的研究,结合其对波的传播特性,可能会获得进一步的合理解释和认识。

参考文献:

- [1] 史瑾瑾. 岩石冲击损伤特性的试验研究[D]. 四川 绵阳: 西南科技大学, 2006.
- [2] 张建文. 岩石微观结构分析在陷落柱导水性识别中的应用[J]. 山西焦煤科技, 2003 (增刊): 17-18.
- [3] 赵永红, 黄杰藩, 王仁. 岩石微破裂发育的扫描电镜即时观测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1992, 11(3): 284-294.
- [4] 赵永红, 黄杰藩, 王仁. 裂带发展的扫描电镜实验研究及其对地震前兆的启示[J]. 地球物理学报, 1993, 36(4): 453-462.
- [5] 秦跃平, 张金峰, 王林. 岩石损伤力学理论模型初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(4): 646-650.
- [6] 黄明利, 唐春安, 朱万成. 岩石单轴压缩下破坏失稳过程 SEM 即时研究[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 1999, 20(4): 426-429.
- [7] 杨更社, 谢定义, 张长庆, 等. 岩石损伤扩展力学特性的 CT 分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(3): 250-254.

(上接第25页)

(2) 退水指数与基流指数的关系也比较密切。因为基流反映了一个流域稳定出流的能力。基流指数也可以反映出该流域内地下径流的比例, 从一个侧面反映出该流域的蓄水能力, 而退水指数反映的是流域退水能力。所以两者间呈反比的关系。

(3) 岩性和喀斯特地貌对退水指数的影响较大。岩性的不同决定了地貌类型的差异, 而这两项指标对退水的影响在下垫面因子中尤为重要, 不仅决定了径流的成份, 还决定了退水的时间与速度。

参考文献:

- [1] Kiraly L. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers [J]. Karstification and Ground Flow, 2003, 1(3): 1-26.
- [2] 马建良. 南方喀斯特流域枯季退水规律及对新安江模

型的改进[D]. 南京: 河海大学, 2008.

- [3] 王秀云. 基于 DEM 的地貌分析研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2006
- [4] Lvovich M L. Hydrologic budget of continents and estimate of the balance of global fresh water resources [J]. Hydrology, 1972, 4: 41-45.
- [5] Beran M A, Custard A. A study into the low-flow characteristics of British rivers [J]. Journal Hydrology, 1977, 35: 147-157.
- [6] Smakhtin V Y, Watkins D A. Low-flow estimation in South Africa[R]. Water Research Commission Report No. 494/1/97, Pretoria, South Africa.
- [7] 王在高. 喀斯特流域枯水及其枯水资源承载力研究 [D]. 贵阳: 贵州师范大学, 1999: 6-7.