

岩石试样单轴压缩的破坏形式 与承载能力的降低*

尤明庆

(焦作工学院机械系 焦作 454159)

华安增

(中国矿业大学 徐州 221008)

摘要 岩样单轴压缩破坏有剪切滑移、拉伸劈裂、“压杆失稳”式折断等多种形式。但其承载能力降低的主要原因是剪切滑移，与由此产生的轴向塑性变形量成线性关系。

关键词 单轴压缩，破坏形式，承载能力

分类号 TU456

1 引言

岩石是矿物的天然集合体，其构成颗粒具有多种形状和尺度。岩石材料的破坏过程就相邻颗粒间的相互脱离来看，可能形式只有分离或错开两种，即材料的拉伸破坏和剪切破坏。然而岩样内的局部破坏并不等同于其承载能力的消失，必须加以区分。

2 岩样单轴压缩过程中的破坏形式

岩样常规三轴压缩的最终破坏形式是明显的剪切滑移；单轴直接拉伸是垂直于轴向的拉断。但是，岩样单轴压缩的破坏形式却复杂多变，通常认为最终的破坏多数是与轴向近乎平行的劈裂破坏，或称岩样单轴抗压强度的降低是由于岩样内部的拉伸破坏造成的^[1, 2]。

对中国矿业大学电液伺服试验机实验室所陈列的四十多个岩样的考察，可以将岩样单轴压缩的最终破坏形式归纳为4种，如图1。

(1) 岩样沿轴向存在相当多的劈裂面，但有一个贯穿整个岩样的剪切破坏面。某些岩样除主剪切面之外还存在少量的局部剪切破坏面。由于岩石的抗拉强度较低，所以就破坏面而言以张拉为主，有时甚至掩盖了剪切破坏面。

(2) 两个相互连接的剪切面共同实现对岩样的贯穿，当然岩样中也存在沿轴向的劈裂面。

(3) 岩样一端为破裂圆锥面，在锥顶产生沿轴心的张裂破坏。这种情况较少。岩样两端同时出现破裂圆锥面是不容易的。

1996年11月11日收到初稿，1997年1月13日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目(19472076)。

作者尤明庆简介：博士，1984年毕业于复旦大学数学系，现任副教授，主要从事岩石力学、高压水射流方面的研究。

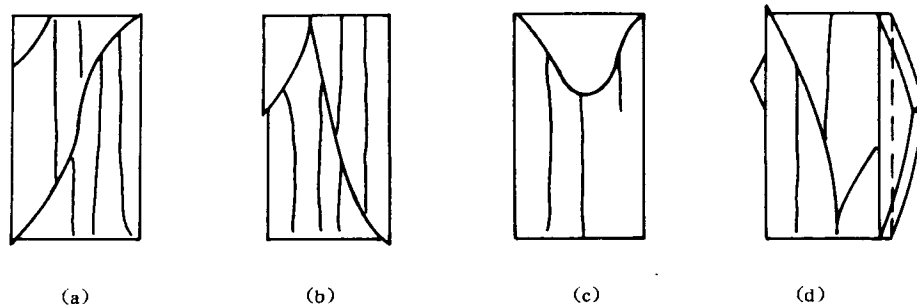


图1 岩样单轴压缩破坏的形式

Fig. 1 Fracture modes of rock specimens in uniaxial compression

(4) 岩样侧面出现类似于“压杆失稳”的岩片折断破坏, 岩样的其余部分破坏同(1)和(2)。这种情况较少出现。

绝大多数的主剪切破坏面都是始于岩样的一个端面而终止于另一个端面, 只有极少数岩样由于层理或弱面等原因终止于岩样的侧面。在岩样失稳破坏时部分材料会被压碎, 成为粉末状。

通过上述分析, 可以认为岩样中有各种各样的破裂面, 这些破裂面在垂直于轴向的投影之和最终将覆盖岩样的端面积, 造成岩样轴向承载能力的消失。

文[3]发现在围压低至0.35 MPa (50 psi)时岩样仍保持剪切破裂形式, 由此推断在单轴压缩下的破坏也是由剪切破裂产生的, 但必须明确区分岩样的破坏形式和承载能力降低这两个概念。

3 岩样内拉张破坏根源在于剪切滑移

在岩样的单轴压缩过程中, 如果材料变形均匀, 没有产生破坏, 那么岩样内部的应力就只有压应力和剪应力, 并不存在拉应力。因此岩样内材料的最初破坏只能是剪切破坏或剪切滑移。但是一旦岩样内部出现剪切滑移后, 在滑移面附近的应力状态将发生巨大的变化。下面以图2作一简单的定性说明。

从岩样中沿轴向取出一个包含剪切滑移面 AB 的“隔离体”, 见图2(b)。在剪切滑移面上有正应力 N 和摩擦力 F , 两者沿轴向的合应力小于岩样的轴向应力, 否则就不会滑移破坏。因而在 BG 面上必然存在剪应力以平衡轴向载荷。剪切滑移作用还会产生垂直于轴向的拉力, 其大小随该滑移面积增大而增大。

显然在没有围压的单轴压缩过程中, 随着剪切滑移面的增大, 将会产生沿轴向的拉张破坏。某一拉张破坏面出现之后, 其下方(沿滑移面)的岩石材料在轴向的剪切和拉应力将减为零。其后随着剪切面的不断扩大, 拉张破坏又将逐个地发生。由于试验机压板端部效应, 图2(a)中的剪切滑移面 AC 的上方通常很少产生拉张破坏面, 至少靠近 A 点的岩石材料是能够保持完整的块状。

如果最初的剪切滑移面出现在岩样的内部, 那么其引起的沿轴向拉张劈裂面可能使岩样侧面的材料脱离主体成为一个压杆, 因而失稳而折断, 完全失去承载能力。原来储存的

弹性形变恢复,使其长度大于岩样而弯曲。这种破坏情形会在应力应变全程曲线上反映出来,即在应变几乎不变时出现一个应力小幅度跌落。这种应力跌落通常在峰值附近,并不影响岩样的整体变形过程(如图3)。必须强调的是,岩样仅是沿轴向破裂,其承载能力并不降低。

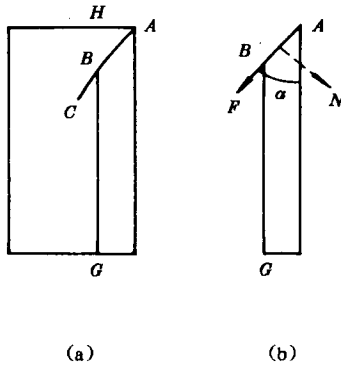


图2 岩样沿轴向拉伸破坏机理
Fig. 2 Mechanism of tensile fracture along the axial direction

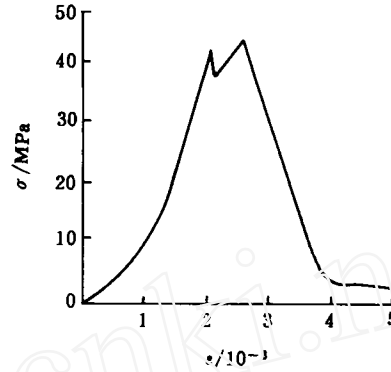


图3 岩样外侧“压杆失稳”式折断造成的应力跌落
Fig. 3 Stress drop for the specimen broken like unstable pole

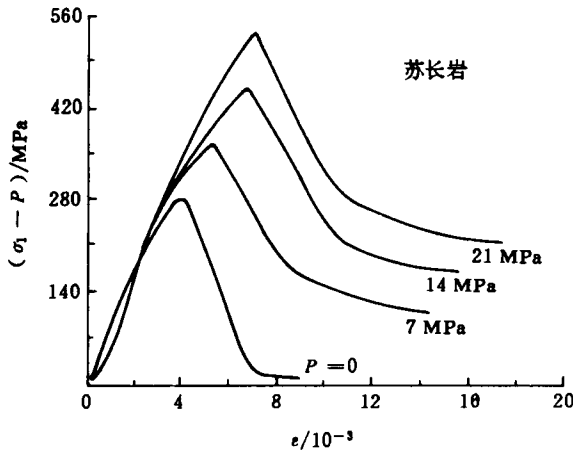


图4 岩样单轴和三轴压缩的全程曲线^[4]
Fig. 4 Complete stress-strain curves of rock specimen in uniaxial and triaxial compressions^[4]

4 岩样单轴承载能力降低根源在于剪切滑移

岩样单轴压缩峰值后的轴向应力是岩样的承载能力,并非材料强度。如前所述,若岩样只是沿轴向破裂成相互脱离的两块,其轴向承载能力将依然存在。

基于材料剪切破坏的 Coulomb 强度准则能够很好地适用于较低围压和单轴压缩时岩样的抗压强度^[2],并且峰后承载能力降低的规律也是相同的(图4)^[4]。由此可以确认岩样单轴压缩承载能力的降低也主要是根源于材料的剪切破坏。

由于剪切滑移使得在岩样单轴和三轴压缩过程中环向塑性变形量与轴向塑性变

形量成线性关系^[5],或者说岩样的轴向塑性变形量可以表示岩样内部的剪切滑移。

图5(a)是两种岩石不同长径比试样的单轴压缩全程曲线^[6]。以岩样总的塑性变形量

$$u_p = L(\epsilon - \sigma/E) \tag{1}$$

为参数重新处理全程曲线如图5(b)。显然在应力峰值之后岩样承载能力的降低与塑性变形

量成比例

$$d\sigma/du_p = -Y \tag{2}$$

而与岩样长度无关,这说明造成岩样承载能力的降低是岩样中某一断面的弱化。

对 J. A. Hudson 所作不同直径、长径比的12个大理岩样单轴压缩全程曲线^[7],用塑性变形量来考察应力峰值之后的弱化过程同样得到了

$$d\sigma/du_p = -600/(1 + 0.02D) \text{ MPa/mm} \tag{3}$$

即岩样承载能力的降低所需塑性变形量与其直径 D 成线性关系,而与长度无关^[8]。这进一步说明了岩样承载能力的降低根源与材料内部的剪切滑移而不是沿轴向的拉伸劈裂。

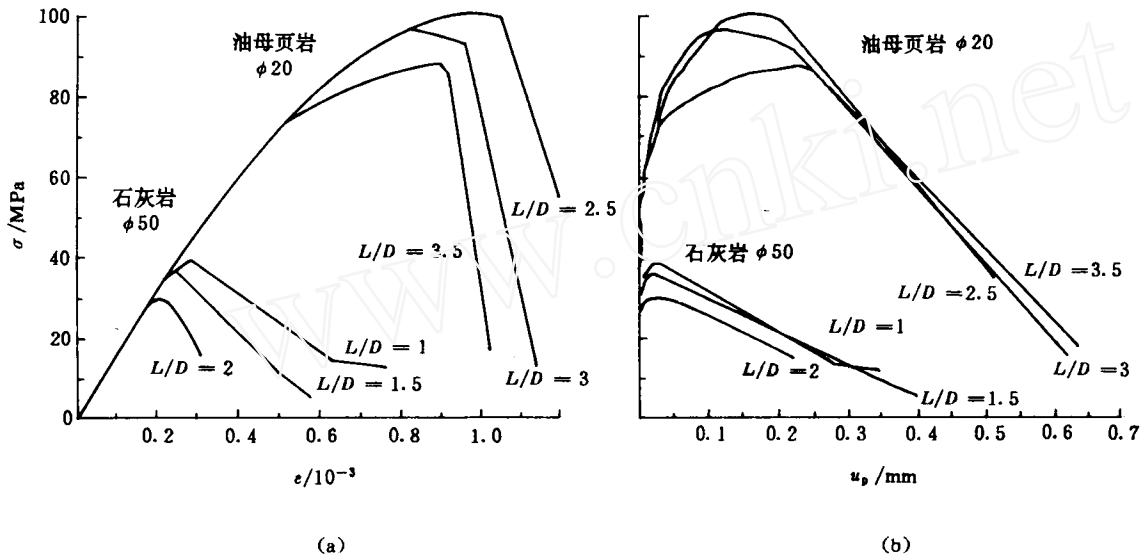


图5 岩样承载能力降低与塑性变形量的关系

Fig. 5 Decrement of specimen's loading capacity and the total plastic deformation

5 结论

(1) 岩样单轴压缩过程中材料的破坏形式有剪切滑移、沿轴向的拉伸劈裂和外侧面类似于“压杆失稳”的局部折断。

(2) 岩样内材料的初始破坏是矿物颗粒间的剪切滑移,并引起另两种形式的破坏。岩样最终破裂面在垂直于轴向的投影至少覆盖其端面积。

(3) 岩样轴向承载能力的降低主要是其内部材料的剪切滑移造成的,与由此产生的塑性变形量成线性关系。

参 考 文 献

- 1 李贺,伊光志,许江. 岩石断裂力学. 重庆:重庆大学出版社,1988,107
- 2 周维垣. 高等岩石力学. 北京:水利电力出版社,1990,13~15
- 3 耶格 J C, 库克 N G W. 岩石力学基础. 中国科学院工程力学研究所译. 北京:科学出版社,1981

- 4 Goodman R E. 岩石力学原理及其应用. 王鸿儒, 王宏硕译. 北京: 水利电力出版社, 1990
- 5 尤明庆, 华安增. 岩样三轴压缩过程中的环向变形. 中国矿业大学学报, 1997, 26(1): 1~4
- 6 朱之芳. 刚性试验机. 北京: 煤炭工业出版社, 1985
- 7 Hudson J A, Fairhurst C. Soft, stiff and servo-controlled testing machine. Eng. Geol., 1972, 6(3): 155~189
- 8 尤明庆, 华安增. 岩样单轴压缩的尺度效应和矿柱支承性能. 煤炭学报, 1997, 22(1): 37~41

FRACTURE OF ROCK SPECIMEN AND DECREMENT OF BEARING CAPACITY IN UNIAXIAL COMPRESSION

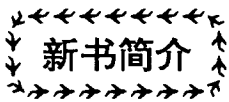
You Mingqing¹ Hua Anzeng²

(¹ Jiaozuo Institute of Technology, Jiaozuo 454159)

(² China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008)

Abstract There are shear fracture, tensile fracture and compression failure like unstable pole in rock specimen under uniaxial compression. But it is shear fracture that mainly causes the decrement of rock specimen's bearing capacity.

Key words uniaxial compression, fracture, bearing capacity



《边坡工程随机分析原理》一书由王家臣著, 煤炭工业出版社1996年5月出版, 32开本, 218页, 15.3万字, 定价12元。

该书由全国博士后科学基金部分资助, 系统阐述了边坡工程随机分析的基本原理和最新研究成果, 既有基本方法介绍又有大量工程算例, 包括蒙特卡罗方法、概率矩点估计法、一次二阶矩法、岩体不连续面的随机描述、边坡工程系统分析、经济风险分析、岩土性质的空间变异性、边坡三维随机分析、渐进破坏随机分析等内容。该书可供土建、水电、铁道、交通、国防、煤炭、冶金等部门有关技术人员和院校师生参考。

《岩体渗流与煤层底板突水》一书由张金才、张玉卓、刘天泉著, 地质出版社1997年出版, 16开本, 20万字, 定价18元。

该书论述了矿山岩体的应力与位移特征、岩体的采动及水力破坏特征、岩体的渗流规律; 建立了裂隙岩体渗流特征与埋深、水压力及应力之间的理论关系公式; 探讨了岩体渗流与应力的耦合机理。书中还全面讨论了矿井底板突水的影响因素, 提出了矿井底板突水的预测公式及预防突水的开采方法和防治水技术; 系统介绍了岩体采动破坏、裂隙岩体渗流的现场注水及地质雷达观测方法。该书在岩体力学及岩体水力学、采场矿山压力控制、承压水上采矿、岩体渗流及矿井底板突水预测预报及其防治等方面的研究具有较高的学术水平和实用价值, 可供煤炭、冶金等部门的科技人员和院校师生参考。