

研究简报

应力途径对砂岩力学性质的影响

耿乃光

许东俊

(国家地震局地球物理研究所) (中国科学院武汉岩土力学研究所)

姚孝新等研究了应力途径对岩石脆性—延性变化的影响^[1]。实验中采用了两种加载方式。A型：在一定的围压下增加轴压使岩石破坏(即常规的三轴实验)；B型：在一定的围压下增加轴压到岩石破坏前的某一应力状态，然后停止加轴压转而减小围压使岩石破坏。实验表明，在同样的应力状态下，一种岩石在B型实验中表现得比在A型实验中脆。的实验使用了济南辉长岩(硬岩)与掖县大理岩(软岩)。两种岩石均为致密岩石。实验使用长江-500型试验机进行。实验进行后有两个问题提出，即实验结果是否由压机或测量仪器引起，以及应力途径对岩石脆性—延性变化的影响是否限于上述两种致密岩石。因此更换试验机、测量方法与岩石品种进行实验是必要的。

新的实验在东京大学地震研究所利用茂木清夫设计的真三轴试验机进行。在与本报告有关的实验中始终保持 $\sigma_2 = \sigma_3$ 。实验的最大围压为50MPa。岩石样品为三浦砂岩，这是一种松软砂岩，密度为 1.85g/cm^3 。岩石样品加工成 $1.7 \times 1.7 \times 3.0(\text{cm}^3)$ 的方柱。实验中测量了围压、轴压与轴向应变。压机的结构、样品的包装方式与测量仪器在过去茂木清夫的报告^[2]中已有详细的介绍。加载方式仍为上述A型与B型两种，应变率均为 $10^{-5}/\text{s}$ 。在发生破裂的情况下实验进行到破裂发生，在产生屈服的情况下实验进行到应变量为4%。

A型实验砂岩的性质

不同围压下A型实验砂岩的应力—应变曲线如图1所示。图中纵坐标 $\sigma_1 - \sigma_3$ 为差应力，横坐标 ϵ 为轴向应变。每条曲线旁边的数字表示其对应的围压值，单位为MPa。由图可见，在砂岩的A型实验中，当围压在15MPa以下时，岩石发生破裂，其表现为随着应力的增加应力—应变曲线起初近于直线，然后出现弯曲并达到峰值。峰值后发生应力降，岩石破裂，此后在近似不变的轴向荷载下进行断层错动。当围压在20MPa以上时，砂岩的应力—应变曲线起初也近于直线，然后很快地出现弯曲，再沿一斜率较低的直线继续上升。此时砂岩呈现屈服，不发生破裂。这种特点与过去大理岩的结果不同^[1]。

在出现应力峰值和随后发生应力降的情况下，为了定量地比较岩石的延性，使用了茂木清夫定义的延性度 $D^{[3]}$ 。它表示了脆性破裂发生时岩石的非弹性应变。图2给出了砂岩的延性度随围压变化的情形。A型实验的结果在图中用黑点表示。随着围压的增加

本文1981年11月2日收到，1982年10月8日收到修改稿。

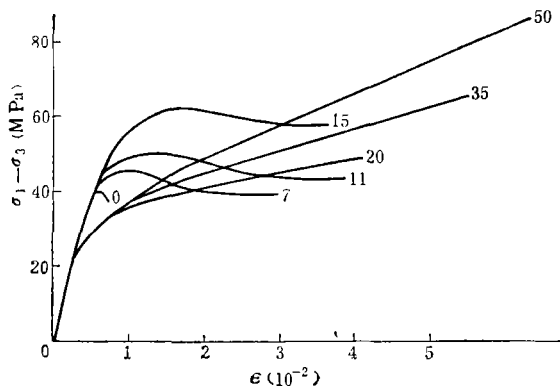


图1 砂岩 A 型实验应力—应变曲线

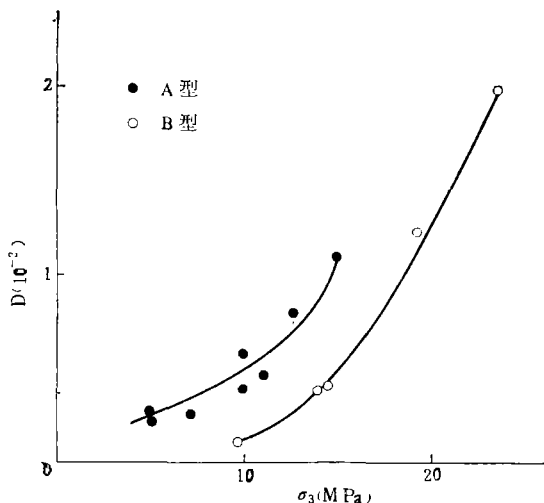


图2 砂岩 A 型实验与 B 型实验延性度的比较

砂岩的延性度增加很快。当围压达到 15MPa 时，曲线中止，因为在此围压以上岩石呈现屈服。

B 型实验的结果和与 A 型实验的比较

图 3 给出了砂岩 B 型实验的应力—应变曲线。由于 B 型实验中围压 ($\sigma_2 = \sigma_3$) 不再保持恒定值，所以在纵坐标轴原点以下给出了围压 σ_3 的值，其它表示法与图 1 相同。曲线旁的数字符号表示砂岩样品的编号。对于每条曲线在相应的 P_B 点之前围压均保持不变，轴压不断增加因而应力—应变曲线与前述 A 型实验的应力—应变曲线相同。 P_B 点之后，保持轴压不变转而以减小围压使差应力继续上升。由图可见，在减围压的开始阶段原已向下弯曲的应力—应变曲线又折向上方，以接近原来线性阶段的斜率再上升一个阶段，随着围压进一步减小，应力—应变曲线再弯曲，达到峰值并出现应力降，岩石样品也发生破裂。实验表明，在 B 型实验中，砂岩在 19MPa 和 25MPa 的围压下，能够发生破裂并产

生应力降；而前述 A 型实验中，当围压超过 15MPa，砂岩已呈现屈服，不出现破裂和应力降。图 2 中的圆圈表示砂岩在 B 型实验中的延性度与围压的关系，与黑点表示的 A 型实验的结果对比可以看出，在相同的围压下，砂岩 B 型实验的延性度比 A 型实验低。

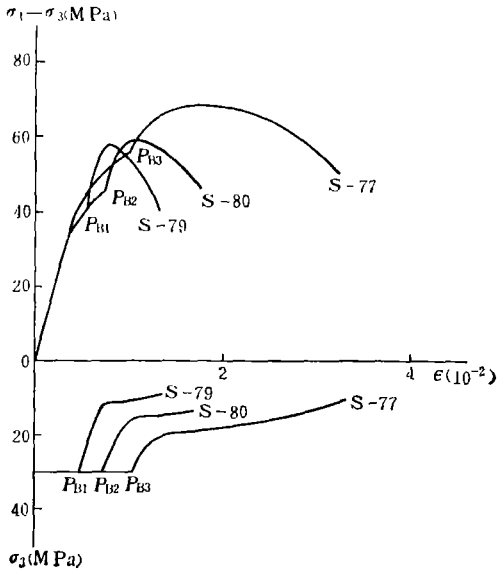


图 3 砂岩 B 型实验应力—应变曲线

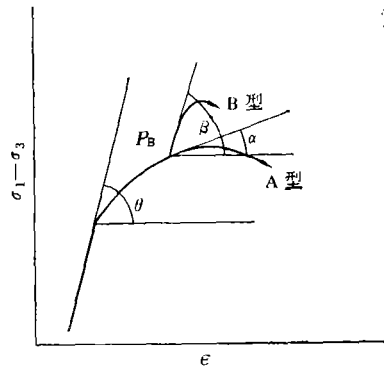


图 4 砂岩 A 型实验与 B 型实验应力—应变曲线斜率的比较

小 结

利用两种加载方式对砂岩进行的实验研究再一次确认，岩石的延性和脆性与应力途径有关。对于性质松软的砂岩在常规的三轴实验中稍加围压即呈现屈服，然而在 B 型实验中，其延性度明显降低。本实验由于观测仪器性能较过去提高而观测到一个细节，即应力途径改变前后应力—应变曲线的斜率有一个突然的改变。图 4 给出了 P_B 点之后按 A 型和 B 型两种加载方式继续实验时，应力—应变曲线斜率的对比。由图可见，在 P_B 点附近，应力—应变曲线的斜率与应力途径有很大关系，因此，岩石性质受应力途径影响这一问题是不容忽视的。

作者对茂木清夫教授和望月裕峰先生的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 姚孝新, 耿乃光, 陈颢, 应力途径对岩石脆性—延性变化的影响, 地球物理学报, Vol. 23, No. 3, 312—319, 1980.
- [2] Mogi, K., Fracture and flow of rocks under high triaxial compression, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 76, No. 5, 1255—1269, 1971.
- [3] Mogi, K., Fracture and flow of rocks, *Tectonophysics*, Vol. 13, No. 1—4, 541—568, 1972.

THE EFFECT OF STRESS PATH ON PROPERTIES OF SANDSTONE

GENG NAI-GUANG

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau*)

XU DONG-JUN

(*Institute of Rock and Soil Mechanics, Academia Sinica, Wuhan China*)



振动技术学术讨论会

中国地球物理学会振动技术学术讨论会于1983年3月22日至25日在北京举行。十五个单位三十多名代表参加了会议,中国地球物理学会仪器和观测系统专业委员会主任秦馨菱、副主任王敬耀出席了会议并讲了话。这次会议不仅介绍了最近的研究成果和国内外动态;而且采取了较灵活的方式,用较多的时间集中讨论了振动技术中几个重要的问题,探讨得较为深透,取得了很好的效果。

会议就以下几个方面进行了交流并展开了热烈的讨论:

关于振动测量记录器方面,介绍了最近国内研制的几种新型磁带记录仪器和微处理机控制的现场数据采集系统。代表们一致认为,数字技术具有突出优点,各有关专业系统应加速和加强数字技术在振动测量仪器中的应用,但也要综合考虑仪器性能、任务要求、使用条件和经济效益等,因此各种记录方式仍然会在相当一段时期内并存。为了适应资料分析的需要,各种记录方式都要解决数据量化的问题。要加强时间服务系统的工作,希望有关天文台尽早开展编码授时发播工作。

关于测振仪器标定研究、系统误差分析方面,代表们认为,随着研究工作的深入,对仪器的定量要求也随之提高。会上讨论了数字式检波器参数精确测定的方法、测振仪器系统标定的各种方法及试验结果。目前标定问题仍然是测振技术中的薄弱环节,各有关专业系统要加强测振仪器标定理论及方法的研究,系统误差分析的研究,标定标准的建立,标定设备的研制,测振仪器基本参数的确定,标定中专用名词的统一定义与解释等等。由于各系统对测振仪器的要求不同,应根据实际需要,建立本系统的标定标准和方法。

关于闭环伺服技术在拾震器中的应用问题,与会代表介绍了几种近期研制的伺服式拾震器。伺服式拾震器具有很多优点,可解决普通拾震器难于解决的技术问题。但是闭环伺服技术及系统的标定中还有很多急待解决的技术问题,有待今后进一步研究解决。

会议还对今后加强交流、加强协作、举办地球物理仪器展览会、出版振动技术文集等提出了建议,并选举产生了振动技术专业组。

(本刊编辑部)

SYMPOSIUM ON VIBRATION MEASUREMENT HELD IN BEIJING, MARCH 22—25, 1983