

关于岩体的应力应变曲线和残余强度

——兼与陶纪南同志商榷

叶金汉

(水利水电科学研究院岩土所, 北京)

工程实践表明, 地下洞室中岩体有时尽管已发生破裂, 但仍可维持稳定, 即岩体仍有一定的承载能力。这使人们感到固体力学的传统强度概念已不够用了, 须进行岩石破裂后区的力学特性研究。自从刚性试验机问世后, 国内外学者已在这方面开展岩石力学性质试验研究, 并获得一些成果。如何分析和利用这些成果, 是一种十分有意义的事。陶纪南同志在其论文^[1]中进行一些探讨, 并提出自己的看法, 对工程设计是有益的, 但文中有些见解和公式都值得商榷。

一、关于应力应变曲线

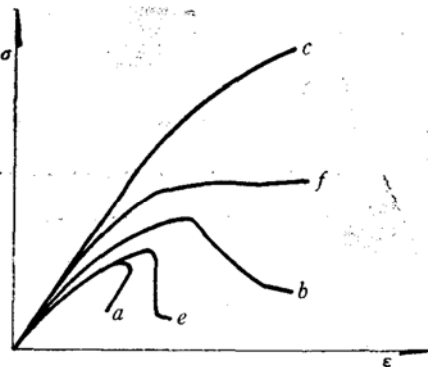


图1

岩石应力应变曲线是描述岩石性态的主要特征线, 通常以 $\sigma-\epsilon$ 曲线和 $\tau-u$ 曲线来表示。过去, 因受测试设备和技术限制, 只能测出峰值强度以前的区域。1965年库克研制刚性装置提高了试验机的刚度。特别是电液伺服试验机的成功, 使国内外在单轴和三轴压缩试验中获得不少岩石的应力应变全过程线。从这些试验成果知, $\sigma-\epsilon$ 曲线一般有两大类^[2]: 1. 破裂后区的曲线斜率为负; 2. 此曲线斜率由负变为正。陶文据大理岩试验曲线将其归纳为五种(见图1)。据笔者几年来对花岗岩、石英云母片岩、白云岩、大理岩和红砂岩等多种岩石的试验研究发现, 通常只有四种。较常见的是 b 和 e 两种, 在高温高压条件下才有 f 种, 而 a 种情况也不多见。对岩石强度随变形增大而增高的 c 种曲线却未能在工程岩体中遇到。事实上大理岩出现这种资料仅是一种趋势, 无实测点。

应力应变曲线的形状尚与加载速度、温度、湿度、试验时间及测试技术^[3]等有关。

其次, 在 $\sigma_1-\sigma_3$ 的散点图上表明, 除变质岩的线性较好外, 火成岩和沉积岩的线性较差。见图2。因此, 茂术提出的 $\sigma_1 = 3.4\sigma_3$ 关系式只是近似的经验式。陶纪南同志据 $\sigma_1 = K\sigma_3$ 是脆性向塑性转化的分界这一尚有争议的看法, 进而提出“脆性岩石的峰值强度对围压依赖性小, 摩擦强度对围压的依赖性大”及“峰值强度与摩擦强度曲线两者有一交点”的论点。可是, 这种论点并不符合岩石的实际资料。大量的岩石三轴试验成果证实, 岩石不论是属于脆性或塑性, 它们的峰值(极限)强度是随围压增加而提高的, 见图3。在霍克的文章^[4]中也曾指出, 在三轴试验中脆性向延性过渡的分界线是不清楚的。因此, 峰值强度与摩擦强度线二者必相交的依据是不足的。

二、关于岩石的残余强度

岩石残余强度是工程人员十分关心的重要数据。在有关岩石力学的书籍和文章中又很少涉及。我们

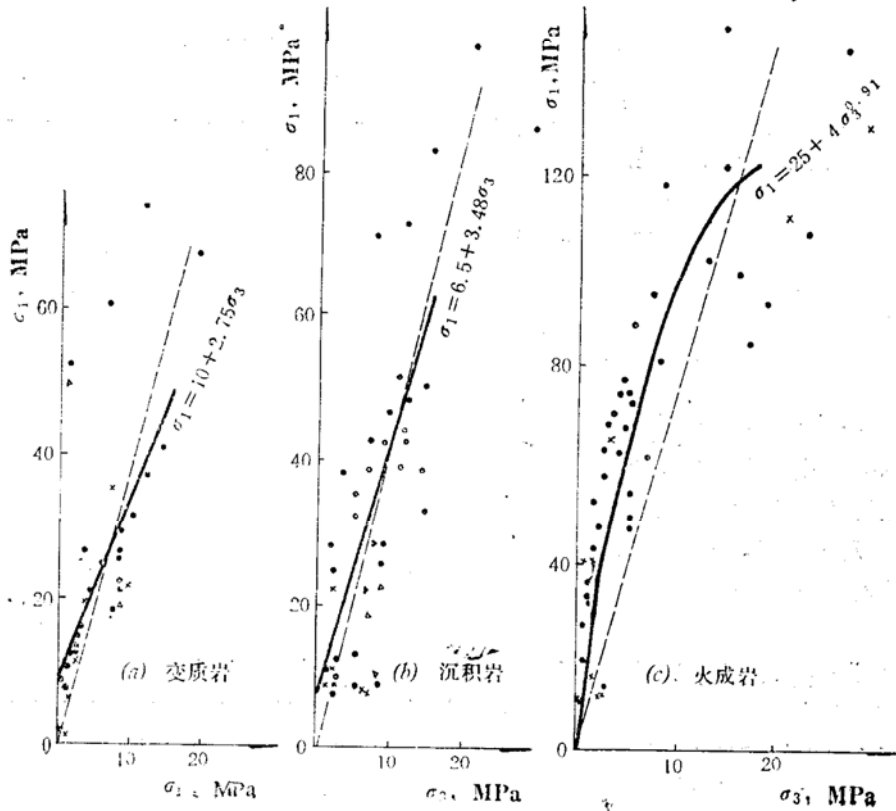


图 2

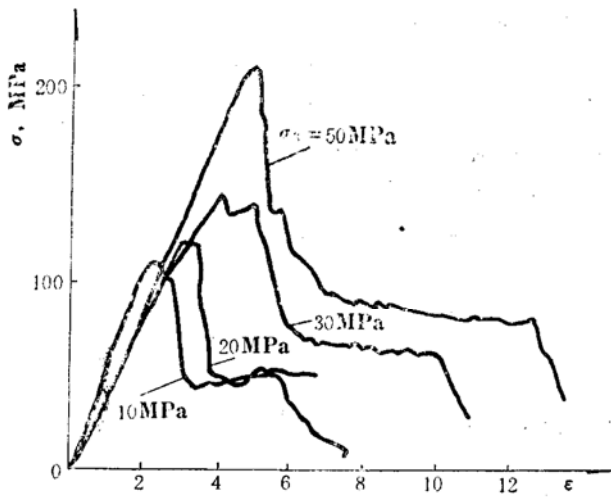


图 3

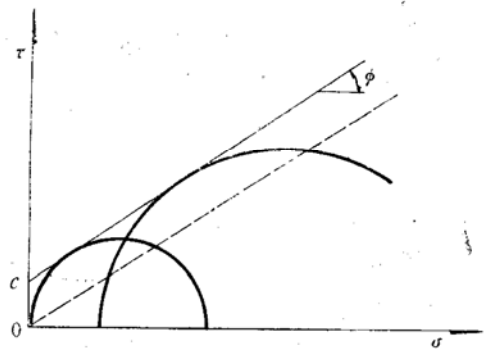


图 4

在对石英云母片岩等一些岩石通过刚性试验机试验中发现，即使岩石的完整性较差，也存在一定的残余强度。甚至在单轴试验中，一部份岩石也具有残余强度。只是受岩性的不均一性影响，残余强度值很不一致。我们还发现三轴试验时的岩石残余强度与二轴(直剪)试验中的残余强度在数值上并不一致。所以陶文中依据“岩体的残余强度实为剪断面上的摩擦强度”的观点也值得讨论。

通常，在 τ - σ 曲线上按库仑准则的线性关系可知，剪切面上法向应力为零时，岩石的抗剪强度也不为零，因为存在粘聚力 c 值(见图 4)。一般是在直剪试验中 c 值较小，在三轴试验中 c 值较大，仅在节理裂