

专题译文集

ZHUANTIYIWENJI

(采矿)

白银矿冶研究所情报研究室

BAIYINKUANGYETANYANJIUSUOQINGBAOYANJIUSHI

一九七九·八

工程顾问机构的岩石力学试验室

E. HOEK

(加拿大温哥华戈尔德联合有限公司负责人, 伦敦帝国大学岩石力学付教授)

前 言

对有关土工工程顾问机构的岩石力学试验首先提出的问题是:它是必要的吗?遗憾的是大多数岩石力学工程师似乎都认为,全部问题都集中在岩石力学试验室,只要进行了足够的试验,就能回答任何实践中将要出现的问题。这种认识可能是来源于岩石力学在解决问题时实际上起了重大作用的纯粹天真的见解。换言之可能来源于绝望的感觉——假如你不去接触和碾压一些岩石的话!

仔细研究许多实际工程问题的解答表明,在获得这些解答时,岩石力学在将要考虑的因素范围内所起的作用是相当小的。毫无疑问有时在确定对问题的解答方面需要试验结果,而且这些结果的作用很大。但这种情况可能不是常有的事。顾问工程师往往会问自己“这些试验真有必要吗?”如果回答是肯定的,虽然很可能是这样,但工程师必须继续研究每个试验的相互关系和设备的类别,并需努力得出一系列在工程重要性方面的结果,使其比得上其它数据的结果。

顾问工程机构的主要目标必须对问题得出一个均衡的解答——使研究的问题中所有因素在细节上与时间限制,企业可利用的财政来源达到一致的程度。过分强调实验室通常意味着其它领域被忽视,而且不可能得到均衡的解答。根据已讲过的这些铭言并假定读者现在有条件了解岩石力学试验的实际进展,作者将对他们提出这个讨论中的主要课题——土工顾问机构为了正确处理它的业务,需要有什么类别的设备?

试 验	用 途	试 样 制 备	短 评
1 集中荷载试验	原来用于测定岩石的抗拉强度(巴西试验)——现在用作指标试验或确定岩石材料的单轴抗压强度。	无	若用在脆性、各向同性的岩石上是一种可以得到可靠结果的、简单、迅速和便宜的野外试验。
2 离解耐久性试验	在不同湿度条件下岩石材料的破坏速度的测定。	无	恒温器干燥和称重给简单的设备增加了复杂性。
3 野外剪切试验	岩石结构面小型野外试样抗剪强度的测定。	试样必须安到石膏模具或水泥砂浆块内,使结构面成水平。	在试样尺寸范围内得到合理摩擦角数值的简单试验。
4 现场剪切试验	在未扰动的试样上测定抗剪强度。	试样的外表必须清晰、安装加载机架要平行结构面。	试样制备相当昂贵,加载的局限性限制设备只能用于煤之类的软材料。
5 大试样的剪切试验	在试验室条件下,用适当的大小的试样测定结构面的抗剪强度。	常常需要修整试样,试样必须安到石膏模具或水泥砂浆块内,使结构面成水平。	试验相当昂贵,通常只适于工作量大的地方,改善了结果的精度,能用于急陡边坡的设计。
6 粒状物质的三轴试验	测定破碎岩石和风化岩石的抗剪强度。	无	由于三轴传感器的尺寸,限制了岩块的最大尺寸。

续表 1

试 验	用 途	试 样 制 备	短 评
7 单轴压缩 试 验	测定岩芯的弹性模量 和无侧限抗压强度。	必须仔细地制作试样 的端面。	最常用的岩石强度 值，又是最难以经济 地得到的一种数值。
8 三轴压缩 试 验	测定岩芯的三轴抗压 强度。	仔细地制作岩芯试样 的端面，并严格按传 感器安装试样。	通常适于地下坑道设 计有关的特殊研究项 目。
9 各向异性的三 轴压缩试验	测定片状岩石材料中 随方向而变化的三轴 抗压强度。	岩芯必须在与片理成 一定角度的情况下钻 取，试样的必须细心 制作。	通常只适于各向异性 程度大，如板岩中的 坑道设计。
10 三轴剪切 试 验	在控制孔隙压力条件 的情况下，测定岩芯 中结构面的抗剪强度。	像（9）一样，结构 面在岩芯试样中必须 是倾斜的。	在控制孔隙压力的情 况下，进行剪切试验 最有效的方法。
11 蠕变试验	测定岩石的变形和破 坏特性，这类岩石表 现出明显的随时间而 变的特性。	往往需要严格要求岩 芯试样端面的制备和 准确控制温度。	通常只适于蒸发盐矿 （如盐和钾盐）中的 井下坑道设计。
12 刚性试验 机 试 验	测定岩石材料破坏后 的变形特性。	必须十分精确地制作 试样的端面。	井下矿山中矿柱设计 所需资料。
13 模拟材料的 模 型 试 验	完整的岩石结构特性 的模拟—施加荷载的 相互作用。	如要满足模拟的必需 条件，必须严格选择 和制作模型材料及加 载设备。	通常只适于国家规模 的研究所。

岩石力学试验评论

表1列出了教科书中讨论得比较清楚的岩石力学试验的概要，兹分别叙述如下：

1. 集中荷载试验

这个试验作为一个岩芯记录的指标已日益普及，它至少已有20年的历史，最初称为巴西试验，是用来测定脆性岩石的抗拉强度的。这个最初的用途看来已基本上被遗忘了，因为试验的可靠性要取决于对某些基本原理的认识。试验的理论基础在本文附录中讨论。

记录岩芯时，集中荷载可作为取得岩石强度定量的一种又快又便宜的手段。图1和图2表示两种市场上可以买到的集中荷载试验的设备。如图所示，这些设备是用以对岩芯或不规则岩块施加径向相对的集中荷载的。只要有一条明显的张裂隙通过加载点之间，就可得出一个可靠的岩石单轴抗压强度的计算值。验收试验结果的标准在本文附录中再作详细讨论。

集中荷载不能用于泥岩或粘土岩之类的软岩或软的蒸发盐岩。当用于各向异性的板岩之类的岩石时，必须相当注意使加载方向平行或垂直于主要弱面的方向。

集中荷载试验与所有其它强度试验共同的一个缺点是破坏岩芯，这会以后解释岩芯断裂造成困难。因此，将岩芯用于集中荷载试验之前，重要的是要进行岩芯摄影和岩性指标〔(RQD)即指长度为10厘米以上的完整岩芯提取率〕的测定。

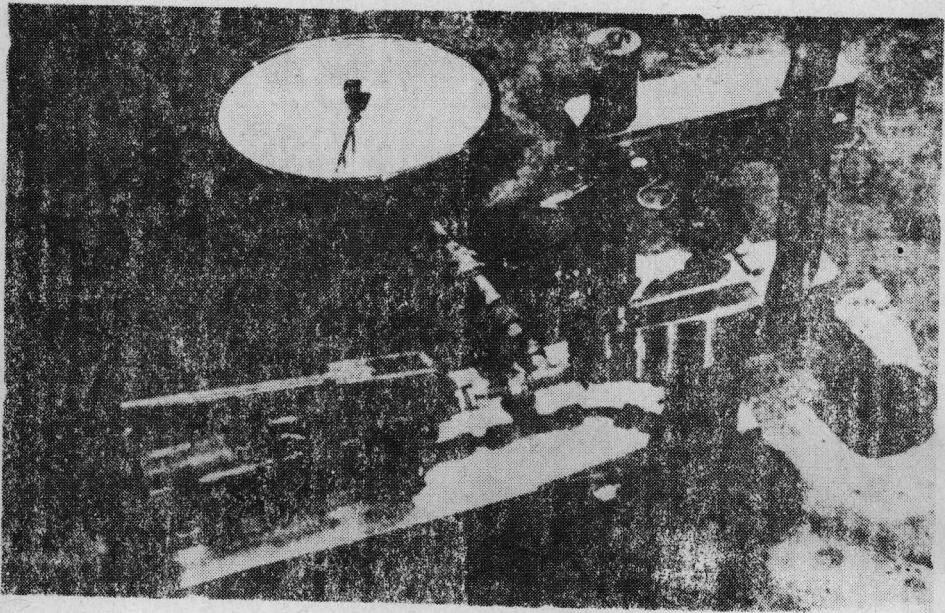


图1 工程试验室设备有限公司制造的集中荷载试验设备



图2 罗伯特逊研究所制造的集中荷载试验设备

2. 离解耐久性试验

岩石离解耐久性试验是由富兰克林和钱德拉〔1〕发明的，已证明特别适用于评价野外所遇到的范围广阔的岩石耐久性条件。与洛斯安格尔的腐蚀性试验相反而与用于选择混凝土骨料和道碴的试验方法相似，离解耐久性试验是确定岩体离解的速度的，岩体的稳定性随着时间的变化而变坏。

因此，在板岩中掘进的平峒，当岩石刚被揭露时可能是稳定的，但岩体风化时稳定性就可能降低。显然，重要的是平峒的设计者应当具有一些风化速度的概念，并作出离解耐久性试验的设计以提供这种数据。

图3表示市场上可买到的离解耐久性试验设备，这种设备由2个或4个电机驱动的转鼓组成，转鼓是由孔径为2毫米的金属网制成的。将10块岩石（每块重40—60克）进行恒温干燥并称

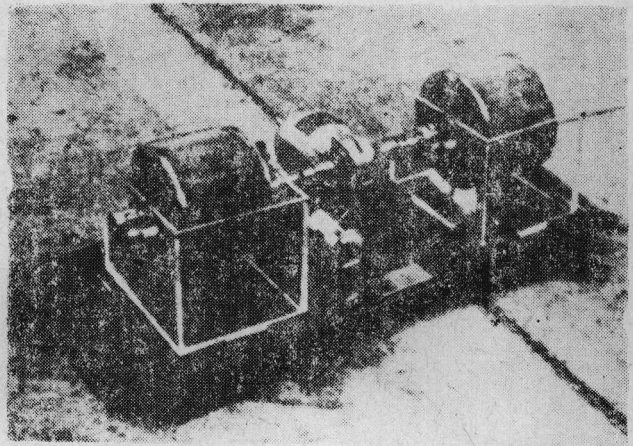


图3 工程试验室设备有限公司制造的离解耐久性试验设备

重，然后通过水浴旋转10分钟（每分20转）。反复对岩块进行润湿和干燥并磨蚀使岩石加速破坏，离解耐久性指标以试样的最终干重为原来干重的百分率表示。

3. 野外试验

图4表示了几种轻便剪切机的一种，它是用于野外小试样剪切试验的。虽然可试验的试样尺寸和施加的荷载量级有限，但这种试验机能给出适于许多实际岩石边坡设计的抗剪强度值〔2〕。

试样可以是岩芯或手标本，但应包含结构面，结构面应能将试样分成几乎相等的一些岩块。将这些岩块用金属丝捆在一起，尽可能小心地使结构面拼合在一起，然后将试样浇注在水泥砂浆块内或石膏块内，使其尺寸，恰好适合于剪切盒的大小。结构面放置成水平面，并注意使试验的结构面不要太粗糙，太粗糙会在解释结果时，引起剪应力的量级和方向不同于原来的假设。

在大多数岩石试样进行试验时，加载的速度是第二个重要因素，最大的实际困难在于保持垂直荷载不变。这是因为垂直荷载回路中油的体积小，试样的任何伸缩都将产生很大的压力变化。这个困难可通过在回路中安装均压系统来解决。而市场上可以买到利用压气作用在大直径的活塞上来平衡小直径活塞的油压的差动活塞装置则是提供解决这个问题有效而经济的手段。

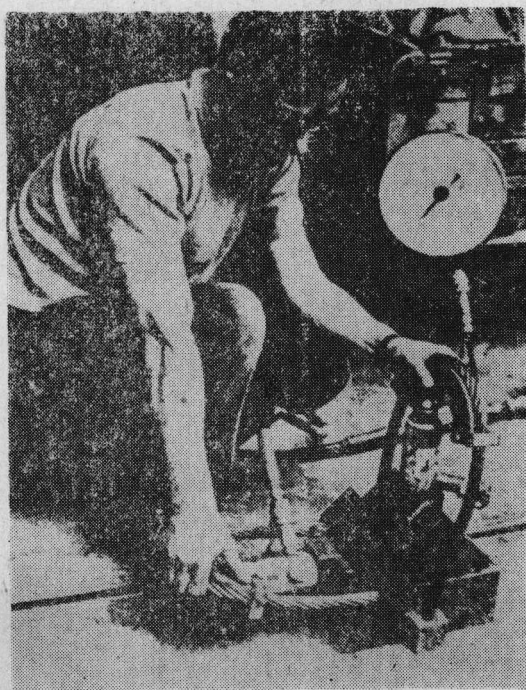


图4 罗伯特逊研究所制造的野外剪切匣

4. 现场剪切试验

这是野外剪切试验的另一种形式，其中垂直荷载反作用力作用在与试样相连的岩体

上。适于现场试验的结构面是与暴露的岩石断面平行的结构面。用凿子，链锯或类似的工具将岩块修整成一定的形状，使形状尺寸恰好适合于上部剪切匣的尺寸。必须注意不要扰动试验的结构面，在某些情况下，制备试样时，可用销钉或扩张的管状锚杆将两个面固定在一起。

在平峒内试验时，垂直荷载和剪切荷载的反作用力可由周围的岩石得到，在岩石边坡上进行现场试验时，荷载反作用力通常是由锚进岩体的锚杆和锚索得到的。这种锚杆的能力通常限于试验煤之类的软材料。

根据这个简短说明，显而易见，这种试验是相当昂贵的，因为需要能够对付可能遇到的各种不同情况的人员细心地制备试样。试验人员必须对所有可能影响试验结果的因素具有充分的了解并能解释这些结果，而且必须注意到这些将要提出的结果的最后用途。

5. 大试样的剪切试验

在岩体结构面具有某些不常见的，对稳定有重大影响因素的情况下，大型试验室剪切试验有时是合理的。这些不常见的特征可能是以前的剪切位移引起的滑面，粘土断层泥充填物或沉积的盐类充填物，由张裂隙形成的节理的表面粗糙度，以及在以前引起边坡破坏的滑动中，沿不同方向受剪过的结构面上的定向粗糙度。

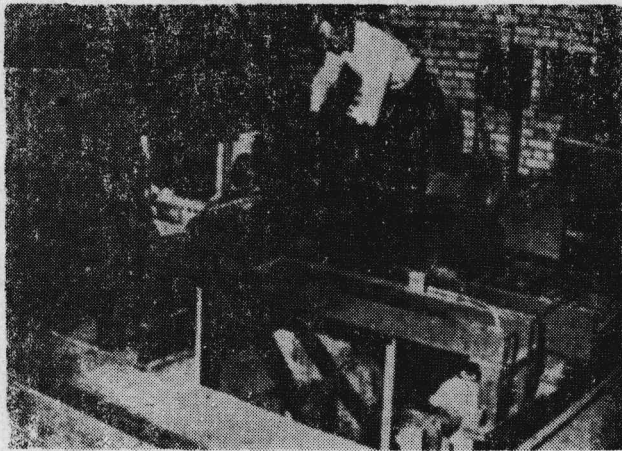


图5 伦敦帝国大学的100吨剪切机

图5表示伦敦帝国大学的大型试验室剪切仪。这个剪切仪能适应断面尺寸 300×400 毫米的试样，并在法向和切向两个方向上都具有100吨的荷载能力。采用这种剪切仪代替类似规模的现场试验的优点是更能严密地控制试样的制备和试验。假定制备试样所需的设备都能得到，则用这种试验仪的每次大型剪切试验的最低成本约为500美元。在可以利用图5所示的这种设备以及对这种设备的租金能作到合理安排的地方，显然，对顾问机构来说，认为采购或设置大型剪切仪是不经济的。另一方面，在没有这种设备可利用的地方，考虑到一个公司的设备能为大区中的一些机关服务，采购这种设备是有一些价值的。

6. 粒状物质的三轴试验

当研究裂隙很发育的岩体或废石堆或岩石充填的堤坝边坡稳定性时,为了在园形破坏方式分析中应用,需要粒状岩体的抗剪强度。在这类岩石中,抗剪强度和正应力之间的关系常常是非线性的,相当精确地确定这个关系,可能是必要的。

在许多土木工程试验室里都可得到试验岩石充填物的大直径三轴试验匣,这种试验匣适用于废石或裂隙很发育的岩石,试验匣的尺寸一般最小应能容纳100块单独的颗粒。由于试样通常在收集时都被扰动了,试验前应尽可能将试样压实到接近现场的密度。

这种试验的设备和试验本身都不太昂贵,因此粒状岩石的三轴试验对顾问机构来说是合算的。

7. 单轴压缩试验

岩石的单轴抗压强度是经常引用和要求的性能之一,并作过把隧洞掘进机的性能,矿柱的强度,矿柱岩体的可爆性和粗糙结构面的抗剪强度之类的工程问题与岩石的单轴抗压强度联系起来的尝试。在某种意义上,单轴抗压强度终于已被用来作为一种十分粗略的指标,这种指标将给很可能遇到的一些问题得到一个近似值一如岩体是否必须爆炸,或是否可以挖掉,边坡是否会成圆弧破坏,其动态是否受构造控制等等。

当人们考虑提出的数值的用途时,很粗糙的单轴抗压强度的计算值往往就足够了。所以,如果要在爆破和使用隧道掘进机之间作出选择时,单轴抗压强度中10%的误差意义是不大的,而由集中荷载试验测定值往往就足够精确了。因而为了满足对单轴抗压强度值的更多要求而进行单轴试验是不必要的一用一双好的登山靴踢岩石或用地质锤敲打岩石就能得岩石力学的性质,凭工程师的感觉就足以回答询问。

另一方面,当涉及到较大的地下动力车间的洞室设计时,岩体扰动导致的应力则是一桩非常有意义的事,而相当准确地测定单轴(和三轴)抗压强度也就很有必要了。此外,还需要在已知施加应力的条件下测定变形模量作为应力分析的输入数据。为了满足这种必要条件,任何岩石力学工作负荷大的土工顾问机构都需具有单轴和三轴压缩试验的设备。

进行单轴压缩试验时,花费较大的是试样制备。当对岩石强度进行十分精密的试验时,制备试样的时间极长,并需使岩芯试样的端面平直度和平行度达到很高精度的技术要求。因为作者对岩石的脆性断裂的研究花费了五年的工作,所以按规范要求,这种试验现在可以称作岩石物理而不是岩石工程。作者熟悉这些必需的条件,并象对具有不同压板的三轴和加载试样中应力分布之类的课题一样进行过详细的研究。然而,面临的是需要得到工程数据的量而不是基础科学的数据,因此标本制备和试验的问题就必须从各种不同的角度来考虑。

为满足岩石工程试验的必需条件,已制出图6所示的单轴试验盒,伦敦帝国大学的岩石力学实验室已用这个系统进行过几千次试验。这种试验盒的特点如下:

(1) 试样的长度与直径之比为2,而且是固定在与试样直径一样的钢板上的。岩石试样和钢板的侧向应变大致相等,是泊桑比与杨氏模量之比的函数。这意味着试样中的应力分布在其整个长度范围内是一样的一大多数试样的应力分布问题都与钢板或岩石界面上的应变失调(造成拉开或试样的筒状变形)有关。钢板配有球形支座的曲率中心

位于钢板与岩石的界面上。设计了这种支座就不需要在试样上加工平行的端面。实际上试样的端面只要平直就足够了，这样就可大大简化试样的准备工作。试样的制作将在以后讨论。

(2) 用荷载传感器将试样连续加载，通常要根据应变计进行操作。这意味着可以不用精确校准加载机，而可采用很简单的加载装置，只要这种装置具有足够的能力就行。如图7所示，为了适应单轴和三轴加载盒，设计了一种很简单的100吨的加载机架，尽管可以得到不同的垂直压缩试验机，但这个很简单的加载机却被用于帝国大学的所有岩石试验了。

那些未使用过这种试验的人常常关心着球型支座可能在加载时会冲出来，而且会使整个圆柱体变成废物，经验证明，只要采取试验脆性岩石时所采取的预防措施，这种现象是不会发生的。

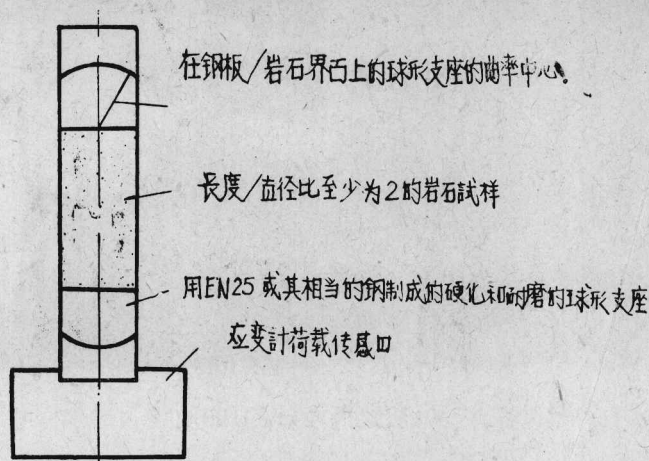


图6 为在试样制作工作量最小的情况下提供可以接受的应力分布而设计的单轴加载盒

图8和图9表示帝国大学总技师约翰沙利文发明的制作试样的方法。将重型车床（采购旧货约需500美元）安上一个刀架研磨附件，其上安一个127毫米×1.6毫米厚的含金刚石的切割轮，将岩心固定在车床的卡盘内并按反时针方向旋转，每分钟约20转。金刚石刀片按顺时针方向旋转，每分钟约3000转，切割时用水冷却，由于岩芯旋转，刀片就可进入切割槽，而不需用任何金刚石砂轮切割固定试样时常用的尖刃。经过多年实验已经产生了一种适当刚性和配有金刚石的切割轮，并由于切割轮转动着穿过试样中心，所以能产生相当平直的试样端面。切割过程很平稳，即使易碎的岩芯也能用这种方法制作。

如果需要的话，车床也可用作试样的打眼机，将金刚石钻头夹在卡盘内，并将试样附在中心架或顶针座上。如有必要，可采用液压推杆将试样推至旋转的金刚石钻头。

帝国大学的实验已经表明，这是一个高效率而又经济的试样制作方法，而且每年已为教学实验室制作了数百个试样。作者坚决主张采用这种试样制作方法，与采用双球形支座结合起来以免除对平行的试样端面的要求，这样在许多顾问机构中就可有有效的简单加载设备进行经济的压缩试验了。

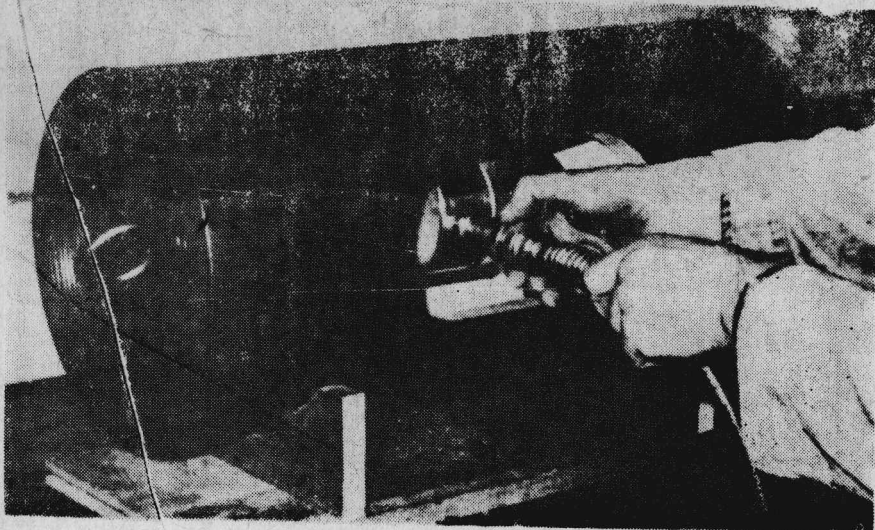


图7 为适应单轴或三轴试验而设计的100吨能力的加载机架

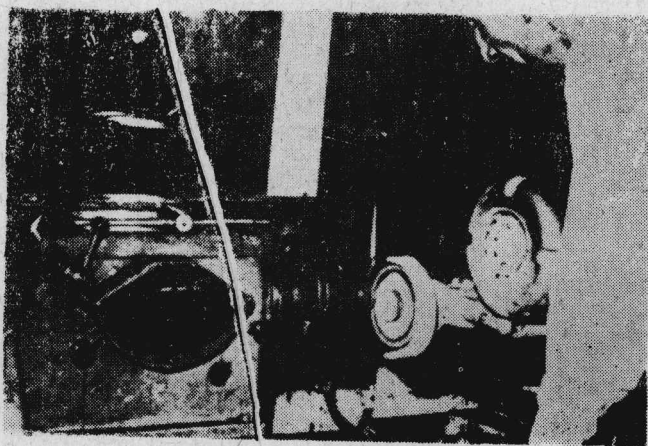


图8 用安在重型车床刀架研磨附件上的金刚石切割轮制作试样端面

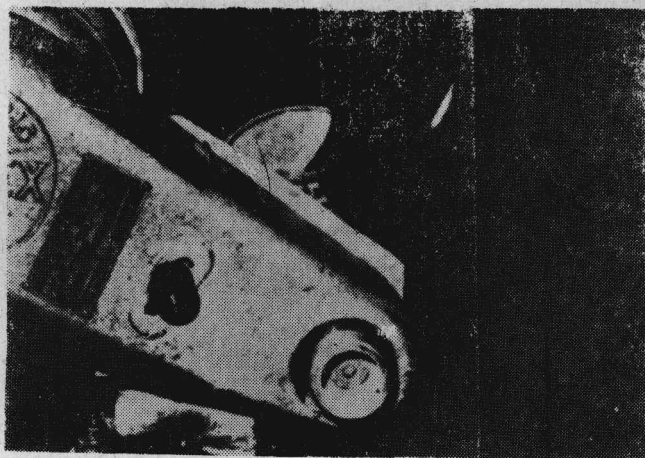


图9 用金刚石轮切割试样端面的特写镜头

8. 三轴压缩试验

上一节讨论的单轴抗压强度试验是三轴压缩试验的一个特例，并可在三轴压缩试验的标题上更合逻辑地论述整个课题。但很少要求全套三轴抗压试验的，因为可以利用完整的抗剪强度与正应力的关系式〔3〕的方法，而且这种计算值对实际工程的应用来说通常都是足够的。当需要证实确定的破坏准则时，通常只有三轴压缩试验才是正确的。

在地下煤矿中，面临着需要进行大量的三轴试验，作者找到了一种解决每次试验必须在标准三轴传感器内放油和加油的办法。通过努力终于产生了图10和图11所示的设计，现在市场上可以买到这个类型不同规格的传感器〔4〕。储油系统是完全密封的，

只要注意采用恰当的传感器尺寸，通常进行许多试验都不必排油—由于套管事先钻孔的结果。在试样上还可以使用应变计并可通过压板和传感器之间的间隙引出导线。

用这种传感器能够施加的侧压力约为70Mpa*(10000磅/英寸²)，而这样的侧压力一般来说对大多数工程问题已足够了，因为这些工程问题通常与相当低的正应力有关。

*1Mpa = 145磅/英寸² (译者注)

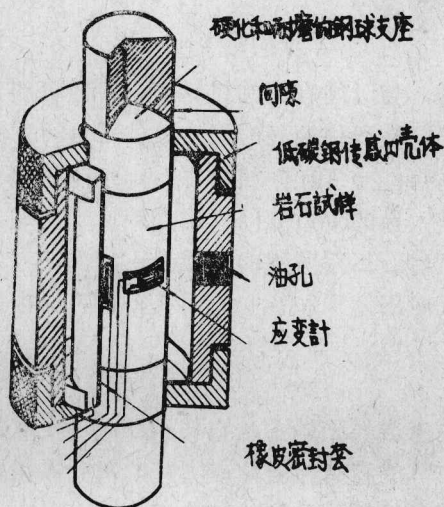


图10 在侧压力70Mpa(10000磅/吋²)范围内试验岩石试样的三轴传感器的剖面图，每次试验之间不需放油

9. 各向异性的三轴压缩试验

除了钻取的试样与岩石的主要弱面的方向成一定角度外，这种试验的程序与上述各向同性试样的三轴试验相同。当研究



图11 三轴传感器，带有破裂试样的壳体 and 球形支座及带有应变计的试样

各向异性程度很高（如板岩）的地下坑道的稳定性时，这种试验是很重要的〔5〕。

10. 三轴剪切试验

在直接剪切试验中，控制孔隙的压力十分困难，解决这个问题的一個方法是采用三轴剪切试验。凯文罗森格伦博士在坎培拉研究哲学博士论文时曾用过这种试验〔6〕，这种试验包括加载一个含有与较大主应力方向成 30° 倾角的弱面的试样。通过在压板内装上一个低摩擦的支承面，就能适应试样的侧向移动，并能在结构面上发生大量的移动。

在这样的试验中，不容许装设球形支座，因而试样的端面必须是平直而平行的。制备这种含有结构面的试样是困难而昂贵的。所用的传感器必须具有适应试样和压板的能力，并能使试样侧向移动。因此，这种试验并未广泛应用，作者也不认为它适于土工顾问使用，除非在当地大学或研究所能够得到适当的设备。

11. 蠕变试验

当涉及钾盐或盐类中的矿柱或地下峒室设计时，与时间有关的材料变形特性可能是必须考虑的最重要的因素。这些材料的蠕变试验必须在严格控制温度条件下进行，解释试验结果需要充分了解流变学，一般来说，只要有可能土工顾问机构都倾向于回避蠕变问题，而把它交给具有必要设备和训练有素的工作人员的少数专门机构处理这类问题。这或许是一种合理的安排，因为要求的手段与正常岩石工程所用的手段大不相同，以及顾问机构对具有随时间而变的材料方面的工作缺乏专门知识和经验，委托单位在这方面与顾问机构的业务联系也不多。

12. 刚性试验机试验

当坚硬岩石矿柱超载时，岩石就会断裂，但由于岩石无处去，它将保持在地不动，且仍具有相当大的承载能力。由断裂的矿柱支承的荷载在岩体应力总的再分布中起着重要的作用，为了解决这个应力的再分布，必须了解断裂矿柱的特性。

在大多数单轴或双轴试验中是采用“软性”试验机，亦即通过液压来施加荷载，当试样的刚度由于断裂而降低时，液压将继续不断地驱动压板使试样破坏。在这样的试验

中,不能得到超过应力—应变曲线峰值以后的数据。

为了获得断裂后的试样荷载—变形特性的数据,有必要用“刚性”试验机进行试验,在这种试验中受控的是应变而不是应力。在大多数现代刚性试验机中,液压系统是由试样上的变形测量设备的信号随机控制的,并能在达到和超过试样的峰值强度时仍遵循完整的荷载—变形曲线。

刚性试验机在试验坚硬岩石时反应相当快,现在许多大学和政府的试验室中都备有这种试验机,必要的时候,土工顾问应当利用这种设备。这种试验机很昂贵,在任何正常情况下,由顾问机构购置它们都是不合算的。

13. 模拟材料试验

因为理论方程式充分阐明一个复杂的工程设计问题有困难,所以某些岩石力学工作者已探索了应用模型的方法,在模型试验法中要尽可能精确地满足相似律。采用这种方法最有名的是意大利的巴格莫(Bagmo)试验室富马伽利(Fumagalli)博士和他的同事已对堤坝和隧道进行了很好的研究。在采矿界,德国埃森(Essen)采矿协会和澳大利亚悉尼(Sydney)附近的煤矿工业研究所已采用了这种方法,由于模拟试验的复杂性和试验人员需要有很高的实验技术,因而使这种方法非常昂贵,这对大多数顾问机构来说是不能接受的。

讨 论 和 结 语

虽然作者并不打算在本文内谈及所有岩石力学试验,但考虑到了有充分代表性的选择并已阐明了工程顾问机构岩石力学试验的基本观点。

从已提出的讨论中十分清楚存在着三类试验方法:

(1) 在岩石力学工作量大的顾问机关应该使用的那些试验方法。试验1、2和3是属于这一类。

(2) 应该从每个较大的地区内的机关团体得到的和可由那个地区内的某一机构提供或可以得到的试验,按要求从当地大学或研究所得到的试验,这类试验是4—9。

(3) 工作量不大而且对任何土工顾问机构来说都不合算的试验,这些试验设备可从附近的大学或研究所得到的。试验10—13属于这类。

这三类并非绝对分割的,有时在一个涉及特殊问题的机关中可提供不同种类的混合试验,有时也有必要按主要任务提供综合的野外试验室,这种试验的装备可能远比在机关执行这种任务时所用的装备精巧得多。

尽管有这些不同的变化,但作者的意见是岩石力学试验的方针应该根据下列一般原则:

(1) 一个机关内进行的任何岩石力学试验应该只服务于工程师和地质师,而且不应把试验作为它本身的终结。

(2) 如果在当地能租到,则不应购置表1中10—13项要求的那些精巧的岩石力学设备。

(3) 只要有可能,任何岩石力学试验都应由一个工程师或地质师来执行或由他严

密监督。

(4) 如果利用大学或研究所的设备, 应注意保密, 虽然结果本身可能是不重要的, 但却是他们计划研究项目的细节, 而任何细节都是不应当泄露的。

〔 附 录 〕

集中荷载试验的说明:

集中荷载试验是巴西试验的发展, 它原来是用于测定脆性岩石的抗拉强度的, 虽然集中荷载指标现在是作为一种正确的指标, 但它的正确解释仍有赖于一定的基本关系, 如果违反了这些关系, 试验结果将显示出大量的分散性, 而且在工程上应用这些结果很可能产生困难。本附录的目的是评论这些基本关系。

图12表示在直径 D 和厚度 t 的园盘中沿径向施加相对的集中荷载 P 引起的应力。注意在园盘中心引起了侧向拉应力和轴向压应力且这些应力的比例为 $1:3$ 。

图13表示格里菲思 (Griffith's) 脆性破坏理论的抛物线形破坏包络线 [7]。当脆性岩石承受拉伸正应力时, 亦即当三个主应力之一是拉应力时, 这个理论能最精确地说明脆性岩石的特性, 即使所有三个主应力是压应力也能成立。这个包络线的突出部分的曲率半径等于岩石单轴抗拉强度的二倍, 而且所有试样都将发生拉伸破坏。试样中应力的条件用半径 $2\sigma_t$ 的莫尔园表示。虚线莫尔应力园只在由 $\sigma_3 = \sigma_t$ 得出的一点上与破坏包络线相切, 因而破坏发生的方式相当于单轴拉伸破坏—破坏不受最大主应力 σ_1 (若 $\sigma_3 < -3\sigma_1$) 的影响, 且破坏扩展的方向垂直于引起拉应力的方向。

图12和图13之间的比较表明, 用径向加载的园盘可满足拉伸破坏的条件, 如图12所示园盘中的应力是在园盘中心引起的。正确的试验是一条明显的张裂隙在加载点之间沿直径越过园盘, 而任何其它类型的断裂都应看作是可疑的, 通常应舍弃这样的结果 [8]。

用格里菲思理论推算的单轴抗压强度与单轴抗拉强度之比为8, 这是一个极小的比值, 按上面讨论的关系这是正确的。很软的材料如泥岩和粘土岩通常显示出一条具有单轴抗压强度与抗拉强度之比约为5的, 比较平直的包络线。集中荷载试验不能用来测定这类材料的抗拉强度而且通常会得出错误的结果。即使直接用它自身作为一个指标也是不行的。

至于大多数坚硬的脆性岩石, 则抗压强度与抗拉强度之比约为10。从图12和图13可以看出, 单轴抗压强度 σ_c 可以用巴西试验通过下列关系计算出来:

$$\sigma_c \approx 20p/\pi Dt$$

(1)

在象板岩这样的各向异性的材料中, 如果主要弱面的方向平行或垂直加载方向, 则巴西试验应当是唯一有效的。再者, 试验结果的验收标准应当要有一条明显的张裂隙从一个加载点延伸到另一加载点。

在不规则岩块或平行于岩芯试样轴向的集中荷载试验不能象径向加载的园盘那样作出精确分析。但在径向加载的球体中的应力分布与园盘中的应力分布相差不大, 而不规则试样引起的应力分布则与球体中引起的应力分布相似。因此若在加载点之间展现着一

条明显的张裂隙，则不规则试样的集中荷载的结果是可以采用的。要注意，一般来说建议集中荷载所用的岩芯试样应具有 1.4 : 1 的长度/直径比。这意味着裂隙垂直穿过岩芯轴而不象巴西试验那样平行于岩芯轴。尽管有这样的差别，但上面提出的论 据 仍 然 有 效。现列出由经验得来的单轴抗压强度和集中荷载试验指标之间的近似关系式如下：

$$\sigma_c = 24I = 24 P/D^2 \tag{2}$$

其中P是施加的荷载，D是园盘直径。

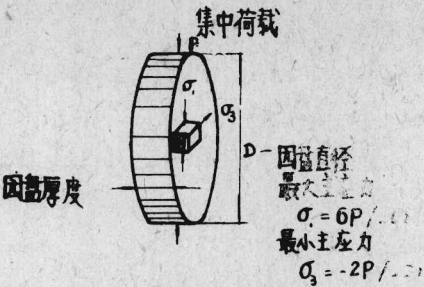


图12 园盘形试样承受径向集中荷载时在中心引起的应力

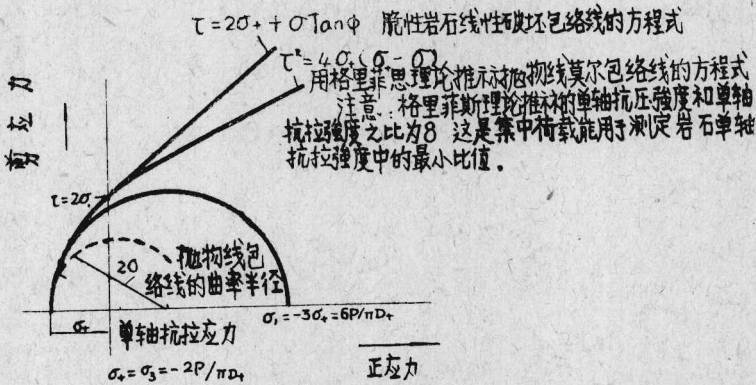


图13 园盘形试样承受集中荷载时在中心引起的应力与在脆性岩石中引起拉伸破坏所需应力之间的关系

参 考 文 献

- [1] Franklin J.A. and Chandra R. The slake durability test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 9, 325—341 (1972) .
- [2] Ross—Brown D.M. and Walton G.A. Portable shear box for testing rock joints. *Rock Mech.* 7, 129—153 (1975) .
- [3] Barton N. Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engng Geol.* 7, 287—332 (1973) .
- [4] Hoek E. and Franklin J.A. A simple triaxial cell for field and laboratory testing of rock. *Trans. Inst. Min. Metall.* 77, A422 A422—A426 (1968) .
- [5] Hoek E. Fracture of anisotropic rock. *Jl. s. Afr. Inst. Min. Metall.* 64, 510—518 (1964) .
- [6] Rosengren K.J. Rock Mechanics of the Black Star open cut, Mount Isa. Ph.D. Thesis, Australian National University, Canberra (1968) .
- [7] Hoek E. Brittle failure of rock. In *Rock Mechanics in Engineering practice* (Edited by Stagg K.G. and Zienkiewicz O.C.) pp. 99—124. Wiley, London (1968) .
- [8] Colback P.S.B. An analysis of brittle fracture initiation and propagation in the Brazilian Test. *Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mech.*, Lisbon, 1, 385—391 (1966) .

秦日进 译自《*Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*》

1977. Vol. 14. №2. pp93

张玉书 校