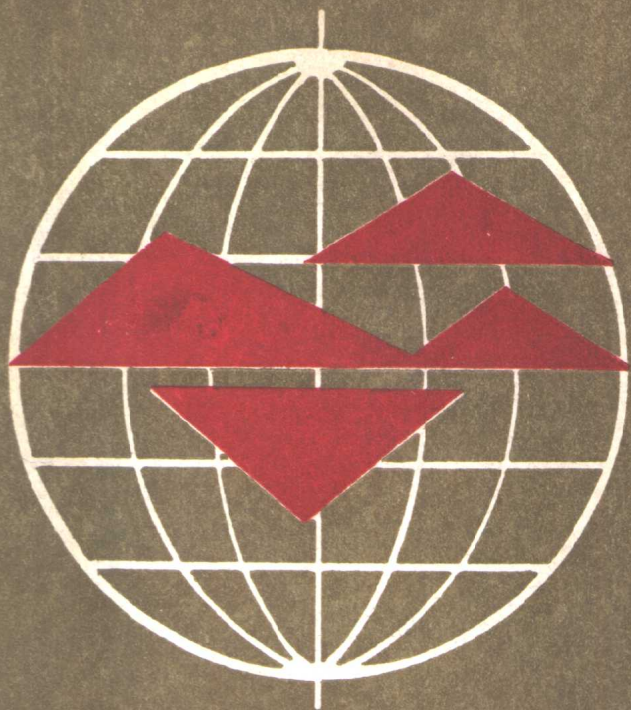




国际 岩石力学会议 论文选集

李先炜 卢世宗 等译 · 煤炭工业出版社

国际岩石力学会会议论文选集

李先炜 卢世宗 等译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书包括33篇论文,是从第五届国际岩石力学大会的论文集中选译的。内容以实践性为主并偏重于矿山工程问题,涉及到井巷掘进和支护,采场矿压显现及控制,露天边坡稳定,冲击地压及瓦斯突出,岩石力学性质,凿岩爆破及岩石力学的数值分析等方面。

本书适用于煤矿、冶金、铁道、交通、建筑、地质、水电、国防等部门从事地下工程的施工、科研和设计人员,也可供高等院校师生作为参考书使用。

责任编辑:田克运

国际岩石力学会议论文选集

李先靖 卢世宗 等译

* 子

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本850×1168¹/₃₂

印张12³/₄

字数338千字

印数1—1,620

1987年12月第1版

1987年12月第1次印刷

书号15035·2836 定价2.75元

译者的话

本书中的三十三篇论文主要是从第五届国际岩石力学大会上发表的 276 篇论文中选译的。选题以实践性为主并偏重于矿山工程问题的内容，因此，在深部地下采掘中选得最多，共 19 篇，其中井下开拓掘进和开采方法 3 篇；巷道、电站、储藏库等永久性地下开掘 11 篇；煤矿开采 4 篇；热性质 1 篇。其余四大类为现场勘测及评价 6 篇；地表及近地表岩石开挖两篇；岩石动力学 3 篇；岩石力学的专门论题 3 篇。它们的内容涉及到井巷掘进和支护、采场矿压显现及控制、露天边坡稳定、冲击地压及瓦斯突出、岩石力学性质、凿岩爆破、岩石力学的数值分析等方面。

这些论文，适合于煤矿、冶金、铁道、交通、建筑、地质、水电、国防等部门从事地下工程的施工、研究和设计人员，也可供高等院校作为参考书选用。

本书由东北工学院卢世宗、林韵梅、中国矿业学院李先炜组织编译。东北工学院负责部分，由卢世宗审校，中国矿业学院负责部分，由李先炜审校，最后由李先炜总校。

限于译者水平，本论文选集内容可能不尽恰当或在译文中有不妥甚至错误之处，请读者指正。

1984年8月

ABA25/05

目 录

Cabril 坝—用地球物理地震勘测试验来控制注浆效果·····	1
大尺寸三轴试验的近代研究·····	8
用锚杆计进行砂浆锚杆无破损现场试验·····	26
设计破裂岩体中的边坡和硐室的一个可靠的工程方法·····	36
矿块崩落采矿法巷道支护岩体分级·····	45
玄武岩节理中水的滤失分析·····	67
苏联边坡稳定性的工程评价经验·····	78
露天矿边坡稳定性的研究·····	97
钢索支护采空场的潜力·····	113
地质力学研究——萤石矿矿房和矿柱设计准则·····	122
研究深部地下巷道附近岩体状态的光测力学实验·····	133
用新奥法修建相邻地下隧道·····	146
深部坚硬岩石巷道支护设计的研究·····	153
膨胀泥灰岩中隧洞设计·····	171
高压力区内的双层钢结构和混凝土联合支护·····	183
关于深部隧道工作面岩爆的研究——日本 KAN-ETSU 隧道 实例·····	192
矿山井巷的新支护方法和衬砌材料·····	201
钢化纤维配筋喷射混凝土巷道支护·····	209
竖井下掘穿过深部含水岩石期间的井壁压力·····	217
永久性地下工程及巷道的衬砌设计·····	230
高应力岩石中隧道的的时间相关特性·····	237
在软岩中开口沉箱的控制下沉·····	253
北海道深部煤矿顶板管理——煤层应力变化的现场监测	

和解释	267
煤（岩石）和瓦斯突出成因的几个基本问题	276
长壁工作面岩层的变形和支架的性能	296
采用长壁采煤法之前的研究工作	315
矿井巷道围岩的热传导	327
露天矿和矿井预裂爆破设计	339
可钻性与钻进方法	351
测定岩石采掘性质的新捣碎试验方法	362
岩石破碎方法的进展及其评价	371
用小型扁千斤顶法测定岩体应力	381
用数值方法设计高应力前寒武纪基岩中的矿井巷道	392

Cabril坝—用地球物理地震勘测 试验来控制注浆效果

[葡萄牙] L.F.Rodrigues等

摘 要

为了估价对加固Cabril坝基所进行的注浆处理效果,在注浆前和注浆后,通过横向钻孔和竖向钻孔的地震勘测试验方法,在八个岩体带测得了纵波的速度。测得平均纵波速度从2%增加到20%,证实平均速度的增加和渗透率的减少之间极为一致,同时也确定了平均速度加大与水泥浆用量间的关系。

1. 引言

Cabril坝,建于30年前,位于葡萄牙中部的Zêzere河边,坝基座落在花岗岩体上。该岩体受到某些局部断层和剪碎带的影响。为了加固坝基,在总的补修坝的规划中,采用了一种重要的辅加注浆处理方法。

为了完成这项处理工作,把岩基分成十个块体,对于每个块体,进行了如下处理:

1) 在这些块体的上流水界和下流水界进行注浆,形成两个挡水帷幕;

2) 为了总的加固岩基,进行注浆;

3) 在深部进行注浆,以形成不透水帷幕。

除了做渗透性试验、膨胀计试验和其他试验以监控注浆效果之外,在处理工作之前和之后,对这十块中的八块,测量了纵波速度。

本文描述了地球物理的试验过程和试验方式，并讨论了这些结果。

2. 试验过程

关于应用地震勘测方法来监控岩体处理中的注浆效果，文献中有记载的例子很少，而且，其大多数都是有关在地面使用折射地震勘测法 (Knill等人, 1972)。

在Cabril坝这种情况下，开始注浆之前、坝基加固处理完成后及最后的深部不透水帷幕注浆结束后，用横向钻孔和竖向钻孔的地震勘测方法，对这八个岩块中的每一块，都进行纵波速度的测定。

由于设计和处理工作进程要求紧张，因而不允许在加固阶段结束后对这八个岩块中的三块完成地球物理试验工作。

用横向钻孔和竖向钻孔地震勘测方法来量测纵波速度。图1中可以看到，作为地震勘测试验用的钻孔和地音计，以及为渗透试验用的钻孔在固结岩块上的位置的总体布置。

为了在研究的不同阶段中保持地球物理试验过程的相似条件，在各试验中采用了如下的措施：

1) 这些钻孔及各自的试验深度，在处理工作之前和注浆阶段之后都相同；

2) 在整个监测过程期间里，地音计固定在总排水平响的相同位置上；

3) 细心测定了钻孔的位置和地音计的位置；

4) 在各次试验中，为了减少由于地音计和钻孔壁的不同耦合条件所引起的任何误差增加，在钻孔内地震波的接收是用水声计代替地音计来完成的；

5) 为了防止钻孔可能发生的任何破坏，使用瞬发电雷管作为弹性波源而不用炸药。为了保持相似的爆破条件，所有的起爆都在钻孔充满水后进行，然后，把水声计放在距爆破点某一固定

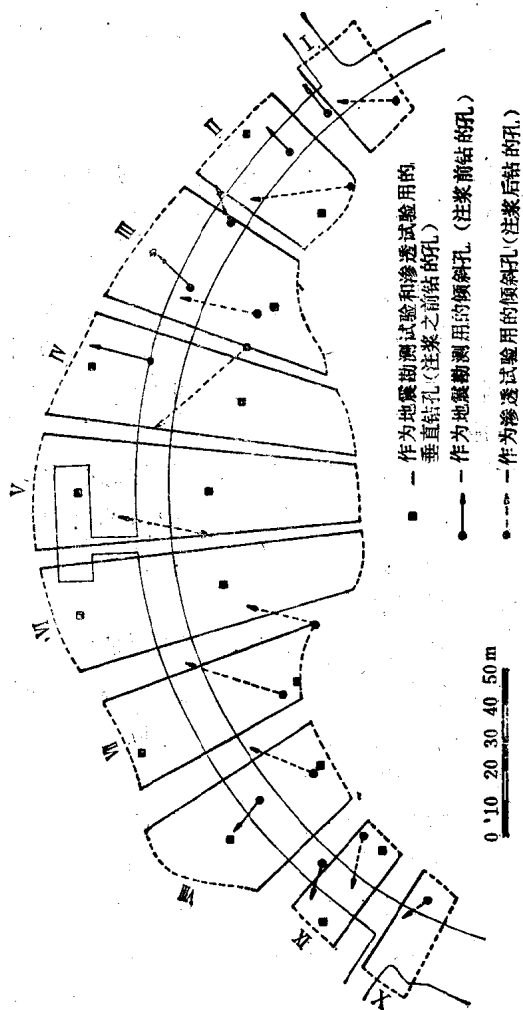


图 1 作为地球物理试验及渗透试验用的处理岩块、钻孔和地音计的位置

距离来控制零时；

6) 使用的记录设备所允许的精确度大约为 0.1ms ，此为弹性波到达记录器上所能读出的时间。然而，平均纵波速度约为 5000m/s ，所以，在计算中得到的精确度约为 1% 。

3. 试验结果和讨论

表 1 中列出了地震勘测试验的结果，它是通过注浆处理前后的纵波速度取得的（包括挡水帷幕注浆、总的加固岩基注浆及深部的不透水帷幕注浆）。

这些结果表明，花岗岩体的平均纵波速度范围为 $4232\sim 5500\text{m/s}$ ，在本注浆处理工作之前具有较高的力学性能（见 SJ ϕ GREN 的例子，1972），其部分原因是由于 30 年前建坝期间进行注浆所造成的。

本次对该坝基的处理引起了岩体性能的总的改进，即在所试验的各块体中，纵波速度的平均值和极限值都有所增加。

表 2 列出了注浆后所引起的平均纵波速度的增加和渗透率的减少状况，以及相应的水泥浆用量。

这些结果表明，注浆工作使得平均纵向波速大约从 2% 增加到 20% ，平均渗透率大约从 38% 减少到 100% ，从而表明，由于注浆岩体的力学性能有所改进，渗透率相应地减少。

一般说来，这些结果表明，纵波速度的增加和渗透率相应地减少之间是很一致的。其次，随着纵波速度的总的增加，水泥浆用量相应地愈大（范围从 2.1kg/m 到 44.7kg/m ）。

位于河床带的 V 号块体测得了这些参数的最低值，而最高值位于较高位置的块体处。

在 V 号块体所做的地震勘测试验中，注浆后所测得的纵波速度并没有增加，这从图 2 中可以看出

V 号块体

在 SJS 钻孔中爆破

地球物理地震勘测试验的结果

表 1

加固块体	纵波速度 $C(m/s)$		试验次数
	注浆前	注浆后	
II	3650~4520 $\bar{x}=4120$ $\rho=419$	4600~5200 $\bar{x}=4938$ $\rho=220$	20
III	4100~5100 $\bar{x}=4637$ $\rho=374$	4800~5450 $\bar{x}=5173$ $\rho=172$	10
IV	3840~5470 $\bar{x}=4773$ $\rho=256$	3950~5600 $\bar{x}=5103$ $\rho=302$	90
V	4890~5500 $\bar{x}=5330$ $\rho=203$	5010~5650 $\bar{x}=5410$ $\rho=213$	30
VI	4810~5420 $\bar{x}=5270$ $\rho=183$	4890~5600 $\bar{x}=5440$ $\rho=288$	44
VII	4240~5370 $\bar{x}=4450$ $\rho=445$	4780~5800 $\bar{x}=5153$ $\rho=468$	6
VIII	3440~5450 $\bar{x}=4369$ $\rho=535$	3760~5650 $\bar{x}=4780$ $\rho=503$	50
IX	3220~5110 $\bar{x}=4256$ $\rho=517$	3800~5430 $\bar{x}=4618$ $\rho=515$	43

注, 3220~5110—极限值,

$\bar{x}$ —平均值,

ρ —标准偏差。

在排水平硐安设地音计:

在处理工作前后, 位于坝轴线下游钻孔中, 对于V号岩块亦

注浆前后的纵波速度、渗透率及水泥浆用量

表 2

岩块	平均纵波速度 (m/s)		速度增加率 (%)	平均渗透率 (吕荣**)		渗透率减少率 (%)	平均水泥浆需要量 (kg/m)
	注浆前	注浆后		注浆前	注浆后		
II	4120	4938	20	5.4	0.8	89	23.1
III	4637	5173	12	—	—	—	37.3
IV	4773	5103	17	3.2	1.2	63	16.4
V	5330	5410	2	0.0	0.0	—	2.1
VI	5270	5440	3	0.1	0	100	8.9
VII	4450	5153	16	27.1*	0.4*	98	14.4
VIII	4369	4780	9	1.6	1.0	38	27.8
IX	4256	4618	9	6.5	1.0	85	44.7

* 渗透率试验是在地球物理勘探带以外地方做的；

** 吕荣(Lugeons)为10个大气压下每分钟内每米长度上一公升吸水量——译者。

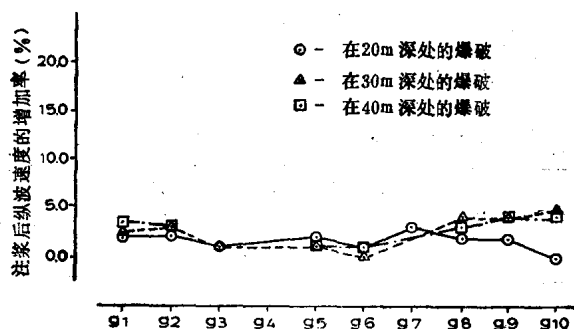


图 2 V号块体中进行的地震勘测试验的结果

测得渗透率为零。在该岩基带，这些测量值表明岩体的力学性能和水力学性能很好。

注浆处理后，在每一块岩体中，都要钻一个新孔，用来估算岩体的最终渗透率（图 1）。这些试验结果如表 3 所示。

这些结果与位于坝轴上游和下游的钻孔中所获得的结果相比具有相同的数量级，从而表明，在注浆处理后获得的块体渗透率较低，在 V 号块体中再次获得零值。

注浆处理后所钻的控制孔获得的渗透率值 表 3

岩 块	渗 透 率 (吕 荣)
II	1.1
III	1.3
IV	0.3
V	0.0
VI	0.4
VII	1.0
IX	0.3

4. 结论

由于横向钻孔和竖向钻孔的地震勘测方法精度高,且试验过程极易控制,所以可用来估算花岗岩体中的注浆效果,即使在注浆处理之前岩体具有相当高的力学性能也是如此。

纵波速度的增加,对于估算由于注浆所产生的力学性能的改进和间接地获得渗透率的减少来说,似乎是一种合适的参数。

这种方法的优点,不但速度极快,而且对于研究大体积的岩体的注浆处理是可能的。

参 考 文 献

KNILL, J. L. and PRICE, D. G. (1972)-Seismic evaluation of rock masses. 24th International Geological Congress, Montreal.

SJØGREN, B., ØFSTHUS, A. and SANDBERG, J. (1979)-Seismic classification of rock mass qualities. Geophysical Prospecting, No. 27, pp. 409-442.

李先炜 译 庞维贞 校

大尺寸三轴试验的近代研究

[联邦德国] O.P.Natau等

摘 要

在实验室中进行的大尺寸三轴试验的最新研究,已能够确定带有闭合节理的岩体参数。大尺寸试件的取样技术已发展成为代替耗资巨大的现场三轴试验。本文详细地描述了取样设备、取样技术,以及试验机和试验过程,给出了试验的边界条件,介绍了砂岩和泥岩混合层以及一种黄色石灰岩的试验结果。在这种情况下,通过与小尺寸试验相比较,岩石材料参数不能用于计算岩石结构,因为岩体参数和岩石材料参数没有恒定的联系。

1. 引言

现代物质规律的应用正日趋扩大,地下巷道、岩体基础和边坡等岩石力学问题的计算方法已被广泛地应用,这就需要确定岩体应力—应变特性,比用经验或半经验的方法好得多。不完善或不现实的试验方法都会导致大量可靠参数的不准。通常岩体参数是由岩石参数的简化来估定的。这个过程带有这样的危险性,即这些参数既可能被过低估计而导致不经济的结构,又可能被过高估计有时产生破坏现象。因而测试岩体特性的研究工作是必不可少的(米勒等人,1977)。

本报告论述了用尺寸大到 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m} \times 1.2\text{m}$ 的窄小的节理试件进行三轴试验的新发展,也说明了实验的技术要求及其应用有关的范围。

这项基础研究得到了联邦德国科研协调机构的资助,论述了精心地加工,具有定向节理系统的试件(试件加工成棱柱状或圆柱状,并承受预应力等),以及在确定应力—应变途径下作试验

用的三轴试验仓的技术条件[包括压缩和拉伸试验, 在与(或没有)中间压力 σ_2 有关的不同侧限压作用下的多级试验, 材料特性的时间相关性, 节理中各孔隙水压的影响]。

2. 试验的可能性和这种技术的范围

岩体参数的确定可能有两种不同类型的研究方法。一种类型是分析过程或用数字表达过程(John 1969), (Mühlhaus, Reik, 1978)。岩体特性是在岩石材料和节理参数的基础上来计算。如果岩石的开裂程度是未知的, 或者节理的方向几乎垂直或平行于主应力方向, 那么这种方法就失效了。特别是对带有闭合节理的岩体, 这种失效就更为显著。另一种类型是像混合材料一样的节理试件, 其参数全部都考虑。这种类型的研究方法考虑了所有因素的影响, 诸如岩石物质, 节理, 层理, 开裂程度等。因此有必要对有代表性尺寸的岩样进行试验。从我们学院和其他地方所进行的一系列足够的基本试验得知: 当5到10个节理面切割试样的最小尺寸方向时, 试验中试样的参数就和所考虑的岩体均质区域有关。这种技术的范围由节理的距离来控制, 因为从10到20cm的节理距离, 精确地使用外插值法是可行的(图15)。较大的节理距离还不适应这种技术。上面提到的分析过程或用数字表达这过程都是基于对岩块小尺寸(材料参数)实验和对节理(节理参数)进行直剪试验。这种方法可能是应用上的独到之处(Natau, 1979, 1980)。

通常用综合的方法来测试各种类型岩体比较合适。这类岩体中包括有石灰岩, 泥灰岩, 红砂岩, 粉砂岩, 粘土岩, 粘土页岩或是这些岩石的混合层。岩体上布满了闭合节理。这种综合测试方法既可用于现场, 又可用于实验室。但是现场的三轴试验要比在实验室中类似的三轴试验耗资大得多。而且边界条件的确定, 载荷途径和对试验结果的复验, 也不像在实验室中那样精确。例如双轴试验(即双向千斤顶试验)就没有这样的效果, 通常只测出

变形参数。因为有一个主应力是未知的，边界条件也不精确。动力的研究方法只能提供变形模量，但通过用对比法和插值法，它们还是适用的。

在实验室中进行大尺寸试件的三轴试验得到的强度特性，像变形模量一样具有重大意义。因而我们科研小组研制了几种专门的岩心钻取和加工技术。开始，钻取和加工熟石膏试件（直径60厘米）的技术仅用在软岩上（Wichter, 1980），Reik (1978) 用尺寸为 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m} \times 1.2\text{m}$ 的硬岩（石灰岩）试件进行了单轴抗压强度试验，其小岩芯的强度达到 $100\text{MN}/\text{m}^2$ 。

为了取得棱柱状试件，本小组研制了装有100mm岩芯钻头及空气冲刷系统、孔接孔钻眼和加工设备。把特制的弯曲钢片联接起来，逐次粘结在试件的四个面上。当试件粘结片安好后，再引出

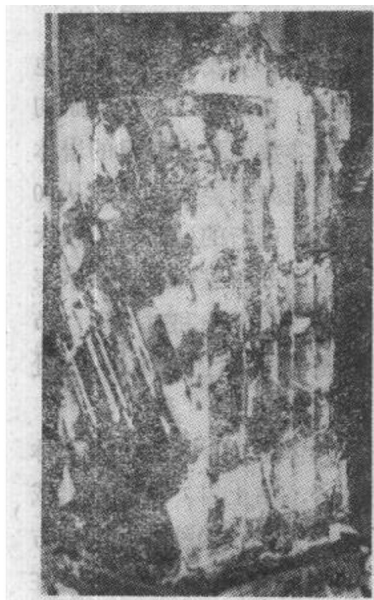


图1 孔接孔打钻取得的试件
(Reik, 1978 Hesselmann, 1979)

正极电源复合系统，那么很容易破碎的带有闭合节理的、或者是被强烈风化了的硬岩体的精心加工就可以首战告捷。图1所示在实验室中倾斜加工的试件 ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$)。我们可以在这种棱柱体上进行三轴试验，来研究中间应力 σ_2 的影响。

由于实际需要，进行径向对称侧限压 ($\sigma_2 = \sigma_3$) 试验也就足够了。因而可以把特制大型筒进行钻取和加工软岩的一次操作提到技术的高度。这种技术也适用于闭合节理和强烈风化了的硬岩。在过去的三年中，我们对100块试件进行了试验。

图2显示了一次操作钻取大尺寸岩样的整个概况。几乎在每种情况下，我们都能得到相应岩体特性的最佳结果。即使在不可能取得

小岩芯试件的情况下，我们也可以定出有关的岩体参数。我们还可以用具有很大范围岩石物质参数的混合层岩石类型进行试验。在下列章节中我们要描述一次操作的大岩芯钻取方法的工艺过程、加工技术及对闭合节理试件所进行的试验过程。

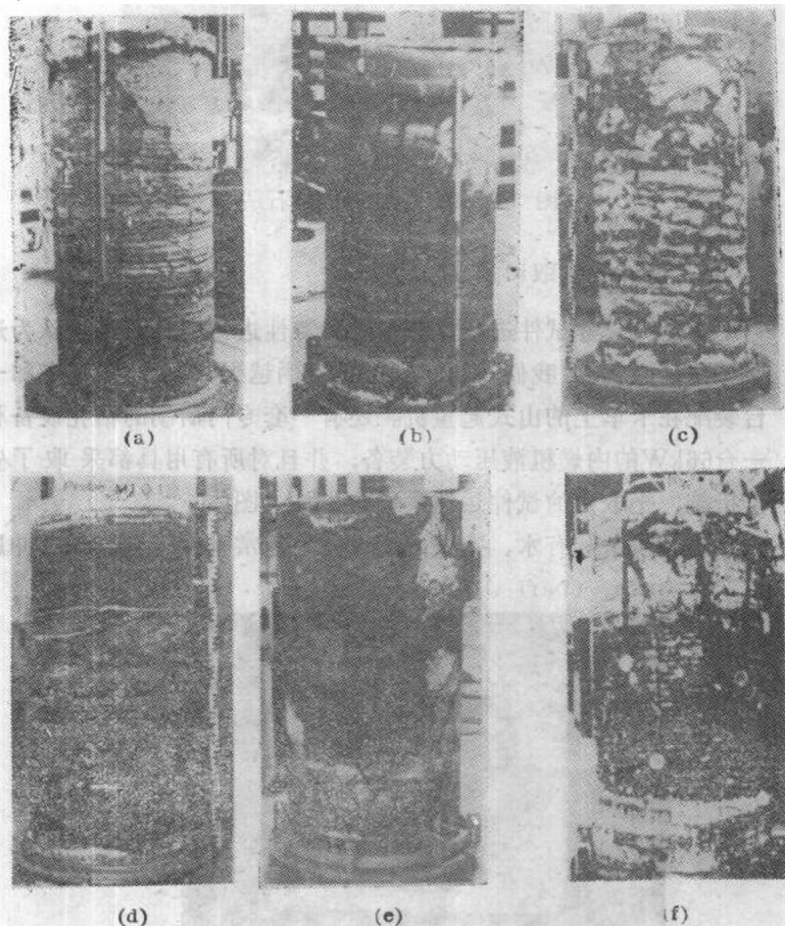


图 2 一次操作钻取试件

a—灰色波状石灰岩；b—黄色石灰岩；c—硬石灰岩和风化泥岩的混合层；d—砂岩和泥岩的混合层；e—红色和绿色的粉砂质泥岩；f—具有抛光面的固结泥岩