

# 岩石力学进展 与工程应用译文集

水利水电岩石力学情报网 编译



科学出版社

077

# 岩石力学进展与工程 应用译文集

水利水电岩石力学情报网 编译

科学出版社

1987

## 内 容 简 介

本书选译自第五届国际岩石力学大会论文集，精选出的十六篇论文，从不同的方面对岩石力学的发展现状与方向，理论研究与实际应用进行了权威性的评述和有益的探讨，对开阔眼界、打开思路，解决问题大有裨益。陈宗基教授专门为本书写了序言。

本书可供大学或具有一定实践经验的中专以上水平的岩石力学工作者、从事岩石工程的技术人员和大学有关专业的师生参考。

ZW74/25

## 岩石力学进展与工程应用译文集

水利水电岩石力学情报网 编译  
责任编辑 李成香 杨 岭

科 学 出 版 社 出 版  
北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1987年12月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1987年12月第一次印刷 印张：15 3/4

印数：0001—2,000 字数：362,000

统一书号：13031·3680

本社书号：4707·13—2

定价：3.75元

## 编译者的话

岩石力学是本世纪五十年代迅速发展起来的一门新兴边缘学科，它与工程建设有着密切的联系，在地学研究中也占有重要地位，日益受到世界各国地质界、工程界和学术界的重视。

我国在岩石力学的研究方面也取得了巨大进展，作出了许多成绩，尤其是在流变学、岩体结构等方面的研究起步较早，在国际上占有重要地位，但在某些领域与国际水平相比还有一定的差距。

在水电部水利水电岩石力学情报网第四次全网大会上，根据我国现阶段岩石力学的发展和水电工程建设的需要，决定有计划地选译国外有关岩石力学理论与试验研究方面的论著，编辑出版岩石力学译文选集。

在水电部科学技术情报研究所的领导和水利水电岩石力学情报网的组织下，水电部西北勘测设计院主持选译了第五届国际岩石力学大会的部分论文，编辑成这本岩石力学译文集。

参加审稿工作除署名的外还有郭景泰、门光永、陈丕瑜等同志，在此表示感谢，由于水平所限，译文中疏漏谬误之处在所难免，敬希读者不吝指正。

## 序 言

岩石力学是一门新兴的、密切结合工程实际的学科。它涉及到水利、水电、煤炭开采、铁路交通、土木建筑、工程地质、矿山建设、国防工程等工程领域，在整个应用科学和地学领域都占有重要地位。

目前国际上正在修建的大坝高度可达300米，水电站地下厂房的跨度可达50米，矿井深度已超过3000米，石油开采深度已超过9000米。研究地壳形变涉及到的深度达50—60公里，温度在1000℃以上，时间效应为几百万年。特别是由于全世界高效勘探、能源和矿产开发和地球动力学研究的需要，在工程方面，好的地质和力学条件越来越少，对岩石力学提出了更多、更复杂的课题。因此，对岩石力学这门新兴学科进行广泛而深入的研究，不仅是发展学科的需要，而且是与国民经济的发展密切相关的，这在全世界各国已引起了普遍的关注。

我国自建国以来，尤其是自1958年以来，由于兴建长江三峡工程的需要，进行了全面的、系统的岩石力学理论分析及试验研究，成功地解决了或正在解决诸如长江葛洲坝、大冶露天矿、二滩水电站、金川镍矿等许多重大工程中的复杂岩石力学问题。关于岩石流变学、岩石结构等方面的研究成就受到国际上的重视。但从整个水平来看，与国际先进水平之间还有一定的距离。

1983年4月在澳大利亚墨尔本召开了国际岩石力学学会第五届大会。在全国水利水电岩石力学情报网的倡导和组织下，选译了本届大会的部分重要论文汇集成此译文集（我的一篇特邀报告也收在其中），它系统地传递了国际岩石力学之信息、反映了当前国际岩石力学发展之潮流、展现了岩石力学理论应用于工程实际之最新成果，对推动我国岩石力学的发展、促进四个现代化的建设，无疑是很有必要、非常及时的，因此也是值得高兴和庆贺的。

我相信，本译文集的出版，将对逐步缩小我国与国际岩石力学水平的差距起到促进作用，并对工程设计提供重要参考。

陈宗基

1984年10月4日于北京

# 目 录

## 编译者的话

序言

软岩力学与工程的发展趋势

.....陈宗基 (梅剑云译 傅冰骏校) ( 1 )

场地勘测与评价

.....D. H. Stapledon, P. Rissler (傅冰骏译 黄仁福校) ( 10 )

地表和近地表开挖工程

.....R. E. Goodman (向世武译 傅冰骏校) ( 37 )

深部地下开挖

.....Yoshio Hiramatsu (黄仁福译 傅冰骏校) ( 50 )

岩石动力学

.....P. A. Persson, R. Holmberg (孔德坊译 杨子文校) ( 78 )

岩石力学中的特殊课题

.....François G. Cornet (宋之杰等译 黄仁福等校) ( 99 )

利用装有仪器的钻机水平钻进对场地勘探的试验

.....M. V. Barr, E. T. Brown (孔德坊译 杨子文校) ( 139 )

地下工程岩体分类探讨

.....P. Lokin, R. Nijajilović, M. Vasić (杨子文译 向世武校) ( 148 )

苏联岩坡稳定性工程评价的经验

.....E. G. Gaziev等 (董学晨译 杨福雄等校) ( 158 )

意大利帕桑提重力坝的基岩性状

.....P. Bonaldi等 (杨福雄译 陶振宇等校) ( 169 )

伊泰普主坝基础: 设计及施工期间和水库初次蓄水期间的性能

.....R. A. Abrahão等 (向世武译 陶振宇校) ( 182 )

概化地质力学模型及其在大坝设计和施工中的发展

.....C. M. Nieble, S. Bertin Neto (董学晨译 杨福雄等校) ( 191 )

卡拉卡亚拱坝和电站开挖的稳定分析

.....M. Gavard, B. Gilg (向世武译 陶振宇校) ( 199 )

岩体中挤压层的分析

.....K. H. O. Saari, R. E. Goodman (杨岭译 曾国平校) ( 210 )

套管致裂法测量岩石应力

.....O. Stephansson (向世武译 邵鹤皋校) ( 223 )

有限元法对于具有非线性材料和节理的地下建筑物的应用

.....C. S. Desai, I. M. Eitani, C. Haycocks (向世武译 黄仁福校) ( 234 )

# 软岩力学与工程的发展趋势

陈宗基

岩石力学是岩体工程的设计与施工所必需的一门学科。由于全世界高效勘探、开发能源和矿产资源的需要，对岩石力学与岩体工程及其有关的技术提出了更多的要求。大坝，水电站，大型地下结构，露天矿的开采和在困难地质条件下开挖巷道，都是岩石力学成就的标记。在近三十年内，岩石力学领域正在迅速扩大，在五十年代，由于土木和采矿工程及地质都要求很好地考虑岩石结构的特性以便更经济有效地解决问题，从而出现了岩石力学。开始是把岩体看作是连续介质，并以弹塑性理论作为理论基础，后来逐步认识到岩体是不连续介质，它是由一些低刚度的、由不连续面切割成的岩石结构。并且岩体具有节理、裂隙和断裂，其各向异性和不均匀性是公认的。在岩石课题分析中，有限单元法所以是一种很合适的工具，是因为它根据介质的不连续性，每个单元都可以有不同的力学性质。近些年来，必须修建在强度低的、有断裂的、软弱的岩石上的建筑物的数量急剧增加；一般说，必须涉及到下列类型的软弱岩石：

由粘土化的层面分开的砂岩与泥岩的互层；除断层以外，还有许多夹层、节理、裂纹以及由泥质和云母充填的裂缝；在泥岩层中可能发生过强烈的褶皱；蚀变安山岩，凝灰岩，含薄层粘土的凝灰质断层角砾岩等岩层；片状岩层如页岩，薄层绿泥石片岩，风化片麻岩，其中具泥质充填及紊乱的节理是常可遇到的；潜在膨胀性的岩石如硬石膏，裂隙泥岩，风化花岗岩，他们含大量膨胀粘土矿物如蒙脱石，伊利石，绿泥石等。以上这些类型的岩石具有下列特性：

- (1) 岩体的力学性质主要由不连续的弱面所控制，尤其受含泥质的节理，裂隙和裂纹所控制；
- (2) 在开挖中，隧洞收敛，岩壁变形和底板隆起的经验说明时间效应是重要的；
- (3) 力学性质在不同程度上受水和电介质的强烈影响；
- (4) 破坏发生前，变形量可达百分之几；
- (5) 扩容效应，即由偏应变引起的体积增加是明显的；
- (6) 由于存在潜在膨胀性物质如硬石膏，蒙脱石，伊利石，绿泥石等，这些岩石表现出膨胀现象；
- (7) 在较大的深度和较大的构造应力下，例如在砂岩和片麻岩等岩层中可能发生岩爆。煤矿中的岩爆和气爆是很难解决的问题。

软岩问题包括各种各样的岩石类型，每一种类型都有其不同的成因和构造历史。由于相当大的不均匀性和各向异性，及过去作用的应力场及风化作用，在同一隧洞中，不同地点的地质情况会有很大改变。因此一个合理的设计，对岩层细微地质上的和构造上的研究是必不可少的。

(A<sub>1</sub>) 在所有这些问题中，满意的工程地质勘察，必须有助于我们形成怎样合理

地设计工程建筑物这样一个基本概念。

在我的实践中，常常碰到两种极端情况：要么是设计没有充分的地质资料，要么是辛勤地做了大范围的工程地质勘察，但仅其中一小部分用于设计。因此，我建议地质工作者，岩石力学工作者和工程设计人员紧密地合作。首先，关键在于要有一个正确的工程概念，这个概念是以充分的地质资料，力学定律，经济法则以及现代技术为基础的。

矿山工业紧迫地感觉到更有效地控制岩层，减少隧洞年度花费和维修次数的必要性。隧洞维修意味着矿石产量的减少。更严重的问题是煤矿中经常发生岩爆和气爆。喷锚及钢筋支护已经证明能很好地保护和控制岩层，对于这一有价值的经验，当前必须形成一个统一的理论，为了找到这个问题的答案，我认为下列课题是基本的：

(1) 一个较准确的和基本的岩层流变特性试验包括下列室内和野外试验：

- (a) 恒定载荷下的蠕变试验；
- (b) 恒定变形下的松弛试验；
- (c) 恒定应变速率试验；
- (d) 膨胀试验，特别对于潜在膨胀性岩石（陈宗基、闻萱梅，1983）。

进行这些试验必须经历这样长的时间，以致能证明对数外推到工程实际时间比例是正确的。

(2) 因为岩体的力学性质主要取决于不连续面，所以节理，断层以及夹层和节理中物质的试验居重要地位。

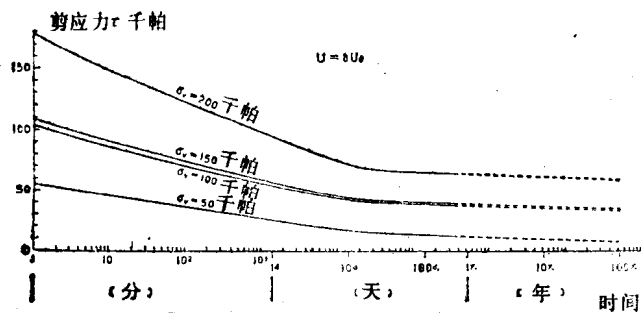


图1 松弛试验成果

图1所示（陈宗基、黎克日，1982）为葛洲坝大坝基岩泥化夹层的松弛试验例子。这种试验对估计长期抗剪强度是很有帮助的。然而在不同应力条件下断裂不一定沿不连续面发生，因此对可能发生断裂的完整岩石，试验也是必要的。上述试验必须进行，以便直接获得本构方程所需要的参数。

另外，样品必须加载到破坏，且破坏后的特性和长期强度必须仔细地加以研究，从对数时间蠕变阶段到恒定速率蠕变阶段的过渡应力是很重要的，因为它标志着由稳定蠕变过渡到不稳定蠕变。

(3) 试验，特别是野外试验是很昂贵的。因此，必须将它限制在对全局有意义的地方，使该处的试验对于设计是关键性的。在选择这些试验地点之前，我认为根据某些假定的力学数据（经验数据），初步计算应力场和位移是有帮助的。改变这些材料的参数，我们可以得到一些概念，例如，某一节理组对工程建筑物的稳定性和变形的作用，以及试验需要的精度。这种初步计算，对减少大量不必要的工程地质勘测以及试验数量和范围都是有帮助的。

(A<sub>2</sub>) 有限元计算及本构方程中材料性质的选择和岩石结构的数值模拟。

(A<sub>3</sub>) 现场收敛，位移测量，应力测量。



(A<sub>4</sub>) 在 (A<sub>1</sub>), (A<sub>2</sub>), (A<sub>3</sub>) 的结果中, 考虑试件的尺寸效应估计力学参数的折减系数。

(B) 岩爆和气爆事故的减轻、预防和探测的方法, 减小初始应力的新技术, 为大钻孔、注水、钢筋支护等方法。

(C) 记录资料的反分析。

(D) 高效率隧洞开挖方法。

在查明了矿体的范围和形状, 并制定了产量和逐年增产计划后, 必须选择用于生产的开挖设备, 然后确定隧洞的形状和尺寸。虽然较大的设备能使生产更快更多, 但隧洞的尺寸取决于它的稳定性。在存在节理、裂隙的非均质软岩中, 隧洞的稳定性随着隧洞尺寸的增大而减小。

只有在能保证维修或维修最小时, 才能获得更有效的产量。因此在隧洞支护设计中做更详尽的研究是必需的。例如在软岩中, 为了使隧洞周围产生拱效应, 象“新奥法”(N. A. T. M) (Müller, 1978) 所规定的那样, 闭合环形支护是必需的。当围岩的孔隙、裂隙、裂纹由于向内移动而闭合, 并导致强度增加时, 在理论上拱的形成是可能的。因为向内移动是时间的函数, 拱及它的抗力的形成也是时间的函数, 这取决于岩体的流变性能。

拱的形成可借某些合理的加固来得到保证。就锚杆来说, 通常是垂直于岩石表面布置, 锚杆的交叉布置能增加抗剪应力, 结合灌浆, 在拱作用中将是一个增加稳定的因素。此外, 在泥质岩石和砂岩中, 斜的锚杆对于抵抗由于应力松弛导致锚固能力的丧失, 可能是更有效的。

## 发展趋势: 与地球物理学和地球动力学 实行多学科的合作

### 1. 初始应力 (包括构造应力)

经过200多年的发展, 关于地球如何变动, 目前地球科学正在明显地趋于一个一致的和统一的概念。现在, 地球被看作是一个经受内部热对流动力体。它表现在地壳表面大规模和小规模的变形, 如深的沉积盆地, 高原隆起, 大陆裂谷, 造山带, 大断裂带, 地震带, 火山活动, 成岩作用, 变质作用, 初始岩石应力以及岩层的褶皱, 断层, 裂纹和裂隙等。现在地壳蠕变的平均速率约为 $10^{-16}$ 厘米/秒或稍大, 西藏高原的隆起和喜马拉雅山脉呈现出的上升运动的速率是3厘米/年。火山爆发和水平应力大于岩层覆盖压力, 明显表示过去经受的力, 现在仍在活动, 虽然在强度上有所减小。

岩体中的初始应力的分布取决于许多产生它的因素:

#### (1) 岩石的成因

在岩石的生成中其变质结晶是在高温高压下熔化形成的, 由于岩石具有不同的、各向异性的力学性质和热学性质, 在其冷却时形成应力包体 (封闭应力, 古应力) (Tan, Kang, 1982; Nicolas, 1978)。

由于沉积物的非均匀性和各向异性, 在沉积岩的成岩期间也可以形成应力核, 当约束被解除以后, 应力核可以解除, 如岩爆中能量的突然释放。

#### (2) 构造历史

在上述地壳力的作用下，岩层曾经受到构造变形。这些力可能是由于板块碰撞和地幔对流产生，并在板块下部边界产生剪力 (Uyeda, 1977)。

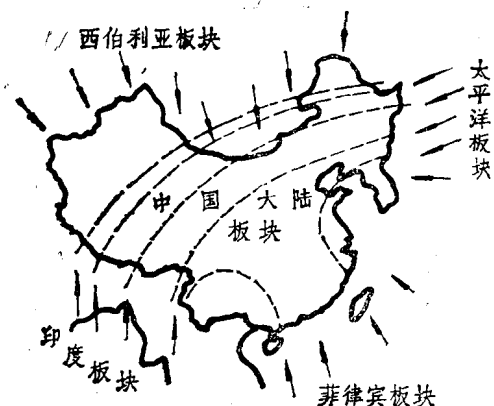


图2A. 中国板块主要的应力

由于中国板块与印度、太平洋和菲律宾板块的碰撞，中国板块内的最大主应力迹线示意如图2A。这种迹线被大地震的断层面解所证实。华北地区的特殊结果如图2B所示。我们曾找到由断层面解得的主应力方向与由正交假设所推断的主应力方向 (陈宗基、何志桐, 1980; 陈宗基、郑建中, 1983) 两者间令人满意的相互关系。

图3所示为我的同事刘元龙教授根据重力资料计算的由于地幔对流而作用于中国大陆板块下部边界的切应力场。

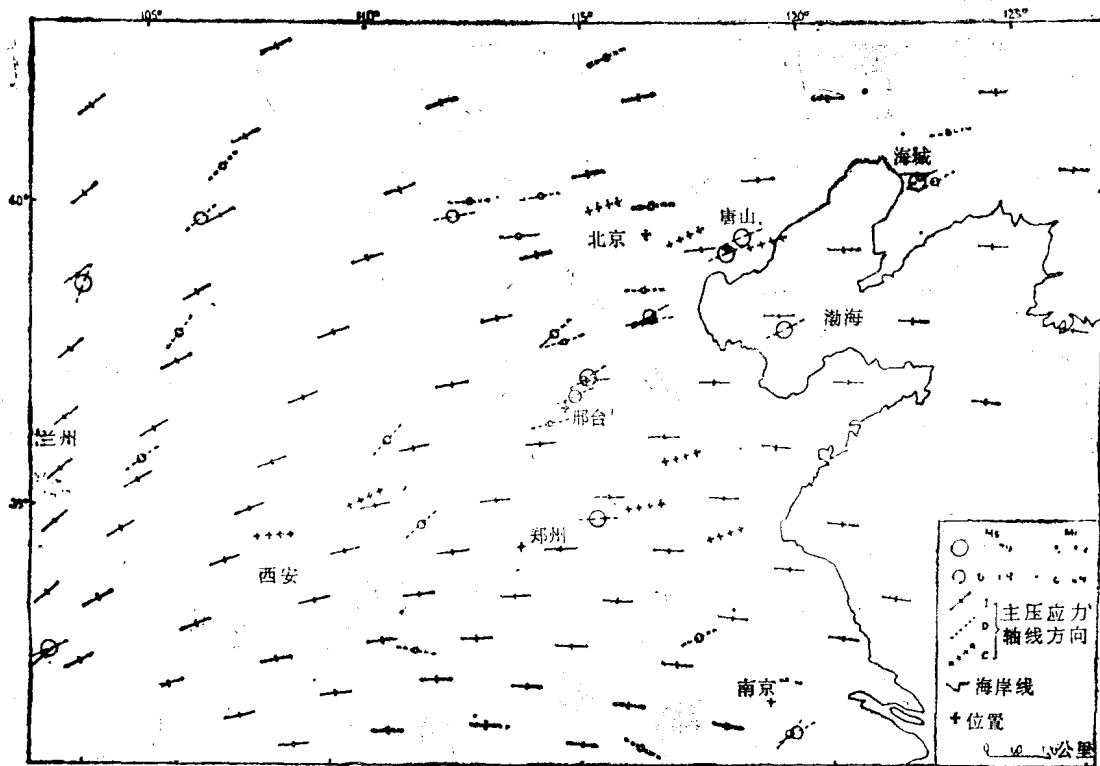


图2B 华北地区的主应力方向断层面解正交假设 (据陈宗基)

### (3) 应力积累

由于地壳是包括了具有许多不同松弛时间的地区的流变体，于是应力在刚性地区积累，同时在软弱地区释放。

### (4) 地形

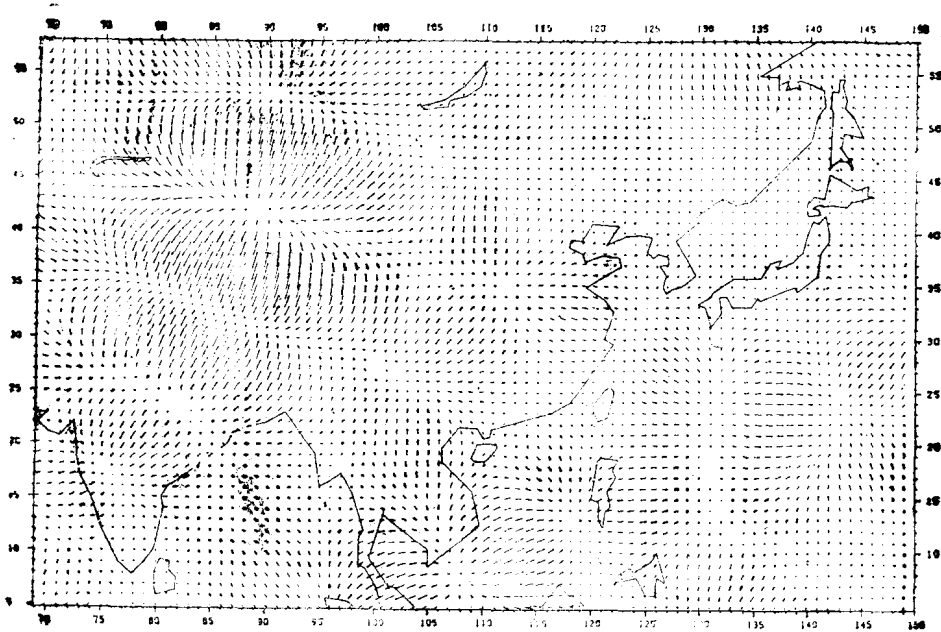


图3 由于地幔对流在地壳下部边界产生的切应力

地形对区域应力分布有着剧烈的影响，如所周知，在深谷底部岩石中存在大的应力。

#### (5) 热力状态

热应力可能正作用在不同温度场的活动区。

#### (6) 由重力、蒸气、气体及液体引起的体积力

在多孔和裂隙岩石中，气体、蒸气和液体对母岩施加体积力。在开挖中当气体压力超过煤层的极限强度时，煤层中往往发生气体突爆。无疑，初始应力分布必须作为我们分析和设计的根据，它们的释放，对地下工程，边坡的稳定性及在岩爆和气爆中引起许多麻烦。鉴于开挖隧洞和采矿掘进有往更深处（ $h = 500$ 米）发展的趋势，有关下列诸项更渊博的知识是需要的：

- (1) 初始应力的产生。
- (2) 初始应力及其分布的测量（水压致裂）。
- (3) 初始应力对工程建筑物的影响及对可能产生灾害的预防。当垂直与水平应力比  $< 1$  时，与时间有关的扩容和隧洞顶板和底板的稳定性主要由水平应力所控制。
- (4) 可能发生岩爆和气爆地点的探测及对其危害的减轻和预防。

### 2. 地球动力学的研究

就岩石力学而言，研究的范围主要是限于地壳表层岩石中人为的应力场。然而象初始应力场，煤矿中岩爆和气爆的可能性、水库蓄水后地震的可能性、地震灾害的估计、区域地震稳定性、大地构造的可能危害、热流和结构不连续面的分析等重要问题。如果把这些问题与扩大范围的地球动力学分析联系起来，将更为方便。因此，对于断层和褶皱状态的遥感资料、构造分析、应力测量以及为了查明地壳表层的细部构造而进行几公里深的地球物理勘探、地质年代研究、重力测量等，都可提供大量的资料。这种研究不

仅对矿山和石油工业的设计很有用，而且对重要的工程建筑物的设计也很有帮助。大型建筑物往往投资几亿乃至几十亿美元，所以在较宽的范围内更详尽地研究岩石力学问题，在经济上是合理的。

### 3. 地震研究

根据地震学的旧概念，在地壳和地幔中的一些小的核中积累着弹性应变能，由于某些原因核被解放，地震能量被认为是由剪力偶极成辐射状向外扩散。过去地震学限于研究地震后弹性波的传播，然而地震预报的关键是主震发生之前在有限的岩石圈范围内的

连续的活动过程。所有这些活动过程是发生在岩石中，所以现在世界上的注意力集中在岩石力学。因为时间效应的重要作用，因此在不同温度和应力水平下的火成岩特别是深成岩的流变学，就成为注意的焦点。大地震之前有许多前兆，表现为许多异常现象，如重力、磁场、地下水含氡量、电阻率等的异常，纵波与横波波速比值( $V_p/V_s$ )的变化，动物习性异常等等(Wysz, 1975)。现在我仅从岩石力学的角度来讨论问题，根据邢台、海城、唐山大地震的许多前兆现象，用岩石力学观点来观察可归纳为如下几点：

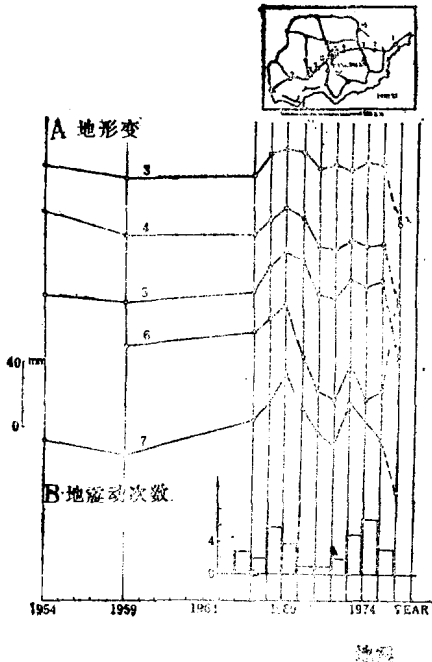


图4 唐山大地震 ( $M=7.8$ ) 前地面隆起

(1) 震前数十年，围绕震中100多公里范围内曾测得地面隆起、下沉以及断层位错等形变(图4)。

(2) 震前许多年，形变大幅度增加。在此期间深井地下水位下降(图5)，同时，还观察到地壳膨胀量增加(图6)。

(3) 震前几个月，上述进程剧烈的增加。许多地震发生前，前震的强度和频率都在增加。四川省震中区热水井的温度增加了17℃。

(4) 在华北地区，大地震发生在成正交网络的地震带上。

可以得出如下结论：

(1) 应力必然积累在震中区。

(2) 地面隆起和地下水位的相应下降，可归因于孔隙的形成(从而体积增大)，这种孔隙是由于偏应力下的扩容所造成。地下水运动导致有效的正应力减小，并使裂缝润滑，也即强度随时间而降低。

(3) 小裂隙的生成及联合，导致主裂隙的形成。主裂隙开始增长缓慢，最后，大量积累的能量释放，以横波速率而突然断裂。

(4) 当深度 $h > 10$ 公里的发生浅源地震的应力区，岩石的破坏包线几乎是水平的( $\phi = 0$ )，且裂断面必须成90°的角。华北的地震属于是平面应变情况，因此地震断裂的倾角大于81°，发生在正交地震带上。但接近地表，静水压力减小，破坏包线的斜

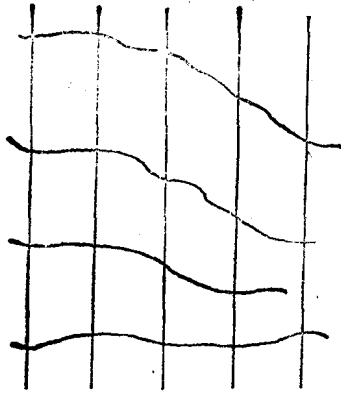


图5 唐山大地震前深井地下水水位下降

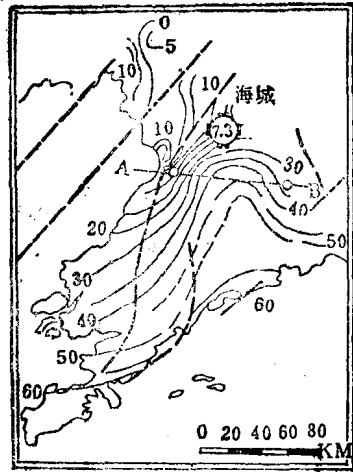


图6 海城地震 (M=7.3) 前地壳的隆起

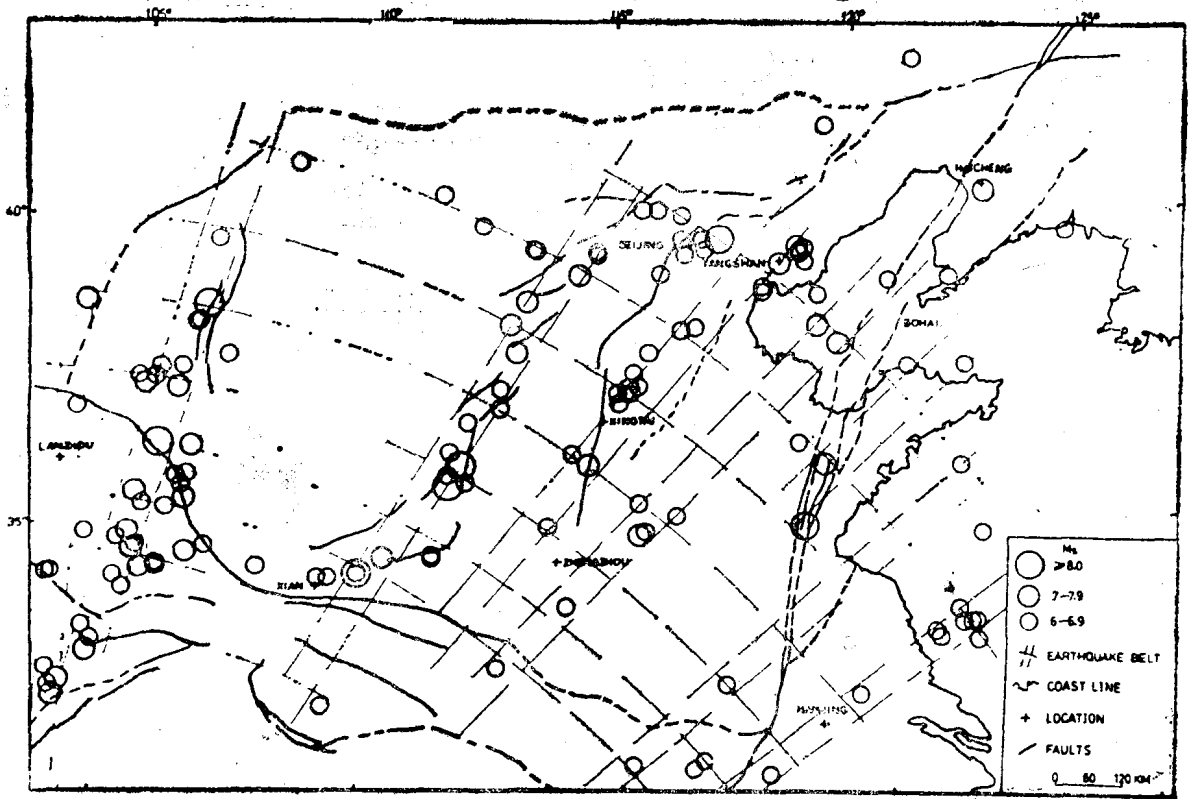


图7 地震带的正交网络

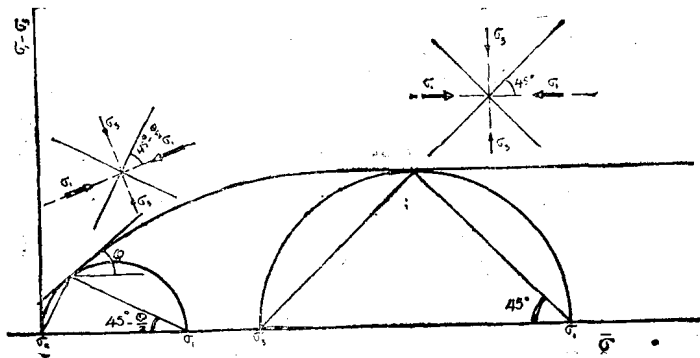


图8 岩石破坏包线和断层与地震带的方向

度为 $\phi$ 角。因此构造地质学中的断裂必须是 $\frac{\pi}{2} - \phi$ 的角（图8），这是岩石力学的概念应用于地震研究的一个很好的例子。

（5）在上述所有过程中，时间因素是最主要的。

上述分析试图说明岩石力学与地震力学之间的密切关系。

#### 4. 地壳和地幔的流变试验

地壳断裂和蠕变的地形变、前震（或无前震）的发生、应力积累的机理、地震能量的衰减等问题，近几年来，对于用圆柱试件在不同应力水平和温度下的蠕变试验，予以很大的注意。这些试验对采矿工程和很深的石油工程也是有用的。尽管做了相当多的试验工作，但我们才开始掌握结晶岩的某些变形和断裂机制的基本原理，包括由于晶体内部和结晶边界的位错滑移所引起的蠕变、导致开裂的位错积累和位错攀移过程，颗粒摩擦滑移、重结晶、由高温扩散引起的位错运动等。这些蠕变机制依作用的应力和温度而不同，在研究岩石的滞弹性方面作为一个特殊的、最简单的实例、研究了在不同的恒定温度下，轴对称载荷作用于圆柱岩样的蠕变。静水压力由气体介质施加（氦，1400℃，加至1000兆帕），由固体介质施加（盐或氧化铝，在1400℃，加至5000兆帕）或由液体施加（硅油，600℃，加至1000兆帕）。

我建议系统地做一些实验，它可能使我们建立一系列本构方程。下列试验可能是合适的：

- （1）恒定载荷下的幅变试验。
- （2）松弛试验。
- （3）速率为 $10^{-3}$ — $10^{-9}$ /秒的恒定应变试验。
- （4）瞬时的和随时间增加的扩容试验。
- （5）声发射试验。
- （6）波的传播：纵波波速 $V_P$ 和横波波速 $V_S$ 试验。

上述试验可以在不同的应力水平和不同的温度下进行。

为了能够在压力容器内进行量测，我们地球物理所研制了一台伺服控制800吨压机，温度可达600℃伺服控制的静水压力可达800兆帕（大容量试验）。

为了研究下部地壳和地幔，实验中施加的静水压力 $>1500$ 兆帕，温度 $>800$ ℃，我们感兴趣的主要是应变率和温度的关系，此外是相变和蠕变机制。

这门跨学科的新领域正在迅速扩大，我相信其结果将会对地壳和地幔的变化过程提

出一些新的概念。

### 结 语

在上述报告中，本人仅对国际岩石力学与工程如何发展提出一些个人的看法。这些思想和概念在我的基础的和应用的研究中，以及在担任25年多的工程顾问期间就已经形成了。至于软弱岩石力学的现状，读者可参阅东京软岩国际讨论会上的一些极好的论文。

(梅剑云译 傅冰骏校)

# 场地勘测与评价

D.H. Stapledon P. Rissler

## 1. 总 述

场地勘测与评价是岩石力学中范围相当广泛的课题。

通常认为，场地勘测与评价是很费钱的，但与施工预算相比，所花的钱并不多。实际上为了处理由于不恰当或粗心大意的勘测工作所造成的工程事故常花费更多的钱。与此相比，勘测所花的钱就更微不足道的了。

此外，场地勘测与评价通常需要大量的时间，这一工作常常不能按工作进度有计划地执行，并且所花的钱也不能像施工预算得那么精确。这是因为我们所研究的场地是在大自然的作用下形成的，它的形成经历了漫长的岁月，因而大自然留给我们的是一份很不完整的，而且常常是相当隐蔽的活动记录，这些记录当然不会像人工制图那样清楚。因此，我们常常不得不在无法清楚地预测我们将会发现什么问题的条件下开始场地勘测。因此，勘测计划应分阶段执行。在分析前一阶段所获资料的基础上提出下一阶段应解决的问题，以后的每一阶段应有目的地回答这些问题。

工程所有者应理解勘测工作是既费钱又费时的，这个概念应被大家所接受。

1975年本学会(译者按：指国际岩石力学学会)出版了一个专业委员会编制的报告：《场地勘测技术建议规程》(“*Recommendation on Site Investigation Techniques*”), 其中论述了勘测程序的系统建议方法。

Franklin于1979年在瑞士蒙特诺国际岩石力学大会上所做的第二专题总报告中，详细地叙述了岩石试验和监测在岩石工程设计和施工中的应用，同时非常明确地指出了在整个规划和施工过程中岩石力学与其它工程活动之间的相互关系。

由于场地勘测与评价在整个岩石工程中占有非常重要的地位，因此在以往数届岩石力学大会上一直是讨论专题，例如：

1974年在丹佛，专题1，

《完整岩石和岩体的物理性质》，

1979年在蒙特诺，专题1（部分涉及），

《岩体的流变性质》

及专题2，

《岩石试验和监测在岩石工程设计和施工中的应用》

上述专题都论及场地勘测及评价工作。

按照组织委员会的决定，在本届大会上论述场地勘测的总标题下，分为四个分题，

1 地球物理试验和勘探

2 原地试验及室内试验

3 分类、预测、观测及监测



## 4 水文地质

我们将就上述各题进行评述。

### 2. 地球物理试验和勘探

使我们感到有点奇怪的是提交到这个分题的只有 6 篇论文，而提到下面分题的却有 34 篇。对此有人可能做出这样的解释，即认为物探试验的价值不能与原地和试验室内直接试验相比，但是我们深信这种解释是不公正的。物探方法有它的优点，而另一方面，也有其不利条件。其优点在于能够对大范围岩体提供总的评价，就这一点而论，优于所有直接方法。它们的不足之处是，在大多数情况下，只能对岩体特性给出一些指标值。另一方面，物探方法看来还有一个特殊的优点，就是用起来非常经济，这一点就能使其为整个工程设计阶段及运转阶段提供大量的资料。

任何一种勘探方法是否能够运用得成功，不仅决定于方法本身固有的可靠性，也决定于试验人员的技巧和智能，特别是决定于他们对于方法的局限性的了解程度。

实践经验说明，物探方法的局限性往往没被人深入了解，因而常常在缺乏直接方法验证的条件下不恰当地使用了物探结果，结果降低了它们应有的成功率。

最常用的地震方法往往最容易被误用，我们相信以下两点是该法最主要的局限性：

(a) 一些重要的岩体工程性质（特别是抗剪强度）通常由相当小的地质缺陷（小断层或风化夹层）所控制，在附加应力作用下，它们的位置和产状具有决定性作用，地震方法通常无法确定这些地质缺陷的位置。

(b) 地震法在很短的时间内向岩体施加很微小的荷重，因而从剪切波速 ( $V_s$ ) 或纵波速度 ( $V_p$ ) 计算出来的动力弹性模量 ( $E_{dyn}$ ) 只能反映在这样微小而短暂的荷重作用下岩体的性态。因此，对于在长期高荷重作用下的裂隙岩体或带夹层的岩体  $E_{dyn}$  并不是可靠的变形指标。

此外，我们还听到一些争论，认为纵波速度并不像通常所相信的那样去反映岩石的“平均”性质。这是因为首先到达检波器的纵波一定沿最短的途径通过最好的岩石，也就是说，其中存在“短路”效应。

假若我们接受上述观点，那么，认为电阻率法总能提供具有代表岩石“平均”性质数据的这种看法就显得根据不足。电流倾向于在具有高导电率的岩石中集中流动，通过风化带或断层带时容易产生短路效应。

由论文作者以及大会对物探方法的上述局限性及其它可能的局限性进行评论是有益的。

#### 2.1 与地震法有关的室内和野外研究

由 Tanimoto 和 Ikeda 所进行的室内试验发现，对于开度小于 0.01 毫米的裂隙，纵波速度  $V_p$  对于裂隙的间距反应并不灵敏，当裂隙开度为 2—4 毫米时， $V_p$  略有减少 (5—15%)。当裂隙开度小于 0.04 毫米时，在地震性状方面，表明岩石近似于完整岩石。

这些成果看来与其它研究者的观点相矛盾。例如 Anstey 于 1977 年指出：“裂隙对地震速度的影响是显著的……只要有空隙，质点就会产生侧向变形，从而使相应的弹性模量发生改变。我们还可以回顾一下，当地震波通过质点时，质点的位移是多么微小——一般至少小于光波长的两个数量级；因此，在光学显微镜下看不见的一些极细微