

# 地应力测量原理和方法的评述

蔡美峰

(北京科技大学北京 100083)

提要本文阐述了地应力测量的基本理论、指导原则和主要技术;对各种测量方法和测试仪器的的工作原理、主要优缺点以及在不同岩层条件下工作的可靠性和适用性作了基本介绍,特别是对目前世界上应用最广泛的水压致裂法和套孔应力解除法,在本人研究成果的基础上,作了比较详细的论述和评价。

关键词·地应力测量, 直接测量法, 间接测量法·

## 1 前言

对于地面和地下开挖工程的设计和施工,有两类地应力资料是必不可少的。一是绝对地应力,即初始原岩应力状态,它是岩体开挖前存在于地层中的天然应力;二是相对地应力变化,即在开挖过程中和开挖后围岩应力的变化情况。二者相比,原岩应力状态更为重要。因为在已知初始地应力状态的条件下,通过数值计算等现代分析方法,已能比较准确地预测在开挖过程中围岩应力的变化规律。所以近年来地应力测量的重点一直放在原始地应力的测量方面。

一般说来,测量原始地应力就是确定存在于拟开挖岩体及其周围区域内的未受扰动的三维应力状态,这种测量通常是通过逐点测量来完成的。由于地应力状态的复杂性和多变性,要比较准确地测定某一地区的地应力,就必须进行足够数量的“点”测量,在此基础上,通过地质构造分析、多元非线性回归、数值模拟等方法,即可近似得出整个工程区域的地应力分布规律,

根据其测量原理的不同,地应力测量技术可分为直接法和间接法两大类。

## 2 直接测量法

所谓直接测量,是指由测量仪器所记录的补偿应力、平衡应力或其它应力量直接决定岩体应力,而不需要知道岩石的物理力学性质及应力—应变关系。

### 2.1 扁千斤顶法

扁千斤顶法是最早期的应力测量方法,其原理和操作非常简单。这种方法基本上只能用于比较坚固完整的岩体中,而且测出的应力一般来说是一个二维的扰动应力场。虽然通

1993

---

过数值模拟等方法,由此二维应力场可推算出深层岩体中的三维应力场,但是这种推算需要许多假设,因而其结果是不准确的,

### 2.2 水压致裂法

水压致裂法最初是用来提高石油产量的，后来被 Fan-hurst 和 Hairnson 用于地应力的测量。

水压致裂应力测量包括六个步骤：(1)打钻孔到测试部位，并将试验段用两个封隔器隔离起来；(2)向隔离段注射高压水流，直到孔壁出现裂隙，此时的水力称为初始开裂压力，记为  $P_1$ ，然后继续施加水压以扩展裂隙，当裂隙扩展至 2—3 倍钻孔直径深度时，关闭高压水系统，此时的恒定水压称为关闭压力，记为  $P_c$ ，最后卸压使裂隙闭合，(3)重新向密封段注射高压水，使裂隙重新张开，并记下裂隙重开时的压力，记为  $P_r$ ，这种重新加压的过程重复 2—3 遍；

(4)将封隔器完全卸压后从钻孔内取出；(5)将用特殊橡皮包裹的印模器送入破裂段并加使水压致裂裂隙的形状、大小、方位及原来孔壁存在的节理裂隙均由橡皮印痕记录下来。图 1 是一组典型的力—时间曲线图，根据初始裂隙在切向应力最小的部位发生以及关闭压力必须和最小主应力相平衡的关系，在有孔隙压力的情况下，可得如下的决定垂直于钻孔的平面内的二个主应力的公式：

$$\sigma_1 = 3P_c - P_r - P_0$$

最小主应力的方向和裂隙方向垂直。

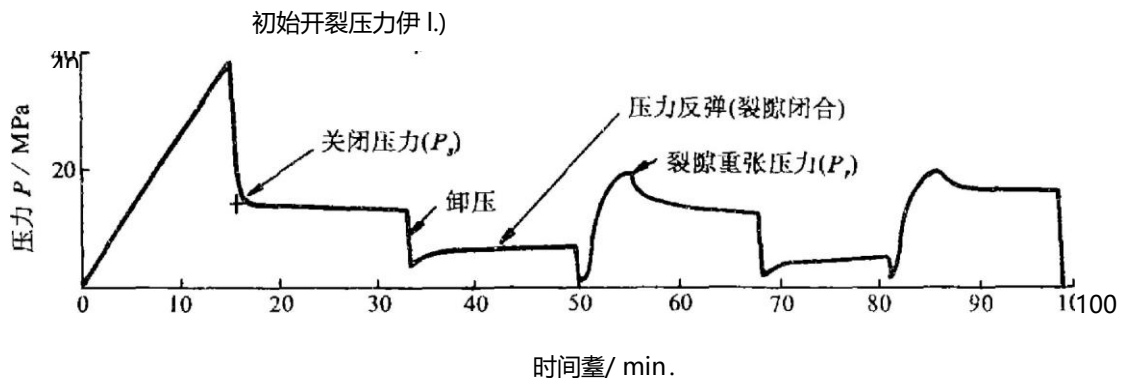


图 1 水压致裂试验压力—时间曲线图

Fig. 1 curves Of pressucc & time in hydraulic fractunng test

水压致裂法的突出优点是它能测量深部地压。然而当采用这种方法时，只有假定钻孔方向与一个主应力方向重合，且该主应力的值也已知，才能根据在一个钻孔测得的结果确定一个三维地应力状态，否则就必须打 3 个交汇于测点的互不平行的三个钻孔。通常假定自重应力是一个主应力，因而将钻孔打在垂直方向。但是在很多情况下，垂直方向并不是主应力方向，而且垂直应力也不等于自重应力。这种方法认为初始开裂在垂直于最小主应力的

方向发生,可是如果岩石本来就有层理、节理等弱面存在,那么初始裂隙就有可能沿着弱面发生.因此这种方法只能用于比较完整的岩石中.

还有一些与水压致裂法相类似的方法,如双向破裂法,套管致裂法.

双向破裂法基于这种现象,即在脆性岩石中,高压水在钻孔壁上压开一组垂直于最小主应力的裂隙后,继续加压使水进入裂隙内,裂隙的扩展是有限的,若再继续加压,则在垂直于最大主应力的方向将会出现第二组裂隙,由第一、第二组裂隙开裂时的水压值即可求出岩体中的原始应力[2].

套管致裂法的测试原理、过程及计算公式和水压致裂法相类似,只是在套管致裂法中,高压水不是直接作用到钻孔壁上,而是通过一个软薄膜套管施加到孔壁上,目的是为了避开孔壁上天然存在的微裂隙影响测量结果[3].

### 2.3 刚性圆筒应力计

刚性圆筒应力计的外壳是一个由钢或其它坚硬材料制成的空心圆筒,内部是压力传感器.将应力计装入圆筒内,刚性圆筒和孔壁处于紧密结合状态,钻孔周围的应力变化是通过刚性圆筒传到压力传感器上.刚性圆筒应力计的变形模量必须非常大,至少要 4 倍于岩石的变形模量,这样才能阻止岩石变形,有效地将孔壁周围的应力变化传递到应力计内.

目前在一些国家,特别是在美国获得较为广泛应用的振动钢弦应力计,可视为刚性圆筒应力计的一种[4].

刚性圆筒应力计具有很高的稳定性,因而可用于现场长期监测.然而它通常只能测量垂直于钻孔的平面内的相对应力变化,而且灵敏度较低.除振动钢弦应力计外,其它刚性圆筒应力计已逐渐被淘汰.

### 2.4 声发射法

岩石类材料在受到外载荷作用时,其内部储存的应变能会因微破裂作用而快速释放产生弹性波,发生声响,称为声发射.利用声发射法测地应力是基于这样一种现象,即材料在经过一次或几次反复加载—卸载后,再一次对其加载时,如果没有超过先前的最大应力,则很少发生声发射,只有达到并超过以前的最大应力,才能产生大量声发射,这叫做 Kaiser 效应.现场测量时先取定向岩芯,然后在试验室中对加工好的定向试样加载,并测量声发射和确定 Kaiser 点,以测定试样先前受到的最大应力,并将它定为采芯地点的地应力.这种方法可以和应力解除法或水压致裂法结合起来,因为声发射试样很容易从上述二种方法的钻孔岩芯中获得.由于绝大多数地区的构造运动是极其复杂的,而目前的应力场主要受最近一次的构造运动所控制,所以声发射确定的只是采芯地点先前受到的最大应力,而不一定代表目前的地应力状态.

## 3 间接测量法

在间接测量法中,测试仪器不是直接记录应力或应力变化值,而是记录某些与应力有

关的间接物理量的变化, 然后根据已知的或假设的公式, 由测得的间接物理量的变化值计算出现场应力值. 最常用的间接物理量是变形和应变.

### 3.1 应力解除法

应力解除法是发展较为成熟的一种地应力测量技术, 也是能够比较准确地和定量地测量地应力的唯一方法. 五十年代初, Hast 首次应用套孔应力解除的方法在斯堪的纳维亚半岛进行了地应力测量[6]. 从理论上讲, 不管套孔的形状和尺寸如何, 套孔岩芯中的应力均将被完全解除. 然而, 如果测试元件阻碍钻孔的变形, 就必须考虑套孔形状和尺寸的影响. 测量元件对钻孔变形的影响越大, 应力解除的范围也要越大. 由套孔引起的钻孔应变或变形可由下列方法加以测量.

#### 3.1.1 孔径变形测量

由应力解除引起的孔径变形可用孔径变形计来测量, 其中最著名的是美国矿山局的 USBM 孔径变形计, 它量测直径 38mm 钻孔中间隔为 60. 的三个直径方向上的变形[71]. 根据测得的三个方向的孔径变形, 即可求出垂直于钻孔的平面内的应力状态. 如果要测量三维应力状态, 就必须打三个互不平行的钻孔. 由测得的九个变形量, 用最小二乘法求出三维应力值.

美国矿山局孔径变形计的突出优点是它采用全桥电桥线路, 因而受温度变化的影响较小, 而且探测元件与孔壁直接接触, 不受胶结状态等附加条件影响, 所以工作比较可靠. 但由于接触顶杆和孔壁处于点接触状态, 因此要求孔壁必须规则 and 光滑, 不能有明显的缺陷、裂隙及钻孔碎屑, 测量结果易受岩石节理、裂隙和不均质性的影响, 因而它适用于比较连续完整的岩石中.

类似的孔径变形计还有数十种之多, 可测一至六个方向的钻孔变形, 有的还设有附加应变片或位移传感器测量轴向变形, 测量钻孔的直径由 16mm 到 97mm 不等.

#### 3.1.2 孔底应变测量

Mohr 于 1965 年介绍了一种方法, 即把电阻应变片粘贴在孔底平面, 然后套孔解除应力, 测量应变. 南非科学和工业研究委员会的 CSIR 门塞式应变计就是根据这个原理研制出来的. 由测得的孔底应变值可计算出孔底表面的二维次生应力场的三个分量  $\sigma'_x, \sigma'_y, \tau'_{xy}$ ,

它们与三维原岩应力分量在  $x, y, z$  和  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$  的关系可由下列经验公式来表示:

$$\sigma'_x = a\sigma_x + b\sigma_y + c\sigma_z$$

$$\sigma'_y = b\sigma_x + a\sigma_y + c\sigma_z$$

$$\tau'_{xy} = d\tau_{xy}$$

由于孔底应力集中没有理论解, 公式中的四个系数  $a, b, c$  和  $d$  只能通过模拟试验或数值分析求得, 因而对计算结果的精确性有很大影响.

若  $z$  轴 (即钻孔方向) 和一个主应力方向重合, 且该主应力值已知, 则由一个钻孔的测量即可确定三维原岩应力状态, 否则就必须用三个互不平行的钻孔进行测量。该法的唯一

· 279 ·

优点是它不需要很长的套孔岩芯, 因而能够用于比较破碎的岩体中。

Sugawara 等人研制了一种应变计, 用于测量一个 75mm 直径钻孔的半球形底面上的应变。在应变计的半球形端部, 沿周向粘贴着 8 个二轴应变花, 由测得的 16 个应变值可以推算出三维的原岩应力场。由于球面孔底应力集中同样没有理论解, 故此种应变计的应用同样受到很大限制。

### 3. 1.3 孔壁应变测量

在三维应力的作用下, 一个无限体中钻孔表面及周围的应力分布可以由现代弹性理论给出精确解。通过应力解除测出钻孔表面的应变, 即可求出钻孔表面的应力, 并进而给出原岩应力状态。南非科学和工业研究委员会的 CSIR 三轴孔壁应变计就是根据这一原理制造出来的 [10]。应力解除测得的孔壁应变值可通过下列公式和原岩应力场联系起来。

$$\varepsilon_{\theta} = \{(\sigma_x + \sigma_y) + 2(1 - \nu^2)[(\sigma_z - 0) \cos 2\theta - 2\nu \sin 2\theta] - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\} / E$$

$$\varepsilon_z = [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] / E$$

$$\gamma = (4 / \sin 45^\circ) (1 + \nu)(\tau \cos \theta - \nu \tau \sin \theta)$$

$$\varepsilon_z + \varepsilon_{\theta} \pm \gamma_{\theta z} / 2$$

式中的, 分别为孔壁周向应变、轴向应变和剪切应变;  $\theta$ ,  $45^\circ$ 。则为与钻孔轴线成  $\pm 45^\circ$  方向的应变。

CSIR 三轴孔壁应变计的优点是三组应变花直接粘贴在孔壁上, 应变计本身对测量结果没有任何影响。使用该应变计的关键是三组应变花必须和孔壁牢固地胶结在一起。然而由于触头表面积很小, 如果钻孔表面不光滑或有裂隙缺陷, 则胶结状态可能会很差, 在此情况下, 应变计的工作性能就会受到很大影响。

### 3. 1.4 空心包体应变测量

为了克服三轴孔壁应变计的缺点, Worotnicki 和 Walton 发明了 CISRO 空心包体应变计 [11]。在该应变计中, 三组应变花不是直接粘贴在应变计表面上, 而是嵌埋在一个环氧树脂圆筒筒壁的中心部位, 应变花的排列布置和 CSIR 三轴孔壁应变计相同。环氧树脂圆筒外径 36.5mm, 壁厚 3mm, 电阻应变花距外壁 1mm。

由应力解除过程中测得的应变值计算地应力的公式与前述 CSIR 三轴孔壁应变计所用公式基本相同, 但考虑到在空心包体应变计中, 应变片不是直接粘贴在孔壁上而是与孔壁有巧 mm 左右的距离, 因此需要在公式中增加四个修正系数如下:

$$\varepsilon_{\theta} = \{(\sigma_x + \sigma_y)K_1 + 2(1 - \nu^2)[(\sigma_z - 0) \cos 2\theta - 2\nu \sin 2\theta]K_2 - \nu(\sigma_x + \sigma_y)K_3\} / E$$

$$\varepsilon_z = [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] / E$$

$$\gamma : (4 / E)(1 + \nu)(t \cos\theta - \sin\theta)K$$

-vz 4

Duncan Fama 和 Pender 给出了这四个系数的计算公式。

空心包体应变计的突出优点是应变计和孔壁在相当大的一个面积上胶结在一起，因此

四 93

胶结质量较好而且胶结剂还可注入应变计周围岩体中的裂隙、缺陷，使岩石完整化，因而较易得到完整的套孔岩芯。所以这种应变计可用于中等程度不连续、不均匀的岩体中，并有较好的防水性能。

### 3.5 实心包体应变测量

已有理论解表明，一个位于无限体中的圆柱实心包体，在受到无穷远处的应力场作用时，其内部呈现均匀应力状态，这一理论解为实心包体应变计奠定了基础。

Rocha 和 Silverio 首次研制了一种实心包体应变计。由于他们采用的包体材料弹模较高，包体和岩石间的胶结层经常因受到高拉应力而破裂，所以这种应变计后来被淘汰了。

Blackwood 成功地大幅度降低了包体的弹模值，制成了 UNSW 实心包体应变计，在该应变计的实心环氧树脂圆柱体中，沿中间 30mm 长的一段嵌埋着 10 枚应变片。若将圆柱轴线定为老方向，则 10 枚应变片中 4 枚位于平面，4 枚位于“平面”，2 枚位于“平面”<sup>[3]</sup>

由测量应变值计算地应力时，首先由测得的 10 个应变值用最小二乘法求出在包体中的 6 个应变分量，与，，和，然后再根据有关公式求出岩体中的 6 个应力分量，方，和 $\tau_{zx}$ 。

实心包体应变计由于和孔壁大面积胶结在一起，因而具有空心包体应变计的许多优点，并且受岩石节理、裂隙和不均质性的影响更小。其缺陷是实心包体对孔壁变形有一定限制，因而在软岩中测出的应力值偏低，需要通过实验加以校正。

为了将应力解除过程中的各种数据连续不断地记录下来，需要将测试探头的导线电缆从钻杆穿出，连到钻孔外的记录仪器上，这就限制了应力解除的深度。为了解决这个问题，瑞典的 Vattenfall 水电有限公司研制了无电缆自动数值采集三维钻孔应变计，已达到的最大解除深度为 500m。

## 3.2 其它的应力或应变解除方法

### 3.2 局部应力解除方法

和套孔解除法的完全应力解除不同，某些方法采用对钻孔做部分应力或应变解除以测量原始地应力。

(a) 径向切槽法: 使用金钢石钻具在钻孔壁上沿径向切槽, 并用切向应变计记录切槽前后的应变变化. 通过三个同样的切槽测量, 即可决定垂直于钻孔的平面内的应力状态. 这种方法经过改进也有可能用来测定三维应力状态<sup>[4]</sup>.

(b) 全息干涉测量法: 在垂直于孔壁的方向钻一小孔, 使孔壁应力部分解除, 从而产生微小位移并引起全息干涉仪中相干光的全息干涉, 由于干涉条纹可定出孔壁上的二维应力状态和岩石的弹性模量 [5].

(c) 平行钻孔法: 将孔径变形计安装在一个钻孔内, 然后在该孔周围再打一个或数个与之平行的钻孔. 由测得的第一个孔的孔径变形, 根据含两个或多个圆孔的无限大平板的弹性理论解或运用数值法, 即可算出垂直于钻孔的平面内的应力状态 [6].

(d) 中心钻孔法: 在岩石表面沿一个直径为 200、250mm 的圆周等间距地布置三对径  
: [28].

向测量柱. 然后在圆心处打一个直径为 10mm 的钻孔, 测量钻孔所引起的三对测量柱之间的径向距离变化, 即可确定岩石表面的二维应力状态 [7].

(e) 钻孔延伸法: 将钻孔变形计安装在靠近钻孔底部的地方, 然后延伸钻孔, 从而引起孔径变化. 当钻孔延伸超过二倍孔径时, 变形趋于稳定. 通过有限元计算等方法, 即可由测量的钻孔变形求出垂直于钻孔的平面内的二维应力状态 [8].

(f) 千万顶压裂法: 用一自平衡双向千斤顶沿一直径方向向孔壁加压, 直至在孔壁的另一径向相对的部位出现纵向开裂, 从而引起局部应力解除. 用事先压贴在开裂部位的摩擦式电阻应变计, 可以测出该部位的切向应变. 沿三个不同方向加压并测量, 由测量结果就可计算出垂直于钻孔的平面内的二维应力状态 [9].

### 3.2.2 松弛应变测量

(a) 微应变曲线分析: 此法基于这样的假设, 即在应力解除后, 在暴露的岩芯基体上会出现一系列的微裂隙. 微裂隙的数量和方向均和原岩的应力状态有关, 对从岩芯中截取的立方体试样加静水压力, 使试样中的所有裂隙闭合. 在试件表面不同方向粘贴应变片, 记录下闭合过程中的应变变化, 据此即可推断出原岩应力状态 [20].

(b) 钻孔张裂测量法: 在钻孔表面暴露以后, 由于岩石膨胀, 会在与最小主应力方向平行的钻孔径向相对的两个区域出现平行于钻孔表面的纵向张裂. 如果钻孔与一主应力方向重合, 那么通过测量钻孔张裂即可决定其它两个主应力的方向, 主应力的方向由张裂的深度和宽度来决定 [21].

(c) 非弹性恢复应变测量法: 这种方法是应力解除法的延伸. 在应力解除之后, 立即在作好方位标记的岩芯表面沿不同方向贴上应变片, 以测量岩芯从钻孔取出后一段时间的部分恢复应变. 原岩主应力的方向和主恢复应变的方向相重合, 主应力的方向由主恢复应变值、有效自重应力及岩石的弹性性质所决定 [22].

很明显, 本节所述的各种方法都不能用来精确测定三维原岩应力状态.

### 3.3 地球物理探测法

昭· 1 超声波测量法: 岩石中的弹性波特别是纵波的波速和衰减随应力状态而依一定的定量关系变化· 测量弹性波在岩体中的传播速度, 并根据在该岩石中标定的应力和波速的关系, 即可确定测量平面内的主应力状态·

3·3·2 超声波谱法: 向岩石中发射超声剪切波, 波将因岩石应力而发生双折射, 其双折射率是应力的函数· 为了确定地应力状态, 需要首先标定超声剪切波在岩石中双折射随岩石应力变化的规律[23]·

3·3·3 放射性同位素法: 岩体对放射性同位素辐射的吸收率是密度的函数· 随着压缩应力增加, 岩体密度显著增加· 故通过测定辐射吸收率即可确定岩体密度并进而估计出应力的大小[24]·

3·3·4 原子磁性共振法: 已经发现, 纯核子四极共振受应力和温度变化所引起的晶格扭曲的影响· 若已知共振频率和应力的关系, 则岩体中的每个晶格都可被用作应力传感器”· 应力作用所引起的电阻率、电容、电磁等性质的变化, 也用用来推算岩体应力状态·



由于岩体是复杂多变的, 并且人们尚未完全弄清所测地球物理量与岩石条件及地应力的关系, 因而用地球物理方法不能精确测定地应力的方向和大小, 只能对大范围的应力状态进行大致的探索.

## 4 参考文献

- 1 Fairhurst C, Measurement of in—situ rock stresses with particular reference to hydraulic fracturing. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 2:129-147. 1964.
- 2 Kikuchi S, Nakamura T, Serata S. A diametral deformation method for in—situ stress measurement. *Proc. 2nd Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics, Kobe*, 95—104, 1987.
- 3 Ljunggren C, Stephansson O. Sleeve fracturing—a borehole technique. for in—situ determination of rock deformability and rock stress. *Proc. Int. Symp. on Rock Stress and Rock Stress Measurements, Stockholm*, 323-330. 1986.
- 4 Hookes L, Hooker V E. The vibrating wire stressmeter, *Proc. 3rd ISRM Congr.*, 439—444. Denver, 1974.
- 5 Hughson D R, Crewford A M. Kaiser effect gauging: a new method for determining the pre—existing in situ stress from an extracted core by acoustic emission. *Proc. Int. Symp. on Rock Stress and Rock Stress Measurement, Stockholm*, 359-368, 1986.
- 6 Hast N. The state of stresses in the upper part of the earth's crust. *Tectonophysics*, 1969, 8:169-211.
- 1 Merrill R H. Three—component borehole deformation gage for determining the stress in rock. U .S.Bureau of Mines RI No.7SIO. 1967.
- 8 Leeman E R. Experience throughout the world with the CSIR "doorstopper" rock stress measuring equipment. *Proc. 4th ISRM Congr- Montreux(Switzerland)*, V 1.2:419—425, 1979.
- 9 Sugawara K, Obara Y, Kaneko K, Aoki T. Hemispherical —ended borehole technique for measurement of absolute rock stress, *Proc. Int. Symp. on Rock Stress and Rock Stress Measurement, Stockholm*, 207—216, 1986.
- 10 Van Heerden W L. Practical application of the CSIR triaxial strain cell for rock stress measurement. *Proc. ISRM Symp.*, Sydney, 1—6, 1976.
- 11 Wotoniccki G, Walton R. Triaxial "hollow inclusion" gauges for determination of rock stresses in—situ. *Investigation of Stress in Rock—Advances in Stress Measurement, Proc. Int. Symp.*, Sydney. 1—8(supplement), 1976.
- 12 Duncan Fama M E, PenderpM J. Analysis of the hollow inclusion technique for measuring in—situ rock stress, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 17:137-146, 1980.
- 13 Blackwood R L. An instrument to measure the complete stress field in soft rock or coal in a single operation. *Proc. Int. Symp. on Field Measurements in Rock Mechanics, Zurich*, 137—150, 1977.
- 14 Bock H, Foruria V A. Recoverable borehole slotting instrument for in—situ stress measurements in rocks not requiring overcoring. *Proc. Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics, Zurich*, 15—29, 1983.

- 15 Smither C L, Schmidt D R, Ahrens T J. Analysis and modelling of holographic measurements of in—situ stress, *Int. J. Rock Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 25(6): 353-362. 1988.
- 16 Shemyakin E I, Kurlenya M V, Popov S N. Elaboration of parallel borehole method for investigation of stress 12 3  
地应力测量原理和方法的评述 • 283 •

---

state and deformation properties in rock masses. *Proc. Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics, Zurich*. 349—358, 1983.

- 17 Tsur—Lavie Y, Van Ham F. Accuracy of strain measurements by the undercoring method. *Proc. 3rd ISRM Congr., Denver*. 474-480, 1974.
- 18 De la Gruz R V, Goodman R E. Theoretical basis of the borehole deepening method of absolute stress measurement. In: *Rock Mechanics—Theory and Practice: Proc. I Ith Symp. on Rock Mechanics*. Univ. California, 353-376. 1970.
- 19 De la Gruz R V. Jack—fracturing technique of stress measurement. *Nat. Centre for Earthquake Res., U.S. Geol. Surv., California*, 1974.
- 20 Ren N K, Roegiers J C Differential strain curve analysis — a new method for determining the pre—existing in—situ stress state from rock core measurements. *Proc. 5th ISRM Congr., Melbourne*, Fl 17—127, 1983.
- 21 Haimson B C, Herrick C G. Borehole Breakouts—a new tool for estimating in situ stress? *Proc. Int. Symp. on Rock Stress and Rock Stress Measurements, Stockholm*, 271—279, 1986.
- 22 Teufel L W. In—situ stress state in the Mounds test well as determined by the anelastic strain recovery method. *SPE/ DOE 13896, Texas*. 1985.
- 23 Aggson J R. The potential application of ultrasonic spectroscopy to underground site characterization. *Proc. 48th Annual Int. Meeting. Soc. Expl. Geophysicists, San Francisco*, 1978.
- 24 Riznichenko Yu V, Vanek I, Sibck V, et al. *Study of Rock Stress by Geophysical Methods*, Nauka Press. Moscow. 215PP, 1967.
- 25 Cook J C. Semi—annual report on electronic measurement of rock stress. *USBM Tech. Rcpt., No. 72—10*, 1972.

## REVIEW OF PRINCIPLES AND METHODS FOR ROCK STRESS MEASUREMENT

Cai Mei('eng

(Beijing Universii)' of Science and Technology, Beijing 100083)

### A bstcact

This paper elucidated the basic theories, guiding principles and main techniques of rock stress measurement, made an essential introduction to the operation principles, main advantages and drawbacks as well as the reliabilities and applicabilities of various methods and instruments under different strata conditions; especially gave rather detailed discussion and assessment to the hydraulic fracturing method and overcoring stress relief method most widely used all over the world nowadays on the basis of study results of the author.

Key words: rock stress measurement. direct methods, indirect methods.