



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102628716 B

(45) 授权公告日 2013. 02. 13

(21) 申请号 201210096644. 6

G01L 1/22(2006. 01)

(22) 申请日 2012. 04. 05

审查员 崔英颖

(73) 专利权人 中国科学院武汉岩土力学研究所  
地址 430071 湖北省武汉市武昌区小洪山  
12 号

专利权人 中国平煤神马能源化工集团有限  
责任公司技术中心

(72) 发明人 刘泉声 卫修君 张程远 郭建伟  
郭春生 杨战标

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222  
代理人 汪俊锋

(51) Int. Cl.

G01L 1/10(2006. 01)

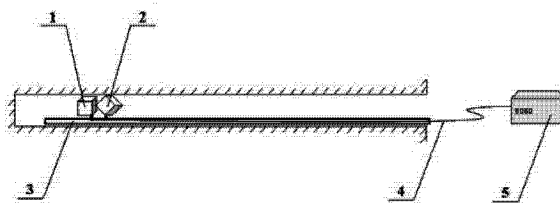
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

基于流变应力恢复原理的深部软岩地应力测试方法和装置

(57) 摘要

本发明公开了一种适用于深部软岩的地应力测试方法和装置。装置包括连接杆,两个三向压力盒相邻地固定在连接杆上;所述三向压力盒具有互相垂直的三个工作面,两个三向压力盒之间任意两个工作面的方向余弦都不为 1;两个三向压力盒每个工作面上安装有测量法向压应力的装置,该装置通过数据线和钻孔外的读数仪连接。地应力测量方法:钻孔后将两个三向压力盒送到测试点处;对钻孔实施注浆,填满后将钻孔封口;浆液凝固后,待数据稳定,把两个三向压力盒所测六个压力数据代入地应力测试原理公式中,得出该测试点处的地应力。该方法可以直接观测围岩内部的应力值,并可长期获取观测数据,有利于煤矿深部软岩地应力和围岩稳定性研究。



1. 一种软岩的地应力测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 在软岩巷道围岩体内钻孔至测试点处;

(2) 将两个三向压力盒相邻地固定在连接杆上,送到测试点处;所述三向压力盒具有互相垂直的三个工作面,记录下两个三向压力盒之间任意两个工作面法线方向之间的方向余弦,并且该值都不得为1;两个三向压力盒每个工作面上安装有测量法向压应力的装置,该装置通过数据线和钻孔外的读数仪连接;

(3) 对钻孔实施注浆,填满后将钻孔封口;

(4) 浆液凝固后,从读数仪上不断读取压力值,待数据稳定后,把两个三向压力盒所测六个压力数据代入地应力测试原理公式中,得出该测试点处的地应力。

2. 根据权利要求1所述的地应力测量方法,其特征在于,对钻孔实施注浆,注浆材料采用混凝土砂浆。

3. 一种软岩地应力测量装置,包括连接杆(3),两个三向压力盒(1,2)相邻地固定在连接杆(3)上;所述三向压力盒(1,2)具有互相垂直的三个工作面,两个三向压力盒之间任意两个工作面的方向余弦都不为1;两个三向压力盒(1,2)每个工作面上安装有测量法线方向压应力的装置,该装置通过数据线(4)和钻孔外的读数仪(5)连接。

4. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于,两个三向压力盒每个工作面上安装的测量法线方向压应力的装置,包括位于工作面的钢制弹性膜片(9),钢制弹性膜片(9)下面固定有两个钢柱体(6),两个钢柱体之间固定有钢弦(7),钢弦(7)上套有线圈(8),线圈(8)连接数据线(4)。

5. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于,两个三向压力盒每个工作面上安装的测量法线方向压应力的装置,包括位于工作面的弹性膜片(10),弹性膜片(10)下面中央固定有电阻应变片(11),电阻应变片(11)通过数据线(4)与读数仪(5)相连。

6. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于,所述连接杆(3)为空心的,所述的数据线(4)经由连接杆(3)的空腔和钻孔外的读数仪(5)连接。

## 基于流变应力恢复原理的深部软岩地应力测试方法和装置

[0001] 技术领域

[0002] 本发明属于岩土测量技术领域,具体地涉及一种适用于深部软岩的地应力测试方法,同时还涉及一种用于该测试方法的观测装置。

### 背景技术

[0003] 煤矿深部围岩大多破碎软弱,力学强度低。在这样的松软围岩中采用目前常用的测试方法进行地应力的有效测试是非常困难的,存在很大的局限性和测量误差。以水利水电和交通隧道工程中广泛采用的水压致裂法为例,其钻孔封隔器需要在高水压下具备良好的水密封性,对岩体的完整性提出了苛刻的要求,不适用于煤矿深部节理裂隙发育的破碎软弱岩体。而且该方法只能确定垂直于钻孔平面内的最大主应力和最小主应力,本质上为二维应力测量方法,难以获得测点的三向应力状态。

[0004] 另一种常用测试方法为应力解除法。为了计算应力值,首先必须确定岩体的力学性质参数(如弹性模量  $E$  和泊松比  $\mu$  等)以及所测物理量(应变)和应力的相互关系。对含有大量裂隙的松软岩体而言,其弹性模量  $E$ 、泊松比  $\mu$  等力学性质参数与岩体所受的应力状态、岩体试件大小及形状密切相关,不同的应力状态、不同大小的岩体试件,试验得出的弹性模量  $E$  和泊松比  $\mu$  的数值可相差数倍甚至十倍以上。这就要求采用应力解除法测试地应力时,必须取得超过传感器长度(至少大于 30cm)的完整岩芯,和厚壁圆筒外壁均匀受压的应力状态下获取岩芯的弹性模量。煤矿深部松软岩体多为泥质胶结,经受了高地应力的作用,取芯过程中受水流冲刷和应力强卸荷作用,多数情况下连长度达到 10cm 的短岩芯也难以获取,因而很难通过单轴压缩实验得到力学参数。因此,在煤矿深部松软围岩中应力解除法难以实施。其他的岩体地应力测试方法,比如声发射法等,不仅无法胜任松软围岩的地应力测试,而且从原理上讲无法测得原岩应力。

[0005] 目前尚未见到公开的能在煤矿深部松散围岩中进行有效测试的观测方法与装置。已有的直接测量设备主要是应用在土体中的压力盒,比如中国实用新型专利(申请号 03212896)公开的一种电阻应变压轴式土压力盒,利用环形弹性膜片敷有的电阻应变片记录弹性膜片的受压变形,达到测量垂直于膜片方向压力的目的。中国实用新型专利(申请号 201120082368.9)公开的一种冲气式双膜防水压力盒,在压力的传力膜与受力膜之间设置防水密封圈,达到防水、稳定测试压力的目的。这些观测装置和方法仅仅可以测量单方向的压力,因此均不能有效测试某一测点的地应力。

### 发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题在于提供了一种适用于软岩的地应力测量方法。通过该方法,可以直接测量获取围岩内部的应力值,并可长期获取观测数据,用于煤矿深部软岩地应力分布和围岩稳定性的研究。

[0007] 一种基于流变应力恢复原理的深部软岩地应力测试方法,包括以下步骤:

[0008] (1) 在软岩巷道围岩体内钻孔至测试点处;

[0009] (2) 将两个三向压力盒相邻地固定在连接杆上, 送到测试点处; 所述三向压力盒具有互相垂直的三个工作面, 记录下两个三向压力盒之间任意两个工作面法线方向之间的方向余弦, 并且该值都不得为 1; 两个三向压力盒每个工作面上安装有测量法向压应力的装置, 该装置通过数据线和钻孔外的读数仪连接;

[0010] (3) 对钻孔实施注浆, 填满后将钻孔封口;

[0011] (4) 浆液凝固后, 从读数仪上不断读取压力值, 待数据稳定后, 把两个三向压力盒所测六个压力数据代入地应力测试原理公式中, 得出该测试点处的地应力。

[0012] 采过上述方法长时间内实施多次测量, 就可以得到该测试点的地应力演化数据。

[0013] 上面所述的两个三向压力盒之间任两个工作面的方向余弦都不得为 1, 是指两个三向压力盒之间任两个工作面的法线方向都不重合, 或者说不平行。

[0014] 本发明实质上还提供了一种地应力测量装置, 包括连接杆, 两个三向压力盒相邻地固定在连接杆上; 所述三向压力盒具有互相垂直的三个工作面, 两个三向压力盒之间任意两个工作面的方向余弦都不为 1; 两个三向压力盒每个工作面上安装有测量法向压应力的装置, 该装置通过数据线和钻孔外的读数仪连接。

[0015] 两个三向压力盒每个工作面上安装的测量法向压应力的装置, 可以采用任何一种本领域已知的设备, 比如背景技术所提供的, 还可以为测量仪器领域中共知的振弦式结构, 包括位于工作面的钢制弹性膜片, 弹性膜片下面固定有两个钢制柱体, 两个柱体之间固定有钢弦, 钢弦上套有线圈, 线圈连接数据线。

[0016] 还可以为电阻应变式结构。包括位于工作面的弹性膜片, 弹性膜片下面中央固定有电阻应变片, 电阻应变片通过数据线与读数仪相连。

[0017] 上面提到两个三向压力盒相邻地固定在连接杆上, 这两个三向压力盒为一组三向压力盒。实际上连接杆上还可以连接多组三向压力盒, 这样可以同时给多个测试点测量地应力。

[0018] 作为一种优选, 所述连接杆可以为空心的, 所述的数据线经由连接杆的空腔和钻孔外的读数仪连接。

[0019] 地应力测试原理公式描述如下:

[0020] 两个三向压力盒分别记为 A、B, 以三向压力盒 A 工作面法向方向为坐标轴方向建立空间坐标系  $oxyz$ ; 以三向压力盒 B 工作面法向方向为坐标轴方向建立空间坐标系  $oxy'z'$ , 如图 2 所示。

[0021] 三向压力盒 A 所测法向压力数据设为  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ; 三向压力盒 B 所测法向压力数据设为  $\sigma'_x, \sigma'_y, \sigma'_z$ ; 并设  $l_1, l_2, l_3$  分别为  $x', y', z'$  轴与  $x$  轴之间的方向余弦;  $m_1, m_2, m_3$  分别为  $x', y', z'$  轴与  $y$  轴之间的方向余弦;  $n_1, n_2, n_3$  分别为  $x', y', z'$  轴与  $z$  轴之间的方向余弦。将上述已知量代入下式, 建立方程组, 求解计算得到测试点处  $oxyz$  坐标系下的地应力状态  $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx})$ , 和  $oxy'z'$  坐标系下的地应力状态  $(\sigma'_x, \sigma'_y, \sigma'_z, \tau'_{xy}, \tau'_{yz}, \tau'_{zx})$ 。其中,  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$  为坐标系  $oxyz$  下的剪切应力分量,  $\tau'_{xy}, \tau'_{yz}, \tau'_{zx}$  为坐标系  $oxy'z'$  下的剪切应力分量。

[0022]

$$\sigma_x' = \sigma_x l_1^2 + \sigma_y m_1^2 + \sigma_z n_1^2 + 2\tau_{xy} l_1 m_1 + 2\tau_{xz} m_1 n_1 + 2\tau_{yz} n_1 l_1$$

[0023]

$$\sigma_y' = \sigma_x l_2^2 + \sigma_y m_2^2 + \sigma_z n_2^2 + 2\tau_{xy} l_2 m_2 + 2\tau_{xz} m_2 n_2 + 2\tau_{yz} n_2 l_2$$

[0024]

$$\sigma_z' = \sigma_x l_3^2 + \sigma_y m_3^2 + \sigma_z n_3^2 + 2\tau_{xy} l_3 m_3 + 2\tau_{xz} m_3 n_3 + 2\tau_{yz} n_3 l_3$$

$$\tau_{xy}' = \sigma_x l_1 l_2 + \sigma_y m_1 m_2 + \sigma_z n_1 n_2 + \tau_{xy} (l_1 m_2 + l_2 m_1) + \tau_{xz} (m_1 n_2 + m_2 n_1) + \tau_{yz} (n_1 l_2 + n_2 l_1)$$

$$\tau_{xz}' = \sigma_x l_1 l_3 + \sigma_y m_1 m_3 + \sigma_z n_1 n_3 + \tau_{xy} (l_1 m_3 + l_3 m_1) + \tau_{xz} (m_1 n_3 + m_3 n_1) + \tau_{yz} (n_1 l_3 + n_3 l_1)$$

[0026]

$$\tau_{yz}' = \sigma_x l_2 l_3 + \sigma_y m_2 m_3 + \sigma_z n_2 n_3 + \tau_{xy} (l_2 m_3 + l_3 m_2) + \tau_{xz} (m_2 n_3 + m_3 n_2) + \tau_{yz} (n_2 l_3 + n_3 l_2)$$

[0027] 软岩岩体在钻孔后,在地应力的作用下有倾向于通过自身变形封闭钻孔的现象。钻孔中放入三向压力盒,注浆凝固后,软岩岩体内部的压力通过注浆材料传递到三向压力盒工作面上,使得软岩岩体内部压应力的测量得以实现。注浆材料可以采用混凝土砂浆。

[0028] 本发明具有以下的优点和有益效果:①可直接测量深部软岩中某一测试点的地应力值,有利于围岩稳定性的研究;②由于采用了导线外接测量,可以方便实时地获取测量值,易于现场实施。③可以进行长期的围岩应力监测。

## 附图说明

[0029] 图 1 为软岩地应力测量装置结构示意图,

[0030] 1- 三向压力盒,2- 三向压力盒,3- 连接杆,4- 数据线,5- 读数仪。

[0031] 图 2 为软岩地应力测量方法的坐标系示意图。

[0032] 图 3 为三向压力盒振弦式压力测试装置示意图,

[0033] 5- 读数仪,6- 钢柱体,7- 钢弦,8- 线圈,9- 弹性膜片。

[0034] 图 4 为三向压力盒电阻应变式压力测试装置示意图,

[0035] 5- 读数仪,10- 弹性膜片,11- 电阻应变片。

## 具体实施方式

[0036] 下面结合附图对本发明作进一步详细的说明。

[0037] 本发明公开了一种地应力测量装置,包括连接杆 3,两个三向压力盒 1,2 相邻地固定在连接杆 3 上;所述三向压力盒 1,2 具有互相垂直的三个工作面,两个三向压力盒之间任意两个工作面的方向余弦都不为 1;两个三向压力盒每个工作面上安装有测量法向压应力的装置,该装置通过数据线 4 和钻孔外的读数仪 5 连接。

[0038] 应用上述装置进行软岩的地应力测试方法,包括以下步骤:

[0039] (1) 在软岩巷道围岩体内钻孔至测试点处;

[0040] (2) 将两个三向压力盒送到测试点处;

[0041] (3) 对钻孔实施注浆,填满后将钻孔封口;

[0042] (4) 浆液凝固后,从读数仪上不断读取压力值,待数据稳定后,把两个三向压力盒

所测六个压力数据代入地应力测试原理公式中,得出该测试点处的地应力。

[0043] 三向压力盒 1 和三向压力盒 2 形状可以为长方体,每个端面受压变形时,可以通过读数仪 5 测量外界施加在端面的压力。

[0044] 实施例 1,三向压力盒 1,2 为正方体,其边棱为高强度的钢材制成,端面为可以变形的钢制弹性膜片 9,如图 3 所示,弹性膜片 9 下面(即三向压力盒 1,2 内部一侧)固定有两个钢柱体 6,两个钢柱体 6 之间固定有钢弦 7,钢弦 7 上套有线圈 8,线圈 8 连接导线 4。导线 4 与读数仪 5 相连。所述结构为测量仪器领域中共知的振弦式结构,当弹性膜片 9 受到压力弯曲时,带动柱体 6 位移,使得钢弦 7 伸长或者缩短,改变其自振频率。读数仪 5 为频率计,通过测量钢弦 7 的自振频率,得到弹性膜片 9 的变形量值,从而通过对比事先标定的压力-频率数据曲线,得到施加在三向压力盒端面上的压力。

[0045] 实施例 2,三向压力盒 1,2 为正方体,其边棱为高强度的钢材制成,端面为可以变形的弹性膜片 10,如图 4 所示,弹性膜片 10 下面(即三向压力盒 1 内部一侧)中央固定有电阻应变片 11。电阻应变片 11 通过数据线 4 与读数仪 5 相连。所述电阻应变片 11 为测量仪器领域中共知,当弹性膜片 10 受到压力弯曲时,使得电阻应变片 11 伸长或者缩短,改变其电阻。读数仪 5 为电流计,通过测量电阻应变片 11 的电阻,得到弹性膜片 10 的变形量值,从而通过事先标定的数据曲线,计算得到施加在三向压力盒端面上的压力。

[0046] 实施例 3,利用本发明方法在平顶山一矿实施的三个测点地应力测试。测试的过程为:在主巷道边墙处钻孔至约 10 米深,把固定有两个三向应力盒的连接杆推至钻孔的孔底,三向压力盒测量部分采用振弦式压力测试结构,导线通过连接杆内部连接到钻孔外的频率计上。对钻孔封口并对其注满标号 M25 的混凝土砂浆液。24 小时以后,所注浆液凝固,从频率计上每隔 1 小时读取一次压力值,约 12 小时数据稳定后,把两个三向压力盒所测得的六个压力数据代入地应力测试原理公式中,方程求解,得出该测试点处的地应力状态。在 -517 石门维修巷道和三水平主运输巷实施的三个测试点测量结果见下表,通过地应力计算公式,得到最大主应力、中间主应力和最小主应力(剪切应力为 0)。

[0047]

| 矿区        | 测点号 | 实测值 (MPa) |       |       |
|-----------|-----|-----------|-------|-------|
|           |     | 最大主应力     | 中间主应力 | 最小主应力 |
| -517 石门巷道 | 1#  | 31.70     | 27.50 | 23.70 |
| 三水平主运输巷   | 2#  | 29.81     | 22.91 | 21.63 |
| 三水平主运输巷   | 3#  | 28.89     | 24.35 | 21.89 |

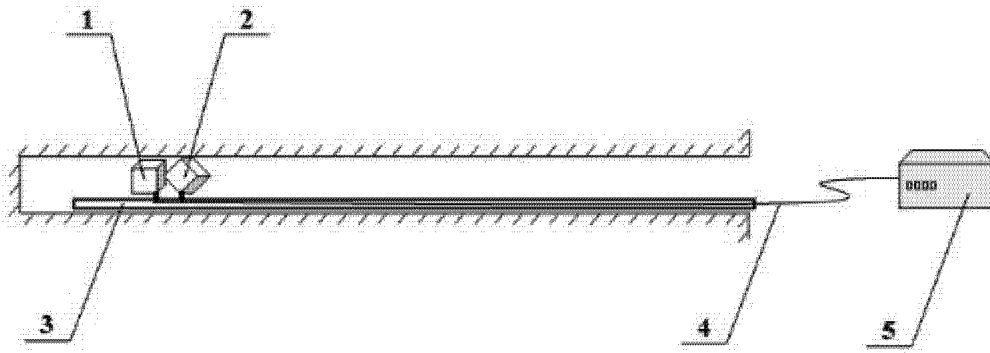


图 1

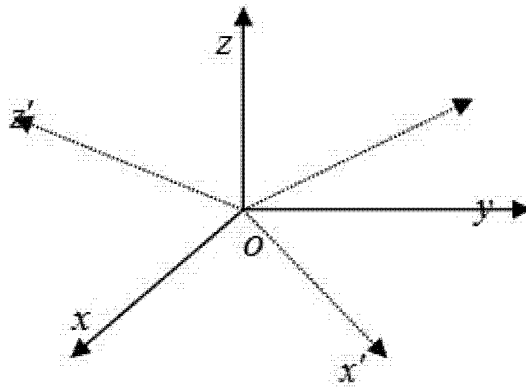


图 2

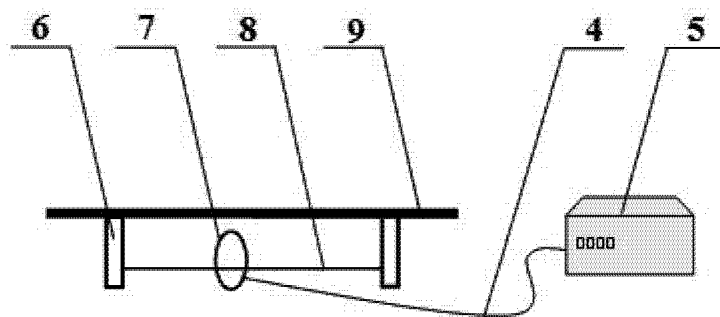


图 3

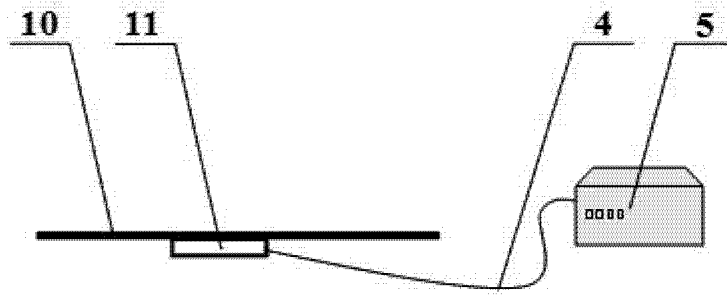


图 4