



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103513016 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 11

(21) 申请号 201310496898. 1

US 3796091 1974. 03. 12, 全文 .

(22) 申请日 2013. 10. 21

审查员 孙博思

(73) 专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

(72) 发明人 刘小燕 刘泉声 张程远 蒋景东

(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.

G01N 33/24(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102628716 A, 2012. 08. 08, 全文 .

CN 103076119 A, 2013. 05. 01, 全文 .

CN 201397207 Y, 2010. 02. 03, 全文 .

DE 3424248 A1, 1986. 01. 09, 全文 .

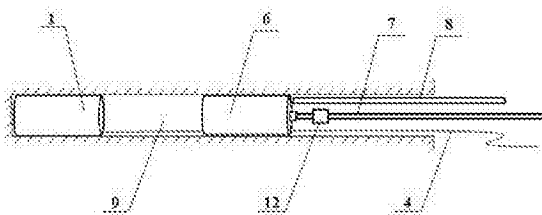
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

采用传感柱的软岩多测点地应力测试方法

(57) 摘要

本发明公开了一种采用传感柱的适用于深部软岩多测点的地应力测试方法。本发明使用一个传感柱固定一对三向压力传感器的相对位置, 一个测点对应一个传感柱。在推送过程中不会出现这两个三向压力传感器之间的相对位移, 由于应力传感柱的直径只是略小于钻孔, 只要少量的注浆就可以使软岩体的应力传递到传感器上。本方法的每个传感器的深度位置和旋转角度可以准确获得, 通过钻孔分段力学模型数值计算得到测试点地应力值, 进一步反演得到区域地应力场。该方法可以监测围岩内部多测点的应力演化过程, 有利于煤矿等深部软岩地应力和围岩稳定性研究。



1. 一种采用传感柱的软岩多测点地应力测试方法,包括以下步骤:

(1) 在软岩巷道围岩体内钻孔,钻孔包含多个测点;

(2) 根据测点数量,制作相同数量的应力传感柱,所述传感柱为含有一对立方体形状三向压力盒的混凝土圆柱体,两个三向压力盒任意两个工作面法线不重合,相邻地放置在圆柱状混凝土中,且立方体中心均在圆柱状混凝土中轴线上;传感柱底面中心处设置一凹槽,内装有连接横杆;应力传感柱侧面有平行轴线的凹槽为线孔,用于放置三向压力盒的数据线;

准备推杆,推杆由多节短杆通过螺纹连接形成,靠近应力传感柱的短杆前端有与连接横杆嵌套连接的连接卡槽,并且该短杆上装有测量旋转角度的测角装置;

(3) 将一个应力传感柱放入钻孔,推杆前端的连接卡槽与应力传感柱的连接横杆嵌套,在孔口处记录推杆初始角度;然后按照设计深度推送至测试点处,数据线引出孔口外;记录传感柱在孔内深度位置;

(4) 插入注浆管在应力传感柱与钻孔壁之间进行注浆,或者采用挤压机构在应力传感柱与钻孔壁之间填充粘结剂,使得应力传感柱与钻孔壁相连接,然后记录传感柱推杆旋转角度,并退出推杆和注浆杆;

(5) 重复步骤(3)~(4),在其余每个测点安装传感柱,并记录每个传感柱在孔内的深度位置和旋转角度;

(6) 计算每个传感柱中三向压力盒的角度和位置,获取每个三向压力盒在局部坐标系下的坐标与方位;

(7) 围岩流变恢复后,基于三向压力盒的读数,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,求得每个传感柱内应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} ;

(8) 基于每个三向压力盒在局部坐标系下的坐标与方位,和分段钻孔力学模型,根据传感柱内应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} ,传感柱尺寸、材料杨氏模量 E 和泊松比 ν ,以及三向压力盒的几何、材料参数,利用有限元数值模拟,以迭代收敛方式求取钻孔次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} ;

(9) 根据多个测点计算得到的钻孔后形成之次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} ,反演未开挖巷道前的原岩应力场 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 。

2. 根据权利要求1所述的软岩多测点地应力测试方法,其特征在于,使用混凝土浇筑制作含有一对三向压力盒传感柱;两个压力盒中心均在圆柱体中轴线上,中心距离为三向压力盒边长的2~3倍,传感柱的高度为三向压力盒边长的5~6倍。

3. 根据权利要求1所述的软岩多测点地应力测试方法,其特征在于,对钻孔实施分段注浆,注浆材料采用水泥砂浆或者水泥浆。

采用传感柱的软岩多测点地应力测试方法

技术领域

[0001] 本发明属于岩土测量技术领域,具体涉及一种采用传感柱的适用于深部软岩多测点的地应力测试方法。

背景技术

[0002] 随着开采深度的增加,煤矿巷道的安全施工越来越离不开对巷道围岩地应力的有效监测。在煤矿深部破碎软弱的围岩中,采用目前常用测试方法进行地应力的有效测试是非常困难的。以硬岩中广泛采用的水压致裂法为例,其钻孔封隔器需要在高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,尤其不适用于煤矿深部节理裂隙发育的破碎软弱岩体。另一种硬岩中常用测试方法为应力解除法。由于煤矿深部松软围岩中岩芯很难获取,无法通过单轴压缩实验得到力学参数,因此应力解除法难以实施。中国科学院武汉岩土力学研究所提出了一种“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”(专利号 201210096644.6),利用深部软岩在高地应力下流变的特性,实现软岩地应力的实时和长期监测。

[0003] 一般深部大断面巷道的稳定性评价需要沿着较深钻孔(如 30 ~ 50 米)进行地应力测量。在实际工程应用中,要了解地应力场的空间分布和时间演化规律,就必须进行多测试点、长期实时的围岩地应力监测。采用专利 201210096644.6 方法进行多测试点地应力监测时,需要将多个传感器组推送至不同深度的孔内位置。由于基于流变应力恢复原理的深部软岩地应力测试方法需要在钻孔内进行全孔注浆,以完成周围岩石应力各向分量的传递,尤其是钻孔轴线方向的应力的传递。多测试点测量需要往孔中安装多个传感器组(一个测试点需要包含两个三向压力传感器),它们之间可能形成遮挡,无法实现全孔段的完全注浆。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题在于提供一种采用传感柱的软岩多测点地应力测试方法。通过该方法,使得多组压力传感器可以相对固定且可测量地安放至钻孔中多个测试点,实现围岩体局部应力场的的计算和测量。

[0005] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0006] 一种采用传感柱的软岩多测点地应力测试方法,包括以下步骤:

[0007] (1) 在软岩巷道围岩体内钻孔,钻孔包含多个测点;

[0008] (2) 根据测点数量,制作相同数量的应力传感柱,所述传感柱为含有一对立方体形状三向压力盒的混凝土圆柱体,两个三向压力盒任意两个工作面法线不重合,相邻地放置在圆柱状混凝土中,且立方体中心均在圆柱状混凝土中轴线上;传感柱底面中心处设置一凹槽,内装有连接横杆;应力传感柱侧面有平行轴线的凹槽为线孔,用于放置三向压力盒的数据线;

[0009] 准备推杆,推杆由多节短杆通过螺纹连接形成,靠近应力传感柱的短杆前端有与

连接横杆嵌套连接的连接卡槽,并且该短杆上装有测量旋转角度的测角装置;

[0010] (3) 将一个应力传感柱放入钻孔,推杆前端的连接卡槽与应力传感柱的连接横杆嵌套,在孔口处记录推杆初始角度;然后按照设计深度推送至测试点处,数据线引出孔口外;记录传感柱在孔内深度位置;

[0011] (4) 插入注浆杆在应力传感柱与钻孔壁之间进行注浆,或者采用挤压机构在应力传感柱与钻孔壁之间填充粘结剂,使得应力传感柱与钻孔壁相连接,然后记录传感柱推杆旋转角度,并退出推杆和注浆杆;

[0012] (5) 重复步骤(3)~(4),在其余每个测点安装传感柱,并记录每个传感柱在孔内的深度位置和旋转角度;

[0013] (6) 计算每个传感柱中三向压力盒的角度和位置,获取每个三向压力盒在局部坐标系下的坐标与传感面方位;

[0014] (7) 围岩流变恢复后,基于三向压力盒的读数,按照专利 201210096644.6 方法,求得每个传感柱内的应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} ;

[0015] (8) 基于每个三向压力盒在局部坐标系下的坐标与方位,和分段钻孔力学模型,根据传感柱内应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} ,传感柱尺寸、材料杨氏模量 E 和泊松比 ν ,以及三向压力盒的几何、材料参数,利用有限元数值模拟,以迭代收敛方式求取钻孔次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} ;

[0016] (9) 根据多个测点计算得到的钻孔后形成之次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} ,反演未开挖巷道前的原岩应力场 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 。

[0017] 安装传感柱过程中,除第一个传感柱外,后推入的传感柱均需将前面多个三向压力盒的数据线纳入传感柱侧面的线孔内,平顺地往孔内推进。

[0018] 作为一种优选,使用水泥砂浆混凝土浇筑制作含有一对三向压力盒的圆柱体,形成传感柱,两个压力盒立方体中心均在圆柱体中轴线上,中心距离为立方体边长的 2~3 倍,圆柱体长度为立方体边长的 5~6 倍。

[0019] 所述的测角装置可以为测量与重力方向夹角的测角装置。

[0020] 本发明使用一个传感柱固定一对三向压力传感器的相对位置,在推送过程中不会出现这两个三向压力传感器之间的相对位移,由于应力传感柱的直径只是略小于钻孔,只要少量的注浆就可以使软岩体的应力传递到传感器上,注浆凝固时间短,能更好地使软岩岩体内部压应力的测量得以实现。对钻孔实施分段的少量注浆,注浆材料采用水泥砂浆或者水泥浆。

[0021] 如果采用含有多个传感器组的传感柱,在深孔推送过程中,可能会发生传感柱整体的扭转。而基于流变应力恢复原理的深部软岩地应力测试方法在实施时,对两个传感器(三向压力盒)的绝对位置和相对角度的测量精度要求很高,需要对多个压力传感器在钻孔中的实际位置和角度进行精确地测量。

[0022] 软岩在钻孔后,容易出现自崩塌现象,且孔壁较软,容易在受到外力切削时崩塌。本发明提出使用应力传感柱前端和侧面没有像钢制传感器棱角一样较硬的尖锐突起,在推送过程中不易造成孔壁崩塌。

[0023] 本发明具有以下的优点和有益效果:①适应流变应力恢复原理的深部软岩地应力测试方法的多个应力传感组可平顺通过软岩钻孔到达多个测试点,进行监测;②每个传感

器的深度位置和旋转角度可以准确获得,易于解算测试点地应力值;③传感器组以传感柱形式安装,不需要全孔注浆,更易于钻孔中实施,通过计算得到沿着钻孔多个空间点的应力值,有利于局部应力场的反演和围岩稳定性分析。

附图说明

- [0024] 图 1 为软岩地应力测量中应力传感柱的结构示意图,
- [0025] 1- 应力传感柱,2- 三向压力盒,3- 三向压力盒。
- [0026] 图 2 为应力传感柱结构截面示意图。
- [0027] 1- 应力传感柱,4- 数据线,5- 线孔。
- [0028] 图 3 为多点应力测试施工步骤示意图。
- [0029] 1- 应力传感柱,4- 数据线,6- 应力传感柱,7- 推杆,8- 注浆杆,9- 钻孔,12- 测角仪。
- [0030] 图 4 为传感柱分段力学计算模型示意图。
- [0031] 1- 应力传感柱,9- 钻孔。
- [0032] 图 5 为推杆与传感柱连接示意图。
- [0033] 1- 应力传感柱,7- 推杆,10- 连接横杆,11- 连接卡槽。
- [0034] 图 6 为分段传感柱应力测试与区域地应力场反演结果。

具体实施方式

- [0035] 下面结合附图对本发明作进一步详细的说明。
- [0036] 本发明公开了一种深部软岩地应力测试装置的定位安装和地应力计算方法,包括以下步骤:
- [0037] (1) 在软岩巷道围岩体内钻孔,包含了多个测试点的位置。
- [0038] (2) 制作含有一对三向压力盒的水泥砂浆圆柱体,圆柱体直径比测量钻孔直径小 0.5 ~ 1cm,两个立方体形状的三向压力传感器相邻地放置在圆柱状水泥砂浆中,立方体中心均在水泥砂浆圆柱体中轴线上,形成传感柱 1 (如图 1 所示);应力传感柱 1 侧部外表有一条圆柱状的线孔 5,用于放置已经安装在钻孔更深处传感器使用的通过本应力传感柱的数据线 4。推杆 7 的前端(靠近应力传感柱 1)有与应力传感柱 1 的连接卡槽 11 (应力传感柱 1 后端中轴线处有相应的连接横杆 10),并且推杆 7 上装有测量旋转角度的测角仪 12 ;
- [0039] (3) 将应力传感柱 1 放入钻孔,推杆 7 前端的连接件 10 与应力传感柱 1 的连接件相连,在孔口处记录推杆 7 初始角度;除第一个应力传感柱外,后推入的应力传感柱均需将前面多个传感器的数据线纳入应力传感柱 1 侧部的线孔 5 内,平顺地往孔内推进。
- [0040] (4) 将应力传感柱 1 沿钻孔按照设计深度推送至测试点处,数据线 4 引出孔口外;推送完成后,根据孔内推杆 7 根数和最后一根的出露长度,计算得到当前传感柱体 1 在孔内深度位置,记录。
- [0041] (5) 插入注浆杆 8 抵达应力传感柱 1 处,在应力传感柱 1 与钻孔壁之间进行少量注浆,使得应力传感柱 1 与钻孔壁相连接。
- [0042] (6) 记录推杆 7 旋转角度,并退出推杆 7 和注浆杆 8。
- [0043] (7) 根据设计需要,按照上述步骤进行下一个应力传感柱的安装和记录,直至测试

点传感器组全部完成。

[0044] (8) 计算所有的应力传感柱中传感器角度和位置, 获取所有传感器在局部坐标系下的坐标与方位。

[0045] (9) 围岩流变恢复过程中, 钻孔逐渐收缩, 施加压力在应力传感柱 1 上, 基于传感器组的读数, 根据单测点双压力盒应力方程求解法(参见“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”, 专利号 201210096644.6), 求得应力传感柱内的应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} 。

[0046] (10) 基于分段钻孔力学模型, 根据传感柱内应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} , 传感柱尺寸、材料杨氏模量 E 和泊松比 ν , 以及压力盒的几何、材料参数, 利用有限元力学数值模拟, 以迭代收敛方式求取钻孔次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} 。分段钻孔力学模型沿钻孔轴的二维截面如图 4 所示, 应力传感柱 1 两端受力为 0, 轴向力 F_z 通过钻孔壁与应力传感柱 1 之间的注浆胶结传递到应力传感柱 1 上; 径向力 F_y 直接压缩或者拉张传递到应力传感柱 1 上。

[0047] (11) 根据多个测点计算得到的钻孔后形成之次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} , 建立区域空间力学模型, 反演未开挖巷道前的原岩应力场 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 。

[0048] 实施例 1

[0049] 针对深度 800 ~ 1000 米的煤系地层软岩, 首先制作相应的应力传感柱 1, 利用模具, 使用 C2.5 标号水泥砂浆将两个正方体形状的三向压力盒 2 和 3 包裹, 形成水泥砂浆圆柱体, 直径约 120mm, 侧部外表有数据线孔 5。三向压力传感器 2、3 的中心均在应力传感柱 1 (圆柱状水泥砂浆体) 的中轴线上。应力传感柱 1 引出三向压力盒 2 和 3 导线的一端的中轴线处, 在浇筑时形成一个圆柱状凹槽, 深度 8cm, 直径与推杆 7 外径相同。凹槽中沿圆柱直径固定有一根不锈钢制作的横杆, 成为与推杆 7 对应的连接件。应力传感柱 1 加水养护至标准强度的 50%, 待用。

[0050] 推杆 7 使用中空的不锈钢管制作, 前端管壁直径两端沿轴向切割有 U 字形的连接件 10, 长度 5cm。推杆 7 距离前端 20cm 处安装有根据重力测量角度的测角仪 11, 采用国科舰航的 FEC-60 型测角仪与推杆 7 同轴安装。推杆 7 为多节短杆形式, 每节长 120cm, 除连接应力传感柱 1 的第一节外, 每节两端均为螺纹相互连接。

[0051] 在煤矿 800 ~ 1000 米深部软岩巷道应用时, 巷道直径大约 4 米, 钻孔深度 30 米, 孔径 130mm, 钻孔后将第一个应力传感柱 1 放入孔中, 三向压力盒 2 和 3 的数据线 4 朝后延伸出孔外, 推杆 7 前端第一节通过连接件 10 与应力传感柱 1 连接, 使用测角仪 11 记录推杆 7 初始旋转角度 θ_0 。往孔中推送后, 每一节推杆 7 均于钻孔口处连接, 推杆整体不断加长, 直至将应力传感柱 1 推送到钻孔底部测试点处, 记录推杆 7 最终旋转角度 θ_1 , 根据推杆 7 使用的数量和最后一根的出露长度, 计算该应力传感柱的深度 L , 以备计算使用。后面推入的应力传感柱均需将前面多个传感器的数据线 4 纳入应力传感柱 1 侧部的线孔 5 内, 轻轻拉直, 平顺地往孔内推进。每次推送一个应力传感柱 1 到指定位置后, 插入注浆杆 8 抵达应力传感柱 1 后沿处, 在应力传感柱 1 与钻孔壁之间进行注浆, 采用水泥浆, 只用少量即可使得应力传感柱 1 与钻孔壁紧密连接。

[0052] 具体计算区域原岩地应力场时, 需要分步骤进行: (1) 以钻孔孔口中心为原点, 巷

道轴线方向为 X 轴,切向为 Y 轴,钻孔轴向为 Z 轴,建立坐标系,将多个测点所有传感器在应力传感柱局部坐标系下的坐标与方位转换到该坐标系下。其中,使用应力传感柱 1 推送前后角度差(最终旋转角度 θ_1 -初始旋转角度 θ_0)以及应力传感柱 1 在孔中的深度 L,得到应力传感柱 1 的几何姿态。(2)待钻孔逐渐收缩施加压力在应力传感柱 1 后,基于传感器组的读数,根据单测点双压力盒应力方程求解法(参见“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”,专利号 201210096644.6),求得传感柱内应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} 。(3)建立分段钻孔力学模型:应力传感柱 1 两端受力设为 0,轴向位移与应力传感柱 1 上轴向位移连续;径向力在应力传感柱 1 于孔壁界面上连续。利用有限元力学数值模拟,设定钻孔次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} 的初始值,传感柱尺寸、材料杨氏模量 E 和泊松比 ν ,以及压力盒的几何、材料参数等,计算传感柱内应力分量 σ''_x 、 σ''_y 、 σ''_z 、 τ''_{xy} 、 τ''_{yz} 、 τ''_{zx} ,根据差值以最小二乘法等迭代方式不断修正钻孔次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} 的值,直到收敛得解。(4)根据多个测点计算得到的钻孔后形成之次生应力 σ'_x 、 σ'_y 、 σ'_z 、 τ'_{xy} 、 τ'_{yz} 、 τ'_{zx} ,建立有开挖巷道时的区域空间力学模型,设定原岩应力场 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 初始值,使用类似步骤(3)中的迭代方法求得无开挖巷道时的原岩应力场 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 。

[0053] 应力的测量和反演是基于数值模拟完成的,建立分段钻孔力学模型后进行力学场的数值模拟,可得到非均质性很强的空间应力分布。如图 6 上部所示,传感柱两端处有很强的应力集中。进一步反演后显示,巷道开挖后,从岩体表面到内部, Y 方向(重力方向)应力呈减小趋势,符合应力重分布的基本力学概念,如图 6 下部所示(为显示钻孔位置保留测试孔边界线),数值大小为 20 ~ 35MPa,此结果可作为巷道开挖和邻近巷道来压的应力监测分析提供基础数据。

[0054] 由于巷道开挖后围岩应力释放,巷道壁附近的岩体内部可能会出现岩石破碎的松动圈,加之原生的节理裂隙的存在,岩体中的应力场是不均匀的,结合钻孔摄像或者声波探测方法获取围岩中裂隙和破碎程度的空间分布信息,是建立合理的应力场初始力学模型的重要信息来源。本方法需要在钻孔中推入应力传感柱,其力学分段模型显示人为导致的应力集中非常明显,因此应力传感柱的材料性质、几何参数以及空间位置在本方法实施时必须准确测量,尽量接近实际情况的模型构建是上述地应力场反演计算过程稳定准确的保证。

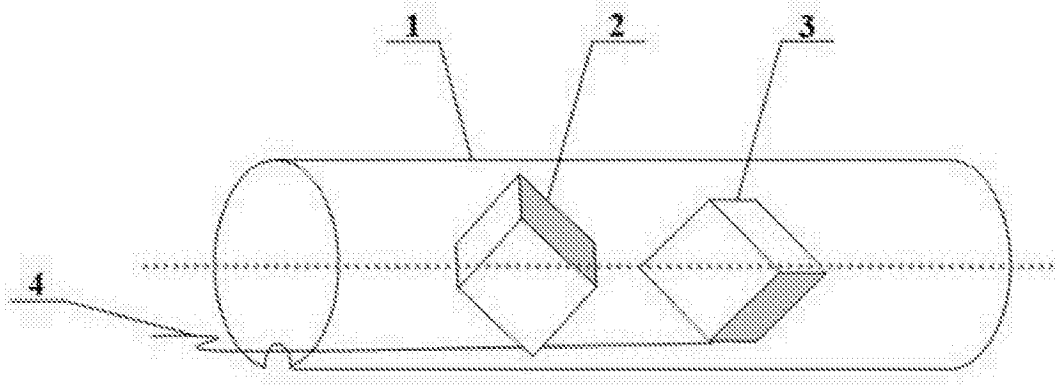


图 1

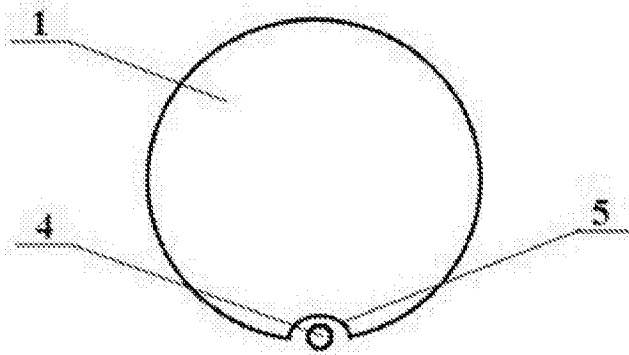


图 2

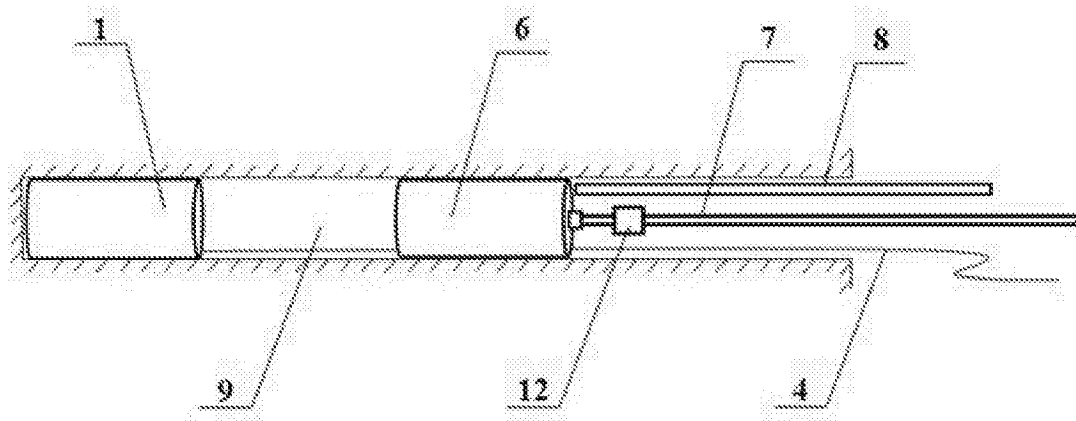


图 3

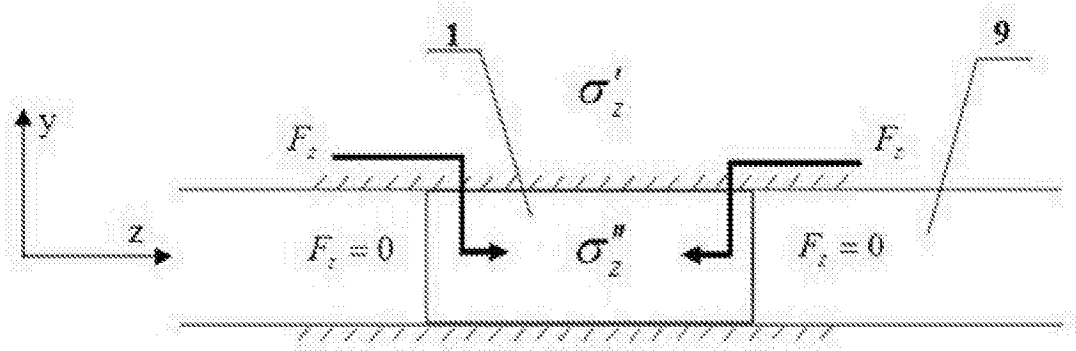


图 4

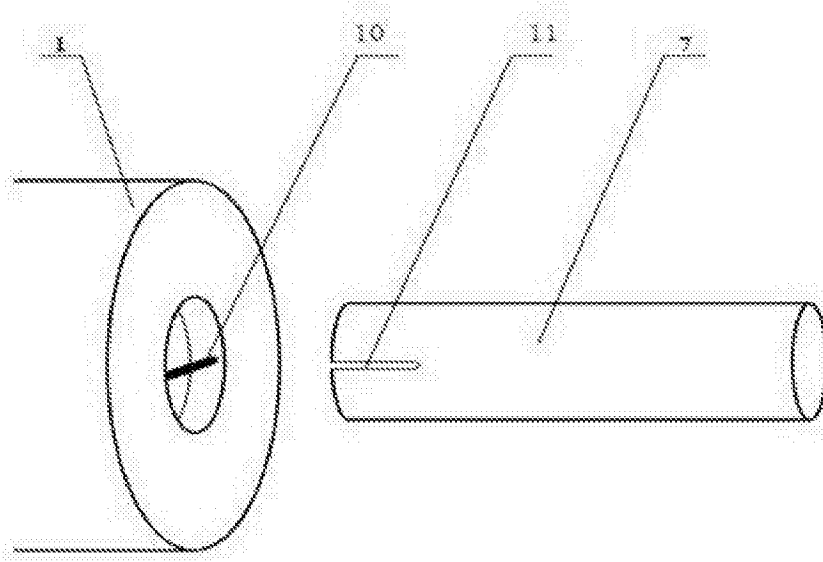


图 5

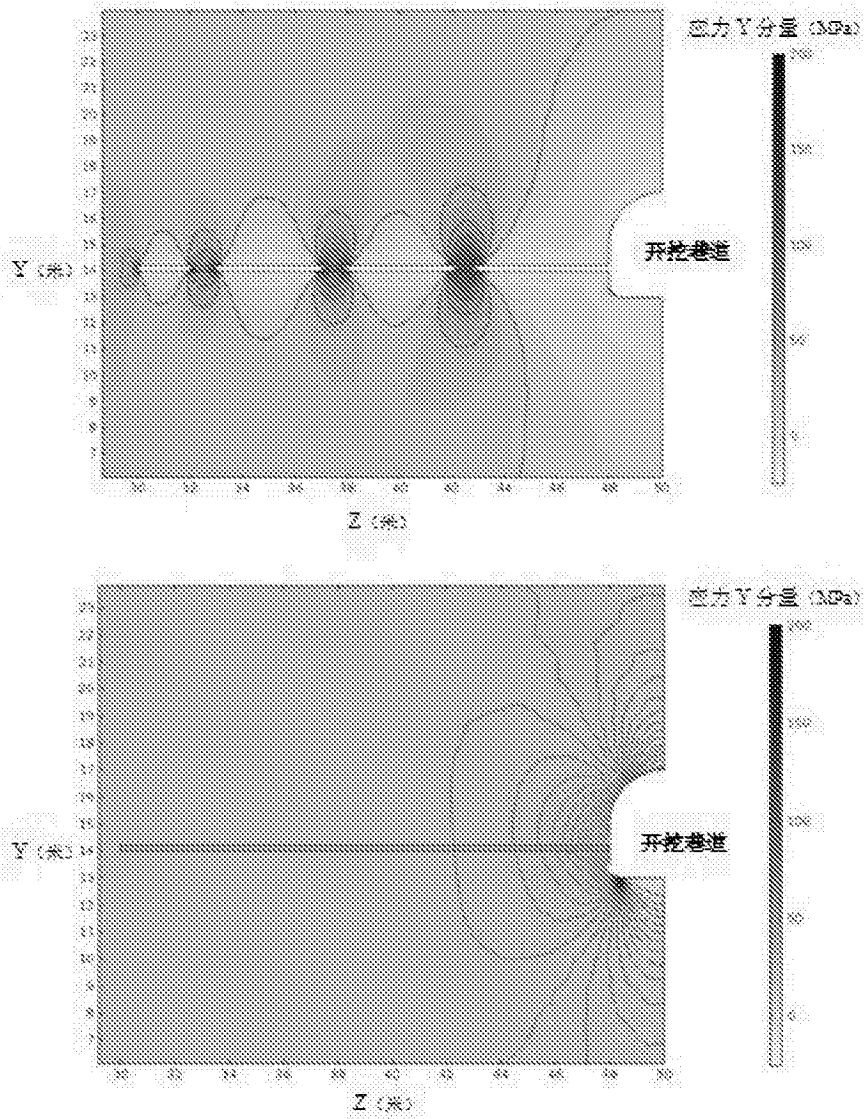


图 6