



## (12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 208106468 U

(45)授权公告日 2018.11.16

(21)申请号 201820023054.3

(22)申请日 2018.01.08

(73)专利权人 中国矿业大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路丁11号

(72)发明人 王宏伟 张越 方婷婷 邓代新  
白慧芳

(51)Int.Cl.

E21D 21/02(2006.01)

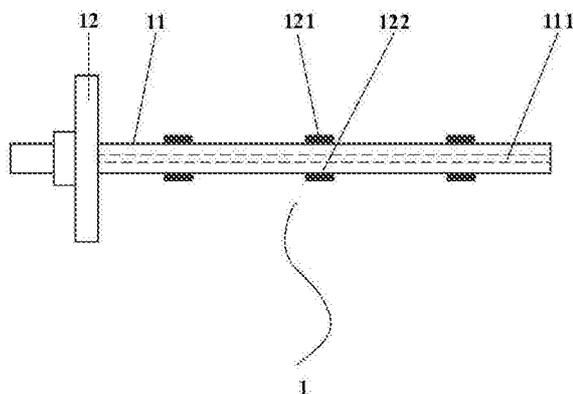
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

### (54)实用新型名称

一种锚杆应力与变形一体化监测的装置

### (57)摘要

本发明涉及一种锚杆应力与变形一体化监测的装置,包括一根高强度螺纹钢锚杆,锚杆托盘和焊接于锚杆杆体表面的三组应变花。所述锚杆为高强度螺纹钢锚杆,与围岩的锚固方式是端头锚固,所述应变花焊接于锚杆杆体横截面外周壁的上下两侧。本发明的有益效果是利用锚杆的变形和应变花对不同方向应变的监测,实现锚杆应力与变形的一体化监测,从而更为全面地反映锚杆在支护围岩过程中的受力和变形状态。



1. 一种锚杆应力与变形一体化监测的装置,其特征在于,包括:

锚杆组件(1),所述锚杆组件(1)包括锚杆本体(11)和锚杆托盘(12),所述锚杆本体(11)为端头锚固式锚杆,且锚杆本体(11)上沿轴线布置有用于连接应变花和电脑的数据传输导线的细孔(111);

应变花(2),所述应变花(2)焊接于锚杆本体(11)横截面的外周壁的上侧和下侧,用于监测锚杆受力过程中杆体变形时一点应变状态的3个应变分量 $\epsilon_x$ , $\epsilon_y$ 和 $\gamma_{xy}$ ;

其中 $\epsilon_x$ 表示x方向应变, $\epsilon_y$ 表示y方向应变, $\gamma_{xy}$ 表示切应变。

2. 根据权利要求1所述的锚杆应力与变形一体化监测的装置,其特征在于,应变花(2)分别焊接于锚杆本体(11)的三个横截面上,第一个横截面位于锚杆托盘附近,第二个横截面位于锚杆的中部,第三个横截面位于锚杆端头锚固端附近。

3. 根据权利要求1所述的锚杆应力与变形一体化监测的装置,其特征在于,所述应变花(2)为两组,分别为焊接在锚杆横截面的外周壁上侧面(121)上的第一应变花和焊接在锚杆横截面的外周壁下侧面(122)上的第二应变花;

所述第一应变花由三个应变片组成,相邻的两个应变片之间的夹角为 $120^\circ$ ;

所述第二应变花由组成一个等边三角形的三个应变片组成,相邻的两个应变片之间的夹角为 $60^\circ$ 。

4. 根据权利要求1所述的锚杆应力与变形一体化监测的装置,其特征在于,所述锚杆本体(11)由高强度螺纹钢制成,锚固方式为端头锚固。

## 一种锚杆应力与变形一体化监测的装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及岩土工程和采矿工程领域,具体地说,涉及一种锚杆应力与变形一体化监测的装置。

### 背景技术

[0002] 早在20世纪40年代,美国与前苏联就已经在井下巷道中使用了锚杆支护技术。此后,由于锚杆支护技术的显著技术经济优越性,迅速在煤矿,金属矿山,水利,隧道及其他地下工程中得到了广泛应用。我国从1956年起在煤矿岩巷中使用锚杆支护,至今已有60年的历史。由于锚杆本身在受到外界压力时会产生一定的变形与破坏,在达到其所能承受的极限变形状态时,会发生强烈的破坏,造成严重的事故。为了保证锚杆支护的有效性与长期性,我们必须在锚杆使用的过程中对其受到的应力与其产生的变形进行监测,观察锚杆的变形与受到的应力是否达到锚杆材料的强度极限,从而能够在需要的时候采取必要的加强措施或提出预警,防止灾难性事故的发生。因此,对于锚杆应力与变形的检测在锚杆的使用过程中占有非常重要的地位。

[0003] 当前,锚杆的监测主要集中在应力方面,应力的分布状态反映了锚杆的工作状况,借此判断锚杆的满载程度,是否发生屈服,进而判定顶板是否安全,支护参数是否合理。目前,通过锚杆本身监测受力状态的装置主要为测力锚杆。目前常用测力锚杆中用来测量锚杆中应力装置的种类主要有电阻应变式、钢弦式、液压枕式等,一般来说,电阻应变式精度高,钢弦式测力计信号稳定,数据采集传输可实现自动化,液压枕式测力计显示直观,使用方便。但与此同时,这些测力锚杆也均有一定的缺点,一般情况下,受电磁场干扰大,在湿度较大或者温度差异较大的条件下敏感程度会大大降低,无法准确的测得锚杆所受的应力与变形,更不能适应在偏载和爆破震动、坍落岩石的冲击下长期进行正常的运行和操作,未形成系列配套的综合检测技术,这是今后锚杆在应力及位移监测方面需要解决的重要问题。另外,这些并不能同时测出巷道围岩位移量。目前,使用综合测量装置,对安装好的锚杆进行监测成为一大技术难题。

[0004] 综合以上锚杆应力监测技术的发展现状,为了能够解决应力监测技术上遇到的困难给锚杆变形监测带来的阻碍,因此可从另一个角度出发:在考虑锚杆内部的应力状态的同时,将监测的目标同时转向锚杆的变形状态,为此,本发明提出监测锚杆应力的同时,对锚杆变形也进行监测的设想,并使之发展为一套完备的锚杆应力与变形一体化监测的装置。

### 发明内容

[0005] 由于国内现有的测力锚杆只能单一地监测锚杆应力,不能实现位移监测,所以本发明要解决的问题是完善在锚杆应力与变形一体化监测方面的缺漏。

[0006] 具体涉及技术原理包括:1) 常规锚杆的材质为高强度螺纹钢,具有支护作用;2) 在弹性力学中,可以由一点的应变分量计算该点任何斜向的正应变;3) 在一定比例极限范围

内,材料的应力与应变存在线性关系,由此可求得正应力和切应力;4)在弹性力学中,可以由位移与应变之间存在的几何关系求解轴向位移;5)根据材料力学扭转问题中扭矩、扭转角和切应力三者之间关系可以求得扭矩和扭转角。

[0007] 监测原理:该装置的监测步骤为,首先通过应变花监测锚杆的应变变量;再通过本构方程可求出锚杆的正应力和切应力;进而通过应变与位移的关系可求得锚杆的轴向位移;最后通过扭矩、扭转角和切应力三者之间的关系可以求得扭矩和扭转角,从而实现对锚杆应力与变形的一体化监测。

[0008] 本发明提供一种新型的锚杆应力与变形一体化监测的装置,包括由用于围岩支护的锚杆改装成的测量锚杆应变的组件,以及由三个应变片组成的不同形式的应变花。

[0009] 本发明通过应变花对锚杆应变的监测,利用下式得出三维空间中锚杆横截面上的应变分量:

$$[0010] \quad \varepsilon_1 = l_1^2 \varepsilon_x + m_1^2 \varepsilon_y + l_1 m_1 \gamma_{xy}$$

$$[0011] \quad \varepsilon_2 = l_2^2 \varepsilon_x + m_2^2 \varepsilon_y + l_2 m_2 \gamma_{xy};$$

$$[0012] \quad \varepsilon_3 = l_3^2 \varepsilon_x + m_3^2 \varepsilon_y + l_3 m_3 \gamma_{xy}$$

[0013] 其中, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ 为应变花所测得的应变, $l_1, m_1, l_2, m_2, l_3, m_3$ 分别为各个应变片所对应的方向余弦。

[0014] 进一步,应用弹性力学中应力与应变之间的本构关系和应变与位移之间的几何关系求出锚杆的应力分量和位移量,从而实现对锚杆应力与变形的一体化监测。

[0015] 本发明提供一种锚杆应力与变形一体化监测的装置,包括:

[0016] 锚杆组件,所述锚杆组件包括锚杆本体和锚杆托盘,所述锚杆为端头锚固式锚杆,且锚杆沿轴线布置有细孔,所述细孔为连接应变花和电脑的数据传输导线的通道;

[0017] 应变花,所述应变花焊接在锚杆本体横截面外周壁的上侧和下侧,用于监测锚杆受力过程中一点应变状态的3个应变分量 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ 和 $\gamma_{xy}$ 。

[0018] 进一步,所述应变花为两组,分别为连接在锚杆横截面外周壁上侧面上的第一应变花和连接在锚杆横截面外周壁下侧面上的第二应变花;

[0019] 所述第一应变花由三个应变片组成,相邻的两个应变片之间的夹角为 $120^\circ$ ;

[0020] 所述第二应变花由组成一个等边三角形的三个应变片组成,相邻的两个应变片之间的夹角为 $60^\circ$ 。

[0021] 本发明提供的锚杆应力与变形一体化监测的装置,不仅克服了单一应力监测存在的缺陷,还集应力与变形监测于一体,简洁明了、节省人力物力。本发明主要根据锚杆在使用过程中锚杆本体的受力平衡以及应变与位移之间的关系,提出一套合理的锚杆应力与变形一体化监测的装置,从而保证锚杆使用过程中的安全。

[0022] 本发明还提供一种新型锚杆应力与变形的监测方法,主要包括如下监测步骤:

[0023] S1,通过应变花测得锚杆本体横截面上下两个测点的应变,并取平均值测得x方向应变 $\varepsilon_x$ ,y方向应变 $\varepsilon_y$ 和切应变 $\gamma_{xy}$ ;

[0024] S2,根据应变与位移之间的几何关系求出锚杆本体受力过程中的位移,实现对位移的监测;

[0025] S3,根据应力与应变之间的关系求出锚杆本体受力过程中锚杆本体的正应力,进而可求出锚固段对锚杆本体的拉力。

[0026] S4,根据应变与应力之间的关系求出锚杆本体受力过程中锚杆本体的切应力,进而可求得锚杆本体的扭矩和扭转角。

[0027] 进一步,在步骤S1中,不同形式的应变花测得的应变分量由以下的公式计算:

$$[0028] \text{ 对于第一应变花: } \varepsilon_x = \frac{-\varepsilon_{90^\circ} + 2\varepsilon_{30^\circ} + 2\varepsilon_{150^\circ}}{3}, \quad \varepsilon_y = \varepsilon_{90^\circ}, \quad \gamma_{xy} = \frac{2(\varepsilon_{30^\circ} - \varepsilon_{150^\circ})}{\sqrt{3}};$$

$$[0029] \text{ 对于第二应变花: } \varepsilon_x = \varepsilon_{0^\circ}, \quad \varepsilon_y = \frac{2\varepsilon_{60^\circ} + 2\varepsilon_{120^\circ} - \varepsilon_{0^\circ}}{3}, \quad \gamma_{xy} = \frac{2(\varepsilon_{120^\circ} - \varepsilon_{60^\circ})}{\sqrt{3}};$$

[0030] 其中 $\varepsilon_x$ 表示x方向应变, $\varepsilon_y$ 表示y方向应变, $\gamma_{xy}$ 表示切应变;

[0031] 最终锚杆的x方向应变、y方向应变以及切应变均取上述两组应变花所测得结果的平均值。

[0032] 进一步,在步骤S2中,由应变与位移之间存在的几何关系: $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ 、 $\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$ ,可推

得: $u = \int \varepsilon_x dx + C_1$ , $v = \int \varepsilon_y dy + C_2$ ;

[0033] 其中,u和v分别为锚杆的x和y方向的位移, $C_1$ 和 $C_2$ 为积分常数。

[0034] 进一步,在步骤S3中,由于锚杆的锚固方式为端头锚固,对锚杆本体进行受力分析如下:

$$[0035] \quad \sigma = E\varepsilon_x;$$

$$[0036] \quad F - \frac{\pi(D^2 - d^2)\sigma}{4} = 0;$$

[0037] 其中, $\sigma$ 表示锚杆横截面上的正应力,E为锚杆材料的弹性模量, $\varepsilon_x$ 为锚杆的x方向应变,D为锚杆直径,d为细孔直径,F为锚固端对锚杆的拉力。

[0038] 进一步,在步骤S4中,计算锚杆表面切应力的公式为:

$$[0039] \quad \tau_{xy} = G \gamma_{xy};$$

[0040] 其中, $\tau_{xy}$ 表示切应力,G表示锚杆材料的切变模量;

[0041] 根据所求得的切应力,计算锚杆扭矩和扭转角的公式为:

$$[0042] \quad T = W_p \tau_{xy} = \frac{\tau_{xy} \pi (D^3 - d^3)}{16};$$

$$[0043] \quad \varphi = \frac{Tl}{GI_p};$$

[0044] 其中,T为扭矩, $W_p$ 为锚杆的扭转截面系数, $\varphi$ 为扭转角,l为计算时所截锚杆的长度, $GI_p$ 为锚杆的扭转刚度。

## 附图说明

[0045] 图1为本发明的锚杆应力与变形一体化监测装置的结构示意图;

[0046] 图2为本发明的锚杆应力与变形一体化监测装置的局部结构示意图;

[0047] 图3为本发明的第一应变花的结构示意图;

[0048] 图4为本发明的第二应变花的结构示意图;

[0049] 图5为本发明的锚杆应力与变形一体化监测装置的受力分析示意图;

## 具体实施方式

[0050] 以下结合附图对本发明的原理和特征进行描述,所举实例只用于解释本发明,并非用于本发明的范围。

### [0051] 实施例1

[0052] 如图1所示,本发明提供一种锚杆应力与变形一体化监测的装置,包括:锚杆组件(1),所述锚杆组件(1)包括锚杆本体(11)和锚杆托盘(12),所述锚杆本体(11)为端头锚固式锚杆,且锚杆(11)沿轴线布置有细孔(111),所述细孔(111)为连接应变花和电脑的数据传输导线的通道;应变花(2),所述应变花(2)焊接在锚杆本体(11)横截面外周壁的上侧和下侧,用于监测锚杆受力过程中一点应变状态的3个应变分量 $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ 和 $\gamma_{xy}$ 。

[0053] 如图2所示,所述应变花(2)为两组,分别为连接在锚杆横截面外周壁上侧面(121)上的第一应变花和连接在锚杆横截面外周壁下侧面(122)上的第二应变花;

[0054] 如图3所示,所述第一应变花由三个应变片组成,相邻的两个应变片之间的夹角为 $120^\circ$ ;

[0055] 如图4所示,所述第二应变花由组成一个等边三角形的三个应变片组成,相邻的两个应变片之间的夹角为 $60^\circ$ ;

[0056] 另外,应变花(2)的焊接方式是在锚杆的水平切面(121)和竖直切面(122)上分别焊接一组,呈线性分布。每个应变花(2)都由导线连接,导线经细孔(111)出线连接电脑,将监测到的数据实时传递给电脑,进行计算。

### [0057] 实施例2

[0058] 本发明还提供一种锚杆应力与变形一体化监测的装置,实现对锚杆应力与变形的同步监测。

[0059] 主要包括如下监测步骤:

[0060] S1,通过应变花测得锚杆本体横截面上下两个测点的应变,并取平均值测得x方向应变 $\varepsilon_x$ ,y方向应变 $\varepsilon_y$ 和切应变 $\gamma_{xy}$ ;

[0061] S2,根据应变与位移之间的几何关系求出锚杆本体受力过程中的位移,实现对位移的监测;

[0062] S3,根据应变与应力之间的关系求出锚杆本体受力过程中锚杆本体的正应力,进而可求出锚固段对锚杆本体的拉力;

[0063] S4,根据应变与应力之间的关系求出锚杆本体受力过程中锚杆本体的切应力,进而可求得锚杆本体的扭矩和扭转角。

[0064] 以河南永煤集团城郊矿某巷道的具体数据为例,所用锚杆的长度为2.0m,直径为20mm;第一应变花中 $30^\circ$ 、 $90^\circ$ 和 $150^\circ$ 的应变片测得的数据分别为:0.001、0.0005、0.0008;第二应变花中 $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 和 $120^\circ$ 的应变片测得的数据分别为:0.001、0.0005、0.0015;

[0065] 对于第一应变花: $\varepsilon_x = \frac{-\varepsilon_{90^\circ} + 2\varepsilon_{30^\circ} + 2\varepsilon_{150^\circ}}{3}$ ,  $\varepsilon_y = \varepsilon_{90^\circ}$ ,  $\gamma_{xy} = \frac{2(\varepsilon_{30^\circ} - \varepsilon_{150^\circ})}{\sqrt{3}}$ ;

[0066] 对于第二应变花: $\varepsilon_x = \varepsilon_{0^\circ}$ ,  $\varepsilon_y = \frac{2\varepsilon_{60^\circ} + 2\varepsilon_{120^\circ} - \varepsilon_{0^\circ}}{3}$ ,  $\gamma_{xy} = \frac{2(\varepsilon_{120^\circ} - \varepsilon_{60^\circ})}{\sqrt{3}}$ ;

[0067] 取两组计算结果的平均值,则锚杆的x方向应变、y方向应变以及切应变分别为:

0.00102、0.00075、0.00069。

[0068] 由于锚杆本体(11)的锚固方式为端头式锚固,对锚杆本体进行受力分析如下:

[0069]  $\sigma = E\varepsilon_x$ ;

[0070]  $F - \frac{\pi(D^2 - d^2)\sigma}{4} = 0$ ;

[0071] 其中, $\sigma$ 表示锚杆横截面上的正应力, $E$ 为锚杆材料的弹性模量,取200GPa, $\varepsilon_x$ 为锚杆的 $x$ 方向应变, $D$ 为锚杆直径,取20mm, $d$ 为细孔直径,取2mm, $F$ 为锚固端对锚杆的拉力。

[0072] 经计算可得,锚杆横截面上的正应力 $\sigma = E\varepsilon_x = 204\text{MPa}$ ,锚固端对锚杆的拉力

$F = \frac{\pi(D^2 - d^2)\sigma}{4} = 63.45\text{kN}$ 。

[0073] 由位移与应变之间的几何关系: $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ 、 $\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$ ,得: $u = \int \varepsilon_x dx + C_1$ 、 $v = \int \varepsilon_y dy + C_2$ ;

[0074] 其中, $u$ 和 $v$ 分别为锚杆的 $x$ 和 $y$ 方向的位移, $C_1$ 和 $C_2$ 为积分常数。

[0075] 设锚杆本体(11)与锚杆托盘(12)相连的横截面的中心为原点,由锚杆的端头锚固端的位移为0可得边界条件为: $u|_{x=2.0} = 0$ ,最终可以得到 $u = 0.00102x - 0.00204$ ; $v$ 为 $y$ 方向的位移,即锚杆轴线发生的弯曲,一般为0。则可求得锚杆中点 $x = 1.0$ , $y = 0$ 时, $u = -0.00102$ , $v = 0$ ,即锚杆中点处的轴向位移为0.102cm。

[0076] 计算锚杆表面切应力的公式为:

[0077]  $\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$ ;

[0078] 其中, $\tau_{xy}$ 表示切应力, $G$ 表示锚杆材料的切变模量,取80GPa, $\gamma_{xy}$ 为切应变,根据公式可求得切应力 $\tau_{xy} = 55.2\text{MPa}$ 。

[0079] 根据所求得的切应力,计算锚杆扭矩和扭转角的公式为:

[0080]  $T = W_p \tau_{xy} = \frac{\tau_{xy} \pi (D^3 - d^3)}{16}$ ;

[0081]  $\varphi = \frac{Tl}{GI_p}$ ;

[0082] 其中, $T$ 为扭矩, $W_p$ 为锚杆的扭转截面系数, $\varphi$ 为扭转角, $l$ 为计算时所截锚杆的长度,此处为1m, $GI_p$ 为锚杆的扭转刚度,取 $1.257\text{kN} \cdot \text{m}^2$ 。经计算可得, $T = 86.6\text{N} \cdot \text{m}$ , $\varphi = 6.9 \times 10^{-2}\text{rad}$ 。

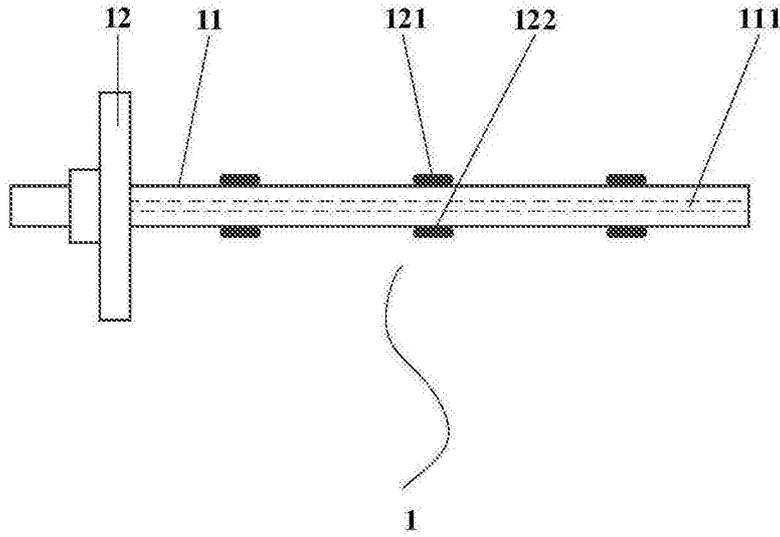


图1

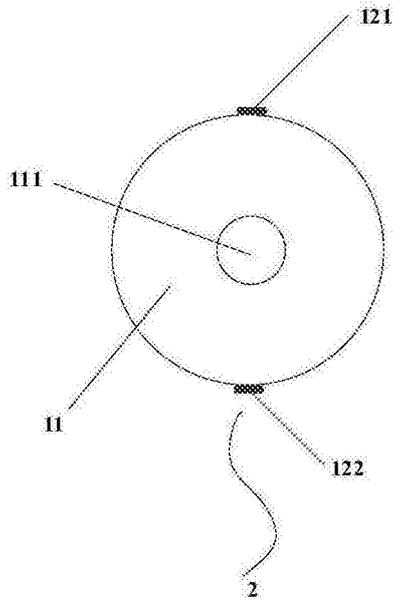


图2

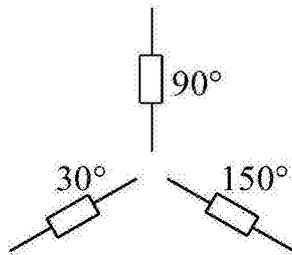


图3

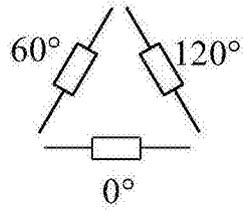


图4

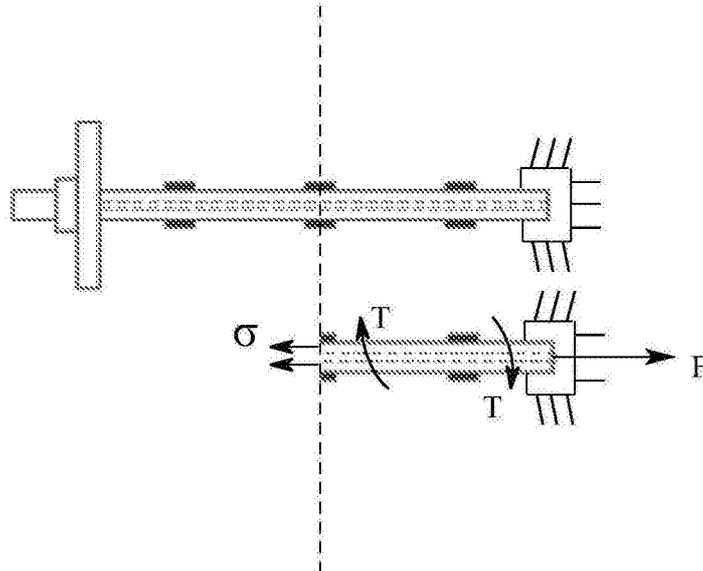


图5