



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106370333 B

(45)授权公告日 2019.04.12

(21)申请号 201610837673.1

(22)申请日 2016.09.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106370333 A

(43)申请公布日 2017.02.01

(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 刘泉声 张晓波 张晓平 黄兴
张建国

(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 齐晨涵

(51)Int.Cl.
G01L 5/00(2006.01)

(56)对比文件

- CN 102046920 A,2011.05.04,全文.
- CN 103148771 A,2013.06.12,说明书第
[0018]-[0020]段,附图1-2.
- CN 101592533 A,2009.12.02,全文.
- CN 101713719 A,2010.05.26,全文.
- CN 203443715 U,2014.02.19,全文.
- CN 103698075 A,2014.04.02,全文.
- CN 104265309 A,2015.01.07,全文.
- CN 205422726 U,2016.08.03,全文.
- JP 特许第3016426号 B2,2000.03.06,全
文.

张旭.TBM滚刀多阶段受力模型及其联接结
构动态设计.《中国优秀硕士学位论文全文数据
库 工程科技I辑》.2016,(第03期),第33-76页,
图3.1-3.2、4.6-4.8、5.1-5.2.

审查员 夏丹丹

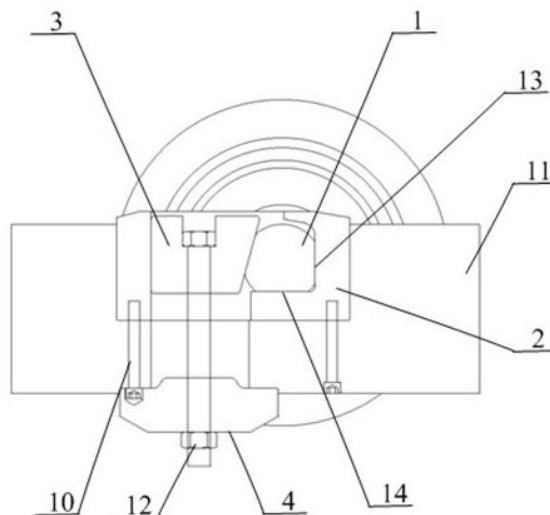
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种TBM滚刀受力在线实时监测装置及监测
方法

(57)摘要

本发明公开了一种TBM滚刀受力在线实时监
测装置及监测方法,其中装置包括支撑垫块、上
压紧块、应变计、应变仪、无线发射模块、无线接
收模块和监控计算机,监测方法则是利用装置获
取的支撑垫块的应变数据,通过监控计算机,
利用滚刀垂向和摆动方向耦合振动力学模型,建
立的滚刀系统振动微分方程,计算得出滚刀工作
时的受力,从而使得工作人员能实时监测滚刀受
力情况,并据此及时调整掘进参数,有助于减少
损坏,减轻振动,提高掘进效率。



1. 一种TBM滚刀受力在线实时监测方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1在TBM滚刀受力在线实时监测中,将应变计安装在支撑垫块内;所述支撑垫块(2)与刀轴(1)有两个接触面,所述每个接触面对应的支撑垫块(2)内部均钻有一定深度的安装孔(15),并测得应变数据;

S2将所述应变数据通过应变仪、无线发射模块和无线接收模块上传到监控计算机;

S3在监控计算机中,通过应变数据计算出滚刀工作时受到的三个方向上的力:垂向力 F_n ,滚动阻力 F_r 和侧向力 F_s ,其中:

实际工作时传递到刀轴右侧支撑垫块上的法向力为 F_1 和 F_{r1} ,刀轴左侧支撑垫块上的法向力为 F_2 和 F_{r2} ,可根据事先标定好的应变计应变数据与支撑垫块受力的关系得到;

滚动阻力 F_r 根据应变计应变数据与支撑垫块受力的关系,由静力状态求得;

垂向力 F_n 和侧向力 F_s 根据滚刀垂向和摆动方向耦合振动力学模型,建立的滚刀系统振动微分方程求得,具体如下式:

$$\begin{cases} m\ddot{z} - c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l) - c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l) + c_5(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l) + c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l) \\ - k_1(z_1 - z + \theta l) - k_2(z_2 - z - \theta l) + k_3(z - z_3 - \theta l) + k_6(z - z_4 + \theta l) = F_n \\ J\ddot{\theta} + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l)l - c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l)l - c_5(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l)l + c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l)l \\ + k_1(z_1 - z + \theta l)l - k_2(z_2 - z - \theta l)l - k_3(z - z_3 - \theta l)l + k_6(z - z_4 + \theta l)l = M_s \\ m_1\ddot{z}_1 + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l) + k_1(z_1 - z + \theta l) = F_{p0} - k_p z_1 \\ m_2\ddot{z}_2 + c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l) + k_2(z_2 - z - \theta l) = F_{p0} - k_p z_2 \\ m_3\ddot{z}_3 + c_3\dot{z}_3 - c_5(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l) + k_3 z_3 - k_5(z - z_3 - \theta l) = 0 \\ m_4\ddot{z}_4 + c_4\dot{z}_4 - c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l) + k_4 z_4 - k_6(z - z_4 + \theta l) = 0 \end{cases}$$

式中: m_1 为刀轴左侧上楔形压紧块的等效质量、 m_2 为刀轴右侧上楔形压紧块的等效质量,且 $m_1 = m_2$; m_3 为刀轴左侧支撑垫块的等效质量、 m_4 为刀轴右侧支撑垫块的等效质量,且 $m_3 = m_4$; m 为滚刀的等效质量、 J 为滚刀倾覆方向的转动惯量; k_1 为刀轴左侧上楔形压紧块的结构等效刚度和其与刀轴结合面垂向等效接触刚度之和、 k_2 为刀轴右侧上楔形压紧块的结构等效刚度和其与刀轴结合面垂向等效接触刚度之和; k_3 为刀轴左侧支撑垫块的结构等效刚度、 k_4 为刀轴右侧支撑垫块的结构等效刚度; k_5 为滚刀的结构等效刚度和其与左侧支撑垫块结合面等效接触刚度之和、 k_6 为滚刀的结构等效刚度和其与右侧支撑垫块结合面等效接触刚度之和; k_p 为大螺栓的刚度; c_1 为刀轴左侧上楔形压紧块与刀轴结合面垂向等效接触阻尼、 c_2 为刀轴右侧上楔形压紧块与刀轴结合面垂向等效接触阻尼; c_3 为刀轴左侧支撑垫块下底面与刀箱结合面等效接触阻尼、 c_4 为刀轴右侧支撑垫块下底面与刀箱结合面等效接触阻尼; c_5 为刀轴与左侧支撑垫块结合面等效接触阻尼、 c_6 为刀轴与右侧支撑垫块结合面等效接触阻尼; z_1 为刀轴左侧上楔形压紧块的垂向位移、 z_2 为刀轴右侧上楔形压紧块的垂向位移; z_3 为刀轴左侧支撑垫块的垂向位移、 z_4 为刀轴右侧支撑垫块的垂向位移; z 为滚刀的垂向位移、 θ 为滚刀的摆角; F_n 为滚刀所受垂向力、 M_s 为滚刀所受倾覆力矩, $M_s = F_s \times R$, R 为滚刀半径, F_s 为滚刀所受侧向力; F_{p0} 为大螺栓的初始预紧力; l 为刀轴中点至刀轴与支撑垫块接触面中心的距离;其中, $k_3 \cdot z_3 = F_2$, $k_4 \cdot z_4 = F_1$;

S4根据以上六式计算出 F_n 、 F_s ,从而得到滚刀工作时的受力:垂向力 F_n ,滚动阻力 F_r 和侧

向力 F_s 。

2. 一种实现权利要求1所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:包括支撑垫块(2)、上楔形压紧块(3)、应变计(5)、应变仪(6)、无线发射模块(7)、无线接收模块(8)和监控计算机(9),所述支撑垫块(2)通过小螺栓(10)固定在刀箱(11)上,所述上楔形压紧块(3)通过大螺栓(12)固定在刀箱(11)上,所述支撑垫块(2)设置有两个,用于支撑刀轴(1)两端,所述上楔形压紧块(3)用于压紧刀轴(1),使刀轴(1)和支撑垫块(2)之间不产生位移,所述应变计(5)安装在支撑垫块(2)内,用于获取支撑垫块(2)应变数据,所述应变计(5)通过导线与应变仪(6)连接,所述无线发射模块(7)用于接收并发射应变仪(6)的应变数据,所述无线接收模块(8)用于接收应变数据,并将应变数据传给监控计算机(9)处理,所述监控计算机(9)用于处理应变数据得出滚刀受力值。

3. 根据权利要求2所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:所述应变仪(6)与无线发射模块(7)设置在刀盘背面,并在应变仪(6)和无线发射模块(7)外设置有保护罩。

4. 根据权利要求3所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:所述上楔形压紧块(3)整体呈楔形。

5. 根据权利要求4所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:所述应变计(5)为圆柱应变计。

6. 根据权利要求2~5中任一项所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:还包括下压紧块(4),所述下压紧块(4)安装在刀箱(11)底部,所述上楔形压紧块(3)和下压紧块(4)紧通过大螺栓(12)的预紧将刀轴(1)固定在支撑垫块(2)上。

7. 根据权利要求6所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:所述支撑垫块(2)与刀轴(1)有两个接触面,所述每个接触面对应的支撑垫(2)块内部均钻有一定深度的安装孔(15),所述安装孔(15)垂直于接触面,所述同一支撑垫块(2)内部的安装孔(15)之间设置有引线槽(16),用于连接两个安装孔(15),所述引线槽(16)在支撑垫块(2)底部设置有出口。

8. 根据权利要求7所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:所述安装孔(15)的直径均为1.5-2mm,深度为所在平面支撑垫块(2)厚度的一半。

9. 根据权利要求8所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:所述引线槽(16)位于支撑垫块(2)侧面则靠近外侧面;所述引线槽(16)位于支撑垫块(2)底面则沿远离滚刀一侧的底面边缘处布置,所述引线槽(16)截面为矩形,所述矩形的长和宽均为5-8mm。

10. 根据权利要求9所述的TBM滚刀受力在线实时监测方法的装置,其特征在于:所述导线外设置有保护钢管。

一种TBM滚刀受力在线实时监测装置及监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及全断面硬岩掘进机行业中的设备检测技术,尤其是涉及一种TBM滚刀受力在线实时监测装置及监测方法。

技术背景

[0002] 全断面硬岩掘进机主要用于开挖岩石地层隧道。与岩石直接接触的刀盘上布置有数十把盘形滚刀,在油缸的推力作用下盘形滚刀对岩石施加荷载,同时随着刀盘的转动而滚动,两种综合作用下滚刀滚压岩石使岩石破碎成块,该过程中滚刀会受到垂向力、侧向力和滚动阻力。当滚刀受力过大时,会造成其结构件发生损坏而无法工作,如轴承断裂,刀圈偏磨、滑落、崩裂,同时滚刀剧烈振动造成联接结构的松动而使振动加剧,最终滚刀脱落。因此,实时监测滚刀受力情况,并据此及时调整掘进参数,有助于减少损坏,减轻振动,提高掘进效率。

[0003] 目前对于滚刀受力的监测方法主要是通过刀盘总推力除以滚刀数量得到单把滚刀的受力,但是这种方法所得到的的是平均受力,而实际上岩体的非均质特征导致每把滚刀的受力并不相等。亟需一种能够在线实时监测滚刀真实受力的装置及方法。

发明内容

[0004] 本发明就是针对现有技术的不足,提供了一种能适应滚刀恶劣的工作环境且精确度高的TBM滚刀受力在线实时监测装置及监测方法。

[0005] 为了实现上述目的,本发明所设计的TBM滚刀受力在线实时监测装置,其特殊之处在于:包括支撑垫块、上压紧块、下压紧块、应变计、应变仪、无线发射模块、无线接收模块和监控计算机,所述支撑垫块通过小螺栓固定在刀箱上,所述上压紧块通过大螺栓固定在刀箱上,所述支撑垫块设置有两个,用于支撑刀轴两端,所述上压紧块用于压紧刀轴,使刀轴和支撑垫块之间不产生相对位移,所述应变计安装在支撑垫块内,用于获取支撑垫块的应变数据,所述应变计通过导线与应变仪连接,所述无线发射模块用于接收并发射应变仪的应变数据,所述无线接收模块用于接收应变数据,并将应变数据传给监控计算机处理,所述监控计算机用于处理应变数据得出滚刀受力值,分别为滚刀工作时受到的三个方向上的力:垂向力 F_n ,滚动阻力 F_r 和侧向力 F_s 。

[0006] 进一步地,所述应变仪与无线发射模块安装在刀盘背面,并在应变仪和无线发射模块外设置有保护罩。保护应变仪和无线发射模块不受岩渣的碰撞。

[0007] 更进一步地,所述上压紧块整体呈楔形。楔形使得压紧效果更好。

[0008] 再进一步地,所述应变计为圆柱应变计。圆柱应变计能够嵌入到支撑垫块内部,防止受到岩渣的碰撞。

[0009] 再进一步地,还包括下压紧块,所述下压紧块安装在刀箱底部,所述上压紧块和下压紧块紧通过大螺栓的预紧将刀轴固定在支撑垫块上。能将滚刀紧固于刀箱上并且便于更换滚刀。

[0010] 再进一步地,所述支撑垫块与刀轴有两个接触面,所述每个接触面对应的支撑垫块内部均钻有一定深度的安装孔,所述安装孔垂直于接触面,所述两个安装孔之间设置有引线槽,用于连接两个安装孔,所述引线槽在支撑垫块底部设置有出口。安装孔的设置便于安装应变计测量出支撑垫块垂向上和滚动方向上的应变数据,引线槽的设置便于走线来连接应变计和应变仪。

[0011] 再进一步地,所述安装孔的直径均为1.5-2mm,深度为所在平面支撑垫块厚度的一半。这样既能测到较大的应变数据又能减小对支撑垫块刚度的影响。

[0012] 再进一步地,所述引线槽位于支撑垫块侧面则靠近外侧;所述引线槽位于支撑垫块底面则沿远离滚刀一侧的底面边缘处布置,所述引线槽截面为矩形,所述矩形的长和宽均为5-8mm。这样便于走线并且对支撑垫块的刚度影响较小。

[0013] 再进一步地,所述导线外设置有保护钢管。保护导线不受损毁。

[0014] 一种TBM滚刀受力在线实时监测方法,包括以下步骤:

[0015] S1利用权利要求1中支撑垫块、上压紧块、应变计测得支撑垫块的应变数据;

[0016] S2将应变数据通过权利要求1所述的应变仪6、无线发射模块7、无线接收模块8将应变数据传入到监控计算机;

[0017] S3在监控计算机中,通过应变数据计算出滚刀工作时受到的三个方向上的力:垂向力 F_n ,滚动阻力 F_r 和侧向力 F_s ,其中:

[0018] 实际工作时传递到支撑垫块上的法向力分别为 F_1, F_2, F_{r1}, F_{r2} ,可根据事先标定好的应变计应变数据与支撑垫块受力的关系得到。

[0019] 滚动阻力 F_r 的计算方法:实际工作中滚刀在滚动方向上振动不大,按静力状态求解,具体为 $F_r = F_{r1} + F_{r2}$;

[0020] 垂向力 F_n 和侧向力 F_s 的计算方法:实际工作中滚刀垂向受到剧烈的振动,具体如下式:

$$[0021] \begin{cases} m\ddot{z} - c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l) - c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l) + c_5(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l) + c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l) \\ -k_1(z_1 - z + \theta l) - k_2(z_2 - z - \theta l) + k_5(z - z_3 - \theta l) + k_6(z - z_4 + \theta l) = F_n \\ J\ddot{\theta} + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l)l - c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l)l - c_5(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l)l + c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l)l \\ +k_1(z_1 - z + \theta l)l - k_2(z_2 - z - \theta l)l - k_5(z - z_3 - \theta l)l + k_6(z - z_4 + \theta l)l = M_s \\ m_1\ddot{z}_1 + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l) + k_1(z_1 - z + \theta l) = F_{p0} - k_p z_1 \\ m_2\ddot{z}_2 + c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l) + k_2(z_2 - z - \theta l) = F_{p0} - k_p z_2 \\ m_3\ddot{z}_3 + c_3\dot{z}_3 - c_5(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l) + k_3 z_3 - k_5(z - z_3 - \theta l) = 0 \\ m_4\ddot{z}_4 + c_4\dot{z}_4 - c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l) + k_4 z_4 - k_6(z - z_4 + \theta l) = 0 \end{cases}$$

[0022] 式中: m_1 为刀轴左侧上楔形压块的等效质量、 m_2 为刀轴右侧上楔形压紧块的等效质量,且 $m_1 = m_2$; m_3 为刀轴左侧支撑垫块的等效质量、 m_4 为刀轴右侧支撑垫块的等效质量,且 $m_3 = m_4$; m 为滚刀的等效质量、 J 为滚刀倾覆方向的转动惯量; k_1 为刀轴左侧上压紧块的结构等效刚度和其与刀轴结合面垂向等效接触刚度之和、 k_2 为刀轴右侧上压紧块的结构等效刚度和其与刀轴结合面垂向等效接触刚度之和; k_3 为刀轴左侧支撑垫块的结构等效刚度、 k_4 为刀轴右侧支撑垫块的结构等效刚度; k_5 为滚刀的结构等效刚度和其与左侧支撑垫块结合面等

效接触刚度之和、 k_6 为滚刀的结构等效刚度和其与右侧支撑垫块结合面等效接触刚度之和； k_p 为大螺栓的刚度； c_1 为刀轴左侧上压紧块与刀轴结合面垂向等效接触阻尼、 c_2 为刀轴右侧上压紧块与刀轴结合面垂向等效接触阻尼； c_3 为刀轴左侧支撑垫块下底面与刀箱结合面等效接触阻尼、 c_4 为刀轴右侧支撑垫块下底面与刀箱结合面等效接触阻尼； c_5 为刀轴与左侧支撑垫块结合面等效接触阻尼、 c_6 为刀轴与右侧支撑垫块结合面等效接触阻尼； z_1 为刀轴左侧上楔形压紧块的垂向位移、 z_2 为刀轴右侧上楔形压紧块的垂向位移； z_3 为刀轴左侧支撑垫块的垂向位移、 z_4 为刀轴右侧支撑垫块的垂向位移； z 为滚刀的垂向位移、 θ 为滚刀的摆角； F_n 为滚刀所受垂向力、 M_s 为滚刀所受倾覆力矩， $M_s = F_s \times R$ ， R 为滚刀半径， F_s 为滚刀所受侧向力； F_{p0} 为大螺栓的初始预紧力； l 为刀轴中点至刀轴与支撑垫块接触面中心的距离；其中， $k_3 \cdot z_3 = F_2$ ， $k_4 \cdot z_4 = F_1$ ；

[0023] S4根据以上六式计算出 F_n 、 F_s ，从而得到滚刀工作时的受力：垂向力 F_n ，滚动阻力 F_r 和侧向力 F_s 。

[0024] 本发明的优点在于：位于支撑垫块内部的应变计可以感知支撑垫块的变形情况，且不受岩渣泥浆的影响，在滚刀强烈振动情况下也不会脱落，能适应滚刀恶劣的工作环境。根据支撑垫块的变形情况得到支撑垫块的受力情况，进而根据支撑垫块与滚刀之间满足的振动微分方程计算得到滚刀受力值，精度高。

附图说明

[0025] 图1为滚刀系统的俯视图。

[0026] 图2为滚刀系统的正视图。

[0027] 图3为圆柱应变计的结构示意图。

[0028] 图4为钻孔切槽后的支撑垫块结构图。

[0029] 图5为滚刀受力示意图。

[0030] 图6为滚刀系统的振动模型。

[0031] 图7为系统信号传送流程图。

[0032] 图中：刀轴1，支撑垫块2，上压紧块3，下压紧块4，应变计5，应变仪6，无线发射模块7，无线接收模块8，监控计算机9，小螺栓10，刀箱11，大螺栓12，侧接触面13，底接触面14，安装孔15，引线槽16。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步的详细描述：

[0034] 图中所示的TBM滚刀受力在线实时监测装置，包括支撑垫块2、上压紧块3、下压紧块4、应变计5、应变仪6、无线发射模块7、无线接收模块8和监控计算机9，所述支撑垫块2通过小螺栓10固定在刀箱11上，上压紧块3通过大螺栓12固定在刀箱11上，支撑垫块2设置有两个，用于支撑刀轴1两端，上压紧块3用于压紧刀轴1，使刀轴1和支撑垫块2之间不产生位移，应变计5安装在支撑垫块2内，用于获取支撑垫块应变数据，应变计5通过导线与应变仪6连接，无线发射模块7用于接收并发射应变仪6的应变数据，无线接收模块8用于接收无线发射模块7所发射的应变数据，并将应变数据传给监控计算机9处理，监控计算机9用于处理应变数据得出滚刀受力值，分别为滚刀工作时受到的三个方向上的力：垂向力 F_n ，滚动阻力 F_r

和侧向力 F_s 。

[0035] 其中,上压紧块整体呈楔形,压紧效果更好。应变计5采用圆柱应变计,如图3所示;因刀箱11下部为敞口状,为方便上压紧块的安装和提供足够的压紧力,刀箱11底部敞口横跨有下压紧块4,上压紧块3和下压紧块4通过大螺栓12的预紧将所述刀轴1固定在所述支撑垫块2上。支撑垫块2与刀轴1有两个接触面,如图2所示,分别为侧接触面13和底接触面14;侧接触面13和底接触面14内部区域分别钻有一个一定深度且垂直于接触面的安装孔15,安装孔15为圆孔,用于安放圆柱应变计5,安装孔15的位置如图4所示,侧面安装孔15的中心在所述侧接触面13的中心位置,底面安装孔15的中心在所述底接触面14的中心位置,进一步地,为方便圆柱应变计5的安装,每个安装孔的直径均为1.5-2mm,深度为所在平面支撑垫块2厚度的一半。每把滚刀共有两个支撑垫块2,因此共有4个圆孔。同一支撑垫块2的两个安装孔15之间设置有相互连通的引线槽16,引线槽16在支撑垫块2底部设置有出口。引线槽16位于支撑垫块2侧面则靠近外侧面;所述引线槽16位于支撑垫块2底面则沿远离滚刀一侧的底面边缘处布置,所述引线槽16截面为矩形,所述矩形的长和宽均为5-8mm,保持整个支撑垫块2的强度、方便走线。

[0036] 应变计5与应变仪6通过导线连接,导线外套有内径为10mm的保护钢管。应变仪6和无线发射模块7放置在刀盘背面,并由特制的刚性保护罩保护不受岩渣的碰撞。无线接收模块8接收到信号后由所述监控计算机9处理数据。

[0037] 一种TBM滚刀受力在线实时监测方法,包括以下步骤:

[0038] S1利用支撑垫块、上压紧块、应变计测得应变数据;

[0039] S2将应变数据通过应变仪6、无线发射模块7、无线接收模块8将应变数据传入到监控计算机;

[0040] S3在监控计算机中,计算出滚刀工作时受到的三个方向上的力:垂向力 F_n ,滚动阻力 F_r 和侧向力 F_s ;

[0041] 如图5所示,滚刀工作时受到的三个方向上力为:垂向力 F_n ,滚动阻力 F_r 和侧向力 F_s ;

[0042] 实际工作时传递到刀轴右侧支撑垫块上的法向力为 F_1 和 F_{r1} ,刀轴左侧支撑垫块上的法向力为 F_2 和 F_{r2} ,两个垫块的法向力可根据事先标定好的应变计的应变数据与支撑垫块受力的关系得到; F_{s1} 、 F_{s2} 是平衡 F_s 的力。

[0043] 滚动阻力 F_r 的计算方法:实际工作中滚刀在滚动方向上振动不大,按静力状态求解,具体为 $F_r = F_{r1} + F_{r2}$;

[0044] 垂向力 F_n 和侧向力 F_s 的计算方法:实际工作中滚刀垂向受到剧烈的振动,根据滚刀垂向和摆动方向耦合振动力学模型,并根据牛顿第二定律,建立的滚刀系统振动微分方程,具体如下式:

$$[0045] \begin{cases} m\ddot{z} - c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l) - c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l) + c_3(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l) + c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l) \\ -k_1(z_1 - z + \theta l) - k_2(z_2 - z - \theta l) + k_5(z - z_3 - \theta l) + k_6(z - z_4 + \theta l) = F_n \\ J\ddot{\theta} + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l)l - c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l)l - c_3(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l)l + c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l)l \\ +k_1(z_1 - z + \theta l)l - k_2(z_2 - z - \theta l)l - k_5(z - z_3 - \theta l)l + k_6(z - z_4 + \theta l)l = M_s \\ m_1\ddot{z}_1 + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z} + \dot{\theta}l) + k_1(z_1 - z + \theta l) = F_{p0} - k_p z_1 \\ m_2\ddot{z}_2 + c_2(\dot{z}_2 - \dot{z} - \dot{\theta}l) + k_2(z_2 - z - \theta l) = F_{p0} - k_p z_2 \\ m_3\ddot{z}_3 + c_3\dot{z}_3 - c_5(\dot{z} - \dot{z}_3 - \dot{\theta}l) + k_3 z_3 - k_5(z - z_3 - \theta l) = 0 \\ m_4\ddot{z}_4 + c_4\dot{z}_4 - c_6(\dot{z} - \dot{z}_4 + \dot{\theta}l) + k_4 z_4 - k_6(z - z_4 + \theta l) = 0 \end{cases}$$

[0046] 式中： m_1 为刀轴左侧上楔形压块的等效质量、 m_2 为刀轴右侧上楔形压紧块的等效质量，且 $m_1 = m_2$ ； m_3 为刀轴左侧支撑垫块的等效质量、 m_4 为刀轴右侧支撑垫块的等效质量，且 $m_3 = m_4$ ； m 为滚刀的等效质量、 J 为滚刀倾覆方向的转动惯量； k_1 为刀轴左侧上压紧块的结构等效刚度和其与刀轴结合面垂向等效接触刚度之和、 k_2 为刀轴右侧上压紧块的结构等效刚度和其与刀轴结合面垂向等效接触刚度之和； k_3 为刀轴左侧支撑垫块的结构等效刚度、 k_4 为刀轴右侧支撑垫块的结构等效刚度； k_5 为滚刀的结构等效刚度和其与左侧支撑垫块结合面等效接触刚度之和、 k_6 为滚刀的结构等效刚度和其与右侧支撑垫块结合面等效接触刚度之和； k_p 为大螺栓的刚度； c_1 为刀轴左侧上压紧块与刀轴结合面垂向等效接触阻尼、 c_2 为刀轴右侧上压紧块与刀轴结合面垂向等效接触阻尼； c_3 为刀轴左侧支撑垫块下底面与刀箱结合面等效接触阻尼、 c_4 为刀轴右侧支撑垫块下底面与刀箱结合面等效接触阻尼； c_5 为刀轴与左侧支撑垫块结合面等效接触阻尼、 c_6 为刀轴与右侧支撑垫块结合面等效接触阻尼； z_1 为刀轴左侧上楔形压紧块的垂向位移、 z_2 为刀轴右侧上楔形压紧块的垂向位移； z_3 为刀轴左侧支撑垫块的垂向位移、 z_4 为刀轴右侧支撑垫块的垂向位移； z 为滚刀的垂向位移、 θ 为滚刀的摆角； F_n 为滚刀所受垂向力、 M_s 为滚刀所受倾覆力矩， $M_s = F_s \times R$ ， R 为滚刀半径， F_s 为滚刀所受侧向力； F_{p0} 为大螺栓的初始预紧力； l 为刀轴中点至刀轴与支撑垫块接触面中心的距离；其中， $k_3 \cdot z_3 = F_2$ ， $k_4 \cdot z_4 = F_1$ ；

[0047] 根据以上六式可计算出 F_n 、 F_s ，从而得到滚刀工作时的受力：垂向力 F_n ，滚动阻力 F_r 和侧向力 F_s 。

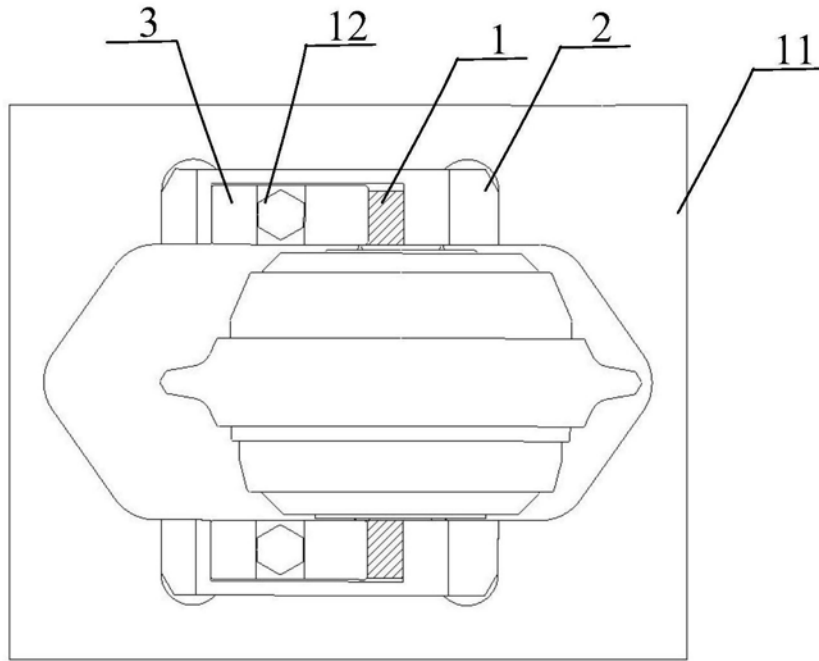


图1

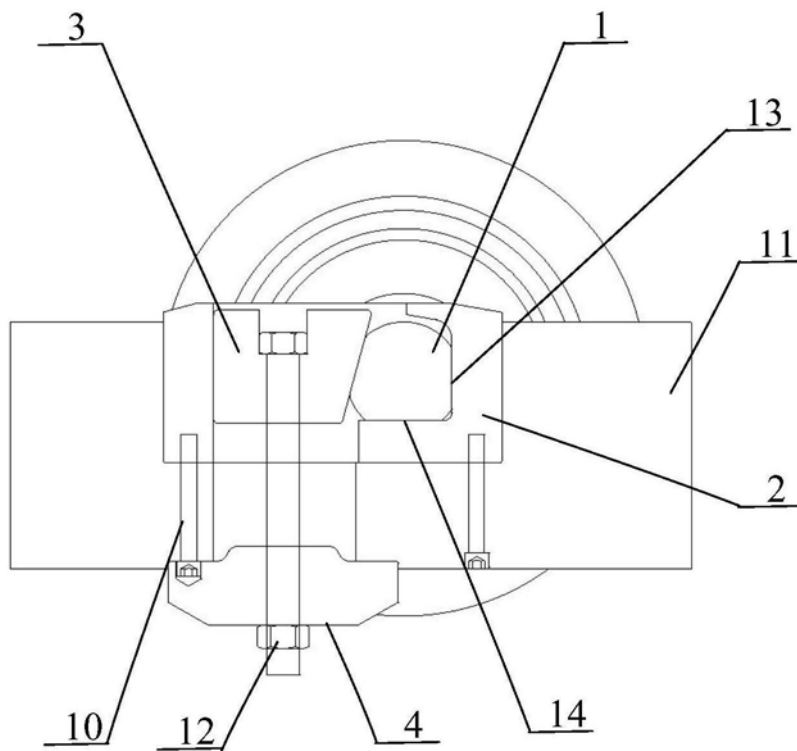


图2



图3

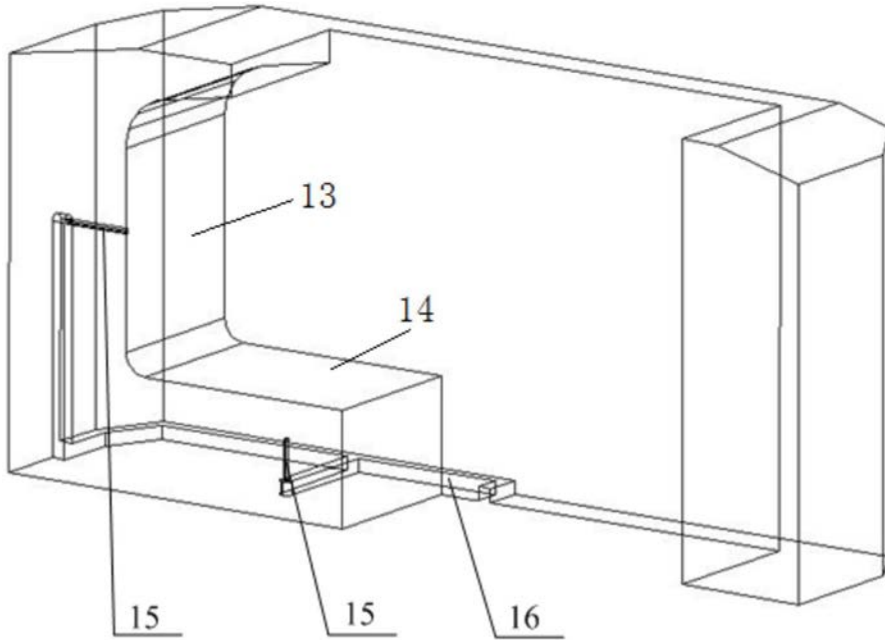


图4

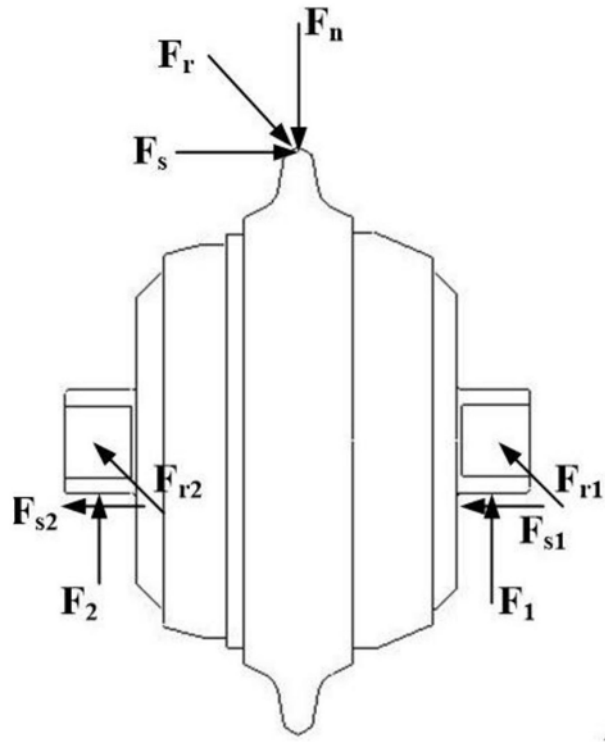


图5

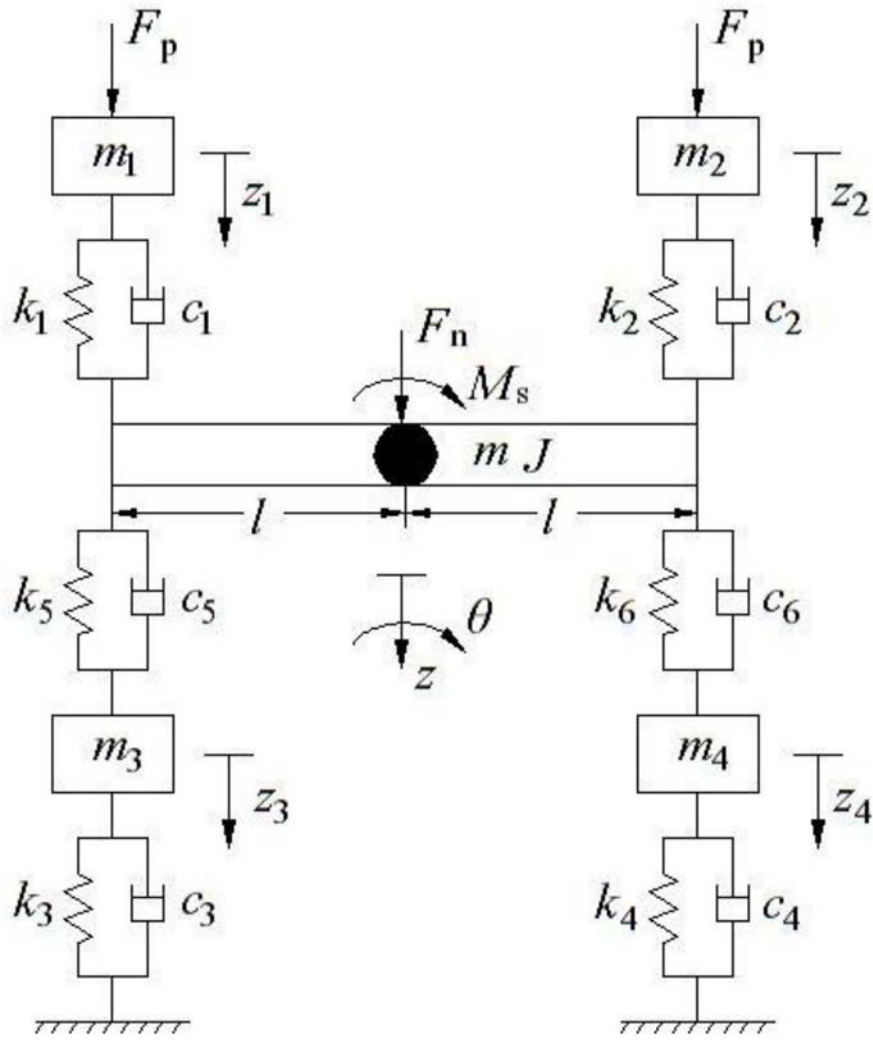


图6

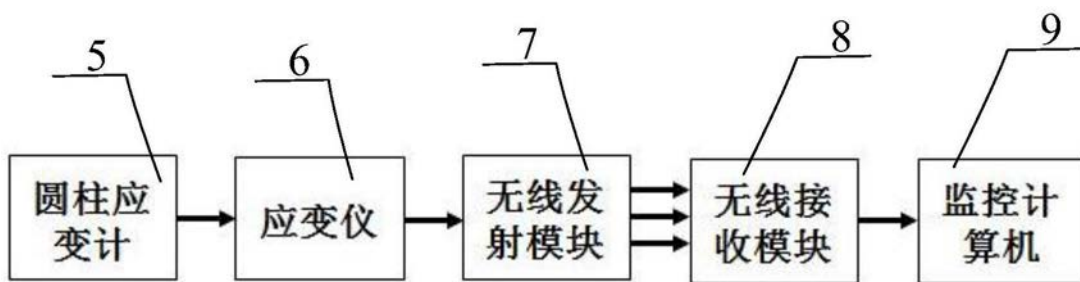


图7