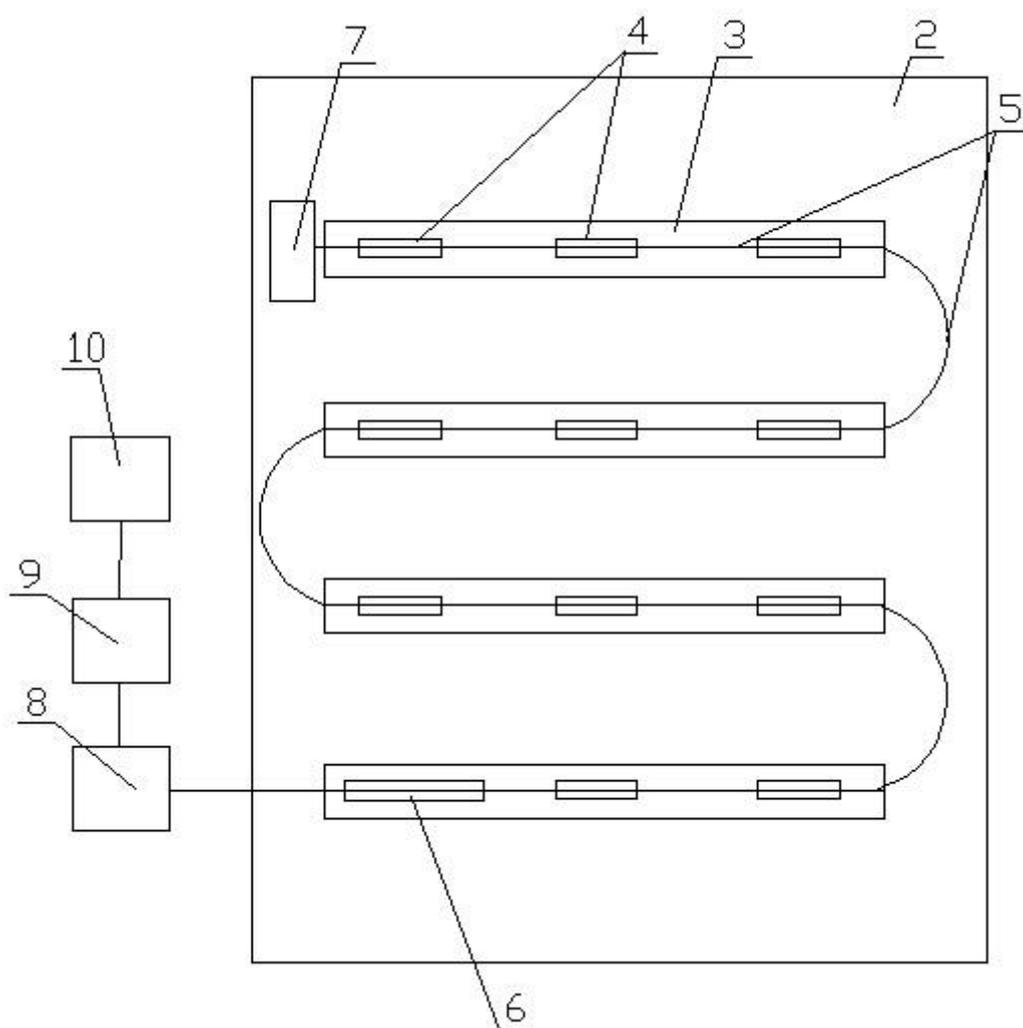


说明书摘要

本发明公开了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统，包括硐室和底板，所述底板下方排列设置若干个柔性基板，所述柔性基板上设置形变监测机构，所述形变监测机构的一端通过所述光纤与光纤光栅温度传感器连接，另一端设置宽带光源，所述光纤光栅温度传感器设置在所述柔性基板上，所述光纤光栅温度传感器、数据采集设备、下位机和上位机依次信号连接。还公开了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测方法利用若干个光纤光栅传感器和一个光纤光栅温度传感器对底板的形变进行监测，对煤矿井下和井下选煤厂的恶劣环境没有限制要求，抗干扰性强，适用面广，可用于煤矿井下各种硐室巷道的底板变形测量，也可用于各种隧道及地下工程的底板变形测量。

摘要附图



权利要求书

1.一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,包括硐室和底板,其特征在于:所述底板下方排列设置若干个柔性基板,所述柔性基板上设置形变监测机构,所述形变监测机构包括所述柔性基板上排列设置的若干个通过光纤串联的光纤光栅传感器,所述形变监测机构的一端通过所述光纤与光纤光栅温度传感器连接,所述形变监测机构的另一端设置宽带光源,所述光纤光栅温度传感器设置在所述柔性基板上,所述光纤光栅温度传感器、数据采集设备、下位机和上位机依次信号连接。

2 如权利要求 1 所述的新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,其特征在于:所述柔性基板由如下重量份的材料组成:三元乙丙橡胶为 80~90 份、硬脂酸为 0.5~2 份、氧化镁为 1~2 份、聚乙二醇为 1~3 份、高耐磨炭黑为 25~35 份、二氧化硅为 10~15 份、环烷油为 13~18 份、交联剂 DCP 为 2.5~4.5 份、防老剂 RD 为 1~3 份、交联助剂 TAIC 为 0.5~2 份。

3 如权利要求 1 所述的新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,其特征在于:所述柔性基板厚度小于 15mm,所述柔性基板宽度为 100~500mm,两个相邻所述柔性基板的间距为 100~1000mm。

4 如权利要求 1 所述的新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,其特征在于:设置在同一所述柔性基板上的相邻两个所述光纤光栅传感器的中心距为 200mm。

5 如权利要求 1 所述的新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,其特征在于:所述光纤上套设柔性管,所述柔性管内部设置环形支撑件,所述光纤在所述柔性管内为螺旋结构。

6 如权利要求 1 所述的新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,其特征在于:所述数据采集设备包括光纤光栅网络分析仪,所述上位机和所述下位机包括工业控制计算机。

7 如权利要求 1 所述的新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,其特征在于:所述柔性基板的表面设置固定刺突。

权 利 要 求 书

8 如权利要求 1 所述的新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,其特征在
于: 所述柔性基板上通过粘合剂设置所述光纤光栅传感器和所述光纤光栅温度
传感器。

9 一种新型井下硐室底板形变远程在线监测方法,其特征在在于: 包括如下步
骤:

1) 将若干个光纤光栅传感器和一个光纤光栅温度传感器依次排列设置在柔
性基板上, 并通过光纤将其串联在一起;

2) 将柔性基板平行排列铺设到底板的下方, 光纤的输入端连接宽带光源,
光纤的输出端连接光纤光栅网络分析仪;

3) 将光纤光栅网络分析仪依次与设置在矿井的下位机和设置在控制中心的
上位机信号连接;

4) 宽带光源发出信号, 光纤光栅网络分析仪检测到信号波长的变化并将波
长信号转换为相应的电信号, 下位机对接收到的电信号进行处理, 计算出相应
的波长值, 根据波长-位移标定关系计算出相应的收敛位移;

5) 将位移数据传输至上位机, 便可实现远程在线对井下硐室的底板位移情
况进行监测。

一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统及方法

技术领域

本发明涉及井下选煤硐室底板在线监测技术领域,具体涉及一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统及方法。

背景技术

煤矿安全是煤炭生产的重要问题,关系到煤矿的安全生产和工人的生命健康。从目前已有的数据分析来看,煤矿安全事故的主要原因之一是矿山压力作用下围岩稳定状态的改变。

煤矿井下硐室由于掘进或受回采影响引起其围岩的应力状态发生变化以及在维护过程中围岩性质的变化,顶底板和两帮岩体变形并向巷道内移动,致使底板底臃、围岩失稳。底臃后硐室断面缩小,阻碍运输、通风和人员行走,严重影响生产和威胁安全。因此,很有必要对硐室底板变形情况进行检测,确保硐室的围岩稳定和生产安全。

煤矿井下硐室与巷道的区别在于:首先,硐室一般选在围岩较为稳定区域,且断面大、长度小,进出口通道狭窄;其次,井下硐室多安设有不同种类用途的机电设备;再者,硐室周围井巷工程较多,因而硐室围岩的受力情况比较复杂,难以准确分析;最后,设备硐室内的电子干扰、电磁干扰现象更加严重,采用的机电设备需不受潮湿、高温环境影响。因此,针对硐室底板变形测量也有别与巷道。

光纤布拉格光栅(FBG)属于波长调制型非线性作用的光纤传感器,除具有普通光纤传感器尺寸小、重量轻、耐腐蚀、抗电磁干扰、使用安全可靠等特点外,还具有其独特的优点,如:波长调制型,抗干扰能力强;易于与光纤耦合,耦合损耗小;集“传”与“感”于一体且具有更强的复用能力,易于构成传感网络;测量对象广泛,易于实现多参数传感测量等。正是由于这些其他传统传感器无可比拟的优点,使光纤光栅传感技术在通信和光纤传感技术中得到

了广泛的应用，并在这些应用领域中显示了它的优越性、不可替代性和在各个领域的极大应用前景。因此，随着光纤光栅传感器的商品化和性能的不断提高，光纤光栅必将在传感领域呈现出巨大的活力，在煤矿安全监测中具有广泛的应用前景和重大的社会效益。

矿山压力显现的基本形式包括围岩的明显运动与支架受力两个方面。底板的臃起、隆起、层理滑移和裂断破坏等变形情况是围岩运动的形式表现之一。目前，对底臃的测量多采用收敛计和施工底板锚杆等方法，现有的一种量测巷道底臃变形的锚杆及其方法（专利号200810236317.X），如图1所示，它由尾部杆件（1）、多节中部杆件（2）和头部杆件（3）联接组合而成，其中尾部杆件联接在多节杆件的尾部，头部杆件联接在多节中部杆件的头部。测量时，将锚杆按序套接，锚入已钻好的眼孔内，尾部杆件外露长度约0.10m，量测尾部杆件至巷顶的高度，观测巷道底臃变形情况，实时连续量测，当巷道底臃变形将整个尾部杆件挤出地面时，旋下尾部杆件，随着巷道底臃的不断变形，将露出地面的多节中部杆件旋下，直至底臃变形停止，累加取下的杆件长度和初始测量至巷顶的高度，即得出最终巷道底臃的变形量。现有技术无法适用于井下硐室底板的变形测量，具体表现以下三个方面：首先，现有技术属于机械测量方法，自身密封性差，在恶劣环境中易损坏；其次，现有技术读数不直观、易误读，测量精度低；最后，现有技术的安装过程直接会破坏硐室底板的稳定性，影响设备的安全生产和稳定运行。

申请号为201210416966.4的发明公开了一种基于光纤光栅传感的井下选煤硐室底板在线监测装置及方法，在通讯光纤上连接四个光纤光栅传感器和一个光纤光栅温度传感器，四个光纤光栅传感器布置在设备周围的设备基础的四个角部，通讯光纤的接入端或引出端连接光纤光栅网络分析仪，光纤光栅网络分析仪与计算机连接。通过光纤光栅网络分析仪分析光纤光栅传感器波长改变量的大小，并将其转变为设备基础上各个测点处的应力变化，读取不同时刻下

选煤硐室设备基础的应力分布状况，判断设备基础是否产生倾斜，实现对选煤硐室底板的监测。该装置可以实现对设备基础的倾斜监测，但是光纤的弯折易损性使得光纤的铺设非常麻烦，对现场造成的影响较大，处理不好极易造成光纤的断裂，且通过基础反应底板的位移情况，对于较大的位移情况可以清楚的监测到，但是对于底板轻微的移动不容易进行监测，功能不全面。

发明内容

本发明所要解决的问题是提供一种新型井下硐室底板形变在线监测系统及方法，采用通讯光纤为测点元件和传输介质，结构简单，具有抗腐蚀，耐潮湿，不受煤矿井下电磁干扰，测量精确，长期工作稳定可靠等优点。

为解决上述技术问题，本发明采用的技术方案为：

一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统，包括硐室和底板，所述底板下方排列设置若干个柔性基板，所述柔性基板上设置形变监测机构，所述形变监测机构包括所述柔性基板上排列设置的若干个通过光纤串联的光纤光栅传感器，所述形变监测机构的一端通过所述光纤与光纤光栅温度传感器连接，所述形变监测机构的另一端设置宽带光源，所述光纤光栅温度传感器设置在所述柔性基板上，所述光纤光栅温度传感器、数据采集设备、下位机和上位机依次信号连接。

进一步的，所述柔性基板由如下重量份的材料组成：三元乙丙橡胶为 80~90 份、硬脂酸为 0.5~2 份、氧化镁为 1~2 份、聚乙二醇为 1~3 份、高耐磨炭黑为 25~35 份、二氧化硅为 10~15 份、环烷油为 13~18 份、交联剂 DCP 为 2.5~4.5 份、防老剂 RD 为 1~3 份、交联助剂 TAIC 为 0.5~2 份。

进一步的，所述柔性基板厚度小于 15mm，所述柔性基板宽度为 100~500mm，两个相邻所述柔性基板的间距为 100~1000mm。

进一步的，设置在同一所述柔性基板上的相邻两个所述光纤光栅传感器的中心距为 200mm。

进一步的,所述光纤上套设柔性管,所述柔性管内部设置环形支撑件,所述光纤在所述柔性管内为螺旋结构。

进一步的,所述数据采集设备包括光纤光栅网络分析仪,所述上位机和所述下位机包括工业控制计算机。

进一步的,所述柔性基板的表面设置固定刺突。

进一步的,所述柔性基板上通过粘合剂设置所述光纤光栅传感器和所述光纤光栅温度传感器。

一种新型井下硐室底板形变远程在线监测方法,包括如下步骤:

1) 将若干个光纤光栅传感器和一个光纤光栅温度传感器依次排列设置在柔性基板上,并通过光纤将其串联在一起;

2) 将柔性基板平行排列铺设到底板的下方,光纤的输入端连接宽带光源,光纤的输出端连接光纤光栅网络分析仪;

3) 将光纤光栅网络分析仪依次与设置在矿井的下位机和设置在控制中心的上位机信号连接;

4) 宽带光源发出信号,光纤光栅网络分析仪检测到信号波长的变化并将波长信号转换为相应的电信号,下位机对接收到的电信号进行处理,计算出相应的波长值,根据波长-位移标定关系计算出相应的收敛位移;

5) 将位移数据传输至上位机,便可实现远程在线对井下硐室的底板位移情况进行监测。

本发明提供了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,当该光纤位移传感器连同柔性基板被埋入硐室底板内部或下方后,底板变形使基板发生形变进而光纤光栅传感器上的光栅产生形变感知到底板的位移变化,并以波长变化的形式输出。数据采集设备的光纤光栅网络分析仪检测到波长的变化并将波长信号转换为相应的电信号,同时传送给下位机。下位机对接收到的电信号进行处理,计算出相应的波长值,根据波长-位移标定关系计算出相应的收敛位

移,并通过通信模块将数据传送给控制中心的上位机,实现远程在线对井下硐室的底板位移情况进行监测。实践表明,硐室内的围岩中间变形较大,而两边的变形较小甚至没有,因此在安装时,将柔性基片沿平行于硐室断面的长度方向铺设在硐室底板中间范围内。光纤光栅网络分析仪安装在不影响现场工作的地方,其与下位机的连接可采用串口通信的方式,优选 RS-485 串口通信进行数据传输,便于一个下位机对多个井下硐室底板的监测。上位机设置在井上的控制中心,下位机与上位机的通信可采用互联网或 GPRS 通信进行远程传输数据,实现对较大范围内的井下硐室的监测,技术人员可以不在现场就能对井下硐室底板位移进行远程在线监测,节省大量的人力物力。光纤在连接过程中避免出现弯曲成较小的角度,在光纤弯折时将其盘起避免折断。光纤光栅传感器设置在不同的柔性基板上,因此光纤也连接了相邻的柔性基板,因此相邻柔性基板间需要保持一定的距离。由于光纤光栅的中心波长值会受温度的影响,温度变化对光纤光栅的影响主要体现在热光效应和热膨胀效应两个方面。在受热膨胀时光纤布拉格波长增大;遇冷时光纤布拉格波长减小,因此在柔性基板上还设置一个光纤光栅温度传感器,对其温度进行补偿,避免温度对监测的结果造成影响。

本发明还提供了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测方法,宽带光源发出信号,底板如果变形会使基板发生形变进而光纤光栅传感器上的光栅产生形变感知到底板的位移变化,并以波长变化的形式输出,光纤光栅网络分析仪检测到波长的变化并将波长信号转换为相应的电信号发送至下位机,下位机对接收到的电信号进行处理,计算出相应的波长值,根据波长-位移标定关系计算出相应的收敛位移,便可对相应光纤光栅传感器位置的底板位移进行监测。光纤光栅传感器矩阵排列在底板的下方,构成一个监测网络,对底板位移监测情况详细精准。

本发明的有益效果如下:

1 采用通讯光纤为测点元件和传输介质，结构简单，具有抗腐蚀，耐潮湿，不受煤矿井下电磁干扰，测量精确，长期工作稳定可靠等优点；

2 采用光纤光栅温度传感器能很好的消除煤矿井下温度对传感特性的影响，提高测量的精度，并具有良好的重复性；

3 对煤矿井下和井下选煤厂的恶劣环境没有限制要求，抗干扰性强，适用面广，可用于煤矿井下各种硐室巷道的底板变形测量，也可用于各种隧道及地下工程的底板变形测量；

4 柔性基板采用高耐磨、高扯断伸长率的三元乙丙橡胶板，铺设在地下能够防止腐蚀，延长设备的使用寿命，降低基板断裂的概率。

附图说明

下面结合附图对本发明作进一步描述：

图 1 是本发明新型井下硐室底板形变远程在线监测系统的结构示意图；

图 2 是本发明硐室的结构示意图；

图 3 是本发明柔性管的结构示意图；

图 4 是本发明柔性管的截面图。

具体实施方式

下面结合图 1 至图 4 对本发明技术方案进一步展示，具体实施方式如下：

实施例一

本实施例提供了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统，包括硐室 1 和底板 2，所述底板 2 下方排列设置若干个柔性基板 3，所述柔性基板 3 上设置形变监测机构，所述形变监测机构包括所述柔性基板 3 上排列设置的若干个通过光纤 5 串联的光纤光栅传感器 4，所述形变监测机构的一端通过所述光纤 5 与光纤光栅温度传感器 6 连接，所述形变监测机构的另一端设置宽带光源 7，所述光纤光栅温度传感器 6 设置在所述柔性基板 3 上，所述光纤光栅温度传感器 6、数据采集设备 8、下位机 9 和上位机 10 依次信号连接。

所述柔性基板 3 由如下重量份的材料组成：三元乙丙橡胶为 88 份、硬脂酸为 0.6 份、氧化镁为 1.2 份、聚乙二醇为 1.4 份、高耐磨炭黑为 27 份、二氧化硅为 11 份、环烷油为 14 份、交联剂 DCP 为 2.8 份、防老剂 RD 为 1.2 份、交联助剂 TAIC 为 0.7 份。

制备柔性基板时,首先按照各材料的重量份数值对制备橡胶的各个材料进行称量,然后将三元乙丙橡胶、硬脂酸、氧化镁、聚乙二醇、高耐磨炭黑、二氧化硅、环烷油、防老剂加入密炼机进行密炼,温度控制在 140℃左右,密炼时间 8 分钟,随后加入交联剂和交联助剂进行混炼 2 分钟制得柔性基板所用橡胶,最后压延成型。

实施例二

本实施例还提供了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,包括硐室 1 和底板 2,所述底板 2 下方排列设置若干个柔性基板 3,所述柔性基板 3 上设置形变监测机构,所述形变监测机构包括所述柔性基板 3 上排列设置的若干个通过光纤 5 串联的光纤光栅传感器 4,所述形变监测机构的一端通过所述光纤 5 与光纤光栅温度传感器 6 连接,所述形变监测机构的另一端设置宽带光源 7,所述光纤光栅温度传感器 6 设置在所述柔性基板 3 上,所述光纤光栅温度传感器 6、数据采集设备 8、下位机 9 和上位机 10 依次信号连接。

所述柔性基板 3 由如下重量份的材料组成：三元乙丙橡胶为 85 份、硬脂酸为 1.2 份、氧化镁为 1.5 份、聚乙二醇为 2 份、高耐磨炭黑为 30 份、二氧化硅为 13 份、环烷油为 16 份、交联剂 DCP 为 3.5 份、防老剂 RD 为 2 份、交联助剂 TAIC 为 1.2 份。

实施例三

本实施例还提供了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统,包括硐室 1 和底板 2,所述底板 2 下方排列设置若干个柔性基板 3,所述柔性基板 3 上设置形变监测机构,所述形变监测机构包括所述柔性基板 3 上排列设置的若

干个通过光纤 5 串联的光纤光栅传感器 4，所述形变监测机构的一端通过所述光纤 5 与光纤光栅温度传感器 6 连接，所述形变监测机构的另一端设置宽带光源 7，所述光纤光栅温度传感器 6 设置在所述柔性基板 3 上，所述光纤光栅温度传感器 6、数据采集设备 8、下位机 9 和上位机 10 依次信号连接。

所述柔性基板 3 由如下重量份的材料组成：三元乙丙橡胶为 82 份、硬脂酸为 1.7 份、氧化镁为 1.8 份、聚乙二醇为 2.5 份、高耐磨炭黑为 33 份、二氧化硅为 14 份、环烷油为 17 份、交联剂 DCP 为 4.2 份、防老剂 RD 为 2.7 份、交联助剂 TAIC 为 1.8 份。

柔性基板需要铺设在底板的下方或者内部，硇室位于井下，所以柔性基板处在一个潮湿的环境内，容易受到化学腐蚀，且为了监测底板位移，柔性基板会处在一个不平整面，会受到拉伸的作用力而形变，底板和下方的矿土还会对柔性基板产生一定的摩擦力，这就要求柔性基板还需要具有一定的扯断伸长率以及耐磨的特性，这对柔性基板的要求较高，不是普通的弹性薄板就能代替的。实施例一至实施例三就是材料重量份不同的柔性基板，分别对三个实施例的柔性基板性能进行检测，得出如下表格：

序号	硬度(邵 A)	扯断伸长率 (%)	拉伸强度 (MPa)	耐磨性	耐腐蚀性
实施例一	66	388	9.7	一般	好
实施例二	68	381	8.9	好	好
实施例三	76	357	9.2	好	好

硬度越高说明基板的弹性越差，对于本发明柔性基板的硬度越低越好，这样对监测的结果影响较小。扯断伸长率越高越好，这样柔性基板的断裂几率大大减小，拉伸强度越低越好，对监测的结果影响较小，因此实施例二的橡胶板为最优。通过对其材料进行分析，三元乙丙橡胶本身就具备耐老化性、耐腐蚀性以及优良的弹性，添加的硬脂酸为硫化促进剂，氧化镁增加抗氧化性能，高

耐磨炭黑可大大提高柔性基板的耐磨性，二氧化硅也可提高柔性基板的耐磨性，环烷油改善橡胶的可塑性和弹性，交联剂 DCP 可以使得柔性基板具有良好的动态性能，压缩永久变形小，硬度稍低，强度适中，弹性和耐老化性能均较好，特别适合本发明基板的性能需求，交联助剂 TAIC 在乙丙橡胶中作用可显著地缩短硫化时间、提高强度、耐磨性、耐溶性、耐腐蚀性。防老剂 RD 适用于乙丙等橡胶，延长其使用寿命。本发明通过对柔性基板材料以及配比的选择，大大提高了柔性基板的性能，使其适合在井下工作。

实施例四

本实施例还提供了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测系统，包括硐室 1 和底板 2，所述底板 2 下方排列设置若干个柔性基板 3，所述柔性基板 3 上设置形变监测机构，所述形变监测机构包括所述柔性基板 3 上排列设置的若干个通过光纤 5 串联的光纤光栅传感器 4，所述形变监测机构的一端通过所述光纤 5 与光纤光栅温度传感器 6 连接，所述形变监测机构的另一端设置宽带光源 7，所述光纤光栅温度传感器 6 设置在所述柔性基板 3 上，所述光纤光栅温度传感器 6、数据采集设备 8、下位机 9 和上位机 10 依次信号连接。

当该光纤位移传感器连同柔性基板被埋入硐室底板内部或下方后，底板变形使基板发生形变进而光纤光栅传感器上的光栅产生形变感知到底板的位移变化，并以波长变化的形式输出。数据采集设备的光纤光栅网络分析仪检测到波长的变化并将波长信号转换为相应的电信号，同时传送给下位机。下位机对接收到的电信号进行处理，计算出相应的波长值，根据波长-位移标定关系计算出相应的收敛位移，并通过通信模块将数据传送给控制中心的上位机，实现远程在线对井下硐室的底板位移情况进行监测。

所述柔性基板 3 厚度小于 15mm，所述柔性基板 3 宽度为 100~500mm，两个相邻所述柔性基板 3 的间距为 100~1000mm。柔性基板起到将底板的形变传递给光纤光栅传感器的作用，其厚度过厚会影响形变的传递，因此对其厚度限

定小于 15 毫米。柔性基板的宽度和相邻两个的间距太小会增加设备的安装难度，成本增加，太大对底板形变的监测密度会减小，造成监测的不精准，因此对其宽度和间距也有所限定。

设置在同一所述柔性基板 3 上的相邻两个所述光纤光栅传感器 4 的中心距为 200mm，即光纤光栅传感器安装密度的问题，其中心距增大则传感器安装的疏松，也会造成监测的不精准，底板的小型位移可能无法监测到，中心距减小会加大成本的投入，因此对其中心距进行限定，既保证成本不会增加太多，也能对底板的形变做到精准的监测。

所述光纤 5 上套设柔性管 12，所述柔性管 12 内部设置环形支撑件 13，所述光纤 5 在所述柔性管 12 内为螺旋结构。光纤无弹性，基板微型形变光纤不会受到很大的拉力，但是底板形变较大时光纤受到的拉力较大，可能会损坏。将光纤设置在柔性管内并采用螺旋结构，这样使得光纤拥有一定的伸缩性，且柔性管内部设置的环形支撑件可对柔性管撑起，对光纤进行保护，特别是两个柔性基板之间的光纤，保证其弯折在光纤的承受范围内，不会造成光纤的断裂，对光纤保护性能很好。

所述数据采集设备 8 包括光纤光栅网络分析仪，所述上位机 10 和所述下位机 9 包括工业控制计算机。光纤光栅网络分析仪可将光信号转换为电信号，并将电信号通过通信线路发送至下位机，工业控制计算机是一种采用总线结构，对生产过程及机电设备、工艺装备进行检测与控制的工具总称，其具备计算机的功能，适用于对底板的监测领域。

所述柔性基板 3 的表面设置固定刺突 11。固定刺突结构可以为尖刺形、长条形等形状，其目的是增加柔性基板与底板下方矿土的摩擦力，这样底板形变造成的矿土移动可以更好的传递给柔性基板，使得监测的灵敏度和准确性更高。

所述柔性基板 3 上通过粘合剂设置所述光纤光栅传感器 4 和所述光纤光栅

温度传感器 6。柔性基板采用的是三元乙丙橡胶，其对金属具有一定的腐蚀性，若采用螺栓紧固，效果不佳且易损坏金属制品的螺栓。采用粘合剂也可将两种传感器的金属部位与柔性基板隔开，保护传感器，增加设备的使用寿命。

实施例五

本实施例还提供了一种新型井下硐室底板形变远程在线监测方法，包括如下步骤：

1) 将若干个光纤光栅传感器和一个光纤光栅温度传感器依次排列设置在柔性基板上，并通过光纤将其串联在一起；

2) 将柔性基板平行排列铺设到底板的下方，光纤的输入端连接宽带光源，光纤的输出端连接光纤光栅网络分析仪；

3) 将光纤光栅网络分析仪依次与设置在矿井的下位机和设置在控制中心的上位机信号连接；

4) 宽带光源发出信号，光纤光栅网络分析仪检测到信号波长的变化并将波长信号转换为相应的电信号，下位机对接收到的电信号进行处理，计算出相应的波长值，根据波长-位移标定关系计算出相应的收敛位移；

5) 将位移数据传输至上位机，便可实现远程在线对井下硐室的底板位移情况进行监测。

步骤 4) 中光纤光栅网络分析仪检测到信号波长的变化，依据为在紫外光照射下，纤芯内部产生折射率变化效应，使纤芯的折射率沿轴向形成周期性的调制分布。在宽带光源经过时，满足布拉格条件的一定波长的入射光(波长为 λ_B)将会被反射，其他波长的光会全部穿过而不受影响，此时反射光谱在光纤光栅波长 λ_B 处出现峰值。光栅受到外部的应力、应变、温度等作用时，其周期会发生改变，从而引起波长的变化。通过测量光谱中峰值的移动变化，就可以得出要量测的应力、应变、温度等的变化。具体计算方法如下：

当入射光光进入光纤时，布拉格光栅会反射特定波长的光，该波长满足以

下的特定条件:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad \text{式 1}$$

其中 n_{eff} 为光纤的有效折射率, Λ 为光纤光栅的周期, λ_B 为光纤布拉格波长。

由于光纤光栅的中心波长值会受温度的影响, 温度变化对光纤光栅的影响主要体现在热光效应和热膨胀效应两个方面。在受热膨胀时, λ_B 增大; 遇冷时, λ_B 减小。本发明采用标准单模石英光纤制成的光纤光栅, λ_B 随温度和应变的变化规律可以用下式来表示:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_{B0}} = (1 - p^{eff})\Delta\varepsilon + (\alpha + \zeta)\Delta T \quad \text{式 2}$$

其中, $\Delta\lambda_B$ 是中心波长的变化量; λ_{B0} 是不受外力和温度为零度时该光栅的初始中心波长; $\Delta\varepsilon$ 和 ΔT 分别是光纤光栅所受的应变和温度的变化量; p^{eff} 、 α 和 ζ 分别为光纤的热膨胀系数、热光系数和光弹系数。

为了准确测量物体的实际变化, 光纤光栅的读数需要进行温度补偿。所谓温度补偿就是通过某种方法抵消由温度扰动引起的光纤光栅波长的漂移, 使量测结果不受环境温度变化的影响。可以在同一温度场内再增设一个光纤光栅温度传感器, 测其温度响应 $\Delta\lambda_B^T$, 则可以起到修正的目的。

在光纤光栅传感器装置埋入底板后, 利用光纤光栅网络分析仪测量光纤光栅传感器上各个光栅的初始波长分布 λ_{FBG1} , λ_{FBG2} , ..., λ_{FBGn} 和光纤光栅温度传感器的初始波长 λ_B^T , 并保存相应数据。当硇室底板的形变使得光纤光栅受到应力作用产生变形, 同时直接带动光纤光栅上的光纤光栅传感器产生拉、压变形, 通过光纤光栅网络分析仪可测得光纤光栅上各点的波长分布 λ'_{FBG1} , λ'_{FBG2} , ..., λ'_{FBGn} 和光纤光栅温度传感器的波长 $\lambda_B^{T'}$, 并保存数据, 在连接上位机后计

算出受力前后的波长变化情况,并根据专用软件可以反算出光纤光栅传感器上各个光栅的受弯挠曲值,也即是该硇室底板的变形位移值。用来计算位移变化量的公式可以定义为式3所示:

$$l = [(\lambda'_{FBGn} - \lambda_{FBGn}) + (\lambda_B^{T'} - \lambda_B^T)] * \eta \quad \text{式3}$$

其中 l 为底板的变形位移值, $\lambda_B^{T'} - \lambda_B^T$ 可以有效的实现测量过程中产生的温度补偿问题, η 可以标定为形变前后位移变化量和相应的波长变化量的比值,即波长-位移标定关系。

最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,本领域普通技术人员对本发明的技术方案所做的其他修改或者等同替换,只要不脱离本发明技术方案的精神和范围,均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

图 1

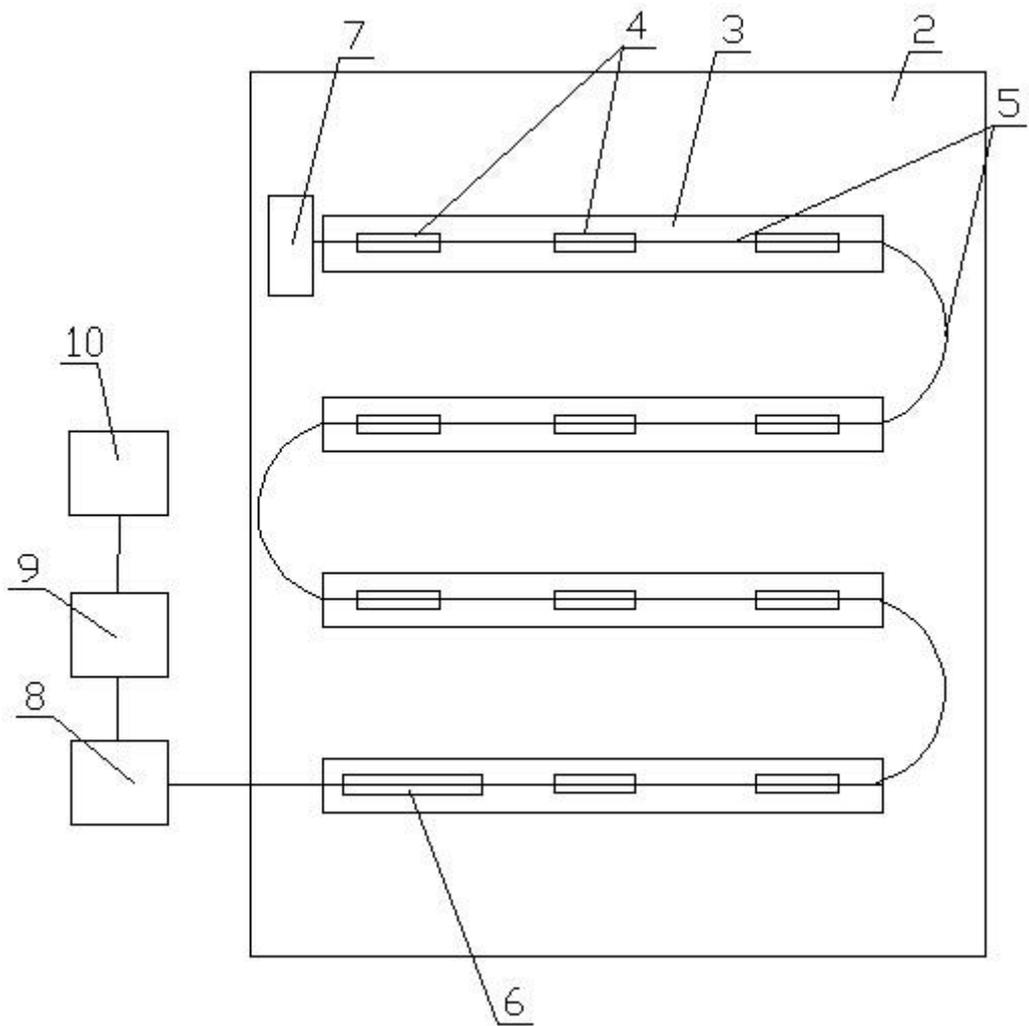


图 2

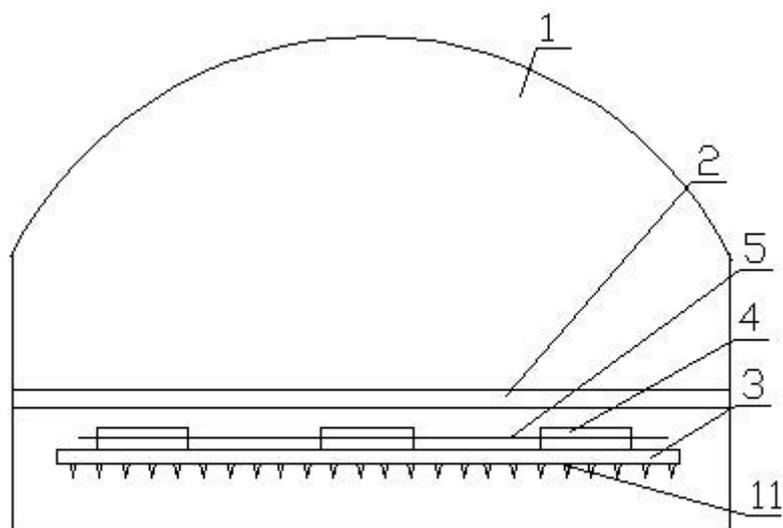


图 3

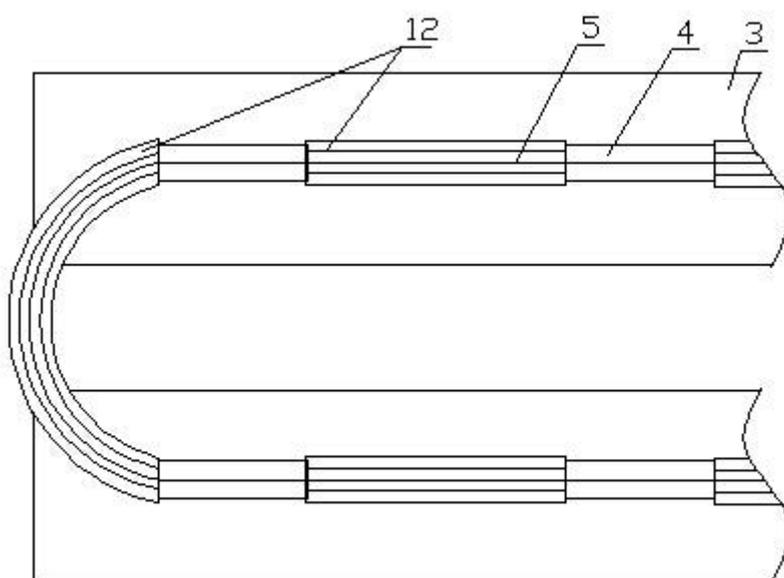


图 4

