



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102345795 A

(43) 申请公布日 2012.02.08

(21) 申请号 201010240050.9

(22) 申请日 2010.07.28

(71) 申请人 中国石油天然气股份有限公司

地址 100007 北京市东城区东直门北大街 9
号中国石油大厦

(72) 发明人 吴张中 马云宾 谭东杰 韩冰
荆宏远 郝建斌 蔡永军 刘建平

(74) 专利代理机构 北京市中实友知识产权代理
有限责任公司 11013

代理人 金杰 任清汉

(51) Int. Cl.

F17D 5/00 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

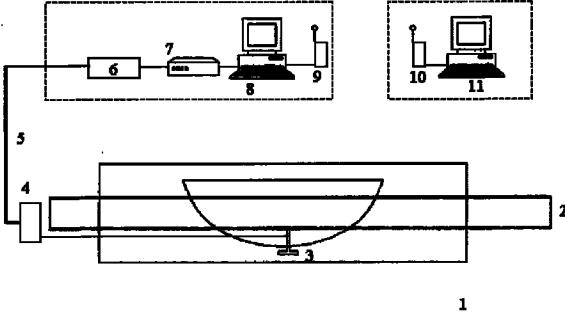
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种采空塌陷区油气管道管土相对位移监测
方法和系统

(57) 摘要

本发明是一种基于光纤光栅传感技术的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法和系统。传感器采集的波长信号在现场监测站通过解调和预处理之后，被远程传输到异地监测中心；监测中心接收到数据后，通过特定算法对数据进行进一步的分析处理，计算出采空塌陷区管土相对位移变化；通过采空塌陷区管土相对位移变化动态显示，从而对管体和土体应变变化的状态稳定情况进行判定，判断数据是否超出阈值；管土相对位移的报警条件为监测值超过预设值并保持恒定；当参数值小于阈值时则表明管道处于安全状态；当管土相对位移值达到阈值并保持恒定时进行管道安全的预警。



1. 一种采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法,其特征在于其监测方法所用系统:

在采空塌陷区(1)的油气管道a(2)的监测截面上安装管土相对位移传感器a(3),然后通过光纤接线盒a(4)与引至监测站的光缆a(5)连接,在监测站里,光缆a(5)与光开关(6)连接,光开关(6)与光纤光栅解调仪(7)连接,光纤光栅解调仪(7)与下位机(8)连接,下位机(8)预处理后的数据通过GPRS通讯模块a(9)传输,GPRS通讯模块b(10)接收到上位机(11);用上述装置对采空塌陷区油气管道进行监测。

监测流程依次是:

管土相对位移采用光纤光栅位移传感器监测;

传感器采集的波长信号在现场监测站通过解调和预处理之后,被远程传输到异地监测中心;

监测中心接收到数据后,通过特定算法对数据进行进一步的分析处理,计算出采空塌陷区管土相对位移变化;

通过采空塌陷区管土相对位移变化动态显示,从而对管体和土体应变变化的状态稳定情况进行判定,判断数据是否超出阈值;

管土相对位移的报警条件为监测值超过预设值并保持恒定;

当管土相对位移值小于阈值时则表明管道处于安全状态;

当管土相对位移值达到阈值并保持恒定时、或者土体水平变形曲线出现突变进行管道安全的预警。

2. 根据权利要求1所述的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法,其特征在于具体方法是:

管土相对位移传感器a(3)将管体应变和管土相对位移信号经光缆a(5)传到光开关(6),光开关(6)后经光纤光栅解调仪(7)解调传至下位机(8),下位机(8)调用自编的程序,控制光开关(6)和光纤光栅解调仪(7),实现数据的采集并对数据进行预处理;预处理后的数据通过GPRS通讯模块a(9)传输,GPRS通讯模块b(10)接收到上位机(11),上位机(11)对数据进行进一步的分析处理,判断管道的受力变形状态及管土相对位移;数据的处理主要由软件完成;下位机数据预处理主要是将光纤光栅解调仪采集的光波长数据根据转化为应变数据,上位机在接收数据后,首先将数据分类,根据管土相对位移公式计算管土相对位移及相应的应力应变,并最终判断采空区的稳定状态和管道的安全状况;管土相对位移传感器a(4)测量出的应变 ϵ_p 为:

$$\epsilon_p = k \gamma_s h / E$$

当测量出的 $\epsilon_p = \gamma_s h / E$,即土体下塌系数k=1并保持稳定时,表示管体处于悬空状态;式中, γ_s 为塌陷土体容重、h为测力杆的长度、k为土体下塌系数、E为测力杆材料的弹性模型。

3. 一种如权利要求1所述采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法之系统,其特征在于在采空塌陷区1的油气管道a(2)的监测截面上安装管土相对位移传感器a(3),然后通过光纤接线盒a(4)与引至监测站的光缆a(5)连接,在监测站里,光缆a(5)与光开关(6)连接,光开关(6)与光纤光栅解调仪(7)连接,光纤光栅解调仪(7)与下位机(8)连接,下位机(8)预处理后的数据通过GPRS通讯模块a(9)传输,GPRS通讯模块b(10)接收到上位机(11);用上述装置对采空塌陷区油气管道进行监测。

上位机(11)。

管土相对位移的光纤光栅传感器输出信号经光开关导通传输至光纤光栅解调仪(7),光纤光栅解调仪(7)解调出各光纤光栅传感器的中心波长位移量传输至下位机(8),光开关(6)导通信号的周期由下位机(8)控制。下位机(8)对数据进行预处理,并将处理后的数据输给GPRS传输模块a(19),GPRS传输模块a(9)将下位机(8)计算的各监测量通过公众无线通信网络传输到位于办公室的上位机(11),上位机通过自编软件对数据进行分析处理,由显示器显示。

4. 根据权利要求3所述的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统,其特征在于该系统分为现场数据采集传输系统和远程接收分析系统;

现场数据采集传输系统包括光纤光栅位移传感器、光开关、光纤光栅解调仪、下位机、GPRS通讯模块,光纤光栅位移传感器输出分别接光开关的输入,光开关的输出接光纤光栅解调仪的输入,光纤光栅解调仪的输出接下位机的输入,下位机的输出接GPRS通讯模块;

远程接收分析系统包括GPRS通讯模块、上位机、数据信号远程实时接收、数据信号分析与处理、变化曲线动态显示;GPRS通讯模块的输出接上位机的输入,上位机的输出分别接数据信号远程实时接收、数据信号分析与处理、变化曲线动态显示的输入;

管土相对位移传感器a(3)将管体应变和管土相对位移信号经光缆a(5)传到光开关(6),光开关(6)后经光纤光栅解调仪(7)解调传至下位机(8),下位机(8)调用自编的程序,控制光开关(6)和光纤光栅解调仪(7),实现数据的采集并对数据进行预处理;预处理后的数据通过GPRS通讯模块a(9)传输、GPRS通讯模块b(10)接收传到上位机(11),上位机(11)对数据进行进一步的分析处理,判断管道的受力变形状态及管土相对位移;上位机(11)对管道的变形和管土相对位移的分析结果,判断采空塌陷区管道的安全状态及采空区土体的塌陷情况。

5. 根据权利要求3或4所述的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统,其特征在于该系统的电原理是:光纤光栅位移传感器a(3)的PC接头用光缆a(5)与光开关(6)的PC接头连接,光开关(6)的R232连接下位机(8)的R232接口,光开关(6)的PC接头连接光纤光栅解调仪(7)SM125的PC接口,光纤光栅解调仪(7)SM125的LAN端口连接下位机(8)的LAN端口,下位机(8)的输出由VGA端接显示器的VGA端,下位机(8)的R232端口接GPRS传输模块a(9)西门子MC35i的R232端口,GPRS传输模块a(9)经天线GSM、GPRS网络,被GPRS接收模块b(10)天线GSM接收后由R232接到上位机(11)的R232,上位机(11)的输出由VGA端接显示器的VGA端;

管土相对位移的光纤光栅传感器的输出信号经光开关(6)导通传输至光纤光栅解调仪(7),光纤光栅解调仪(7)解调出各光纤光栅传感器的中心波长位移量传输至下位机(8),光开关(6)导通信号的周期由下位机(8)控制;下位机(8)对数据进行预处理,并将处理后的数据输给GPRS传输模块a(9),GPRS传输模块a(9)将下位机(8)计算的各监测量通过公众无线通信网络传输到位于办公室的上位机(11),上位机通过自编软件对数据进行分析处理,由显示器显示。

6. 根据权利要求3或4所述的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统,其特征在于所述光纤光栅位移传感器a(3)的构成是:在管道b(17)底部安装光纤光栅位移传感器a(3),光纤光栅位移传感器a(3)与管道b(17)通过卡件连接,光纤光栅位移传感器a(3)

或与应变传感器串联，或单独通过光纤跳线(18)引致光纤接线盒b(19)，通过光纤接线盒b(19)与光缆连接；

所述光纤光栅位移传感器a(3)由安装块(12)、光纤光栅(13)、测力杆(14)、承重盘(25)组成；安装块(12)由测力杆(14)与承重盘(15)连接成“工”字形，光纤光栅(13)固定在测力杆(14)上；承重盘(15)用于承受下塌土体重量，光纤光栅(13)测量测力杆(14)发生的应变，通过对应关系转化为位移；安装块(12)便于传感器稳固的安装于管道上；其中测力杆(14)与承重盘(15)、测力杆(14)与安装块(12)螺纹连接，安装块(12)与管道通过卡件连接。

一种采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法和系统

技术领域

[0001] 本发明是一种基于光纤光栅传感技术的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法和系统,涉及测量应力、温度的测量、类似线性尺寸的测量及管道系统技术领域。

背景技术

[0002] 地下矿层被开采后形成的空间称为采空区。地下矿层被开采后,其上部岩层失去支撑,平衡条件被破坏,随之产生弯曲、塌落,以致发展到地表下沉变形,造成地表塌陷,形成凹地。随着采空区的不断扩大,凹地不断发展而形成采空塌陷区,进而对地上或地下建(构)筑物产生危害。采空塌陷灾害是造成人类生命财产损失的地质灾害的主要形式之一。长距离输油或输气管道输送距离可达数千公里,常不可避免地要穿过采空塌陷区。由于选线的不充分或地下矿体的进一步开采等原因,在采空塌陷区的管道有可能在活动塌陷盆地内通过,从而使管道的安全运营遭受严重威胁。

[0003] 早在 1865 年美国建成全球第一条原油管道起,世界即进入到了管道运营的时代,而管道通过采空区问题则不断出现。1975 年英国国家煤炭理事会颁布的《塌陷工程手册》中规定了预测管道通过煤矿采空区地表塌陷的“NCB 法”。1986 年,国际管道科学研究院委托 Battelle 研究院对穿越采空塌陷区的管道受力性状和防治方法进行了研究,形成了《开采塌陷区的管道监测与防治》报告 (NG-18, No. 155),该项目系统总结了采空塌陷的特征,分析了采空区对管道的危害,开发了相应的应力计算软件,提出了塌陷区管道监测方法。

[0004] 我国管道事业虽然起步较晚,但我国的管道工业正处在蓬勃发展之中,这些管道大多将我国西部丰富的石油天然气输送到我国的东部,正在加紧建设和规划的能源输送管道有西气东输、中缅管道、兰郑长管道等多条上千公里管道。这些管线经过许多矿物采空区或未来开采区。如西气东输一线管线途径山西、山东、陕西、宁夏 4 个省区的 8 个矿区,受 76 个矿井开采形成的部分采空区的影响,总长度约 887.494km,采空区一旦形成,将破坏地表平衡条件,导致地表大面积下沉、凹陷、裂缝或诱发滑坡、崩塌等次生灾害,直接影响管道安全;鄯乌天然气管道沿途经过 12 处采空塌陷区,受影响总长度约 12.6km,对管道安全生产构成重大威胁,其中以芦草沟塌陷区最为严重;陕京输气管线途经山西矿区,兰郑长成品油管线河南段、铁大原油管线等也容易发生采空塌陷等灾害。

[0005] 面对众多的采空塌陷灾害,我国的管道运营公司虽然采取了积极的工程防护措施,但这些措施也存在一些的弊端,首先是成本高,其次是防护工程也并非“一劳永逸”,设计施工的不确定因素较多,再者防护治理的周期长以及治理时机不易掌握。而监测则是一种高效、低成本的防治措施。美国国际管道科学研究院 (PRCI) 将监测管道作为防治采空塌陷灾害的主要方式,我国的西气东输、陕京线等管道投产后对采空区也进行有效的监测。

[0006] 传统的采空区土体变形采用经纬仪、水准仪、钢尺、支距尺和全站仪或 GPS 等方法,这些方法的实时性都较差,均是对地表已经塌陷这一既有现象进行结果监测,难以满足采空区监测超前预报、长期和实时在线的要求。传统的管道应变监测以电阻式应变计、振弦式应变计为主,在耐腐蚀、抗干扰方面较差,稳定性也难以满足要求。近几年兴起的分布式

光纤传感技术（以 BOTDR 为代表）在管体监测方面已有一定的应用。

[0007] 对于采空塌陷区油气管道，管道与土体的相对位移是一个很重要的因素。随着采矿程度的加深，采空塌陷区土体的不断下沉，由于管体和土体的刚度及抗变形能力不同，管体与其下方土体的变形和下沉位移不再一致，管道下方土体将继续下沉，最终与管道分离，而管道上部土体由管体支撑，附着于管道之上，从而导致管道暗悬。大量的研究表明，当管道暗悬时，管道受到荷载最大，管体处于非常不稳定的受荷状态，这种状态严重影响到管道的安全。因此监测管道和土体之间的相对位移，实时了解管道与土体的对应位置关系，对于准确判断管道安全状态，有着重要的意义。

[0008] 光纤光栅是近几年发展最为迅速的光纤无源器件。它是利用光纤材料的光敏特性在光纤的纤芯上建立的一种空间周期性折射率分布，其作用在于改变或控制光在该区域的传播行为方式。除具有普通光纤抗电磁干扰、尺寸小、重量轻、强度高、耐高温、耐腐蚀等特点外，光纤光栅还具有其独特的特性：易于与光耦合、耦合损耗小、易于波分复用等。因而使得光纤光栅在光纤通讯和光纤传感等领域有着广阔的前景。作为光子研究领域的一种新兴技术，以光纤光栅为基本传感器件的传感技术近年来受到普遍关注，各国研究者积极开展有关研究工作。目前，已报道的光纤光栅传感器可以监测的物理量有：温度、应变、压力、位移、压强、扭角、扭矩（扭应力）、加速度、电流、电压、磁场、频率、浓度、热膨胀系数、振动等，其中一部分光纤光栅传感系统已经实际应用。

[0009] 光纤布拉格光栅 (Fiber Bragg Grating) 是最简单、最普遍的一种光纤光栅。它是一段折射率呈周期性变化的光纤，其折射率调制深度和光栅周期一般都是常数。温度、应变的变化会引起光纤布拉格光栅的周期和折射率的变化，从而使光纤布拉格光栅的反射谱和透射谱发生变化。通过检测光纤布拉格光栅的反射谱和透射谱的变化，就可以获得相应的温度和应变的信息，这就是用光纤布拉格光栅测量温度和应变的基本原理。

[0010] 由耦合模理论可知，均匀的光纤布拉格光栅可以将其中传输的一个导模耦合到另一个沿相反方向传输的导模而形成窄带反射，峰值反射波长（布拉格波长） λ_B 为：

$$[0011] \quad \lambda_B = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

[0012] 式中： λ_B 为布拉格波长； n_{eff} 为光纤传播模式的有效折射率； Λ 为光栅栅距。

[0013] 对式 (1) 微分可得光栅的中心波长与温度和应变的关系：

$$[0014] \quad \frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} = (\alpha_f + \xi) \Delta T + (1 - P_e) \Delta \varepsilon \quad (2)$$

[0015] 式中： $\alpha_f = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT}$ 为光纤的热膨胀系数； $\xi = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT}$ 为光纤材料的热光系数；

$P_e = -\frac{1}{n} \frac{dn}{d\varepsilon}$ 为光纤材料的弹光系数。由式 (2) 可知，应变是由于光纤布拉格光栅周期的伸缩和弹光效应引起布拉格波长的变化，而温度是由于光纤布拉格光栅热膨胀效应和热光效应引起布拉格波长的变化。

[0016] 光纤光栅可制成各种传感器件，在传感领域得到广泛应用。与传统的电传感器相比，光纤光栅传感器具有自己独特的优点：(1) 传感头结构简单、体积小、重量轻、外形可变，适合埋入各种大型结构中，可测量结构内部的应力、应变及结构损伤等，稳定性、重复性好；(2) 与光纤之间存在天然的兼容性，易与光纤连接、光损耗低、光谱特性好、可靠性高；(3) 具有非传导性，对被测介质影响小，又具有抗腐蚀、抗电磁干扰的特点，适合在恶劣环境

中工作；(4) 轻巧柔软,可以在一根光纤中写入多个光栅,构成传感阵列,与波分复用和时分复用系统相结合,实现分布式传感;(5) 测量信息以波长编码,因而光纤光栅传感器不受光源的光强波动、光纤连接与耦合损耗、光波偏振态变化等因素的影响,具较强的抗干扰能力;(6) 高灵敏度、高分辨率。

[0017] 与广泛使用的布里渊光时域反射计 BOTDR 相比,光纤光栅传感器的优点有:(1) 对测量点能精确定位,分辨率高;(2) 成本低;(3) 能对传感部分进行加工、封装,使其更适合现场的恶劣环境。

[0018] 由于这些优点,在岩土工程领域中,光纤光栅传感器很容易埋入岩土体中对其内部的应变和温度进行高分辨率和大范围测量,技术优势非常明显,尤其体现在能获得长期、可靠的岩土体变形数据,目前还未见到光纤光栅传感技术用于采空区管土相对位移监测的报道。

发明内容

[0019] 本发明的目的是发明一种空间分辨率高、成本低、安全有效的基于光纤光栅实时在线的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法和系统。

[0020] 本发明提出的一种基于光纤光栅传感技术的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测预警方法和系统,是对采空塌陷管道敷设带管土相对位移的监测,管土相对位移采用光纤光栅传感器实时在线监测及预警。能实现数据的实时自动采集、远程传输和自动分析。

[0021] 随着采矿程度的加深,由于管体和土体的刚度及抗变形能力不同,随着采空塌陷区土体的不断下塌,管体与其下方土体的变形和下沉位移不再一致,管道下方土体将继续下塌,最终与管道分离,而管道上部土体由管体支撑,附着于管道之上,从而导致管道暗悬。大量的研究表明,当管道暗悬时,管道受到荷载最大,管体处于非常不稳定的受荷状态,这种状态严重影响到管道的安全。因此监测管道和土体之间的相对位移,可以实时了解管道与土体的对应位置关系,当管土相对位移值达到阈值并保持恒定时,表明管道已悬空,并及时报警。

[0022] 基于光纤光栅传感技术的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法流程如图 1 所示。传感器采集的波长信号在现场监测站通过解调和预处理之后,被远程传输到异地监测中心,监测中心接收到数据后,通过特定算法对数据进行进一步的分析处理,计算出管土相对位移变化,从而对管体和土体应变变化的状态稳定情况进行判定;管土相对位移的报警条件为监测值超过预设值并保持恒定。当该参数小于阈值时则表明管道处于安全状态。当管土相对位移值达到阈值并保持恒定时进行管道安全预警。

[0023] 所用监测系统的构成如图 2 所示,在采空塌陷区 1 的油气管道 a2 的监测截面上安装管土相对位移传感器 a3,然后通过光纤接线盒 a4 与引至监测站的光缆 a5 连接,在监测站里,光缆 a5 与光开关 6 连接,光开关 6 与光纤光栅解调仪 7 连接,光纤光栅解调仪 7 与下位机 8 连接,下位机 8 预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输、GPRS 通讯模块 b10 接收到上位机 11。

[0024] 监测系统的数据流程如图 3 所示,包括三部分内容:下位机的数据采集程序、数据的远程传输程序、上位机的数据分析程序。下位机数据采集主要功能是完成数据的采集和预处理。光纤光栅传感器的数据通过光纤光栅解调仪保存到下位机,下位机数据采集程

序需要对保存的数据进行分类，并根据光纤光栅传感特性将波长变化值转化为相应的应变值。数据的远程传输程序主要功能是实现上下位机的数据通讯。通过对 GPRS 通讯模块的控制，数据远程传输程序将下位机的预处理数据传输到上位机，并将上位机的数据接收情况反馈给下位机，实现了自动传输。上位机数据分析程序的主要功能是通过数学方法对接受数据进行处理，拟合出数据的变化曲线，并将处理结果与报警阈值进行对比，进而判断采空区管道的安全情况。

[0025] 管土相对位移传感器 a3 将管土相对位移信号经光缆 a5 传到光开关 6，后经解调仪 7 解调传至下位机 8，下位机 8 调用自编的程序，控制光开关 6 和光纤光栅解调仪 7，实现数据的采集并对数据进行预处理；预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输、GPRS 通讯模块 b10 接收到上位机 11，上位机 11 对数据进行进一步的分析处理，判断管土相对位移；数据的处理主要由软件完成，软件流程如图 3 所示。下位机数据预处理主要是将光纤光栅解调仪采集的光波长数据根据转化为应变数据，上位机在接收数据后，首先将数据分类，根据管土相对位移公式计算管土相对位移及相应的应力应变，并最终判断采空区的稳定状态和管道的安全状况。

[0026] 管土相对位移监测方法采用的光纤光栅位移传感器是在采空塌陷区 1 的油气管道 b17 的监测截面上安装管土相对位移传感器 b16，通过光纤接线盒 b19 与光缆将管土相对位移信号引至监测站光开关 6 和光纤光栅解调仪 7，光纤光栅解调仪 7 解调后传至下位机 8，下位机 8 预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输、GPRS 通讯模块 b10 接收传到上位机 11 作进一步分析与处理并予显示（见图 5）。

[0027] 其监测原理如下：

[0028] 图 4 中的位移传感器随管体埋入土中，此时位移传感器承重盘 15 上方受到的力 σ_1 为盘上土体自重应力以及通过测力杆 14 传递而来管体自重及其上覆土体应力 G，即：

$$\sigma_1 = \gamma_s h + G \quad (3)$$

[0030] 式中， γ_s 为塌陷土体容重、h 为测力杆的长度。

[0031] 盘下土体支撑应力 σ_2 为：

$$\sigma_2 = \gamma_s h + G - k \gamma_s h \quad (4)$$

[0033] 式中，k 为土体下塌系数， $0 \leq k \leq 1$ 。

[0034] 光纤光栅 13 处此时的应力 σ_3 为：

$$\sigma_3 = \sigma_1 - \sigma_2 \quad (5)$$

[0036] 因此，管体相对位移值 Δl 为：

$$\Delta l = \sigma_3 h / E \quad (6)$$

[0038] 式中，E 为测力杆材料的弹性模量。

[0039] 当采空区土体尚未塌陷时，处于力平衡状态 $\sigma_1 = \sigma_2$ （即土体下塌系数 $k = 0$ ），此时 $\sigma_3 = 0$ 。

[0040] 当采空区土体开始塌陷时，承重盘 15 下的支撑土体逐渐沉陷，造成盘下土体支撑应力 σ_2 从平衡状态逐渐衰减，直至为 0 时，此时管体自重及其上覆土体压力 G 被未塌陷断的土体平衡掉了。故：

$$\sigma_3 = k \gamma_s h \quad (7)$$

[0042] 此时，光纤光栅 13 测量出的应变 ϵ_p 为：

$$[0043] \quad \epsilon_p = k \gamma_s h / E \quad (8)$$

[0044] 因此,由上分析可知,当测量出的 $\epsilon_p = \gamma_s h / E$ (即土体下塌系数 $k = 1$) 并保持恒定时,表示管体处于悬空状态。

[0045] 管土相对位移监测装置的测量机理如图 6 所示,当测量应变 ϵ_p 达到阈值并保持恒定时,即表明管体已经处于悬空状态。

[0046] 采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统的总体构成如图 2 所示。在采空塌陷区 1 的油气管道 a2 的监测截面上安装管土相对位移传感器 a3,然后通过光纤接线盒 a4 与引至监测站的光缆 a5 连接,在监测站里,光缆 a5 与光开关 6 连接,光开关 6 与光纤光栅解调仪 7 连接,光纤光栅解调仪 7 与下位机 8 连接,下位机 8 预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输,GPRS 通讯模块 b10 接收后传到上位机 11。

[0047] 采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统的具体构成如图 7 所示,该系统分为现场数据采集传输系统和远程接收分析系统。

[0048] 现场数据采集传输系统包括光纤光栅位移传感器、光开关、光纤光栅解调仪、下位机、GPRS 通讯模块,光纤光栅位移传感器输出接光开关的输入,光开关的输出接光纤光栅解调仪的输入,光纤光栅解调仪的输出接下位机的输入,下位机的输出接 GPRS 通讯模块。

[0049] 远程接收分析系统包括 GPRS 通讯模块、上位机、数据信号远程实时接收、数据信号分析与处理、变化曲线动态显示;GPRS 通讯模块的输出接上位机的输入,上位机的输出分别接数据信号远程实时接收、数据信号分析与处理、变化曲线动态显示的输入。

[0050] 管土相对位移传感器 a3 将管土相对位移信号经光缆 a5 传到光开关 6,后经光纤光栅解调仪 7 解调传至下位机 8,下位机 8 调用自编的程序,控制光开关 6 和光纤光栅解调仪 7,实现数据的采集并对数据进行预处理;预处理后的数据通过无线通讯模块 a9 传输、无线通讯模块 b10 接收传到上位机 11,上位机 11 对数据进行进一步的分析处理,判断管土相对位移,判断采空区土体的塌陷情况。

[0051] 如图 5 所示,管土相对位移传感器 b16 安装在油气管道 b17 的正下方,监测截面位置和数量的选择根据采空塌陷区 1 的实际情况而定;在管道 b17 底部安装光纤光栅位移传感器 b16,光纤光栅位移传感器 b16 与管道 c17 通过卡件连接,光纤光栅位移传感器 b16 可以与应变传感器串联,也可单独通过光纤跳线 18 引至光纤接线盒 b19,通过光纤接线盒 b19 与光缆连接;其中光纤光栅位移传感器 a3 的结构如图 4 所示,随管体埋入土中的光纤光栅位移传感器 a3 由安装块 12、光纤光栅 13、测力杆 14、承重盘 15 组成;安装块 12 由测力杆 14 与承重盘 15 连接成“工”字形,光纤光栅 13 固定在测力杆 14 上;承重盘 15 用于承受下塌土体重力,光纤光栅 13 测量测力杆 14 发生的应变,通过对应关系转化为位移;安装块 12 便于传感器稳固的安装于管道上;其中测力杆 14 与承重盘 15、测力杆 14 与安装块 12 螺纹连接,安装块 12 与管道通过卡件连接。

[0052] 该系统的电原理如图 8 所示,光纤光栅位移传感器 a4 的 PC 接头用光缆 a5 与光开关 6 的 PC 接头连接,光开关 6 的 R232 连接下位机 8 的 R232 接口,光开关 6 的 PC 接头连接光纤光栅解调仪 7 SM125 的 PC 接口,光纤光栅解调仪 7 SM125 的 LAN 端口连接下位机 8 的 LAN 端口,下位机 8 的输出由 VGA 端接显示器的 VGA 端,下位机 8 的 R232 端口接 GPRS 传输模块 a9 西门子 MC35i 的 R232 端口,GPRS 传输模块 a9 经天线 GSM、GPRS 网络,被 GPRS 接收模块 b12 天线 GSM 接收后由 R232 接到上位机 11 的 R232,上位机 11 的输出由 VGA 端接显示

器的 VGA 端。

[0053] 管土相对位移光纤光栅传感器的输出信号经光开关 6 传输至光纤光栅解调仪 7，光纤光栅解调仪 7 解调出光纤光栅传感器的中心波长位移量传输至下位机 8，光开关 6 导通信号的周期由下位机 8 控制。下位机 8 对数据进行预处理，并将处理后的数据输给 GPRS 传输模块 a9，GPRS 传输模块 a9 将下位机 8 计算的各监测量通过公众无线通信网络传输到位于办公室的上位机 11，上位机通过自编软件对数据进行分析处理，由显示器显示。

[0054] 管土相对位移监测装置的测量机理如图 6 所示，可以通过应变 ϵ_p 了解管土相对位移的情况；当测量应变 ϵ_p 达到阈值并保持恒定时，表明管体已经处于悬空状态；

[0055] 管土相对位移光纤光栅传感器的输出信号经光开关导通传输至光纤光栅解调仪 7，光纤光栅解调仪 7 解调出各光纤光栅传感器的中心波长位移量传输至下位机 8，光开关 6 导通信号的周期由下位机 8 控制。下位机 8 对数据进行预处理，并将处理后的数据输给 GPRS 传输模块 a9，GPRS 传输模块 a9 将下位机 8 计算的各监测量通过公众无线通信网络传输到位于办公室的上位机 11，上位机通过自编软件对数据进行分析处理，由显示器显示。

[0056] 现场监测站设置在采空塌陷区附近的阀室，包括如下几部分：

[0057] (1) 监测站与各传感器的光纤接线盒和连接光缆，用于将采空塌陷区上各个位置的传感器信号集中传输到监测站；

[0058] (2) 光开关 6，由于监测采空塌陷和管道的传感器很多，信号通道众多，无法一次连接到光纤光栅解调仪 7 上，用光开关 6 将各通道信号依次转换给光纤光栅解调仪 7 分析；

[0059] (3) 光纤光栅解调仪 7，用于解调出各传感器的中心波长位移量；

[0060] (4) 计算机及程序，用于控制解调仪解调的频率，并将解调仪解调出的中心波长位移量自动计算为各监测量，将这些监测量发送给 GPRS 通讯模块，并接收 GPRS 通讯模块的信号进行控制；

[0061] (5) GPRS 通讯模块，用于将计算机计算的各监测量通过无线通信网络传输到位于办公室的服务器，也可接受接服务器的信号，发送给计算机。

[0062] 该系统的工作原理为：当采空塌陷区 1 变形时，随着采空塌陷的不断进行，管道和其下方土体之间的位移也发生变化，通过光纤光栅位移传感器 a3 测量。通过连接光缆 a5，将采空塌陷区各个位置的传感器信号集中传输到光开关 6，光开关 6 将各通道信号依次转换给光纤光栅解调仪 7，光纤光栅解调仪 7 解调出各传感器波长中心波长位移量并传感给下位机 8，下位机 8 将解调仪解调出的中心波长位移量自动计算为各监测量，并将监测量发送给现场 GPRS 通讯模块 a9，GPRS 通讯模块 a9 通过无线通信网络传输信号，用 GPRS 通讯模块 b10 传送上位机 11，上位机 11 将各监测量与报警阈值对比，必要的时候给出报警。

[0063] 本方法及系统的优点：

[0064] (1) 揭示了管道敷设带（管廊带）采空塌陷区复杂土体的塌陷特征及管体与塌陷土体相互作用的特征；用管土相对位移监测指标进行采空塌陷区影响下油气管道的安全预警；

[0065] (2) 将光纤光栅传感技术应用于采空塌陷区监测，该技术抗干扰、耐腐蚀、易于组网等优势明显；该技术易于实现远程自动实时在线监测，且成本较低；

[0066] (3) 管土相对位移监测，根据管道所在采空塌陷区的特征，在每个管体监测截面的正下方安装 1 个光纤光栅位移传感器，用于监测管体及其下伏土体的相对位移情况，通过

监测值的变化来判定管土相对位移及管体是否已经悬空以及悬空的位置,避免了通过开挖管沟来判明管体是否悬空,为采空塌陷区油气管道开展防护工程时机的选择提供了有效依据,减少了防护工程的盲目性并节约了管道运行成本、同时也确保了管道的运行安全,减少了开挖验证时的施工危险;

[0067] (4) 本方法及系统具有自动、连续、及时的特点,能够准确及时掌握采空塌陷区土体的稳定状态、管体安全状态及是否暗悬状态,能对采空塌陷区的治理加固和管道安全防护时机的科学决策提供有力依据。

附图说明

- [0068] 图 1 采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法流程图
- [0069] 图 2 采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统构成图
- [0070] 图 3 软件流程图
- [0071] 图 4 位移传感器构成图
- [0072] 图 5 管土相对位移监测装置图
- [0073] 图 6 管土相对位移监测装置的测量机理图
- [0074] 图 7 采空塌陷区油气管道监测系统原理图
- [0075] 图 8 采空塌陷区油气管道监测系统电原理图
- [0076] 其中 1- 采空塌陷区 2- 管道 a
- [0077] 3- 管土相对位移传感器 a 4- 光纤接线盒 a
- [0078] 5- 光缆 a 6- 光开关
- [0079] 7- 光纤光栅解调仪 8- 下位机
- [0080] 9-GPRS 通讯模块 a 10-GPRS 通讯模块 b
- [0081] 11- 上位机 12- 安装块
- [0082] 13- 光纤光栅 14- 测力杆
- [0083] 15- 承重盘 16- 管土相对位移传感器 b
- [0084] 17- 管道 b 18- 光纤跳线
- [0085] 19- 光纤接线盒 b

具体实施方式

[0086] 实施例. 本例是一实验方法和系统,其构成如图 1- 图 8 所示。在一采深采厚比为 10、开采长度 15m、管道埋深 3m、管道长度为 130m 的采空塌陷区上作试验,管体直径为 168mm、壁厚为 6mm、钢级 L245。

[0087] 基于光纤光栅传感技术的采空塌陷区油气管道管土相对位移监测方法流程如图 1 所示。传感器采集的波长信号在现场监测站通过解调和预处理之后,被远程传输到异地监测中心,监测中心接收到数据后,通过特定算法对数据进行进一步的分析处理,计算出管土相对位移变化,从而对管体和土体应变变化的状态稳定情况进行判定;管土相对位移的报警条件为监测值超过预设值并保持恒定。当该参数小于阈值时则表明管道处于安全状态。当管土相对位移值达到阈值并保持恒定时进行管道安全预警。

[0088] 监测系统的数据流程如图 3 所示,包括三部分内容:下位机的数据采集程序、数

据的远程传输程序、上位机的数据分析程序。下位机数据采集主要功能是完成数据的采集和预处理。光纤光栅传感器的数据通过光纤光栅解调仪保存到下位机，下位机数据采集程序需要对保存的数据进行分类，并根据光纤光栅传感特性将波长变化值转化为相应的应变值。数据的远程传输程序主要功能是实现上下位机的数据通讯。通过对 GPRS 通讯模块的控制，数据远程传输程序将下位机的预处理数据传输到上位机，并将上位机的数据接收情况反馈给下位机，实现了自动传输。上位机数据分析程序的主要功能是通过数学方法对接受数据进行处理，拟合出数据的变化曲线，并将处理结果与报警阈值进行对比，进而判断采空区管道的安全情况。

[0089] 管土相对位移传感器 a3 将管土相对位移信号经光缆 a5 传到光开关 6，光开关 6 后经光纤光栅解调仪 7 解调传至下位机 8，下位机 8 调用自编的程序，控制光开关 6 和光纤光栅解调仪 7，实现数据的采集并对数据进行预处理；预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输、GPRS 通讯模块 b10 接收到上位机 11，上位机 11 对数据进行进一步的分析处理，判断管土相对位移；数据的处理主要由软件完成，软件流程如图 3 所示。下位机数据预处理主要是将光纤光栅解调仪采集的光波长数据根据转化为应变数据，上位机在接收数据后，首先将数据分类，根据管土相对位移公式计算管土相对位移及相应的应力应变，并最终判断采空区的稳定状态和管道的安全状况。

[0090] 采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统的总体构成如图 2 所示。在采空塌陷区 1 的油气管道 a2 的监测截面上安装管土相对位移传感器 a3，然后通过光纤接线盒 a4 与引至监测站的光缆 a5 连接，在监测站里，光缆 a5 与光开关 6 连接，光开关 6 与光纤光栅解调仪 7 连接，光纤光栅解调仪 7 与下位机 8 连接，下位机 8 预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输，GPRS 通讯模块 b10 接收后传到上位机 11。

[0091] 采空塌陷区油气管道管土相对位移监测系统的具体构成如图 7 所示，该系统分为现场数据采集传输系统和远程接收分析系统。

[0092] 现场数据采集传输系统包括光纤光栅位移传感器、光开关、光纤光栅解调仪、下位机、GPRS 通讯模块，光纤光栅位移传感器输出接光开关的输入，光开关的输出接光纤光栅解调仪的输入，光纤光栅解调仪的输出接下位机的输入，下位机的输出接 GPRS 通讯模块。

[0093] 远程接收分析系统包括 GPRS 通讯模块、上位机、数据信号远程实时接收、数据信号分析与处理、变化曲线动态显示；GPRS 通讯模块的输出接上位机的输入，上位机的输出分别接数据信号远程实时接收、数据信号分析与处理、变化曲线动态显示的输入。

[0094] 管土相对位移传感器 a3 将管土相对位移信号经光缆 a5 传到光开关 6，光开关 6 后经光纤光栅解调仪 7 解调传至下位机 8，下位机 8 调用自编的程序，控制光开关 6 和光纤光栅解调仪 7，实现数据的采集并对数据进行预处理；预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输、GPRS 通讯模块 b10 接收传到上位机 11，上位机 11 对数据进行进一步的分析处理，判断管土相对位移，进而判断采空区土体的塌陷情况。

[0095] 如图 5 所示，管土相对位移传感器 b16 安装在油气管道 b17 的正下方，监测截面位置和数量的选择根据采空塌陷区 1 的实际情况而定；在管道 b17 底部安装光纤光栅位移传感器 b16，光纤光栅位移传感器 b16 与管道 c17 通过卡件连接，光纤光栅位移传感器 b16 可以与应变传感器串联，也可单独通过光纤跳线 18 引至光纤接线盒 b19，通过光纤接线盒 b19 与光缆连接；其中光纤光栅位移传感器 a3 的结构如图 4 所示，随管体埋入土中的光纤光栅

位移传感器 a3 由安装块 12、光纤光栅 13、测力杆 14、承重盘 15 组成；安装块 12 由测力杆 14 与承重盘 15 连接成“工”字形，光纤光栅 13 固定在测力杆 14 上；承重盘 15 用于承受下塌土体重力，光纤光栅 13 测量测力杆 14 发生的应变，通过对应关系转化为位移；安装块 12 便于传感器稳固的安装于管道上；其中测力杆 14 与承重盘 15、测力杆 14 与安装块 12 螺纹连接，安装块 12 与管道通过卡件连接。

[0096] 该系统的电原理如图 8 所示，光纤光栅位移传感器 a4 的 PC 接头用光缆 a5 与光开关 6 的 PC 接头连接，光开关 6 的 R232 连接下位机 8 的 R232 接口，光开关 6 的 PC 接头连接光纤光栅解调仪 7 SM125 的 PC 接口，光纤光栅解调仪 7 SM125 的 LAN 端口连接下位机 8 的 LAN 端口，下位机 8 的输出由 VGA 端接显示器的 VGA 端，下位机 8 的 R232 端口接 GPRS 传输模块 a9 西门子 MC35i 的 R232 端口，GPRS 传输模块 a9 经天线 GSM、GPRS 网络，被 GPRS 接收模块 b12 天线 GSM 接收后由 R232 接到上位机 11 的 R232，上位机 11 的输出由 VGA 端接显示器的 VGA 端。

[0097] 管土相对位移光纤光栅传感器的输出信号经光开关 6 传输至光纤光栅解调仪 7，光纤光栅解调仪 7 解调出光纤光栅传感器的中心波长位移量传输至下位机 8，光开关 6 导通信号的周期由下位机 8 控制。下位机 8 对数据进行预处理，并将处理后的数据输给 GPRS 传输模块 a9，GPRS 传输模块 a9 将下位机 8 计算的各监测量通过公众无线通信网络传输到位于办公室的上位机 11，上位机通过自编软件对数据进行分析处理，由显示器显示。

[0098] 管土相对位移监测装置的测量机理如图 6 所示，可以通过应变 ϵ_p 了解管土相对位移的情况；当测量应变 ϵ_p 保持恒定时，及表明管体已经处于悬空状态；

[0099] 管土相对位移光纤光栅传感器的输出信号经光开关逐一导通传输至光纤光栅解调仪 7，光纤光栅解调仪 7 解调出各光纤光栅传感器的中心波长位移量传输至下位机 8，光开关 6 导通信号的周期由下位机 8 控制。下位机 8 对数据进行预处理，并将处理后的数据输给 GPRS 传输模块 a9，GPRS 传输模块 a9 将下位机 8 计算的各监测量通过公众无线通信网络传输到位于办公室的上位机 11，上位机通过自编软件对数据进行分析处理，由显示器显示。

[0100] 现场监测站设置在采空塌陷区附近的阀室，包括如下几部分：

[0101] (1) 监测站与各传感器的光纤接线盒和连接光缆，用于将采空塌陷区上各个位置的传感器信号集中传输到监测站；

[0102] (2) 光开关 6，由于监测采空塌陷和管道的传感器很多，信号通道众多，无法一次连接到光纤光栅解调仪 7 上，用光开关 6 将各通道信号依次转换给光纤光栅解调仪 7 分析；

[0103] (3) 光纤光栅解调仪 7，用于解调出各传感器的中心波长位移量；

[0104] (4) 计算机及程序，用于控制解调仪解调的频率，并将解调仪解调出的中心波长位移量自动计算为各监测量，将这些监测量发送给 GPRS 通讯模块，并接收 GPRS 通讯模块的信号进行控制；

[0105] (5) GPRS 通讯模块，用于将计算机计算的各监测量通过无线通信网络传输到位于办公室的服务器，也可接受接服务器的信号，发送给计算机。

[0106] 其中：

[0107] 光纤光栅位移传感器：选用自行设计封装的光纤光栅传感器；

[0108] 光开关 6：选用光隆科技 SUM-FSW；

- [0109] 光纤光栅解调仪 7 :选用 SM125 ;
- [0110] 上位机 11 及程序 :选用研华 IPC-610, 程序自编 ;
- [0111] 下位机 8 及程序 :选用研华 IPC-610, 程序自编 ;
- [0112] GPRS 传输模块 a9 :西门子 MC35i ;
- [0113] GPRS 接收模块 b10 :选用西门子 MC35i。
- [0114] 用上述方法构建的系统在进行监测时, 采空塌陷区 1 与油气管道 a2 之间的相对位移由管土相对位移传感器 a3 监测 ;
- [0115] 采集到的信号经光开关 6、光纤光栅解调仪 7 解调后由下位机 8 作预处理 ;
- [0116] 下位机 8 预处理后的数据通过 GPRS 通讯模块 a9 传输、GPRS 通讯模块 b10 接收到上位机 11 ; 上位机 11 判断数据是否完整, 不完整时再返回下位机 8 预处理 ; 完整则传到上位机 11 ;
- [0117] 上位机 11 对信号作进一步分析与处理 ;
- [0118] 由上位机 11 输出采空塌陷区管土相对位移变化动态显示 ; 并判断数据是否超出阈值 ;
- [0119] 当管土相对位移值小于阈值时则表明管道处于安全状态 ;
- [0120] 当管土相对位移值达到阈值并保持恒定时进行管道安全预警。
- [0121] 若采空塌陷区 1 的土体下塌, 埋于土体下方的管道 a2 受到上方土体荷载的作用而发生弯曲应变, 由于管道 a2 下方土体不断塌陷, 埋于采空塌陷区 1 的管土相对位移传感器 a3 在承受土压力的过程中产生拉伸应变, 管土相对位移传感器 a3 上的光纤光栅 13 感受到拉应变, 通过计算可得出管土相对位移以及应变, 即判定管道 a2 是否悬空以及悬空的位置。
- [0122] 经长时间的监测, 本例易于构建监测系统, 易于实现采空塌陷区 1 和管道 a2 监测数据的实时自动采集分析及远程发布, 远程实时自动报警。避免了繁琐的人工采集数据, 提高了预警的精度, 减少了报警时间, 同时还能对报警地点进行准确定位, 这对管道应急措施的采取至关重要。

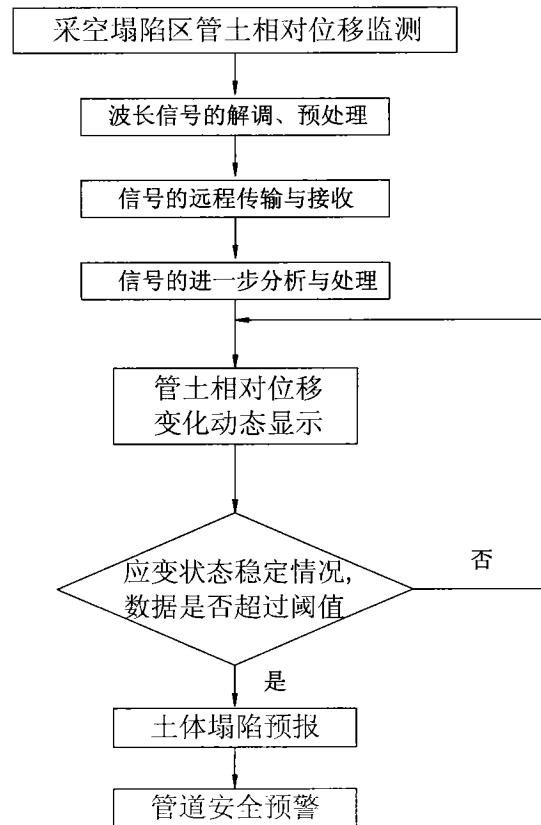


图 1

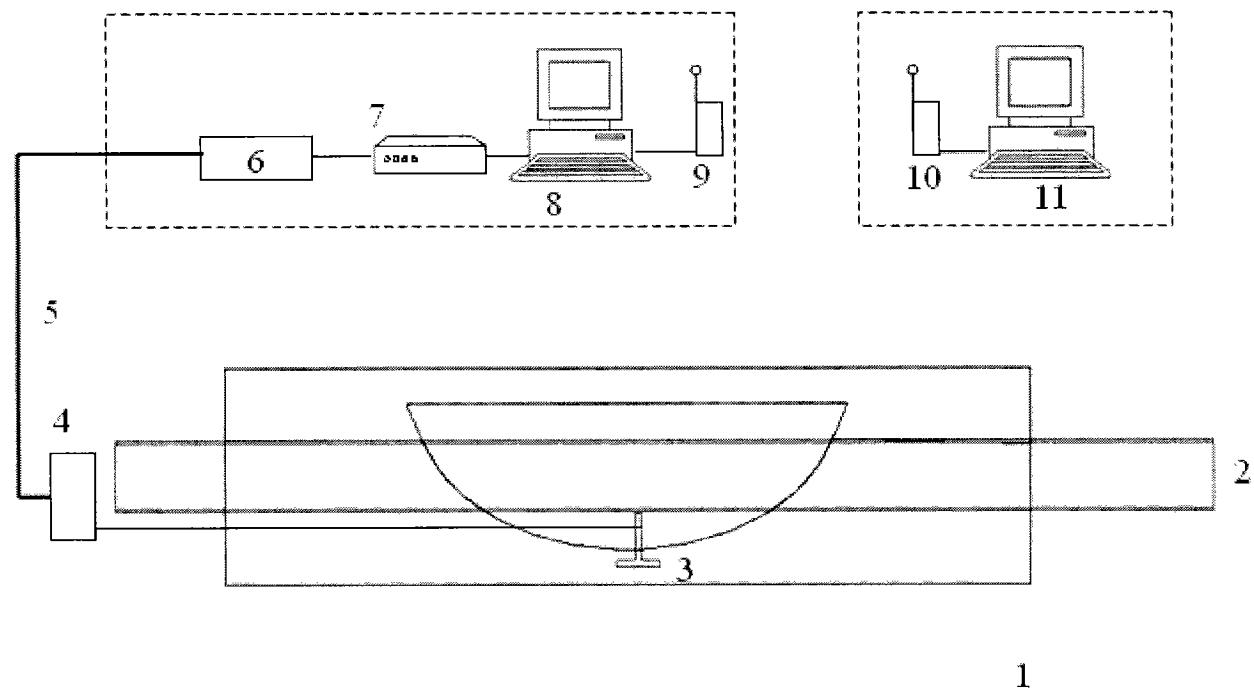


图 2

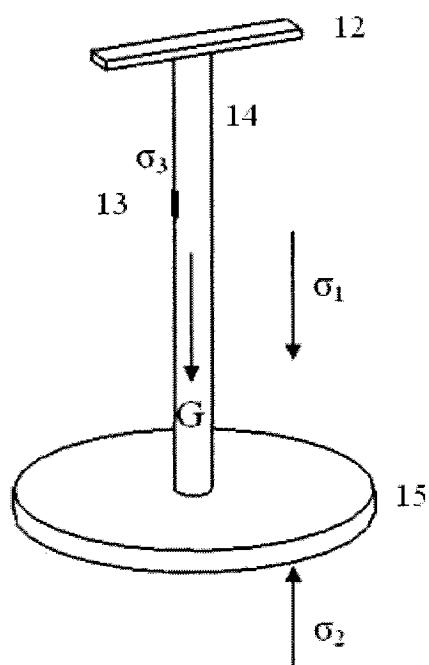
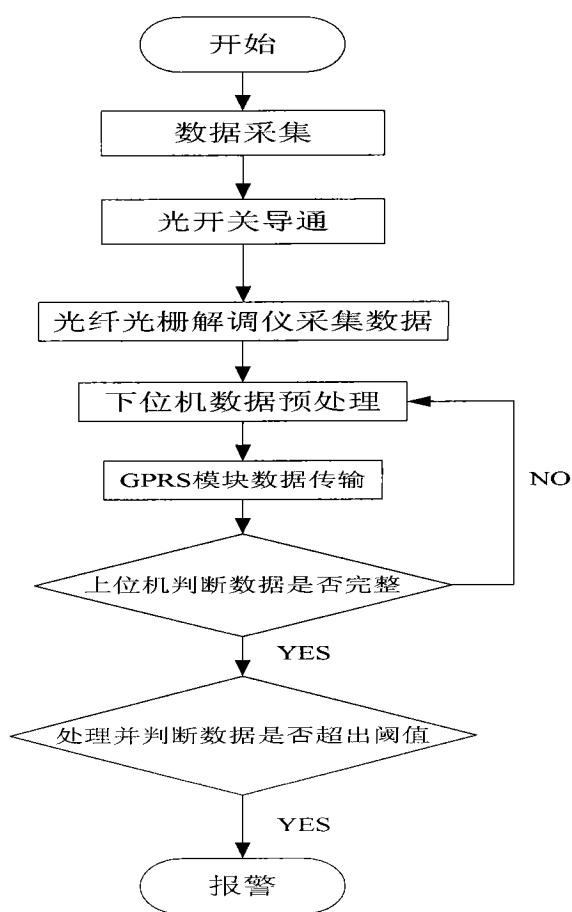


图 4

图 3

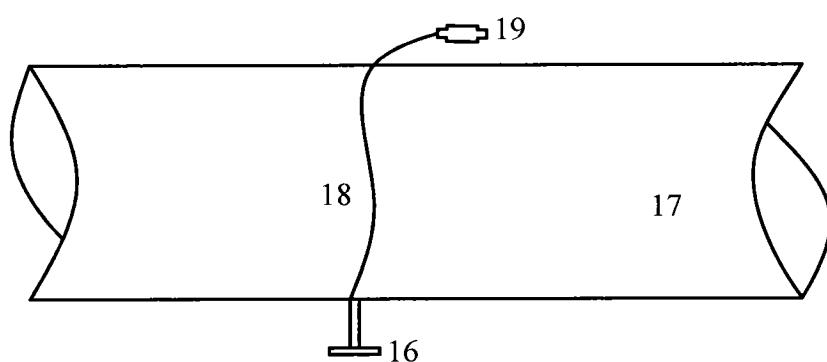


图 5

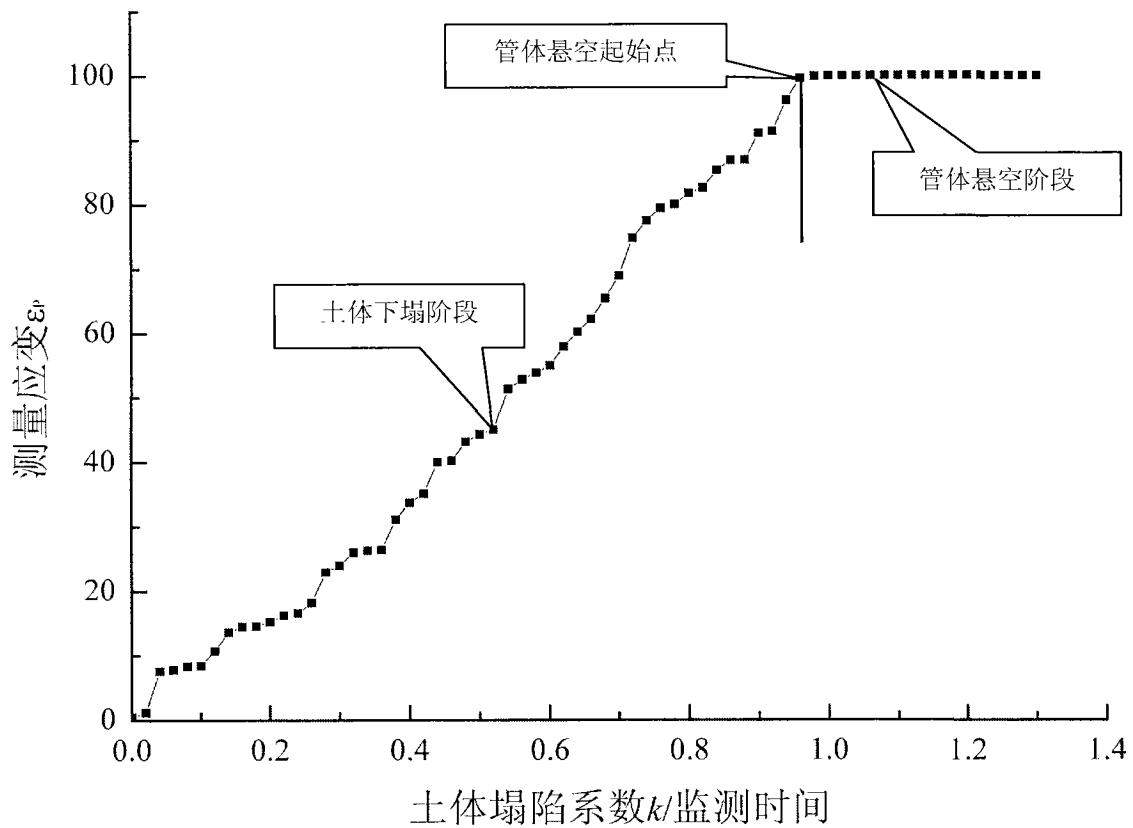


图 6

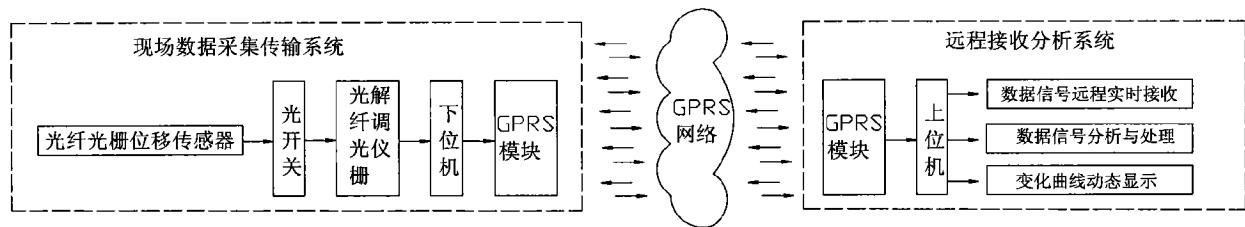


图 7

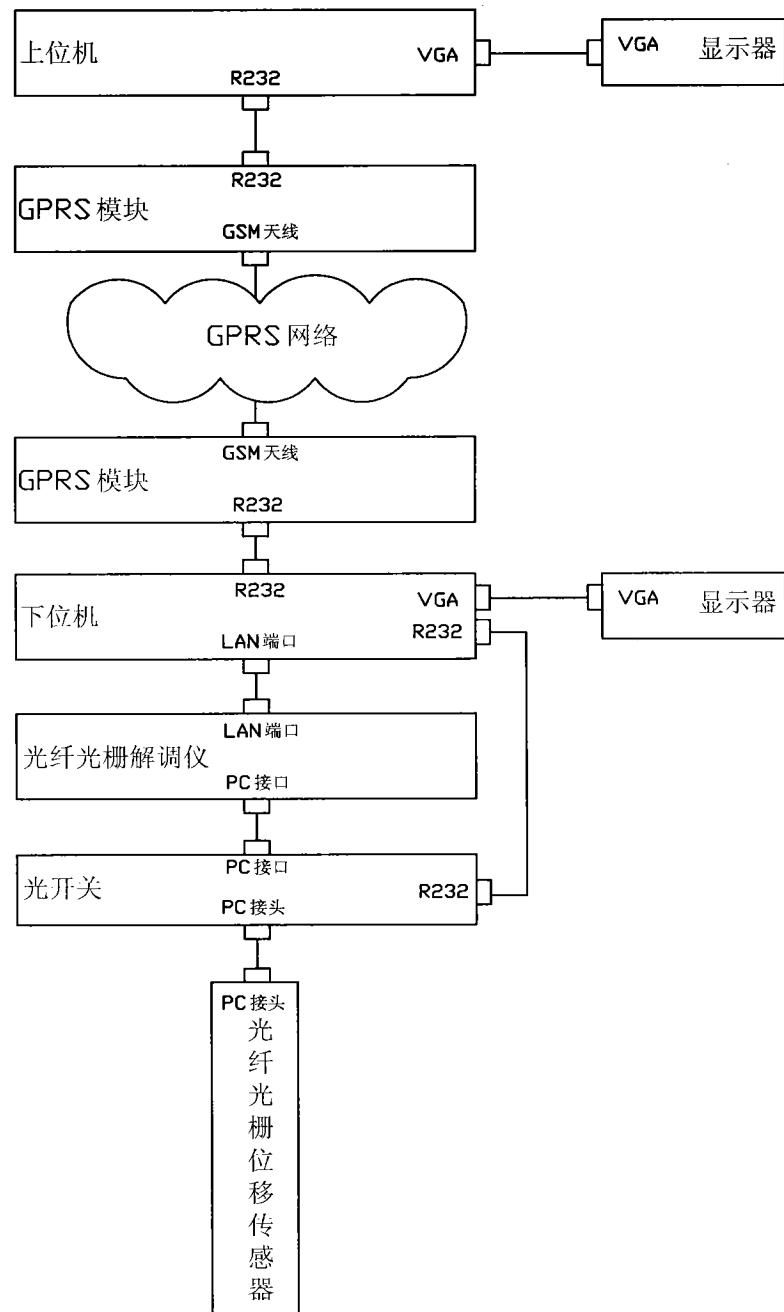


图 8