

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610041088.7

[51] Int. Cl.
G01N 21/39 (2006.01)
G01M 3/38 (2006.01)

[43] 公开日 2007年1月3日

[11] 公开号 CN 1888865A

[22] 申请日 2006.7.19

[21] 申请号 200610041088.7

[71] 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所
地址 230031 安徽省合肥市 1125 信箱

[72] 发明人 陈 东 刘文清 刘建国 阚瑞锋
方 曦 陈玖英 王 敏 夏 惠
王晓梅 王铁栋 张玉钧

[74] 专利代理机构 合肥华信专利商标事务所
代理人 余成俊

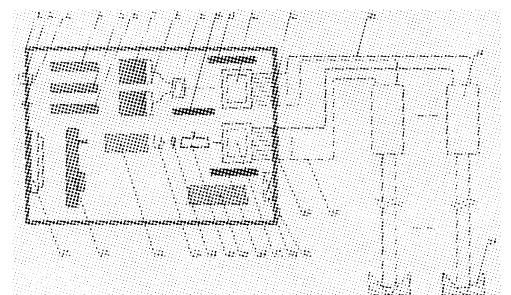
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称

开放式天然气泄漏多路监测方法和光路结构

[57] 摘要

本发明公开了一种基于半导体激光吸收光谱法的开放式天然气泄漏多路监测方法和光路结构，包括有主机箱和开放式长光程系统，主机箱上安装有电源插座、开关、风扇、光纤连接器，数据传输接口，其特征在于机箱内有近红外半导体激光器，半导体激光控制器、锁相放大器、信号发生器、数据采集处理和控制模块，光开关，光开关驱动电路，红外探测器，主机箱与现场光学系统通过光纤连接。开放式光学系统包括收发一体的光学望远镜和多元件角反射镜阵列，光学望远镜上有输入光纤耦合器和输出光纤耦合器。本发明利用基于光开关技术的光纤分布式结构实现了多气体组分和多光路的分时检测。



1、开放式天然气泄漏多路监测方法，其特征在于是采用中心波长为 1577nm 的近红外 DFB 半导体激光器作为 H_2S 的检测激光光源，将激光器输出中心波长调谐到 1576.3nm H_2S 的一条吸收线中心，将 100Hz 锯齿波信号叠加在激光器的驱动电流上使激光波长缓慢扫描过 H_2S 气体的吸收线，同时将 10KHz 正弦波信号叠加在激光器的驱动电流上对激光输出波长进行调谐；采用中心波长为 1653nm 的近红外 DFB 半导体激光器作为 CH_4 的检测激光光源，将激光器输出中心波长调谐到 1653.7nm CH_4 的一条吸收线中心，将 100Hz 锯齿波信号叠加在激光器的驱动电流上使激光波长缓慢扫描过 CH_4 气体的吸收线，同时将 10KHz 正弦波信号叠加在激光器的驱动电流上对激光输出波长进行调制；两台激光器经尾纤输出，首先通过连接法兰耦合入 1×2 光开关， 1×2 光开关选通输出的激光束从输出 $1 \times N$ 光开关的输入端进入，从输出 $1 \times N$ 光开关的 N 个输出端依次输出，依次传输到 N 个外光路，每个外光路由卡塞格林型的收发光学望远镜和其前方放置的多元件角反射镜组组成，激光束经望远镜内轴线中安装的离轴抛物面镜扩束后以平行光出射，光束经过检测区域后被放置在光路另一端的角反射镜组反射后沿原光路返回，反射回来的光被望远镜内的主球面镜收集，然后由与离轴抛物面镜背向安装的副球面镜聚焦并导出到光纤上，经输入 $1 \times N$ 光开关的 N 个输入端输入，其输出端设置有一个充满一个大气压 H_2S 和 CH_4 标准混合气体的校准吸收池，用于对检测吸收信号的实时校准；输入 $1 \times N$ 光开关输出的光经过校准吸收池后聚焦到一个红外光电探测器的光敏面上，探测器信号被分为两路，一路送锁相放大器进行二次谐波信号检测，锁相放大器的参考信号来自激光器调制的 10KHz 正弦波信号，另一路直接送数据采集、处理和控制模块处理； 1×2 光开关依据数据采集、处理和控制模块发出的选通信号顺序将检测激光耦合到输出端，输出 $1 \times N$ 光开关与输入 $1 \times N$ 光开关的端口选通根据数据采集、处理和控制模块发出的选通信号同步选通，完成对 H_2S 和 CH_4 的分时多路检测。

2、根据权利要求要 1 所述的方法，其特征在于所述的 N 为 8。

3、开放式天然气泄漏多路监测的光学结构，其特征在于机箱内安装有 1577nm 近红外 DFB 半导体激光器、1653nm 近红外 DFB 半导体激光器，上述两台激光器的尾纤输出耦合入 1×2 光开关， 1×2 光开关的选通输出端与输出 $1 \times N$ 光开关

的输入端连接，输出 $1 \times N$ 光开关的 N 个输出端通过 N 个光纤外接 N 个外光路，每个外光路均由卡塞格林型的收发光学望远镜和多元件角反射镜组组成，望远镜的镜筒内轴线上安装有离轴抛物面镜，离轴抛物面镜的背后是副球面镜，望远镜镜筒的底部有主球面镜，主球面镜的中心有副球面镜聚焦的激光耦合出口，离轴抛物面镜的镜面上方的镜筒侧壁上开有激光入射口，输出 $1 \times N$ 光开关的每个输出端和每个望远镜镜筒上的激光入射口之间连接有光纤，每个望远镜的激光耦合出口均连接有光纤接入和输入 $1 \times N$ 光开关的 N 个输入端，输入 $1 \times N$ 光开关的输出端安装有一个充满一个大气压 H_2S 和 CH_4 标准混合气体的校准吸收池，校准吸收池后的光路上有聚焦透镜、红外光电探测器。

4、根据权利要求 3 所述的结构，其特征在于所述的 N 为 8。

开放式天然气泄漏多路监测方法和光路结构

技术领域

本发明属于一种气体的激光光谱测量仪器,具体是一种基于近红外半导体激光吸收光谱法的光纤分布式开放光程 H_2S 和 CH_4 气体浓度多路监测方法与仪器。

背景技术

随着对绿色能源石油天然气需求量的增加,石油天然气在开采、处理及运输过程中的安全问题已经引起人们的高度重视,特别是对于含硫化氢天然气的安全监测,由于其硫化氢成分具有很高的毒性和腐蚀性,如果没有灵敏可靠的监测装置,一旦出现泄漏,会严重危及到人员和设备安全。

H_2S 是一种无色、剧毒、易燃的酸性气体,其相对密度为1.176,较空气重,硫化氢与空气混合,体积分数达4.3% ~ 46%时就形成一种爆炸混合物。 H_2S 是石油天然气中常见的有毒气体成分。硫化氢的毒性较一氧化碳大5 ~ 6倍。环境中的 H_2S 浓度达到10ppm就可能对人体健康造成危害,达到100ppm以上就可能短时间内引起生命危险。2003年重庆开县特大井喷事故导致重大人员伤亡惨剧的直接原因就是 H_2S 中毒。 H_2S 还具有很强的腐蚀性, H_2S 环境会导致仪器设备使用寿命大大降低。甲烷是石油天然气的主要成分,它是一种无色、无味、易燃、易爆气体,空气中的爆炸极限为5 ~ 16%体积混合比,由于天然气泄漏引起的爆炸事故时有发生。 CH_4 还是一种非常重要的温室气体,地球温室效应的20%是由甲烷引起,等量的甲烷对温室效应的作用是二氧化碳的22倍。因此,监测天然气泄漏,特别是对高含 H_2S 石油天然气的开采、处理及运输过程的气体泄漏进行连续监测,对于人员和设备安全以及环境安全都是必不可少的。

国家安全生产管理条例允许的八小时工作环境 H_2S 浓度为 $10mg/m^3$,石油天然气工业安全生产规范对天然气开采及处理环境也有强制检测要求。目前普遍使用的监测仪器基本上还是基于电化学和半导体技术的点式仪器,这些仪器虽然有足够的检测灵敏度,但普遍具有响应时间长、易中毒以及易受其它气体干扰等缺点,仪器维护量大,而且对大范围的监测环境所需系统设备代价极高,如输送管线、储气站等。基于激光光谱技术的气体传感技术,能够实现对气体的高灵敏、

高分辨、非接触在线检测，不存在中毒问题，仪器维护量低。通过多气体成分的同时测量，还可以极大提高监测的灵敏度和可靠性，减少安全监测的误报率。利用光纤分布式系统可以使用一套系统实现气体的多路测量。因此，基于激光光谱法的气体检测技术在石油天然气泄漏在线监测领域有着广阔应用前景。

发明内容

本发明提出了一种基于可调谐半导体激光吸收光谱技术的开放式天然气泄漏多路监测方法和光路结构，使用两台近红外波段DFB半导体激光器，利用 H_2S 和 CH_4 在近红外光谱区的特征吸收，并结合光纤光开关技术实现对 H_2S 和 CH_4 的分时和多路检测，采用波长调制光谱和二次谐波检测技术、开放式长光程技术实现对大监测范围的快速、高灵敏、无干扰的气体浓度测量。采用背景光强信号拟合的方法消除了光强波动对测量的影响。通过对天然气成分中 H_2S 和 CH_4 的同时检测，提高了对天然气泄漏监测的灵敏度和可靠性。

本发明的技术方案如下：

开放式天然气泄漏多路监测方法，其特征是采用中心波长为1577nm的近红外DFB半导体激光器作为 H_2S 的检测激光光源，将激光器输出中心波长调谐到1576.3nm H_2S 的一条吸收线中心，将100Hz锯齿波信号叠加在激光器的驱动电流上使激光波长缓慢扫描过 H_2S 气体的吸收线，同时将10KHz正弦波信号叠加在激光器的驱动电流上对激光输出波长进行调谐；采用中心波长为1653nm的近红外DFB半导体激光器作为 CH_4 的检测激光光源，将激光器输出中心波长调谐到1653.7nm CH_4 的一条吸收线中心，将100Hz锯齿波信号叠加在激光器的驱动电流上使激光波长缓慢扫描过 CH_4 气体的吸收线，同时将10KHz正弦波信号叠加在激光器的驱动电流上对激光输出波长进行调制；两台激光器经尾纤输出，首先通过连接法兰耦合入 1×2 光开关， 1×2 光开关选通输出的激光束从输出 $1 \times N$ 光开关的输入端进入，从输出 $1 \times N$ 光开关的N个输出端依次输出，依次传输到N个外光路，每个外光路由卡塞格林型的收发光学望远镜和其前方放置的多元件角反射镜组组成，激光束经望远镜内轴线中安装的离轴抛物面镜扩束后以平行光出射，光束经过检测区域后被放置在光路另一端的角反射镜组反射后沿原光路返回，反射回来的光被望远镜内的主球面镜收集，然后由与离轴抛物面镜背向安装的副球面镜聚焦并导出到光纤上，经输入 $1 \times N$ 光开关的N个输入端输入，其输

出端设置有一个充满一个大气压 H_2S 和 CH_4 标准混合气体的校准吸收池，用于对检测吸收信号的实时校准；输入 $1 \times N$ 光开关输出的光经过校准吸收池后聚焦到一个红外光电探测器的光敏面上，探测器信号被分为两路，一路送锁相放大器进行二次谐波信号检测，锁相放大器的参考信号来自激光器调制的 10KHz 正弦波信号，另一路直接送数据采集、处理和模块处理； 1×2 光开关依据数据采集、处理和模块发出的选通信号顺序将检测激光耦合到输出端，输出 $1 \times N$ 光开关与输入 $1 \times N$ 光开关的端口选通根据数据采集、处理和模块发出的选通信号同步选通，完成对 H_2S 和 CH_4 的分时多路检测。

开放式天然气泄漏多路监测的光学结构，其特征在于机箱内安装有 1577nm 近红外 DFB 半导体激光器、1653nm 近红外 DFB 半导体激光器，上述两台激光器的尾纤输出耦合入 1×2 光开关， 1×2 光开关的选通输出端与输出 $1 \times N$ 光开关的输入端连接，输出 $1 \times N$ 光开关的 N 个输出端通过 N 个光纤外接 N 个外光路，每个外光路均由卡塞格林型的收发光学望远镜和多元件角反射镜组组成，望远镜的镜筒内轴线上安装有离轴抛物面镜，离轴抛物面镜的背后是副球面镜，望远镜镜筒的底部有主球面镜，主球面镜的中心有副球面镜聚焦的激光耦合出口，离轴抛物面镜的镜面上方的镜筒侧壁上开有激光入射口，输出 $1 \times N$ 光开关的每个输出端和每个望远镜镜筒上的激光入射口之间连接有光纤，每个望远镜的激光耦合出口均连接有光纤接入和输入 $1 \times N$ 光开关的 N 个输入端，输入 $1 \times N$ 光开关的输出端安装有一个充满一个大气压 H_2S 和 CH_4 标准混合气体的校准吸收池，校准吸收池后的光路上有聚焦透镜、红外光电探测器。

所述的 N 为 8。

本发明利用最新的近红外可调谐半导体激光吸收光谱技术、开放式长光程技术和分布式光纤技术实现对大范围的环境中 H_2S 和 CH_4 浓度的实时、多光路遥测，利用可调谐半导体激光吸收光谱技术高分辨特点消除了环境空气中其它气体成分的干扰，从技术上克服了传统点式仪器响应速度慢、易受干扰、易中毒、不能实现大范围连续实时监测以及成本高等缺点，利用一套系统实现多光路监测，降低了大范围气体泄漏监测的系统成本，对 H_2S 和 CH_4 浓度的检测限低于 1ppm，满足了工业环境安全监测的需要，真正实现了对天然气泄漏的高灵敏、大范围的实时在线监测。

图 1 是本发明结构示意图。

图 2 光纤耦合收发一体光学望远镜结构示意图。

图 3 角反射镜组结构图。

具体实施方式

参见图 1、图 2、图 3。

图中标号：1、主机箱，2、主电源开关，3、数据传输接口，4、1577nm 半导体激光温度电流控制模块，5、信号发生电路，6、1653nm 半导体激光温度电流控制模块，7、1577nm 近红外 DFB 半导体激光器，8、1653nm 近红外 DFB 半导体激光器，9、1×2 光开关，10、1×2 光开关驱动电路，11、输出 1×8 光开关驱动电路，12、输出 1×8 光开关，13、输出光纤连接器，14 输入光纤连接器，15、总电源插座，16、风扇，17、输入 1×8 光开关，18、输入 1×8 光开关驱动电路，19、直流稳压电源，20、校准吸收池，21、聚焦透镜，22、红外光电探测器，23、锁相放大器，24、数据采集、处理和 控制模块，25、液晶显示屏。上述所涉及的部件均是安装在机箱 1 上。26、输出单模光纤，27、输入单模光纤，28、收发光学望远镜，29、角反射镜组，30、主球面镜，31、副球面镜，32、离轴抛物面镜，33、望远镜窗片，34、输入光纤耦合器 35、导出光纤耦合器。

本发明采用中心波长为 1577nm 的近红外 DFB 半导体激光器 7 作为 H₂S 的检测激光光源，激光器温度和电流控制模块 4 通过激光温度、电流控制将激光器输出中心波长调谐到 1576.3nm H₂S 的一条吸收线中心，信号发生电路 5 产生的 100Hz 锯齿波信号叠加在激光器的驱动电流上使激光波长缓慢扫描过 H₂S 气体的吸收线，信号发生电路 5 同时产生 10KHz 正弦波信号叠加在激光器的驱动电流上对激光输出波长进行调谐。采用中心波长为 1653nm 的近红外 DFB 半导体激光器 8 作为 CH₄ 的检测激光光源，利用激光器温度和电流控制模块 6 将激光器输出中心波长调谐到 1653.7nm CH₄ 的一条吸收线中心，激光器 8 与激光器 7 共用由信号发生电路 5 产生的波长扫描和调制信号。两台激光器经尾纤输出，首先通过连接法兰耦合入 1×2 光开关 9，1×2 光开关 9 在数据采集、处理和 控制模块 24 发出的选通信号作用下顺序将检测激光耦合到二个输出端，实现 H₂S 和 CH₄ 气体的分时检测。1×2 光开关 9 选通输出的激光束通过单模光纤与输出 1×8 光开关 12 的输入端连接，1×8 光开关 12 的选通信号也是由数据采集、处理和 控制模

块 24 发出, 1×8 光开关 12 顺序将输入激光耦合到 8 个输出端, 输出端通过光纤 26 与外光路连接, 实现单套系统的 8 路分时检测。 1×8 光开关 12 的通道扫描周期为 24s, 单通道检测时间为 3s, 在每个通道检测周期内, 1×2 光开关 8 对输出通道扫描一个周期, 也就是将两台激光器的输出顺序耦合到外检测光路, 完成对 H_2S 和 CH_4 气体浓度的一次顺序检测。 1×8 光开关 12 的 8 个输出端通过单模光纤分别与 8 个外检测光路连接, 外光路采用的是开放式双光路设计, 由卡塞格林型的收发光学望远镜 28 和多元件角反射镜组 29 组成, 最大设计光程为 500m。激光束经过光纤由输入光纤耦合器 34 耦合到收发光学望远镜 28, 耦合光束经离轴抛物面镜 32 扩束后以平行光出射, 光束经过检测区域后被放置在光路另一端的角反射镜组 29 反射后沿原光路返回, 反射回来的光被望远镜内的主球面镜 30 收集, 然后由副球面镜 31 聚焦到导出光纤耦合器 35 的耦合端上, 由耦合器耦合入单模光纤 27 传输回主机系统。8 路返回光信号通过主机箱的光纤连接器 14 与输入 1×8 光开关 17 的 8 个输入端连接, 光开关 17 与光开关 12 通道选择同步, 顺序将各检测光路的返回光信号选通到光开关 17 的输出端。光开关 17 出射端口有一个内置的充满一个大气压 H_2S 和 CH_4 标准混合气体的 10cm 校准吸收池 14, 用于对检测吸收信号的实时校准。光开关 13 出射光经过校准吸收池 20 后聚焦到一个红外光电探测器 22 的光敏面上。探测器信号被分为两路, 一路送锁相放大器 23 进行二次谐波信号检测, 锁相放大器 23 的参考信号来自于信号发生电路 5 产生的正弦调制信号。另一路直接送数据采集、处理和控制模块 24, 首先进行数字低通滤波, 然后对其作线性拟合作为激光光强信号, 锁相放大器 23 输出的二次谐波信号利用拟合光强信号进行归一化处理以消除光强波动对浓度检测的影响。归一化后的二次谐波信号经多次累加平均得到一条检测吸收谱, 利用预先保存的校准吸收池 20 吸收信号对检测吸收谱进行最小二乘积拟合并扣除校准池气体浓度得到气体的光程积分浓度, 或除以总光程得到光程平均的气体浓度。

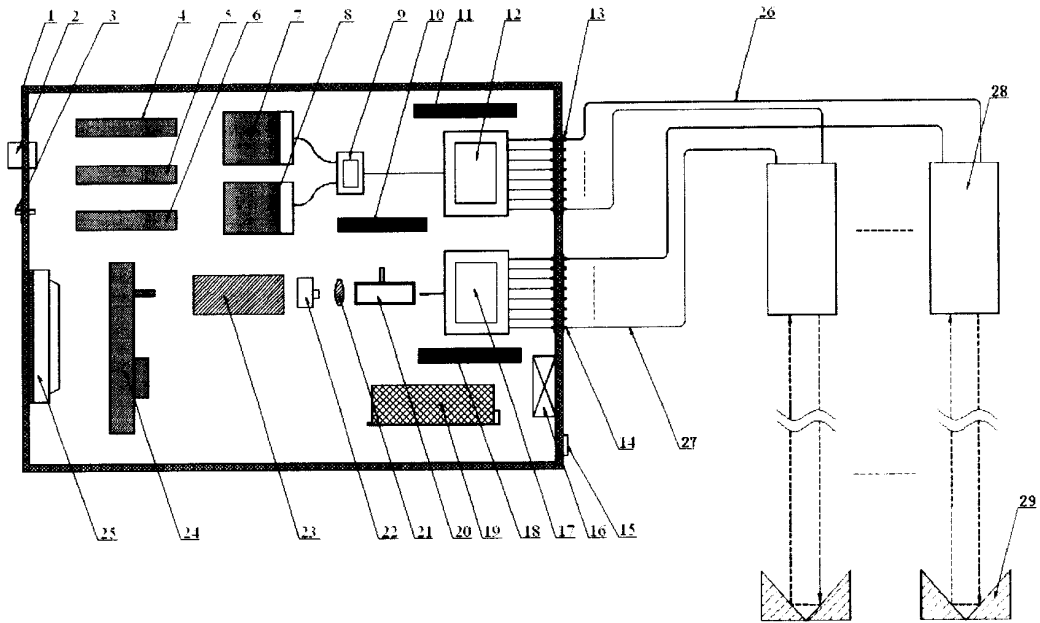


图 1

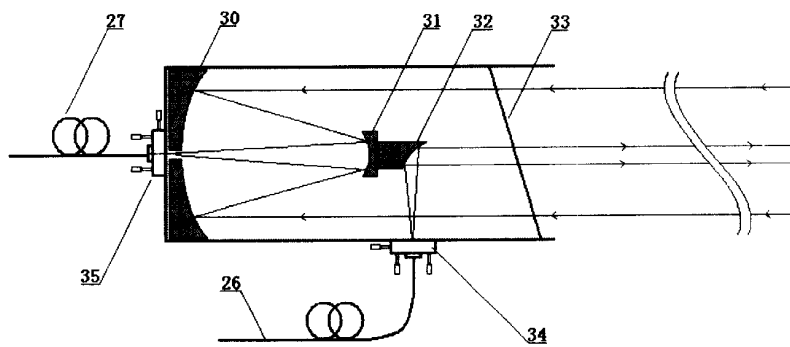


图 2

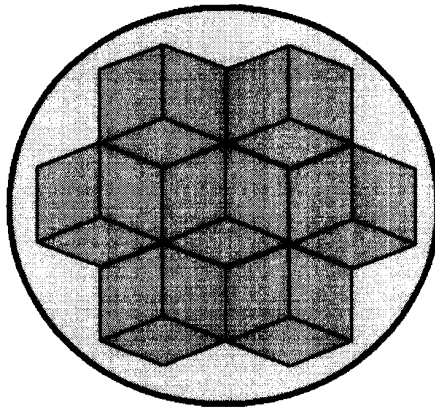


图 3