



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101287976 B

(45) 授权公告日 2010.09.29

(21) 申请号 200680035794.9

(22) 申请日 2006.10.04

(30) 优先权数据
60/723,761 2005.10.04 US

(85) PCT申请进入国家阶段日
2008.03.27

(86) PCT申请的申请数据
PCT/US2006/038933 2006.10.04

(87) PCT申请的公布数据
W02007/041670 EN 2007.04.12

(73) 专利权人 佐勒技术公司
地址 美国科罗拉多

(72) 发明人 詹姆斯·豪厄尔

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038
代理人 蒋世迅

(51) Int. Cl.
G01K 1/08(2006.01)
G01J 5/02(2006.01)

(56) 对比文件
US 2002/0031737 A1, 2002.03.14, 全文.

US 5813767, 1998.09.29, 全文.
CN 1294680 A, 2001.05.09, 全文.
WO 2004/090496 A3, 2004.10.21, 全文.
阚瑞峰, 等. 可调谐二极管激光吸收光谱法测量环境空气中的甲烷含量. 物理学报 54 4. 2005, 54(4), 全文.
Kefa Cen, et. al. APPLICATION OF SOME MEASUREMENT TECHNIQUES FOR MULTIPHASE FLOWS IN ENERGY & ENVIRONMENT ENGINEERING. Proceedings of the 4th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows (ISMTMF 2004). 2004, 54(4), 全文.
董凤忠, 等. 可调谐二极管激光吸收光谱技术及其在大气质量监测中的应用. 量子电子学报 22 3. 2006, 54(4), 全文.

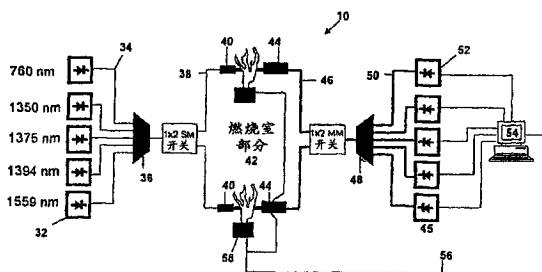
审查员 蒋群

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称
二谱线气体光谱校准

(57) 摘要

一种用于校准吸收光谱测量的方法, 其中校准方法包括投射激光通过包含第一数量待测气体和第二数量光谱相同或类似气体 (10) 的样本。在特定的第一吸收谱线和第二吸收谱线上分别测量激光的第一光谱吸收和第二光谱吸收。确定第一测量的吸收谱线和第二测量的吸收谱线与两个未知变量之间的函数关系。然后, 同时求解该函数关系以确定一个或两个未知变量, 从而得到与第一数量待测气体有关的测量, 校准第二不相干数量的气体。



CN 101287976 B

1. 一种用于校准吸收光谱测量的方法,包括:
投射激光通过包含第一数量的待测气体和第二数量的光谱相同或类似气体的样本;
在第一选取的吸收谱线上测量激光的第一光谱吸收;
在第二选取的吸收谱线上测量激光的第二光谱吸收;
确定第一测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第一函数关系;
确定第二测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第二函数关系;和
同时求解第一函数关系和第二函数关系以确定涉及第一数量的待测气体的信息。
2. 按照权利要求 1 的方法,还包括:
计算第一数量的待测气体内的平均温度;
测量通过第一数量的待测气体的路径长度;
测量通过第二数量的光谱相同或类似气体的路径长度;和
确定相对于第一数量的待测气体内的测量温度、通过第一数量的待测气体的测量路径长度和通过第二数量的光谱相同或类似气体的测量路径长度的第一函数关系和第二函数关系。
3. 按照权利要求 2 的方法,还包括:确定相对于已知物理常数的第一函数关系和第二函数关系,该物理常数选自包含以下物理常数的组:
与第一选取的吸收谱线相关的第一选取的吸收谱线强度;
与第二选取的吸收谱线相关的第二选取的吸收谱线强度;
与第一选取的吸收谱线相关的低能态;
与第二选取的吸收谱线相关的低能态;和
在第二数量光谱相同或类似气体内包含的待测气体的气体浓度。
4. 一种利用可调谐二极管激光吸收光谱确定燃烧室内 O_2 浓度的方法,其中至少一个激光器被定位以发射激光通过至少一个进入燃烧室的开孔并且其中包含吹洗气体流的 O_2 被加到该开孔上,该方法包括:
投射激光通过该开孔并通过该燃烧室;
在第一选取的 O_2 吸收谱线上测量激光的第一光谱吸收;
在第二选取的 O_2 吸收谱线上测量激光的第二光谱吸收;
确定第一测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第一函数关系;
确定第二测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第二函数关系;和
同时求解第一函数关系和第二函数关系以确定燃烧室内的 O_2 浓度。
5. 按照权利要求 4 的确定燃烧室内 O_2 浓度的方法,其中两个未知变量是包含吹洗气体的 O_2 温度和燃烧室内的 O_2 浓度。
6. 按照权利要求 4 的方法,还包括:
计算燃烧室内的平均温度;
测量通过燃烧室的路径长度;
测量与开孔相关的吹洗路径长度;和
确定相对于燃烧室内的测量温度、通过燃烧室的测量路径长度和测量的吹洗路径长度的第一函数关系和第二函数关系。
7. 按照权利要求 6 的方法,还包括:确定相对于已知物理常数的第一函数关系和第二

函数关系,该物理常数选自包含以下物理常数的组:

- 与第一选取的 O_2 吸收谱线相关的第一选取的 O_2 吸收谱线强度;
- 与第二选取的 O_2 吸收谱线相关的第二选取的 O_2 吸收谱线强度;
- 与第一选取的 O_2 吸收谱线相关的低能态;
- 与第二选取的 O_2 吸收谱线相关的低能态;和
- 包含吹洗气体流的 O_2 的 O_2 浓度。

8. 按照权利要求 6 的方法,还包括:根据至少在两个 H_2O 吸收谱线上测量的吸收光谱,计算燃烧室内的温度。

9. 按照权利要求 4 的方法,其中第一选取的 O_2 吸收谱线对应于波长为 760.258nm 的光吸收,而第二选取的吸收谱线对应于波长为 760.445nm 的光吸收。

10. 一种用于确定燃烧室内 O_2 浓度的设备,包括:

- 至少一个进入燃烧室的开孔;
 - 可调谐二极管激光器,被定位以发射激光通过该开孔和该燃烧室;
 - 包含吹洗气体的 O_2 源,用于形成与开孔的气体流动;
 - 第一测量装置,用于测量激光在第一选取的 O_2 吸收谱线上的第一光谱吸收;
 - 第二测量装置,用于测量激光在第二选取的 O_2 吸收谱线上的第二光谱吸收;
 - 第一确定装置,用于确定第一测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第一函数关系,这两个未知变量是包含吹洗气体的 O_2 温度和在燃烧室内的 O_2 浓度;
 - 第二确定装置,用于确定第二测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第二函数关系;
- 和
- 求解装置,用于同时求解第一函数关系和第二函数关系以确定燃烧室内的 O_2 浓度。

二谱线气体光谱校准

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于校准吸收光谱系统的方法和设备,尤其是,本发明涉及一种在光谱路径上存在补充气体的装置中利用可调谐二极管激光吸收光谱用于确定燃烧室内气体浓度的方法和设备。背景技术

[0002] 在美国生产的大部分电功率是在燃煤发电厂产生的。全世界电力生产的绝大部分同样地依靠煤作为主要的能源。在可以预见的未来,煤仍然保持主要的能源是很可能的,只要长期的环境涉及核能生产运行的废物存储,以及与太阳能发电相关的低效率。此外,巨大的全世界煤储藏量在当前的消耗速度下足够维持至少 200 年的能量生产。

[0003] 然而,现在和将来仍然不断地要求减少与燃煤电能产生相关的污染物排放,和提高燃煤发电过程的总体效率。监测燃烧室或发电厂炉膛内 O_2 和其他气体的浓度是效率监测和控制的一个重要因素。传统上,在发电厂和其他工业燃烧设置中,燃烧过程的效率和污染物排放的水平是通过间接地测量被提取气体的样本而确定的,例如,利用无色散的红外 (NDIR) 测光技术。由于在气体提取的时间与最终分析之间可以引入很大的延迟,提取物抽样系统不是特别适合于闭环控制燃烧过程。此外,提取过程通常得到单点测量,在可以是高度可变和动态燃烧过程室内,这种测量可能代表或可能不代表被测量物品的实际浓度。

[0004] 最近以来,激光基光学物品传感器已被用于解决与提取测量技术相关的问题。激光基测量技术可以在现场实施,并具有适合于动态过程控制的高速反馈优点。一种用于测量燃烧气体成分,温度和其他燃烧参数的特别优先技术是可调谐二极管激光吸收光谱 (TDLAS)。TDLAS 通常是利用工作在近红外和中红外光谱区的二极管激光器实现的。在电信工业的使用中已广泛地开发合适的激光器,所以,在 TDLAS 中容易地得到这种激光器。人们已开发了各种 TDLA 技术,它们或多或少可用于检测和控制燃烧过程。众所周知的技术是波长调制光谱,频率调制光谱,和直接吸收光谱。这些技术中的每种技术是基于在光传输通过燃烧室并在特定光谱波段被吸收之后由检测器接收的光量与性质之间的预定关系,该光谱波段是出现在燃烧过程或燃烧室中的气体特征。检测器接收的吸收光谱可用于确定被分析气体品种的数量以及相关的燃烧参数,例如,温度。

[0005] 例如,在 US Patent Application Serial Number 2002/0031737A1 中, Von Drasek 等人给出一种利用可调谐二极管激光器监测和 / 或控制高温过程的方法和设备。Von Drasek 技术的特征是利用直接吸收光谱以确定多种燃烧物品的相对浓度,温度和其他的参数。在 US Patent Number 5,813,767 中, Calabro 给出一种用于监测燃烧和在燃烧室中产生污染物的类似系统。Calabro 利用间接光谱技术,其中被观察的多普勒扩展吸收特征的形状可以作为温度分析的基础。

[0006] Teichert, Fernholz, 和 Ebert 已扩展 TDLAS 的使用,它作为可行的现场解决问题的已知实验室分析技术,用于检测整个燃煤发电厂炉膛内的某些燃烧参数。在他们的文章中,其标题是“Simultaneous in situ Measurement of CO , H_2O , and Gas Temperature in a Full-Sized, Coal-Fired Power Plant by Near-Infrared Diode Lasers”, (Applied Optics, 42(12) :2043, 20 April 2003), 作者给出一个在燃煤发电厂中直接吸收光谱的成功

实施方案,并讨论了一些涉及极大规模和恶劣性质的燃煤过程的技术问题。具体地说,典型的燃煤发电厂有直径为 10-20m 的燃烧室。发电厂燃烧粉煤,从而导致这样的燃烧过程,高的尘土浓度阻挡激光的传输以及粉煤是极其光亮的。此外,在发电厂的燃烧条件下,可以发现各种强烈的干扰因素。由于宽带吸收,粒子散射或折射率起伏造成的光束转向,光通过燃烧室的整体传输速率是随时间而激烈起伏的。还有燃煤颗粒产生的强大热背景辐射,它可以干扰检测器的信号。在发电厂燃烧炉之外的环境也使 TDLAS 检测或控制系统的实施变得很困难。例如,任何电子,光学或其他灵敏光谱元件必须放置在远离强热源的地方,或需要合适地屏蔽和冷却。即使在这些条件下实施 TDLAS 系统是极其困难的,但是 TDLAS 特别适合于监测和控制燃煤过程。在共同转让和共同未决的 PCT Application Serial Number PCT/US04/010048 中,2004 年 3 月 31 日申请,其标题是“METHOD AND APPARATUS FOR THE MONITORING AND CONTROL OF COMBUSTION”,综合性地讨论利用 TDLAS 以监测和控制燃煤过程,全文合并在此供参考。

[0007] 通常,电子,光学或其他灵敏光谱元件必须与燃烧室内部进行通信,这些元件是与进入燃烧室的专用开孔相关。这个开孔或端口的特征是水晶,熔凝石英,或利用透明材料制成的其他窗口,它们在燃烧室内部的极高温度下是稳定的。或者,开孔可以不包含透明窗口。在任何一种情况下,典型燃煤发电厂中的开孔必须穿过炉壁,且其长度约为 18 英寸。如上所述,燃烧室的内部是充满粉煤,尘土或其他颗粒物质的极其恶劣环境。因此,开孔或端口往往容易被尘土和其他颗粒物阻塞或部分地阻挡。

[0008] 利用通过端口的流动吹洗空气可以解决端口阻塞的问题。吹洗空气可以从受控的吹洗气体源恒定地流动通过端口,或更普通的是,可以利用在燃烧室之外的周围空气。通常,相对于燃烧室内的 O_2 浓度,吹洗空气包含大量的 O_2 。

[0009] 有利的是监测 O_2 或其他气体含量作为 TDLAS 监测和控制燃烧过程的组成部分。引入包含吹洗气体的 O_2 可以使这种测量变得复杂化。取决于在炉膛中的进行测量位置,吹洗气体在沿 TDLAS 路径上可以包含的 O_2 约占全部 O_2 的 30% 至 60%。我们关心的仅仅是在炉膛中的 O_2 ,用于合适的燃烧控制。类似地,若在测量路径上还存在第二数量的气体,则吸收光谱测量一定数量的气体就变得复杂化。因此,我们需要一种用于准确量化吹洗气体 O_2 对所需燃烧室 O_2 测量的效果。本发明的目的是克服一个或多个以上讨论的问题。

发明内容

[0010] 本发明的一个方面是一种用于校准吸收光谱 (spectroscopy) 测量的方法,其中探测激光路径跨越第一数量的待测气体和第二数量的光谱类似或相同气体,后者与所需测量无关,但是,它可以对测量产生潜在的干扰。该校准方法包括:投射激光通过包含第一数量的待测气体和第二不相干数量的光谱相同或类似气体的样本。该方法还包括:在特定的第一吸收谱线和第二吸收谱线上,分别测量激光的第一光谱吸收和第二光谱吸收。确定第一测量的光谱吸收和第二测量的光谱吸收与两个未知变量之间的函数关系。然后,同时求解该函数关系以确定一个或两个未知变量,从而得到与第一数量待测气体有关的测量结果,校准第二不相干数量的气体。

[0011] 该方法还包括:确定物理参数,例如,计算第一数量的待测气体内的平均温度,测量通过第一数量的待测气体的路径长度或测量通过第二数量的光谱相同或类似气体的第

二路径长度。可以确定相对于这些测量参数的函数关系。

[0012] 还可以确定相对于已知物理常数的函数关系,这些物理常数包括,但不限于,与第一选取的吸收谱线相关的第一选取的吸收谱线强度,与第二选取的吸收谱线相关的第二选取的吸收谱线强度,与第一选取的吸收谱线相关的低能态,与第二选取的吸收谱线相关的低能态,和在第二数量的光谱相同或类似气体内包含的待测气体的气体浓度。

[0013] 本发明的一个实施例是一种利用可调谐二极管激光吸收光谱(TDLAS)确定燃烧室内 O_2 或其他待测气体浓度的方法,其中至少一个激光器用于发射激光通过至少一个进入燃烧室的开孔,和其中包含吹洗气体流的 O_2 被加到该开孔上。该方法包括:投射激光通过开孔并通过燃烧室,在第一选取的 O_2 吸收谱线和第二选取的 O_2 吸收谱线上分别测量第一光谱吸收和第二光谱吸收。此外,确定第一测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第一函数关系,这两个未知变量是包含吹洗气体的 O_2 温度和在燃烧室内的 O_2 浓度。类似地,确定第二测量的光谱吸收与两个未知变量之间的第二函数关系。最后,可以求解第一函数关系和第二函数关系以确定燃烧室内的 O_2 浓度。

[0014] 该方法还可以包括:计算燃烧室内的温度,测量通过燃烧室的路径长度,和测量与任何开孔相关的吹洗路径长度。在本发明的这个方面中,确定相对于燃烧室内测量温度的第一函数关系和第二函数关系,通过燃烧室的测量路径长度,和测量的吹洗路径长度,以及以上讨论的未知变量。可以确定相对于已知物理常数的第一函数关系和第二函数关系,这些物理常数包括:第一选取的 O_2 吸收谱线强度和第二选取的 O_2 吸收谱线强度,与选取的每个 O_2 吸收谱线相关的低能态,和包含吹洗气体流的 O_2 的 O_2 浓度。

[0015] 利用任何合适的方法,可以计算燃烧室内的温度,然而,至少根据在两条 H_2O 吸收谱线上另外测量的吸收光谱,可以计算这个温度。

[0016] 根据所有可能的 O_2 吸收谱线,可以选取第一选取的 O_2 吸收谱线和第二选取的 O_2 吸收谱线,然而,与波长为760.258nm的光吸收相关的谱线以及与波长为760.455nm的光吸收相关的谱线特别适合于用作第一选取的 O_2 吸收谱线和第二选取的 O_2 吸收谱线。

[0017] 本发明的另一个方面是一种用于确定燃烧室内的 O_2 浓度的设备。该设备包括:至少一个进入燃烧室的开孔;可调谐二极管激光器,被定位发射光通过该开孔和该燃烧室;和包含吹洗气体的 O_2 源,用于形成与开孔的气体流动。在该设备中还包括测量装置,用于测量第一光谱吸收谱线,第二光谱吸收谱线,和用于确定函数关系,以及求解在燃烧室内 O_2 浓度的关系,都如以上所描述的。

附图说明

[0018] 图1是按照本发明的设备示意图。

[0019] 图2是按照本发明的设备示意图,其特征是远程定位元件光学耦合到燃烧室附近的元件。

[0020] 图3是按照本发明的校准曲线图。

具体实施方式

[0021] 图1表示适合于实施本发明的设备10的方框图。设备10包含图1所示的燃烧室12,它作为燃煤发电厂的炉膛。通过在燃烧室12的炉壁中形成的一个或多个开孔14,可以

进入燃烧室 12 的内部。适合于完成可调谐二极管激光吸收光谱 (TDLAS) 的激光器 16 是与燃烧室 12 相关,并放置在开孔 14 处,因此,激光器 16 可以投射激光通过开孔 14 和燃烧室 12,都如图 1 所示。与燃烧室 12 一侧的激光器 16 相对的是与第二开孔 14 相关的检测器 18。或者,检测器 18 可以与激光器 16 的相同开孔 14 相关,其中激光是在两次反射传输通过燃烧室 12 之后被接收的。

[0022] 燃烧室 12 内的环境是极其恶劣的。例如,提供给燃煤发电厂的燃料是以极高速度被吹入到燃烧室 12 中的粉煤。因此,燃烧室 12 是粉煤,尘土,和其他颗粒物质的大旋涡。这些颗粒快速地阻塞与燃烧室 12 相关的开孔 14 或覆盖和遮挡与开孔 14 相关的窗口。

[0023] 吹洗气体源 20 的流动吹洗气体通过开孔 14 并进入燃烧室 12,因此它有效地清除尘土,灰烬,和其他的颗粒物质,从而保持开孔 14 是相对地通透。吹洗气体源 20 可以是在压力下保持选取气体的独立单元。更典型的是,吹洗气体源 20 仅仅是从燃烧室 12 外部通过任何开孔 14 的送气压缩机。如在以下详细讨论的,若利用包含吹洗气体的空气或其他 O_2 ,则 O_2 被直接引入到激光器 16 的探测路径上。直接引入 O_2 到探测路径上使得燃烧室 12 内所需的 O_2 浓度测量变得复杂化。

[0024] 本发明的主要目的是描述一种用于校准燃烧室内 TDLAS 测量气体浓度或温度的设备和方法,其中引入相同或光谱类似的气体以吹洗开孔。然而,本发明不局限于这些实施例。校准方法可应用于任何的光谱分析装置,其中光传输通过包含待测气体的区域,并且还通过包含一定数量其他气体的区域,后者可以产生虚假的信号。因此,本发明的校准特征在任何的气体吸收光谱装置中有广泛的应用。

[0025] 图 2 表示和更具体描述适合于本发明燃烧室装置的设备 10。利用来自一系列可调谐二极管激光器 32 的激光,检测设备 10 完成可调谐二极管激光吸收光谱 (TDLAS),其中激光器 32 是在选取频率上发射激光,最好是在近红外或中红外光谱上。每个可调谐二极管激光器 32 的输出耦合到单独的光纤,并被路由到复用器 36,该光纤可以是单模光纤 34。如在此处所使用的,“耦合”,“光耦合”,“光通信”的定义是各个部件之间的函数关系,其中光从第一个部件通过或不通过中间部件或自由空间传输到第二个部件。在复用器 36 内,产生一些频率或所有频率的激光被复用以形成有多个选取频率的复用探测光束。复用探测光束耦合到出射 (pitch) 侧光纤 38 并传输到出射光学元件 40 或与燃烧室相关的准直器,该燃烧室是如图 2 所示的燃烧室 42。

[0026] 出射光学元件 40 的取向是为了投射复用探测光束通过燃烧室 42。在燃烧室 42 的另一端与出射光学元件 40 进行光通信的是入射 (catch) 光学元件 44。最好是,入射光学元件 44 基本上与出射光学元件 40 相对,并与燃烧室 42 的工作相关。入射光学元件 44 的位置和取向是为了接收投射通过燃烧室 42 的复用探测光束。入射光学元件 44 光耦合到入射侧光纤 46,入射侧光纤 46 传输由入射光学元件 44 接收的部分复用探测光束到去复用器 48。在去复用器 48 内,入射光学元件 44 接收的部分复用探测光束被去复用,而每个波长的去复用激光耦合到输出光纤 50。每条输出光纤 50 再光耦合到检测器 52,并被复用成探测光束,其中检测器 52 通常是一个对产生的选取频率激光灵敏的光电检测器。基于光传输到检测器 52 的性质和数量,检测器 52 产生在检测器频率上的电信号。来自每个检测器 52 的电信号通常是数字化信号,并在数据处理系统 54 中进行分析。如在以下详细讨论的,数字化和被分析的数据可用于检测燃烧室内的物理参数,其中包括,但不限于,在燃烧室 42 内各种

气体的浓度和燃烧温度。数据处理系统 54 还可用于发送信号通过反馈回路 56 到燃烧控制设备 58,从而有效地控制选取的过程参数。在燃烧过程的情况下,被控制的过程参数可以包括燃料(例如,粉煤)馈送率,氧气馈送率和催化剂或化学试剂添加率。利用在检测设备 30 的出射侧和入射侧的光纤耦合电子和光学元件,可以使精细和温度灵敏的设备放置在有稳定工作环境的控制室内,例如,可调谐二极管激光器 32,检测器 52 和数据处理系统 54。因此,仅仅相对坚固的出射光学元件 40 和入射光学元件 44 需要放置在燃烧室 42 的恶劣环境附近。

[0027] 利用任何类型的气体吸收光谱可以实施本发明,其中包括,但不限于,可调谐二极管激光吸收光谱(TDLAS)。利用激光光谱的专业人员熟知的技术可以完成 TDLAS。一般地说,激光传输通过目标环境,由于存在目标气体,例如,一氧化碳或氧气,然后检测在特定波长上的激光吸收,可以完成 TDLAS。被检测光的光谱分析可以识别气体沿激光路径的种类和数量。在 Teichert, Fernholz, 和 Ebert 的文章:“Simultaneous in situ Measurement of CO, H₂O, and Gas Temperature in a Full-Sized, Coal-Fired Power Plant by Near-Infrared Diode Lasers”, (Applied Optics, 42(12):2043, 20 April 2003) 中详细地讨论直接吸收光谱,全文合并在此供参考。激光吸收光谱的非接触性质使它非常适应于恶劣的环境,例如,燃煤发电厂的燃烧区,或不能使用其他探测方法的易燃或有毒环境。利用激光在有严重衰减的环境下(典型的是大于 99.9% 的光损失)可以获得可检测传输所需的高亮度,在某些环境下可以出现这种衰减。为了更好地承受目标应用的恶劣条件,可以使激光通过有金属护套的光纤而进入目标环境。

[0028] 有效检测多个燃烧过程成分气体的温度或浓度要求利用多个宽间隔激光频率完成 TDLAS。选取的频率必须匹配被监测跃迁的吸收谱线。例如,可能要求监测在波长 670nm 的 NO₂ 以模拟发射的 NO 浓度。监测燃煤设施锅炉中的氧气,水和一氧化碳以提取温度和浓度数据也是十分有用的。在发电厂装置中,可以基于以下的假设选取合适的吸收谱线和合适的发射激光频率,其中通过燃烧室的激光探测路径长度等于 10 米,和每个品种的克分子百分比是 CO(1%), O₂(4%), CO₂(10%), 和 H₂O(10%)。在频率选取中,可以假设过程温度为 1800K,它略高于通常在燃煤发电厂中观察到的温度,但该容限在计算中是作为安全因子。其他类型的气体光谱实施方案有不同的假设。

[0029] 在燃煤发电厂的例子中,可以选取用于 TDLAS 的三个水吸收谱线,它们满足以下的准则:

[0030] 1. 分别是 $\sim 1000\text{cm}^{-1}$, 2000cm^{-1} , 和 3000cm^{-1} 的低态能量。

[0031] 2. 提供约在 0.1-0.4 之间的合适吸收率,从而导致在共振时约 20% 的光束吸收。

[0032] 3. 最佳的情况是利用 1250nm 至 1650nm 区域的跃迁,该区域可得到非昂贵的高功率 DFB 二极管电信激光器。

[0033] 4. 各个跃迁之间必须很好地分开以便容易地进行复用。

[0034] 5. 选取的波长必须被现有的去复用/复用光栅有效地衍射。

[0035] 在以下的波长上有合适的水谱线:

[0036] 表 1

[0037]

波长 (nm)	波数 (cm ⁻¹)	低态能量 (cm ⁻¹)	光栅级次	在 1800K 和 10M 下的吸收	UNP 光栅效率 (模型)
1349.0849	7412.432	1806.67	6.87	19.7%	81%
1376.4507	7265.062	3381.662	6.73	28.1%	77%
1394.5305	7170.872	1045.058	6.65	6.8%	72%

[0038] 对于水,不会发生来自任何其他燃烧气体的干扰。在发电厂设置中对最可能干扰的物品 CO₂ 做了模型,而在 1.3 μm-1.4 μm 区域没有强的干扰谱线。

[0039] 类似地,基于以上参照和包括的 Ebert 的工作,可以选取合适的一氧化碳谱线。利用在燃煤设施锅炉中的 R(24) 谱线,可以在 1559.562nm 找到合适的一氧化碳谱线。选取这个谱线可以避免来自水和二氧化碳的干扰。已知的光栅在这个波长区是相当有效的,因为它是在光通信的 C 波段。预期在这个波长上的吸收率为 0.7%。

[0040] 此外,可以在 760.0932nm 上测量氧。在这个区域中,优选的去复用 / 复用光栅效率计算仅为 40%,然而,在合理的测量效率下,应当有合适的激光功率。

[0041] 如在此处所讨论的,在 TDLAS 检测设备的出射侧和入射侧使用光纤耦合要求精确地对准出射光学元件和入射光学元件。利用选取的对准波长可以优选地完成有效的对准。一个可能的对准波长是 660nm,因为在这个波长上可以有高功率 (45mW) 二极管,而 660nm 是在第 14 级光栅工作的峰值附近。可以同样地或更合适地确定其他的对准波长。

[0042] 总之,表 2 中给出本发明实施的一个合理选取的波长集合,用于复用 TDLAS 的探测光束。应当注意,这个波长集合是用于一个实施例的 TDLAS 检测设备,它适合于检测和控制燃煤发电厂。其他的波长集合可能是也是合适的。

[0043] 表 2

[0044]

用途	波长 (nm)
对准	660
O ₂ b-a 波段	760.0932
H ₂ O (中温谱线)	1349.0849
H ₂ O (高温谱线)	1376.4507
H ₂ O (低温谱线)	1394.5305
(2,0) 谐波的 CO R(24)	1559.562

[0045] 利用波长复用探测光束的 TDLAS 的一个具体优点是提高温度测量的精确度。为了

利用 TDLAS 作精确的浓度测量, 必须知道被监测气体的温度。分子吸收的强度是温度的函数。因此, 为了把吸收特征的幅度转换成浓度, 必须知道温度。以前测量燃烧物品浓度的某些方法遭遇到不够精确的温度测量, 例如, 测量 CO, 从而导致量化的误差。这对于二极管基氨泄漏监测器是特别正确的, 传统上, 它不包含在温度测量中。在本发明的检测系统中, 通过测量两个或多个水分子谱线的比率, 可以确定温度。两条谱线的集成强度比率仅仅是温度的函数 (假设恒定的整个系统压力)。因此, 原则上, 两条谱线可以提供精确的温度。然而, 在非均匀温度分布的情况下 (如通常在工业燃烧过程内发现的), 两条谱线不足以确定温度的分布。在这种非均匀温度分布的情况下, 两条谱线仅仅可以确定“路径平均的”温度。与此对比, 测量多于两条谱线 (相同物品) 的集成幅度可以探测温度的非均匀性。这种技术的一个例子是利用氧作为探测分子, Sanders, Wang, Jeffries 和 Hanson 在“Applied Optics” (volume 40, number 24, 20 August 2001) 中所描述的, 全文合并在此供参考。优选的技术是基于这样的事实, 例如, 沿视线测量的峰值强度分布在 500K 的平均温度路径上不是相同的, 因为该路径的一半是在 300K, 而另一半是在 700K。

[0046] 除了更精确的温度测量的优点以外, 利用复用探测光束可以同时监测多个燃烧气体品种, 从而允许更精确地控制燃烧过程。

[0047] 如上所述, 在燃烧监测和控制中利用 TDLAS 的一个重要属性是能够测量炉膛或燃烧室 12 中的 O_2 浓度。许多炉膛设计包含吹洗气体源 20, 它有助于保持开孔 14 没有尘土。吹洗气体源 20 在炉膛工作时通常有恒定流动的气体, 并在沿激光路径上包含相对于全部 O_2 的大量 O_2 。取决于在炉膛中的位置, 吹洗空气在路径上可以包含全部 O_2 的 30-60%, 虽然这个百分比在给定的位置上是恒定的。由于在炉膛中仅有待测的 O_2 , 必须精确地量化另外的 (吹洗空气) O_2 。

[0048] 图 1 是以方框图形式说明激光首先传输通过开孔 14 并通过燃烧室 12 的路径。 O_2 在整个路径上有不同的浓度。在以下的公式中, L 表示路径长度, T 是温度和 X_{O_2} 是氧的浓度。下标 P 和 F 分别表示吹洗和炉膛。

$$[0049] \quad A_1 = F(S_1, X_{O_2, F}, X_{O_2, P}, E_1, T_F, T_P, L_F, L_P) \quad (1)$$

$$[0050] \quad A_2 = F(S_2, X_{O_2, F}, X_{O_2, P}, E_2, T_P, T_P, L_F, L_P) \quad (2)$$

[0051] 利用 TDLAS 设备可以测量吸收率 A_1 和 A_2 , 它们与吸收谱线强度 S, 炉膛中的 O_2 浓度 $X_{O_2, F}$, 吹洗气体 O_2 的浓度 $X_{O_2, P}$, 低态吸收谱线能量 E, 炉膛温度 T_F , 吹洗气体温度 T_P , 炉膛路径长度 L_F 22 和吹洗路径长度 L_P 24 之间有已知的函数关系。吸收谱线强度和低态能量是已知的物理常数。可以利用人工方法测量路径长度 22, 24。根据其他的测量结果 (具体是 TDLAS 监测两个或多个水的吸收谱线), 可以确定燃烧室 12 中的温度。吹洗气体中的 O_2 浓度通常等于环境浓度 21%, 其中假设迫使外部空气通过开孔 14 作为吹洗气体。这留下两个未知数: $X_{O_2, F}$ 和 T_P ; 它们分别是燃烧室 12 中的 O_2 浓度和吹洗空气的温度。

[0052] 因此, 通过测量在两个不同吸收谱线上的 O_2 , 每个谱线有不同的谱线强度和不同的低态能量, 可以推导出涉及测量的吸收率和两个未知数的两个独立方程。

$$[0053] \quad A_1 = F_1(X_{O_2, F}, T_P) \quad (3)$$

$$[0054] \quad A_2 = F_2(X_{O_2, F}, T_P) \quad (4)$$

[0055] 通过测量吸收率 A_1 和 A_2 , 可以求解有两个未知数 $X_{O_2, F}$ 和 T_P 的两个 (非线性) 函数关系 (3) 和 (4)。然后, 利用非线性求解方法, 例如, Newton-Raphson 方法, 可以构造和求

解 $X_{O_2,F}$ 与 T_p 之间的关系。Newton-Raphson 方法以及求解多个非线性函数关系的其他方法利用迭代过程以接近该函数的可能根。其结果是两条曲线,它们的相交点确定同时求解公式 (3) 和 (4) 的数值 $X_{O_2,F}$ 和 T_p 。

[0056] 图 3 是公式 (3) 和 (4) 的解的表示。图 3 说明在位于 760nm O_2 吸收光谱带头附近的两个不同 O_2 谱线上测量的吹洗空气温度与炉膛中 O_2 浓度的两条曲线。图 2 中表示的测量结果是在活性燃煤发电厂中完成的。图 3 中所示的相交点指出吹洗空气温度为 400K 和炉膛中 O_2 浓度为 2.1%。

[0057] 图 3 中的曲线是本发明的校准方法应用于测量装置的结果,其中燃烧装置是在稳定状态。本发明也特别适合于在动态工作条件下确定 O_2 的浓度。

[0058] 以上详细讨论的例子涉及在发电厂燃烧室装置中 O_2 的 TDLA 测量结果的校准。该校准方法是特别有用的,因为补充的 O_2 通常被引入通过吹洗气体源,从而使所需的测量变得复杂化。以上描述的方法可应用于任何的气体吸收光谱实施方案,其中探测激光传输通过包含待测气体的区域和包含补充气体的区域,而后者可以使光谱分析产生偏差。

[0059] 虽然本发明的描述是参照多个实施例,但是专业人员应当理解,在不偏离本发明精神和范围的条件下,可以对此处公开的实施例的形式和细节作各种变化,且此处公开的实施例不是对权利要求书范围的限制。

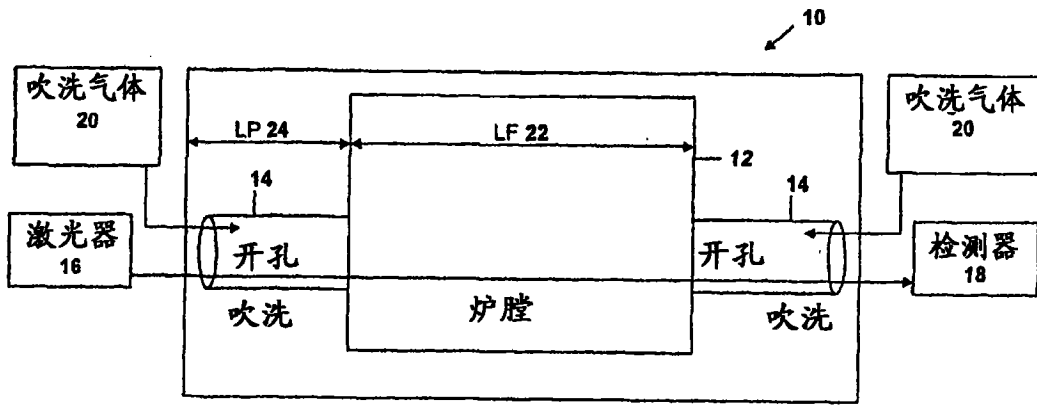


图 1

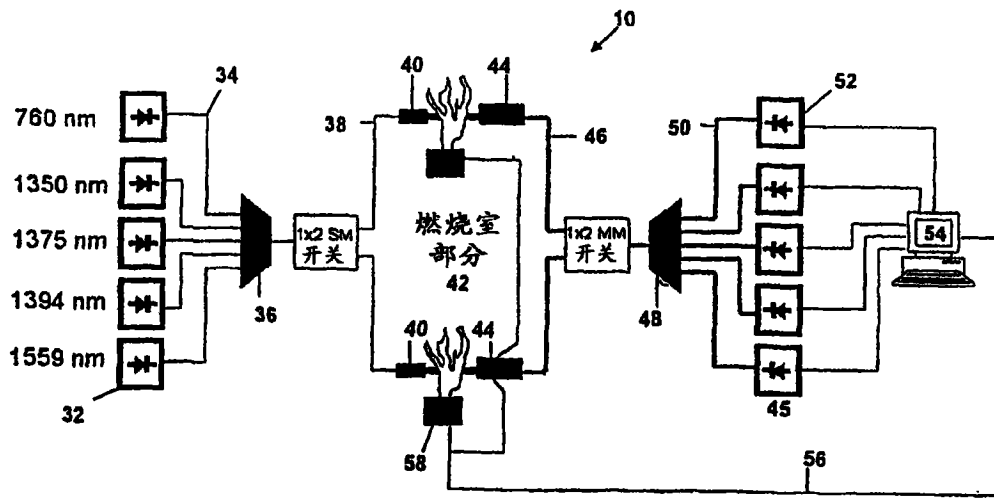


图 2

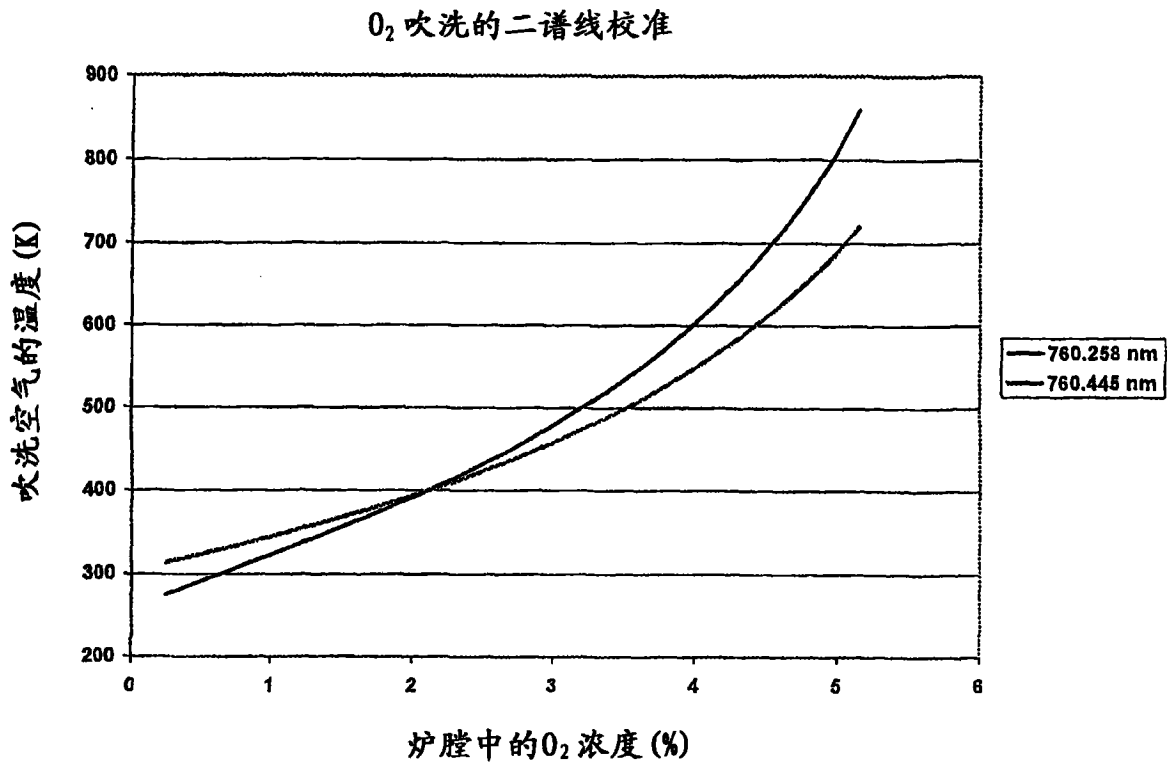


图 3