



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101124474 B

(45) 授权公告日 2010.05.19

(21) 申请号 200680002237.7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2006.01.13

G01N 21/53 (2006.01)

(30) 优先权数据

0500687.9 2005.01.14 GB

(56) 对比文件

US 5828458 A, 1998.10.27, 全文.

US 5331177 A, 1994.07.19, 全文.

US 5352901 A, 1994.10.04, 全文.

US 3713743 A, 1973.01.30, 全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007.07.12

(86) PCT申请的申请数据

PCT/GB2006/000121 2006.01.13

审查员 陶颖

(87) PCT申请的公布数据

W02006/075171 EN 2006.07.20

(73) 专利权人 联合数据欧洲有限公司

地址 英国设菲尔德

(72) 发明人 叶戈尔·彼得罗维奇·赞迪

约翰·理查德·班

伦纳德·弗雷德里克·乔治·威廉姆斯

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

代理人 杨生平 朱胜

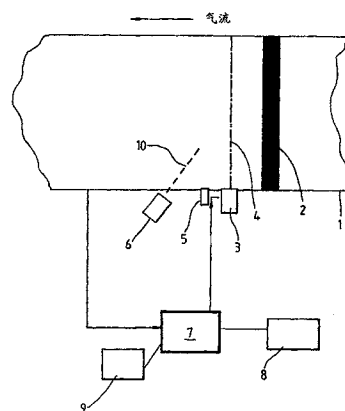
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 7 页

(54) 发明名称

检测管道内气体中微粒存在的装置和方法以及管道系统

(57) 摘要

提供了一种用于检测管道 (1) 内的气体中的瞬时微粒的存在的装置, 包括: (i) 用于照明 (4) 的至少一个发射器 (3), 其能够从管道的外侧和管道扫射管道的基本整个横截面; 以及 (ii) 至少一个检测器 (6), 用于当光束在管道的横截面上扫射时, 检测来自照明内的任何微粒的所述照明的任何闪光的存在和位置, 其中, 当光束扫射到管道的横截面上时, 所述检测器被配置成安装在管道的外部, 并且在投射管道的扫射区的区域之外。



1. 一种用于检测管道内的气体中的瞬时微粒的存在的装置,所述装置包括:
 - (i) 至少一个照明发射器,其能够从管道外侧对管道的基本上整个横截面进行扫描,照明是准直光束形式的照明;以及
 - (ii) 至少一个检测器,用于当光束在所述管道的所述横截面上扫描时检测由于所述照明内的任何微粒而导致的照明的任何闪光的存在和位置,其中,当光束在所述管道的所述横截面上扫描时,所述检测器被配置成安装在所述管道的外部,并且在投射所述管道的扫描区的区域之外,所述发射器被配置成以步进方式扫描经过预定扫描角。
2. 如权利要求 1 所述的装置,其中,所述检测器可聚焦在所述照明上。
3. 如权利要求 1 所述的装置,其中,进一步提供了记录器,所述记录器用于记录当所述光束扫描所述管道时在所述照明内检测到的任何闪光。
4. 如权利要求 1 所述的装置,其中,进一步提供了图像调整器,所述图像调整器被配置成调整由所述检测器接收的图像,以便将从所述管道外侧接收的图像考虑在内,从而将由所述检测器接收的图像转换成微粒系统的真实几何形状。
5. 如权利要求 1 所述的装置,其中,所述发射器是激光器。
6. 如权利要求 5 所述的装置,其中,所述激光器提供具有 660nm 波长的照明。
7. 如权利要求 1 所述的装置,包括步进电机,以便横跨管道以步进方式扫描发射器光束。
8. 如权利要求 7 所述的装置,其中,所述发射器附着到所述步进电机的轴。
9. 如权利要求 1 所述的装置,包括用于对所述装置中易于掩蔽所检测的闪光的噪声的水平进行门限处理的部件。
10. 如权利要求 1 所述的装置,包括记录器,所述记录器是用于所检测的微粒的平面位置指示器。
11. 如权利要求 1 所述的装置,包括记录器,所述记录器是用于显示所述管道的所述横截面的 X-Y 矩阵的监视器。
12. 如权利要求 1 所述的装置,包括记录器,所述记录器是告警高音喇叭。
13. 如权利要求 1 所述的装置,其中,提供了用于根据所述检测器的输出来纠正所述管道的透视扭曲图的部件。
14. 如权利要求 1 所述的装置,其中,所述发射器和所述检测器都设置在所述管道的外侧。
15. 一种管道系统,包括:管道;至少部分在所述管道内的消除系统,所述消除系统用于减少经过所述管道的微粒;以及根据权利要求 1 所述的、用于检测所述管道内的气体中的瞬时微粒的存在的装置。
16. 如权利要求 15 所述的管道系统,其中,所述检测器的视角偏离所述扫描横截面平面的垂线至少 20 度。
17. 如权利要求 15 所述的管道系统,其中,所述检测器的视角偏离所述扫描横截面平面的垂线 30 度。
18. 如权利要求 15 所述的管道系统,其中,所述检测器的视角偏离所述扫描横截面平面的垂线 40 度。
19. 如权利要求 15 或权利要求 16 所述的管道系统,其中,所述管道包括涡轮入口。

20. 如权利要求 19 所述的管道系统,其中,所述涡轮入口是发电涡轮的。

21. 一种用于检测管道内的气体中的微粒的存在的方法,所述方法包括:

(i) 用来自至少一个照明发射器的准直照明光束在管道的基本上整个横截面上进行扫描;

(ii) 使用用于检测由于所述光束内的微粒而导致的所述照明的任何闪光的至少一个检测器,并检测由于所述微粒而导致的所述照明的任何闪光,从而可以确定所述管道中出现的任何微粒的存在,其中,所述检测器安装在所述管道的外部,并且位于投射所述管道的扫描区的区域之外,所述发射器以步进方式扫描经过预定扫描角。

22. 如权利要求 21 所述的方法,包括设置用于检测噪声的门限水平的步骤。

23. 如权利要求 22 所述的方法,其中,所述门限水平至少部分是空间限定的。

24. 如权利要求 22 或权利要求 23 所述的方法,其中,所述门限水平至少部分是时间限定的。

25. 如权利要求 21 所述的方法,包括:当在给定步进上存在超过一个检测器输出时,对在所述光束的每个步进上从所述检测器检测到的闪光水平进行合计的步骤。

26. 如权利要求 21 所述的方法,包括将显示从透视扭曲图纠正到横跨管道的 X-Y 坐标的步骤。

检测管道内气体中微粒存在的装置和方法以及管道系统

技术领域

[0001] 本发明涉及用于微粒检测的装置和方法,包括微粒的监视,并涉及管道系统。

背景技术

[0002] 在很多情况下,微粒的存在至少是一种损害,并且最坏甚至是灾难性的或违法的。微粒可以将杂质携带到不期望其存在的地方。这种地方包括工业车间和包含空气质量监视的环境。

[0003] 例如,在发电站中,进入涡轮入口中的微粒必需保持最少,以便减少涡轮叶片上的微粒沉积;这种沉积必须清除,通常是用水喷洗,否则,如果不执行,就导致涡轮性能的降低和最终具有明显破坏结果的叶片碎裂。在两种情况下,发电时间都减少。

[0004] 上面所给示例中的无微粒状况应存在于气体、通常是空气进入相关区域的入口中。然而,微粒不应当通过区域的出口而被排出。例如,来自电站的废气、包括化工厂处理的工业处理不应当将微粒排放到大气中。这种实施是环保不可接受的,并且,微粒排放必须保持在允许的最大量或法定的限度之内。

[0005] 在很多发动机系统的设计测试和使用中,排放的微粒的数量和类型是发动机效率的函数。包括环境温度和空气压力的很多因素可以影响这个效率。不充分的运行会是燃料的浪费,会导致损害发动机,使得产生进一步的低效,以及可能破坏环境、和或发动机系统操作员的健康。所以,为了优化性能,能够分析发动机的微粒排放将是有用的。如果实时地运行这种系统,这也将是有益的。如果这种系统能够反馈到发动机管理系统,使得允许性能被优化,这将是一种好处。

[0006] 通常,通过一定范围的消除系统的使用来减少进入或离开区域的微粒,所述消除系统通常位于管道中,其中,气体通过所述管道被供应到某区域或从某区域清除。这类消除系统包括例如过滤器,过滤器、静电除尘器、湿法捕获器的组合。如果消除系统安装不正确或错误,或者消除系统恶化时,消除系统在减少通过消除系统的微粒方面的效率就下降。普通的实践是在给定时段之后更换消除系统,所述给定时段通过可接受的消除系统的性能的经验而确定。然而,也发现,在那个时段过去之前消除系统可能灾难性地失效了,并且允许不可接受的微粒通过过滤器系统。例如,当气流很强或消除系统包含一组过滤器而该组中的一个过滤器过早地失效时,这就特别成问题。

[0007] 当消除失效是不可接受的时,那么,在到达系统寿命之前,应当更换消除系统或一个或更多的失效的过滤器。这种缺乏更换可能与下列情况有关:

[0008] • 由于其减少了过滤器的适当使用而导致的成本不利。

[0009] • 资源的浪费,并且因此破坏资源。

[0010] • 由于工厂停工将出现得更频繁导致的成本不利。

[0011] • 在一些情况下,对通过消除系统的微粒和气体的抑制失败的可能性增加,则对人、或对环境、或对由消除系统保护的處理的风险增加。

[0012] 在消除系统中,经常存在对被排除的微粒的最小尺寸的限制,因为更小尺寸的微

粒对被保护的处理不会产生问题。因为包括那些无关紧要的微粒的所有微粒都被计数,微粒计数或信号综合技术可能因此失效。在很多应用中,情况进一步复杂,因为那些不应当被分析的微粒可能不具有连续的、稳定的或已知的级别。它们的结果可能是很多复杂参数的函数,并可能是或显得混乱。例如,花粉通过过滤器是无关紧要的,但是,日久天长,花粉的变化将使得微粒计数或整个阻塞测量变得无用。

[0013] 通过传统手段对整个过滤器失效的分析是有局限性的,原因在于损害已经产生。在失效的开始,通过过滤器的微粒可能仅仅比假定将要被排除的微粒稍大,而传统手段可能不能分辨失效即将来临。

[0014] 所以,需要在管道的横截面上的、用于检测悬浮在这类管道中的气体中的微粒的装置和方法。基于定期的微粒检测也导致管道的连续或定期监视,以便检测高于其正常零值或低可接受水平的瞬时微粒的存在,而本发明的装置提供这种便利。在这些管道中,当消除系统有效地工作时,微粒的正常级别基本是零(也就是无微粒的)或是非常低和可接受的水平。本发明的优选实施例的装置避免了以横截面的小的样品来代表整个横截面的假设。

[0015] 当消除系统包括横穿大横截面面积管道而设置的一组过滤器时,就关系到一个特别尖锐的问题。这类管道可以是 20 平方米的,尽管更典型的是在 5 平方米的区域内。例如,可以在发电站的涡轮入口中找到这类过滤器组,但在其他领域中也常见。上述的其他微粒检测器产生关于管道的整个横截面上的微粒级别的信息;如果因此发现不可接受的微粒水平,那么,必须更换全部消除系统。这种整个更换是昂贵的,并且在一组过滤器的情况下是不必要的,因为在这组过滤器中可能仅仅一个这种过滤器是失效的。所以,需要一种微粒检测器,不但检测管道内不可接受的级别的微粒,还确定消除系统的何处失效,例如一组过滤器中的哪个过滤器失效并从而导致不可接受的级别的微粒。

[0016] 然而,由于当在管道中需要维护或运行设备时所遇到的困难,所以,伴随用于这种环境的微粒检测器的实施而遇到了微粒问题。

发明内容

[0017] 根据本发明,提供了一种用于检测管道内的气体中的瞬时微粒的存在的装置,包括:

[0018] (i) 至少一个发光的发射器,能够从管道和外面对管道的基本整个横截面进行扫描;以及

[0019] (ii) 至少一个检测器,用于在光束扫射管道的横截面上时检测来自照明内的任何微粒的照明闪光的存在和位置,其中,该检测器被配置成安装在管道的外部,并且在投射管道的扫射区的区域之外。

[0020] 通常,这将意味着:观测角基本偏离垂直于管道的扫射横截面平面的方向。

[0021] 这样,针对不能在投射扫射区的区域中设置相机的管道提供了一种解决方案。在一些管道中,管道的角度的改变可以使得相机被设置在投射扫射区的区域中,然而,在很多应用中,这是不现实的。

[0022] 关于管道的横截面的术语“基本上整个”的意思是充分的管道横截面被照明,这样,就不需要对所选择的管道的横截面部分的采样和微粒浓度的近似均匀性的假设,所以,

本发明可以在管道的整个横截面上精确而实际地检测微粒的存在。术语“基本上整个”最好要求管道的整个横截面被照明,但一些空缺是可以容忍的。照明角的范围应当超过管道横截面的 50%,80%更好,最好是 90%。

[0023] 这样,使用中的观测角基本偏离气体流的方向。

[0024] 所以,本发明的装置和方法不但适用于在气体经过消除系统之后,尤其是在例如涡轮的、例如分别在工业处理之前和之后的上游入口中或下游出口中来检测工业处理的入口或出口中的气体中的瞬时微粒的存在,而且适用于确定消除系统中哪里存在着允许微粒通过的故障。

[0025] 本说明书中的术语“微粒”的意思是如微粒形式的动物、植物或矿物质的、一个或多个散射中心。尤其是,该术语包括大气中存在的、以及工业处理和发动机内产生的微小的微粒材料。本说明书中的术语“气体”的意思是不与消除系统中使用的材料发生显著的化学反应的任何气体材料,尤其是空气。

[0026] 本发明的装置和方法依赖于对被照明的、发光微粒的闪光的检测。术语“闪光”的意思是来自微粒的亮光的闪烁和闪光。由于发光是来自微粒的反射,所以闪光可以是在任何方向上;至少一些闪光将是在检测器的方向上。在气体流的区域中,本发明的装置及其方法可以更准确地确定在管道的基本整个横截面上的、气体流中悬浮的微粒。如果接近过滤器的出口的气体基本呈层状,那么,本发明的装置最好设置在层状流的区域中。在本发明的装置和方法中,检测器与发射光束的同步使得基本只有沿着那条光束的闪光能够被检测到。其具有的优点是可以检测到光束中的闪光的位置、并且因此检测消除系统的特定区域、例如过滤器阵列中的过滤器的失效。另外,从管道的任何其他区域中的微粒产生的闪光不会被检测到,并且因此不会产生非期望的闪光检测。所以,可以实现过滤器平面阵列中特定过滤器的故障位置的精确确定。应当理解,在没有微粒存在的气体中,发光是基本不可见的。

[0027] 本发明的装置将被设置在将气体导入特定区域或从特定区域导出的入口或出口管道内。所述管道可以是诸如例如导管、烟囱、隧道、通风道、航空器发动机之类的任何封闭的或半封闭的空间,其中,气体可以通过所述管道而流动。管道可以由技术领域中的任何已知的合适材料构成。管道的示例包括:金属,典型地,有镀层的或无镀层的(例如电镀的)钢材、不锈钢、铝;塑性材料,例如刚性或柔性聚氯乙烯、聚丙烯、玻璃、聚苯乙烯、低或高密聚乙烯、ABS 等等;并且,管道可以是可伸缩的。管道可以是透明的或不透明的。管道可以是诸如例如矩形(即方形)、圆形、椭圆形之类的任何方便的或合适的横截面,并且可以具有横截面可以容纳发射器和检测器的任何横截面尺寸。尽管发射器输出和检测器灵敏度应当相对管道参数进行优化,但是,管道的横截面积相对地不重要,并且,本发明的装置和方法可以用于任何尺寸或形状的管道。发射器和/或检测器可以位于管道的横截面内;然而,当气体的流量非常大时,发射器和检测器最好设置在管道的壁上,或贴近管道壁中的窗口(透光的),这样,发射器和检测器就不会减小气体的流量,并且可以减小发射器或检测器的任何部件脱落并损坏管道或设备的风险。

[0028] 优选具有从 300nm 到 1.5 μm 波长的照明。使用更短波长是有益的,因为散射最大。微粒的散射效率与光源波长的四次方成反比地增加。然而,应当选择该波长,以便降低吸收效应。在大量水蒸气或水滴存在的环境中,这可以排除 IR 和 UV 照明的使用。

[0029] 除了散射效率,照明必须被检测到,并且,检测器具有波长敏感性。当使用固态检测器时,通常检测器对光谱的红端更有效率。当使用基于磷的检测器和电子倍增检测器时,通常检测器对光谱的蓝端更有效率。红外照明趋向于被认为是比可见/UV 激光对眼睛更安全,因为这种照明在视网膜前强烈地衰减,并且眼睛无法将 IR 照明聚焦到视网膜上。红外照明具有一个安全限制,即:用户不能容易地观察到光束,并且不知道它的位置或它的激励状态。

[0030] 当使用基于半导体材料的检测器时,如果将检测器冷却以减小热噪声是有好处的。由于热物体散发 IR 辐射,所以,在拍摄热样品时,即使是被冷却的检测器也可能遭受增加的热效应的影响。如果相机包含阻止大于激光使用的波长的所有 IR 照明的滤光器是有好处的。如果相机包含只允许发射器的波长范围的照明被检测的滤光器是有好处的。所以,本发明不限于特定的波长或检测器类型。这里可以使用多种源。这些源包括在 633nm 到几微米之间的很多波长上可用的激光二极管源。另外,基于钇晶体(钇铝石榴石和类似材料)的激光可以通过二极管激光器高效率地泵浦,并在 1000-1100nm 区域产生稳定的高功率光束。发射器可以包括谐波地发生的光源。使用这种技术,YAG 激光器可以被用于产生在 532nm 到 355nm 量级的波长的发射。谐波发生是非线性效应,并且,脉冲光源通常提供更高的效率。另外,发光二极管和超高亮二极管可用于产生在宽范围的波长上的光源。诸如弧光灯之类的热光源可以用于产生高强度光脉冲或连续光束。为了使用激光的稳定运行,最好使用偏振的激光光源。为了使用激光的稳定运行并实现高质量的准直光束,那么,最好只使用单横模、或主要单横模的激光。准直光束是被设置成具有最小发散的激光束。在实践中,用于准直光束的光学器件设置必须非常地稳定,而真正的准直是不可能实现的。然而,在本领域中公知,在远大于扫描距离的一距离上聚焦的激光束发出的光束根据本发明可以被认为是准直的。

[0031] 准直光束可以是球形的或非球形的。激光束的形状是激光腔的函数。二极管激光器的制造方法是提供一个腔体,该腔体发生于电学结处,所以,该腔体关于光发射轴是不对称的,这样,发射的光束是不对称的,而是椭圆。通常,这些椭圆具有 1:2 或更大的纵横比。本发明不限于球形光束,椭圆的或其他光束形状也可以使用。将椭圆的主轴对准流动方向,使微粒在光束内的时间最大化。将光束的主轴横向对准气流,使在单步中分析的管道的横截面最大化。可以使用将椭圆光束变为圆形光束的光学器件,但是,这减弱了总激光强度,并且对本发明并不产生显著的好处。

[0032] 通过激光的横模特性,可以定义其他激光束形状。单模激光产生最少的发散,因此产生最优的准直光束。在要求大激光功率的应用中和/或在使用经济型激光的应用中,可以使用多模激光。通过横模的控制,激光束可以被设计成发出限定的强度轮廓。一种这样的模式类型在本领域中被公知为是大礼帽轮廓(top hat profile),并且,这种模式的优点是:照明强度跨光束直径基本不变,减少了由于光束内的微粒位置而引起的测量上的变化。

[0033] 使用准直光束具有的优点是在光束内产生高功率密度。散射是线性现象,因此更高的功率密度产生更强的散射,并且提高了信噪比。使用准直光束就可以使用更小的光学器件,从而节省了成本。使用宽准直光束具有的优点是:准直光束的发散反比于光束的直径,因此宽直径光束在远离激光器的地方分散得较慢,并且减少了图像上的照明的变化。

[0034] 光束尺寸应当针对管道的尺寸进行优化,由于管道越大光束直径越大,因此发散

降低是更可取的。

[0035] 商用激光器经常和激光腔一起制造,其输出能提供接近准直的光束。标准商用激光的典型直径是在 0.5 到 5mm 的范围内。在这个范围内的光束直径适合大部分管道,但对于更大的管道可以使用光束扩展器(本领域已知的)来增加光束尺寸。

[0036] 二极管激光器不提供准直输出,可以使用单透镜来限定准直椭圆光束。减小单透镜的焦距就减小了准直光束直径,且因此可以使用通过改变一个透镜而允许多个光束直径的激光二极管模块。

[0037] 包含激光器的发射器可以是脉冲的,并且在脉冲模式中,峰值能量通常可以增加,使得总的发射能量不变或甚至通过脉冲而增加。

[0038] 与微粒被激励多长时间相反,散射是线性效应,并且检测的照明量是传递到微粒的光量的函数。相机中的热噪声是曝光时间的函数。利用脉冲激光器,可以(使用反馈回路)减少相机的实际曝光时间,并且因此减少了热噪声而不带来微粒的散射强度的减小,这是有益的。

[0039] 通过在短时间中将功率传递到微粒,微粒仅仅在缩短的飞行路径长度上散射照射,并且这增加了微粒的图像分辨率,并且改进了分析,这是有益的。

[0040] 在微粒经过期间,激光器必须向微粒输入充足的照明,以便将其从热噪声中分辨出来。脉冲激光器的使用允许激光器在一个单曝光时间中比通常为使用相同平均功率的 CW 激光器的情况输出更多的光,这是有益的。

[0041] 激光器可以选择由于它们的内部特性导致的自调制、或通过激光激励或腔品质(腔的品质是本领域技术人员已知的技术术语)的控制而被外调制。最好使用外调制激光器,这类控制设备可以控制激光器、相机快门和扫描激光器的装置。

[0042] 很多激光器是通过以小时计的运行寿命来定义的。通过使用在激光束的扫描期间和当系统不获取要求的数据时被禁止的调制激光器,可以增加激光器的寿命,这是有益的。

[0043] 通过交错测量,可以进一步减少运行。例如,一幅图像可以由在 100 个角度的每一个上的很多曝光组成。然而,不必测量全部 100 个角度来更新图像,可以使用波动和交织系统,使得:由于每个新角度被分析,其替换在那个角度的先前的图像部分,并且,使用这个新数据和先前的 99 个测量来重新显示和分析图像。当已经检测不到尘埃时,图像可以仅仅由覆盖测量体积范围的少数角度形成;只有当系统检测到微粒时才切换到很多角度。这允许更快的更新时间,或系统/激光器具有更多的停机时间。可以包括反馈,这样,只测量特定的角度组,除非检测到微粒,然后系统才增加那个范围内的扫描的次数。

[0044] 优选的发射器是激光器。已经发现激光可使微粒产生强烈的闪光,并且激光设备具有比较长的运行寿命。根据预期的微粒尺寸和要求的光设备灵敏度可确定适当的激光器输出。尽管在整个光谱中的照明都可以使用,但在可见光谱的较短端的可见照明、例如 532nm 是优选的,因为它与例如在可见光谱的较长端的照明,例如 780nm 相比更不易受湿气的干扰。将单频率发射器与专用于该频率的检测器进行匹配,可以在检测中获得更大的信噪比和本发明装置的更大的灵敏度。可以在与发射器相对的管道侧上给管道设置束流收集器来吸收照射、特别是来自激光器的照明,这样,照射就不会从管道的相对侧反射回来。

[0045] 激光器或激光器后面的光学器件可以包括滤光器,以便滤除不希望的光。不合要求的照射可以由激光器通过自发发射而发射,或可以是作为来自激光器泵浦源的泄漏而发

射。滤光器可以包括光学滤光器。滤光器可以包括空间滤光器。一个或更多的检测器可以安装滤光器,以便减少来自所关心区域外侧的光。一个或更多的检测器可以安装滤光器,以便减少对可以产生热噪声的、低于该激光器频率的 IR 检测。检测器可以包括偏振滤光器,其可以平行或正交于照明源而偏振。例如,通过固态器件或 Peltier 冷却器件可以冷却检测器,以便减少热噪声。检测器可以包括用于最小化不希望的照射的罩。所述罩可以安装有用于最小化不希望的照射的阻板。

[0046] 可以控制检测器的焦深,使得在扫描激光的平面内散射的照射能够比源自该平面外的照射被优先检测到。通过小孔、或光圈或其他装置的使用,检测器的光学器件可被设置为使景深在一定限度内。

[0047] 也可以提供带通滤波器来减少非发射器发出的光照的影响。发射器应当提供准直的照射光束,通常,光束越窄越好,因为那样对任何闪光的确定将更准确,并且改善了信噪比。

[0048] 发射器被设置成在管道的整个横截面上步进扫射照射;可以通过使用例如透镜、反射镜或棱镜来扫射,它们可以通过步进电机、以期望的步进角度、基本连续的步进移动来移动或旋转。当管道具有大的横截面积时,最好增加步进的数量。在这种装置中,光照被导到棱镜或反射镜上,用作扫射的光照;然而,最好是,光照发射器,例如激光器直接附着到步进电机。尽管最好使用单个光照发射器,但也可以使用多个发射器,特别是,当管道的横截面几何形状不规则、或管道结构不规则时。

[0049] 通过例如透镜或基本连续的机械运动的反射镜的方式,来自发射器的光束的机械扫描使得光束通过期望的扫描角度而步进扫射。通常,反射镜用伺服检流计或步进电机来控制,当要求装置的机械强壮性时,最好采用步进电机;步进电机的另外的优点是:可以使用与发射器光束的位置相关的信息来屏蔽任何伪信号。这种系统的优点是:允许沿光束的长度方向强度不变(排除任何吸收),维持高强度,即不同于正常发散的、更小的光束分散,并且,可以容易地控制诸如扫射角度、扫射率和步进率之类的扫描参数。通常,尽管根据系统的参数,步进器将自由运行,从而光束的位置是已知的;然而,如果需要的话,光束的位置可以被反馈回来,以便分析和进一步控制位置。

[0050] 扫射期间可以是每秒几十次的扫射到每分钟几次的速率;更长的扫射时间允许用于非常灵敏的小微粒踪迹检测,因为,在每个位置的更长的停留时间可允许拍摄更多数目的图像,从而可以增加灵敏度和进行更小微粒的检测。可以在几秒的时间段上累积小闪光的检测,以便于更大的可靠性和再现性的微粒测量;通常,在灾难性的消除系统失效事件中,更快的扫射率允许更快的补救行动。典型的扫射次数将是在每分钟 1 到 20 次,和在每次扫射中 1 到 100 个之间的发射器输出,但是,这些参数依赖于发射器和检测器的灵敏度和预期的微粒。

[0051] 闪光呈现为从检测器的单个输出的检测到的信号光强度的峰值;然而,如果如所优选的,在每一步中有多个来自检测器的输出,则检测器的输出将是来自不同微粒粒子的单个峰值的平均值。该平均值将显得要减小在每一步中由来自检测器的闪光所引起的总输出,这样,装置中的噪声可能将基本屏蔽所检测的闪光。因此,在对检测的闪光进行平均时,期望能减小背景噪声的影响。应当使用至少一个门限装置来减少噪声。噪声可能由系统的任何部分引起,所述部分包括而不专指检测器系统内的热噪声、检测器放大器或其他读

出装置中的热噪声、由于管道中的热成像而存在的热噪声、管道内的部件反射的光、二次散射,其中,所述二次散射是光通过尘埃粒子散射,并且然后从管道或管道内的部件反射。

[0052] 有多种方式设置门限。

[0053] 门限可以是曝光的区域内的、或在那一步进角度上的所有曝光的区域内的、或那幅图像内的所有像素的区域内的所有像素的平均值。

[0054] 对图像 / 曝光 / 扫描区域使用限定的门限,可允许由于从管道内的尘埃或部件反射而引起的更亮的图像区域。

[0055] 可以通过应用到曝光的区域的线性或非线性函数来定义门限值。

[0056] 所述门限可以根据先前记录的图像来限定。该图像可以是无尘埃存在时记录的图像。图像可以是当微粒存在时的长时间的积分,使得微粒的效果被平均显示出来。可以通过很多曝光的求和、或使用单个或较少数目的长时间曝光来产生长积分时间。可以通过将那个扫描角度的、限定数目的先前的图像进行平均来定义门限,使得门限是稳定的、但又持续地被更新。

[0057] 通过使用比较,门限可用于确定微粒的存在,其中,图像中的相对于门限值的任何显著变化表明微粒负荷已经改变。

[0058] 减少门限的另一方法是通过考虑图像内激光光束的位置。可以应用空间门限,其中:只有位于激光束范围内的点被定义为信号,而位于该体系外的点被认为是噪声。空间门限可以被用于产生量值门限。激光束范围之外的区域可以被分析,并且可以定义像素值的至少一个参数,其可以是峰值、平均值、中值或一些其他数学定义的值。

[0059] 图像中的所有像素可以被定义为零,只要它们具有低于这种门限的值。激光束之外的像素也可以被定义为零。这样,在这种情况下,门限依赖逻辑算子而作用,该逻辑算子定义是乘以 0 还是 1。

[0060] 门限可以包括时间信息。例如,分析可以包括考虑相继拍摄的一系列曝光中的一个或更多像素的变化,并且其中,当一个像素在大多数曝光中具有显著的值时,那么,它被认为是由于噪声产生的,然而,如果像素仅仅在一个或少数曝光中具有显著值时,那么,该信号被认为是由于微粒产生的。

[0061] 分析可以包括减少一个或多个门限。分析可以包括分析门限的数目。例如,分析可以考虑在装置安装时定义的历史门限、和由那个扫描角度的先前 100 个曝光定义的门限。以此方式,从安装或校准以及从先前的测量开始的系统中的变化都可以被分析。

[0062] 分析可以包括第二门限,此时,在特定步进角度上的、曝光求和之后的曝光将进一步减少噪声或简化分析。

[0063] 检测器可以是能够检测来自微粒的照明闪光的任何合适的检测器。合适的检测器系统包括例如相机、光电晶体管和 pin 二极管。合适的相机应当具有适当的灵敏度和空间分辨率,其中,空间分辨率是像素数目的函数。检测器可以安装有一个光学滤光器或多个滤光器,这样,例如,滤光器可以使得照相机对照明的窄波长之外不敏感。最好是可以提供单个检测器或光电晶体管系统,但不排除多个检测器系统。在发射器从一步进位置到下一步进位置的移动期间,来自检测器系统的输出可以被忽略;这种忽略对检测没有显著影响。

[0064] 发射器和检测器的相对定位可以被优化,并且依赖于所使用的检测器的类型。例如,相机视场最好偏离发射器的方向线,以便能够获得被照亮平面的二维图片。然而,如果

检测器被设置得临近发射器,这样,光束横穿管道发送时,检测的闪光将被反射回来(后散射);然而,关于微粒的位置信息不能在两维上确定。使用设置在管道外面的发射器,上面描述的图像表示扭曲的或歪曲的、管道的二维图像,被称为透视扭曲。为了描绘从实际消除系统到透视扭曲视图的坐标,可以使用公知的算法(例如:Wolberg, Digital image warping 1990, IEEE 计算机科学出版社, 1990; Performance Metrics for Robot Coverage Tasks, Sylvia C Wong 等人, 学报 2002 关于机器人和自动化的澳大利亚会议, 奥克兰 2002 年 11 月 27-29 日, 7-12 页)。

[0065] 当光束在管道的横截面上扫射时,检测器保持聚焦在光束上;以此方式,检测器检测从准直光束的每一步进位置产生的闪光。这样,当光束跨管道扫射时,来自每个位置的闪光就被检测。根据这样检测到的闪光的信息,就在记录器上产生跨管道被检测的任何微粒的二维图像。于是,这幅图像显示出消除系统的那些部分不能阻止微粒的通过。

[0066] 微粒的确定可以包括最终图像的面积的合计、并且可以包括最终图像内的面积或体积的合计。所述确定可以包括峰值数目的计数。该分析可以包括峰值的一些参数的分布的产生。所述参数可以是量值、面积或体积。所述分析可以包括分布形状的分析。

[0067] 所述确定可以包括进一步的门限值,使得当一个或更多定义的参数的特定量改变已发生时,由系统中的实质变化而引起触发。

[0068] 从管道的边缘使用扫描的激光的方法限定了:对于理想准直光束,一次扫描中,由激光传递的总的能量密度随着离激光器位置的距离的平方而减小。使用准直光束,所有粒子具有相同的入射通量,但是,在较接近激光器的不同步进角度上存在更大的光束的交迭,使得更多的粒子将被测量。最好是,所述确定步骤包括根据传递到区域的能量密度而使图像或、图像结果归一化的步骤。

[0069] 从管道的边缘使扫描的激光成像的方法引起图像中的变形。最好是,所述确定步骤包括从图像去除或减少变形。

[0070] 最好是,本发明的方法包括设置至少一个校准目标以便允许分析图像系统的增益的步骤;并且包括根据系统的增益来使曝光归一化的第二归一化步骤。最好是,相对于整个图像,这种归一化针对每个扫描角发生。最好是,相对于所有曝光的总合计时,这种归一化针对每个曝光发生。

[0071] 在本发明中,图像系统的增益被定义为总增益,并且考虑到了激光波动、窗口上的污垢、检测器灵敏度变化、以及影响测量的信号量值的任何改变。

[0072] 因此,根据本发明的另一方面,提供了一种用于检测管道内的气体中的微粒的存在的方法,该方法包括:

[0073] (i) 利用来自至少一个光照发射器的照明光束在管道的基本整个横截面上扫射管道;

[0074] (ii) 使用至少一个检测器来检测来自光束内的任何微粒的照明闪光,其中检测器安装在管道的外面、并在投射管道的扫射区的区域之外;以及

[0075] (iii) 检测来自微粒的照明的任何闪光,由此可以确定管道中出现的任何微粒的存在。

[0076] 合适地,所述方法还包括:

[0077] (i) 设置门限水平;

[0078] (ii) 将在光束的每一步进从检测器检测的闪光的水平进行合计；

[0079] (iii) 记录所检测的闪光，以及

[0080] (iv) 检测管道中的任何出现的微粒的存在、数量和位置。

[0081] 应当理解，本发明的装置和方法能够被用于多种环境，例如，用于不同尺寸的管道来检测各种粒子尺寸的微粒，以及用于管道中的具有一定流速范围的气体。与本发明相关的参数应当针对每种环境进行优化。通常，根据本发明，能够检测微粒中的粒子的曝光时间应当被最大化，以便提高其检测机会。可以作出几个一般原则：

[0082] 曝光时间应当约与穿过发射器光束的粒子经过时间相同。

[0083] 曝光时间必须能将信号从噪声中区分出来。

[0084] 检测器输出应当被调整，最好通过调整门限，以便去除噪声。

[0085] 通过增加发射器输出功率可以增加检测闪光的可能性，而任何相关的噪声产生应当被最小化。

[0086] 记录器可以是能够提供有关穿过管道的微粒的信息的任何设备。例如，记录器可以是任何可视的显示单元，其可以持续足够长时间，以便产生步进扫描管道横截面的平面位置指示。在另一类型的记录器中，检测器系统提供管道的横截面的 X-Y 矩阵，该矩阵最好是从其透视扭曲图校正到管道的坐标。在又另一类型的记录器中，微粒浓度的可接受性限度可以被设置成高于该可接受性限度就指示不可接受的微粒浓度，例如消除系统失效。例如，所述失效可以是由于一个或更多消除系统元件的不良性能引起的。于是，该失效的位置可以被显示在例如工业车间控制面板的 LED 或 LCD 显示器上，和 / 或伴随例如高音喇叭的告警噪声发生器。在本发明的又一个实施例中，记录器可以是激活例如发动机管理系统的、管理系统的反馈环，以便根据失效来改正性能。

[0087] 另外，根据本发明的优选实施例的装置和方法的使用，当微粒经过例如激光时，通过检测器系统可以检测到反射光的小闪动，即闪光。尽管由于粒子尺寸和折射率的不同（以及光学器件上的任何污垢），针对每个尘埃粒子闪光的幅度将会不同，然而闪光的速率和持续时间可以被用于确定微粒流量和微粒含量。所以，可以记录闪光的速率和持续时间，并且，闪光的幅度可以是微粒强度的指示。于是，除了确定微粒实际是从哪里经过消除系统的之外，闪光的速率和持续时间可以通过例如合计来记录，以便提供管道中微粒数量的指示。

[0088] 在建立和使用本发明的装置、以及执行本发明的方法时，将管道的 X-Y 横截面的矩阵适当地提供在计算机上，并将关于在扫描管道期间的照明的位置的所记录的闪光的图像从检测器提供给该矩阵是方便的。以此方式，可以获得消除系统图及其阻止微粒通过的效果。最好是，在建立本装置和使用本方法来检测微粒的存在时，本装置和管道首先应使用在已知无微粒的情况中，以便可以获得用于比较运行中的结果的基线情况。

[0089] 根据本发明的另一方面，提供了一种用于检测管道内的气体中的瞬时微粒的存在的装置，所述装置包括：

[0090] (i) 至少一个照明发射器，其能够从管道外侧对管道的基本上整个横截面进行扫描，照明是准直光束形式的照明；以及

[0091] (ii) 至少一个检测器，用于当光束在所述管道的所述横截面上扫描时检测由于所述照明内的任何微粒而导致的照明的任何闪光的存在和位置，其中，当光束在所述管道的

所述横截面上扫射时,所述检测器被配置成安装在所述管道的外部,并且在投射所述管道的扫射区的区域之外,所述发射器以步进方式扫射经过预定扫描角。

[0092] 根据本发明的另一方面,提供了一种用于检测管道内的气体中的微粒的存在的方法,所述方法包括:

[0093] (i) 用来自至少一个照明发射器的准直照明光束在管道的基本上整个横截面上进行扫射;

[0094] (ii) 使用用于检测由于所述光束内的所述微粒而导致的所述照明的任何闪光的至少一个检测器,并检测由于所述微粒而导致的所述照明的任何闪光,从而可以确定所述管道中出现的任何微粒的存在,其中,所述检测器安装在所述管道的外部,并且位于投射所述管道的扫射区的区域之外,所述发射器被配置成以步进方式扫射经过预定扫描角。

[0095] 本发明扩展到在管道系统中引入本装置以及使用本方法。

[0096] 根据本发明的另一方面,提供了一种管道系统,包括:管道;至少部分在所述管道内的消除系统,所述消除系统用于减少经过所述管道的微粒;以及上述用于检测所述管道内的气体中的瞬时微粒的存在的装置。

[0097] 本发明的进一步的特征在权利要求中陈述。

附图说明

[0098] 现在将参考附图仅仅通过示例的方式描述本发明,其中:

[0099] 图 1 是根据本发明的、引入检测装置的管道的概略平面图;

[0100] 图 2 是图 1 的细节的透视图;

[0101] 图 3 是典型的平面位置的指示器;

[0102] 图 4 是微粒的散射的说明;

[0103] 图 5 是在一些图像处理之后的图 4 的图像说明;

[0104] 图 6 是被分成 10×10 矩阵的消除系统视图;

[0105] 图 7 是图 6 的阵列图;

[0106] 图 8 和图 9 是与图 7 相对应的、但存在微粒流的图。

具体实施方式

[0107] 图 1 示出了安装有根据本发明的装置的管道 (1) 的平面图。消除系统 (2) 包括在跨管道整个横截面以蜂窝格式设置一组过滤器。具有 20 毫瓦的连续波束、近似 2 毫米 $\times$ 4 毫米的纵横比的准直椭圆光束的激光器 (3) 提供 660nm (红色) 波长的光照,其光束 (4) 穿过消除系统的下游侧而被导向横穿管道的整个横截面。通过步进器 (5),光束在平行于过滤器的位置横穿管道而扫射,其中,步进器 (5) 包括定位在相对于步进电机的齿轮箱轴上的激光器;所述步进电机具有 1.8 度的步进角 (半步进模式为 0.9 度),步进角精度为 5%,电压为 5V,额定电流 0.5A/相。齿轮箱扫描管道的基本整个横截面,其比率为 100 : 1。这种扫描装置被证明是强壮的、抗震动的,能够在宽温度范围、在扫描速度范围上利用可重复位置信息来扫描。

[0108] 管道 (1) 最好是发电涡轮管道。

[0109] 投射管道的扫射区的区域从扫射区垂直扩展,所以,在该实施例中包括管道的

基本整个容积。

[0110] 图 2 非常详细地示出了扫描装置。

[0111] 通过 C/CS 装配 CCD 相机 (1004XA 型, RF Concepts 有限公司, Belfast, N. 爱尔兰 BT16 1QT) (6) 来检测来自管道中的任何微粒的闪光, 所述相机具有 1 : 1.2 视场的 12 毫米 Compatar 透镜, 其视场的中心以大约 45 度角横穿管道。视角 (10) 基本偏离垂直于光束扫射的平面 (4) 的方向。对于 5 平方米的管道, 相机距离消除系统的上边缘的平面近似为 3 米。于是, 它偏离到管道的侧边。发射器和相机二者都被设置在管道壁的壁外面。相机被设置在激光器的下游, 其中, 所述激光器本身在消除系统的下游。检测器方向与光束的扫射平面不垂直。

[0112] 在可选的实施例中, 相机被设置在激光器的上游并面对着下游; 可以优选这种设置, 因为气体中的任何微粒不容易污染相机, 并可以减少反射和由于来自消除系统的光的散射而引起的噪声。然而, 由于层流减少和 / 或微粒的扩散, 这将减小装置的空间分辨率。

[0113] 当发射器光束扫射管道横截面时, 对于发射器光束的每一步进, 获得闪光的图像; 该图像仅仅对于照明光束的位置是唯一的。然后, 对于每一步进, 来自检测器相机的输出被提供给记录器 (7), 这样就获得了沿光束的任何微粒的闪光的强度值, 其中, 所述记录器利用来自检测器相机的输出将其时基与来自发射器的照明光束的位置同步。在发射器光束在管道中扫射时, 针对每一步进重复该过程。

[0114] 在使用本发明的装置和方法之前根据管道上的 X-Y 坐标先定义管道的几何形状是很方便的。闪光强度的阵列可以因此与管道横截面的 X-Y 坐标相联系, 以便形成管道中的微粒的图像或图。使用这个信息, 可以监视消除系统中的单个过滤器的性能, 并且, 可以检测出一个或任何过滤器的性能中的任何恶化。

[0115] 为了使用本装置和方法, 希望首先进行本装置的安装, 以便确保发射器、检测器和同步器协同工作。然后, 开始让气流进入管道而不引入微粒。通常, 气流将继续几分钟, 以便让装置清除管道上的任何残留微粒, 并使任何瞬态效应减小。然后, 开始在每一步进上以 10 秒的周期开始执行本发明的方法; 在每一步进上检测 100 幅图像, 以便从 50 个发射器步进中的每个产生合并的图像。

[0116] 图 3 中示出了来自记录器的典型平面位置指示, 在下面描述随后的处理。

[0117] 图 4 说明了超过 100 个曝光的、来自单激光光束的微粒的散射。蜂窝背景是过滤器组元件上的保护栅格。那两条模糊的线条是粘着在过滤器的网孔面上的区域。

[0118] 应当理解, 所检测的图像可包含激光束内部和外部的大量的闪光。也可以手动设置门限以减少发生在光束外部的闪光, 并将该门限应用到整个图像, 以便进一步减少噪声。从而, 忽略低于该门限级别的任何闪光。图 5 示出了单个曝光, 来自其的背景噪声已经通过门限处理。在单个步进器位置上, 通过将 100 次曝光进行平均来执行门限处理, 以便确定噪声, 其随后从单个曝光中减去, 从而产生图 5。

[0119] 然后, 通过将每个像素与 3 个像素的半宽度高斯 (Gaussian) 进行交叉关联处理, 噪声进一步减少和偏向减少。关联是数值上的复杂分析且很耗时, 但是由于 Gaussian 是关于轴对称的, 因此可以通过卷积执行所述关联。二维中的卷积其自身是不简单的, 但是, 分析是可分离的, 并且, 可以作为每一维中的卷积的序列来执行处理。

[0120] 然后, 通过峰值检测算法, 由处理器 8 分析图像中的闪光中心的数目和量值。该

算法使用 5×5 像素尺寸的滑动掩模 (sliding mask)。该滑动掩模被用于图像中的每个像素,并且如果滑动掩模的中心是该掩模的最大值,那么,这个像素就被定义为峰值,并记录该 X-Y 位置。如果 X-Y 位置位于激光束的范围之外,那么,这个中心就被作为噪声而忽略。于是,本方法允许通过 X-Y 位置和量值来定义每个散射中心,从而显著地减少数据。

[0121] 图 6 示出了作为通过检测器看到的透视扭曲图的、被分成 10×10 矩阵的消除系统的视图。通过图像调整器 (9),使用上面描述的 Wolberg 方法将这个图转换成微粒系统的真实几何形状;这种方法也被用于将激光位置映射成扭曲的图像。在方块 40 到 49 和在方块 50 到 59 中所示的线条示出了来自激光器的两条光束的位置。

[0122] 图 7 中示出了被分成 10×10 阵列的、具有方形横截面的管道的典型图,其中,每个方块被从 1 到 99 编号。该阵列代表从来自检测器的输出的管道的透视扭曲图纠正的、横穿管道的 X-Y 图。在图 7 的图中,呈现了没有微粒被故意地引入进管道时的扫描;阵列的每个方块的中心的数字代表管道中的任何微粒的相对密度,其中,使用刻度 0 表示没有微粒,直到 9 表示很重的微粒浓度。可以看出,在部分管道中,微粒仅仅呈现出低的浓度。这个图被用作为基线。

[0123] 图 8 示出了当微粒的连续注射被引入管道时的、类似图 7 的扫描的图。如图上的数字所示,微粒不是随着窄流,而是趋向于扩散到管道横截面的大部分。

[0124] 图 9 示出了类似图 7 的扫描的图,其中,使用手动泵浦的微粒源,将微粒注射到横穿管道的消除系统的特定部分;可以看出,在方块 24 和 34 发现了很重的微粒浓度。这显示出本发明的装置和方法可以检测出在消除系统的输出中的特定点上的微粒。图 8 和图 9 两个图考虑了图 7 中所示的基线条件。

[0125] 在数字表示管道中的各块的微粒的相对浓度的图 7、图 8 和图 9 所表示的图可以被替换成具有不同颜色和深浅而不是数字的图来表示微粒密度;例如,无色(白色)可以表示没有微粒,浅蓝色表示轻微的微粒浓度,直到绿色、黄色、橙色和红色,最后一个表示很重的微粒浓度。

[0126] 应当注意与本申请相关的、同时或先于本说明书提交的以及向公众公开以检验本说明书的所有文章和文件,所有此类文章和文件的内容都通过引用合并于本申请中。

[0127] 本说明书中公开的所有特征(包括任何所附权利要求、摘要和附图)、和/或如此公开的任何方法和过程的所有步骤可以被结合到任何结合体中,除了那些至少一些此类特征和/或步骤是相互排斥的结合体。

[0128] 本说明书(包括任何所附权利要求、摘要和附图)中公开的每个特征可以替换为作用相同、等同或类似目的的可选的特征,除非另外清楚地声明。这样,除非另外清楚地声明,所公开的每个特征仅仅是众多的等同或类似特征的一个示例。

[0129] 本发明不限于前述实施例的细节。本发明扩展到该说明书(包括任何所附权利要求、摘要和附图)中公开的特征中的任何新颖的一个、或任何新颖的组合,或扩展到如此公开的任何方法或过程的步骤中的任何新颖的一个、或任何新颖的组合。

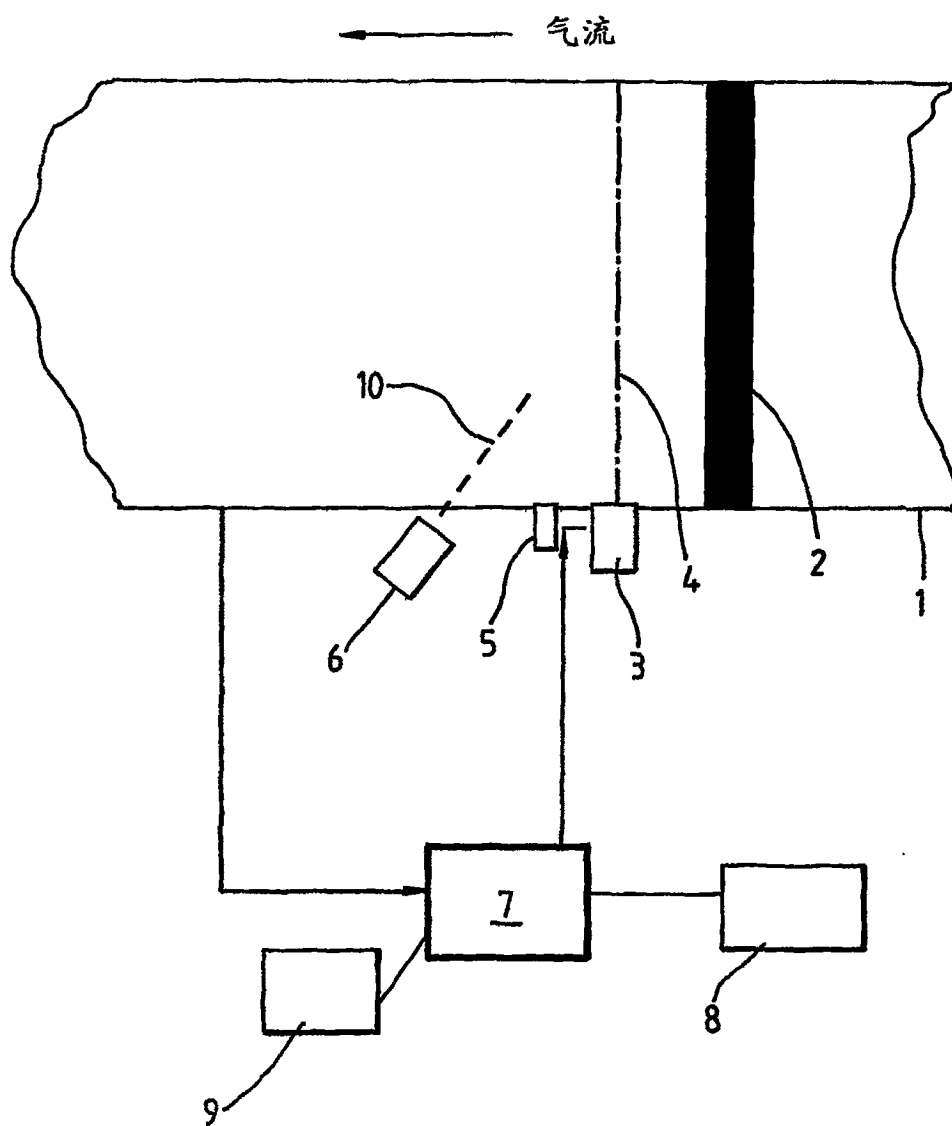


图 1

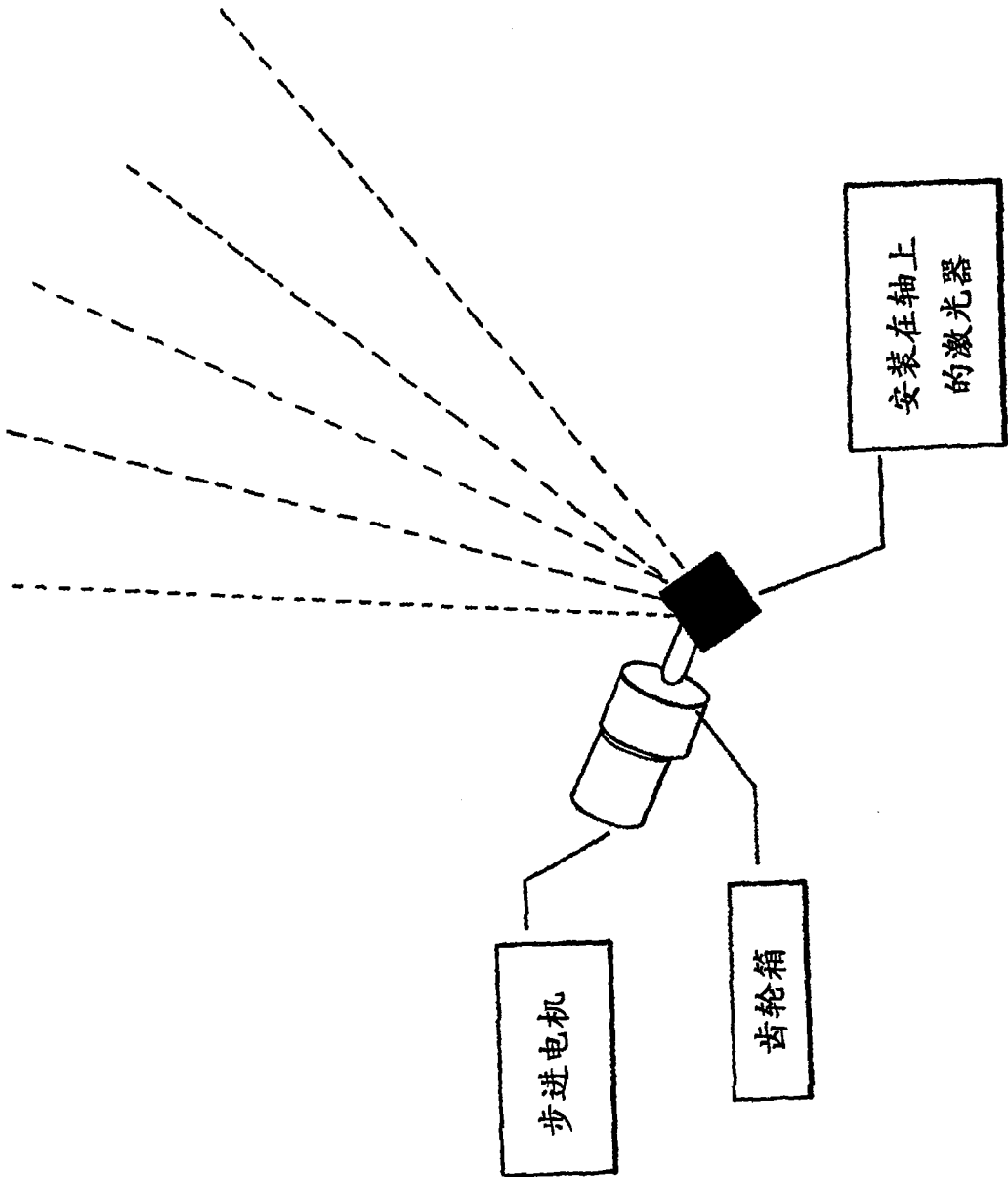


图 2

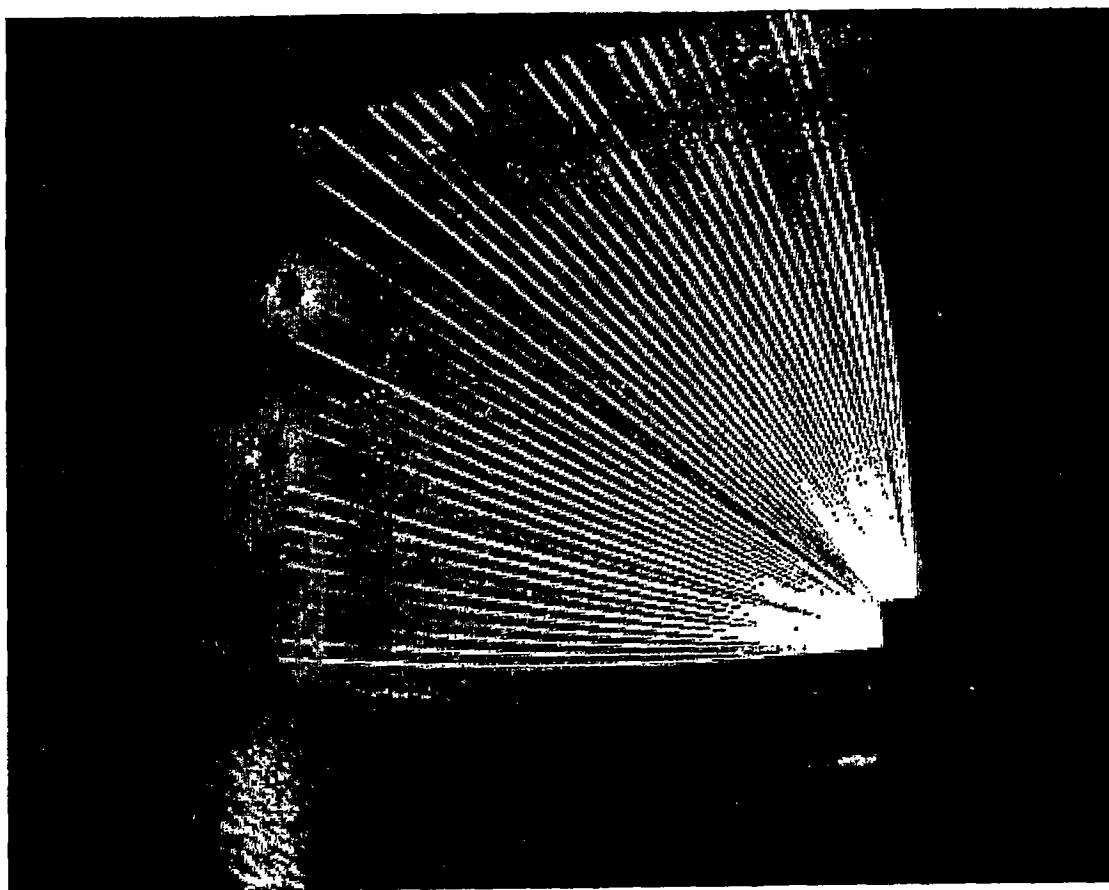


图 3



图 4

图 5

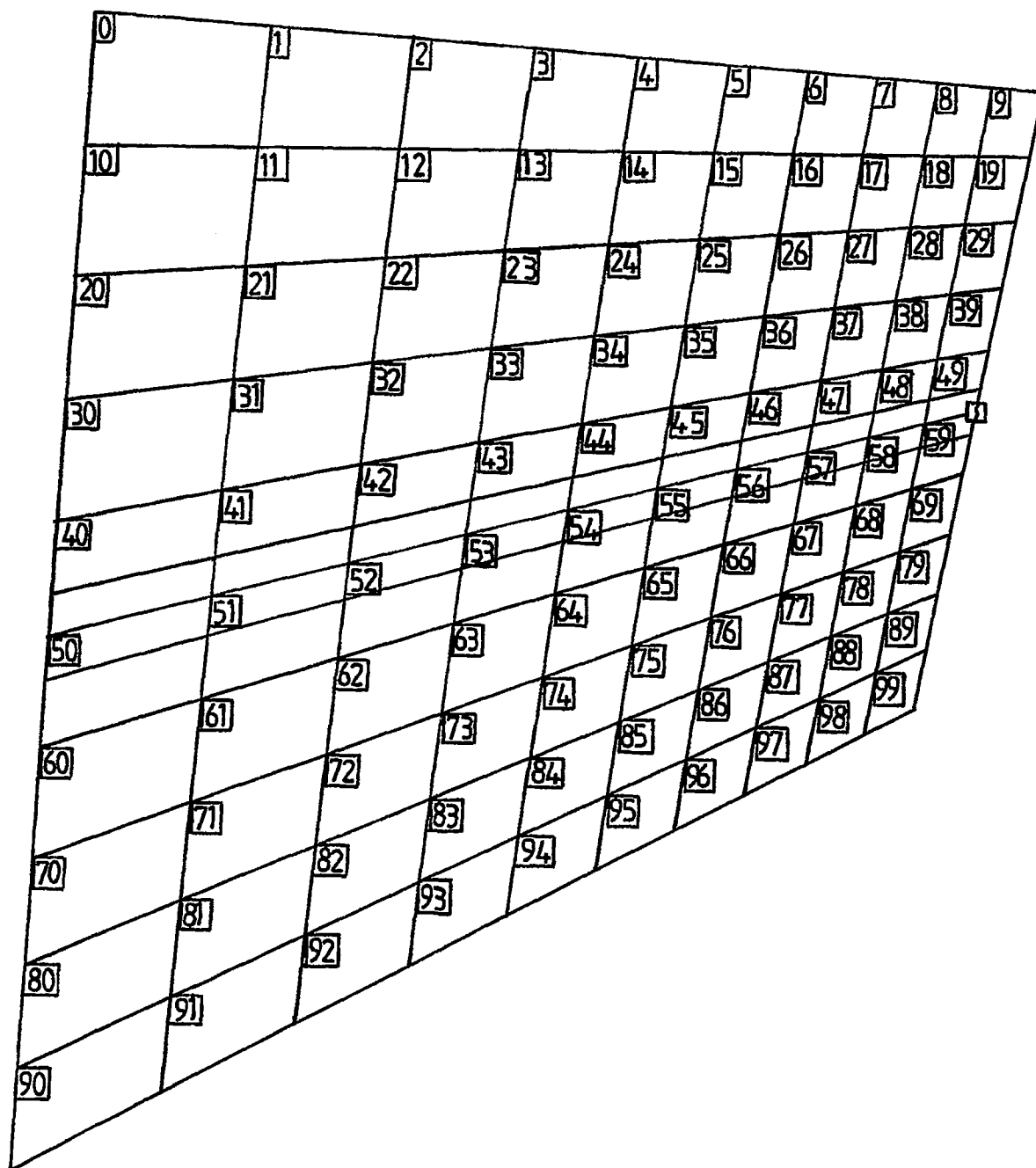


图 6

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
2	2	2	0	0	0	2	0	0	0	
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
2	0	2	2	1	0	1	0	0	0	
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
2	0	0	0	2	1	2	2	2	1	
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
2	2	0	0	0	2	0	1	2	0	
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
2	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	

图 7

0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
0	0	0	2	8	0	0	0	0	0		
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
0	0	0	0	9	2	0	0	0	0	0	0
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
0	0	0	0	2	2	0	0	0	0		
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
0	0	0	0	2	0	0	0	0	0		
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	

图 8

0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	2	2	2	6	5	6	1	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2	2	2	0	2	6	4	8	6	2		
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
2	2	2	2	2	4	2	9	5	4		
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
2	2	2	2	2	6	6	7	7	8		
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
1	2	2	2	6	2	6	2	8	7		
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
2	0	2	6	5	7	7	5	8	8		
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
1	2	2	2	6	7	8	7	5	7		
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
2	2	2	2	2	7	8	8	7	8		
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
5	2	5	2	2	1	7	8	8	8		
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
0	0	2	6	8	8	8	9	9	9	9	

图 9