

新型油雾探测器的光路设计

杨 鹏^{1,2}, 曹竞飞^{1,2}, 顾辰辰^{1,2}, 谢 舜^{1,2}, 谢凌峰^{1,2}, 沈忆闽^{1,2}

(1. 七一一研究所, 上海 200090; 2. 船舶与海洋工程动力系统国家工程实验室, 上海 200090)

摘 要: 为解决现有曲轴箱油雾探测器普遍存在的油雾测量室体积大的问题, 并在原型油雾探测器的基础上提高测量准确度和精度, 设计了一种新型油雾探测器。该油雾探测器利用红外分光光度法原理测量油雾浓度。平台试验结果表明: 与原型油雾探测器相比, 采用新光路设计的油雾探测器测量室体积大幅减小, 测量准确度和精度均有所提高。

关键词: 曲轴箱; 油雾探测器; 光路

中图分类号: TK424.3⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2020)06-0041-03

Optical Path Design of a New Type of Oil Mist Detector

Yang Peng^{1,2}, Cao Jingfei^{1,2}, Gu Chenchen^{1,2}, Xie Shun^{1,2}, Xie Lingfeng^{1,2}, Shen Yimin^{1,2}

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090;

2. National Engineering Laboratory for Marine and Ocean Engineering Power System, Shanghai 200090)

Abstract: To solve the problem that the volume of the available crankcase oil mist detectors is too big, and to improve the measuring accuracy and precision of the original oil mist detector, a new type of oil mist detector with an innovative optical path was designed. The new oil mist detector adopted infrared spectrophotometry in the measurement of oil mist concentration. Bench test show that compared with the original type, the new type of oil mist detector with an innovative optical path has much smaller volume, and improves the measuring accuracy and precision.

Key words: crankcase; oil mist detector; optical path

0 引言

曲轴箱的油雾浓度是表征其是否安全运行的主要指标之一。由于各种原因导致曲轴箱内油雾浓度超过最低爆炸极限, 可能引起曲轴箱爆炸, 最终引发严重的经济和人身安全事故。在柴油机运行过程中, 油雾探测器中的油雾采集系统不停地采集曲轴箱内的油气, 并通过测量室对油雾浓度进行测量, 测量结果输入控制板, 并通过人机交互界面实时显示油雾浓度状况。目前, 根据规范要求, 大功率、大缸径的柴油机都须配备油雾探测装置。

目前市场上大量应用的德国沙勒 (Scheller) VN215 油雾探测器, 以及国内七一一研究所研制

的 QYD-1 型油雾探测器等产品的油雾测量室体积普遍过大, 主要原因是为了保证测量的精度, 其油雾测量室和油雾采样系统所占据的空间较大^[1]。为了解决这个问题, 并在 QYD-1 型油雾探测器的基础上提高测量准确度和精度, 七一一研究所研制了一款利用红外分光光度法的原理来测量油雾浓度的新型油雾探测器。

1 理论研究

新型油雾探测器利用分光光度法来测量油雾浓度。曲轴箱内的油雾经电力驱动真空泵, 被泵入探测器测量通道, 通道两侧的红外光电传感器对其进行测量并转换成电信号。因此, 光路通道的设计在

整个油雾探测器的研制过程中至关重要。在设计过程中,首先要考虑油雾浓度与消光度间的理论依据,即两者间的非线性关系^[2]。

1.1 朗伯-比尔定律

物质与光作用具有选择吸收的特性。分光光度法是一种对物质进行定性及定量检测的方法。通过测定被测物质在特定波长或一定波长范围内光的吸收度,对该物质进行定性和定量分析。朗伯-比尔(Lambert-Beer)定律是分光光度法定量分析依据的基本原理。当一束特定波长的光通过一均匀的非散射吸光物质体系时,一部分光被吸收,一部分光透过。当一束特定波长的光垂直通过吸光物质时,其吸光度 A 与吸光物质的浓度 c 及吸收层厚度 l 成正比^[2]。可表达为:

$$A = \lg \frac{I_0}{I} = \lg \frac{l}{T_r} = ac l \quad (1)$$

式中: A 为吸光度; I_0 为入射光强; I 为透射光强; T_r 为透光度; a 为分子吸收率(与颗粒物直径、波长及吸光度有关); c 为吸光物质浓度(油雾浓度); l 为光通过油雾的距离。

该定律成立必须满足几个条件:①入射光为平行特定波长光,且入射角垂直;②吸光物质为非散射体系,且均匀;③吸光质点之间无相互作用;④物质与辐射之间的作用仅限于光吸收过程,无荧光和光化学现象发生。润滑油油雾本身的特性满足以上②、③和④要求,因此,在油雾探测器光路设计时只要保证条件①,就可得出油雾浓度与消光度之间的理论关系。

1.2 油雾浓度与消光度的非线性关系

在朗伯-比尔定律中用到了消光度、透光度的概念。消光度与浓度为对数关系,浓度越大,消光度越大。当光通过油雾时,光强将会因油雾颗粒对光的吸收及散射作用而减弱,通过测定光束穿过油雾前后的光强之比就能够定量检测油雾浓度。

透光度 T_r 的定义:当一束光通过含有颗粒物的油雾时,入射光强 I_0 和透射光强 I 的比值即为透光度。

$$T_r = I/I_0 \quad (2)$$

消光度 O 与透光度 T_r 之和为 1,消光度用于表示被粒子遮挡后损失的光。

$$O = 1 - T_r \quad (3)$$

透光度符合朗伯-比尔定律。朗伯-比尔定律表明:光通过油雾的透光度与 $ac l$ 呈指数下降,即:

$$T_r = \frac{I}{I_0} = e^{-ac l} \quad (4)$$

式中: T_r 为光通过油雾的透光度; I_0 为入射光强; I 为出射光强; a 为分子吸收率(与颗粒物直径、波长及吸光度有关); c 为吸光物质浓度(油雾浓度); l 为光通过油雾的距离。

用消光度表示为:

$$O = 1 - T_r = 1 - e^{-ac l} \quad (5)$$

透光度和消光度相对于粒子浓度均为非线性参数。对于稳定的油雾介质和红外传感器, a 为常数;对于固定的传感器区间, l 为常数。因此,可以得到油雾浓度与消光度的非线性关系如式(6)。其关系曲线如图 1。

$$O = (1 - e^{-ac l}) \times 100\% \quad (6)$$

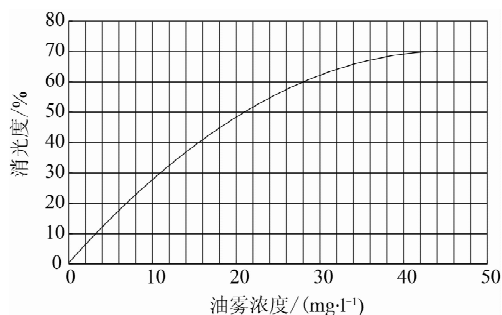


图1 油雾浓度与消光度的关系曲线

上述原理表明:红外光线透过油雾后的光强变化和通过油雾的距离(厚度)与油雾浓度的大小都有关,呈反比例非线性关系。利用此关系就可以进行油雾探测器红外线传感器信号调理电路和软件算法的设计。

2 光路设计

新型油雾探测器由测量室、油雾采样系统、控制板和人机交互等部分组成,如图 2。

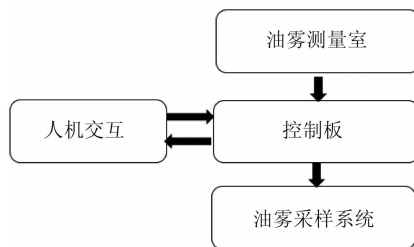


图2 油雾探测器系统组成图

在柴油机运行过程中,控制板向油雾采样系统发送采样信号,油雾通过管路被不停地从曲轴箱送入测量室;测量室中设置一个红外发射二极管作为光源,正对面设置一个红外光电接收二极管;光源以一定频率发射红外线,红外光电二极管接收其产生的光强,将光强信号转化为电信号,并通过放大

器将微弱的电信号放大传送至中央处理单元。如果曲轴箱内油雾浓度增大，探测器测量室中的不透光度就会增大，红外线光强度会随之减弱，红外接收管电信号也将随之减弱。当接收管电信号降低到一个最低限值时，控制系统通过对比和计算控制逻辑，发出“油雾探测器油雾浓度高”信号，同时向人机交互界面发出提示报警，并输出报警信号，供柴油机操作人员检查。

3 结构设计

新型油雾探测器光路部分结构由测量室、红外光电发射管和接收管组成。发射管接通电源后发射一束特定光强的红外光并进入红外接收管。当流经测量室的采样油雾浓度发生变化时，其消光度也发生变化，接收管上接收的光强也同时发生变化。接收端输出的电流大小与接收到的光强成一定的函数关系，该电流经处理变成模拟量后送入单片机。新型油雾探测器采用更短的探测间距、更精密的光电传感器采样更厚的油雾厚度，其性能较原有的油雾探测器有较大提升，并大幅减小了测量室的体积。测量室的结构如图 3 所示。

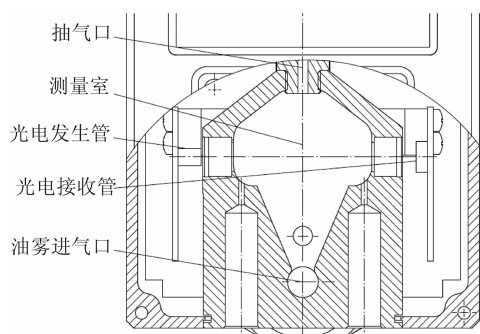


图3 测量室结构示意图

4 平台试验

为验证新型油雾探测器的光路性能，在试验平台上进行了油雾探测模拟试验。光路检测的消光度

值与比重法测量（CCS 规范中基准测量方法）的油雾浓度值^[3]如图 4 所示。可见：试验曲线与理论曲线基本重合，消光度误差控制在 $\pm 10\%$ 以内。而原型探测器其光路设计，在大量的试验中，仅在 $2.5 \sim 10 \text{ mg/L}$ 的浓度区间里能保证将误差控制在 10% 以内，而在较低浓度区间，其试验值与理论值的偏差可达 20% 以上。可见：新型油雾探测器的光路较原设计，在测量准确度和精度上均有明显提升，特别是在低浓度区间也能保持较好的精度。

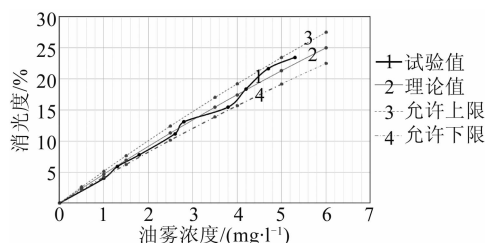


图4 新型油雾探测器光路试验结果

5 结论

所开发的新型油雾探测器利用红外分光光度法的原理测量油雾浓度。与原型油雾探测器相比，油雾探测器测量室体积大幅减小，而测量准确度和精度均有所提高。本文的光路通道设计为新型油雾探测器获得船级社型式认可，及批量生产投放市场奠定了基础。

参考文献

- [1] 刘玉娟. 油雾浓度探测报警装置研究与设计 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- [2] CCS. 钢制海船入级规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [3] 王海江, 张荣山, 刘骅. 柴油机曲轴箱油雾探测装置研制 [J]. 柴油机, 2009, 31 (1): 33-36.