

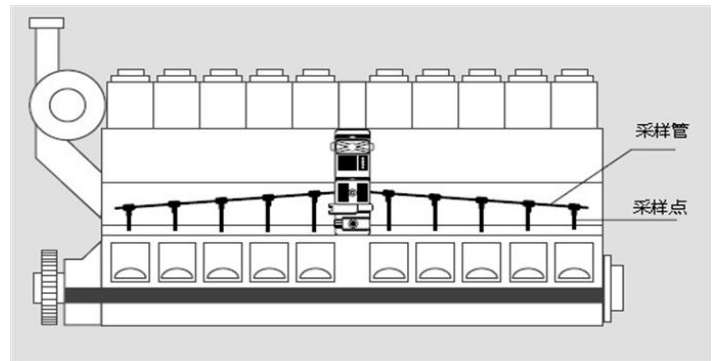
MK6 型油雾浓度探测器工作原理及疑难故障一例

大型柴油机曲轴箱爆炸对于船舶安全威胁极大，不仅会给船公司带来巨大的经济损失，往往还造成船员的重大伤亡。1947 年“REINA DEL PACIFIC”号主机曲轴箱爆炸，导致了船上 28 名船员罹难！造成柴油机曲轴箱爆炸的原因主要是由于柴油机运动部件发生故障，如轴承高温、活塞漏气、连杆螺栓拉长等等，在曲轴箱中形成了局部高温使润滑油汽化产生油雾，伴随着温度的不断上升和油雾不断地积聚，一旦温度上升到油雾的闪点最终就会引发爆炸。由于局部高温的产生可以由多种原因造成，用监测热源的方法很难全面周到的防止灾难的发生。而在爆炸发生前，曲轴箱内必然有一个油雾积聚的过程。所以目前在预防曲轴箱爆炸的技术方面，油雾监测一直处于最前沿。

目前的柴油机曲轴箱油雾浓度探测器从工作原理上可以分为检测透光率和检测散射光的两种形式：

(1) 检测透光率的传统油雾浓度探测器

这种探测器比较有代表性的主要有英国的 Graviner MK4/5 型、德国的 VISATRON CN115/116/215 和日本的 DAIHATSU MD-9x 系列等型号。它们的共同特点是都在检测室中面对面（180°）布置光源和感光管，利用油雾对光线的阻光度和浓度成正比的关系，对曲轴箱中的油雾浓度进行监视，感光管检测到的光线越弱，说明油雾浓度越高。这种技术的灵敏度较低，一般只能分辨 0.x mg/L 的油雾浓度，当样品中油雾浓度较低时很难检测，同时抗干扰能力较差，无法区分样品中的油雾和水汽，误报率高。在工作时，通过采样管将各个曲轴箱内的气体抽到主控制机里，再通过电磁阀等选择进入检测室的样品气体。这样的系统每个采样点和主控制机之间用管道联接，主控制机选择各个采样点的气体是机械切换，故障率高，响应时间长，同时，采样管一般还需要倾斜布置并有一定的物理长度，目的是为了使采样气体在通过采样管时让气体中较大的油/水滴冷却、凝结、滴落到采样管并流回柴油机的曲轴箱。受物理尺寸和工作原理所限，这样的系统支持的监测点数有限，更不能同时监测多台柴油机。



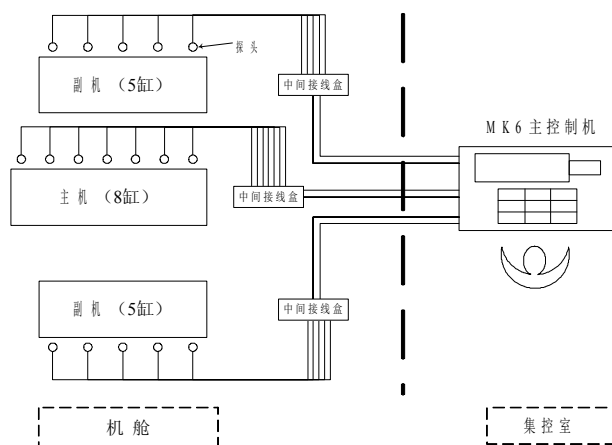
VISATRON CN115 采样管典型布置

(2) 检测散射光的新型油雾浓度探测器

与传统探测器不同，这种探测器检测光束侧向的散射光，散射光越强，说明油雾的浓度越高，这一点和传统型探测器正好相反，为此它的光源和感光管侧向布置（一般为 90°）。光线穿过样品气体，被悬浮于气体中的杂质颗粒向四面八方反射，形成了光的散射^[注]。由于各种物质对于光线的反射率不同，颗粒的大小/质量不同，受到光作用后发生的振动也不同，由此产生的次级光波也不一样。所以，光散射型探测器检测特定波长的光线强度，就可以识别出反光物质的种类和密度，因而减少了样品背景噪声的影响，误报率得以降低，同时系统的灵敏度大大提高，可以检测出非常微弱的悬浮颗粒。同时现代微电子技术的蓬勃发展也使得探测器的体积重量大大减小，为系统分布式设计创造了条件。英国 KIDDE 公司的格莱维诺 Graviner MK6 型就采用了这种先进技术。我司 2008 年由南通川崎船厂建造的 4 条 10000TEU 超大型集装箱船，4 台副机各装备一台德国 Schaller 自动化公司的 VISATRON CN115/87 型油雾浓度探测器，主机使用的就是 Graviner MK6 型主机油雾浓度探测器。

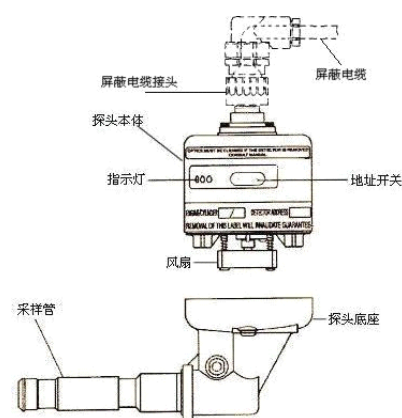
一、系统简介

Graviner MK6 型探测器在外观上最明显的特点是采用了分布式（也称为总线式）设计，每个曲轴箱由一个探头单独检测，万箱船 12K98C 型主机共有 12 个缸，加上链条箱全系统共有 13 枚探头。所有探头通过屏蔽电缆连接到中间接线盒中，再通过中间接线盒的两根数据线将数据送往主控制机实现远程监控。每个探头由自己的微芯片控制形成一个微型系统，可以独立进行油雾浓度的监测和探头自检。这样的系统将传统探测器每个采样点和主控制机之间的管道联接改为电缆联接，机械切换改为电信号切换，响应速度和可靠性因此大大提高，并且理论上拥有几乎无限的扩展能力，MK6 型最多可同时监测 8 台柴油机、64 个检测点（我司万箱船仅用它监视主机）。同时，主控制机也从机旁转移到了集控室操纵台上，操作人员可以在安全舒适的环境中通过柱状图、数值表等方式实时监视柴油机曲轴箱中的油雾浓度。



◇ 探头

MK6 型油雾浓度探测器采用光散射探测原理，系统灵敏度极高，可以显示 $0.0x \text{ mg/L}$ 的油雾浓度，检测精度比传统型提高了整整一个数量级。其探头的外型是一个圆柱体，在底部有一个风扇，风扇的上面就是检测室，在检测室内壁上装有 8 盏等距安排的 LED 近红外光源，与感光管垂直布置。光线穿过采样气体，被气体中的油雾颗粒反射，形成光散射效应，在光源给定的情况下，散射光强度和油雾浓度成正比。它的进、排风管做在同一根采样管中，进风管内安装有螺旋气道，在相同长度的采样管中，螺旋气道使得采样气体可以走过更长的实际距离，有利于油/水气的凝结和滴落。所以，MK6 的采样管长度很短且可以直接水平安装。探头的风扇是排风扇，它将检测室中的气体排向曲轴箱，形成检测室真空，采样气体利用检测室的负压“吸入”检测室进行检测，这样的气流较为温和，避免了吸入较大的油滴同时也利于油雾颗粒在检测室中的悬浮。



◇ 人机界面

MK6 的人机界面（也就是主控制机）安装在集控室中，它的日常操作对于现在的轮机员来说应该没有任何问题，在此就不再赘述。当发出油雾浓度高报警时，面板上只显示发出报警的缸号，并没有浓度数值，如果需要查看报警的具体数值，要选择 "SYSTEM STATUS / DETECTOR / DETECTOR STATUS"，里面有一个 "PEAK LEVEL" 是指探头检测到的峰值，一般就是报警值，需要注意的是此数值是从上一次峰值清零到目前检测到的最高值，如果本次报警值小于曾经发生过的峰值，那么将被掩盖，所以假如非常关注报警的具体数值的话，需要经常用 ENGINEER 身份选择 "CONFIGURE SYSTEM / CLR PEAK AND AVG" 把过去的峰值清零。

◇ 重要参数

MK6 没有提供探头灵敏度调节，油雾浓度报警分别有单缸偏差报警（ $0.05 \sim 0.50 \text{ mg/L}$ 可调，缺省值 0.30 mg/L ）和平均值报警（ $0.30 \sim 1.30 \text{ mg/L}$ 可调，缺省值 0.70 mg/L ），单缸偏差报警每个缸可以单独调整，用它可以在一定程度上替代灵敏度调节的作用，在正常情况下使用厂家提供的缺省参数就可以了。

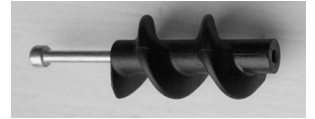
每个探头可以单独设置补偿值 (OFFSET)，就是人为将探头在某一时刻读到的数值定义为 "0"，以后探头再读到的数值将是实际读出数减补偿值。我们通常将设置补偿值称为零位校正。进行这项操作时应当注意：一般人会认为，柴油机外部应该是“最干净的环境”，所以会将探头放在主机外部进行零位校正，但其实这个环境可能恰恰很“脏”！因为 MK6 根据散射光强度来判断油雾浓度的高低，而主机外部存在大量的机舱照明，多多少少会将一部分光线反射到感光管上，这些光线有部分和油雾的光谱重合会影响探测器的读数，所以如果要在主机身外进行零位校正操作，应该采取适当的遮光措施。

◇ 故障检修

MK6 型探测器发生报警时将在显示屏上显示警报的种类和地址，同时探头本体上的相应指示灯也会点亮。如某

缸探头检测到油雾浓度过高，则发出浓度高报警同时该探头上的红灯亮起。在正常情况下探头上只有绿色指示灯是亮的代表探头工作中，如果在探头通电初期这盏绿灯长时间无法点亮，说明探头无法通过自检，原因一般是探头损坏。黄灯亮代表探头故障，原因有通信故障、风扇停转、感光接收孔脏堵或地址码设置错误等。

光电探测器最重要的日常保养就是保持光学部件的清洁，MK6 型也不例外。当发光管污染时会使读数上升，因为光线在射出时就发生了散射，感光管污染会使读数下降，也就是变相提高了报警值。MK6 探头为了保证在正常情况下进入感光管的光线量为 0，在感光管前面设有一个隔板，隔板上开有一个小孔，形成感光接收孔，隔板同感光管之间的空间非常容易积聚油污且难以清洗，在日常清洁时可以用电气清洁剂插上附带的细管直接伸入小孔中进行冲洗。目前最新的 P57100-113 版程序每 24 小时自动执行一次 OPTICS TEST（光学测试）对探头进行检测，老版本的程序需要手动调用测试。另外，还有一个容易忽视的地方是 MK6 的进气道细窄且是螺旋式的，在底部还有一个近乎 90° 的弯头，这样的构造特别容易积聚油污引起进气道堵塞，一旦进气道被完全堵塞，这个缸的警报等于被切断且没有任何提示！所以在清洗探头的时候不要忘了吹通进气道。



MK6 的螺旋进气道

二、故障实例

◇ 现象

某轮 MK6 型主机油雾浓度探测器间歇出现“油雾浓度高”误报警并引发主机 SLOW DOWN，2010 年 10 月起误报密度逐步加大，电机员检查紧固了中间接线盒及主控制机接线、先后更换了 2 枚探头至备件耗尽，但是故障依然没有消失。12 月 10 日笔者上船接班，查看报警历史记录，发现报警基本上都集中在主机后部的 8~13 缸，11、12、13 缸尤甚。每次报警峰值都高达 2.50mg/L 左右，而这些缸平时正常的读数基本上都在 0.01mg/L 附近，也就是说报警值是正常读数的 200 倍！另外还了解到有多次报警发生在主机停车、主滑油泵停转时，且每次报警后读数会立即恢复到正常值，复位操作后系统也一切恢复正常，在每次报警时主机滑油压力、温度都未发现异常。

◇ 检修过程

罗列出可以引起油雾浓度高报警的原因无非有以下几种可能：油雾浓度真的高、滑油中含有较大水分，水蒸汽引发报警、探头脏污、探头损坏、系统各电路板故障以及电磁干扰。

由于每次报警峰值很大且报警后读数会立刻恢复到正常值，基本可以直接排除油雾浓度真高、水蒸汽影响和探头脏污这三个原因，因为这些原因引起的油雾浓度增高是渐进的，在报警后读数也不可能立即恢复到正常值。从概率上选择首先怀疑探头故障。将误报最多的 11、12、13 缸探头同 1、2、3 缸探头对换，1、2、3 缸仍然工作正常，而 11、12、13 缸报警依旧，我们据此排除了探头损坏的可能性。由于发生误报牵涉主机后部的多枚探头，所以寻找这些探头的公共部分，图纸显示所有探头都通过屏蔽电缆汇集到中间接线盒中，再通过中间接线盒将数据传给主控制机，中间接线盒是这些探头唯一的公共结点。

复查中间接线盒，测量确认主控制机和中间接线盒中各接地线对地电阻为 0（即已可靠接地），测量主控制机输入电压 23.94V、向中间接线盒输出为 23.65V、中间接线盒向各探头输出电压 22.49V，直观感觉电压降有些偏大，但是由于缺乏必要的资料和仪器，只能对它表示怀疑，并在以后的修理中一直对此耿耿于怀，耗费了大量的时间和精力。

鉴于常规检查无法在短时间内排除故障，主机频繁减速对安全航行造成很大影响，船上决定申请岸基支持，公司安排等船靠英国后由英国服务工程师上船检修。

船抵英国后服务工程师上船，他依次进行了探头清洗、零位校正、MK6 主机和中间接线盒接线紧固等常规操作，接着将系统程序由 Version 111 升级至 113，但均没有明显效果。随后服务工程师用示波器分析了通讯系统，方法如下：在全部探头接入的情况下，用示波器测量中间接线盒至主控制机通讯线路的 C+、C-间的波形，波峰为 2.61V；将全部探头取下，波峰减为 20mv，同时波形上看尖峰消失，几乎成为一条直线；接入备用探头，波峰为 150mv，波形也非常平稳；但如果换上某些老探头的话，波峰升至 1.5V 以上，而且波形上会突然出现很多不规则的尖峰，服务工程师解释这些不规则的尖峰是“NOISE”（噪音），这些杂波掩盖了正常的波形，引起系统紊乱。最后他的结论是我轮 MK6 系统中的绝大部分探头均已损坏需要换新。

故障确定了。但是限于我轮停靠时间的限制，英国工程师只能就故障现象就事论事，无法找到引发故障的根本

原因，所以究竟是什么导致了这么多探头在短时间内集中损坏仍然还是一个谜。

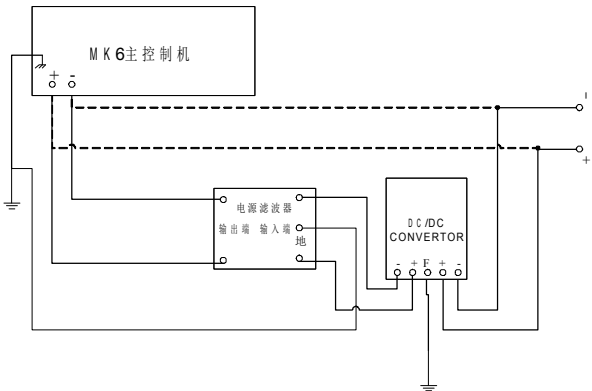
怀着忐忑不安的心情，我们换上了新的探头。仅仅 16 天后，接在№12 缸的一枚新探头又告损坏！根据《检修记录簿》记载，这已经是 3 个月之内第 3 枚在此缸位置损坏的探头了，常识告诉我们这决不是探头质量方面的原因。此时我们将注意力转向电磁干扰，因为只有强烈的电磁干扰才有这么强大、隐形的破坏力。通过仔细研究图纸及现场实物我们惊讶地发现：MK6 系统的 24V 电源是直接 from 船上的 DC24V 电网引入的，前面没有安装隔离电源。联想到在接班时发现该船 DC24V 绝缘很低接近于 0，我们怀疑造成这些探头损坏的原因很有可能是 DC24V 电网接地所引起的。

众所周知，电源在自动控制系统中占有极为重要的地位，大型集装箱船 DC24V 电网几乎覆盖全船，船上电子设备密集，电磁环境恶劣，电网电缆受到大量空间电磁干扰在线路上感应出电压和电流。再加上电网内部的变化，设备开关操作产生的浪涌、伺服电机引起的谐波、电网短路冲击、线路接地等，都会通过电缆传送到设备中。所以自动控制系统通常要采用隔离电源过滤电网干扰。像 MK6 这样直接从船舶电网引入电源的真是不多见，我们推测，正是由于我轮 DC24V 电网的接地引起强大的电磁干扰，这些干扰电波通过电缆进入没有防护的 MK6 系统中，将系统中的探头逐个击穿。但是这种击穿类似于“软击穿”，它并不使探头彻底丧失工作能力，而是使它们发出大量的“噪音”，这些噪音互相重合、叠加淹没了正常的通讯，而主机后部尤其是 11、12、13 这几个缸在接线盒中距离最远，线路最长，受到的影响最大（№12 缸最远，№13 链条箱距离稍近，但数据传输序列排在最后），超过了系统的纠错能力，从而引起这些缸频繁误报警，MK6 探头价格昂贵船上备件数量有限，电机员更换少数几只根本无法消灭系统中的噪音，所以导致故障一直无法排除并迷惑了我们的判断。

在公司岸基部门的全力支持下，我们使用隔离电源对 MK6 的电源进行了改造，将它同电网隔离开，同时还增加了一个专用的电源滤波器（接法如图，虚线部分为原来的接线），再换上新的探头以后系统工作终于恢复了正常。

三、结语

Graviner MK6 型曲轴箱油雾浓度探测器采用先进的光散射检测原理，检测灵敏度高、可以支持多达 8 台柴油机 64 个监测点、管理人员可以对柴油机进行远程监控，但是在使用中我们觉得其电源部分的防护较弱，特别是其黄色标签探头（新的探头是蓝色标签，提高了防震和抗干扰能力，但效果有限）防护能力更差，对此需要特别小心。我轮通过对其电源部分增加隔离电源和直流电源滤波器，到目前为止已经连续工作了 4 个月（最初的 22 天 DC24V 电网仍然接地），系统工作稳定，特别值得一提的是在随后我轮又发生过两次 DC24V 接地故障，但 MK6 系统都安然无恙，再也没有发生新的探头损坏。事实证明我们的改造是成功的。同时，我们还了解到我轮的另一条姊妹船也出现了短时间内 MK6 型主机油雾浓度探测器多枚探头损坏的情况，而且它们也同时发生了相同的问题：DC24V 接地！这也再次印证了我们对故障的判断是准确的。



参考文献

[1] 姚启钧. 光学教程

[2] David.M.Stedham (王军翻译). 柴油机曲轴箱油雾检测的开发. 《国外内燃机车》，1998年第4期

[3] 陈明. 柴油主机曲拐箱油雾浓度探测器的发展及 V I SATRON VN 215/87型油雾浓度检测器的基本工作原理和特点. 《航海技术》2000年第2期

【注】：在《光学教程》中，对散射有明确的定义：在光学性质均匀的介质中或两种折射率不同的均匀介质的界面上，无论光的直射、反射或折射，都仅限于在特定的一些方向上，而在其他方向光强则等于零，我们沿光束的侧向观察就应当看不到光，但当光束通过光学性质不均匀的物质时，从侧向却可以看到光，这种现象叫做光的散射。