

1 设备名称

名称：柴油发动机国三、国四排放标准检测系统

2 设备用途和应用对象

2.1 主要用途

与 AVL 排放分析仪相结合，组成一套完整的排放法规认证试验系统，主要应用于排放法规认证试验、发动机排放性能试验等其它的开发试验。

2.2 应用对象

需要满足的排放测试标准包括但不限于，GB20891-2014 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限制及测量方法（中国第三、四阶段），GB 17691-2018 压燃式发动机和气体燃料点燃式发动机排气污染物测量。

测试柴油机最大功率为 400KW。满足煤矿用防爆柴油机的特殊测试条件，如排气经过废气净化水箱后的排放测量。

3 现场工作条件

环境温度：5~35 °C

环境相对湿度：30~90%RH（不发生冷凝）

电源： AC380V±10%，50Hz 或 AC220V±10%，50Hz；

压缩空气：4~6bar，去油水；

楼层净高度：4.0m；

地面平整度：±5mm；

设备安装的工艺平面详见附图。

转毂试验台资料

1、防爆柴油机性能测试试验台

防爆柴油机废气成分监测需要在试验台上进行，通过试验台控制各试验工况。试验台上发动机-测功机组成的动力系统的运转工况的控制和现场数据采集都由“实时控制器”来完成。“实时控制器”通过模拟量信号来控制油门执行器和电机驱动器，实现发动机-测功机系统的工况控制；实时的扭矩和转速信号通过高速模拟采集通道接入“实时控制器”来实现闭环反馈。操作员控制台的上位计算机通过高速数据总线与“实时控制器”连接，以获取当前测试信息。“实时控制器”还提供与ECU的CAN总线连接，以实现ECU实时数据读取。

所有的需要测量的动力总成信号（如温度、压力等）、各条件保障系统（发动机冷却液温控装置、发动机机油温控装置、中冷模拟装置）的状态数据、各测试仪器的测试数据（如油耗仪、活塞漏气量仪，中冷模拟器等）的测试数据都以总线或者模拟信号的方式输入到“实时控制器”，最后通过高速数据总线（千兆以太网）进入测试计算机的测控软件显示并分析。

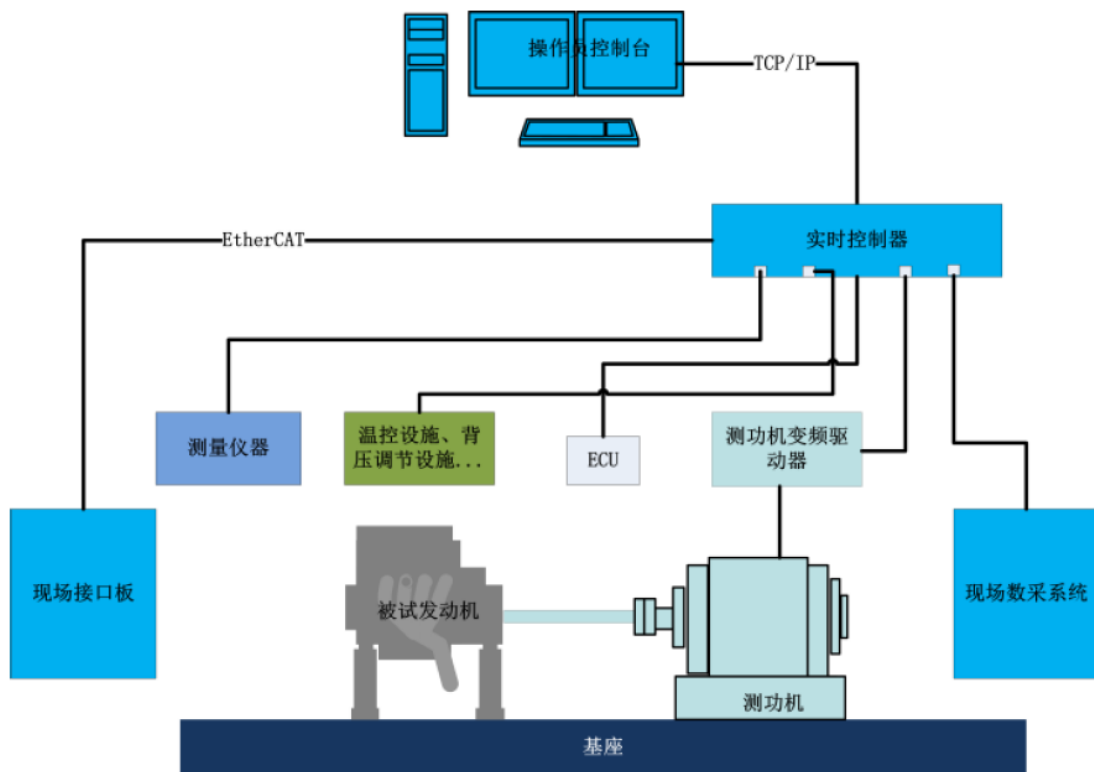


图 1 发动机性能试验台

2、气体及颗粒采样系统

一般的排气成分分析，都是测量该成分在排气中的浓度，然后根据排气流量计算出该成分的总排放量。这种方法在内燃机稳定状态下比较容易实现。在内燃机的非稳定状态下，理论上可以把所测得的浓度曲线和排气流量曲线对时间进行积分。但实际上由于以下几方面原因，误差很大：

(1) 发动机排气管中的压力波动，造成各工况的气样流量不同，测量结果往往是偏向高负荷高转速工况；

(2) 由于排气测量系统的气体输送容积和仪器响应特性所造成的不规则的滞后，很难和所测得的内燃机排气流量完全一一对应，这样就造成了最后计算结果的误差；

(3) 在气样输送过程中，各工况气样的部分混合，使浓度曲线

不能正确再现发动机排放的时间特性。

为此，人们采用了测量平均值的方法来解决这个问题。

起先，在欧洲标准测试循环中，把所有的排气经过稀释后收集到气袋里。然后，在相应的仪器里分别对气袋的气体进行浓度测量，并乘上所收集的稀释排气量，计算出内燃机在测量过程中各种成分的总排量。这种方法比较精确，但需要有很大的气袋来收集排气。

现在，对内燃机非稳定状态中以及许多标准测试循环中的排气成分的测量和计算，都采用定容取样(CVS,即 constant volume sampling)系统。

在定容取样系统中，内燃机的全部排气排入稀释风道中，和空气混合成流量恒定的稀释排气，并把其中的一定比例收集在气袋中。这样，尽管排气流量不断变化，但是稀释排气流量保持不变。在稀释空气中污染物浓度低到可以忽略不计的前提下，流入气袋的气样中含有的污染物质和排气污染物总量的比例保持不变。这样，在测试循环结束后，将测量气袋中各污染物成分的浓度，再乘上定容取样系统中流过的稀释排气总量，即是内燃机在测量过程中各种成分的总排放量。

根据美国环保署（EPA）对颗粒的定义及相关的测量方法，在测量颗粒时，需先从排气管内采集样气，用几倍到几十倍于样气的清洁空气与之混合，并降低样气的温度，随后再采集被稀释降温的样气，流经特殊材质的滤纸并用精密微量天平称出滤纸采样前后的重量差，此差值即为颗粒质量。

按照被稀释的废气量多少，有全流和部分流稀释系统。部分流稀

释系统是从柴油机排气中采集与排气流量成比例的废气，引入一小型稀释风道内，与进入风道的清洁空气混合，降温至小于 51.7℃后，通过滤纸收集的物质即为颗粒。全流稀释系统是将柴油机全部排气通至一根管径为 18 英寸的稀释风道内。用大于三倍废气流量的清洁空气与之混合冲兑和稀释降温，随后再采集一定流量的稀释废气，再一次与清洁空气混合降温至小于 51.7℃并流经滤纸，收集的物质即为颗粒。

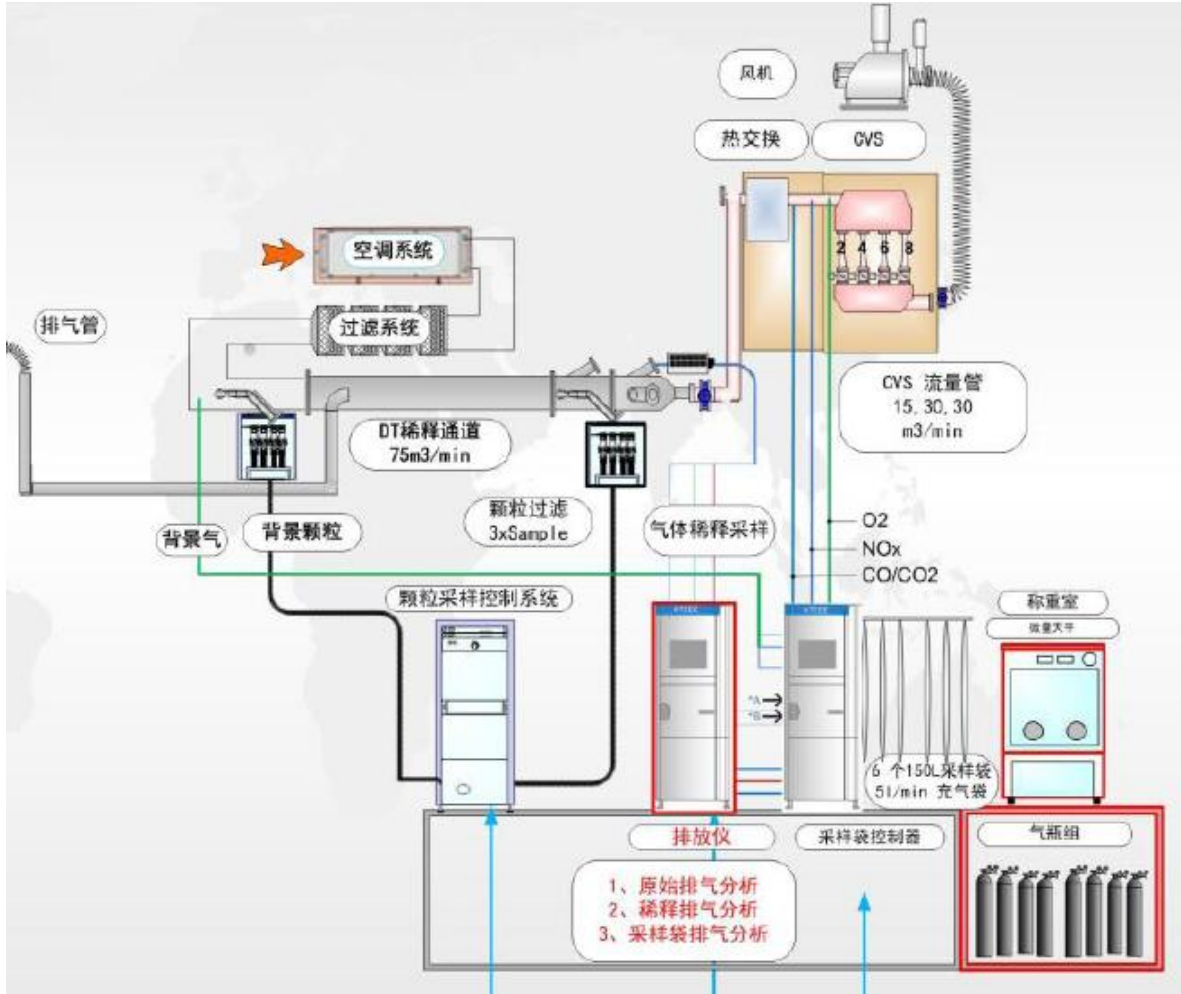


图 2 防爆柴油机排放检测系统

2.1 采用临界流文丘里管进行恒流

在发动机排放采样系统中，无论全流还是部分流稀释系统，恒流是关键技术。在采用临界流文丘里管的系统中，在抽气泵前安装了一个文丘里管。文丘里管有这样一个特性：当文丘里管的出口压力与进口压力之比低于临界压力比（空气为 0.528），气体流动达到超临界流动时，空气（稀释排气可以看作空气）在文丘里管的流量系数是常数 0.484，且不随压力变化而变化。稀释排气的体积流量也就保持稳定。

这样，当定容取样系统中抽气泵的吸力足够大时，流经文丘里管的稀释排气质量流量满足下列关系：

$$m_{dg} = A\Psi P_1 \sqrt{\frac{2M_{dg}}{RT_1}}$$

式中 P_1 ——稀释排气在文丘里管进口的压力（Pa）；

T_1 ——稀释排气在文丘里管进口的温度（K）；

A ——文丘里管的喉口截面面积（ m^2 ）；

Ψ ——文丘里管喉口截面的流量系数。

采用临界流文丘里管时，稀释排气的质量流量也仅和稀释排气在文丘里管进口的温度有关。对质量流量的影响相对较小。因此，在许多场合中可以免去换热器。

但是临界文丘里管（CFV）系统改变总流量需要更换文丘里管，只能是有级的改变。为了保证测量精度，定容取样系统必须满足下述两个必要条件：

流经定容取样系统的稀释排气质量流量必须保持恒定，即在恒温恒压的条件下，保持恒定的稀释排气体积流量。

引入气袋的稀释排气也必须保证恒定的质量流量，并应满足下列条件：

(1) 用来稀释排气的空气温度必须在 20-30℃ 之间。

(2) 用来稀释排气的空气必须先经过带活性炭的过滤器进行过滤，以降低空气中的 HC 浓度。

(3) 排气的稀释程度，应使稀释排气在取样系统和测试系统中不产生冷凝液。

目前的发动机排放测量全流稀释定容采样系统恒流装置采用不同的方式，有采用容积泵方式、阀门控制、文丘里管等。

存在以下问题：

(1) 采用容积泵方式对泵的精度要求高，并要求高温及耐腐蚀；

(2) 目前采用文丘里管方式流量组合种类不多；

(3) 风机运行噪声大。

本项目对发动机排放测量全流稀释定容采样系统 (CVS) 恒流装置进行了改进。目的是为了克服排气高温及高腐蚀所带来的恒定流量困难，采用 316 不锈钢制作的临界文丘里管（按标准《用临界文丘里喷嘴测量气体流量》(ISO9300, 1999-08-15(E)) 制作）恒流装置。通过四档不同临界文丘里管进行组合，产生 15 种不同的恒定流量值。流量恒定装置的精度 $\leq 0.2\%$ 。

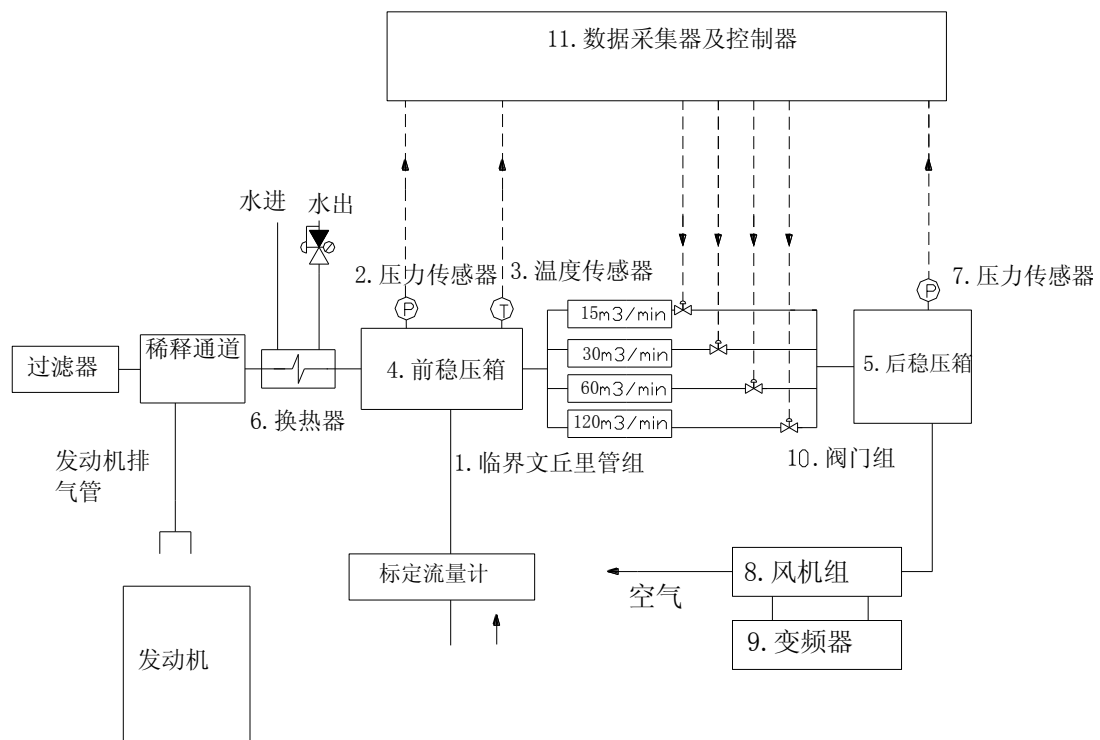


图 3 发动机排放测量全流稀释定容采样系统（CVS）恒流装置

发动机排放测量全流稀释定容采样系统（CVS）恒流装置，它包括 1、四个临界文丘里管， 2、压力传感器，3、温度传感器、4、前稳压箱，5、后稳压箱，6、换热器，7、压力传感器，8、临界管，9、压缩空气，10、阀门组，11、数据采集及控制器。参见图 3。

其特点是，所述的风机组 8，通过变频器 9 进行变频控制，控制的目的是保证临界文丘里管 1 达到临界状态。通过控制背压压力传感器 7 实现。所有的传感器信号输入到数据采集器控制器 11，数据采集控制器最多有 12 个采集通道，可进行数据处理并显示实时流量，同时仪表可以显示介质压力和温度，并可以将实时流量通过模拟量和 RS485（RS232）输出，实时流量可以是实际体积流量、质量流量、标准体积流量的一种。

2.2 全流稀释系统

全流稀释系统是将柴油机全部排气通至一根管径为 18 英寸的稀释风道内。用大于三倍废气流量的清洁空气与之混合冲兑和稀释降温，随后再采集一定流量的稀释废气，再一次与清洁空气混合降温至小于 51.7°C 并流经滤纸，收集的物质即为颗粒。

全流稀释系统是测量柴油机颗粒排放的唯一基准系统。它较真实地模拟了柴油机废气至大气时颗粒的生存环境。在进行柴油机型式认证试验，无一例外地采用全流稀释系统。

全流稀释系统是以使用定容取样（CVS）原理稀释总排气为基础。应测量排气与稀释空气混合气的总体积。

为了连续采集颗粒，将稀释排气样气通入颗粒取样系统。若直接这样采集，称为单级稀释。若将气样通入二级稀释通道内再次进行稀释，则称为双级稀释。当用单级稀释不能使滤纸表面温度达到要求时，则可用双级稀释。

主要性能指标（满足国际标准的系统参数）

稀释空气：

一级稀释风道的稀释空气温度在 $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$

排气管：

（1）排气顺流进入稀释风道

（2）为了避免过多的热损失和颗粒沉积，按照标准，从发动机排气管尾端到稀释风道的连接管最长达 10m，前 4m 暴露于空气中，不做绝热处理；后 6m 进行绝热。绝热材料在 673K 时的导热系数小于

0.1W/(m·K)。绝热材料的厚度大于 25mm。为了将这段管路的颗粒沉积控制在一定的范围内,而不对下游的颗粒采样分析产生较大的影响,这段管路的温降需控制在 13%以下。

稀释风道:

(1) 稀释风道的材料采用不锈钢。

(2) 稀释风道内气流流动呈紊流状态,其雷诺数要求大于 4000,保证发动机排气和稀释空气混合均匀。可通过风机提高气体流速、控制稀释风道直径来满足以上要求。

(3) 稀释风道的直径大于 460mm(一次稀释)或 200mm(二次稀释)。

(4) 按照标准规定,一级稀释风道的稀释混合气的温度因保持在 191℃ 以下,而该系统实际能达到 150℃;而且,如果此温度过高,对散热器的散热能力要求也会提高,从而会使散热器的尺寸增大。

(5) 按照标准,在主颗粒过滤器前的稀释混合气保持在 52℃ 以下。

(6) 稀释风道内表面进行电化学抛光,呈镜面,防止颗粒沉积和吸附。

文丘里管:

(1) 临界文丘里喷管进口温度,即散热器出气温度控制在 $45^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。

(2) 临界文丘里喷管由热稳定优良的不锈钢材质(1Gr18Ni9Ti)制成。