

清洁度试验室的构建与运行

□ 上海大众动力总成有限公司/朱正德

□ 洁肯膜过滤器上海分公司/潘明敏 孙杰锋

本文以发动机生产企业为例，对于如何在既能满足企业的需求、又能不断完善和提升已有测试能力的基础上，构建一个高性价比的清洁度试验室做了详尽的分析和说明。结合实际案例，就环境的要求、设备的配置，以及在试验室正常运行后，包括耗材的选用等做了具体阐述，对国内的动力总成企业、乃至整车工厂都有很好的启示。

建立清洁度试验室的目的，主要是为了实施对产品清洁度的全面控制和管理，提高单位时间的产量，保证产品清洁度质量，并进而优化生产工艺。清洁度测试的对象主要有：零件清洁度、总成清洁度、工业流体清洁度（如：油液，清洗液等）和工业环境清洁度（如：装配车间环境，无尘室环境）等。如何建立与当代汽车制造业的需求相一致、高性价比的清洁度试验室，是这项课题的关键问题。

清洁度试验室的建立和规划

1. 环境要求

清洁度试验室的专用空间包括两种：无尘实验室房间和独立隔断的普通实验室房间。根据零件（或

总成）的清洁度要求等级、工厂的经济能力、现场实际环境和后续长期规划等，来决定用哪种房间作为清洁度试验室。

不管选用哪种房间，首先需要对清洁度试验室内部做功能区域的划分（见图1），目的在于减少外界污染物颗粒带入清洁度试验室，有效控制环境对清洁度测试的影响。一般可以把汽车工业中有清洁度要求的零件（或

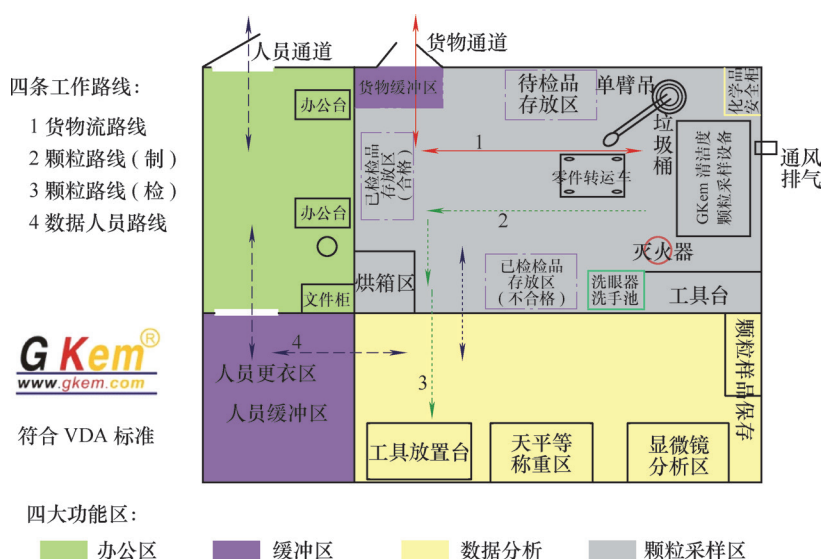


图1 清洁度试验室内部分区示意图

总成)分为5个等级:超精细清洁度控制、精细清洁度控制、常规清洁度控制、大颗粒清洁度控制以及无尺寸控制要求。

不同清洁度等级的零件,对清洁度试验室的空间环境的要求也有所不同。

2.主体设备

清洁度试验室内设备的选用,可根据零件(或总成)的实际情况(大小、质量、结构和清洁度指标等),采用哪些标准,工厂的经济能力,现场实际环境以及后续长期规划等,来决定用哪些设备。某发动机工厂的清洁度试验室选用的主要设备及其布置如图2所示。以下对制样设备和工装夹具做一下详细说明。

(1) 清洁度颗粒萃取制样设备。新一代清洁度颗粒萃取制样中采用了GKem的设备,其主要功能有:自动逐个压力灌流冲洗油道复杂内腔并独立收集油道颗粒到膜片;压力喷洗零件外表面并自动独

立收集外表面颗粒到膜片;自动对可溶性残留物的清洁度污染物及颗粒进行萃取;自动超声波清洗并独立自动收集颗粒到膜片;自动油品(或富油零件)的颗粒萃取制膜片;自动可编程序清洗,消除人为操作误差;清洗液循环使用,降低清洁度测试费用;自动洁净风幕隔离,无需洁净房间;自动强制排风,保护操作人员的健康;符合ISO 16232和VDA 19,以及世界各大整车厂的标准。

其中,“自动逐个压力灌流冲洗油道复杂内腔并独立收集油道颗粒到膜片”的功能,是符合新型发动机复杂油道独立清洁度等要求的一项关键技术,不仅适用于发动机主机,也适合其他有复杂内腔的零部件:变速器总成内腔、曲轴内腔、涡轮内腔、泵总成内腔、阀座内腔、各类管路、共轨管、冷凝器内腔、转向器内腔以及泵/共轨/喷嘴的联合内腔等。

“自动超声波清洗并独立自动收集颗粒到膜片”功能实现了自动

完成自清洗到颗粒制膜片的所有过程,实现无人清洗操作,提高清洁度检测的效率和准确度。而“自动油品(或富油零件)的颗粒萃取制膜片”功能可实现高黏度油品的自动一次过滤,提高操作的可靠便捷性能,适合于具有最大挑战性的油品(颗粒多、黏度大等性能),比如:经过跑合测试后的发动机机油、变速器油、转向器油;也可用于清洗生产线上的清洗液的自动颗粒萃取和制膜片样品等;还适用于具有最大挑战性的富油零件,比如:售后(或跑合)变速器拆解件、发动机拆解件、转向器拆解件和涡轮增压器拆解件的清洁度分析等。

这种设备另一个很大的优点就是,不必建造净化房来做清洁度测试,同样能达到可靠的清洁度测试数据。而且这种高性价比的国产设备已得到德国AUDIT的认可,在国内外很多主流车企中都有广泛的应用,既适用于变速器壳体等大零件,也能用于喷油嘴等小零件。

(2) 零部件专用工装夹具。

对于人员手工不能安全和有效翻转的零部件(如发动机缸体、大的涡轮增压器),需要配置专业设计的工装夹具,使零件实现360°的翻转。采用专业的工装可以有效地清洗并萃取出来各个孔道内腔所有特别指定部位内的颗粒。图3所示为某个发动机工厂的缸体油道独立清洁度试验中的实际状态示例,GKem设备对缸体油道的每个连接口进行自动灌洗,自动收集每个油道内腔的颗粒到膜片上,采用科学严谨的自动化工艺把缸体内部复杂油道内的颗粒萃取出来,并消除缸



图2 发动机厂清洁度试验室中主要测试设备及其布置参考

- 1.膜片烘干箱 2.膜片干燥皿 3.电子分析天平 4.零部件专用工装夹具
5.清洁度颗粒萃取制样设备

体外表颗粒对油道的影响，保证油道清洁度结果的准确和可靠性。



图3 缸体油道独立清洁度试验中

ISO 16232从技术上为企业在实施清洁度试验时提供了完善的指导。据此，即可大致列出一个清洁度试验室应具备的主体设

备清单和辅助用品清单，见表1～表4。用户可以根据自己的实际情况，对所有的配置进行选择，若有其他特定要求，再按实际需求配置各种辅件。

在上述这些清洁设备中，分析天平、显微镜，电镜和激光颗粒计数器一般均为标准分析设备，根据清洁度的指标要求进行采购即可。清洁度测试颗粒萃取及制样设备（特殊的、涉及专用的工装夹具）是一种有效连接零件（或总成，流体）与标准分析设备的专用

设备，需要根据零件的实际情况和标准要求，找专业的清洁度过滤设备厂家设计和订购。

3.辅助用品

清洁度试验室内所需要的辅助用品，基本类同于一个常规的理化实验室的需求，主要分为日常用品、安全设施、维护保养用品、基建和办公用品等几类。这些辅助用品以选用标准品为主，只需根据实际需求进行采购就可以，此处不再赘述。

表1 用于清洁度颗粒萃取和制样的专业设备

设备名称		具备功能及特点	用途
主体设备	清洁度测试颗粒萃取及制样设备	1) 压力喷洗功能 2) 超声波清洗功能 3) 灌流冲洗功能 4) 振动清洗功能 可选其中一种，或几种功能的设备，符合标准要求	把零件上的颗粒萃取到膜片上，用于后续分析 把流体（如机油，变速器油，转向器油，刹车油）上的颗粒萃取到膜片上，用于后续分析
	工装夹具等	按实际需求，科学严谨地设计制作	用于特殊零件，或总成，特殊部位的颗粒萃取和收集
辅助用品	膜片镊子	不锈钢，扁头	用于取放膜片
	颗粒收集膜片	精度可选：5 μm、20 μm、100 μm等，符合标准要求	收集颗粒的载体，要求平整，耐温，不易裂等
	膜片盒	透明，耐温	存放膜片
	清洗液体	油性，或水性清洗液	能有效地使颗粒与零件表面（或油污等）脱离，使待检测颗粒悬浮在清洗液中

表2 用于清洁度显微颗粒分析的设备

设备名称		功能及特点	用途
主体设备	扫描光学显微镜	能分辨5 μm以上颗粒或能分辨25 μm以上颗粒，符合标准要求	扫描、识别膜片上的所有颗粒的形貌、数量、尺寸等
	电脑及清洁度分析软件	自动输出通俗易懂的分析报告	自动获得颗粒的显微照片，自动统计所有颗粒，给出颗粒分布曲线，自动识别金属、非金属、纤维、最大颗粒和第二大颗粒等
辅助用品	膜片盘	不锈钢或玻璃等硬材质	压平膜片，适合膜片自动扫描计数
	彩色打印机	激光或喷墨打印	打印颗粒显微照片，打印清洁度报告

表3 用于清洁度电镜颗粒分析的设备

设备名称		功能及特点	用途
主体设备	扫描电镜 SEM/EDX	至少能分辨5 μ m以上颗粒，符合标准要求	主要是用于判断颗粒的材质、化学成分等，一般与显微镜联合使用，实现光电联动扫描和分析；用于识别颗粒污染物的来源，有效改进和优化生产线上的清洁度控制
	电脑及清洁度分析软件	自动输出通俗易懂的分析报告	自动获得颗粒的显微照片，自动统计所有颗粒，给出颗粒的材质和化学成分，颗粒分布曲线，自动识别金属、非金属、纤维、最大颗粒和第二大颗粒等。
辅助用品	样品架	适合25mm、47mm等膜片	提高样品分析和吞吐量；有多种样品架，可用于储存和运输膜片颗粒样品
	彩色打印机	激光或喷墨打印	打印颗粒照片，打印清洁度报告

表4 用于清洁度激光颗粒计数分析的设备

设备名称		功能及特点	用途
主体设备	激光颗粒计数器	至少能分辨5 μ m以上颗粒，符合标准要求	主要是用于判断颗粒分布曲线
	电脑及清洁度分析软件	自动输出通俗易懂的分析报告	自动统计颗粒，颗粒分布曲线
辅助用品	取样探头或取样瓶	根据待检测颗粒的状态选用	使悬浮在清洗液中的待检测颗粒，有效地进入激光颗粒计数器
	清洗液	洁净的强溶剂清洗液	每次检测后，把残留在激光颗粒计数器内部通道的检测残液和残留颗粒清洗出来，保持激光通道洁净和长期有效地使用
	彩色打印机	激光或喷墨打印	打印颗粒照片，打印清洁度报告

清洁度试验室的运行

1.待测零件抽取样品方法

待测零件从外购件入库时，随机取样，并对可追溯的产品数据（如：供应商、生产线、生产日期、测试日期和批号等）进行记录。

对于自制零件或总成，需在相关的待测生产线的工位取样，如：清洗线末端、包装生产线前段或装配总称前段等。

在零件取样后，必须马上进行清洁度测试工作。在样品运输到清洁度试验室的过程中，要防止外界的污染和颗粒等带入，具体措施有：采用密封的清洁度测试零件样

品专用运输小车，以及密封的专业样品盒等。过程中如有任何偏差，必须如实记录并采取相应措施。

关于待测试零件的取样，建议可以采取以下方法：

（1）对于清洁度数据一直稳定的供货零件（或生产线的零件），每批次产品中，做清洁度测试的零件数量≥5个，要求清洁度指标合格。

（2）对于未知供货零件（或来自生产线上的零件样品），每批次产品中，做清洁度测试的零件数量≥5个，并连续做10组（即测试件50个以上），要求清洁度指标均合格。

若某零件清洁度测试出现不合

格后（或零件的生产工艺做了变更），需要按照上述方法，连续做10组，直到清洁度指标均合格为止。

2.零件清洗以及颗粒萃取制样的工艺

对于每一种零件，需要根据零件的实际情况，采集并制定对应的颗粒萃取和制样操作工艺。

颗粒萃取和制样操作工艺如下：

- （1）收集颗粒的膜片孔径。
- （2）清洗零件的压力（若超声波清洗，则需要确定清洗频率）。
- （3）清洗液多少（若超声波清洗，还需要时间参数）。

颗粒萃取制样工艺参数一般按标准确定，若标准上没有明确规定，就按照ISO 16232（或VDA19）中关于衰减曲线制作的测试方法对每一个参数逐一采标，最后制定出具体某一个零件的清洗以及颗粒萃取制样的工艺参数。

清洁度测试颗粒萃取制样分三步：检测前空白值（1#膜片）→零件清洁度值（2#膜片）→检测后空白值（3#膜片）。

其中，零件清洁度值（2#膜片）是实际零件清洁度数值；检测前空白值（1#膜片）用于验证测试前设备和环境是否符合要求，有没有外界颗粒的带入和影响；检测后空白值（3#膜片）用于验证测试后设备和环境是否符合要求，有没有零件上的颗粒残留到清洗槽内和格栅架子上。

3. 清洁度测试用耗材的选用

（1）清洁度测试用清洗液。清洁度测试用清洗液分两大类：油性清洗液和水性清洗液。建议优先采用危险等级在A3或A2级的碳氢清洗液作为清洗和颗粒萃取用的液体。需要注意的是，清洗液的化学性能与零件要兼容，确保待测零件不会产生溶解、分解和腐蚀等，从而保证清洁度测试结果的可靠性。另外，清洗液必须符合待测试的清洁度等级，确保需要的限度，在清洁度测试期间不会有否面的影响，即空白值达标后才能用于清洗和颗粒萃取。

对于称重清洁度测量的清洗液，必须能加热挥发干净，没有任何残留（或残留值很小）。

判断清洗液是否符合清洁度的

质量分析要求，具体方法如下：

取5mL干净的清洗液，置于称量皿内（从恒湿箱中取出，恒重），在60℃恒温下烘120min，再升温至90~100℃恒温烘180min。称量皿加盖后在恒湿箱中冷却1h后称量分析。

若残留值（残留物质量）超过20mg，则清洗液不适合用于清洁度质量分析使用。对于清洗液的更新，也是按上述方法来进行检测查验，若残留值超过20mg，则需要更换新的清洗液，循环使用的清洗液最长一年更换一次，以确保有效的清洗能力。

（2）清洁度测试用膜片。适合清洁度分析的膜片，有以下几个重要控制指标：

1）耐温：受热后质量变化小，不焦，不卷翘，不折皱。

2）强度：在1bar（1bar=10⁵Pa）压力下不易碎、破、漏。

3）材质：不与清洗剂发生化学反应。

4）表面平整：适合显微镜使用，无杂斑，无缺陷，膜通量大。

5）膜孔均匀：制膜速度快，颗粒能分布均匀，不重叠。

6）膜片材质：PET、Nylon、特氟隆、PVDF等。

7）膜片的精度：一般根据具体的零件清洁度指标进行选择和对应，常用的有5μm、10μm、15μm、20μm和100μm等。

8）滤膜直径：滤膜直径大小根据零件上的颗粒多少来选择，要求颗粒在膜片上均匀分布，不重叠。常用的滤膜直径一般的规格有25mm、47mm、50mm等；对于颗

粒比较多的零件，可以选用大直径膜，如100mm、142mm、295mm等规格的膜片。

4. 常用的清洁度试验分析方法

（1）称重分析。清洁度试验中对残留异物的称重分析，是一种最常用的方法，能有效地反映被检物清洁度状态及水平。

该方法主要针对所有允许存在的颗粒污染物总量来判断由清洁度颗粒状残留物造成的污染程度。但从长期的实际故障中发现，除了颗粒污染物总量外，还有大颗粒——哪怕只有1个——也会造成汽车系统的严重故障，虽然1个大颗粒的质量远远小于清洁度控制的质量值。

称重分析方法最为关键的是要求收集颗粒的膜片必须在恒重状态，不能与清洗液发生反应。

清洁度颗粒质量指标=收集颗粒后的膜片质量-收集颗粒前的膜片质量，单位为mg。

（2）光学显微镜颗粒度分析。基于称重分析方法的弊端，扫描光学显微镜颗粒分析法在清洁度控制指标中得到广泛应用。新一代的清洁度试验所采用的扫描光学显微镜的特点如下：

1）对任何膜片均适合。

2）采用自动偏光照明系统，扫描过程中准确地自动切换偏光&明场照明方式，无需人为操作，存为模板一键式开始扫描。

3）采用YAOCLEAN清洁度分析软件：自动统计所有颗粒，给出颗粒分布曲线，自动识别金属、非金属、纤维、最大颗粒和第二大颗

粒等；采用自动阈值技术使不同明暗的滤膜保持均匀的背景亮度；自动探测偏光、明场下的颗粒阈值，能准确区分颗粒与滤纸背景；从而减少操作人员的人为干预，最大程度保证结果不受人因素为影响（见图4）。

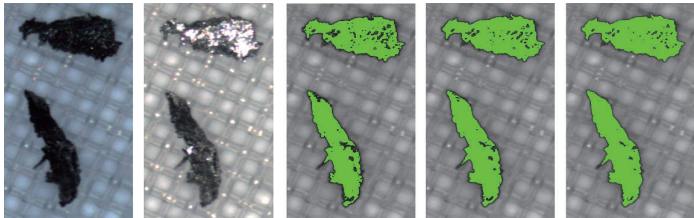


图4 自动阈值示例

举例说明：比如，插入明场扫描时，一个金属大颗粒在显微镜下有亮区和暗区，软件往往就会将其自动统计成若干金属和非金属颗粒，造成了在尺寸和颗粒的数量统计中的误差。如图5所示，1个大颗粒被误判为4个小

模式	偏光扫描	明场扫描
偏光模式		不支持该模式拍照
明场模式		
扫描颗粒识别		
尺寸及数量	184.36μm*1 颗	163.18μm*1 颗 54.25μm*1 颗 43.86μm*1 颗 31.27μm*1 颗

图5 1个大颗粒被误判为4个小颗粒

颗粒。如果采用自动偏光+明场扫描方式，偏光时所有颗粒均为黑色，正确计算颗粒数量和尺寸，明场扫描定性颗粒性质（金属或非金属），可大大减少误判。

5.其他确保清洁度试验室的顺利运行的措施

- （1）数据可追溯性。颗粒样品和清洁度数据的保存和可追溯性，便于能随时调用任意时期的数据。清洁度测试工艺和数据等可追溯，可重复验证，以保证能经受审核验证。
- （2）设备维护。对各种清洁度测试设备按期维护、保养和校验。对于长期不使用的设备，应采用防尘罩把设备罩起来防尘。
- （3）环境清洁。定期清洁检测室环境，清除各种污染物，保持室内环境干净，以及各设备外观干净整洁。
- （4）人员培训和技术支持。定期进行人员专业培训和交流，以适合新的清洁度标准和要求。配合生产线做好清洁度提升的技术支持，包括提供可靠的清洁度数据和做好清洁度趋势分析。

结语

如何有效地、有针对性地提升清洁度的检测水平是十分重要的一环，本文通过对一个高性价比的清洁度试验室的建立和运行，来进行全面清洁度控制，不仅适合本公司的颗粒污染敏感零件（或总成）的批量生产和清洁度质量要求，也适合上下游厂家的全面清洁度控制管理，助力提升整车的质量水平。

AUTO1950