■ 上海大众动力总成有限公司/朱正德

提高发动机清洁度测试的有效途径

为了提高机动车的运行质量，适应日益严苛的排放、安全性等法规的要求，与产品质量和功能密切相关的清洁度指标受到了更大的关注。本文通过近年来在轿车发动机厂的应用实践，就如何通过完善评定标准、提高测试技术和改进操作流程等三个方面，来提升清洁度的检测水平予以阐述。

清洁度测试及其目标、要求的提高

从质量控制的角度来讲，清洁度测试是一种通过采取规定部位的方式用以确定被检物受污染程度的技术手段。这里所说的“规定部位”是指危及产品可靠性的特指部位，而“污染程度”则指污染物的质量、种类、形状、尺寸、数量等诸多评价参数。一次完整的清洁度试验由以下几个步骤组成：前期工作（包括抽样、滤纸准备等）→工件表面残留污染物、杂质的萃取→检出物的获取（滤纸烘干）→检出物的分析→出具检出物的测试报告。

在以上几个步骤中，“萃取”和“分析”乃是其中最重要的两个环节。“萃取”是为了获取残留物以供分析之需，而最终所出具的测试报告，又是与所采用的不同分析方法相对应，客观上是按其测试、目标的要求实施后的一种表述。

作为一项已存在多年的质量指标，清洁度在企业中长期以来未得到足够重视，主要反映在测试的目标单一，指标值要求低，进行试验时所采用的方法、技术和相关的设备、仪器十分简陋等诸多方面。事实上，迄止21世纪初，国内汽车制造业在进行清洁度试验时所采取的手段和评定指标，与20多年前还几乎并无二致，例如一汽－大众、上海大众等主流企业，也仍在用着开放型、手工水池样式的萃取、制样操作模式，并且依然只以残留物质量这一项作为受控的评定指标。

提升清洁度检测水平是一个持续的过程，通过对轿车发动机这一典型产品的剖析，可看到发动机生产企业自20世纪90年代中期以来是如何逐步实现这一目标的。归纳一下，主要有以下几个方面：

1）执行要求更高的清洁度试验标准或相应的技术文件。

2）通过配备更先进、更完善的试验设备和检测仪器，由此全面提高了清洁度测试的实际水平。

3）建立更规范的、更注重各个环节的操作流程，包括采集样品、输送、存放、返回中的种种细节。

推行技术要求更高、更完善的清洁度试验标准。清洁度试验标准则是对产品的清洁状态是否足够清洁设定了合格与不合格之间的一道分界线，既可以作为内部生产过程清洁度检测的工具，也可以用作从供应商进货时的验收标准。

以德国大众汽车公司处理、对待清洁度的做法为例，2000年初，为了规范、统一集团范围内对发动机制造过程中清洁度试验的实施，提高试验质量，推出

了编号为PV3347的“发动机结构件清洁度残留颗粒重量测定”的标准。该文件的正文对试验方法，包括采用的设备、仪器、关键器件及其参数、牌号，和对获取清洁度测试结果的分析方法均做了十分具体、明确的说明。其附录则是一个工作指导书，就发动机中10多种主要零部件在按冲洗式（又称压力式喷射）清洁度试验时的操作步骤，以图示加简短文字的形式做了详尽的解释。标准有多个版本，每个新版本的推出都体现了一种补充、改进，如在2004版中就明确规定必须选用性能更稳定的聚酯型过滤器（滤纸）和必须增加一道进行测试前的“空白值”测定操作，也就是要先用冲洗法对不盛放工件的设备工作区域进行一次测试，证明其自身的清洁度是足够的，标准中提出，务必小于1mg等。

迄止21世纪初期，对清洁度测试虽已相当重视，但评定指标仍以残余物重量为主。在PV3347“关于颗粒尺寸描述”一节中指出，在有要求时，应对颗粒的尺寸和颗粒的种类做测定。但实际上国内少数企业在清洁度试验中也仅利用普通光学显微镜测量颗粒的最大尺寸，并只将测得结果作为“参考”。而在2008年、2009年和2010年先后推出的“发动机零部件清洁度技术要求”（标准号VW01134）的新标准的试行版和正式版中，就集中描述了发动机中毛坯、成品体和标准件等三类情况下零部件清洁度的技术要求，分别为残留物质量、最大颗粒尺寸（指颗粒的最大线性长度）和确认评价尺寸的对象应是金属颗粒，还以表格形式给出了多达数十种相关零部件清洁度评价指标的允许值，即目标值，从而为判断三类不同的发动机零部件清洁度的状态提供了依据。

进而在2012年9月推出的VW01134第2版又有了发展，主要体现在又增添了“统计分析指南”这一节，把颗粒度的统计分析也正式列为清洁度的一项技术要求。但与残留颗粒物质量、最大颗粒几何尺寸等指标有所不同的是，此标准中用了评价“指南”（Outline）一词，而不是对其他评价指标所用的“目标值”。可见在实际执行这个标准时，还是需从企业和其产品实际情况出发，由此，同一种零件的检测结果、尤其是形成的报告会有所差别是正常的。也正是出于这样的考虑，标准VW01134中还提到，在最大颗粒尺寸的后二档更大的等级中，尚允许存在一定数量。更值得指出的是，在不久前推出的最新版VW01134中，关于颗粒度尺寸统计分布的要求又有所简化：如果没有其他的要求，在确定被测物最大颗粒尺寸处于最小范围内时，对颗粒的数量将不加以限制，因此不需要做上述颗粒尺寸（逐档）的统计分布。如此一来，对清洁度检测结果的表述，即测试报告将可大大简化。

提高清洁度测试的技术水平

事实上，近年来国内汽车制造业已普遍将提高清洁度测试技术水平置于十分重要的地位，其中所配置的用于萃取、制样的设备和用于对残留污染物进行分析的仪器是最主要的两类。

1.传统压力喷射萃取、制样方式的局限性

压力喷射法乃是适用性最强且效率也高的萃取方式，但直到21世纪初期，即使如PV3347 这样的清洁度试验标准已在一汽－大众、上海大众等企业得到了贯彻执行，所采用的试验装置仍没有根本变化，那些落后的开放式、手工水池样式的萃取、制样操作模式依然还在延续使用。

2.定量清洗在规范化的基础上实现清洁度试验的精细化

那些以描述测试方法为主的标准，如德国大众的PV3347/2000～2006、美国通用的GME7061（2001）、法国雷诺的RE.34-07-025/G（2000～2007）以及英国罗孚的MG RES：21.CC.01C（2005）等，对规范清洁度试验的实施发挥了很大的作用。但鉴于当时的具体情况，在实现测试过程的精细化，进一步提高试验质量上还有改进的余地。其中，对不同工件在清洗工序中耗用的清洁液的量的控制就是最有代表性、最重要的一项。标准PV3347的第五节“清洁度试验分析的实施”，在其“附加技术说明”部分的第一条曾指出：为了使试验结果具有可比性，重复进行的每次试验时的清洁液用量都应大致相同。近年来，国内外的汽车制造业给予极大的关注并非偶然，事实上，定量清洗的重要性不言而喻，特别是对那些批量生产企业，清洁度试验乃是监控产品质量的一个重要环节，而为了保证在多人操作、抽检频次不同的情况下的试验质量，最重要的途径就是必须坚持在工作流程规范化基础上的精细化试验，而定量清洗就是其中最为关键的一项。

众所周知，对同一工件，试验时不同的清洗量，采集到的残留颗粒是不一样的。因而，即使为同一操作员，由喷洗液量的差别引起的人为偏差难以避免。为此，在标准VDA19和第二版的ISO16232中都给出了明确规定，若设“定量喷洗液量”为Q，则当进行清洁度试验量的喷射量≥Q时，所收集到的残留颗粒量的误差应控制在10%以内，即：

$$C_n \leqslant 10\% \quad (C_n+C_n-1+\cdots+C_1) = 10\% \qquad (1)$$

为求取定量喷洗的液量Q，需要对一个试样做多次试验后才能得到，设n是获得Q时的那一次，C_i（i=1～n）是每次测试后的残留颗粒物的质量。标准中规定，一般情况下应n≤6。通过图1可进一步清楚地理解。

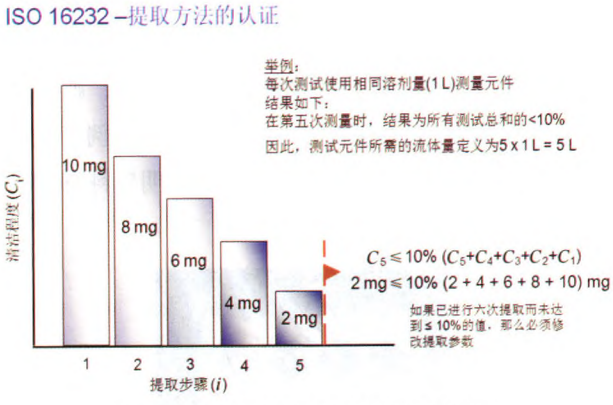

图1 在定量清洗基础上进行萃取的工作原理

3.满足精细化要求的清洁度萃取设备

当前清洁度试验要求不断提高的要求，那些功能比较单一的设备已经无法适应未来的要求。因此，近年来有越来越多的国内发动机企业选用了更先进的试验设备，图2即是应用较多且很有代表性的一款。

相比较其前一代，除了同样具备用过的清洗液回收、再生外，还增添了大量用以满足当代清洁度萃取试验需要的功能，主要有：

1）清洁液的喷洗压力可以在0～6×10^5Pa内进行设定和调节。

对每一种零件的清洗液的流量均可以任意预先设定，譬如：缸体需要10L的清洗液，连杆需要3L，而较小的螺栓只需要1L等等。只要把这些数据（包括喷洗压力）预先设定，以后操作时，只需直接输入零件名，就能自动执行规定喷洗压力下的定量清洗了。

对试验设备工作区域，即清洗槽侧壁四周的洁净化可自动完成。由于在（清）喷洗工件过程中，有飞溅到四壁的残余颗粒，因此在每次对新的零件进行测试之前，必须做一次“洗槽”，否则这些颗粒物会因混入正常收集的残余物中，而影响到清洁度测试的准确性。图2所示设备中，清洗槽的顶部设置了一排可以进行自动洗槽的喷管，既能减轻操作员的劳动强度又提高了工作效率，更重要的是可以消除人为操作因素引起的误差。

图2 一种高性能萃取试验设备

在设备的工作区域配置了风幕系统，在执行喷洗工件期间，槽顶可往下吹经过滤的洁净空气，而立方槽的下前部还有一排风管往外抽风，有效防止了外部环境中的颗粒、尘埃不会进入到工作区域，确保了试验结束时收集到的残留颗粒的准确性。

综上所述，可见图2所示设备，已是一种综合了适用性、自动化、人性化、环保等诸多因素，高度机电一体化的专业试验设备。

4.高性能颗粒度分析仪器的普及化

为应对、满足必须遵循的清洁度标准的规定，近几年来，企业在其配置选用分析仪器时，已纷纷以先进的专用高效颗粒度分析仪，替代了之前应用多年的那些通用光学显微镜或金相理化分析所采用的体式显微镜等仪器。图3所示分别为两款典型的高性能颗粒度分析仪，左侧为国内产品，右侧为国外的。事实上，现今的颗粒度仪已成为一个相当完善的清洁度分析系统，通过所配置的自动载物台、明/暗场观测光学系统、PC机以及相应的功能软件，不但具备了很高的自动化程度和重复性、再现性，而且可按不同企业的需求，根据各种国内外的清洁度标准事先进行选择和设

置进行有针对性的分析和评定，例如，通过对试样整体区域的图像拼接，自动生成按某个标准要求的分析报告。

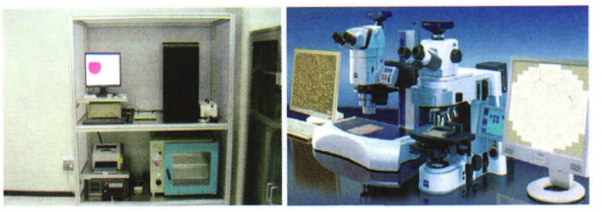

图3　两种典型的清洁度分析系统

改进清洁度试验的操作流程

为提高清洁度的检测技术水平，不断完善、改进试验操作流程中的一些细节也必须引起企业的重视。

1.自制件试验前的采集方式

企业中自制件的取样有两种典型形式，第一种是直接取自产出工件的金属加工线，另一种则是从装配线上将该零件安装至总成上的那个工位抽取。采取前一种做法主要为了确认金属加工线中的清洗工序和其他状态是否能满足产品的质量要求这个考虑，若一旦发现不合格，也可为之后的工艺改进提供方向。至于从装配线上抽取则出于这样的考虑，对一个企业来说，零件毕竟不是最终产品，从装配线流出的总成的质量状态对企业显然更加重要。如能确保此时工件的清洁度应该更有意义。现今，多数发动机厂采取的是第一种模式。

2.送检工件的传输和存放

在试验前的工件，在它们送往实验室的途中，都存在较差车间环境的影响。为避免采自现场的自制件在传输中的污染，必须采用专用的全密封小车，如图4所示。

图4　两种用于工件送检的全密封小车

对这样的小车，除了能有效地与外界隔绝、密封好这一基本要求外，还应注意以下三点：

1）小车的内部结构需要兼顾工件的形状和最大限度地盛放一些零件这两点，一般来说小车分成两类，即轴类零件和箱体类零件。在工件尺寸较小、质量较轻时，还可制成上、下二层，此时下层放较大、较重的缸体，而上层则放置缸盖。

2）必须确保零件在输送过程中相互之间不会发生磕碰，或者是由于工件的支承体引起其接触处的磨损，因而损伤重要工作面（如轴类零件的轴颈，箱体类零件的配合平面等）的情况发生。为此往往选工程塑料制作支承体，其形状也需与零件相匹配。

3）小车内部务必保持洁净，每次使用过后都必须做一次清洗。其实，除了极个别情况外，无论是置于车间之外独立包装的待测零件，还是生产现场的实验室，都不可能真正与外部环境完全隔绝。因此，在存放上需要采取所有等待清洁度试验的零件（主要指自制件），无论大小，还是金属或非金属材质，都需要先完成独立包装。至于所用到的透明塑料袋，则要求企业根据被测工件的情况委外定制。图5的示例是一个缸体，从中可以清楚地看到如何利用透明塑料袋进行包装。

图 5

结语

事实表明，近年来，汽车制造业为了适应日益严苛的机动车节能、排放、安全性等法规的要求，清洁度质量指标受到了广大企业越来越多的关注。而必须指出的是：如何有效、有针对性地提升清洁度的检测水平十分重要，本文通过完善评定标准、提高测试技术和装备水平，以及重视细节、认真改进操作流程等三个方面就是最好的途径。

关键词：
产品清洁度 评定标准 测试技术
（收稿日期20140611）