产品清洁度的事前预防性控制

□ 上海大众动力总成有限公司/朱正德

本文以现代汽车发动机企业为例，介绍了从设计与工艺、毛坯与外购件，以及物流贮运等诸多环节提高产品清洁度的一些可供行业借鉴的有效做法。

产品清洁度检测、评定与预防性控制

自21世纪初以来，随着对机动车产品安全性、可靠性的日趋严苛，以及对其环保和节能方面越来越高的要求，使得产品“清洁度”这一质量监控环节得到企业极大重视。尤其是在汽车动力总成、燃油系统和制动液压回路等关键部分，一旦出现了残留污染颗粒物超标的情况，就有可能给这些系统的正常运行带来隐患和风险，从而间接或直接地对汽车的安全性、可靠性造成威胁。也正因为如此，无论是国外还是国内的汽车制造业，都非常关注如何确保和提高产品的清洁度水平这个问题。

作为一项产品质量指标，清洁度在汽车、内燃机等行业的产品质量评价中有悠久的历史，但以往没有得到足够的重视。其主要表现之一就是，该质量特性值的定量表述的单一性，即仅仅以残留污染物的质量大小作为评定指标，且测试手段也十分简陋。近10年来，越来越多的国内汽车厂对产品清洁度日益重视，主要体现在通过配置更完善试验设备和仪器后，具备了检测、评定与污染物颗粒度性状相关指标的能力，从而提高了清洁度测试的水平。但说到底，这种做法在本质上还只是对被测工件的事后监控和评价。

同时，众多国际、国家（级）组织和企业集团在10年来也推出了一系列有关清洁度的标准，包括覆盖面和影响力较大的ISO16232－2007，但鉴于清洁度在本质上属于非强制性类的质量指标，因此在测试和评价时真正遵循的还是企业集团自编的标准。德国大众汽车公司为了规范、统一集团范围内发动机的清洁度试验的实施，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质量测定”的标准，就是一个典型例子。无疑，它们对于规范产品清洁度试验的实施，确定统一的评定指标，提高清洁度的检测水平产生了积极的作用。

随着企业质量意识、质量理念的逐渐转变，对如何保证产品质量的认识也在提高，越来越多的企业认识到，为了使产品的清洁度水平能更上一个台阶，需要把监控的范围扩大到制造的全过程，实行系

统化控制。之前人们主要关注生产过程中清洗工序的观点是有失偏颇的，因为这不能替代制造过程中众多的其他环节和细节。这种趋势同样也体现在近年推出的一些有影响力的标准中。例如，由德国汽车工业协会（VDA）制定的VDA19是一个内容丰富和系统性相当强的标准，它由两部分组成：2004年颁布的《VDA19第一部分——与功能相关的汽车零部件颗粒物污染清洁度检测技术》，它与前面提到过的ISO16232的内容相似，主要关注的是清洁度的测试技术，仍然属于对被测件进行事后控制的性质；而在2010年，VDA又推出的《VDA19第二部分——装配中的清洁度控制要求》，则着重于零部件清洁度系统化控制的技术与方法，属于事前预防性监控的性质。该标准从设计、生产工艺、加工/装配设备、外购件、物流到现场环境、人员管理等涉及制造全过程的诸多环节出发，对其如何进行事前的预防性监控做了较详尽的描述。简言之，与整个产品的形成过程有关的“人、机、料、法、环”等几个部分中的任何一个环节（见图1），都还存在对那些甚至已经“清洁过”的工件造成再污染。

由于不同工厂之间的具体情况差异很大，即使在生产同一类产品时，所采用的工艺和设备往往也大相径庭。因而企业在执行对自身产品清洁度的系统化控制，即事前预防性监控时，一般都是从工厂的实际情况出发，对可能带来隐患的各个环节分别处理。在这方面，与有着众多专业标准、技术文件，较为严格地统一规范的零部件清洁度检测技术相比，还是有所不同的。

设计与工艺

1.“清洁友好”型的设计

在汽车的众多部件中，都包含了不少结构较复杂的零件，如发动机中的缸体、缸盖一类箱体类工件，既有水套、高压油道、低压油腔，又有细长孔、螺纹孔等，由于结构、形状十分复杂，弯道和死角也很多，这就导致金属切屑、铸砂的固体类杂质极易沉积、卡死在弯道处。在这种情况下，即使通过中间乃至最终的清洗工序，欲达到比较彻底的清洗效果也是比较困难的。为此，就要求相关的专职部门在产品的设计、开发阶段充分考虑到这些问题，尽量减少加工过程所形成的各类杂质在弯道、死角处的沉积。所谓产品或零件的“清洁友好”型设计，就是说，即使工件的结构再复杂，在加工中积聚的杂质再多，但经过清洗机的冲洗也可以取得较好的效果。

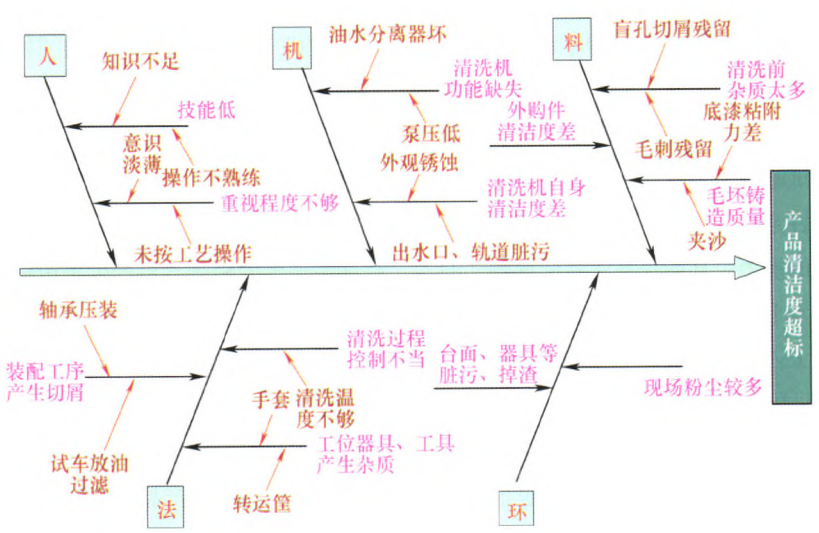


图1 产品清洁度影响因素

2.零部件轻量化带来的清洁度问题及其应对措施

现今，汽车轻量化已成为一种趋势。零部件采用轻质材料，如以铝镁一类的轻合金替代铸铁等密度大的传统材料也在众多企业普遍推行。但前者韧性好，工艺性差，主要是在加工过程期间断屑困难，而所形成的切屑又大多呈麻花形卷状、片状C形和长条卷曲状，这些切屑往往一面较光整，另一面是锯齿形的或不明显的毛茸状，当它们一旦进入型腔后，特别容易卡死在弯道处，且很难清除。此外，由于韧性好，相比铸铁，铝制件在断口出现的毛刺也较难去除。

为了降低这些不利因素的影响，企业应该采取一些针对性的措施：

（1）对刀具的改进及对加工参数进行优化。如在加工刃上设计断屑和分裂切屑的结构。

（2）选择适当的切削参数，使产生的切屑长度不会过长、形状也尽可能不呈卷曲状，以便于清洗。

（3）加强对位于加工工位的零件的冲洗，力争使大部分的切屑都能被切削液及时冲走，减少切屑积存在零件内的机率。

（4）至于毛刺这个棘手的问题，只能根据不同厂、不同产品的实际情况来决定应对的方法，原则上，在面对铝制件时需要加强和增加去毛刺工序或工步，以减少毛刺对清洁度的影响。至于选择高压清洗、人工操作、机械毛刷还是机器人的清洗方式，则是另一回事了。

3.提高生产线所配置清洗机的清洗能力

虽然迄今传统的通过式清洗机在国内汽车行业应用相当普遍，但它存在的种种不足之处还是十分明显的。如，生产准备周期（辅助时间）往往较长，造成了为保证生产线的节拍，致使清洗、干燥时间不足；难以借助调整清洗方式、喷嘴角度、时间和位置来更好地保证效果；清洗液、压缩空气需求量大，能耗高，而且结构复杂，制造成本高，故障率也高。因为存在柔性不足的问题，故对现今差异较大的多品种生产方式很难适应等。近年来随着机器人技术的日趋成熟和广泛应用，其价格也在不断下降，为国内汽车制造业在实际生产中选用机器人清洗机铺平了道路。

毛坯和外购件

1.毛坯供货状态对最终清洁度的影响

以曲轴为例，分析表明，位于表面的杂质主要出自非加工面的毛坯面——扇形板、油孔以及轴颈等加工面。曲轴毛坯既有铸件又有锻件，虽然采用锻件的曲轴呈增加趋势，但主体为球墨铸铁的铸件毛坯仍然占有很大比例，尤其在中、小排量发动机中。而在采用的铸造工艺上，国内一般仍以“砂型”方法为主，较少采用“壳型”。虽然后者形成的工件表面状态明显要好于前者，但因“一次性”的壳型工艺成本高，故企业倾向于选择砂型铸造。为改善毛坯面质量，还可以增加一道喷丸硬化工序，但这又会增加制造成本。事实表明，毛坯的制造工艺和形成的工件表面质量，对于曲轴的最终清洁度是有较大影响的。因此，在国外一些知名汽车厂商，已为关键工件的毛坯设定清洁度控制值，如曲轴毛坯为50mg（残留物的质量），且可以由商家在必要时适当调整。但需指出的一点，对铝制件的情况就完全不同，包括国内用户在内，都会对关键铝制件的毛坯制定明确的清洁度门槛值，如缸盖、水泵壳、机油泵等。而且有些毛坯件的清洁度指标还不只是残留物的质量，像对缸盖毛坯这类关键件，还进一步提出了对颗粒度分析的要求。

2.确保外购件的清洁度

现代汽车工业的一个发展趋势就是，整车厂或总成厂将只注重“核心业务”，那些所谓的非核心业务，以及大部分零部件的生产，都以外包、外购的方式解决。以一个汽车发动机工厂为例，产品中95%以上的零部件都是外购的。在这种情况下，外购件的质量状况将会直接影响到发动机的品质。清洁度作为一项十分重要的质量技术指标，虽已在业界取得普遍的共识，但实际的调查表明：现今，不少外协件厂的清洁度保证手段，如生产线上配置的清洗机、清洁度试验室中一些关键检测仪器的配备均存在着不完善之处。而不少主机厂在对外购件的清洁度实施监控时往往也缺乏全面性。如，有否把这一指标纳入采购协议之中？自身是否又制定了相关的外购件进厂后的抽检工作指导书？这都很容易被忽视。

线内、线外的物流体系

物流体系在现代车企的正常运行中占有重要地位，它一般由（生产）线内输送、（车间内、厂区内）线间输送，以及产品的包装、存储等诸多环节组成。而随着对产品清洁度的日益重视，企业也逐渐认识到，关注产品在生产过程中和其后的输送、包装、存储等细节的处理，同样会对清洁度带来很大的影响。现今，不少企业已根据自身的实际情况，通过制订规范的措施来认真解决这个问题。

1.加强对工艺流程中、即线内输送环节的控制

图2是某型发动机缸体线所用的托板，企业的生产部门规定，每次开机前都需一个不漏地对其工作面进行认真擦拭，以保证：无论是与工件直接接触还是间接相关的表面，都能处于洁净的状态。而图3又是另一种情况，在这条先进的缸盖生产线上，对托盘（见图3的下方）的清洁、净化操作乃是由设置在线内的一台强力的吹风设备（见图3上）完成的。根据具体情况，每天1次或2～3天1次，将托盘逐个安装在上述设备的架子上，关上移门后，操作即可自动进行。在强风的作用下，托盘表面的固体颗粒都

图2 操作工正在檫拭工艺托板的表面

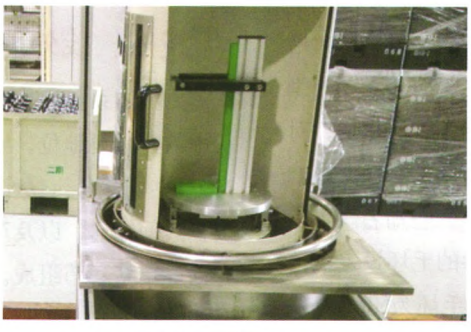
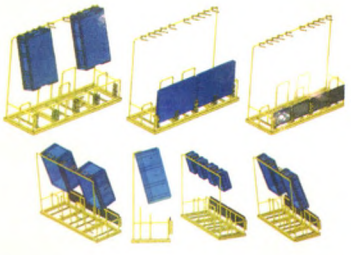


图3 托盘及在线净化设备

(a) 工位器具自动清洗线



(b) 适用自动清洗的专用支架

图 4

将被清除掉，而那些残留的油渍等，并不会给产品造成什么实质性的危害。

眼下，定置化管理已在国内各类企业获得了推行。而在执行中，根据零部件的不同特征，设计了用于需在工序间存放的专门的支架，并将它们在相应的生产线进行定置存放，这些专用工装主要用于各类零件在生产过程中的暂存。多数企业对于保持这些专用工装表面的洁净十分重视，制订了定期清理的规定规则，一般的间隔（周期）为1周。

2.对线间（车间内、厂区内）物流、储运环节的控制

企业均选用各种形状、形式的塑料料箱、托（隔）板和托盘。选择这种材质，主要还是出于塑料易清洗干净且自身不会产生残渣。至于对这些工位器具的清洗，一般有定期、不定期等做法，其中，定期清洗频次最高可达到1次/天。

在少数现代汽车动力总成工厂里，为提高这些工位器具的清洗效率和效果，特别设置了一条高效清洗自动线（见图4）。从图4中可见，它其实是2条紧邻的、呈平行状的清洗线，从设计和资源利用的角度来看，这种设计都是最为经济的。另外，被清洗的料箱乃是吊挂在一个个专用的支架上的。而事实上，为了适应不同工位器具在自动线内的高效清洗，分别配置了相应的专用支架（见图4a）。利用这些工装的另一个优点是，可以更充分地发挥自动清洗的资源，由图中位于上方的三个支架可见，它实际上是完全按置放两类塑料器具设计的。

另一个不可忽视的环节是零部件在储运中的包装问题，尤其是一批又一批的自制件或外购件由生产线、物料仓库运往装配线时。为了避免遭到车间环境的污染，必须认真对待这些工件的妥善包装，且应该按不同的零部件区别处理。如，自制件曲轴，包装方式为半透明的防锈袋，而像外购件轴瓦这类精密小零件，采用的方法是防尘袋。此外，针对其他一些不同情况的零件，还有诸如防尘罩、真空包装等方法。

结语

近年来，提高产品清洁度已引起全行业的关注，尤其是对产品清洁度的测试和评定，以及对于与清洁度直接相关的工序间的清洗，更受到了众多企业的重视。但实际上，这样做还是不够的，各个生产厂还需对自身产品形成的全过程，特别是对其中的一些关键环节实施有效的事前预防性监控，并根据具体情况制订规范的、有可操作性的细则。AME