

■ 上海大众动力总成有限公司/朱正德

发动机零部件 清洁度监控水平的提升

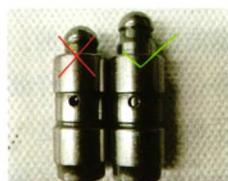
清洁度是指零件、总成和整机特定部位被杂质污染的程度，是一项非常重要的质量指标。具体来说，清洁度表示零件或产品在经过生产线清洗工序后，在其表面上残留的污染物的量。一般情况下，污染物的量包括种类、形状、尺寸、数量以及重量等衡量、评定参数，至于具体用哪一种则取决于不同污染物对产品质量的影响程度和该产品的清洁度控制要求。

为获得这项质量指标的实际值，需用规定的方法从规定的部位采集到杂质微粒的种类、质量、大小和数量。这里所说的规定部位是指危及产品可靠性的特指部位，杂质包括产品设计、制造、运输、使用和维护过程中，本身残留的、外界混入的和系统生成的全部杂质。

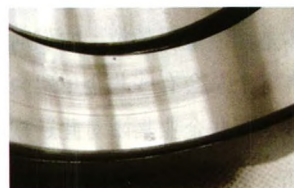
发动机缺陷得到的启示

近年来随着人们对质量理念、质量意识的关注，尤其是对轿车类产品的安全性、可靠性，以及对其环保和节能方面的更高要求，使得清洁度这一质量监控环节被高度重视。因为清洁度问题而引起的故障、缺陷虽然过去也出现过，但是关注度不够，尤其是象水泵、机油泵、发动机和变速器等动力总成部件，典型例子就是对引起轿车发动机异响这一缺陷原因的探索。伴随着消费者自我保护意识的不断加强，以及企业的市场承诺和对产品责任心的提高，这类过去被忽视的缺陷也被重视起来。对发动机进行解析，发现由于液压挺柱卡死，致使摇臂无法抬起，引起摇臂上的

滚轮与凸轮间出现间隙（见图1a），卡死的组件是由于与曲轴主轴颈相配合的上、下两片轴瓦中混合了固体颗粒状杂物，既拉毛了轴瓦表面（见图1b），又引起了异响。进一步的拆卸分析也表明，液压挺柱的卡死其实也是由于细小的铝屑颗粒混在配合面间隙造成的。追根溯源，都是因为总成或零部件清洁度不够，由此可见产品清洁度的重要性。



(a)



(b)

图1 导致异响的液压挺柱与轴瓦及混杂在配合面间隙的铝屑颗粒

清洁度指标的提升和实施

由清洁度含义可知，这一质量特性值的定量表述必然是与产品所带的杂质，即残留物的量有关。很多年以来，清洁度也确实是以残留物的重量作为评定指标的，被称量的杂质又主要以金属固体颗粒物为主。

1. 提高清洁度指标的控制要求

作为一项主要的评定指标，工件在清洗后残留物量的控制值近年来已有明显的提高，以某品牌系列小排量发动机的主要零件为例，缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴和连杆的指标已压缩了40%~100%，这与企业对产品质量的苛求以及发动机产品技术的发展

紧密相关。另一方面，为了使清洁度试验后获得的结果能真实地反映出产品的情况，同时也为了企业相互之间测试结果更具可比性，在试验工作第一道萃取工序中所采用的设备品质也在提高，其清洗区已由传统的开放水池式改为密封区域，这就避免了操作产生的洗液飞溅以及降低冲洗压力的情况。有些清洁度试验设备还带一套自动再生装置，从而不但确保了昂贵的清洗液持续、可靠地反复利用，而且更加环保。也正因为在进行清洁度试验时能有效地保证2.5~3.0bar（1bar=10⁵Pa）的冲洗压力等参数，使试验结果更可信。

2.增加评价项目

产品清洁度指标，从原来单一的残留物质量增加了多项，从而对产品的清洁度提出了更为严格的要求。

（1）残留物中最大颗粒尺寸 这一指标之前只是一个选项，但如今已成为必检项目，关键是建立了相应的标准，从而有了判别的依据。而相应的检测手段，目前有多种，除了传统的光学显微镜外，也有采用金相分析时的体视显微镜、金相显微镜，或更为先进的专用清洁度分析系统。

（2）残留物的物理特性 前面提到残留物的主体是固体金属颗粒，它们对产品的影响是最大的。但事实上总会有些非金属残余物存在，如油污、纤维物等。有些企业集团对此还规定了最大纤维长度这一指标，但大部分主流发动机生产企业还是更关注金属颗粒的危害，要求残留物中不能含有铝制颗粒。清除方法就是用强力磁铁接近已烘干的残留固体颗粒物。图2就是采用先进的清洁度分析系统对一个样品的残留物进行分析，图3对其中的三类：金属颗粒、非金属杂质和纤维中“最大”和“次大”提供了形象、定量的描述。



图2 先进的清洁度残留物分析仪器

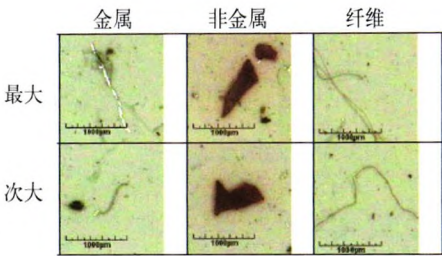


图3 残留物颗粒物理性分析

（3）工件残留物中固体颗粒粒径大小的统计分析 指的是，试验工件清洗后的杂质按颗粒粒径在不同区间的分布情况。附表所示评定表格，额定值可以根据实际情况设置。

颗粒尺寸统计分布监控示例

颗粒径范围 允许值 (粒数) 清洁度等级	颗粒尺寸统计分布监控示例					
	6~15	15~50	50~100	100~200	200~1000	≥1000
AA	14	12	9	7	4	0
A	18	15	12	10	8	0
B	21	18	15	12	11	1

上例中该项指标被分成了AA、A和B三个级别，但一般情况下企业往往只设置一个合格门槛。有的情况下还可以为每个粒径区间设定不同的加权系数，以迎合被检产品的情况。各个企业由此就能设计出既满足自身需求又具有相应特征的测试报告格式。

近几年不少动力总成厂在贯彻一些要求更高的标准时，也提升了检测设备的档次。从利用普通光学显微镜，目不转睛的高强度、低效率的人工劳作，发展到利用图3所示的清洁度（颗粒度）分析系统。这种先进仪器是通过光机电结合的检测系统，自动对清洁后滤纸表面的所有残渣颗粒快速扫描，同时对粒子大小和按规定的分类间隔进行测量和统计，最后按设定的阈值或不同等级对工件的清洁度指标做出判断。

工艺因素对控制产品清洁度的影响

把产品的清洁度控制在额定范围之内的基础是其生产过程。事实表明，由于主导产品制造质量的工艺方法众多、差别很大，控制产品的清洁度还是相当复杂的。一件成品清洁度水平的决定因素绝不只是最后一道清洗工序有没有把它洗干净那么简单，而是整个工艺过程的综合反映。而很多既要体现技术进步，又

要考虑经济性、制造成本的措施,往往会与这一目标愿望相悖。曲轴经清洁度试验后产生的杂质、残渣主要出自三处:非加工面的毛坯面——扇形板、油孔及轴颈等加工面,而其中的影响因素众多。

1. 毛坯

铸件在曲轴毛坯中多于锻件,尤其在中、小排量发动机中。国内采用的铸造工艺以砂型方法为主,较少采用壳型。虽然后者形成的工件表面质量明显要好于前者,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。当然,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。实践表明,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有很大影响。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,如曲轴毛坯残留物的质量为50mg。需要指出的是,铝制件的毛坯生产厂情况完全不同,用户会对关键铝制件,如缸盖、水泵壳、机油泵等的毛坯制定明确的清洁度门槛值。对有些缸盖毛坯这类关键件还不只是残留物的重量,往往进一步提出对颗粒度分析的要求。对此,即使是国内的毛坯供货厂也会坚决执行。

2. 钻孔——曲轴油孔加工

长期以来,国内外曲轴油孔加工采取的钻孔工艺均为枪钻,但近年来已逐步改为深孔钻(如硬质合金直柄麻花钻)。从制造成本和工效等多方面来讲,新的工艺要合理得多,因此自21世纪初以来,在新建的生产线中采用枪钻工艺的比例已明显减少,这种情况在中、小排量发动机生产线更明显。从另一方面来讲,由于执行新工艺时采取的是微量润滑,相比枪钻工艺边加工边以80MPa压力的高压切削油冲洗,无疑利用后者的方式对清除钻孔后的切屑及其他残留物的效果较之前者要强的多。

3. 磨削过程中切削液的影响

切削液起着冷却、润滑、清洗排屑和防锈等重要作用,对加工过程的正常进行有很大的帮助。生产实践告诫人们,作为整个切削加工系统的一个组成部分,切削液必须正确选择和使用才能发挥相应的作用。以磨削为例,曾在汽车行业轴类零件加工中广泛使用的是刚玉类砂轮,但近年来随着对制造质量和生产效率等要求的不断提高,在诸如曲轴轴颈的磨削工

艺中,选用CBN砂轮的比例在不断提高。由于此时的转速、负荷有了明显提高,因此有些企业选用的切削液也从原来的水基切削液改为油基切削液。虽然后者在采取高压供给时,其清洗性能会有所改善,但总的来说相比含有表面活性剂的水基切削液,两者还是有较大差距。表面活性剂一方面能吸附各种固体微粒和油泥等残留物,并在工件表面形成一层吸附膜,阻止粒子和油泥粘附在工件、砂轮(刀具)上,另一方面能渗入到粒子和油污粘的界面上,把它们与界面分离,并随着切削液带走,从而起到清洗作用。显然,在改变了磨削方式和切削液之后,虽然可有效地提升曲轴的加工质量和生产率,但因清洗、排屑的效果会受到影响,因此在进行工艺规划、工艺调整时,权衡各种工艺因素的利弊、得失还是不可缺少的。

4. 清洗工位

生产线中清洗工位的确定对产品清洁度有很大影响。近年来很多厂家取消中间清洗工位,只设一个生产线终端。以曲轴线为例,过去部分企业会在粗加工(包括钻孔工序)、热处理之后设立一道中间清洗,但近年来此种工艺布置方式已十分少见。这当然也与实际需要以及经济性有关。

在清洗液方面,与切削液相似,清洗液也有油基和水基之分,但长期以来,水基的清洗液占了绝大部分,不过这一状况在近年也有所改变。在曲轴线终端的清洗工序,有些发动机厂选择了油基的清洗液。毫无疑问,就如同加工中选用切削油一样,虽然此举会对工件的防锈带来帮助。然而,其清洗效果肯定不如水基的清洗液,而内在原因与前面阐述的去除作用机理完全相同。

结语

综上所述,可清楚地看到控制产品清洁度的重要性和复杂性。事实上,决定产品最终清洁度水平的不仅是清洗工序,而是整个工艺过程综合作用的结果。因此一旦发生清洁度方面的问题,或者面临提升清洁度的要求时,必须综合性地逐项、逐道分析。

关键词:

清洁度 发动机零件 切削液

(收稿日期20130709)