

发动机生产过程中的清洗技术

何育麟, 沈艳

(上海柴油机股份有限公司, 上海 200438)

摘要 在发动机生产过程中, 清洗工艺是保证机械加工、热处理、涂装、电镀、防锈等质量必不可少和反复进行的一道工序。发动机零部件的清洁度是一项严格的清洗质量标准, 主要由清洗工艺来保证, 要提高零部件的清洁度必须从加工件的清洗质量做起。零部件的清洁度可反映出企业的清洗技术水平和管理水平。

关键词: 发动机 制造过程 清洗技术 清洁度

Cleaning Technology for Engine Production

He Yulin, Shen Yan

(Shanghai Diesel Engine Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

Abstract: Cleaning process is imperative for ensuring the qualities of machining, heat-treatment, coating, plating and anti-rust treatment in engine production and it is an operation occurring time and again during the production. The cleanliness of an engine part is a high cleaning quality standard, and should be ensured by good cleaning process. To improve part cleanliness, a great attention should be paid to cleaning quality. Cleanliness of part can reflect cleaning technology and management levels of an enterprise.

Key words: engine, manufacturing process, cleaning technology, cleanliness

1 前言

在发动机生产制造过程中, 各类零部件在加工、使用、储运等各环节流转时, 会在零件表面留下各种液体或固体的残留物—污垢。因此, 在应用前都需要进行清洗, 使零件表面达到一定的清洁度。

清洗工艺是保证各类发动机零部件的机械加工、热处理、涂装、电镀、防锈、装配质量必不可少的一道工序。发动机零件的清洗质量与零件加工、油漆、电镀和装配质量有直接关系, 也直接影响到发动机的使用寿命。

2 清洁要素和方法

2.1 清洗要素

清洗是借助于清洗设备(或工具)将清洗液作用于工件表面, 并采用一定的清洗方式去除工件表

面的油脂、污物等附着物, 使工件表面达到一定的清洁度。在某些情况下, 同时还要求清洗后的工件表面具有一定的短期防锈性能。

清洗技术有清洗材料、清洗工艺和清洗管理三个要素, 三者缺一不可。清洗材料是清洗技术中的基本条件, 清洗工艺包括了清洗方法和工装设备, 清洗管理是确保所制定的工艺能得到有效的实施。惟有这三者相互配合、协调, 才能使清洗技术真正发挥作用, 取得良好的效果。清洗常用于以下几种情况:

- (1) 工件涂装前必须把表面清洗干净, 否则会影 响涂层与工件基体的结合力;
- (2) 工件在电镀前的清洗, 可保证镀层与工件基体之间能够牢固结合;
- (3) 工件在热处理工序前、后清洗, 可保证工

来稿日期: 2009-04-17

作者简介: 何育麟(1959—), 男, 工程师, 主要研究方向为切削液、清洗剂、防锈剂和涂料等工艺介质的生产应用。

件的热处理质量；

(4) 在机械加工过程中，特别是一些重要的加工工序，都需设置清洗工位，以保证工件的加工质量；

(5) 工件在装配前的清洗，以保证零部件和整机的清洁度及装配质量；

(6) 出厂零部件的清洗，对出厂零部件防锈包装前进行清洗可以保证其防锈包装的质量。

2.2 清洗方法及特点

清洗方法是清洗工艺的重要因素之一。工件表面上的油脂、污垢和黏附物的杂质种类繁多，物理、化学特性及其在工件表面的附着程度也都不同，选用相同的清洗方法，清洗效果差别往往很大。相同的污垢采用相同的清洗液，选择不同的清洗方法，清洗效果也有所不同。清洗方法应与选择的清洗剂协调配套，如表 1 所示。

表 1 不同清洗方法的比较

清洗方法	使用的清洗剂	主要特点	适用性
擦洗	煤油、汽油、二甲苯、酒精、丙酮、常温水基清洗剂	手工操作，装备简单；配置合适的清洗装备，可实现高效率清洗	小批量生产中的中小工件；大型工件的局部清洗；严重污垢工件的头道清洗
浸洗	常见的各种清洗剂	设备简单，清洗作用主要依靠清洗液的性能，清洗时间较长	轻度油脂污垢的工件；批量小，形状复杂的工件
电解清洗	碱性清洗剂、水基清洗剂	清洗质量优于浸洗，清洗液要有一定的导电性	大、中批量的小型工件；清洗质量要求较高的工件
喷射清洗	除多泡沫的水基清洗剂外均可使用	工件与喷嘴应有相对运动，设备较复杂，生产效率高	大、中批量生产的形状不复杂工件
气相清洗	三氯乙烯、三氯乙烷等有机溶剂及替代的清洗剂	清洗效果好，工件表面清洁度高，设备复杂，劳动安全和管理要求较严	批量生产的中、小工件；清洁度要求较高的工件
高压喷射清洗	碱性清洗剂、水基清洗剂及防锈水	能除去严重的油污，工作压力一般为 6 MPa 以上	油污较严重的各种工件；大、中、小批量生产中的复杂工件；清洁度要求较高的工件
超声波清洗	常用碱性、水基清洗液等	工件清洗效果好，工件表面清洁度高，但设备复杂，维护管理要求高	批量生产中，清洁度要求较高的中、小工件；形状复杂，带有盲孔的工件
多步清洗	各步清洗所配的清洗液，根据工艺要求和清洗方式选择	一般将浸洗、喷洗、气相清洗和超声波清洗互相结合，得到较高的清洗质量和生产效率	大批量生产的工件；清洁度要求较高的成批生产的中、小型工件

3 清洗工艺及设备

清洗的效果不仅决定于清洗剂的作用，还需要有一个正确的清洗工艺和过程，即高效率的清洗剂与合理的清洗方法相结合，并借助清洗设备才能保证取得良好的清洗效果。下面将简单介绍几种常用的清洗工艺技术。

3.1 浸泡清洗

将清洗工件放置在清洗液中浸泡、湿润而去除污垢的方式称为浸泡清洗。浸泡清洗工艺是由清洗、冲洗、干燥 3 个部分组成，根据工件防锈期的要求，还可增加防锈工序。

(1) 清洗：依靠清洗剂的化学溶解能力或溶剂的溶解力，把污垢从工件表面剥离下来并分散到清洗液中。一次清洗不干净，可重复进行多次清洗。

(2) 冲洗：清洗完成后，工件表面附着一层含

有污垢的洗液，需要采用清洁的、有一定防锈效果的清水以反复浸泡或流动的喷洗方式去除，以减少金属工件表面的液斑。最后冲洗阶段的水，可采用净洁水。

(3) 干燥：在冲洗工艺结束后，工件的表面仍附着部分清洁的清洗液，需要采用高温干燥、热风吹干或压缩空气吹干。在冲洗中，采用高温的冲洗液，有利于加快工件表面残留液的自干速度。

浸泡清洗设备是最简单、最传统的清洗设备。清洗槽、冲洗槽是设备的主体，在槽的侧面装有加热盘管，槽的下部有排污阀门，槽的上部设有溢流口，可及时排除清洗液表面的浮油。

3.2 电解清洗

电解清洗选用碱性清洗液或含有表面活性剂的水基清洗液，其作用机理是依靠电极上析出气泡的

机械作用，即在清洗过程中始终有气泡逸出，依靠气泡剥离金属工件表面上的污垢。工件既可作为阴极也可作为阳极来进行清洗，应根据工件的清洗要求进行选择。

电解清洗适用于工序间清洗或电镀前清洗，可清洗工件表面多种油脂、磨光膏和厚污垢等。当工件作为阴极进行清洗时，从阴极逸出的氢气体积是作为阳极时逸出氧气体积的 2 倍，阴极周围的碱度局部增大，此时清除污垢的机械作用是作为阳极时的 2 倍，清洗力较强，有利于钢铁工件的清洗。但

不足的是，需要严格控制清洗时间，以防止工件表面发生氢脆，对有色金属清洗易造成碱蚀。当工件作为阳极进行清洗时，可避免工件作为阴极时的不足，但是阳极会有氧化反应发生，工件上的某些油污如被氧化则会很难清除。锌和部分铜的有色金属工件不能作为阳极进行清洗。在现有的电解清洗生产中，多数将工件作为阴极进行清洗。只有在金属氢脆现象难以控制的情况下，才作为阳极进行清洗。

电解清洗的工艺参数对工件的清洗质量影响较大，一般的工艺参数见表 2。

表 2 电解清洗工艺参数

工艺参数	数值	工艺参数	数值
电流密度/(A/d m ²)	20~30	清洗时间/min	1.5~3.0
清洗温度/℃	>80	其中：工件做阴极	1.0~2.0
		工件做阳极	0.5

3.3 喷射清洗

喷射清洗的优点是清洗液起化学作用的同时，还具有喷射液流的撞击力，二者结合在一起，强烈冲洗金属表面上的油脂等污垢，清洗效果非常显著。喷射清洗包括低压（压力在 0.5 MPa 以下）、中压（压力在 0.5~6.0 MPa）和高压（压力在 6.0 MPa 以上）清洗。

喷射清洗工艺过程可划分为以下几个基本过程：剥离被清洗表面上的污垢微粒，流动液体使污垢处于悬浮状态，将污液送往过滤装置。其中污垢微粒的剥离过程是整个清洗过程的最关键过程。喷射清洗按工艺输送方式可分为以下六大类：

(1) 万能式喷射清洗：待清洗工件固定不动，人工手持喷洗枪对工件各部位进行清洗。适用于清洗大型部件、大型设备油污和汽车外壳的污垢。

(2) 旋转式喷射清洗：待清洗工件置于自动旋转的工作台上，喷嘴作 180°回转喷射清洗，清洗液可循环使用，适用于清洗小批量零部件上的污垢。

(3) 螺旋输送式喷射清洗：待清洗工件由螺旋槽输送，先后经过清洗、漂洗及吹干 3 个工位，适用于清洗螺钉、螺母、链条、销子等标准件以及密集放置的小零件。

(4) 网带式连续输送喷射清洗：待清洗工件由网带输送至清洗、漂洗及吹干 3 个工位，适用于机械加工的零件工序间清洗。

(5) 网带式步进输送喷射清洗：待清洗工件由

网带输送至清洗、漂洗及吹干 3 个工位后，可停止不动，由喷嘴旋转或对准工件进行清洗，一般作为定点定位清洗。

(6) 悬挂链式喷嘴清洗：把待清洗工件挂于悬链上先后通过清洗、漂洗和吹干 3 个工位，适用于连续生产线上的清洗。

一般的喷射清洗设备为通过式清洗机，由出入段、室及室与室之间的间隔 3 部分组成。为了避免清洗液喷溅到设备的外面，清洗机一般设置有入口段和出口段，入口段和出口段的长度通常为 0.5~1.0 m。为了避免各室之间溶液的互窜，室与室之间均设置有间隔，其长度一般不小于挂具工件的 2 倍，或相当于 1 min 以上沥水时间内工件移动的距离。清洗机的两端设置有排风装置，以抽掉蒸汽，如果设备较长，还应在设备的中部增设排风点。设备配有自动输送装置、加热装置、过滤装置和排渣装置。

3.4 气相清洗及其组合清洗

以三氯乙烯为代表的氯代烃类气相清洗溶剂，脱脂力强，能够清洗各种液态油脂和污垢，适用于形状简单的大件和成批生产的中小件。工件经清洗后，表面残存的三氯乙烯等会很快挥发，不必进行烘干。按照工件的批量大小，可采用连续式或间歇式气相清洗生产。

3.4.1 溶剂蒸气清洗的特点

(1) 蒸发的溶剂蒸气不含污垢，是新鲜的溶剂，所以溶剂总能保持在清洁的状态下进行清洗去

污，气相清洗效率比喷射清洗效率高出 2~10 倍。

(2) 清洗后的工件受溶剂蒸气放热的影响而温度上升，可以快速干燥。干燥后的工件放置在比较干燥的室内或放在有干燥剂的密闭环境中，可以防止生锈。

(3) 液体溶剂中含有的污垢在清洗槽下部集中浓缩，便于集中处理。

(4) 清洗装置比较紧凑。

(5) 溶剂蒸气清洗是由溶剂蒸气与工件表面的温度差产生冷凝放热作用而清洗污垢。单槽蒸气清洗会在很短的时间内使被清洗的工件与溶剂蒸气之间的温度达到平衡，污垢溶解的过程也随之减弱。溶剂蒸气清洗的缺点是冷凝的溶剂均匀流动会造成工件表面上的凹陷部分或死角部位难以清洗干净。因此，需要采用多槽式蒸气清洗或组合清洗方式，才能达到更好的清洗效果。

(6) 清洗剂对污垢有很强的溶解能力，在正常工作条件下不会燃烧。清洗剂蒸气的密度比空气大而扩散率比空气低，使得从蒸气-空气界面逸向空气的溶剂损耗保持在最低程度。一般的气相清洗剂对常用金属无腐蚀作用。

3.4.2 清洗装置

(1) 间歇式清洗：由液相区、蒸气区（工作区）和自由区 3 部分组成。液相区高度一般为 150~300 mm，即加热器截面的高度加上浸没加热器的清洗液高度；蒸气区高度为工件的 1.5~2 倍；自由区高度为工件的 1.2~1.5 倍。间歇式清洗装置中清洗的工件类型、尺寸和质量可比较复杂。

(2) 组合清洗：工件表面若粘附凡士林、石蜡等固态或半固态的脂类污垢，仅采用氯代烃类溶剂作为清洗液，进行间歇式清洗，时间长、且不能全部清洗干净，因此可根据需要采用组合清洗。典型的三槽式蒸气清洗为：第 1 槽是超声波清洗与有机溶剂共同作用的浸泡清洗槽。第 2 槽是有机溶剂冷却冲洗槽，在这个槽中进行冲洗的同时也使工件表面温度降低，有利于提高第 3 槽中进行的蒸气清洗效果。在第 2 槽中装有冷却装置，溢出的有机溶剂从槽的机上方逆向流回第 1 槽中，使有机溶剂得到充分利用。第 3 槽是蒸气清洗槽，在清洗过程中，溶剂蒸气在工件表面冷凝并溶解污垢后在重力作用下回流到溶剂槽中。当溶剂中所含污垢浓度增大到一定程度后应送到回收装置中进行精制，去除污垢之后、清洁溶剂被送入溶剂罐，以便再次投入使用。经过蒸气清洗后的工件用喷射装置作进一步冲

洗，可获得较高的清洁度。

3.4.3 操作注意事项

具体操作时，应注意以下几个方面：(1) 气相清洗设备在不使用时，必须加盖密封；(2) 有机溶剂应密闭保存；(3) 对可能造成火灾的电器装置应集中管理；(4) 控制空气中溶剂蒸气的浓度；(5) 使用计量检测仪器；(6) 使用火焰报警装置。

3.5 超声波清洗

超声波清洗适用于几何形状复杂或清洗质量要求较高的中、小型工件，尤其是对工件上带有深孔、小孔、弯孔、盲孔等加工部位的清洗。超声波清洗也可作为最后的清洗，即工件装配之前的清洗。当采用其他清洗方法不能见效时，改用超声波清洗往往能取得较好效果。超声波对各种污垢都有很强的离解、分散作用，且可在各种清洗介质中进行清洗。利用超声波发生器产生的超声波，也能强化其他方式的清洗效果。

超声波清洗都是以一定的液体作媒质进行的。选择媒液应以能充分发挥超声波的作用，达到去除污垢目的为原则。根据清洗液的不同，超声波清洗分为两大类：使用水溶性清洗液的超声波清洗和使用有机溶剂的超声波清洗。

选择水溶性清洗液的超声波清洗，根据使用的频率又分为低频、高频、双频和调频等。

(1) 低频超声波清洗：频率一般为 15~20 kHz，特点为空化阈值低，泡沫量较少，但爆破力较强，清洗时间短，渗透作用较浅，噪音较大，适用于清洗大件或较厚的污垢。

(2) 高频超声波清洗：频率一般大于 30 kHz，特点为空化阈值低，空化泡沫较多，声波的渗透作用较强，可以渗透到零件表面的细孔、狭缝内。清洗的时间比低频要长一点，适用于清洗清洁度要求较高的小件或较为复杂的零部件。

(3) 双频超声波清洗：频率低频为 25~28 kHz，高频为 46~48 kHz。由于采用双频超声波，使得清洗缸内的驻波场均匀度有较大提高，从而有效地改善了清洗效果。

(4) 调频超声波清洗：单频超声波清洗在缸内形成驻波场，尽管双频清洗改善了清洗效果，但在某些地方还是不免存在一定的驻波波节。采用调频清洗，并且有一定的带宽，则声波场的均匀度更好。换能器本身的带宽也相应按要求加宽。

超声波清洗要达到较好的效果，除要根据清洗

工件形状和材料性质选择适当的清洗方法、确定超声波频率外，还要注意以下问题：（1）克服空穴产生的不均匀性；（2）克服由于超声波被反射而造成的效果不均匀性。

3.6 多步清洗

多步清洗是将上述各种清洗方法综合后组成连续清洗生产线。各步清洗按一定的生产节拍依次分担局部清洗，生产节拍能达到 0.5~2.0 min，生产效率较高。因此，多步清洗适用于大批量生产中清洗质量要求较高的工件。应用多步清洗工艺，可将形状复杂或污垢严重的工件分解到各个工位进行清洗，能够满足较高清洁度的要求。

多步清洗生产线中，多步清洗工序安排应遵循如下基本原则：

（1）初步清洗：主要清洗严重的油脂污垢，以减轻以后各步工位的清洗负担，初步清洗常用浸洗方式，也可采用二次浸洗方式。

（2）中间清洗：一般针对工件不易清洗干净的部位，如盲孔、凹槽、起伏不平的表面等进行局部清洗或反复清洗。清洗的方法常有超声波清洗、气相清洗或喷洗等组合。

（3）最终清洗：必须达到规定的清洁度和防锈要求，各种清洗方法都可采用。

4 清洗工艺的选择

根据清洗工件的大小、形状和污垢的种类等具体情况，确定清洗材料后，根据下列因素选择适宜的清洗工艺，包括清洗方法和设备。

（1）根据污垢不同的化学组成与物理状态，选择不同的清洗液和清洗工艺，以保证工件的清洗质量，达到所要求的清洁程度。

（2）根据清洗工件的不同材质和表面粘附油污的严重程度，确定清洗液 PH 值的范围，参见表 3。

表 3 工件对清洗液 PH 值的要求

工 件		PH值
黑色金属	重油污	12~14
	轻油污	9~12
有色金属		7~11

（3）按清洗零件的大小、表面形状选择清洗工艺，可选用单一的清洗方法或分步清洗组合的方法。表面形状复杂，特别是多孔和有盲孔的工件，不适宜采用喷洗；大型箱体、壳体不适宜采用浸洗和超声波清洗。

（4）根据工件批量的大小确定工艺，批量大的必须采用自动化程度高的喷淋清洗方法。

（5）根据清洗作业场所的劳动卫生 and 环境保护等要求，优先选择对人体与环境危害最小、原材料易得、操作简单的常压喷洗和多步清洗方式。

（6）清洗设备有效清洗容积要符合清洗工件的最大结构尺寸，清洗室承重装载需满足单件工件的最大质量，并能够承受吊装时的冲击载荷。

（7）喷嘴射流形式及喷嘴布局要合理，直接喷射覆盖率不能低于 95%，喷嘴流通截面与泵流量、工件移动方式与速度要匹配。

（8）设备结构应先进合理，在满足清洗要求的基础上，尽量提高容积的利用率和面积利用系数，同时有利于维护保养。

（9）粗洗液箱中必须设置过滤和清污功能，以防止清洗喷嘴堵塞和便于清除污物。精洗或漂洗系统必须设置清洗液净化装置，以保证对清洁度的要求。清洗用的喷嘴应采用可拆卸的独立喷嘴，以便更换和清污。

（10）选用的清洗工艺，应考虑工艺参数对工件的影响。例如：高温清洗有利于去除油污，但对于精密工件，碱性清洗液易破坏金属表面的光洁度，产生碱点；高温清洗还会使工件变形，影响尺寸的测量精度。

5 清洗效果评价方法

清洗是从金属表面清除固相或液相污垢，使其达到一定清洁度的过程，清洁度是指表面污垢量在允许范围内的一个指标。清洗可分为 3 个等级：粗洗、精洗和组合清洗。

清洗工件质量的检查，一般只是凭视觉和触觉加以判断，但对于微量的污垢和高清洁度的检验，国内各个生产厂家尚没有统一的规定标准。通常所采用的几种检验方法，是参照国外有关工件清洗质量的标准，结合国内实际的生产情况而制定的。清洗效果的评价方法分为定性和定量两大类。

5.1 定性评价方法

在生产现场除用肉眼观察外，常采用以下几种定性评价方法。

（1）擦拭法：用干燥清洁、不起毛的布（如纱布）或白纸，对工件表面进行擦拭，根据布和纸脏的程度判断表面的清洁度，本方法简单但不精确。

（2）水膜法：把清洗后的工件浸泡在水中，使物体表面与水面成垂直，向上提起，离开水面 10 s 后，工件表面形成的水膜能均匀地沾满全部表面，

则说明清洁度高；如工件表面出现水珠，则说明清洗不够干净。对于大型工件，如清洗的是水平表面，则将工件倾斜放置，使此表面与地面呈 30° 角度，静止 30 s 后，如表面无水珠现象，表示工件基本清洗干净。

(3) 喷雾法：用喷雾器按 150~300 mm 间距，把染色的微粒状水滴喷射到清洗后干燥的工件表面上，通过形成水滴的情况判断清洁度。清洗干净的表面，喷雾后 30 s，微粒状水滴会在表面上均匀地润湿铺展，覆盖面大，而且干燥后凝聚水膜周边呈规则的圆形。

(4) 荧光法：利用清洗后的试件表面上存在的油污可产生荧光（即油污等物质在紫外线的作用下能够发光）的原理，检测清洗质量。经清洗后的试件表面采用紫外线发射器照射，随后用光电管观察表面的发光量，由此间接评价表面的清洗质量。

(5) 验油试纸法：在 GB/T13312—1991《钢铁件涂装前除油程度检验方法》中规定了除油程度的检验方法和评定。

5.2 定量评价方法

常用的清洗质量定量评价方法有重量法和接触角法 2 种：

(1) 重量法

重量法检测有 2 项工艺要点：其一，试件上所沾附的油污应为统一配制的人工油污，这样才有可比性；其二，对试件清洗后称重时，要求分析天平精度为 0.1 mg。

常见的油污以 30 号机油为主要组分。将试件于 25±5℃ 温度下浸入油污中 1 min，取出后沥干 2 h，再用滤纸吸取试件下端残留油滴，然后经分析天平称重，设其质量为 W_1 。把此试件清洗后烘干，再称重，记为 W_2 。试件表面残留的油污量为 $(W_1 - W_2) / S$

清洗效率评价的计算式为：

$$(W_1 - W_2) / (W_1 - W) \times 100 (\%)$$

其中： W 为试件的质量； W_1 为试件浸油污后的质量； W_2 为试件浸油污后烘干的质量； S 为试件的表面积。

GB 3821—1983《中小功率内燃机清洁度测定方法》中规定了对发动机总成和零部件的清洁度的测定，用符合 GB 1922—1980 标准的 NY—120 溶剂油溶解残留污垢，并称其质量测定杂质质量。

(2) 接触角法

接触角法是将定量的水滴滴在需要检验的工件

上，通过接触角测定仪测量水滴与工件表面形成的夹角 θ 的大小来评价工件表面的清洁度。接触角 θ 越大，说明工件表面憎水性越强，清洗效果就越差。接触角法只适合于测定平滑的工件表面清洁度。

6 清洗缺陷及解决措施

清洗工艺在逐步向中、低温清洗方向发展的过程中，会出现一些清洗缺陷影响清洗效果，常出现的缺陷及解决的措施如下。

1) 可见残油

工件的表面局部或大面积有可见残余油污，工件表面不亲水。残油形成的原因有 3 个：

(1) 工件的局部油污过重，尤其粘附的是粘度大的蜡类、凡士林类、带有羊毛脂类的防锈油。解决的措施是：先采用有机溶剂擦或洗去重油污，再进行清洗或提高清洗温度，增加清洗次数。

(2) 清洗槽中表面油污太多，造成工件出槽时油污重新粘附在工件表面上。解决的措施是：对于乳化能力弱的清洗剂，一般每天清理槽液上的油污 1~2 次，且工件出槽后，最好用热水冲洗；也可以补充清洗剂或增加流动水清洗的次数；清洗槽中含油量高时，必须更换清洗槽液。

(3) 喷嘴堵塞，流量不足。解决的措施是：应定期检查喷嘴状况，发现喷嘴堵塞时，及时进行清理；清理不通的喷嘴，应及时进行更换。

2) 泡沫溢出槽外

在喷淋清洗过程中，清洗槽中泡沫从槽中溢出，污染了操作环境，同时无法保证清洗液的工作液浓度，从而影响了工件的清洗效果。有 2 个原因：

(1) 清洗剂自身的泡沫多，不适宜高压喷淋工艺。解决的措施是：及时补充消泡剂；更换清洗剂，选用少泡、无泡的专用清洗剂。

(2) 清洗槽温度太低或喷淋压力过大。解决的措施是：提高槽液温度或减少喷淋压力。也可在清洗剂中添加少量有机硅类、挥发性石油溶剂或戊醇等消泡剂。

3) 存在不可见的油膜

工件的表面有一层肉眼不可见的油膜，用水冲洗时，工件表面有亲油现象。形成的原因有 2 个：

(1) 清洗不彻底，显示表面活性剂的亲油现象。解决的措施是：选择合适的清洗剂和清洗工艺，防止工件表面的亲油现象。

(2) 清洗液 PH 值降到 6.5~7.5 时，清洗性能

降低，清洗液中的油污又重新沾附在工件的表面上。解决的措施是：更换清洗液或增加清洗液的过滤次数。

4) 表面碱点

清洗后的工件表面残留有碱性清洗液，会影响下道工序涂层的附着力，也会因吸潮易产生锈蚀。解决的措施是：增加漂洗工序，一般采用 60℃左右的热热水去除工件表面的碱性清洗液。

5) 清洗后的工件生锈

清洗后的工件经过漂洗后，还没有进入下道工序就生锈，其原因有：清洗工序与下道工序间隔时间太长或漂洗后生锈；清洗机停机时，被清洗的工

件还滞留在清洗机内，高湿的环境造成锈蚀。解决的措施是：清洗后的工件表面用压缩空气或热风吹干，在工序间增加防锈措施或在漂洗槽中增加少量的防锈材料；停机时，清洗机内不允许停放被清洗的工件。

7 结论

发动机零部件的清洁度，主要由清洗工艺来保证，要提高零部件的清洁度必须从加工件的清洗质量做起。清洁度是衡量发动机零件清洗质量的标准。清洗技术是保证零部件清洗质量的一个重要环节。零部件的清洁度已成为反映工厂清洗技术水平和水平的一个综合评价指标。

(上接第 3 页)

由以上分析可以看出，冷启动 THC 排放峰值随着空燃比的加浓成下降趋势。启动空燃比在 12.8 至 13.5 之间时，下降的幅度最为明显，之后下降幅度趋缓。启动空燃比在 11.9 至 12.8 之间时，空燃比的回归速率将会对 THC 排放起主要作用。回归速率快，不容易建立稳定的油膜平衡，其排放值较高。回归速率慢，混合气过浓，导致原始发生量高，其排放值同样较高。最佳的空燃比回归速率应在 0.85/s 左右。

5 结论

对于不同的发动机，不同的进排气系统和供油系统，通过对空燃比的标定，都可以达到一定的降低排放的效果。

(1) 但冷启动过程是一个十分复杂的非线性动态过程，空燃比的设置尽管可以在一定程度上表现动态的变化趋势，但它始终是一种静态的补偿机制，无法对发动机的状态参数做出准确跟踪，并存在补偿盲区，无法完全控制空燃比的状态。因此，冷启动过程初始阶段的空燃比偏移脉冲还是无法避免。对于冷启动过程中排放的控制，标定参数永远只是一个范围，而非一个具体的数值。

(2) 建立完善的发动机动态模型，改进发动机

的控制方法，是解决空燃比偏移进而降低冷启动排放的可行途径。利用发动机的进排气特征模型、油膜蒸发模型和转动惯量模型形成完整的发动机动态控制模型，以进气量和发动机转速作为输入参数，在模型中预测发动机充气状态和油膜蒸发的变化趋势，实现对发动机空燃比的完全控制，将会大大提高 THC 排放的精确控制。

参考文献

- 1 Schwarz J. Air Pollution and Hospital Admissions for the Elderly in Detroit, Michigan [J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 1994, 150 (3) : 648-655
- 2 陈立明, 朱辉, 郭少平等. 十五工况试验模态分析用于匹配过程的研究[J]. 车用发动机, 1998(3): 47-53.
- 3 黎苏, 董正身, 张旭等. 汽油机非稳定加速工况燃烧放热率计算模型的修正 [J]. 内燃机学报, 2000, 18 (3): 275-278.
- 4 Chen Y, Wang J X, Zhuang R J, et al. Analysis of Combustion Behavior During Cold-Start and Warm-Up Process of SI Gasoline Engine. SAE 2001-01-3557.