

■ 一汽解放汽车有限公司无锡柴油机厂/朱 炜 陈 磊



发动机装配线泄漏检测技术

泄漏检测技术在发动机生产线上被普遍采用,如机体水道、油道,缸盖水道,缸盖气门,机油冷却器总成及发动机总成等均要进行泄漏检测。发动机零部件在装配过程中,由于零部件本身的缺陷、装配不到位等原因会导致发动机的水道、机油道和燃油道等出现渗漏。在发动机装配过程中,若能对各种零部件的装配状态及时采取相应的泄漏检测,不仅能减少整机返工,提早预防三漏,降低维修成本,减少热试时的能耗,而且还能提高生产效率,提升发动机的装配质量,提高整线自动化程度。

泄漏检测技术

泄漏检测方法有很多种,根据检测介质不同,可以分为水压泄漏检测和气压泄漏检测两大类。

1. 水压泄漏检测

水压泄漏检测是指向检测工件充入一定压力的水,通过观察其外表面是否有水渗出,来判别检测工件是否存在泄漏。此方式由于生产效率很低,目前已逐步被淘汰。

2. 气压泄漏检测

气压泄漏检测一般采用干燥空气作为介质,向检

测工件内充入压缩空气,来判断工件是否存在泄漏。根据检测方式不同,气压泄漏检测又可分为湿式法和干式法。

(1) 湿式检测 湿式检测是指向检测工件内部充入压缩空气,然后将检测工件浸入水中,人工观察水中是否有气泡产生来判断工件是否存在泄漏。此方法虽能很快找到泄漏部位并得到修复,但存在以下缺点:作业环境差,劳动强度高,生产效率低;测试成本高;存在误判率较高;无法实现自动化。

(2) 干式检测 干式检测是指向检测工件内部充入定量压缩空气,通过泄漏检测仪器内部的传感器所测得的气体泄漏率,来判断检测工件是否合格。干式检测具有以下优点:可靠性高;测试时间短;测试精度高;测试结果有客观评判;不损伤工件,使工件保持干燥;在生产线上能实现自动测量;使用成本较低;易于标定。

干式泄漏检测技术原理

干式泄漏检测一般有两种测试原理:压力测量和流量测量。压力测量分为绝对压力法和压差法,这两种测量方法均可测量压力降或压力升。流量测量又可

分为质量流量法和体积流量法。

1.绝对压力法

绝对压力法检测原理如图1所示，首先向检测工件内部充气，经过平衡后，由压力传感器测得工件内部压力的变化，并通过系统计算得出泄漏率，来判断工件是否合格。绝对压力法在检测过程中，一般由预充气、充气、平衡及测量四个步骤组成（见图2）。

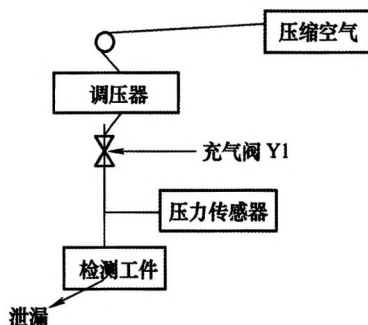


图1 绝对压力法检测原理

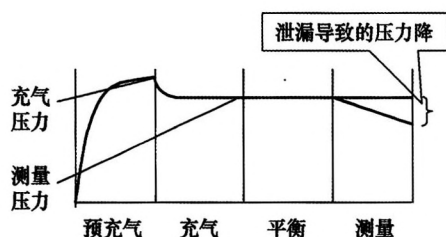


图2 绝对压力法测量检测步骤

绝对压力法具有结构简单、自身容积小、测量范围大及经济实用等特点。由于其采用同一个压力传感器进行工作压力和压力降的测量，所以在工作压力要求较高的情况下，分辨率会下降。因此，采用绝对压力法检测的分辨率会随测试压力的升高和测试容积的增大而降低。

2.压差法

采用压差法检测时需预先准备一个与检测工件体积、材质一样的标准容器（如条件允许尽量采用标准工件）。压差法检测原理如图3所示，泄漏仪分别与检测工件和标准容器相连，并同时向两者内部充气，经平衡后，由压差传感器测量出检测工件与标准容器内的压力差，通过系统计算得出泄漏率，从而判断检测工件是否泄漏。压差法检测的步骤与绝对压力法相同，也是由预充气、充气、平衡及测量四个步

骤组成。

与绝对压力法相比，由于压差法采用了单独的差压传感器对压力降进行测量，因此，更适合泄漏率较小、测试压力较高或测试容积较大的情况。

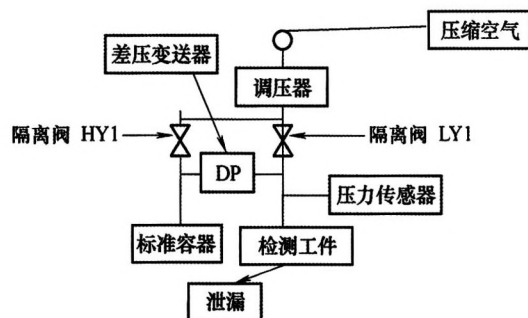


图3 压差法检测原理

3.质量流量法

质量流量法检测的原理如图4所示，直接通过泄漏仪内部的流量传感器测量被测工件，由于泄漏造成的气体流量，它不需要进行压力和流量之间的换算，因此检测的分辨率不受试件容积大小的影响。图5是质量流量法的检测步骤。

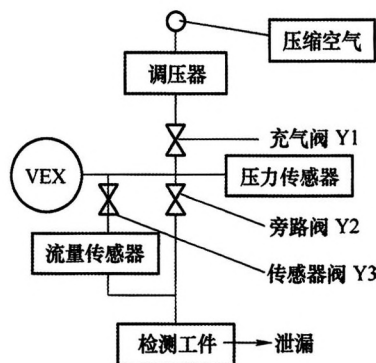


图4 质量流量法的检测原理

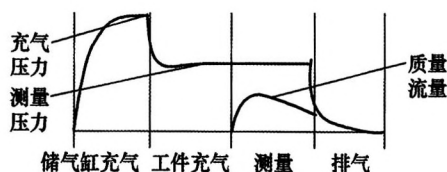


图5 质量流量法检测步骤

4.体积流量法

体积流量法是通过计算单位时间内通过层流管的气体体积来判断是否合格，一般用于流量监控。

发动机整机试漏的典型应用

在某系列重型柴油机装配线上，需进行发动机整机试漏。根据发动机曲轴箱油道较大、泄漏较小且试漏时间短的特点，采用质量流量法进行检测。此外，考虑到发动机整机试漏需要检测水道、油道以及水道、油道互漏的因素，试漏仪需要配置双通道。与相关设备厂家进行了深入交流，并在工件上进行了反复模拟试验、论证，经过工艺试验比较效果，最终选用了FROECHLICH公司的MFL400系列双通道泄漏检测仪。

1.系统组成

考虑到整线生产节拍130s的制约，采用三个并联式试漏工位同时作业，并且在工件封堵方面尽量考虑采用以自动封堵为主，手工封堵为辅的原则进行设计。整机试漏工位封堵结构布置如图6所示。

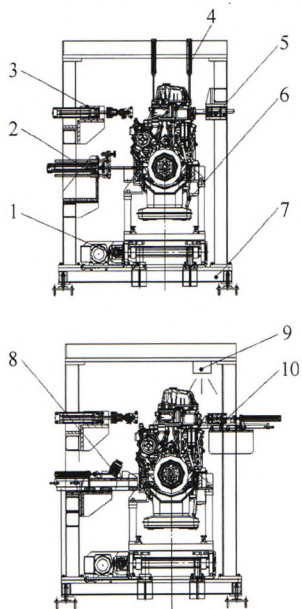


图6 整机试漏封堵

- 1.定位机构 2.机滤封堵 3.排气口封堵 4.顶部压紧机构 5.进气口封堵
6.工件 7.设备底座 8.水泵进水口封堵 9.光源 10.进气侧反力机构

整机自动封堵机构到位后，还至少需要配置以下硬件（见表1）。

表 1

名称	型号规格	数量	备注
试漏仪	MFL400	三台	每个工位各一台
油道储气罐	20L	三个	每个工位各一个
水道储气罐	2.2L	六个	每个工位各二个
手工封堵工装	定制	三套	每个工位各一套

(续)

名称	型号规格	数量	备注
过滤阀	WILK-ERSON	六套	为防止排气时工件内部杂质损坏试漏仪
进气气源	0.5~0.6Mpa	三套	需高于工件充气压力0.1~0.15MPa
系统气路	硬质尼龙管	一套	测试管路必须使用硬质尼龙管、尽可能短，并固定。

2.设备调试

在试漏设备搭建好以后，必须对设备本身的系统进行检测，查看设备的管路、联接件及封堵夹具是否存在泄漏。在完成设备系统自检后，即可开始试漏仪的标定工作。

3.设备标定

在设备标定时，首先需要挑选一个尽可能密封的标准样件。选择的标准样件密封性的好坏，直接关系到试漏仪标定的结果，甚至影响今后测试工件的准确性。在生产的发动机中（一般推荐生产至少50台以上），挑选一台泄漏率最小的作为标准样件来进行试漏仪的系统标定。

目前，FROECHLICH公司共有两款标测定仪，分别为LK20和LK1000，量程及分辨率见表2。

表2 标测定仪量程及分辨率（单位：cm³/min）

名称	量程	分辨率
LK20	± 20	0.01
	± 100	0.1
LK1000	± 999	1

根据检测工件的泄漏率限值，可选择LK20来标定水道及水道、油道互漏。曲轴箱的标定可采用LK1000标测定仪。

4.设备测试稳定性验证

在设备标定后，还需对设备测试的稳定性加以验证。设备测试稳定性的验证一般采用重复精度验证法或重复性再现法。由于本案例中设备采用自动封堵为主，手动封堵为辅的方式，因此，采用前者对试漏设备进行重复精度验证即可。只有重复精度满足要求，才能说明该设备的试漏系统稳定、可靠。重复精度验证法通常采用标准偏差法或极差值法。

(1) 标准偏差法 标准偏差法是以测量能力指数C_g值来评定，一般情况下C_g≥1.33时，可判定该试漏设

备的试漏能力合格。

在进行 C_g 值计算时，需要对标准件连续进行50次的重复测试，并记录每次的泄漏率，通过以下公式得出 C_g 值：

$$C_g=0.2V_L/4S$$

其中 V_L 为被测量产品允许的最大泄漏率， S 为标准偏差。

(2) 极差值法 目前，极差值法在国内被广泛采用。其特点是测试工作量较小，数据处理较简单。在采用极差法进行测试时，需要对标准件连续进行10次重复测试，根据测试结果得出泄漏率最大值 $Q_{\max}$ 及最小值 $Q_{\min}$ ，然后通过以下公式进行评定：

$$(R/V_L) \times 100\% \leq 10\%$$

其中 $R=Q_{\max}-Q_{\min}$ ， V_L 为被测量产品允许的最大泄漏率。

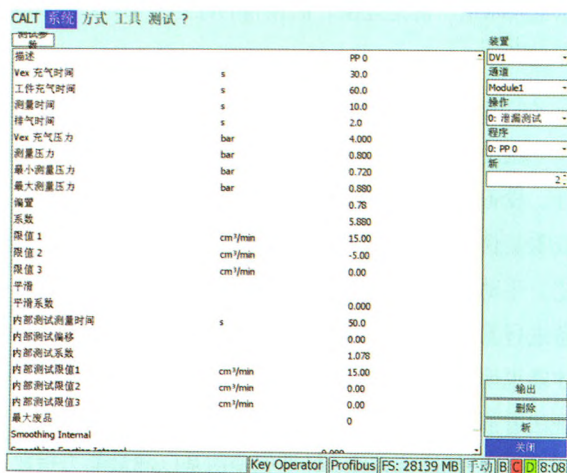
在采用极差值法和标准偏差法均满足其标准的情况下，采用标准偏差法的可靠性比极差法高20%左右。

5. 泄漏测试参数说明

通过对国内外同行的调研，并结合我厂发动机的结构特点，在试漏设备投入试生产前，制定了泄漏测试参数（见图7和图8）。此试行工艺在前期的试生产中将不作为判别柴油机装配质量的依据，只作为数据积累，以通过故障收集及分析，来制定合理的整机泄漏率限值。在试生产期间，柴油机的三漏仍以热试结果作为判别依据。

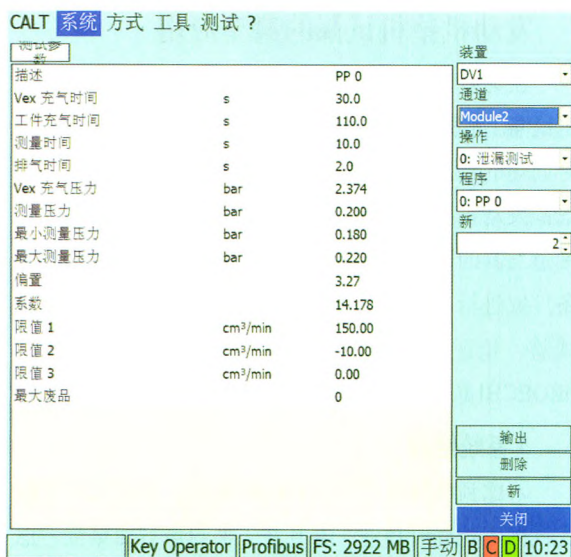
对于泄漏参数的设定，有以下几点需要进行阐述：

1) 通道1负责水道及水、油道互漏的泄漏情况的



描述	单位	PP 0
Vex 充气时间	s	30.0
工件充气时间	s	60.0
测量时间	s	10.0
排气时间	s	2.0
Vex 充气压力	bar	4.000
测量压力	bar	0.800
最小测量压力	bar	0.720
最大测量压力	bar	0.880
偏差		0.78
系数		5.880
限值 1	cm³/min	15.00
限值 2	cm³/min	-5.00
限值 3	cm³/min	0.00
平滑		
平滑系数		0.000
内部测试测量时间	s	30.0
内部测试偏移		0.00
内部测试系数		1.078
内部测试限值1	cm³/min	15.00
内部测试限值2	cm³/min	0.00
内部测试限值3	cm³/min	0.00
最大废品		0
Smoothing Interval		

图7 水道及水道、油道互漏检测参数



描述	单位	PP 0
Vex 充气时间	s	30.0
工件充气时间	s	110.0
测量时间	s	10.0
排气时间	s	2.0
Vex 充气压力	bar	2.374
测量压力	bar	0.200
最小测量压力	bar	0.180
最大测量压力	bar	0.220
偏差		3.27
系数		14.178
限值 1	cm³/min	150.00
限值 2	cm³/min	-10.00
限值 3	cm³/min	0.00
最大废品		0

图8 油道泄漏检测参数

检测；通道2用于油道泄漏情况的检测。

2) Vex充气压力为工厂所能供给的最低气源压力，此最低气源压力必须保证，否则将无法保证达到所需的测量压力，从而影响泄漏检测的准确性。若工厂确实无法保证此最低气源压力，则可通过增加储气缸数量或降低测量压力来解决。

3) 最小测量压力和最大测量压力一般设定为测量压力的 $\pm 10\%$ ，也可以略低。

4) 泄漏测试参数的限值分别用于设置泄漏率的上、下限。在通常情况下，不建议将限值的下限设置为0。因为在设备标定时采用的标准机并非是非零泄漏，在实际生产中有可能出现比标准机泄漏率更小的产品，因此，建议水道的下限可设置为 $-5\text{cm}^3/\text{min}$ 左右，油道的下限可设置为 $-10\text{cm}^3/\text{min}$ 左右。

5) 在生产过程中，若增加新的机型品种，需首先确定测试内腔的容积是否发生了变化，若发生了变化，需要对泄漏参数中的偏差与系数重新进行标定。

6. 测试参数的优化

在几个月的试生产中，每月持续对整机试漏数据进行汇总，并结合柴油机热试出现的三漏故障进行分析、研究，通过优化装配工艺、细化操作培训、提高装配质量、改进零部件质量等一系列的改进措施后，整机水道的三漏情况得到了很好的控制（见图9），油道的泄漏率呈下降的趋势（见图10）。随后，对油道泄漏率的上限进行了优化，由 $250\text{cm}^3/\text{min}$ 修正至 $150\text{cm}^3/\text{min}$ ；水道及水道、油道互漏的泄漏率限值仍

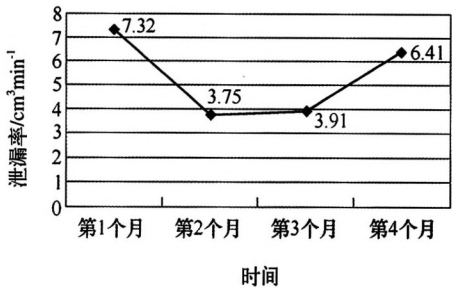


图9 试生产期间水道泄漏率统计

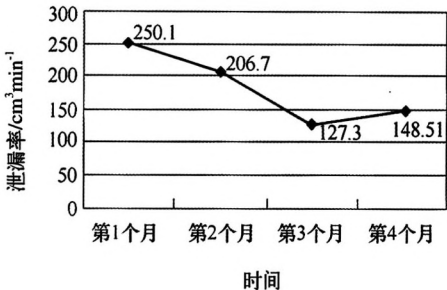


图10 试生产期间油道泄漏率统计表

保持不变。

此外，在分析热试三漏故障所对应的整机泄漏率时，发现有些三漏故障的泄漏率会低于所设定的泄漏率上限，而有些部位只要发生三漏故障，泄漏率会大大超过泄漏率上限。因此，不能将所有的故障部位的泄漏率都笼统地设置为同一数值，而需对特殊的三漏故障部位有针对性地进行泄漏率的修正见表3。

结合表3，进行以下说明：

- 1) 在泄漏检测过程中，若发生泄漏率超差，首先需对上述20种常见泄漏部位采用皂泡法进行漏点的查找。生产厂家一般会采用肥皂液来进行漏点的检测，肥皂液调配的稀稠得当将会直接影响检漏的效果：太稀了易于流动和滴落而造成误检，太稠了透明度差，容易漏检，而且其所混入的气体也可能形成泡沫而造成误检。国内很多合资企业均采用来自德国的OKS2811检漏剂，检漏效果较好，但生产使用成本较高。
- 2) 若在泄漏率超差的情况下，无法找到泄漏部位，则该发动机须挂标签下线，由热试线进行重点跟踪。
- 3) 若发现了新的漏点，操作者须及时报告检验，由其判断是否需要返修或挂标签下线，由热试进行三漏验证。

表3 常见的20种三漏故障部位泄漏率限值

(单位: cm³/min)

检测部位	拆检泄漏率	检测通道	备注
节温器暖水阀开关接头	4	水道	
空压泵进、出水管	15	水道	同水道泄漏率上限
小循环接管	15		
水泵总成结合面	15		
冷却器与机体结合面	15		
节温器传感器	15		
节温器B03闷头	—	水道	发现该漏点即返修
机冷器放水开关漏	—		
缸盖砂眼（裂纹）	140	油道	同油道泄漏率上限
油泵润滑油管漏	230	油道	
喷油泵增压补偿管	240		
缸盖后端半圆块侧碗型塞片漏	250		
空压泵与钢板结合面漏	295		
飞轮壳裂纹	300		
盖罩螺栓	1100		
油泵与钢板结合面	1100	油道	发现该漏点即返修
钢板与飞轮壳结合面	—		
呼吸器	—		
机体、缸罩砂眼（裂纹）	—		
空压泵进、出气口	—		

- 4) 每月月初，对上月的热试及市场三漏反馈进行汇总、分析，以判别是否需对当前的三漏部位及整机泄漏率限值进行修正、优化。

结语

目前，经过试生产的验证，该系列装配线上发动机整机试漏检测已正式投入生产，发动机的装配质量得到了良好的监控，在总装线上能及早发现并解决三漏，达到了预期的效果。随着泄漏检测技术地不断发展，泄漏检测将会更多地运用于生产线上。

关键词：
 泄漏检测技术 发动机 装配线

(收稿日期20130611)