

汽车工业中的检漏



检漏的综合性指导

前言

对于整个汽车行业，质量保证已成为越来越重要的问题，要求也越来越高。制造商要求供应商提供无漏的零部件。车辆零部件制造商大量生产中制定的泄漏必须不能超过而产生泄漏，无论它是油底壳，制动助力器还是喷油嘴。

至关重要的是无物质可从漏孔中泄漏，例如空调系统中的冷媒，自动变速箱液力变矩器中的变速箱油，或安全气囊气体发生器中的氩氦混合气体。随着对无漏部件需求的增长，严格的法规可导致新的更高的密闭性要求。设想，有关对碳氢化物排放严格管理的美国加州法规（LEVIII）对燃油箱和燃油管路泄漏率要求的含义。

工业泄漏探测和检漏不是一个简单的事情，一定要慎重考虑和选择适当的方法。对于一个特定的应用，什么样理想的检漏方法取决于许多因素。灵敏度是重要的，试漏方法的报警设置上的检测漏率准确性和集成在生产线上测试所能达到的周期时间，测试过程的重复性和可靠性以及基于特定测试方法的经费支出和运行成本也应考虑。

第 1 部分 试漏的基础

- 第 7 页

本电子书提供在汽车工业中应用的各种检漏技术的概况, 可划分为两个部分.

第 1 部分涉及一般的试漏原理. 现有的方法: 气泡测试, 压力衰减测试, 和在常压环境或真空室中的氦测试. 说明每种方法的优缺点, 并列举了每种方法的典型事例. 讨论了最常用的探索气体 – 氦, 氢和氮混合气体, 以及运行的介质如 R1234yf 或 CO₂. 并说明各种漏率单位, 如大气压·毫升/秒, 标准大气压·毫升/分, 毫巴·升/秒和克/年.

第 2 部分 试漏在汽车工业中的应用

- 第 25 页

在本电子书的第二部分中概述试漏和检漏过程在汽车工业中的应用. 它包含被测试的汽车元件采用的方法和漏率说明. 这个部分还提供某些有关在最近的将来预期提高密闭性要求的可能性, 包括空调系统, 驱动系统排放和任何与安全直接相关的汽车部件.

第 2 部分举例说明应用老方法, 如气泡测试, 压力衰减和差压方法的不足. 这些方法有时给出测试结果虚假的安全感. 最后, 但并非不重要, 在第二部分的末尾, 阐述有关在试漏中最常见的 10 种失误. 这些包括被污染的试件, 忽视测试过程中温度和压力变化, 和未知的蠕变性漏孔和大漏孔.

本电子书提供可靠的检漏指导以便遇到问题时参考. 然而, 要避免诸多可能的检漏失误的唯一途径是正确地熟知知识. 正确地选择, 安装和运行最佳的测试程序, 以及理想的测试台或系统是您成功的关键.

联系 INFICON, 您检漏方案的伙伴, 将为您解决任何可能遇到的问题.

目录

第 1 部分 检漏基础

1.1 不用探索气体的方法	8
1.1.1 气泡测试	8
1.1.2 喷肥皂液测试	10
1.1.3 空气压力测试	11
1.1.3.1 压力衰减测试	11
1.1.3.2 差压测试	12
1.1.3.3 升压测试	14
1.2 用探索气体的方法	15
1.2.1 氮探索气体	15
1.2.2 氢探索气体 (氢氮合成气体)	15
1.2.3 工作液体作为探索气体	15
1.2.4 内出和外进方法	16
1.2.5 真空法	17
1.2.6 累积法	18
1.2.7 高真空中的累积法	19
1.2.8 吸枪检漏	19
1.2.9 抽空, 充注, 气体回收	20
1.3 漏率和泄漏类型	21
1.3.1 泄漏类型	21
1.3.2 漏率单位	21
1.3.3 漏率大小	22
1.3.4 影响漏率的因素	23

第 2 部分 汽车工业中的试漏

2.1 漏率设置日趋严格	26
2.2 组件、方法和典型漏率	29
2.2.1 空调	29
2.2.2 动力系统	31
2.2.3 燃料系统	32
2.2.4 机油和冷却回路	33
2.2.5 安全功能	34
2.2.6 轮毂, 减震器和其它元件	35
2.3 10 个检漏过程中常见的错误	36
2.3.1 使用和漏率不匹配的错误的测试方法	37
2.3.2 在生产过程中选择错误的测试时间点	37
2.3.3 试件已污染	38
2.3.4 忽视温度的变化	38
2.3.5 测试压力波动	39
2.3.6 低估蠕性漏孔和大漏测试	39
2.3.7 测试者不知道实际测量的是什么	40
2.3.8 测试设备未校准	41
2.3.9 忽视对测试系统的维护	41
2.3.10 我们能自己做	42

附录

3.1 网页链接	44
3.1.1 视频	44
3.1.2 试漏应用的说明	45
3.2 图源说明	46
3.3 有关 INFICON	47
3.4 INFICON 参考客户资料	48
3.4.1 乘用车制造商	48
3.4.2 重型汽车制造商	48
3.4.3 汽车部件供应商	49
3.5 联系方式	51

第 1 部分

检漏的基础

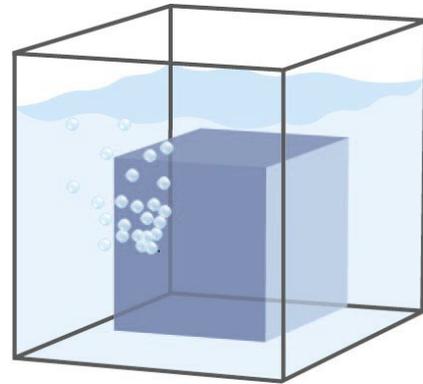


1.1 不用探索气体的方法

1.1.1 气泡测试

水检测，通常称为气泡测试，是从试件上不断出现简单的气泡。气泡测试源于自行车轮胎的检测方法也可良好地工作于生产中。在气泡测试方法中，首先将试件内充入压缩空气和接着将它浸入水槽中。测试者接着观察是否出现水泡。在理想情况下，测试者还能看到气泡从何处出来。气泡测试的目的不仅是整体试漏，而且还用于漏点探测。测试不仅用于鉴别泄漏是否存在，还能辨别漏孔的部位。

为节省成本，通常采用空气测试。在生产条件下，它能可靠地鉴别高至 5×10^{-2} 毫巴·升/秒（每秒五百分之一毫巴·升 = 0.05 毫巴·升/秒）。



水检测：如同测试自行车轮胎那样的简单

在这个漏率下有相对清晰和可见的气泡流，尽管是慢的。对于更小的漏孔，必须将试件浸在水下，相当长时间才能出现一个气泡。



气泡测试的检测限值与试件的几何形状有关

在文献资料中，通常引用理论的检测限值（最小的几乎不能看见的可检漏率）高至 1×10^{-4} 毫巴·升/秒。在理想条件下，漏率 1×10^{-3} 毫巴·升/秒 (= 0.001 毫巴·升/秒) 每秒将产生一个气泡。漏率为 1×10^{-4} 毫巴·升/秒时，形成单个气泡需 30 秒。在实际应用中，这个方法的检测限值大大下降，取决于试件的几何形状和某些其它因素。

气泡在自由水中通畅地上升通常受到具有复杂外形试件的阻碍。况且，如漏孔是多孔性的 – 例如铸件中 – 在大多情况下将无气泡形成。多孔性漏孔通常由数百万个非常小的孔构成，它们积聚在一起形成相当大的漏率。然而，由于水的表面张力，每个孔的孔径太小不能让足够的空气输出形成气泡。

乍看起来，气泡测试是非常简单和廉价的，但是这个方法有某些缺点。主要问题之一是经过气泡测试后，试件是潮湿的，必须将它干燥。这个步骤费时和费钱，但为避免任何随后的由于腐蚀引起的损坏是必须要做的。这个方法不适用于不能容忍潮湿的试件。

另一个限制的因素是试件测试的人员，或称人为因素。气泡是否被检测到与测试的人员有关。

另一个不能低估的问题是，是否能清晰地看到试件和气泡。如试件的形状复杂，或不能看到漏孔的位置，测试人员将看不到气泡的出现。此外，不可避免的过程污染。在四至八周后测试槽中的水变得浑浊 – 有时甚至在一天内，取决于试件的条件 – 从而必须更换。这通常产生附加成本。为促进气泡的形成，通常在水中添加降低水表面张力的化学物质。从而处置槽中的水时，必须作为危害性废物处理。

1.1.2 喷肥皂液测试

喷肥皂液测试与气泡测试方法相似。在这两种情况下，测试人员测试时必须观察气泡的形成。用喷肥皂液测试时，必须用压缩空气（或其它气体）充入试件中。但并不将试件浸入水中，而是用能形成泡沫的液体喷射可能存在漏孔的部位。如这个部位存在空气漏孔，液体将变为泡沫。

喷肥皂液测试的优缺点基本上与气泡测试法相同。程序简单和相对廉价，但成功与否取决于测试者的机灵程度和个人技能。此方法不能用于怕湿的试件，



有泄漏的连接部位易于识别的气泡



简易的步骤：螺纹连接处的肥皂泡测试

用这种方法不能检测的小漏孔。喷肥皂液测试的理论检测限值约为 1×10^{-3} 毫巴·升/秒。然而实际其检测限值差于气泡测试 (5×10^{-2} 毫巴·升/秒)。

喷肥皂液测试的特殊问题是大漏孔存在。从大漏孔出来的压缩空气将泡沫形成剂在形成泡沫前吹除。测试者难于区别未形成泡沫的两个理由是：首先，试件无漏孔与存在大漏孔的表现相同。其次，喷射的肥皂液未粘附在试件的表面上而流失，使存在于试件底部的漏孔难于用喷肥皂液测试法检测到。

1.1.3 用空气的压力测试

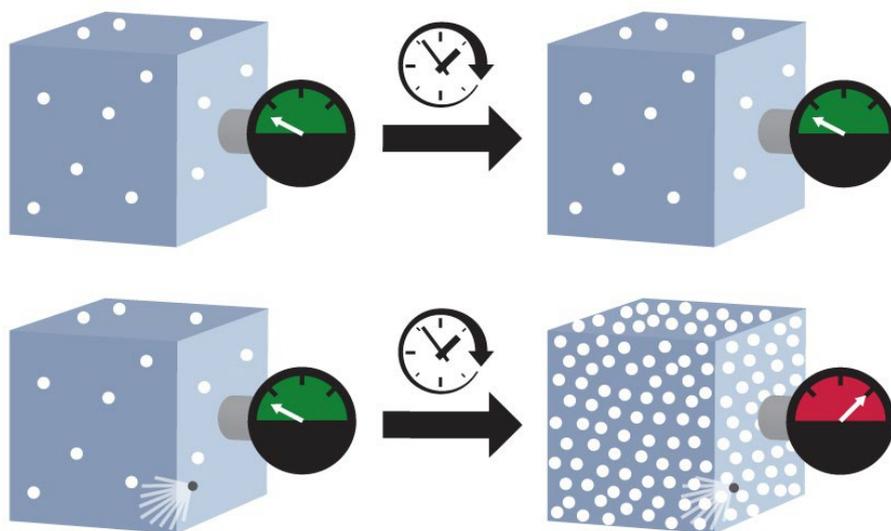
通过测量压力的变化识别泄漏的方法有三个：压力衰减法，差压法和压力上升法。这三种方法均用于整体试漏，其目的是检测整个部件是有漏 / 无漏。在工业应用中常用的是压力衰减法和差压法。

通常的稳定时间远长于实际测量时间。确切需要多长时间取决于试件的材料和表面状况。然后在规定的时间内测量试件的的压力变化。如压力随着时间降低，则存在漏泄。用测量的压力变化乘以内部容积除以时间段的时长计算漏率。压力衰减法的理论检测限值最终不会好于气泡测试或喷肥皂液测试： 5×10^{-4} 毫巴·升/秒，通常仅能达到 1×10^{-2} 毫巴·升/秒或高于这个值。

1.1.3.1 压力衰减测试

用压力衰减法测试时，在试件中充入正压的空气或其它气体。试件充气后在测量前始终需要等待，直至参数稳定和压力稳定。

压力衰减法的灵敏度差 10 倍之多的原因在于温度的波动。测量的压力理所当然地与温度有关。



压力衰减测试法的缺点是温度波动 (下图有漏)

样品计算:

如在 3 升容积的试件中充入压力为 2.5 巴 (25 psi) 的压缩空气, 压缩空气升温至 40° C, 在 20 秒的测试时间段中空气被冷却. 如在测试的终端空气的温度仅比开始测量时低 1° C, 试件中的压力相应地较低, 和出现的漏率值大于实际值 1.2 毫巴·升/秒. 其结果是, 比理论检测限值 1×10^{-3} 毫巴·升/秒高出千倍.

当使用压力衰减法时, 即使很小的温度增量能导致泄漏不能被检测到. 如在整个测量时间段的 20 秒中试件的温度仅增高 0.1°C, 具有 3 升容积和 2.5 巴的空气压力, 内部压力可增大至 2.50085 巴. 从而, 呈现的任何漏率比实际值要小 0.13 毫巴·升/秒. 这样就不可能达到理论检测限值 1×10^{-3} 毫巴·升/秒 (0.001 毫巴·升/秒). 实例表明温度增高 0.1°C 将增大检测限值 100 倍. 这是为什么在充压后, 在程序中需要长的调整时间, 使测试过程中的压力和温度是稳定的.

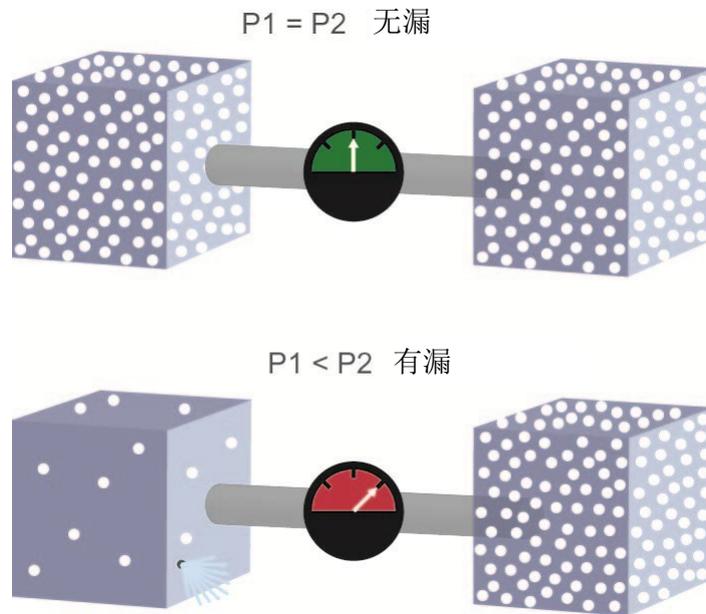
温度波动是压力衰减测试的最大弱点. 阳光和空气运动都能导致温度和压力的变化,

触摸和低充注压力. 任何试件在低测试压力下变形和改变它们的容积, 如塑料件, 是难于用压力衰减法可靠地测试的. 此外, 任何接触或变形可快速地削弱每次压力衰减测试的有效性.

1.1.3.2 差压测试

差压测试测量压差. 然而, 它是将试件中的压力与密闭度已知的参考件压力比较. 在试件和参考件中同时充入相同的正压压力. 接着用压差传感器测量在规定的时段内的任何压差. 将压差倍乘试件的内部容积除以测量的时段得出漏率值. 两压力之间的差值可用比压力衰减法较高的分辨测量. 差压测量的理论检测限值比压力衰减测试好 10 倍, 为 1×10^{-4} 毫巴·升/秒.

温度波动对差压测试的影响较小, 只要作用于试件和参考件的波动是同样的程度和同样的时间.



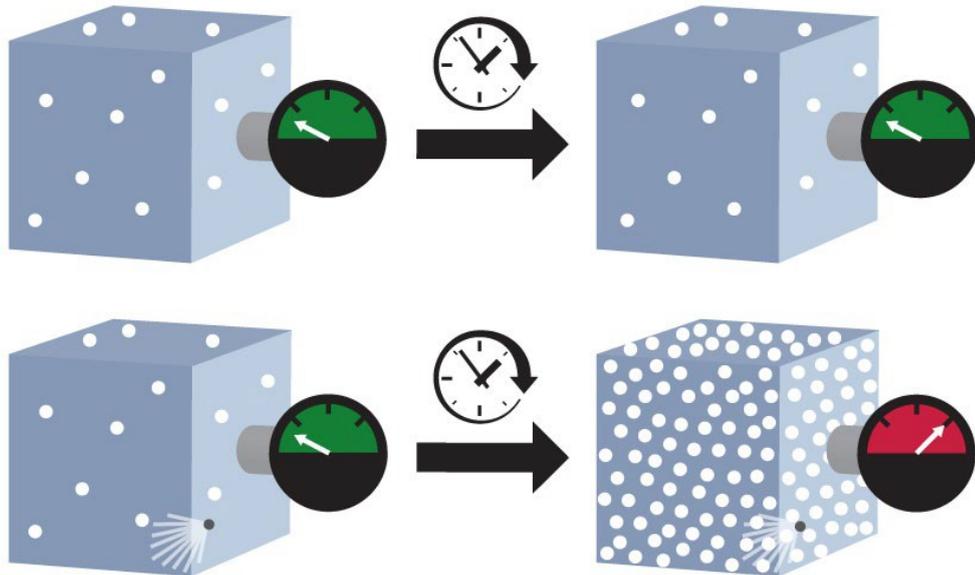
差压测试使温度的影响减少 (下图有漏)

然而，作为充注的结果，温度影响仅作用于试件，除非您每次也重新充注参考件。问题是在许多次充注周期后，参考件可出现疲劳或累积来自先前充注过程的热量和出现与试件不同的行为。理想地，您每次测试时置换参考件从而能得到圆满的结果。用差压测试的特殊问题是对易变形的试件(如塑料)或大容积的试件更为显著。在常规使用中，差压测试的检测限值达到 1×10^{-3} 毫巴·升/秒是现实的。

1.1.3.3 压力上升测试

采用压力变化试漏的第三个方法是压力上升测试。在这情况下，在试件中产生真空。接着的测量是观察在给定的时段内试件中的压力上升多少。漏率的计算是用压力的变量乘试件的内部容积除以测量时段的时长。理论上，是 5 倍灵敏于压力衰减测试法： 1×10^{-4} 毫巴·升/秒，但在实际使用中，通常的检测限值为 1×10^{-3} 毫巴·升/秒。

对于压力上升测试的限制因素 – 犹如全部压力改变过程 – 包含试件的刚性和容积的大小。此外，大多元件在使用时是高于大气压的。因此，试件中真空的测试状态并不与使用状态匹配。某些漏孔仅单向发生，因此采用压力上升法不能检测到。压力上升测试的主要优点是是由于在试件中产生真空而避免了温度的影响。然而，它也限制了测试可用的压差范围 i 。这个量最大为 1 巴 – 试件外大气压与试件内真空之间的压差。



试件的刚性影响压力上升测试 (也称为真空衰减测试)

1.2 用探索气体的方法

用探索气体的方法是最灵敏的测试方法中的一种。最常用的探索气体为氦和稀释的氢，氦一般在合成的混合气体中。用探索气体试漏和吸枪检漏是利用于试件内外之间的压差，从而探索气体能流过可能存在的漏孔产生泄漏和被选择性地检测到。

1.2.1 氦探索气体

氦被广泛地用于测试的探索气体。惰性气体只存在于原子态，是化学惰性的。氦无毒性和非燃性。而且，它的仅为 4 的低分子量使它理想地被用作探索气体。还有一个重要的优点是它的低本底浓度：氦在空气中的天然本底浓度为 5 ppm。

1.2.2 氢探索气体 (合成气体)

氢用于试漏和检漏的最大优点是在空气中非常低的本底浓度，仅 0.5 ppm。纯的分子态氢气(H₂)的缺点是它的易燃性。然而这种危险不是问题，因为从不使用纯氢作为探索气体。用于试漏和检漏的是合成气体，是 95% 氮(N₂)和 5% 氢(H₂)。

这种实惠的合成气体，还用作为焊接过程中的屏蔽气体，非燃性，氢的浓度为 5% 或更低。

1.2.3 工作液体作为探索气体

有时将气态的工作液体用于检漏。试件按照它的用途充注和接着用于检漏。例如，喷射剂和冷媒 R-134a (化学名: 1,1,1,2-四氟乙烷) 同时起到探索气体的功能，或能被检测的六氟化硫(SF₆)。这气体在中高压应用中作为绝缘气体，例如，在气体绝缘的高压开关和开关柜中。SF₆是最有效的熄火气体，

但它是温室气体，将它用作为纯探索气体是被禁止的。同样适用于许多老的冷媒。使用工作液体作为探索气体的全部测试过程不适用于生产过程中的整体试漏，可用于随后的寻找漏孔。

1.2.4 内出和外进方法

使用探索气体的方法可依据探索气体的出口或入口方向区分为两大类。将探索气体引入试件，让它从可能的漏孔释放至外界环境中的方法称为内 - 外方法。

内-外	外-内
吸枪试漏	真空试漏
真空试漏	喷射法
累积试漏	
轰击试漏	轰击试漏

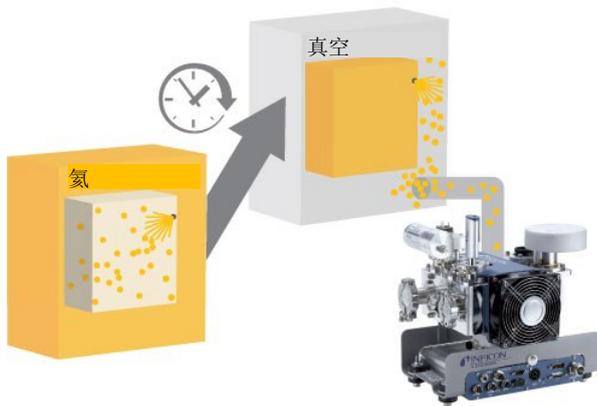
吸枪检漏法用于定位这些漏孔。当采用吸枪检漏法时，将测量探头手动地搜索充有探索气体的试件。有两种非常广泛使用的方法用于依据内 - 外原理整体试漏的方法。一种方法是在累积室内测试。另一种方法是在真空室内测试。两种方法都是测量从试件逸出至相应测试室中的探索气体量。

两种外 - 内方法均是基于真空的使用。在真空检漏测试中，真空产生于试件中和探索气体是从外面喷射。漏孔的位置和大小决定于在一定的时段中，能从试件内检测到的探索气体量。

另一个外-内方法是在测试室内试漏。将试件放置在测试室内和在试件中产生真空。在测试室内充入探索气体，它将通过任何漏孔渗透入试件的真空中，在那里被测量出来。

轰击试漏方法将内-外和外-内两种方法综合在一起。轰击试漏首先使用外-内，和接着使用内-外原理。将试件置入第一个具有正压探索气体的室内，使探索气体通过任何漏孔进入试件内部。然后将试件置于

真空室内,使探索气体从试件内部由同一漏孔逸出至真空室中,在那里被测量出来.轰击检漏方法用于测试本身无内压的全密闭试件,对它们抽空或充注不是选择的方法 — 例如带外壳的传感器.通常轰击测试方法用于排除可能的潮气渗透.



通过轰击检漏方法对全密闭试件试漏

这个方法的一个难点在于通常并不用 100% 的氦充入试件中,从而降低检测的限值.另一个问题是由大漏孔引起的.在真空室抽空的过程中试件内包含的氦也被完全抽空,这样随后将无氦可从漏孔逸出和被测量 — 将被虚假地认为试件无漏.

1.2.5 真空方法

在真空室中试漏通常是内 - 外测试.首先由操作人员将试件手动或用机器人自动置于测试室内.用泵将测试室抽空,通过相应的连接将试件内充注氦气.尽管这个方法由于对测试室更严格的漏率要求和需用真空泵化费较高,但有大的优点.首先,在真空室中的氦测试是全部探索气体测试方法中最灵敏的方法.用质谱仪检测氦,在最好的条件下,可确认低至 1×10^{-12} 毫巴·升/秒的漏率.真空方法是尤其适用于生产线测试和在许多自动化生产过程中对每个部件执行整体试漏.真空方法的另一个优点是短的周期和快的测试时间,尤其在全自动测试顺序中.

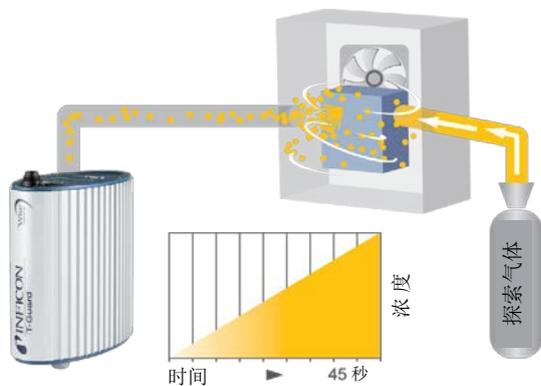


真空试漏(真空在试件中)尤其适用于生产线测试

此外，由于真空方法的高灵敏度通常可大大地降低氦浓度，可降至仅 1% 的含量，从而相应地大大降低探索气体的成本费用。

1.2.6 累积方法

累积室中的探索气体的测试也应用于内 - 外测试顺序中，但远比真空室中测试价廉。将试件置于简单的累积室中，累积室的密闭性要求可大大地低于真空室。对于累积室气密密闭度已经足够。试件内部充注探索气体 - 常用氦。



在一个简单的累积室中累积试漏无需真空

试件中的探索气体从任何漏孔逸出。为确保逸出的探索气体均匀地分布在累积室内，一般使用风扇。漏率的计算由在规定时间段内有多少探索气体逸出和被收集在已知容积的测试室内来确定。

这种用氦在价廉的累积室内的试漏取代需要安装运行 and 必须维护的复杂真空室，首次流行于当 INFICON 将专利的 Wise Technology™ 传感器投入市场时。价廉的 Wise Technology™ 传感器专门测量氦浓度，无需任何真空，在最好的条件下可在累积室中检测低至 5×10^{-6} 毫巴·升/秒的漏率。

在另一方面，采用质谱仪试漏通常需要真空。在真空室中实际的测试时间仅需 2 至 3 秒，而在累积室中测试约需 5 倍的时间。然而，当计算真空测试的周期时间时，还必须添加抽空的时间，这个时间在累积方法中是不需要的。累积方法有成本低的优越性，约 2 至 4 倍低于快速的真空测试。

1.2.7 在高真空中的累积方法

将累积和真空室原理相结合可测量特别小的漏率。当前能测量最小漏率的检漏仪是产自 INFICON 的真空检漏仪。累积式氦检漏仪 (CHLD) Pernicka 700H 工作于超高真空下的累积原理。它的精密型氦质谱仪, 可检测低至 4×10^{-14} 毫巴·升/秒的最小漏率值。



吸枪试漏 (用手动吸枪探头) 寻找确切的漏孔位置

1.2.8 吸枪检漏

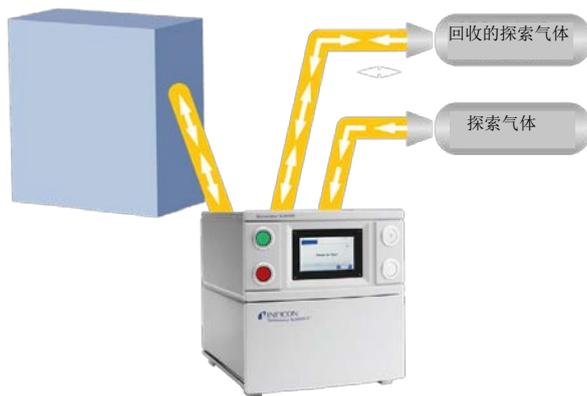
探索气体的吸枪检漏通常用于寻找漏孔的确切位置。吸枪检漏通常用于整体测试出现不合格的顺序后。吸枪检漏也是一个内 - 外方法: 在试件中充入压缩的探索气体后气体通过漏孔逸出。用检漏仪的吸枪探尖搜索试件表面 (手动或机器人) 直到检漏仪识别具有最高漏率的漏孔位置。由于检漏仪的吸枪管线混合吸入空气与逸出的探索气体, 低的探索气体本底浓度是必需的。

氦或氢合成气体可用作为吸枪检漏的探索气体, 也能使用气相工作介质如冷媒 (R134a, CO₂ 等) 或 SF₆。

INFICON 的吸枪检漏仪如 Protec P3000(XL) 的最小可检漏率为 1×10^{-7} 毫巴·升/秒。

1.2.9 抽空, 充注, 气体回收

当将探索气体方法用于整体试漏时, 通常明智地使用带有探索气体传感器的自动充注设备. 一个自动化充注台可快速和完全地为试件充注探索气体. 它还确保正确的充注压力 – 充注压力的波动将影响漏率的正确性.



探索气体充注台 INFICON ILS500F – 用于容易地控制正确的充注压力和回收探索气体. 为达到最高的生产率, INFICON 可推荐解决方案的提供者.

试漏后的再抽空可防止探索气体的释放和积累于工作区域内, 这些因素可最终影响测量的结果. 气体回收系统可回收 90% 探索气体, 可用于以后的测试中. 如试漏的检测限值足够高, 它还可用于节省成本的测量, 可降低探索气体的压力或稀释探索气体的

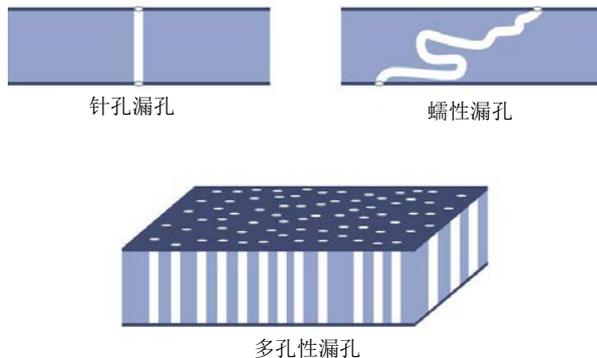
浓度. 然而, 在这两种情况下系统的理论检测限值将相应地降低.

1.3 漏率和泄漏的类型

1.3.1 泄漏的类型

漏孔是物件壁上的构体，通过它气体或液体可逸出。它可以是单个孔，一个可渗透的孔，多孔性区域或一个难于检测的蠕性漏孔。

蠕性漏孔向试漏提出特殊的挑战。随着蠕性漏孔的存在，气体或液体并不立即出现。在离开试件内部前，它们缓慢地移动通过狭窄的通道或毛细管系统。它也可能在逸出前必须填满大容量的试件壁。从而要在短的时间段内检测这样的漏孔是极为困难的。



三种基本的漏孔几何类型 - 渗透也显示相似的延迟行为

1.3.2 漏率单位

漏率是一个描述体积流量的变量。漏率表示在规定的时间内在已知的差分压力下，多少气体或液体通过漏孔。例如：如由于一个漏孔的存在，精确地有 1 毫升气体在 1 巴的差压下，在 1 秒的时间内流出，这个漏率就是 1 毫巴·升/秒。您也可以说气体容积为 1 厘米³在 1 巴压差下每秒的逸出量。单位的另一个变通的描述是：如在一个容积为 1 升的容器内每秒改变 1 毫巴的压力的漏率为 1 毫巴·升/秒。当用毫巴·升/秒表述漏率时，一般使用指数，科学计数法：用 5×10^{-3} 毫巴·升/秒取代 0.005 毫巴·升/秒的表示式。

在欧洲，单位毫巴·升/秒已被广泛地接受用于表示漏率，但容积和压力也可用其它单位，导致不同的漏率测量单位。国际上，测量已标准化为 SI 单位，使用漏率单位为帕·米³/秒。美国通常使用大气压·毫升/秒。在压力衰减测试中“标准大气压·毫升/分” (sccm) 是记录漏率的一个常用单位。

注： $sccm = \text{标准大气压} \cdot \text{毫升} / \text{分}$

1 大气压·毫升/秒	≈ 1 毫巴·升/秒
1 帕·米 ³ /秒	= 10 毫巴·升/秒(SI 单位)
1 sccm	≈ 1/60 毫巴·升/秒

对于冷媒例如 R134a, 漏率通常用质量流量表示(每年逸出的质量) 而不是体积流 (在特定的时间段内在已知的压力下逸出的容积). 因此, 单位克/年 (每年多少克) 已被普遍接受用于冷媒 – 或在美国盎司/年 (每年多少盎司). 逸出的质量始终与气体的分子量有关. 在 R134a 的情况下, 转换式为:

$$1 \text{ g/a} = 7.6 \cdot 10^{-6} \text{ 毫巴·升/秒} \quad (\text{仅对 R134a})$$

1.3.3 泄漏率的大小

考虑漏孔的氦漏率与其大小之间的关系是有用的. 换言之: 多大的孔径形成多大的漏率? 提供一个孔径远大于它的壁厚, 直径为 0.1 毫米的孔在 1 巴的压差下形成的漏率为 1 毫巴·升/秒.

孔径的大小	氦漏率
10 ⁻² 米 = 1 厘米	10 ⁺⁴ 毫巴·升/秒
1 毫米	10 ⁺² 毫巴·升/秒
0.1 毫米	10 ⁰ 毫巴·升/秒
0.01 毫米	10 ⁻² 毫巴·升/秒
10 ⁻⁶ 米 = 1 微米 (细菌)	10 ⁻⁴ 毫巴·升/秒
0.1 微米	10 ⁻⁶ 毫巴·升/秒
0.01 微米 (病毒)	10 ⁻⁸ 毫巴·升/秒
1 纳米 = 0.001 微米	10 ⁻¹⁰ 毫巴·升/秒
10 ⁻¹⁰ 米 = 0.1 纳米 = 1 Å	~ 10 ⁻¹² 毫巴·升/秒

大多数微生物的直径在 0.6 至 1 微米之间. 单原子的直径约为 1 Å. 即使很小 10⁻⁸ 毫巴·升/秒的漏率量级, 仍然可同时流过数以千计的氦原子. 哪一个确切的漏率在特定的情况下仍是可接受的和哪一个试件未被通过试漏是始终取决于生产过程中特定的质量要求. 因此, 测试方法的选择应始终考虑最大可允许的漏率.

漏率		
要求	漏率 [毫巴·升/秒]	漏率 [sccm]
水密闭	$< 10^{-2}$	< 0.6
油密闭	$< 10^{-3}$	< 0.06
蒸汽密闭	$< 10^{-3}$	< 0.06
防细菌	$< 10^{-4}$	< 0.006
防汽油	$< 10^{-5}$	< 0.0006
气体密闭	$< 10^{-6}$	$< 6 \cdot 10^{-5}$
技术无漏	$< 10^{-10}$	$< 6 \cdot 10^{-9}$

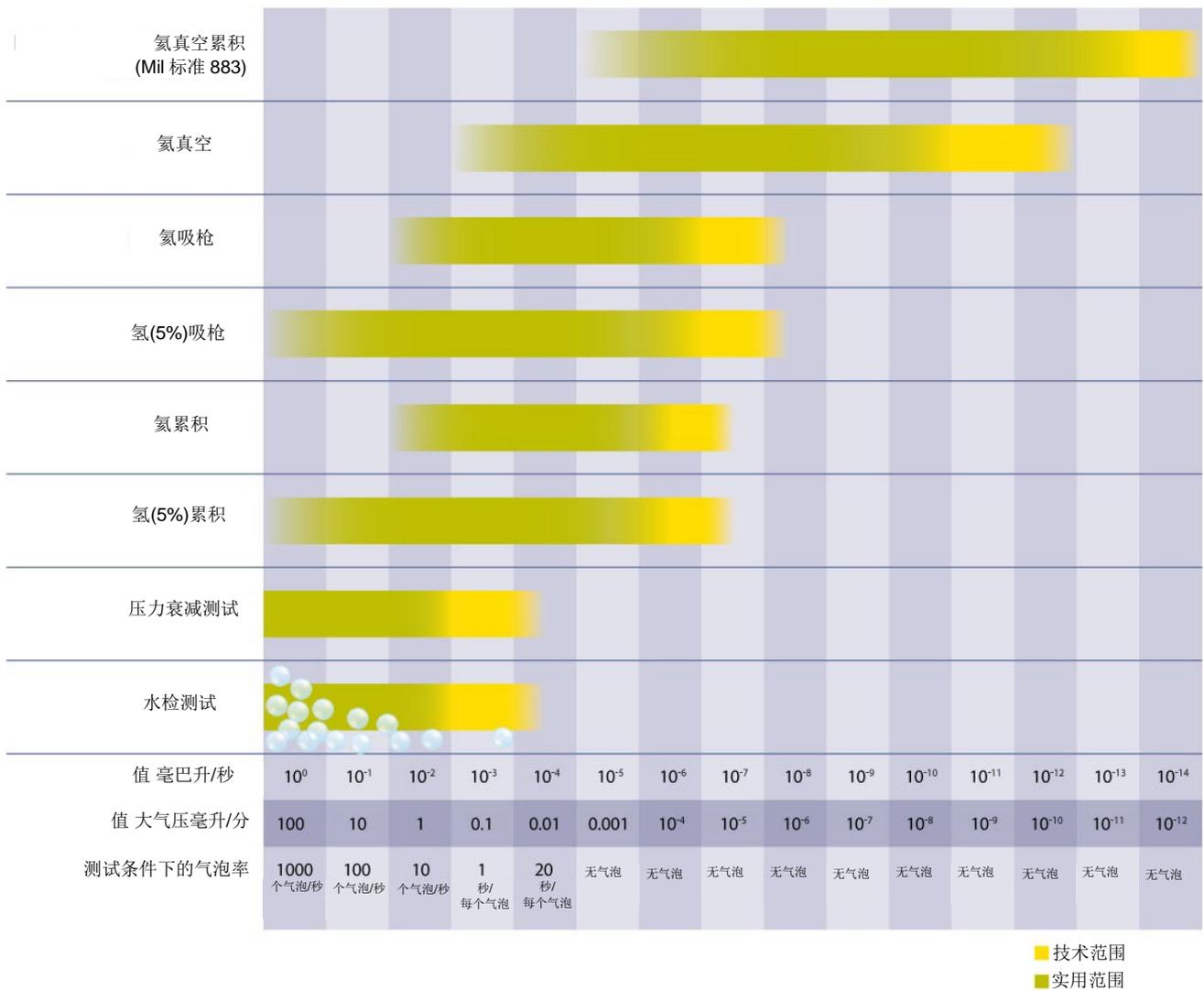
当用探索气体工作时,可检漏率还取决于漏孔的实际方位.

离散的探索气体并不是均匀地消散,由于空气的吹拂不会在所有方向形成相同的探索气体浓度.为用探索气体如氦和氢用于吸枪检漏必须考虑这个探因素.用于氦吸枪检漏的现代化设备,如 **Protec P3000(XL)** 引入高至 3,000 标准大气压·毫升/分的气体流来克服这个问题.

1.3.4 影响漏率的因素

正如在用空气压力测试一节中所述,温度和压力的变化对漏率有很大的影响.某些试件,例如那些用塑料制成的试件,在压力和温度变化下容易变形.在这样的条件下,漏孔的几何形状也会改变 — 相应的对泄漏率也将产生相应影响。

再者,在试件与外界之间的实际压差必然影响漏率.压差越大,对漏率的影响越大.



当为已知应用选用合适的方法时, 检测限值是很重要的

第 2 部分

汽车工业中的检漏



2.1 漏率正变得更为严格

汽车制造商和供应商面向更严格的漏率测试要求。质量保证起到日益增长的重要作用，汽车制造商期望他们的供应商实现适当的质量保证。如漏率测试不可靠将导致高成本的召回和信誉的损害。最近，引人注目的实例是由于潜在的安全气囊问题召回了数百万辆汽车产品。存在潮气侵入的风险 -- 安全气囊无法打开的严重后果。

这种安全气囊的烟火式充气设备，当前通常检漏的最大漏率控制于 10^{-6} 毫巴·升/秒量级。

这个等级的漏率要求只能用探索气体检测才能达到。但漏率要求对于燃油泵和燃油系统也变得更为严格。一个重要的理由是燃油喷射符合增长的燃料经济。现代发动机的喷油器工作于更高的压力—现代共轨系统工作于高至 3,000 巴的压力。不管内部压力有多高，必须仍然保持低的漏率，需要更严格的检验。

用于汽车中的空调系统行业也在不断进步中。含氟的温室气体，如 R134a 逐步被淘汰。



欧盟指令 2006/40 / EC, 从 2017 年 1 月开始禁止使用 R134a 冷媒. 在美国, 由于已有安全与气候有利的替代品, 环保署宣布使用 R134a 的终止日期. 从 2020 年 (车型年 2021) 开始. R134a 将被禁止用于新型的机动车和具有极低的全球变暖潜能 (GWP) 的冷却液取代它. 此外, 例如使用 CO₂ 作为冷媒是安全的能从大气中获得.

然而, 使用 CO₂, 需要增长 10 倍的压力, 因此对部件以及整个系统的漏率要求也相应地提高. 其它新的冷媒如 R1234yf 即使在低温下也是易燃的. 因此, 如存在漏泄, 将导致更严重的安全风险.

纵然在汽车工业中密封要求在不断增长中, 这些要求的严紧性从未看到它的终点. 当一种用于特定用途和最有效的成本效益质量控制方法出现时, 汽车的制造商和供应商必须时刻牢记成本-效益比. 选择不仅依据必须检查的元件漏率限值. 当挑选最佳方法时, 测试的自动化程度, 速度和可靠性始终是重要的因素. 气泡测试是简单, 但要求测试人员始终观察他们应发现的漏孔, 至于另一个极端: 在真空室中自动化氦测试的检测限值 (灵敏度) 和速度是无双的, 但这个昂贵和高价的投入是否始终是合理的?



一个比较简单的, 在带有特殊的氦传感器的累积室中试漏的方法通常是更有效, 在质量保证与成本之间给出更好的平衡.

最佳检漏方法的选择通常受到人为因素的影响. 人的本性往往倚重于感官. 这是另一个原因为什么气泡测试和喷肥皂液仍在许多应该采用探索气体检漏来替代的应用方案中使用. 测试者需要目测的证据和目睹漏孔. 当氦从漏孔中漏出时, 用探索气体方法比目测检查具有更精确, 快速, 更可靠和再现性更好的特点 – 但与气泡上升法相比, 操作顺序的学习要困难些. 测试者往往束缚于传统方法, 尽管这些方法可能是十分不精确和误导. 甚至至今, 仍有某些空调元件被浸入水中试漏, 不顾此方法的漏率限值仅能达到 10^{-3} 毫巴·升/秒的事实, 对于当前的应用这个漏率实在是太高.

2.2 组件, 方法, 和典型的漏率

2.2.1 空调

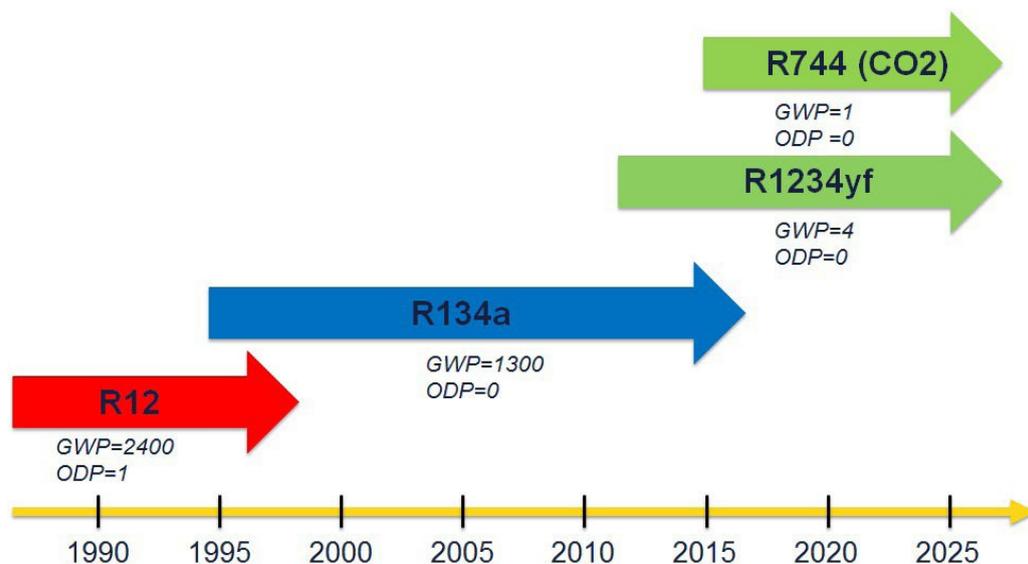
欧洲从 2017 年, 美国从 2021 车型年开始, 众所周知的冷媒 R134a 作为高度有损气候的含氟的温室气体将被禁止使用. 替代品包括 R1234yf (化学名: 2,3,3,3-四氟丙烯), 它不幸地被归类于极易燃的和当加热时反应形成高腐蚀性的氢氟酸. R1234yf 的价格远高于 R134a. 这些因素促使制造商计算为他们的系统较低的冷媒贮备, 结果是, 提高漏率要求. R1234yf 当前受到亚洲和美国制造商的青睐, 而德国汽车制造商正寻找另一种当红的替代品: 二氧化碳 (CO₂).



吸枪检漏用手动探头检测漏率高达 1×10^{-7} 毫巴·升/秒

然而, CO₂ 的使用, 由于它使用于特别高的 120 巴的工作压力, 从而为空调系统创建完全不同的技术要求. 无论是选择 R1234yf 或 CO₂, 空调系统和它们元件的漏率要求将提高.

2



冷媒将被定期淘汰和由新的, 更有益于环境的物质取代 (GWP: 全球变暖潜能, ODP: 臭氧耗尽潜能)

当引入新型和未来的冷媒时，老的经验法则 — R134a 的最大漏率 5 克/年很可能被废除。

冷媒 5 克/年的泄漏相应于氦漏率为 4×10^{-5} 毫巴·升/秒。当前大多数空调元件的测试漏率在 10^{-4} 至 10^{-5} 毫巴·升/秒量级。对于空调软管，为达到短的周期时间采用在真空室中的氦测试。部件如蒸发器，冷凝器或膨胀阀可在大气环境下或真空室中测试。为执行空调系统在充注冷媒前的大漏测试，压力上升和压力衰减仍被广泛使用。然而，仅能确定在 10^{-2} 至 10^{-3} 毫巴·升/秒量级的大漏率。

汽车制造商早已期望供应商执行质量控制和泄漏测试于元部件层面上。空调系统在组装线上安装后，必要时，附加试漏至多是由汽车制造商最后组装过程中产生的 3 至 5 个空调系统的接头。汽车制造商力求这些接头越少越好，尤其是高档车辆具有昂贵的内部覆盖层，它限制进入到潜在的漏孔部位。

接头的试漏通常在最后组装时用吸枪检漏仪执行。

过去，使用合成气体或氦作为探索气体，现在吸枪检漏仪可检测各自的冷媒如 R134a, R1234yf 或 CO₂ 的泄漏。

2.2.2 动力系统

对许多动力系统元件采用整体试漏方法, 如压力衰减或差压法。例如, 典型的检测发动机机体或气缸头的油路漏率约为 10^{-1} 至 10^{-2} 毫巴·升/秒 (~ 12 至 1 标准大气压·毫升/分)。另一方面, 检测发动机机体或气缸头的水路漏率 10^{-1} 毫巴·升/秒 (~ 10 标准大气压·毫升/分) 已足够。

水的密闭性仅需保证约 10^{-3} 毫巴·升/秒 (~ 0.05 标准大气压·毫升/分) 的限制漏率。然而, 这样的漏率通常用压力衰减法测试不能达到。



对于发动机, 采用探索气体的吸枪检漏比喷射检漏液更为清洁, 有效和更精确

至于液力变矩器, 先前可允许的漏率标准为 10^{-2} 毫巴·升/秒。但鉴于不断增长的流行性, 技术要求 9 和 10 速的自动变速箱, 今后的漏率应在 10^{-3} 量级或

需检测 10^{-4} 毫巴·升/秒。一个现代的全自动变速箱最好使用探索气体在累积室或真空室中测试。这还可使用在线空气冷却器, 该设备的典型率为 10^{-3} 毫巴·升/秒。这里用氢的整体试漏是很适合的。

如试件在试漏中失败, 通常仍将它浸没在水中继续寻找漏孔。具有铸铁外壳的试件, 仍然是一种可实施和相对快速的方法。但将价值数千美元的现代化全自动变速器浸没在水中和接着干燥与清洗, 不是寻找漏孔最好的方法。此外, 气泡测试方法寻找漏孔的检测限值仅为 10^{-2} 毫巴·升/秒, 它比前面的试漏方法能检测的漏率要差百倍至千倍。采用吸枪检漏仪和探索气体如氢或合成气体, 更适合于这个情况, 尤其是水检始终存在着锈蚀和损坏电气元件的风险。

在许多情况下, 仍然使用测试槽的原因是因为无人介绍如何选择测试方法。但作为一般的经验法则: 试件越大, 越多采用肥皂液喷的方法取代气泡测试。对于发动机机体, 漏孔通常采用喷射液方法来定位, 但随后的干燥和清洗仍是不可避免的。采用探索气体吸枪检漏是更清洁, 更有效和更精确的方法。

2.2.3 燃料系统

对于大量的燃料系统元件，用氦累积室内整体试漏是一个好的选择。当前现代喷油器的漏率限值在 10^{-4} 至 10^{-5} 毫巴·升/秒量级。当前油泵的漏率测试在 10^{-4} 毫巴·升/秒量级。由于特别高的工作压力，共轨喷油器通常有高的漏率要求 -- 在 10^{-4} to 10^{-6} 毫巴·升/秒之间。柴油过滤器的要求较低，通常仅需测试于约 10^{-2} 毫巴·升/秒的漏率。

一般对燃料系统，燃料箱和燃料管路有较高的漏率要求。这是明确的由于需要符合严格的美国尤其是加州的为防止碳氢排放的法规要求。这也使可渗透性塑料的使用成为特殊的问题。



由于高的工作压力，共轨喷油器通常的漏率要求在 10^{-4} 至 10^{-6} 毫巴·升/秒之间

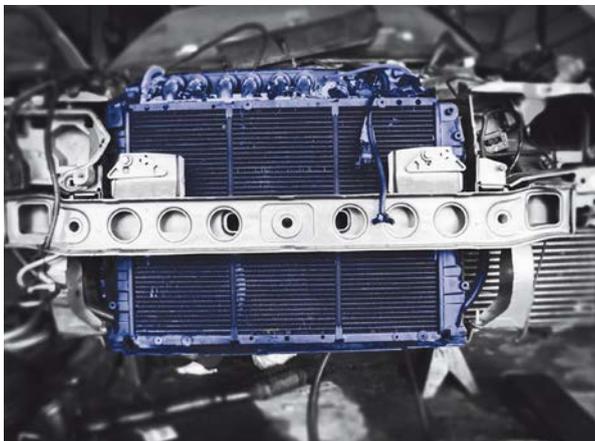
当前许多制造商将燃料箱和燃料管路的漏率测试要求提高至 10^{-4} 至 10^{-6} 毫巴·升/秒。这排除气泡测试或压力衰减和差压测试方法的使用可能性。这样的漏率限值只能用探索气体的整体试漏才能达到。对于小型部件如喷油器或摩托车油箱，在累积室中测试是理想的。由于累积法的检测限取决于测试室的自由容积，非常大的部件用真空法测试。



为测试卡车的燃料箱，漏率要求高至 10^{-4} 至 10^{-6} 毫巴·升/秒，气泡测试和压力衰减测试的检测灵敏度是不够的

2.2.4 机油和水的回路

对车辆的机油和水回路最严格的漏率要求是油冷却器, 为了良好的润滑和从油中除去热量. 为使油和水不混合, 防止发动机被损坏, 这些严格的要求是合理的. 典型的漏率要求是 10^{-2} 至 10^{-4} 毫巴·升/秒, 推荐使用成本效益的累积室. 同样, 对车辆的塑料油箱的漏率要求较高, 为 10^{-3} 毫巴·升/秒, 由于效率的原因, 通常在真空室中测试. 由于塑料材料的天然变形性能导致结果的偏离, 压力衰减法或差压法测试是不适用的. 另一个元件如油底壳和油泵通常测试于 10^{-2} 毫巴·升/秒的漏率要求. 一方面, 试漏需保证无油从回路中逸出, 但确保无水从冷却回路进入油路也是极其重要的.



在水检测试中, 气泡不易从水冷却器的薄的鳍片结构上分离

水泵和散热器, 漏率要求通常不超过 10^{-2} 毫巴·升/秒. 对于散热器, 仍然相当普遍地使用气泡测试. 而散热器铸件因有薄的鳍片结构, 形成的气泡不易从鳍片上分离, 测试人员不易感知它们, 因此气泡测试是不适当的. 这里探索气体方法更为可靠. 压力衰减法同样不适用于散热器. 由于它的构成, 散热器对温度变化非常敏感, 压力衰减测量将会严重地不精确.

2.2.5 安全特性

对于车辆中全部与安全直接有关的元件，密闭性要求自然是相当高的。对于制动软管，制动液贮存器和制动助力器，典型的允许漏率为 10^{-3} 至 10^{-4} 毫巴·升/秒量级。推荐采用在累积室内的氦测试。

由于安全气囊气体发生器的问题，最近出现大量车辆召回的事件。为防止潮气进入烟火式气体发生器，当前的测试漏率提高至 10^{-6} 毫巴·升/秒。通常采用轰击法。在这些测试中，点火器首先暴露于充有正压氦的压力容器中从而使探索气体通过漏孔进入试件。然后，将点火器置于真空室内。真空室抽空后，试件内的氦漏入室内，用质谱仪测量。

漏率要求对安全气囊的冷气体发生器稍高些。冷气体发生器通常充有氦-氩混合气体。为了让混合气体将安全气囊充满，它处于高压力下。这个压力必须至少维持 10 年 – 对某些制造商探求 15 至 17 年。因此，冷气体发生器的密闭性测试在真空室内测试，通常要求的漏率为 10^{-7} 毫巴·升/秒。



采用轰击方法，安全气囊点火器测试漏率为 10^{-6} 毫巴·升/秒

2.2.6 轮毂, 减震器 和其它元件

即使采用铝轮毂, 密闭性仍是重要的指标. 对于通常由两个部件焊接在一起的昂贵的铝合金轮毂, 以及简单, 轻量的铸造轮毂密闭性同样重要. 在铸造轮毂中, 确保无多孔性漏孔是重要的, 从而无内胎轮胎将不会通过轮毂中的多孔性漏孔流失空气. 现代轮毂在真空室内测试, 漏率要求约为 10^{-4} 毫巴·升/秒.

同样方法和同样典型漏率用于整体试漏减震器. 对于伺服油箱和动力转向器外壳, 在累积室内氦测试是好的解决方法. 这里漏率通常为 10^{-2} 至 10^{-4} 毫巴·升/秒量级.

对于电池的整体测试, 累积室同样是好的选择. 汽车启动铅酸电池的漏率在测试时通常不超过 10^{-3} 毫巴·升/秒量级. 当前, 通常用压力衰减法测试启动铅酸电池, 但存在 塑料外壳变形的问题.



现代轮毂通常在真空室内测试, 漏率要求 10^{-4} 毫巴·升/秒

10 个试漏中常见的错误



1 错误的测试方法

试漏方法的选择仅基于最低的漏率要求，而忽略了其它影响的因素。

2 错误的测试时间点

通常将单个部件或次组装件安排在过程的早期试漏，在最终组装后更换有问题的部件化费更大。

3 污染的试件

试漏应始终执行于清洁，干燥的试件。否则，小漏孔可能被清洗溶剂堵住。



4 忽视温度的影响

即使最小的温度变化可影响漏孔的大小和可检的漏率，和排除某些测试方法的使用。



5 测试压力的波动

为可靠和一致地检测漏孔要求试件始终充注确实一样的测试压强。



6 充压前未预抽空

为确保全部试件面积上充注探索气体和潜在的漏孔可发出探索气体，将试件在充注前强制抽空。



7 不知道

一个可再现的测试方法不能仅凭测试者个人的感知。测试人员必须要知道他们检测的是什么和每种测试流体的性质和能力。



8 低估蠕性漏孔和大漏测试

探索气体通过试件要经过多长的路程和从蠕性漏孔中逸出？是否在试漏开始前试件中的探索气体已漏空？



9 忽视维护

为确保精度和降低全部连接，软管和过渡件的成本需要定期检查。在主试件中安装一个参考漏孔定期证实测试系统的正确功能和精确性是重要的。

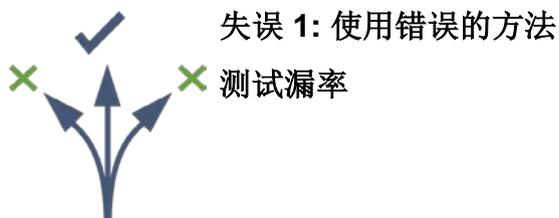


10 您自己能做？

尽可能可靠地选择最好的测试方法，正确地配置测试系统和设计测试过程是专家的工作。



2.3 试漏中最常见的 10 个失误



**失误 1: 使用错误的方法
测试漏率**

通常气泡测试法会产生错误的结果。如测试者未看到任何气泡，这时仅可假定无漏。测试者则相信他未看到的结果而因此满意了。

决定一个试漏或检漏方法对特定应用是否适合的基本条件是它的漏率。而这个简单的法则却经常被违反。用压力衰减法测试塑料件而不考虑由于压缩空气的变形和改变容积。此外，整体测试漏率和随后的漏点必须配合工作。往往整体试漏在氦室内进行，但随后的漏孔定位则采用气泡测试方法而不是采用更精确的用探索气体的吸枪检漏方法。



**失误 2: 在生产过程中为
测试选择错误的时间点**

为执行试漏，仔细考虑选择生产过程中的最佳点是重要的。通常在组装前先测试每个子构件是合理的。例如，在变速箱组装前检查变速箱箱体的密闭性则是非常好的流程安排，因如箱体不能通过最终测试，全部组装工作将是白费。

失误 3: 试件已被污染



大体上, 对于全部测试方法应遵守下列事项: 应始终试漏或检漏新的未使用过的试件. 如一个已经运行或充过油或水的部件, 小漏孔已被阻塞的可能性很大. 这样压缩空气或探索气体不再可能从试件中逸出 (或进入).

往往在铸件上发现机械加工后的切割油残余. 在执行试漏前, 必须首先清洗试件, 接着将试件重新干燥, 确保清洗液在短期内不会阻塞潜在的漏孔.

失误 4: 温度变化被忽视



温度波动意味着严重的问题, 尤其对采用压力衰减法或差压法测量的整体试漏. 即使小的温度波动可改变测量的漏率值若干个量级. 由于被测试材料的膨胀行为, 漏孔的大小也受到温度上升的影响. 在废气冷却器 EGR 中, 在某些情况下漏泄发生于当它达到典型的工作温度时. 因此, 某些制造商在等温室中进行分型测试.



失误 5: 测试压力波动

为了能可靠和再现地确定漏率，这是至关重要的，即使当使用探索气体方法时，始终在试件中充注同样固定的压力。自动化探索气体充注系统可保证这个要求。但要小心。对于某些试件正确的充注仅可能于预抽空以后。热交换器通常包含长的蛇管系统。如充注探索气体，可提高试件中的压力，但仅在预先抽空以后使探索气体达到每个可能的漏孔。此外，尤其对于氦探索气体测试，为节省测试成本可降低探索气体的浓度。执行某些测试时采用含量仅为 1% 的氦 -- 意味着探索气体的均匀分布更为重要。



失误 6: 充注探索气体前

未预先抽空

为正确地试漏，在充注探索气体前抽空试件是绝对力制性的。对于长和狭窄几何形状的试件是尤其重要的。如在充注前未抽空，试件中的空气将被推到几何形状的末端，探索气体将不再能进入这个区域，因此潜在的漏孔仅释放空气和不能被探索气体检漏仪检测出来。如您用低压力探索气体充注试件，抽空还是尤其重要的，因为留着的空气将稀释充入的探索气体。例：如试件内有大气压的空气，您添加一个大气压的探索气体，试件内的探索气体浓度仅为 50%。如添加两个大气压的探索气体，则探索气体的浓度仅为 66%。



失误 7: 测试者不知道 他们实际上测量的 是什么

采用可再现的测量方法作为整体试漏法, 而不是仅继续依靠测试人员的感知是迈入正确方向的一大步. 知道您实际上测量的是什么和使用的是什么测试介质是重要的. 有时候漏率是特定于空气的, 但与空气相比, 氦的动态粘度较高. 如漏率特定于空气但使用的是氦, 为提供更精确的漏率必须使用转换数据. 如您用整体试漏法测试空调单元的漏率克/年 (每年的逃逸质量) 注意用于测试的氦测量仪器可处于一定的环境下, 指示氦的容积流率, 毫巴·升/秒.

有执行自动转换的设备, 如 Protec P3000(XL). 这些单位的确切转换因素起因于不同冷媒的分子量. 如, 为成本的原因, 测试于稀释的氦混合气体, 可测量的氦浓度是不同的. 当演算漏率结果时必须计入这个因素. 再者, 密闭性要求始终与特定的工作压力相联系的. 用于测试的压力经常是偏离工作压力的.

它可高于或低于试件最近的工作压力, 这也使漏率的正确转换成为必须的.

用某些仪器上指示的气体浓度如百万分之几 (ppm) 与漏率等同看待也是严重的错误. 浓度仅是一个快照; 它仅指示在已知片刻, 已知空间内有多少粒子. 而漏率指示的是通过漏孔的体积流量大小.



失误 8: 蠕性漏孔和 大漏被低估

对安全气囊的制造商，处理包含毛细管类通道的蠕性漏孔问题是重要的。必须考虑多长时间使氦探索气体均匀分布从而将这些蠕性漏孔暴露出来。如您的工作中充注与测试之间的间隔时间很短，将难于或甚至于不可能鉴别蠕性漏孔。另一个实例：甚至电缆的引线上可能有长度为若干厘米的漏孔通道。为使探索气体从该处泄漏出来需要若干分钟的时间。

蠕性漏孔的反义是大漏孔。在大漏孔的情况下，氦在实际的测试时间段前从试件中逃逸出来。实际上，您抽空测试室与氦离开试件是同时的。为在用氦充入试件前能鉴别任何大漏孔，往往将一个简单的压力衰减测试集成在探索气体系统中。



失误 9: 忽视测试系统 的维护

如一个测试台连续数日或数周无漏率被测量出来，这可能意味着两种情况中的一种；一种可能是产品的质量特别好，另一种可能是测试系统出问题。往往存在泄漏的探索气体管路妨害测试室的正确测量。全部联接点，软管，试件架等必须定期检查。有时探索气体系统被大量和不熟练地检修。如一个联接点上缠绕有 Teflon™ 带，期望这个联接点是密闭的，肯定这是错误的。氦气将始终能通过多孔性的 Teflon 带，导致准确性和成本的问题。

通常使用参考漏孔，由于它定义的大小始终具有同样的漏率，用它定期检查系统的功能性和准确性可识别测试装置的误差。如这个漏率不能在测试过程中确定，系统有不准确性。最好选用一个玻璃毛细管式的测试漏孔。对于要求较低的试漏，将金属压扁至一个狭窄点。这些测试漏孔的漏率变化大大取决于温度和压力 – 因此为此目的使用玻璃毛细管较好。用校准漏孔定期检查系统有时要防止其它

一些非常根本性的问题. 例如, 测试人员错误地将氧气瓶当作氮气瓶连接到他们的系统上.



失误 10: 我们能自己做

也许, 但要仔细地想想. 当涉及到工业试漏和检漏时, 咨询专家和取得建议是重要的.

为您的特定应用选择适当的测试方法是极其重要的, 为正确地配置系统, 使整个工艺过程尽可能简便和可靠 – 无疑不是一个平常的任务, 需要寻求专业的支持. 如您要确保生产的质量和避免产品的召回, 仅简单地说 „是的, 我们能做某些检查是不够的. 负面的测试不能保证试件实际上能符合要求. 唯有可靠的测试方法和工艺过程才能保证. 其答案是每天和在每个层面上采用正确的方法进行正确的测量.

附录

3.1 网页链接

3.1.1 视频



[GDI 发动机的机械手试漏](#)



[返工发动机的漏孔定位](#)



[Leak testing of evaporators for car A/C with T-Guard](#)

用 T-Guard 为汽车空调的蒸发器试漏



[Leak testing of car A/C hoses](#)

汽车空调的软管试漏

3.1.2 试漏应用的说明

- 变速箱试漏
- 塑料容器试漏
- 燃料喷油器试漏
- 热交换器试漏
- 安全气囊气体发生器试漏
- 燃料和 DEF 槽试漏
- 油轨试漏
- 轮毂试漏
- 空调软管的泄漏测试
- 电喷发动机的泄漏测试

3.2 图例来源

标题:	Shutterstock © Philip Lange
标题:	Shutterstock © masuti
标题:	Shutterstock © Vladimiroquai
p. 7:	Shutterstock © junron
p. 8:	INFICON
p. 10:	INFICON
p. 20:	INFICON
p. 25:	Shutterstock © Philip Lange
p. 26:	INFICON
p. 27:	Shutterstock © Snw
p. 29:	Shutterstock © Thailand Travel and Stock
p. 31:	INFICON
p. 32:	Fotsearch © csp_Reeed
p. 32:	Shutterstock © Philip Lange
p. 33:	Shutterstock © masuti
p. 34:	Shutterstock © hxdbzxy
p. 35:	Shutterstock © Vladimiroquai
p. 47:	INFICON
p. 52:	INFICON

3.3 有关 INFICON

INFICON 是全球试漏仪器和设备的研制, 生产和销售的领先公司之一. INFICON 试漏设备在生产中用于要求高的工业过程和质量控制. INFICON 检漏仪覆盖各行各业的试漏应用. INFICON 的主要客户是制冷空调工业, 汽车工业, 半导体工业和试漏系统的制造商和服务公司. 几乎全部汽车制造商和他们的供应商是 INFICON 的客户. INFICON 技术帮助测试安全气囊, 汽车空调和他们的组件, 燃料系统和全部类型的液体容器. (www.inficonautomotive.com).



INFICON 在纽约, 锡拉丘兹的生产工厂- 研制, 设计和制造检漏服务设备



INFICON 在德国科隆的生产工厂- 研制, 设计和制造试漏生产设备

有关 INFICON 的详细资料, 请访问我们的网页 www.inficon.com.

3.4 参考资料

3.4.1 乘用车制造商

Adam Opel AG
Alfa Romeo
Audi
Bentley Motor Cars
BMW
Brilliance Jinbei
Bugatti
BYD
Changan Automobile
Chrysler
Daewoo Tata
Daimler
Dongfeng Motor
Ferrari
Fiat Chrysler
Ford
Foton Motor
Geely
General Motors
Great Wall Motor
Honda
Hyundai
Isuzu
Jaguar
Kawasaki
Kia
Land Rover
Maserati
Mazda

Mercedes-Benz
Mitsubishi Motors
Nissan
OAO ZMA (Sollers)
Peugeot Citroën A
Porsche AG
Qoros Motors
Renault
Rolls-Royce Motor
Rover
Saab
Seat
Skoda Auto
Toyota Motor
Volkswagen
Volvo
Wuling Motors

3.4.2 重型车辆制造商

Bobcat
Caterpillar
Claas
Evobus
IVECO
John Deere
Liebherr Baumasc
MACK Trucks
MAN
Motor Coach Indu
Scania

3.4.3 汽车部件供应商

ABC Group Fuel Systems, Inc.

Aeroquip

Alcoa Wheels

Allgaier Automotive

Allison Transmission

ARC Automotive (Atlantic Research Corporation)

Autoclima

Autoliv

Behr

Benteler Automobiltechnik

Bergstrom Climate Systems

Bertrandt

Borbet

Borg Warner

Brunel Car Synergies

Calsonic Kansei

Central Motor Wheel of America

Chaoli Hi-Tech

Cinetic Automation

Clean Energy

Coclisa

Cognis

Continental Automotive

ContiTech

Cummins Inc.

Dare Wheel Manufacturing

Dayco

Delphi Automotive

Denso

Deutsche ACCUotive

Deutz AG

Dicastal Weel

Dominion Technology

Dürr Somac

Durr Systems

Eaton

Eberspächer

EDAG

ElringKlinger

Federal Mogul

Flextronics Automotive

FTS

Frankling Precision Industry

Freudenberg

Fuel Cell Energy

FuelCon

Fuel-Tec

Getrag

GLS Automotive

Grammer

Griffin Thermal Products

Halla Climate Control

Halla Visteon

Hayes Lemmerz Alukola

Hella KG

Hengst

Hirschvogel

Honeywell

H S Automotive

Hutchinson (SNC)

INERGY Automotive Systems

Ingersoll Rand

IPETRONIK

ixetic

Johnson Controls
Kautex
Kayser Automotive System
KB Autotech
Keihin
KEPICO
Key Safety Systems
Köhler Automobiltechnik
Kostal
KTM Kühler
Landi Renzo
Leonardo
Lovato Gas
LuK Fahrzeug-Hydraulik
Magna
Magnetti Marelli
Mahle
Mammoth Air Conditioning
Mangels
Mann + Hummel
Manuli Auto
Martinrea Industries
MCS Cylinder Systems
Mecachrome
Michigan Automotive Compressor
Microflex Automotive
Mobile Climate Control
Modine
Motion Industrie
MTU
Navistar
NHK
Nichirin
NOK
NuCellSys
Parker Hannifin
Perkins Motors
Philips Automobile Lightning
Robert Bosch
Sanden Behr Automotive
Sanden Manufacturing
Sanhua Automobile
Schrader
Senstar Automotive
SMA Metalltechnik
Takata
TI Automotive
Tokyo Industries
Tokyo Radiator
Topvalue Global
Topy America, Inc.
TRW Vehicle Safety Systems
Valeo
Valeo Fawer Compressor
VDO Siemens
Vibracoustic
Visteon
Zexel Valeo Compressor

3.5 联系方式

INFICON China

电话: 021-62093094

电子邮件: reach.china@inficon.com

Internet: www.inficonautomotive.com



INFICON 在中国的工作人员, 通过电话帮助客户

