

■ 上海机动车检测中心计量研究所/袁云峰

温度补偿对零部件 泄漏检测的精度控制

在汽车制造业中，密封性是一项重要的质量指标，而泄漏检测技术经过多年的发展也已经相当成熟，但依然还存在着诸多不确定因素，直接影响其最终的检测结果。温度补偿系统用于零部件密封性检测，鉴于其在实际应用的难度和效果，汽车制造业中不少主流企业逐步转向采用自然或者强制冷却的方法，使其达到与现场环境趋于一致，以实现温度梯度的控制。前提条件是生产现场自身温度变化较小，即保持较小的温度梯度。尽管如此，也并不意味着温度补偿方法已经过时或者被摒弃。事实上，由于设备缺陷或者规划的不尽合理等原因，温度补偿系统用于零部件密封性检测的情况在有些企业仍然存在，以此来保证在现场环境出现异常情况时泄漏检测的准确性。

产品密封性的指标泄漏率 Q ，指单位时间内在一定测量压力下泄漏到大气中的气体体积。依据零部件因泄漏而引起压力变化这一原理，再利用流量、压力的变化量间接地求出泄漏率。通过气体不可压缩、处于恒温状态、被测容积没有变化、被测压力无剧烈变化等，就能得出泄漏率的公式：

$$Q = \frac{\Delta P \times V \times 60}{P_{\text{atm}} \times T_m}$$

式中 Q ——标准大气压下的泄漏率；

ΔP ——压力降变化量；

V ——被测容积体积；

T_m ——测试时间；

P_{atm} ——标准大气压。

如果要保证该公式的成立或者实际结果准确、稳定，一些环境和工况等因素都要考虑，其中包括温度、湿度、工件的材质、被测腔的稳定性、封堵夹具的可靠性以及被测腔内部环境对气流的影响等。其中湿度、工件材质、被测腔体体积、被测腔内部环境和封堵夹具都可以利用各种手段稳定地控制，惟独温度控制始终是最难解决的，也对密封测试影响最大。一方面，虽然很多企业都对车间进行恒温恒压控制，但车间的环境温度还是会根据季节、早中晚气温不同出现较大差异。另一方面，工件从加工中心或清洗机中取出，经过除湿、冷却等工序，基本能达到和环境温度相一致。但是从实际应用和控制节拍等方面的控制来看，实际中经常会出现工件温度和环境温度相差比较大的情况。那么该如何解决因工件温度和环境温度相差大而引起的泄漏呢？

从泄漏率公式可以看出，压力的变化是直接导致泄漏率变化的关键因素，而温度的变化影响压力的变化。由查理定律可知，一定质量的气体，当其体积一定时，它的压强与热力学温度成正比，再根据泄漏率公式，如果时间和容积不变，泄漏率与压力成正比关系。温度升高，压力会增强，泄漏率就会增大；温度减小，压力减弱，泄漏率相应减小。

在实际批量生产过程中，工件的体积基本是恒定的，测量的时间也是根据工艺规定一直固定的，所以最关键的变化量就是压力降的变化。当一个工件从清洗或者其他工序进入密封测试设备中，若没有足够的时间和手段将工件与环境的温度保持一致，那么在测试阶段，

被测腔的表面会很快将工件的热量传递给被测腔的测试空气，从而使腔体内干燥空气的压力增大。而且测试时间越长（短时间内的时间长短），测试腔内空气就越升温充足，腔体内的空气压力会随着温度的上升而明显增大，从而使压力降增大，泄漏率也相应增大。所以，在实际泄漏开始之前，必须使充气过程中加热的空气温度与试验件温度一致。因为温度稍有变化就会引起试验件内的压力变化，而压力发生变化的试验件不能进行精确的泄漏测量。工件温度与测试空气直接的温度变化趋势如图1所示。二者的温度变化过程是，从开始阶段二者温度相差较大到趋于一致。

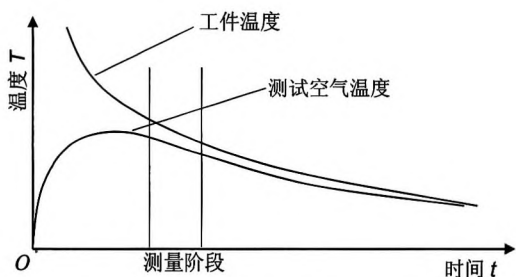


图 1

根据实践应用，一般认为，把工件温度与环境温度控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，温度变化对密封检测的影响就可以忽略不计，比如缸体油道、发动机油道等一些泄漏要求比较高、控制要求比较松的工件。但是对于那些泄漏率要求较严格、泄漏率比较小的工件，如缸体高压油道和罩壳高压油道等，温度对密封测试的影响很大。

通过以下一组试验，可以比较直观地认识温度补偿的概念。将一个与环境温度有差异的工件（清洗烘干过后，或者直接烘箱加热）放入到密封测试的设备中去，记录下该工件从最大温差开始到与环境温度一致的等温状态之间的泄漏值。例如工件从清洗机烘干取出，进入密封测试设备，此时工件温度 31°C 左右，而环境温度是 20°C 。两者的温差在 11°C 左右。测得的结果是，温差最大（ 11°C ）的时候，泄漏率为 1.3mL/min ，而温差接近于零的时候泄漏率为 0.17mL/min 。二者泄漏率相差约为 1mL/min ，是该工件允许泄漏率的20%，而对密封设备的要求是其准确性最大偏差也不能超过10%。也就是说，温差过大会导致所测试的泄漏率偏大。

从泄漏率—温差曲线（见图2）可以看出，在温差超过 10°C 的时候，泄漏率明显偏高。假设该工件本身泄漏在临界点，那么该工件就会被误判为不合格，进入浸渗或者报废程序，从而大大影响节拍。从控制成

本以及节能环保方面来说，这是不合理的。

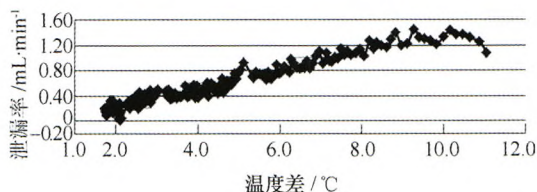


图2 泄漏率—温差曲线

如果进行温度补偿会出现什么结果？利用密封测试设备所配计算机的数据采集和处理功能，将来源于外部环境和所测工件的两个温度传感器的温差进行计算，对长时间的测试数据，进行汇总、分析，得出一个线性温度补偿值。然后对测试结果进行修正，得出比较准确的泄漏值。当使用温度补偿功能后，进行密封测试的每个结果都会给予一个补偿量，而工件温度与环境温度的偏差可为 $-10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

如图3所示，温度补偿后的测量数据更接近于该工件的真实泄漏量，经过补偿后的数据基本分布在真值周围，而未补偿的泄漏率分布则比较离散。

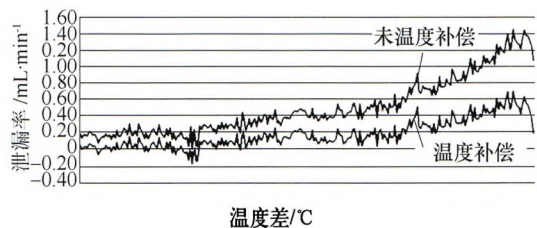


图 3

如上所述，在车间恒温、恒压的条件下，环境温度能够很好地得到控制。但在进入密封测试前，如果没有有效的方法使工件的温度和环境温度达到一致，就会使泄漏率产生偏差。工件温度大于环境温度（比如清洗机清洗过后没有完全冷却），内部压力增大，泄漏率升高；工件温度小于环境温度（如放置在冬天室外的装配件，进入车间装配时，两者之间的温差就比较大），内部压力变小，泄漏率降低。这些情况的出现都会使测试结果不准确。

在对于控制泄漏率比较严格，而温度控制又比较困难的密封测试过程中，温度补偿在一定程度上有效地弥补了由温差引起的泄漏问题，提高了零部件泄漏检测的准确性，对产品的安全性和质量保证起到了重要作用。

关键词：

泄漏检测 温度补偿 精度控制

（收稿日期20121110）