



温度补偿在零部件泄漏检测中的应用

上海机动车检测中心驻上海大众动力总成检具项目组

袁云峰



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，但不可否认的是，还存在着诸多的不确定因素，直接影响着其最终的检测结果。

产品密封性的指标称为泄漏率 Q ，是指单位时间内在一定测量压力下泄漏到标准大气中的气体体积，它依据零部件因存在泄漏，而引起的测量压力变化这一原理，再利用流量、压力的变化量间接地求出泄漏率。通过压缩空气在温度及测试腔容积不变的条件下，泄漏率与压力变化的关系，得到泄漏率的公式。



泄漏率的公式

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

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

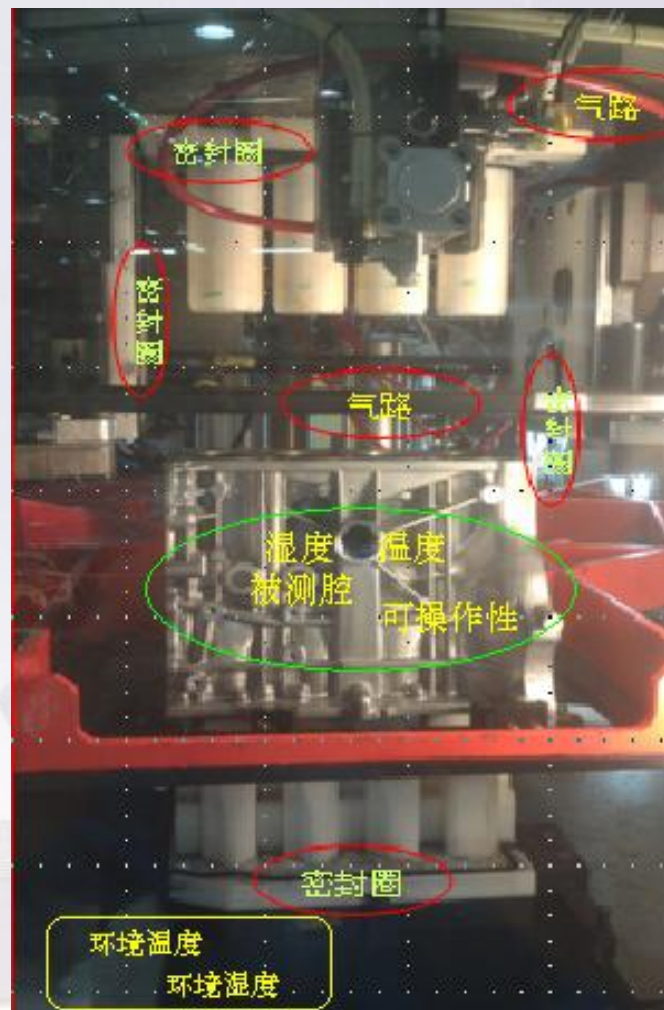
P_{atm} ——标准大气压



影响密封测试的因素

泄漏测试设备是一个复杂的组合体。由很多个部分组成，而每个部件都可能发生问题，导致测试无法准确进行。

1. 封堵夹具的密封不严
2. 被测腔/件的可操作性差
3. 容积不稳定
4. 温度
5. 湿度



● 如果要保证测试结果准确、稳定，除了机械硬件因素外，一些环境和工况等因素都会影响测试结果，其中包括工件的材质、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，湿度影响等等。



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是可以利用各种手段可以比较稳定地可控制。但是对温度控制始终是比较难解决的，也是对密封测试影响比较大的。特别是季节变换，昼夜变化，气源等因素的变换，都难以消除其对于泄漏测试的影响力。



影响温度因素：

- 工件在测试前被清洗过.
- 工件被加工后（例如焊接），直接进行泄漏测试
- 泄漏测试设备在工厂的通风口下
- 被测件由于运行而升温. (如：发动机运转)

解决温度影响的途径：

现今不少企业采用自然或者强制冷却的方法，使工件达到现场环境趋于一致，以实现温度梯度的控制。其前提条件是生产现场自身温度变化较小。

常用的解决途径是工件从加工中心或者清洗机出来，经过除湿、冷却等工序，基本能达到和环境温度相一致。



从实际应用和控制节拍等方面的因素来看，还是会经常出现工件温度和环境温度相差比较大的情况。那么我们该如何解决无法消除的温度影响，引起的工件温度和环境温度偏差过大，而导致的泄漏呢？



在技术发展突飞猛进的今天，已经有着很多方法去解决温差影响。但尽管如此，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。虽然温度补偿在实际应用中存在一定难度，但温度补偿在实际应用中也不失为一种有效的方法。很多企业也仍然青睐于在某些零部件密封性检测中使用温度补偿。以此来保证在现场环境出现异常情况，或无法消除较大温差影响时的泄漏检测的准确性。



温度与泄漏率的关系

根据泄漏率公式（1）可以看出，压力的变化是直接导致泄漏结果的关键。而温度的变化影响着压力的变化。



查理定律 (Charles's law)

描述定质量气体在体积不变时其压力随温度作线性变化的规律： $P=P_0(1+\beta t)$ ，其中 P_0 是在 0°C 时的压强， t 为摄氏温度， β 是气体的膨胀系数。对于理想气体， β 与气体种类及温度范围无关，且 $\beta=1/273$ ，这时 $P=P_0(1+t/273)$ 。对于热力学温标，则有 $P/T=C$ （ C 为定值），说明定质量定体积理想气体的压力与热力学温度成正比。



查理定律指出，一定质量的气体，当其体积不变时，它的压强与热力学温度成正比。即

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$



从根据泄漏率公式知道，如果时间和容积积不变，那么泄漏率与压力降也就成正比关系。

根据压力降受温度影响的变化规律可以知道，当温度上升，压力降减小，泄漏率变小。温度下降，压力降增大，泄漏率变大。

。



泄漏测试时 ΔP （压力降）的变化规律

- 测试气体无温差影响时： ΔP =泄漏导致的压力下降
- 测试气体温度上升影响时： ΔP =泄漏导致的压力下降与温度上升导致的压力升的差
- 测试气体温度下降影响时： ΔP =泄漏导致的压力下降与温度下降导致的压力降的和



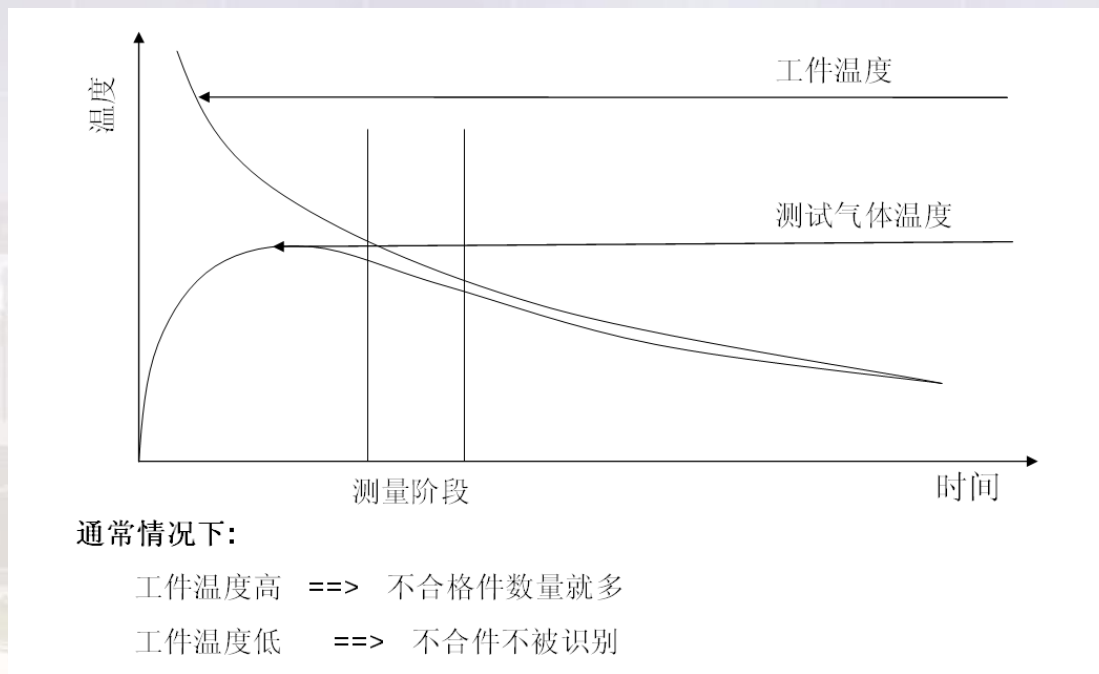
在实际批量生产过程中，工件的体积基本是恒定的，测量的时间也是根据工艺规定，一直固定的。所以最关键的变化量就是压力降的变化。当一个工件从清洗或者其他工序进入密封测试设备中，若没有足够的时间和手段将工件与环境的温度保持一致。

压缩空气充入到工件中后，刚开始压缩空气由于和热工件接触发生热传递，温度会上升，压力增大，如果在这一状态下测试泄漏率，则泄漏率值会偏小。

但我们实际生产时，往往是在压缩空气已经升至工件温度的状态下测量泄漏率的，在这种情况下，由于热工件在环境中温度会下降到接近环境温度，压缩空气温度则随着工件温度的下降而下降，因此压力下降，测得泄漏率也就偏大。



所以，在实际测试泄漏开始之前，必须使测试空气与试验件温度一致。因为温度稍有变化就会引起试验件内的压力有变化，而引起压力变化的试验件不能进行精确的泄漏测量。如图所示，是一个工件温度与测试空气温度变化趋势；从开始阶段两者温度相差较大，到趋于一致的变化过程。

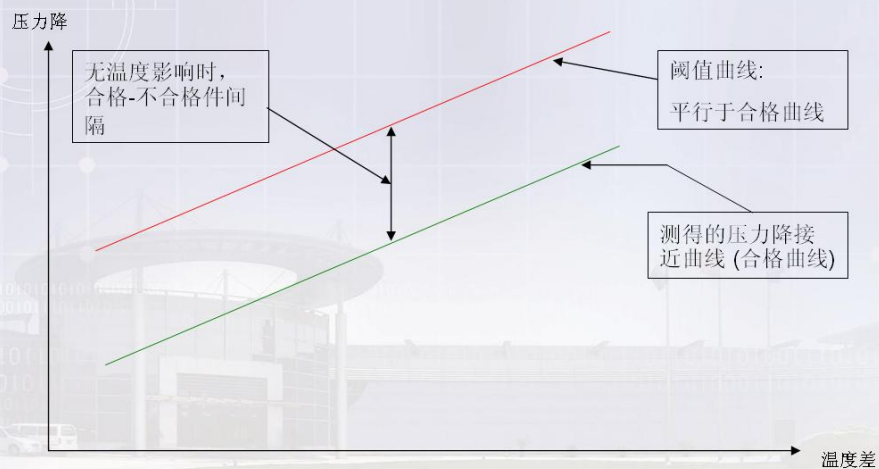


两种测漏方法的温度补偿

温度补偿:

• 压力降式泄漏检测仪:

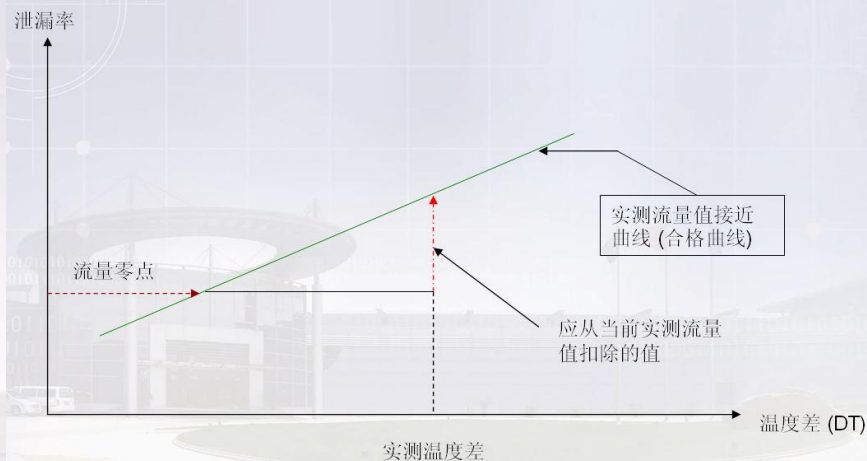
根据温度差（工件温度—环境温度）移动阈值来实现补偿



温度补偿:

质量流量式泄漏检测仪:

通过扣除受温度影响的流量值来补偿, 显示器上只显示补偿后的流量值.



根据实践应用，我们一般认为，把工件温度与环境温度控制在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，温度变化对密封检测的影响较小，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大，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，罩壳高压油道等。那么温度对密封测试的影响就会很大。



温度补偿方法

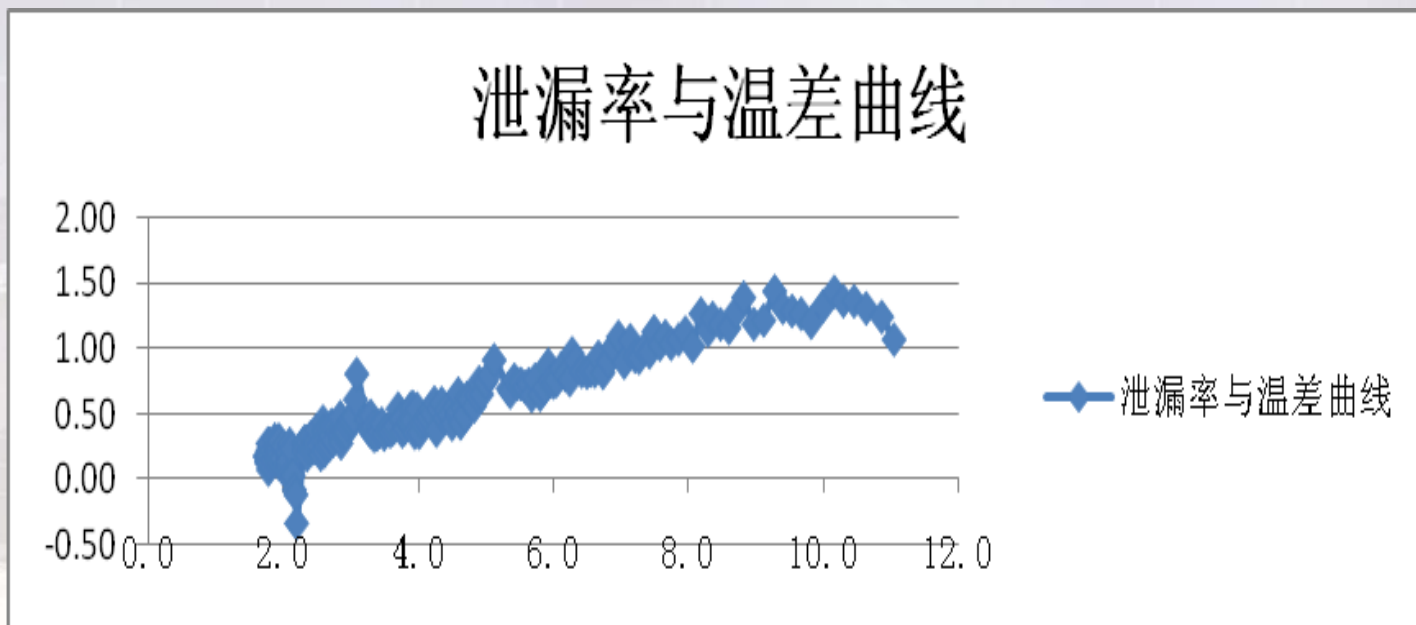
通过以下一组实验，我们可以比较直观得认识温度补偿的概念。将一个与环境温度有差异的样件（清洗过后，或者直接烘箱加热）放入到泄漏测试的设备中去，记录下该样件从最大温差开始到与环境温度一致的等温状态之间的泄漏值。



将泄漏率为0.1ccm/min的试验样件放入到泄漏测试设备中，此时工件的31度左右，而环境的温度是20度。两者的温差在11度左右。测得的结果是，温差最大的时候，泄漏率在1.3ccm/min，而温差接近于零的时候的泄漏率在0.17ccm/min。也就是说，温差大的泄漏率要比温差小的泄漏率大了1ccm/min，是该工件允许泄漏率的20%。而我们对于密封设备的要求，其准确性最大也不能超过10%。那么这样一个情况的出现，就会导致我们在温差过大的时候，所测试的泄漏率偏大。



通过泄漏率与温差的曲线，从图中的试验数据可以看出，在温差超过10度的时候，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，而从控制成本以及节能环保方面来说，就明显不是很合理了。

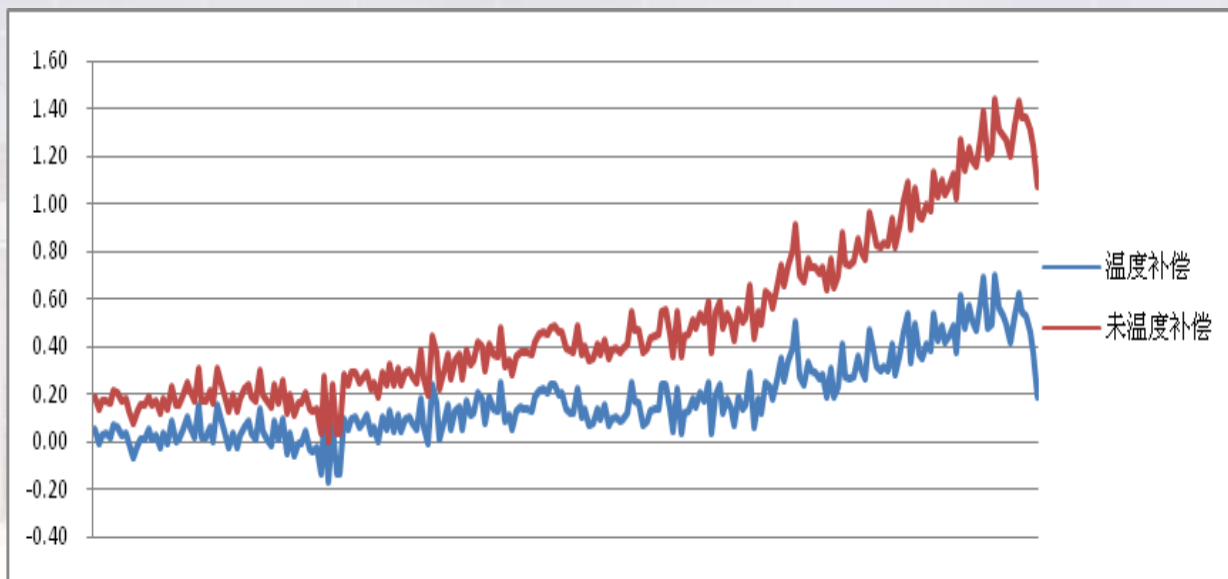


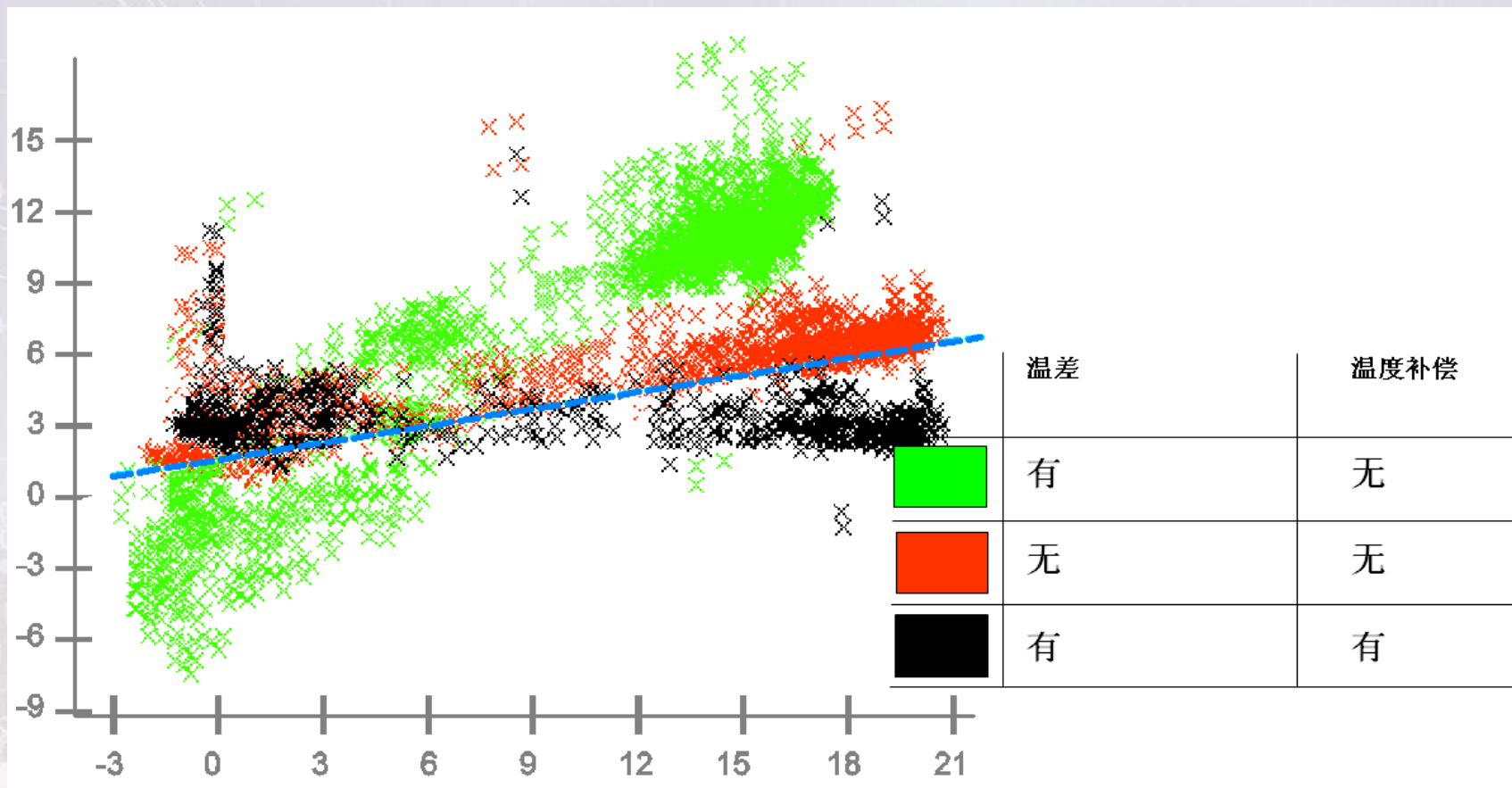
那么如果进行温度补偿会出现怎么样的结果呢？

利用密封测试设备所配计算机的数据采集和处理功能，采集环境中的温度传感器和所测工件表面的温度传感器的温差，进行计算。然后对长时间的测试数据，进行汇总、分析，然后得出一个或者一组补偿值。然后对测试结果进行修正，就能得出比较准确的泄漏值。当我们使用到温度补偿这个功能后，所进行的密封测试，都会给予每个结果一个补偿量。而工件温度与环境温度的偏差甚至可以达到-10度到+20度。



对温度补偿值进行准确的计算后，打开温度补偿功能，会得到一组补偿过后的数据。然后与未补偿数据进行比对。在图中我们会欣喜得发现，补偿后的数据更接近于该工件的真实泄漏量。其中红色曲线是未补偿的泄漏率，而蓝色曲线是经过温度补偿后的泄漏率，我们可以明显的看到，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。





如上所述，即使在车间恒温、恒压的条件下，能够很好得控制环境的温度。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，就会使得泄漏率产生偏差，工件温度大于环境温度，工件温度会降低到与环境温度一致，压缩空气温度也会降低，压力降减小，泄漏率升高。比如清洗机清洗过后没有完全的冷却。工件温度小于环境温度，工件温度上升到环境温度，压缩空气温度也将上升，压力降变大，泄漏率降低。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。这些情况的出现都会使得测试结果不准确。



结论：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，温度补偿可以在一定程度上有效地弥补了由温差引起的泄漏测试偏差问题。

