

应用文章

暖通空调压缩电机的
绝缘电阻和电气测试

维护工程师很少能够仅依赖单次测试就判断出某种功能、过程或机械设备是否合格或存在故障。他们走近电机，倾听电机声音，将手掌放在电机支架上，感受电机周围的空气是否有异常升温的迹象。不过所有这些都是他们打开工具箱之前要做的。

接下来，他们使用红外热像仪来查找高温点。然后拿出钳型表，测量电流。做的检查和复查越多，他们感觉越安心，越能接近真相。对于电机绝缘电阻进行测试(IRT)以及测试介电吸收和绝缘随温度的变化，可以增加几个新的数据点，帮助运维工程师维持设备正常高效运转。

绝缘电阻测试仪为电机的绕组和绝缘点提供“非破坏性”直流电压，以测量漏电流。没有完美的绝缘体，它们都会泄露。但是，问题是：它们泄露多少，以及绝缘的好坏是否由于绝缘损坏或污染随时间发生了变化？后者是预测性维护的关键。

绝缘测试可以检查通断性、线圈或绕组电阻、加热元件电阻、热敏电阻电阻值等。所有这些测量值均通过绝缘体内的电路测得，除了检查对地短路时。

一旦探测到对地短路，意味着已经发生了灾难性的设备故障，无论是预防性维护还是前瞻性补救措施都已经为时晚矣。含有油和冷却剂的(半)封闭式压缩机内部发生的灾难性电机故障，较好情况下需要大量的清洗过程，最糟糕的情况下需要更换新设备，而不仅仅是更换组件，这些故障同时会导致生产时间和收益的损失。最好定期检查绝缘值并对其进行记录，供下次检查时进行比较，这样任何变化都显而易见。



施加 500V 电压时，该绝缘测试仪读数显示 $>550 \text{ M}\Omega$ ，表示电阻超出测量范围。在 1000 V 时进行第二次绝缘测试，显示 $1.1 \text{ G}\Omega$ ($1100 \text{ M}\Omega$)。如果没有探测出泄漏电流，读数应该是 $>2.2 \text{ G}\Omega$ 。Fluke 1587 FC 绝缘万用表集 DMM(伏特、欧姆、毫伏、毫安、频率、电容、温度)特性以及兆欧表于一身，适用于电机的综合维护。

监测对象

关于如何解读绝缘电阻值，并没有严格的硬性合格/不合格规则，但是制造商和代理商一致认为绝缘测试结果是预测电机健康情况的明确指示。

针对电机绝缘测试的 IEEE 43 标准曾经给出最小可接受数值为 $1\text{M}\Omega + 1\text{M}\Omega/\text{kV}$ 电机工作电压。对于 460 伏特电机，合格/不合格门限值为 1.46 兆欧，或者电流泄漏率为 $500\text{Vdc}/1,460,000\Omega \approx 342\mu\text{A}$ 。

但是，该标准不适合用于油和冷却剂密封的电机。浸没在液体中的电机可能需要使用较低的数值作为制造商推荐值。对于浸没在液体中的电机，施加 500 Vdc 时的可接受值为 $600,000 \Omega$ ，或者电流泄漏率为 $500 \text{ V}/600,000 \Omega \approx 833 \mu\text{A}$ 。

自 1975 年左右以来，使用的一些最新的绝缘材料已经改进了其绝缘值，可能不允许泄露电流，绝

缘电阻值接近 20,000 MΩ (20 kMΩ)，如果绝缘值低于 100 MΩ，则可能不可接受，无论绕组上是否存在表面污染。

密封电机环境及影响

由于压缩机电机的工作环境性质，对密封压缩机进行 IRT (绝缘电阻测试) 需要两个步骤。

1. 绝缘电阻测量，以检查电机绕组绝缘退化情况
2. 检查是否存在影响 IR 测试结果的污染。

第一次 IR 测试是针对已经关机的压缩机，第二次测试是在压缩机工作五分钟或十分钟之后进行。第一次测试更容易暴露油或冷却剂污染问题。

第二次测试，虽然仍然受污染影响，更偏向于真正的电机 IR 测试，驱动大部分冷却剂、油和湿气排出绕组。

随着 HCFC 被逐渐淘汰，要求使用 POE (多元醇酯) 润滑剂的更新换代产品 HFC 越来越普遍，由于 POE 润滑剂具有吸湿性，对压缩机进行 IRT 测试变得越来越重要。除了湿度指示观察镜、油和湿气采样试剂或液体以及 IRT 以外，我们还有其他方法来评估油内的湿气。

IRT 步骤

当系统处于真空环境下时，切勿进行绝缘电阻测试或启动压缩机。

1. 拆下压缩机端子上的所有线缆，隔离压缩机。
2. 如果配有接线端子排，将其从压缩机上拆下。

影响绝缘电阻和压缩机寿命的因素

- 无法正常使系统脱水
 - 冷却剂与湿气发生水解作用更可能导致生成氢氟酸。氢氟酸会腐蚀玻璃。这对电机绕组的绝缘有什么影响？
 - 酸会腐蚀管壁中的铜。这种铜具有传导性，会降低油的介电 (非传导性) 强度。电机轴承上也有镀铜，最终导致启动困难、工作电流高或转子锁定。
 - POE 润滑剂中存在的湿气将被吸收。
- 组装之前无法对管道钻孔
 - 这会导致压缩机油内出现铜刨花。铜具有传导性，会降低油的介电强度。
 - 钎焊过程中，无法将氧气替换为氮气或氩气等惰性气体
 - 铜氧化物具有传导性，会降低油的介电强度。
 - 制冷剂泄露
 - 制冷剂容量低导致电机的工作温度升高，对电机绕组的绝缘造成压力。

3. 用干净、干燥的抹布清洁端子。
4. 如可能，将压缩机端子并联在一起。*
5. 清洁压缩机机底座的氧化点，用干净、干燥的抹布擦拭。
6. 测量压缩机端子的温度。由于无法直接测量绕组的温度，测量从绕组直接传导的压缩机端子温度也不失为是个好方法。压缩机端子温度应高于环境空气露点，否则端子上的湿气可能影响读数。
7. 使用提供的鳄鱼夹附件将接地线连接至压缩机的接地位置。
8. 将仪表调节到绝缘测试位置，选择 500 Vdc 测试电压。
9. 将测试探头与压缩机端子并联。
10. 按下测试探头(或仪表)上的测试按钮，并持续一段测试时间(60 秒)。
11. 记录电阻值和端子温度。
12. 拆下压缩机端子上的分流器，恢复正确的电气连接。
13. 使压缩机工作 5 或 10 分钟。
14. 重复第 1 至 11 步。

*大部分压缩机电机绕组都与压缩机共用内部连接，因此绕组无法隔离。如果压缩机绕组被隔离，最好在测试某一组绕组的同时将另外两组绕组接地。这个步骤将重复三次，每组绕组一次。这样将不仅检查接地电阻，还检查被测绕组和其它两组绕组之间的电阻，测试绕组间短路的可能性

保存记录的读数，并根据所选基线温度对温度进行补偿。高于基线温度时，每偏差 10 °C (18 °F)，电阻值减半。每低于基线值时 10 °C (18 °F)，电阻值加倍。如果我们选择 40 °C (104 °F)作为基线值，则所有趋势测量值，过去、现在和未来，均需要根据该值进行补偿。对于温度补偿，采用以下公式：

$$KT = (0.5)^{(TR-TA)/10}$$

其中， K_T 为 T_A 时的温度修正因子 T_R 为参考温度 (°C)，根据该值修正所有测量值

T_A 为实际测试温度(°C)

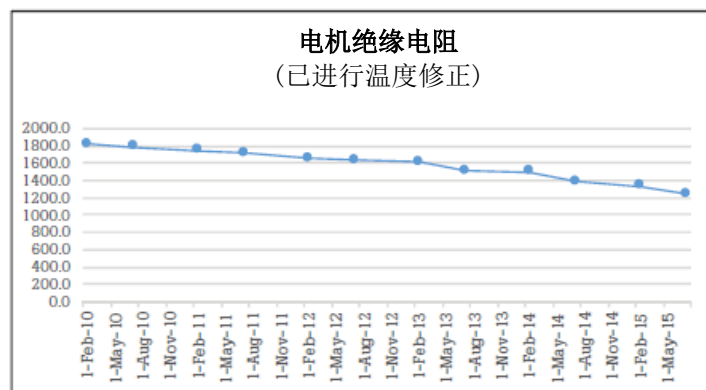
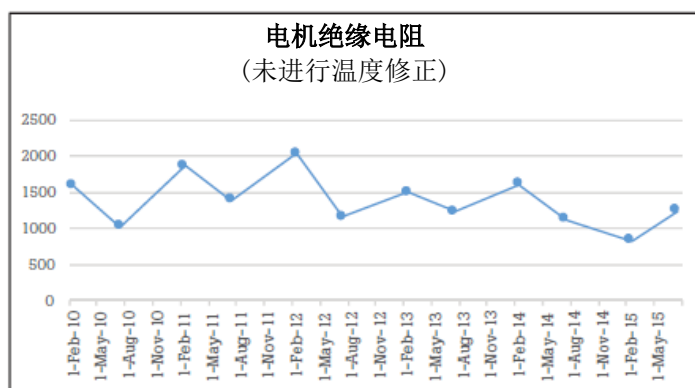
$T_R = 40\text{ °C}$

如果读数超过 IRT 仪表的量程范围，将显示“大于(>)”符号以指示该读数，同时对其进行记录和保存，以便跟踪未来变化，对趋势目的没有意义。对于一些现代化绝缘技术，在电机的大部分生命周期内，读数超量程(> 2000 MΩ)也并非不可能，只有在接近电机使用寿命时才可能测得趋势。如果是这种情况，当看到有效兆欧值时，应考虑进行清洗。

以下例子显示未补偿的测试电阻值和补偿电阻值，该电阻值用于根据 40 °C 基值补偿估计的电阻温度。随后的两张图显示与补偿数值相比的未补偿趋势数据。

了解温度如何影响电阻测量值对于长期维护工作很重要。幸运的是，福禄克通过应用程序提供解决方案，帮助执行温度补偿计算。Fluke 1587 FC 可以测量电机的温度和绝缘电阻，并通过 Fluke Connect® 应用程序将这些结果传输至智能手机。利用该应用程序，您可以输入被测温度并进行补偿，这样您就可以准确比较历史读数。

日期	实测绝缘电阻 (MΩ)	温度 (°C)	温度补偿后的绝缘电阻(MΩ)	温度补偿因子 KT
10年2月5日	1584.3	42	1819.9	1.15
10年7月8日	1025.3	48	1785.2	1.74
11年2月14日	1867.2	39	1742.2	0.93
11年7月2日	1388.4	43	1709.3	1.23
12年2月10日	2035.3	37	1653.2	0.81
12年7月3日	1156.4	45	1635.4	1.41
13年2月4日	1503.2	41	1611.1	1.07
13年7月8日	1224.3	43	1507.3	1.23
14年2月12日	1604.9	39	1497.4	0.93
14年7月1日	1123.6	43	1383.3	1.23
15年2月14日	821	47	1333.7	1.62
15年7月10日	1245.7	40	1245.7	1.00



总结

尽管暖通维护工程师很喜欢在其诊断程序中增加“合格/不合格”规则，但从技术角度讲，机械从投入运行的那一刻起，就拉开了其最终故障状态的序幕。维护以及对细节的关注越多，我们能够预测产品寿命的可能性就越高大；故障的成本越高，定期测试以及跟踪测量值随时间的变化所带来的优势就越明显。



“无穷大”读数的含义

无穷大不是一个读数。无穷大表示测试结果超出仪表的量程能力。使用输出低于 9 V dc 的标准伏特欧姆表，压缩机公共端和接地之间的读数可能指示“无穷大”。使用输出为 500 V dc 的绝缘电阻测试仪，压缩机公共端和接地之间的读数可能为 20 兆欧。以最好的自然绝缘体——空气——为例。如果存在足够高的电势，极性不同，电流将在空隙内产生电弧。例如火花塞，例如闪电。

福禄克，助您与世界同步！®

Fluke Corporation

PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

Fluke Europe B.V.

PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

更多信息请致电：

In the U.S.A. (800) 443-5853 or

Fax (425) 446-5116

In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 or

Fax +31 (0) 40 2675 222

In Canada (800)-36-FLUKE or

Fax (905) 890-6866

From other countries +1 (425) 446-5500 or

Fax +1 (425) 446-5116

Web access: <http://www.fluke.com>