

压缩机常见故障分析(1)--电机烧毁

韩润虎

【摘要】绕组烧毁是压缩机常见故障。绕组烧毁前的迹象不容易发现，而烧毁后一些导致烧毁的直接原因又被掩盖，给事后分析增加了难度。本文就电机负荷过大，电压异常，散热不足和绕组绝缘破坏几方面进行了分析，揭示了这些因素与电机损坏之间的关系。

【关键词】电机烧毁，绕组烧毁，压缩机故障，

Compressor Failure Analysis (1)—Motor Burnout

Jet Han

Emerson Climate Technologies

【Abstract】 Winding burnout is one of the main phenomenon of compressor failure which is not easy to be found beforehand. Burnout of winding destroys some of the immediate proof that causes the failure, making it difficult to investigate the accident. Abnormal power supply, overload, inadequate cooling, winding insulation failure and their influence to motor failure are discussed in the paper.

【Keywords】 Motor Burnout, Winding Burnout, Compressor failure

电动机压缩机（以下简称压缩机）的故障可分为电机故障和机械故障（包括曲轴，连杆，活塞，阀片，缸盖垫等）。机械故障往往使电机超负荷运转甚至堵转，是电机损坏的主要原因之一。

电机的损坏主要表现为定子绕组绝缘层破坏（短路）和断路等。定子绕组损坏后很难及时发现，最终可能导致绕组烧毁。绕组烧毁后，掩盖了一些导致烧毁的现象或直接原因，使得事后分析和原因调查比较困难。

然而，电机的运转离不开正常的电源输入，合理的电机负荷，良好的散热和绕组漆包线绝缘层的保护。从这几方面入手，不难发现绕组烧毁的原因不外乎如下六种：(1)异常负荷和堵转；(2)金属屑引起的绕组短路；(3)接触器问题；

(4)电源缺相和电压异常；(5)冷却不足；(6)用压缩机抽真空。实际上，多种因素共同促成的电机损坏更为常见。

1. 异常负荷和堵转

电机负荷包括压缩气体所需负荷以及克服机械摩擦所需负荷。压比过大，或压差过大，会使压缩过程更为困难；而润滑失效引起的摩擦阻力增加，以及极端情况下的电机堵转，将大大增加电机负荷。

润滑失效，摩擦阻力增大，是负荷异常的首要原因。回液稀释润滑油，润滑油过热，润滑油焦化变质，以及缺油等都会破坏正常润滑，导致润滑失效。回液稀释润滑油，影响摩擦面正常油膜的形成，甚至冲刷掉原有油膜，增加摩

擦和磨损。压缩机过热会引起使润滑油高温变稀甚至焦化，影响正常油膜的形成。系统回油不好，压缩机缺油，自然无法维持正常润滑。曲轴高速旋转，连杆活塞等高速运动，没有油膜保护的摩擦面会迅速升温，局部高温使润滑油迅速蒸发或焦化，使该部位润滑更加困难，数秒钟内可引起局部严重磨损。润滑失效，局部磨损，使曲轴转动需要更大力矩。小功率压缩机（如冰箱，家用空调压缩机）由于电机扭矩小，润滑失效后常出现堵转（电机无法转动）现象，并进入“堵转—热保护—堵转”死循环，电机烧毁只是时间问题。而大功率半封闭压缩机电机扭矩很大，局部磨损不会引起堵转，电机功率会在一定范围内随负荷而增大，从而引起更为严重的磨损，甚至引起咬缸（活塞卡在气缸内），连杆断裂等严重损坏。

堵转时的电流（堵转电流）大约是正常运行电流的4—8倍。电机启动瞬间，电流的峰值可接近或达到堵转电流。由于电阻放热量与电流的平方成正比，启动和堵转时的电流会使绕组迅速升温。热保护可以在堵转时保护电机，但一般不会有很快的响应，不能阻止频繁启动等引起的绕组温度变化。频繁启动和异常负荷，使绕组经受高温考验，会降低漆包线的绝缘性能。

此外，压缩气体所需负荷也会随压缩比增大和压差增大而增大。因此将高温压缩机用于低温，或将低温压缩机用于高温，都会影响电机负荷和散热，是不合适的，会缩短电机使用寿命。

绕组绝缘性能变差后，如果有其它因素（如金属屑构成导电回路，酸性润滑油等）配合，很容易引起短路而损坏。

2. 金属屑引起的短路

绕组中夹杂的金属屑是短路和接地绝缘值低的罪魁祸首。压缩机运转时的正常振动，以及每次启动时绕组受电磁力作用而扭动，都会促使夹杂于绕组间的金属屑与绕组漆包线之间的相对运动和摩擦。棱角锐利的金属屑会划伤漆包线绝缘层，引起短路。

金属屑的来源包括施工时留下的铜管屑，焊渣，压缩机内部磨损和零部件损坏（比如阀片破碎）时掉下的金属屑等。对于全封闭压缩机（包括全封闭涡旋压缩机），这些金属屑或碎粒会落在绕组上。对于半封闭压缩机，有些颗粒会随气体和润滑油在系统中流动，最后由于磁性聚集在绕组中；而有些金属屑（比如轴承磨损以及电机转子与定子磨损（扫膛）时产生的）会直接落在绕组上。绕组中聚集了金属屑后，发生短路只是一个时间问题。

需要特别提请注意的是双级压缩机。在双级压缩机中，回气以及正常的回油直接进入第一级（低压级）气缸，压缩后经中压管进入电机腔冷却绕组，然后和普通单级压缩机一样，进入第二级（高压级气缸）。回气中带有润滑油，已经使压缩过程如履薄冰，如果再有回液，第一级气缸的阀片很容易被打碎。碎阀片经中压管后可进入绕组。因此，

双级压缩机比单级压缩机更容易出现金属屑引起的电机短路。

不幸的事情往往凑到一块，出问题的压缩机在开机分析时闻道的常常是润滑油的焦糊味。金属面严重磨损时温度是很高的，而润滑油在 175°C 以上时开始焦化。系统中如果有较多水分（真空抽得不理想，润滑油和制冷剂含水量大，负压回气管破裂后空气进入等），润滑油就可能出现酸性。酸性润滑油会腐蚀铜管和绕组绝缘层，一方面，它会引起镀铜现象；另一方面，这种含有铜原子的酸性润滑油的绝缘性能很差，为绕组短路提供了条件。

3. 接触器问题

接触器是电机控制回路中重要部件之一，选型不合理可以毁坏最好的压缩机。按负载正确选择接触器是极其重要的。

接触器必须能满足苛刻的条件，如快速循环，持续超载和低电压。它们必须有足够大的面积以散发负载电流所产生的热量，触点材料的选择必须在启动或堵转等大电流情况下能防止焊合。

为了安全可靠，压缩机接触器要同时断开三相电路。谷轮公司不推荐断开二相电路的方法。

在美国，谷轮公司认可的接触器必须满足如下四项：

- 接触器必须满足 ARI 标准 780-78 “专用接触器标准”规定的工作和测试准则。
- 制造商必须保证接触器在室温下，在最低铭牌电压的 80% 时能闭合。

- 当使用单个接触器时，接触器额定电流必须大于电机铭牌电流额定值 (RLA)。同时，接触器必须能承受电机堵转电流。如果接触器下游还有其它负载，比如电机风扇等，也必须考虑。
- 当使用两个接触器时，每个接触器的分绕组堵转额定值必须等于或大于压缩机半绕组堵转额定值。

接触器的额定电流不能低于压缩机铭牌上的额定电流。规格小或质量低劣的接触器无法经受压缩机启动，堵转和低电压时的大电流冲击，容易出现单相或多相触点抖动，焊接甚至脱落的现象，引起电机损坏。

触点抖动的接触器频繁地启停电机。电机频繁启动，巨大的启动电流和发热，会加剧绕组绝缘层的老化。每次启动时，磁性力矩使电机绕组有微小的移动和相互摩擦。如果有其它因素配合（如金属屑，绝缘性差的润滑油等），很容易引起绕组间短路。热保护系统并未设计成能防止这种毁坏。此外，抖动的接触器线圈容易失效。如果有接触线圈损坏，容易出现单相状态。

如果接触器选型偏小，触头不能承受电弧和由于频繁开停循环或不稳定控制回路电压产生的高温，可能焊合或从触头架中脱落。焊合的触头将产生永久性单相状态，使过载保护器持续地循环接通和断开。

需要特别强调的是，接触器触点焊

合后，依赖接触器断开压缩机电源回路的所有控制（比如高低压控制，油压控制，融霜控制等）将全部失效，压缩机处于无保护状态。

因此，当电机烧毁后，检查接触器是必不可少的工序。接触器是导致电机损坏的一个常常被人遗忘的重要原因。

4. 电源缺相和电压异常

电压不正常和缺相可以轻而易举地毁掉任何电机。电源电压变化范围不能超过额定电压的±10%。三相间的电压不平衡不能超过5%。大功率电机必须独立供电，以防同线其他大功率设备启动和运转时造成低电压。电机电源线必须能够承载电机的额定电流。

如果发生缺相时压缩机正在运转，它将继续运行但会有大的负载电流。电机绕组会很快过热，正常情况下压缩机会被热保护。当电机绕组冷却至设定温度，接触器会闭合，但压缩机启动不起来，出现堵转，并进入“堵转—热保护—堵转”死循环。

现代电机绕组的差别非常小，电源三相平衡时相电流的差别可以忽略。理想状态下，相电压始终相等，只要在任一相上接一个保护器就可以防止过电流造成的损坏。实际上很难保证相电压的平衡。

电压不平衡百分数计算方法为，相电压与三相电压平均值的最大偏差值与三相电压平均值比值。例如，标称380V三相电源，在压缩机接线端测量的电压分别为380V, 366V, 400V。可以计算出三

相电压平均值382V，最大偏差为20V，所以电压不平衡百分数为5.2%。

作为电压不平衡的结果，在正常运行使负载电流的不平衡是电压不平衡百分点数的4—10倍。前例中，5.2%不平衡电压可能引起50%的电流不平衡。

美国国家电器制造商协会(NEMA)电动机和发电机标准出版物指出，由不平衡电压造成的相绕组温升百分比大约是电压不平衡百分点数平方的两倍。前例中电压不平衡点数为5.2，绕组温度增加的百分数为54%。结果是一相绕组过热而其他两个绕组温度正常。

一份由U. L. (保险商实验室，美国)完成的调查显示，43%的电力公司允许3%的电压不平衡，另有30%的电力公司允许5%的电压不平衡。

5. 冷却不足

功率较大的压缩机一般都是回气冷却型的。蒸发温度越低，系统质量流往往越小。当蒸发温度很低时（超过制造商的规定），流量就不足以冷却电机，电机就会在较高温度下运转。空气冷却型压缩机（一般不超过10HP）对回气的依赖性小，但对压缩机环境温度和冷却风量有明确要求。

制冷剂大量泄漏也会造成系统质量流减小，电机的冷却也会受到影响。一些无人看管的冷库等，往往要等到制冷效果很差时才会发现制冷剂大量泄漏了。

电机过热后会出现频繁保护，有些用户不深入检查原因，甚至将热保护器短路，那是非常糟糕的事情。过不了多久，电机就会烧掉。

压缩机都有安全运行工况范围。安全工况主要的考虑因素就是压缩机和电机的负荷与冷却。由于不同温区的压缩机的价格不同，过去国内冷冻行业超范围使用压缩机是比较常见的。随着专业知识的增长和经济条件的改善，情况已明显改善。

6. 用压缩机抽真空

开启式制冷压缩机已经被人们淡忘了，但制冷行业中还有一些现场施工人员保留了过去的习惯——用压缩机抽真空。这是非常危险的。

空气扮演着绝缘介质的角色。密闭容器内抽真空后，里面的电极之间的放电现象就很容易发生。因此，随着压缩机壳体真空度的加深，壳内裸露的接线柱之间或绝缘层有微小破损的绕组之间失去了绝缘介质，一旦通电，电机可能在瞬间内短路烧毁。如果壳体漏电，还可能造成人员触电。

因此，禁止用压缩机抽真空，并且在系统和压缩机处于真空状态时（抽完真空还没有加制冷剂），严禁给压缩机通

电。

总结

电机烧毁后，掩盖了绕组损坏的现象，给故障分析造成了一定的困难。然而引起压缩机电机损坏的根本原因并不会消失。润滑不良或失效时引起的异常负荷甚至堵转，散热不足，都会缩短绕组的寿命；绕组中夹杂了金属屑更是为短路提供了变利；接触器焊合将使压缩机的保护无法执行；电机赖以运转的电源出现异常，将从根本上毁掉任何电机；用压缩机抽真空，可能引起内接线柱放电。

不幸的是，上述不利因素还会相互引发：异常负荷和堵转时的大电流可能导致接触器焊合；单个触点拉弧甚至焊合会引起相不平衡或单相；相不平衡会引起散热问题；散热不足会引起磨损；磨损会产生金属屑...

因此，正确安装使用压缩机，以及合理的日常维护，可以防止不利因素的出现，是避免压缩机电机损坏的根本方法。