

压缩机常见故障分析(比较详细分析)

压缩机常见故障分析(1)——电机烧毁

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), 这些金属屑或颗粒会落在绕组上。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℃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 $\pm 10\%$ 。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的平方。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不平衡或单相；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。

3.原因分析

显然，能引起压缩机液击的液体不外乎如下几种来源：1）回液，即从蒸发器中流回压缩机的液态制冷剂或润滑油；2）带液启动时的泡沫；3）压缩机内的润滑油太多。本文将对这几种原因逐一分析。

(1)回液

通常，回液是指压缩机运行时蒸发器中的液态制冷剂通过吸气管路回到压缩机的现象或过程。

对于使用膨胀阀的制冷系统，回液与膨胀阀选型和使用不当密切相关。膨胀阀选型过大、过热度设定太小、感温包安装方法不正确或绝热包扎破损、膨胀阀失灵都可能造成回液。对于使用毛细管的小制冷系统而言，加液量过大会引起回液。

利用热气融霜的系统容易发生回液。无论采用四通阀进行热泵运行，还是采用热气旁通阀时的制冷运行，热气融霜后会在蒸发器内形成大量液体，这些液体在随后的制冷运行开始时既有可能回到压缩机。

此外，蒸发器结霜严重或风扇故障时传热变差，未蒸发的液体会引起回液。冷库温度频繁波动也会引起膨胀阀反应失灵而引起回液。

回液引起的液击事故大多发生在空气冷却型（简称风冷或空冷）半封闭压缩机和单机双级压缩机中，因为这些压缩机的气缸与回气管是直接相通的，一旦回液，就很容易引发液击事故。即使没有引起液击，回液进入汽缸将稀释或冲刷掉活塞及汽缸壁上的润滑油，加剧活塞磨损。

对于回气（制冷剂蒸汽）冷却型半封闭和全封闭压缩机，回液很少引起液击。但会稀释曲轴箱内的润滑油。含有大量液态制冷剂的润滑油粘度低，在摩擦面不能形成足够的油膜，导致运动件的快速磨损。另外，润滑油中的制冷剂在输送过程中遇热会沸腾，影响润滑油的正常输送。而距离油泵越远，问题就越明显越严重。如果电机端的轴承发生严重的磨损，曲轴可能向一侧沉降，容易导致定子扫堂及电机烧毁。

显然，回液不仅会引起液击，还会稀释润滑油造成磨损。磨损时电机的负荷和电流会大大增加，久而久之将引起电机故障。

对于回液较难避免的制冷系统，安装气液分离器和采用抽空停机控制可以有效阻止或降低回液的危害。

(2)带液启动

回气冷却型压缩机在启动时，曲轴箱内的润滑油剧烈起泡的现象叫带液启动。带液启动时的起泡现象可以在油视镜上清楚地观察到。带液启动的根本原因是润滑油中溶解的以及沉在润滑油下面了大量的制冷剂，在压力突然降低时突然沸腾，并引起润滑油的起泡现象。这种现象很像日常生活中人们突然打开可乐瓶时的可乐起泡现象。起泡持续的时间长短与制冷剂的量有关，通常为几分钟或十几分钟。大量泡沫漂浮在油面上，甚至充满了曲轴箱。一旦通过进气道吸入气缸，泡沫会还原成液体（润滑油与制冷剂的混合物），很容易引起液击。显然，带液启动引起的液击只发生在启动过程。

与回液不同，引起带液启动的制冷剂是以“制冷剂迁移”的方式进入曲轴箱的。制冷剂迁移是指压缩机停止运行时，蒸发器中的制冷剂以气体形式，通过回气管路进入压缩机并被润滑油吸收，或在压缩机内冷凝后与润滑油混合的过程或现象。

压缩机停机后，温度会降低，而压力会升高。由于润滑油中的制冷剂蒸汽分压低，就会吸收油面上的制冷剂蒸气，造成曲轴箱气压低于蒸发器气压的现象。油温愈低，蒸汽压力越低，对制冷剂蒸汽的吸收力就愈大。蒸发器中的蒸汽就会慢慢向曲轴箱“迁移”。此外，如果压缩机在室外，天气寒冷时或在夜晚，其温度往往比室内的蒸发器低，曲轴箱内的压力也就低，制冷剂迁移到压缩机后也容易被冷凝而进入润滑油。

制冷剂迁移是一个很缓慢的过程。压缩机停机时间越长，迁移到润滑油中的制冷剂就会越多。只要蒸发器中存在液态制冷剂，这一过程就会进行。由于溶解了制冷剂的润滑油较重，它会沉在曲轴箱的底部，而浮在上面的润滑油还可以吸收更多的制冷剂。除容易引起液击外，制冷剂迁移还会稀释润滑油。很稀的润滑油被油泵送到各摩擦面后，可能冲刷掉原有油膜，引起严重磨损（这种现象常称为制冷剂冲刷）。过渡磨损会使配合间隙变大，引起漏油，从而影响较远部位的润滑，严重时会引起油压保护器动作。

由于结构原因，空冷压缩机启动时曲轴箱压力的降低会缓慢得多，起泡现象不很剧烈，泡沫也很难进入气缸，因此空冷压缩机不存在带液启动液击问题。

理论上讲，压缩机安装曲轴箱加热器（电热器）可以有效防止制冷剂迁移。短时间停机（比如在夜间）后，维持曲轴箱加热器通电，可以使润滑油温度略高于系统其它部位，制冷剂迁移不会发生。长时间停机不用（比如一个冬天）后，开机前先加热润滑油几个或十几个小时，可以蒸发掉润滑油中的大部分制冷剂，既可以大大减小带液启动时液击的可能性，也可以降低制冷剂冲刷造成的危害。但实际应用中，停机后维持加热器供电或者开机前十几小时先给加热器供电，是有难度的。因此，曲轴箱加热器的实际效果会大打折扣。

对于较大系统，停机前让压缩机抽干蒸发器中液态制冷剂（称为抽空停机），可以从根本上避免制冷剂迁移。而回气管路上安装气液分离器，可以增加制冷剂迁移的阻力，降低迁移量。

当然，通过改进压缩机结构，可以阻止制冷剂迁移，并减缓润滑油起泡程度。通过改进回气冷却型压缩机内的回路路径，在电机腔与曲轴箱迁移的通道上增加关卡（回油泵等），停机后即可切断通路，制冷剂无法进入曲轴腔；减小进气道与曲轴箱的通道截面可以减缓开机时曲轴箱压力下降速度，进而控制起泡的程度和泡沫进入气缸的量。

(3) 润滑油太多

半封闭压缩机通常都有油视镜，以便观察油位高低。油位高于油视镜范围，说明油太多了。油位太高，高速旋转的曲轴和连杆大头就可能频繁撞击油面，引起润滑油大量飞溅。飞溅的润滑油一旦窜入进气道，带入气缸，就可能引起液击。

大型制冷系统安装调试时，往往需要适当补充润滑油。但对于回油不好的系统，要认真寻找影响回油的根源，一味地补充润滑油是危险的。即使暂时油位不高，也要注意润滑油突然大量返回时（比如化霜后）可能造成的危险。润滑油引起的液击并不罕见。

4. 结束语

液击是压缩机常见故障。发生液击，表明系统或维护中一定存在问题，需要加以纠正。认真观察分析系统的设计、施工和维护，不难找到引起液击的根源。不从根源上防止液击，而简单地将故障压缩机维修或更换一台新压缩机，只能使液击再次发生。

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不平衡或单相；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。

压缩机常见故障分析(2)——液击

1.引言

液态制冷剂或 / 或润滑油随气体吸入压缩机气缸时损坏吸气阀片的现象，以及进入气缸后没有在排气过程迅速排出，在活塞接近上止点时被压缩而产生的瞬间高压液的现象通常被称为液击。液击可以在很短的时间内造成压缩受力件（如阀片、活塞、连杆、曲轴、活塞销等）的损坏，是往复式压缩机的致命杀手。减少或避免液体进入气缸就可以防止液击的发生，因此液击是完全可以避免的。

通常，液击现象可分为两个部分或过程。首先，当较多液态制冷剂、润滑油或者两者的混合物随吸气以较高速度进入压缩机气缸时，由于液体的冲击和不可压缩，会引起吸气阀片过度弯曲或断裂；其次，气缸中未及蒸发和排出的液体受到活塞压缩时，瞬间内出现的巨大压力并造成受力件的变形和损坏。这些受力件包括吸排气阀片、阀板、阀板垫、活塞（顶部）、活塞销、连杆、曲轴、轴瓦等。

2.过程与现象

(1)吸气阀片断裂

压缩机是压缩气体的机器。通常，活塞每分钟压缩气体 1450 次（半封压缩机）或 2900 次（全封压缩机），即完成一次吸气或排气过程的时间为 0.02 秒甚至更短。阀板上的吸排气孔径的大小以及吸排气阀片的弹性与强度均是按照气体流动而设计的。从阀片受力角度讲，气体流动时产生的冲击力是比较均匀的。

液体的密度是气体的数十甚至数百倍，因而液体流动时的动量比气体大得多的，产生的冲击力也大得多。吸气中夹杂较多液滴进入气缸时的流动属于两相流。两相流在吸气阀片上产生的冲击不仅强度大而且频率高，就好像台风夹杂着鹅卵石敲打在玻璃窗上，其破坏性是不言而喻的。吸气阀片断裂是液击的典型特征和过程之一。

(2)连杆断裂

压缩行程的时间约 0.02 秒，而排气过程会更短暂。气缸中的液滴或液体必须在如此短的时间内从排气孔排出，速度和动量是很大的。排气阀片的情况与吸气阀片相同，不同之处在于排气阀片有限位板和弹簧片支撑，不容易折断。冲击严重时，限位板也会变形翘起。

如果液体没有及时蒸发和排出气缸，活塞接近上止点时会压缩液体，由于时间很短，这一压缩液体的过程好像是撞击，缸盖中也会传出金属敲击声。压缩液体是液击现象的另一部分或过程。

液击瞬间产生的高压具有很大的破坏性，初人们熟悉的连杆弯曲甚至断裂外，其他压缩受力件（阀板、阀板垫、曲轴、活塞、活塞销等）也会有变形或损坏，但往往被忽视，或者与排气压力过高混为一谈。检修压缩机时，人们会很容易发现弯曲或断裂的连杆，并给予替换，而忘记检查其他零件是否有变形或损坏，从而为以后的故障埋下祸根。

液击造成的连杆断裂不同于抱轴和活塞咬缸，是可以分辨出来的。首先，液击造成连杆弯曲或断裂是在短时间内发生的，连杆两端的活塞和曲轴运动自如，一般不会有严重磨损引起的抱轴或咬缸。尽管吸气阀片折断后，阀片碎屑偶尔也会引起活塞和气缸面严重划伤，但表面划伤与润滑失效引起磨损很不同。其次，液击引起的连杆断裂是由压力造成的，连杆和断茬有挤压特征。尽管活塞咬缸后的连杆断裂也有挤压可能，但前提是活塞必须卡死在气缸。抱轴后的连杆折断就更不同了，连杆大头和曲轴有严重磨损，造成折断的力属于剪切力，断茬也不一样。最后，抱轴和咬缸前，电机会超负荷运转，电机发热严重，热保护器会动作。

3.原因分析

显然，能引起压缩机液击的液体不外乎如下几种来源：1）回液，即从蒸发器中流回压缩机的液态制冷剂或润滑油；2）带液启动时的泡沫；3）压缩机内的润滑油太多。本文将对这几种原因逐一分析。

(1)回液

通常，回液是指压缩机运行时蒸发器中的液态制冷剂通过吸气管路回到压缩机的现象或过程。

对于使用膨胀阀的制冷系统，回液与膨胀阀选型和使用不当密切相关。膨胀阀选型过大、过热度设定太小、感温包安装方法不

正确或绝热包扎破损、膨胀阀失灵都可能造成回液。对于使用毛细管的小制冷系统而言，加液量过大会引起回液。

利用热气融霜的系统容易发生回液。无论采用四通阀进行热泵运行，还是采用热气旁通阀时的制冷运行，热气融霜后会在蒸发器内形成大量液体，这些液体在随后的制冷运行开始时既有可能回到压缩机。

此外，蒸发器结霜严重或风扇故障时传热变差，未蒸发的液体会引起回液。冷库温度频繁波动也会引起膨胀阀反应失灵而引起回液。

回液引起的液击事故大多发生在空气冷却型（简称风冷或空冷）半封闭压缩机和单机双级压缩机中，因为这些压缩机的气缸与回气管是直接相通的，一旦回液，就很容易引发液击事故。即使没有引起液击，回液进入气缸将稀释或冲刷掉活塞及气缸壁上的润滑油，加剧活塞磨损。

对于回气（制冷剂蒸汽）冷却型半封闭和全封闭压缩机，回液很少引起液击。但会稀释曲轴箱内的润滑油。含有大量液态制冷剂的润滑油粘度低，在摩擦面不能形成足够的油膜，导致运动件的快速磨损。另外，润滑油中的制冷剂在输送过程中遇热会沸腾，影响润滑油的正常输送。而距离油泵越远，问题就越明显越严重。如果电机端的轴承发生严重的磨损，曲轴可能向一侧沉降，容易导致定子扫堂及电机烧毁。

显然，回液不仅会引起液击，还会稀释润滑油造成磨损。磨损时电机的负荷和电流会大大增加，久而久之将引起电机故障。

对于回液较难避免的制冷系统，安装气液分离器和采用抽空停机控制可以有效阻止或降低回液的危害。

（2）带液启动

回气冷却型压缩机在启动时，曲轴箱内的润滑油剧烈起泡的现象叫带液启动。带液启动时的起泡现象可以在油视镜上清楚地观察到。带液启动的根本原因是润滑油中溶解的以及沉在润滑油下面了大量的制冷剂，在压力突然降低时突然沸腾，并引起润滑油的起泡现象。这种现象很像日常生活中人们突然打开可乐瓶时的可乐起泡现象。起泡持续的时间长短与制冷剂的量有关，通常为几分钟或十几分钟。大量泡沫漂浮在油面上，甚至充满了曲轴箱。一旦通过进气道吸入气缸，泡沫会还原成液体（润滑油与制冷剂的混合物），很容易引起液击。显然，带液启动引起的液击只发生在启动过程。

与回液不同，引起带液启动的制冷剂是以“制冷剂迁移”的方式进入曲轴箱的。制冷剂迁移是指压缩机停止运行时，蒸发器中的制冷剂以气体形式，通过回气管路进入压缩机并被润滑油吸收，或在压缩机内冷凝后与润滑油混合的过程或现象。

压缩机停机后，温度会降低，而压力会升高。由于润滑油中的制冷剂蒸汽分压低，就会吸收油面上的制冷剂蒸气，造成曲轴箱气压低于蒸发器气压的现象。油温愈低，蒸汽压力越低，对制冷剂蒸气的吸收力就愈大。蒸发器中的蒸汽就会慢慢向曲轴箱“迁移”。此外，如果压缩机在室外，天气寒冷时或在夜晚，其温度往往比室内的蒸发器低，曲轴箱内的压力也就低，制冷剂迁移到压缩机后也容易被冷凝而进入润滑油。

制冷剂迁移是一个很缓慢的过程。压缩机停机时间越长，迁移到润滑油中的制冷剂就会越多。只要蒸发器中存在液态制冷剂，这一过程就会进行。由于溶解了制冷剂的润滑油较重，它会沉在曲轴箱的底部，而浮在上面的润滑油还可以吸收更多的制冷剂。除容易引起液击外，制冷剂迁移还会稀释润滑油。很稀的润滑油被油泵送到各摩擦面后，可能冲刷掉原有油膜，引起严重磨损（这种现象常称为制冷剂冲刷）。过渡磨损会使配合间隙变大，引起漏油，从而影响较远部位的润滑，严重时会引起油压保护器动作。

由于结构原因，空冷压缩机启动时曲轴箱压力的降低会缓慢得多，起泡现象不很剧烈，泡沫也很难进入气缸，因此空冷压缩机不存在带液启动液击问题。

理论上讲，压缩机安装曲轴箱加热器（电热器）可以有效防止制冷剂迁移。短时间停机（比如在夜间）后，维持曲轴箱加热器通电，可以使润滑油温度略高于系统其它部位，制冷剂迁移不会发生。长时间停机不用（比如一个冬天）后，开机前先加热润滑油几个或十几个小时，可以蒸发掉润滑油中的大部分制冷剂，既可以大大减小带液启动时液击的可能性，也可以降低制冷剂冲刷造成的危害。但实际应用中，停机后维持加热器供电或者开机前十几小时先给加热器供电，是有难度的。因此，曲轴箱加热器的实际效果会大打折扣。

对于较大系统，停机前让压缩机抽干蒸发器中液态制冷剂（称为抽空停机），可以从根本上避免制冷剂迁移。而回气管路上安装气液分离器，可以增加制冷剂迁移的阻力，降低迁移量。

当然，通过改进压缩机结构，可以阻止制冷剂迁移，并减缓润滑油起泡程度。通过改进回气冷却型压缩机内的回油路径，在电机腔与曲轴箱迁移的通道上增加关卡（回油泵等），停机后即可切断通路，制冷剂无法进入曲轴腔；减小进气道与曲轴箱的通道截面可以减缓开机时曲轴箱压力下降速度，进而控制起泡的程度和泡沫进入气缸的量。

（3）润滑油太多

半封闭压缩机通常都有油视镜，以便观察油位高低。油位高于油视镜范围，说明油太多了。油位太高，高速旋转的曲轴和连杆大头就可能频繁撞击油面，引起润滑油大量飞溅。飞溅的润滑油一旦窜入进气道，带入气缸，就可能引起液击。

大型制冷系统安装调试时，往往需要适当补充润滑油。但对于回油不好的系统，要认真寻找影响回油的根源，一味地补充润滑油是危险的。即使暂时油位不高，也要注意润滑油突然大量返回时（比如化霜后）可能造成的危险。润滑油引起的液击并不罕见。

4.结束语

液击是压缩机常见故障。发生液击，表明系统或维护中一定存在问题，需要加以纠正。认真观察分析系统的设计、施工和维护，不难找到引起液击的根源。不从根源上防止液击，而简单地将故障压缩机维修或更换一台新压缩机，只能使液击再次发生。

压缩机故障分析(3)——缺油与润滑不足

1.引言

压缩机是高速运转的复杂机器，保证压缩机曲轴、轴承、连杆、活塞等运动件的充分润滑是维持机器正常运转的基本要求。为此，压缩机制造商要求使用指定牌号润滑油，并要求定期检查润滑油油位和颜色。然而，由于制冷系统设计、施工和维护方面的疏忽，压缩机缺油、油焦化变质、回液稀释、制冷剂冲刷、使用劣质润滑油等造成运动件润滑不足的情况比较常见。润滑不足会引起轴承面磨损或划伤，严重时会造成抱轴、活塞卡在气缸内以及由此而引起的连杆弯曲、断裂事故。

2.缺油

缺油是很容易辨别的压缩机故障之一，压缩机缺油时曲轴箱中油量很少甚至没有润滑油。

压缩机是一个特殊的气泵，大量制冷剂气体在被排出的同时也夹带走一小部分润滑油（称为奔油或跑油）。压缩机奔油是无法避免的，只是奔油速度有所不同。半封活塞式压缩机排气中大约有2-3%的润滑油，而涡旋压缩机为0.5-1%。对于一台排量为100m³/hr、曲轴箱储油量为6升的6缸压缩机，3%的奔油意味着大约0.3-0.8升/分钟的奔油量，或压缩机无回油运转时间为十几分钟。

排出压缩机的润滑油不回来，压缩机就会缺油。压缩机回油有两种方式，一种是油分离器回油，另一种是回气管回油。油分离器安装在压缩机排气管路上，一般能分离出50-95%的奔油，回油效果好，速度快，大大减少进入系统管路的油量，从而有效延长了无回油运转时间。管路特别长的冷库制冷系统、满液式制冰系统以及温度很低的冻干设备等，开机后十几分钟甚至几十分钟不回油或回油量非常少的情况并不稀奇，设计不好的系统会出现压缩机油压过低而停机的问題。这种制冷系统安装高效油分离器能大大延长压缩机无回油运转时间，使压缩机安全度过开机后无回油的危机阶段。

未被分离出来的润滑油将进入系统，随制冷剂在管内流动，形成油循环。润滑油进入蒸发器后，一方面因温度低溶解度小，一部分润滑油从制冷剂中分离出来；另一方面，温度低粘度大，分离出来的润滑油容易附着在管内壁上，流动比较困难。蒸发温度越低，回油越困难。这就要求蒸发管路设计和回气管路设计和施工必须有利于回油，常见的做法是采用下降式管路设计，并保证较大的气流速度。对于温度特别低的制冷系统，如-85°C和-150°C医用低温箱，除选用高效油分离器外，通常还添加特殊溶剂，防止润滑油堵毛细管和膨胀阀，并帮助回油。

实际应用中，由于蒸发器和回气管路设计不当引起的回油问题并不罕见。对于R22和R404A系统来说，满液式蒸发器的回油非常困难，系统回油管路设计必须非常小心。对于这样的系统，使用高效油分可以大大减小进入系统管路的油量，有效延长开机后回气管无回油时间。

当压缩机比蒸发器的位置高时，垂直回气管上的回油弯是必需的。回油弯要尽可能紧凑，以减小存油。回油弯之间的间距要合适，回油弯的数量比较多时，应该补充一些润滑油。

变负荷系统的回油管路也必须小心。当负荷减小时，回气速度会降低，速度太低不利于回油。为了保证低负荷下的回油，垂直的吸气管可以采用双立管。

压缩机频繁启动不利于回油。由于连续运转时间很短压缩机就停了，回气管内来不及形成稳定的高速气流，润滑油就只能留在管路内。回油少于奔油，压缩机就会缺油。运转时间越短，管线越长，系统越复杂，回油问题就越突出。对于没有油压安全开关的全封闭压缩机（包括涡旋压缩机和转子压缩机）和部分半封闭压缩机，频繁启动引起的损坏是比较多的。

压缩机维护同样重要。除霜时蒸发器温度升高，润滑油粘度减小，易于流动。除霜循环过后，制冷剂流速大，滞留的润滑油会集中返回压缩机。因此，除霜循环的频率以及每次持续的时间也需仔细设定，避免油位大幅度波动甚至油击。

制冷剂泄漏较多时回气速度会降低，速度太低会造成润滑油滞留在回气管路，不能快速返回压缩机。

润滑油回到压缩机壳体内并不等于回到曲轴箱。采用曲轴腔负压回油原理的压缩机，如果活塞因磨损等引起泄漏时，曲轴箱的

压力上升，回油单向阀受压差作用而自动关闭，从回气管返回的润滑油就滞留在电机腔中，无法进入曲轴箱，这就是内回油问题，内回油问题同样会引起缺油。这种事故除发生于磨损的旧机器中，制冷剂迁移引发的带液启动也会造成内回油困难，但通常时间较短，最多十几分钟。

出现内回油问题时，可以观察到压缩机油位不断下降，直至油压安全装置动作。压缩机停机后，曲轴箱的油位很快恢复。内回油问题的根源在于气缸泄漏，应及时更换磨损活塞组件。

油压安全装置在缺油时会自动停机，保护压缩机不受损坏。没有视镜和油压安全装置的全封闭压缩机（包括转子和涡旋压缩机）以及风冷压缩机，缺油时没有明显症状，也不会停机，压缩机会在不知不觉中磨损损坏。压缩机噪音、震动或电流过大，可能与缺油有关，对压缩机和系统运行状况的准确判断就显得非常重要。环境温度过低有可能导致一些油压安全装置失灵，会造成压缩机磨损。

压缩机缺油引起的磨损一般比较均匀。如果润滑油很少或者没有油，轴承表面就会出现剧烈的摩擦，温度会在几秒内迅速升高。如果电机的功率足够大，曲轴会继续转动，曲轴和轴承表面会被磨损或划伤，否则曲轴会被轴承抱死，停止转动。活塞在气缸内的往复运动也是一样的，缺油会导致磨损或划伤，严重时活塞会卡在气缸内不能运动。

3. 润滑不足

磨损的直接原因是润滑不足。缺油肯定会引起润滑不足，但油润不足不一定是缺油引起的。以下三种原因也可以造成润滑不足：润滑油无法到达轴承表面；润滑油虽已到达轴承表面，但是粘度太小，不能形成足够厚度的油膜；润滑油虽已到达轴承表面，但是由于过热而分解掉了，不能起到润滑作用。

吸油网或供油管路堵塞、油泵故障等均会影响润滑油的输送，润滑油无法到达远离油泵的摩擦面。吸油网和油泵正常，但轴承磨损、间隙过大等造成漏油和油压过低，会使远离油泵的摩擦面得不到润滑油，造成磨损和划伤。

回液是常见的系统问题，回液的一大危害在于稀释润滑油。被稀释的润滑油到达摩擦面后，粘度低，不能形成足够厚度的保护油膜，久而久之会造成磨损。回液量比较大时，润滑油会很稀，不但不能起到润滑作用，而且还会溶解冲刷原有油膜，引起制冷剂冲刷。

由于种种原因（包括压缩机启动阶段）没有得到润滑油的摩擦面温度会迅速攀升，超过 175° C 后润滑油就开始分解。“润滑不足—摩擦—表面高温—油分解”是一个典型的恶性循环，许多恶性事故包括连杆抱轴、活塞卡缸都与这个恶性循环有关。

润滑不足和缺油现象可以在拆开的压缩机中看到。缺油一般表现为大面积、比较均匀的表面损伤和高温，而润滑不足更多的是在一些特定部位的磨损、划伤和高温，如远离油泵的轴承面等。

活塞上下运动时，活塞销的负载是在轴承表面的上部和下部之间轮换的，这可以让润滑油均匀地刷过活塞销，并提供足够的润滑。如果排气阀片弯曲或者折断，或者压缩机长期高压比工作，将造成活塞销单侧润滑不足和磨损，孔隙增大。活塞销有晃动间隙，活塞就会在上止点处被抛出并撞击阀片和阀板，产生撞击声。因此，更换阀片时，应检查活塞销磨损情况。

4. 结论与建议

缺油会引起严重的润滑不足，缺油的根本原因不在于压缩机奔油多少和快慢，而是系统回油不好。安装油分离器可以快速回油，延长压缩机无回油运转时间。蒸发器和回气管路的设计必须考虑到回油。避免频繁启动、定时化霜、及时补充制冷剂、及时更换磨损的活塞组件等维护措施也有助于回油。

回液和制冷剂迁移会稀释润滑油，不利于油膜的形成；油泵故障和油路堵塞会影响供油量和油压，导致摩擦面缺油；摩擦面高温会促使润滑油分解，使润滑油失去润滑能力。这三方面问题引起的润滑不足也常常造成压缩机损坏。

缺油的根源在于系统。因此，只更换压缩机或某些配件不能从根本上解决缺油问题。