

离心式制冷机组效率降低原因及处理方法探析

张忠瑞

(安徽华塑股份有限公司 安徽 滁州 233290)

摘要: 离心式制冷机组是蒸气压缩式制冷方式的一种,其动力式的制冷原理均是制冷剂通过压缩、冷凝、节流膨胀、蒸发进行循环做功,达到人工降温的目的。本文结合生产实际,详细阐述了离心式制冷机组的制冷原理,分析探讨了离心式制冷机组制冷能力降低的原因及处理方法。

关键词: 制冷机组;离心式压缩机;制冷效率

0 引言

离心式制冷机组为安徽华塑股份有限公司(以下简称安徽华塑)的核心制冷设备,其中一期7台离心式制冷剂机组,二期6台离心式制冷剂机组。

随着制冷设备使用年限的增长,机组制冷效率也随之降低,造成设备电耗量增大,制冷量不足的现象。结合现场乙二醇冷冻机组的使用情况,对制冷机组制冷效率降低进行原因分析及相应的处理方法。

1 乙二醇冷冻机组性能简介

安徽华塑氯碱厂VCM车间于2012年开设投产至今,选用的2台乙二醇冷冻机组为工艺生产提供0℃冷冻水。乙二醇机组主要的部件有:压缩机、电机、控制柜、油泵、蒸发器、冷凝器、省功器、导叶执行机构、油加热器等。主要零部件参数如下。

1.1 乙二醇冷冻机组

型号:LDC300(0)-P;型式:双级离心式冷水机组;制冷剂:R134a,液态R134a无色、透明、不与水混合,比水重,水浮于液体R134a的表面;额定制冷量:3837kW,轴承为强制供油润滑,采用梳齿进行密封;载冷剂:27.4%的乙二醇溶液。

1.2 压缩机

离心式压缩机为密闭式双级结构,机壳与齿轮箱体铸为一体,叶轮和进口可调导叶装置安装在进口壳体里,增速齿轮和供油装置安装在齿轮箱壳体里。制冷量控制是用装在压缩机进口处的导叶的开度大小来控制吸入制冷剂蒸汽的流量,从而控制制冷机的制冷量。

1.3 主电机

型号:YGR1080-2CQC/5,为制冷剂冷却的封闭鼠笼式感应电动机,防

护等级为IP54,绝缘等级为F级;功率:1080kW;转速:2960r/min;电压:10000V。

1.4 油加热器

为防止制冷机停车期间制冷剂溶于油箱的油中,在油箱内装有油加热器。油加热器规格如下:电压220V;功率1kW。油加热器可以自动开合,以保证在停车期间油箱中油温始终保持在45~55℃。

1.5 油泵

通过油泵向压缩机、增速齿轮和各轴承(包括电动机后轴承)强制供油。油泵功率2.2kW,升压0.45MPa,排出流量125L/min。

1.6 控制柜

本系列机组采用先进的微机控制系统,用于机组自动化运行的控制、调节和安全保护,确保机组安全可靠地运行。其主要特点是采用图像触摸屏,操作简便直观。

2 乙二醇冷冻机组工作原理

乙二醇机组制冷循环工作原理如图1所示。

从图1可以看出,通过压缩机对制冷剂蒸气施加能量,使其压力、温度提高,然后通过冷凝、节流过程,使之变为低压、低温的制冷剂液体在蒸发器内蒸发为蒸

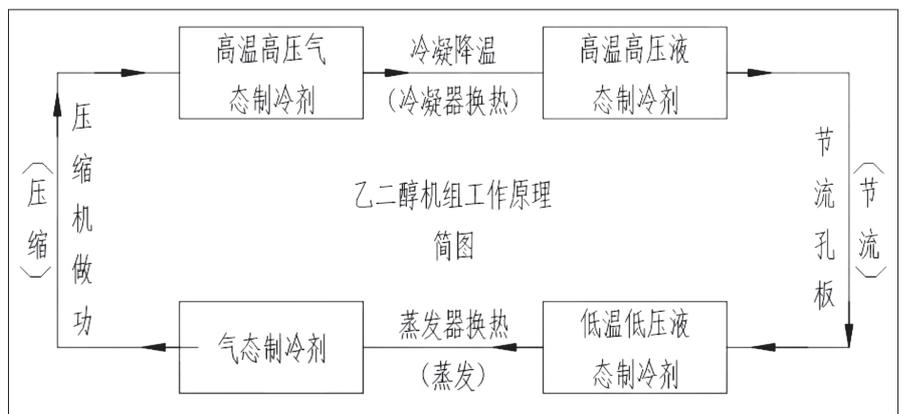


图1 乙二醇机组制冷循环图

汽，同时从周围环境（载冷剂，如乙二醇溶液）中获取热量使载冷剂温度降低，从而达到人工制冷的目的。然后蒸发器内的制冷剂蒸汽又被压缩机吸入进行压缩，重复上述压缩、冷凝、节流、蒸发过程。如此周而复始，达到连续制冷的目的。

3 乙二醇机组制冷能力下降的原因及判断方法

3.1 蒸发器含油量较多

乙二醇冷冻机组使用的制冷剂为 R134a，其比润滑油重，油浮在液体 R134a 的表面上。少量的润滑油对机组的制冷能力并没有较大影响，但当机组蒸发器内含有较多的润滑油时，会在制冷剂表面形成一层油膜，影响制冷剂的蒸发量，降低列管换热效率，造成制冷剂的蒸发效率下降，机组运行过程中蒸发压力低，导致机组做功效率下降。

制冷剂机组运行过程中，观察机组蒸发器液位视镜，正常情况下，制冷剂液位器内的液体为清亮状态。如果蒸发器液位视镜内的液体有明显分层或有油末状的液体，说明蒸发器液面上有大量润滑油，需要进行手动或自动回收润滑油；同时观察润滑油的油位，如果油位呈不断下降的趋势，并且外部无漏油，说明系统跑油严重，润滑油泄漏至蒸发器内部，润滑油浮在制冷剂表面降低机组的制冷效率。

3.2 蒸发器、冷凝器换热管制冷剂侧结垢堵塞

乙二醇冷冻机组选用的蒸发器、冷凝器均为优良高效换热器，一般选用的换热管为外螺纹翅片管，用来增加蒸发器的换热面积，提高其导热能力。在使用过程中，如果换热管的外表面翅片上的小孔出现结垢或堵塞，会降低换热器的换热能力。制冷机组运行中产生的冷量无法有效地与载冷剂正常进行热交换，造成机组制冷能力下降。换热管外表面出现结垢或堵塞，如图 2 所示，一般情况使用化学清洗进行除垢清理，但清洗效果较差。

乙二醇冷冻机组制冷剂系统是比较洁净的，一般不会出现换热器表面出现杂质或结垢现象。但在蒸发器或冷凝器出现内漏时，换热管出现穿孔或换热管胀接口出现泄漏，制冷剂侧会被污染，造成换热器结垢，堵塞传热管的小孔。机组在正常运行过程中蒸发器压力低于水侧（乙二醇溶液）压力，如果蒸发器的换热管内漏，会造成乙二醇溶液进入制冷剂侧，污染制冷系统。机组在停止状况下，冷凝器的压力低于水侧（冷却水）压力，如果冷凝器的换热管内漏，会造成冷却水进入制冷剂侧，污染制冷系统。乙二醇溶液或循环水进入制冷剂系统内，均会把水侧的泥垢或铁锈带到制冷剂系统内部，如图 3 所示，造成制冷剂侧换热管堵塞，导致降低换热效率，降低机组的制冷能力。机组出现

制冷剂侧换热管堵塞，可以通过以下几点进行判断：①蒸发器表面结霜严重；②蒸发器视镜结霜严重；③蒸发器进出口温差较小；④蒸发器压力过低。



图 2 蒸发器视镜结霜状态



图 3 蒸发器正常换热状态

3.3 蒸发器换热器水侧结垢

蒸发器的壳程走制冷剂，管程走乙二醇溶液。在长期使用过程中，换热管表面会形成一层水垢，影响换热管的换热效果，蒸发器换热能力下降，造成蒸发压力过低，蒸发器表面和蒸发器视镜结霜。机组做功过程中产生的冷量，没有及时地被载冷剂（乙二醇溶液）带走，造成蒸发器表面过冷，浪费大量的冷量，同时达不到制冷的效果，造成机组做功能力下降。

蒸发器换热管每年需要对机组换热管的结垢情况进行检查。蒸发器换热器水侧结垢后，可以通过以下几点进行判断：①蒸发器表面及视镜结霜严重；②蒸发器进出口温差较小；③蒸发器压力过低；④拆蒸发器封头

后换热管内有结垢物。

3.4 冷凝器换热管结垢

冷凝器的壳程走制冷剂，管程走冷却水（循环水）。因冷却水中杂质较大，很容易在冷凝器上产生结垢物，导致高温高压的制冷剂不能被全部液化，导致机组冷凝压力过高，限制机组增载运行，从而导致机组做功效果差。当冷凝温度过高时，更容易出现结垢。恶性循环下，机组制冷能力会越来越差。冷凝器换热管结垢后，可以通过以下几点进行判断：①冷凝器的冷却水进出口温差加大，正常情况下温度控制在 10°C 左右；②冷凝器压力过高，正常情况下夏季冷凝器压力在 800kPa 左右，冬季冷凝器要在 600kPa 左右（但压力不能过低，确保冷凝压力和蒸发压力的压差在 400kPa 以上，有利于机组润滑冷却）；③机组电流负荷过大，导叶调节阀稍微开大一些，会造成机组负荷过大，限制机组加载。

3.5 制冷系统含有不凝气

这里的不凝气主要指的是氮气和空气，不凝气在制冷循环过程中是不参与做功的，不能被压缩冷凝，不能进行热交换作用。同时不凝气占据制冷气体的容积，因不凝气不能被冷凝液化，长期存留在制冷剂系统内，会造成机组冷凝器压力过高，限制机组增载运行，导致机组做功效果差。

3.6 限流孔板安装不规范

冷凝器底部至蒸发器底部安装限流孔板，限流孔板是起节流降压作用，经冷凝器冷凝后的高压制冷剂液体经过限流孔板时，因受阻而使压力下降，导致部分制冷剂液体气化，同时吸收气化潜热，其本身温度也相应降低，成为低温低压的气体制冷剂，从而提高机组的制冷能力。限流孔板要按照确定的方向进行安装，如果方向安装反，节流降压的效果会降低，影响机组的制冷效果，拆装节流孔板时一定要注意安装方向。

3.7 压缩机内部密封磨损严重

压缩机组在轴承润滑不良的情况下，会出现振动较大的现象，振动大会加剧机组内部的梳齿密封磨损，梳齿密封主要作用是密封润滑油与制冷剂、隔离制冷剂侧高低压的作用，但机组磨损严重后会导致压缩机做功效率下降，机组制冷能力下降。

3.8 制冷剂（R134a）不足

制冷剂不足主要表现为：供油温度过高、蒸发器压力过低、制冷剂液位过低、制冷能力下降。制冷剂不足，造成蒸发量不足，气体制冷剂较少，导致机组蒸发器压力过低，机组制冷效率下降。造成制冷剂不足的原因主要有：①首次加入制冷剂的量不足，在冬季或热负荷小的情况下，制冷剂充装量不足的问题不容易被发现；②制冷系统有外漏点或换热器有内漏点时，制冷剂出现缓慢的泄漏，导致制冷剂不足。

4 乙二醇机组制冷能力下降的处理方法

4.1 蒸发器除油

蒸发器内制冷剂表面出现大量润滑油的原因有：①收油系统装置故障，收油系统堵，无法建立收油压差，无法进行回收润滑油；②机组内部梳齿密封磨损严重，造成大量润滑油进入蒸发器，收油系统能力无法回收大量润滑油；③蒸发器的制冷剂液位过低，无法回收润滑油。

因收油系统装置故障造成蒸发器含油过多的处理方法有：①检查所有收油系统阀门是否处于正常状态；②检查并疏通油路系统管线；③检查收油系统单向阀是否正常。通过上述办法处理收油系统装置故障，利用收油系统回收蒸发器内的润滑油至高位油箱。

梳齿密封磨损严重，导致润滑油大量进入蒸发器，处理方法是：拆压缩机进行解体更换轴承和密封元件，确保零部件的配合间隙在设计范围内。

蒸发器的制冷剂液位过低，导致机组无法回收润滑油，处理方法是：充装制冷剂，使制冷剂液位满足收油装置的使用要求。

4.2 更换蒸发器、冷凝器换热管

蒸发器、冷凝器一般为外螺纹翅片管，换热管上的翅片里有很多细小的孔，翅片上一旦出现表面结垢物或细小的杂质堵塞翅片，采用常规方法很难彻底清理换热管上的杂物。这些杂质大大降低换热管的功能，只能通过更换换热管的方式提高蒸发器换热效率。

4.3 清洗换热器列管

换热器列管的内表面结垢，可以通过化学清洗或机械清洗方法进行除垢。在进行化学清洗的过程中，一定要控制清洗剂的特性，不能腐蚀管板和换热器列管，避免在清洗过程中造成换热器列管腐蚀穿孔。如进行机械清洗换热器列管，不得使用高压清洗工具，换热器列管的铜管基本上是通过胀接的方式固定在管板上的，高压清洗会破坏胀接口的强度，造成换热器列管胀接口泄漏。常用的机械清洗方法是：打开换热器两端的封头，使用管子刷对换热管逐根进行清洗。根据水垢情况，管刷可采用尼龙制品或不锈钢制品，一般情况下使用尼龙制品的毛刷。化学清洗方法是：当结垢状态严重，采用不锈钢刷子也无法清理时，只能进行化学清洗，但是，化学清洗有一定的风险性，一般不推荐使用，可以请专业的清洗公司进行清洗。

4.4 除去不凝气

机组内不凝气过多时，需要对机组进行停机检修。首先，把机组内的制冷剂回收至临时储罐内，通过真空泵除去系统内的不凝气，将机组内抽至绝对压力为

0.3kPaA (7.5mmHg) 以下的真空, 停放 1~2h 后, 若目测机内压力不回升, 保压 30min 后用水银 U 形管测量机内压力的回升。若机内压力的回升超过 0.15 kPaA(3mmHg), 则应重新进行气密试验。确保不凝气全部被抽出, 真空度合格后, 重新充装制冷剂。

4.5 更换轴承和梳齿密封

如果轴承和密封磨损, 处理方法是: 更换轴承和密封元件, 机组进行解体大修。

4.6 系统查漏, 补充制冷剂

制冷剂不足时, 首先对制冷剂系统进行排查, 检查密封面、焊缝、接头; 其次对换热管的胀接口和换热管本体进行排查, 对于泄漏点位置进行维修或更换。具体方法有: 用干燥的氮气充入机组试验压力, 用发泡剂或肥皂水检查各结合部和管接头各焊缝部位, 经检查无泄漏后, 保压不少于 12h 即为合格。若发现有泄漏,

应找出原因并在泄压后进行消漏, 排除漏点后必须重新做气密试验。

5 结语

总而言之, 技术人员要深入了解制冷剂机组的工作原理, 同时掌握制冷机组制冷效率下降的原因及处理方法, 可有效地提高机组制冷效率, 做到节能降耗, 保证机组的稳定运行, 有利于安全生产。

参考文献:

[1] 徐新华, 曹旭明, 崔景潭. 基于模型的离心式制冷机组系统优化控制策略研究 [J]. 建筑科学, 2012, 28(04): 103-105.
[2] 徐新华, 王盛卫. 离心式制冷机系统优化控制策略研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2007, 26(01): 15-17+24.

(上接第75页)

中, 维修人员应先拆除空气干燥器, 详细检查每一个微小的零部件, 观察是否存在磨损和损坏的问题, 一旦发现某些零件出现腐蚀、裂纹或变形, 维修人员应采用专业的解决措施, 全方位保护空气干燥器, 让其能将空气转化为动力, 为风源系统运行提供源源不断的动力。

2.2.5 对空气压缩机组进行检修

空气压缩机是风源系统中最重要的一环, 在检修空气压缩机时, 检修部门要对所有部件进行检修, 这样才能发现隐藏的故障, 要采用科学的方式解决问题, 从而确保空气压缩机运行的安全性。同时, 在空气压缩机检修过程中, 检修人员应注意观察空气压缩机是否存在渗漏问题等, 从根源上解决空气压缩机的故障问题。

3 结语

综上所述, 只有确保整个制动系统故障检修工作正常运行, 才能给城市轨道交通车辆提供源源不断的动力。因此, 维修部门应提高对 BCU 系统、风源系统的重视程度, 利用专业故障检修技术, 让工作人员及时发现制动系统中存在的问题, 并结合问题提出有效的

解决措施, 确保城市轨道交通车辆能正常地运行, 促进我国交通行业的可持续发展。

参考文献:

[1] 张士宇. 基于欧洲标准的城市轨道交通车辆制动系统动态型式试验 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(03): 1-3+7.
[2] 高江, 胡强. 城市轨道交通车辆制动系统的特点及未来发展趋势探讨 [J]. 科学与信息化, 2018(27): 136+138.
[3] 肖利君. 地铁车辆制动系统空气弹簧压力急升引起的总风欠压问题仿真分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(06): 206-209.
[4] 魏秀琴, 金星, 李宇, 等. 基于 SPOC 的高职院校轨道交通专业教学模式——以城市轨道交通车辆制动系统与检修课程为例 [J]. 广西教育(高等教育), 2020(07): 54-55.
[5] 宰湘君, 梁桂, 石宜鑫. 地铁车辆制动系统故障处理方法探析——以武汉地铁 1 号线为例 [J]. 中国科技纵横, 2020(11): 113-114.