

# 真空炉故障分析与维修策略分析

张学磊

兰州真空设备有限责任公司 甘肃兰州 730050

**摘要:** 真空炉采用电阻辐射加热进行热处理, 具有高强度、大容量、高效率、节能环保的优点, 在现代工业生产中占有重要地位。但是, 其力学与电子结构更为复杂, 涉及真空抽气系统、真空加热隔热、真空密封、真空绝缘、真空温控等。由于其配备了上位机、触摸屏和PLC等部件, 自动化程度较高, 因此故障发生率和维修的困难程度高于常规的热处理炉, 需要针对实际故障进行针对性维修。基于此, 本文将对真空炉故障与维修策略进行分析。

**关键词:** 真空炉; 故障分析; 维修策略

## 前言

真空炉是当今工业生产金属材料加工中普遍采用的一种新型加热方式, 其力学与电子结构更为复杂, 涉及真空抽气系统、真空加热隔热、真空密封、真空绝缘、真空温控等。由于其配备了上位机、触摸屏和PLC等部件, 自动化程度较高, 因此故障发生率和维修的困难程度高于常规的热处理炉, 需要针对实际故障进行针对性维修。

## 一、真空炉的基本构成和优点

### (一) 真空炉的基本构成

真空炉是采用真空系统(通过真空泵、真空测量装置、真空阀门等部件仔细装配), 在炉室这个特殊空间中排放一部分物料, 使得炉膛内部的压力低于标准大气压力, 形成工业炉。真空炉通常由以下几部分构成, 具体见图1。



图1 真空炉的基本构成

该封闭炉外壳由碳素钢或不锈钢焊接而成, 可分离零件的连接表面采用真空密封件。为了避免加热后的炉体发生变形和密封材料损坏, 通常采用水冷或气冷却

的方法进行冷却。炉腔设置在密闭的炉壳中。炉内安装了各种类型的发热部件, 例如电阻、感应线圈、电极、电子枪等。在熔化金属的真空炉中, 配有坩埚, 有些还配有自动浇铸设备和操作机器人。真空装置由真空泵、真空管、真空表等构成。

### (二) 真空炉的优点

真空炉是目前世界上先进的热处理设备之一。采用真空技术, 将大气中的氧、水蒸气等杂质隔离开来, 防止其氧化、脱碳、增碳等现象, 确保其表面光洁度及内部结构完整, 进而提高制品的品质与性能。真空炉在降低导热能耗的同时, 还可以提高能耗, 降低对环境的污染, 降低安全风险<sup>[1]</sup>。另外, 它具有高度的自动化水平, 易于操作, 可以降低人为介入, 能够提高生产率。

## 二、真空炉维修的必要性

### (一) 确保设备长期稳定运行

真空炉作为高精度、高附加值的热处理装备, 其平稳运转对生产过程的稳定性具有重要意义。真空炉在长期高强度使用条件下, 会发生发热元件损耗、真空系统密封性能降低、控制系统元件老化等自然现象<sup>[2]</sup>。如果不能对其进行及时检测和处理, 问题会逐步积累, 从而引起更加严重的故障, 造成设备停工, 甚至影响整条生产线正常运行。所以, 定期检修, 能有效地防止隐患, 保证设备长时间、稳定地工作, 为企业持续生产奠定坚实基础。

### (二) 提高生产率和生产能力

在市场竞争日趋激烈的今天, 提高生产效率已是企业所追求的一个重要目标。真空炉是一种重要的工艺装备, 其工作状况将直接影响到企业的生产能力和生产效

率<sup>[3]</sup>。如果真空炉出现故障,将会造成加工时间延长,产品合格率降低,从而影响整个生产进程和生产能力。通过对其进行及时的专业维护,使真空炉能够快速恢复到正常的工作状态,从而减少加工周期,提高生产率和生产能力。同时,在维护过程中,也可以对设备进行相应的改造与优化,提高设备运行的稳定性,为企业带来更多经济效益。

### (三) 保证产品的质量和安全

真空炉是整个工业生产的关键设备,它的工作状况直接关系到产品的质量与安全。如果真空炉发生故障或工作状态不稳,会引起工艺温度、压力等参数失控,进而对制品组织与性能产生不利影响<sup>[4]</sup>。另外,当设备发生故障时,还会出现诸如电气系统短路、机械零件松动等安全隐患,从而对生产造成很大危害。所以,定期检修能将隐患找出,并加以排除,保证产品安全与品质。与此同时,在维护期间,也能够对操作者进行必要的安全教育与训练,提升他们的安全意识与业务技巧,使生产中的安全风险得以进一步减少。

### 三、真空炉的故障分析

#### (一) 零件变色

某卧式真空退火炉在处理不锈钢时,其表面呈绿色,失去了原有的颜色,且表面生成的物质严重地影响了构件的机械特性。

#### (二) 真空泄漏

兰州真空生产的ZRC8-900-14L6大型立式真空气淬炉是一种规模较大的热加工装置,可实现真空冷却、真空冷却和真空失效等一系列不同的热处理技术,在某次使用时出现了真空漏气问题,影响其使用效率,需要进行维修。

#### (三) 触屏操作不起作用

某立式真空高压气淬炉开机后,其屏幕上的温度、负压值均为0摄氏度、0mtorr。采用西门子S7-1500可编程控制器,采用触屏方式对PLC进行有关参数的实时检测和实时显示。在对AB PLC中的CPU组件FLT进行检验之后,它的CPU组件FLT一直闪烁,这表明了PLC工作出现了问题。在此期间,在没有使用过处理器的情况下,PLC的输入位置也是正常的。在这个情况下,在通电的时候,FLT的指示灯一直闪烁着,这说明处理器并没有进行配置。在处理器、扩展框架或者是内存中,存在着需要解决的问题。BATT的红色指示灯表示电量已用完,当电量不足时,PLC的程序会被中断。再加上PLC的状

态指示灯的故障指示,没有任何的输出点动作,这就意味着PLC程序已经完全地失去了原有功能<sup>[5]</sup>。PLC没有任何的硬件配置,所以其不能将装置的传感器的信号资料进行模拟和数字变换,并且它和触摸屏之间的通信也出现了一些问题,因此,在这个过程中,触摸屏上没有任何的数据,为了保证后续能够顺利进行,需要对触碰进行维修。

### 四、真空炉的维修策略

#### (一) 提高真空系统抽气效率

某立式真空高压气淬炉采用莱宝“WAUZ001+SV630”传统罗茨泵结构,在启动机械泵和罗茨泵后,将其进行30min的真空处理,熔炉的真空度在50-60mtorr之间,尽管已经符合真空加热的要求(70mtorr),但是,从所抽取的空腔体积和罗茨泵的数据来看(罗茨泵的极限是25mtorr,而在罗茨泵的作用下,理论上可以达到10mtorr以下),该装置的抽气速度较慢,极限真空度也较高。这套真空泵与装置一起投入使用以来,已经工作了15年多,初步判定,其机械泵内部轴承、滑阀、刮刀、相关密封元件和相关零件都有一定的损耗,严重地降低了它的真空极限和抽气效率。为此,用罗茨泵替换了机械泵,重新进行真空试验,经15min的真空试验,真空率能够达到19mtorr,极大地提高了真空极限。这时工件没有褪色,证明真空炉零件变色问题已被解决。

#### (二) 找出泄漏故障点

对于真空炉而言,是否能够精确识别出真空泄漏的位置,是对其进行检修的重要环节。无法有效进行真空抽气的问题很多,比如真空单元抽气量不足、泄漏速率过高等。例如,在同样的真空腔内,如果真空表的指针迅速向下移动,那么就说明真空腔有渗漏,这个时候应该首先检查渗漏。如果真空表的指针不断地往下走,一般都是因为真空单元的抽吸容量不足,这种时候可以把注意力集中在寻找真空泵和阀门的渗漏上,或者是因为扩散泵油被污染了,又或者是因为之前的管道没有被污染,或许是因为前面的管道没有被封住,所以导致泵油的减少,或者是泵油发生乳化,甚至是泵油发生泄漏,导致整个系统出现真空泄漏故障<sup>[6]</sup>。从前期的检修经验中发现,由于炉盖、板阀、蝶阀等动密封件老化,且刮痕和氧化皮从密封线上掉下来,造成短期内装置的真空急剧降低。这时,可用清洗、更换密封、人工开启或采用丙酮检漏等方法,细心寻找泄漏部位。本装置真空腔

与外部的连接面很多，如连接法兰、管道和真空管道等，很容易在短时间内找到泄漏点。同时，因为生产紧迫，所以不能出现大面积停工现象，因此不能把每一个连接件都拆开进行维修。通过对该装置在制造时的微小真空进行细致观测，得出热态真空比冷态真空要高的异常情况结论，据此对其进行理论分析，可以初步判断出泄漏位置在六套加热电极上。由于加热电极的密封环已经老化或者在高温下炭化，所以尽管有水冷却设备，却因为其位置处于发热区域，温度很高，密封更容易老化。随着密封材料的老化、炭化程度减小或丧失弹性，其低温真空将不可避免地减小，而在加热条件下，通过对其进行加热，使装置达到良好的密封效果<sup>[7]</sup>。这个结论证实了以上的异常真空，于是取下最可疑上下两个区域的电极，其中两套被烧成了炭，另一套则出现了空化现象。更换了原来的密封装置后进行测试，后又经过多次的装调，猜测原来的密封条件不符合需要。为此，维修人员将原有的密封环改为4mm，并将其压缩量从0.6mm提高到1.6mm。重新启动试验后，发现其低温真空度上升至0.0008Pa ( $6 \times 10^{-6}$ torr)，超过了本装置的设计真空度。真空泄漏速率降低至0.04Pa/h ( $3 \times 10^{-4}$ torr)，更胜于装置的标准泄漏速率。

### (三) 恢复触摸屏控制功能

①更换PLC电池。在实际工作中，先确定PLC电源全部断开，以免在替换时由于电流冲击而造成设备损坏和资料丢失。然后，维修人员戴上防静电手套，将PLC机箱内的CPU模块拔出来，这个过程不可弄坏接口或者周围的部件<sup>[8]</sup>。找出嵌入在CPU模组中的3.6V锂电池，用专门的工具或用手轻按电池边沿的松开按钮取出。在这种情况下，虽然PLC被切断了电源，但是，因为它的RAM电源端子上有一个充电电容器，因此，在短期之内，这些电容器仍然可以保留一些电力，支持RAM中的数据存储，即使去除了电池，电容上的电量也足以维持一段时间，因此，当拆下电池之后，在5min之内更换新电池，数据不会丢失，可以保证系统配置的连续性和精度。

②下载源程序。在确定PLC已换好电池后，维修人员把最新的源程序导入PLC，完成控制逻辑的恢复和更新工作。首先，用Rslinx通信软件对PLC进行扫描，并与PLC进行通信，为以后的通信打下良好的基础。然后，启动Rslogix500的开发工具，将所需的源码文件载入。

在Rslogix500中，通过Controller Properties菜单，进入Controller Communications设定，然后单击“Who active”查看和验证Rslinx中PLC装置。选择合适的PLC后，按“确定”键回到控制器通信画面，然后按“应用”键保存。下一步，在Rslogix500软件的“通讯”菜单中，单击“下载”按钮，下载PLC的原始程序。在下载时，尽量不要中断通信，并耐心等待下载完毕。当软件下载完成后，系统会自动装入新软件，使之恢复到原来的工作状态。这时，与之相连的触摸屏应该也会显示出正常资料，控制功能完全恢复，说明这次的维修和升级工作是成功的，并排除了系统故障。

### 结束语

总之，通过对真空炉故障的分析和维护策略进行分析，意识到要保证真空炉的高效率、高可靠性的生产，除了要有先进的装备设计和生产品质外，还要有对故障的细致预防、及时的故障诊断和科学的维护策略。在此基础上，对真空炉的常见故障进行系统整理，并对其产生的原因进行深层次地剖析，并有针对性地提出维护和防治的方法，持续强化对其工作状况的监控和数据的分析工作，引进更多的智能化和自动化维护方式，促进我国真空炉的维护管理工作向信息化方向发展。

### 参考文献

- [1] 巫秀昆, 王庭昆.VD炉真空系统故障分析及处理[J]. 昆钢科技, 2020(6): 43-45.
- [2] 胡云.真空相变加热炉常见故障探讨与分析[J]. 江汉石油职工大学学报, 2020(6): 63-65.
- [3] 江智轩, 丁章升, 马旭德, 等.真空炉典型故障案例分析[J]. 热处理技术与装备, 2023(2): 68-70.
- [4] 许天琦, 于宇, 李俊岩.RH精炼炉一级真空泵故障分析及对策[J]. 冶金设备, 2022(6): 82-84.
- [5] 赵亮亮, 郑旭光, 千登, 等.真空熔炼炉真空故障维修及改造[J]. 设备管理与维修, 2023(7): 122-125.
- [6] 闫艾裔, 程生坤, 高健.真空炉故障分析与维修策略[J]. 机械管理开发, 2021(1): 46-47, 103.
- [7] 马金来, 刘致顺, 耿军, 等.IPSEN真空炉电磁阀故障分析与维修[J]. 设备管理与维修, 2023(5): 52-54.
- [8] 李勇, 周新宇.WZC双室真空炉系统故障模式与故障树分析[J]. 金属热处理, 2021(10): 248-251.