

高温真空炉设备故障案例分析与经验总结

刘梦遥

重庆材料研究院有限公司 重庆 400700

摘要：高温真空炉作为材料制备与处理的关键设备，在科研与生产领域发挥着不可替代的作用。然而，其复杂的系统结构和严苛的工作环境往往导致多种故障频发。本文深入剖析了梧州某新材料科技有限公司“6·3”真空烧结炉爆炸事故的详细经过与根源，并结合多起高温真空炉故障案例，系统归纳了设备运行中常见的故障类型、具体表现、可能原因及详细的解决策略。同时，提出了针对性的预防措施，旨在为高温真空炉的安全高效运行提供全面指导。

关键词：高温真空炉；设备故障；真空烧结炉；爆炸事故；预防措施

引言

高温真空炉凭借其能在高温和真空环境下对材料进行精确处理的能力，在材料科学、电子封装、粉末冶金等领域得到了广泛应用。然而，设备的高复杂性和操作环境的极端性也带来了诸多挑战，如真空度不稳定、加热系统故障、机械结构损坏等。特别是当安全管理和操作规程存在漏洞时，还可能引发严重的安全事故。因此，对高温真空炉的故障进行深入分析，并提出有效的预防和应对措施，对于保障生产安全和提高设备利用率具有重要意义。

1 梧州某新材料科技有限公司“6·3”真空烧结炉爆炸事故案例分析

1.1 事故详细经过

2021年6月3日14时20分左右，梧州某新材料科技有限公司（以下简称“某新公司”）研发人员桑某在公司的研发实验区域——氧化还原生产线4#区域，操作一台型号为“KJ-V1500-100LMo”的真空烧结炉进行实验作业。实验过程中，桑某在未确认炉内氢气已完全置换的情况下，直接打开了真空烧结炉的炉门。此时，炉内残余的氢气与空气中的氧气迅速混合，引发了剧烈的爆炸。爆炸产生的冲击力导致炉门猛烈撞击桑某的头部，造成其头部颅骨开放性创口。事故发生后，桑某被紧急送往梧州市红十字会医院进行抢救，但终因伤势过重，于当日15时左右抢救无效死亡。

1.2 事故原因深入剖析

1.2.1 直接原因

桑某作为资深研发人员，虽然拥有丰富的实验工作经验，但在本次操作中严重违反了操作规程，未进行氢气置换确认即直接打开炉门，这是导致事故发生的直接原因。

1.2.2 设备原因

一是设计缺陷：真空烧结炉在氢气排放系统上存在设计缺陷，导致氢气排放不畅，容易在炉内残留。二是安全联锁缺失：炉门未设置有效的安全联锁装置，无法防止在未完成氢气置换时打开炉门，增加了事故风险。三是泄压口设计不合理：设备未充分考虑泄压要求，泄压口设计不完善，无法有效释放炉内因爆炸产生的压力。

1.2.3 管理原因

一是操作规程缺失或执行不严：某新公司未制定完善的真空烧结炉操作规程，或虽有规程但执行不严，导致员工在操作过程中缺乏明确的指导。二是安全教育培训不足：公司对员工的安全教育培训不够重视，员工对氢气爆炸的危险性认识不足，缺乏必要的安全防范意识。三是安全管理监管不到位：公司对实验区域的安全管理监管不到位，未能及时发现并纠正员工的不安全行为，也未能对设备存在的安全隐患进行有效排查和整改。

2 高温真空炉常见故障类型及详细解决方法

2.1 真空度不稳定或偏低

真空度不稳定或偏低的具体表现为真空泵启动后，炉内真空度上升缓慢，甚至无法达到预定的真空度值。这一问题可能由多个因素引起，需要细致排查并采取相应措施。首先，真空泵油的状态是影响真空度的关键因素。长期使用后，真空泵油可能会因污染、氧化而变质，或者油量不足，都会导致泵的性能下降，进而影响真空度。因此，建议定期更换真空泵油，并选用符合设备要求的优质油品。同时，建立油品检测机制，定期检查油质，确保油品清洁无杂质。在更换油品时，应彻底清洁油箱和油路，避免新油被旧油污染。其次，真空泵内部零件如叶片、轴承等，在长期运转过程中可能会因磨损或损坏而影响泵的抽气效率。定期检查这些零件，

发现磨损或损坏时应及时更换。此外,还应检查泵的密封件,确保密封良好,防止气体从泵体内部泄漏。炉门、观察窗、法兰连接处等位置的密封件,如橡胶圈、石墨垫片等,会因老化、硬化或安装不当而失去弹性,导致漏气^[1]。因此,应定期检查这些密封件的状态,发现老化或损坏时立即更换。更换时,应确保密封件安装正确,无扭曲、错位现象。管道连接处也是容易出现漏气的地方。由于管道连接通常采用法兰、螺纹等连接方式,长时间使用后可能会因振动、温度变化等因素导致连接松动或密封材料老化。因此,应对所有管道连接处进行气密性检测,使用检漏仪或涂抹肥皂水等方法检查是否有漏气现象。一旦发现漏气,应立即重新紧固连接或更换密封材料。除了上述因素外,还应考虑炉内材料放气的影响。在高温下,炉内材料(如工件、加热元件等)可能会释放出气体,这些气体会影响真空度的提升。因此,在选择炉内材料时,应优先考虑其放气量小的特性,并在使用前进行充分的除气处理。

2.2 加热系统故障

加热系统故障通常表现为加热速度慢、温度不稳定或无法达到设定值等问题。加热元件的老化、断裂或接触不良是加热系统故障的常见原因。加热元件(如电阻丝、加热棒等)在长期高温环境下工作,容易因氧化、热疲劳而老化或断裂。同时,加热元件与电源的连接处也可能因长期振动或温度变化而导致接触不良。因此,应定期对加热元件进行检查,发现老化、断裂或接触不良时应及时更换或修复。在更换加热元件时,应确保新元件的规格、功率与炉体要求相匹配,并严格按照安装说明进行安装和接线。温控器是控制炉内温度的关键设备。如果温控器出现故障或设置不当,就会导致温度控制不准确或不稳定。因此,应定期对温控器进行校准和检查,确保其准确可靠。在校准温控器时,应使用标准温度计进行比对,调整温控器的参数使其与标准温度计的读数一致。同时,还应检查温控器的设置是否正确,如温度设定值、升温速率、保温时间等参数是否符合工艺要求。电源线路故障也是加热系统故障的常见原因之一。电源线路可能因长期使用而老化、破损或接触不良,导致电流传输不稳定或中断。因此,应定期检查电源线路的状态,发现老化、破损或接触不良时应及时修复或更换。在检查电源线路时,应特别注意接线端子、插头和插座等连接部位,确保连接牢固、无松动或短路现象。此外,加热系统的散热性能也会影响炉内的温度控制。如果散热不良,就会导致炉内温度过高或加热元件过热而损坏。因此,应确保炉体的散热系统畅通无

阻,定期清理散热器和风扇上的灰尘和杂物,保持散热效果良好。

2.3 机械结构故障

炉门开启困难、关闭不严或铰链损坏是机械结构故障的常见表现。这些问题不仅影响炉体的密封性能,还可能对操作人员的安全构成威胁。炉门铰链是连接炉门和炉体的关键部件。长期使用后,铰链可能会因磨损、松动或损坏而导致炉门开启困难或关闭不严。因此,应定期对铰链进行检查和紧固。发现铰链磨损或损坏时,应及时更换新的铰链,并确保安装正确、牢固。在更换铰链时,应选用与炉体相匹配的型号和规格,避免使用不合适的铰链导致故障加剧。炉门密封件的老化或损坏也是机械结构故障的常见原因之一。密封件(如橡胶圈、石墨垫片等)在长期高温和压力下工作,容易因老化、硬化或磨损而失去弹性,导致炉门密封不严^[2]。因此,应定期检查密封件的状态,发现老化或损坏时应立即更换。在更换密封件时,应选用耐高温、耐磨损的优质材料,并确保安装正确、无扭曲或错位现象。同时,还应定期对密封件进行润滑和保养,延长其使用寿命。炉体结构的变形或损坏也可能导致机械结构故障。炉体在长期高温和重载作用下,可能会因热膨胀、冷缩或外力撞击而发生变形或损坏。因此,应定期对炉体结构进行检查和测量,发现变形或损坏时应及时进行修复或更换。在修复炉体结构时,应确保修复后的结构符合设备要求,不影响炉体的密封性能和加热效果。

2.4 循环冷却水系统故障

高温真空炉的循环冷却水系统对于设备的正常运行至关重要,它负责带走炉体及加热元件产生的热量,确保设备在安全温度范围内工作。循环冷却水系统故障通常表现为水温过高、水流不畅或冷却效果下降等问题,这些都可能对高温真空炉的性能和寿命产生不利影响。首先,水温过高是循环冷却水系统常见的故障之一。这可能是由于冷却水循环量不足、冷却塔散热效果不佳或冷却水系统内部结垢导致的。为解决这一问题,应定期检查冷却水的循环量,确保水泵工作正常,水管无堵塞。同时,应定期对冷却塔进行维护和清洗,保持其散热效果。若冷却水系统内部结垢,应采用适当的化学清洗剂进行清洗,或定期更换冷却水以防止结垢。其次,水流不畅也是循环冷却水系统可能遇到的问题。这可能是由于水泵故障、水管堵塞或阀门未完全打开等原因造成的。在出现水流不畅时,应首先检查水泵的工作状态,确保其正常运转。然后,对水管和阀门进行检查,清理堵塞物,确保水流顺畅。此外,冷却效果下降也可

能是循环冷却水系统的一个故障表现。这可能是由于冷却水水质不佳、冷却水系统泄漏或冷却水温度设定过高导致的。为解决这一问题,应定期对冷却水进行水质检测,确保水质符合设备要求。同时,应检查冷却水系统是否有泄漏现象,及时修复泄漏点。最后,应根据设备的工作需求合理设定冷却水的温度,确保冷却效果良好。

3 经验总结

3.1 加强操作规程的制定与执行

为确保操作的规范性和准确性,必须制定详尽的操作规程,明确从设备启动前的准备、运行过程中的监控到停机后的维护等每一个步骤的具体要求和注意事项。规程中应包含对关键操作参数的设定范围、操作顺序的严格规定,以及紧急情况下的应对措施。随着设备技术的更新和生产工艺的改进,操作规程也需定期修订和完善,确保其始终与设备的实际情况相匹配,避免因规程滞后导致的操作失误。为了确保操作规程的有效执行,企业应加强员工的培训和考核。通过定期组织专题培训,结合实际操作演练,使员工深入理解规程内容,掌握正确操作方法^[3]。同时,建立严格的考核机制,将操作规程的掌握情况纳入员工绩效评估,激励员工主动学习并严格遵守操作规程,形成良好的操作习惯。

3.2 强化设备维护与检修

建立完善的设备维护档案,详细记录每次维护的时间、内容、更换的零部件及故障处理情况,有助于追踪设备状态,及时发现并解决问题。维护计划应涵盖真空系统、加热系统、机械结构等所有关键部件,根据设备使用频率和磨损情况,合理安排定期检查和预防性维护,如清洗真空泵、检查加热元件、润滑机械部件等。对于发现的任何故障迹象或潜在隐患,应立即采取措施进行修复或处理,避免小问题演变成大故障。维修过程中,应使用原厂配件或经过认证的高质量替代品,确保维修质量。同时,建立应急维修响应机制,确保在设备突发故障时能够迅速响应,最大限度减少生产中断时间。

3.3 提升安全设计与防护

在设备设计阶段,就应充分考虑安全性,融入安全联锁装置、超温超压保护装置、紧急泄压口等安全设计,确保在异常情况下能够迅速切断危险源,保护人员和设备安全。对于易燃易爆气体,应设计专门的排放和置换系统,确保气体在安全条件下处理,避免爆炸或火

灾风险^[4]。此外,加强设备的防爆和防火设计,如采用防爆电器、设置防火隔离带、安装自动灭火系统等,进一步提升设备的安全性能。同时,定期对安全设施进行检查和测试,确保其处于有效状态,能够在紧急情况下发挥作用。

3.4 加强设备监测与诊断

企业应积极引入在线监测系统和远程故障诊断系统,通过传感器实时监测设备的温度、真空度、冷却水流量等关键参数,及时发现异常变化,预警潜在故障。建立设备故障数据库,对历年来的故障案例进行归纳整理和分析总结,可以揭示故障发生的规律和趋势,为故障预测和快速处理提供有力支持。通过对故障数据的深入分析,还可以发现设备设计和维护中的薄弱环节,为设备改进和优化提供依据。此外,企业应加强与专业维修服务商的合作,利用其在设备监测与诊断方面的专业技术和经验,定期对设备进行全面的健康评估,提前发现并解决潜在问题,确保设备长期稳定运行。通过实施上述措施,企业可以显著提升高温真空炉的管理水平,降低故障率,提高生产效率,为企业的持续发展奠定坚实基础。

结语

通过对梧州某新材料科技有限公司“6·3”真空烧结炉爆炸事故的深入分析,以及结合多起高温真空炉故障案例的总结,本文详细阐述了高温真空炉在运行中可能遇到的故障类型、原因及解决方法。同时,提出了针对性的预防措施和安全管理建议。这些经验和教训对于提高高温真空炉的安全运行水平、减少事故发生具有重要意义。未来,应进一步加强操作规程的制定与执行、设备维护与检修、安全设计与防护以及安全教育与培训等方面的工作,确保高温真空炉的安全稳定运行。

参考文献

- [1]陈霖.超高温卧式真空炉升温控制系统V1.0.湖南省,湖南诺伯特高温设备股份有限公司,2022-06-01.
- [2]张铭智.基于ANSYS的真空炉瞬态温度场模拟及生产工艺优化[D].江苏科技大学,2022.
- [3]严永锋.真空炉两种常用泄漏指标概念及应用[J].工业加热,2023,52(06):67-70.
- [4]古玥.真空炉内熔体温度在线红外监测系统的研究[D].长春工业大学,2022.