

组合式干燥机冰堵现象分析与处理

瞿 荣

江苏华电金湖能源有限公司 江苏淮安 211600

摘要: 由于今年夏季, 本公司生产线上配备的组合式干燥机频繁发生冰堵故障, 对生产的连续性和稳定性造成了显著影响。为此, 本篇论文将首先系统地阐述组合式干燥机的基本工作原理, 为其故障分析奠定理论基础。紧接着, 论文将深入探讨并详细讲解干燥机发生冰堵故障的根本原因、具体现象及其可能引发的连锁后果, 旨在全面揭示这一故障的本质。在此基础上, 论文的核心将聚焦于实践应用层面: 一方面, 我们将梳理和总结出一套行之有效的应急处理流程, 以便在故障突发时能够迅速反应、最小化停机损失; 另一方面, 更为重要的是, 我们将系统性地介绍针对组合式干燥机冰堵故障的排查步骤与根本性解决方案, 致力于从源头上预防故障复发。最终, 本文旨在通过以上全方位的介绍与讲解, 使我们能够深化对组合式干燥机的理解, 不仅为预防日后同类问题的发生提供前瞻性的指导, 更为一旦问题再次出现时, 该如何高效、正确地予以解决提供了一套清晰、可操作的方案。

关键词: 组合式干燥机; 冰堵; 应急处理; 故障解决

一、组合式干燥机的工作原理

如图中所示压缩空气先进入除油过滤器除去大部份液态水以及油(除油精度0.01ppm), 再进入冷干机中的预冷器与经降温干燥后的压缩空气进行热交换, 使干燥压缩空气的温度升高, 同时降低了进入蒸发器的压缩空气温度, 除去一部分水份, 使其降至常温, 减轻蒸发器的工作负荷。再进入蒸发器进行热交换, 使压缩空气冷却至5℃左右的露点温度。压缩空气中的大部分水份及部分杂质在此被凝结, 经过气水分离器将空气与水份

分离, 然后水份、油份经排水器排出, 干燥后的压缩空气返回到冷干机中预冷器, 以冷却湿热空气, 使其本身温度得以提高, 同时升温后的干燥压缩空气还可防止输送管道发生结露现象, 经过冷冻干燥后的压缩空气再进入吸干机吸附干燥, 进一步除去水份到露点温度符合要求。从吸干机出来的干燥压缩空气再经除尘过滤器除去吸干机产生的少许粉尘后输送至用户点, 同时从吸干机出口取一部分压缩空气进入再生塔进行再生^[1]。

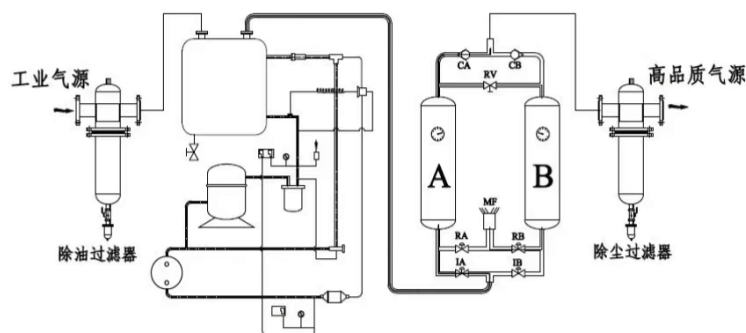


图1 组合式干燥机流程图

二、组合式干燥机出现冰堵的可能原因及预防措施

干燥机冰堵的主要原因包括水分超标、处理气量过小、低温环境、旁通阀故障及维护不当等。

1. 水分含量超标

成因: 制冷系统内水分超过制冷剂溶解极限(如氟

利昂类制冷剂在25℃时水溶解度仅0.11%), 游离水在节流装置处结冰^[2]。

典型工况: 制冷剂或冷冻机油含水、设备干燥不彻底、维修时空气进入系统带入水分等。

预防措施: 真空干燥处理、使用干燥剂吸附水分、

确保制冷剂纯度。

2. 处理气量过小

成因：冷干机选型过大或实际用气量骤减，导致剩余冷量未被消耗，压缩空气温度过低。

典型工况：冷干机处理流量远超空压机实际出气量（如设计处理 1m^3 的冷干机仅处理 0.5m^3 气体）。

解决方法：调整热力旁通阀开度，引入高温压缩空气平衡冷量。

3. 低温环境诱发

成因：环境温度低于 0°C ，导致管道内残留水分结冰^[3]。

典型工况：冬季露天放置或未保温的冷干机，尤其在东北等高寒地区。

预防措施：对管道和冷干机做保温处理，关闭门窗维持空压站温度。

4. 旁通阀故障

成因：热气旁通阀失效，无法通过调节冷媒流量平衡系统温度。

典型现象：蒸发器温度持续下降至冰点以下，管路间歇性堵塞。

应急处理：停机后检查旁通阀调节功能，每次以 $1/4$ 圈为单位调整开度并观察压力变化。

5. 维护操作不当

成因：排水器堵塞、未定期排污或过滤器失效，导致水分积聚。

典型工况：手动排污未执行、电排定时器故障、前置过滤器排水异常。

规范操作：每班次手动排污，定期更换干燥剂，检查排水器功能

三、干燥机出现冰堵的现象及危害

干燥机发生冰堵故障后，由于空压机出口被堵塞，导致空压机出口压力高报警，而后空压机直接停运，联启的备用空气压缩机也会因为出口压力高而直接停运，进入故障状态。而由于缺乏合格的压缩空气进入，压缩空气储罐压力持续下降，盘面显示压缩空气压力低报警。而干燥机发生冰堵现象后，由于缺乏热源与冷源进行热交换，压缩机的温度会持续降低，导致压缩机表面会产生结霜。如果不及时处理，后续压缩空气持续降低，会导致压缩空气所支持的气动门直接全开，有可能会导机组跳机。

而对于干燥机本体来说发生冰堵后会对设备造成以

下影响：

1. 制冷效率下降

冰堵会导致制冷剂循环受阻，蒸发器供液不足，吸热能力降低，干燥机出口温度升高，影响整体制冷效果。

2. 系统压力失衡

冰堵会引起高压侧压力升高（冷凝器压力异常）和低压侧压力下降（蒸发器压力不足），可能导致压缩机负荷增大、噪音加剧，甚至触发高压保护停机。

3. 部件损坏风险

持续冰堵会导致压缩机长时间高负荷运行，易引发过热、润滑不良等问题，加速设备老化。若冰堵未及时处理，可能造成冷凝器散热效率下降，进一步加剧系统压力失衡。

4. 能耗增加

制冷剂循环受阻迫使压缩机持续工作以维持制冷效果，导致能耗显著增加。若冰堵持续存在，可能引发蒸发器结冰，进一步降低制冷效率。

5. 安全风险

冰堵可能导致压缩机内部机械部件因润滑不足或过热而损坏，极端情况下可能引发设备故障或燃烧风险。

四、干燥机出现冰堵现象时运行人员应如何应急处理

在工业压缩空气系统中，干燥机是确保空气品质、防止后端管路和设备因水分侵蚀而损坏的核心设备。其中，组合式干燥机因其高效能而广泛应用，然而，其特有的“冰堵”故障却是运行中可能遭遇的重大风险。冰堵不仅会中断干燥过程，导致湿空气直接进入厂用气母管，更可能引发一系列连锁反应，威胁整个气动控制系统的安全。因此，一套迅速、规范、彻底的应急处置与恢复流程至关重要。下文将对此进行详尽阐述与深入分析。

第一阶段：紧急启动备用系统——快速响应，隔离风险

当控制盘发出干燥机露点报警或气源压力异常下降时，运行人员必须立即意识到冰堵发生的可能性。第一要务是迅速启用备用干燥机，以恢复洁净气源的供应，将故障影响范围控制在最小。

1. 立即部署与就地操作：主控室值班人员（值盘人员）在确认报警信息后，应毫不犹豫，立即派遣一名熟练的运行人员前往就地设备现场。此过程强调“立即”二字，任何延误都可能扩大事故影响。就地人员抵达后，首要操作是手动打开备用干燥机的进口阀门，确保气路

通道畅通。紧接着，在配电柜处合上电源开关，为备用干燥机送电。此举是为后续启动做好能源准备。

2. 协同启动：准备工作就绪后，就地人员必须通过可靠的通讯工具（如对讲机）与值盘人员建立紧密联系。由值盘人员在控制系统中远程下达启动指令，而就地人员则负责监视设备的启动状态，聆听电机、风机和阀门动作的声音是否正常，并向主控室反馈“设备已启动”或“启动异常”的现场信息。这种“就地-盘前”的双重确认机制，是安全操作的重要保障，能有效避免误操作或设备启动失败而未察觉的情况。

第二阶段：系统性恢复压缩空气供应——重建稳定气源

备用干燥机的启动仅仅是第一步，整个压缩空气系统的压力稳定需要一个完整的链条来支撑。

1. 复位与启动空压机：冰堵故障常常伴随着系统压力骤降，这可能已导致主运行空压机因联锁保护（如出口压力过低或干燥机故障信号）而跳闸。因此，就地人员在确认备用干燥机运行正常后，应立即检查空压机的状态。首先，需在空压机控制面板上对跳闸故障进行确认与复位。复位后，为确保压力快速恢复，可手动启动该空压机，并观察其加载和压力上升过程是否平稳。

2. 恢复系统冗余备份：一个稳健的系统必须保持其备用容量。在主空压机成功启动并稳定供气后，运行人员应逐一检查其余备用空气压缩机的状态。同样，对任何因系统波动引发的报警或跳闸进行故障复位，确保所有备用空压机均处于“自动” standby 状态，随时准备响应下一次系统需求。这一步是重建系统安全裕度的关键，绝不可省略。

第三阶段：故障设备的隔离与疏通——精准操作，化解症结

在确保全厂气源安全后，工作重心方可转移至故障设备本身的处理。

1. 安全隔离与诊断记录：处理故障设备的第一原则是安全隔离。就地人员必须将冰堵干燥机的压缩机电源彻底切断（执行“停电”操作），并挂上“禁止合闸”警示牌，防止误启动。随后，对设备进行初步检查，用相机拍摄故障代码、压力表读数、冰堵部位（如可见的霜冻）等情况，这些影像资料是后续进行事故分析、厘清责任和改进预防措施的第一手证据。

2. 科学疏通作业：疏通冰堵需要科学方法，严禁用硬物敲击等野蛮操作。标准流程是：在确保故障机进出

口阀门保持开启（畅通）的前提下，使用工业热风枪或其它安全可靠的加热设备，对干燥剂罐体、蒸发器、管道等结冰部位进行均匀、缓慢的加热。目的是通过外部热源将冰融化，恢复通道畅通。此过程需耐心谨慎，避免局部过热损坏设备内部材料。

第四阶段：验证性测试与系统性归档——形成管理闭环

故障处理后，必须验证其修复效果，并将整个过程纳入知识管理系统。

1. 试运行与效果验证：疏通工作完成后，应静置观察约半小时，让设备内部温度和环境趋于稳定，同时确保内部水分充分蒸发。之后，再次执行“就地-盘前”配合流程：就地人员就位监视，值盘人员远程试启动该干燥机。启动后，需密切监测其运行参数（压力、露点、温度）至少一个完整的循环周期，以确认冰堵已彻底化开，设备功能已完全恢复正常。

2. 状态恢复与记录归档：经试运行验证合格后，可将其状态恢复为“备用”，使系统重新获得全部冗余能力。最后，详尽、准确地填写值班记录至关重要。记录应包括：故障发生时间、现象、处理全过程、参与人员、设备最终状态等。这份记录不仅是交接班的依据，更是未来进行预防性维护、优化操作规程、乃至培训新员工的宝贵案例素材。若试启动失败，则应立即终止操作，汇报上级，并申请专业的维修团队介入处理，避免盲目尝试造成二次损坏。

总而言之，处理干燥机冰堵故障，远非简单的四步操作。它是一套环环相扣、层层递进的应急管理系统，体现了运行人员的专业技能、团队的协同配合以及企业的安全管理文化。每一次成功的故障处置，都应视为对系统脆弱性的一次审视和对应急预案有效性的一次验证，从而推动整个压缩空气系统可靠性的持续提升。

五、本次夏季干燥机冰堵现象频发的原因及后续解决方案

（一）事故经过

7月10日0:39:31, #2空压机运行中突然报故障跳闸, 0:41:12 #1空压机联启, 0:41:27 #3空压机联启, 空压机出口压力突升至最高0.9MPa, 0:41:47 #1#3空压机报故障跳闸, #2干燥机就地无报警信号。

（二）事故处理

故障发生后值长立即安排人员一路去空压机房复位空压机，一路去主厂房开关室检查空压机电源。空压机

房人员汇报3台空压机就地无法复位, 值长让开关室人员分合3台空压机的电源开关(通过分合3台空压机电源的方式成功消除故障信号)。通知空压机房人员打开#1干燥机进口手动门。

空压机房故障信号消除后运行人员就地启空压机, 但空压机还是一启动就跳闸。随后集控室运行人员启动#1干燥机, 现场运行人员复位空压机后再次启动#2空压机, #2空压机未跳闸, 压缩空气压力逐步上升, 01:01储气罐出口压力恢复至0.72MPa, 随后跟下值人员进行交接班。

(三) 后续原因分析

根据空压机跳闸故障信息, 应为空压机出口母管压力过高跳闸(排气压力>停机压力)。当时运行的#2干燥机发生堵塞, 导致空压机出口压缩空气无法通过干燥机进入仪用压缩空气储罐。

事件发生后, 次日立即检查了#2干燥机可能发生堵塞的部位: 进出口滤芯和蒸发器。进出口滤芯未掉落, 目视正常, 滤材有少量水迹, 为正常情况。蒸发器反吹有少量积水, 管路通畅。整体检查情况正常。

经分析判断, 夜间发生堵塞的原因可能有2种:

(1) #2干燥机蒸发器发生冰堵。因发生故障时间为凌晨, 环境温度降低, 蒸发器的外置轴流风扇仍在运行, 持续降低冷媒温度。在空压机卸载运行和休眠过程中, 没有热空气进入干燥机, 此时蒸发器内的冷媒温度过低, 易导致蒸发器内水分冻结, 产生冰堵。

(2) 干燥机两台吸附再生塔在切换时, 塔的进气动蝶阀可能未正常切换, 导致两个吸附塔进气阀全关, 压缩空气无法通过。

后续经过拆机检查与排查发现此次干燥机故障原因为干燥机的蒸发器冷却风扇压力开关损坏, 无法根据冷媒高压自动启停, 导致冷媒产生过多。过量的冷媒与空压机休眠模式时产生的较少的压缩空气造成了运行时工况不平衡, 从而导致了干燥机内部发生冰堵。

总结

在现代化火力发电厂中, 压缩空气被誉为继水、电、蒸汽之后的“第四大公用工程”, 其地位至关重要。空气压缩及干燥净化系统作为压缩空气的源头, 直接关系到电厂运行中每一个气动阀门、仪表、挡板等关键设备的

精确控制和可靠运行安全问题。这些设备控制着锅炉的给水、燃料、风烟系统, 以及汽轮机的疏水、旁路系统等。若供给的压缩空气压力不足或含水量超标, 轻则导致阀门动作迟缓、定位不准, 影响机组调节性能; 重则可能在严寒天气下使管路结冰堵塞, 或使附着水分的精密仪器腐蚀、失灵, 从而引发连锁反应, 甚至直接导致机组的非停(跳机)事故发生, 造成巨大的经济损失和安全风险。因此, 该系统的稳定与否, 直接牵动着整台机组乃至全厂的“神经”, 其可靠性绝不容得有半点马虎大意。

在这种背景下, 对于空气压缩及处理系统的全方位、精细化监管, 以及建立一套高效、科学的应急事故处理预案和后续深入的事故排查工作机制, 对于电厂的安全、稳定、经济运行来说, 就具有极其重大的意义, 值得最高程度的重视。这不仅仅是对设备的维护, 更是对整个生产体系安全性的坚实保障。

本文结合理论与实践, 深入剖析压缩空气干燥系统的常见故障模式、成因及其深远影响, 并系统地总结行之有效的预防性维护策略、应急处理流程和根本原因分析方法。衷心希望本篇文章所分享的经验与见解, 能够为其余电厂的压缩空气干燥净化工作的优化提升起到积极的借鉴与参考作用, 共同提升行业的安全运行水平, 防患于未然。

参考文献

- [1]2023-2028年中国组合式干燥机行业市场前瞻与投资战略规划分析报告 第1章: 组合式干燥机行业综述及数据来源说明 1.1 干燥设备行业界定 1.1.1 干燥设备的界定 1.1.2 干燥设备的分类 1.1.3《国民经济行业分类与代码》中干燥设备行业归属 1.2 组合式干燥机行业界定 1.2.1 组合式干燥机的界定 1.2.2 组合式干燥机相似/相关概念辨析 1.2.3 组合式干燥机的分类 1.3 组合式干燥机专业术语说明 1.4 本报告研究范围界定说明 1.5 本报告数据来源及统计标准说明 1.5.1 本报告权威数据来源 1.5.2 本报告研究方法 & 统计标准说明. 前瞻网. 2023-07-13
- [2]制冷剂与水的溶解性对风冷冷水机的影响. 建材网. 2019-01-11
- [3]冷冻干燥机的露点研究. 李申.《压缩机技术》.1996