

涂层烘干室事故预防与控制研究

邓振锋

(深圳市计量质量检测研究院, 广东 深圳 518000)

摘要: 本文聚焦于涂层烘干室的事故预防与控制, 综合参考国内外标准及相关规定, 深入剖析涂层烘干室可能出现的各类危险有害因素, 包括火灾、爆炸、中毒、触电等。通过对相关标准的解读与实际案例分析, 提出了一系列全面且具有针对性的预防措施和控制策略, 旨在为涂层烘干室的安全运行提供理论依据与实践指导, 减少事故发生率, 保障人员生命安全和企业财产安全。

关键词: 涂层烘干室; 事故预防; 事故控制; 爆炸; 安全管理

中图分类号: TQ639.3 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)10-0064-04

Research on Prevention and Control of Accidents in Coating Drying Chambers

DENG Zhen-feng

(Shenzhen Institute of Metrology and Quality Inspection, Shenzhen 518000, Guangdong, China)

Abstract: This paper focuses on the prevention and control of accidents in coating drying chambers, comprehensively referring to domestic and international standards and related regulations. It deeply analyzes various potential hazardous factors that may occur in coating drying chambers, including fire, explosion, poisoning, and electric shock. By interpreting relevant standards and analyzing practical cases, a series of comprehensive and targeted preventive measures and control strategies are proposed. These aim to provide a theoretical basis and practical guidance for the safe operation of coating drying chambers, reduce the accident rate, and ensure the safety of personnel and corporate property.

Key words: coating drying chamber; accident prevention; accident control; explosion; safety management

0 引言

涂层烘干室作为涂装工业中的关键设备, 其安全性至关重要。由于烘干室内通常存在易燃、易爆的有机溶剂挥发气体, 以及高温、电气设备等危险因素, 经常发生火灾、爆炸等事故且造成严重的人员伤亡和财产损失。

本文通过对涂层烘干室的危险因素进行分析, 结合美国消防协会标准 NFPA 86-2023《Standard for Ovens and Furnaces》和国内标准 GB 14443-2007《涂

装作业安全规程 涂层烘干室安全技术规定》、GB 50058-2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》等相关标准要点, 提出事故预防及控制措施。

1 涂层烘干室的危险因素分析

涂层烘干室内可能发生的事类型广泛且多样, 主要包括爆炸、火灾、中毒、触电以及其他类型的事故, 如灼烫伤害和噪音伤害等。在这些事故中, 火灾与爆炸因其突发性强、蔓延速度快以及破坏力巨大, 成了最为常见且伤害程度最高的事故类型, 以下就主要危险因素进行分析。

根据 2020—2025 年某市涂层烘干室事故案例分析, 结合可能性(事故占比)和后果(人员伤亡、财产损失)的量化评分, 制定安全风险权重, 见表 1。

1.1 火灾与爆炸风险

1) 有机溶剂挥发爆炸: 涂装材料中含有的甲苯(爆

收稿日期: 2025-02-19

作者简介: 邓振锋(1983—), 男, 本科, 注册安全工程师、一级注册计量师, 主要从事涂层烘干设备的安全性能、电力安全工器具、劳保安全防护用品的检验检测技术研究工作。E-mail: 361543790@qq.com。

炸极限 1.2%~7.0%)、二甲苯(爆炸极限 1.1%~7.0%)等挥发性有机溶剂,在烘干室内密闭环境中持续挥发形成爆炸性混合气体,当气体浓度达到爆炸下限时,遇电气火花、炽热表面或机械火花等点火源,可引发闪爆、爆燃。在实际应用中参考化学品安全技术说明书(MSDS)或国家标准,以确保数据的准确性和操作的安全性。

表1 安全风险权重

事故类型	可能性	后果严重程度	风险值	风险等级
爆炸	高(4)	极高(5)	20	极高风险
火灾	高(4)	高(4)	16	高风险
中毒	中低(2)	高(4)	8	低风险
触电	中低(2)	中(3)	6	低风险

注:①事故发生可能性和后果严重程度,分为低1分,中低2分,中3分,高4分,极高5分。②风险值由可能性与后果严重程度的乘积计算得出,用于评估事故的总体风险水平。

2)静电引燃风险:静电产生不仅在涂层烘干室,而且涂料的喷涂、搅拌、输送等过程以及烘干室内的空气流动等都可能产生静电,静电积累到一定程度,若无法及时导除,会在静电放电时产生电火花,成为火灾或爆炸的点火源,系统各环节静电荷积累呈现多源性特征。如:涂料输送:管道内流速超过 1 m/s 时产生流动带电;喷涂作业:涂料雾化产生 0.55~5 kV 静电电位;空气循环:相对湿度<60%时,风速>3 m/s 易诱发静电。静电荷积聚可形成>20 mJ 的放电能量,远超常见溶剂蒸气最小点火能(0.2~0.3mJ)。典型事故案例显示,未接地的金属构件间 5 mm 间隙放电即可引燃浓度达 2.5%的甲苯蒸气。

3)加热系统故障风险:烘干室的加热装置如果存在短路、过载、温控失灵等问题,可能导致局部过热,引燃周围的易燃物质,进而引发火灾或爆炸。加热装置故障构成多元化风险矩阵。如:电热系统,电阻丝局部过热(>500℃)引发材料碳化;燃气系统,2.5 kPa 压力下 0.8 mm 孔径泄漏可致爆炸;温控系统,PID 调节失效引发超温波动。典型案例表明,电热管绝缘层破损可导致接触部位瞬时温度达 800℃,引燃沉积漆雾(自燃点 280~350℃)。统计显示,42%的烘干室火灾源于温控系统失效引发的热失控。

1.2 中毒风险

1)有机溶剂毒性:许多涂装材料中含有的有机溶剂具有毒性,如苯、甲醛等,在烘干室内,这些有毒溶剂挥发后,排风不合规会使操作人员长期暴露在该环境中,可能通过呼吸道吸入、皮肤接触等途径进入人体,对

神经系统、造血系统、肝脏等造成损害,引发中毒症状。

2)燃烧产物毒性:在发生火灾的情况下,有机溶剂燃烧会产生大量有毒有害气体,这些气体不仅具有毒性,还可能导致窒息,严重威胁人员的生命安全。

1.3 触电风险

1)设备漏电:烘干室内的加热系统、控制系统、风机等电气设备,由于高温老化、受潮、绝缘老化等原因,可能发生漏电现象。操作人员在接触这些带电设备时,容易发生触电事故。

2)接地不良:如果烘干室的电气设备接地系统不完善或接地电阻过大,当设备发生漏电时,电流无法及时导入大地,会导致设备金属外壳带电,增加触电风险。

2 涂层烘干室的事故预防措施

从设备设计与安装、安全操作、安全管理与维护 3 方面着手,构建全方位、多层次的涂层烘干室事故预防体系。

2.1 设备设计与安装

2.1.1 结构要求

1)结构材料:烘干室内壁及保温层必须使用非燃材料制造,以降低火灾风险。外壁表面温度不应高于室温 15℃,以减少热量散发和避免烫伤。如:可选用防火岩棉板、陶瓷纤维板等作为内壁和保温层的材料,这些材料具有优良的耐火性能,能够有效阻止火焰蔓延,既能满足保温要求,又能控制外壁温度。

2)结构强度:烘干室应具备足够的强度,能够承受内部的压力和重量,防止变形或倒塌。在结构设计上,应进行力学计算,确保烘干室的框架结构稳固。对于大型烘干室,可采用工字钢、槽钢等钢材进行焊接或螺栓连接,形成坚固的骨架;对于小型烘干室,也可采用厚实的金属板材制作外壳,以保证其整体强度。

3)设备布局:设置独立烘干区域或独立烘干房,依据工艺流程、物流走向、操作区域设计合理通道。主通道宽度不少于 1.2 m,次通道宽度不低于 0.9 m,便于人员紧急疏散与设备便捷维护。不同功能区以防火分隔设施清晰划分,防止火灾蔓延。

4)防火分隔:设置防火墙、防火门等防火分隔。防火墙耐火极限不低于 3 h,防火门具备自动关闭功能,且耐火极限不低于 1 h,有效阻隔火势。

5)废气处理:烘干室废气净化系统的安全要求应符合 GB 6514 和 GB 20101 中的有关规定。

2.1.2 通风系统

1)通风方式:烘干室内应采用强制通风方式,通过风机将新鲜空气送入室内,并将废气排出室外。风机的选型应根据烘干室的容积、溶剂挥发量等因素进行计算,确保通风量满足要求。风机应具有足够的风压和风

量,能够有效地排除室内的有害气体和可燃气体,同时保证室内空气的均匀分布,并采取措施防止火花产生。

2)气流组织:合理组织室内空气的气流方向和速度,确保可燃气体(或粉末)的浓度低于爆炸下限。可采用上送风、下排风的方式,使新鲜空气从顶部送入,与室内空气充分混合后,将含有可燃气体的空气从底部排出。此外,还可在室内设置导流板、均流板等装置,进一步优化气流组织,提高通风效果。

3)通风量计算:烘干室的通风量应根据烘干室的体积、工作温度、溶剂挥发量等因素进行计算,确保通风量足以稀释和排除有害气体,防止其浓度达到危险水平。

4)排气管道:风管尺寸应根据计算出的通风量设计,确保空气流动阻力最小。风管材质应耐腐蚀、耐高温,且符合防爆要求。多区的烘干室,允许设一个废气排放总管;但在各种工作状态下,各支管的排气量不应低于设计值,且应在各排放支管上设置单向阀。排气管道上安装余热回收换热器时,应采取措施防止凝结物堵塞废气排放系统。

2.1.3 安全连锁

1)预通风要求:烘干室启动前应预通风 5 min,含内循环风机和强制排风风机,以排除烘干室室内和管道可能存在的可燃气体。可通过设置定时器或自动控制系统实现预通风功能,在预通风期间,加热系统应处于关闭状态,待预通风结束后再启动加热系统。关闭时相反,应使加热系统关闭 5~10 min 后,才能停止风机运行。这样可以利用风机继续排除烘干室室内和管道残留的热量和有害气体,防止因突然停机导致气体聚集引发安全事故。

2)通风与加热连锁:通风系统与加热系统之间应设置连锁装置,确保在通风系统正常运行的情况下才能启动加热系统。连锁装置可采用电气连锁、机械连锁或软件连锁等方式实现。如:在电气控制系统中设置逻辑判断程序,只有当风机运行信号正常时,才能允许加热系统启动;或者在机械传动装置中设置联轴器或离合器,将通风系统的运行与加热系统的启动直接关联起来。

2.1.4 加热系统

1)电加热方式:电加热方式具有清洁、环保、易于控制等优点,但需要注意电气安全和防止过热。电加热器应选用符合国家标准防爆型电加热器,其电气绝缘电阻应不低于 1 M Ω 。电加热器的安装位置应远离易燃易爆物品和可燃气体排放口,防止因电气故障引发火灾。同时,应在电加热器上安装温度传感器和过热保护装置,实时监测温度并在温度过高时自动切断电源。

2)燃油或燃气加热:燃油或燃气加热方式具有升温快、效率高等优点,但需要注意防火、防爆和防止气体泄漏等问题。燃油或燃气燃烧器应选用具有可靠点火、熄火保护功能的设备。燃烧器的安装位置应符合防火、防爆要求,与周围的物体保持一定的安全距离。此外,应在燃烧器的燃料供应管道上设置紧急切断阀和泄漏检测装置,一旦发生泄漏能够及时切断燃料供应并发出警报。

3)蒸气加热:蒸气加热方式适用于大规模生产,但需要配备蒸气发生器等辅助设备。蒸气发生器应选用具有安全防护装置的设备,如压力表、安全阀、水位计等。蒸气管道应采用保温材料进行保温,减少热量损失。在使用蒸气加热时,应注意控制蒸气的压力和温度,防止因压力过高或温度过高导致设备损坏或安全事故。

2.1.5 温度控制

1)自动控制:烘干室内应设置温度自动控制及超温报警装置,以便实时监测和控制温度。温度控制系统可采用 PID 调节器或 PLC 控制器等先进的控制设备,根据设定的温度值自动调节加热功率,使烘干室室内的温度保持在规定的范围内。同时,应在温度控制系统中设置超温报警功能,当温度超过设定值时自动发出警报并采取相应的措施。

2)温度均匀性:确保烘干室内的温度分布均匀,避免局部过热或过冷现象的发生。可通过在室内设置循环风机、搅拌装置或万向联轴节等设备,使热空气在室内充分循环,提高温度均匀性。

2.1.6 安全措施

1)电气安全:电加热系统电气设备符合国家电气安全标准,静电接地的接地电阻不大于 100 Ω ,保护接地的接地电阻不大于 10 Ω ,电加热器与金属支架的常温绝缘电阻不小于 1 M Ω 。布线整齐规范,电缆不长期在超载允许载流量允许值下工作,避免过热加速绝缘损坏。

2)防火防爆:对于燃油或燃气加热系统,必须设置紧急切断阀和火焰监测装置等安全措施。紧急切断阀应能够在紧急情况下迅速切断燃料供应,火焰监测装置能够实时监测燃烧器的火焰状态,一旦发现火焰熄灭或异常燃烧,立即发出警报并关闭燃料供应。此外,还应定期检查和维修加热设备及其管道的密封性和安全性。

2.1.7 泄压装置

1)泄压装置的类型:常见的泄压装置包括爆破片、泄压口、泄压门、自重泄压装置等。具体选择哪种类型的泄压装置类型,应根据烘干室的实际情况和安全要求来确定。

2)泄压面积:每立方米烘干室工作容积应设置不低于 0.05 m^2 的泄压面积,还需要考虑涂层烘干室烘烤工艺物质的情况、内部压力的变化速率、温度对泄压装置材料性能的影响等因素。因此尽可能在不影响烘干室使用工况条件的情况下设置较大的泄压面积。

3)泄压装置的位置:泄压装置的泄压面设置不应朝向工人操作区域,以防止在泄压过程中对工人造成伤害。

2.2 安全操作

1)人员培训与资质。培训内容:操作人员上岗前需接受设备操作、安全规程、应急处理、有机溶剂危害及防护、防火防爆知识等培训,通过理论考试和实操考核合格后方可上岗;资质要求:须具备中专及以上学历或经专业培训合格,熟悉工艺流程,每3年复审1次。

2)操作前检查。设备检查:启动前检查电气系统(线路、接地)、加热系统(元件、传感器)、通风系统(风机、管道),确保正常运行;物料检查:确保物料无危险品混入,液体密封、固体包装完整,按规定存放。

3)操作过程控制。温度与时间控制:严格按工艺要求设置温度和时间,实时监控温度变化,波动超 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时立即调整;通风系统运行:全程开启通风系统,每2h检查风机和管道,确保有机溶剂排出;禁止违规操作:严禁吸烟、明火,不得改动设备参数或拆卸安全装置,维修需停机并由专业人员操作。

2.3 安全管理与维护

1)安全管理制度建立。安全管理职责:明确各部门职责,建立安全责任追究制;安全检查与隐患排查:每周全面检查,日常巡查,隐患分类分级整改。

2)设备维护与保养。日常维护:每日清理设备、检查运行参数、润滑部件、紧固螺栓;定期检修:每季度全面检修,每年至少1次安全性能检测;更新与改造:适时更新设备,符合最新安全标准。

3)应急预案制定与演练。应急预案编制:编制火灾、爆炸、中毒等应急预案,明确组织架构和救援措施;应急演练组织:每半年至少1次演练,内容包括火灾扑救、人员疏散、伤员救护,演练后总结改进;应急救援器材配备:按需配备灭火器、消火栓、急救箱等器材,定期检查补充。

3 涂层烘干室的事故控制

3.1 火灾与爆炸事故控制

1)早期预警与监测。气体检测报警系统:安装可燃气体检测报警仪,实时监测烘干室内有机溶剂蒸气的浓度。当浓度接近爆炸下限的一定比例时,报警仪应发出声光报警信号,提醒操作人员采取措施。同时,将报警信号与通风系统、加热系统连锁,一旦报警,自动启

动通风设备排出可燃气体,并停止加热系统运行;温度监测与预警:在烘干室内设置温度传感器,对温度进行实时监测。当温度超过设定的安全范围时,立即发出报警信号,并自动切断加热电源,防止因温度过高引发火灾或爆炸。

2)应急响应与处置。火灾扑救:一旦发生火灾,应立即启动应急预案。操作人员应迅速使用灭火器、消火栓等消防器材进行灭火,同时拨打火警电话报警。在灭火过程中,应注意自身安全,避免盲目施救。如果火势较大,应及时撤离现场,等待消防人员的到来;爆炸隔离与防护:如果发生爆炸事故,应立即关闭相关的阀门和设备,切断燃料供应和电源,防止事故扩大。同时,启动泄压装置,释放压力。对于可能受到爆炸影响的相邻区域,应采取隔离措施,如设置警戒线、疏散人员等。

3.2 中毒事故控制

1)个人防护措施。防护用品配备:为操作人员配备符合国家标准个人防护用品,如:防毒面具、防护手套、防护眼镜、防护服等,防毒面具应选择合适滤毒盒,针对有机溶剂的种类进行防护,防护用品应定期检查和维修,确保其性能良好;个人防护用品使用培训:对操作人员进行个人防护用品使用培训,使其正确佩戴和使用防护用品,如教导操作人员如何检查防毒面具的密封性、如何正确佩戴防护手套等。

2)工作环境改善。通风换气:加强烘干室内的通风换气,降低有机溶剂蒸气的浓度。除了自然通风外,可安装机械通风设备,如排风扇、通风机等,增加空气流通速度。同时,优化通风系统的设计,使新鲜空气能够均匀地分布在烘干室内各个角落。有毒气体净化:采用气体净化技术,对烘干室内排放的有毒气体进行处理。如安装活性炭吸附装置、催化燃烧装置等,将有毒气体转化为无害物质后再排放。

3.3 触电事故控制

1)电气安全防护措施。接地与接零保护:确保烘干室内的所有电气设备均采用可靠的接地或接零保护措施。接地电阻应符合标准要求,接零系统应保证零线的畅通无阻。定期对接地和接零装置进行检查和维护,确保其连接牢固;漏电保护装置:在电气回路中安装漏电保护装置,当电气设备发生漏电时,漏电保护装置能够迅速切断电源,防止触电事故的发生。漏电保护装置的选择应根据电气设备的容量和使用环境进行合理配置。

2)电气设备维护与管理。定期绝缘检测:定期对电气设备的绝缘性能进行检测,如测量加热管、电线电缆等的绝缘电阻。对于绝缘性能下降的设备,应及时进行维修或更换;电气设备标识与警示:对电气设备进行清晰的标识,标明设备的电压等级、功率、(下转第72页)