

# 聚氨酯生产安全管理与环保措施

洪明 刘益雄 李强

浙江闽锋化学有限公司 浙江 丽水 323000

**摘要:** 聚氨酯生产过程中, 安全管理与环保措施至关重要。安全管理方面, 需建立并完善安全管理制度, 确保生产流程规范; 配备齐全的安全设施, 并定期进行维护, 以保障设备正常运行; 同时, 加强安全检查与隐患排查治理, 及时发现并消除安全隐患。环保措施上, 针对废水、废气及固体废物等污染物, 需采取有效的处理技术。废水处理注重达标排放, 废气处理强调高效净化, 固体废物则注重资源化利用, 以实现绿色生产, 促进聚氨酯行业的可持续发展。

**关键词:** 聚氨酯生产; 安全管理; 环保措施

引言: 聚氨酯在众多领域应用广泛, 其生产过程复杂, 存在高温高压及复杂化学反应等状况。安全管理若存在疏漏, 极易导致安全事故, 危及人员生命与企业的财产安全。而且, 生产环节产生的废水、废气以及固体废物, 若处理方式不当, 会给环境带来严重污染。鉴于此, 强化聚氨酯生产的安全管理与环保举措, 是企业必须承担的社会责任, 更是行业实现可持续发展的必由之路。

## 1 聚氨酯生产概述

聚氨酯是一种以异氰酸酯和多元醇为核心原料, 通过聚合反应形成的高分子材料, 因其优异的力学性能、耐化学腐蚀性、低温柔韧性和可设计性, 被誉为“第五大塑料”。自20世纪30年代德国化学家奥托·拜耳 (Otto Bayer) 首次合成以来, 聚氨酯材料迅速成为全球应用最广泛的合成材料之一, 广泛应用于建筑保温、汽车制造、家具填充、鞋材、涂层、胶黏剂及生物医学等领域。聚氨酯的生产工艺主要分为预聚体法和一步法。预聚体法通过异氰酸酯与部分多元醇预先反应生成预聚体, 再与扩链剂、催化剂等混合固化, 适用于高精度产品; 一步法则将所有原料一次性投入反应釜中直接聚合, 工艺简单但反应控制难度较大。根据产品形态, 聚氨酯可分为软泡 (如床垫、沙发填充)、硬泡 (如建筑保温材料)、弹性体 (如汽车减震部件)、涂料 (如工业防护涂层) 和胶黏剂 (如复合材料粘接) 等类型。全球聚氨酯市场规模持续扩大, 我国已成为最大的生产和消费国<sup>[1]</sup>。然而, 行业快速发展也带来一系列挑战: 异氰酸酯原料的高反应活性和毒性导致生产中存在泄漏、自聚和火灾爆炸风险; VOCs排放、废水含氮量高以及固废处理难题成为环保监管重点; 传统工艺能效低、副产物多, 亟需通过绿色化改造提升资源利用率。为应对挑战, 行业正加速向“安全、环保、高效”方向转型。安全技术方面, 企业引入自动化控制系统 (如DCS/PLC)

和安全仪表系统 (SIS), 实现风险实时监控与应急响应; 环保技术方面, 采用RTO蓄热燃烧、生物处理等先进技术降低排放, 并开发生物基多元醇等替代原料; 数字化管理方面, 通过大数据分析优化工艺参数, 构建全生命周期碳足迹追踪体系。

## 2 聚氨酯生产安全管理

### 2.1 安全管理制度的建立与完善

#### 2.1.1 安全管理制度的框架设计

聚氨酯生产涉及异氰酸酯、多元醇等高危化学品, 其安全管理制度需以“风险分级管控”为核心, 构建涵盖责任体系、操作规程、应急响应的三层框架。企业应依据《安全生产法》及行业标准 (如QB1110-91), 明确各级管理人员职责, 将安全目标分解至班组岗位。例如, 生产部门需制定《异氰酸酯储存与使用规范》, 规定原料罐区温度、压力报警阈值及双人双锁管理制度; 设备部门则需建立《压力容器定期检测计划》, 确保反应釜、储罐等特种设备符合压力容器安全技术监察规程要求。

#### 2.1.2 风险防控体系的动态优化

聚氨酯生产风险具有动态性, 需建立“PDCA循环”持续改进机制。企业应每季度开展HAZOP分析, 识别工艺偏差、设备故障等潜在风险点。例如, 针对预聚体合成反应釜, 需重点评估搅拌机电机过载、冷却水断流等场景, 制定针对性防控措施。在应急管理方面, 需结合《生产安全事故应急预案管理办法》, 制定“三级应急响应预案”, 明确班组级 (如小规模泄漏)、车间级 (如火灾) 及厂级 (如爆炸) 事故的处置流程。同时, 定期组织跨部门联合演练, 验证应急物资储备 (如防化服、吸附棉) 的有效性, 确保响应时间 ≤ 15分钟。

#### 2.1.3 安全文化与培训机制建设

安全管理制度的有效落地依赖全员参与, 需构建

“文化引领+技能提升”双轨培训体系。企业应通过安全标语、事故案例展板等形式，营造“零容忍”文化氛围；针对不同岗位制定差异化培训方案，如操作工需掌握《个人防护装备（PPE）使用规范》，熟悉正压式空气呼吸器、防化手套等装备的穿戴与维护；技术人员则需通过《反应动力学与热失控防控》课程，理解异氰酸酯自聚反应机理。此外，建立“培训积分制”，将安全知识考核结果与绩效奖金挂钩，形成长效激励机制。

## 2.2 安全设施的配备与维护

聚氨酯生产涉及异氰酸酯、多元醇等高危化学品，其安全设施的配备与维护是防范事故的核心环节，需遵循“预防为主、防护结合”的原则，构建多层次安全屏障。在原料储存环节，异氰酸酯储罐需配备双层壁设计、液位与温度传感器，并设置氮气保护系统以隔绝氧气，防止自聚反应；输送管道应采用防静电材质，并安装紧急切断阀，确保泄漏时0.5秒内自动关闭。生产车间需配置防爆型通风设备，维持空气流通速率 $\geq 12$ 次/小时，同时设置可燃气体检测报警仪（LEL阈值 $\leq 25\%$ ），联动排风系统。应急设施方面，需按规范储备吸附棉、防化服、正压式空气呼吸器等物资，并设置洗眼器、紧急淋浴装置，确保员工暴露后15秒内获得冲洗。企业应制定《安全设施维护SOP》，明确日检、周检、月检三级制度。例如，每日需检查压力容器安全阀、压力表校准状态，确保压力释放装置有效性；每周需对防爆电气设备进行绝缘测试，清理通风管道积尘；每月需对消防喷淋系统进行全流程测试，验证水压与覆盖范围<sup>[2]</sup>。同时，建立设施台账，记录维修时间、更换配件型号及责任人，确保可追溯性。引入SCADA系统对关键参数（如温度、压力、液位）进行实时监控，设置超限自动连锁切断功能；采用无人机巡检技术，对高风险区域（如储罐顶部、反应釜密封点）进行定期扫描，利用红外热成像检测潜在泄漏点。通过数字化手段，将安全设施的运行数据与应急预案关联，实现“风险预警-响应联动”的闭环管理，显著提升事故防控能力。

## 2.3 安全检查与隐患排查治理

聚氨酯生产的安全管理需以常态化安全检查与隐患排查为核心，通过系统性、动态化的管理手段，将事故风险降至最低。（1）建立分级检查机制：企业应构建“三级检查体系”班组级每日巡检，重点检查设备运行参数（如反应釜温度、压力）、防护装置有效性及物料储存状态；车间级每周专项检查，针对异氰酸酯储罐、输送管道等高风险区域进行泄漏检测、仪表校准；厂级每月综合检查，联合安全、设备、工艺部门开展全流程

评估，验证应急预案可操作性。（2）隐患排查需覆盖全要素：排查范围包括设备设施（如压力容器、通风系统）、工艺操作（如反应温度控制、物料配比）、人员行为（如PPE穿戴、应急演练参与度）及环境因素（如通风效果、消防通道畅通性）。例如，针对异氰酸酯储存区，需检查氮封系统压力、静电接地电阻值，并模拟泄漏场景验证应急响应速度。（3）采用技术手段辅助排查：引入红外热成像仪检测设备异常发热，利用气体检测仪筛查微小泄漏，通过无人机巡检高风险区域。例如，某企业通过人工智能视频分析系统，自动识别员工未佩戴防护用品或违规操作行为，隐患识别效率提升40%。（4）隐患治理需闭环管理：对排查出的隐患按“五定原则”（定责任人、定措施、定资金、定期限、定预案）整改，整改后需复查验证。例如，对反应釜搅拌机轴承磨损隐患，需更换配件并测试振动值，确保符合《旋转机械振动标准》。（5）强化数据分析与持续改进：建立隐患数据库，分析高频问题根源，优化安全管理制度。例如，若多次发现操作工未正确使用防化手套，需针对性修订培训方案并加强考核。通过PDCA循环，推动安全检查与隐患治理从“被动应对”向“主动预防”转变。

## 3 聚氨酯生产环保措施

### 3.1 聚氨酯生产废水处理技术

#### 3.1.1 废水来源与特性

聚氨酯生产过程中产生的废水主要来源于反应釜清洗、地面冲洗、设备冷却等环节。这些废水通常含有较高浓度的有机物、氨氮、悬浮物等污染物，具有化学需氧量（COD）高、生物降解性差、毒性大等特点。此外，废水中还可能含有一些难降解的有机化合物，如异氰酸酯、多元醇等，这些物质对环境和水生生物具有潜在危害。因此，针对聚氨酯生产废水的处理，需要采取有效措施，确保达标排放，减少对环境的影响。

#### 3.1.2 废水处理工艺选择

针对聚氨酯生产废水的特性，选择合适的处理工艺至关重要。常见的处理工艺包括物理化学法、生物法以及组合工艺等。物理化学法如混凝沉淀、吸附、氧化等，适用于去除废水中的悬浮物、色度及部分有机物；生物法如活性污泥法、生物膜法等，利用微生物降解有机物，适用于处理可生化性较好的废水；组合工艺则结合了多种处理方法的优点，能够实现更高的处理效果。在选择工艺时，需综合考虑废水特性、处理成本、操作维护等因素，以确保处理效果和经济性的平衡。

#### 3.1.3 废水处理效果评估

废水处理效果评估是衡量处理工艺性能的重要环节。评估指标主要包括化学需氧量(COD)、生物需氧量(BOD)、氨氮、悬浮物等污染物的去除率,以及出水水质是否达到国家或地方排放标准。此外,还需考虑处理工艺的稳定性、抗冲击负荷能力、运行成本等指标。通过定期监测和分析废水处理设施进出水水质,可以评估处理效果,及时发现并解决处理过程中存在的问题,确保废水处理设施稳定运行,实现达标排放,保护环境。

### 3.2 聚氨酯生产废气处理技术

聚氨酯生产过程中会产生含挥发性有机化合物(VOCs)、异氰酸酯、苯、甲苯等有害物质的废气,若未经处理直接排放,会对环境和人体健康造成严重危害。针对聚氨酯生产废气的特点,目前行业内主要采用以下处理技术:(1)活性炭吸附法:利用活性炭的多孔结构和高比表面积,吸附废气中的有机挥发物。此方法适用于低浓度、大风量的废气处理,但活性炭吸附饱和后需更换,且饱和活性炭需作为危废处理,运行成本较高。(2)UV光解净化法:通过高能紫外线光束分解空气中的氧分子,产生游离氧和臭氧,进而氧化分解废气中的有机物。该方法处理效率高,可适应中低浓度、大气量的废气处理,且运行稳定、维护简便,特别适用于化工、制药等防爆要求高的行业。(3)催化燃烧法:在催化剂的作用下,使废气中的有机物在较低温度下氧化分解为二氧化碳和水。该方法适用于较高浓度的VOCs废气处理,且能够实现能源回收利用。(4)组合处理技术:如“预处理+活性炭吸附+催化燃烧”的组合方案,通过预处理去除废气中的颗粒物和粉尘,再利用活性炭吸附大部分VOCs,最后通过催化燃烧将剩余的VOCs彻底氧化分解。该方案处理效率高,运行稳定,且能显著降低废气中有害物质的含量。(5)湿法洗涤:通过湿法洗涤塔去除废气中的酸性气体或剩余颗粒物,确保排放的废气符合环保要求。

### 3.3 聚氨酯生产固体废物处理与资源化

聚氨酯生产过程中产生的固体废物,如废料、不合

格品及边角料等,若处理不当,不仅会造成资源浪费,还可能对环境造成污染。针对聚氨酯固体废物的特性,可采取物理回收技术,通过破碎、筛分等工序将废旧聚氨酯加工成颗粒或粉末,作为再生材料用于新产品制造,如生产再生聚氨酯泡沫或板材,既降低了生产成本,又减少了原材料消耗<sup>[3]</sup>。此外,化学解聚法也是一种有效的资源化手段。通过特定催化剂和反应条件,将聚氨酯分解为多元醇、异氰酸酯等基础原料,这些原料可重新用于聚氨酯的生产,形成闭环产业链,提高资源利用效率。能量回收技术在聚氨酯固体废物处理中也展现出广阔前景。废旧聚氨酯具有较高的热值,可通过焚烧发电或供热,实现能源的再利用,减少对传统能源的依赖。为实现固体废物的全面资源化,企业应加大技术研发力度,不断优化处理工艺,提高回收效率和产品质量。同时,加强内部管理,完善废物分类收集体系,确保各类固体废物得到妥善处理与资源化利用,共同推动聚氨酯行业向绿色、低碳、循环方向发展。

### 结语

未来,聚氨酯行业在追求发展的道路上,必须坚定不移地将安全管理与环保措施的优化作为核心任务。企业应不断投入研发资源,引进先进的安全生产技术和环保处理工艺,提升生产过程中的安全性和环境友好性。同时,建立健全的安全管理体系和环保监管机制,确保各项措施得到有效执行。通过这些努力,不仅能够降低生产风险,减少环境污染,还能提高资源利用效率,推动聚氨酯行业向更加安全、环保、高效的方向迈进,为社会的可持续发展注入强劲动力。

### 参考文献

- [1]张思惟,王起升.聚氨酯生产工艺的优化与改进[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):052-055.
- [2]余小凤.聚氨酯树脂化工行业的环境影响评价探讨[J].清洗世界,2023,39(7):59-61.
- [3]徐欣欣,孙坚,纪尚超,石磊,赵磊.环境友好型聚氨酯胶粘剂研究进展[J].中国胶粘剂,2022,31(11):55-60+68.