

聚丙烯生产工艺危险性分析及安全措施

刘勇

陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司, 陕西 榆林 718500

DOI: 10.61369/ME.2024090005

摘要：聚丙烯作为五大通用塑料之一，其生产工艺存在诸多潜在危险性。鉴于近年来聚丙烯装置频发的安全事故，本文以聚丙烯生产过程的危险性分析作为切入点，从物料、反应过程、静电与粉尘、设备与管道等四个维度系统梳理了工艺各环节的主要风险。在此基础上，从工艺参数控制、防爆防静电、安全设计、自动化控制、人员管理、承包商与环保设施管控等方面提出针对性的安全措施，这些措施具有较强的实操性和可行性，可为企业聚丙烯装置的本质安全提供有益借鉴和参考。

关键词：聚丙烯；生产工艺；危险性分析；安全措施

Risk Analysis and Safety Measures of Polypropylene Production Process

Liu Yong

Shaanxi Yulin Energy and Chemical Co., LTD., Yulin, Shaanxi 718500

Abstract： As one of the five major general-purpose plastics, polypropylene production processes carry significant inherent risks. In light of frequent safety incidents in recent years within polypropylene facilities, this study initiates with a risk analysis of polypropylene manufacturing processes. It systematically identifies primary risks across four dimensions: raw materials, reaction processes, electrostatic and dust hazards, and equipment/piping systems. Based on this analysis, targeted safety measures are proposed covering process parameter control, explosion-proofing and anti-static solutions, safety design, automated control systems, personnel management, contractor oversight, and environmental facility regulation. These practical and feasible measures provide actionable references for achieving intrinsic safety in polypropylene plant operations.

Keywords： polypropylene; production processes; risk analysis; safety measures

引言

随着石化工业的不断发展，聚丙烯作为重要的化工原料，其产量和消费量持续攀升。但与此同时，聚丙烯生产过程涉及诸多危险化学用品，且工艺条件苛刻，极易引发重大安全事故。我国聚丙烯装置近年来多次发生爆炸、火灾等安全事故，造成重大人员伤亡和财产损失，引起行业和社会的广泛关注。因此，开展聚丙烯生产工艺危险性分析，识别潜在风险，制定有效的预防和控制措施，对于确保装置安全平稳运行，具有十分重要的现实意义。

一、聚丙烯生产工艺流程

聚丙烯生产流程主要包括原料准备与精制、催化剂配置与投料、聚合反应以及后处理等环节。首先，将液化石油气经脱硫、脱水后，通过裂解制得高纯度丙烯单体，再经缓蚀、干燥得到聚合级原料。与此同时，将催化剂组分按比例混合并投入聚合釜。在特定温度、压力条件下，单体与催化剂充分接触发生聚合反应。聚合工艺有气相法、本体法等多种路线，生产装置构型也各不相同。反应产物经闪蒸、切粒、干燥、筛分，最终得到成品聚丙烯粒子。

在复杂的生产流程中，温度、压力、配料比等工艺参数的

精确控制至关重要。聚合温度一般控制在80℃，压力保持在2.0MPa。催化剂用量较少，其组成与活性直接影响产品质量。各工艺单元衔接紧密，参数波动会引起连锁反应。因此，装置设计时须重点考虑温度、压力、液位等参数的实时监控和自动调节，确保生产平稳运行。

聚丙烯生产装置涉及诸多大型设备，如聚合釜、压缩机、换热器等。其安全可靠运行是保证产品产量和质量的关键。聚合反应釜是最核心的设备，通常采用不锈钢材质，设置夹套冷却系统，配备搅拌装置和安全阀等。聚合釜须耐高温高压，并能有效去除反应热，避免发生“熔融”和“爆聚”等异常工况。此外，为输送大量易燃易爆介质，生产装置管道错综复杂。设计中须统

筹考虑管道的合理布局、伸缩补偿以及防腐蚀等因素，降低泄漏风险。

二、聚丙烯生产工艺危险性分析

（一）物料危险性

在原料准备阶段，丙烯作为主要原料，其爆炸极限范围广，下限仅为1%，上限可达15%。一旦发生泄漏，丙烯易在低洼处聚集，形成爆炸性混合物。遇明火、高热或静电火花极易引发爆炸，后果不堪设想。此外，聚合反应过程中需持续通入氢气以调节产物分子量。氢气的爆炸极限更宽，下限4%，上限高达75%。氢气泄漏与空气混合，遇点火源可发生剧烈爆炸。齐格勒-纳塔催化剂中常用三乙基铝等有机金属化合物作为助催化剂，这类物质遇空气能自燃，遇水猛烈反应放出易燃气体。催化剂配制和使用过程中，若操作不当或设备密封失效，极易引发火灾爆炸事故。因此必须对上述危险物料的储存、输送、投料等环节实施严格管控，配备可靠的安全设施。

（二）反应过程危险性

聚合反应放热量大，反应热可达1700~2100kJ/kg。若冷却系统故障或失效，反应热不能及时有效移除，聚合速率加快，极易引发失控反应，导致聚合釜“爆聚”事故。一旦反应失控，聚合物大量析出，黏度骤增，搅拌功率急剧上升。若不及时采取紧急措施，反应物温度和压力会在短时间内突破设计值，最终导致反应釜破裂泄漏，释放大量的可燃性气体，后果不堪设想。

反应体系的压力也是重点监控对象。当系统压力超过设计值（如2.0MPa）时，易导致设备连接部位泄漏。泄漏的丙烯迅速气化吸热，使管道和阀门温度骤降，发生“冻裂”现象，加剧介质外泄。因此必须对反应釜温度和压力实施联锁控制，设置独立的紧急冷却系统和泄压阀，确保反应过程始终在安全范围内进行。

（三）静电与粉尘危险性

静电是聚丙烯生产中的普遍危险源。聚丙烯树脂属电绝缘体，极易因摩擦起电而积聚静电荷。尤其在气力输送、气流干燥等环节，高速运动的聚丙烯粉料与设备管壁剧烈摩擦，如果静电接地措施不到位，就会在设备表面积聚大量静电荷，一旦放电就可能引燃周围的可燃物料或粉尘。而聚丙烯粉料的爆炸浓度下限低至0.1%，只需一点粉尘悬浮在空气中，遇点火源就会发生爆炸，其威力绝不容小觑。因此，必须从设计上全面考虑防静电接地，将所有设备、管道、料仓等通过可靠导体接地，并定期检测接地电阻，确保其小于10Ω。此外，在粉尘易积聚的部位，还须设置吸尘装置，避免形成爆炸性悬浮粉尘云。输送粉料最好采用氮气密闭循环方式，在源头上控制粉尘外逸^[1]。日常还要加强对防静电装置的检查维护，发现问题及时修复，坚决杜绝因防静电失效酿成的火灾爆炸事故。在粉尘清理作业时，更要使用防爆工具，避免产生撞击火花。

（四）设备与管道危险性

设备管道腐蚀是长周期运行的聚丙烯装置常面临的危险因素。原料丙烯中往往含有微量硫化物杂质，在高温条件下会加速

设备的硫化腐蚀。腐蚀会导致设备壁厚减薄，一旦减薄到设计极限，设备的机械强度和抗压能力就会大打折扣，最终导致破损泄漏事故。因此，在开车初期就应对原料进行硫含量检测，超标时应先进行脱硫处理。对腐蚀敏感部位还可涂覆耐硫涂层，定期开展超声测厚以掌握壁厚变化趋势。当减薄量达到设计壁厚的80%时就应及时更换，避免设备带病运转。

管道和设备的堵塞问题也值得警惕，生产实践中经常发现，聚丙烯熔体或粉料会逐渐在管道内壁上粘附积聚，导致过流面积减小，物料输送阻力增大。轻则影响生产效率，重则会诱发局部过热、管道振动等问题，严重时还可能导致管道变形或设备损坏。对此，必须加强工艺排查和清管措施。合理控制聚合温度，避免过高温导致树脂分解结焦。在换热器等容易积垢的设备中投加阻垢剂。定期使用高压水或机械清管工具疏通受堵管线。

三、聚丙烯生产工艺安全措施

（一）工艺参数控制

工艺参数是影响聚丙烯生产安全的关键因素，必须实现精准控制。对于聚合反应温度，关键是要避免失控引发“爆聚”。为此，可在聚合釜内设置多对备用的温度传感器，实时采集温度数据。当主温度计失灵或显示超过警戒值如85℃时，自动切换至备用点，同时启动紧急冷却系统，将反应物料快速冷却，必要时甚至要紧急排空反应釜。对于压力控制，可设置独立的安全仪表系统SIS，当反应压力超过3.5MPa时，SIS直接触发紧急泄压阀，将釜内物料泄放至安全区域。SIS系统与基础自控系统DCS分离设置，可最大限度避免因主系统故障而无法实施紧急停车的风险。

在线气相色谱仪是控制氢气等有毒有害介质浓度的利器。要确保氢气浓度低于爆炸下限如2%，须从釜顶尾气中实时取样分析。一旦发现超标，立即切断氢气进料阀，同时提高搅拌转速，加快氢气的脱除速度^[2]。对取样管线定期吹扫，避免聚合物沉积堵塞影响分析结果。

（二）防爆与防静电措施

丙烯、氢气等易燃易爆物料广泛存在于聚丙烯生产过程中，极易形成爆炸性环境。必须采取全面的防爆防静电措施，将爆炸风险降至最低。在催化剂配制、粉料输送等关键岗位，应采用氮气置换，将设备及管道内的氧含量控制在0.5%以下，消除燃烧和爆炸条件。对于无法实施氮封的场所，必须保证通风换气，防止可燃气体聚集。所有设备、管线、阀门等均应采用金属导电材质，并与工艺装置可靠连接，确保等电位联结。粉料输送应在密闭系统中进行，采用氮气闭路循环，避免粉尘与空气直接接触。人体也是重要的静电聚集体，操作人员进入静电敏感区域，必须穿着防静电工作服，佩戴静电手环，并定期进行静电释放和跨接测试。

（三）设备与管道安全设计

反应设备和管道的材质选型是确保工艺安全的首要因素。聚丙烯装置的核心设备，如聚合反应釜、旋风分离器等，其内壁应

采用316L等优质不锈钢材质，并在表面涂覆聚四氟乙烯等惰性防腐层，提高设备耐腐蚀性能和使用寿命。输送管道应选用耐硫化物应力腐蚀开裂的合金材料，并控制硫含量。对于停工检修前的设备和管线，必须进行彻底的吹扫置换，排除残留的可燃性气体，防止检修过程中发生火花引燃事故^[3]。长输管道应设计合理数量的膨胀节，减少热胀冷缩引起的应力集中，降低管道泄漏风险。对于存在泄漏可能的设备，如泵、压缩机等，其机械密封应采用双端面结构，配置泄漏收集装置，将泄漏的介质导入封闭容器或火炬系统，防止危险气体扩散。

（四）自动化安全控制系统

完善的自动化安全控制系统是保障聚丙烯装置安全运行的重要手段。其核心是紧急停车系统 ESD。当装置发生严重工况偏差，危及人员设备安全时，ESD 系统能在最短时间内将装置导入安全状态。其采用两套独立的逻辑控制单元，对关键参数进行双重监测。例如，当反应器冷却水流量低于 30m³/h，搅拌电流高于 120A 时，系统判定为反应失控，立即切断进料阀门，同时打开急冷水阀，必要时还注入反应终止剂苯醌。

报警管理也是安全自动化的重要内容，DCS 应能根据工艺参数偏差幅度和速率等特征，自动对报警进行分级管控。紧急报警如反应器超温、循环氢压缩机超速等，必须在 10 秒内响应处理。重要报警如原料丙烯压力高限、催化剂流量低限等，应在 1 分钟内处理。而一般报警则相对宽松一些。还应对现场操作员进行分级，不同级别人员只能调整相应级别的参数。如中控主操可操作全部参数，巡检工只能操作部分现场阀门。

（五）人员操作与应急管理

再完善的硬件设施也离不开人的正确操作和管理，这对聚丙烯这类高风险化工装置尤为重要。生产运行应树立“以人为本”的管理理念。操作人员上岗前必须进行严格的安全教育和技能培训，经考核合格后方能持证上岗。中控室应实行“双人监盘”制度，一人负责盯控工艺参数，另一人负责核对报警信息并适时复述，以防遗漏关键信息。对于关键工序的现场操作，如催化剂配制、设备置换、取样分析等，应编制详细的操作规程，并采用交接班双签名等制度严格执行。

应急管理方面，必须根据风险评估结果制定科学的应急预案，并通过反复演练强化员工的应变能力。如每月轮流组织丙烯

泄漏、粉尘爆炸、反应器失控等典型场景的桌面推演和实战演习，确保应急响应时间控制在 3 分钟内。还应储备足够的应急物资，如空气呼吸器、防化服、堵漏工具等，确保万一旦发生险情能第一时间投入应急抢险。日常还应强化应急值守，发现异常苗头应立即响应。

（六）承包商与环保设施安全管控

化工装置的检维修施工以及环保治理，通常会引入外部承包商参与，这对安全管理提出了更高要求。在施工承包商选择上，除了考察其专业技术能力外，安全资质也是必查的硬指标。施工前必须对承包商及其作业人员的相关资质进行严格审核，操作工必须持有焊工、电工、特种设备作业等资格证书，并在施工前接受必要的安全教育。在施工过程中，企业安全管理人员还应加强动态监管，及时消除各类违章行为和不安全因素^[4]。环保设施的安全运行直接关系到企业的社会责任。对废气焚烧装置，应确保燃烧室温度始终高于 750℃，停留时间不低于 1 秒，以保证 VOCs 等污染物充分氧化分解。对酸碱废液处理系统，必须实施分类收集，杜绝不同性质废液混排，并根据其特性选择合适的材质，防止因腐蚀穿孔导致废液外泄污染环境。对固废焚烧炉，应在进口烟气中设置快速切断阀，并与 CO 浓度检测仪联锁。当 CO 浓度超标时，应立即切断废气，同时停止固废进料，避免燃烧不充分导致二噁英等有毒物质超标排放。

四、结束语

综上所述，聚丙烯生产是一个高风险、高技术、高投入的过程。其涉及的易燃易爆原料、高温高压工艺、粉尘静电危害以及腐蚀泄漏风险等，对安全管理提出了极高要求。企业必须以本质安全为导向，从工艺、设备、电气、仪表、管理等各专业角度，系统设计并落实安全措施。既要发挥好自动化技术的硬件保障功能，又要强化人的管理和操作，并树立全员安全意识。在生产运行中，还应通过加强动态监控和风险分级管控，及时发现和消除各类隐患。一旦发生紧急情况，还要按照应急预案及时处置，控制事态扩大。只有立足预防为主，以风险管控为核心，构建全过程、全方位、多层次的安全防线，才能从根本上确保聚丙烯生产装置的本质安全，实现长周期安全平稳运行。

参考文献

- [1] 刘贵春. Unipol 气相法工艺聚丙烯装置安全风险管控 [J]. 云南化工, 2023, 50(S01): 54-56.
- [2] 张强. 聚丙烯生产危险因素分析及安全防范措施 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(1): 2.
- [3] 张强. 聚丙烯生产危险因素分析及安全防范措施 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(01): 149-150.
- [4] 赵玉鑫. 聚丙烯装置中三乙基铝的化学危险性分析 [J]. 化工设计通讯, 2018, 44(08): 125-126.