

# 化工生产中锅炉蒸汽参数波动对聚丙烯质量的影响及控制方法

李军鹏

国能集团宁夏煤业有限责任公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750004

**摘要:** 本文聚焦于化工生产中锅炉蒸汽参数波动对聚丙烯质量的影响及相应控制方法。首先阐述了聚丙烯生产的重要性和锅炉蒸汽在其中的关键作用,接着详细分析了蒸汽压力、温度、流量等参数波动对聚丙烯分子量、分子量分布、等规度等质量指标的具体影响机制。通过实际案例分析,进一步说明了参数波动带来的质量问题及解决措施。最后,从设备维护、操作优化、自动化控制等多个方面提出了全面且具有针对性的控制方法,旨在为提高聚丙烯生产质量提供理论支持和实践指导。

**关键词:** 化工生产; 锅炉蒸汽参数; 聚丙烯质量; 影响; 控制方法

## 1 引言

聚丙烯因性能优异,广泛应用于包装、汽车等多领域。市场对其质量要求渐高,确保生产稳定与质量一致成化工企业关注重点。生产中,锅炉蒸汽是重要能源与工艺介质,为聚合反应供热,还参与催化剂活化等关键环节,其参数稳定影响生产与质量。但实际生产里,受锅炉运行、燃料供应等因素影响,蒸汽参数易波动。因此,深入研究波动对聚丙烯质量的影响并采取有效控制,对提升产品市场竞争力意义重大。

## 2 聚丙烯生产工艺及锅炉蒸汽的作用

### 2.1 聚丙烯生产工艺概述

目前,工业上生产聚丙烯主要采用聚合工艺,常见的有液相本体法、气相法以及本体-气相组合法等。以液相本体法为例,该工艺是将丙烯单体在液相状态下,在催化剂的作用下进行聚合反应。反应过程中,需要严格控制反应温度、压力、催化剂用量等参数,以确保聚合反应的顺利进行和聚丙烯产品的质量。

### 2.2 锅炉蒸汽在聚丙烯生产中的作用

在聚丙烯生产中,锅炉蒸汽具有多方面的重要作用。首先,蒸汽为聚合反应提供所需的热量。聚合反应是一个放热或吸热过程,通过蒸汽加热可以精确控制反应温度,保证反应在适宜的条件下进行,从而影响聚丙烯的分子结构和性能<sup>[1]</sup>。其次,蒸汽用于催化剂的活化。许多聚丙烯生产用催化剂在使用前需要进行活化处理,蒸汽可以提供活化所需的能量和反应环境,使催化剂达到最佳的活性状态。此外,蒸汽还参与物料的输送和干燥等环节,确保生产过程的连续性和稳定性。

## 3 锅炉蒸汽参数波动对聚丙烯质量的影响

### 3.1 蒸汽压力波动的影响

#### 3.1.1 对聚丙烯分子量的影响

蒸汽压力的波动会直接影响聚合反应的温度。当蒸汽压力升高时,加热系统提供的热量增加,反应温度上升。根据聚合反应动力学原理,温度升高会加快聚合反应速率,导致聚丙烯分子链的增长速度加快,从而使分子量增大。反之,蒸汽压力降低,反应温度下降,聚合反应速率减慢,分子量减小。分子量的变化会显著影响聚丙烯的物理性能,如熔体流动速率、拉伸强度等。分子量过大,熔体流动速率降低,加工性能变差;分子量过小,则拉伸强度等力学性能不足。

#### 3.1.2 对聚丙烯分子量分布的影响

蒸汽压力波动还会影响聚丙烯分子量分布的宽窄。稳定的蒸汽压力有助于维持反应温度的恒定,使聚合反应在相对均匀的条件下进行,从而得到较窄的分子量分布。而蒸汽压力频繁波动会导致反应温度忽高忽低,不同温度下聚合反应速率不同,使得生成的聚丙烯分子链长度差异增大,分子量分布变宽。分子量分布宽的聚丙烯产品在加工过程中容易出现性能不均匀的问题,影响产品的质量稳定性。

### 3.2 蒸汽温度波动的影响

#### 3.2.1 对聚丙烯等规度的影响

等规度是衡量聚丙烯分子结构规整性的重要指标,它直接影响聚丙烯的结晶度和物理性能。蒸汽温度波动会影响催化剂的活性和选择性,进而影响聚丙烯的等规度。当蒸汽温度过高时,催化剂可能会发生部分失活或结构改变,导致生成的聚丙烯分子中无规立构的含量增加,

等规度降低。等规度降低的聚丙烯产品结晶度下降，硬度、强度等性能变差，无法满足高端应用的需求。

### 3.2.2 对聚丙烯产品色泽的影响

蒸汽温度波动还可能对聚丙烯产品的色泽产生影响。在聚合反应和后续的加工过程中，过高的蒸汽温度可能会引发一些副反应，产生有色杂质，使聚丙烯产品发黄或变色。色泽不佳的产品在市场上的竞争力会受到严重影响，尤其是一些对产品外观要求较高的应用领域，如食品包装、化妆品包装等。

### 3.3 蒸汽流量波动的影响

#### 3.3.1 对聚合反应稳定性的影响

蒸汽流量的波动会改变加热系统的热负荷，导致反应温度不稳定。聚合反应对温度非常敏感，温度的微小变化都可能引起反应速率的显著改变<sup>[2]</sup>。蒸汽流量不稳定会使反应温度在较大范围内波动，使聚合反应难以控制在最佳状态，容易出现反应失控的情况，如爆聚或反应缓慢等，严重影响生产的连续性和产品质量。

#### 3.3.2 对物料输送和混合的影响

在聚丙烯生产中，蒸汽还参与物料的输送和混合过程。蒸汽流量的波动会影响物料的输送速度和混合效果。如果蒸汽流量不稳定，可能导致物料输送不均匀，某些部位的物料堆积或缺乏，影响反应物的比例和反应的均匀性。同时，混合效果不佳也会使聚合反应不充分，生成的产品质量参差不齐。

## 4 实际案例分析

### 4.1 案例背景

某化工企业用液相本体法生产聚丙烯，两台额定蒸发量280t/h的燃煤锅炉为聚合反应等环节供汽。一段时间内，聚丙烯产品出现质量波动，如熔体流动速率不稳定、等规度下降、色泽发黄，部分产品不合格，企业损失较大。

### 4.2 问题排查

经排查，锅炉蒸汽参数波动，压力日波动 $\pm 0.2\text{MPa}$ ，温度 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，流量不稳定。原因一是锅炉设备老化，部分阀门和仪表故障，调节控制不准。运行13年，蒸汽调节阀内件磨损，阀门开度与流量线性关系差；压力变送器和温度传感器精度下降，测量误差大。二是燃料供应不稳定，煤质发热量15-19MJ/kg，灰分25-32%波动大，影响燃烧稳定性。

### 4.3 质量影响

蒸汽参数波动致聚丙烯熔体流动速率波动超标（ $\pm 10\%$ ），加工性能受影响；等规度下降，硬度和强度降低；色泽发黄影响外观，此质量影响还会造成一定的

经济损失。

### 4.4 解决措施及效果

企业采取系列措施：一是对锅炉全面检修更新，换老化阀门和仪表，选用高精度压力变送器（ $\pm 0.05\%$ ）和温度传感器（ $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ），重新选型安装蒸汽调节阀。二是加强燃料管理，与配煤单位签订协议，约定供煤指标稳定，上煤前对煤样进行煤质分析，根据供煤指标调整配比，实时监控锅炉燃烧工况，发现煤质灰分大，排渣系统负荷高，锅炉蒸发量调整困难，应及时联系配煤单位调整煤质配比。加强操作人员的技能培训，经采取以上措施运行一段时间后，蒸汽参数波动范围缩小，压力 $\pm 0.05\text{MPa}$ 以内，温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，流量稳定性提高。聚丙烯质量提升，指标稳定达标，色泽正常，经济效益得到保障。

## 5 锅炉蒸汽参数波动的控制方法

### 5.1 设备维护与管理

#### 5.1.1 定期检修锅炉设备

建立完善的锅炉设备定期检修制度，按照规定的时间间隔对锅炉本体、受热面、阀门、管道等进行全面检查和维护。及时发现并更换老化的零部件，修复泄漏部位，确保锅炉设备的正常运行。例如，定期对锅炉的安全阀进行校验，保证其在蒸汽压力超过设定值时能够及时准确地泄压，防止蒸汽压力过高对生产造成影响。一般来说，安全阀的校验周期为每年至少一次。对锅炉的受热面定期吹灰和定期排污，去除表面的积灰和结垢，提高锅炉的热效率。积灰和结垢会导致受热面的传热系数下降，影响蒸汽的产生和参数的稳定性。根据锅炉的运行情况，一般每2-3年对受热面进行一次化学清洗。

#### 5.1.2 更新老化设备

对于使用年限较长、性能下降明显的锅炉设备，应及时进行更新换代。采用先进的锅炉技术和设备，提高锅炉的热效率和蒸汽参数的稳定性。例如，新型的节能锅炉具有更好的燃烧控制系统和自动调节功能，能够根据生产需求精确控制蒸汽的压力、温度和流量，减少参数波动。一些新型的燃气锅炉采用了低氮燃烧技术，不仅能够减少氮氧化物的排放，满足环保要求，还能提高燃烧效率，使蒸汽参数更加稳定<sup>[3]</sup>。同时，新型锅炉的自动化程度更高，配备了先进的控制系统，能够实现对蒸汽参数的实时监测和自动调整。

#### 5.1.3 加强仪表维护

蒸汽参数的准确测量和控制依赖于各种仪表的正常运行。因此，要加强对压力表、温度计、流量计等仪表的维护和校准。定期对仪表进行检查，确保其测量准

确、显示清晰。对于出现故障的仪表，要及时进行维修或更换，避免因仪表误差导致蒸汽参数控制不准确。建立仪表校准档案，记录仪表的校准时间、校准结果等信息，以便对仪表的使用情况进行跟踪和管理。一般来说，压力表和温度计的校准周期为每半年一次，流量计的校准周期为每年一次。

## 5.2 操作优化

### 5.2.1 规范操作流程

制定详细、准确的锅炉操作规程，明确操作人员在启动、运行、停炉等各个阶段的操作步骤和注意事项。要求操作人员严格按照操作规程进行操作，杜绝违规操作行为。例如，在锅炉启动过程中，要按照规定的升温曲线进行升温，避免升温过快导致蒸汽参数波动过大。在锅炉启动时，应先将炉膛温度缓慢升高，当炉膛温度达到一定值后，再逐渐增加燃料供应量，使蒸汽参数平稳上升。一般来说，锅炉启动时的升温速度应控制在每小时不超过50℃。同时，在运行过程中，要密切关注蒸汽参数的变化，及时调整燃料供应量、风量等参数，确保蒸汽参数稳定在设定范围内。

### 5.2.2 合理调整燃料供应

根据生产需求和锅炉运行状况，合理调整燃料的供应量和供应方式。保持燃料的稳定供应，避免燃料供应中断或波动过大。同时，要根据蒸汽参数的变化及时调整燃料的燃烧情况，确保燃烧充分、稳定，使蒸汽参数保持在设定范围内。例如，通过调整风煤比，优化燃烧过程，提高燃烧效率，减少因燃烧不稳定导致的蒸汽参数波动。对于燃煤锅炉，可以通过采集不同工况下风煤配比线性关系，实现对风煤比的精确控制。根据蒸汽压力和温度的变化，自动调整煤量和空气的流量，使燃烧处于最佳状态。一般来说，当蒸汽压力下降时，应适当增加燃料供应量；当蒸汽温度过高时，应减少燃料供应量或增加空气流量。

### 5.2.3 加强生产协调与沟通

聚丙烯生产是一个复杂的系统工程，涉及多个部门和环节。锅炉蒸汽参数的稳定不仅取决于锅炉自身的运行，还与聚合反应、物料输送等环节密切相关。因此，要加强生产各部门之间的协调与沟通，建立有效的信息反馈机制。当聚合反应或其他环节对蒸汽参数有特殊要求时，能够及时通知锅炉操作人员进行调整，确保蒸汽参数满足生产需求。

## 5.3 自动化控制

### 5.3.1 安装先进的控制系统

采用分布式控制系统（DCS）或可编程逻辑控制器（PLC）等先进的自动化控制系统，对锅炉蒸汽参数进行实时监测和自动控制。通过传感器实时采集蒸汽的压力、温度、流量等参数，并将数据传输到控制系统中<sup>[4]</sup>。控制系统根据设定的参数值与实际测量值进行比较，自动调整锅炉的运行参数，如燃料供应量、风量等，使蒸汽参数始终保持在设定范围内。

### 5.3.2 设置报警和联锁保护装置

在自动化控制系统中设置完善的报警和联锁保护装置。当蒸汽参数超出设定的安全范围时，系统能够及时发出报警信号，提醒操作人员采取措施。同时，联锁保护装置能够自动切断相关设备的运行，防止事故的扩大。例如，当蒸汽压力过高时，联锁保护装置会自动关闭燃料供应阀门，停止锅炉燃烧，确保设备和生产的安全。

### 5.3.3 实施远程监控与诊断

利用现代信息技术，实现对锅炉运行的远程监控与诊断。通过建立远程监控平台，企业的技术人员可以在办公室或其他地点实时查看锅炉的运行参数和状态，及时发现潜在的问题。同时，利用专家诊断系统对锅炉运行数据进行分析和处理，为操作人员提供决策支持，提高锅炉运行的稳定性和蒸汽参数的控制水平。

## 结语

化工生产中，锅炉蒸汽参数稳定关乎聚丙烯质量，其波动影响产品多项质量指标及市场竞争力，还会给企业带来经济损失。为有效控制波动，企业应从设备维护管理、操作优化、自动化控制等多方面着手，加强设备维护、规范操作流程、采用先进控制系统。采取这些综合方法可减少波动，提高产品质量，降低成本，增强竞争力。此外，企业还应关注新技术发展，持续优化控制方法，推动聚丙烯生产技术进步。

## 参考文献

- [1]刘斌.聚丙烯生产工艺中的产品质量控制研究[J].造纸装备及材料,2024,53(08):62-64.
- [2]贾真,党飞,薛德,等.聚丙烯化工工艺效率提升的方法[J].化工管理,2020,(20):137-138.
- [3]郝兴天,封水彬,蒋文军,等.国内软质聚丙烯的生产及应用概述[J].现代塑料加工应用,2024,36(06):53-56.
- [4]黄敏,马师.丙烯质量对聚丙烯生产的影响及解决对策[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(22):36-38.