

# 电石法制 PVC 工艺中自控策略优化与能效提升的关联性分析

白伟业 杜素杰

内蒙古鄂尔多斯电力冶金集团股份有限公司氯碱化工分公司 内蒙古 鄂尔多斯 016064

**摘要:** 电石法制PVC工艺中, 自控策略优化与能效提升密切相关。在工艺各环节, 如电石水解、氯乙烯合成、聚合反应及后处理过程, 实施自控策略优化可精准控制反应条件, 提高生产效率。能效提升的量化指标与评估方法能科学衡量优化效果, 自控策略优化可从参数控制、设备运行等方面减少能源消耗。明确自控策略优化的实施步骤并评估效果, 有助于持续改进。此外, 该成果在行业内具有应用价值, 通过组织交流、建立示范项目等推广策略, 可促进行业整体能效提升。

**关键词:** 电石法制PVC工艺; 自控策略优化; 能效提升

引言: 电石法制PVC工艺在我国聚氯乙烯生产中占据主导地位。随着行业竞争加剧和环保要求提高, 提升该工艺的能效成为企业生存与发展的关键。传统生产方式存在能耗高、效率低等问题, 不仅增加了生产成本, 还对环境造成较大压力。在此背景下, 探寻有效提升能效的方法迫在眉睫。通过对电石法制PVC工艺进行深入研究, 挖掘提升能效的潜力, 对于推动行业可持续发展、增强企业市场竞争力具有重要的现实意义。

## 1 电石法制PVC工艺基本概念

电石法制PVC(聚氯乙烯)工艺在我国化工行业中占据着重要地位, 这与我国富煤、贫油、少气的资源禀赋密切相关。PVC是一种以偶氮化合物、过氧化物为引发剂, 按照聚合反应聚合而成的聚合物, 是五大通用塑料之一。它呈现白色粉末状, 具有无定形结构, 相对密度约为1.4, 支化度较小。其玻璃化温度处于77-90°C, 当温度达到170°C时就会分解。在特定的光热条件下, PVC的稳定性欠佳, 长时间暴晒或处于特定温度环境中, 就会分解并出现变色现象, 若反应剧烈, 其物理机械性能会受到严重影响。不过, 由于PVC结构单元中氯元素含量为56.8%, 使其具备非常优良的阻燃性能。电石法制PVC的基本原理是利用电石(碳化钙)与水反应生成乙炔, 然后让乙炔和氯化氢发生反应, 合成氯乙烯单体, 再通过聚合反应生成PVC。其具体工艺流程包含多个工段。电石工段是整个工艺的基础, 当前工业生产中, 石灰主要采用大型机械化混烧窑生产, 将生产出的石灰利用回转干燥方法制成干燥碳素材料, 通过改造利用设备来实现电石的生产。需要注意的是, 在PVC生产成本中, 约70%来自电石成本, 所以对于PVC生产企业而言, 自

行制作电石可有效控制成本, 而从外界采购电石则会大幅增加成本。乙炔工段采用湿法乙炔生产工艺技术, 即利用电石和水发生化学反应来制备乙炔。但由于电石中含有CaS、Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>等杂质, 反应生成的乙炔中会含有H<sub>2</sub>S、PH<sub>3</sub>等杂质, 因此需要采用次氯酸钠对生成的乙炔进行净化<sup>[1]</sup>。该工段的生产过程涵盖乙炔发生、净化、干燥及电石渣浆处理等环节。氯乙烯工段的生产过程较为复杂, 涉及原料气混合脱水、氯乙烯合成及净化、精馏、尾气残液回收等步骤。乙炔工序送来的精制乙炔气与氯化氢气体按一定比例在混合器中混合, 经过冷却、过滤、预热等处理后, 进入装有汞触媒的转化器中反应生成粗氯乙烯, 再经过一系列处理得到较为纯净的氯乙烯。PVC工段则是将经过提纯处理、纯度达到99.99%的氯乙烯气体, 应用悬浮聚合工艺进一步加工处理。在这个过程中, 聚合环节最为关键, 需严格掌控聚合反应时间, 当转化率达到85%时, 加入终止剂, 以获得稳定性较高的PVC树脂。电石法制PVC工艺具有成本较低的优势, 与石油法相比, 其在成本上更具竞争力, 所以应用较为广泛。然而, 该方法也存在明显不足, 在合成氯乙烯单体方面质量相对较差, 并且生产过程中可能会释放出较大的污染, 这在一定程度上限制了其利润空间和生产空间。

## 2 电石法制PVC工艺中的自控策略优化

### 2.1 电石水解过程的自控策略优化

在电石法制PVC工艺中, 电石水解过程的自控策略优化对于提升整体生产效率和产品质量至关重要。以下从几个方面进行阐述: (1) 温度精准控制。电石水解是放热反应, 温度过高会影响乙炔收率, 过低则反应速度慢。通过安装高精度温度传感器, 实时监测水解温度, 并利

用自动调节装置,根据预设温度值精确控制冷却水流量,确保水解反应在适宜温度下进行。(2)电石进料量自动调节。依据生产负荷和反应情况,采用流量传感器和自动进料阀,实现电石进料量的精准控制。避免进料过多导致反应剧烈难以控制,或进料过少影响生产效率。(3)液位稳定控制。水解反应槽的液位对反应稳定性有重要影响。利用液位传感器实时监测液位高度,通过自动排水阀调节排水量,保持液位在合理范围内,防止液位过高溢出或过低影响反应。(4)压力安全控制。安装压力传感器实时监测水解反应系统压力,当压力异常升高时,自动开启泄压装置,确保生产安全。同时,根据压力变化自动调整相关参数,保证反应平稳进行。(5)数据实时监控与分析。建立自动化监控系统,实时采集温度、进料量、液位、压力等数据,并进行分析处理。通过数据分析及时发现潜在问题,提前采取措施进行调整和优化,提高生产的稳定性和可靠性。

## 2.2 氯乙烯合成过程的自控策略优化

在电石法制PVC工艺里,氯乙烯合成过程的自控策略优化是保障生产高效、稳定与安全的关键环节。以下是具体的优化策略:(1)原料气配比精准调控。利用高精度气体流量传感器实时监测乙炔和氯化氢的流量,通过先进的自动控制算法,精确调整两者的比例,使其严格保持在最佳反应配比范围内,从而提高氯乙烯的合成效率和质量。(2)反应温度智能控制。在合成反应器中安装多点温度传感器,实时获取反应温度分布。依据反应动力学模型,自动调节加热或冷却介质的流量和温度,确保反应温度稳定在适宜区间,避免温度波动导致副反应增加。(3)压力稳定维持。采用压力传感器对反应器内压力进行实时监测,当压力出现异常波动时,自动调节进料速度、排气量等参数,维持压力稳定,防止因压力过高引发安全事故或影响产品质量。(4)催化剂活性监测与调整。通过在线分析仪器实时监测催化剂的活性指标,根据监测结果自动调整催化剂的补充量或再生操作,保证催化剂始终处于良好的活性状态,延长其使用寿命。

## 2.3 聚合反应过程的自控策略优化

在电石法制PVC工艺中,聚合反应过程的自控策略优化对产品质量和生产效率起着关键作用。聚合反应对温度极为敏感,温度过高或过低都会影响PVC的聚合度和质量。可利用高精度温度传感器实时监测反应釜内温度,通过自动调节加热或冷却装置,将温度严格控制在设定范围内。比如,当温度接近上限时,自动加大冷却介质流量;接近下限时,增加加热功率。稳定的压力是

保证聚合反应顺利进行的重要条件。安装压力传感器实时监测反应釜压力,一旦压力出现波动,自动调节进料速度或排气量,使压力迅速恢复稳定,防止压力异常导致的反应异常或安全事故。按照工艺要求,利用流量计量装置和自动阀门,精确控制氯乙烯单体、引发剂、分散剂等物料的加入量和比例。确保各物料的精准投放,为聚合反应提供良好的条件。设置自动计时装置,严格按照预定的反应时间进行操作<sup>[2]</sup>。当反应时间达到设定值时,自动执行后续的终止反应、出料等操作,保证产品质量的一致性。还可建立自动化监控系统,实时采集和分析反应过程中的各项参数,实现远程监控和智能决策,及时发现并解决潜在问题,进一步提升聚合反应过程的自控水平。

## 2.4 后处理过程的自控策略优化

在电石法制PVC工艺中,后处理过程的自控策略优化能够显著提升产品质量与生产效率。在干燥环节,可安装高精度的湿度传感器实时监测PVC物料的湿度。根据预设的湿度标准,自动调节干燥设备的温度、风速等参数。当湿度高于标准值时,提高干燥温度、加大风速;湿度接近标准时,降低能耗,实现精准干燥,避免过度干燥或干燥不足。筛分过程中,利用先进的图像识别技术和自动筛选设备。图像识别系统能快速识别PVC颗粒的大小和形状,自动控制筛选设备的振动频率和筛网孔径,将不符合规格的颗粒分离出来,保证产品粒度均匀。包装阶段,通过重量传感器对每袋PVC产品进行实时称重。一旦重量出现偏差,自动调整包装设备的下料量,确保每袋产品重量符合规定。同时,利用自动化的贴标和喷码设备,准确标注产品信息,提高包装效率和准确性。在整个后处理过程中,建立自动化的监控系统至关重要。该系统可实时收集各环节的运行数据,如温度、湿度、重量、设备运行状态等。通过数据分析和智能算法,提前预测可能出现的故障,并自动发出预警信号,以便及时采取维护措施,保障生产的连续性和稳定性。

## 3 电石法制PVC工艺能效提升与自控策略优化的关联性探讨

### 3.1 能效提升的量化指标与评估方法

在电石法制PVC工艺里,科学确定能效提升的量化指标与评估方法,对评估自控策略优化效果意义重大。(1)单位产品能耗。统计生产每吨PVC消耗的电能、热能等,该指标直观体现能源利用效率,数值越低表明能效越高。(2)能源回收率。计算回收利用的能源占总能源消耗的比例,反映能源回收系统的有效性,比例越高意味着能源浪费越少。(3)设备运行效率。监测关键设备如反应

釜、压缩机的运行效率，与设计值对比，判断设备是否高效运行，为设备维护和升级提供依据。(4) 过程能耗强度。分析各生产环节的能耗强度，找出高能耗环节，有针对性地优化自控策略，降低整体能耗。(5) 采用对比评估法，对比优化前后的指标；结合模拟评估，通过模型预测不同策略下的能效，使评估更准确全面。

### 3.2 自控策略优化对能效的具体影响

自控策略优化在电石法制PVC工艺中对能效提升产生了多维度的积极影响。从参数控制角度来看，优化后的自控策略能实现对温度、压力、流量等关键参数的精准调控。精准的温度控制避免了因温度过高或过低导致的能源浪费，使反应在最适宜的条件下进行；稳定的压力控制减少了设备的额外能耗，提高了运行效率；精确的流量控制确保了原料的合理使用，降低了不必要的损耗。在设备运行方面，自控策略可根据生产需求自动调节设备的运行状态。当生产负荷较低时，自动降低设备功率，减少能源消耗；当负荷增加时，迅速调整设备至高效运行状态，保证生产的连续性和稳定性。自控策略优化还体现在故障预警和处理上，通过实时监测设备运行数据，提前发现潜在故障并及时采取措施，避免设备因故障而长时间高能耗运行或停机维修造成的能源损失。

### 3.3 自控策略优化的实施步骤与效果评估

在电石法制PVC工艺中，合理规划自控策略优化的实施步骤并科学评估效果，对提升能效至关重要。(1) 现状评估。全面收集工艺运行数据，了解当前自控系统的运行状况、能源消耗水平及存在的问题，为后续优化提供依据。(2) 方案设计。结合现状评估结果，制定针对性的自控策略优化方案，明确优化目标、技术手段和实施计划。(3) 系统搭建与调试。依据设计方案搭建新的自控系统，对硬件设备进行安装调试，对软件程序进行编程优化，确保系统稳定运行。(4) 实施与监控。按照计划逐步实施优化方案，在实施过程中实时监控系统运行状态和能源消耗数据，及时调整优化策略。(5) 效果

评估。对比优化前后的能效指标、生产效率等数据，评估自控策略优化的效果，总结经验教训，为后续持续改进提供参考。通过以上步骤，能有效实现自控策略优化，提升工艺能效。

### 3.4 行业应用与推广策略

电石法制PVC工艺中自控策略优化与能效提升的成果具有广泛的行业应用价值，需制定有效推广策略。在行业应用方面，该成果可助力企业降低生产成本，提高产品质量。精准的自控策略能优化反应条件，减少能源浪费和次品率，增强企业市场竞争力。同时，有助于企业满足环保要求，减少污染物排放，实现绿色可持续发展。推广策略上，可组织行业研讨会和技术交流会，邀请专家和企业代表分享经验和成果，提高行业认知度。建立示范项目，让企业直观看到优化后的效果，激发他们的应用意愿<sup>[3]</sup>。与科研机构合作，开展技术培训和咨询服务，帮助企业掌握相关技术。

#### 结语：

随着行业的发展，自控策略优化与能效提升的关联性价值愈发凸显。企业应持续推进自控策略的优化，深入挖掘能效提升的潜力。通过推广这些成果，不仅可以促进整个行业的技术升级，还能有效实现节能减排的目标，推动行业的可持续发展。这不仅有助于降低生产成本，提高企业的市场竞争力，还能为电石法制PVC工艺的长远发展注入强大的动力，确保企业在激烈的市场竞争中保持领先地位，同时为环境保护和资源节约做出积极贡献。

#### 参考文献：

- [1]曹思亮.电石法PVC行业使用环保低汞触媒的应用实践[J].化工安全与环境,2020(1):19-21.
- [2]张家亮,李卓,张威.低汞触媒在电石法PVC中的应用[J].聚氯乙烯,2019,047(007):29-31.
- [3]郑生善,刘晓卿,杨委涵.电石法PVC含汞废水综合治理分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2021(10):121-122.