

过程能力指数 (Cpk) 聚烯烃产品质量提升应用研究

计玉环 王春钰 崔文峰

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏银川 750000

DOI: 10.12238/ems.v8i1.17697

[摘要] 过程能力指数 (Cpk) 作为衡量生产过程稳定性与质量控制水平的核心工具, 在质量改进中具有重要应用价值。本文以宝丰能源聚烯烃产品为研究对象, 通过分析 2023-2025 年 Cpk 数据, 建立了 Cpk 在聚烯烃产品分类管理、工艺优化及质量提升中的实践路径和管理机制。研究表明, 通过建立“品牌提升-稳定生产-重点改进”的三级分类体系, 结合针对性的工艺优化措施与激励机制, 可有效提升产品过程能力, 提升产品质量稳定性, 对聚烯烃行业质量管控具有参考价值。

[关键词] 聚烯烃; 过程能力指数 (Cpk); 工艺优化; 质量提升; 管理机制

宝丰能源作为一家以煤炭为核心原料, 专注于发展清洁高效现代煤化工产业的企业, 其煤基聚烯烃项目凭借独特的技术路径和资源优势, 在行业中占据重要地位。随着聚烯烃市场竞争的日趋激烈, 产品质量已成为企业核心竞争力的关键组成部分。除需满足既定的产品标准外, 质量稳定性作为聚烯烃产品的核心属性, 对下游加工性能和市场认可度具有直接且关键的影响: 一方面, 稳定的性能可确保下游加工企业如注塑、吹膜厂家工艺参数的一致性, 避免因熔融指数、密度等指标波动导致的充模不足、厚薄不均等问题, 提升生产效率并减少设备磨损与原料损耗; 另一方面, 性能稳定的产品能保障下游成品 (如家电外壳、包装膜) 的力学性能、外观质量等符合预期, 进而增强客户复购意愿, 助力企业获得品牌溢价并在高端市场 (如汽车、医疗领域) 建立竞争优势, 最终通过下游成品的口碑传播形成市场对品牌的持续信任。

在此背景下, 如何科学分析、客观评价并持续提升产品质量, 成为宝丰能源质量管理体系升级的核心课题。过程能力指数 (Process Capability Index, 简称 Cpk) 作为一种先进的统计分析技术, 是评价生产过程和产品稳定性、制定改进方向和目标的重要工具; 它通过量化生产过程满足质量标准的能力, 能够精准识别过程波动来源, 为质量改进提供数据化、可追溯的决策依据。其核心价值在于减少和控制影响质量波动的普通因素, 推动生产过程处于稳定受控状态, 从而实现产品质量稳定性的系统性提升。

宝丰能源通过系统性推广 Cpk 评价体系, 逐步完成了从传统“经验管控”向现代“数据驱动”的质量管理模式转型。本文基于该企业 2023-2025 年的实践数据, 深入分析 Cpk 统

计分析技术在聚烯烃产品质量提升中的应用路径与实际效果, 对煤化工行业的质量管控升级管控具有参考价值。

一、Cpk定义及评定标准

(一) 定义

过程能力指数 (Cpk) 是指生产过程能力满足产品质量标准要求 (或规格范围等) 的程度。其本质是通过量化过程波动与规格界限的匹配程度, 反映过程对产品质量的保障能力, 且与产品合格率存在直接对应关系——Cpk 值越高, 过程波动越小, 产品满足规格要求的概率越高, 合格率也随之提升。从统计逻辑来看, Cpk 基于过程数据服从正态分布的前提, 通过计算过程均值与规格中心的偏移量、过程标准差与规格公差的比值得出, 其与合格率的对应关系可通过正态分布概率计算推导。

Cpk 计算公式

$$Cpk = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\}$$

(二) 等级评定标准

Cpk 等级评定遵循了过程能力分析的基本原理, 通过与合格率的直接关联, 为聚烯烃生产的质量管控提供了直观、量化的判定依据, 确保评价体系兼具科学性与实用性^[1]。

二、聚烯烃产品Cpk评价体系的构建

(一) 聚烯烃过程能力指数 (Cpk) 现状分析

以 2022-2023 年的产品质量数据为基础, 对宝丰能源当前生产的聚烯烃产品牌号的过程能力指数 (Cpk) 进行计算与分析, 结果显示: Cpk < 1.00 的产品占比 8%, 1.00 ≤ Cpk < 1.33 的产品占比 25%, Cpk ≥ 1.33 的产品占比 67%。

其中 Cpk ≥ 1.33 的产品已达到行业普遍认可的可接受水

平,表明该部分产品的过程稳定性较好,能基本满足下游加工对性能一致性的需求;而 $1.00 \leq Cpk < 1.33$ 的产品虽处于“良好级”,过程能力基本充足,但仍存在一定波动风险,需通过加强过程监控(如关键工艺参数的实时追踪)进一步缩小性能偏差; $Cpk < 1.00$ 的产品占比虽低,其性能波动已对产品质量稳定性构成明显影响,是需要重点关注的“问题产品”,需优先排查该类产品在原料稳定性、设备运行状态、工艺参数设置等方面的核心问题。

从品牌建设目标来看,当前 $Cpk \geq 1.33$ 的产品虽达标,但仍有提升空间,后续应针对该部分产品的关键性能项目(如熔融指数、密度等)开展质量攻关,通过细化工艺控制标准、引入高精度检测手段等措施逐步将其 Cpk 提升至1.67的水平,以增强产品在高端市场的竞争力更好地满足下游精密加工对极致稳定性的需求。

(二) 建立产品按 Cpk 分类管控机制

根据以上分析结果,结合公司质量管理和品牌提升要求,将产品进行以下分类,并形成《聚烯烃产品 Cpk 评价产品和评价指标清单》,构建差异化质量管控框架。

1. 品牌培育产品: $Cpk \geq 1.67$,如DFDA7042($Cpk=1.79$)、DFDA9047($Cpk=1.83$),主要指标(如拉伸断裂应力、密度) $Cpk \geq 1.67$,产品批次一致性优异,能满足下游高端加工对材料稳定性的严苛需求,具备打造行业标杆产品的潜力。

2. 稳定生产产品: $1.67 \geq Cpk > 1.33$,如K8003($Cpk=1.62$)整体过程能力充分,已属宝丰能源王牌产品,其优异的刚韧平衡性能在下游有较为广泛的受众群体,使得该产品在同行竞品中溢价能力较为突出,需持续排产,提高市场占有率。

3. 重点改进产品: $Cpk \leq 1.33$ 如DMDA8008($Cpk=1.08$)、5502S($Cpk=1.25$),拉伸屈服应力、熔融指数等关键指标 $Cpk < 1$,过程能力不足,易出现批次波动,导致下游加工时出现成型稳定性差、力学性能偏差等问题。需针对原料配比、反应温度稳定性等影响因素开展专项工艺攻关,通过优化中控指标公差强化关键工序参数监控,推动核心指标 Cpk 逐步提升至1.33以上,减少质量波动风险,提升产品市场竞争力。

(三) 建立质量稳定性提升评价管理机制

对烯烃产品以聚丙烯、聚乙烯为核心质量管控需求,构建了基于过程能力指数(Cpk)的烯烃质量稳定性评价激励机

制,以季度为考核周期进评价奖励,通过多指标精准量化联动的奖励规则,激励生产单位开展稳定性提升攻关,驱动聚烯烃产品质量提升。

(四) Cpk 评价指标和奖励原则

1. 根据生产控制需求和 Cpk 评价结果(2022年-2023年数据计算结果)对不同分类的产品确定评价指标;

2. 聚烯烃产品 Cpk 评价考核按照月统计,季评价进行考核兑现。按照指标进行评价奖励,单项指标不达标不奖励。

3. Cpk 奖励兑现范围包括聚合车间、成品车间和生产单位主管生产质量领导和部门人员,分配比例分别为聚合车间70%,成品车间20%,生产单位主管生产质量领导和部门人员10%。

三、提升 Cpk 的改进措施

(一) 强化原辅料质量验收把关

1. 原辅料质量把关:对进厂的异戊烷、氢氧化钠等依照进厂原辅料验收标准开展检测验收与卸车流程;持续关注每日1-丁烯罐样检测结果及氢气质量,保障其满足生产工艺指标;烯烃分离车间生产工艺异常时,将乙烯产品切至不合格品罐;对原料罐按规实施动静态管理,切罐使用前取样检测合格后启用^[2]。

2. 三剂辅料的使用和评价:针对聚烯烃三剂辅料建立了专门的《聚烯烃三剂辅料管理办法》,生产过程使用的三剂辅料须履行公司相关审批手续,未经化工事业部审批同意的三剂辅料严禁使用;添加剂的使用和管理严格按照聚烯烃三剂管理制度执行;添加剂新剂要按照评价流程进行相关分析与评价,经相关领导审批后方可使用。

(二) 建立过程管控提升管理措施

1. 优化中控指标体系

根据不同产品牌号的工艺特性、粉料与粒料的形态差异,针对核心检测项目,如熔指、密度等制定差异化中控指标,定期统计各指标合格率,将95%设定为合格率目标;同时将该指标纳入公司年度质量总目标,分解至各生产单位,对未达到目标的责任单位进行相应考核。

2. 生产过程精细控制

加强精细化管控,严格依照工艺卡片和关键质量控制点参数执行,减少波动、稳定质量;强化在线仪表管理,保障其投用率与准确性以指导操作;生产过程联锁投用率;同时,车间开展工艺纪律自查,多维度保障生产工艺规范运行。

(三) 严把产品质量出厂关

1. 识别客户需求, 开展行业对标, 优化聚烯烃产品标准
通过建立“客户走访+问卷调查+下游使用跟踪”的需求收集机制, 搜集不同客户对产品力学性能、环保合规性等核心诉求, 同时梳理客户潜在需求。以行业头部企业同类产品为标杆, 结合自身生产工艺特点与技术储备, 系统优化聚烯烃产品企业标准。细化关键指标的公差范围, 形成“贴合客户需求、优于行业平均、适配自身产能”为产品质量提升与市场差异化竞争奠定基础。

2. 强化风险管控, 建立内控指标管理体系

结合生产经验, 梳理不同牌号的风险项目, 将过程能力指数 $Cpk < 1.33$ 的核心风险项目, 弯曲模量简支梁缺口冲击等纳入风险项目管控中, 并制定严于企业出厂标准的内控指标, 水平稳步提升。

(四) 重点产品实施“一品一策”质量提升方案

围绕产品差异化质量管控需求, 聚焦 Cpk 分级结果与核心风险项, 制定“一品一策”质量提升实施方案, 针对不同牌号产品的性能短板与过程痛点, 精准匹配中控优化、工艺改进等靶向措施, 明确各产品的质量提升目标、实施路径、责任主体及时间节点, 向 1.67 进阶、潜力产品突破 1.33、问题产品补齐短板, 全面夯实质量稳定性, 助力品牌竞争力升级。

四、实施效果和改进机制

(一) 主导产品稳定性持续提升

通过 Cpk 评价与激励机制结合 2024-2025 年数据显示:

1. 聚乙烯 DFDA7042 产品

聚乙烯 DFDA7042 产品综合 Cpk 从 1.56 提升至 1.72, 提升了 0.16, 列入到品牌提升产品中, 其拉伸屈服应力及雾度 Cpk 呈现稳步上升态势, 说明生产过程对拉伸性能的控制能力持续增强, 工艺参数(如聚合压力、温度)、原材料稳定性优化效果显著, 产品拉伸屈服应力波动逐步收窄, 满足下游对力学性能一致性的需求。

2. 聚乙烯 5502S 的产品

聚乙烯 5502S 的产品综合 Cpk 从 1.44 提升至 1.56, 提升 0.12; 列入到稳定生产产品中, 熔融指数 Cpk 从 2024 年一季度 1.00 逐步波动上升, 2025 年二季度达 1.43; 弯曲模量 Cpk 整体提升显著, 2025 年一季度达 2.00, 二季度虽略降

仍有 1.98; 整体而言, 生产过程对熔融指数、弯曲模量的质量控制能力逐步增强, 产品质量稳定性随季度推进持续优化, 但部分季度仍有波动, 需关注工艺一致性, 巩固关键指标管控成效, 进一步提升综合质量稳定性。

3. 聚丙烯 V30G 的产品

聚丙烯 V30G 的产品综合 Cpk 从 1.34 提升至 1.51, 提升 0.17, 整体有优化趋势, 列入到稳定生产产品中, 熔融指数 Cpk 呈现波动变化, 2025 年第一季度 1.03 后, 第二季度回落 0.92; 弯曲模量 Cpk 前期较低, 2025 年第二季度提升至 1.28, 改善明显。表明生产过程对聚丙烯 V30G 关键质量特性的控制能力逐步增强, 不过熔融指数等指标的波动, 反映工艺稳定性仍需强化。

4. 聚乙烯 HSGC7260 产品

聚乙烯 HSGC7260 产品综合 Cpk 有波动但整体向好从 1.17 提升至 1.52, 提升 0.35, 从重点关注产品列入到稳定生产产品中熔融指数 Cpk 呈逐步上升趋势, 2025 年第二季度达 1.32; 拉伸屈服 Cpk 在 2024 年第三季度起稳定在 2.00, 控制效果良好。这表明生产过程对该产品关键质量特性的把控能力持续增强。

(二) 顾客满意度提升明显(产品质量满意度)

2025 年上半年较 2024 年聚烯烃产品客户满意度从 95% 提升至 95.4%。

(三) 客户投诉逐年下降

2025 年上半年未发生因产品质量稳定性造成的投诉, 较 2024 年有所下降。

五、结论与展望

通过过程能力指数 Cpk 评价体系的应用实现了宝丰能源聚烯烃质量管控的精细化管控。通过分类管理、靶向改进与激励驱动, 产品过程能力显著提升。接下来可以将管理前移, 对中控产品指标以及工艺参数进行 Cpk 管控, 实现 Cpk 实时预警与工艺参数自优化, 推动聚烯烃产品质量向“零缺陷”目标迈进。

[参考文献]

[1] 王冠群, 王刚. 提升聚丙烯产品质量过程能力指数控制措施[J]. 当代化工研究, 2023 (19): 134-136

[2] 郝梅竹. 运用过程能力指数评价体系提升化工产品质量稳定性[J]. 上海化工, 2021, 49 (5): 48-50