

绿色制造理念下食品厂清洁生产实施路径

李进文

广西双钱健康产业股份有限公司, 中国·广西 梧州 543200

摘要: 针对食品加工领域高有机负荷、高能耗及固废组分复杂等环境负荷特征, 剖析了废水排放、热处理工段及固体废物对生态环境的影响。通过整合绿色供应链管理与产品生态设计, 提出源头削减、生产工艺绿色升级、能源梯级利用及中水回用等清洁生产实施路径。把超高压杀菌、膜分离等先进技术当作核心工艺来使用, 降低能耗并且减小污染排放。在此基础上开展基于生命周期评价以及分类指标的管理支撑体系的构建工作, 为食品工业绿色低碳转型提供助力。

关键词: 绿色制造; 清洁生产; 食品工业; 资源循环利用; 生命周期评价

Implementation pathways for clean production in food factories under the concept of green manufacturing

Li Jinwen

Guangxi Shuangqian Health Industry Co., Ltd., China Guangxi Wuzhou 543200

Abstract: Addressing the environmental challenges in food processing—characterized by high organic loads, significant energy consumption, and complex solid waste compositions—the study analyzes the impacts of wastewater discharge, thermal processing stages, and solid waste on the ecosystem. By integrating green supply chain management with product eco-design, it proposes implementation pathways for clean production, including source reduction, green process upgrades, cascaded energy utilization, and reclaimed water reuse. Advanced technologies such as ultra-high-pressure sterilization and membrane separation are employed as core processes to reduce energy consumption and pollution emissions. Furthermore, a management framework based on life cycle assessment and classification indicators is developed to support the green and low-carbon transformation of the food industry.

Keywords: Green manufacturing; Clean production; Food industry; Resource recycling; Life cycle assessment

0 引言

随着消费者健康意识的提升和食品行业的快速发展, 食品生产环节的安全风险防控愈发受到关注^[1]。对绿色制造理念下的清洁生产实施路径进行探索, 已成为行业转型的必然选择。本研究基于食品加工全过程来开展, 针对其高浓度有机废水、高热能依赖以及易腐性固废等环境影响痛点, 对从输入端资源控制到生产端工艺优化的系统性解决方案进行探讨。借助引入物理清洗、低能耗杀菌和余热回收等技术手段, 旨在构建“水-能-物”耦合的循环模式, 为完善行业绿色管理评价体系、推动可持续发展目标得以实现提供理论依据。

1 食品厂环境影响分析

食品加工过程对环境的影响呈现高有机负荷、高热能依赖及固废组分复杂等特征。

高浓度有机废水排出后, 水环境承受的压力会首先显

现。洗涤、漂烫、浓缩等生产步骤在连续运行中会带出较多蛋白质、脂肪和糖类物质, 废水中的化学需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、五日生化需氧量 (five-day biochemical oxygen demand, BOD₅) 以及悬浮物 (suspended solids, SS) 数值普遍偏高。

热处理工段则是能源消耗较集中的部分。灭菌、烘干、蒸煮等工艺需要长时间供应高温蒸汽, 设备运行温度一般保持在 100℃至 140℃。传统换热条件下, 冷凝水排放、高温废气外逸和设备表面散热都会把相当一部分显热带走, 热量没有被充分回收, 单位产品生产过程中的能源投入随之增加, 碳排放水平也被间接推高。

固体废物的环境风险更多出现在原料清理和加工之后。皮、渣、骨、内脏等有机易腐物如果未被及时收集、转运以及处置, 容易释放氨气 (NH₃)、硫化氢 (H₂S) 等异味气体, 还可能为病原体滋生提供条件。以乳品生产

为例,牧场中的生乳是一种复杂的基质,管道中的冷牛奶残膜几乎完全是有机物,其成分中含有蛋白质、碳水化合物和脂肪^[2]。此外,包装废弃物也不宜忽视,聚乙烯(polyethylene, PE)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)以及铝箔复合材料构成的包装结构,生物降解难度较大,长期残留会占用土地资源并干扰生态系统物质循环,资源结构性浪费也随之形成。

2 绿色制造理念下实施路径

2.1 源头削减

食品厂可以通过优化绿色供应链与产品生态设计,从输入端实现资源利用最大化与污染排放最小化,具体源头消减工作可从以下角度入手:

(1) 绿色原料供应链管理。食品厂应把绿色食品、有机认证及产地环境记录作为采购前置条件,减少农残、泥砂和腐败原料进入生产线。供应商准入不只审查价格,还要核验用水、用肥、仓储和运输环节的环境表现,对退货率、杂质率进行周期评价,把污染风险压在进厂前。

(2) 产品绿色设计。产品设计阶段需减少后续加工负荷。配方上压缩非必要添加剂种类,避免过量糖浆、色素进入清洗废水;包装上优先选用单一材质、轻量化及可降解材料,少用复合膜和难分离标签。多层复合袋可调整为可回收单材质包装,降低分拣难度,也减少末端废弃物量。

(3) 水资源源头控制。生产用水应按用途分级配置,原料初洗、精洗、设备冲洗和冷却补水不宜混用同一标准。泥砂较多的原料,可先干法除杂,再进入喷淋或循环清洗环节。

2.2 过程优化

2.2.1 生产工艺绿色化升级

生产工艺绿色化升级应围绕“少加热、少蒸发、少排放”展开。传统巴氏杀菌、蒸煮杀菌依赖持续供热,物料升温、保温以及冷却过程均会带来蒸汽损耗,热敏性营养成分也容易被破坏。因此,可选择超高压杀菌(high pressure processing, HPP)方式,支持在 300MPa 至 600MPa 压力下保持 3min 至 10min。超高温杀菌是通过利用仪器设备把食物的温度升温至 130~150℃,保持 2~8 s 后迅速冷却^[3]。压力借助细胞膜传递到细胞内部,使磷脂双分子层的排列格局出现变化^[4]。微生物细胞膜通透性改变,蛋白质空间结构被破坏,常温或低温条件下即可完成灭菌处理。

对于包装材料表面、输送带接触面和薄层液态食品,可设置 3000 型脉冲强光杀菌装置,脉冲宽度 100 μs ~

300 μs,照射距离 80mm~120mm,表面能量密度 1J/cm²~5J/cm²,借助强光中的短波能量破坏微生物遗传物质,并以瞬时热效应剥离表面污染层。可以消除包括细菌孢子在内的病原体,以达到延长食品货架期的目的,并且不会影响食品的营养品质和风味^[5]。

澄清和浓缩段可由膜分离替代部分蒸发操作。果汁澄清宜运用 0.2 型陶瓷微滤膜组件,膜孔径 0.2 μm,过滤面积 20m²,运行压力 0.15MPa~0.35MPa,用于截留果胶、悬浮颗粒和胶体杂质;预浓缩环节设置 2.0 型纳滤膜机组,膜面积 60m²,运行压力 1.5MPa~3.0MPa,在常温下推动水分和小分子透过膜层。该工艺能够把“加热蒸发”改为“压力分离”,蒸汽消耗被压缩,物料色泽和风味受热破坏也随之减少。

2.2.2 能源梯级利用与回收

能源梯级利用不应只放在锅炉房末端处理,而要嵌入杀菌、清洗、冷却和冷链运行全过程。针对杀菌锅、蒸煮设备及锅炉系统,构建全流程的冷凝水与余热回收体系。杀菌工艺产生的大量高温冷凝水(温度通常在 80℃至 95℃)经由密封管道输送至闪蒸罐,为此,可设计保温冷凝水回收罐,并配套耐温循环泵,把冷凝水送入板式换热器。以 60m² 换热面积的板式换热器为例,热侧冷凝水由 90℃降至 55℃左右,冷侧锅炉补水可由 20℃预热至 60℃~65℃,锅炉燃料投入被前移削减。杀菌锅排汽不宜直接外排,可接入汽水分离器和余热水箱,先供原料预热,再供就地清洗系统预冲洗,低温余热进入生活热水或地面冲洗环节。针对食品工厂内部资源循环与工艺路径重构的逻辑关系,体现“水-能-物”三位一体的耦合模式,详见图 1。

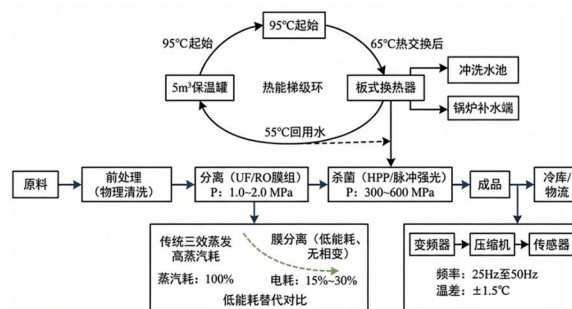


图1 食品厂生产过程优化资源耦合逻辑

2.3 循环利用

2.3.1 中水回用与循环系统

中水回用要先把食品厂废水按水质差异分开,不宜将原料清洗水、设备末端冲洗水、冷却排水以及地面冲洗水直接混入同一管网。具体循环利用路径详见图 2。

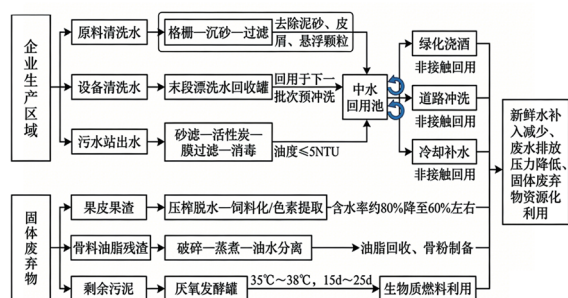


图2 食品厂循环利用路径

原料初洗水里的泥砂、皮屑、可沉颗粒含量较高，可选用格栅、沉砂池以及斜管沉淀池开展前端截留工作，沉淀之后的出水再进入气浮或者过滤单元，降低悬浮物给后续回用系统带来的堵塞影响。就地清洗系统属于用水强度较高的环节，碱洗、酸洗或清水漂洗不适宜直接一次性排放，可把末端漂洗水收集到 $2\text{m}^3 \sim 5\text{m}^3$ 的回用罐中，借助 $80\mu\text{m}$ 过滤器以及紫外消毒之后回用于下一批次的预冲洗工作。该路径把“清水直接冲洗”改为“末水前用”，减少新鲜水的补入量，同时也减轻高浓度清洗废水给污水处理站带来的冲击。

污水处理站的出水如果契合厂区的回用要求，可借助砂滤、活性炭吸附或膜过滤去进行进一步的处理工作，把出水浊度控制在 5NTU 以下，优先用于绿化、道路冲洗、冷却补水和设备外表面清洗，不进入直接接触食品的生产位置。循环系统开展运行工作的过程中还需设置电导率、浊度、余氯的在线监测点，当盐分或者有机物累积接近控制值的时候，自动排出部分循环水同时补入新水，避免循环次数过多引发异味、结垢以及微生物滋生的问题。中水回用的重点不是单纯延长水的停留时间，而是按照水质等级安排去向，使低污染水在厂内多次承担低风险的用途。

2.3.2 固体废弃物资源化

食品厂开展固体废弃物资源化工作，要从分类收集环节着手，避免下脚料、包装废料、污泥混杂后失去再利用条件。果皮、果渣、菜叶、骨料、边角碎料含有较高有机质，若是直接外运堆放，容易腐败产臭，还会形成渗滤液。生产现场可设置密闭周转桶以及低温暂存间，把含水率较高的下脚料在 $4^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ 条件下进行短时存放，再按物料属性进入不同处置路径。果蔬皮渣可借助螺旋压榨进行脱水，含水率由 80% 左右降至 60% 左右，固形物进入饲料化或天然色素提取环节；含淀粉、蛋白质较高的残渣可进行干燥粉碎工作，作为饲料辅料或发酵底物。

骨料和油脂残渣则需先完成破碎、蒸煮和油水分离，回收油脂后剩余固形物再进入骨粉或有机肥制备工段。污

水处理站产生的剩余污泥可运用厌氧发酵罐进行稳定化处理，发酵温度控制在 $35^\circ\text{C} \sim 38^\circ\text{C}$ ，停留时间 $15\text{d} \sim 25\text{d}$ ，有机物在厌氧菌作用下分解生成可燃气体，气体经脱硫和除水后用于锅炉辅助燃烧或厂区热水供应。

3 绿色制造理念下的管理支撑体系

3.1 生命周期评价方法引入

绿色制造管理支撑体系不能只停留在末端排放达标层面，需要把原料采购、生产加工、包装、储运、销售以及废弃处置纳入同一评价边界。生命周期评价方法可用于识别食品厂环境负荷集中出现的环节，并把水耗、能耗、废水排放、固体废弃物和包装消耗转化为可比较的量化结果。评价前应先确定功能单位，例如以生产 1t 成品或 1000 件包装食品作为核算基础，再对原辅料投入、蒸汽消耗、电力消耗、清洗用水、包装材料和运输距离进行清单统计。

生产环节中，杀菌、烘干、蒸煮和冷链储运通常是能耗密集点；原料清洗、就地清洗和设备冲洗则容易造成较高水耗，甚至废水负荷。运用生命周期评价方法后，管理人员可以把不同工艺方案放在同一尺度下比较，如高温蒸发浓缩与膜分离浓缩、一次性包装与轻量化包装、普通冷库与变频冷库之间的环境差异。

3.2 食品分类清洁生产评价指标

食品分类清洁生产评价指标要结合不同产品的原料属性以及加工强度、贮藏条件来开展制定工作，不宜选用一套统一的指标覆盖全部食品生产场景。饮料、乳制品、肉制品、烘焙食品、果蔬加工产品，在用水结构、热加工强度上的差异十分明显，需要进行评价指标的分层设置工作。基础指标可囊括单位产品新鲜水耗、单位产品电耗、单位产品蒸汽耗量、废水产生量、化学需氧量排放强度、固体废弃物资源利用率、包装材料消耗量。

针对用水强度较高的果蔬清洗、饮料调配还有设备清洗的环节，要重点设置水足迹指标，把直接生产用水、清洗用水和回用水的比例分别开展核算工作；针对杀菌、烘干等占比较高的产品，要把碳足迹当作重点指标来使用，核算电力、蒸汽、制冷剂泄漏带来的排放。

指标体系还要设置分级阈值，比如先进值、准入值以及整改值，让企业能够判断单项指标处于什么水平。评价结果不应只用来开展环保验收工作，还要反馈到生产计划、设备维护以及采购管理的相关工作中。如果某类产品的单位水耗出现异常上升，要去检查清洗制度、循环水排放频次以及管网泄漏的相关问题；如果碳足迹偏高，就需要去追踪热源效率、冷库运行负荷的相关情况。分类评价把清

洁生产的相关要求转化为可记录、可考核、可纠偏的管理工具。

4 结语

开展清洁生产的推进工作是食品厂得以实现绿色制造目标的核心支撑,其核心在于把污染防治的工作重心从末端治理向源头削减以及过程优化方向转移。借助超高压杀菌、膜分离以及能源梯级回收等技术开展生产,能够有效降低单位产品的能耗与水耗的问题,来实现经济效益和环境效益的协同提高,配合相关评价方法,为企业的运营管理提供科学工具。未来,食品企业还应当进一步加强绿色供应链协同建设工作,深化低碳技术的集成运用,同时把动态评价指标嵌入生产计划制定与设备维护的相关工作中,凭借全产业链的资源化利用合作,全面提高食品工业的绿色竞争力。

参考文献:

- [1] 丛铭威.食品企业生产各环节食品安全问题及解决策略[J].食品安全导刊,2025,19(28):15-17.
- [2] 王颖瑞,闫雷雷,杨涛.乳品行业生产设备的清洗技术研究[J].中国洗涤用品工业,2022(4):52-57.
- [3] 李蓉,林海滨.食品杀菌新技术应用研究进展[J].现代食品,2022,28(12):63-67.
- [4] 刘海峰,古逸凡,谢苏平等.超高压杀菌技术在食品饮料加工中的应用[J].现代食品,2025(24):68-70.
- [5] 胡荣华,谭波.食品杀菌新技术应用研究进展[J].食品安全导刊,2023(9):170-173+183.

作者简介:李进文(1988.07.19),男,汉族,广西梧州,本科,助理工程师,研究方向:工程系列生态环境保护方面。