

将烟灰回收的铅锌用于电池生产，阳极泥提取的贵金属用于电子元件制造，实现产业内资源自给。

4.2 末端污染协同治理技术

烟气净化处理：采用“二次燃烧 + 余热锅炉 + SNCR 脱硝 + 骤冷 + 布袋除尘 + 碱液喷淋”组合工艺，可使烟尘、SO₂、HCl 等污染物去除效率分别达 99.9%、90%、99% 以上，二噁英去除率超 90%，满足《危险废物焚烧污染控制标准》要求国家生态环境科技成果转化综合服务平台。

废水零排放系统：建立“分类收集 - 梯级处理 - 循环回用”体系，冷却塔废水、锅炉软化水等经处理后循环利用率达 94.7% 以上，实现生产废水不外排国家生态环境科技成果转化综合服务平台；含重金属废水采用膜分离 - 树脂吸附工艺，重金属回收率超 95%。

固废安全处置：对暂无法利用的尾渣采用玻璃化技术固化，通过高温熔融形成稳定玻璃体，重金属浸出浓度低于国家标准 1-2 个数量级；建立填埋场防渗系统与监测网络，防止土壤和地下水污染。

4.3 污染治理智能化升级

在线监测系统：部署物联网传感器实时监测烟气成分、废水水质及固废堆存状态，数据传输延迟小于 1 秒，异常情况响应时间缩短至 5 分钟内。

数字孪生管控：构建冶炼 - 回收全流程数字模型，模拟不同工艺参数下的污染排放与资源回收效率，优化运行参数使污染物排放降低 10-15%。

区块链溯源管理：建立固废产生 - 运输 - 处理全链条溯源系统，实现成分数据与处理过程可追溯，为产品质量认证与政策监管提供技术支撑。

5 政策支撑与产业协同体系

5.1 政策框架完善方向

标准体系建设：制定铜冶炼固废成分分级标准，明确不同品位固废的利用路径；完善综合利用产品质量标准，规范建筑用渣、催化材料等产品的市场准入。

激励约束机制：落实资源综合利用增值税优惠，对高值化利用项目给予企业所得税减免；优化固体废物环境保护税政策，提高填埋处置成本，引导企业优先资源化利用中国政府网。

科技创新支持：设立固废资源化专项基金，重点扶持搅拌强化贫化、高值催化材料等关键技术研发；建立产学研协同创新平台，加速实验室成果转化。

5.2 产业协同发展模式

园区化集聚发展：建设铜冶炼循环经济园区，整合冶炼企业、回收企业与下游应用企业，实现能量梯级利用与物质闭环流动，如贵屿循环经济产业园区已形成年处理 2 万吨铜基固废的产业规模国家生态环境科技成果转化综合服务平台。

跨行业协同利用：推动铜渣与建筑业、新能源产业跨

界融合，建立“冶炼企业 - 建材厂商”直供模式，降低运输成本；开发铜渣基催化材料用于燃煤电厂烟气治理，实现不同行业污染协同控制。

国际合作交流：引进智利浮选技术、印度绿色建筑标准等国际经验，参与全球固废资源化标准制定；建立跨境固废处理合作机制，破解资源分布不均难题。

5.3 市场机制培育路径

绿色金融支持：推广绿色信贷、绿色债券等工具，对固废资源化项目给予低息贷款；建立环境权益交易市场，允许企业将减排量转化为可交易资产。

产品市场培育：开展固废基产品认证，对符合标准的建材、催化材料给予绿色标识；政府优先采购固废综合利用产品，带动市场需求增长。

公众参与引导：加强循环经济理念宣传，提高公众对固废基产品的接受度；建立企业环境信息公开制度，接受社会监督。

6 结论与展望

6.1 主要结论

铜冶炼固废兼具资源属性与环境风险，全球年排放量超 2400 万吨，含有的铜、铁、贵金属等资源具有巨大回收价值，传统处置模式已难以适应绿色发展需求。

现有资源化利用呈现不均衡发展态势，大型企业通过火法、湿法等技术实现较高回收率，但中小企业受技术、经济制约仍以填埋为主，政策激励与技术创新是突破瓶颈的关键。

构建“梯级回收 - 规模化消纳 - 高值转化”的多元利用体系，结合“源头减量 - 末端治理 - 智能管控”的污染治理技术，可实现资源效率与环境效益最大化。

政策引导、产业协同与市场培育的三位一体策略，能够破解固废资源化的技术壁垒与经济障碍，为循环经济模式落地提供保障。

6.2 未来展望

技术创新方向：重点研发低能耗金属回收技术，如优化搅拌强化贫化工艺参数进一步降低能耗；突破高值化利用瓶颈，解决铜渣成分波动对催化性能的影响；开发氢能驱动的碳铝热还原技术，降低碳排放。

参考文献

- [1] 黄文博, 杨桂蓉, 韩雪萌, 等。多重视角下工业固体废物资源化利用路径优化：以铜冶炼渣为例 [J]. 环境工程技术学报, 2024, 14 (5) : 1580-1588.
- [2] HUANG W B, YANG G R, HAN X M, et al. Optimizing the pathways of industrial solid waste recycling under multiple perspectives: a case study of copper smelting slag [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2024, 14 (5) : 1580-1588.
- [3] 国务院办公厅。国务院办公厅关于加快构建废弃物循环利用体系的意见 [Z]. 2024.

Research on the Application Effect and Optimization Strategies of Phosphates in Baked Products

Zhaoliang Ding

Tianfu (Jiangsu) Technology Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222113, China

Abstract

Phosphates, as commonly used food additives in baked products, play an important role in improving dough processing performance, regulating fermentation behavior, and stabilizing product structure. Based on the mechanism of quality formation in baked foods, this study systematically analyzes the functional pathways of phosphates in regulating the physicochemical properties of dough, enhancing gas retention, and maintaining the structural stability of finished products, and summarizes their application effects in different types of baked goods. In combination with practical production conditions, technical problems and potential risks arising from dosage control, interactions with other ingredients, and variations in processing parameters are examined. On this basis, targeted optimization strategies are proposed from the perspectives of product type differentiation, quality-oriented objectives, and safety management requirements, providing theoretical support and practical references for the scientific, standardized, and efficient use of phosphates in baked foods, and contributing to the overall improvement of quality stability and processing performance of baked products.

Keywords

Phosphates; baked foods; dough properties; quality stability; application optimization

磷酸盐在烘焙食品中的应用效果及优化策略研究

丁兆亮

天富（江苏）科技有限公司，中国·江苏 连云港 222113

摘要

磷酸盐作为烘焙食品中常用的食品添加剂，在改善面团加工性能、调节发酵过程及稳定产品结构等方面发挥着重要作用。围绕烘焙食品品质形成机理，系统分析磷酸盐在面团理化性质调控、气体保持及成品结构稳定中的作用路径，梳理其在不同类型烘焙食品中的应用效果。同时，结合实际生产环节，探讨磷酸盐在使用过程中因添加量控制、配料相互作用及工艺条件变化所引发的技术问题与潜在风险。在此基础上，从产品类型差异、品质目标导向及安全管理要求等角度提出针对性的应用优化策略，为磷酸盐在烘焙食品中的科学、规范与高效使用提供理论依据与实践参考，有助于推动烘焙食品品质稳定性与加工水平的整体提升。

关键词

磷酸盐；烘焙食品；面团性质；品质稳定性；应用优化

1 引言

随着烘焙食品工业化与规模化水平的不断提升，产品品质稳定性与加工适应性成为生产过程中关注的重点问题。磷酸盐因其在调节酸碱度、改善面团结构及增强体系稳定性方面具有独特功能，被广泛应用于多种烘焙食品配方之中。然而，不同产品类型、加工工艺及配料体系对磷酸盐的响应存在明显差异，若使用不当，易引发品质波动甚至安全隐患。现有研究多集中于磷酸盐的检测方法或单一产品应用效果，

对其综合作用机理及系统优化策略的探讨仍显不足。在此背景下，有必要从烘焙食品整体加工体系出发，对磷酸盐的功能表现、应用效果及风险因素进行系统梳理，并在科学评价基础上提出合理的优化思路，以提升其在烘焙食品中的应用规范性与技术支撑价值。

2 磷酸盐在烘焙食品体系中的功能作用机理

2.1 磷酸盐对面团理化性质调控作用

磷酸盐进入面团体系后，通过调节体系酸碱环境与离子强度，对面团的水化行为和蛋白质结构产生显著影响。在适宜条件下，磷酸盐可促进面筋蛋白中带电基团的重新分布，增强蛋白质分子间的相互作用，使面团形成更为稳定且富有弹性的网络结构。同时，磷酸盐具有一定的络合能力，

【作者简介】 丁兆亮（1980-），男，中国江苏连云港人，本科，工程师，从事食品化工添加剂的研发，生产过程安全管理，绿色环保治理方面研究。

可与金属离子结合，间接改善淀粉颗粒的分散状态，降低加工过程中面团黏附性与结构塌陷风险。在搅拌与成型阶段，这种调控作用有助于提升面团延展性与耐机械性能，使其在工业化连续生产条件下保持较好的加工适应性，从而为后续发酵和烘焙过程奠定稳定的物质基础。

2.2 磷酸盐在发酵过程中对气体保持能力的影响

在发酵阶段，磷酸盐通过调节面团体系缓冲性能，对酵母代谢环境产生间接影响。适宜的缓冲能力可减缓发酵过程中酸度的剧烈变化，使二氧化碳释放与积累过程更加平稳，有利于气体在面筋网络中的均匀分布。与此同时，磷酸盐对面筋结构的强化作用提升了气体包埋能力，减少发酵过程中气体逸散现象，使面团内部形成细密且连续的气孔结构。该过程不仅改善了面团膨胀状态，还对成品体积与内部组织均匀性产生积极影响。在发酵时间延长或工艺波动条件下，磷酸盐的存在有助于维持体系稳定，为产品品质控制提供重要支撑^[1]。

2.3 磷酸盐对烘焙食品结构稳定性的作用机理

进入烘焙阶段后，面团经历温度快速升高与水分迁移，内部结构稳定性成为决定成品品质的关键因素。磷酸盐在加热条件下能够延缓蛋白质结构的过度变性，使面筋网络在膨胀与定型过程中保持一定柔韧性，避免结构断裂与塌陷。同时，其对淀粉糊化过程的调控作用可改善淀粉与蛋白质之间的界面结合状态，增强成品内部骨架强度。这种协同作用使烘焙食品在冷却与储存阶段不易发生回缩或组织松散问题，有助于维持外形完整性与内部结构稳定，为产品感官质量和货架期表现提供保障。

3 磷酸盐应用过程中存在的技术问题与风险分析

3.1 磷酸盐添加量控制不当引发的品质波动问题

磷酸盐在烘焙食品中的功能效果对添加量高度敏感，使用水平偏离合理区间时，易引发明显的品质波动。当添加量不足时，其对面筋结构与缓冲体系的调节作用难以充分发挥，面团稳定性与发酵持气能力下降，成品体积与组织结构受到影响。添加量过高则可能导致体系离子强度过大，抑制蛋白质正常水化过程，使面团变得僵硬，口感发干，并可能带来不良风味感知。这类波动在规模化生产中更易放大，对产品一致性与品牌稳定性构成潜在风险，因此对磷酸盐添加量进行精细化控制具有重要技术意义。

3.2 磷酸盐与其他配料相互作用的技术风险

烘焙食品配方通常由多种原辅料共同构成，磷酸盐在体系中可能与膨松剂、糖类、乳制品成分及脂肪发生复杂相互作用。这些作用在一定条件下可产生协同效果，但在配比或工艺条件不匹配时，也可能引发负面影响。例如，与化学膨松体系配合不当，可能改变气体释放节律，导致内部组织不均匀；与钙、镁等离子含量较高的原料共存时，易形成沉

淀或影响体系稳定性。这类技术风险往往隐蔽且具有累积性，对配方设计与工艺控制提出了更高要求。

3.3 磷酸盐应用对产品一致性与稳定性的影响

在连续化生产条件下，原料波动、环境变化及设备运行状态均可能影响磷酸盐的实际作用效果。当工艺参数控制不稳定时，磷酸盐在不同批次产品中的功能表现容易出现差异，进而导致成品体积、组织结构及口感特性不一致。长期储存过程中，磷酸盐对水分分布和结构保持的调控能力若未得到充分发挥，还可能加速品质劣变。这种一致性问题不仅影响消费者体验，也增加了生产管理难度。因此，从体系稳定性角度审视磷酸盐应用效果，对于提升烘焙食品整体质量水平具有现实意义。

4 磷酸盐在不同类型烘焙食品中的应用效果分析

4.1 磷酸盐在面包类产品中的应用效果

在面包类产品生产中，磷酸盐对体积形成、组织结构及贮藏稳定性具有较为显著的调节作用。相关研究表明，当磷酸盐添加量控制在 0.15–0.30 范围内时，面包成品比容可由 3.6 提升至 4.5，体积增幅接近 25%，内部气孔分布由原先不均匀状态转变为细密连续结构。面筋网络强度在该条件下提高约 20%，使发酵过程中二氧化碳保持时间延长 15–25%，明显降低发酵后期气体逸散现象。烘焙完成后，面包切片塌陷率由原有的 12 下降至 4–6%，切面完整度显著改善。在储存性能方面，添加磷酸盐的样品在常温 72 条件下，硬度增长值控制在 30 以内，而未添加体系可达到 48 以上，老化速率明显加快^[2]。与此同时，水分保持能力提高约 10%，使面包在货架期内保持较为稳定的柔软口感与外观形态。这表明磷酸盐在面包体系中兼顾了加工适应性与品质保持需求，对规模化生产具有现实应用价值。

4.2 磷酸盐在蛋糕类产品中的应用效果

蛋糕类产品以泡沫结构支撑为核心，其品质形成对气体生成速度与结构定型过程高度敏感。磷酸盐在该体系中通过调节膨松反应节律，对蛋糕体积和组织均匀性产生明显影响。在配方中加入 0.10–0.25 范围内的磷酸盐后，蛋糕成品高度平均提升 12–18%，体积膨胀更加充分且稳定。内部组织分析结果显示，大孔比例由 8–10 下降至 2–4%，细孔结构占比明显提高，感官评分增加约 1.0–1.5。烘焙过程中，磷酸盐对蛋白质热变性速率产生缓冲作用，使结构定型更加平稳，冷却后回缩率由原有的 7–9 降低至 3–4%。在储存 48 小时后，蛋糕水分损失率由 6.8 降至 4.1%，表层干裂和塌陷现象明显减少。对于高糖或高油配方体系，磷酸盐还能在一定程度上缓解结构脆弱问题，使产品在运输与陈列过程中保持良好完整性，体现出较高的工艺稳定价值。

4.3 磷酸盐在饼干及酥性制品中的应用效果

在饼干及酥性制品中，磷酸盐的应用侧重于质构调控、