预防乳粉结块的生产工艺研究

李晔秋，谢宝瑞*，乔慧芳，李 丹

内蒙古伊利实业集团股份有限公司，内蒙古呼和浩特 010000

摘 要：本研究梳理了乳粉使用过程中造成结块的各类影响因素，分析了原料选择、喷雾干燥工艺、包装技术和储存条件各关键环节，主要探讨了乳粉生产过程中结块的原因。研究聚焦于卫生设计、工艺参数设定及产品成分最佳配比等，总结了影响结块的关键因素，并探索相应的对策，形成了突破性的解决方案。本研究对改善乳粉结块问题及提高乳制品品质有重要意义。

关键词：乳粉；结块；改善；品质

文章编号：1671–4393（2025）04–0126–07 DOI:10.12377/1671–4393.25.04.21

中国乳业线上阅读

0 引言

随着人们生活水平的提高和健康意识的增强，合理膳食成为大家关注的焦点。在众多食品类别中，乳制品以独特的营养价值脱颖而出，成为不可或缺的一部分。乳制品的重要性不仅体现在丰富的营养成分，更关乎人体健康的多个方面。然而，消费者在食用过程中，会遇到各类问题，影响体验。其中乳粉结块问题长期困扰乳品企业和消费者，不仅影响产品的外观质量，还可能对消费者的消化吸收造成不利影响，直接影响体验。因此，预防乳粉结块的生产工艺研究尤为重要。

乳粉使用过程中结块是较常见的问题，原因众多：（1）消费者开罐后存放不当受潮，用奶勺轻压或触碰即可松散，属正常现象。（2）奶粉冲泡过程中存在“结块”，但往往不是奶粉本身结块，而是冲调方法不当[1]。（3）粉状物品运输过程震荡摩擦，颗粒间隙变小、乳粉颗粒间产生静电，随震动形成松散抱团及贴壁或轻微结块，不影响乳粉品质。（4）乳粉中水分含量过高、脂肪氧化等造成结块，影响消费者体验。

有效预防乳粉结块应从源头抓起。乳品企业在生产过程中需不断优化生产工艺，确保每个环节达到最高标准，持续减少因后期生产因素造成乳粉结块的现象。

作者简介：李晔秋（1973–），女，内蒙古呼和浩特人，大专，研究方向为质量管理、质量体系；
乔慧芳（1976–），女，内蒙古呼和浩特人，本科，研究方向为质量体系；
李 丹（1987–），女，天津人，本科，研究方向为质量管理、质量体系。
*通信作者：谢宝瑞（1976–），女，内蒙古呼和浩特人，本科，研究方向为质量管理。

1 乳粉在生产过程中结块的工艺原因分析

1.1 原料选择

乳粉在生产过程中，原料选择是基础。高质量原料是生产优质乳粉的前提。奶源应来自健康动物，经严格检测，确保无抗生素残留、无病原微生物污染。此外，原料奶的新鲜度至关重要，新鲜奶中的蛋白质和脂肪更稳定，不易在加工过程中发生变性和氧化。

1.2 干燥工艺

干燥工艺是乳粉在生产过程中的关键环节。目前，喷雾干燥是乳粉在生产中最常用的干燥技术。乳粉的含水量对其品质起着至关重要的作用，含水量过低会降低乳粉在味道、色泽等方面对消费者的吸引力，而含水量过高会导致口感黏稠，影响体验[2]。精确控制进风温度、排风温度和喷嘴压力，可最大限度减少乳粉的含水量，降低结块风险。同时，采用多级干燥或低温长时间干燥可保证干燥效率的同时，减少热敏性成分的损失。

1.3 包装技术

包装技术在乳粉生产过程中同样重要。高阻隔性材料（如铝箔复合材料）可有效隔绝空气中的水分和氧气，延长乳粉保质期。同时，包装内充入惰性气体（如氮气）可进一步防止脂肪氧化和水分吸附。

1.4 储存条件

乳粉的储存条件也不容忽视。乳粉应储存在干燥、阴凉、通风良好的环境中，避免阳光直射和高温潮湿。此外，仓库管理应遵循先进先出原则，确保乳粉的新鲜度。

预防乳粉结块的生产工艺研究是一个系统工程，涉及原料选择、干燥工艺、包装技术和储存条件等多个环节。本研究对消费者投诉中的结块硬度、形态进行了层化分析，结果显示，坚硬结块在投诉中占70%。针对这一情况，对生产现场进行情景再现，发现坚硬结块多出现于管路连接处、靠近垫圈处以及管路冲刷处；而松散结块易出现于各呼吸口处。

1.5 湿法工艺

以湿法工艺为例，梳理工艺流程，进一步分析原因。乳粉的湿法生产工艺主要包括原奶接收–检验–净乳–配料–预热–均质–杀菌–喷雾干燥–流化床干燥、冷却–包装–冲氮–封合–装箱。在生产过程中，乳粉会添加植物油，通过预热均质，将所有配料和原料乳中的脂肪大颗粒转化成细小的脂肪球，均匀分散在产品中。喷雾干燥过程中，料液从液态转变为固体，并形成粉状颗粒。此时，粒径大小会影响运输过程中因震荡形成的假性结块现象。通过动态流化床可降低乳粉温度，防止结块。

1.6 重点生产区域

分析确定影响结块的重点生产区域在前处理过程中的干混区、弯管接口、投料区、倾倒站、压力仓及包装区（图1红圈处）。

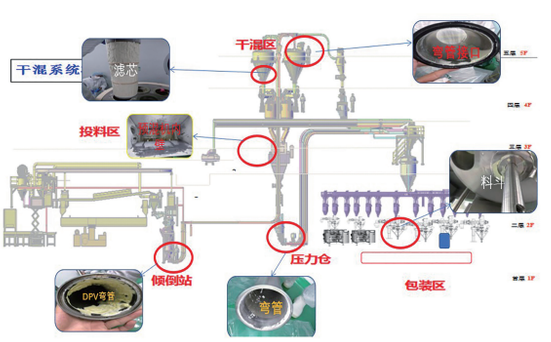


图 1 影响结块的重点生产区域

通过帕累托图（ParetoChart）分析投诉数据，据抽样信息显示，结块相关的投诉占统计期内总投诉量的16%，表明结块已成为影响消费者体验的重要因素之一。同步对获取的信息按班组、时间、生

中国乳业杂志上网录

产线、品项进一步层化分析发现，班组间差异不显著，可排除人员操作对结块的影响。但从其他因素看，乳粉生产中结块的因素或与温湿度、产品配方和生产设备有关。

时间：夏季结块投诉数量较多，故结块成因可能与温湿度存在联系。

生产线：对比不同包装形式的生产线，听装线投诉率占全部投诉的97%以上。

品项：对比不同品项，不同配方投诉数量差异明显，故结块与配方存在必须的关联性。

2 乳粉生产工艺造成结块的风险点位梳理

分析乳粉生产工艺流程，根据结块问题出现的可能性、严重程度、食品安全评分3 个维度进行风险评估，确定结块问题的中高风险点位，并对应制定风险地图。由此梳理出342 处结块高风险点位（正压上粉弯管40 个，直管72 个，负压吸粉弯管52 个，直管60 个，换向阀52 个，蝶阀52 个，球阀1 个，真空罐6 个，填充机4 台，条包机3 台），以及重力下粉段330 处中风险点位。

3 质量工程矩阵（QE矩阵）与人-机-料-法分析（4M分析）

对听装生产工序进行QE矩阵分析，将结块细分定义为块状、片状坚硬结块和团状松散结块，对各工序进行相关性分析，使用4M分析法从人、机、料、法分析相关点位，判断结块产生位置，并输出问题项（表1）。

分析发现，富糖类食品粉体尤易发生结块，这是由于很多粉类食品自身具有很强的吸湿性，在粉粒间的吸附作用下造成粉体粒子群的黏聚，从而破坏了粉体的流动性[3]。乳粉以鲜乳为原料，经喷雾干燥制成，产品中的乳糖以无定形态存在，不形成晶体。这种干燥产品的吸湿性很强，吸收

表 1 QE 矩阵分析

工段名称	生产工序	作业步骤	坚硬结块		松散结块
			块状坚硬结块	片状坚硬结块	团状松散结块
大料准备	脱包	脱去外包装	◎		◎
		人员擦拭	◎		◎
		紫外杀菌			
	投料	割粉	◎		◎
		下粉			◎
	接粉	接粉	◎		◎
		暂存	◎		◎
小料准备	小料领用	外包装检查	◎		◎
		小料储存	◎		◎
	小料预混	打开人孔	◎		
		投料	◎		
		关闭人孔			
		预混	◎		◎
	小料分装	分装接粉			
		封口			
		打印标签			
		粘贴标签			
		核实信息			
		分装小料暂存	◎		◎

注：“◎”表示强相关

水分后乳糖立即向含结晶水的α-乳糖转变。这种现象会引起粉状颗粒粘在一起结成硬块，使乳粉颗粒表面产生许多裂纹，导致脂肪逐步渗出引起氧化变质，还会造成产品色泽发暗，严重影响产品的品质，不利于储存。发生这些变化的内在原因就在于乳粉中发生了玻璃化相变[4]。总结来说，乳粉结块原因主要有两个：一是在乳粉干燥过程中，操作不当造成含水量偏高或部分产品水分含量偏高，产生结块。二是包装和贮存过程中，乳粉吸收空气中的水分后，自身含水量增高

中国乳业线上阅读

而结块[5]。

3.1 针对 QE 矩阵和 4M 分析输出问题进行点位改善

通过QE矩阵和4M分析，输出6项问题，并明确具体改善计划，实施过程改善（表2）。

表 2 QE 矩阵和 4M 分析输出问题改善计划

序号	问输出问题	对策点位改善方式
1	生产过程所用压缩气体可能含油含水	购置设备，每周全线别覆盖检查
2	拆卸管路清洁后，表面潮湿未完全晾干	安装前测定管路内部温度
3	产品配方存在蔗糖	改善配方，保持口感、减少蔗糖
4	听体封合后未测试听体和底盖搭接	每天全线测试
5	倾倒站振动筛软连接破损	定期检查、更换、清洁，
6	填充机下料口积粉多	缩短清洁频次

3.2 分析配方，调整蔗糖含量

对配方进行分析，识别各类指标的影响程度，结合原料本底对配方中的蔗糖含量进行调整，以减少对产品结块的影响。

3.3 why-why 方法分析管路对结块的影响

通过why-why分析法分析根本原因，确定三大关键不良事件：活接处、螺杆处以及弯管直管连接处。对应制定对策为：增加缓冲垫减少震动、通过改善震源强度减少震动和冲击，并研究清洁时如何减少管路内湿度对结块的影响（表3）。

4 改善对策实施计划

应用4W1H方法判断管路震动、震源强度、管路冲刷3 个方面对结块的影响，并明确具体改善举措。

4.1 管道震动对垫圈的影响

对管路连接处进行受力分析，得到垫圈受力情况。通过测定管路直径及稳定工作时的震动值，结合结块的点位推断管路震动对垫圈的影响（图2），要降低部件所受的剪切力，需要在震动较大的位置增加缓冲胶垫。

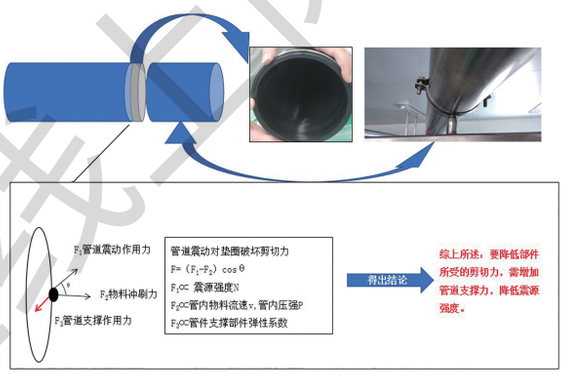


图 2 管路震动对垫圈的影响

4.2 管路震动值测定

通过测定管路直径及稳定工作时的震动值，结合结块排产的点位来推断管路震动与震动值的关系（表4）。

5 工艺参数调整及工艺过程改善

5.1 改善正压震动强度

测定不同上粉压力参数对应管道震动强度，选

表 3 管路对结块影响的改善计划

序号	改善点	改善原因	改善点	改善周期	改善措施
1	管路震动	管路震动影响	管路连接处	停产期间	研究强度影响，增加垫片
2	震源强度	震源强度对震动有影响	真空泵	停产期间	调整压力参数，验证参数与输粉关系
3	管路冲刷	冲刷位置易形成结块	粉冲刷处	停产期间	制定清洁计划
4	清洁计划完善	清洁方式对结块形成有影响	各管路清洁位置	停产期间	制定清洁计划

中国乳业线上阅读

表 4 管路震动值测定结果

位置	管道类型	管道直径（mm）	上粉时测定震动值（mm/s）
储粉间	正压弯管	100	13.4
	正压直管	100	6.5
小料添加室	正压直管	100	6.5
干混间	正压直管	100	3.5
	负压弯管	150	12.5
上粉间	负压弯管	150	11.5
	真空罐进粉弯管	150	11.5
	负压直管	150	9.5
金属检测室	正压直管	100	6.6
倾倒站	正压直管	100	9.5
	正压弯管	100	9.5
原拆粉间	正压直管	100	7.6
压力仓间	正压弯管	100	8.7
	负压直管	150	7.6
	负压弯管	150	12.3

定最适参数范围，综合上粉压力对上粉效率、粉容重损失的影响设计实验，得出最佳上粉压力参数。

根据下列公式计算正压输粉压力。式中：P为正压输粉压力（KPa），Q为流量（m^3/s），R为混合比（%），ρ为粉容重（mL/100 g），S为管道截面积（m^2）。

$$P = \frac{Q}{R\rho S}$$

测定不同上粉压力参数对应管道震动强度，选定最适参数范围105～150 Kpa，得出最佳上粉压力参数为110 Kpa。

5.2 改善负压震动强度

根据下列公式计算负压抽真空效率。式中：η为负压抽真空效率（%），Q为流量（m^3/s）N为功率（kw），H为折算粉输送距离（m），ρ为粉容重（mL/100 g）。

$$\eta = \frac{HQ\rho g}{N}$$

测定不同压力参数对应管道震动强度，确保负压密相条件下，选定最低负压真空泵设置参数为35%。

5.3 改善管路冲刷

由于工序因素影响，管路与粉罐内部存在弯曲处或非垂直下粉区域，导致冲刷位置的受力较大，粉体易粘连内壁，形成片状坚硬结块。运输过程中，必然会在这类管路弯曲处冲刷形成结块，因此，结块清理小组员工通过观察结块点位的形成周期，确定了相应的清理频次。

5.4 实施清洁计划

采用七步法进行清洁，使用受控湿式清洁方法，以减少酒精用量。在清洁前，按拆机验证要求，验证菌落总数和管路卫生状态。通过该方式，可减少因酒精未完全挥发导致的管路结块。同时，需按管路结块验证周期进行涂抹，确保结果均合格。

6 讨论与结论

本研究通过实施乳粉卫生设计、工艺参数、产品配方等关键举措，使结块排查点位风险等级从高风险降至中、低风险，有效改善了生产过程中结块的引入和形成情况。调研显示，消费者在购买奶粉后和食用奶粉前最关注奶粉是否发生结块[6]。通过本研究采取的改善措施，显著降低了消费者投诉率，统计分析期内年投诉率下降42.53%。

6.1 改善传统工艺，减少粉体结块

将传统工艺中上粉压力从200 Kpa降至110 Kpa，负压真空泵开阀角度从100%调至35%，可提高冲调性和粉体松散度，突破行业瓶颈问题。改善工艺

中国乳业线上阅读

后，上粉系统342 处高风险点现场结块排查全部降为0，有效优化了传统乳粉生产工艺。

6.2 改变乳粉生产输送设计，提高清洗效果

设计新工厂时，可通过改变乳粉输送管路长度和弯管半径，从工艺上解决造成粉体结块的缺陷。同时，增加换向阀，连接直管输粉段，以缩短整体管路长度，提高清洗效果。采用新方法计算弯管半径，以降低冲刷力度，减少结块的发生。通过以上工艺设计可有效解决影响粉体效果的固有缺陷。

6.3 实施作业标准化

以生产工艺流程为主线，以控制食品安全风险与质量威胁为目标，通过质量工程（QE）/失效模式分析（FMEA）/危害分析与关键点控制（HACCP）对质量威胁和食品安全风险进行识别控制。在此基础上，整合完善质量控制点，更新质量控制清单。同时，重新策划稽核原则并开展稽核工作。将上述内容进行固化处理，融入系统化的管理体系中，实现标准化作业和知识固化。

6.4 日常管理

开展专项研究和课题改善活动，推进作业标准化，优化结块控制措施，包括但不限于清洁频次、方法等。将这些措施编入岗位职责和卫生标准操作程序（SSOP）中，落实到员工的操作中，从而提升生产效率和产品品质。

6.5 改善乳粉结块现象对乳制品品质的意义

乳粉作为重要的营养补给品，其品质改善对乳品企业的发展和消费者的健康有深远影响。首先，提升市场竞争力是关键。高品质乳粉能增强企业的品牌形象，使其在激烈的市场竞争中能脱颖而出，吸引更多消费者，扩大市场份额。同时，品质改善意味着更少的产品缺陷，可减少因质量问题导致的产品召回风险。其次，推动创新与技术进步是重要一环。在品质提升过程中，引入大量新技术、新工具、新方法，不仅能提高生产效率，降低成本，还能提升产品的稳定性和一致性，使企业的品质快速与国际接轨。此外，在深入分析乳粉品质改善的影响时，应注意该进程并非一蹴而就。企业需在研发、生产、设备等环节持续投入，同时需要消费者理性选择，市场监管部门也应进行有效监督。

7 小结

综上所述，随着乳品企业管理能力的提升，产品质量显著提高，乳粉行业发展更规范，国产品牌市场份额逐年增加，消费者信心明显提振[7]。在此背景下，乳品企业应致力于帮助消费者提升营养素养[8]。对企业而言，改善乳粉品质对是实现持续发展、创新升级的关键举措。在工艺技术和具体配方相关领域，企业应逐步提升生产水平，强化法规标准建设，搭建相应的质量标准体系，注重安全性与创新型协调发展，为现代转型发展奠定良好基础[9]。对消费者而言，这是保障健康、提升消费体验的重要措施。通过持续努力，企业不仅能在竞争中稳固地位，还能促进整个行业健康发展；最终使消费者享受更高质量的产品和服务。随着消费升级，消费者对品牌和产品的认知也不断提升[11]。企业只有不断满足消费者对高品质、高颜值、高价值感产品的需求，才能在消费升级的浪潮中占据市场，实现价值并保持长青[10]。未来发展中，乳粉品质的改善仍是双向赋能、共赢发展的过程，需所有利益相关者的高度重视。

参考文献

[1] 钟凯.奶粉结块还能食用吗[J].农村新技术，2022（8）：68.

[2] 张遵浩，张峻霞，田玮，等.乳粉喷雾干燥工艺参数对环境影响的不确定性研究[J].中国乳品工业，2021，49（7）：60–64.

[3] 陈梦婷，罗秉俊，杨芳芳. 粉类食品结块原因及预防[J]. 广东化工，2022，49（9）：32–33，24.

[4] 崔莉，葛文光，金丽. 乳粉中的玻璃化相变及对乳粉品质的影响[J]. 中国乳品工业，2001，29（3）：24–26.

[5] 杜管利，秦立虎.乳粉常见的质量缺陷及其原因分析[J].食品

中国乳业线上阅读

安全导刊，2014（15）：50–51.
[6] 贾军燕，陈晓禅，曹金丽，等.[J].中外企业家，2020（4）：236.
[7] 万静.中国强力保障婴幼儿配方乳粉质量[J].食品界，2024（1）：28–30.
[8] 杜玉林.从消费者淡漠“新鲜”看国人的饮奶习惯[J].乳品与人类，2011（1）：44–46.
[9] 危娟，郭泽镔，江晓丽，等.我国婴幼儿配方奶粉生产工艺研究现状及发展建议[J].中国奶牛，2022（4）：36–39.
[10] 侯军伟.新消费时代乳企如何抓住市场机遇[J].乳品与人类，2018（4）：58–64.
[11] 郑跃，马景霞，许蒙蒙，等.浅谈婴幼儿配方乳粉安全风险管理[J].中国乳业，2025（1）：50–58.

Study on Production Technology of Milk Powder to Prevent Caking

LI Yeqiu，XIE Baorui*，QIAO Huifang，LI Dan
Inner Mongolia Yili Industrial Group Co.， Ltd. ，Hohhot Inner Mongolia 010000

Abstract：In this study，various influencing factors causing caking during the use of milk powder were sorted out，the key links of raw material selection，spray drying process，packaging technology and storage conditions were analyzed. The study focused on sanitary design，process parameter setting and optimal ratio of product ingredients，summarized the key factors affecting caking，and explored corresponding countermeasures to form a breakthrough solution. This study was of great significance for improving the caking of milk powder and improving the quality of dairy product

Keywords：milk powder；caking；improve；quality

▲上接125页

by single factor test with viscosity and centrifugal precipitation rate as evaluation indexes.The physicochemical and microbiological indexes of the final product were determined.[Result]The extract of Brassica rapa L. has strong anti-oxidant properties and can improve the anti-oxidant activity of *Brassica rapa L* yak milk beverage. The formula（Yak milk powder 10%，sugar 6%，Brassica rapa L. extract 20%，γ-aminobutyric acid 30 mg，CMC-Na 2%）prepared the *Brassica rapa L.* yak milk beverage with moderate sweet and sour，rich nutrition，in line with the standards of milk beverage.[Conclusion]The *Brassica rapa L* yak milk beverage has a good industrial application prospect and can provide reference for the research and development of alleviating altitude sickness beverage and the design of yak milk beverage.

Keywords：yak milk powder；*Brassica rapa L.*；quality；stability

中国乳业线上阅读