规模化牧场挤奶设备清洗消毒管理中的常见问题与系统化管理策略

韩　勤，杨利基*，郭　栋，花修宽，胡佳佳

光明牧业有限公司，上海 200436

摘　要：规模化牧场挤奶设备的规范清洗与消毒管理，是保障乳品质量安全、控制牛群疾病传播、延长设备使用寿命的关键环节。当前挤奶设备清洗消毒过程中普遍存在水温控制不当、清洗流程执行偏差、消毒程序漏洞及监控体系不完善等问题，严重影响生鲜乳卫生质量和设备运行效率。本文系统提出设备升级、流程规范、分级消毒和智能监控等管理对策，包括引入变频恒温设备实现碱洗水温80～85 ℃精准控制、部署预冲洗即热模块确保水温35～45 ℃、应用自动化PLC控制系统严格执行多阶段清洗流程、建立三级差异化消毒机制（乳头药浴、设备表面、人员通道），并集成物联网传感器实时监测关键参数。实践表明，上述措施可显著降低细菌总数91.3%、减少设备磨损32%、提升清洗合格率至98%，有效控制乳房炎发生风险，为牧场节约运营成本、提升乳品质量提供可靠技术与管理支持。

关键词：规模化牧场；挤奶设备；清洗消毒；常见问题；智能管理

文章编号：1671–4393（2025）11–0154–07　　DOI:10.12377/1671–4393.25.11.19

0 引言

在乳业高质量发展的背景下，规模化牧场已成为生鲜乳生产的核心载体，而挤奶设备的卫生状况直接决定乳品质量安全底线。挤奶过程中残留的脂肪、蛋白质等有机物与矿物质沉积，为蜡样芽胞杆菌、耐热芽孢杆菌等致病微生物提供了理想滋生环境，不仅导致生鲜乳细菌总数超标、体细胞数升高，更会通过设备接触引发乳房炎交叉感染，造成奶牛产奶量下降、治疗成本增加等连锁损失。近年来，随着《GB 12693—2010 食品安全国家标准 乳制品良好生产规范》等标准的严格实施，行业对挤奶设备消毒清洗的要求已从“被动合规”转向“主

作者简介：韩　勤（1994–），男，山西吕梁人，本科，兽医师，研究方向为临床兽医及畜牧兽医技术；
郭　栋（1989–），男，江苏徐州人，大专，畜牧师，研究方向为反刍动物营养管理与保健；
花修宽（1985–），男，江苏徐州人，大专，畜牧师，研究方向为反刍动物营养管理与保健；
胡佳佳（1992–），男，江苏徐州人，本科，兽医师，研究方向为临床兽医及畜牧兽医技术。
*通信作者：杨利基（1983–），男，江苏南京人，本科，兽医师，研究方向为临床兽医及畜牧兽医技术。

中国乳业编辑阅读

动防控”。然而，当前多数牧场仍存在水温调控失准、流程执行偏差、消毒操作盲区及监控体系薄弱等问题，导致清洗效果不稳定、设备寿命缩短等风险持续存在。为此，本文聚焦规模化牧场挤奶设备消毒清洗的现实痛点，通过分析核心问题、构建解决方案，为牧场建立科学高效的消毒清洗管理体系提供实践参考，助力乳业实现“品质提升、成本优化、可持续发展”的多重目标。

1 规模化牧场挤奶设备消毒清洗的核心价值

规模化牧场挤奶设备的规范消毒清洗具有多重核心价值：作为生鲜乳生产的关键接触载体，其清洁程度直接筑牢乳品安全防线，通过彻底清除设备表面残留的有机物和无机沉积物，可阻断耐热芽孢杆菌等微生物的繁殖链条，从源头上避免食品安全事故发生[1，2]；同时能有效防控牛群疫病传播，显著降低设备表面沙门氏菌、大肠杆菌等致病菌载量，切断疫病通过挤奶环节扩散的路径，减少牧场医疗投入和生产损失，保障牛群健康稳定[3]；此外，定期消毒清洗可维持设备良好运行状态，有效溶解脂肪蛋白残留、去除乳石和水垢等矿物质沉积，降低管路堵塞、真空系统不稳定等故障发生率，延长设备使用寿命，减少固定资产投入成本[4，5]。

2 规模化牧场挤奶设备消毒清洗的常见问题

当前规模化牧场在挤奶设备消毒清洗管理中仍存在诸多短板，集中表现为以下3 个方面的问题。

2.1 水温调控精度不足

水温作为影响清洗效果的核心参数，《DB15/T 483—2024 机械化挤奶设备清洗规程》明确要求碱洗水温需维持在75~85 ℃且末端排水温度≥40 ℃，预冲洗水温需控制在35~45 ℃以防脂肪复凝，但部分牧场因电加热设备功率不足、锅炉供热不稳定等问题，无法实现水温精准控制，常出现水温骤降现象，导致乳蛋白硬化形成顽固奶垢，增加微生物滋生风险，直接影响生鲜乳微生物指标。

2.2 清洗流程执行失范

标准清洗流程的严格执行是保障清洁效果的关键，但实际操作中存在诸多偏差，如部分牧场未在挤奶后立即进行35~40 ℃温水预冲洗、清洗时长不足5 min、碱洗浓度偏离0.5%标准值、酸洗浓度未控制在0.4%~0.6%区间，甚至存在以清水冲洗替代消毒步骤的违规操作，这些问题导致设备表面污垢清除不彻底，耐药性病原体残留，形成持续污染风险；消毒操作存在盲区，消毒环节的漏洞会显著增加交叉污染概率，主要表现为消毒剂滥用（使用工业含氯制剂等非食品级产品导致化学残留）、操作不规范（如乳头药浴喷洒未垂直覆盖乳区底部、药浴液浓度低于标准值形成消毒盲区）以及分级管理缺位（未对乳头药浴、设备表面和人员通道实施差异化消毒要求，无法构建精准有效的生物安全屏障）。

2.3 监控维护体系薄弱

完善的监控维护体系是保障清洗效果的重要支撑，但部分牧场存在数字化监控缺失问题，未安装水温传感器和循环时间报警器，无法及时发现温度异常和流程超时等问题，同时设备维护滞后，未定期拆洗管路、更换橡胶衬垫，导致脉动器效能下降、真空系统泄漏，不仅影响清洗效果，还缩短设备使用寿命。

3 规模化牧场挤奶设备消毒清洗问题的管理对策

3.1 升级控温设备，稳定清洗条件

针对水温控制不当导致的清洗效果不佳问题，规模化牧场应通过核心设备改造、加热模块集成和管路系统优化，实现对水温的精准控制。《乳品设

中国乳业杂志社版权所有

备清洗消毒技术指南》2022年版明确规定，碱洗阶段水温需维持在80～85 ℃以确保脂肪与蛋白质彻底分解，末端排水温度不得低于40 ℃以防微生物滋生。

3.1.1 改造核心控温设备

针对供热不稳定、功率不足问题，采用热效率≥95%的变频恒温锅炉替代传统设备，该设备可实现±1 ℃精准控温，保证碱洗阶段水温始终维持在80～85 ℃之间，末端排水温度始终高于40 ℃[6]。挤奶设备清洗环节中，水温精准调控具备关键作用。以光明牧业江苏某一座存栏5 000 头规模化牧场为例，此前该牧场采用传统加热设备，碱洗水温波动幅度最高达±5 ℃。水温不稳定导致设备内壁奶渍残留问题严重，牛奶中细菌滋生风险随之大幅增加。后续该牧场引入变频恒温锅炉，碱洗水温波动幅度稳定在±0.8 ℃。设备改造完成后，效果快速显现，设备内壁奶渍残留率降低幅度达62%。同时在末端部署温度监测设备，一旦温度超出设定范围，立即发出警示并自动调整。

3.1.2 集成预冲洗即热模块

针对冷启动延迟、水温不达标问题，在冲洗入口安装速热装置，确保挤奶结束5 min内启动冲洗，且水温稳定在35～45 ℃之间。从科学原理层面分析，水温会直接作用于牛奶中各类成分物理状态。实验数据表明，水温实现精准调控后，蛋白固化率下降78%。这一结果意味着，牛奶中蛋白固化并附着在设备内壁的难题可从根本上得到解决。同时，后续碱洗环节负荷较传统流程减少30%，清洗效率获得明显提升[7]。

3.1.3 优化管路保温系统

针对循环散热导致的末端低温问题，应用双层保温管道，用聚氨酯包裹所有热水管，确保碱洗回路温降率＜2 ℃/100 m，保证末端排水≥40 ℃。北方寒冷地区牧场可增设电伴热带，应对极端低温天气影响。针对多系统分流引发的压力波动问题，构建独立热水供应网络，通过专用水路隔离清洗系统与喷淋、供暖系统。光明集团旗下另一座位于北方的集团牧场，冬季环境温度较低，以往清洗过程中水温骤降问题频繁出现，日均次数达3.2 次。水温骤降导致清洗液难以充分发挥自身作用，清洗合格率仅为79%。该牧场实施一套包含智能控温系统与高效保温措施的方案后，水温骤降频次降至0次，清洗合格率提升至98%。

3.2 规范清洗规程，强化流程管控

规范清洗规程、强化流程管控，能够确保挤奶设备污垢清除率和病原体杀灭效果。因此，需从流程标准化、浓度精准化、监控数字化3 个维度构建全链条管控体系。

3.2.1 实现自动化流程锁定

为保证每个清洗步骤严格执行且符合操作标准，实现自动化流程锁定，规模化牧场应引入PLC（可编程逻辑控制器），依托其控制系统对清洗步骤进行严格设定并自动执行。具体流程如下：预冲洗阶段，用35～40 ℃温水冲洗5 min；碱洗阶段，在“0.5%浓度碱液+80 ℃”条件下循环10 min；酸洗阶段，在0.4%～0.6%浓度酸液中循环；最后利用浓度＞150 ppm的过氧乙酸溶液进行消毒（过氧乙酸浓度标准参考《GB/T26366—2010 过氧乙酸消毒剂卫生标准》）。

为评估自动化清洗效果，本研究在江苏某规模化牧场（存栏3 000 头）进行了为期3 个月的对比试验。结果显示，采用PLC控制系统后，管道内壁细菌总数由（2 300±500）CFU/cm^{2}降至（200±50）CFU/cm^2（降幅达91.3%，p<0.01），设备磨损率降低32%，橡胶部件更换周期从3 个月延长至4.5 个月；清洗剂消耗量减少18%。表1为江苏某牧场2024年实测数据。

从表1中数据可见，该牧场通过规范化管理实现了清洗消毒关键参数的精准控制，整体达标率达100%。水温控制方面，预冲洗水温38 ℃处于35～40 ℃的最优区间，可有效避免脂肪复凝；碱洗温度79.5 ℃与设定值偏差仅0.5 ℃，体现了变频恒温系统的精准控温能力，为脂肪和蛋白质的彻底分

中国乳业线上阅读

表 1 江苏某牧场 2024 年实测数据

监控指标	设定值	实际监测值	状态	备注
预冲洗水温	35 ~ 40 ℃	38 ℃	正常	无
预冲洗时间	5 min	5 min10 s	预警	超时，但仍在可接受范围内
碱洗浓度	0.5%	0.48%	正常	误差在 ±5% 以内，无需校正
碱洗温度	80 ℃	79.5 ℃	正常	误差在 ±1 ℃以内，符合要求
碱洗时间	10 min	10 min 30 s	正常	超时，有助于更彻底的清洗
酸洗浓度	0.4% ~ 0.6%	0.55%	正常	误差在 ±0.1% 以内，符合要求
消毒溶液浓度	≥ 150 ppm	160 ppm	正常	浓度适中，消毒效果可靠
排水浊度	≤ 5 NTU	4.5 NTU	正常	浊度达标，清洗彻底
ATP 检测 RLU 值	< 30	25	合格	消毒效果良好，无需重新消毒

数据来源：2024年3—6月对江苏省某规模化牧场的跟踪监测数据；预警与正常状态的判定标准参考《GB 12693—2010食品安全国家标准 乳制品良好生产规范》及设备厂商操作规程综合制定

解提供了稳定条件。浓度控制上，碱洗浓度0.48%虽略低于0.5%标准值，但误差在±5%的行业允许范围内，且未影响清洗效果；酸洗浓度0.55%处于0.4%～0.6%的中间值，既能充分溶解矿物质沉积，又可减少对设备的腐蚀风险。时间参数中，预冲洗超时10 s触发预警但未影响整体效果，而碱洗超时30 s反而增强了污垢去除能力，说明在自动化控制系统中可适当保留合理的时间冗余度。消毒效果验证指标表现优异，排水浊度4.5 NTU远低于5.0 NTU的阈值，表明管道内壁残留物极少；ATP检测RLU值25＜30，证实微生物污染得到有效控制，这与160 ppm过氧乙酸的精准投加直接相关。综合来看，该组数据印证了PLC自动化控制+数字化监控体系在提升清洗稳定性和可靠性方面的显著作用，为牧场消毒清洗效果的持续优化提供了数据支撑。

3.2.2 加强浓度动态调控

牧场加强电导率传感器和定量加药泵应用，利用电导率传感器对碱液和酸液的浓度进行实时监测，利用定量加药泵根据设定数值自动调整加药量，保证碱液浓度保持在0.5%、酸液浓度保持在0.4%～0.6%，确保浓度稳定。

3.2.3 推行全流程数字化监控

做到过程数字化监控，在清洗回路中科学部署计时器、流量计和温度传感器等物联网设备，实现对清洗过程的全面监控，保证清洗过程中关键参数符合要求，一旦关键参数超出设定值，就会触发相应预警，提醒相关工作人员及时采取有效措施。同时，为实现对排水质量的有效监测，还应科学部署浊度传感器，通过判断排水中悬浮物含量，间接判断挤奶设备清洗的彻底性和有效性。

3.3 细分消毒层级，药剂精准管控

消毒漏洞会增加交叉污染概率，无法确保牛奶品质。因此，需通过层级化消毒设计与药剂全流程管控，构建生物安全防护体系。

3.3.1 实施三级差异化消毒

生物安全一级聚焦乳头药浴区，采用全自动药浴杯系统实施消毒。该系统通过红外感应触发，当奶牛进入挤奶位时自动推出药浴杯，贴合乳头底部后释放碘溶液，确保每头奶牛乳头完全浸润2～3 s。碘溶液浓度需维持在3.5%～4.0%，每日通过滴定法检测3 次（早中晚各1次），浓度低于标准时立即补充药剂。为保障覆盖率，系统内置压力传感器，当杯体与乳头贴合压力不足0.2 MPa时自动报警，强制重新操作，全年覆盖率稳定在100%。

生物安全二级针对设备表面，部署过氧乙酸泡沫喷淋系统。管道表面每50 cm设置一个旋转喷淋头，喷出泡沫黏度控制在1 500～2 000 CP，确保在设备表面附着3 min以上再用清水冲洗。过氧乙酸浓度每日开机前检测，通过专用试纸测定，确保在150～200 ppm区间。每班次结束后，随机抽取3 个关键点位进行ATP检测，RLU值必须低于30，超标则

中国乳业线上阅读

立即重新消毒。

生物安全三级覆盖人员通道，采用次氯酸雾化消毒装置。装置与通道门禁联动，人员进入前10 min自动启动，雾化颗粒直径控制在5～10 μm，确保在通道内均匀分布。有效氯浓度通过在线检测仪实时监测，维持在200～250 ppm，湿度传感器联动控制雾化时长，确保空间湿度保持70%～75%。每周用微生物培养法检测消毒效果，每平皿菌落数需控制在10 CFU以下。

3.3.2 强化药剂全生命周期管理

在药剂管理方面，建立供应商动态评估体系。准入时需审核供应商的NSF/ECOLAB认证文件、近6 个月第三方检测报告（报告需包含成分稳定性、重金属残留等12 项指标）。入库前每批次随机抽取3份样品，检测有效成分含量与pH值，合格后方可登记入库。数据库每月更新一次，对连续两次抽检不合格的供应商实施淘汰。

在操作校准环节，挤奶工位的激光测角仪设定双重阈值：当喷枪倾角超过60° 或移动速度超过0.3 m/s时，设备立即暂停并发出声光报警，需操作人员手动校正角度与速度后才能继续。每周采用紫外荧光剂模拟污染，消毒后用365 nm紫外灯检查，未覆盖区域需标记并分析原因，通过调整喷枪角度扩大覆盖范围。

3.4 物联监控前置，预测维护同步

针对监控维护不足的情况，规模化牧场要实现物联监控前置，通过对挤奶设备实施有效管理，切实保证产奶质量。

3.4.1 构建全域物联监控网络

全域物联监控体系构建需从硬件部署与数据联动两方面推进。在清洗回路中，每20 m管道安装1 个高精度热电偶传感器，测温范围0～100 ℃，误差控制在±0.5 ℃，每10 s采集一次数据；同步配置循环计时器，设定碱洗阶段10 min、酸洗阶段8 min的基准时长，偏差超过30 s即触发声光报警。设备层重点监测真空泵运行状态，安装压力传感器实时捕捉0～0.5 MPa区间的压力波动，异常时立即切断挤奶流程。边缘层PLC控制器负责本地化数据处理，每秒整合30组传感器信息，筛选出水温骤降超3 ℃/min、压力波动超0.1 MPa等关键异常值。平台层FEMS系统承担数据存储与可视化功能，留存3年清洗参数历史记录，支持通过手机终端实时查看设备运行曲线。

3.4.2 应用数字孪生与预测性维护

数字孪生技术应用需依托物理设备参数建模。先采集管道直径、材质导热系数、阀门阻力系数等28 项基础数据，构建1∶1虚拟副本；再通过5G传输实时同步温度场、压力场数据，虚拟模型每30 s更新一次状态。在清洗效果检测工作中，借助先进模拟技术与水温调控相配合，可进一步提升清洗质量。光明集团山东某牧场借助流场模拟技术开展管道清洗问题排查时，通过分析不同水温条件下的虚拟流场，成功定位管道弯头处积垢问题。模拟结果显示，局部流速降至0.8 m/s（标准值为1.2 m/s），工作人员据此精准锁定3 处堵塞点。对比传统人工排查方式，工时缩短幅度达65%，同时能在保证水温稳定的前提下，保障清洗过程中不存在死角[8]。

预测性维护模型聚焦橡胶衬垫、脉动膜片等易损部件。为每批次部件建立数字档案，记录累计使用时长、接触清洗液pH值、每日挤压频次等6 项指标，基于5 000组历史数据拟合磨损曲线。针对挤奶设备中易受水温影响的橡胶部件等组件，通过精准水温调控与预测性维护模型相配合，可有效降低设备故障发生率。光明集团河北某一座规模化牧场应用该预测性维护模型，同时结合稳定水温环境，成功将橡胶部件突发损坏导致的月度停机时间从（12±3）h减少至（3.5±1）h；因部件老化引发清洗液泄漏故障，其发生率下降72%，年度预计可节约维护成本约41 万元。

4 小结

随着智慧牧场建设的不断推进，挤奶设备消毒

中国乳业杂志社版权

清洗技术将持续向智能化、精准化和绿色化方向发展。智能监测技术将更加成熟，通过多传感器融合与数据分析算法实现对清洗过程的实时精准控制，有效提升清洗效率与质量。数字孪生技术的应用将进一步深化，不仅能够模拟设备运行状态，还可结合历史数据与实时信息，对清洗方案进行优化与预测，实现个性化、精准化的清洗管理，并为管理人员提供直观的可视化界面，提升设备管控能力。同时，绿色环保的消毒清洗技术也将成为重点，包括研发高效低残留消毒剂、推广节能节水设备与工艺，以降低对环境的影响。当前，规模化牧场挤奶设备的清洗消毒仍存在水温控制、流程执行、消毒分级和监控维护等问题，需通过设备升级、流程标准化、消毒精细化和物联网技术应用加以改进。未来应推动智能化和数字化技术在清洗消毒管理中的深度融合，构建高效、可靠、绿色的运维体系，最终实现牧场运营成本优化与乳品质量提升的双重目标，为乳业健康可持续发展提供有力保障。

参考文献

[1] 玄世豪，徐晓菲，刘存，等.规模化养殖场消毒技术研究与综合应用[J].中国兽医卫生，2025，2（3）：1–8.

[2] 刘杰英，王晓军.标准操作规程在消毒供应中心设备操作管理中的应用[J].中国医学装备，2023，20（12）：210–213.

[3] 张鹏博.新疆南北疆地区牧场奶厅嗜冷菌的分离鉴定及消毒效果的评价[D].石河子：石河子大学，2023.

[4] 韩萌，祝文琪.挤奶机器人在“养加一体”牧场中的应用——基于宁夏玖倍尔牧场的案例分析[J].中国乳业，2024，（12）：25–27，34.

[5] 金宜全.集团化牧场营养管理体系分享[J].今日畜牧兽医：奶牛，2023（6）：50–54.

[6] 马攀，李珊珊，张海亮，等.全自动挤奶系统牧场中奶牛泌乳性能影响因素分析[J].中国畜牧杂志，2024，60（3）：270–275.

[7] 王敏，张小玲.规模牧场生鲜乳中嗜冷菌控制措施探究 [J].中国奶牛，2023（4）：65–68.

[8] 潘妍桦，戚晓鸿，李扬，等.规模化牧场智能化设备应用及优化措施——以温氏乳业高山牧场为例[J].中国奶牛，2024（5）：49–54.

Common Problems and Systematic Management Strategies in Cleaning and Disinfection Management of Milking Equipment in Large–scale Dairy Farms

HAN Qin，YANG Liji*，GUO Dong，HUA Xiukuan，HU Jiajia

Bright Farming Co.，Ltd.，Shanghai 200436

Abstract：Standardized cleaning and disinfection management of milking equipment in large-scale dairy farms is a crucial link in ensuring dairy product safety，controlling the spread of herd diseases，and extending equipment service life. Common issues in the current cleaning and disinfection processes—such as improper water temperature control，deviations in cleaning procedures，flaws in disinfection protocols，and inadequate monitoring systems—significantly compromise the hygiene quality of raw milk and operational efficiency.This paper systematically proposed management strategies including equipment upgrades，process standardization， hierarchical disinfection，and intelligent monitoring. Specific measures involve the introduction of frequency conversion constant-temperature equipment to accurately maintain alkaline washing water at 80～85 ℃，the deployment of instant heating modules for pre-rinsing at 35～45 ℃，the application of automated PLC control systems to strictly enforce multi-stage cleaning procedures，and the establishment of a three-tier differentiated disinfection mechanism

下转166页

中国乳业编辑部

[10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 2760–2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
[11] 中华人民共和国农业农村部，国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局. GB 2763–2021 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S].
[12] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 800–2021 生鲜乳生产和质量安全管理规范[S].
[13] 王莉. 期间核查在乳品检测实验室中的应用实践[J]. 中国乳品工业，2019，47（8）：56–58.

Theoretical and Practical Research on Intermediate Verification of Dairy Testing Instruments and Equipment

WANG Qing，SUN Yurong*，LI Jing，ZHANG Wenxia，WANG Bin
Mengniu Dairy（Hengshui）Co.，Ltd.，Hengshui Hebei 053000

Abstract：Intermediate verification，as a key link in the quality management of instruments and equipment，is an important means to ensure the accuracy and reliability of test results. Focusing on the particularity of instruments and equipment in the dairy testing field，this paper explored in depth the importance，implementation methods，and key points of intermediate verification. By elaborating on the core role of intermediate verification in ensuring the accuracy of data such as dairy nutritional component detection，pollutant screening，and microbial limit determination，analyzing its differences and connections with calibration and verification，and combining practical cases of commonly used instruments in dairy testing laboratories（such as high-performance liquid chromatographs，gas chromatographs，microbial incubators，etc.），this paper summarized the targeted implementation process and common problem solutions of intermediate verification. The aim was to provide theoretical and practical guidance for the scientific and standardized implementation of intermediate verification of instruments and equipment in the dairy industry，and help laboratories improve their quality management level and dairy quality and safety control capabilities.

Keywords：instruments and equipment；intermediate verification；calibration；verification；quality management；dairy testing；quality and safety

▲上接159页

（teat dipping， equipment surfaces， personnel passages），integrated with IoT sensors for real-time monitoring of key parameters. Practical results demonstrate that these measures can significantly reduce total bacterial count by 91.3%，decrease equipment wear by 32%，and increase cleaning compliance rate to 98%，effectively controlling the risk of mastitis and providing reliable technical and managerial support for reducing operational costs and improving milk quality.

Keywords：large-scale dairy farms；milking equipment；cleaning and disinfection；common problems；intelligent management

中国乳业线上阅读