

固体制剂车间工艺管道布置优化实践分析

刘子成 康 伟 袁国民 黄 军

国药集团重庆医药设计院有限公司 重庆 渝中 400042

【摘 要】：固体制剂车间的工艺管道布置直接影响生产效率与产品质量。本研究基于某制药企业的固体制剂车间，分析了现有管道布置存在的问题，并通过优化设计方案加以改进。优化措施包括管道布局的合理规划、管道材料选择、设备布局的调整等，旨在提高生产过程的流畅性和安全性。优化后，车间的生产效率显著提升，资源浪费减少，且生产稳定性和产品合规性得到增强。本研究的成果为类似车间的管道布置优化提供了实践经验，具有重要的参考价值。

【关键词】：固体制剂车间；工艺管道；布局优化；生产效率；资源节约

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.008

引言

固体制剂生产车间的管道布置关乎着生产过程的顺畅与安全。传统的管道布局往往忽视了车间生产工艺的特殊需求，导致了效率低下、资源浪费等问题。随着制药行业对生产效率和产品质量要求的不断提高，优化工艺管道的布局成为提升车间整体性能的关键。通过合理规划和优化管道的布置，不仅可以减少物料流转的时间，还能有效避免生产中的瓶颈，保障安全合规。在这一背景下，对固体制剂车间的工艺管道布局进行优化，不仅是提高生产效能的必要手段，也是企业提升竞争力、降低成本的重要途径。

1 现有管道布置问题与挑战

固体制剂车间的工艺管道布置存在一系列问题，直接影响了生产效率和车间的整体运行效果。一个突出的挑战是管道布局不合理，导致了物料输送的路径过长，增加了管道的安装与维护成本。某些管道的布局忽视了生产工艺的流向，造成了物料流动的不连续或阻碍，进而影响了生产的稳定性和效率。与此同时，部分管道的尺寸和材质选择不当，未能有效避免腐蚀或阻力增大，进一步加剧了能耗的浪费。管道布置的空间利用不充分，往往导致设备之间的距离过远或过近，不仅增加了运输时间，还可能因操作空间狭小，增加了操作难度和安全隐患。

另一大问题是车间内的管道系统缺乏灵活性和可调整性。在实际生产中，固体制剂的生产工艺可能会发生变更或升级，这要求车间能够快速调整生产线设备及管道布局，以适应新工艺的需求。现有的管道布置大多是固定不变的，难以应对工艺变化，造成了生产线的改造成本过高且周期过长^[1]。这种刚性设计不仅限制了车间的生产能力，还影响了企业对市场变化的响应速度。

在管道系统的维护方面，许多车间未能考虑到未来的维护需求，管道布局复杂、交叉错综，导致了维修工作的困难和效

率低下。随着生产时间的延长，管道内可能出现堵塞、腐蚀或泄漏等问题，传统的管道布置往往无法迅速发现并解决这些问题，增加了停产和维修的时间成本。固体制剂车间现有的管道布置在优化和灵活性方面存在明显短板，这些问题限制了车间生产效率的提升，也加大了后续的维护和调整成本。

2 工艺管道布局优化策略与实施

2.1 前期工艺调研与瓶颈定位

工艺管道布局优化的前提是全面掌握车间生产实际情况，因此前期调研与瓶颈定位是优化工作的基础环节。首先组建由工艺设计人员、车间操作人员、设备维护人员组成的专项调研小组，通过为期一个月的现场跟班调研，梳理固体制剂从原料预处理、粉碎、过筛、混合、制粒、干燥到压片、包衣、包装的全流程工艺路线，绘制现有物料流转流程图和管道布置现状图，标注各环节管道的规格、材质、输送介质及流量参数。同时，采用数据统计法记录各工序物料输送的时间消耗、设备等待时间及管道故障频次，结合操作人员访谈收集实际生产中存在的管道使用痛点。通过调研发现，车间粉碎工序至混合工序的管道路径存在3处不必要的弯道交叉，物料输送时间长达12分钟，较合理路径增加5分钟；制粒工序管道因材质耐磨损性不足，每季度需更换1次，且存在粉末残留堵塞风险，这些均为需重点突破的优化瓶颈。

2.2 核心优化措施制定与实施

(1) 管道路径精简与布局规范化。基于前期调研结果，遵循“顺工艺流向、短路径、少交叉”的原则，对管道路径进行重新规划。针对粉碎至混合工序的不合理路径，拆除原有交叉弯道管道，采用直线路径铺设，同时调整相邻设备的安装位置，缩短设备间距，使物料输送路径从原有18米缩短至10米，减少弯道阻力。

对于不同介质的管道，实施分类分层布置：蒸汽管道、热水管道布置于车间上部空间，采用架空敷设方式，便于热量扩散；物料输送管道布置于中层，与设备进料口、出料口精准对接；废水、排污管道布置于下部，避免对洁净物料管道造成污染。同时，设置专门的管道支架，按间距3米均匀分布，采用可调节式支架结构，确保管道安装平整，减少运行过程中的振动。为避免管道交叉拥堵，在车间通道上方设置管道桥架，将各类管道有序收纳，桥架预留20%的空间，为后续工艺扩展预留余地。

(2) 管道材质与规格的精准匹配。结合固体制剂不同物料的特性，对管道材质进行优化选型。对于粉末状物料（如淀粉、乳糖等）的输送管道，摒弃原有普通不锈钢管道，选用316L不锈钢耐磨管道，该材质含钼量较高，耐磨损性能较普通不锈钢提升40%，可有效减少粉末输送过程中对管道内壁的冲刷磨损，延长管道使用寿命至2年以上。对于酸性辅料（如柠檬酸）的输送管道，采用聚四氟乙烯内衬不锈钢管道，利用聚四氟乙烯的耐腐蚀性，防止酸性介质对管道的腐蚀，保障物料纯度。同时，根据各工序物料流量需求，重新核算管道规格，将粉碎工序管道内径从原有80mm调整为100mm，提升粉末输送流量，避免因管道过细导致的堵塞问题；将液体辅料输送管道内径从50mm优化为65mm，确保物料输送量满足设备生产负荷需求。此外，在管道接口处采用快装接头设计，提高管道拆卸与安装的便捷性，便于日常清洁维护。

(3) 管道系统灵活性提升设计。为应对工艺调整需求，采用模块化管道设计理念，在各主要工序管道的关键节点预留接口，并安装阀门控制，实现不同生产线之间的管道互通切换。例如，在混合工序与制粒工序之间设置双向管道接口，当生产工艺调整时，可通过阀门切换实现物料的双向输送，无需重新铺设管道。同时，选用可拆卸式管道连接件，替代原有固定焊接连接方式，使管道改造时的拆卸时间从原有4小时缩短至1小时。此外，在车间控制系统中增设管道流量、压力监测模块，实时监控管道运行状态，当出现流量异常或压力波动时，系统自动报警，便于操作人员及时排查故障，提升管道系统的智能化管理水平。

2.3 优化实施的保障措施

为确保优化方案平稳落地并发挥实效，需构建全方位的实施保障体系，重点从计划统筹、过程管控、调试保障及长效维护四个维度推进。在计划统筹阶段，需组建专业的实施团队，明确设计、施工、监理等各方职责边界，结合车间生产节奏制定科学的阶段性实施计划，避免改造工作与正常生产产生冲突。同时，完成旧管道拆除清理、新管道及配套配件的采购验收工作，确保物料供应及时且质量合格；针对施工人员开展专项培训，内容涵盖施工规范、安全操作准则及制药行业GMP相关要求，提升施工队伍的专业素养。在施工过程管控阶段，

严格遵循“分区施工、分步推进”的原则，优先对非关键生产线进行改造试点，待验证优化方案的可行性与安全性后，再逐步推广至关键生产线，最大限度降低改造对生产的影响。施工过程中安排专人全程现场监督，重点核查管道焊接质量、接口密封性及安装精度，对每一段完成安装的管道及时开展压力测试和泄漏检测，确保施工质量完全符合行业标准及车间生产的洁净要求。在调试保障阶段，对优化后的管道系统进行全流程试运行，全面检验各工序物料输送的顺畅性、管道运行的稳定性及设备协同的协调性，根据试运行过程中发现的问题，对管道支架位置、阀门开度等进行精准微调，确保系统运行达到最优状态。此外，为保障优化效果的长期稳定，需制定完善的管道维护保养规程，明确日常清洁消毒、定期检查维护及故障应急处理的具体流程，落实责任人员；同时开展全员专项培训，确保操作人员熟练掌握优化后管道系统的使用方法、维护要点及安全注意事项，形成“施工有标准、运行有规范、维护有保障”的全流程管理体系^[2]。

3 优化效果评估与实践总结

3.1 多维度优化效果评估

(1) 生产效率显著提升。为精准评估优化效果，选取优化前后各3个月的生产数据进行对比分析。结果显示，优化后粉碎至混合工序的物料输送时间从12分钟缩短至7分钟，单批次生产周期从原来的4.5小时缩短至3.8小时，生产效率提升15.6%。同时，管道堵塞、泄漏等故障频次从优化前的每月5次降至每月1次，故障停机时间减少80%，有效保障了生产的连续性。以车间年产1000万片片剂的生产规模计算，优化后每年可增加有效生产时间约280小时，新增产能80万片，显著提升了车间的生产效能。

(2) 能耗与成本大幅降低。能耗方面，由于管道路径缩短、阻力减小，物料输送泵的运行功率从原来的15kW降至12kW，日均耗电量减少72度，每年可节约电费约5.2万元；蒸汽管道采用架空敷设并优化保温措施后，热损耗率从8%降至3%，每年节约蒸汽消耗约120吨，折合成本约4.8万元。成本控制方面，优化后管道使用寿命延长，316L不锈钢管道的更换周期从每季度1次延长至每2年1次，每年减少管道更换成本约6万元；管道维护人员工作量减少，维护团队从原来的4人精简至3人，每年节约人工成本约8万元。综合计算，优化后车间每年可节约各类成本共计24万元，投资回报率达65%。

(3) 生产安全性与合规性增强。通过管道分类分层布置和规范安装，车间操作空间更加充足，设备与管道之间的安全距离均符合GMP标准要求，操作人员碰撞、绊倒等安全隐患发生率降至零。管道泄漏风险大幅降低，优化后未发生一起物料泄漏事故，避免了因物料泄漏导致的火灾、爆炸及产品污染

风险。在药品监管部门的年度检查中，优化后的管道系统因布局规范、清洁维护便捷，顺利通过 GMP 合规性审核，产品抽检合格率从优化前的 98.5% 提升至 99.8%，进一步保障了产品质量安全。

(4) 工艺适应性提升。依托模块化管道设计和预留接口，车间成功完成 2 次工艺调整：在新增某缓释片剂生产线时，通过启用预留接口和模块化管道组件，仅用 3 天就完成了管道系统的改造对接，较传统改造方式缩短工期 12 天，改造成本降低 40%；在调整某辅料配比工艺时，通过阀门切换即可实现物料输送路径的改变，无需重新铺设管道，充分体现了优化后管道系统的灵活性和可扩展性，提升了企业应对市场变化的响应速度。

3.2 实践经验总结与推广价值

(1) 优化实践核心经验。本次固体制剂车间管道布局优化的成功，首要经验是坚持“工艺导向”的优化原则，前期充分的工艺调研与瓶颈定位为优化方案的制定提供了精准依据，避免了盲目优化。其次，材质选型与路径规划的精准匹配是关键，根据不同物料特性选择适配的管道材质，结合工艺流向精简路径，实现了效率与成本的双重优化。此外，模块化设计与分阶段实施策略保障了优化工作的顺利推进，既避免了对现有生产的过度干扰，又确保了优化效果的稳步落地。同时，建立完善的维护保养规程，加强人员培训，是保障优化效果长期稳

定的重要支撑^[3]。

(2) 行业推广价值与应用建议。本次优化实践形成的“调研-设计-实施-评估”全流程优化模式，对同类固体制剂车间的管道布置优化具有重要的参考价值。对于新建固体制剂车间，可借鉴本次优化经验，在设计阶段就充分考虑工艺需求、灵活性扩展及维护便捷性，从源头规避管道布置问题；对于既有车间的改造，应优先开展全面的工艺调研，精准定位瓶颈问题，结合车间实际空间与生产需求制定个性化优化方案，避免盲目照搬。此外，建议制药企业在管道优化过程中加强与设计单位、设备供应商的协同配合，充分整合各方资源，提升优化方案的科学性与可行性。同时，关注智能化管道监测技术的应用，进一步提升管道系统的运维管理水平。

4 结语

通过对固体制剂车间工艺管道布局的优化实践分析，可以看到，合理的管道布置不仅能显著提升生产效率，减少资源浪费，还能提高车间的安全性和生产稳定性。优化后的管道系统为生产过程提供了更高的灵活性和可调整性，满足了车间未来生产需求的多样性。在实施过程中，结合实际生产工艺和车间特点，优化方案取得了良好的实际效果，降低了成本，提升了效益。固体制剂车间的管道布局优化为制药行业的生产线改造与提升提供了重要参考，具有广泛的推广意义。

参考文献：

- [1] 张尚.住宅建筑给排水工程中管道安装工艺探究[J].建材发展导向,2025,23(22):121-123.
- [2] 梁伟连.质量风险管理在药物口服固体制剂生产中的应用[J].山东化工,2025,54(04):208-210.
- [3] 王琦,程星华,程孟璇,等.基于自动化物流仓储系统的固体制剂车间布局设计探索[J].产业与科技论坛,2023,22(04):33-35.