

多品种小批量生产模式的工厂柔性布局设计

杨 镛 杜 泽 宾 丁 赵桂林 张 岩

中联西北工程设计研究院有限公司 陕西 西安 710077

摘要：本文聚焦多品种小批量生产模式的工厂柔性布局设计。剖析了该生产模式特征、传统布局痛点及柔性布局核心需求，阐述柔性布局设计理论方法，包括设计原则、关键方法与数字化技术支持。介绍了实施步骤，涵盖需求分析、方案设计、仿真验证等。随后提出布局柔性提升、物流协同等优化策略。旨在为多品种小批量生产工厂提供科学合理的柔性布局方案，提升生产效能与市场响应能力。

关键词：多品种小批量生产；柔性布局；精益生产；模块化设计

引言：在制造业个性化需求日益凸显的当下，多品种小批量生产模式成为主流。然而，传统工厂布局基于大批量标准化生产设计，难以适配该模式需求，面临诸多痛点。柔性布局作为解决这些问题的关键，能提升生产系统灵活性、适应性。本文深入探讨多品种小批量生产模式下工厂柔性布局设计，从特征分析、理论方法到实施步骤与优化策略，为工厂实现高效生产与可持续发展提供有益参考。

1 多品种小批量生产模式特征与挑战

1.1 生产模式特征分析

多品种小批量生产模式是制造业适配个性化需求的主流模式，核心特征聚焦“多样化”与“精细化”。该模式下产品品类丰富、迭代快，单种产品批量小、批次多，订单随机性强且交付周期紧，难以形成规模效应。生产中物料需求多规格、小批量，工序衔接复杂，不同产品工艺路线差异大，对设备和人员的通用性要求显著提高。同时，模式注重市场响应速度，需快速适配订单变更、产品迭代等突发情况，生产计划动态调整频繁^[1]。质量管控难度较高，不同产品质量标准不同，需兼顾效率与一致性，生产系统的灵活性、适应性成为核心竞争力，与传统大批量标准化生产形成鲜明区别。

1.2 传统布局的痛点

传统工厂布局基于大批量标准化生产设计，在多品种小批量模式下痛点突出，严重制约效能。其一，布局多为固定流水线或功能分区，设备摆放固定，难以适配不同产品工艺切换，切换时需大量调整设备、重组工位，耗时费力，生产准备时间过长。其二，物流路线固化，物料频繁切换、运输批量小，易出现物流交叉、拥堵，搬运距离长，增加成本与损耗。其三，资源配置僵化，设备、人力按固定产品规划，无法随订单动态调配，易出现资源闲置与过载并存的情况。其四，布局缺

乏调整空间，面对产品迭代、订单变化，改造难度大、成本高，无法快速响应市场，拖累生产系统整体效能。

1.3 柔性布局的核心需求

结合多品种小批量生产特征与传统布局痛点，柔性布局核心需求聚焦适配性、灵活性、协同性三大维度。一是设备与工位柔性，需实现设备模块化、可移动，工位可快速重组，灵活适配工艺切换，缩短生产准备时间。二是物流柔性，构建可调物流体系，优化运输路线，实现物料按需精准配送，适配小批量、多频次供应特点，减少浪费。三是资源配置柔性，实现人力、设备、物料动态调配，随订单、产品结构调整分配资源，避免闲置与过载。四是系统协同柔性，推动布局与生产计划、质量管控、数字化管理深度协同，快速响应订单与产品迭代，预留优化空间，实现生产系统动态平衡。

2 柔性布局设计理论与方法

2.1 柔性布局设计原则

多品种小批量生产下，柔性布局设计需遵循四大核心原则，保障科学实用。模块化原则，将工厂划分为生产、物流、辅助等功能模块，模块内部设备、工位标准化、可移动，模块间可灵活组合重组，适配订单与产品变化。流程优化原则，以产品工艺路线为核心，优化生产与物流流程，减少工序间隙与搬运距离，实现连续高效生产，兼顾多品种兼容性^[2]。动态适配原则，布局预留充足调整空间，兼顾产品迭代、工艺升级等未来变化，避免重复改造与成本浪费。成本效率平衡原则，追求柔性的同时兼顾成本与效率，避免过度柔性导致设备闲置、成本攀升，实现三者动态平衡，提升经济效益。

2.2 关键设计方法

柔性布局关键设计方法围绕模块化、流程化、可视化展开，贴合多品种小批量生产需求。模块化布局法，将设备、工位整合为标准模块，根据工艺需求组合重组

生产单元,模块可灵活移动调整,降低布局调整成本。U型/单元化布局法,打破直线布局局限,将相关工序整合为U型单元,缩短物料搬运距离,便于人员兼顾多工位,提升人力利用率。可视化布局法,借助数字化工具直观呈现布局、设备、物流等情况,便于方案优化与后续管理,助力人员熟悉流程、提升效率。另外,结合约束理论识别生产瓶颈,在布局中重点优化,保障生产系统整体柔性及高效运行。

2.3 数字化技术支持

数字化技术是柔性布局落地与升级的核心支撑,实现布局全流程智能化。一是三维建模与仿真技术,借助CAD等工具构建工厂布局三维模型,模拟生产、物流、设备运行状态,提前发现问题、优化方案,降低改造风险与成本。二是物联网技术,在设备、工位、物料上安装传感器,实时采集监控生产数据,精准掌握设备与物料状态,为布局调整、资源调配提供支撑。三是MES系统,融合布局与生产计划、工序管理等,实现生产可视化、智能化管理,可随订单快速调整流程与布局参数。此外,大数据与人工智能技术分析生产数据,预测订单与产品趋势,为布局优化提供决策支持,推动布局从被动调整转向主动适配。(300字)

3 柔性布局设计实施步骤

3.1 需求分析与数据收集

需求分析与数据收集是柔性布局设计至关重要的基础环节,其完成质量直接决定了后续方案的适配性,必须系统且全面地推进。首先,要精准明确生产需求,详细梳理现有的产品品类,明确不同产品的工艺路线以及生产批量情况。运用科学方法和市场趋势分析,预测产品迭代的方向与速度,以及订单可能的变化趋势。在此基础上,清晰界定布局在柔性、效率和成本方面的具体要求,为后续设计提供明确目标。其次,开展全面的现状调研,深入排查现有布局中存在的空间利用不合理、设备摆放不科学等问题;检查设备是否存在老化、性能不足等情况;分析物流环节是否存在路线过长、交叉拥堵等问题;审视生产流程是否存在工序繁琐、衔接不畅等痛点,明确布局优化的重点方向,为数据收集提供针对性指引。然后,全面收集各类数据。涵盖产品工艺的详细参数、设备的各项性能参数、物料流转的路径与时间、生产计划的安排以及人力配置的情况等^[1]。重点统计生产周期、工序耗时、设备利用率等核心数据。最后,对收集到的数据进行整理分析,筛选出关键影响因素,形成详细的需求报告与数据汇总表,为后续的方案设计、仿真验证提供坚实的支撑,确保布局紧密贴合

实际生产需求。

3.2 布局方案设计

基于需求分析与数据收集结果,结合设计原则与方法,需科学有序开展布局方案设计。先综合生产需求与场地条件,把工厂合理划分为生产、物流、辅助等模块,明确各模块功能范围,并预留调整空间以应对未来生产变化。接着按模块化、单元化原则,精心设计生产单元布局,优化工序衔接,保障不同产品工艺顺利实施。同时合理规划物流路线,防止交叉拥堵,实现物料精准配送,提升物流效率。再依据数据统计,科学分配设备、人力和仓储资源,确保设备与生产需求适配,避免闲置或过载;合理安排人力,提高工作效率;合理规划仓储,保证物料供应。最后绘制详细布局图纸,标注设备位置等核心信息,制定方案说明,明确优势、实施要点与注意事项,为后续验证优化打基础。

3.3 仿真验证与迭代优化

仿真验证与迭代优化是提升柔性布局可行性的关键步骤,通过模拟运行能够持续完善方案,确保其在实际应用中发挥最佳效果。借助先进的数字化工具,将初步设计的布局方案转化为逼真的仿真模型。导入产品工艺的详细参数、生产计划的具体安排等数据,使仿真模型能够真实地模拟多品种小批量生产的全过程,包括设备的运行状态、物料的流动情况等。重点检测布局的柔性适配能力,看其是否能够快速适应不同产品的生产需求;检查物流协同效果,确保物料能够及时、准确地送达各个生产环节;评估资源利用效率,避免出现资源浪费或不足的情况。同时,模拟订单变更、设备故障等突发情况,排查可能出现的物流拥堵、工序脱节等问题。针对测试中发现的问题,及时调整模块布局、设备摆放位置、物流路线等参数。通过不断优化,提升布局的柔性和效率。重复进行测试与优化的流程,直至方案完全满足柔性、效率和成本的要求,形成最优的布局方案,确保在实际落地后能够稳定高效地运行,为企业带来良好的经济效益。

3.4 动态调整机制设计

柔性布局的核心优势在于其能够动态适配生产变化,因此需要设计一套完善的动态调整机制,以确保快速响应生产变化并维持高效运行。建立订单动态响应机制,与销售部门实时对接,及时获取订单变更、新增等信息。明确调整的流程和时间节点,确保在规定时间内完成布局调整,保障订单能够按时交付,提高客户满意度。建立资源动态调配机制,过数字化监控系统,实时掌握设备、人力和物料的状态。根据生产需求的变化,

灵活调配资源,避免资源闲置或过载,提高资源的利用效率。建立工艺迭代适配机制,针对工艺升级、新品导入等情况,制定详细的布局调整流程。优化生产单元的布局和物流路线,使其能够适配新工艺、新产品的生产要求,确保生产的顺利进行。建立定期优化机制,定期收集和分析生产数据,排查布局中存在的问题。

4 多品种小批量生产模式的工厂柔性布局优化策略

4.1 布局柔性提升优化策略

围绕多品种小批量生产需求,布局柔性提升策略聚焦设备、工位、模块三大维度。其一,设备柔性优化,淘汰固定专用设备,引入模块化、多功能设备,实现一台设备适配多种产品,减少切换成本;采用设备集群化布置,集中摆放功能相近设备,便于调配与维护。其二,工位柔性优化,设计可移动、可重组标准化工位,配备通用工具工装,实现工位快速切换;培养复合型操作人员,提升其多工序、多设备操作能力,增强人力柔性。其三,模块柔性优化,细化功能模块,提升标准化与通用性,实现模块快速组合重组,适配产品与订单变化;预留模块扩展空间,为新品导入、产能提升提供支撑,全面提升布局整体柔性。

4.2 物流协同优化策略

物流协同优化是提升柔性布局效率、降低成本的关键,需构建柔性、协同、智能化物流体系。首先,优化物流布局,整合仓储与生产模块,缩短物料搬运距离,采用就近仓储、按需配送模式,减少库存与搬运成本;规划多条柔性物流路线,避免交叉拥堵,确保不同产品物料流转互不干扰。其次,引入柔性物流设备,采用AGV机器人、柔性输送机,实现物料搬运配送自动化,适配小批量、多频次需求,减少人工干预、提升效率。另外,建立物流协同管理体系,整合物料采购、仓储、配送等环节,实现信息实时共享,精准对接生产计划,避免物料短缺或积压;建立异常响应机制,快速处理物流问题,保障物流与生产、布局深度协同。

4.3 成本与效率平衡优化策略

柔性布局优化需兼顾成本与效率,避免过度追求柔性导致成本攀升或效率下降,实现三者动态平衡。优化资源配置,通过数字化监控与数据分析,精准掌握资源运行状态,合理分配设备、人力、物料,提升利用率、降低浪

费;优先选用高性价比模块化设备与工具,控制投入成本。优化生产流程,通过布局调整减少工序间隙与搬运距离,缩短生产准备与生产周期,提升效率;推行精益生产,消除浪费,实现效率与成本双向提升^[4]。建立监控机制,实时统计生产成本、效率等指标,对比优化目标分析差距,及时调整策略;随订单、产品变化动态平衡柔性、成本与效率,确保布局优化兼顾需求与效益。

4.4 动态适配优化策略

动态适配优化策略聚焦提升柔性布局对市场、生产需求的响应能力,实现长效优化。首先,建立市场需求预测机制,通过大数据、市场调研预测产品迭代与订单变化规律,提前制定布局调整预案,提升前瞻性、避免被动调整。其次,完善动态调整流程,明确调整触发条件、流程与责任分工,确保布局调整快速有序,缩短时间、减少生产影响;依托模块化、可移动设计,降低调整成本。再者,建立评估体系,定期评估布局运行状态、柔性、效率、成本等指标,结合市场与生产需求,识别优化重点、持续完善。另外,加强人员培训,提升操作与管理人员对柔性布局的适应、调整能力,确保调整机制落地,实现布局与生产模式深度适配。

结束语

多品种小批量生产模式的工厂柔性布局设计是提升竞争力的关键。通过明确核心需求,遵循设计原则,运用科学方法与数字化技术,经系统实施步骤与针对性优化策略,可构建适配性、灵活性、协同性强的布局。这不仅有助于应对市场变化与订单波动,还能降低成本、提高效率。未来,随着技术发展,需持续探索创新,完善柔性布局,推动制造业向更高水平迈进。

参考文献

- [1]刘辉,朱冬,许悦,等.基于虚拟工位的柔性装配生产线管理系统设计[J].电子技术,2023,52(01):304-306.
- [2]赵欢,葛东升,罗来臻,等.大型构件自动化柔性对接装配技术综述[J].机械工程学报,2023,59(14):277-297.
- [3]万雨松,余开朝.云制造生产模式下的生产调度研究[J].软件导刊.2022(10):142-148.
- [4]田佳璐,常涛,桂阳,等.浅析铸造行业多品种小批量生产模式的多约束条件排产[J].铸造设备与工艺,2023(3):60-61,72.