

面向多车型与多规格CTP电池的柔性生产线设计优化及效率提升

朱威

智新科技股份有限公司 湖北 武汉 430101

摘要：本文聚焦多车型与多规格CTP电池柔性生产线设计优化及效率提升。先阐述CTP电池技术原理特点与柔性生产线关键技术，分析行业发展现状与现存问题。接着从布局、设备选型配置、工艺路线三方面进行设计优化，提出“模块化+U型单元”布局等方案。最后给出生产调度、质量管理与效率协同、人员管理与培训等效率提升策略，旨在为多车型与多规格CTP电池柔性生产提供理论支持与实践指导。

关键词：CTP电池；柔性生产线；模块化设计；智能调度；生产效率

1 多车型与多规格 CTP 电池柔性生产线相关理论基础

1.1 CTP电池技术原理与特点

CTP电池即无模组动力电池，其核心技术原理是取消传统动力电池包中的模组结构，直接将电芯集成到电池包壳体内部，通过结构优化实现电芯与壳体、冷却系统等部件的一体化设计。该技术通过简化层级结构，减少了模组支架、端板、横梁等非电芯零部件的使用，在相同空间内可容纳更多电芯^[1]。从特点来看，CTP电池能量密度显著提升，较传统模组电池提升10%-20%，直接增加新能源汽车续航里程；结构简化使零部件数量减少30%以上，生产工序缩短，降低制造成本与重量；一体化设计增强电池包结构强度，提升抗振动、抗冲击性能，保障使用安全；同时，电芯集成方式使热管理路径更短，温度分布更均匀，充放电效率与循环寿命得到优化，这些特点为多车型适配奠定了核心技术基础。

1.2 柔性生产线基本概念与关键技术

柔性生产线是指能够快速适应产品品种、规格、产量等生产要素变化的生产制造系统，其核心要义是通过模块化、智能化设计，在最小化设备改造与工序调整成本的前提下，满足多品类产品的高效生产需求。该系统打破传统刚性生产线单一产品生产的局限，实现多品种产品的混线生产与快速切换。关键技术包括模块化设备技术，将生产设备拆解为标准化模块，通过模块组合更换适配不同产品加工需求；智能传感与检测技术，实时采集生产过程中的设备运行参数、产品质量数据，为生产调整提供数据支撑；可编程控制系统，通过修改控制程序实现设备运行流程的快速变更，适配不同工艺要求；数据通信与集成技术，打通生产线各设备、各工序间的数据

壁垒，实现生产信息实时共享与协同调度；以及快速换模技术，通过优化换模流程、采用自动化换模装置，将换模时间缩短50%以上，保障多规格产品连续生产。

2 多车型与多规格 CTP 电池柔性生产线现状分析

2.1 行业发展现状

随着新能源汽车市场渗透率持续提升，不同级别、不同用途车型对CTP电池的规格需求呈现多元化趋势，推动多车型与多规格CTP电池柔性生产线成为行业发展热点。目前，头部动力电池企业已率先布局相关生产线，如宁德时代、比亚迪等企业已建成具备一定柔性的CTP电池生产线，可实现3-5种不同规格电池的混线生产。从技术应用来看，自动化设备普及率显著提高，焊接、装配等关键工序自动化率达90%以上，部分企业引入工业机器人与数字孪生技术，实现生产过程可视化监控。从市场需求来看，新能源汽车企业为提升产品竞争力，加快车型迭代速度，对电池生产线的换型效率要求从原来的数天缩短至数小时。政策层面鼓励智能制造与绿色生产，多地政府对柔性生产线建设给予补贴支持，推动行业内中小电池企业加快柔性化改造步伐，但不同企业的柔性化水平差异较大，头部企业已实现规模化柔性生产，中小企仍处于初级改造阶段。

2.2 现有生产线存在的问题

现有多车型与多规格CTP电池柔性生产线虽取得一定进展，但仍存在诸多亟待解决的问题。首先，设备兼容性不足，部分关键设备如电芯排列机、激光焊接机等仅适配特定规格电芯，更换产品规格时需进行大量机械调整，换型时间较长，部分生产线换型耗时超过4小时，严重影响生产效率^[2]。其次，生产调度体系不完善，多规格产品混线生产时，易出现工序衔接不畅、设备空闲与拥

堵并存的现象，导致生产线整体利用率低于60%。再者，工艺标准化程度低，不同车型电池的生产工艺存在差异，缺乏统一的工艺参数数据库，新产品导入时需反复调试工艺，延长生产准备周期。另外，质量检测适应性不足，传统检测设备难以快速适配不同规格电池的检测需求，检测精度与效率下降，不合格品率较单一规格生产时提升2%-3%。最后，数据集成能力薄弱，生产线各设备数据格式不统一，无法实现数据实时共享与分析，难以通过数据驱动优化生产过程。

3 面向多车型与多规格 CTP 电池柔性生产线设计优化

3.1 生产线布局优化设计

生产线布局优化采用“模块化+U型单元”结合的设计模式，打破传统直线型布局的局限，根据CTP电池生产流程将生产线划分为电芯预处理、集成装配、热管理安装、检测包装四个核心模块，各模块采用标准化接口设计，可根据产品规格需求灵活调整模块组合顺序。每个核心模块内部采用U型布局，将相关设备紧凑排列，减少物料搬运距离，较传统布局缩短搬运时间30%以上。在模块之间设置智能物流通道，配备AGV自动导引车与智能货架，实现物料在各模块间的自动化转运与精准配送。同时，预留15%-20%的布局空间，用于新增设备或调整模块位置，适配未来新车型电池生产需求。此外，布局设计中融入人机工程学理念，在操作岗位设置可调节高度的工作台与舒适操作区域，降低员工劳动强度；在检测模块周边设置质量分析区，实现检测数据实时分析与工艺调整，形成“生产-检测-优化”的闭环布局，提升生产连续性与稳定性。

3.2 设备选型与配置优化

设备选型遵循“高兼容性、高自动化、可扩展性”原则，核心加工设备选用具备多规格适配能力的机型，如电芯排列机采用伺服驱动与视觉定位系统，可通过调整定位参数适配不同尺寸电芯的排列需求，适配电芯尺寸范围覆盖100-300mm长度、50-150mm宽度。激光焊接机选用光纤激光焊接设备，配备可调节焊接头与智能焊接参数数据库，针对不同厚度的电芯极耳与连接片，自动调用最优焊接参数，焊接合格率稳定在99.5%以上。配置智能中央控制系统，实现所有设备的集中管控与参数同步，设备换型时通过系统一键调取参数，换型时间缩短至1小时以内。同时，配置冗余设备，对焊接、检测等关键工序，在主设备旁增设备用设备，当主设备出现故障时，备用设备可快速投入使用，设备综合效率提升至85%以上。另外，选用具备数据采集功能的智能设备，设

备运行参数、加工数据实时上传至生产管理系统，为生产优化提供数据支撑。

3.3 工艺路线优化

工艺路线优化以“标准化基础工序+差异化定制工序”为核心思路，梳理不同规格CTP电池的生产流程，提炼出电芯清洗、烘干、壳体预处理等12项基础工序，制定统一的工艺标准与操作规范，确保基础工序的稳定性与一致性。针对不同车型电池的差异化需求，如电芯集成方式、热管理结构等，设置定制化工序单元，通过快速更换工装夹具与调整工艺参数实现差异化生产^[3]。优化工序衔接流程，采用并行工程理念，将热管理系统安装与电芯集成装配工序并行开展，缩短生产周期20%以上。在关键工序增设在线检测节点，如在电芯集成后设置三维尺寸检测工位，采用视觉检测设备实时检测集成精度，检测不合格品直接转入返工单元，避免不合格品流入下道工序。同时，建立工艺参数优化模型，基于生产过程中采集的设备参数、质量数据，通过大数据分析优化各工序工艺参数，如调整焊接电流、压力等参数，将电芯连接强度提升15%，降低产品故障率。此外，优化物料供应流程，采用“工位旁及时供料”模式，根据各工序生产节奏精准配送物料，减少物料等待时间。

4 多车型与多规格 CTP 电池柔性生产线效率提升策略

4.1 生产调度优化

生产调度优化采用“智能算法+动态调整”的调度模式，引入遗传算法与粒子群优化算法相结合的智能调度系统，根据订单需求、设备状态、物料库存等实时数据，自动生成最优生产计划，合理分配各规格电池的生产任务与设备资源，实现生产负荷均衡分配，设备利用率提升至90%以上。建立订单优先级分类机制，根据订单交付周期、客户重要性等因素，将订单分为紧急、常规、批量三类，紧急订单优先安排生产，常规与批量订单合理穿插，减少订单交付延迟率。实施动态调度机制，通过生产管理系统实时监控生产进度，当出现设备故障、物料短缺等异常情况时，系统自动重新计算调度方案，快速调整生产任务，将异常情况对生产进度的影响降至最低。例如，当某焊接设备故障时，系统可自动将生产任务分配至备用设备，并调整后续工序生产节奏。同时，建立跨部门调度协调机制，生产、物流、质量等部门实时共享调度信息，协同解决生产过程中的问题，确保调度方案顺利执行。此外，定期对调度数据进行分析，优化调度算法参数，提升调度方案的精准度。

4.2 质量管理与效率协同提升

质量管理与效率协同提升采用“全流程质量管控+质量问题快速响应”体系，构建“事前预防、事中控制、事后改进”的全流程质量管控模式。事前通过FMEA分析识别生产过程中的潜在质量风险，针对高风险工序制定专项质量控制方案，如对电芯焊接工序，提前优化焊接参数并进行试生产验证。事中在各关键工序设置质量检测节点，采用自动化检测设备实现质量数据实时采集与分析，当检测数据超出标准范围时，设备自动停机并发出警报，避免不合格品批量产生。同时，建立质量与效率协同分析模型，通过大数据分析质量问题与生产效率之间的关联，如分析某类质量缺陷对工序耗时的影响，针对性制定改进措施，在提升质量的同时提升效率。事后建立质量问题追溯体系，通过产品唯一标识追溯生产过程中的设备、人员、参数等信息，快速定位质量问题根源，制定纠正与预防措施，并将改进措施融入生产流程。推行质量激励机制，对质量达标且效率较高的班组给予奖励，激发员工质量与效率意识，实现质量管理与生产效率的同步提升。

4.3 人员管理与培训优化

人员管理与培训优化紧密围绕“复合型人才培养+高效团队建设”这一核心目标全面展开。为达成这一目标，企业精心构建了“分层分类+模块化”的培训体系，依据操作员工、技术人员、管理人员的不同岗位需求，量身定制专属培训内容。对于操作员工，重点开展多工序操作培训。借助先进的虚拟仿真培训系统，逼真模拟不同规格电池的生产操作流程，让员工在虚拟环境中反复练习，熟练掌握至少3个工序的操作技能，实现一人多岗。如此一来，在面对不同生产任务时，人员调配更加灵活高效，大大提升了整体生产效率。技术人员则聚焦于专业技能的提升，着重培训设备维护、工艺优化、智能系统操作等关键技能。企业定期组织技术交流活动，邀请行业内的资深专家开展技术讲座，分享前沿技术与

宝贵经验。通过这些活动，技术人员能够接触到最新的行业动态，拓宽技术视野，进而提升解决复杂问题的能力，为生产线的稳定运行提供坚实的技术保障。管理人员则侧重于生产调度、质量管控、团队管理等知识的培训，以提升其管理决策水平，确保生产过程的高效有序进行^[4]。为激励员工主动提升技能，企业建立技能等级评定机制，根据员工技能水平划分不同等级，并与薪酬待遇紧密挂钩。同时，推行团队化管理模式，将生产员工、技术人员、质量检验人员组成跨职能团队，明确团队职责与目标，开展团队绩效考核，鼓励团队内部协同合作，快速解决生产过程中的问题。企业还积极营造良好的工作氛围，通过举办员工座谈会、文体活动等方式，增强员工的归属感，有效降低员工流失率，为企业的持续发展奠定坚实的人才基础。

结束语

多车型与多规格CTP电池柔性生产线是顺应新能源汽车发展趋势的必然选择。本文通过对其理论基础、现状剖析，针对性地提出设计优化与效率提升策略，涵盖布局、设备、工艺、调度、质量、人员等多个维度。这些策略有助于解决现有生产线兼容性不足、效率低下等问题，提升生产线的柔性化与智能化水平。未来，随着技术不断进步，柔性生产线将进一步完善，推动CTP电池产业高质量发展。

参考文献

- [1]金加奇.孔祥伟.赵清洲等.用于飞机舱门装配的柔性工装设计[J].机械设计与制造,2023(03):135-140+145.
- [2]段彬.张湘鄂.张勇等.白车身制造柔性工装应用和尺寸控制方法[J].模具工业,2022,48(11):1-8.
- [3]裴兴林.智能虚拟生产车间支持下的机械制造课程群教学实践探析[J].中国机械, 2025,(19):173-176.
- [4]胡舜.某机械制造车间受风荷载倒塌原因分析[J].安徽建筑, 2025, 32(06): 179-181.