

生产线自动化改造中模具适配优化方案探讨

卢春民

宁波凯敏盛机械有限公司 浙江 宁波 315800

【摘要】：生产线自动化改造能提升制造节拍和质量一致性，但模具若仍停留在人工操作口径，容易在定位、退料、废料排出和换模维护中形成新的瓶颈。文章围绕模具适配优化，分析旧模具与自动化设备之间的失配表现，提出模具状态评估、接口标准化、抓取定位优化、废料润滑联锁和分阶段验证等方案，并强调以运行数据回流支撑持续改进。相关做法可为离散制造企业推进自动化改造提供系统化思路。

【关键词】：生产线自动化；模具适配；优化方案；冲压产线；智能制造

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.029

引言

制造企业推进生产线自动化改造时，常把注意力放在机械手、输送线、传感器和控制系统上，却低估了模具适配对整线稳定性的影响。模具既决定制件成形质量，也决定上料、取件、退料和换模是否顺畅。若旧模具未经过接口、定位、废料和安全联锁改造，自动化设备只能在理想状态下运行，遇到材料波动或模具磨损便会频繁停线。围绕模具适配建立优化方案，是把自动化投入转化为稳定产能的必要环节。

1 自动化改造中模具适配的现场基础

1.1 产线节拍与旧模具状态的耦合

生产线自动化改造往往先从搬运、定位、检测和信息采集环节展开，但模具适配才是决定改造能否稳定运行的关键环节。原有模具多按人工或半自动节拍设计，导向、压料、退料和废料排出依赖操作者经验，进入自动化产线后会被机械手动作、传送机构节拍和安全联锁重新约束。若只给旧模具增加外部接口，而不检查模具内部运动状态，短期可以完成试生产，批量运行时却容易出现取件姿态不稳、废料堆积、定位基准漂移和换模时间拉长等问题。原有模具多按人工或半自动节拍设计，导向、压料、退料和废料排出依赖操作者经验，进入自动化产线后会被机械手动作、传送机构节拍和安全联锁重新约束^[1]。改造前必须把模具作为生产单元的一部分重新审视，先确认它能否接受稳定上料、可靠定位、连续退料和异常停机后的复位要求。

1.2 适配优化的边界条件与评价对象

模具适配优化不能只追求让设备能够动作，还要判断动作背后的质量边界。不同模具在闭合高度、导柱磨损、定位销间隙、压料面状态和制件刚度方面差异明显，同一台机械手抓取不同制件时，吸附点、夹持点和姿态转换也会改变。若评价对象只停留在单件合格，产线连续运行中的累积偏差、换模后的重复定位和异常件剔除就会被忽略。较为稳妥的做法是把适配边界拆为制件边界、模具边界、设备边界和管理边界：制件边界关注成形后姿态和可抓取区域，模具边界关注退料、导向和

废料通道，设备边界关注机械手行程和防干涉空间，管理边界关注点检、换模和版本控制。较稳妥的做法是把适配边界拆为制件边界、模具边界、设备边界和管理边界，分别对应成形姿态、退料导向、机械手行程和点检换模要求^[2]。

2 模具适配中常见失配表现

2.1 定位、取放与退料动作不协同

模具失配最先暴露在定位和取放环节。人工生产时，操作者可以根据制件轻微变形调整摆放角度，也能在退料不顺时即时扶正；自动化生产线则要求上料位置、压料动作、制件释放和机械手取件保持可重复。旧模具若定位面磨损或导向间隙偏大，制件进入下道前姿态会出现微小偏转，机械手末端只要沿固定轨迹抓取，就可能发生吸盘漏气、夹爪偏压或边缘碰擦。退料机构若回位不彻底，制件会停在模腔边缘，传感器未必马上识别异常，下一拍合模就可能形成模具损伤。更麻烦的是，这类问题往往不是每一件都出现，而是在材料批次、润滑状态和温度变化后间歇发生，现场容易误判为设备偶发报警。旧模具若定位面磨损或导向间隙偏大，制件进入下道前姿态会出现微小偏转，机械手末端只要沿固定轨迹抓取，就可能发生吸盘漏气、夹爪偏压或边缘碰擦^[3]。

2.2 换模维护与异常处置缺少统一口径

另一类失配来自换模和维护。自动化改造后，模具不再只是安装到压力机上即可生产，还要接入气路、电气、识别、润滑和安全互锁。若模具接口没有标准化，不同班组换模时容易出现插头混接、气压设定不一致、传感器位置偏差和程序调用错误。维护记录如果只写模具本体修磨情况，不记录机械手抓取点、定位块调整和异常停机原因，后续复盘就难以追溯。部分旧模具还存在废料滑道角度不足、弹簧疲劳和导向部位轻微拉伤等隐患，人工生产阶段可以边生产边处理，自动化产线中却会快速放大为节拍中断。模具适配优化需要把换模标准、点检项目和异常处置写成同一口径，让模具维修、设备调试和质量检验共享同一份状态信息。若只由单个岗位凭经验判断，改造后的自动化能力很难沉淀为稳定产能。

3 模具适配优化方案设计

3.1 建立模具状态评估与接口标准

适配优化的第一步是做模具状态评估，而不是直接安装传感器或改变机械手轨迹。评估内容应覆盖模具闭合状态、导向精度、压料稳定、退料顺畅、废料排出、可抓取区域和安全复位条件。对可继续使用的模具，应建立接口标准，把定位基准、气电连接、传感器安装、识别编码和吊装方式统一起来；对状态波动较大的模具，则先处理导向修复、压料面整修和退料机构恢复，避免把本体缺陷转移给自动化设备。接口标准需要服务日常换模，所有外接气路和信号线应采用明确标识，程序调用应与模具编码绑定，防止人工选择错误。接口标准需要服务日常换模，所有外接气路和信号线应采用明确标识，程序调用应与模具编码绑定，防止人工选择错误^[4]。同时，评估表不宜写成一次性验收文件，而要随着模具维护、异常停机和质量反馈持续更新。对于多品种共线生产，还应按制件尺寸、刚度和抓取方式建立模具族，优先改造通用接口，再处理少数特殊结构。

实施时可先建立分级处理办法。状态稳定、结构清晰的模具列入直接适配清单，重点完成接口统一和信号确认；存在轻微磨损但可修复的模具列入整改清单，先完成导向、退料和废料通道恢复；结构不适合自动化的模具列入再开发清单，避免在旧结构上反复追加外部机构。接口标准发布后，还应安排试换模验证，让不同班组按同一文件完成拆装、接线、点检和首件确认。文件中要保留模具照片、接口位置、允许调整范围和复验方法，使标准真正进入现场执行。现场应把该项措施转化为检查清单和责任节点，明确调整前的确认条件、调整中的记录要求以及调整后的复验方法。对班组而言，清单越具体，越能减少口头交接造成的偏差；对工艺人员而言，记录越连续，越容易判断问题来自结构、控制还是维护。该措施还应与备件、培训和异常停机流程联动，避免方案写在文件中而没有进入日常生产。

3.2 优化上料定位、取件抓手与防干涉空间

上料和取件方案要围绕制件姿态稳定来设计。上料端可采用导向块、浮动定位和到位确认组合，既保证坯料进入模具前有明确基准，又避免刚性过定位导致卡滞。取件端应根据制件成形后的重心、边缘强度和表面要求选择吸附、夹持或混合抓取方式，吸盘不宜布置在起伏较大或油污集中的区域，夹爪不宜压在外表面和易变形边上。防干涉空间需要在模具开口、机械手进入、制件翻转和废料滑落之间留出余量，不能只在空载状态检查轨迹。对旧模具改造，可通过增加退料导向、调整托料块和设置限位确认来减少取件随机性。防干涉空间需要在模具开口、机械手进入、制件翻转和废料滑落之间留出余量，不能只在空载状态检查轨迹^[5]。因此，适配方案应把抓手、模具

和压力机视为一个运动系统，先完成离线干涉审查，再进行低速联调和连续节拍验证。

具体设计中，抓手方案应先通过样件试夹确认，再进入正式加工。对于刚度较弱的制件，可采用多点支撑分散夹紧力；对于表面质量要求高的制件，可选用可更换软垫并规定清洁周期；对于姿态变化明显的制件，可增加浮动补偿，让抓手在闭合前自行贴合基准。防干涉审查应覆盖正常动作和异常动作，尤其是制件未脱离、夹爪未打开、模具未完全回位等场景。联调阶段先低速确认进入、夹持、退出和放置动作，再逐步压缩等待时间，避免把结构问题误当作控制参数问题。现场应把该项措施转化为检查清单和责任节点，明确调整前的确认条件、调整中的记录要求以及调整后的复验方法。对班组而言，清单越具体，越能减少口头交接造成的偏差；对工艺人员而言，记录越连续，越容易判断问题来自结构、控制还是维护。该措施还应与备件、培训和异常停机流程联动，避免方案写在文件中而没有进入日常生产。

3.3 重构废料排出、润滑与检测联锁

自动化产线对废料、润滑和检测的敏感度高于人工线。废料排出不畅会影响下模定位面清洁，润滑波动会改变制件出模阻力，检测信号缺失会让异常件进入下一拍。适配优化时，应检查废料滑道坡度、落料口尺寸和清理便利性，必要时增加吹扫、导流和满料提示；润滑系统应区分模具润滑和坯料润滑，避免油量过大影响吸附，油量不足又造成拉伤。检测联锁不能堆砌传感器，而要围绕关键风险布置，例如坯料到位、制件取出、退料复位、废料堆积和安全门状态。每个信号都要有清楚的处置逻辑，报警后是暂停、复位、剔除还是降速运行，必须提前写入程序。检测联锁不能堆砌传感器，而要围绕坯料到位、制件取出、退料复位、废料堆积和安全门状态等关键风险布置^[6]。落实到现场时，还要把报警原因分类记录，避免所有停机都被简单归为设备故障。联锁重构还要坚持少而准。关键位置应设置能够直接判断风险的信号，而不是把所有可安装位置都布上传感器。废料区重点确认是否堵塞，润滑区重点确认供给是否稳定，模具区重点确认制件是否取出和退料是否复位。每个报警都要对应清晰动作，例如停在安全位、禁止合模、提示清理或允许人工确认复位。若报警过多且含义不清，班组容易绕过联锁，安全和质量风险反而增加。联锁方案还要进入日常点检，确保报警、清理和复位口径能够被班组稳定执行。对连续冲压场景而言，清楚的复位边界还可以减少人为判断差异，让设备保护和模具保护同步发挥作用。这一安排能让模具保护、人员安全和制件质量保持同一处置节奏。这些状态点应放在同一套联锁逻辑中处理，避免局部正常而整线失稳。

4 实施验证与持续改进机制

4.1 分阶段完成试模、节拍和质量验证

模具适配方案不能一次性切入满负荷生产。实施时可按空载联调、单循环试模、低速连续、稳定节拍和批量验证逐步推进。空载联调用于排查机械手、模具和压力机之间的干涉；单循环试模用于确认坯料定位、制件取出和退料复位；低速连续用于观察废料、润滑和报警逻辑；稳定节拍用于验证产能与质量是否同步达标；批量验证则关注换模后重复性和班组操作一致性。每一阶段都要设置退出条件，不能因前一拍成功就默认后续可靠。质量验证应检查成形尺寸、表面压痕、边缘变形和装配基准。若发现质量波动，应优先回到模具定位、取件姿态和润滑状态，而不是先调快或调慢整线节拍。这样推进虽然前期更细，但能减少批量后反复停线的风险。

阶段验证还应保留可对比样本。试模阶段记录制件姿态、废料状态和报警原因，节拍阶段记录等待点，质量阶段记录尺寸和装配反馈。若某一阶段出现问题，应只调整最可能的影响项并重新验证，避免同时改动夹具、程序和参数。项目负责人要确认进入下一阶段的条件，让验证成为控制风险的闸口。现场应把该项措施转化为检查清单和责任节点，明确调整前的确认条件、调整中的记录要求以及调整后的复验方法。对班组而言，清单越具体，越能减少口头交接造成的偏差；对工艺人员而言，记录越连续，越容易判断问题来自结构、控制还是维护。该措施还应与备件、培训和异常停机流程联动，避免方案写在文件中而没有进入日常生产。

4.2 用数据回流支撑模具族持续优化

适配优化完成后，还需要让数据持续回流。每套模具应建立运行档案，记录换模时间、报警类型、返修原因、抓取失败、

废料清理和维修内容。工艺人员定期把这些信息与模具族分类对照，判断问题是哪个模具磨损、某类制件抓取困难，还是整线接口标准不足。对高频问题，应形成标准化改进包，例如更换定位块、调整抓手孔位或优化废料滑道；对低频高风险问题，应保留停机和复产预案。数据回流还可以服务后续新模开发，新模设计阶段就预留抓取面、传感器孔位、废料通道和识别接口，减少投产后的二次改造。管理上要把换模稳定、返修减少和异常复位时间纳入考核。让模具经验进入设计、制造和维护，自动化改造才会变成持续优化能力。

数据回流最终要进入模具族管理。相同尺寸区间、相近制件刚度和相同抓取方式的模具，可以共享接口标准、点检模板和异常处置经验。新模开发时，设计人员直接读取既有模具族的运行问题，把抓取面、废料通道、传感器孔位和维护空间提前纳入图纸。生产计划部门也能据此安排换模顺序，减少高风险模具连续切换。现场应把该项措施转化为检查清单和责任节点，明确调整前的确认条件、调整中的记录要求以及调整后的复验方法。对班组而言，清单越具体，越能减少口头交接造成的偏差；对工艺人员而言，记录越连续，越容易判断问题来自结构、控制还是维护。该措施还应与备件、培训和异常停机流程联动，避免方案写在文件中而没有进入日常生产。

5 结语

生产线自动化改造中的模具适配优化，应从旧模具状态、设备动作、制件质量和现场维护四个维度同步展开。只有先识别定位、取放、退料、废料和换模环节的真实失配，再通过接口标准、抓手优化、连锁重构和分阶段验证逐步固化，自动化产线才能形成可复制的稳定节拍。后续还应把运行数据回流到模具族管理和新模开发中，使一次改造沉淀为长期工艺能力。

参考文献：

- [1] 李明昕,韩振强,王非,等.商用车冲压线数字化规划及提升[J].锻造与冲压,2026,(8):67-73.
- [2] 朱承强.自动化冲压生产线在新能源汽车生产中的应用[J].内燃机与配件,2025,(22):51-53.
- [3] 吴玉川,朱进华,羊彦伦,等.冲压设备自动化产线建设及关键技术研究[J].轨道交通装备与技术,2025,33(4):55-59.
- [4] 赖明凯,郑东海,陈绵鹏.基于工业机器人的智能冲压工艺系统设计[J].机电工程技术,2023,52(8):124-128.
- [5] 王展,蒋鑫强,柯晓义,等.多款式智能切换冲压模具的研发与安全生产创新实践[J].锻造与冲压,2026,(10):18-21.
- [6] 李小冬.冲压旧模自动化生产线改造方案的优化研究[J].造纸装备及材料,2022,51(9):34-36.