

# 样试及小批量生产的智能排产系统建设

文/刘晓腾 张春明 徐传贵 曹 斌 刘彤彤  
潍柴动力股份有限公司

**摘要：**新产品样试生产及小批量生产模式涉及的产品种类多且工艺复杂，生产过程受毛坯、刀具、工装及设备等各类资源约束，且主要依靠人工进行生产排产，排产效率低、设备利用不均衡，无法宏观校核产能，存在较多生产瓶颈。智能排产系统通过实时采集设备数据、实时响应设备异常、实时管理资源库存、实时校核产能及实时监控生产进度等手段，进行产能校核及资源齐套性检查，输出最优排产方案，实现设备均衡利用率最大化。

**关键词：**智能排产；样试生产；数据采集；产能校核；齐套性检查；均衡利用率

生产制造行业中存在很多生产部门，承担企业各类新产品样试生产、工艺验证及小批量生产的任务，生产特性为产品种类繁多、加工工艺复杂及生产约束条件多。目前为止没有适用于该生产模式的成熟自动化排产系统，主要依靠人工根据工艺路线和经验进行生产排产，无法宏观把控设备状态、生产异常及资源库存等信息，导致排产方案存在很多局限性。

1) 设备数量多，无宏观把控，设备利用不均衡。加工中心类、专机类及辅机等各类设备数量多，现场无信息化系统对设备进行数据采集，无法宏观把控各设备运行状态、生产情况等。人工排产使部分设备生产拥挤、部分设备闲置，导致设备利用率不均衡。

2) 物料约束多，无产能校核，设备生产易中断。产品型号复杂导致生产所需要物料种类繁多，如毛坯件、工具工装、刀具及外协件等资源。在进行生产排产时，无法及时获取各项资源余量，无法准确预估现有生产资源是否满足产品生产要求，出现生产时缺料的情况。

3) 产品种类多，工艺路线杂，人工排产效率

低。该生产模式主要为新产品样试生产、新工艺验证以及小批量生产，生产涉及产品系列多，且每种系列又可细分为十几种型号。每种型号的产品加工工艺不同，均需经历数道甚至数十道工序才能加工完成。并且设备数量多、种类多、机型复杂，生产排产时主要由人工根据生产经验进行，导致生产排产时方案复杂，无法快速确认排产最优方案。

4) 无实时指标，无生产记录，设备无宏观把控。无法实时查看设备的各类运行数据，如设备利用率、可动率、开动率、平均修复时间（MTTR）及平均无效故障工作时间（MTBF）等指标，仅能通过月末时人工记录的数据进行手工计算。并且设备相关的成本、质量、工艺、安全及人力等指标也仅依靠每月从其他系统内导出后再进行人工计算。设备执行的加工程序、刀具寿命信息、完工产品信息、后续生产计划等信息均无法在系统内实时查询和记录。无可视化界面和设备相关指标、生产情况等宏观展示。

为此，本文针对该生产模式，对生产过程管理的业务需求，综合运用设备数据采集、生产调度和生产过程控制等先进技术成果，建立一套样试及小

批量生产的智能排产系统，涵盖设备宏观管控、计划管理、调度决策和过程控制等功能，实现对车间生产的数字化管控，提高车间整体的生产运作效率。系统的主要功能有：

1) 设备数据采集与可视化。实现设备数据实时采集与记录，数据采集软件将采集到的数据进行筛选、清洗，对数据进行运算处理，并与其他信息化系统互联互通。同时开发可视化界面，自动计算产品工时、设备指标等数据，实现设备相关指标数据、产量数据、刀具信息、成本指标、人力信息和工艺信息等内容的展示。

2) 设备生产最优化与可视化。实现工艺资源的在线管理，实现物料、工具、工装及刀具等资源的库存管理，根据生产计划和资源信息进行产能校

核，输出最优化排产方案，并对产品生产过程进行监测，实现生产过程可视化。

3) 设备异常时可快速重调度。评估产品交付时间，充分考虑生产异常情况（设备故障、工装及刀具损坏等）对排产顺序以及交付时间的影响，并迅速响应异常，对产品交付时间进行迅速评估以给出最优应对策略。当出现的异常情况不满足继续生产或生产计划发生变化时，快速进行重调度，依据现有资源再次进行最优化排产。

## 方案设计

项目实施方案主要分为基础数据准备、排产算法开发及生产过程监控三个阶段，如图1所示。

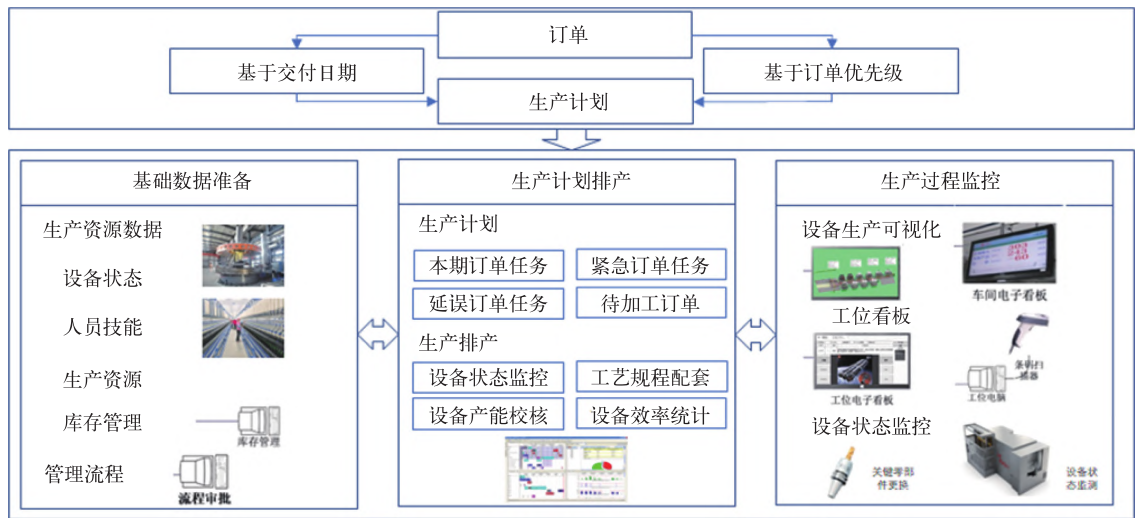


图1 智能排产系统方案设计

### 1. 基础数据的准备

#### (1) 数据类型

系统建设需要对设备进行数据采集并对数据进行清洗、筛选，对设备状态进行实时监测，对人员技能进行识别，以及对工具工装、刀具、产品原材料等物料进行库存管理。系统需要关联各项成本数据，包括人工费用、能源费用、维修费用、刀具费用、工具工装费用等，实现单台设备或单台产品的费用细化。

#### (2) 数据采集技术路线

通过数据采集边缘网关与设备相连，设置好每台设备与边缘网关的IP地址，逐台设置设备数据采集的通信协议，并根据Mapping地址表设置各数据

的采集地址。采集的数据经过边缘网关的数据清洗及缓存，以数据包的形式上传至服务器数据库，并在服务器内经过运算生成设备的各项指标及各种图表。

#### (3) 数据互联互通

该系统需实现与其他信息化系统的互联互通，实现物料数据、工艺数据及订单信息等内容的自动上传。由物料管理系统提供刀具、工装等物料的仓储信息，由工艺系统提供工艺路线信息，由生产计划系统提供样试生产订单信息。由物料、工艺、生产管理系统提供输出信息的数据接口，该系统与接口绑定并制定规范的数据传输模板，包括字符串含义、数据格式、数据长度、数据内容等。数据接口

成功绑定后,当物料、工艺及生产管理系统数据发生变化时,会将信息同步传输至该系统,实现数据的实时变化。另外,在该系统内实现毛坯物料接收与库存管理功能和批量生产订单导入功能,实现人工使用扫码设备接收或领用毛坯物料以及人工导入批量订单的功能,无法通过信息化系统同步数据的输入。

## 2. 排产算法开发

该阶段主要是根据下发的生产订单,校核所需要的物料是否满足生产需求,验证工艺路线内涉及的所有设备状态是否正常,开发一套确保所有设备均衡利用的算法。

针对所创建的生产订单,采用订单驱动算法生成最优化排产方案,并以生产日历、设备甘特图等多种形式进行可视化。同时提供多种优化目标的选择,实现计划手动调整的功能。展示出完成该批订单所需要的设备、物料等各类资源的明细,以及完整的产品流转工艺路径。

## 3. 生产过程监控

该阶段主要是在系统运行过程中对生产情况进行实时监控,对设备进行动态调度,优化设备利用情况,识别生产过程中存在的初始瓶颈和动态瓶颈。

### (1) 设备能力校核

设备能力校核及资源的齐套性检查,需要将订单数据录入到系统中创建生产计划,并计划周期对订单进行拆分。应用排产算法进行预排产,并进行设备产能校核与资源齐套性检查。算法根据设备产能及资源齐套性检查是否通过校验,以及不通过时设备状态是否可恢复、缺少的资源是否可以补齐等条件,生成最优化的排产方案。产能校核是为了确认在计划周期内设备生产能力能否满足生产计划内产品的加工需求,资源齐套性检查是为了确认在计划周期内各种物料和生产资源是否充足。如果出现产能不足或者资源缺乏等情况,则需要提示管理人员进行生产计划的调整或者是资源补齐。

### (2) 设备动态调度

针对生产过程中出现的突发状况,如设备发生故障时是否可在短时间内恢复,物料缺失时是否可快速补齐以及紧急插单或撤单等情况,实现对排产计划的动态调度,当资源情况或订单发生变化时,

可快速重新生成最优化排产方案。

### (3) 生产瓶颈识别

排产方案生成后,要进行初始瓶颈识别,根据产品工艺路线、加工设备及对应加工时间,统计所有工艺路线上所有设备所需加工总时间,根据各设备总加工时间找出所需加工时间最长的设备,定为初始瓶颈。将瓶颈、产品加工路线及加工时间输入,基于瓶颈识别的排产算法进行排产。排产过程可选择“延期最短”“设备利用均衡”等指标为优化目标。根据排产方案进行动态瓶颈识别,将新识别出的瓶颈输入排产算法再进行优化,最终以甘特图的形式输出。

## 系统实施

利用信息化、数字化的技术手段,围绕产品在流转和加工过程中资源的数据存储、设备生产记录管理、运行过程跟踪及管理报表生成等功能,如单台或所有设备的利用率、成本消耗及运行状态监测,单类或所有产品的成本消耗、产量信息、相关设备,各工件在设备间的流转记录、当前状态及质检情况等内容,结合可视化界面的开发,建立了智能排产系统,实现对车间运营的数字化与智能化管理。

### 1. 设备数据采集及全局监测

车间2.5D地图如图2所示,可以从全局视角查看车间设备布局,并在系统主界面展示车间温湿度、工艺质量、安全提示信息及人力指标等模块的内容。



图2 车间2.5D地图

设备模块页面详细展示了各设备状态(包含运行/待机/故障状态、当前倍率、全天状态演变图、正在执行程序、设备综合效率及加工数量等信息)、各状态设备数量、平均设备综合效率(平均开动率、MTTR及MTBF等指标)、设备利用率排

行及设备实时报警信息等内容。设备模块页面如图3所示。

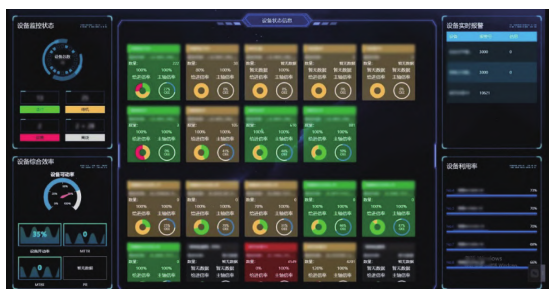


图3 设备模块页面

设备详情页面如图4所示，该页面详细展示了该设备当前状态（设备编号、运行状态、执行程序名、操作模式及数据更新时间）、设备状态演变图、运行指标（设备可动率、设备开动率、OEE及MTTR）、主轴运行参数（进给倍率、主轴倍率、主轴转速及切削时长）及当前刀具信息（刀具编号、刀具补偿信息、刀沿信息及磨损数据）等内容。



图4 设备详情页面

## 2. 工厂生产信息展示

生产模块页面如图5所示，其展示了该生产部门全月生产指标和当前生产指标，并展示了当日生产计划进展（已完成、进行中、未开始等各类计划占比），同时展示了各设备计划完成率排行及各设备切削时长排行。界面中间部分以卡片形式展示了各设备的利用情况及产量信息。



图5 生产模块页面

单台设备生产详情页面如图6所示，主要以甘特图形式展示设备生产过程，可以查看任意时间段内设备加工的产品型号及数量信息。界面还包含了当前设备全天的生产演变图、当日及当月的计划完成率、当日及当月的产量和产品型号等信息。



图6 设备生产详情页面

## 3. 成本数据精细化管理

成本模块页面如图7所示，展示了该部门消耗的各类费用总额（折旧费、刀具消耗、工装消耗、备件消耗、辅料消耗、动力费及人工费等各类费用）、各产品类型的费用消耗、月度设备费用消耗排名和单工时设备费用消耗排名，以卡片形式展示了各设备消耗的费用金额和各设备单工时的费用金额。

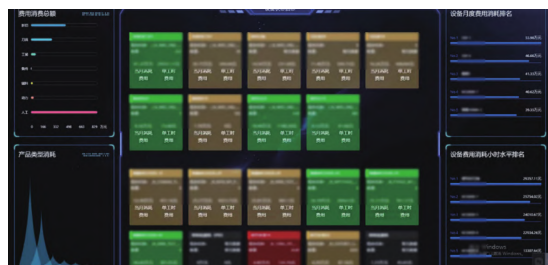


图7 成本模块页面（设备卡片模式）

单击切换按钮可将设备卡片模式切换为产品卡片模式，该界面中间部分展示了各产品的额定工时信息，如图8所示。

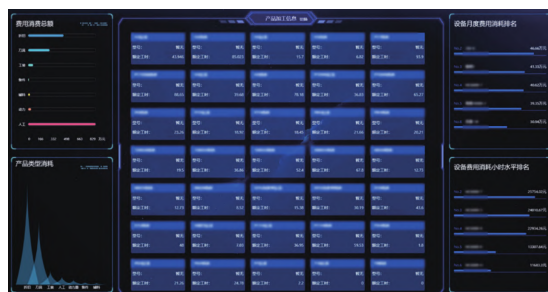


图8 成本模块（产品卡片模式）

单台设备的详细成本界面如图9所示，展示了该设备各类费用金额及同期对比信息，以及该设备消耗的各类科目费用金额和生产各类产品消耗的费用金额。



图9 单台设备详细成本界面

产品费用消耗界面如图10所示，包括每月生产该产品消耗的各类科目费用的金额明细、该月加工该产品的设备消耗的费用金额，以及每月加工该产品消耗的费用构成条形图。



图10 单类型产品费用消耗界面

## 结束语

通过对数控设备的状态监测与数据采集，实现了对设备全面、有效的监测和管理，数据采集的硬件与设备匹配，数据采集软件和企业现有系统相兼容。

智能排产算法的开发与应用，将人工依据经验

排产转变为由智能算法自动排产，并确保输出的排产方案为最优方案，极大地提高了生产方案输出的效率和质量，同时系统产能校核有效避免了生产过程中因为缺料导致停产情况的发生。

基于设备实时监测和生产过程管控的需求，综合运用数据采集、过程控制等技术，搭建了涵盖数字化、可视化及智能化的创新型信息化系统，实现了设备整体运行状态的实时监测和生产状况的数字化管控，为实现数字化车间管理奠定良好的基础。EA

## 参考文献

- [1] 施灿涛，刘璐新. 面向智能制造的设备管理应用研究[J]. 冶金设备, 2016(5): 49-52.
- [2] 郝琪. 基于APS的印刷企业生产管理系统的设计与实现[J]. 广东印刷, 2017(4): 13-15.
- [3] 赵立国. 从管理上提高设备利用率的探索[J]. 中国设备工程, 2021(7): 72-73.
- [4] 潘伟. 基于大数据的智慧工厂制造优化技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(1): 202-205.
- [5] 崔维伟，陆志强，潘尔顺. 基于多目标优化的生产调度与设备维护集成研究[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(6): 1398-1404.
- [6] 任伟，林海波，杨晓明，等. 工业物联网关键技术OPC UA分析[J]. 信息技术与标准化, 2017(10): 35-38.
- [7] 吕江，胡涛，陶思思，等. 基于大数据智能分析的可视化技术研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(7): 106-107, 132.
- [8] 王晶，郑亚楠. 基于约束的炼钢连铸动态调度模型与算法设计[J]. 制造业自动化, 2014, 36(20): 10-14.