

电力装备制造物流规划设计方案研究与实践

——以某公司为例

张鹏, 张尚铎, 赵一多, 张金亮, 段予
西安西电高压开关有限责任公司, 陕西 西安 710076

摘要 : 本文以电力装备制造数字化仓储物流管理项目为例, 通过构建自动化立体仓库和 AGV 运输物流系统, 并通过与自动化生产线数据横向集成, 实现了各类物料出入库管理及库存管理的精确纵向作业, 全面贯通了电力装备制造企业的仓储物流数字化管理。该项目显著提升了物流运营效率, 减少了非增值时间, 并优化了价值流的增值比。本文成果为今后电力装备制造及其他相似场景的物流系统数字化建设提供了有价值的参考依据, 展示了数字化技术在现代制造业物流管理中的应用潜力和实际效益。

关键词 : 电力装备制造; 智慧物流; AGV; WMS 系统; 精益物流

Research and Practice on Logistics Planning and Design of Electric Power Equipment Manufacturing Industry—A Case Study of a Company

Zhang Peng, Zhang Shangduo, Zhao Yiduo, Zhang Jinliang, Duan Yu
Xi'an XD High Voltage Apparatus Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710018

Abstract : This paper presents a case study of the digital warehouse and logistics management project within the power equipment manufacturing industry. By developing an automated vertical warehouse alongside an Automated Guided Vehicle (AGV) transportation logistics system, and by horizontally integrating data with automated production lines, this initiative has successfully achieved precise vertical operations for material handling in and out of the warehouse as well as effective inventory management. Furthermore, it has fully integrated digital management practices for both warehousing and logistics within the power equipment manufacturing enterprise. The outcomes of this project have led to significant enhancements in logistical operational efficiency, a reduction in non-value-added time, and an optimization of the value-added ratio across the value stream. The results of this paper provide a valuable reference for the digital construction of logistics system in power equipment manufacturing industry and other similar scenarios in the future, and show the application potential and practical benefits of digital technology in modern manufacturing logistics management.

Keywords : manufacturing of electrical equipment; smart logistics; AGV; WMS system; lean logistics

引言

智能制造是本世纪制造业改革的重要策略。随着全球经济的快速发展和技术的不断进步, 制造企业面临的国际竞争日益激烈。美国的“先进制造业国家战略计划”、德国的“工业4.0”战略^[1]以及我国的“中国制造2025”战略计划^[2], 充分说明了智能化转型升级、打造数字化工厂已成为传统制造企业提升自身核心竞争力的必由之路。其中, 仓储物流作为贯穿整个生产制造的重要组成部分, 其高效运作直接影响到企业的生产效率和市场响应速度^[3]。

对此, 某公司以两型(制造型、服务型)三智(智能化产品、智能化制造、智慧电气系统解决方案)为指引, 实施“绿色共享, 智慧制造”策略, 以仓储物流资源集约化、作业自动化、运营智能化、管理可视化为目标, 推进数字化仓储物流项目, 为企业仓储物流降本领先、服务最优和建设投资回报最优战略目标提供强有力支撑。

本项目针对电力装备制造业的仓储物流现状痛点, 以数智化、精益化、绿色低碳为导向, 构建智慧物流解决方案, 填补行业智慧仓储应用空白。通过将该方案融入电力装备制造业的“灯塔工厂”升级, 优化仓储配送流程, 提升配送准时率, 降低成本, 物流可视化, 快速响应决策, 实现仓储物流的数字化管理的全面贯通。

一、企业物流现状分析

电力装备制造物料种类繁多，现行仓储模式面临三大挑战：低集约度的平库与低货架；物料入库、查找及配送依赖人工，效率低；入库信息更新滞后。这些问题严重制约物流效率和生产流畅性，亟需优化物流规划，提升整体管理水平。下文将从入库、存储、配送三方面展开分析。

（一）物料检验入库现状

（1）物料库存积压

物料管理中，为降低运输成本，常出现超计划多送现象，导致库存积压，增加了仓储空间需求和管理难度，制约了资金流动性，影响运营效率。

（2）物料到货时效性差

物料采购中，部分物料未按计划到货，导致领料不齐套，引发半成品积压、生产进度受阻，甚至停工，严重影响生产效率和产能利用率，反映出供应链协调性不足，降低了整体响应速度。

（3）物料入库现场人员杂乱

现行仓储模式下，供应商现场翻包摆盘及资料提交导致外来人员频繁出入，增加秩序管理和安全管理难度，外来人员操作不当引起的返修频发降低了入库效率，且存在安全隐患。

（4）物料入库检验效率低

检测手段落后且效率低，来料检测耗时长，导致物料堆积、入库延迟，成为入库瓶颈，影响供应链响应速度并制约企业生产能力。

（二）物料存储现状

（1）仓库管理系统（WMS）对接时效性欠佳

目前仓库由某物流公司管理，双方系统未完全对接，导致实物流与信息流不同步，库存数据不准，库存管理和决策效率及物流响应能力降低^[3]。

（2）原材料存货载具不统一，标准化程度低

原材料载具缺乏统一标准，增加存储和搬运复杂性，且无格挡设计易致零件损坏，影响物料质量与生产效率，同时加大库存管理难度，降低调配效率。

（3）原材料存储不集中

仓库场地紧张，部分物料分散存储于车间或户外，提升库存管理难度，调配效率低下，同时户外存放易损害物料质量，增加存储安全风险。

（4）产成品仓库发货效率低

露天存储影响产品质量，找货与工程完整性依赖人工盘点，缺乏条码管理，发货确认周期长，效率低下。

（三）生产物料清洗配送现状

（1）零件清洗标准不统一

大件物料清洗效率低、耗时长，人员冗杂成本高，部分装配件运达产线后需进行二次清洗，增加人力与时间成本；清洗标准不统一，影响生产质量和产品一致性。^[4]

（2）载具周转利用率低

空载具返还不及时，周转率低，日均仅一次周转，无法满足

高效生产需求，延长配送周期，增加物流成本，降低运行效率^[5]。

（3）超量配送，产线物料缓存过多

产线物料缓存过多源于大批量集中配料方式，导致线边堆积、灵活性下降、操作复杂性增加，降低生产效率，占用空间并增加损耗与运营成本。

二、总体物流规划

公司以准时化、精益化、一体化、数智化、绿色化和引入第三方物流六大战略为核心导向，致力于全面提升物流运营效率。为达成这一目标，公司采用自动化堆垛机立体库、扫码枪及PDA终端等智能设备，显著增强了出入库操作的效率，并有效降低了人力成本。通过整合仓库管理系统（WMS）、仓库监控与调度系统（WES）、物流执行系统（LES）及AGV调度系统，构建智慧物流运营平台，实现仓储与配送环节的高效集成^[6]。

在物料配送及空载具回收方面，采用AGV自动化方式，提升配送效率，降低用工成本。同时，公司通过建设供应商管理系统（SRM）实时监控供应商物料的送货进度，以确保供应链运行顺畅。在仓库管理系统（WMS）中增设齐套预警功能，而制造执行系统（MES）则在开工前对物料齐套性进行检测，有效避免了生产中中断的风险。

公司通过严控周转天数、滚动锁定日产计划、齐套与节拍配送等运行规则，优化物流作业，提升效率，助力可持续发展。

（一）物流业务规划

如图1，配送物流业务主要包含四个阶段：需求接收、取料、配送及空车回收，通过多系统协同加速物流信息传递，减少物流作业时间，节省人力成本，提高物流效率^[7]。



> 图1 配送物流业务

（1）传统配送需求接收方式依赖纸质单据，现引入MES系统与自动化产线集成，实现自动按预定节拍送料；非自动化产线则通过人工在MES系统发起下料请求，实现物料按需自动配送，有效节省了线下的人工传递，提高了配送的准确性和效率。

（2）在缓存区取料环节，传统方式需要人工寻料，效率低下且易出错。WMS系统和AGV调度系统的集成实现了智能化取料，WMS系统根据产线需求信息和物料存储位置信息，向AGV调度系统发送取料指令，AGV根据指令完成自动寻料及取料，提升了取料的准确性和效率。

（3）传统配送方式由人工将料车送至产线并暂存，载具回收不及时且需要大量配送人员。现可通过AGV调度系统规划最优配送路线，实现自动配送。同时，自动化产线可识别物料，非自动化产线则通过人工扫码识别，实现了物料的自动配送和智能识别，节省了人员成本^[8]。

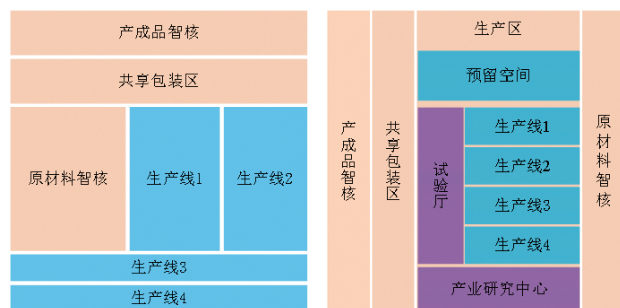
（4）传统空车回收依赖人工完成，耗时且效率低下。本项目通过MES系统与WMS系统集成实现空载具的自动回收，MES系统实时将载具状态通过WMS系统发送至AGV调度系统，AGV自动将空载具运回仓库暂存位，实现了空载具自动化回收。

(二) 仓储布局规划

(1) 总体布局

本项目围绕“两核、两区”规划仓储布局，涵盖产成品智核、原材料智核、成品包装区及生产区，并设计两种方案，分析其在流转效率与空间利用上的差异，如图2所示。

原始布局中的各区域功能明确，共享包装区与产成品智核心相邻，简化了生产到成品交付的路径，但生产线1、2与其他区域的位置关系导致物料供应与成品流转存在动线交叉，易造成拥堵，降低物流效率，同时生产线3、4到共享包装区及产成品智核的转运路径不够流畅。为优化动线布局，可将原材料智核与生产区并列设置，减少物料运输路径，并将原材料智核与成品包装区及产成品智核分别调整至生产区的两侧，避免生产区的物料供应和成品流转发生冲突。此外，通过对原材料智核实施垂直立体存储设计，可有效提升空间利用率。



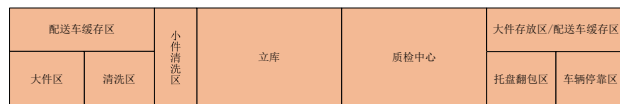
a) 原始布局

b) 优化布局

> 图2 布局示意图

优化布局中，“两核、两区”呈并列设置，动线统一，有效避免了路径交叉。原材料智核位于车间东侧，提供各类零部件的入库、检测、清洗、存储、拣选及缓存服务。该区域布局充分考虑生产线的实际需求，通过智能拣选系统实现零部件快速、准确地供应，有效减少了生产线的等待时间及中断风险。

生产区与原材料智核核心紧邻，确保能够快速获取生产所需零部件。该布局保证了生产的连续和稳定，还有助于优化生产流程、提高生产效率；产成品包装区紧邻生产区与产成品智核，便于完成产品的必要包装和标记工作，有效减少了产品在车间内的移动距离，提高了整体运营效率；产成品智核位于车间西侧，专注于产成品的存储与发货准备，避免了露天存储对产品质量的影响，保证了产品的安全性。



收货口1

收货口2

> 图3 原材料智核功能布局示意图

图3为原材料智核的平面布局图，其核心为立库系统，包含四向穿梭车立体库、托盘堆垛机立体库、料箱缓存区、大件地堆系统及控制系统。其中，小于2kg的小件物料进入四向穿梭车立体库存储；大于2kg的中件物料进入托盘堆垛机立体库存储；大件物料则使用专用工装在大件地堆平库区存储^[9]。

(2) 料盒和托盘立库规划

标准料盒立库区占地约350m²，设置两组高速堆垛机，单个料盒承重35公斤，双向入口和拣选口，北侧直接通过提升井入

库，布局为6排*9列*4货位*23层及6排*1列*2货位*23层，共计5244个货位^[10]。

标准托盘立库区分两期建设，占地约1200m²，现一期建设设置三组单深双工位堆垛机，每个货位由单个铁托盘承重1000公斤，含消防喷淋预留空间，布局为6排*28列*2货位*12层，共计4032个货位，二期拟增加单深双工位堆垛机1台及货架2排*28列*2货位*12层，以提升进出货效率及仓储容量。

在实际生产过程中，每日提前齐套次日的料盒、托盘配送物料，并上架存储待配送，配送物料每日按生产队计划自动下架，通过AGV配送到生产线工位并带回空料盒、托盘，实现配送准确、物料齐全、载具利用率高。

(三) 智慧物流规划

本项目实施精益物流策略，结合智能设备和数字化技术，构建集WMS、WES、LES于一体的智慧物流平台，实现供应商到货预警、库存监控、物料齐套检查及高效配送，全面优化流程，提升运营效率。

三、结语

如今，数字化物流方案作为智能制造的重要组成部分，已成为未来物流系统发展的核心方向。优化运输方式、提升物流效率，减少了非增值时间，优化了价值流的增值比是实现制造业高质量发展必由之路。物流系统的持续优化将助力企业在激烈的市场竞争中保持领先地位，持续提升核心竞争力和经济效益。该项目成功实施不仅为电力装备制造企业的仓储物流数字化管理提供了有效的解决方案和参考依据，也为其他制造业企业在物流系统数字化建设方面提供了宝贵的经验和借鉴。

未来，随着技术的不断进步和企业需求的进一步提升，智慧物流系统将继续向更高的智能化和自动化方向发展。企业应持续优化物流流程，进一步整合先进技术，如人工智能和大数据分析，提升物流系统的智能决策能力和自适应能力，以应对日益复杂的市场环境和生产需求。

参考文献

- [1] 胡成飞, 姜勇, 张旋. 智能制造体系构造: 面向中国2025的实践路线[M]. 机械工业出版社, 2017, 5: 2-5.
- [2] 宋云晴, 吴秀玲. 从工业4.0发展看“中国制2025”[J]. 通信企业管理, 2016(03): 53-55.
- [3] 张宁恩, 侯振, 万莹. 智能仓储物流管理系统分析[J]. 信息系统工程, 2023, (07): 24-27.
- [4] 陈晓莺, 许胜飞. 智能仓储物流管理系统的设计与应用研究[J]. 物流研究, 2023, (02): 64-69.
- [5] 史乐蒙. 中国大宗商品仓储管理进入标准化时代[N]. 期货日报, 2022-08-26(007).
- [6] 刘建举. A公司仓储物流精益管理提升策略研究[D]. 北方工业大学, 2022.
- [7] 孙三元. 数字经济背景下TW集团物流链优化研究[D]. 河北工业大学, 2021.
- [8] 许广胜. 智能工厂建设下的L公司内部物流优化研究[D]. 苏州大学, 2021.
- [9] 项晓东. 射频技术下数字化仓储物流管理系统的设计研究[J]. 中国商论, 2017, (05): 46-47.
- [10] 朱海洋, 毕秀霞, 葛明明, 等. 轨道交通车辆制造企业的数字化车间物流管理系统建设[J]. 电脑知识与技术, 2016, 12(23): 185-187.