

TRIZ 在轨道交通车辆制造企业生产线 生产效能提升中的应用

刘 旭 孔羽姝 王 雷 贾伟男 岳彩月 罗添元 王 迪

(中车长春轨道客车股份有限公司高速动车组制造中心,130062,长春//第一作者,工程师)

摘 要 基于轨道交通车辆制造企业生产线一直存在的工序多、单车生产成本低、生产效能低下等一系列问题,以精益制造与 TRIZ(发明问题的解决理论)为依据,结合轨道交通制造企业生产线的建立原则及管理原则,围绕安全环境、质量、生产、成本、设备、人事、信息等 7 大任务,利用 40 个发明原理、物质-场分析及 76 个标准解等创新方法,对影响生产效能的原因进行了细致剖析,通过求解创新了精益管理及精益生产手段,实现了提质、降本、增效的目的,并有效建立起一套可复制、可移植的精益制造工位节拍化生产线。

关键词 轨道交通;车辆;制造企业;生产线;生产效能;发明问题的解决理论

中图分类号 U270.6⁺1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.02.034

Application of TRIZ Theory in Production Efficiency Improvement of Rail Transit Manufacturing Enterprises

LIU Xu, KONG Yushu, WANG Lei, JIA Weinan, YUE Caiyue, LUO Tianyuan, WANG Di

Abstract There are many problems on the production line of rail transit vehicle manufacturing enterprises, such as multiple processes, high production cost of single car and low production efficiency. To solve the above problems, based on the lean manufacturing and TRIZ (Teoriya Resheniya Izobreteatelskikh Zadatch) innovation method, also combined with the principles of rail transit vehicle manufacturing enterprise production line and management, seven main tasks are selected, including security environment, quality, production, cost, equipment, personnel and information, 40 inventive principles, material field analysis and 76 standard solutions are employed, to analyze in detail the reasons affecting the production line efficiency. Then, through the solutions, lean management and lean production methods are innovated, the purpose of improving quality, reducing cost and increasing efficiency is achieved, a set of replicable and portable lean manufacturing station beat production line are effectively established.

Key words rail transit; vehicle; manufacturing enterprise; production line; production efficiency; TRIZ

Author's address High-speed EMU Manufacturing Center, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着国内高铁市场和城市轨道交通市场的逐渐饱和,轨道交通车辆制造企业的生存压力逐步增加。庞巴迪公司、阿尔斯通公司等老牌企业在全世界轨道交通领域依旧有着不可撼动的地位。国内企业若要在海外市场中获得一席之地,在提升自身竞争力的同时,亦需在生产制造过程中不断压降单车成本,以谋求更大的盈利空间;同时,通过推动轨道交通领域更先进的科学技术的发展,以获得更大的资源及市场。

现阶段轨道交通车辆的生产订单普遍呈现为多品种、小批量形式,客户需求多样化^[1],生产线建设过程中需要投入更多的资金去采购新的特有工装、工具及设备,盈利空间被逐步压缩。因此,需要企业从管理和生产等方面不断创新,以压降单车成本、提升生产线效能。本文利用 TRIZ(发明问题的解决理论),对现阶段管理和生产上存在的问题进行剖析,提出合理的管理手段^[2],以有效解决生产线效能较低的问题。

1 TRIZ 在轨道交通车辆制造企业生产线中的应用

1.1 国内轨道交通车辆制造企业存在的差距

在生产管理方面,与国外老牌企业相比,我国轨道交通车辆制造企业主要存在以下差距:

1) 管理模式落后。目前,国外众多轨道交通车辆制造企业纷纷采用了先进的管理模式,如:众所周知的 TPS(丰田生产模式)、“流水线生产”“无库存生产”“5S”管理等。国内大部分轨道交通车辆制

造企业虽已经开始步入工位制节拍化生产线的建设中,但却无法构造实施上述管理模式的环境,导致国内众多轨道交通车辆制造企业仍然延续以往的生产管理模式,在管理模式上远远落后于发达国家。

2) 浪费现象严重。目前,我国轨道交通车辆制造企业存在多种浪费现象,包括:传统原材料的浪费,风、水、电、气浪费,以及“工人闲置浪费”和“机器停运浪费”等。因此,减少浪费、降低轨道交通车辆的生产成本,也成为当今企业面临的重要问题。

3) 供应链不健全。国外核心技术的垄断使得轨道交通车辆制造企业在供应上仍受制于国外企业,外加中美贸易战、新型冠状病毒疫情等因素的影响,导致供应链存在严重隐患。现阶段轨道交通车辆制造企业生产线上的异常停线问题有 80% 以上是由采购短线造成的。因此,如何搭建完整的供应链,以实现物流、信息流、资金流的统一监控和管理,需要在管理手段上加以提升。同时,需加速核心技术的国产化,以逐步打破核心技术壁垒。

1.2 轨道交通车辆制造企业存在差距的原因分析

要提高轨道交通车辆制造企业生产线生产效率,就必须实现流水作业。通过构建工位制节拍化生产模式,实现生产模式搭建的标准化、资源配置管理的标准化和异常响应和处置的标准化。要保证流水线顺畅,确保工位制生产的标准化和柔性化,必须具备 5 个条件:①现场没有多余的物料;②不存在闲置工位无人工作的情况;③现场没有等待的人员和流动的人员;④各工位间没有多余的在制品;⑤各类异常问题能够及时发现,并在有效分类的基础上,做出快速的处理和解决。

在进行工位制改革,构建全链条的工位制节拍化生产线过程中,利用鱼骨图对生产线问题进行分析,共发现生产、人力成本、工位制实施、物流及其他方面 17 项问题,如图 1 所示。在实际生产过程中,一旦出现相关问题,就极易造成流水线停线、生产线物料积压、人力损耗和资源浪费,最终在成本上集中体现为生产效能的急剧下降,导致单车成本上升。

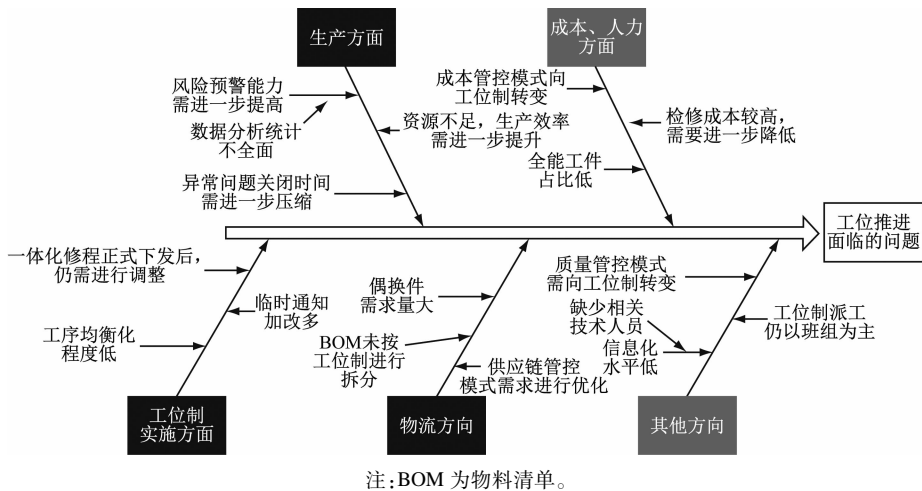


图 1 工位制节拍化生产线鱼骨图

Fig. 1 Fishbone diagram of station rhythm production line

通过现场调研某轨道客车制造企业生产线的运行状况,发现导致生产线效能低下的主要原因如下:

1) 将管理最小单元划分至工位,管理颗粒度聚焦节拍,管理细化导致管理成本以及管理人员需求增加。管理模式由原来的工序单元转变为工位单元,工位内全能工人员需求增加,现阶段人员难以满足生产需求,生产效能难以提升。

2) 以高铁列车为例,其生产工序约 500 多道,

涉及物料数十万种,因此工位制节拍化生产线要求流水作业,多环节、多专业相互配合至关重要。生产供应链异常情况时有发生,其中约有 80% 影响生产的问题均源于采购物料,因无法搭建完整的物料监控平台,严重制约工位制节拍化生产线效能提升。

3) 公司顶层设计系统与基层生产制造系统联系不紧密,生产线管理链无法由顶层设计直接应用于生产现场,因其解决流程繁琐,难以提升工作效率。

4) 现阶段信息化平台搭建完整度较低,因工位制模式运行速度低下,暂未打通各信息化平台的数据链,无法实现数据一体化。

1.3 工位功能模型的建立

工位制节拍化生产线的最小管理单元为工位,保证生产线顺畅的必然条件就是保证工位运行正常。利用 TRIZ 对工位建立功能模型,如图 2 所示。

利用冲突区域确定如下 3 个问题关键点:

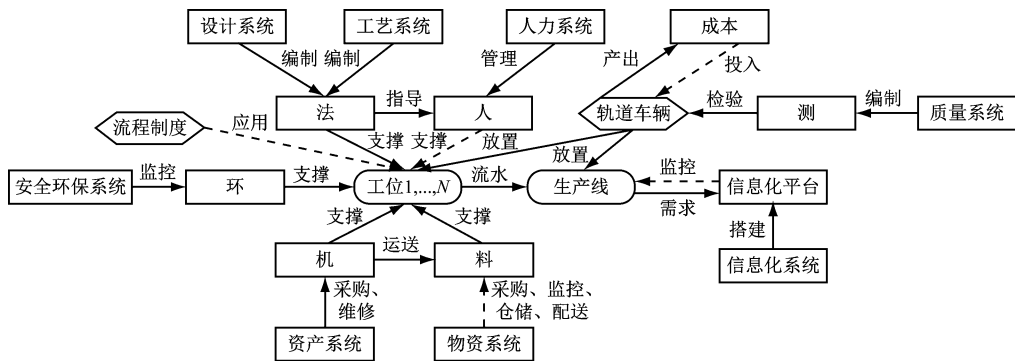


图2 工位功能模型

Fig. 2 Station function model

1.4 求解过程

1.4.1 利用技术冲突解决过程求解

以问题关键点 1 入手,得到的冲突描述是:为了提高高速列车产品线的生产效能,需要提升工位内全能工人员配置,但会导致人员管理成本增加。通过查找冲突矩阵及 40 个发明原理,确定利用“6 多用型原理”进行求解,共得出两个解:

1) 由于工位内工序错综复杂,当人员出现变动或工位内某个操作者整体技术水平较低时,就会造成工位生产的停摆。从该方面考虑,可以得出:将工位内适用于单一工序的普通工种培养为全能工种。

2) 因现阶段设计人员及工艺人员远离生产现场,无实操经验,导致由于设计产品开发和工艺现场服务的异常问题时有发生,因处理异常问题时间过长,严重影响工位制节拍化生产线流水。从该方面考虑,可以得出:以国外工程师为模板,打造具有现场动手能力及问题解决能力的工程师团队。

具体管理的实施思路为:

1) 通过推进“领军人才定制式培养、技能人才模型化培育”培养策略,充分发挥青年夜校、大师工作站等平台的作用;

2) 建立“类别化多边形”人才培养模式,明确

问题关键点 1:管理单元细化导致管理人员增加,以及全能工人员需求和培训需求增加,故人员和资金需要进行压降。

问题关键点 2:按工位物料包进行物料管控,导致配送单元、配送资源需求及配送时间增加。

问题关键点 3:搭建工位制节拍化生产线需要配套完整的信息化平台和手段,目前采用的信息化平台与工位制发展程度不均衡。

具体培养途径和手段,建立人才培养途径矩阵图,实现人才的高效培养;

3) 建立多层次、多维度的人才评价管理体系,建立个人业绩评价档案,健全人才晋升和职业发展通道;

4) 要求入厂新员工学习现场实操课程,严格考核,奠定实操基础;

5) 推进设计工艺融合化办公,通过双向培养,塑造适用性强的的高端人才;

6) 职称晋升不再以论文、专利等作为单一评价标准,融合实操、异常问题处理能力进行评价,打造现场工程师技术服务团队。

以问题关键点 2 入手,得到的冲突描述是:为了提高高速列车产品线的生产效能,需要按工位进行物料管控及物料配送,但这样会导致物料占用空间及配送时间增加。通过查找冲突矩阵及 40 个发明原理,确定利用“17 空间维数变化原理、28 机械系统替代原理”进行求解,共得出两个解:

1) 将物料存储方式由散式库房变为集中仓储。建立多层仓储库房并按照工位需求存储物料,减少备料时间,取消生产单位的物料存储库房。可按照项目进行物料存储、备料,不断提升物料仓储水平。

2) 打造全面的物料信息化平台,通过物料采

购—物料仓储—物料检查—物料配送—物料接收的全阶段物料管控,形成“物料超市”管理模式。

1.4.2 利用物理冲突解决过程求解

以问题关键点 1 入手,得到的冲突描述是:为了使得“工位内工序的作业时间短”,需要“增加人员”,但又为了“压降人员管理成本”,需要“减少”人员,即人员既要“增加”又要“减少”。考虑到“人员”在不同的“时间”上具有不同的特性,因此该冲突可以从“时间”上进行分离。通过查找分离原理及 40 个发明原理,确定利用“15 动态特性原理”进行求解:

引入的机械化设备可以实现移动运输、吊装定位、辅助安装等功能,这样可以缩短人员搬运、划线组对等所需时间。设备机械化程度的提高可在一定程度上提升人员的利用率和工作效率。因此,可以得出解:引入机械化设备辅助操作人员工作。

例如,轨道交通客车的底架附件包含少则 100 余个、多则 200 余个部件,每台车都需要划线,可以研发一种可移动高举架投影车,仅在系统内输入一次尺寸,直接通过投影即可定位小件尺寸。

1.4.3 利用物质-场分析及 76 个标准解求解

以问题关键点 3 入手,得出如图 3 所示的物质-场模型。

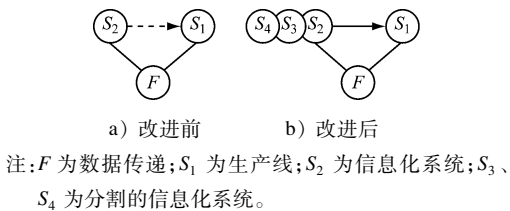
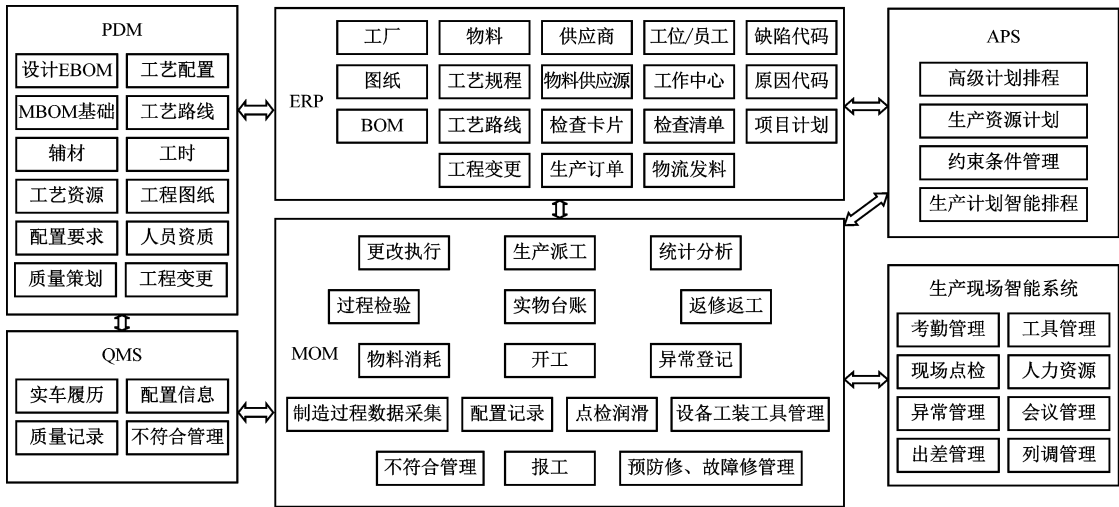


图 3 物质-场模型
Fig. 3 Material-field model

根据所建问题的物质-场模型,应用标准解解决流程,得到标准解——增加物质的分割程度,由此可以得出:依托“建设智能化企业”的原则,各系统按照工作及生产线建设要求,自主提报信息化开发需求,保证各业务部门对生产线的“同心化”支撑,打通信息化平台的数据链,以及基础、研发、制造、运维全寿命数据链,体现数据资源的价值,实现全寿命周期服务的数据驱动。各系统的数据联动见图 4。



注:PDM 为产品数据管理系统;QMS 为质量管理系统;MOM 为制造运营管理系统;ERP 为企业资源计划系统;APS 为高级计划与排程软件系统;EBOM 为设计物料清单;MBOM 为制造物料清单。

图 4 信息化平台各系统的数据联动

Fig. 4 Information platform for data linkage of each system

2 创新成果应用

通过以上创新成果应用于生产线建设的具体思路,紧密围绕“十四五规划”中数字化转型的具体要求,打造数字化工位制节拍化生产线,并以某条轨道交通车辆制造企业生产线为例,从如下方面获

得了生产效能的稳固提升:

1) 为满足柔性化、多元化的生产需求,充分发挥人才工作站功能,明确了工区全能工、工种全能工、工位全能工、跨工种操作工及外包人员技能覆盖等 5 项培育目标。相较于 2020 年,工区全能工占比由 30% 达到 60%,工种全能工占比由 2020 年的

36%达到53%,工位全能工占比达到54%,跨工种占比由2020年的40%达到46%。

2) 通过实现 APS、SRM(供应商关系管理系统)、MOM、QMS、PDM 等信息化平台的数据贯通,构建物料全过程状态监控体系,初步实现采购件物料可用性检查与齐套率检查,确保物料按照生产节拍直送工位、裸送工位。从工艺策划准备、生产节拍划分、节拍化 BOM 搭建、配送模式优化等关键要素入手,以“工位制节拍化物流配送”为管理目标,从公司仓储物流、一次集配、工位二次配送等全业务链条,实现“一体化点对点物流配送”,解决“物流配送最后一公里”问题,改善了物流系统的管理盲区。目前,该生产线已实现“物流一体化”与“精益工位制”融合统一的管控模式,相较2020年,物资“配送相符率”由96%提升至99.5%。

3) 深度开展 APS、SRM、MOM、QMS、PDM 等信息化系统数据贯通的验证工作,且数据贯通率已达92%。形成以 MOM 为生产制造管理核心的信息化管理平台。利用 MOM 中的管理模块进行现场监控,总体生产效能相较2020年由60%提升至95%,同时单工位产出率提升16%。

(上接第135页)

参考文献

- [1] 张爽. 列车轮对几何参数在线检测关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
ZHANG Shuang. On-line inspection key technology research for the train wheelset geometric parameters[D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [2] 王桢. 轮对超声探伤系统缺陷自动定位算法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
WANG Zhen. Research on automatic flaw localization algorithm for mobile wheel set ultrasonic inspection system[D]. Chengdu:

(上接第138页)

- LI Yuanxuan. Implementation research on the train topology discovery protocol[J]. Railway Locomotive & Car, 2017(2):24.
- [2] 王峰超, 赵冬玉, 吴冬华, 等. 基于实时以太网的列车网络系统研究与设计[J]. 机车车辆工艺, 2019(2):1.
WANG Fengchao, ZHAO Dongyu, WU Donghua, et al. Research and design of train network system based on real-time Ethernet[J]. Locomotive & Rolling Stock Technology, 2019(2):1.
- [3] 陈野翔. UIC 网关初运行和过程数据编组的设计与实现[D].

3 结语

本文着眼于轨道交通车辆制造企业的生产管理改善及生产线建设,利用 TRIZ,从企业的实际需求出发,对可用于生产现场管理、提升生产线能效的手段进行了分析,以达到降低成本、提高效率的目的。企业的生存和发展依赖于产品创新和管理创新,依靠 TRIZ 将其与生产管理相结合能够有效解决许多实际生产中的问题,逐步实现企业利润的最大化。

参考文献

- [1] 李志强, 王晓宁, 刘军伟. 基于 TRIZ 理论的汽车总装工装设计[J]. 汽车工程师, 2013(8):43.
LI Zhiqiang, WANG Xiaoning, LIU Junwei. The tooling design of car assembly based on TRIZ[J]. Auto Engineer, 2013(8):43.
- [2] 王有, 刘丽娟. 用 TRIZ 方法求解铸造成本高的问题[J]. 铸造设备与工艺, 2019(2):47.
WANG You, LIU Lijuan. TRIZ innovative method used in solving high casting cost problem[J]. Foundry Equipment and Technology, 2019(2):47.

(收稿日期:2021-09-28)

Southwest Jiaotong University, 2011.

- [3] 张博南. 铁道机车车辆车轮在线超声波自动检测系统的研究[D]. 北京:北京交通大学, 2013.
ZHANG Bonan. Research on online ultrasonic automatic detection system for the wheel of rolled steel[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.
- [4] 宗大公. 列车轮对轮辋跟随式探伤系统的研究与实现[D]. 南京:南京航空航天大学, 2019.
ZONG Dagong. Research and realization of follow-by-type flaw detection system for train wheelset rim[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2019.

(收稿日期:2021-08-25)

北京:北京交通大学, 2015.

- CHEN Yexiang. Design and implementation of UIC gateway initial operation and process data grouping [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.
- [4] 赵政. 以太网交换及应用技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2008.
ZHAO Zheng. Research on Ethernet switching and application technology [D]. Xi'an: Xidian University, 2008.

(收稿日期:2021-09-28)