结合AI辅助分析的总装车间SPS物料配送模式适用性研究

朱群峰 袁宝弟 王啸宇 杜芳

（上汽通用汽车有限公司，上海 201206）

摘要：当前，部分车企工厂车型与配置数波动明显，成套零件供应（SPS）运行模式存在冗余，同时新建工厂面临SPS导入决策难题。通过效率与成本分析、AI辅助数据测算及案例验证，探讨了车型和配置变化对SPS实施的具体影响，提出了一种基于线旁空间容纳能力的SPS优化评估模型，构建了包含“数据测算-布局模拟-协同评估-收益分析”4个步骤的系统化实施策略，研究表明，AI辅助分析可处理线旁空间、物料尺寸等多维度数据。

关键词：SPS 物料配送 总装车间 优化策略

中图分类号：U468.1 **文献标志码：**B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20260086

Research on the Applicability of SPS Material Delivery Mode in GA Shop Combined with AI

Zhu Qunfeng, Yuan Baodi, Wang Xiaoyu, Du Fang

(SAIC General Motors Company Limited, Shanghai 201206)

Abstract: Currently, significant fluctuations in vehicle models and configurations are observed across various automobile manufacturing plants. These fluctuations lead to operational redundancies within the Set Parts Supply (SPS) system, while newly constructed plants face difficulties in making SPS implementation decisions. Through efficiency and cost analysis, AI-assisted data calculation, and case validation, this study investigates the specific impacts of model and configuration variations on SPS operations. An optimized SPS evaluation model based on lineside space accommodation capacity is proposed. Furthermore, a systematic implementation strategy consisting of four sequential steps, namely data calculation, layout simulation, collaborative assessment, and benefit analysis, is established. The results demonstrate that AI-assisted analysis effectively processes multidimensional data, including lineside space constraints and material dimensions.

Key words: Set Parts Supply (SPS), Material Delivery, General Assembly Shop, Optimization Strategy

1 前言

随着汽车行业的发展，总装车间车型数、配置数不断增加，线旁空间难以支撑现有产品的物料摆放，各主机厂引入了成套零件供应（Set Parts Supply，SPS）物料配送方式。SPS物料配送方式是指在与生产线分离的另一个场地，拣选单台车所需零件，按照生产顺序向生产线提供物料的配送方式[1]。SPS物料配送方式通过将线边物料从生产线旁置换至工厂内其他物流场地，设立SPS分拣区域，投入自动导引小车（Auto Guided Vehicle，AGV）成套配送生产所需的零部件，减少了线旁空间负荷，节省了操作人员的走动时间，提高了装配效率[2-3]。宫天龙介绍了上汽通用五菱宝骏

作者简介：朱群峰（1980—），男，硕士学位，研究方向为新项目总装车间先期规划。

参考文献引用格式：

朱群峰，袁宝弟，王啸宇，等. 结合AI辅助分析的总装车间SPS物料配送模式适用性研究[J]. 汽车工艺与材料，2026(6): 60-65.

ZHU Q F, YUAN B D, WANG X Y, et al. Research on the Applicability of SPS Material Delivery Mode in GA Shop Combined with AI[J]. Automobile Technology & Material, 2026(6): 60-65.

基地应用SPS的建设方案,论证了SPS配送方式具有降本增效的应用价值[4]。孟伟分析了上汽大众物流传统上线模式和SPS配送方式的差异,通过案例验证了SPS能够适配混线生产并优化资源[5]。从宏军等通过SPS配送方式有效解决了发动机线多品种混线生产的产线面积不足问题,提高了作业效率[6]。目前,SPS物料配送方式已在主机厂广泛应用。

随着市场竞争的日益激烈,许多主机厂出现了产能过剩的情况。由于部分车型市场需求不足,产量逐渐降低,导致总装车间的车型数及配置数减少,装配线旁的物料种类和数量随之降低,装配线旁空间变得相对富余。在此情况下,SPS物料配送方式会存在设备、面积、人员等浪费问题,如SPS所需的AGV空间利用率降低,SPS分拣区域货架部分闲置,厂内面积浪费,物流分拣人员二次取料,无效搬运过多,这都会影响车间的整体运营效率和经济效益,需快速处理车型、配置及线旁空间等多维度数据,重新评估SPS在新生产环境下的适用性,为既有工厂SPS取消、新建工厂SPS导入提供决策支撑。

2　车型数和配置数减少对SPS的影响

在汽车总装车间的生产运营中,车型数及配置数的减少会对装配线旁空间产生显著影响。当车型和配置数量下降时,原本用于存放多种车型、配置所需零部件的线旁空间会出现明显的富余。此时,需从多个角度对SPS实施的必要性进行考量,其中,效率和成本是关键分析维度。

2.1　效率分析

从效率角度来看,SPS在车型多、配置多的情况下,能够减少操作人员走动时间、提高装配效率。然而,当车型数及配置数减少后,装配线旁空间富余,物料存储和取用变得相对容易,SPS在提高效率方面的优势不再明显。在车型和配置减少前,由于物料种类繁杂,操作人员每次取件时间平均约30 s,采用SPS后,取件时间缩短至10 s以内。但在车型和配置减少后,线旁物料布局变得简单,操作人员通过合理规划物料存放位置,可得平均取件时间控制在20 s左右,与SPS实施时的效率差距缩小。同时,SPS取消后,物料直送线旁,物流人员可避免二次拣选,提升了物流运作效率。

2.2　成本分析

从成本角度来看,SPS的实施涉及多方面的成本投入。设备成本方面,SPS配送需要配备专用物料台车、料箱以及电子标签等。以某汽车主机厂为例,为实施SPS,投入大量资金购置了AGV用于物料配送,同时定制了大量专用物料台车和料箱,设备的购置、维护和更新成本较高,随着车型数及配置数的减少,设备利用率降低,如果继续采用SPS,设备成本的分摊会加重成本负担。

SPS模式下,需要物流配货人员进行物料的分拣和配送。在车型多、配置多的情况下,这种人力投入能够通过提高装配效率和质量得到回报;但当车型数及配置数减少后,原本充足的人力可能会出现冗余。如果取消SPS,上述人员可精简,从而降低人力成本。

2.3　案例分析

本文以某主机厂A为例进行分析。在市场变化前,主机厂A的总装车间同时生产6种车型,每种车型平均配置为3种,生产线上的车型和配置组合复杂多样。为满足生产需求,在内饰线、门线、底盘二线、发动机分装线及最终线均引入了SPS物料配送模式,SPS模式在提高装配效率、保障生产方面发挥了关键作用。车间内设置了多个SPS配货区,配备了大量的物料台车、电子标签等设备以及专业的物流配货人员,负责将零部件按辆份成套配送至生产线。据统计,在SPS模式下,操作人员的平均走动距离减少约50%,装配效率提升30%,有效缓解了因车型多、配置多带来的生产压力。

随着市场需求的变化,主机厂A对产品进行了调整,车型数减少至3种,配置数简化至平均每种车型2种,使线旁物料存储区出现了大量空闲位置,生产线旁的通道变得宽敞。主机厂A的底盘二线采用了SPS模式,评估线旁物料存储长度满足取消SPS后物料摆放的需求长度,SPS小车上下料在底盘二线的129~137工位,SPS小车路径较短,拆除影响较小,故优先取消底盘二线的SPS模式并评估SPS取消后的潜在影响。

与底盘二线未实施SPS的主机厂B对标，进行线体分析，如表1所示。

表1 主机厂A、主机厂B线体情况对比

工厂	车型数/个	线体	工位数/个	节距/m	库位长度/m	零件长度/m
A	3	底盘一	30	6.0	129.5	122.1
		底盘二	30	6.0	176.8	172.0
B	8	底盘一	27	6.4	172.5	156.3
		底盘二	29	6.4	189.0	174.9

表1中，库位长度为扣除设备、工段区、电气柜等的线边可放料长度，零件长度为该工厂零件整包装长度总和，其中小件零件按3层叠放计算。

主机厂A、主机厂B均为双侧放料，且零件长度满足库位需求，从底盘线整体零件长度来看，主机厂A可取消SPS底盘二线体，但主机厂A底盘二线SPS实际实施工位在129~137工位，需针对上述工位进一步分析零件长度是否满足需求。经实际统计，129~137工位的线边库位长度为98 m，而对应的零件长度为92 m，满足摆放需求，可取消SPS。原物料摆放如图1所示，考虑将SPS物料置换为线旁直取，根据使用工位进行布局，置换后物料摆放如图2所示。

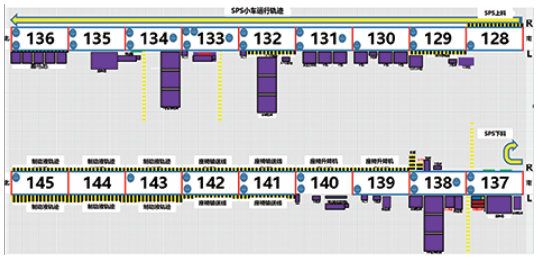


图1 工厂A底盘二线SPS优化前的工位布局

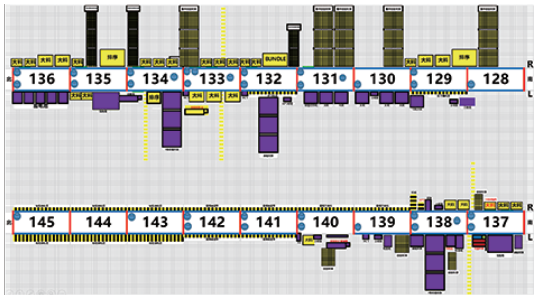


图2 工厂A底盘二线SPS优化后的工位布局

由图1、图2可知，128~140工位两侧通过包装优化、龙门料架投入协助、总装工艺优化等方式将SPS物料调整为线旁直取，充分利用线旁空间，节省物流操作人员及排序面积，但增加了总装操作人员的取料和走动时间，提高了人工取料的错拿风险，需根据图2的物料摆放位置对效率、质量和成本3个维度进行综合测算。

从效率角度分析，SPS的取消对物流和总装操作人员的操作效率存在一定的影响，需调整人员编制。对物流人员进行了岗位调整：精简原SPS模式的配载人员9人、铲车配送人员1人；物料转为线旁直送后，新增排序件需补充排序人员3人；线旁直送模式下，上下线拉动频次提升，需补充物料拖车拉动人员3人；SPS模式取消后，物料运输空间增大、物流整体搬运路径缩短、动线交叉减少，物流运作效率提升，进一步优化冗余人员4人。综上，物流端可精简8人。对于总装车间端，由于SPS物料置换后的空间问题，部分物料存在原包装上线、跨工位布置、对面工位布置等情况，增加总装操作人员新增物料包装拆除、取料倒料、往返走动工时，如表2所示。

表2 SPS优化后工厂A增加工时

车型	拆包装/s	隔板去除/s	倒料/s	往返走动/s	合计/s	增加人次/人
V01	104.5	11.0	4	128	247.5	5.16
V02	92.5	9.0	4	130	235.5	4.91
V03	106.5	8.5	4	134	253.0	5.27
V04	101.5	10.5	3	84	199.0	4.15

由表2可知，SPS取消后，根据物料安装工位的分布情况，合计每车需增加253 s的操作时间（取表2中单车增加时间最大值），需新增约5名操作人员方可满足工艺需求。

从质量角度分析，SPS物料配送模式的核心优势在于实现装配防错，从物流端规避了零件错拣、错拿的风险，大幅降低零件错装率。SPS取消后，通过料架物理隔离、防错暗灯系统、扫码检验等方式也可实现防错管控。主机厂A预计新增20个防

错暗灯,避免零件错漏装,相应的工具移位及模块增加成本约4万元。

成本变化还包含工位准备、设备运维、能耗费用等:

a. 工位准备:SPS取消后,物料端新增排序料架1个,成本约1万元,总装车间端拆除SPS上下料机构及运行轨道,并移动辅助臂、物品柜、生产班组柜等的成本约8万元。

b. 设备运维:原SPS使用的40台配料小车和10台AGV送料小车停止使用,转为3台电动拖车直送,减少配料小车运维成本约1万元/年,减少AGV送料小车运维成本约5万元/年,电动拖车正常维护,运维成本不变。

c. 能耗费用:原SPS使用的10台AGV送料小车作业期间全程通电,额定功率为1.5 kW,单班每日运行10 h,每年运行300天,平均每年电费约3万元;电动拖车额定功率为3 kW,每年运行时长不变,平均每年电费约1.8万元。

综上所述,主机厂A物流SPS底盘二线体取消后,工厂物流与总装车间的成本分析如表3所示。

表3　线体SPS取消收益分析

部门	人员变化 /人·年$^{-1}$	人员费用 /万元·年$^{-1}$	防错费用 /万元	运维费用 /万元·年$^{-1}$	工位准备 /万元	能耗费用 /万元·年$^{-1}$	第1年合计 /万元
物流	−8	−94	0	−1	+1	−3	−97
车间	+5	+48	+4	−5	+8	+1.8	+56.8

由表3可知,线体SPS取消的第1年,物流和车间的综合收益可达40.2万元。通过上述调整,主机厂A在保证生产效率的前提下,有效降低了运营成本,提高了经济效益。

3　结合AI的SPS取消评估与实施策略

3.1　SPS取消评估方法

汽车总装车间的线旁空间有限,合理利用线旁空间是提高生产效率和降低成本的关键。通过案例分析可知,当车型及配置数量大幅减少后,生产车型的总零件种类数量也随之降低,若车间可容纳零件的种类数量大于生产车型的总零件种类数量,则线旁空间有足够的余量存放零件,不再需要SPS释放线旁空间。当车型与配置数相对稳定时,优化SPS的可行性并不明确,需进行量化分析。通过比较车间可容纳零件种数和生产车型的总零件种数可评估SPS实施的必要性。根据车间各线体情况,通过计算某线体线旁可容纳零件的空间以及每种大件物料和小件物料合计需要的空间,可得到各线体可容纳零件种类数量n:

$$n = \frac{M}{Q} = \frac{akJS}{\frac{q_1 L_1}{k_1} + \frac{(1-q_1)L_2}{k_2}} \tag{1}$$

式中:M为某线体可用工位线旁可容纳零件的空间,Q为平均每种物料需要的空间,a为单/双侧放料(单侧a=1,双侧a=2),k为线旁有效物料空间平均占比,J为工位节距,S为某线体有效工位数,k_1为单个大件料架可放置零件种类数量,q_1为大件零件种数占比,L_1为大件零件料架长度,k_2为单个小件料架可放置零件种类数量,L_2为小件零件料架长度。

根据主机厂A、主机厂B内饰线的线体情况,通过式(1)获得内饰线可容纳零件种类数量,主机厂A、主机厂B分别为1 834种、1 768种。

根据各车型数、各配置数的零件种数,通过AI数据分析工具对数据进行二元线性回归,自动拟合回归系数,得到车型数x_1和配置数x_2与生产车型在该线体的零件种数y之间的关系:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2, (x_1 \geqslant 1, x_2 \geqslant x_1, x_1 \in \mathbf{Z}, x_2 \in \mathbf{Z}) \tag{2}$$

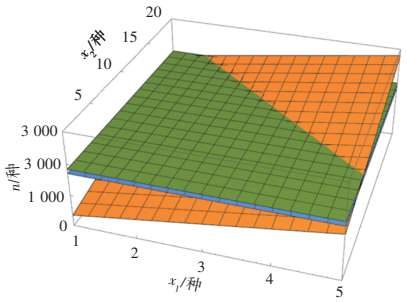
式中:a_0、a_1、a_2为回归系数,$\mathbf{Z}$为整数集。

通过式(2)获得两工厂内饰线生产车型零件种数与车型数、配置数的关系如下:

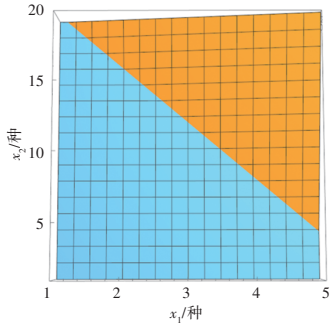
$$y = 8.3 + 279.38x_1 + 69.74x_2 \tag{3}$$

通过数据分析软件绘制主机厂A和主机厂B生产车型在内饰线的零件种类数量与内饰线可容纳零件种类数量的关系,如图3所示。

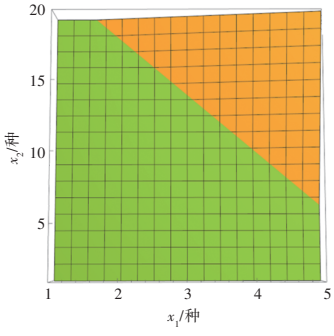
比较车间可容纳零件种数n和生产车型的总零件种数y,若$n \geqslant y$,表明车间线旁空间富余,可进行SPS取消的进一步分析。



(a)内饰线关系



(b)工厂A



(c)工厂B

图3 主机厂A、主机厂B内饰线关系

由图3可知，主机厂A在4车型8配置或3车型12配置时，可考虑取消SPS；主机厂B在低于4车型10配置或3车型13配置时，可考虑取消SPS。

同理，根据该SPS优化评估方法，验证主机厂A底盘二线的线旁空间足够容纳生产车型在底盘二线的零件种数，可考虑取消SPS。本评估模型通过AI辅助处理线体参数、物料尺寸、车型配置等数据，提升了测算精准度与效率，不仅可用于既有工厂SPS取消的可行性判断，也能为新建工厂是否导入SPS提供量化依据。

3.2 SPS取消实施策略

基于3.1节中建立的SPS取消评估方法，已明确可通过线体可容纳零件种类数量与生产车型总零件种类数量的匹配关系，判断SPS取消的可行性边界条件。但为确保优化方案实施，不仅需判断线旁空间是否富余，还需分析工位布局、成本收益、工艺设备等潜在影响，因此，需构建一套系统化的实施流程，通过“数据测算-布局模拟-协同评估-收益分析”四步流程，确保优化方案的可行性与经济性：

a. 数据测算：新建工厂可通过规划的车型数、配置数及线体参数，提前测算线旁空间容纳能力，并通过3.1节的评估方法，决策是否导入SPS；对已应用SPS的生产线，则结合AI辅助计算，快速汇总线边库位长度、零件长度等实地测量数据，减少人工核算误差，再通过3.1节中的评估方法，确定线旁空间是否富余，如有富余，则将该线体列为优先取消对象。

b. 布局模拟：根据车间工位布局，将线体SPS优化后的物料由“成套配送”转为“线旁直取”，对工位布局进行模拟。在模拟过程中需遵循三大原则：一是物料靠近使用工位，将高频取用零件尽可能布置在±1工位范围内，减少操作人员走动时间；二是物料分类分区存放，大件物料规划专属区域并预留叉车装卸通道，小件物料采用3层及以上龙门料架叠加存放，提升空间利用率；三是规避动线冲突，模拟装配人员取料路径和物流人员配料路径，避免交叉拥堵，提高效率。

c. 协同评估：协同工艺、生产、物流等各部门，评估物料直送对装配工艺的影响。工艺部门需测算物料直送后的新增工时，主要包括物料包装拆除、隔板去除、倒料以及往返走动工时，并评估需新增的操作人员数量；生产人员需配合解决SPS优化后操作人员装配空间不足、岗位干涉、设备移位等问题，增加物料直送后所需防错装置并进行相应优化工位的员工培训；物流部门需评估SPS优化后的零件有无转为排序件的需求，测算需新增物流人员数量及直送模式下的配送路线和频次，并持续进行包装优化、协助投入龙门料架并协助总装生产人员进行工艺优化。质量部门需评估SPS优化后的质量防错能力，保证采取新增防错措施后，零件错装率满足工厂质量的管控阈值。

d. 收益分析：从人员费用、运行维护费用、工位准备费用、料架设备投入费用多维度进行比对，若综合成本具备经济性，则可实施该SPS优化

方案。

结合汽车行业生产计划周期,如月度排产和车型配置发生变化,需预留时间调整SPS策略。

4　结束语

本文围绕总装车间SPS物料配送模式的适用性展开研究,结合AI辅助数据分析,构建基于线旁空间容纳能力的SPS取消评估模型,通过主机厂A、主机厂B的案例验证,提出“数据测算-布局模拟-协同评估-收益分析”四步实施策略。

研究表明,AI辅助分析可高效支撑线旁空间、物料尺寸等多维度数据处理,该模型与策略既能为新建工厂是否导入SPS提供量化决策依据,也能为既有工厂在车型和配置减少后评估SPS取消和优化的可行性提供操作路径。案例显示,既有工厂合理取消冗余SPS模式可降低设备与人力成本,新建工厂若预期车型种类数量少、线旁空间富余则可直接采用线旁直送模式,避免无效投入。

SPS并非总装车间必选的物料配送模式,其适用性高度依赖生产环境。企业应结合自身车型结构、配置复杂度及线体空间条件,灵活开展SPS实施评估,以实现资源最优配置与运营效率持续提升。未来,可进一步依托AI技术实现SPS策略的动态调整,基于实时生产数据自动进行物料配送方案决策。随着智能制造技术的发展,总装车间物料配送模式的优化与创新仍将是汽车制造业关注的重要课题。

参考文献:

[1] 朱阳兵, 刘云鹏, 赵磊. SPS物流技术在汽车生产中的应用[J]. 机械制造, 2015, 53(3): 80-84.

[2] 耿炜. 零件分拣系统(SPS)项目在上海通用(沈阳)北盛汽车的实施[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2009, 29(3): 187-189.

[3] 郑国荣, 庞振泽, 江禄晓. 汽车总装车间SPS实施运行探讨[J]. 硅谷, 2013, 6(12): 168+170.

[4] 宫天龙. 浅析SPS在整车制造过程中的应用[J]. 物流工程与管理, 2017, 39(6): 54-56+64.

[5] 孟伟. SPS模式在汽车生产物流中的应用[J]. 物流技术, 2018, 37(12):123-127.

[6] 从宏军, 颜志涛. SPS在发动机装配线的应用效果浅析[J]. 汽车制造业, 2021(5): 55-56.

AT&M