

基于布局优化的产能提升方案设计

杨国朕, 刘俊艳, 赵宜政, 王语颂, 袁丽洁

青岛科技大学经济与管理学院, 山东 青岛
Email: l_junyan@163.com

收稿日期: 2021年8月11日; 录用日期: 2021年8月25日; 发布日期: 2021年9月13日

摘要

针对YK工厂产线产能不平衡、线边库杂乱无章、物流路线规划不合理, 管理模式各自为政, 割裂式管理及现场布置规划不合理等现象, 本课题以工厂整体布局和管理模式作为研究对象, 运用工业工程相关知识, 加入了成套库的概念, 对物流路线问题、搬运频次、管理模式等问题进行改善。运用了flexsim和Tecnomatix仿真系统, 验证了SLP规划布局的可行性。通过布局的规划, 工厂的面积利用率增加到66.97%, 缩短了生产制程周期, 降低了企业的物流搬运成本, 企业生产成本, 从而达到提高产能, 节约成本的目的。

关键词

产能, 布局规划, 仿真系统, 工时分析, 成套库

Design of Capacity Improvement Scheme Based on Layout Optimization

Guozhen Yang, Junyan Liu, Yizheng Zhao, Yusong Wang, Lijie Yuan

School of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao Shandong
Email: l_junyan@163.com

Received: Aug. 11th, 2021; accepted: Aug. 25th, 2021; published: Sep. 13th, 2021

Abstract

In view of the unbalanced production line capacity, disordered line side warehouse, unreasonable logistics route planning, separate management modes, unreasonable split management and site

layout planning of YK factory, this topic takes the overall layout and management mode of the factory as the research object, applies the relevant knowledge of industrial engineering, and adds the concept of complete warehouse to improve the logistics route, handling frequency and management mode. Flexsim and Tecnomatix simulation system is used to verify the feasibility of SLP layout. Through the layout planning, the area utilization rate of the factory increased to 66.97%, which shortened the production process cycle, reduced the logistics handling costs and production costs of enterprises, thus achieving the purpose of increasing production capacity and saving costs.

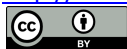
Keywords

Capacity of Production, Layout Planning, Simulation System, Time Study, Complete Set Warehouse

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

学术界对布局的优化有不少应用研究,本项目认为有缩短生产周期,减少空地,减少物料的停留、搬运和库存,可以释放产能。基于鱼骨图[1],对其工艺流程与车间现状分析得出如下问题:车间物流路径多有回流且移动距离过长,产品工序又较多,各产品路径混杂不清晰;暂存区较多,且每个暂存区内都堆积很多产品,搬运不及时,导致通道拥挤;车间内有许多废弃设备未及时清走,占用较多面积,问题设备未及时修理。系统布置设计方法(SLP) [2]是工艺专业化布局时常用的方法,缪瑟[3]提出系统布置设计(SLP),车间布局规划正式成为一门具有学科方向和技术体系的学科。如今,SLP由当初的按经验做事到定量分析再到有自己专门的知识体系和特有符号再到如今和建模仿真和算法[4]联系到一块,发展的越来越好。布局优化也不只应用在制造业[5]、学校[6]、超市[7]以及物流电商[8]都可以应用到。

本文综合运用了 SLP 布局[9]的方法与 Flexsim 仿真模型[10],通过对 YK 企业遇到的实际问题出发,找到实际有效的解决方法,以达到为企业增加利润创造营收的目的。

2. YK 工厂案例分析

YK 公司是一家致力于再生塑料的回收、再生和应用的高科技制造和循环经济企业。专业生产环保画相框线条、环保成品框、PS 塑料仿木框条等装饰材料。目前由于疫情影响,YK 企业七八月份的订单激增,外加要与某大型跨国家居用品企业达成合作意向,搬运成本、设备空间不足等问题日益突出,库存严重影响了生产效率等一系列问题。根据长远考虑,改善工厂的布局变的尤为重要(工厂南北距离 100 m,东西距离 180 m)。

2.1. 主要产品工序分析

根据 YK 公司 2018 年下半年到 2019 年上半年一年的销售清单和物料清单,找出很少的几种产品,但是其需求量却大到需要为它们建立专门的生产线。通过计算分析 M0393-MP、M0508-MP、M0016KC-MP、M0782KC-MP 且尺寸为 11 × 13 英寸的喷漆像框占比超过 70%为喷漆像框主产品。随后,对这 4 种喷漆像框进行流程分析。其喷涂相框的流程见图 1。



Figure 1. Flow chart of painting frame
图 1. 喷漆像框流程图

通过流程分析可知喷漆像框主要产品物流路线为 2000.8 m。由于喷漆像框组装线产能不足，需要进行东西厂调拨，增加了物流成本，所以可以平衡产线增加喷漆像框组装线；同时，由于工厂设备集群的原因，像框排切高频等工序需要去 200 米以外二期高频设备上加工，搬运距离较远，为减少搬运，由设备集群改为产品集群。

2.2. 工厂布局分析

由于工厂仓库摆放托盘为四层四列紧密式摆放，不方便叉车取货，应改为三层留有通道式的摆放模式。根据当前的销售量以及未来的订单预测，原材料仓库应为 150 m²。

根据订单需求及产能，该工厂日生产像框 2800 箱，因为每天的产品都要当天入库及验收，由于货物堆放太高会造成安全隐患且不利于叉车运输，所以规定使用规格 1.4 m × 1 m × 1.2 m 的托盘叠放三层，工厂采取抽样是验收，所以验收区域经计算采取 15 m² 区域即可。

考虑叉车出入问题及工人流动问题，设置主物流通道为 3 m，不走叉车的物流通道为 1.5 m (可以走 2 个人的距离)，产线与产线的物流通道为 0.8 m (可以方便产线检修的距离)。工人上班时间规定为早 8:00 到晚 8:00 午休吃饭时间 1 个小时。

工厂的占地面积为 18,000 m² 左右，生活、办公区域约占 80 m²，托盘的存放面积为 2262 m²，另外为了增加产品的多样性，增加企业市场竞争力，新增铝合金产线区域和白坯帆布画区域 1606.53 m²，总作业区域 11,998.8 m²，面积利用率为 66.66%。

3. 管理模式改善

3.1. Y 工厂管理现状

Y 工厂现状是每个的车间各自为政，车间之间的沟通联系基本没有，车间与车间之间都是断点，管

理人员没有配套成套的概念，都在为了自己车间的业绩，抢地盘似的生产。整个工厂被各自车间分成了4个区块，孤岛似的生产，导致各个车间的产能不匹配，管理成本也会造成浪费。

3.2. 成套库的管理模式

通过 SLP 规划设计的布局，设计了可以储存 2 天产能线边库，要求定位定容定存，减少丢料缺料的现象发生。并且针对 YK 企业管理各自为政的问题，设立了成套库的管理模式。设立成套库[11]，以成套库为核心进行拉动式生产，让原先散乱，各自为政的自制车间，在组装车间之前成套的流动下去，保证了组装车间的生产不停产。并且给 YK 企业的管理者提出了产品工艺的整体流程的概念，用整体流程穿各自车间按照计划去行驶，以成套库建立为核心，建立拉动式生产，以计划部制定计划定拍工序，再组装。组装开始定拍工序前面拉动自制后面进行包装工序推动工序和组装修序推动式的生产。建立了拉动式的定拍生产见图 2。

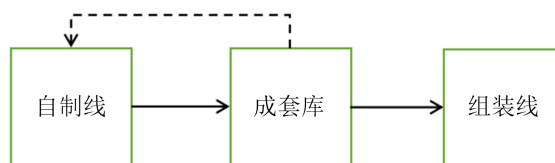


Figure 2. Pull production drawing of complete set warehouse
图 2. 成套库拉动式生产图

自制线以每件产品为一套进入成套库，然后成套库在计划部的计划下进去组装线组装。成套库还可以通过库存反馈给自制线，拉动自制线的生产。

4. 基于 SLP 的布局规划

SLP 方法是一种将物流分析与功能区之间关系密切程度分析相结合以求得合理布局的技术，在布置设计领域得到了广泛的应用，相对于一般数学模型法，其对影响因素的考虑更加全面，并将影响因素定量化[12]。

由于该设计方法通常会利用表达性较强的图例符号或表格来总结作业单位间的物流强度与关系，会将彼此间物流强度较大的作业单位尽量安排在相近的位置，因此能够有效降低不同作业单位间物流运输成本与效率，在工艺专业化布局中十分常见，而基于 SLP 方法对车间设施的布置优化展开探究，自然也是十分必要且具有现实意义的。

SLP 方法最初是从“工厂设计”逐渐发展而来的，主要针对工厂、车间内部的平面布局设计与车间设备布置，能够设计出最为简捷的物料搬运路线，在提高车间内部空间利用率、生产资源利用率的同时，简化车间流程，而要想将在实际设计中对 SLP 方法进行灵活应用，则需要车间工艺路线情况展开分析[13]。从目前来看，主要产品喷漆像框的交叉物流严重，搬运距离造成的浪费过多。

4.1. 各作业之间物流强度与非物流强度分析

物流关系分析主要是工艺流程分析，是设施布局的前提。各条路线上的物流移动量就是反映工序或者作业单位之间相互关系密切程度的基本衡量标准，一定时间周期内的物料移动量成为物流强度。

当量物流量：物流运动过程中一定时间内按规定标准修正、折算的搬运和运输量，计算公式：

$$f = q * n \quad (1)$$

F ——当量物流； q ——每个标准搬运单元的当量； n ——单位时间内两设施间流动的标准单元数。

通过计算得到各个作业之间的物流强度，并且划分个作业之间的等级，A、E、I、O、U，强度依次降低见表 1。

Table 1. Logistics intensity level
表 1. 物流强度等级

物流强度等级	符号	物流路线比例	承担的物流量比例%
超高物流强度	A	10	40
特高物流强度	E	20	30
较大物流强度	I	30	20
一般物流强度	O	40	10
可忽略搬运	U		

通过各等级的关系最后列出各个作业的物流强度关系图：非物流关系的密切程度用 A、E、I、O、U 评定，强度依次降低。意义划分为：绝对重要、特别重要、重要、一般、不重要、不靠近。经过实际的研究评定，制定出各个作业流程。

进行设施规划时，非物流关系也对整个作业流程有很大影响。通过参考工厂一线员工的工作，制定非物流关系的评价标准，具体如下：1) 作业设备的共享性，连续性；2) 环境关系；3) 作业流程的连续性；4) 各作业之间的员工工作的联系密切程度见表 2。

Table 2. Logistics intensity table
表 2. 物流强度表

作业单位			物流关系非物流关系			
单位 1	单位 2	等级	分值	等级	分值	
1	2	0	3	0	3	
2	1	0	3	0	3	
2	3	0	3	0	3	
3	2	0	3	0	3	
3	4	0	3	0	3	
4	3	0	3	0	3	
4	5	I	8	I	8	
5	4	I	8	I	8	
5	6	I	8	I	8	
6	5	I	8	I	8	
6	7	E	10	E	10	
7	6	E	10	E	10	
7	8	0	4	0	4	
8	7	0	4	0	4	
8	9	0	4	0	4	
9	7	0	4	0	4	
9	10	I	8	I	8	
10	9	I	8	I	8	
10	11	I	7	I	7	
11	10	I	7	I	7	

注：1：原料库、2：电脑裁板、3：仓库、4：四面刨、5：线边库、6：涂装机、7：晾干、8：排切机、9：高频、10：定厚砂光、11：喷漆、12：喷涂晾干、13：异形、14：线边库(发东厂)。

通过物流关系分析 6 工序到 7 工序的物流强度高, 应该尽量是这两道工序距离变近, 减少搬运距离, 1、2、3、4 工序物流强度低, 可以不优先考虑这几道工序之间的物流距离。其余工序物流强度适中, 在满足 6、7 工序的前提之下尽可能减少工序之间的物流距离。

4.2. 综合相关性分析

进行综合分析需要先确定物流关系与非物流关系的权重, 经过在工厂调研, 工厂作业中物流关系占主导地位, 非物流关系只占辅助地位, 所以确定物流关系与非物流关系的权重比值为 3:1, 通常设置等级取值 $A=4$, $E=3$, $I=2$, $O=1$, $U=0$, $X=-1$ 。根据各功能区之间的物流关系和非物流关系, 得到综合相关图见表 3、见图 3。

通过综合相关关系图分析排切和高频组装之间、砂光区域和喷漆区域的综合强度最高, 等级为 A, 布局分析时尽可能减少之间的搬运距离, 可以极大减少搬运上的浪费。四面刨和涂装区域、半成品库和成品组装区域的综合强度为 E, 进行布局分析是在满足工厂实际条件下缩短工序之间的物流距离。其余根据 A、E、I、O、U、X 的等级依次在满足等级高的条件下减少工序之间的距离, 减少搬运。

Table 3. Comprehensive relationship table

表 3. 综合关系表

	原料库	电脑裁板	仓库	四面刨	线边库	涂装机	晾干	排切机	高频	定厚砂光	喷漆	喷涂晾干	异形	线边库(发东厂)
原料库		3/0												
电脑裁板	3/0		3/0											
仓库		3/0		3/0										
四面刨			3/0		8/I									
线边库				8/I		8/I								
涂装机					8/I		10/E							
晾干						10/E		4/0						
排切机							4/0		4/0					
高频								4/0		8/I				
定厚砂光									8/I		7/I			
喷漆										7/I		13/A	6/I	
喷涂晾干											13/A		8/I	4/0
异形											6/I	8/I		
线边库(发东厂)												4/0		
	A		12~15											
	E		9~12											
	I		6~9											
	O		3~6											
	U		0~3											

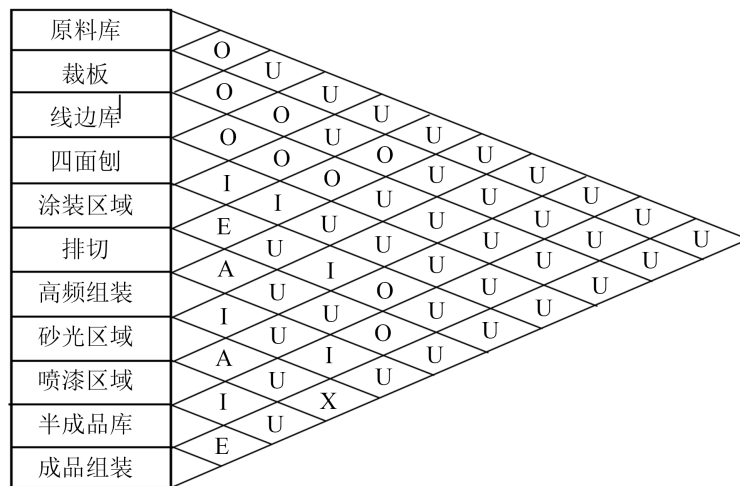


Figure 3. Comprehensive correlation diagram
图 3. 综合相关关系图

4.3. 线性关系图分析

根据综合相关图制定的强度等级，绘制物流与作业单位的相互关系图，用图例、符号、数字、颜色画出各个作业单位之间的相互关系。绘制时不考虑作业单位的实际位置和作业单位所需要的面积，各个作业单位之间的密切程度用线条的多少对应等级符号来表示。根据 YK 企业要求的喷漆不能动的前提，绘制出的线性关系图见图 4：

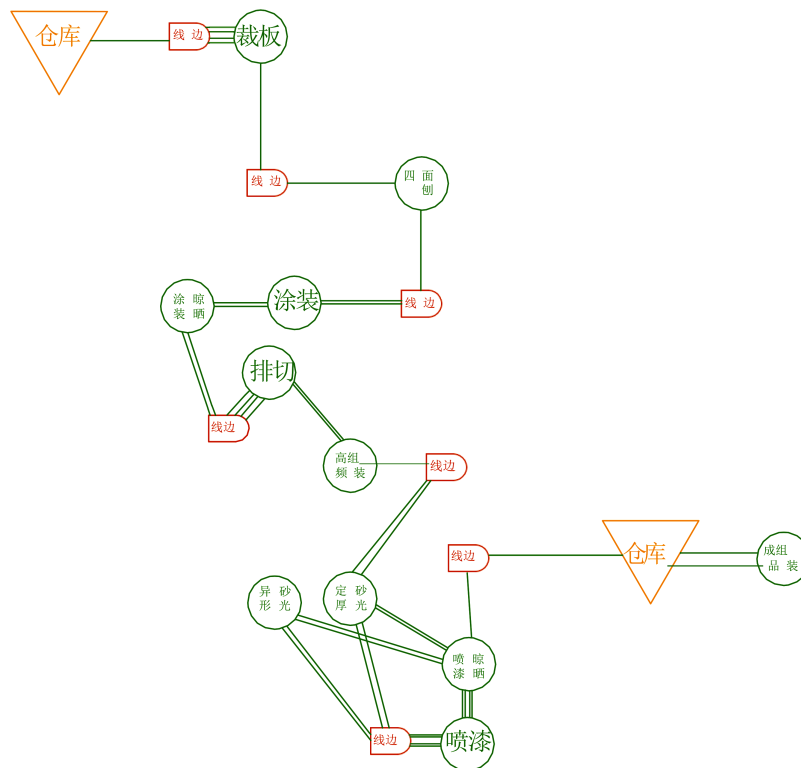


Figure 4. Linear relationship diagram
图 4. 线性关系图

根据线性关系图并且结合工厂实际画出经过 SLP 布局之后的 CAD 图纸见图 5:

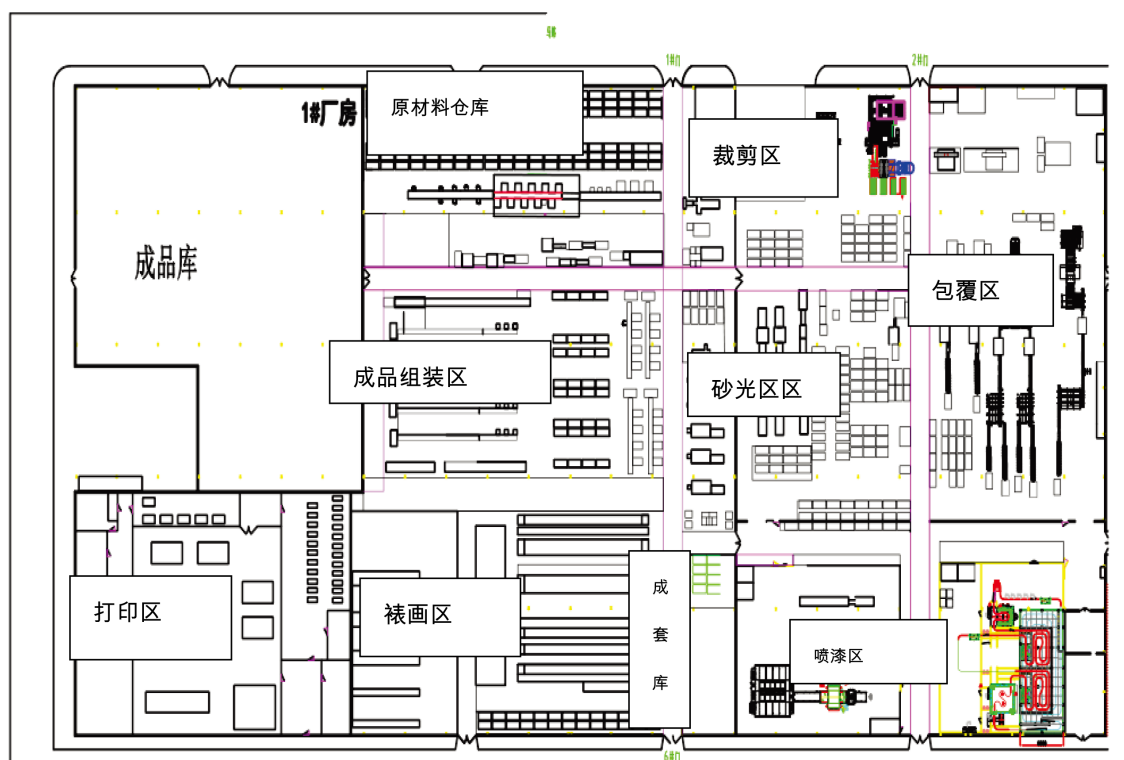


Figure 5. New layout plan
图 5. 新布局规划图

5. 3D 仿真及改善成果分析

5.1. Flexsim 参数设置

- 1) 发生器参数设置: 根据实际测量数据, 包括发生器到仓库的距离和订单统计时间, 发生器 1、2 的时间都为 1.29 s/个。
- 2) 叉车数据: 作业时间 5 min。
- 3) 根据暂存区的不同托盘数量也有不同, 板条暂存区: 12 个托盘, 四面刨暂存区: 5 个托盘, 高频养生暂存区: 12 个托盘, 涂装暂存区: 20 个托盘, 砂光暂存区: 18 个托盘, 半成品库: 36 个托盘。
- 4) 货架参数: 层数为 3 层, 列数为 10 列。
- 5) 处理器时间根据实际作业时间设定, 涂装机的工作时间为 3.28 s/个, 砂光线的工作时间为 3.16 s/个, 静电线的工作时间为 3 s/个, 排切机的工作时间为 3.6 s/个, 高频组装的工作时间为 3.6 s/个。
- 6) 合成器的加工时间为 3~8 s/个。

5.2. Flexsim 仿真和 3D 建模

为验证方案的可行性, 通过 flexsim 仿真软件[14]仿真方案的布局。仿真展示见图 6。

通过运行仿真模型, 可知道在实际生产中 1 天的库存及每天生产的成品, 方便与改善前做出对比。

利用 3D 软件进行空间比例 1:1 的比例进行空间模拟, 对产线, 线边库的摆放和叉车的装货周转进行空间上可行性进行确认。3D 展示见图 7。

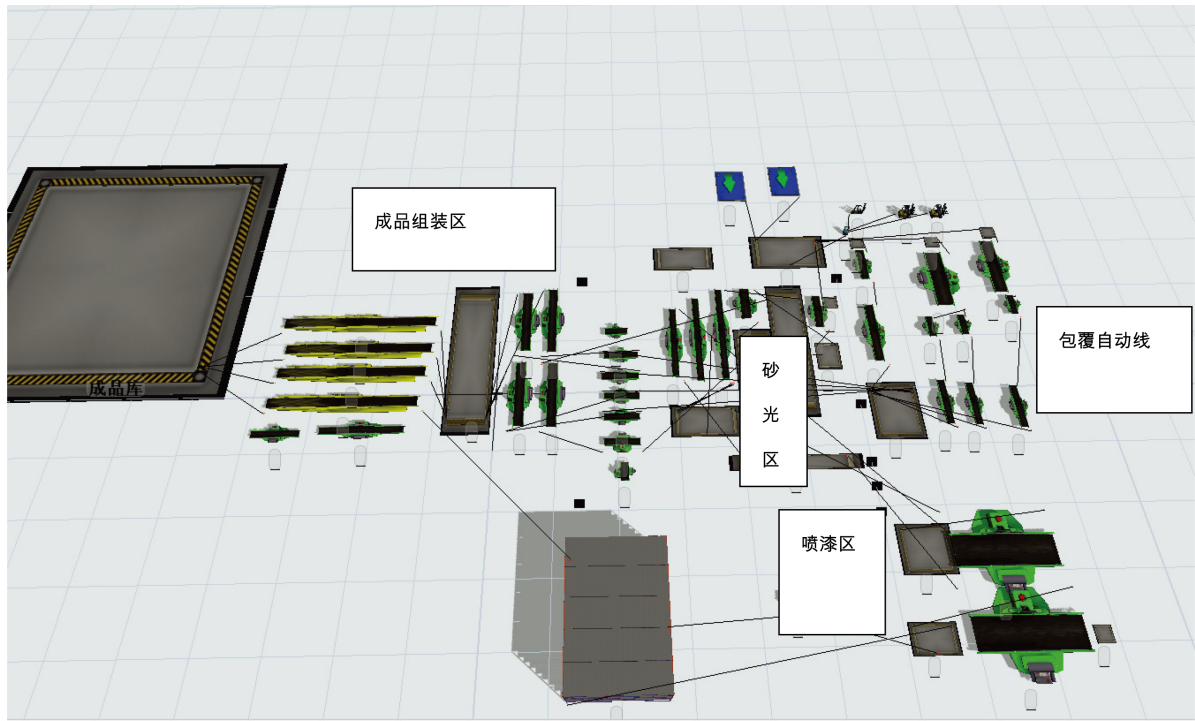


Figure 6. Simulation model diagram
图 6. 仿真模型图

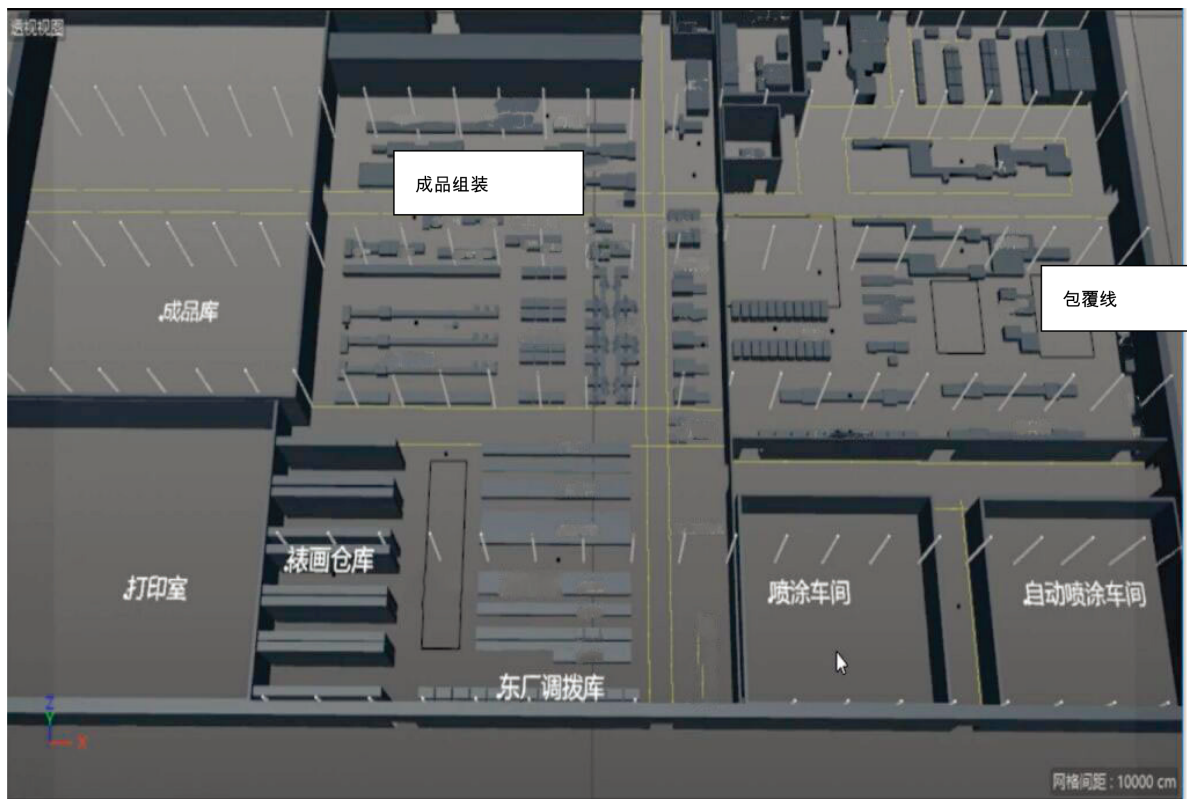


Figure 7. 3D diagram of new layout
图 7. 新布局的 3D 图

通过 3D 图可知布局的合理性，直观表达出规划布局的优缺点。

5.3. Flexsim 仿真和 3D 建模结果分析

仿真模型运用 10 h，即 36,000 s，点击运行，对仿真模拟开始分析，主要对设备情况加以分析。改善后通过对布局的调整，管理模式的改善，从仿真中可看出暂存区的拥挤率见图 8：

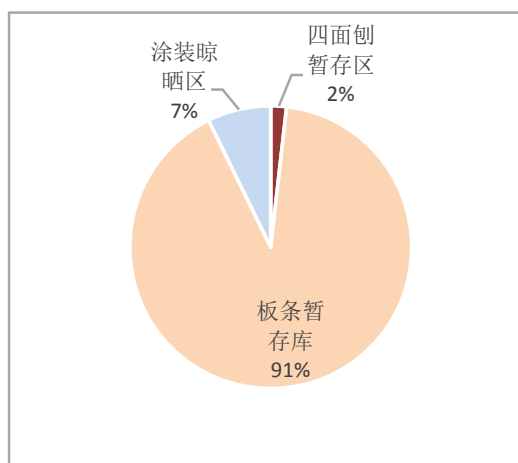


Figure 8. Congestion rate of temporary storage area after improvement

图 8. 改善后暂存区拥挤率

从改善前的各个作业区间线边库杂乱变成只有 3 个位置的暂存区存在拥挤现象，改善后只有板条暂存库的拥挤率为 91%，对比改善前大大降低，减少了各个作业期间的暂存区拥挤问题。

通过仿真报告，可分析出改善后喷漆像框产能为 7684 个/天，包覆像框产能为 29,975 个/天，总产能为 37,659 个/天，对比改善前喷漆像框产能增加 1684 个/天，包覆像框产能增加 5975 个/天。

6. 总结

本案例运用了设施规划与物流和工业工程的基础知识，通过各个产品的流程分析，以产品贯穿流程，通过 SLP 布局的方法规划布局作出了改善，叉车电拖工人减少了 5 人，货车调拨司机减少 2 人每日节约了 2800 元物流成本。工厂日产能从 6000 个喷漆像框，20,000 个包覆像框增加到 7684 个喷漆像框，29,979 个包覆像框，面积利用率增加了 13.33%，增加两种新产品的产线，改变了仓库管理模式，以成套库进行拉动式的生产。导入了产品工艺的整体流程的概念。用整体流程穿各自车间按照计划去行驶，以成套库建立拉动式生产，拉动前自制车间往成套库去流动，增加了产线平衡率，缩短了产品制程周期，释放了产能；节约的物空间面积安排新的产品及组装线，可见，产能的提升不一定是设备的增加，可以通过布局优化等现场管理提升产能。

参考文献

- [1] 姚妍, 龙明彩. 浅谈鱼骨图分析法在制造过程中的应用[J]. 机电元件, 2019, 39(4): 48-50.
- [2] Dell'Acqua, G. and Wegman, F. (2017) Transport Infrastructure and Systems. Taylor and Francis, Milton Park.
- [3] 杨宝德. 设计院应该加强对工业工程的学习与研究——纪念理查德·缪瑟来华讲学 30 周年[J]. 工程建设与设计, 2012(7): 30-31.
- [4] 冷护基, 颜文祺. SLP 和遗传算法相结合的车间布局研究[J]. 价值工程, 2019, 38(16): 63-66.

- [5] 张云帆, 李莉. 基于 SLP 的物流配送中心布局规划研究[J]. 物流科技, 2019, 42(10): 32-33+41.
- [6] 韩霞, 郝琦, 高伟, 等. 基于 SLP 方法的高校校园总平面布置优化[J]. 城市住宅, 2019, 26(9): 113-115.
- [7] 赵峰, 王泽. 基于改进的 SLP 和 AHP 法在超市布局中的应用研究[J]. 物流科技, 2018, 41(9): 13-17.
- [8] 陈琳, 杨文昕, 程铭, 等. 基于 SLP 的电商仓库布局优化研究[J]. 企业改革与管理, 2019(15): 66-67.
- [9] 何赞, 吴敏鑫. 某电子商务物流配送中心布局规划设计[J]. 物流科技, 2018, 41(8): 52-55.
- [10] 王志强, 李晓东. 基于 Flexsim 的 M 公司入库仿真优化[J]. 物流技术, 2019, 38(10): 108-113.
- [11] 丁鑫鑫. 面向订单的成套电器企业项目全生命周期管理模式与系统研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [12] 娄慧斌, 李坤, 陈洋. 基于 Flexsim 的食品加工厂配送中心的布局规划与仿真分析[J]. 现代制造工程, 2018(8): 20-16.
- [13] 黄裕. 基于 SLP 的车间设施布置优化分析[J]. 中国集体经济, 2020, 30(10): 160-161.
- [14] 齐善朋. Flexsim 仿真软件在教学中的研究应用[J]. 农业装备技术, 2018, 44(6): 60-61.