



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业论文

基于 SLP 的 T 公司 C 车间的生产布局优化

Production Layout Optimization of C Workshop in T Company Based
on SLP

学 院 智能制造学院
专 业 物流管理
班 级 19 物流管理(春)2 班
学 号 19404070114
姓 名 刘若兰
指导教师 董伟红
职 称 讲师
完成时间 2023 年 06 月 02 日

天津中德应用技术大学

本科生毕业论文

基于 SLP 的 T 公司 C 车间的生产布局优化

Production Layout Optimization of C Workshop in T Company Based
on SLP

学 院 智能制造学院
专 业 物流管理
班 级 19 物流管理(春)2 班
学 号 19404070114
姓 名 刘若兰
指导教师 董伟红
职 称 讲师
完成时间 2023 年 06 月 02 日

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计（论文）选题申报表

学 院	智能制造学院	申 报 人	姓 名	董伟红
专 业	物流管理		技术职务	中级
题目名称	基于 SLP 的 T 公司 C 车间的生产布局优化			
题目类型	生产实践	题目来源	生产实际	
课题来源、背景及意义	<p>T 公司是一家致力于生产自行车的小型企业，随着时间的推移和技术的革新，T 公司目前所拥有的生产车间已很难满足公司的生产需求。C 车间是 T 公司的生产车间之一，本文以 C 车间为例，旨在提高 C 车间的生产效率，通过使用 SLP 法对 C 车间的生产布局进行优化，根据得出的优化方案，改变原有各个生产模块的位置和占地面积，降低各单位之间的物流成本，提高整体的生产效率和车间面积利用率，减少车间的资源浪费等问题，从而在不增加更多成本的前期下，帮助 T 公司解决生产力不足的问题，提高企业的竞争力。</p>			
任务及要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 查阅相关文献，确定设计一个基于 SLP 的生产布局优化方案； 2. 收集 T 公司 C 车间的相关数据，如车间的产品种类，每月每种产品的产能目标，包装流程，工艺流程，各个单位所需的生产设备以及车间现状存在的问题。在考虑布局优化时，同时考虑精益设计的因素，以此降低物流成本； 3. 使用 SLP 法对现有布局进行优化，分析论证优化方案并逐步完善； 4. 总结研究过程与结论。 			
工作条件	物流专业实验室、T 公司、本校图书馆等。			
知识与能力要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 具有一定的现场调研和数据分析能力； 2. 掌握 SLP 法、生产车间布局优化，生产计划，精益生产相关理论，以及仿真软件、绘图软件等工具的使用方法； 3. 具有检索、查阅文献资料和较好的自学能力。 			
系（教研室）审查意见： 同意				
负责人(签名)： _____ 薛立立 _____ 2022 年 9 月 23 日				



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

毕业设计（论文）任务书

题 目： 基于 SLP 的 T 公司 C 车间的生产
布局优化

学 院： 智能制造学院

专 业： 物流管理

学生姓名： 刘若兰

学 号： 19404070114

起止日期： 2022 年 10 月 24 日~2023 年 06 月 02 日

指导教师： 董伟红

任务书下达日期：2022 年 10 月 21 日

任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始前一周内填好并发给学生；
2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；
3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；
4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004年3月21日”或“2004-03-21”。
5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0号装配图纸1张；A2号电气控制原理图纸2张；实物样机1台；产品2件”等。

毕业设计（论文）任务书

1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

（1）课题背景：

近年来，随着我国经济的发展和人民生活水平的不断提高，客户需求也在不断增加，需求的上升催发了中小制造型企业提高生产效率。我国自行车行业发展历史悠久，拥有较为完善的产业链和配套体系。在此条件下，中小型制造企业以改善车间布局，在不增加额外成本的前提下提高生产效率为目标，对现有生产车间进行优化调整。本题的研究，是以自行车企业 T 公司 C 生产车间为例，使用 SLP 法对 C 车间的生产布局进行优化，帮助 T 公司解决生产效率不高的问题，从而使 T 公司提高企业的竞争力。

（2）课题意义：

对于中小制造型企业，生产车间布局的合理性是影响该车间生产效率的重要因素之一。生产布局优化可以提高整体的生产效率和车间面积利用率，减少车间的资源浪费和成本等，因此本题的研究具有一定的经济意义和社会意义。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

（1）收集、查阅和整理有关国内外车间布局研究现状的相关资料并进行分析，了解车间布局的影响因素和车间布局优化的方法。

（2）以生产运作管理作为理论基础，将常见的车间布局优化方法进行对比，在考虑产品工艺流程的前提下选用系统布置设计 SLP 法，通过 SLP 生产车间布局优化的理论及方法对研究问题进行深入研究。

（3）设定 T 公司为研究对象。深入企业，实地调研，了解 T 公司现状，收集 T 公司生产系统相关数据信息，针对 T 企业的 C 生产车间的产品种类、产品工艺流程、车间布局等进行分析，找出存在的问题和改进优化的空间。

（4）运用生产运作管理及 SLP 生产车间布局优化的相关理论及方法，对 C 车间的生产布局进行优化改进，形成优化方案。

（5）对本课题研究进行总结，为 T 企业的 C 生产车间布局优化提供指导依据并具有一定的理论和实践价值。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

（1）本课题研究成果

提交本科毕业论文一篇。

（2）对论文的要求

①论文层次清晰及分析逻辑合理；合理引用一定的调研数字、图和表进行分析；

②论文字数要求在 10000 字以上，参考文献不得少于 20 篇，其中英文文献不少于 5 篇；

③论文写作文字通顺，用词准确，提交论文的格式必须符合学校要求的本科毕业论文写作规范。

4. 推荐参考资料：

[1] 韩昉, 刘利军等. 改进 SLP 算法的车间设施布局优化设计[J]. 机械设计与制造, 2021(3): 297-300.

[2] 黄鹏鹏, 魏春珊等. 基于 SLP 和 AHP 的输液器组装车间布局优化及仿真[J]. 制造业自动化, 2022, 44 (4) : 12-21.

[3] 彭飞, 马志. 基于 SLP 和 Plant Simulation 的车间工艺布局设计研究[J]. 现代制造工程, 2019(9): 28-36.

[4] 周侏睿, 张新艳等. 运用系统布局规划方法改善电动机维修车间布局[J]. 上海电机学院学报, 2019, 22 (02): 115-119.

[5] Liu H, Liu X, Lin L, et al. A Study of the Layout Planning of Plant Facility Based on the Timed Petri Net and Systematic Layout Planning[J]. Plos One, 2020, 15(9).

[6] WU Y, XU S, ZHAO H, et al. Coupling Layout Optimization of Key Plant and Industrial Area[J]. Processes, 2020, 8(2): 185.

[7] KOVACS G. Layout design for efficiency improvement and cost reduction[J]. Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences, 2019, 67(3):10.

[8] 高嘉成. 基于改进 SLP 的 BW 公司生产车间设施布局优化及仿真研究[D]. 河北: 河北工业大学, 2018.

[9] 刘玲玲. Q 公司 1 号生产车间布局优化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.

[10] 周润博. 基于改进的 SLP 对 HD 公司生产车间的布局优化[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.

所在专业审查意见:

同意

负责人: 薛立立

2022 年 10 月 21 日



天津中德应用技术大学

Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计（论文）开题报告

题目：基于 SLP 的 T 公司 C 车间的生产布局
优化

学院：智能制造学院

专业：物流管理

学生姓名：刘若兰

学号：19404070114

起止日期：2022 年 10 月 24 日-2023 年 06 月 02 日

指导教师：董伟红

开题日期：2022 年 11 月 18 日

一、开题报告内容（课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等）

（一）课题的目的意义

本课题的研究目的：本文以自行车企业 T 公司 C 生产车间为例，通过对 C 车间的生产现状、产品工艺流程的研究，找到目前车间布局存在的主要问题，结合物流工程、生产运作管理和精益生产的知识，运用 SLP 系统布置设计法对目前车间布局进行物流分析与作业单位关系密切程度分析，对结果进行综合分析和完善，最终根据作业单位面积相关图得出优化方案。

研究意义：对于中小制造型企业，生产车间布局的合理性是影响该车间生产效率的主要因素之一。通过对 C 生产车间原布局进行优化，不仅提高了 C 车间的提高生产率，还可以使该车间的物流路线更为畅通，提高车间内的物料搬运速度，从而进一步降低 C 车间的物流成本，提升企业竞争力，本题对中小制造型企业具有一定的参考价值。因此本题的研究具有一定的社会意义和经济意义。

（二）国内外研究分析及综述

1、国外研究综述

Lucas Schmidt Goecks, Taciana Mareth, et al (2022)^[1]指出布局优化对企业未来发展的重要性，并对在实例中应用 SLP 展开研究，在通过 SLP 方法得出若干优化布局方案后，将库存周转率、空间利用率、和企业未来发展方向等因素列入考虑中，通过 AHP 层次分析法选择最佳方案；Hu, Xiulian, Chuang, et al (2022)^[2]针对在电子商务飞速增长的情况下，如何提高供应链中心仓库和配送网点的分拣效率展开研究，发现影响分拣效率最主要原因是仓库布局，在应用 SLP 得出初始优化方案后，运用遗传算法对建立的非线性关系求解，得出最佳布局方案；Khariwal Shubham, Kumar Pradeep, et al (2021)^[3]介绍了基于 SLP 方法改善铁路修理车间布局的研究过程，根据铁路车间的日常工作，发现降低维修成本，提高生产率的主要方法是对车间布局进行优化；Liu H, Liu X, et al (2020)^[4]的研究验证了定时 Petri 网与系统布局规划相结合对改进工厂设施和物流系统布局是有效的，该方法弥补了传统方法未考虑的因素；WU Y, XU S, ZHAO H, et al (2020)^[5]重点研究厂房与工业区的耦合关系，研究表明厂房布局与大区布局的关系密切，在考虑该因素下所得出的布局更加合理实用；

Rizky Alfiansyah Nofal, Awibowo Setijo, et al (2020)^[6]以印尼国际航空餐饮服务公司为例, 针对飞行途中清理机舱内中所用餐具的过程困难, 而使航空公司面临无法顺利进行整个食品供应过程的准备工作的问题展开了研究, 通过收集相关数据, 运用 DMAIC 框架方法论确定问题原因, 在采用 SLP 布局优化方法后, 通过 Tecnomatix 仿真验证该优化方案有效; Shaojuan Su, Yasai Zheng, et al (2020)^[7]以船舶舱室为研究对象, 针对原有舱室布置存在缺陷的问题展开研究, 提出结合 SLP 和遗传算法的舱位优化方法, 最后根据引入实际因素, 采用 AHP 层次分析法选择最优方案。KOVACS G (2019)^[8]指出 SLP 法是降低运营成本的最重要和最常用的改进方法之一, 该研究将精益思想贯穿于 SLP 优化过程, 从而使生产效率显著提高。

2、国内研究综述

近年来, 随着我国科学技术的进步, 大量新技术被引入到制造业中, 推动了制造业的发展。但带来发展的同时, 很多制造型企业在对新技术认识不足的前提下, 将新技术引入目前的生产中, 不仅导致原有的生产车间布局错乱, 也增加了额外的成本。因此, 在此情形下, 国内很多学者对设施规划展开深入研究。其中 SLP 方法是设施规划的主流方法之一。

熊科峰、方瑜等人 (2022)^[9]为实现 ZB 公司提高生产效率的目标, 对 ZB 公司目前车间存在的问题进行分析, 由于该车间采用的是机群式布局方式, 因此采用 SLP 方法对其进行布局优化是合理的。经过此次改善, 该生产车间的效率得到提高; 李建华、陈祥儒等人 (2020)^[10]将 SLP 方法运用到煤矿企业车间布局, 根据价值流向图得出的车间现状分析结果, 以 SLP 方法为基础得出优化方案; 周侗睿, 张新艳等 (2019)^[11]针对司电动机维修车间的日常维修流程进行分析, 采用 SLP 方法对维修车间布局进行改进, 为 SLP 方法在不同类型车间的应用提供了参考依据; 王昀睿 (2019)^[12]以某钢结构公司生产车间为研究对象, 结合该车间生产产品的特点, 通过 SLP 法和线路最优的布局原则设计出优化方案, 改善了车间的生产情况; 徐天琦 (2018)^[13]为解决某阀门生产制造企业厂区扩建衍生的布局规划问题, 采用 SLP 方法为企业提供了解决方

案；周小康，段亚林（2018）^[14]结合 L 公司的实际状况和其车间生产离合器产品的生产情况，通过 SLP 方法分析研究出多品种小批量的制造企业的车间布局规划方案。

以上为传统 SLP 法解决布局优化的案例。近年来，随着学者们对 SLP 法研究的不断深入，发现将传统 SLP 法与智能算法、仿真模型等相结合，所得出的方案更具参考价值。

刘玲玲（2022）^[15]以 Q 公司卫浴洁具产品生产车间为研究对象，针对该生产车间在现有布局展开了研究，通过分析该车间的生产物流现状，将物料搬运及物料种类等因素列入考虑范围，结合遗传算法与 SLP 法得出车间布局优化初始方案；黄鹏鹏，魏春珊等人（2022）^[16]将 SLP 方法与 AHP 层次分析法相结合，针对 A 公司输液器组装车间物流系统效率低的问题，提出了以车间布局优化提高生产效率的思路；秦恩桃

（2021）^[17]针对主要生产液压转向器的 T 公司如何适应目前生产模式的问题展开了调查，运用 SLP 法对该公司生产车间进行重新布局，为了证实该优化方案的可行性，使用 Flexsim 软件仿真虚拟，该研究具有一定的参考价值；韩昉，刘利军等人（2021）^[18]针对传统 SLP 方法不足的问题，提出了结合遗传算法和统一物流单位对 SLP 改进的方法，并将其运用到 S 公司电缆生产车间的实例中，取得了良好的成效；杨军，丁周等人（2021）^[19]以叶轮生产车间为例，通过研究车间布局现状发现存在的问题，通过 SLP 方法得出最优方案后，利用 TRIZ 理论车间物料搬运设备进行改善；贾佳，魏旭等人（2021）^[20]对人因视角下的车间布局优化展开研究，旨在提高生产效率的同时减少降低工人的疲劳指数，采用快速全身评估法收集数据，并将数据应用到遗传算法和 SLP 法中，为多因素下的生产布局优化提供了理论依据；周润博（2020）^[21]以成都市青白江某工厂的设施布局为研究对象，为解决其生产量不足难以满足订单量需求的情况，运用遗传算法与 SLP 方法，为该工厂提供了新的设施布局方案；同样，徐晓鸣，邓裕琪等人（2020）^[22]以从事智能设备的生产的中小型企业 SY 公司为研究案例，在传统 SLP 方法的基础上，构建了物料搬运成本最小和非物流关系密切程度最大目标规划模型，借助粒子群算法对模型优化求解，最后根据实际情况进行调整，经对比后发现该优化方案有明显的效果。高嘉成（2018）^[23]以 BW 公司汽车零部件天津工厂电磁阀车间

为研究对象，采用改进的 SLP 方法对生产车间布局展开了研究，将数学模型与 SLP 方法相结合，解决了该生产车间在不扩大原有面积的基础上，加入新生产线的问题。

通过文献查阅和整理我们可以了解到，目前国内外学者对系统设施布置（SLP）法的研究和应用已达到十分熟练的程度。从上文可以看出，SLP 法不仅可以应用于研究常规车间布局优化，还可应用于船舱布局，机舱布局，供应链中心仓库和煤矿企业等场景。目前学者们在传统 SLP 方法上提出改善，在需要充分考虑其他影响布局的因素的条件下将 SLP 方法与遗传算法，模拟退火算法，蚁群算法等人工智能算法相结合，以达到更好的优化效果。另外还存在大量将 SLP 法与仿真软件相结合的理论及案例，运用仿真软件虚拟后挑选出的优化方案将更具参考价值。由于目前产品工艺流程要求生产车间更具柔性化和动态化，为顺应这一趋势，未来 SLP 方法的应用将更多的与人工智能算法相结合。

基于上述有关系统设施布置 SLP 方法的研究，本题在中小制造型企业力行优化生产车间提高生产效率背景下，以不增加更多成本的前提下提升 C 车间生产效率为目标，对 C 车间生产布局进行优化。结合物流工程、生产运作管理等专业知识，以 SLP 方法为基础，分析车间内不同作业区域的物流强度等数据，提出生产布局优化方案。

（三）课题主要研究内容

本课题从论文整体性来讲，有以下研究内容：

（1）查阅收集与本题相关的文献资料，提出本课题的研究目的及意义

收集、查阅和整理有关国内外车间布局研究现状的相关资料并进行分析，了解我国经济的发展和技术的进步为中小制造型企业带来的影响，提出本课题的研究目的及意义，分析中小制造型企业选择对生产车间进行布局优化的原因，以及生产车间布局优化为企业带来的优势，车间布局的影响因素和车间布局优化的方法。

（2）确定本课题所涉及的理论和研究方法

将物流工程和生产运作管理作为本课题的理论基础；在考虑产品工艺流程的前提下选用系统布置设计 SLP 法，论述系统化布置设计 SLP 的基本理论和作用，并将其与其他常见的车间布局优化方法进行对比。

（3）对 T 公司的现状及 T 公司 C 车间目前的生产布局进行深入研究

设定 T 公司为研究对象。调查分析 T 公司现状，收集 T 公司生产系统相关数据信息，针对 T 企业的 C 生产车间的产品种类、产品工艺流程、车间布局等进行分析，找出存在的问题和改进优化的空间，提供以 SLP 法进行生产布局优化解决 C 车间问题的思路。

(4) 基于 SLP 方法对 T 公司 C 车间的生产布局进行优化

针对 T 公司 C 车间目前生产布局存在的问题，综合考虑 C 车间的车间面积、产品的种类、平均产量、工艺流程等数据资料，运用 SLP 法对车间布局进行优化，形成优化方案。

(5) 结论

对本课题研究进行总结，提出布局优化对当前形势下中小制造型企业的重要性，以及本研究中存在的不足。

本论文的结构及技术路线如图 1 所示：

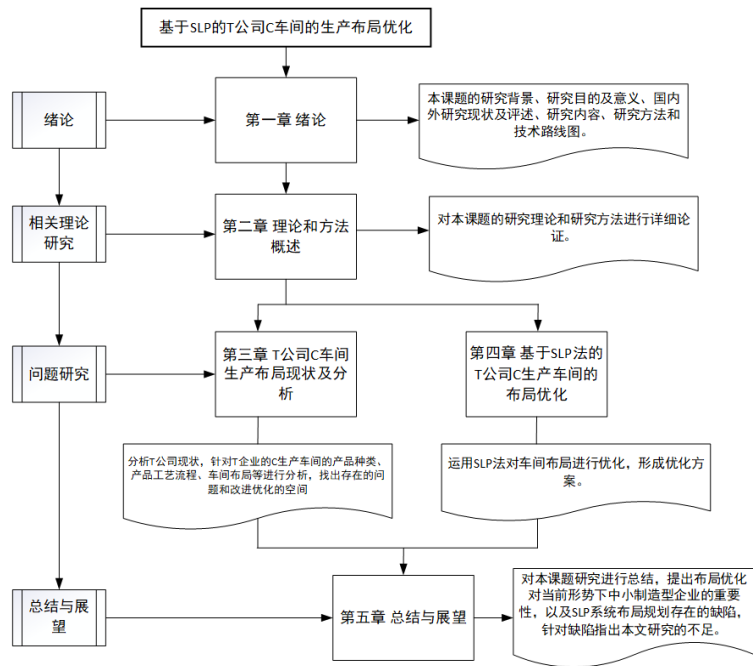


图 1 论文结构及技术路线

(四) 参考文献

[1]Lucas Schmidt Goecks, Taciana Mareth, Andr éLuis Korzenowski, Jorge Andr éRibas Moraes, Elpidio Oscar Benitez Nara. Analytic hierarchy process as a decision-making tool for

systematic layout planning, involving social responsibility criteria: a case study[J].

International Journal of Industrial and Systems Engineering,2022,40(1): 29-50.

[2]Hu, Xiulian,Chuang, Yi Fei. E-commerce warehouse layout optimization: systematic layout planning using a genetic algorithm[J]. Electronic Commerce Research,2022:1-18.

[3]Khariwal Shubham,Kumar Pradeep,Bhandari Manish. Layout improvement of railway workshop using systematic layout planning (SLP)–A case study[J]. Materials Today: Proceedings, 2021(44): 4065-4071.

[4] Liu H, Liu X, Lin L, et al. A Study of the Layout Planning of Plant Facility Based on the Timed Petri Net and Systematic Layout Planning[J]. Plos One,2020,15(9): 1-23.

[5] WU Y, XU S, ZHAO H, et al. Coupling Layout Optimization of Key Plant and Industrial Area[J]. Processes, 2020, 8(2): 185.

[6]Rizky Alfiansyah Nofal,Awibowo Setijo,Saraswati Triarti. Increase Productivity by Eliminating Waste and Using Systematic Layout Planning in Airline Catering Service[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,2020,1003(1): 1-8.

[7]Shaojuan Su,Yasai Zheng,Jinan Xu,Tianlin Wang. Cabin Placement Layout Optimisation Based on Systematic Layout Planning and Genetic Algorithm[J].Polish Maritime Research,2020,27(1) : 162-172.

[8] KOVACS G. Layout design for efficiency improvement and cost reduction[J]. Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences, 2019, 67(3): 547-555.

[9]熊科峰,方瑜,易紫艳.ZB 公司生产车间布局优化设计[J].中国集体经济,2022(09):77-79.

[10]李建华,陈祥儒,周鹏.基于 SLP 的采掘装备壳体车间布局优化研究[J].价值工程,2020,39(11):284-288.

[11] 周侑睿, 张新艳等. 运用系统布局规划方法改善电动机维修车间布局[J]. 上海电机学院学报, 2019, 22 (02): 115-119.

[12]王昀睿.基于 SLP 的某钢结构公司生产车间布局优化研究[J].现代制造工程,2019(03):31-37.

[13]徐天琦.基于 SLP 的某阀门生产车间布局优化研究[J].机械设计与制造工程,2018,47(04):74-77.

- [14]周小康,段亚林.基于 SLP 与 SHA 的轻卡离合器工厂设施布局优化[J].机械工程师,2018(04):86-88.
- [15] 刘玲玲. Q 公司 1 号生产车间布局优化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.
- [16] 黄鹏鹏, 魏春珊等. 基于 SLP 和 AHP 的输液器组装车间布局优化及仿真[J]. 制造业自动化,2022,44(4):12-21.
- [17]秦恩桃. 基于改进 SLP 的 T 公司车间布局优化研究[D].哈尔滨理工大学,2021.
- [18]韩昉, 刘利军等. 改进 SLP 算法的车间设施布局优化设计[J]. 机械设计与制造, 2021(3): 297-300.
- [19]杨军,丁周,闫德鑫.数字化生产车间的布局及优化分析[J].中国集体经济,2021(23):157-158.
- [20]贾佳,魏旭,杨丹,宋昭君,闫梓威.人因视角下 SLP/遗传算法集成模型车间布局优化[J].组合机床与自动化加工技术,2021(02):161-164+168.
- [21]周润博. 基于改进的 SLP 对 HD 公司生产车间的布局优化[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
- [22]徐晓鸣,邓裕琪,吴绮萍.基于 SLP 和粒子群算法的车间布局优化研究[J].机电工程技术,2020,49(02):17-20+98.
- [23] 高嘉成. 基于改进 SLP 的 BW 公司生产车间设施布局优化及仿真研究[D]. 河北: 河北工业大学, 2018.

二、进度及预期结果

起止日期	主要内容	预期结果
2022-10-24 至 11-18 2022-11-19 至 2023-03-17 2023-03-17 至 04-14 2023-04-14 至 04-25 2023-04-26 至 05-09	1. 课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献； 2. 文献资料的收集及分析研究、理论和方法研究、对 T 公司现状，T 公司的 C 生产车间当前布	1. 完成开题报告； 2. 撰写论文前三章； 3. 撰写论文后两章； 4. 完成初稿；

2023-05-10 至 06-02	<p>局进行分析，找出存在的问题和改进优化的空间；</p> <p>3. 运用生产运作管理及 SLP 生产车间布局优化的相关理论及方法，对 C 车间的生产布局进行优化改进，形成优化方案，并对优化结果进行分析与总结；</p> <p>4. 整合五章内容，数据可视化呈现；</p> <p>5. 修改完善论文内容，调整格式；</p> <p>6. 论文查重，准备答辩。</p>	<p>5. 完成终稿；</p> <p>6. 提交合格的论文，并完成答辩。</p>
完成课题的现有条件	<p>1. 本校图书馆可提供本馆以及与国内各图书馆联网的书籍、期刊等文献资料的借阅及在线查阅，知网文献的收集及分析；论文研究撰写的场地。</p> <p>2. 学院指导教师研究工作室、现代物流实训教室、专业教室可提供论文指导场所；物流专业实验室，如与教学配套的物流系统规划和设计仿真软件、物流及供应链分析的建模仿真软件、运筹学和统计学等数学模型的分析软件等系统软件可满足论文分析研究所需的工具。</p> <p>3. 与企业建立了良好的沟通路径。</p>	
指导教师 意见	<p>同意开题</p> <p style="text-align: right;">指导教师： <u>董伟红</u> <u>2022</u> 年 <u>11</u> 月 <u>18</u> 日</p>	

开题答辩

小组意见

组 长： 缠刚 2022 年 11 月 18 日

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

2023 年 5 月 26 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

2023 年 5 月 26 日

摘 要

由于市场需求越来越多样化,企业间的竞争也愈发激烈。为顺应市场变化,制造型企业逐步趋向多品种小批量生产模式发展。T公司作为自行车制造型企业中的一员,为了达到这一发展目标,该企业开始从生产车间布局、生产方式等方面着手优化。

对于生产车间来说,车间布局是影响生产效率的重要因素,原因是车间布局影响着作业单位之间的物料搬运距离和物料流动路线,进而影响车间内的物流成本和运作效率。随着产品种类的增加,车间内的物流路线混乱的问题也愈发明显。而在早年T公司建厂期间,由于经验不足和管理人员水平有限,缺乏对车间设施布置相关理论的了解和应用经验,导致C车间出现布局不合理的情况。对于C车间来说,为顺应T公司所倡导的多品种小批量生产,就应先从车间布局优化开始,通过车间布局优化改善C车间的生产现状,从而达到顺应发展、提高生产率的目的。

本文以T公司C车间为例,使用SLP方法对C生产车间进行优化,主要研究内容如下:首先,收集有关T公司概况和T公司C生产车间的信息,分析C车间存在的问题。用F-D图进行车间内物流量和距离分析,进一步挖掘出C车间布局的不合理性,提出C车间布局的改善要点。然后,利用SLP方法优化C车间布局,分别分析C车间内的物流关系和非物流关系,再将二者结合计算并得出综合关系相关图,结合C车间面积需求绘制面积相关图,在此基础上得到两个优化方案。从物料流动距离、物流强度、布局柔性以及改动成本四个角度对两个优化方案进行对比和评价,并由此确定最终优化方案。对最终优化方案提出改善后分析,推动该方案的可行性与实施的保障性。

本文的价值在于为自行车行业的车间布局优化提供了参考案例,丰富了SLP方法在该行业的应用情况,很好的展示了SLP的应用实例。通过调研生产车间真实情况,在此基础上,针对C车间布局存在不合理处的问题,利用SLP法对物流关系和非物流关系进行系统分析,制定优化方案,优化流动路线,提高企业竞争力。

关键词: 生产车间布局优化; SLP法; 自行车制造企业

ABSTRACT

As market demand is becoming more and more diverse, competition among enterprises is becoming more intense. In order to comply with market changes, manufacturing enterprises have gradually tended to the development of small-scale production models in multiple varieties. T Company is one of the bicycle manufacturing enterprises, to achieve this development goal, the company began optimizing the production workshop layout and method.

For production workshops, the workshop layout is an essential factor affecting production efficiency. The reason is that the workshop layout affects the material handling distance and material flow route between the workshop, affecting the logistics cost and operating efficiency. With the increase in product types, the problem of chaotic logistics routes in the workshop has become increasingly prominent. In the early years of the construction factory of Company T, due to bad experience and limited management personnel, the lack of understanding and application experience of related theories related to workshop facility layout led to an unreasonable layout in the C workshop. For the C workshop, to conform to the small-batch production advocated by company T, it should start with optimizing the workshop layout. Optimize the production status of the C workshop through the workshop layout to achieve the goal of conforming to development and improving productivity.

This article uses the C workshop of Company T as an example and optimizes the C production workshop using the SLP method. The main research content is as follows: First, collect information about the profile of company T and the C production workshop, and analyze the problems in the C workshop. Use the F-D diagram to perform the logistics and distance analysis in the workshop, further excavate the irrationality of the layout of the C workshop, and propose the critical points of improvement in the layout of the C workshop. Then, use the SLP method to optimize the layout of the C workshop and analyze the logistics and non-logistics relationship in the C workshop. Then combine these two analyses and obtain the comprehensive relationship's relevant diagram. Get two optimization schemes; This article compares and evaluates the two optimization schemes from the perspective of material flow distance, logistics intensity, flexibility of layout, and changing costs, and determines the final optimization plan. Put forward improvement of post-improvement analysis of the final optimization plan, and promote the feasibility and implementation of the plan.

The value of this article is to provide a reference case for the optimization of the workshop layout of the bicycle industry, which enriches the application of the SLP method for the industry, and it shows the application range of SLP very well. By referring to the actual situation of the production workshop, on this basis, there are problems with little places for the layout of the C workshop. We use the SLP method to systematically analyze the logistics and non-logistics relationships to formulate optimization plans, optimize the flow route, and improve the enterprise's competitiveness.

Key Words: Production layout optimization; SLP; Bicycle manufacturing enterprise

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的和意义.....	1
1.2.1 研究目的.....	1
1.2.2 研究意义.....	1
1.3 国内外研究现状.....	1
1.3.1 国外研究现状.....	1
1.3.2 国内研究现状.....	2
1.4 研究内容和方法.....	4
1.4.1 研究内容.....	4
1.4.2 研究方法.....	4
1.4.3 技术路线.....	5
第 2 章 生产车间设施布局相关理论基础	6
2.1 设施布局理论.....	6
2.1.1 设施布局设计的概念.....	6
2.1.2 设施布置的原则.....	6
2.1.3 生产设施布置的类型.....	6
2.2 设施布局的常用方法.....	7
2.2.1 摆样法.....	7
2.2.2 图论法.....	8
2.2.3 系统布置设计法 (SLP)	8
第 3 章 T 公司 C 车间布局现状及问题分析	9
3.1 T 公司概况	9
3.1.1 T 公司简介	9
3.1.2 T 公司的主营业务现状	9
3.1.3 T 公司的生产方式	10
3.2 T 公司 C 生产车间概况	11
3.2.1 C 车间产品介绍及工艺流程分析	11
3.2.2 车间布局现状分析.....	15
3.2.3 车间物流现状分析.....	17
3.2.4 C 生产车间布局存在的问题	19

3.3 C 车间物流 F-D 分析	20
第 4 章 基于 SLP 的 C 车间布局优化方案.....	29
4.1 SLP 方法概述	29
4.1 作业区域间相互关系分析.....	29
4.1.1 物流相关性分析.....	29
4.1.2 非物流相关性分析.....	35
4.1.3 作业单元综合相互关系分析.....	38
4.2 C 车间布局优化初始方案	41
4.2.1 绘制作业单元位置相关图.....	41
4.2.2 C 车间布局优化方案	44
4.3 优化方案综合评价.....	46
4.4 优化方案分析.....	51
4.4.1 C 车间优化方案分析	51
4.4.2 车间改动总结.....	53
第 5 章 总结与展望.....	55
5.1 总结.....	55
5.2 展望.....	55
参考文献.....	56
致 谢.....	58

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

近年来，随着我国经济的发展和人民生活水平的不断提高，客户需求也在不断增加，需求的上升催发了中小制造型企业提高生产效率。随着客户需求的多样化，产品种类也不断增多。对于我国自行车行业来说，尽管已拥有完整的生产体系，但当面对多样化的需求时，自行车行业的生产水平也应有所突破。由于目前自行车生产流程较为固定，多品种小批量的生产也为车间生产带来了压力，品种的增加为生产管理方面带来了一系列问题，如车间内搬运路线交叉和车间内物料摆放混乱等。

在此背景下，中小型制造企业在不增加额外成本的前提下，对现有生产车间进行优化调整，从而提高生产效率、降低运营成本，进而提高企业的市场竞争力。本题的研究，是以自行车制造企业 T 公司 C 生产车间为例，使用 SLP 法对 C 车间的生产布局进行优化，帮助 C 车间解决生产效率不高问题。

1.2 研究目的和意义

1.2.1 研究目的

本文以自行车企业 T 公司 C 生产车间为例，通过对 C 车间的生产现状、产品工艺流程的研究，找到目前车间布局存在的主要问题，结合物流工程、生产运作管理的知识，运用 SLP 系统布置设计法对目前车间布局进行物流分析和作业单位间关系密切程度分析，综合整理和完善分析后的结果，最终根据作业单位面积相关图得出优化方案。

1.2.2 研究意义

对于中小制造型企业，生产车间布局的合理性是影响该车间生产效率的主要因素之一。通过对 C 生产车间原布局进行优化，不仅提高了 C 车间的生产效率，还可以使该车间的物流路线更为畅通，提高车间内的物料搬运速度，从而进一步降低 C 车间的物流成本，提升企业竞争力，本题对中小制造型企业具有一定的参考价值。因此本题的研究具有一定的社会意义和经济意义。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 国外研究现状

通过文献查阅和整理我们可以了解到，目前国外学者对系统设施布置法（SLP）的研究和应用已达到十分熟练的程度。不仅是将 SLP 法应用到传统生产车间布局，还将其应

用于铁路修理车间，船舶舱室等场所。

Lucas Schmidt Goecks, Taciana Mareth, et al (2022)^[1]指出布局优化对企业未来发展的重要性,并对在实例中应用 SLP 展开研究,在通过 SLP 方法得出若干优化布局方案后,将库存周转率、空间利用率、企业未来发展方向等因素列入考虑中,通过 AHP 层次分析法选择最佳方案; Hu, Xiulian, Chuang, et al (2022)^[2]针对在电子商务飞速增长的情况下,如何提高供应链中心仓库和配送网点的分拣效率展开研究,发现影响分拣效率最主要原因是仓库布局,在应用 SLP 得出初始优化方案后,运用遗传算法对建立的非线性关系求解,得出最佳布局方案; Liu H, Liu X, et al (2020)^[3]的研究验证了定时 Petri 网与系统布局规划相结合对改进工厂设施和物流系统布局是有效的,该方法弥补了传统方法未考虑的因素; WU Y, XU S, ZHAO H, et al (2020)^[4]重点研究厂房与工业区的耦合关系,研究表明厂房布局与大区布局的关系密切,在考虑该因素下所得出的布局更加合理实用; Khariwal Shubham, Kumar Pradeep, et al (2020)^[5]介绍了基于 SLP 方法改善铁路修理车间布局的研究过程,根据铁路车间的日常工作,发现降低维修成本,提高生产率的主要方法是对车间布局进行优化; Rizky Alfiansyah Nofal, Awibowo Setijo, et al (2020)^[6]以印尼国际航空餐饮服务公司为例,针对飞行途中清理机舱内中所用餐具的过程困难,而使航空公司面临无法顺利进行整个食品供应过程的准备工作的问题展开了研究,通过收集相关数据,运用 DMAIC 框架方法论确定问题原因,在采用 SLP 布局优化方法后,通过 Tecnomatix 仿真验证该优化方案有效; Shaojuan Su, Yasai Zheng, et al (2020)^[7]以船舶舱室为研究对象,针对原有舱室布置存在缺陷的问题展开研究,提出结合 SLP 和遗传算法的舱位优化方法,最后根据引入实际因素,采用 AHP 层次分析法选择最优方案; KOVACS G (2019)^[8]指出 SLP 法是降低运营成本的最重要和最常用的改进方法之一,该研究将精益思想贯穿于 SLP 优化过程,从而使生产效率显著提高。

1.3.2 国内研究现状

近年来,随着我国科学技术的进步,大量新技术被引入到制造业中,推动了制造业的发展。但带来发展的同时,很多制造型企业在对新技术认识不足的前提下,将新技术引入目前的生产中,不仅导致原有的生产车间布局错乱,也增加了额外的成本。因此,在此情形下,国内很多学者对设施规划展开深入研究。其中 SLP 方法是设施规划的主流方法之一。

熊科峰、方瑜等人(2022)^[9]以提高 ZB 公司的生产效率为目标,分析 ZB 公司原始车间存在的问题并进行综合分析,由于该车间采用的是机群式布局方式,因此采用 SLP 方法对其进行布局优化是合理的。经过此次改善,该生产车间的效率得到提高;李建华、陈祥儒等人(2020)^[10]将 SLP 方法运用到煤矿企业车间布局,根据价值流向图得出的车间现状分析结果,以 SLP 方法为基础得出优化方案;周侑睿,张新艳等(2019)^[11]针对司

电动机维修车间的日常维修流程进行分析,采用 SLP 方法对维修车间布局进行改进,为 SLP 方法在不同类型车间的应用提供了参考依据;王昀睿(2019)^[12]以某钢结构公司生产车间为研究对象,结合该车间生产产品的特点,通过 SLP 法和线路最优的布局原则设计出优化方案,改善了车间的生产情况;徐天琦(2018)^[13]为解决某阀门生产制造企业厂区扩建衍生的布局规划问题,采用 SLP 方法为企业提供了解决方案;周小康,段亚林(2018)^[14]结合 L 公司的实际状况和其车间生产离合器产品的生产情况,通过 SLP 方法分析研究出多品种小批量的制造企业的车间布局规划方案。

以上为传统 SLP 法解决布局优化的案例。近年来,随着学者们对 SLP 法研究的不断深入,发现将传统 SLP 法与智能算法、仿真模型等相结合,所得出的方案更具参考价值。

刘玲玲(2022)^[15]设定 Q 公司的卫浴产品生产车间为研究对象,在研究了该车间的原始布局后,通过分析该车间的生产物流现状,将物料搬运及物料种类等因素列入考虑范围,结合遗传算法与 SLP 法得出车间布局优化方案;黄鹏鹏,魏春珊等人(2022)^[16]将 SLP 方法与 AHP 层次分析法相结合,针对 A 公司输液器组装车间物流系统效率低的问题,提出了以车间布局优化提高生产效率的思路;秦恩桃(2021)^[17]针对主要生产液压转向器的 T 公司如何适应目前生产模式的问题展开了调查,运用 SLP 法对该公司生产车间进行重新布局,为了证实该优化方案的可行性,使用 Flexsim 软件仿真虚拟,该研究具有一定的参考价值;韩昉,刘利军等人(2021)^[18]针对传统 SLP 方法不足的问题,提出了结合遗传算法和统一物流单位对 SLP 改进的方法,并将其运用到 S 公司电缆生产车间的实例中,取得了良好的成效;杨军,丁周等人(2021)^[19]以叶轮生产车间为例,通过研究车间布局现状发现存在的问题,通过 SLP 方法得出最优方案后,利用 TRIZ 理论对车间物料搬运设备进行改善;贾佳,魏旭等人(2021)^[20]对人因视角下的车间布局优化展开研究,旨在提高生产效率的同时减少降低工人的疲劳指数,采用快速全身评估法收集数据,并将数据应用到遗传算法和 SLP 法中,为多因素下的生产布局优化提供了理论依据;周润博(2020)^[21]以成都市青白江某工厂的设施布局为研究对象,为解决其生产量不足难以满足订单量需求的情况,运用遗传算法与 SLP 方法,为该工厂提供了新的设施布局方案;同样,徐晓鸣,邓裕琪等人(2020)^[22]以从事智能设备的生产的中小型企业 SY 公司为研究案例,在传统 SLP 方法的基础上,构建了物料搬运成本最小和非物流关系密切程度最大目标规划模型,借助粒子群算法对模型优化求解,最后根据实际情况进行调整,经对比后发现该优化方案有明显的效果。高嘉成(2018)^[23]以 BW 公司汽车零部件天津工厂电磁阀车间为研究对象,采用改进的 SLP 方法对生产车间布局展开了研究,将数学模型与 SLP 方法相结合,解决了该生产车间在不扩大原有面积的基础上,加入新生产线的问题。

通过文献查阅和整理我们可以了解到,目前国内外学者对系统设施布置(SLP)法的研究和应用已达到十分熟练的程度。从上文可以看出,SLP 法不仅可以应用于常规的车间布局优化,还可应用于船舱布局,机舱布局,供应链中心仓库和煤矿企业等场景。目前学

者们在传统 SLP 方法上提出改善，在需要充分考虑其他影响布局的因素的条件下将 SLP 方法与遗传算法，模拟退火算法，蚁群算法等人工智能算法相结合，以达到更好的优化效果。另外还存在大量将 SLP 法与仿真软件相结合的理论案例，运用仿真软件虚拟后挑选出的优化方案将更具参考价值。由于目前产品工艺流程要求生产车间更具柔性化和动态化，为顺应这一趋势，未来 SLP 方法的应用将更多的与人工智能算法相结合。

1.4 研究内容和方法

1.4.1 研究内容

本课题从论文整体性来讲，有以下研究内容：

(1) 查阅收集与本题相关的文献资料，提出本课题的研究目的及意义。

收集、查阅和整理有关国内外车间布局研究现状的相关资料并进行分析，了解我国经济的发展和技术的进步为中小制造型企业带来的影响，提出本课题的研究目的及意义；分析中小制造型企业选择优化生产车间布局的原因，以及车间优化为企业带来的优势，影响车间布局的因素和车间布局优化的方法。

(2) 确定本课题所涉及的理论和研究方法。

将物流工程和生产运作管理作为本课题的理论基础；在考虑产品工艺流程的前提下选用系统布置设计 SLP 法，论述系统化布置设计 SLP 的基本理论和作用，并将其与其他常见的车间布局优化方法进行对比。

(3) 对 T 公司的现状及 T 公司 C 车间目前的生产布局进行深入研究。

设定 T 公司为研究对象。调查分析 T 公司现状，收集 T 公司生产系统相关数据信息，针对 T 公司 C 生产车间的工艺流程，产品类型，车间布局等方面进行分析，找出存在的问题和改进优化的方向，提供以 SLP 法进行生产布局优化解决 C 车间问题的思路。

(4) 基于 SLP 方法对 T 公司 C 车间的生产布局进行优化。

针对 T 公司 C 车间目前生产布局存在的问题，综合考虑 C 车间的车间面积、产品的种类、平均产量、工艺流程等数据资料，运用 SLP 法对车间布局进行优化，形成优化方案。

(5) 结论

对本课题研究进行总结，提出布局优化对当前形势下中小制造型企业的重要性，以及本课题进一步的研究方向。

1.4.2 研究方法

(1) 文献研究法

本文通过搜集和整理大量有关车间布局研究现状的文献，了解生产车间布局优化的现状及理论成果，分析并寻找合适的车间布局优化的方法，提出本论文的结构和解决问题的思路。

(2) 定性分析与定量分析结合法

SLP 法是一种将定性分析与定量分析相结合的研究方法，该方法重点关注车间内的物流分析和各功能区之间的关系密切程度，并将二者结合进行综合分析。

(3) 案例分析法

以实例 T 公司 C 生产车间为例，参考该车间内的实际布局情况，收集该车间内的物流信息和各作业单元相关数据，了解该车间的日常生产计划和产品生产流程，最后在原有的布局基础上进行生产布局优化。

1.4.3 技术路线

技术路线如图 1-1 所示。

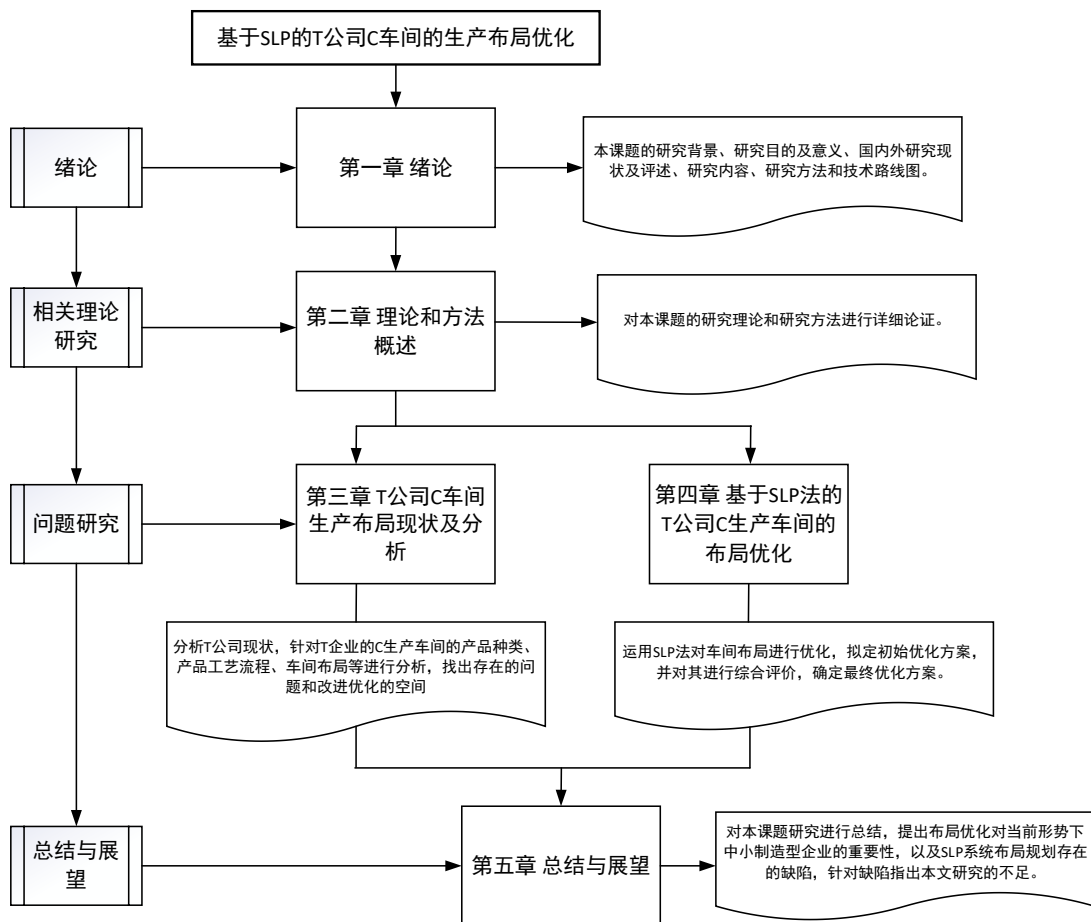


图 1-1 技术路线图

第 2 章 生产车间设施布局相关理论基础

2.1 设施布局理论

一个生产车间的布局是否合理影响着该车间的生产效率，车间内的物流成本以及车间的正常运行，从而影响到企业的整体收益。因此，企业应尤为关注生产车间布局，本章将从设施布置的概念，原则，生产设施布置的类型及适用情况，设施布局的常用方法展开描述。

2.1.1 设施布局设计的概念

设施布局设计（Facility Layout Design ,FLD）是设施布局规划中最重要的一环，它包括生产车间布局和工厂总体布局。工厂总体布局是对工厂内部的所有区域（如生产车间，仓库，办公楼等）进行布局规划。生产车间设施布局设计是指在规定区域内，为保证车间正常高效的运作，对原料入库，加工，产出成品，包装出库这一流程进行设计规划，尽可能降低生产成本，提高生产效率，从而使企业获得更多收利。在对生产车间进行布局时，应根据产品工艺流程和各作业单位之间的物流量等信息，对各单位，机器及物流通道进行合理布局。

2.1.2 设施布置的原则

设施布置应符合以下原则：

1.整体综合考虑：在对车间布局进行设计时要从整体的角度，综合考虑相关因素，从而得出更合理的方案。

2.搬运成本低：搬运成本的高低不仅可以反映出搬运路线是否流畅，也能反映路线长度是否合理。

3.空间利用率：充分考虑各个作业单位的占地面积和空间需求，尽量提高空间利用率。

4.满足生产的柔性需求：在布置规划前，要考虑到市场变化，技术更新等因素带来的布置变化，只有更快的响应市场需求，企业才能获利更多。

5.安全：要考虑到作业人员的安全感和空间的舒适性。

2.1.3 生产设施布置的类型

一般来讲，企业会根据自身经营业务和产品工艺流程等因素选取生产设施布置形式，车间内最常见的生产设施布置形式主要有以下四种，即产品原则布置、定位式布置、工艺原则布置以及成组单元布置。具体如表 2-1 所示。

表 2-1 生产设施布置的主要类型

布置类型	特点	适用情况	优点	缺点
定位式布置	根据加工对象确定设备和生产工人的位置，原因是选用此类布置形式的原因是加工对象过大且不易移动。	大型工程项目或大型产品生产。	物料移动需求小，连续作业性强，能够生产的柔性需求。	物料和人员需求在不同的生产阶段需要变动，组织管理较难。
产品原则布置	也称流水线布置，整个生产流程在该模式下被作业分工和标准化，根据产品工艺流程进行作业排序，形成流水线。	可以将生产流程分解为一系列标准作业的产品。如汽车装配线。	利于大批量生产产品，产品单位成本低，生产效率高。	需要较高的设备投入；当设备发生故障，产品种类变更时，需要时间调试，响应能力差；不能满足生产的柔性需求。
工艺原则布置	也被叫做机群式布置，是将功能相同或相似的一组设施排布在一起，形成不同功能的机群组。	多品种小批量生产，更多用于服务业布置，如医院科室。	产品质量高，且生产柔性较高。	不同产品的工艺流程不同，因此会造成物料搬运路线混乱；设备利用率低，在制品数量多。
成组单元布置	又称单元制造，主要表现形式是生产单元，它是由相似工艺过程组合的。	多品种小批量生产。	具有产品原则布置生产效率高，单位成本低的优点，也有工艺原则布置生产柔性高，且受设备故障等不良影响小，弥补了设备稼动率低的缺点。	增加了整个生产运作协调的难度，并且要求工人有更全面的操作技术。

2.2 设施布局的常用方法

目前有多种关于设施布局的研究方法，本文主要介绍最常见的三种方法，具体概述如下文所示。

2.2.1 摆样法

摆样法是人们最早使用的一种布置方法。它指的是在一个二维平面上，以真实情况为据，根据一定的缩放比例对现场布局进行模拟。它具有操作简单，便于学习理解的优点，缺点是不够准确，且耗费时间长，并且不适用于设备较多的场景。

2.2.2 图论法

该方法在思路与摆样法有相似之处，它是将该场景中的设施设备定义为点，接着以弧线连接不同的设施，形成一个关系图，用以表示设施之间的工艺关系。但该方法缺乏对设施之间的距离和设施大小的考虑，因此应用范围较小。

2.2.3 系统布置设计法（SLP）

1961 年理查德·缪斯提出了系统布置设计（Systematic Layout Planning, SLP），该方法的出现在设施布局方式上绝对是划时代的革新，为人们提供了另一种有规律可循的布局思路。这种方法综合运用了定性分析和定量分析，不仅全面考虑了设施单位之间的物流量和距离，也考虑了设施间的非物流相关性。它不仅适用于工厂布局，也被学者们运用到船舱，飞机舱，办公室，医院等地。

第 3 章 T 公司 C 车间布局现状及问题分析

3.1 T 公司概况

3.1.1 T 公司简介

T 公司是一家中小型制造企业，其主营业务是自行车的生产和销售，公司总部位于天津市武清区。自创立以来，T 公司一直秉承“为客户提供更好的产品”这一理念。截止到 2022 年，T 公司平均年产 280 万辆自行车，所生产的产品不仅畅销国内，还有一部分产品远销国外，受到国内外客户的一致好评。

尽管随着电动车的兴起，人们对出行方式有了更多的选择，自行车行业受到了一定的影响，但自行车仍是人们在短途出行时的首选交通工具。并且，随着人们的物质生活不断丰富，人们对自行车的外形，使用体验，配色等又有了新的要求。为了迎合客户需求，T 公司不断地对产品进行升级。同时，整个企业也在摸索中不断成长着。

3.1.2 T 公司的主营业务现状

T 公司的主营业务是自行车的生产与销售，该公司不仅拥有多个生产中心，还设有专门的研发中心和销售中心。在生产过程中，该公司不仅注重产品的数量，更加重视产品的生产质量。在当前市场的需求下，T 公司主营产品为山地自行车，儿童自行车等各种自行车。山地自行车产品样图如图 3-1 所示。



图 3-1 山地车产品样图

3.1.3 T 公司的生产方式

根据市场需求和产品类别的不同，可以大致将制造型企业的生产方式分为两种。

一种为推式生产，在这种生产方式下，公司通过市场调研进行客户需求预测，随后根据需求预测完成生产计划的制定。公司各部门根据制定的生产计划进行协调配合，共同完成生产，而生产计划主要是根据 MRP 的计算结果来运行，计算结果由前一步推向后一步，形成“从前到后”式的生产。

另一种为拉式生产，这种生产方式是从市场的需求出发，也就是客户订单。客户订单是拉式生产的开始，公司根据客户订单安排生产计划，在与客户充分沟通后，确定产品的类型和数量等必要信息，随后统一安排生产。

T 公司采用的生产方式主要为拉式生产。客户订单的产出流程可以分为三个阶段，订单处理流程图如图 3-2 所示。

第一阶段是前期准备工作阶段。客户可以通过线下或线上两种方式联系公司，与公司的市场部沟通时，提出所需产品的样式和数量。市场部根据客户的订单需求，将订单交给研发部进行产品设计，并将设计后的效果图发送给客户。

第二阶段是订单生产阶段。在得到客户确认后，由市场部通知采购部和生产部，以便安排生产准备工作，采购部根据物需提单，进行原材料采买工作；生产部根据产品样式图等数据，制定生产计划并按期生产，成品在生产部检验合格后即可交货。

第三阶段为货物交付阶段。订单完成生产后，公司根据合同规定安排送货，由物流部将成品送至客户指定的地点完成交货，或由客户自提完成交货。

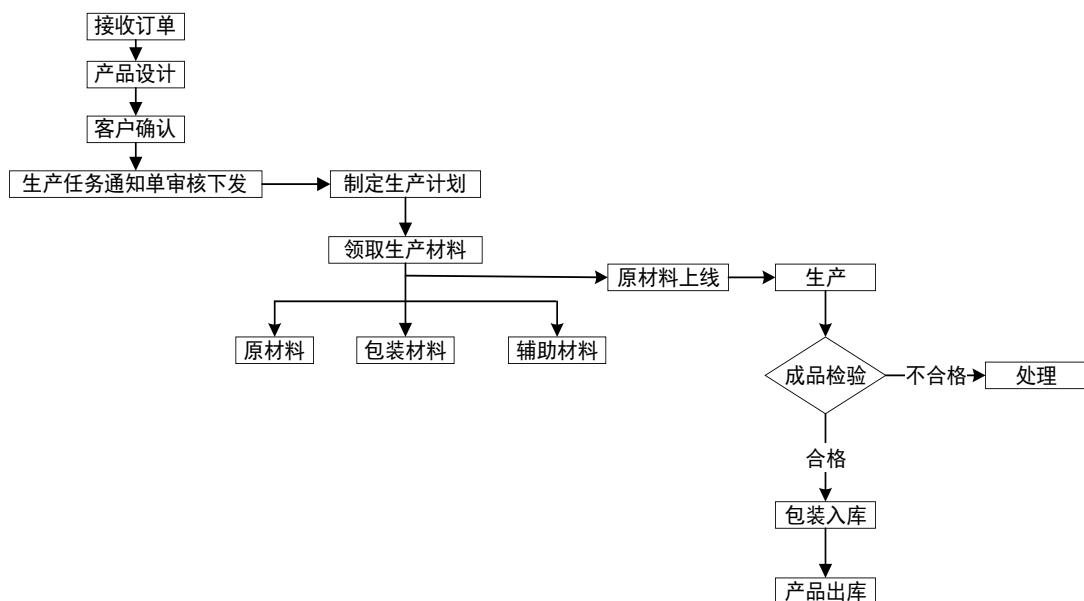



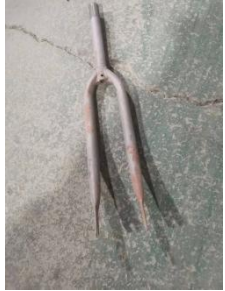


图 3-2 订单处理流程图

3.2 T 公司 C 生产车间概况


3.2.1 C 车间产品介绍及工艺流程分析

T 公司 C 生产车间为本文主要研究对象，C 车间为粉末静电喷涂车间，其产品为自行车车体金属零部件，如车架，前叉，减震前叉，挡泥板和牙盘罩。其中车架，前叉和牙盘罩的工艺流程相同，减震前叉和挡泥板有相同的工艺流程。具体产品种类、生产线数量、产能、产品图片如表 3-1 所示。

表 3-1 C 车间产品介绍

产品名称	生产线数量（条）	生产线月产量（件）	图片
车架	1	1680	
前叉	1	1680	
减震前叉	1	1680	
牙盘罩	1	1680	

续表 (3-1)

产品名称	生产线数量 (条)	生产线月产量 (件)	图片
挡泥板	1	1680	

C 车间主要接受四家常驻客户的订单, 平均每月接收大概五万套喷涂订单。每个大订单的量在 3000 套左右, 小订单则在 1000 套左右。因为自行车行业存在淡旺季这一现象, 所以淡季产出量和旺季产出量有较大的出入。

C 车间在 2022 年的年产量达到了 604800 套 (约 60 万), 每套中都包含一个车架, 一个前叉, 一个减震前叉, 一副挡泥板和一个牙盘罩。经调查, C 车间的 2022 年每月产量如表 3-2 所示。

表 3-2 C 车间 2022 年月产量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
产量 (万套)	3	3.5	4	5	5	8	8.1	8.28	7.1	3	3	2.5

由此我们可以推算出 C 车间的年平均日产量, 为便于后期计算, 这里设定每月时长为 30 天。

$$\text{平均月产量} = \text{年总产量} / 12 = 604800 / 12 = 50400 \text{ (套)}$$

$$\text{年平均日产量} = \text{平均月产量} / 30 = 50400 / 30 = 1680 \text{ (套)}$$

通过计算后可以得知, C 车间的 2022 年的平均日产量为 1680 套。2022 年 C 车间的产能虽然勉强能够满足客户的需求, 但在客户需求越来越高、淡旺季多变的情况下, C 车间的生产线仍需要不断改进以保持竞争力。

生产工序指的是原材料从生产、转化到最终组装成成品的过程。C 车间的主要作业是金属喷涂工艺, 是对自行车架、前叉、减震前叉等毛坯件进行喷涂上色、贴花、罩光等工序处理。

在进行喷涂作业前, 需要对已焊接的毛坯零部件进行加工前处理, 处理流程一般为除油、除锈、水洗、磷化、烤干。经过加工处理后的工件, 不仅表面没有油、锈、尘, 而且

处理后的表面会生成一层均匀而粗糙的不容易生锈的灰色磷化膜。这种磷化膜既能防锈又能增加喷塑层的附着力，有利于后续加工处理。

磷化后的毛坯件经工人检验合格后，在除尘后就可进入喷涂工序，喷涂采用静电粉末喷涂工艺，该工艺利用静电吸附的原理，将粉末涂料均匀的喷涂到毛坯件的表面上。因为喷涂后工件表面尚未凝固，所以需要将工件送入烤炉，使表面颜料固化。

贴花工艺是在自行车车体表面贴上图案或花纹，花体材质通常为塑料薄膜，工人用水贴花溶液（又称叫 bcs 药水），将花体黏附在车体表面。因为贴花的作用偏向装饰性和突出个性，所以根据客户需求，不同品牌和种类的自行车贴花的位置不同。

罩光工艺，也称漆面罩光，是为了保护色漆层（或贴花）、提高面漆层光泽及装饰性，在涂面漆或贴花后再涂一层清漆的工序。烤花后的工件进入罩光流程，先由机器在流水线上统一喷涂罩光漆，之后由工人在下一个加工室进行罩光漆补枪，从而保证罩光漆完全覆盖零部件表面，喷涂罩光漆后的车体零部件需要在烤炉 150 °的高温下烘烤 20 分钟。

具体的生产流程如图 3-3，对工序的详细介绍如表 3-3 所示，各种产品的工艺流程如图 3-4 所示。

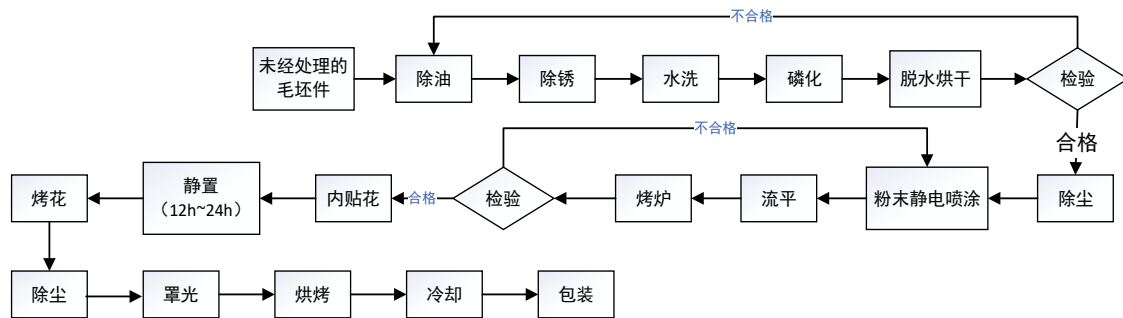


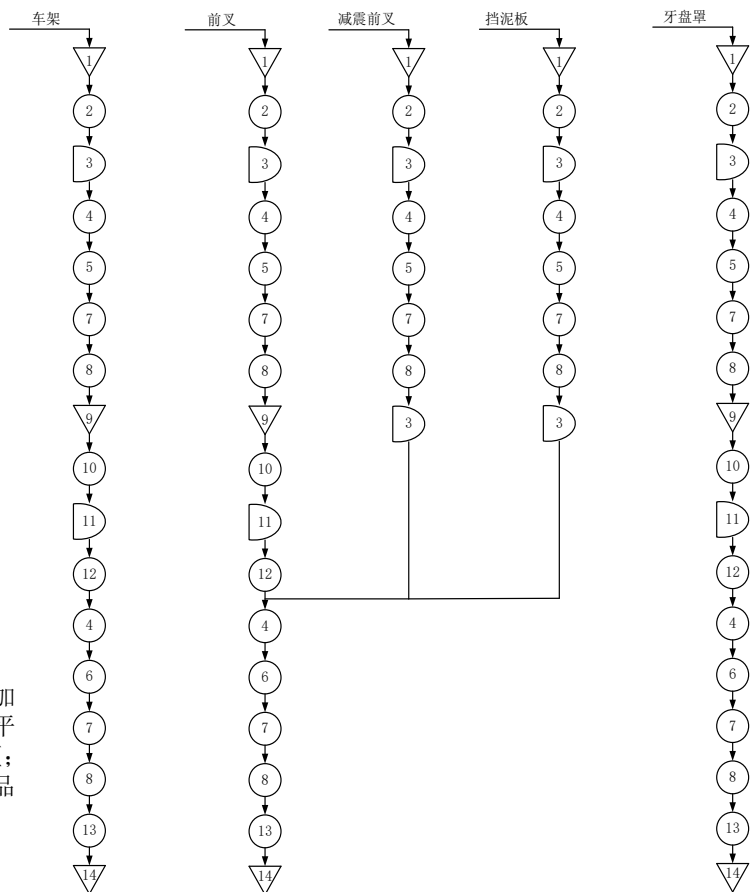
图 3-3 C 车间产品的生产流程

表 3-3 C 车间工序介绍

工序号	工序名称	工序内容
1	除油	在特定的水池中倒入除油剂。
2	除锈	将出油后的毛坯浸入除锈池中，利用酸除去毛坯表面的锈迹。
3	水洗	将除锈后的毛坯浸入清水池中，洗去表面的酸。
4	磷化	将洗净的毛坯浸入带有凝华液的水池中浸泡。
5	烘烤	将表面带有凝华液的毛坯放入烤箱烤干。
7	除尘	对处理后的毛坯件进行表面除尘。
8	上线	经过前期处理后的毛坯件初次上线流水线。
9	喷涂上色	根据客户订单的要求对毛坯件进行喷涂上色。
10	流平	喷涂后的毛坯件需要走过约 15 分钟的流水线，以便于表面流平。

续表 (3-3)

工序号	工序名称	工序内容
11	烘烤	流平后的毛坯件将直接进入烤炉烘烤，使表面颜料固化，烤炉温度设定 200°，烘烤时间为四十分钟，出炉后即为半成品。
12	贴花	对表面漆料固化的半成品进行贴花操作，贴花室应保持恒温在 20°左
13	静置	贴花后需要静置 12—24 小时，保证花体表面自然风干，由于贴花材质的不同，所需静置时间也不同
14	烤花	静置后的零部件随流水线进入烤花炉，烤花时长 20min，温度恒定在
15	罩光	利用机器设备在烤花后的半成品的表面淋上精油，再由人工补枪精油，保证精油在表面分布均匀
16	流平	带有精油的零部件需要走过约 15 分钟的流水线，以便于表面流平。
17	烘烤	利用烤箱使半成品表面精油固化，固化后的精油对零件上的漆体有保护作用，至此成品出货，半成品需在 150°的高温下烘烤 20 分钟，
18	包装	用塑料膜对成品进行简易包装，防止成品表面被磕碰。









注释：
 图中序号分别为：1-原料区；2-磷化区；3-待加工区；4-除尘区；5-喷涂区；6-罩光区；7-流平区；8-烘烤一区；9-半成品存放区；10-贴花区；11-静置区；12-烘烤二区；13-包装区；14-成品区；

图 3-4 C 车间产品工艺流程

在制作工艺流程图时，常常使用一组流程图符号来表示加工、搬运等含义，每个符号所代表的含义可以参考下面的表 3-4。

表 3-4 工艺流程符号

序号	图形示例	含义
1		储存
2		加工
3		停滞
5		运输
6		检验数量
7		检验质量

3.2.2 车间布局现状分析

T 公司 C 车间负责的主要工作是对已经完成焊接的车架、前叉等配件进行喷涂上色、贴花、罩光等操作。C 车间的占地面积约为 2235 平方米，其长约 61 米，宽约 37.5 米，分为上下两层，内置一条完整的生产线。一层主要分为三个部分，这三个部分的作用分别是磷化，毛坯件储存和毛坯件加工。每个部分之间均用水泥墙隔开，三个部分之间均有一门，供人和货物通过。关于自行车零部件的喷涂工艺，虽然自行车种类繁多，但对于车架等零部件的喷涂工艺是较为一致的。因此，在加工流程较为固定且出货量大的前提下，C 生产车间以产品原则式布置为主，所以车间内的大体布置主要是围绕喷涂流水线展开的。

在车间布局规划中，作业单元是根据工作内容来划分的，它可以是一片区域，也可以是一台机器。在实际生产中，作业单元的划分往往是根据车间管理者及车间生产实际需求来调整的。

目前，车间内的作业单元主要包括原料区、磷化区、待加工区、烘烤区等多个区域。各个区域的具体分布如图 3-5、3-6 所示。

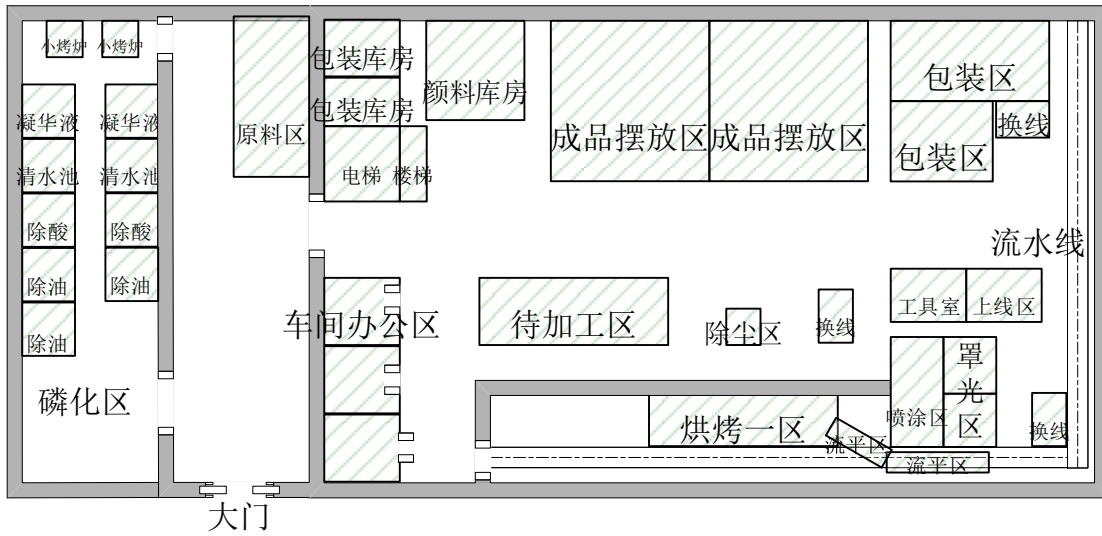


图 3-5 C 车间设施布置平面图（一楼）

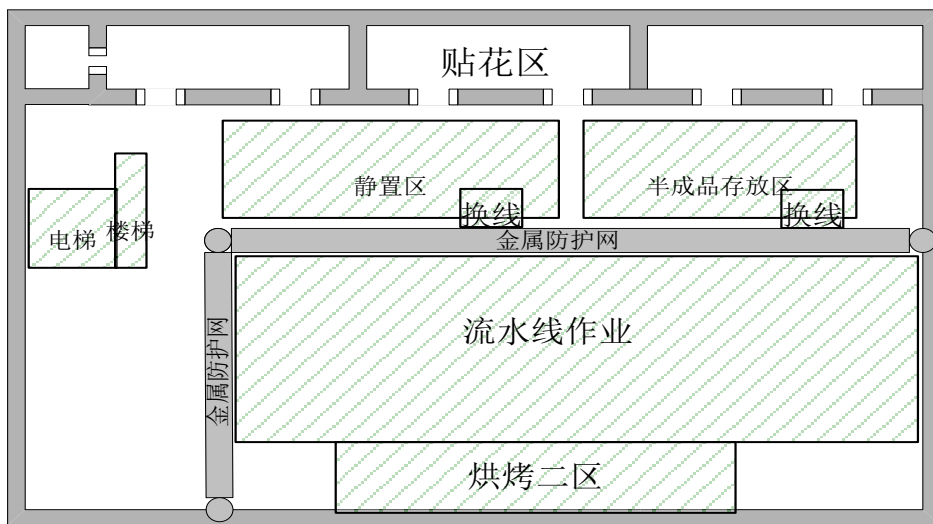


图 3-6 C 车间设施布置平面图（二楼）

C 车间共有如表所示的 17 个作业区域，如表 3-5 所示，各个作业区域承担的生产任务和区域设定都不相同，比如磷化区负责对未加工的毛坯件进行工件表面预处理；喷涂区负责对除尘后的零件进行上色；罩光区负责对烤花完成后的车架等零部件表面加固涂层保护；贴花区负责对完成上色的零部件表面进行贴花；烘烤一区和烘烤二区都是对未干透表面颜料或花纹进行烘烤定型，成品摆放区主要用于储存成品。还有一些辅助区，如车间办公室每日制定排产计划，每个区域的工作内容各不相同。

表 3-5 原始布局设施单位

序号	作业单位名称	用途	建筑面积 m*m
1	原料区	原材料摆放	70
2	磷化区	毛坯件表面处理	172.8
3	待加工区	待加工半成品摆放	96
4	除尘区	半成品除尘	6
5	喷涂区	毛坯件表面上色	31
6	罩光区	半成品涂层加固	42.23
7	流平区	漆料流平	24
8	烘烤一区	上色后颜料定型	130
9	半成品存放区	半成品摆放	65.7
10	贴花区	加工半成品表面花纹	211.584
11	静置区	用于贴花后的半成品静置晾干	87.6
12	烘烤二区	烤花	130
13	包装区	成品包装	160
14	成品区	成品摆放	150
15	办公室	定制排产计划，车间资料的收录	64
16	包装库房	存放包装所需材料	46.8
17	颜料库房	存放颜料	40.8

3.2.3 车间物流现状分析

车间目前的总体布局如图 3-5、3-6 所示，车间内有一条贯穿一层和二层的流水线，一层和二层均为主生产线。C 车间的物流流程指的是从毛坯件进入车间到成品出库的整个流程。在该物流流程中，一二楼之间工序衔接密切且物料流动非常大，因此采用悬挂式流水线进行作业。

目前，磷化、喷涂和罩光三道主要工序设置在一楼，贴花烤花工序设置在二楼，一楼中间有一条主干道以供货物和工人出行，二楼主干道则设置在静置区、半成品存放区与流水线作业之间。

粉末静电喷涂工艺需要有三次烘烤工序，一次烘烤是在毛坯件表面进行初次上色后，由流水线送往烘烤一区烘烤定型，之后随流水线送往二楼完成贴花工艺；二次烘烤为烤花工序，完成烤花工序的半成品可随流水线前往一楼继续进行罩光；三次烘烤是对罩光后的半成品进行烘烤定型。罩光后的产品在检查无误后，即为成品，在完成包装工序后即可放入成品摆放区，最后根据与客户的约定时间，将成品由成品摆放区搬运至货车。综上所述，

车间的主要物流情况如图 3-7、3-8 所示。图中红色线条表示磷化至一次烘烤的物流主要路线；黄色线条表示贴花至二次烘烤的主要路线；蓝色则表示罩光到成品出库的主要路线。

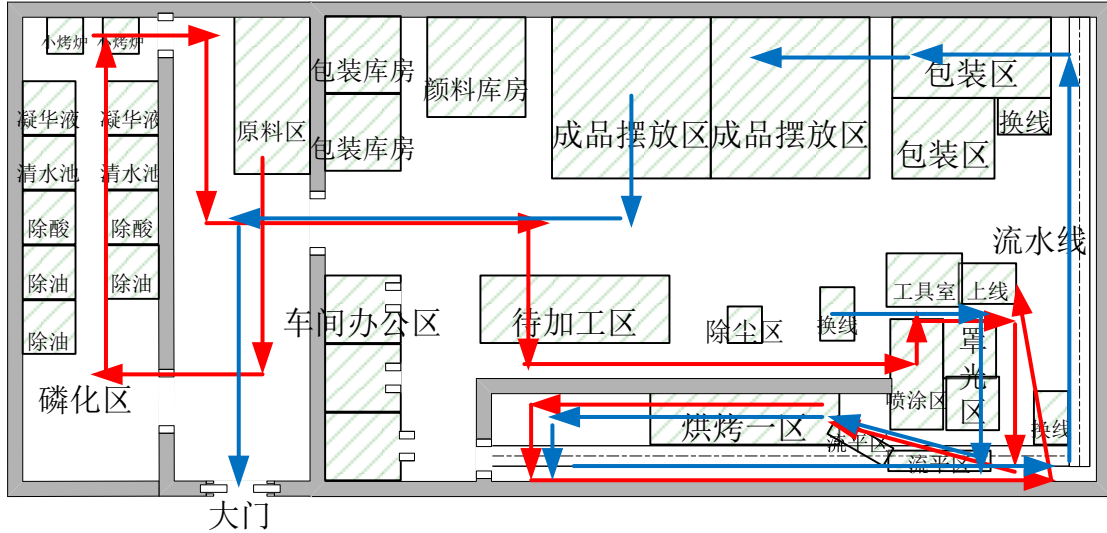


图 3-7 C 车间物流线路一

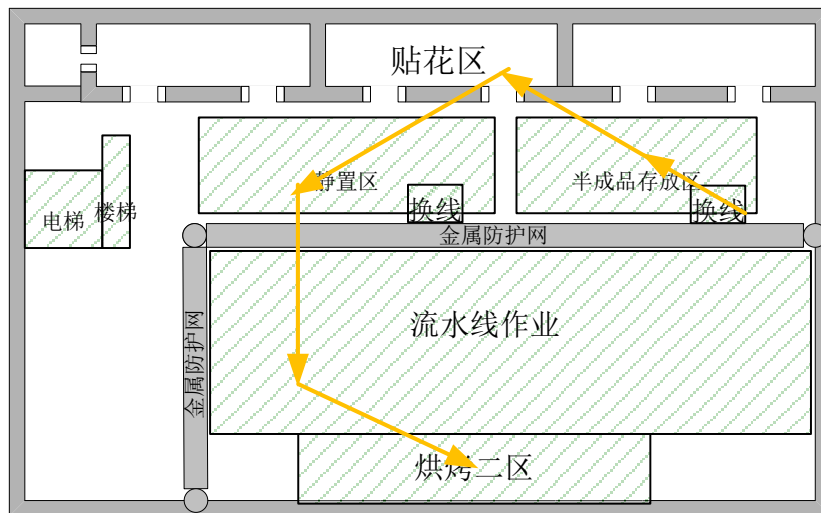


图 3-8 C 车间物流线路二

随着市场需求的扩大和产品的多样化，T 公司希望能在满足市场需求的同时，也能保证产品的质量。因此，T 公司对 C 车间又有了更高的要求，如提高生产效率等。但 C 车间内的面积和设备数量都非常有限，因此，企业需要寻找改善车间布局的方法，充分利用现有的空间资源，以提高生产效率，从而增强企业的竞争力。

3.2.4 C 生产车间布局存在的问题

通过对 C 车间产品的工艺流程和当前布局的分析可以发现，在当前的生产布局中，出现了作业联系紧密的作业单元间距离过远，搬运路线迂回和车间管理方式过于粗放的不合理现象。

1. 作业联系紧密的作业单元间距离过远

通过观察 C 车间布局图 3-5, 3-6 和车间现场生产情况，可以发现某些作业联系紧密的作业区域间距离过远，但二者之间物流量很大。例如磷化区和待加工区，磷化后的毛坯件流动路线是从磷化区后门到待加工区，二者之间需要穿过两扇大门，搬运距离长达 48 米。又由于磷化是每个毛坯件的必要加工工序，因此这两区域间的物流量也较大。物流量和距离参数大必然会导致二者之间物流强度高，从而会导致搬运成本的上升，影响到物流效率的同时，也会影响整个车间的运营效率。又如二楼的流水线作业所占面积超过二楼总面积的二分之一，侧面反映出流水线过于冗长，距离静置区较远，存在大量的运输浪费。

2. 搬运路线迂回

因为搬运路线迂回会导致搬运通道拥挤、搬运路线交叉等问题的出现，所以搬运路线迂回也是导致搬运效率低的关键因素之一。根据 C 车间物流线路图 3-5 和 3-6 可知，C 车间中存在搬运路线迂回的现象。例如，除尘区、待加工区都是物料流动较为频繁的区域，车间内所有半成品都会多次从待加工区流动至除尘区，再转至下一道工序。因此，这两个作业单元周围有很严重的搬运路线迂回的情况，造成区域周围通道堵塞，需要工人花费大量时间精力来疏散，导致生产工作难以按时进行，影响车间的生产效率。一般情况下，搬运路线迂回是车间内难以避免的一种情况，很多时候，我们无法完全消除车间内的迂回情况，只能最大限度的避免该情况。

3. 管理方式过于粗放

经过对 C 车间的现场勘察，发现 C 车间的管理方式过于粗放，其原因有以下几点。

(1) 员工的技术和职业素养参差不齐。由于 C 车间属于流水线式生产，这就要求员工技术操作的熟练度要高，而 C 车间仅对员工进行了简要培训，对技术考核要求不高，这在一定程度上会影响到生产节拍，从而影响整体的生产效率。例如在贴花这一工序中，员工的熟练度不同导致个体生产效率出现参差，操作熟练的员工在完成某种产品的加工作后，即刻加工下一种产品，而熟练度较低的员工因此被落下。另外，员工在工作时间内，经常聚集闲聊，工作态度不认真，当生产出现问题时也会争吵互相推卸责任。

(2) 设备维修周期长：该车间的设备维修是以月为周期的。若无法及时修理，其他时间出现故障将妨碍车间正常生产，导致生产任务无法按时完成。

(3) 车间内部：该车间内没有实行 5S 管理，车间内大量原材料零件被堆放在靠近墙壁的地方，导致紧急逃生通道被占用。部分中途换线的半成品被随意放置，导致半成品表面出现划痕，需要再一次进入加工工序，影响正常生产流程。由于半成品被随意放置，占

据了车间内部分主干道,使得搬运路况拥挤,并存在一定的安全隐患。车间内环境不达标,卫生不合格,并且工人也缺乏维护现场环境卫生的意识。

另外,在车间办公室内,有关车间的生产资料没有经过系统的分类整理,随意摆放在桌面上,办公室内物品摆放混乱,需要花费一定的时间才能找到相关资料。

管理方式过于粗放带来的不仅是工作环境脏乱的问题,更多的是车间内部的浪费,这部分浪费已经影响了车间的正常生产。因此,为解决这一问题,C车间内需要推行5S管理,5S管理是精益生产中的一种现场管理方式,它能够帮助C车间改善生产环境,消除车间浪费。

3.3 C 车间物流 F-D 分析

通过对C车间现场勘察和C车间布局图研究的结果,我们可以得出发现,C生产车间内某些工序连接紧密的作业单元之间距离过远,造成了生产过程不衔接的问题,这是因为在早期规划C车间布局时,规划者未能得到科学的理论指导,仅凭长期经验和公司经营方向而设计出车间布局,这样的车间布局虽然在短期内能够满足公司的生产需求,但是就公司的长期发展来看,该车间存在浪费且产能不足的情况,更不能满足市场的需求。

在3.2.4中我们已经简要介绍了C车间存在的主要问题,为了确定车间内具体需要优化的瓶颈,我们要对C车间进行F-D分析,也就是物流量和距离分析,从而确定车间内具体的问题所在,有针对性的优化车间。

根据上文车间布局现状分析,我们将C车间划分为17个工作区域,以便于后续分析。各个工作区域的序号、名称、尺寸和面积如表3-6所示。

表 3-6 C 车间作业单位一览

序号	作业单元名称	尺寸 (m)	建筑面积 (m ²)
1	原料区	5*14	70
2	磷化区	5.4*32	172.8
3	待加工区	16*6	96
4	除尘区	3*2	6
5	喷涂区	10*3.1	31
6	罩光区	10.3*4.1	42.23
7	流平区	6*4	24
8	烘烤一区	20*6.5	130
9	半成品存放区	45.6*4.64	65.7
10	贴花区	15*4.38	211.584
11	静置区	20*4.38	87.6

续表 (3-6)

序号	作业单元名称	尺寸 (m)	建筑面积 (m ²)
12	烘烤二区	20*6.5	130
13	包装区	10*16	160
14	成品区	10*15	150
15	办公室	16*4	64
16	包装库房	4*11.7	46.8
17	颜料库房	6*6.8	40.8

1. 绘制作业单元间距离从至表

根据产品的工艺流程,对相关作业单元间的距离进行测量,为简要表明各个作业单元,以表 3-6 中的序号代表各作业单元,产品的工艺线路如表 3-7 所示。经过实际考察测量,得出各作业单元之间的距离,绘制出距离从至表。具体如表 3-8 所示。

表 3-7 产品工艺线路

产品名称	工艺线路
车架	1-2-3-4-5-7-8-9-10-11-12-4-6-7-8-13-14
前叉	1-2-3-4-5-7-8-9-10-11-12-4-6-7-8-13-14
减震前叉	1-2-3-4-5-7-8-3-4-6-7-8-13-14
挡泥板	1-2-3-4-5-7-8-3-4-6-7-8-13-14
牙盘罩	1-2-3-4-5-7-8-9-10-11-12-4-6-7-8-13-14

表 3-8 物流距离从至表（单位：m）



编号	作业单位名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	原料区		30															
2	磷化区			48														
3	待加工区				11													
4	除尘区					14.5	27.8											
5	喷涂区						9.1	16										
6	罩光区							6.6										
7	流平区								26.3									
8	烘烤一区			21						103.5				87.7				
9	半成品存放区										6							
10	贴花区											6						
11	静置区												250					
12	烘烤二区			32	75									75				
13	包装区														20			
14	成品区															32		
15	办公区																24	
16	包装库房																	10
17	颜料库房																	

2. 绘制作业单元间物流量从至表

C 车间中共五种车体零部件需要进行加工，分别是前叉，减震前叉，车体，挡泥板和牙盘罩。这五种成品组合为一套，根据 3.2.1 得知 C 车间的日平均产量在 1680 套左右，该车间内需要加工的零部件种类不多，但每种零部件数量多，且物料需要在一二两层之间反复上下流动，所以物流量较为庞大。

人们通常采取两种常用的计算方式来确定车间内的物流量。一种方法是通过物料的重量进行计量，另一种方法则是根据装载物料的托盘的数量来确认。在该车间内，除了采用流水线运输的方式外，C 车间内还采用托盘运输、地牛运输等方式。C 车间中常常使用的运输设备包括物料移动车、叉车、推车和地牛。物料移动车分为两种，一种是前叉和减震前叉的专用移动车，每个移动车可以放置 200 个减震前叉或 300 个前叉；另一种是车架专用移动车，每个移动车可以放置 40 个车架。推车主要负责运输成筐的毛坯件，铁框的尺寸与推车相匹配，根据运输毛坯件种类的不同，运输的数量也有相应的变化。地牛主要负责搬运完成包装的成品，工人将包装好的成品码垛在地牛上，然后搬运到成品摆放区的货架上。托盘和叉车主要用于货物出库，成批捆绑好的车架码垛在托盘上，每个托盘可以放置 100 个车架或 3*5 个周转箱，由叉车搬运到货车上完成出库。车间所用运输工具的种类、数量、尺寸、图片如表 3-9 所示。


表 3-9 C 车间运输工具一览

名称	数量 (个)	规格参数	图片
铁架车 (前叉)	12	2m*1m*0.84m	
铁架车 (车架)	45	2m*1m*1.7m	

续表 (3-9)

名称	数量 (个)	规格参数	图片
铁框 (毛坯专用)	30	1.5m*1.5m*1.3m	
推车 (铁框专用)	20	1.6m*1.6m*0.15m	
托盘	300	1.2m*1m*0.1m	
周转箱	1000	1.2m*0.4m*0.7m	
叉车	3	最大起升高度: 3m 额定起重量: 3000KG 外形尺寸: 3770mm*1225mm*2070mm 叉车重量: 4310kg	

续表 (3-9)

名称	数量 (个)	规格参数	图片
地牛	4	货叉长度: 1200mm 最大起升高度: 200mm 载重量: 2000KG	

由于 C 车间的毛坯件是以铁筐运输的形式搬运, 而铁筐的尺寸是固定的, 所以这里以筐为计量单位, 根据 C 车间产品数据明细表, 如表 3-10 所示, 计算出每种零部件所用铁筐数, 根据铁筐数得出来料重量, 计算每两个作业单元之间的物流量。

表 3-10 C 车间产品数据明细表

产品种类	日产量	单位	重量 (kg)	体积 (m ³)	每筐数量 (个)	所用筐数 (个)	每筐重量 (t)
车架	1680	个	3.25	0.030184	123	16	0.4
前叉	1680	个	0.7	0.00126	642	3	0.45
减震前叉	1680	个	0.5	0.0011385	1200	1.4	0.6
挡泥板 (一对)	1680	副	0.26	0.002976	3000	1	0.44
牙盘罩	1680	个	0.1	0.002349	4400	1	0.45

该表中各作业单元的代表方式与表 3-8 一致, 通过现场勘查统计出各个区域间的物流量, 绘制各个区域间的物流量从至表, 具体如表 3-11 所示。

表 3-11 物流量从至表 (单位: t)

编号	作业单位名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	原料区		12.12															
2	磷化区			12.12														
3	待加工区				9.36													
4	除尘区					8.08	8.08											
5	喷涂区						0	8.08										
6	罩光区							8.08										
7	流平区								16.16									
8	烘烤一区			1.28						6.8				9.26				
9	半成品存放区										6.8							
10	贴花区											6.8						
11	静置区												6.8					
12	烘烤二区				5.39	6.8								0				
13	包装区														8.08			
14	成品区															0		
15	办公区																0	
16	包装库房																	0
17	颜料库房																	

3. 绘制 F-D 分析图

F-D 分析图，也就是物流量-距离分析，是将各区域之间的物流量和距离数据输入到同一个直角坐标系中，横坐标代表物流距离，纵坐标代表物流量。这样绘制得出的图被称为 F-D 分析图。为了更好地观察和区分各个区域之间的物流关系，我们可以用划分四象限的方式将该图划分为 4 个区域。如图 3-9 所示。

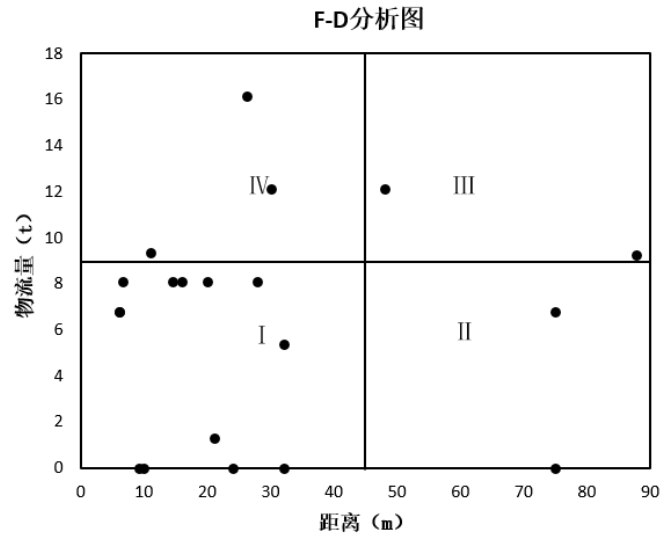


图 3-9 各作业单位间 F-D 分析图

F-D 图可以分为四个区域，分别是 I、II、III、IV 区。在区域 I 中，点的含义是两个作业单元间的距离短，且物流量较小，意味着二者之间物流强度低；在区域 II 中，点的含义是两个作业单元之间的距离远，但物流量较小，这意味着二者之间在生产中衔接少，并且需要花费较多的时间来搬运物料；在区域 III 中点的含义是两个作业单元间的距离虽远，但由于物流量较大，二者之间的物流强度非常高，这将导致物流成本上升，对车间的生产流程不利。就长远来看，物流成本的上升意味着消耗大，也不利于企业长远发展。因此区域 III 中的点是 C 车间布局优化中的重点关注对象；在区域 IV 中，点的含义是两个作业单元间的距离短，且物流量非常大，这种情况意味着二者之间联系紧密，最好将二者摆放在相邻的位置，通过减少运输距离来降低二者间的物流强度。

综合观察 F-D 分析图，我们可以发现，在 F-D 分析图中共有 22 个点，区域 I 和区域 IV 中存在 16 个点，但区域 II 和区域 III 仍存在 6 个点，有 4 个点分布在区域 II，意味着这 4 对作业单元间的物流量小，且距离远；有 2 个点分布在区域 III，说明这 2 对作业单元间物流量大且搬运距离远，意味着物流强度高。尽量消除区域 II 中的点，消除区域 III 中所有的点，只有当 0 个点存在于区域 III，较少的点存在于区域 II 中时，才是最为理想的布局，因此应着重于改善这两个区域中的点。

本章首先简要描述了 T 公司的基本概况及 T 公司 C 车间现状，重点阐述了 C 车间的产品工艺流程、车间布局现状、车间物流现状、车间存在的问题，并在此基础上做出车间物流 F-D 分析，明确了当前车间布局需要重点改善的地方，为下文得出优化方案做铺垫。

第 4 章 基于 SLP 的 C 车间布局优化方案

4.1 SLP 方法概述

SLP 法是人们最常用的一种具有代表性的布局优化方法。该方法最早由 R.muther 提出。它与之前的摆样法、图论法相比，最具创新的是它是一种将定性定量相结合，并采用加权的方式对作业单元间的关系进行综合分析的一种方法。

在应用 SLP 法时，根据车间内各个区域的工作内容，完成作业单元的划分。根据车间生产流程，分析各个区域的物流和非物流关系，综合分析后的结果得到作业单位综合相互关系表。最终，在参考位置相关图并考虑实际因素的前提下，制定出最优的车间布局方案。

SLP 法主要围绕五个基本要素展开，也就是产品（P）、数量（Q）、路线（R）、辅助生产部门（S）、时间（T）。

SLP 法实施的具体步骤如下：

- （1）输入初始数据 P、Q、R、S、T。
- （2）对物流关系和非物流关系分别进行分析，根据作业单位之间的物流量和距离，计算出物流强度，并绘出物流从至分析表。
- （3）通过对物流强度进行详尽的分析，绘制出物流强度相关图，将其分为五个不同的等级。A 等级在所有作业单位对中占比 10%，E 等级占比 20%，I 等级占比 30%，O 等级占 40%，U 等级表示作业单位间没有物流量。
- （4）评估不同作业单位之间的非物流关系，综合考虑物流关系和非物流关系，比较它们的相对重要性并确定二者的权重，最终根据权重调整综合相关图。根据该图可以得出各个作业单位的位置，以及作业单位之间的优化距离。
- （5）根据综合相关图，绘制出不同方案下的位置相关图。
- （6）计算面积。参考实际数据，根据各个作业单位的空间需求，在车间布局中划分出各个区域。
- （7）根据以上几个步骤，可以得出多个不同的方案。对每个方案进行评估，评估标准有占地面积、技术要求等，综合考虑实际因素，选择最合适的方案。

基于上述 SLP 方法的步骤，本章内容安排如下文所示。

4.1 作业区域间相互关系分析

4.1.1 物流相关性分析

在进行作业区域物流相关性分析前，首先进行作业区域划分与面积需求分析，根据上

一章 C 车间概况介绍, T 公司 C 车间主要有以下三种区域:

- (1) 储存区域: 成品摆放区、包装库房、颜料库房。
- (2) 生产区域: 从原料区到包装区等 13 个流水线作业区域。
- (3) 辅助生产区域: 办公区。

对于储存区域来说, 该区域中的作业单元在生产车间整体搬运路线中占比较少, 物流线路和交接点较为固定, 并且在该区域中已经采用了货架存储, 因此该区域中的作业单元不作为本次优化的重点对象。C 车间布局本次优化的目的有两个, 一是提高产量, 二是优化物料搬运路线。而物流的流动速度影响着整个车间的生产效率, 因此搬运路线为本次优化的重点目标。

另外, 根据上文 F-D 分析, 应重点关注对生产区域的布局优化, C 车间布局的重点优化目标是降低联系紧密的作业单元之间的物流强度, 将其控制在科学合理的范围内, 减少物流成本的消耗。生产车间内搬运的浪费也是导致物流成本上升的主要原因之一, 尤其是当车间布局不合理时, 这种现象会更加明显。因此, 我们在优化当前车间布局时, 要注意降低物流强度, 减少搬运浪费, 避免物料过多、过长频繁移动的现象发生。C 车间内作业单元的分类和面积需求已经在表 4-1 中列出。

表 4-1 C 车间作业单元名称、尺寸、面积一览

序号	作业单元名称	尺寸 (m)	建筑面积 (m ²)
1	原料区	5*14	70
2	磷化区	5.4*32	172.8
3	待加工区	16*6	96
4	除尘区	3*2	6
5	喷涂区	10*3.1	31
6	罩光区	10.3*4.1	42.23
7	流平区	6*4	24
8	烘烤一区	20*6.5	130
9	半成品存放区	45.6*4.64	65.7
10	贴花区	15*4.38	211.584
11	静置区	20*4.38	87.6
12	烘烤二区	20*6.5	130
13	包装区	10*16	160
14	成品区	10*15	150
15	办公室	16*4	64
16	包装库房	4*11.7	46.8

续表 (4-1)

序号	作业单元名称	尺寸 (m)	建筑面积 (m ²)
17	颜料库房	6*6.8	40.8

在完成作业区域面积划分后,进入下一步计算物流强度。物流强度收集与统计也是十分重要的一环。物流强度从至表是一种以矩阵图表的方式展现每两个作业单元之间的物流强度的列表。同时,该表也能简单明了的展示出每对作业单元之间物流强度大小的关系,表中有一条对角线,对角线上侧的数值代表正向物流强度,下侧的数值代表逆向物流强度。

根据上文 3.3 中绘制的物流距离从至表和物流量从至表,从这两个表中可以得知各作业单元之间的距离和日均物流量,假设 C 车间有 n 个作业单位, Q_{ij} 表示两个作业单元之间的物流量, D_{ij} 表示两个作业单元间的距离, F_{ij} 表示两作业单元间的物流强度,其中 i, j 分别表示两个作业单元。所以, C 车间中相关作业区域的物流强度可以用公式(4-1)表示:

$$F_{ij} = Q_{ij} * D_{ij} \quad (4-1)$$

根据第三章作业单元间距离从至表(表 3-8)和作业单元间物流量从至表(表 3-11)的表中数据,将二表数据相乘所得的结果,就是 C 车间相关作业区域的物流强度,由此得出物流强度从至表。计算结果如表 4-2 所示。

在得出物流强度从至表后,需要评判物流强度的等级。因此,我们需要设立一个评判物流强度等级的标准,以便于清楚地比较各个作业单元之间的物流强度。在 SLP 法中,通常设立五个物流强度等级,并且分别用符号 A/E/I/O/U 来表示各个等级。其中 A 级代表绝对强的物流强度, E 级代表超强的物流强度, U 级代表可忽略的物流强度。表 4-3 中展示了物流强度等级的比例划分。

根据产品的物流强度从至表,整理和统计相关作业单元之间的物流强度数据,生成物流强度汇总表格,具体内容如表 4-4 所示。

表 4-2 物流强度从至表（单位：t）

编号	作业单位名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	原料区		363.5															
2	磷化区			581.8														
3	待加工区				103													
4	除尘区					117.2	224.6											
5	喷涂区						0	129.3										
6	罩光区							53.3										
7	流平区								425									
8	烘烤一区			26.9						703.8				812.1				
9	半成品存放区										40.8							
10	贴花区											40.8						
11	静置区												1700					
12	烘烤二区			172.5	510									0				
13	包装区														161.6			
14	成品区															0		
15	办公区																0	
16	包装库房																	0
17	颜料库房																	

在得出物流强度从至表后，需要评判物流强度的等级。因此，我们需要设立一个评判物流强度等级的标准，以便于清楚地比较各个作业单元之间的物流强度。在 SLP 法中，通常设立五个物流强度等级，并且分别用符号 A/E/I/O/U 来表示各个等级。其中 A 级代表绝对强的物流强度，E 级代表超强的物流强度，U 级代表可忽略的物流强度。表 4-3 中展示了物流强度等级的比例划分。

表 4-3 物流强度等级划分一览

物流强度等级	物流强度	物流量占比	占总作业单位%
A	绝对强	15%	10%
E	超强	10%	20%
I	比较强	5%	30%
O	一般	1%	40%
U	可忽略	0	-

表 4-4 物流强度汇总表

序号	路线作业单元	物流强度	等级
1	11-12	1700	A
2	8-13	812.102	A
3	8-9	703.8	E
4	2-3	581.76	E
5	12-4	510	E
6	7-8	425.008	I
7	1-2	363.6	I
8	4-6	224.624	I
9	12-3	172.48	I
10	13-14	161.6	I
11	5-7	129.28	O
12	4-5	117.16	O
13	3-4	102.96	O
14	6-7	53.328	O
15	9-10	40.8	O
16	10-11	40.8	O
17	8-3	26.88	O
18	5-6	0	U

续表 (4-4)

序号	路线作业单元	物流强度	等级
19	12-13	0	U
20	14-15	0	U
21	15-16	0	U
22	16-17	0	U

仿照从-至表结构，为更加直观的表现相关作业单元之间的物流关系，再次以图形表格的形式，引用物流强度汇总表的数据，绘制出物流强度相关图。其中静置区与烘烤二区的的关系为 A 级，这说明二者之间存在绝对强的物流强度。烘烤一区和半成品存放区之间物料流动频繁且数量多，所以二者之间有超强的物流强度。原料区和磷化区物流占比为 5.89%，是比较强的物流强度，待加工区和除尘区物流占比 1.67%，为一般强的物流强度，而喷涂区-流平区，成品区-办公区等五组作业区域之间的物流占比为 U 等级，是可忽略的物流强度。通过现场勘察和分析物流强度相关图也可以发现，辅助生产区域中的办公区在实际生产中，与生产区域中的作业单元基本没有联系，但从车间整体考虑，为了保证优化的全面性和合理性，辅助生产区在车间布局优化时仍被纳入考虑之中。

根据表 4-4 的数据，可以制作出 C 车间生产作业区域内各个作业单位之间的物流强度相关图，如图 4-1 所示。

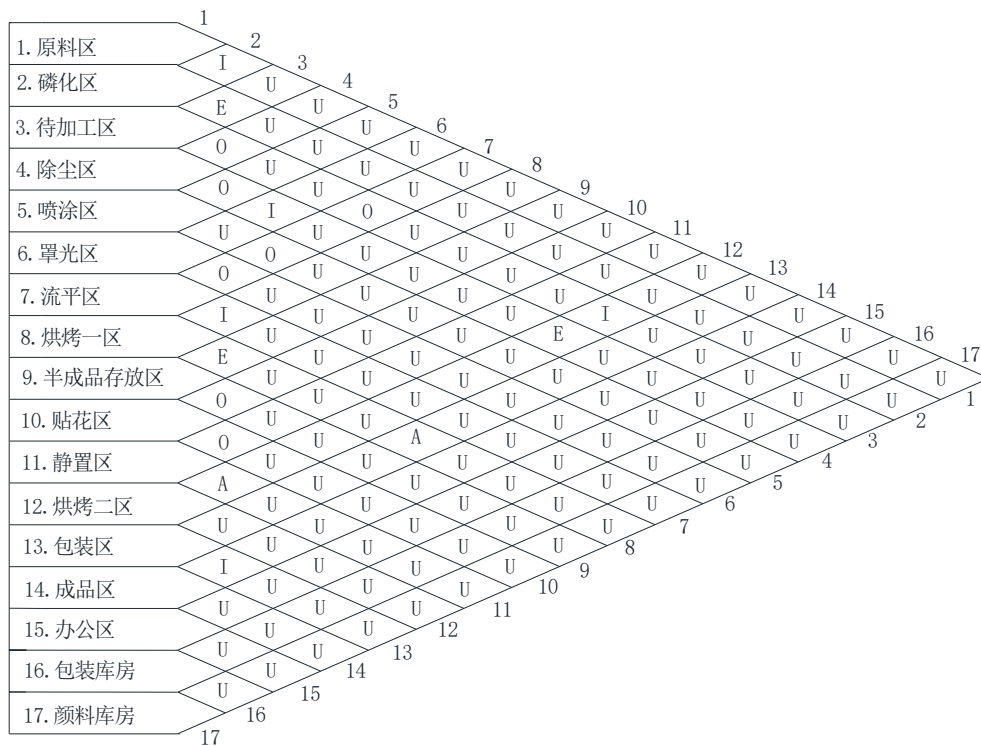


图 4-1 物流强度相关图

4.1.2 非物流相关性分析

车间内的物料流动状况对企业降低生产成本、减轻运输压力、提高生产效率等方面具有至关重要的影响，因此，在 C 生产车间布局优化中，物流状况的分析是一个关键的环节。考虑到物流因素的同时，也必须对非物流因素进行分析，如车间内信息流通是否顺畅，工艺流程是否可以衔接等，这些都是车间布局优化的重要参考因素。

由于 SLP 法是一种将定性定量相结合的一种综合考量的车间布局优化方法，所以，在使用 SLP 法进行布局优化时，我们不仅要考量作业区域间的物流关系，也就是定量关系，还要考虑相关作业区域间的非物流关系，如工艺流程、信息流通等，以保证优化的合理性和可行性。

依据车间现场情况和文献搜集，梳理非物流关系中的作业单元相互关系决定因素，这些因素是评定两个作业单元间非物流关系的重要依据。为此，针对自行车零部件静电粉末喷涂工艺的特点，确定影响作业单元间关系的因素，具体因素如表 4-5 所示。

表 4-5 作业单元间相互关系决定因素

编号	原因
1	工作流程衔接程度
2	生产服务
3	物料的流动频率
4	人员流动和联系
5	噪声和烟尘
6	监督管理
7	安全及污染
8	作业性质相似

非物流关系等级的评定是根据作业单位间关系密切程度，并结合物流数据进行分析。为方便描述，各个作业单元均用以下序号进行表示：1.原料区；2.磷化区；3.待加工区；4.除尘区；5.喷涂区；6.罩光区；7.流平区；8.烘烤一区；9.半成品存放区；10.贴花区；11.静置区；12.烘烤二区；13.包装区；14.成品区；15.办公区；16.包装库房；17.颜料库房。

根据 C 车间的具体情况，梳理出影响相关作业单元间关系的因素，随后将相关作业单元间关系密切程度划分为六个等级，进一步将各作业单元间相互关系密切程度划分为 A/E/I/O/U 六个等级，各层等级的含义、量化值、线条数、颜色等设定在表 4-6 中有所体现。

表 4-6 作业单位相互关系密切程度等级

等级	A	E	I	O	U	X
意义	绝对重要	特别重要	重要	一般	不重要	不要靠近
颜色	红色	橘黄	绿色	蓝色	无色	棕色
量化值	4	3	2	1	0	-1
线条数（条）	4	3	2	1	无	1（折线）
比例（%）	2--5	3--10	5--15	10--25	45--80	依情况而定

根据作业单位相互关系密切程度等级和作业单元间相互关系决定因素，就可以根据这两个表来确定 C 车间内相关作业单元间的非物流关系及等级。最终制定 C 车间非物流相互关系分析表，如表 4-7 所示。

表 4-7 非物流相互关系分析表

关系	密切理由及编号	所选理由的原因
A 级关系		
11-12		
8-13	1.工作流程衔接程度	搬运物料的数量、次数以及搬运的迫切程度
8-9		
E 级关系		
2-3		
12-4	1 工作流程衔接程度	工作衔接的流畅性、以及搬运
7-8	3 物料的流动频率	物料的次數
1-2		
3-4/5/6	1 工作流程衔接程度	工作衔接的流畅性、以及搬运
I 级关系		
4-6	3 物料的流动频率	搬运物料的次數
12-3	3 物料的流动频率	频繁的物质流通
13-14		
5/6-7	1 工作流程衔接程度	工作衔接的流畅性
4-5		
13-16		
1-3	3 物料的流动频率	搬运物料的数量多
O 级关系		
9-10/11	1 工作流程衔接程度	工作衔接的流畅性、以及搬运
10-11	3 物料的流动频率	物料的次數
5-17	2 生产服务	信息报表送达及时，管理准
8-3	3 物料的流动频率	搬运物料的数量多
5/6-8	1 工作流程衔接程度	工作衔接的流畅性

续表（4-7）

关系	密切理由及编号	所选理由的原因
2-4 7-3 16-17 5-6 8-12 U 级关系	4 人员流动和联系	人员之间的流动、信息交流比较频繁
15-3/13/14	2 生产服务 6 监督管理	方便收集分析数据
未列在 AEIOX 的其他作业单元之间。		
X 级关系	密切理由及编号	所选理由的原因
15-5/6/ 10-8/12 16-12	5 噪声和烟尘 7 安全及污染 7 安全及污染	办公区应保持安静整洁 贴花室内应保持恒温 包装材料易燃

根据上文表 4-5、表 4-6 和表 4-7 的结果，为了进一步更加清晰地展示出相关作业单元间的非物流关系，我们借鉴上文中物流相关图的表现形式，引用非物流相互关系分析表中的信息，绘制出非物流相互关系图，在该图中，菱形格上方的字母表示这两个作业单元之间的非物流关系等级，下方的数字表示所选理由的原因。绘制结果如图 4-2 所示。例如，原料区与磷化之间非物流关系等级为 E/3，E 代表密切程度为特别重要的两个作业单元，数字 3 表示二者的密切程度等级的理由为 3 物料的流动频率，也就是需要快速的搬运物料，避免待料、缺料现象的发生。

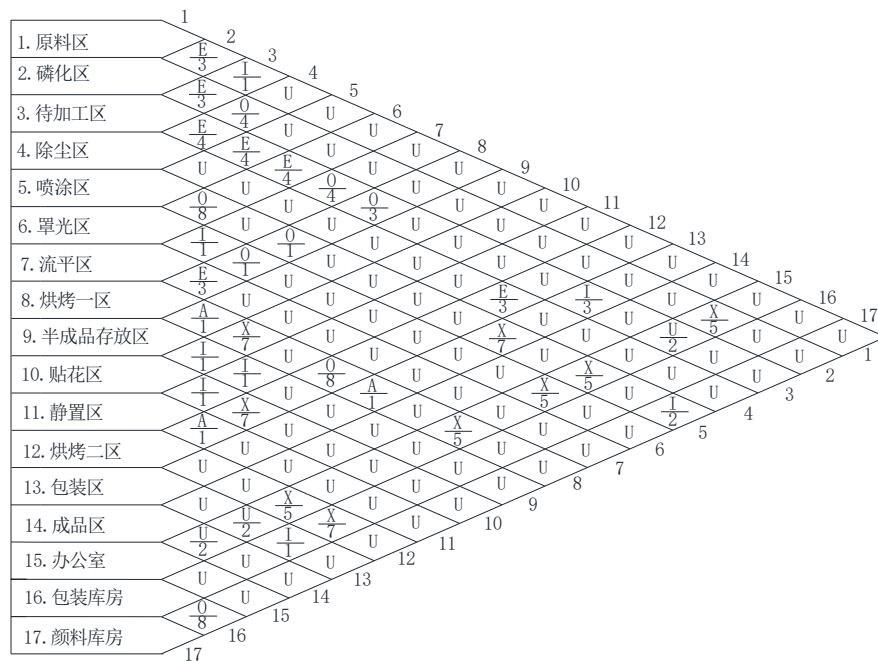


图 4-2 非物流相互关系图

4.1.3 作业单元综合相互关系分析

在上文中，我们利用现场收集的数据和信息，应用 SLP 方法，计算并梳理了物流关系和非物流关系。下一步的关键是将物流和非物流关系整合起来，确定作业单位之间的综合关系，为接下来绘制作业单位位置相关图奠定基础。

1. 选取加权值

首先要根据车间的实际生产状况来确定物流关系与非物流关系之间的权重比。二者之间的比值 $m:n$ 的择定范围一般在 $1/3-3/1$ 间。当车间内物流影响程度大于非物流影响程度时， m 所占权重大于 n 所占权重。观察 C 车间可以发现，部分作业单元间物料流动数量大且稳定，C 车间整体生产效率受物流关系影响较大，因此确定 C 车间物流关系与非物流关系的所占权重 $m:n=2:1$ 。

2. 综合相互关系的计算

在确定加权值比例后，第二步是计算综合关系分值。例如，设定两个作业单位 X_i 和 X_j ($i \neq j$)，设定其物流关系分值为 AY_{ij} ，非物流关系分值为 BY_{ij} ，综合相互关系分值为 WY_{ij} ， WY_{ij} 是由计算公式(4-2)得到 $X_i - X_j$ 之间的分值。而相互关联的作业单元对的数量 P 的计算方式如公式(4-3)所示，其中 N 表示作业单元的数量。

$$WY_{ij} = m \times AY_{ij} + n \times BY_{ij} \quad (4-2)$$

$$P = \frac{N(N-1)}{2} \quad (4-3)$$

在 C 车间作业单元的数量是 22，因此，通过公示可以计算出作业单元对的总数量 $P=231$ 。随后根据公式 4-2，引用物流关系数据和非物流关系信息，加权计算出 C 车间综合关系总分值。依据表 4-8 综合相互关系划分比例，划分出作业单元间的综合相互关系等级，一般等级划分有 A/E/I/O/U/X 六个等级。表 4-9 所展现的是最终计算结果和等级划分。

表 4-8 综合相互关系划分比例

密切程度	等级	量化值	比例%
绝对必要靠近	A	4	2-5
绝对重要靠近	E	3	3-10
重要	I	2	5-15
一般	O	1	10-25
不重要	U	0	45-80
不希望靠近	X	-1	0-10

表 4-9 作业单位综合相互关系表

序号	作业单位对	密切关系				综合关系	
		物流关系 加权值 2		非物流关系 加权值 1		总分值	等级
		等级	分值	等级	分值		
1	11-12	A	4	A	4	12	A
2	8-13	A	4	A	4	12	A
3	8-9	E	3	A	4	10	A
4	2-3	E	3	E	3	9	E
5	12-4	E	3	E	3	9	E
6	7-8	I	2	E	3	7	E
7	1-2	I	2	E	3	7	E
8	4-6	I	2	E	3	7	E
12	12-3	I	2	I	2	6	I
13	13-14	I	2	I	2	6	I
9	3-4	O	1	I	2	4	I
14	5-7	O	1	I	2	4	I
15	6-7	O	1	I	2	4	I
16	4-5	O	1	O	1	3	I
19	9-10	O	1	O	1	3	I
20	9-11	O	1	O	1	3	I
24	8-3	O	1	O	1	3	I
10	3-5	U	0	I	2	2	O
11	3-6	U	0	I	2	2	O
17	13-16	U	0	O	1	1	O
18	1-3	U	0	O	1	1	O
21	10-11	U	0	O	1	1	O
22	5-17	U	0	O	1	1	O
23	8-12	U	0	O	1	1	O
25	5-8	U	0	O	1	1	O
26	6-8	U	0	O	1	1	O
27	2-4	U	0	O	1	1	O
28	7-3	U	0	O	1	1	O
29	16-17	U	0	O	1	1	O
30	5-6	U	0	O	1	1	O
31	15-3	U	0	U	0	0	O
32	15-13	U	0	U	0	0	O
33	15-14	U	0	U	0	0	O
35	15-5	U	0	X	-1	-1	X
36	15-6	U	0	X	-1	-1	X
39	10-8	U	0	X	-1	-1	X
40	10-12	U	0	X	-1	-1	X
41	16-12	U	0	X	-1	-1	X

观察表中倒数第二列的总分值能够发现，目前所有作业单元之间的综合得分均在-1~12 内，这说明求出的分值是合理有效的。以表 4-8 综合相互关系划分比例为标准，将相关作业单元对重新进行大小编排，获得总分值所占所有作业单元对比例的情况，如表 4-10 所示。

表 4-10 综合相互关系等级划分汇总表

总分	等级	作业单元对数量	所占比例
10-12	A	3	2.21%
8-9	E	5	3.68%
3-6	I	9	6.62%
1-2	O	16	11.76%
0	U	98	72.06%
-1	X	5	3.68%
总计		136	100.00%

根据表 4-9 作业单位综合相互关系表和表 4-8 的综合关系划分比例，绘制作业单元综合相关图，如图 4-3 所示。

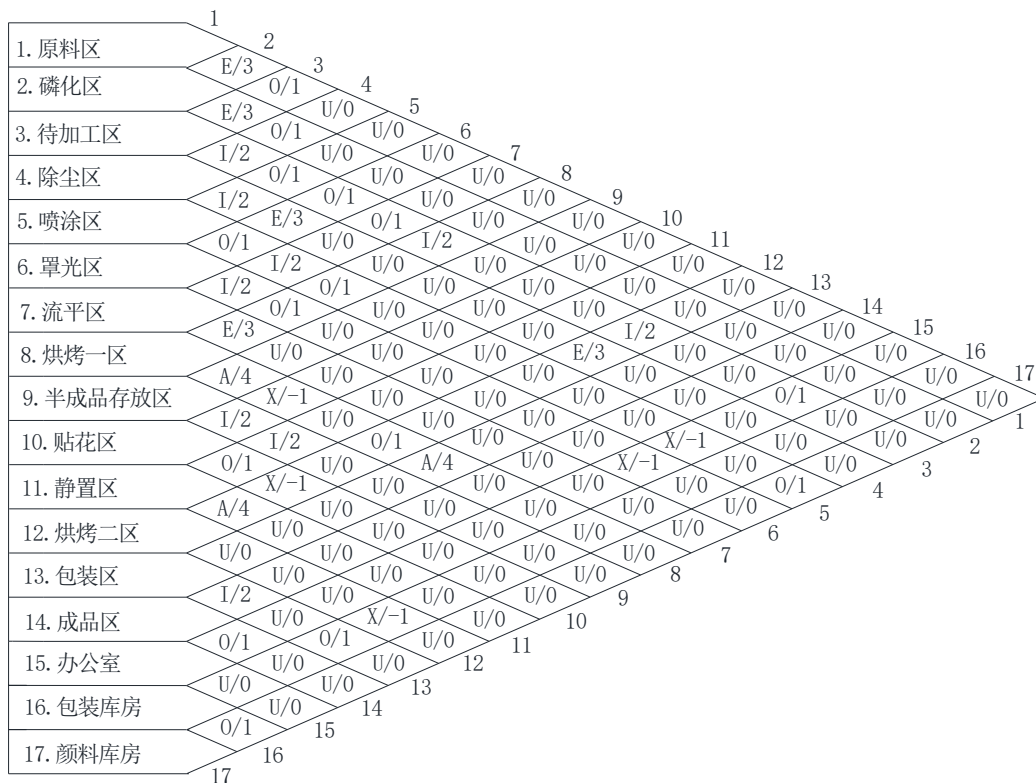


图 4-3 作业单元综合相关图

4.2 C 车间布局优化初始方案

4.2.1 绘制作业单元位置相关图

由于在绘制作业单元位置相关图前，车间内会出现较多数量的作业单元关系，并且当车间内作业单元较多时，先安置哪个区域也是一个值得关注的问题。因此，为了合理的安排每个作业单元的位置，需要先整合出作业单元间综合接近程度排序表，具体如表 4-11 所示。随着接近程度的增加，该区域在布局顺序中的排名将逐渐提高，其位置也将越来越接近设计图的中心。如果不是这样的话，那就意味着该区域的布置顺序越靠后，距离设计图中心就越远。作业单元综合接近程度排序表如表 4-11 所示。

表 4-11 综合接近程度排序表

编号	作业单位名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	原料区		E/3	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
2	磷化区	E/3		E/3	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
3	待加工区	O/1	E/3		I/2	O/1	O/1	O/1	I/2	U/0	U/0	U/0	I/2	U/0	U/0	O/1	U/0	U/0
4	除尘区	U/0	O/1	I/2		I/2	E/3	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	E/3	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
5	喷涂区	U/0	U/0	O/1	I/2		O/1	I/2	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	X/-1	U/0	O/1
6	罩光区	U/0	U/0	O/1	E/3	O/1		I/2	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	X/-1	U/0	O/1
7	流平区	U/0	U/0	O/1	U/0	I/2	I/2		E/3	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
8	烘烤一区	U/0	U/0	I/2	U/0	O/1	O/1	E/3		A/4	X/-1	U/0	O/1	A/4	U/0	U/0	U/0	U/0
9	半成品存放区	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4		I/2	I/2	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
10	贴花区	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	X/-1	I/2		O/1	X/-1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
11	静置区	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	I/2	O/1		A/4	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0
12	烘烤二区	U/0	U/0	I/2	E/3	U/0	U/0	U/0	O/1	U/0	X/-1	A/4		U/0	U/0	U/0	X/-1	U/0
13	包装去	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	A/4	U/0	U/0	U/0	U/0		I/2	U/0	O/1	U/0
14	成品区	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	I/2		O/1	U/0	U/0
15	办公区	U/0	U/0	O/1	U/0	X/-1	X/-1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	O/1		U/0	U/0
16	包装库房	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	X/-1	O/1	U/0	U/0		O/1
17	颜料库房	U/0	U/0	U/0	U/0	O/1	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	U/0	O/1	
	接近程度	4	7	14	11	7	7	8	15	8	1	7	8	7	3	0	1	3
	排列次序	12	11	2	3	8	9	4	1	5	15	10	6	7	13	17	16	14

根据计算结果，布置步骤如下：

1) 考虑 A 级关系中的各作业单元对 11-12、8-13 和 8-9。把得分最高的作业单元 8 放在中心位置，然后用三条线段连接它和与它成 E 级关系的 7，让 7 与 8 相邻。

2) 取分值次高的作业单元 3，它与作业单元 2 是 E 关系，用 2 单位长 3 条线连接。

3) 处理与作业单元 4 有关 E 级关系的作业单元 12 和 6，分别用 2 单位长三条线连接。

4) 根据分值排序，处理作业单元 7，用 3 单位长双线连接它与作业单位 5,6。它与作业单位 3 和 11 是 I 关系，用 3 单位长双线连接；与作业单位 7 是 I 关系，用 3 单位长双线连接。

5) 看作业单位 9，与作业单位 8 是 A 关系，用 1 单位长四线连接；与作业单位 10、11 都是 I 关系，用 3 单位长双线连接。

6) 再看作业单位 12，除了与作业单位 11 是 A 关系，它与作业单位 4 是 E 关系，用 2 单位长三线连接；与作业单位 3 是 I 关系，用 3 单位长双线连接。

7) 取作业单位 2，它与作业单位 1 和 3 都是 E 关系，故作业单位 2 用 2 单位长三线相连接。

8) 取作业单位 5，它与作业单位 3 和 17 是 O 关系，与作业单位 4 和 7 是 I 关系，故作业单位 5 用 4 单位长一线与作业单位 3 和 7 分别连接，用 3 单位长双线与作业单位 4 和 7 分别连接。

结合上文描述与表 4-12 作业单元关系等级表示方式，科学合理的安排 C 车间作业单元的具体位置，并画出位置相关图，具体如图 4-4 所示。

表 4-12 作业单位关系等级表示方式

含义	A	E	I	O	U	X
意义	绝对重要	特别重要	重要	一般	不重要	不要靠近
颜色	红色	橘黄	绿色	蓝色	无色	棕色
量化值	4	3	2	1	0	-1
线条数(条)	4	3	2	1	无	1(折线)
比例(%)	2--5	3--10	5--15	10--25	45--80	根据需要

根据上述内容，我们在绘制位置相关图时，需要注意下述内容：

在绘制位置相关图时，以 A/E/I/O/U 六个字母代表密切程度。其中，用 4 条线一个距离单位段表示 A，3 条线两个距离单位代表 E，2 条线三个距离单位表示 I，用 1 条线段四个距离单位表示 O。由于代号 U 的关系最多，所以不需要在绘制时位置相关图时表现出来。用一条折线表示 X。距离单位越短，代表的密切程度就越强。

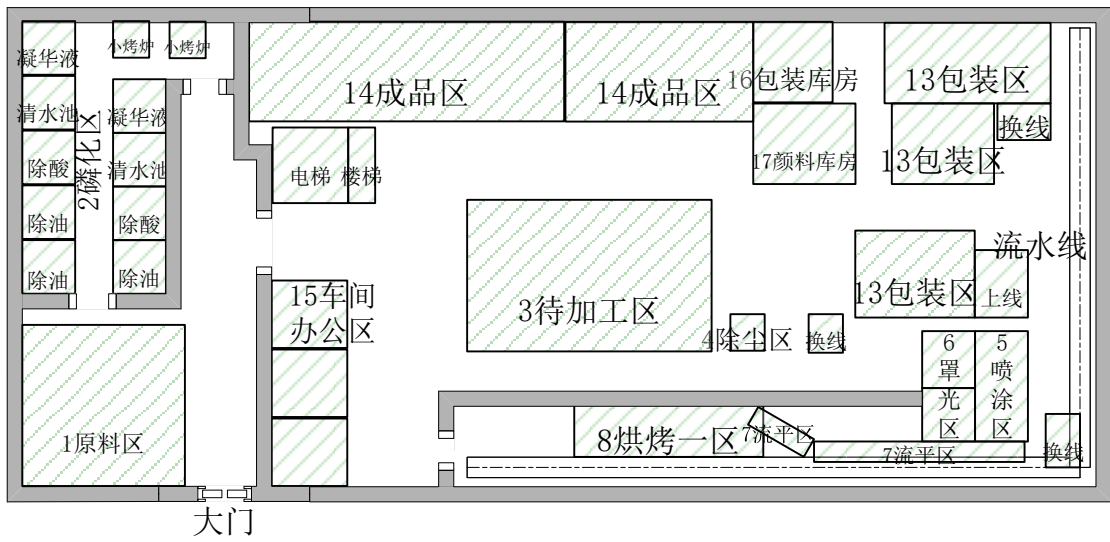


图 4-5 C 生产车间优化布置图（方案 I 一层）

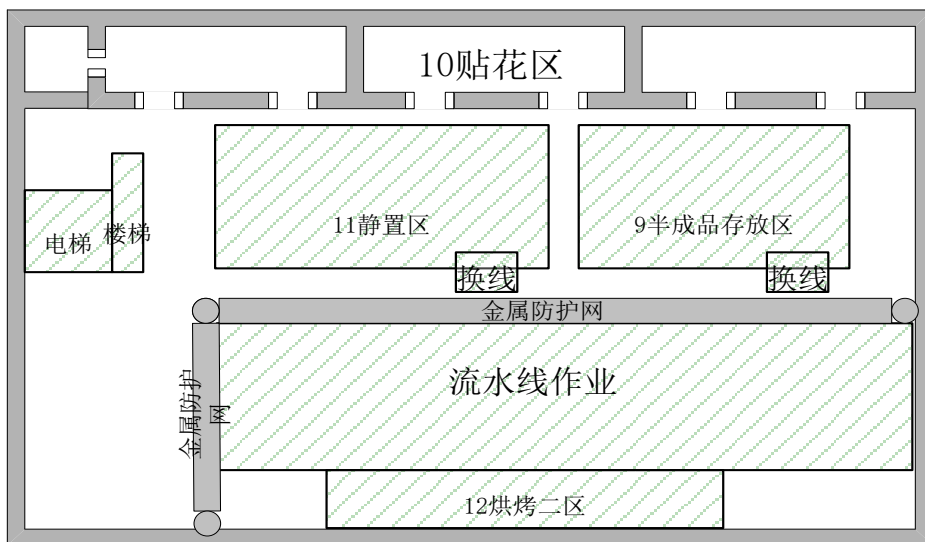


图 4-6 C 生产车间优化布置图（方案 I 二层）

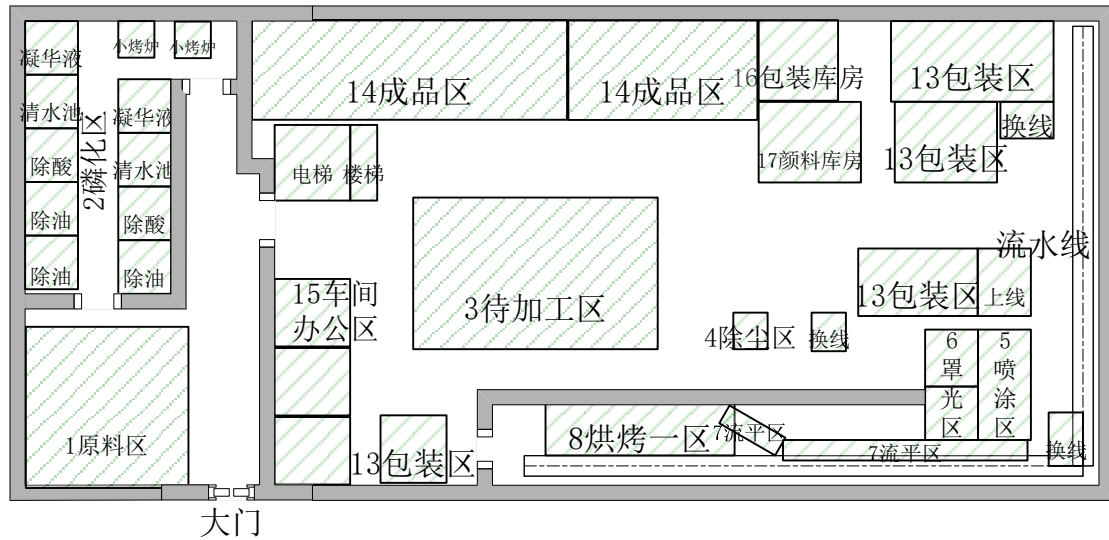


图 4-7 C 生产车间优化布置图（方案 II 一层）

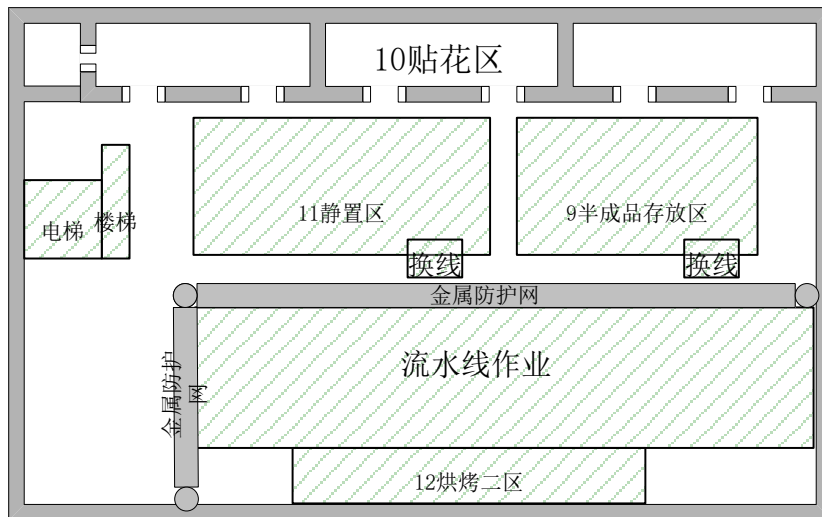


图 4-8 C 生产车间优化布置图（方案 II 二层）

4.3 优化方案综合评价

通过上文的研究，我们得到了两种可行的 C 车间优化布置方案。但是，要想从二者中选定一种为最终优化布局方案，还需要经过对比与选择。在本文中，我们将影响车间布局运作效率的因素作为评价车间布局优化方案的标准，如搬运距离，物流强度，布局柔性，改动成本和工作环境。

1. 搬运距离分析

我们在优化车间布局时，往往最关注各个作业单元之间的搬运距离，搬运路线，及物料运输方式，因为这三点是影响物流强度的关键因素。对于 C 车间来说，由于物料

需要在二层和一层之间上下流动，物料流动路线较长，造成车间成本的上升。在本文中，我们需要用 SLP 法解决针对这一问题做出改善。

在计算出优化后的搬运距离时，因为物料在车间内移动时，通常有固定的最短移动路线，将车间布置简化为一个平面，这些物料的移动路线正如曼哈顿距离那般，以前后左右的方式平行移动。因此采用曼哈顿距离（Manhattan Distance）计算搬运距离是合理的。曼哈顿距离计算公式如下(4-4)所示。

$$D(i, j) = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2| \quad (4-4)$$

在该公式中，D 表示移动总距离，(i,j) 表示移动点的坐标， $|X_1 - X_2|$ 表示该坐标从 X_1 移动到 X_2 的距离， $|Y_1 - Y_2|$ 表示该坐标从 Y_1 移动到 Y_2 的距离。这里为考虑路线的合理性，以各个作业单元的中心点为坐标，用实际米数表示出来，具体坐标数据如下表所示 4-13 所示。

$$D(i, j) = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2|$$

表 4-13 作业单位坐标数据一览

序号	作业单元	横坐标 X	纵坐标 Y
1	原料区	3.2	11
2	磷化区	6.4	33.5
3	待加工区	30	15.45
4	除尘区	40	9
5	喷涂区	55	12
6	罩光区	50	14
7	流平区	54	5
8	烘烤一区	43	3
9	半成品存放区	35	30
10	贴花区	22.8	35
11	静置区	16	29
12	烘烤二区	27	3.6
13	包装区	51	4
14	成品区	27	5.5
15	办公区	16.4	8
16	包装库房	45	5.2
17	颜料库房	47	20
18	包装区	25	3.7

在优化方案 I 中，考虑到物料在车间内的实际流动路线，例如从静置区到烘烤二区，物料是按照流水线的轨迹移动，而这两个区域间优化后的长度为 170 米，所以二者间的距离是 170 米。按照上述计算方式，计算出其他作业单元间的距离，优化后的搬运距离结果如表 4-14 所示。

表 4-14 优化前后布局搬运的距离 (单位: m)

作业对	原始车间布局 搬运距离 (m)	优化方案 I 搬运距离 (m)	优化效果 (%)	优化方案 II 搬运距离 (m)	优化效果 (%)
11--12	250	170	32.00%	170	32.00%
8--13	87.7	41.5	52.68%	38	56.67%
8--9	103.5	90	13.04%	90	13.04%
2--3	48	40	16.67%	40	16.67%
12--4	75	66	12.00%	66	12.00%
7--8	26.3	18	31.56%	21	20.15%
1--2	30	24	20.00%	24	20.00%
4--6	27.8	13	53.24%	13	53.24%
12--3	32	30	6.25%	30	6.25%
13--14	20	35.5	-77.50%	43.5	-117.50%
13--14	0	0		30	0
13--14	0	32		29.3	0
5--7	16	12	25.00%	12	25.00%
4--5	14.5	26	-79.31%	26	-79.31%
3--4	11	11	0.00%	11	0.00%
6--7	6.6	10	-51.52%	10	-51.52%
9--10	6	6	0.00%	6	0.00%
10--11	6	6	0.00%	6	0.00%
8--3	21	21	0.00%	21	0.00%
5--6	9.1	9.1	0.00%	9.1	0.00%
12--13	75	75	0.00%	81	-8.00%
14--15	32	32	0.00%	29	9.38%
15--16	24	52	-116.67%	54	-125.00%
16--17	10	13	-30.00%	8	20.00%
总计	931.5	833.1		867.9	
优化效果		98.4		63.6	

由上表可知，在 C 车间原始布局下，搬运总距离为 931.5m。而在优化后的布局方案 I 下，搬运的总距离为 833.1m。在优化后的布局方案 II 下，搬运的总距离为 867.9m。同时，在表 4-13 中也可以看出优化效果，例如从静置区到烘烤二区的优化效果为 32%。另外，经计算可知在方案 I 下优化后的搬运距离比优化前减少了 98.4m，下降比例为 10.56%。在方案 II 下优化后的搬运距离比优化前减少了 63.6m，下降比例为 6.83%。因此，从搬运距离来看，方案 I 略胜一筹。

2. 物流强度分析

物流强度也是判断物流布局是否合理的一个关键指标，而物流强度主要受物流量和物料流动距离的影响，当两个作业单元之间的物流量无法降低时，就可以通过减少二者之间的物料流动距离来降低物流强度。原始方案、优化方案 I、优化方案 II 的各作业单元之间的物流强度如表 4-15 所示。

表 4-15 优化前后布局搬运的物流强度（单位：t）

作业对	原始车间	优化方案 I	优化效果 (%)	优化方案 II	优化效果 (%)
11--12	1700	1156	32.00%	1156	32.00%
8--13	812.102	384.29	52.68%	351.88	56.67%
8--9	703.8	612	13.04%	612	13.04%
2--3	581.76	484.8	16.67%	484.8	16.67%
12--4	510	448.8	12.00%	448.8	12.00%
7--8	425.008	290.88	31.56%	339.36	20.15%
1--2	363.6	290.88	20.00%	290.88	20.00%
4--6	224.624	105.04	53.24%	105.04	53.24%
12--3	172.48	161.7	6.25%	161.7	6.25%
13--14	161.6	161.6	0.00%	351.48	-117.50%
13--14	0	0	0	0	0
13--14	0	0	0	0	0
5--7	129.28	96.96	25.00%	96.96	25.00%
4--5	117.16	210.08	-79.31%	210.08	-79.31%
3--4	102.96	102.96	0.00%	102.96	0.00%
6--7	53.328	80.8	-51.52%	80.8	-51.52%
9--10	40.8	40.8	0.00%	40.8	0.00%
10--11	40.8	40.8	0.00%	40.8	0.00%
8--3	26.88	26.88	0.00%	26.88	0.00%
5--6	0	0	0	0	0
12--13	0	0	0	0	0
14--15	0	0	0	0	0
15--16	0	0	0	0	0
16--17	0	0	0	0	0

总计	6166.182	4695.27	4901.22
优化效果		1470.912	1264.962

由上表可知，在 C 车间原始布局下，物流强度为 6166.182t。而在优化方案 I 中物流强度为 4695.27t，在优化方案 II 中的物流强度为 4901.22t。同时，在表 4-14 中也可以看出优化效果，例如从静置区到烘烤二区的优化效果为 32%。另外，经计算可知方案 I 的物流强度比原始布局降低了 1470.912t，下降比例为 23.85%。方案 II 的物流强度比原始布局降低了 1264.962t，下降比例为 20.51%。从物流强度来看，方案 I 较为优秀。从优化对比来看，本次优化效果明显，有利于降低车间内物流成本。

3. 布局柔性

为了趋向多品种小批量的生产方式，布局柔性也是考量优化方案的重要标准之一。在优化方案 I 中，如图 4-9 所示，设立了两个包装区域，一个包装区域在生产流水线的终点，另一个设立在烘烤一区附近，也就是一层流水线的中间部分。这样，当多种零部件投入生产时，不同的品种的零部件可以分为两个区域下线，减少因下线产品种类多而混乱的情况。

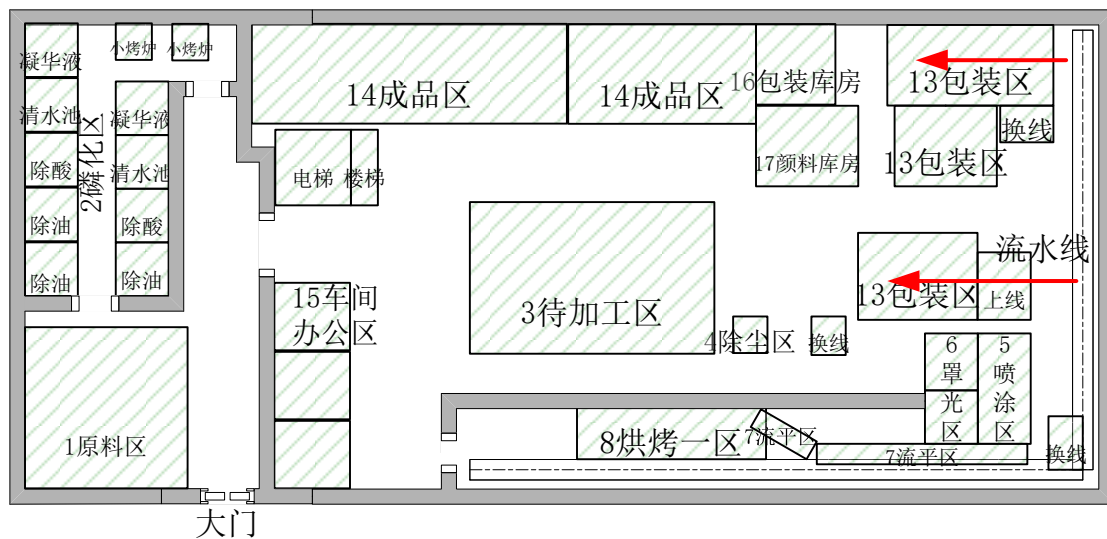


图 4-9 优化方案 I 包装区位置

在优化方案 II 中，如图 4-10 所示，共设立了 3 个包装区域，最大的包装区域位于生产线终点，两个较小的包装区域分别位于烘烤一区附近和距离流水线终点 18 米远的罩光区附近。当有较多包装区时，尽管这两个包装区面积较小，但可以更好地减轻下线产品混乱的状况，也就可以选择同时生产多品种的产品。因此，在布局柔性方面，方案 II 较方案 I 优秀。

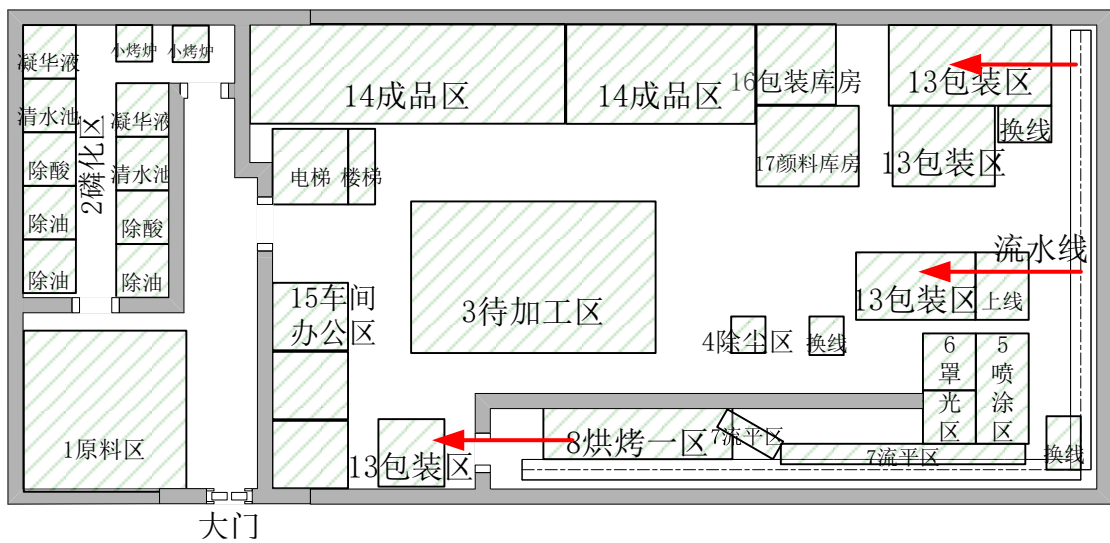


图 4-10 优化方案 II 包装区位置

4. 改动成本

在改动成本方面，优化方案 I 和方案 II 由于改动位置较为相似，例如，同样拆除磷化区部分墙体，包装库房和颜料库房变动位置相似，C 车间二层流水线缩短的距离相同等，因而成本较为一致。

综上所述，通过对比优化方案 I 和优化方案 II 的物料流动距离、物流强度、布局柔性 and 改动成本四个方面，发现优化方案 I 比优化方案 II 略胜一筹，因此，我们选用优化方案 I 为最终布局优化方案。

4.4 优化方案分析

4.4.1 C 车间优化方案分析

车间布局图要想变成科学合理且符合实际情况的布置优化方案，就要参照 SLP 方法，以实际优化目标为方向，并结合车间内的实际情况，对布局图进行合理调整和修正。

用 SLP 方法改善 C 车间布局，为了让车间布局优化目标切实可行，需要将重点改进内容设立为方向，通过妥善安排与规划各项作业单元的具体位置，达到缩短物料搬运距离，降低物流成本，提高生产效率，提升企业竞争力的目的。问题导向修正因素有以下几点。

1. 保证车间生产工艺流程的衔接性。在车间能够提供足够空间的前提下，保证产品质量的同时，将工艺流程相近的作业单元安排在相对靠近的位置，就能够提高车间生产效率，减少搬运浪费的发生，从而保证车间内生产活动的顺利进行。

2. 减少车间内搬运路线迂回的现象。基于 SLP 方法的优化方向，在对车间布局进行优化时，需要分析车间内的物料流动路线，将车间内的物料流动距离和线路交叉点作为重点参考依据，改善车间内的路况。

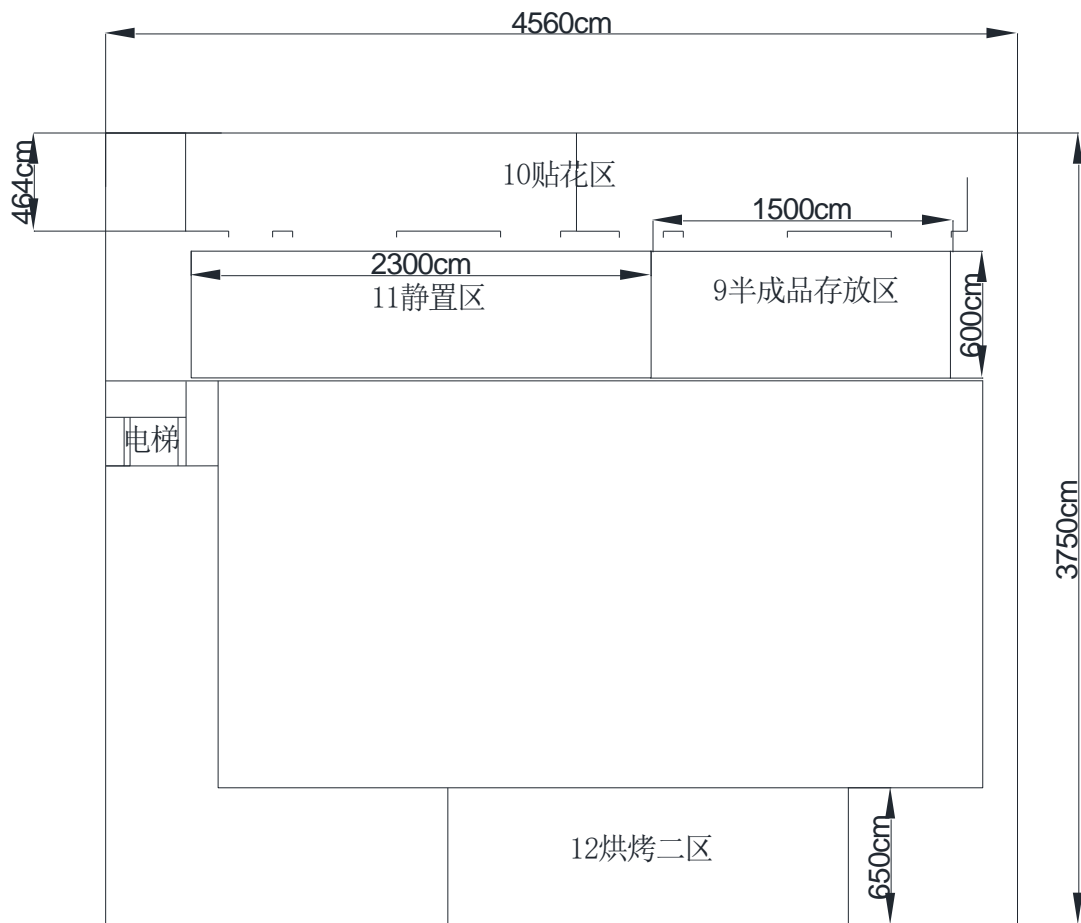


图 4-12 C 车间平面优化布置图（二层）

4.4.2 车间改动总结

在本次方案改动中，首先要解决的就是烘烤区到包装区距离过远的问题，因为二者之间物流量大且距离远。为解决这一问题，我们缩短了烘烤区流水线的长度，将节省出的空间用于设置第二个包装区，降低了二者之间的物流压力。

其次，我们改变原料区的位置，将原料区设立在大门旁边，不仅减少了来料卸货的搬运距离，还能让原料区与磷化区的工作衔接更加流畅，并且有效减少了磷化区到待加工区的距离。

再次，设置车间内的物料流动模式为 U 型，适用于工厂现有的物料流动情况。经观察发现，部分生产流水线存在长期闲置的情况，但由于这部分流水线的存在，大大增加了二楼流水线物料流动距离。我们将这部分流水线去除，将空置出的空间用于静置区和半成品存放区，减轻了这两个区域的存货压力。

最后变动包装库房和颜料库房的位置，挪动包装库房到包装区旁，并将颜料库房挪动到喷涂区附近，减少了工人从作业区走动到库房的距离，将空置出的空间用于成品摆放，

减轻原成品摆放区位置不足的问题。

经过改善后，因为车间内的物流距离和物流强度降低，且车间内部分区域面积不足的情况得到缓解。

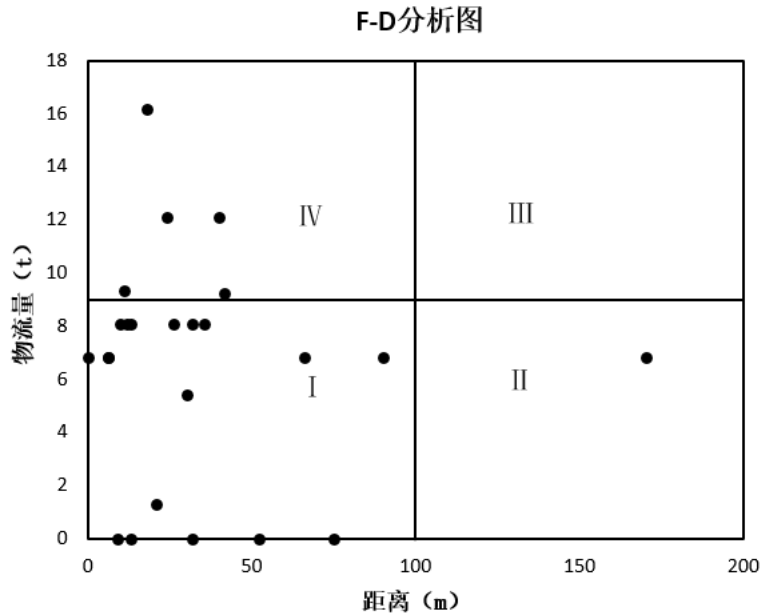


图 4-13 改善后的 F-D 分析图

观察改善后的 F-D 分析图，如图 4-13 所示，我们可以发现目前有 0 个点存在于区域 III，1 个点存在于区域 II，这与本次的优化目标一致，因此本次优化是较为理想的优化。

本章运用 SLP 方法，对 C 车间原始布局进行优化设计。首先分析相关作业区域间的物流关系和非物流关系，之后采用加权方式对这两种关系进行汇总，得出综合相互关系图，然后以计算的方法得出综合程度接近排序表，并以该表为基础绘制出作业单位位置相关图，最后根据位置相关图和各个作业单元对面积的实际需求，绘制出完整的优化后的 C 车间布局总平面布置图。

第 5 章 总结与展望

5.1 总结

本文主要针对 T 公司 C 生产车间出现的问题，在原始布局的基础上，运用 SLP 法对 C 车间内的布局进行优化。

1. 本文针对 T 公司 C 车间的布局现状进行整理分析，通过分析车间内加工产品的工艺流程，车间内的物流现状，使用 F-D 分析图寻找车间内首要的优化目标，发现车间目前存在的问题。

2. 基于发现的问题，使用 SLP 法开始进行布局优化，首先要分析作业区域间的物流相关性，整理车间内作业单位的面积需求，对原始车间面积进行划分，随后计算出相关作业单位对的物流强度。

3. 随后分析作业区域间非物流相关性，并将物流相关性与非物流相关性一起纳入考虑中，采用加权的方式计算综合相互关系，为下一步绘制位置相关图做铺垫。

4. 根据位置相关图生成 C 车间布局初始优化方案，在生成优化方案时，要注意考量现实影响因素，如设备过大过重难以移动的等问题。

5.2 展望

目前来说，生产车间布局优化是一个受多目标影响和多种限制的问题，限于理论水平和知识储备的约束，本文的研究还存在某些不足。例如，对 C 车间的二楼作业区进行规划时，未将流水线作业的流动方向考虑在内，忽略了半成品拥堵，待料等情况。受限于图纸绘制软件的限制，不能完全体现车间内的某些搬运工具。以上所描述的空缺还需要我们在未来做出进一步的研究。

参考文献

- [1] Lucas Schmidt Goecks, Taciana Mareth, André Luis Korzenowski, Jorge André Ribas Moraes, Elpidio Oscar Benitez Nara. Analytic hierarchy process as a decision-making tool for systematic layout planning, involving social responsibility criteria: a case study[J]. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 2022, 40(1).
- [2] Hu, Xiulian, Chuang, Yi Fei. E-commerce warehouse layout optimization: systematic layout planning using a genetic algorithm[J]. Electronic Commerce Research, 2022.
- [3] Liu H, Liu X, Lin L, et al. A Study of the Layout Planning of Plant Facility Based on the Timed Petri Net and Systematic Layout Planning[J]. Plos One, 2020, 15(9).
- [4] WU Y, XU S, ZHAO H, et al. Coupling Layout Optimization of Key Plant and Industrial Area[J]. Processes, 2020, 8(2): 185.
- [5] Khariwal Shubham, Kumar Pradeep, Bhandari Manish. Layout improvement of railway workshop using systematic layout planning (SLP) – A case study[J]. Materials Today: Proceedings, 2020.
- [6] Rizky Alfiansyah Nofal, Awibowo Setijo, Saraswati Triarti. Increase Productivity by Eliminating Waste and Using Systematic Layout Planning in Airline Catering Service[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 1003(1).
- [7] Shaojuan Su, Yasai Zheng, Jinan Xu, Tianlin Wang. Cabin Placement Layout Optimisation Based on Systematic Layout Planning and Genetic Algorithm[J]. Polish Maritime Research, 2020, 27(1).
- [8] KOVACS G. Layout design for efficiency improvement and cost reduction[J]. Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences, 2019, 67(3).
- [9] 熊科峰, 方瑜, 易紫艳. ZB 公司生产车间布局优化设计[J]. 中国集体经济, 2022(09): 77-79.
- [10] 李建华, 陈祥儒, 周鹏. 基于 SLP 的采掘装备壳体车间布局优化研究[J]. 价值工程, 2020, 39(11): 284-288.
- [11] 周侏睿, 张新艳等. 运用系统布局规划方法改善电动机维修车间布局[J]. 上海电机学院学报, 2019, 22 (02): 115-119.
- [12] 王昀睿. 基于 SLP 的某钢结构公司生产车间布局优化研究[J]. 现代制造工程, 2019(03): 31-37.
- [13] 徐天琦. 基于 SLP 的某阀门生产车间布局优化研究[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47(04): 74-77.
- [14] 周小康, 段亚林. 基于 SLP 与 SHA 的轻卡离合器工厂设施布局优化[J]. 机械工程师, 2018(04): 86-88.
- [15] 刘玲玲. Q 公司 1 号生产车间布局优化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.

- [16] 黄鹏鹏, 魏春珊等. 基于 SLP 和 AHP 的输液器组装车间布局优化及仿真[J]. 制造业自动化, 2022, 44(4): 12-21.
- [17] 秦恩桃. 基于改进 SLP 的 T 公司车间布局优化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2021.
- [18] 韩昉, 刘利军等. 改进 SLP 算法的车间设施布局优化设计[J]. 机械设计与制造, 2021(3): 297-300.
- [19] 杨军, 丁周, 闫德鑫. 数字化生产车间的布局及优化分析[J]. 中国集体经济, 2021(23): 157-158.
- [20] 贾佳, 魏旭, 杨丹, 宋昭君, 闫梓威. 人因视角下 SLP/遗传算法集成模型车间布局优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2021(02): 161-164+168.
- [21] 周润博. 基于改进的 SLP 对 HD 公司生产车间的布局优化[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
- [22] 徐晓鸣, 邓裕琪, 吴绮萍. 基于 SLP 和粒子群算法的车间布局优化研究[J]. 机电工程技术, 2020, 49(02): 17-20+98.
- [23] 高嘉成. 基于改进 SLP 的 BW 公司生产车间设施布局优化及仿真研究[D]. 河北: 河北工业大学, 2018.

致 谢

时光静静地流逝，为期四年的大学生活即将结束。这在四年的时间里，我不仅收获了知识，更可贵的是培养出了一种独立思考，应对难题的能力，这一点无论是对于学习还是生活来说都是十分具有价值的。

另外，四年的时光，我更多收获的是师生情和友情。首先，感谢我的导师董伟红老师，感谢您对我在学习上的支持和帮助。其次，感谢日常学习生活中一起努力，不断进步的朋友们，一起努力的大学时光让我永记于心。感谢以及怀念，祝福我们的未来一切向好。

最后，感谢一直默默支持我的父母，正式因为你们给予的肯定，我才能一路向前，不断前行。