

**本科毕业设计[论文]**

**HM工厂冲压模具换型优化方法研究**

院 系 管理学院

专业班级 物流管理201801班

姓 名 陈艳琼

学 号 U201816031

指导教师 崔南方

2022年5月26日

**学位论文原创性声明**

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包括任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名： 年 月 日

**学位论文版权使用授权书**

本学位论文作者完全了解学校有关保障、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关学位论文管理部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权省级优秀学士论文评选机构将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于 1、保密 囗 ，在 年解密后适用本授权书。

2、不保密 囗 。

（请在以上相应方框内打“√”）

作者签名： 年 月 日

导师签名： 年 月 日

# 摘　　要

近几年，汽车行业正从增量市场转向存量市场，企业为满足消费者需求不断开发产品，随着生产型号增多，企业通过人工经验排加工顺序造成换型时间长的问题愈发明显，这些都使得汽车零部件供应商需要从“精益”的观点出发提质增效。HM工厂主要生产乘用车座椅滑轨，在冲压工艺流程中，因现有的排产顺序只靠个人经验决定，总换型时间长是冲压过程中急需解决的痛点。

本文在理论和实地调研的基础上，对HM工厂的生产现状进行了系统的梳理，通过企业大换线的换型作业顺序整理出换型流程表，绘制出冲压设备换型排列图，通过鱼骨图分析总结出影响换型时间的因素。针对人工排产问题，本文构建了冲压模具换型优化模型构建，设计了改进自适应遗传算法，将HM工厂的实际数据代入求解得到结果，并将结果与工厂人工方案进行对比分析，发现本文构建的模型和设计的算法可以有效缩短HM工厂冲压换型时间。最后采用快速换模方法，分别从内外部作业进行优化，减少冲压作业非增值活动时间。通过以上方案，缩短了总的换型时间，提高了冲压车间的生产效率。

**关键词：**精益生产；换型时间；快速换模；改进自适应遗传算法

# Abstract

In recent years, the automotive industry is shifting from the incremental market to the stock market. Enterprises are constantly developing products to meet consumer demand. The problem of long changeover time caused by manual experience in scheduling the processing sequence is increasingly obvious in such variety devices, which makes it necessary for automotive parts suppliers to improve quality and efficiency from the perspective of "lean". The HM factory mainly produces passenger car seat slides. In the stamping process, the long total changeover time is a pain point that needs to be solved urgently because the existing scheduling sequence only relies on personal experience.

On the basis of theoretical and field investigation, this thesis systematically combs the production status of HM factory, sorts out the changeover flow chart through the changeover operation sequence of enterprise large-scale changeover line, draws the changeover arrangement diagram of stamping equipment, and summarizes the factors affecting the changeover time through fishbone diagram analysis. To address the manual scheduling problem, this thesis constructs the optimization model of reducing changeover time in stamping and designs the improved adaptive genetic algorithm, substitutes the actual data of HM factory into the solution to obtain the results, and compares the results with the manual solution of the factory for analysis, and finds that the model constructed and the algorithm designed in this paper can effectively shorten the stamping changeover time of HM factory. Finally, single-minute exchange of die method is used to optimize the internal and external operations respectively, which reduces the non value-added activity time of stamping operation. The above solutions shorten the total changeover time, improve the production efficiency of stamping workshop.

**Key Words：**Lean production; Changeover time; Single-minute exchange of die; Improved adaptive genetic algorithm

**目　　录**

[摘　　要 I](#_Toc105158721)

[Abstract II](#_Toc105158722)

[1 绪论 1](#_Toc105158723)

[1.1 研究背景 1](#_Toc105158724)

[1.2 课题研究的目的与意义 4](#_Toc105158725)

[1.3 国内外研究现状 6](#_Toc105158726)

[1.4 研究内容、方法和路线 9](#_Toc105158727)

[2 HM工厂生产特征分析 11](#_Toc105158728)

[2.1 HM工厂简介 11](#_Toc105158729)

[2.2 HM工厂生产现状 13](#_Toc105158730)

[2.3 冲压模具换型的影响因素分析 17](#_Toc105158731)

[3 HM工厂冲压模具换型优化问题建模与算法设计 22](#_Toc105158732)

[3.1 问题分析 22](#_Toc105158733)

[3.2 冲压模具换型优化模型构建 22](#_Toc105158734)

[3.3 冲压模具换型优化算法设计 24](#_Toc105158735)

[4 结果分析与换型优化建议 30](#_Toc105158736)

[4.1 计算模拟与结果分析 30](#_Toc105158737)

[4.2 其他换型优化建议 35](#_Toc105158738)

[5 总结与展望 40](#_Toc105158739)

[5.1 研究总结 40](#_Toc105158740)

[5.2 研究展望 40](#_Toc105158741)

[致　　谢 42](#_Toc105158742)

[参考文献 43](#_Toc105158743)

# 绪论

研究背景

在过去几十年，中国的制造业得到迅猛发展，中国已连续11年稳居制造业第一大国的地位，但中国制造大而不强，在产品研发、企业内部管理水平、核心技术、自主创新等与世界发达国家仍有差距。而汽车业在制造业中占有举足轻重的地位，发达国家的主要汽车企业纷纷采取合资或技术战略合作等方式，为中国汽车业的迅速发展带来了机遇和挑战，如何将中国制造转变为中国智造是一项重大任务。

2012-2020年，我国汽车制造业的产量和销售量总体为先升后降，如图 1‑1经历17年汽车销量峰值后，近几年由于我国城市交通日益拥挤、公共交通设施日趋完善、民众购车意愿降低等，汽车厂商正面临着市场下行压力，中国汽车市场发展速度大幅下滑，国内乘用车销量出现了明显的下降趋势，而世界范围内的汽车业也开始步入寒冬，面对这样的市场形势，各大车企纷纷采取优惠促销等手段，以吸引更多的客户。如今，汽车行业正从增量市场转向存量市场，低速增长逐渐成为常态，2021年，中国品牌抢先探底回升，销售量超过了八百万辆。2022年1月，汽车产销状况总体平稳，较上年同期略有下降。

图 1‑1　中国乘用车销量及其增长速度[31]

（数据来源：中国汽车工业协会，华经产业研究院整理）

在2021年以来，汽车半导体供应危机，如图 1‑2所示，汽车行业数据预测公司AFS发布的数据表明，2022年截止到3月底，因为缺芯汽车产量缩减约125.48万辆，其中，中国市场累计减产量占全球的5.7%[32]，而且车规级芯片持续短缺的现状使其价格持续上涨，造成了如车辆涨价、停工停产等问题，作为汽车行业上游供应商，汽车零部件的需求会因为上一级的延期交货等而存在产品堆积甚至减产问题。

图 1‑2　2022全球各地区汽车累计减产量和预计减产量[32]

（数据来源：*AutoForecast Solutions Inc.*）

过去的旧模式中，销售价格=成本+利润，生产者在有利可图的情况下确定价格，而如今国内汽车市场竞争激烈，新模式中价格是由供求关系决定的，销售价格-成本=利润，各个工厂生产工艺的改进，产品合格率提高，节约了成本，进入批量生产后，整体的平均成本下降，国家出台各种政策，发展各地间的交通，降低了物流成本，由于品牌较多，各厂家以价格换市场份额的竞争加剧，卖价相对以前便宜，在这种条件下，要想扩大利润就必须让成本更小。而整车厂商与上游供应商相比处于供应链的强势地位，因此整车厂商不断降低汽车零部件采购的价格，上游的原油、铁矿石等工业基础原材料的价格变动比较大，钢铁等原材料的价格也会随之出现较大的波动，这些都导致汽车座椅零部件企业可获得的利润变少，从而影响汽车零部件供应商的经营状况形成恶性循环。

汽车座椅工艺流程复杂、技术难度大，如图 1‑3所示，占整车成本比例达到5%[33]，其成本和轮胎轮毂相近，仅次于发动机、变速器这两种汽车零部件。在汽车座椅冲压工序中，当生产线生产完一定数量的一种产品之后需要加工另一种类的产品时，需要的模具不同，故模具必须进行整套或者一些部分的更换以及附件空间工艺参数等的调整，这个切换时间被称为生产换型时间（Changeover time），如图 1‑4所示。汽车、半导体等行业的制造过程中普遍存在着模具更换的问题，冲压工艺作为汽车零部件加工中除生成料片的第一道工序，如果此工序没有按计划完成，会影响到之后所有环节生产任务的执行甚至是订单的交付，而如果能提高冲压效率，总生产效率也会提升。这些都使得包括汽车零部件供应商在内的整个汽车业都需要从“精益”的观点出发。

图 1‑3　各零部件成本比例[33]

（数据来源：前瞻产业研究院整理）

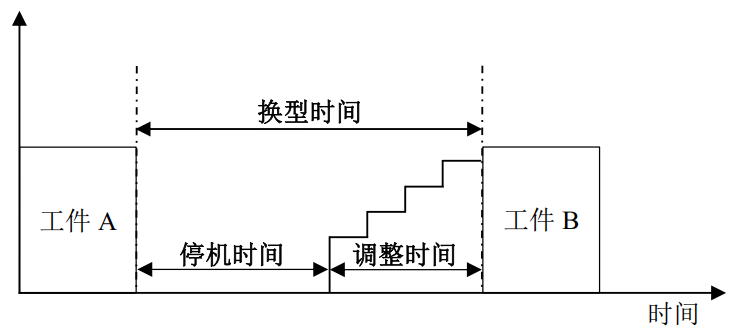


图 1‑4　换型过程概念

课题研究的目的与意义

### 研究目的

HM公司作为汽车座椅骨架及座椅调节机构供应商，从事各类制品的进出口业务，为了拓展业务，HM公司新规划建设了工厂主要生产汽车座椅的滑轨，以此来扩大经营规模。HM工厂的滑轨生产由冲压、部件焊接、涂装、汽车总装这四种工艺组成，这些流程中都包含着繁杂精细的工序，而且工厂前期的建设投入等成本大，需要HM工厂有更高的生产效率和更高的产品质量来创造更大的利润。其中工厂在冲压工艺流程中，最大的时间浪费就是换型时间，换型过程不仅延长了生产时间，而且对产品质量和客户满意度产生了负面影响，并没有为产品增加任何价值，故缩短换型时间是急需解决的痛点，提高冲压设备综合效率的关键，也是提质增效的关键。

因此，本次毕业设计通过对 HM工厂的生产过程进行了系统的梳理，在理论研究和实地调研的基础上，对工厂的整体情况和工艺流程进行了介绍，特别是冲压车间的生产现状（生产计划、生产线、换型过程），找出冲压成型过程中存在的问题，并对影响冲压换型时间的因素进行了分析。针对人工排产问题，本文构建了冲压模具换型优化模型构建，设计了改进自适应遗传算法，将企业实际代入求解得到结果，并将结果与工厂人工方案进行对比分析，同时采用快速换模等精益生产的方法和工具，总结其他冲压模具换型优化建议，从换型作业流程和冲压排产两方面进行优化，使得生产现场存在的冲压模具换型时间长问题得到有效解决，改善HM工厂冲压车间的冲压工艺，从而提高生产效率，节约企业成本增加利润，提高顾客满意度，增强企业的市场竞争力。

### 研究意义

1）实践意义

频繁的换型会损坏机器，降低机器生产效率和生产质量，加速设备的折旧；有加班隐患，换型是非增值活动，换型时间长使得效率低下，可能为了在规定时间内完成生产任务而加班产生成本（效能成本），加班导致员工身心健康受损，不能发挥出应有价值造成的人才损失成本，若有低利用率的岗位员工在加班时间做与工作无关的事而产生现金成本；最常见的隐性成本——停滞资源成本，换型时机器停产产生成本。

对于制造型企业来说，生产车间是核心，生产效率是衡量制造生产企业的重要指标，和经济效益有直接关系。优化HM工厂冲压换型过程，提高冲压成型的生产效率，对企业有重要意义。

（1）当今顾客需求越来越多样化，越来越强调顾客服务满意度，零部件生产商需要快速响应顾客需求，朝着柔性化（个性化、多品种、小批量）发展。冲压效率的提升，减少非增值的时间浪费，提高产能，而且会减少冲压在制品、半成品及成品库存，降低呆滞风险，改变企业因为产能短缺而需要高库存来防备订单延误交付。

（2）降低生产成本，增加利润。对于冲压工序来说，冲压生产效率直接影响着各种成本支出，如设备折旧成本和质量成本等。只有保持较高的生产效率水平，企业才能减少浪费节约成本，扩大产能规模，增加利润，提高自己的自主创新能力，增强企业的竞争优势。

（3）对于员工而言，提高工作积极性。对于冲压工序来说，依靠人工经验进行排产，增加换型次数会增加员工作业次数，而对单个换型来说，运用快速换模等精益工具，将先进技术等用于换型中，使得员工效率提高，而且公司的利盈利情况也会影响员工福利，员工工资薪金上涨提高工作的积极性和员工粘性。

2）理论意义

对国内中小型汽车零部件企业冲压换型研究的进行了有益补充。目前来讲，对冲压换型优化的研究方面，主要考虑通过精益生产的思想进行改善，如5S、看板等工具，未将精益工具和模型算法同时结合应用，本文的研究可以丰富现有的研究成果。同时目前较少研究国内中小型汽车零部件企业，希望为中小型汽车零部件企业冲压换型优化提供参考。本文的研究丰富了冲压换型领域的研究，搭建了适应联动作业的冲压换型优化的模型，并尝试提出有效建议，提高中小型汽车零部件企业的竞争力，为以后优化冲压换型的研究者提供一定的参考，推动汽车零部件行业更好的发展。

国内外研究现状

### 精益生产国内外研究

精益生产起源于20世纪50年代，最初被称为丰田生产系统，是由丰田汽车公司的丰田英二和大野耐一撰写的，后来传播到其他日本汽车制造商。正如亨利•福特（Henry Ford）和阿尔弗雷德•斯隆（Alfred Sloan）率先倡导大规模生产一样，日本人在上世纪50年代和60年代发展并完善了詹姆斯·P·沃麦克、丹尼尔·T·琼斯和丹尼尔·鲁斯所称的精益生产，这一体系已经彻底改变了日本的制造业，并蔓延到世界其他地方[1]。

由于精益生产理念传播到世界各地，国内也纷纷翻译相关书籍和文章，学者起初的研究主要通过这些资料。沃麦克等人所写的《改变世界的机器》一书中阐述了精益生产五大要素：工厂运营、产品设计、供应链整合、客户关系管理、管理精益企业，并阐明精益生产方式是如何运用于全球及跨行业企业及如何管理[2]，还有《精益思想》等书都使人们对精益生产思想体系有了较为全面地认识。李近强从精益生产的工具入手，分析各工具间联系，认为5S管理是基础，准时化生产是终极目标，看板不可或缺，自动化和TPM是两大支柱，改善思想贯穿精益生产[3]。

在1990年到2000年之间，“精益”一词主要停留在其最初的运营管理领域。2000年，术语“精益六西格玛”出现，在制造业和服务业都得到了广泛的关注[4]。Pankaj研究运用精益六西格玛在财务和会计服务中提供了一套指导方针，并开发了各种框架，以强调其运营、战术和战略效益，提升经营绩效[5]。

也有学者对影响精益生产实施的因素进行了研究。Achanga等采用全面的文献综述和对位于英国东部的10家中小企业的访问相结合的方法，确定了决定制造业中小企业成功实施精益制造的关键因素——领导力、管理、财务、组织文化、技能和专业知识等因素[6]。

精益4.0，于2017年提出，是精益生产和工业4.0范式的协同结合[4]。Sanders和Elangeswaran等分析了利用现有资源实施精益的障碍——供应商、客户、过程控制以及人为因素，通过对工业4.0相关文献的研究，找出克服障碍的解决方案，准确地确定了工业4.0的哪些维度是实施精益生产的推动因素，证实了精益制造与工业4.0之间存在正相关关系，即采用工业4.0的活动能使工厂精益化[7]。Naciri 等通过基于精益4.0案例研究的模拟来具体说明摩洛哥公司的时间和生产力的提高，以此展示精益4.0的力量[8]。

### 快速换模国内外研究

冲压工艺流程中使用的模具极具专用性，所以生产过程中缺乏灵活性，换一种类型产品生产时需要模具更换，而且不同类型之间切换的换型时间不同，只能大批量生产。随着细分市场迅速发展，为满足个性化、细分化的需求，改善专家新乡重夫提出快速换模技术，在生产过程、操作、启动等方面提出了改变建议[9]。日本的制造企业对快速换模的应用极为成功，如丰田1000吨压床换型时间由4小时改善降至3分钟，雅马哈公司生产线上的换型时间由9小时降至9分钟[10]。

国外对快速换模方面的研究早于国内，但均有许多学者对快速换模理论方法和步骤进行了研究。Ferradás和Salonitis针对某焊接企业提出了专门为汽车供应商开发的SMED定制方法，将项目分解为四个阶段：战略阶段、准备阶段、实施阶段和控制阶段[11]。陈龙和陈红军以某工厂多品种生产线为例，详细介绍了如何通过观察、分离、转化、压缩四个步骤来实现快速更换模具，归纳了换型持续改进的七大步骤，达到缩短换型时间、提高产能的目的[12]。也有许多专家学者将快速换模和企业实际生产结合。叶永伟等证明换型时间与冲压在制品数量两者成正比，以此为依据，给出了一种结合流程图、排列图和鱼骨图的快速换模方法，减少了模具换模时间，并在一家大型的链条生产企业内应用验证模型和方法的可行性[13]。针对一家公司的食品加工部门是一个高季节性需求和产品寿命短的生产环境，Malek和Magdalena运用两种精益工具价值流图和快速换模，缩短换型时间并提高了主要生产线的产能[14]。Parwani和Hu提出了一种带有劳动力约束的调度启发式模型，将快速换模与作业调度进行融合， 减少切换停机时间成本[15]。Junior和Pattaro等基于ECRS原则、标准化工作和OEE（设备综合效率）的实际应用，开发新的快速换模框架，针对一家石油和天然气公司实施此框架，大幅缩短生产换模时间，提高了设备综合效率[16]。随着精益生产国内传播越来越广，其他领域也开始借鉴应用一些工具方法。黄强将快速换模方法引入人力资源管理，通过SMED理念发现和培养明星员工，以B企业技术部部长为例，建立岗位胜任力模型，最终取得显著效果，得出利用SMED可以明显降低明星人才离职的风险并识别高潜力人才的结论，而且更适用于中小微型企业[17]。

### 冲压车间调度研究现状

目前，国内冲压车间生产排程工作多数依靠人工经验完成。但在生产车间排程问题日益突出的今天，冲压车间调度问题已成为学者们关注的焦点。路致远等对南京某车身厂的冲压车间进行研究，集成生产计划和调度，提出了有准备时间、成批生产且有库存限制的优化模型，选择混合遗传算法进行求解[18]。尹静等选择某汽车生产企业的冲压生产线进行研究，将最小化时间成本作为优化目标，建立冲压生产线调度优化模型[19]。徐建有等研究了有调整时间的多目标流水车间调度问题，为求解此问题设计了一种基于Pareto最优的迭代局域搜索算法[20]。

为了解决现实世界中与冲压调度问题相关的调度挑战（Barlatt等人，Relvas等人），研究人员开发了一些求解方法[21][22]。Bagheri等研究了带换型时间的调度问题，针对这一问题设计了变邻域搜索算法[23]。陈帆等以最小化完工时间和车间总耗能为优化目标，建立优化调度模型，采用遗传模拟退火算法求解进行实例分析[24]。周春生等以某企业冲压车间为研究对象，采用双层编码的遗传算法求解多目标节能优化模型[25]。Begen等先构建一个混合整数规划，在测试时发现该方法无法解决公司冲压实际问题，又开发了一个约束规划模型，与前一模型相比有所改进[26]。Shen等研究带换型时间的调度问题，以最小化最大完工时间为目标设计了对应的禁忌搜索算法[27]。Gencosman等考虑了一家土耳其冲压公司的调度问题，开发了一个带有机器合格性限制和连续机器操作要求的整数规划模型，结果表明，所提出的方法能够找到比公司目前的流程和文献中的模型有更短的总完成时间，改进将问题分为两部分开发了第二种求解方法：（1）作业机器分配问题（主问题）和（2）排序问题（子问题），在更短的时间内提供了更高质量的解决方案[28]。

### 文献述评

（1）大部分涉及冲压换型时间的研究只是通过精益工具简单改善，较少通过模型和算法研究，已有研究多是类似FJSP各机器独立运作，不是一条生产线联动作业，并且，以多品种、单件为目标的生产计划为重点，而冲压是多品种的批量生产，这增加了优化调度难度。

（2）目前已有的冲压车间调度问题研究，优化目标为最小化最大完工时间和加工总成本等，都假设无换型时间或换型时间相同，大部分都忽略了不同产品间的换型时间、换型成本等对冲压生产调度的影响。但是由于不同产品间换型时间不同，不同的排产计划将导致整个生产周期中换型次数和换型时间的不同，考虑换型时间会给问题提高难度。

研究内容、方法和路线

### 研究内容

本课题对HM工厂生产流程进行了现场调研，针对HM工厂冲压效率现状，研究HM工厂冲压模具换型问题，结合快速换型等精益生产理论，找出影响冲压模具换型的因素，建立冲压模具换型优化模型，设计相应的算法求解模型，提出其他改善建议，并总结实施过程中的不足，整体框架如图 1‑5所示。

第一章，绪论，主要概述本文研究背景，阐明所研究问题的目的和意义，总结精益生产、快速换模和冲压生产调度国内外研究现状，阐明本文的研究内容、方法、技术路线。

第二章，HM工厂生产特征，介绍HM工厂的大致情况，总结HM工厂生产现状，特别是冲压工序换型流程，综合采用流程图、排列图、鱼骨图等方法，对换型时间的影响因素进行了研究，为之后的改善提供基础。

第三章，建立冲压模具换型优化模型，研究此问题的特点、目标函数及约束条件，设定模型环境、参数、变量等内容。算法研究，根据模型特点，设计改进自适应遗传算法求解模型。

第四章，结果分析与换型优化建议，将工厂实际生产计划数据代入，将得到的结果与企业实际换型时间进行对比分析；运用快速换模理论工具，将内部作业转换为外部作业，提出冲压模具换型改善建议，减少换型内外部作业时间。

第五章，总结与展望。总结之前各部分的研究内容和意义，指出本次研究的不足，提出了今后的研究方向。



图 1‑5　论文研究框架

### 研究方法

（1）文献研究法。结合本课题所要解决的问题，大量阅读、搜集、鉴别、整理已有的国内外冲压换型理论和实践研究成果相关的文献，归纳出适合 HM工厂冲压换型优化的理论与实践途径。

（2）案例调查法。深入企业实地考察，对HM工厂的各个方面有一个全面的认识，调查目前企业在实际操作中遇到的问题以及深入询问需要解决的难点细节。

（3）数学建模定量分析法。通过对现场实际生产数据的采集，编制了改善前冲压换型时间记录表，根据目标以及约束条件对冲压模具换型优化问题建立数学模型并进行算法求解，运用精益工具——快速换模进行全面分析后，制定出改善方案。

# HM工厂生产特征分析

HM工厂简介

HM是麦格纳和HAPM在2017年成立的一家合资公司，作为汽车座椅零部件的二级供应商，为一级供应商提供总成配套部件。该公司主要从事座椅骨架、各类精密冲压模具的研发设计、生产和出售服务。目前，员工超过2000人，有134个专利，专利类型有发明专利和实用新型，有8项资质证书，是全省信息和工业一体化试点示范单位。

HM公司经过多年努力，研制出世界领先的乘用车最重要的零部件之一——座椅调角器，产品畅销几十个国家和地区，全球和国内市场占有率分别达到12%和30%，努力建设成为面向国内外的汽车座椅调节机构及其他相关零件制造基地。从默默无闻到异军突起，HM公司正在尽一切努力成为一个优秀的供应商，期望提供全方位的集成式座椅调节系统可行方案。目前，工厂的厂长对工厂的整体日常管理负责，即厂长负责制。工厂开展销售订单接收和交货处理，生产作业计划生成、下达执行，作业调度等生产作业活动，设有财务部、技术支持部、项目管理部、生产管理部、质量管理部、物流部六大部门，总部直接负责人力资源、市场营销和产品设计等部分。滑轨根据驱动方式分，有手动滑轨和电动滑轨两种，按滑轨截面形状可以分为对称滑轨和非对称滑轨，产品如图 2‑1所示。

电动滑轨

手动滑轨

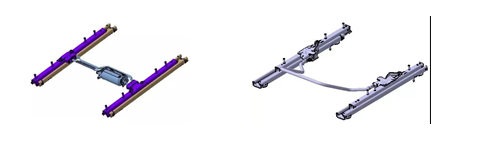


图 2‑1　产品图

HM工厂的布局如图 2‑2所示，厂子总建设用地面积约23,000平方米，是公司最大的总成装配厂。从工厂平面布局图不难看出，HM公司在规划设计建造工厂时，详细分析物料、设备、区域等之间的关系，物流、人流等已经被负责人比较全面地考虑到了。整个工厂主要划分为四个库：原材料库、外协件库、包装库和成品库以及四个区：冲压工作区、冲压件库和清洗区、部件焊装区、总成装配区。

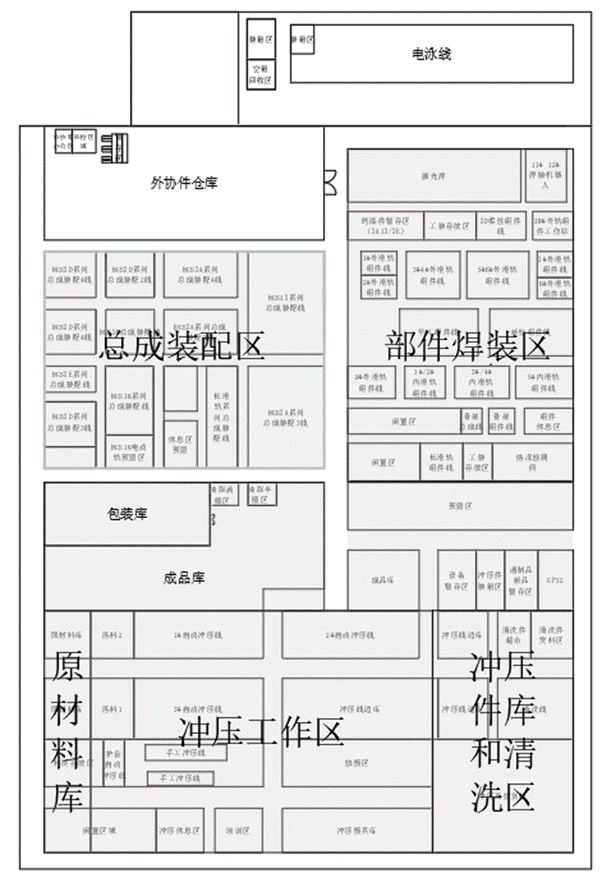


图 2‑2　工厂布局图

HM工厂生产现状

### HM工厂工艺流程介绍

滑轨是汽车座椅的重要零部件，产品种类按轨型分为：电动滑轨（7A）、手动滑轨（7D）、不规则滑轨（18），每种滑轨有对应的上轨和下轨，共六大类，HM工厂滑轨的基本产品结构如图 2‑3所示。

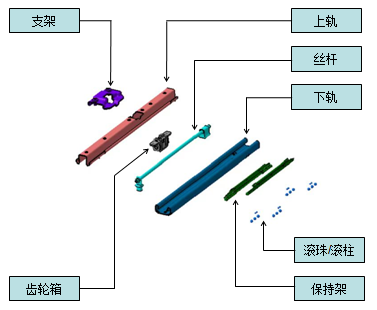
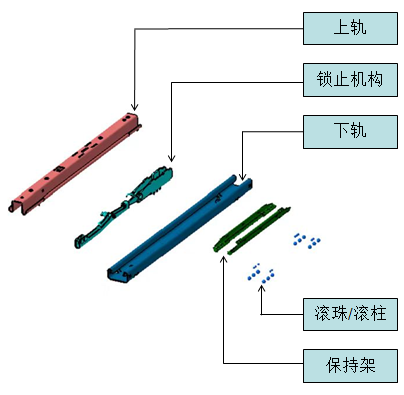


图 2‑3　滑轨产品结构

HM工厂的滑轨生产全过程主要包括冲压、部件焊接、烤漆、总成装配四个工艺流程，典型产品系列的工艺流程如图 2‑4所示。滑轨的制造过程从冲压开始，采购的原材料钢卷料利用冲压车间的开卷矫直机进行开卷处理后，移动到落料机经过落料得到后续生产所需的料片半成品，料片根据计划通过指定的冲压生产线成型（上轨和下轨），然后经过清洗冲洗掉残余的冲压油，完成后，将半成品以及采购的零部件等各种物料被运送到焊装车间，在流水线上焊装加工，然后半成品完成表面烤漆处理，之后运送部件到总成装配区的流水线上与外购件总装为成品，总装下线后打包入库即完成整个过程，详细介绍如表 2‑1所示。



图 2‑4　HM工厂产品工艺流程图

表 2‑1　工艺流程表

|  |  |
| --- | --- |
| 工艺流程 | 介绍 |
| 冲压落料 | 通过航吊吊装将钢卷运到开卷矫直机后进行开卷落料，将校平后的卷料进行切割，通过切割后制成各种型号的料片，这些料片是下一道工序冲压成型所需要的原材料。 |
| 冲压成型 | 共有三条冲压生产线，由多台不同吨位的冲床组成，一条生产上轨，一条生产下轨，一条上下轨都生产，不同的料片经过不同要求的工序，成为各种上轨和下轨冲压件，将生产出的半成品以托为单位运至冲压半成品库。 |
| 清洗 | 清洗上轨和下轨冲压件表面的冲压油，为后续的部件焊接工序做准备。 |
| 部件焊接 | 一个完整滑轨是由上轨和下轨组装在一起，该工序是将上下滑轨中需要组装在一起的部分进行焊接，主要有TIG焊、激光焊、电阻焊等六种工艺。 |
| 烤漆 | 烤漆线作业选用链条传送结构，部件焊装后将半成品在线边进行挂架，一人在上料端将挂架放到生产线上，会自动进入烤漆间烤漆，一人在下料端下料。 |
| 总成装配 | 该工序主要是将通过部件焊接后组装好的部件和一些购买的配件产品进行装配。现有的流水线手动滑轨和自动滑轨分别有手工线和自动线两类。 |

### HM工厂冲压车间生产现状

1）生产计划

经过对工厂的实地调研，发现工厂在结合产品现有库存和顾客订单要求等的基础上，利用MRP生成工厂生产任务，每一道工序的组长通过excel表格的形式获得生产计划表，其中包括冲压生产计划，在现有设备、人员等生产资源和已知交付日期情况下，根据人工排产经验和生产产品的优先顺序，计划员将一周内不同种类的产品生产计划安排到具体的生产线上，使各顾客订单尽可能能在规定时间内交付。从以上的计划流程可以看出，冲压车间和计划员之间缺乏及时有效的沟通，信息共享有困难，现有的排产计划也只靠个人的经验决定，往往会增加不必要的库存成本和换型成本。

2）生产线

整个冲压区有三条自动生产线，一条生产线有9台冲床，而且是联动作业，共有一百多种型号的滑轨产品在这几条生产线上进行换型生产，料片在两台冲床间通过工具机械手自动传递。冲床和模具、滑轨加工的工序有关联，所以不同的冲床有不同的吨位，1、2、8号冲床260吨，3、4、6、7、9号200吨。

3）冲压设备换型

模具的基本结构：最外层是模框（座），中间的是中转模架，然后是子模、各种冲头等。换型时对比一条生产线上的九套模具，首先判断模具号是否一样，如果一样，不需要更换模具，如果模具号不一样，需要更换模具；如果模具号相同但是后面的参数不一样，现场进行更换，有备份模具需要特殊标注。有一部分过渡芯棒是装在模具上面，由于冲床尺寸原因需要拆卸芯棒然后模具换上后再装上芯棒，这会增加额外的时间。

换型过程大致分为十个步骤：

1. 轨道的清理，轨道里上一个班次剩余的一部分尾料要清空；
2. 拆卸传感器，即模具上的传感器，因为料块是否到位等都是需要通过传感器来识别，包括整个电控信号都是依靠传感器来输出；
3. 拆卸模具，把模具从冲床上拆下来；
4. 拆卸过渡芯棒（两个机床中间连接的部分，滑轨从上面划过去）；
5. 拆卸机械手的夹爪（推挡爪），用来移动零件；

前五步完成所有的拆卸作业；

1. 安装芯棒；
2. 安装模具；
3. 安装机械手的夹爪，其必须在安装模具之后，因为夹爪的高度是以模具为基准而做调整；
4. 调整拆垛机，即码放料块和上料的地方；
5. 调试与生产，调试包括料块尺寸调试、零件尺寸调试和夹爪的Z轴（向）高度的精调，如果夹爪的Z轴（向）高度调整不好，滑动过程中产品可能会脱钩。

表 2‑2　典型产品冲压换型作业时间统计表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 作业内容 | 时间 | 备注 |
| 清空尾料 | 7min |  |
| 拆除感应器 | 1min/个 |  |
| 拆除过渡芯棒 | 3min/个 |  |
| 拆除推挡爪 | 2min/个 |  |
| 安装过渡芯棒 | 10min/个 | 分为粗调和精调 |
| 更换模具 | 10min/套 | 子模 |
| 20min/套 | 整模 |
| 填写模具履历 | 1min/次 |  |
| 模具转运、清洁 | 5min/次 |  |
| 安装推挡爪 | 5min/个 | 分为粗调和精调 |
| 换定位销 | 20min |  |
| 找料片 | 7min |  |
| 退料 | 1min |  |
| 领料 | 1min |  |
| 拆垛机调整 | 5min |  |
| 机床调试 | 20min | 不考虑故障 |
| 首件测试 | 5min |  |

　　从上表 2‑2数据可以看出，冲压工序换型时间就算只换一套模具也达两小时，调查中发现8-10月一条冲压生产线换型时间合计达到200.84小时。因为在实际换型时，有时只需要把中转模架换下来，有些是需要连同整个模框全部拆掉，而且不同产品切换时需要更换模具的机器数量不同，只有两个操作工，例如A类产品切换到B类时，需要在四台冲床上更换4套整模，也需要拆除安装感应器、过渡芯棒、推挡爪四次，总换型时间远不止两小时。所以有时实际的换型时间是换型中的一次性作业时间与更换模具范围和拆除安装所有部件数量时间的总和。

冲压模具换型的影响因素分析

### 分析思路

通过企业大换线的换型作业顺序整理出换型作业表，区分出内外部作业，绘制出冲压设备换型排列图，通过鱼骨图来分析影响换型时间的因素，整个流程如图 2‑5所示。



图 2‑5　分析换型时间影响因素流程图

### 分析结果

1）换型流程

通过工厂大换线的换型作业总结得到改进前的冲压换型作业表，如表 2‑3所示。

表 2‑3　改进前换型作业表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 作业内容 | 时间 | 作业类型 |
| A清空尾料 | 7min | 内 |
| B拆除其他部件 | 6min/个 | 内 |
| C安装过渡芯棒 | 10min/个 | 内 |
| D更换模具 | 10min/套 | 内 |
| 20min/套 | 内 |
| E填写模具履历 | 1min/次 | 内 |
| F模具转运、清洁 | 5min/次 | 内 |
| G安装推挡爪 | 5min/个 | 内 |
| H换定位销 | 20min | 内 |
| I找料片、领料、退料 | 9min | 内 |
| J拆垛机调整 | 5min | 外 |
| K调试机床、试冲、自检 | 25min | 内 |

2）绘制排列图

通过表 2‑3可以发现除J为外部作业外，工序E、F、I可以转化为外部作业，画出冲压换型排列图，如图 2‑6所示，纵轴中，左侧为各作业步骤的换型时间， 右侧为时间占比； 横轴的前半部分为内部作业，后半部分为外部作业，两条折线分别为各作业时间在其内外部作业时间的累积占比。

图 2‑6　冲压设备换型排列图

3）绘制鱼骨图

：内部作业中各作业占比；：外部作业中各作业占比

针对内部作业时间，若满足：



将符合条件的前个作业列为主要影响因素，放在距离鱼头（根本问题）最近的位置，不管是前70%还是后30%的作业，时间越长的距离鱼骨越近。

同理，针对外部作业时间，若满足：



则前个作业放在距离鱼头（根本问题）最近的位置[13]。

通过上述方法，得到K、D、H和I分别为影响内、 外部作业时间的主要因素，画出换型鱼骨图，如图 2‑7所示。

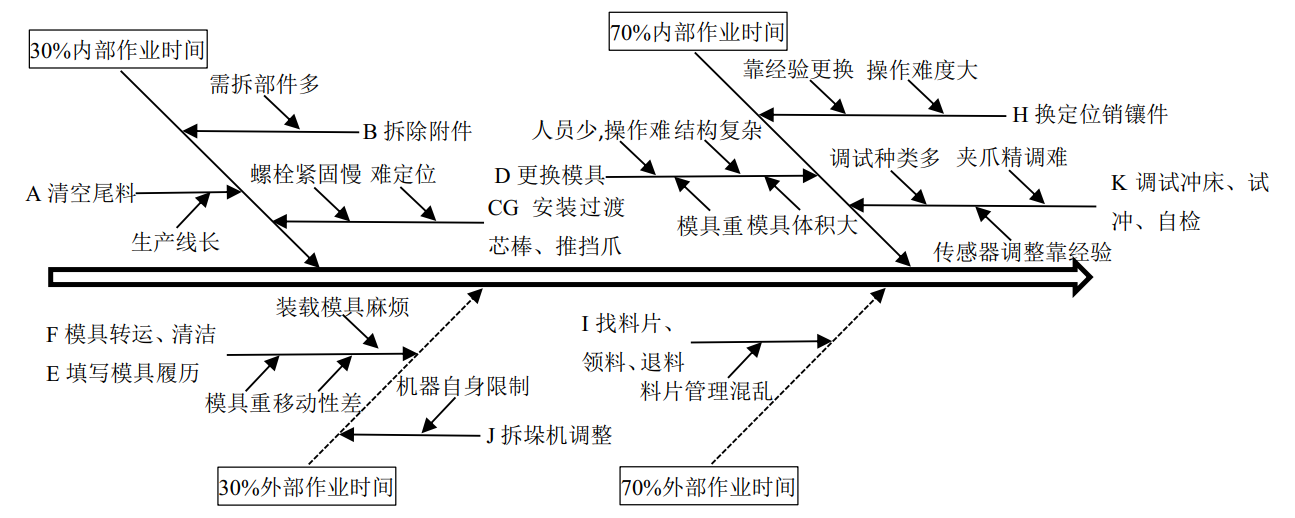


图 2‑7　冲压换型鱼骨图

通过对工厂整体工艺流程以及冲压换型过程进行观察，并和相关的技术人员进行交流沟通，总结鱼骨图分析认为除人工排产外，影响HM工厂冲压模具换型的影响因素有：

（1）人员分工不合理。在换型过程中，只有两个技术人员进行换型工作。由于换型有较高的技术要求，只有专业的换型操作人员才能进行一些专业操作，但是像切换操作程序，领料、退料、找料片、转移模具等技术要求不高的作业，目前也由两个技术人员完成，这使得换型操作人员的工作量非常大，换型时间也很长，而这些工作是可以交给其他工作人员完成的，而且能在机器运作时进行。

（2）冲压是联动作业，模具具有专用性。冲压生产线每台冲床不是独立的，9台冲床是联动的，若要换型整条生产线内的机器都需要停下来，产品间的形状不同，不同产品需要的冲床数量不同，即中间有些工序是用不上的，这导致不同的产品之间切换，换型时间差别较大，在3条自动生产线上共有一百多种产品型号进行换型生产。不同的产品换型共有三个层级：一个是滑轨六大类，一个是长度，一个是具体的形状。具体的形状牵扯到换型，九个冲床对应的九个模具第三层级可能只换其中的一两套模具，整体其他都没有影响，只换个模具，也有可能包括中间的那个其他模具换一个定向，是一个非常小的调整。第二层模具和夹状程序的调整。第一个层级，切换分两个大类：一种就是切换模具，切换夹爪，切换芯棒，切换程序，还有最复杂的一种就是现有的所有的东西除了冲床其他东西都换。

（3）换型过程缺少标准化流程。换型作业没有标准的作业流程或标准不完善，每个操作人员根据自己的经验进行操作，无法保证同一动作的标准性，而且操作工可能会遗漏某项作业内容或者完成作业顺序乱套，每次完成的时间都不固定，浪费时间进行返工。

（4）部分先进工具未使用。如模具的夹紧、调整模具位置等只是通过人工和利用部分辅助工具，效率低下，需要通过引进先进工具，让机器代替部分人工作业。

（5）部件安装参数标准化程度低，很多附件必须在安装模具之后，装模高度不一致，如机械手的夹爪高度是以模具为基准而做调整，如果夹爪的Z轴高度调整不好，滑动过程中产品可能会脱钩，导致安装时需要反复调整，除此还有料块尺寸调试、零件尺寸调试等，这都浪费大量时间。

# HM工厂冲压模具换型优化问题建模与算法设计

问题分析

工厂冲压工作区有1条冲压生产线，工厂运用MRP生成一周的冲压生产计划，冲压区需要将不同型号的料片经过冲压成型，加工成N种数量已知的工件，每种工件对应一套模具，不同类型的工件在一条线上生产时需要更换其对应的模具，不同工件模具之间切换时间并不相同。

已知：

（1）计划冲压的工件类型和需求数量；

（2）冲压时各工件所需的模具和各工件间的换型时间；

（3）各工件在生产线上的加工时间和它们各自的交付日期。

应满足以下假设条件：

（1）所有生产线看成一个整体，即只有一条冲压生产线；

（2）同一机器加工完一种类型的工件后再加工下一类型的工件；

（3）同一批次工件一旦开始加工，不能中断；

（4）系统时刻0，所有工件处于准备被加工状态，所有模具和设备处于空闲可用状态；

（5）无法在一日内完成生产的工件可以在次日继续生产，不需要更换模具。

优化目标：

确定各类型工件的最佳加工顺序，最小化工件冲压的总完工时间。

冲压模具换型优化模型构建

在零部件冲压生产过程中，单个工件的冲压加工时间只需几秒，而更换模具需要花费几十分钟甚至几小时，频繁的更换模具会将时间浪费在非增值活动上，降低冲压效率，增加工人工作负担。工件数量和加工时间已知，换型时间是影响完工时间的部分，因此以完工时间为衡量指标，以最小化最大完工时间为目标函数，符号定义如表 3‑1所示。

1）符号定义

表 3‑1　符号定义

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 定义 |
|  | 工件的种类集合，设共有种工件 |
|  | 工件种类数 |
|  | 整数变量，工件的工件总数 |
|  | 工件单位加工时间 |
|  | 换型时间（从第种类型产品模具换到第种类型产品模具） |
|  | 工件开工前的等待时间，设备的空闲时间 |
|  | 连续变量，表示该调度方案的最大换型时间 |
|  | 决策变量，从第种类型产品加工完成后能换模加工第种类型产品为1，否则为0 |
|  | 连续变量，工件的加工完成时间 |
|  | 工件交付时间 |
| *E* | 模具切换集合 |
|  | 辅助变量，用于顺序记录 |

2）冲压换型优化模型



*Subject to*





















目标函数（3-1）最小化最大完工时间，为在完成所有加工任务的总时间，单位为小时；约束（3-2）表示在同一条生产线上先后进行加工的两个批次之间的约束以及交付期约束，其中M是一个无穷大的数（）。只有当为 1时存在满足此约束条件的值，即新制造的工件一定需要在先制造的工件加工完成之后才进行加工且完工时间必须在交付期内；约束（3-3）保证了由变量决定的换型顺序是一条无闭环的完整线；约束（3-4）和（3-5）分别约束了每一批的紧前与紧后工件最多只有一批；约束（3-6）表示虚拟工件 0 为第一批生产工件；约束（3-7）表示最大完工时间大于或等于最后一个批次工件完成冲压的时间；约束（3-8）表示系统开始时间为0；约束（3-9）表示不同类型工件冲压顺序间存在无法换型情况，表示模具切换到模具的切换时间，若模具不能切换到模具，记为。（3-10）和（3-11）则表示各变量的取值范围。

冲压模具换型优化算法设计

冲压模具换型顺序优化问题属于NP-hard，由于求解该问题的复杂性，当组合多时精确算法不可行，所以需要启发式算法在较短时间内找到近似解或最优解来解决问题。基于前人的研究，结合所要研究问题的特点，设计自适应遗传算法求解该问题。

### 算法设计总体思路

本文设计的自适应遗传算法是模拟大自然中生物进化过程搜索最优解的方法。首先初始化参数，一段编码代表一条染色体，表示一种冲压生产方案。将交付期分成*n*个时间窗，各时间窗内的工件随机排序，生成*S*条染色体构成初始种群。适应度函数相当于对环境的适应能力，即总完工时间，如果适应度越大，表示这条染色体所代表的生产方案越好，而在此问题中完工时间越小越好，因此将完工时间取负作为适应度函数。在选择过程中，以适应度值为依据，选择总完工时间较少的选址方案为父代群体。迭代过程中新个体通过交叉、变异等操作产生。更新种群和对应的适应度值，与之前最优解比较更新当前最优解；通过不断重复上述过程，可以不断优化冲压生产方案的总时间，判断算法的收敛准则是否满足（此处为进化次数）。若满足，则输出结果。算法的流程图，如图 3‑1所示：



图 3‑1　自适应遗传算法流程图

### 编码设计

工件种类数为n，工件号为。本算法的编码采用单段式编码，长度为n，每一位表示在本调度方案中该工件种类的位置，每个编码位的值为1到m，表示工件种类，不可重复，如图 3‑2的编码设计图，表示加工顺序为：。



图 3‑2　编码设计图

若工件在一周冲压生产计划中每天都有下一工序的需求计划，即相当于有不同的子批，同一类工件的子批可以当做是同质工件，则编码由各子批工序排列编码组成，以图 3‑2为例，对编码中的数字予以说明，如表 3‑2所示。

表 3‑2　编码中数字1-8对应的各工件子批

|  |  |
| --- | --- |
| 编码 | 工件子批 |
| 1 | 工件1的第1个子批 |
| 2 | 工件2的第1个子批 |
| 3 | 工件3的第1个子批 |
| 4 | 工件4的第1个子批 |
| 5 | 工件1的第2个子批 |
| 6 | 工件2的第2个子批 |
| 7 | 工件2的第3个子批 |
| 8 | 工件3的第2个子批 |

### 初始解的生成

因为存在部分工件生产完成时间离交付日期很近，故将交付期分成个时间窗，根据不同时间窗将工件种类分成，每个group内的工件随机排序，生成条染色体构成初始种群。

### 选择操作

选择操作是基于染色体的适应度值来决定它是否被选择成为父代种群被下一代遗传。本文采用轮盘赌法。若已知种群大小为，当前种群为。具体操作步骤如下：

（1）计算当前种群中每条染色体的适应度；

（2）当前种群中染色体按照其适应度降序排列；

（3）依次遍历染色体组，随机生成一个位于之间的小数，若，则选择染色体作为父代种群之一。

### 自适应交叉算子

本算法对编码采用 POSITION BASED CROSSOVER 交叉。准备进行交叉操作的父代种群为，交叉步骤如下：

1. 从父代种群随机选择两条染色体、 准备进行交叉，计算其交叉概率。自适应交叉概率公式如下：



其中：

为给定的交叉概率；

为随机选出的准备进行交叉的两条染色体中较大的适应度；

表示当前种群的平均适应度；

为当前种群中的最大适应度。

1. 随机生成一个位于之间的小数，若，则不交叉；若，则对、的编码进行 PX；
2. 根据 POSITION BASED CROSSOVER(PBX)准则对、进行交叉。PBX操作流程：
   1. 从中随机选择个点，；
   2. 将这个点按位复制到 *Child1*；
   3. 删除中选中的基因，剩下的部分按照顺序选择，填入*Child1* 的编码空位中；
   4. 同理生成 *Child2*。

如图 3‑3，从中随机选择的个点为，PBX 操作结果如下，生成的即为*Child1*。



图 3‑3　PBX操作流程图

### 改进自适应变异算子

本文根据问题的实际情况，采用三种变异方法相结合。父代种群为，准备进行变异操作，如图 3‑4所示。具体的变异操作如下：

1. 从父代种群中选择染色体进行变异，计算其自适应变异概率，自适应变异概率公式如下：



其中：

为给定的变异概率；

为随机选出的准备进行交叉的两条染色体中较大的适应度；

表示当前种群的平均适应度；

表示当前种群中的最大适应度。

1. 随机生成一个位于之间的小数，若，则不变异编码，若，则对的编码进行变异操作；
2. 随机生成一个位于之间的小数，且如果不是可行解，即有超时的工件，找到*n*种超时的工件，从*n*个中随机选择*k*个交换，将时间差（交付时间-实际完成时间）降序排列输出对应编号矩阵；如果超时工件种类数为1，随机选择中前的任意一个与超时的工件交换顺序，因为第一个和最后一个换可能会一直陷入循环；否则从中前*n*个随机选择*k*个与*k*个超时工件交换顺序；
3. 若或是可行解，随机生成一个位于之间的小数，若，选择二变换法，随机生成之间的两个整数（设），交换和的顺序；否则，选择三变换法，随机生成之间的三个整数（设）, 将和之间的顺序插到之后。



图 3‑4　变异操作

# 结果分析与换型优化建议

计算模拟与结果分析

通过与HM工厂技术员的沟通，获取到过去某一周和一个月的普冲计划，整个内轨换型时间矩阵、产品冲压加工时间以及人工排产的换型总时间，经过数据处理，利用改进自适应遗传算法求解，将所得结果与实际数据对比分析。

### 数据来源及数据预处理

（1）采用了HM工厂过去某一周的普冲计划，计划如表 4‑1所示。

表 4‑1　一周普冲计划

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 料号 | 周四 | 周六 | 周日 | 周一 | 周二 | 周三 | 周四 | 周六 | 周日 |
| 7A3 |  |  |  |  | 1522 |  | 1260 |  | 5518 |
| 7A17 |  |  |  | 2806 | 5010 | 4155 | 3720 | 3915 | 39394 |
| 7A19 |  |  |  |  |  |  |  |  | 10400 |
| 7D22 |  |  |  |  |  |  |  |  | 14400 |
| 7D6 |  |  |  |  |  |  |  |  | 10800 |
| 7A35 |  |  |  |  |  | 1235 |  |  | 6765 |

工厂工人每天工作14小时，每个星期五休息。从工厂提供的整个换型时间矩阵中找出六种料号，将同一种产品不同时间的子批看成不同产品，得出总的14×14换型时间矩阵，部分数据如表 4‑2所示。

表 4‑2　部分冲压换型时间矩阵

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 切换产品  线上产品 | 7A3 | 7A17 | 7A19 | 7D22 | 7D6 | 7A35 | 7A3/2 |
| 7A3 | 0 | 3.5 | 2.5 | 3 | 3 | 1.5 | 0 |
| 7A17 | 3.5 | 0 | 2 | 3.5 | 3.5 | 3 | 3.5 |
| 7A19 | 2.5 | 2 | 0 | 2.5 | 2.5 | 2 | 2.5 |
| 7D22 | 3 | 3.5 | 2.5 | 0 | 1.5 | 2.5 | 3 |
| 7D6 | 3 | 3.5 | 2.5 | 1.5 | 0 | 2.5 | 3 |
| 7A35 | 1.5 | 3 | 2 | 2.5 | 2.5 | 0 | 1.5 |
| 7A3/2 | 0 | 3.5 | 2.5 | 3 | 3 | 1.5 | 0 |

（2）采用了HM工厂过去某一个月的普冲计划，如表 4‑3所示，根据工厂换型时间矩阵整理得出总的46×46换型时间矩阵，部分数据如表 4‑4所示。

表 4‑3　 某一个月的普冲计划

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 料号 | 周六 | 周日 | 周一 | 周二 | 周三 | 周四 |
| A26 |  | 3015 |  |  |  | 9000 |
| A31 | 1800 |  |  | 2300 |  | 7000 |
| A7 |  |  |  |  |  | 14400 |
| D4 |  |  |  |  |  | 14400 |
| D16 |  |  | 3000 | 1500 | 2000 | 15000 |
| D30 | 1000 |  |  |  |  | 2560 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| A52 |  | 3200 | 1800 |  |  |  |
| A24 |  |  | 6765 |  |  |  |
| D7 |  |  |  |  |  | 10400 |
| A3 |  | 5010 | 4155 | 3720 |  | 35000 |
| A36 |  | 2323 |  |  |  | 6000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| A35 |  | 2854 | 2856 | 3720 |  | 5010 |
| A51 | 1428 | 1428 |  | 2854 |  | 29000 |
| A17 |  |  |  |  |  | 5000 |
| A19 |  |  |  |  |  | 10000 |
| A39 |  |  |  |  | 4110 | 12000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| D1 |  |  | 5518 |  |  |  |
| D6 |  |  |  |  | 2856 | 6765 |
| D20 |  | 2704 | 4520 | 3955 |  | 20000 |
| D22 |  | 4300 | 5800 |  |  |  |
| D11 |  |  |  |  |  | 12600 |
| E |  |  |  |  |  | 10800 |

表 4‑4　部分冲压换型时间矩阵

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 切换产品  线上产品 | A26 | A31 | A7 | D4 | D16 |
| A26 | 0 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| A31 | 2 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| A7 | 2 | 2 | 0 | 4 | 4 |
| D4 | 4 | 4 | 4 | 0 | 1.5 |
| D16 | 4 | 4 | 4 | 1.5 | 0 |

### 结果分析

本文通过算法求解分别得到一周和一个月的最优调度方案，具体计划换型方案及换型和完工时间结果以图表形式呈现。

1）一周计划

通过本算法求得一周的最优调度方案，适应度值在迭代过程中的收敛图，如图 4‑1所示，工件最大完工时间的最优值为102.4167小时，换型时间为10小时，如表 4‑5所示。

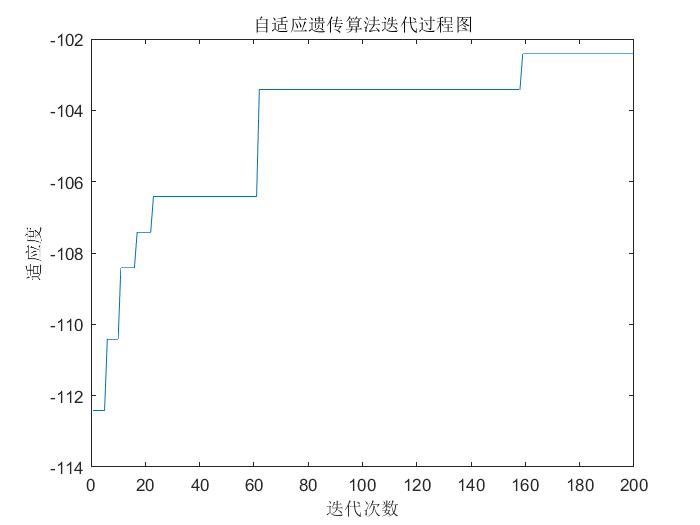


图 4‑1　适应度值收敛图

表 4‑5　一周计划换型方案及换型和完工时间

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 加工顺序 | 总换型时间 | 总完工时间 |
| 7A17🡪7A19🡪7A3🡪7A35🡪7D22🡪7D6 | 10小时 | 102.4167小时 |

2）一个月计划

通过本算法求得一个月的最优调度方案，适应度值在迭代过程中的收敛图，如图 4‑2所示，工件最大完工时间的值为313.3550小时，换型时间为50.5小时，加工顺序为：

D30🡪A31🡪A26🡪D16🡪D4🡪A7🡪A3🡪A36🡪A52🡪A24🡪D7🡪A,🡪A35🡪A51🡪A19🡪A39🡪A17🡪D6🡪D1🡪D22🡪D20🡪E🡪D11，A3分为两个子批生产，数量分别为9165和38720。

如表 4‑6所示，若将近似最优解作为初始种群可得出最优解为310.8550小时，换型时间为48小时，加工顺序为：

D30🡪A31🡪A26🡪D16🡪D4🡪A7🡪A24🡪A52🡪A36🡪A3🡪D7🡪A51🡪A35🡪A39🡪A19🡪A17🡪D6🡪D22🡪D1🡪D20🡪E🡪D11。

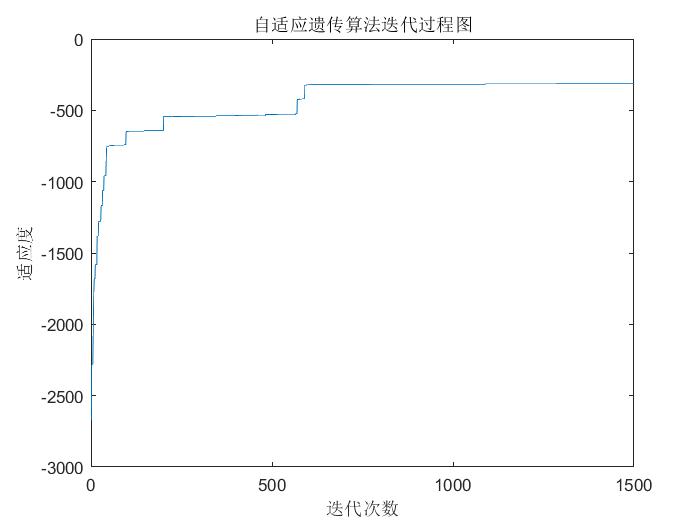


图 4‑2　适应度值收敛图

表 4‑6　一月计划换型方案及换型和完工时间

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 加工顺序 | 总换型时间 | 总完工时间 |
| D30🡪A31🡪A26🡪D16🡪D4🡪A7🡪A24🡪A52🡪A36🡪A3🡪D7🡪A51🡪A35🡪A39🡪A19🡪A17🡪D6🡪D22🡪D1🡪D20🡪E🡪D11 | 48小时 | 310.8550小时 |

### 算法应用效果分析

本文通过与HM工厂实际数据对比，发现以下指标有明显改善。

1. 换型时间减少

HM工厂冲压总的换型时间得到了显著的改善，一周的换型时间从改善前的14.66小时降低到改善后的10小时，降低了约31.79%，一个月的换型时间从改善前的66.5小时降低到改善后的48小时，降低了约27.82%，改善前后的对比图如图 4‑3所示。

图 4‑3　改善前后换型时间对比图

1. 设备可利用率提高

将减少的冲压换型时间用于生产，冲床的设备可利用率得到了相应提高，实验这一周的换型时间从改善前的14.66小时降低到改善后的10小时，一个月的换型时间从改善前的66.5小时降低到改善后的48小时，分别减少了4.66和18.5小时的时间浪费。如果不考虑设备故障等其他突发情况造成的停机，每周的冲床设备可利用率也从88.37%提高到92.06%，一个月的冲床设备可利用率也从81.73%提高到86.81%，如图 4‑4所示。

图 4‑4　改善前后设备可利用率对比图

1. 产能及利润得到提高

冲压换型时间减少将提高生产线的产能，提高了设备可利用率。通过上述冲压换型的优化，换型时间缩短了4.66小时，每3秒加工完成一个滑轨半成品，如果将节省的换型时间用于生产滑轨，意味着可以利用4.66小时额外生产5592个滑轨，而一个月可以省下18.5个小时额外生产22200个滑轨，通过提高产能，可以额外为公司增加销售额和利润。

优化冲压调度、高效自动化排产是提高冲压效率的重要手段。由上述数据可以看出，根据本章所述的优化方法得出的生产方案，冲压车间换型时间、设备可利用率和产能指标均得到明显改善。

其他换型优化建议

内部作业是指必须在机器设备不运作时完成的作业，而外部作业则是指可以在机器设备正常工作时完成的作业。换型时间相当于内部作业时间，将部分内部作业转换为外部作业将直接减少机器在转换阶段处于空闲状态的时间浪费。为使冲压作业换型时间缩短，计划利用快速换模，主要包括以下步骤：

（1）区分内部和外部作业活动。通过分析整理的冲压换型作业是否需要停机完成来区分。

（2）内部作业转化为外部作业。部分可以由内部转外部作业，分析并确定可以转换的部分。

（3）减少内外部作业时间。针对影响HM工厂冲压模具换型的影响因素，通过工具使用、并行作业等改进方法来减少时间。

### 区分内部作业活动和外部作业活动

确定可以转化为外部作业的内部作业。经过分析，从表 2‑3中可以看出，HM工厂仅仅是更换一套整模的整个换型时间为113分钟，其中内部作业的时间总和为108分钟，外部作业仅有调整拆垛机一项为5分钟，内部作业时间占整个换型时间的比例达到95.58%，换型过程几乎没有区分内外部作业，大部分都是在停机状态下完成的，且都是串行完成，而有些内部作业活动是能够转换为外部作业活动，特别是换型前的准备作业和换型后的整理。详细的换型作业内容如表 4‑7所示，部分作业可以由转运人员处理，专业换型人员只负责专业的内部作业，减少时间浪费。

表 4‑7　冲压换型内部作业转外部作业表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 作业内容 | 内部 | 外部 | 时间 | 改善 |
| 清空尾料 | √ |  | 7min |  |
| 拆除感应器 | √ |  | 1min/个 |  |
| 拆除过渡芯棒 | √ |  | 3min/个 |  |
| 拆除推挡爪 | √ |  | 2min/个 |  |
| 安装过渡芯棒 | √ |  | 10min/个 |  |
| 更换模具 | √ |  | 10min/套 |  |
| 20min/套 |  |
| 填写模具履历 |  | √ | 1min/次 | 换型完成后填写 |
| 模具转运、清洁 |  | √ | 5min/次 | 转运人员处理 |
| 安装推挡爪 | √ |  | 5min/个 |  |
| 换定位销 | √ |  | 20min |  |
| 找料片 |  | √ | 7min | 提前准备 |
| 退料 |  | √ | 1min | 转运人员处理 |
| 领料 |  | √ | 1min | 提前准备 |
| 拆垛机调整 |  | √ | 5min | 辅助人员协助 |
| 机床调试 | √ |  | 20min |  |
| 首件测试 | √ |  | 5min |  |
| 最大合计 | 93 | 20 | 113 |  |

如上表所示，通过对冲压换型内部和外部作业进行区分，可以将至少15分钟的内部作业转换为外部作业，使更换模具时的停机时间减少 15分钟，内部作业时间占整个换型时间的比例从95.58%减少到82.30%，如图 4‑5所示。

图 4‑5　改善前后内部作业时间对比图

### 减少内部作业时间

1）使用工具优化

模具的夹紧——夹模器，拆模具的过程——冲床配了移模臂，模具的转移——电动叉车，吊装——航吊。每台冲床配备安装特制快速定位销。在换型时，由专业的钳工进行完成换定位销作业，根据定位孔标识卡将定位销放入相应的顶杆孔，在更换模具时与模具定位孔协同工作，实现快速定位作业[29]。

2）制作换型指导卡

当前操作人员根据自己过去的经验进行换型作业，发现在更换模具的过程中，由于忘记某个步骤而后续补做，先后顺序不合理造成重复作业和浪费。尽管有换型作业指导书等，其中包含了模具更换的过程、注意事项等细节，但由于过于的详细，导致篇幅很长，没有能让操作人员在作业时一眼看到的突出重点，造成了换型过程中，操作人员往往都是凭自己的经验来做，并不会查阅指导书，指导书没有发挥应有的价值。

在更换模具时，可以将更换模具的指示卡和模具更换文件放在相应的位置，以便指导换型作业，每次进行换型作业时，完成一项就勾一项，这样可以避免因为记忆而出现的疏漏，该方法可以规范操作人员的换型流程，也可防止因操作人员的作业习惯不同而造成的换型时间偏差。

3）串行改并行作业

调查时发现工厂目前不同的操作人员承担更换感应器、推挡爪、过渡芯棒等和换定位销作业，但均是串行作业，操作人员在上一个完成后再进行作业。

并行作业是指由两个及两个以上的人同时进行模具更换作业，分工明确，虽然增加操作人员会增加人工成本，但缩短换型时间所带来的经济效益远大于付出的费用，所以为了减少换型时间必须增加操作人员。并行作业根据操作人员角色定位的不同，分为两类。

主辅作业就是在进行换型作业时，一个操作员负责主要部分，其余的操作人员负责协助配合。冲压布局设计时为操作人员作业留的空间都有限制，而且操作人员的工作能力层次不齐，在此种环境下适合采用主辅作业，能力强的操作人员主导换型作业，而能力较弱的操作人员辅助配合，技能低的还能现场学习，但此种方式需要主辅人员两者配合默契，特别要注意安全，避免由于配合失误导致的事故。

所谓平行作业是指当实施换型作业时，由两名或更多名操作人员在同一冲床前合作或每个操作人员在不同冲床之前进行单独的模具更换工作。如果换型空间充足、不同冲床间关联性弱，即可采取平行作业。但平行作业对每位操作者的技术水平都有很高的要求，如果能力层次不齐，换型作业完成时间就会不同，导致整条生产线换型时间被能力最差的人员影响，增加换型时间。

按HM工厂规模，可以每条生产线可以2~3名操作工配合作业。不同的操作人员可以并行完成，如可同时完成更换感应器、换定位销等作业，可在辅助操作人员配合下进行拆垛机调整，节省作业人员的作业时间。

### 减少外部作业时间

如果规模扩大，技术人员增加，会出现明显生产信息传达不及时情况，而目前的生产情况及下一种需要生产的滑轨计划，这些信息应当在恰当的时间通知操作人员，让他们提前准备好模具、工具等能第一时间进行作业，减少时间浪费，此问题可以通过安灯系统解决。

丰田模式14项原则中其中一项——发现品质问题时立即停止生产（立即暂停制度）。安灯系统（Andon系统）起源于丰田汽车公司，作为一种视觉系统管理车间生产线，操作人员在发现缺陷时立即停止生产，提醒团队成员需要协助，第一时间解决问题，同时警示管理层。根据工厂冲压车间布局规划，可以在每台冲床位置安装安灯系统，在合适位置安装灯箱盘和音箱，一条生产线可以根据实际生产情况设置相应个数的灯箱盘，像HM工厂生产比较简单，可以就用两个灯，一个绿灯表示准备要换型或者换型完成，一个红灯表示换型过程中出现异常情况。

在工位旁安装按钮开关箱，操作人员按下绿色按钮，使得绿色灯闪烁并发出特定提醒声音，提醒操作人员将要进行冲压换型或者换型已经完成，能让他们为接下来产品的制造做好必要的材料、工具、模具搬运准备。如果在模具更换过程中出现问题时，操作员工按下红色按钮，使得红色灯闪烁并发出特定警告声音，报警请求协助，排除异常后，解除红色按钮。整个过程能在系统里显示，以便实时跟踪换型过程，若出现异常，能及时警示主管，从而增强现场的应变能力，提高问题解决的及时性。最初可以通过Andon系统快速识别换型存在的问题，将导致换型异常的原因以及当时采取的措施及时记录下来，定期以帕累托形式按共同类别量化原因，这种分析可以将许多琐碎问题中的关键部分分离出来，为管理层提供了一种决策工具[30]。

# 总结与展望

研究总结

本文以HM工厂冲压成型过程为研究对象，结合国内外相关理论研究，通过对HM工厂冲压车间换型现状的研究，探讨了冲压换型优化问题，最后实现了冲压换型问题算法求解，取得了不错的效果。本文围绕HM工厂冲压车间生产的特点，从建模、算法优化求解、实例应用等方面开展研究，采用快速换模方法各步骤，为HM工厂单个换型时间的缩短提出建议。

本文的主要研究成果总结如下：本文首先描述了HM工厂整体现状，尤其是冲压现状和改进前的换型流程，采用了流程图、排列图、鱼骨图等方法，对换型时间的影响因素进行了研究，为之后换型作业的改善提供基础。其次针对汽车冲压车间的生产特点，建立了冲压换型优化模型，提出了基于规则的改进自适应遗传算法，通过企业实例对其进行了验证，使过去一周和一月的换型时间分别降低了约31.79%和27.82%，减少冲压作业非增值活动时间，结果表明优化冲压排产能提高冲压车间的生产效率，增加利润。最后针对换型流程存在的问题提出了其他换型优化建议，利用精益工具——快速换模（SMED）方法区分内外部换型作业，分别从内外部作业进行工具和方法等提出针对性优化，减少单个换型作业时间，间接降低库存，减少返工和报废。

研究展望

本文所述的方案还存在着许多不足之处，有待于进一步的研究和完善，在进一步减少换型时间的同时联合考虑工厂冲压车间的库存等其他问题。

1. 换型优化模型和算法仅仅只是基于HM工厂过去通过MRP生成的一周、一个月的历史生产计划数据进行了优化，主要将已有的理论与算法改进应用到现实的场景中，而在算法的创新方面有所欠缺，但若是要在实际冲压生产车间内实施应用，需要与MRP系统等相结合构建新系统，对于换型优化需进一步深化信息化的程度。
2. 换型建议部分处于初步理论阶段，未详细调研后在工厂实际得到使用，通过快速换型的方法可以减少或消除换型过程中的非增值活动，缩短单个作业时间，使得各型号之间的换型时间减少，进而减少总的换型时间。

由于对工厂的实地调研不够深入，上这些问题可以在未来得到进一步地研究和改善。

# 致　　谢

从戊戌盛夏，到壬寅暮春，我的本科漫漫学习路，恍惚间已走到终点，四年的时间里，有过超越极限的瞬间，也有过绝望无助的夜晚，从专业知识到实践阅历，从沟通能力到组织能力，我不断提升自己，每一次的经历，都是我的宝贵财富，我会永远心怀感激，即将奔赴新旅程的我也会更加坚定。

感谢母校华中科技大学，让我不断获取新知，磨炼自己，尽管在这期间，受到2020年初新冠疫情的影响，在家里中线上上课、线上考试，但学校和老师都在竭尽全力为我们带来最好的学习体验，给予我们极大的温暖。

感谢我的导师崔南方教授，上过崔老师两门课，您在课堂上对于运作管理的讲解深入浅出。从去年讨论论文选题开始，这段时间内论文的撰写、修改到最后定稿，都有老师耐心地支持与指导；其次，感谢各位授课老师的教导，每位老师风格独特，课上课后都收获颇丰。也要感谢HM工厂张娥学姐、张技术员在本次论文研究中的支持，带我们参观调研工厂并讲解，解答我们对工厂的疑惑。

感谢父母这二十多年来尽其所能给予我安稳的生活和全部的爱，在我说我不行、我做不到的夜晚，不厌其烦地温柔相待，永远是我坚强的后盾。希望未来带着那份面对生活挫折时的坚韧继续前行，成为你们的骄傲。

感谢321的舍友们，还记得第一次见面时的局促，到现在的亲密，我们在四年时间里一同经历了许多，我们互相鼓励，相互包容，共同成长，共同进步。

最后感谢坚定勇敢、不曾放弃的自己，我仍觉那无数个奋笔疾书的日夜，无数个自我治愈的瞬间，都是一次次成长，始终坚信所有的绝境都使我逢生，希望能在新的阶段沉下心来，好好打磨自己，保持初心，砥砺前行。

# 参考文献

1. Wolf Bernard M.. The Machine That Changed the World[J]. Journal of International Business Studies, 1991, 22(3) : 533-538.
2. Womack JP, Jones DT, Roos D. The machine that changed the world: The story of Lean production–Toyota’s secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry. Simon and Schuster,; 1990.
3. 李近强.精益生产工具简析[J].中国工业评论,2016(01):90-95.
4. GilVilda Francisco and YagüeFabra José A. and Sunyer Albert. From Lean Production to Lean 4.0: A Systematic Literature Review with a Historical Perspective[J]. Applied Sciences, 2021, 11(21) : 10318-10318.
5. Madhani M. Pankaj. Lean Six Sigma in Finance and Accounting Services for Enhancing Business Performance[J]. International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology (IJSSMET), 2021, 12(6) : 141-165.
6. Pius Achanga et al. Critical success factors for lean implementation within SMEs[J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2006, 17(4) : 460-471.
7. Adam Sanders and Chola Elangeswaran and Jens Wulfsberg. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing[J]. Journal of Industrial Engineering and Management, 2016, 9(3) : 811-833.
8. Naciri L. et al. Lean and industry 4.0: A leading harmony[J]. Procedia Computer Science, 2022, 200 : 394-406.
9. Dillon A P , Shingo S . A Revolution in Manufacturing: The SMED System[M]. Productivity press, 1985.
10. 郁飞. 基于生产要素的冲压车间效率提升策略研究[D]. 山东:山东大学,2020.
11. Pablo Guzmán Ferradás and Konstantinos Salonitis. Improving Changeover Time: A Tailored SMED Approach for Welding Cells[J]. Procedia CIRP, 2013, 7(C) : 598-603.
12. 陈龙,陈红军.多品种生产线的快速换型[J].汽车制造业,2014,0(21):42-4446,47
13. 叶永伟,王晓恩,林海,江叶峰.冲压设备快速换模技术研究[J].机械制造,2010,48(05):70-73.
14. Maalouf Miguel Malek and Zaduminska Magdalena. A case study of VSM and SMED in the food processing industry[J]. Management and Production Engineering Review, 2019,
15. Parwani Viren and Hu Guiping. Improving Manufacturing Supply Chain by Integrating SMED and Production Scheduling[J]. Logistics, 2021, 5(1) : 4-4.
16. Junior, Roberto Giani Pattaro et al. A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2022, : 1-19.
17. 黄强. SMED方法在孵化明星员工中的应用[J]. 中国人力资源开发, 2014(11):6.
18. 路致远,严洪森,沈境.基于HGA的冲压车间生产计划与调度的集成优化[J].计算机技术与发展,2007(03):179-182.
19. 尹静,陈庄,成卫,朱立.汽车制造中的冲压生产线优化调度模型研究[J].微计算机信息,2010,26(19):212-214.
20. 徐建有, 董乃群, 顾树生. 带有顺序相关调整时间的多目标流水车间调度问题[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(12):7.
21. Ada Y. Barlatt. A hybridization of mathematical programming and dominance-driven enumeration for solving shift-selection and task-sequencing problems[J]. Computers & operations research, 2010, 37(7) : 1298-1298.
22. Susana Relvas et al. Integrated scheduling and inventory management of an oil products distribution system[J]. Omega, 2013, 41(6) : 955-968.
23. Bagheri A , Zandieh M . Bi-criteria flexible job-shop scheduling with sequence-dependent setup times—Variable neighborhood search approach[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2011, 30(1):8-15.
24. 陈帆,刘志峰,黄海鸿,熊玮.面向节能的冲压车间调度优化方法[J].锻压技术,2018,43(01):146-153.DOI:10.13330/j.issn.1000-3940.2018.01.025.
25. 周春生,刘志峰,黄海鸿,熊玮.基于遗传算法的冲压车间节能调度优化研究[J].制造业自动化,2018,40(05):58-63+98.
26. Begen M A , Gencosman B C , Ozmutlu H C , et al. Automotive Stamping Operations Scheduling Using Mathematical Programming and Constraint Programming[M]. 2014.
27. Liji Shen and Stéphane Dauzère-Pérès and Janis S. Neufeld. Solving the flexible job shop scheduling problem with sequence-dependent setup times[J]. European Journal of Operational Research, 2018, 265(2) : 503-516.
28. Gencosman B C , Begen M A , Ozmutlu H C , et al. Scheduling Methods for Efficient Stamping Operations at an Automotive Company[J]. Production and Operations Management, 2016, 25(11).
29. 程泽宇.基于精益生产的冲压模具快换研究[J].装备制造技术,2020(12):141-143+163.
30. Everett R J , Sohal A S . Individual Involvement and Intervention in Quality Improvement Programmes: Using the Andon System[J]. International Journal of Quality & Reliability Management, 1991, 8(2).
31. "2021年中国乘用车产销量和品牌乘用车销量分析「图」," , 16 02 2022. [Online]. Available: https://baijiahao.baidu.com/s?id=1724897352805344436&wfr=spider&for=pc.
32. "AFS：今年全球因缺芯已减产125万辆车，中国占5.7%," , 29 03 2022. [Online]. Available: https://chejiahao.autohome.com.cn/info/10399247.
33. "2018年汽车座椅行业发展现状与竞争格局分析," , 25 04 2018. [Online]. Available: https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/180425-6b6ff46d.html.



**本科生毕业设计（论文）任务书**

|  |  |
| --- | --- |
| 题 目 | **HM工厂冲压模具换型优化方法研究** |
|  |  |

（任务起止日期：2021年11月2日～2022年6月5日）

|  |  |
| --- | --- |
| 院 系 | **管理学院** |
| 专业班级 | **物流管理201801班** |
| 姓 名 | **陈艳琼** |
| 学 号 | **U201816031** |
| 指导教师 | **崔南方** |

教研室（系、所）负责人 2021年10月28日审查

院（系）负责人 2021年11月2日批准

|  |
| --- |
| 课题内容：  本课题以襄阳HM工厂的生产运营为背景，运用生产计划与控制方法，研究该厂冲压设备换线时间压缩方法，主要内容包括：  （1）HM工厂生产特征分析  （2）冲压模具换型的影响因素分析  （3）冲压模具换型优化问题建模与算法设计  （4）冲压模具换型优化方法 |
| 课题任务要求：  （1）深入学习生产车间调度的基本理论与方法；  （2）深入调研襄阳HM工厂的生产计划、冲压设备换线的现状；  （3）研究冲压车间设备换线时间优化模型，并设计相应的求解算法；  （4）在该工厂应用研究成果，帮助工厂缩短冲压模具总换型时间，从而缩短制造周期，提高客户满意度。 |
| 主要参考文献（由指导教师选定）  Parwani Viren and Hu Guiping. Improving Manufacturing Supply Chain by Integrating SMED and Production Scheduling[J]. Logistics, 2021, 5(1) : 4-4 |
| 同组设计者  菲尔代维斯 |
| 指导教师签名：  年 月 日 |