



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

## 本科生毕业论文

L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备优化配置研究  
Research on the Optimal Configuration of Loading and  
Unloading Equipment in the Road-Rail Inter-Modal Zone of the L  
Railroad Freight Center

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 19404070130  
姓 名 李 韬  
指导教师 杨 华  
职 称 副教授  
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

L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备优化配置研究  
Research on the Optimal Configuration of Loading and  
Unloading Equipment in the Road-Rail Inter-Modal Zone of the L  
Railroad Freight Center

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 19404070130  
姓 名 李 韬  
指导教师 杨 华  
职 称 副教授  
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	杨 华
专 业	物流管理		技术职务	副教授
题目名称	L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备优化配置研究			
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 style="text-align: center;">一、选题来源与背景</p> <p>随着全国铁路网络构建初步形成和货运需求的增加,铁路货运中心作为铁路货物运输的基本场所,是货运至关重要的环节,其规划将影响整个铁路的货运效率。合理地规划和建设铁路货运中心,对于全面提升铁路物流服务能力,促进铁路货运发展具有重要意义。L 铁路货运中心作为这种传统铁路货运中心之一,就面临装卸设备陈旧、配置不合理等问题,难以满足高效、快速地货物流通。本课题将围绕如何优化配置公铁联运区装卸设施设备,提升物流系统运作等问题进行研究。</p> <p style="text-align: center;">二、选题意义</p> <p>课题以 L 铁路货运中心公铁联运区的实际情况为背景,在对货运中心吞吐量、货物类型特性等分析的基础上,提出装卸设备配置优化方案。课题可为提升货运中心物流系统运作能力提供借鉴;为 L 铁路货运中心的其他功能区装卸设备优化配置提供相关依据;也为其他铁路货运中心优化配置相关装卸设施设备提供参考。</p>			
任务及要求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.查阅文献资料,了解铁路货运中心的现状和问题、相关装卸设备优化配置方法;</li> <li>2.收集铁路货运中心基本参数、货物种类特性等相关信息;</li> <li>3.定量分析铁路货运中心吞吐量,完成装卸设备配置优化。</li> </ol>			
工作条件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.物流专业实训教室,可提供计算机及论文指导场所;</li> <li>2.学校图书馆,可提供国内各图书馆联网的书籍、期刊等文献资料,借阅及在线查阅文献的场所;</li> <li>3.中国知网、国家统计局、中国国家铁路集团有限公司等进行相关数据的搜集。</li> </ol>			
知识与能力要求	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.掌握铁路货运中心的作业流程;</li> <li>2.熟悉铁路货运装卸设备参数与优化配置方法;</li> <li>3.掌握物流设施设备配置优化算法。</li> </ol>			
系（教研室）审查意见： <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>同意</span> <span>负责人(签名): <u>薛立立</u>      2022 年 09 月 23 日</span> </div>				



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： L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备  
优化配置研究

学 院： 智能制造学院

专 业： 物流管理

学生姓名： 李 韬

学 号： 19404070130

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

指导教师： 杨 华

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

### （一）课题背景

随着全国铁路网络构建初步形成和货运需求的增加，铁路货运中心作为铁路货物运输的基本场所，是货运至关重要的环节，其规划将影响整个铁路的货运效率。合理地规划和建设铁路货运中心，对于全面提升铁路物流服务能力，调整铁路货运中心的布局，促进铁路货运发展具有重要意义。L 铁路货运中心作为这种传统铁路货运中心之一，随着近年来铁路货运的发展，现有设备已经不能满足日益增长的物流需求，难以满足高效、快速地货物流通，需要增添新的设备保证货物运输。本课题将围绕如何优化配置相关功能区装卸搬运设施设备，提升物流系统运作等问题进行研究。

### （二）课题意义

课题以 L 铁路货运中心公铁联运区的实际情况为背景，在对货运中心吞吐量、货物类型特性等分析的基础上，提出装卸设备配置优化方案。课题可为提升货运中心物流系统运作能力提供借鉴；为 L 铁路货运中心的功能区优化布局与划分提供相关依据；也为其他铁路货运中心优化配置相关装卸设施设备提供参考。

## 2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

（1）通过调研，梳理 L 铁路货运中心公铁联运区的现状，并对所存在问题的成因进行分析；

（2）收集查阅相关资料，了解 L 铁路货运中心公铁连运区的年吞吐量、货物种类特性以及当前情况下相关装卸设备的配置情况；

（3）选择模型方法，通过对基础数据的定量分析,完成对 L 铁路货运中心公铁联运区相关装卸设备的配置优化。

# 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):

毕业论文 1 篇

4. 推荐参考资料:

[1] 刘娜, 张海. 兰州东川站联运换装场综合设计[J]. 黑龙江科学, 2021, 12(22): 149-150+153.

[2] 王钟皓. 港口铁路专用线货运设施设备布局优化研究[D]. 中国铁道科学研究院, 2021.

[3] 任康. 铁路物流中心装卸设备配置与布局优化研究[D]. 西南交通大学, 2021.

[4] 李思萌. 高铁物流中心设施设备配置研究[D]. 西南交通大学, 2020.

[5] 王芙蓉. 铁路物流中心设施设备规模与布局研究[D]. 西南交通大学, 2018.

[6] 魏波, 陈进军. 基于整数规划的装卸搬运设备配置数量优化研究[J]. 价值工程, 2016, 35(03): 222-223.1.

[7] 易兵, 周亚兵. 装卸搬运机械设备配置优化研究[J]. 物流工程与管理, 2014, 36(05): 92-94.

[8] 张明娜. 铁路基层站段装卸搬运设备的优化配置[J]. 铁路采购与物流, 2013, 8(10): 60-61.

[9] 刘代平. 钢铁物流园区装卸搬运设备优化配置研究[D]. 西南交通大学, 2013.

[10] 姚瑶. 港站铁水联运集装箱装卸搬运设备配置合理量研究[D]. 西南交通大学, 2012.

[11] 宫磊. 物流中心装卸搬运设备保有量研究[D]. 大连海事大学, 2011.

[12] 宋伯慧, 王耀球. 装卸搬运设备配置优化研究[J]. 物流技术, 2006(07): 145-147.

[13] Daniel J.Fonseca, Gopal Uppal, Timothy J.Greene. A knowledge-based system for conveyor equipment selection[J]. Expert Systems with Applications, 2004, 26(4): 615-623.

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：L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备  
优化配置研究

学 院：智能制造学院

专 业：物流管理

学生姓名：李 韬

学 号：19404070130

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

指导教师：杨 华

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）课题目的与意义

#### 1. 课题目的

随着我国经济的快速发展，铁路运输在我国物流运输体系中的地位不断提高，其对我国经济的贡献作用也在不断增强。中国铁路经过近十年的高速发展，已经成功构建出世界上规模最大、现代化水平最高的铁路运输网络。目前“四纵四横”高铁网络已经提前建成，而“八纵八横”的铁路网络也已经加密成型。与此同时，随着我国铁路网络的完善，铁路货运量也随之增加，从中衍生出的“公铁联运”运输模式也逐渐发展成型。“公铁联运”是指利用铁路运输和公路运输两种运输所组成的运输方式，由于该模式具有能耗低、污染少、时效性强等优势，使其近年来受到越来越多企业的青睐。铁路货运中心作为重要物流节点，是货物需要进行铁路运输、存储的基本场所，其规划将直接影响整个铁路物流系统的货运效率。

L 铁路货运中心作为传统铁路货运中心，因其所在城市独特的地理位置，毗邻的铁路编组站是西北多条线路干线交汇的枢纽，同时也是我国四大铁路货运枢纽之一，可方便、快捷地开展东向、南向、西向及西向国际、国内铁路解编和到发，这也让 L 铁路货运中心成为我国西北最大的铁路综合货运中心之一。目前西部地区主要的铁路货物运输都是采用固定的装卸设备作为主要装卸方式。该货运中心在规划建设初期，因铁路运输量、货物种类相对固定等情况，仅以当时物流量和工作人员经验作为参考依据。而随着铁路网络的建设和完善，西部地区也迎来了铁路货运快速增长时期，就出现了现有的设施设备已经不能满足日益增长的物流需求，难以满足客户要求以及快速、高效地完成货物周转流通等问题，需要扩展相关功能区、装卸设备更新换代以保证货物运输流转、物流系统高效运作。因此，本课题以 L 铁路货运中心公铁联运区实际情况为背景，结合国内外装卸设备相关先进理念和方法对该铁路货运中心公铁联运区装卸设备进行合理分析。

#### 2. 课题意义

##### （1）理论意义

根据现有物流中心装卸设备研究的文献可以看出，当前对于装卸设备的研究多使用构建线性规划模型或排队论对其进行分析求解，本文将运用排队论作为主要研究方法对该铁路货运中心进行分析研究。以普通物流中心为参照对象，分析总结出 L 铁路货运中心公铁联运区现状和需要改进问题，针对其装卸设备选型构建模型并进行规划求解，提出合理的装卸设备配置方案。并以此作为其相关功能区内增添新设备的关键参考依据，从而保证货物运输的速度与质量，全面提升铁路物流系统运作能力。

##### （2）实践意义

本课题主要解决 L 铁路货运中心公铁联运区功能区装卸设备数量、类型需更新换代问

题，并以此作为 L 铁路货运中心的其他功能区装卸设备选型优化的相关参考依据；为提升其他铁路货运中心相关装卸设备选型配置优化提供参考，为其提升物流系统运作能力提供借鉴；同时，也为传统类型铁路货运中心向机械化、现代化铁路货运中心的转型升级奠定基础。

## （二）课题有关的国内外研究（应用）情况

在对于国内外物流中心布局优化及装卸设备选型配置相关文献进行搜索和阅读时发现，目前国内外文献主要针对物流装卸设备数量配置以及物流装卸设备选型优化进行研究。

### 1. 物流装卸设备数量配置的研究

（1）魏波等<sup>[1]</sup>从物流中心装卸搬运设备相关影响因素出发，建立整数规划模型对于装卸设备进行数量配置优化，最后对该方案进行可行性检验。

（2）易兵等<sup>[2]</sup>以武汉市中小物流企业为研究对象，通过研究其装卸搬运作业能力、装卸搬运活动与物流的关系，通过定量分析寻求装卸搬运设备数量配置的最优方案。

（3）刘代平<sup>[3]</sup>通过对钢铁物流园区装卸搬运设备进行研究，系统分析了影响设备作业的相关因素，根据作业量与成本之间存在的关系与问题，构建出多目标规划模型并对其运用算法进行求解，再利用 Flexsim 仿真模型软件对求解出的方案进一步的调整与优化。

（4）宫磊<sup>[4]</sup>通过对我国物流设备现状及设备选型问题研究，分析设备选型时相关影响因素，设备效率与物流成本之间的关系，运用运筹学中马尔科夫链构建线性规划模型，并运用 MATLAB 对该模型进行求解，从中得到物流设备数量配置的最优方案。

（5）宋伯慧等<sup>[5]</sup>以装卸搬运设备相应原则和步骤为起点，对设备寿命与成本之间关系进行研究。分析物流业务流程中相关设备的运用，构建整数规划模型进行规划求解。

（6）贾中亚等<sup>[6]</sup>根据弹药搬运装载为实例，假设过程可能存在的影响因素，以此作为构建数学模型并运用 MATLAB 进行求解，确定可以提升设备装卸效率的方案。

（7）岳朝龙<sup>[7]</sup>等以钢铁物流园为背景，运用排队论对其园区内取货车辆实际情况进行研究，建立企业和车辆最小成本的装卸设备模型，并运用 MATLAB 对其求解，确定装卸设备最佳配置方案。

（8）刘致宁<sup>[8]</sup>通过对公铁联运中的集装箱作业系统进行定量研究，根据作业流程和设备需求联合优化，运用 AnyLogic 仿真软件构建模型进行求解，从中实现集装箱系统的仿真优化。

（9）赵瑞年<sup>[9]</sup>通过分析铁路集装箱新中心站的布局、装卸方式及作业流程，提出同步转运和混合装卸策略，并以此作为建立双层非线性混合整数规划模型的依据，再结合贪婪思想和启发式规则进行求解，确定最佳配置方案。

### 2. 物流装卸设备选型优化的研究

（1）任康<sup>[10]</sup>通过对铁路物流中心装卸设备和布局形式进行研究，分析传统物流中心各相关区设备选型配置并运用排队论进行优化得到新的模型。进而建立 0-1 整数规划模型，

运用 lingo 对模型进行规划求解，得到相关参数方案。为确定和实现铁路物流中心相关配置提供了方案依据，节省了设计时间，提高了设计效率。

(2) 王芙蓉<sup>[11]</sup>以东川物流中心为实例，通过对其现有的设施类型、布局进行分析，根据铁路物流中心的等级要求、内部物流作业过程以及影响因素划分功能区，建立仿真模型并运用 AnyLogic 软件进行模型求解，得出最优方案。

(3) 张明娜<sup>[12]</sup>通过对铁路基层站段仓库装卸搬运活动的实际情况研究，分析研究现有装卸搬运设备的种类，设备选型的依据和方法，以及装卸搬运活动的合理性，以提高系统运作效率、加快货物出库流转速度为目的，进而提出装卸搬运设备优化配置的新思路。

(4) 罗兴华<sup>[13]</sup>以南关岭铁路物流中心为实例，根据市场需求和铁路相关规范对其内部功能、设施设备进行整体规划，并利用 AnyLogic 软件进行建模求解，得出叉车配置的最优方案。

(5) 丁长丽<sup>[14]</sup>根据哈尔滨铁路局某机务段实例为背景，对装卸设备现状、存在问题及相关数据进行理论层面的分析。对设备、人员、制度和操作方面提出了相关的管理建议，并对综合车间的能效消耗进行评估测算。

(6) 姚瑶<sup>[15]</sup>以连云港某国际货柜有限公司装卸设备情况为实例，结合现有研究结果，对铁水联运模式进行分析并构造相应不同的模型，再利用 Lingo 软件进行规划求解。

(7) Daniel J.Fonseca 等<sup>[16]</sup>通过对物料搬运系统中的输送机进行设备选型研究，结合客户要求及货物的特性，分析物流搬运系统中货物与设备之间的适用性和关联程度，通过加权评估法进行计算，进而得到新的设备选型策略。

(8) H. Gao 等<sup>[17]</sup>通过对集装箱码头的装卸设备和集卡配置问题进行研究，以码头装卸设备的效率和成本之间关系为优化指标，构建排队模型并对其进行规划求解，从而得到装卸设备配置最优方案。

(9) 米腾飞<sup>[18]</sup>通过分析影响铁路集装箱装卸资源配置的内外部相关因素，以此作为提升我国铁路集装箱中心站装卸设备配置水平、降低装卸成本的理论依据。

(10) 付子云<sup>[19]</sup>通过对 Y 公司集装箱生产网络结构和数据的分析，结合实际需求，对运输成本进行数学建模并利用禁忌搜索算法和遗传算法对模型求解，以此得到最佳配置方案。

(11) Fedtke 等<sup>[20]</sup>对铁路转运站中四类不同集装箱分拣系统进行分析比较，同时，该作者在文献中也参考了 AGV 的相关作业方法、集装箱同步转运作业效率以及 AGV 的配置情况，并根据每个系统中的龙门起重机和供货车队的排队情况从而推出合适的调度程序，确定出最佳的分拣系统。

(12) 刘娜等<sup>[21]</sup>通过对铁路联运站场的联运换装进行分析研究，根据铁路场站自身的发展需求，对场站相关功能区进行布局分区，确定相关功能区面积及设备选型布置，以此提升铁路联运换装场地的换装作业效率，促进该场站物流的发展。

(13) 王钟皓<sup>[22]</sup>通过对我国港口铁路专用线的货运设施设备布局进行分析研究, 对比分析国内外典型海铁联运港口的案例, 基于 SLP 法提出并构建我国港口铁路专用线设施设备布局优化模型, 运用遗传算法对该模型求解, 并根据此方案构建出方案评价指标体系, 以此作为港口铁路专用线改进的依据。

(14) 李思萌<sup>[23]</sup>通过对高铁物流中心的现状进行研究, 对高铁物流进行 SWOT 分析, 给出影响高铁物流的因素, 确定高铁物流中心的等级及相关功能区, 并进行数值计算从中得到相关功能区的设备选型方案, 再运用 SLP 法对于得到的相关功能区进行合理布局。

### (三) 课题主要研究内容

本文通过对 L 铁路货运中心的实地调研, 结合国内外相关文献对其公铁联运区的现状、存在问题的成因及相关装卸设备配置进行分析, 论文具体内容如下:

#### 1.L 铁路货运中心公铁联运区现状及现存问题

对 L 铁路货运中心公铁联运区进行调研, 了解并运用铁路货运中心相关理论, 梳理其公铁联运区作业流程、装卸设备数量、类型等配置情况, 分析现存问题成因;

#### 2.L 铁路货运中心公铁联运区设备优化配置方法

确定设备优化配置的原则, 考虑当前功能区内影响设备选型和数量配置的相关因素, 以及明确设备配置所需要用到的方法;

#### 3.L 铁路货运中心公铁联运区设备配置优化

根据该铁路货运中心公铁联运区物流需求量、年吞吐量等相关数据定量分析, 构建模型并进行规划求解。并验证模型可行性, 确定装卸设备的优化配置方案, 完成对其的配置优化。

### (四) 参考文献

[1] 魏波, 陈进军. 基于整数规划的装卸搬运设备配置数量优化研究[J]. 价值工程, 2016, 35 (03): 222-223.

[2] 易兵, 周亚兵. 装卸搬运机械设备配置优化研究[J]. 物流工程与管理, 2014, 36 (05): 92-94.

[3] 刘代平. 钢铁物流园区装卸搬运设备优化配置研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.

[4] 宫磊. 物流中心装卸搬运设备保有量研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.

[5] 宋伯慧, 王耀球. 装卸搬运设备配置优化研究[J]. 物流技术, 2006 (07): 145-147.

[6] 贾中亚, 陈喆, 龙俊. 基于效率优先的装卸力量分配建模与仿真[J]. 军事交通学报, 2022, 1 (10): 27-33.

[7] 岳朝龙, 李焕, 蔡家磊. 基于排队论的钢材堆场装卸设备数量配置优化[J]. 物流技术, 2020, 39 (09): 68-73.

[8] 刘致宁. 公铁联运货运枢纽集装箱作业系统仿真研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022.

[9] 赵睿年. 考虑同步转运作业的铁路集装箱中心站装卸设备调度优化[D]. 成都: 西

南交通大学, 2021.

[10] 任康. 铁路物流中心装卸设备配置与布局优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.

[11] 王芙蓉. 铁路物流中心设施设备规模与布局研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.

[12] 张明娜. 铁路基层站段装卸搬运设备的优化配置[J]. 铁路采购与物流, 2013, 8 (10): 60-61.

[13] 罗兴华. 南关岭铁路物流中心仓储设施配置及仿真分析[D]. 大连: 大连交通大学, 2017.

[14] 丁长丽. 提高铁路货运装卸设备效能的研究[J]. 哈尔滨铁道科技, 2022(01): 5-7+17.

[15] 姚瑶. 港站铁水联运集装箱装卸搬运设备配置合理量研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.

[16] Daniel J.Fonseca, Gopal Uppal, Timothy J. Greene. A knowledge-based system for conveyor equipment selection[J]. Expert Systems with Applications, 2004, 26 (4): 615-623.

[17] Gao H, Liu J. Research on optimal equipment allocation in container terminal[C]. 2011 International Conference on E-Business and E-Government (ICEE). IEEE, 2011: 1-5.

[18] 米腾飞. 铁路集装箱中心站资源配置影响因素分析[J]. 中国水运(下半月), 2019, 19 (09): 65-66.

[19] 付子云. 卷烟运输公铁联运方案研究——以 Y 集团卷烟运输集装箱公铁联运为例[J]. 物流技术, 2022, 41 (09): 53-58.

[20] Fedtke S, Boysen N. A comparison of different container sorting systems in modern rail-rail transshipment yards[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 82: 63-87.

[21] 刘娜, 张海. 兰州东川站联运换装场综合设计[J]. 黑龙江科学, 2021, 12 (22): 149-150+153.

[22] 王钟皓. 港口铁路专用线货运设施设备布局优化研究[D]. 中国铁道科学研究院, 2021.

[23] 李思萌. 高铁物流中心设施设备配置研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.

二、进度及预期结果		
起止日期	主要内容	预期结果
(1) 2022.10.24 至 2022.11.18 (2) 2022.11.19 至 2022.12.19 (3) 2022.12.20 至 2023.01.31 (4) 2023.02.01 至 2023.03.31 (5) 2023.04.01 至 2023.06.02	(1) 完成相关文献阅读和文献综述。 (2) 完成 L 铁路货运中心调研，梳理总结现在及存在问题。 (3) 解决该铁路货运中心公铁联运区所存在的问题并对其进优化配置。 (4) 基于调查报告和进一步的研究分析，撰写初稿并根据指导老师相关建议进行修改。 (5) 完成论文终稿并准备答辩。	(1) 完成文献综述。 (2) 完成相关企业调研报告。 (3) 完成问题分析和装卸设备优化配置。 (4) 完成论文初稿和改稿。 (5) 完成论文终稿和答辩。
完成课题的现有条件	<p>1.通过中国知网、万方等相关平台阅读了和本课题有关的文献，自行寻找并阅读了中国铁路总公司发布的《铁路物流中心设计规范》、《铁路货物运输》等相关书籍，了解了铁路功能区内装卸设备的分类标准、作业流程等知识；</p> <p>2.通过国家统计局、中国国家铁路集团有限公司等相关网站搜集了铁路货运方面的一些数据和政策要求；</p> <p>3.通过暑假对 L 铁路货运中心的实地参观，掌握了该铁路货运中心的一些实际情况。</p>	
指导教师意见	<p>同意开题</p> <p style="text-align: right;">指导教师： <u>杨 华</u>      <u>2022 年 11 月 18 日</u></p>	
开题答辩小组意见	<p>同意开题</p> <p style="text-align: right;">组 长： <u>张 扬</u>      <u>2022 年 11 月 18 日</u></p>	

**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：

年 月 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：

年 月 日

## 摘 要

随着国家经济的发展,市场对于物流需求的增加,物流已经成为我国经济发展的重要组成部分。铁路作为运输大宗货物以及进行中长途运输的重要方式之一,铁路货运中心内部各功能区的运输质量和效率直接决定了整个铁路物流系统的运作水平。装卸作业是贯穿整个铁路运输过程的重要环节,装卸设备更是作为铁路货运中心内数量最多、使用频率最高和用途最广的物流设备,需要针对不同的功能区的货运量和装卸的货物类型配置不同的装卸设备。就公铁联运区而言,为了应对日益增长的货物运输需求,需要对其内部的装卸设备数量进行合理配置,这也直接关系到该功能区内到发列车的等待时间长短、货物的运转效率以及整个系统的运作效率,如何提高公铁联运区内装卸设备的效率就具有重要的理论和现实意义。

首先,通过阅读现有关于物流中心和铁路货运中心装卸设备的文献,归纳总结装卸设备优化配置的不同方法。

其次,基于物流装卸设备配置的相关理论和铁路货运中心规划建设的要求,根据 L 铁路货运中心公铁联运区现有的相关数据和装卸设备作业流程进行阐述分析。针对公铁联运区现有装卸设备仅为叉车的配置现状确定叉车数量及作业能力存在缺口的问题,运用《铁路物流中心设计规范》中装卸设备数量配置方法进行计算,确定当前公铁联运区内存在叉车数量及作业能力不足的问题。

最后,确定装卸设备配置的原则,分析影响装卸设备配置的因素,以优化公铁联运区内到发列车等待时间和系统内总时间成本为根本目的,提出运用排队论的方法,建立单列、多服务台的排队系统模型并运用 MATLAB 对装卸设备数量进行优化计算,得到新的装卸设备数量配置方案,进而做出总结与展望。

**关键词:** 公铁联运区; 装卸设备; 排队论; 成本分析; 数量优化模型

## ABSTRACT

With the development of the national economy and the increase in market demand for logistics, logistics has become an essential part of China's economic development. As one of the crucial ways to transport bulk goods and medium and long-distance transportation, the quality and efficiency of transportation in each functional area inside the railroad freight center directly determine the operation level of the whole railroad logistics system. Loading and unloading operations are essential to the entire railroad transportation process. The loading and unloading equipment is the most numerous, most frequently used, and most widely used logistics equipment in the railroad freight center, which needs to be configured with different loading and unloading equipment for different functional areas of cargo volume and loading and unloading types of goods. In the case of the road-rail inter-modal zone, in order to cope with the increasing demand for cargo transportation, the number of loading and unloading equipment inside it needs to be reasonably configured, which is also directly related to the waiting time for arriving and departing trains in this functional area, the operation efficiency of cargo and the operation efficiency of the whole system, how to improve the efficiency of loading and unloading equipment in the public-rail inter-modal zone has essential theoretical and practical significance.

Firstly, by reading the existing literature on loading and unloading equipment in logistics and railroad freight centers, different methods for optimal loading and unloading equipment configuration are summarized.

Secondly, based on the theory of logistics loading and unloading equipment configuration and the railroad freight center planning and construction requirements, the existing data and loading and unloading equipment operation process in the public-rail inter-modal zone of L railroad freight center are elaborated and analyzed. Because of the current situation that the existing loading and unloading equipment in the road-rail inter-modal zone is only the configuration of forklift trucks, the number of forklift trucks and the gap in operation capacity is determined. The calculation of the configuration method of loading and unloading equipment in the Design Specification of Railway Logistics Center is applied to determine the problem of insufficient forklift trucks and operation capacity in the public-rail inter-modal zone.

Finally, the principles of loading and unloading equipment configuration are determined, the factors affecting loading and unloading equipment configuration are analyzed, and with the fundamental purpose of optimizing the waiting time for arriving and departing trains within the road-rail inter-modal transportation area and the total time cost in the system, the queuing system model of single train and multiple service platforms is established using the queuing theory method and the quantity of loading and unloading equipment is optimized and calculated using MATLAB to obtain a new configuration scheme for the quantity of loading and unloading equipment, and then make a summary and outlook.

**Key Words:** Road-Rail Inter-Modal Areas; Loading and Unloading Equipment; Queuing Theory; Cost Analysis; Quantity Optimization Model

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究目的与意义 .....	3
1.2.1 研究目的 .....	3
1.2.2 研究意义 .....	4
1.3 相关理论 .....	4
1.4 国内外研究现状 .....	5
1.4.1 物流中心装卸设备优化配置研究 .....	5
1.4.2 铁路货运中心装卸设备研究 .....	6
1.5 主要研究内容方法及技术路线 .....	7
1.5.1 研究内容 .....	7
1.5.2 研究方法 .....	7
1.5.3 技术路线 .....	8
<b>第 2 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备配置需求分析</b> .....	9
2.1 铁路货运中心概述 .....	9
2.1.1 铁路货运中心分类 .....	9
2.1.2 铁路货运中心功能区 .....	9
2.2 L 铁路货运中心公铁联运区概况 .....	10
2.2.1 L 铁路货运中心概况 .....	10
2.2.2 公铁联运区概况 .....	13
2.2.2 公铁联运区作业流程 .....	14
2.3 公铁联运区现有装卸作业能力计算 .....	15
2.4 公铁联运区装卸设备配置现存问题 .....	18
2.5 公铁联运区装卸设备配置优化对策 .....	19
<b>第 3 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备配置影响因素</b> .....	20
3.1 年吞吐量 .....	20
3.2 列车到发时间 .....	21
3.3 装卸设备类型 .....	21
3.4 装卸设备成本 .....	23
3.4.1 装卸设备服务成本 .....	23
3.4.2 到发列车逗留时间成本 .....	24

第 4 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备数量配置优化 .....	26
4.1 装卸设备配置原则 .....	26
4.2 装卸设备数量优化问题分析 .....	26
4.2.1 基本假设 .....	26
4.2.2 列车排队系统结构 .....	27
4.3 装卸设备数量优化模型建立 .....	28
4.3.1 排队优化模型建立 .....	28
4.3.2 成本优化模型建立 .....	29
4.4 装卸设备数量优化模型计算 .....	32
4.4.1 参数计算 .....	32
4.4.2 数量优化计算 .....	33
4.4.3 两种方法成本比较分析 .....	35
第 5 章 总结与展望 .....	37
5.1 总结 .....	37
5.2 展望 .....	37
参考文献 .....	38
致    谢 .....	40
附    录 .....	41

# 第 1 章 绪论

## 1.1 研究背景

随着中国经济的高速发展，制造业、零售业等多个领域对于物流需求的快速增长，物流业对经济的贡献作用不断增强，国家也相应出台了多项扶持政策促进物流业的发展，以此提高其在我国经济中的地位。以货物运输量为例：根据国家统计局数据显示，我国近十年的货物运输量总体呈现稳步增长趋势，如图 1-1 所示我国年货物运输量从 2013 年的 4098900 万吨增加至 2022 年的 5061000 万吨，十年来增长了约 23.5%。其中，2021 年达到了 5298499 万吨，为十年来运输量最大，同比上一年增长了将近 580000 万吨。

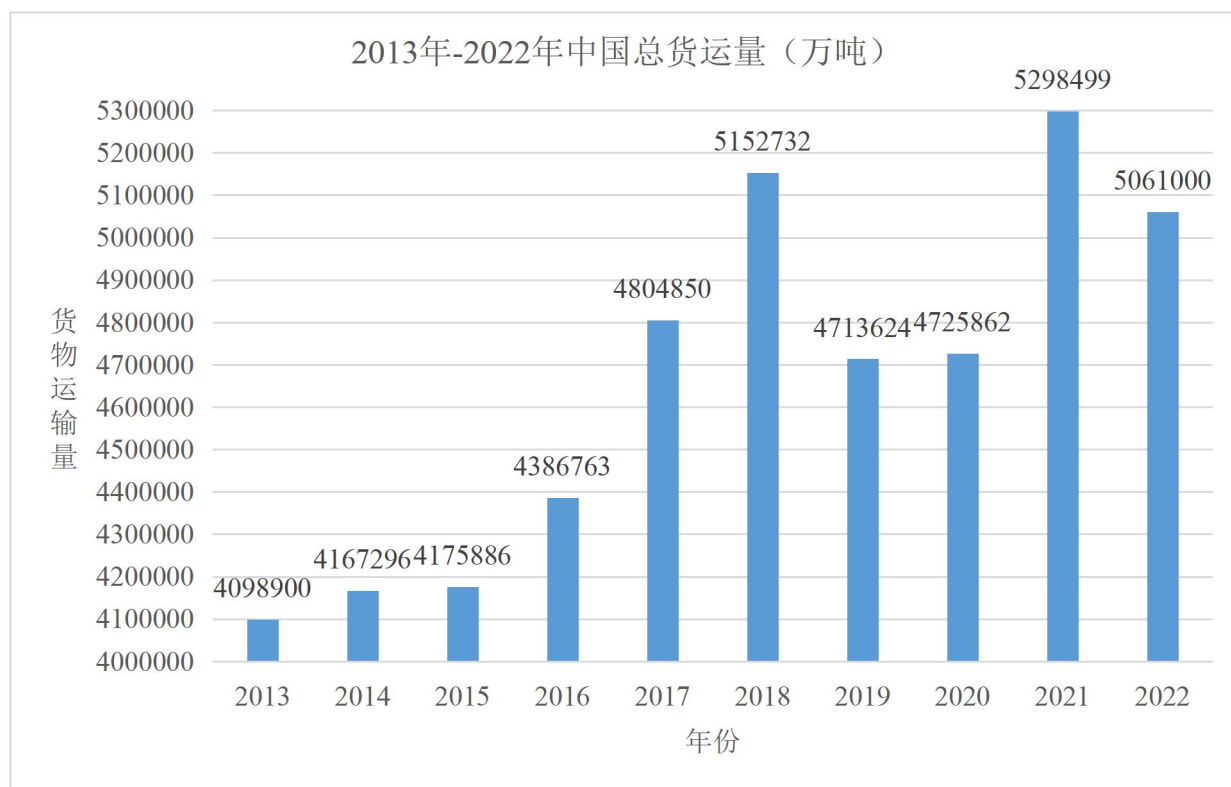


图 1-1 我国十年货物运输量详情

铁路运输作为物流业中重要的运输方式之一，由于运量大、距离长、效率高、成本低且不易受气候影响等特点，使其在运输大宗货物方面优势显著。随着国家铁路近十年的规划发展，目前我国已经成功构建出世界上规模最大、现代化水平最高的铁路运输网络。根据国家统计局数据显示，自 2013 年以来我国铁路货运量呈现出波动上升趋势，虽然在 2013 年到 2016 年期间出现了小幅下降，但从 2017 年开始每年都在稳步上升。如图 1-2 所示我

国铁路近十年货运量情况，其中，2022 年达到了 493000 万吨，为十年来运输量最大，相较于最少的 2016 年增长了近 1.5 倍。

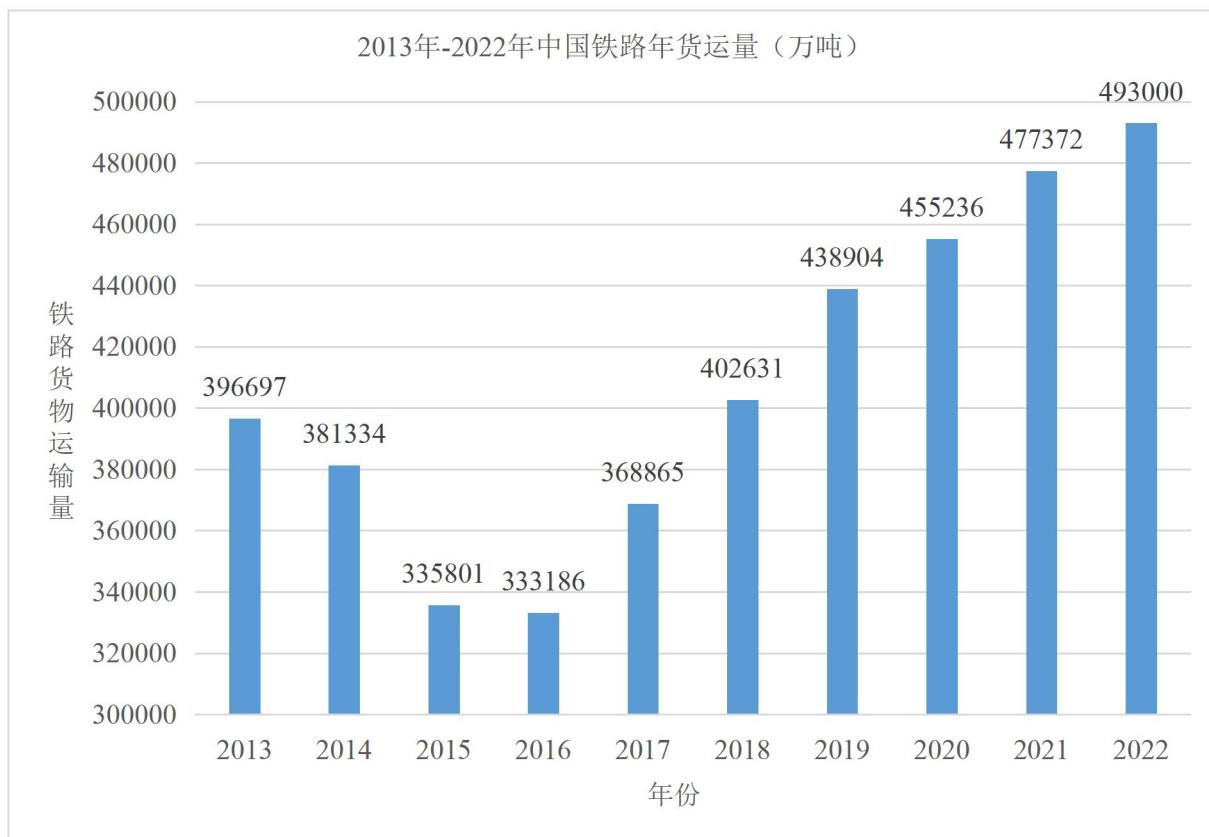


图 1-2 我国铁路货运量详情

随着近年来物流体系建设的逐渐完善以及全国铁路运输网络的构建完成，公路运输和铁路运输作为我国社会物流规模最大、运输能力最强的两种运输方式，从中衍生出的“公铁联运”运输模式也逐渐发展成型。与其他运输方式相比，公铁联运可以完全根据客户需求和成本将两种运输方式灵活联合、切换并直接将货物运送到铁路货运中心，后由相关企业统一组织运输、报关等手续，这是其他运输方式难以比拟的。根据发改委和交通运输部发布的《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》中提出：未来我国将以“八横八纵”高速铁路网为主要架构并在此基础上构建“十纵十横”综合运输通道；对于人口达到 50 万的城市群加密铁路网络，完善与公路的顺畅衔接；对于人口在 1000 万以上的超大重点城市，建设综合交通枢纽站，以此达到实现综合运输网络一体化的目标。

铁路货运中心作为我国铁路重要的货运组织，其承担着货物装卸、运输、仓储和中转等功能。作为货物运输过程中非常重要的一环，其规划将影响整个铁路的货运效率。目前，国内的公路、铁路网络虽然都已基本构成，但在一些经济落后地区，铁路网络布局仍然不够均衡，与公路的衔接也不够顺畅，这也使得铁路运输在市场竞争中处于劣势地位。从《中

华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》来看：国家对于既有的传统铁路货运中心进行升级改造，将其打造成智能化、现代化客货运一体化枢纽；针对重点超大城市的货运枢纽试将机场引入轨道交通工程；全面推进建设 120 个左右国家物流枢纽，统筹规划物流枢纽中的设施设备。同时，随着国家对于交通和物流业的高度重视，对其管理和投资力度的加大，促进了传统铁路货运中心的转型发展，使其货物流向更合理、货运规模更大、货运效率更高。

L 铁路货运中心作为传统类型的铁路货运中心，因其独特地理位置，所属的铁路编组站是多条铁路干线交汇的枢纽，同时也是我国四大铁路货运枢纽之一，可方便、快捷地开展东向、南向、西向及西向国际、国内铁路解编和到发，这也让 L 铁路货运中心成为我国最大的铁路综合货运中心之一。该货运中心在规划建设初期，因铁路运输量和货物种类相对固定等情况限制，仅以当时货运量和工作人员经验作为参考依据。而随着铁路网络的建设和完善，L 铁路货运中心所在地区也迎来了铁路货运快速增长时期，就出现了该铁路货运中心各功能区内现有装卸设备的作业能力已经无法满足日益增长的物流需求，难以满足客户要求及快速、高效地完成货物周转流通等问题，需要装卸设备进行合理配置以保证货物的快速流转和整个物流系统的高效运作。

因此，本课题以 L 铁路货运中心公铁联运区实际情况为背景，结合国内外装卸设备相关先进理念和方法对该铁路货运中心公铁联运区装卸设备数量进行合理分析，并以此作为最大限度提高相关功能区内装卸搬运设备效率的依据。

## 1.2 研究目的与意义

### 1.2.1 研究目的

L 铁路货运中心现有的装卸设备都存在设备类型单一、效率过低、忙闲不均等问题，无法满足日益增长的物流需求。而针对这些问题的主要解决方法就是分析该铁路货运中心的货运量、现有装卸设备数量、类型以及作业流程，运用优化算法或构建仿真模型并运用计算机进行分析求解，从而得出符合实际需求的优化配置方案。

目前，针对传统类型铁路货运中心的研究都是以普通物流中心作为参照对象，在此基础上根据不同地区铁路货运中心的类型和需求对其内部相关功能区进行改造建设。因此，本文根据实际调研收集到的 L 铁路货运中心公铁联运区信息和数据，分析到发货物列车排队等待情况、装卸设备的作业流程及成本等因素，运用优化算法分析计算到发列车队列长度和等待时间等指标，从而提出合理的装卸设备数量优化配置方案。从而达到提高 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备的作业效率、减少列车排队队长、降低列车等待时间以及保证该功能区内装卸系统高效运作的目的。

## 1.2.2 研究意义

### 1. 理论意义

由于近年来铁路货运中心物流需求的日益增长,装卸设备配置优化直接影响着公铁联运区装卸作业能力。现有文献既有从铁路货运中心实际功能需求和装卸货物特性开展装卸设备配置分析,又有从优化算法、系统仿真等角度对铁路货运中心的装卸设备数量优化配置研究。本文对 L 铁路货运中心公铁联运区货运线装卸需求进行了分析,分析了货运线的吞吐量、装卸设备的作业流程以及到发列车的排队情况等因素,建立了装卸设备数量优化模型,提出了一套该铁路货运中心公铁联运区装卸设备数量最优配置方法,以提高该功能区的装卸效率和服务质量。

### 2. 实践意义

L 铁路货运中心正由传统类型铁路货运中心向机械化、现代化铁路货运中心转型升级,为了提高其在行业内的竞争优势与地位,需要改进货运中心的装卸效率和服务质量。装卸设备作为 L 铁路货运中心最常见的物流设备,对于整个货运中心公铁联运区和集装箱区等货物的周转效率提高起到重要作用。通过建立数学模型,设计优化算法,模拟不同配置方案下货运线的运作情况,比较各种方案的性能指标来确定装卸设备数量的最优配置方案。可为该铁路货运中心内部其他功能区及其他地区传统铁路货运中心的相关装卸设备数量优化配置的参考依据。

## 1.3 相关理论

根据现有的关于普通物流中心及铁路货运中心装卸设备研究文献可以看出,针对物流中心装卸设备的主要研究方法有以下几种:

### 1. 模拟仿真法

通过对物流中心装卸设备的作业流程进行分析,根据货物的流动及装卸设备的使用等情况利用计算机建立仿真模型,评估不同配置方案的装卸设备的作业效率及其成本效益,从而选取最优方案。

### 2. 网络分析法

将物流中心的物流系统视为一个网络模型,以节点和边的形式来描述系统内部各个元素与它们之间的关系。运用相关数学方法和工具对网络进行分析计算,得出关键指标和性能参数。并根据分析结果对网络的性能进行评估比较,确定该系统中存在的瓶颈工序和问题,从而提出优化配置方案。

### 3. 多目标决策法

根据物流中心的实际情况,考虑不同利益相关者的利益和目标,建立多目标决策模型。通过运用遗传算法、粒子群算法或模拟退火算法等多目标优化算法寻求最优解,并对结果进行分析,比较不同方案在多个目标函数上的表现,从而寻求最优的装卸设备配置方案。

## 4. 优化算法

分析物流中心的吞吐量、现有装卸设备数量、类型、作业流程及影响装卸设备配置的因素等方面，将复杂的装卸设备配置问题建立数学模型，利用优化算法求解得到装卸设备的最优配置方案。常用的优化算法有：整数规划、线性规划、遗传算法和运用排队论等。

### 1.4 国内外研究现状

#### 1.4.1 物流中心装卸设备优化配置研究

任康<sup>[1]</sup>以铁路物流中心为背景，运用排队论对其装卸设备数量进行优化研究，并在此基础上以铁路物流中心总成本最低为目标函数建立了 0-1 整数规划模型，运用 Lingo 对模型进行规划求解，从而得到优化配置方案。

李焕<sup>[2]</sup>以 GC 钢铁物流园为背景，对物流园运作现状进行了分析研究。在此基础上通过数据采集得到了该物流园装卸设备使用情况及需求量，建立排队系统模型并运用 MATLAB 对其进行规划求解，从而得到最优配置方案。

刘代平<sup>[3]</sup>通过对钢铁物流园区装卸搬运设备进行研究，系统分析了影响设备作业的相关因素，根据作业量与成本之间存在的关系与问题，提出了基于贪心算法和蚁群算法相结合的优化方法，以设备数量和投资成本最小化为目标函数构建出多目标规划模型。

黄大明<sup>[4]</sup>等对港口装卸作业中的瓶颈工序进行分析，考虑了装卸设备数量、装卸作业的到达时间、作业时间、装卸队列长度和等待时间等因素，建立了一个基于排队论的港口运输装卸服务系统模型并运用 MATLAB 对其进行求解。

宋伯慧<sup>[5]</sup>等以装卸搬运设备寿命与成本之间关系进行研究。分析装卸设备作业流程中作业量的分配，以装卸搬运系统总成本最低为目标函数，构建整数规划模型并运用 Lingo 对其进行规划求解。

唐昊<sup>[6]</sup>对 A 场站为背景，对双层集装箱列车装卸作业流程、作业时间和作业瓶颈等方面进行了分析研究。以装卸作业总用时最小为目标函数建立了线性规划模型并运用 Gurobi 对模型进行求解，从而得到最优解。

宫磊<sup>[7]</sup>通过分析设备选型时相关影响因素，设备效率与物流成本之间的关系。以总成本最小化为目标函数，构建整数规划模型来优化装卸搬运设备的保有量。

姚瑶<sup>[8]</sup>对当前港站内集装箱装卸搬运设备的作业流程进行分析研究，以装卸设备成本最小化为目标函数，建立了基于服务水平的装卸搬运设备保有量计算模型并运用 MATLAB 进行求解。

魏波等<sup>[9]</sup>对物流中心装卸搬运设备的使用频率、运输时间、设备购置成本和维护成本等影响因素进行分析，以物流系统总成本最小化为目标函数，建立整数规划模型并运用 Lingo 对装卸设备数量进行规划求解。

刘致宁<sup>[10]</sup>对公铁联运中的集装箱作业系统的设备配置和作业流程进行研究，将仿真

模型与优化算法相结合,通过 Arena 建立仿真模型,模拟了公铁联运区枢纽集装箱作业系统的运营过程,获得了大量系统运营数据,在此基础上以吞吐量最大化和集装箱等待时间最小化为目标函数,建立了整数规划模型。

李威<sup>[11]</sup>对于散货码头的装卸工艺、货物装卸流程、设备配置等方面进行了分析研究,并以此为基础建立了装卸工艺系统的仿真模型,利用该模型进行了多组实验,从中比较了不同设备配置和工艺流程对装卸效率以及成本的影响。

Daniel J.Fonseca 等<sup>[12]</sup>通过对物料搬运系统中的输送机进行设备选型研究,结合客户要求及货物的特性,分析物流搬运系统中货物与设备之间的适用性和关联程度,通过加权评估法进行计算,进而得到新的设备选型策略。

H.Gao 等<sup>[13]</sup>通过对集装箱码头的装卸设备和集卡配置问题进行研究,以码头装卸设备的效率和成本之间关系为优化指标,构建排队模型并运用 MATLAB 对其进行求解,从而得到装卸设备配置最优方案。

#### 1.4.2 铁路货运中心装卸设备研究

孔亮<sup>[14]</sup>对重载铁路装卸机械的种类、数量规格和作业流程等方面进行了分析。以装卸设备平均等待时间最小化为目标函数,建立了排队模型并利用仿真实验对该模型进行了验证和优化。

罗兴华<sup>[15]</sup>以南关岭铁路物流中心为实例,根据货物流量、仓储设施容量、设施类型和数量等进行分析,通过 Anylogic 仿真模拟对系统的性能进行评估,从而得出设施配置的最优方案。

张琼<sup>[16]</sup>对铁路集装箱中心站内集装箱的到发、发运流程和作业流程中可能存在的问题进行了分析,提出了考虑时间窗的作业方法。以集装箱平均停留时间最小为目标函数,构建了整数规划模型并使用 MATLAB 进行优化求解。

叶鸳<sup>[17]</sup>对集装箱作业区装卸作业时间、交通路线、集卡行驶时间、停车等待时间等进行分析,以集卡与集装箱之间的等待时间和运输成本最小化为目标函数,运用仿真与优化算法相结合的方法建立了仿真模型,并运用遗传算法进行优化求解。

Fedtke 等<sup>[18]</sup>对铁路转运站四类不同集装箱分拣系统进行分析比较,根据每个系统中的龙门起重机和供货车队的排队情况从而推出合适的 AGV 调度程序,确定最佳分拣系统。

综上所述,现有文献对物流装卸设备优化配置的研究主要采用优化算法和仿真技术来分析物流中心的装卸运作情况;对铁路货运中心的装卸设备的研究涉及重载铁路、货运铁路、集装箱铁路以及公铁联运。为了更加深入研究铁路货运中心装卸设备配置优化,本文主要针对公铁联运区内货运线运用优化算法进行装卸设备数量配置研究。

## 1.5 主要研究内容方法及技术路线

### 1.5.1 研究内容

#### 第 1 章 绪论

明确论文的研究背景、研究目的与意义,对国内外研究物流装卸设备的文献进行综述。

#### 第 2 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备配置需求分析

对铁路货运中心及其内部功能区相关概念进行概述,对 L 铁路货运中心现有的数据和信息进行梳理分析。运用装卸设备的传统计算方法对公铁联运区内装卸设备的数量及现有作业能力进行计算分析,找出现存问题并提出问题优化对策。

#### 第 3 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备配置影响因素

分析公铁联运区内目前可能影响装卸设备配置的因素,研究该功能区内装卸设备的成本构成及计算方法,并计算其成本。

#### 第 4 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备配置数量优化

确定装卸设备的配置原则,运用排队论建立排队优化模型,并在此基础上考虑到系统内单位时间成本,建立成本优化模型。运用 MATLAB 进行求解,得出装卸设备的最优数量配置方案,完成对其的配置优化。并与装卸设备传统配置方法进行数量与成本上的对比分析。

#### 第 5 章 结论与展望

对本论文所运用的方法和得出的结论进行总结,阐述存在的不足之处并对未来可能的研究方向进行展望。

### 1.5.2 研究方法

#### 1. 文献研究法

通过知网、万方等各大平台查阅相关文献、期刊,了解并学习物流中心装卸设备的发展现状和目前主要的设备选型优化方法;通过国家统计局、中国国家铁路集团有限公司等平台网站搜索并收集相关政策和数据,查阅铁路总公司对于铁路货运中心建设制定的规范条例,了解铁路运输和铁路货运中心的现状,为论文构建基本的研究框架,同时也为撰写论文打下基础。

#### 2. 案例研究法

收集 L 铁路货运中心相关数据并对其公铁联运区现状进行分析,根据现存问题确定装卸设备优化改进对策。

#### 3. 定量分析法

在现有的 L 货运中心公铁联运区数据的基础上对其物流需求量进行预测,根据现有装卸设备数量及作业时间、列车等待时间和等待队长等数据建立数学模型并进行求解。

### 1.5.3 技术路线

根据研究内容与方法得出本文主要研究的技术路线图，如图 1-1 所示。

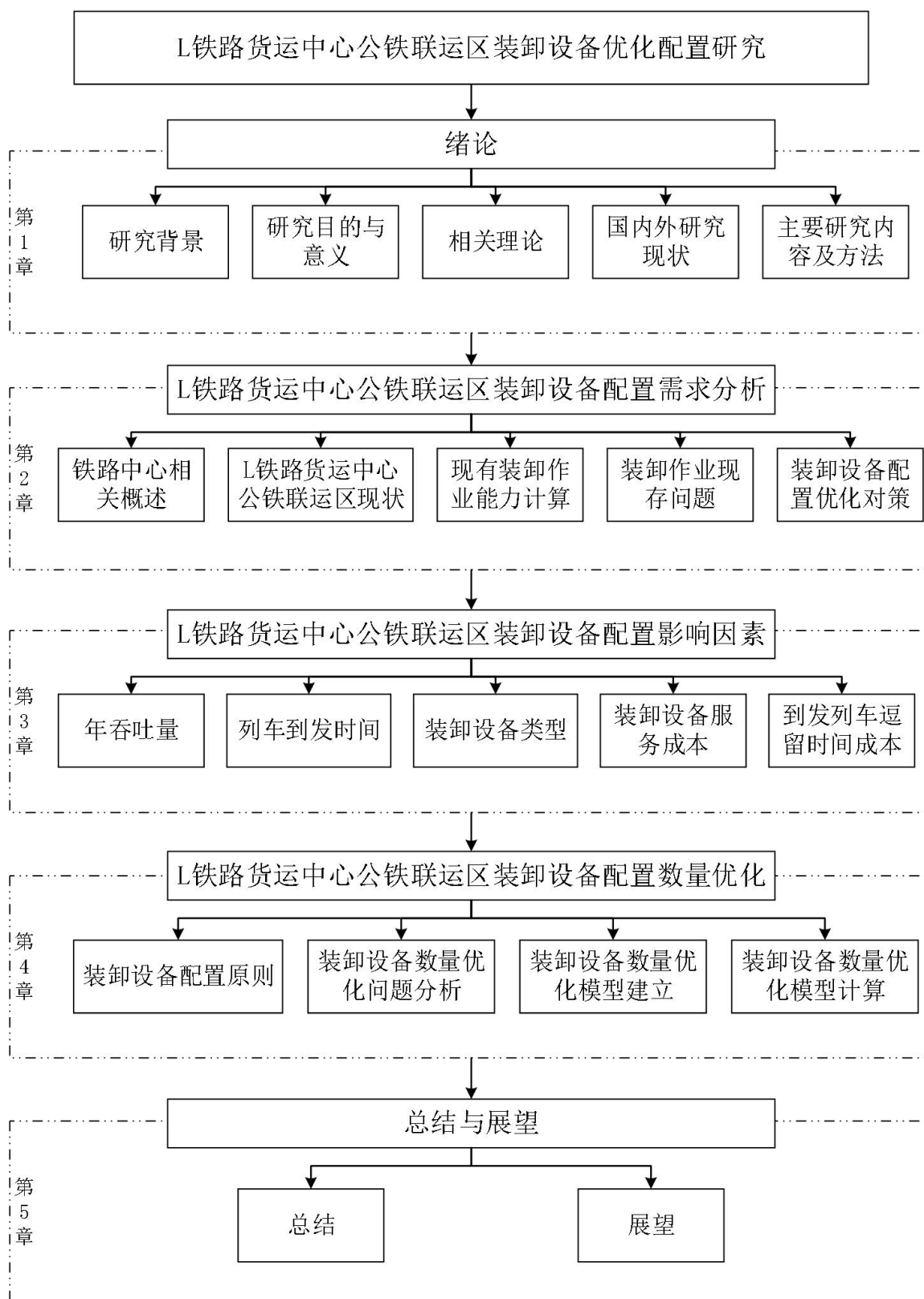


图 1-1 技术路线图

## 第 2 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备配置需求分析

### 2.1 铁路货运中心概述

铁路货运中心是以一般的物流枢纽为基础，依托于逐步建成的全国铁路网，并充分利用了铁路吞吐量大、货物种类多、辐射范围广和运输费用低廉等优势，对货物进行装卸、运输、存储、运输等操作。根据客户的需要，既能完成单一的铁路运输，又能使铁路与其他运输方式相结合，通过多式联运，达到“门到门”的目的。

#### 2.1.1 铁路货运中心分类

铁路货运中心一般根据所处理的货物品类和性质分为专业型铁路货运中心和综合型铁路货运中心。

专业型铁路货运中心主要负责处理种类单一、运量大、属性相同或类似的货物，多为大宗货物，例如煤炭、钢铁、木材、砂石等。由于所运输的货物性质问题，该类货运中心在进行装卸、运输作业时一般使用整列或成组列车；同时，不会根据货运量对货运中心进行等级划分。

综合型铁路货运中心主要办理品种较多、运量较小且相对分散的货运任务。根据规划设计的年吞吐量对货运中心进行等级划分，一般以年吞吐量 300 万吨及以上、100 万吨和 50 万吨分别为界限，分为一级、二级和三级铁路货运中心。其内部根据运输货物的类型再划分成若干个功能区，货物到站后通过不同的货运线运至所属功能区内进行装卸、搬运等操作。目前，我国主要以综合型为主要建设和发展的铁路货运中心，内部设施设备一般采用中小型装卸设备。

#### 2.1.2 铁路货运中心功能区

铁路货运中心内部设有物流功能区、到发及调车场和其他物流配套设施区。以物流功能区为核心区域，根据货运站场设计规范将到发及调车场和其他配套设施设备区分别建立在其周围，确保场内运输距离最短。图 2-1 为铁路货运中心各功能区分布情况。

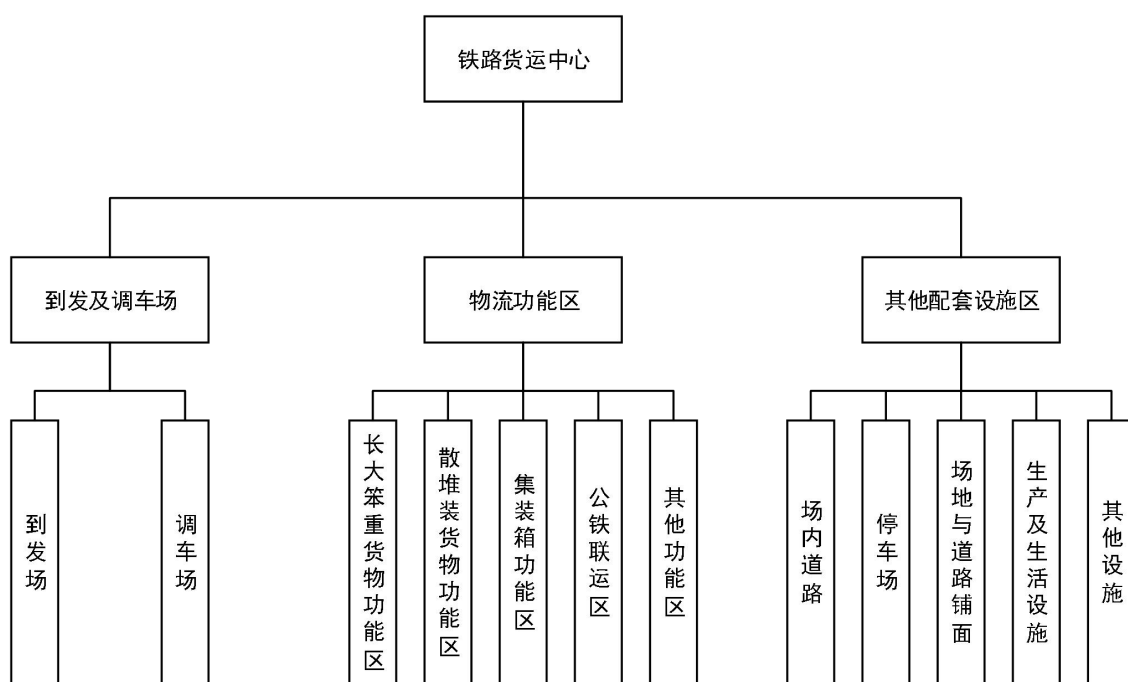


图 2-1 铁路货运中心功能区

## 2.2 L 铁路货运中心公铁联运区概况

### 2.2.1 L 铁路货运中心概况

L 铁路货运中心成立于 2013 年，位于 L 国际陆港区区内，该国际陆港是我国首批陆港型国家物流枢纽和中欧货运班列核心中转枢纽。L 铁路货运中心作为综合型铁路货运中心，受中国铁路 L 局集团有限公司管辖，其所在车站是 L 东车站属于货运营业站，该货运站主要负责货运列车的到发、解体、编组以及货物线的相关作业活动。L 铁路货运中心布局图如图 2-2 所示。

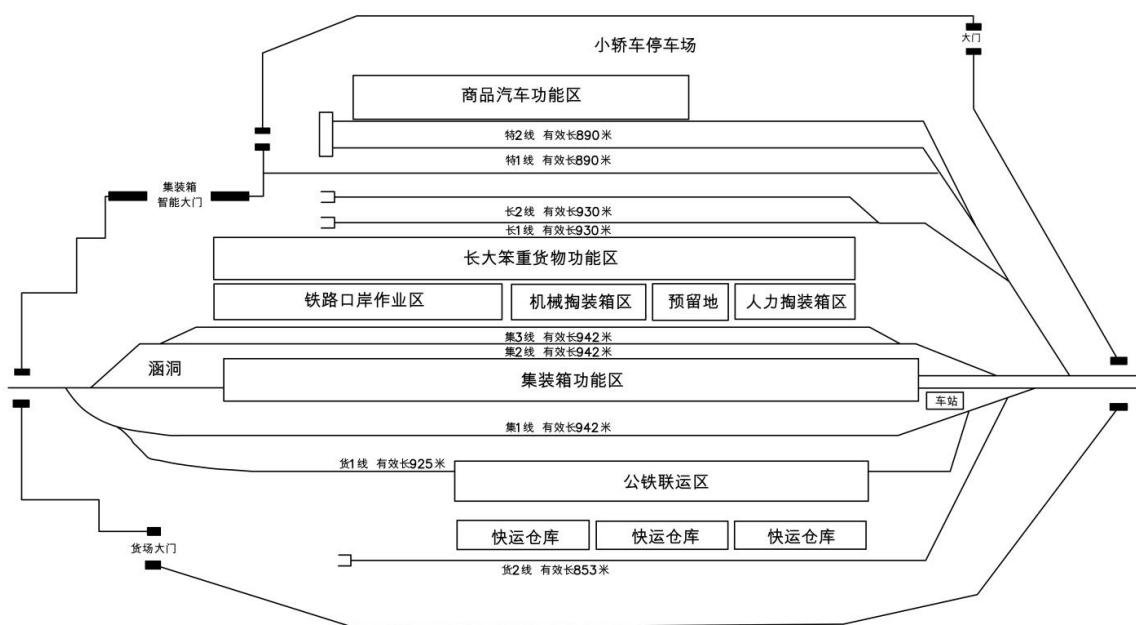


图 2-2 L 铁路货运中心内部布局图

L 铁路货运中心因其所处的地理位置较为特殊，多条铁路干线和高速公路、国道都交汇于此，每日发到的列车数量较多，承担的货运量较大。因此在设计之初，对该铁路货运中心年吞吐量的规划就达到了 3050 万吨，场站内预计建设 18 条货运线，分为三期工程进行。目前，该货运中心的一期工程已经完成，总占地面积约为 73 平方公里，货物占地面积约为 200 万平方米，年吞吐量在 300 万吨以上，是该地区内规模最大、功能最全的综合型一级铁路货运中心。2018—2021 年，该货运中心的年吞吐量稳步提升，但受新冠疫情影响 2022 年出现了下降情况，截至 2022 年底该货运中心货运吞吐量为 457.59 万吨，同比下降了 14.96%，该货运中心 5 年吞吐量情况如图 2-3 所示。

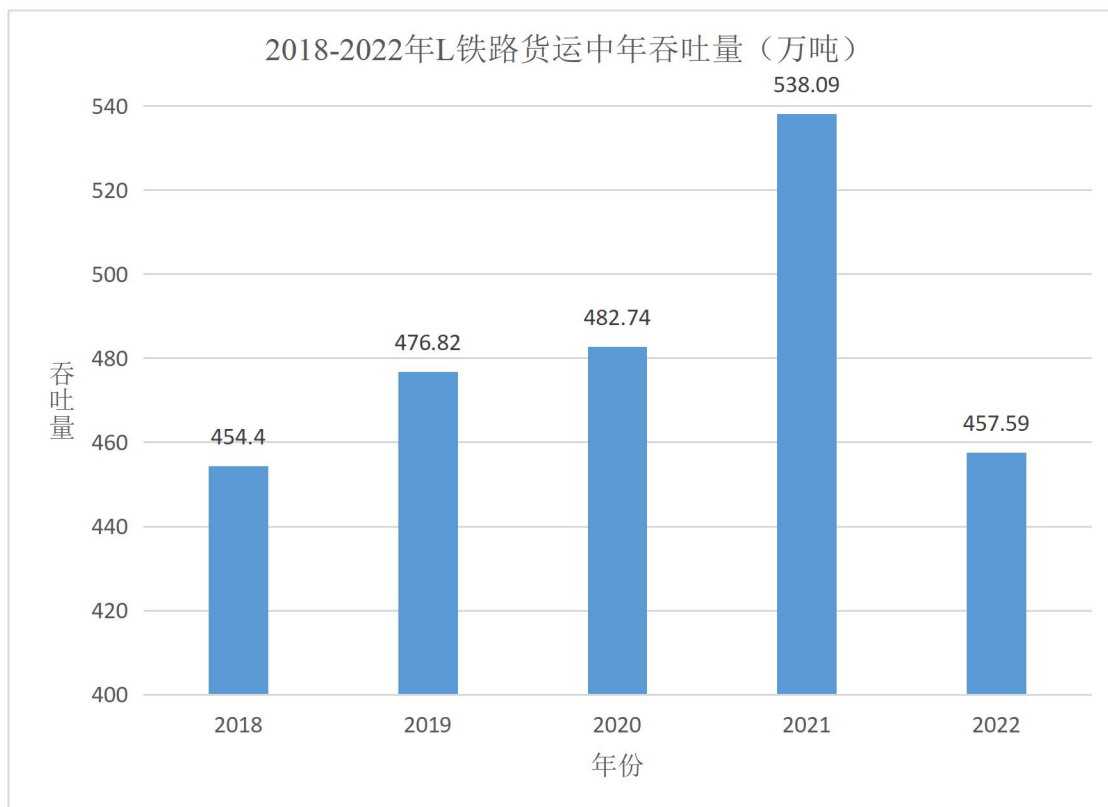


图 2-3 L 铁路货运中心五年吞吐量详情

目前，L 铁路货运中心已经开通了 7 条货物线，主要用于处理整车、集装箱和批量货物的发到业务。该货运中心将内部分为 4 个功能区，分别是：商品汽车功能区、长大笨重货物功能区、集装箱功能区和公铁联运功能区，该货运中心功能区分布如图 2-3 所示。共有 36 台装卸设备，其中有 3 台通用门吊、4 台集装箱龙门吊、1 台正面吊、1 台集装箱正面吊、2 台桥吊、1 台集装箱推高机、3 台装载机、20 台内燃叉车和 1 台专用皮带输送机。表 2-1 为每个功能区内配置的装卸设备的类型和数量，本文仅以公铁联运功能区内装卸设备为分析研究对象。

表 2-1 L 铁路货运中心各功能区装卸设备类型数量表

功能区	装卸设备类型	设备数量
商品汽车功能区	10t 桥吊	2
	专用皮带输送机	1
	5t 装载机	3
	7t 内燃叉车	4
	6t 内燃叉车	2

续表 2-1 L 铁路货运中心各功能区装卸设备类型数量表

功能区	装卸设备类型	设备数量
长大笨重货物功能区	60t 通用门吊	1
	50t 通用门吊	1
	36t 通用门吊	1
	45t 正面吊	1
	6t 内燃叉车	2
	5t 内燃叉车	2
	集装箱功能区	45t 集装箱正面吊
40.5t 集装箱龙门吊		4
集装箱推高机		1
7t 内燃叉车		2
6t 内燃叉车		1
公铁联运区	6t 内燃叉车	3
	3t 内燃叉车	4

### 2.2.2 公铁联运区概况

该公铁联运区主要包括货 1 线和货 2 线两个作业区域，主要提供装卸、运输、堆场、多式联运等服务。该功能区内的货物以化工品和少量军工品为主，大部分货物都以直进直出的方式进行运输，很少存在存储的情况，因此对需要装卸的货物也都采用在作业场地内直接堆码摆放。

2022 年该区域的年吞吐量占整个 L 铁路货运中心年吞吐量的 42.4%，即为 194.02 万吨。其中，仅货 1 线的年吞吐量达到了 135.82 万吨，占公铁联运区的七成左右；而货 2 线由于运输货物的特殊性，它的年吞吐量不到公铁联运区的三成，仅有 58.2 万吨。

#### 1. 货 1 线区域

货 1 线线路有效长度为 925 米，作业区域面积为 110600m<sup>2</sup>（790m×140m），主要为露天货区，无站台和雨棚。该区域主要负责化肥、农药等成件化工品货物的装卸和运输，所使用的叉车共 3 台，均为 6 吨的内燃叉车，每日作业时间 10 小时。

#### 2. 货 2 线区域

货 2 线线路的有效长度为 853 米,作业区域面积约为 28280m<sup>2</sup> (259m×140m),共包含 3 个快运仓库。该区域主要负责化工品和少量军工快运货物的装卸和运输,所使用的叉车共 4 台,均为 3 吨的内燃叉车,每日作业时间 10 小时。

根据《铁路货物装卸安全技术规则》指出:操作装卸设备应按严格按照作业标准进行,场站内为了保证操作的安全距离,一般情况下相邻货运线的作业装卸设备不共用,且在一条货运线装卸时需保证作业货运线的接触网断电和相邻货运线尽量不进行任何装卸作业,需等该货运线内列车完成作业离站时,另一条货运线才可以进行操作。

### 2.2.2 公铁联运区作业流程

当日货运值班员接到货物任务后安排人员准备装卸设备工具,再由作业员工检查机具和车辆货场工作情况,检查无误后确定进行装货任务还是卸货任务。如果装货,则需要叉车将货物从货位上直接插取至列车,然后清扫货位结束装货任务;如果卸货,则需要叉车进行拆取、卸货、分拣、堆码至场地,然后清扫车厢完成卸货任务,叉车进行装卸的具体作业流程如图 2-3 所示。

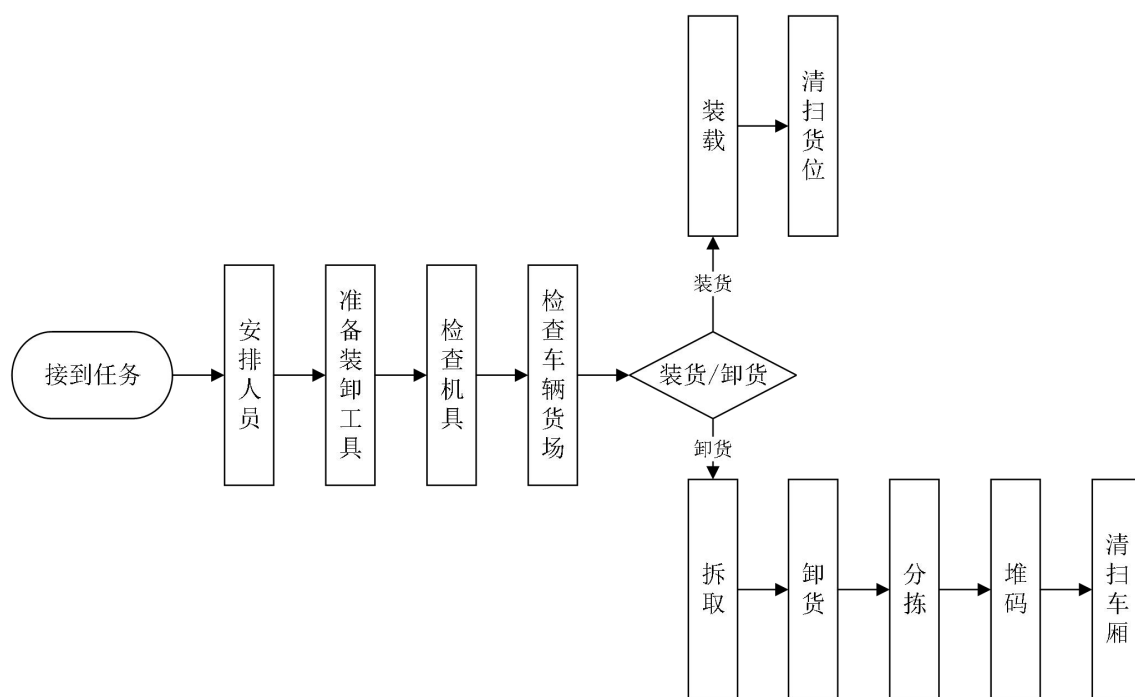


图 2-3 公铁联运区作业流程

### 2.3 公铁联运区现有装卸作业能力计算

由前文可知 L 铁路货运中心公铁联运区内的现有装卸设备类型仅为叉车，因此，每条货运线装卸设备的作业能力即为该货运线内所有叉车作业能力总和。该功能区内叉车的具体参数如表 2-2 所示。

表 2-2 公铁联运区内叉车参数

叉车类型	3 吨内燃叉车	6 吨内燃叉车
现有数量 (台)	4	3
购置成本 (万元/台)	5.68	9.33
额定起重能力 (t)	3	6
搬运速度 (km/h)	18	24
起升速度 (m/s)	0.50	0.53
下降速度 (m/s)	0.45	0.51
最大起升高度 (m)	3	3
额定功率 (kW)	35	86

根据传统计算方法公式 (2-1) 至公式 (2-5) 可计算出叉车的日作业量及理论数量：

$$Z_{\text{叉车}} = \frac{Q_{\text{每日}} \alpha T_{\text{周期}}}{3600 Q_{\text{额定}} t_{\text{每日}} k_a} \quad (2-1)$$

其中， $Z_{\text{叉车}}$  —— 叉车理论数量 (台)；

$Q_{\text{每日}}$  —— 作业区内的日均作业量 (t)；

$\alpha$  —— 到发不均衡系数，反映货物运输量在时间上分布不平衡程度，一般取 1.1~1.3。

$T_{\text{周期}}$  —— 叉车进行一次装卸搬运作业所需要的时间 (s)；

$Q_{\text{额定}}$  —— 叉车的额定起重量 (t)；

$t_{\text{每日}}$  —— 叉车日作业时间 (h)；

$K_a$  —— 叉车额定载荷系数，按照铁路规定一般取 0.7~0.9，本文取 0.7。

$$\alpha = \frac{Q_{\text{忙月}}}{Q_{\text{平均}}} \quad (2-2)$$

其中， $Q_{\text{忙月}}$  —— 该年中最大月运量；

$Q_{\text{平均}}$  —— 该年的月均运量。

$$T_{\text{周期}} = t_{\text{升}} + t_{\text{降}} + t_{\text{叉}} + t_{\text{放}} + 2t_{\text{行}} + 3t_{\text{转}} \quad (2-3)$$

其中,  $t_{\text{升/降}}$  ——叉车起升、下降所需时间 (s);

$t_{\text{叉}}$  ——叉取货物所需时间, 一般为 10~40 (s), 本功能区内为 40s;

$t_{\text{放}}$  ——放下货物时间, 一般为 10 (s);

$t_{\text{行}}$  ——单程搬运货物所需时间 (s);

$t_{\text{转}}$  ——叉车转向时间, 一般为 7 (s)。

$$t_{\text{升/降}} = \frac{H_{\text{升/降}}}{v_{\text{升/降}}} + t_{\text{加减}} \quad (2-4)$$

其中,  $H_{\text{升/降}}$  ——起升或下降高度, 平均为 1.5m;

$v_{\text{升/降}}$  ——叉车起升或下降速度;

$t_{\text{加减}}$  ——叉车启停附加时间, 一般取 3 (s)。

$$t_{\text{行}} = \frac{S}{0.278v_{\text{行}}} + t_{\text{加减}} \quad (2-5)$$

其中,  $S$  ——叉车搬运货物的距离 (m), 一般按照作业场地长度的一半进行计算;

$v_{\text{行}}$  ——叉车搬运速度 (km/h);

0.278 ——km/h 换算 m/s 系数。

根据相关数据资料的查询, 该铁路货运中心的忙月为 9 月, 而公铁联运区整个 9 月的吞吐量可占到全年的 10.41%。根据公式 (2-2) 可计算出该功能区内的货物到发不均衡系数:

$$\alpha = \frac{Q_{\text{忙月}}}{Q_{\text{平均}}} \approx 1.2。$$

### 1. 货 1 线区域理论叉车数量和现有叉车日均作业量

(1) 该铁路货运中心全年无休, 因此一年按 365 天计算, 现已知货 1 线的年吞吐量为 135.8 万吨, 则货 1 线的日均吞吐量  $Q_{\text{每日}}$  为 3721.1 吨;

(2) 根据前文可知: 货 1 线作业区域长为 790m, 6 吨叉车的搬运速度为 24km/h。根据《铁路物流中心设计规范》中规定, 公式 (2-5) 中的  $S$  通常按照作业场地长度的一半进行计算, 则根据公式 (2-5) 可计算出 6 吨叉车单程搬运货物所需时间:

$$t_{\text{行}} = \frac{S}{0.278v_{\text{行}}} + t_{\text{加减}} = \frac{790}{0.278 \times 24 \times 2} + 3 \approx 62.20(\text{s});$$

(3) 货运列车车厢距地面的高度一般为 1.5m，而根据表 2-2 可知 6 吨叉车的上升速度为 0.53m/s，下降速度为 0.51m/s，则根据公式 (2-4) 可计算出 6 吨内燃叉车的起升时间：

$$t_{\text{升}} = \frac{H_{\text{升}}}{v_{\text{升}}} + t_{\text{加减}} = \frac{1.5}{0.53} + 3 \approx 5.83(\text{s});$$

下降时间：

$$t_{\text{降}} = \frac{H_{\text{降}}}{v_{\text{降}}} + t_{\text{加减}} = \frac{1.5}{0.51} + 3 \approx 5.94(\text{s});$$

(4) 根据前文计算出的各项时间并结合公式 (2-3) 可计算出 6 吨内燃叉车装卸作业一次的时间：

$$T_{\text{周期}} = t_{\text{升}} + t_{\text{降}} + t_{\text{叉}} + t_{\text{放}} + 2t_{\text{行}} + 3t_{\text{转}} = 5.83 + 5.94 + 40 + 10 + 2 \times 62.20 + 3 \times 7 = 207.17(\text{s})$$

为了便于计算取 208s；

(5) 根据公式 (2-1) 可计算出 1 线理论叉车数量：

$$Z_{\text{叉车}} = \frac{Q_{\text{每日}} \alpha T_{\text{周期}}}{3600 Q_{\text{额定}} t_{\text{每日}} k_a} = \frac{3721.1 \times 1.2 \times 208}{3600 \times 6 \times 10 \times 0.7} \approx 7(\text{台});$$

(6) 根据前文可知：6 吨内燃叉车共 3 台，而根据公式 (2-1) 可计算出 1 线现有叉车的日作业量：

$$Q_{\text{每日}} = \frac{Z_{\text{叉车}} 3600 Q_{\text{额定}} t_{\text{每日}} K_a}{\alpha T_{\text{周期}}} = \frac{3 \times 3600 \times 6 \times 10 \times 0.7}{1.2 \times 208} \approx 1817.31(\text{t/d}).$$

## 2. 货 2 线区域理论叉车数量和现有叉车日均作业量

按照货 1 线计算方法可知货 2 线内各数据为：

(1) 货 2 线的日均吞吐量： $Q_{\text{每日}}$  为 1594.52 吨；

(2) 3 吨叉车单程搬运货物所需时间： $t_{\text{行}} = \frac{259}{0.278 \times 24 \times 2} + 3 \approx 28.88(\text{s})$ ；

(3) 3 吨内燃叉车的起升时间： $t_{\text{升}} = \frac{1.5}{0.50} + 3 = 6(\text{s})$ ；

下降时间： $t_{\text{降}} = \frac{1.5}{0.45} + 3 \approx 6.33(\text{s})$ ；

(4) 3 吨内燃叉车装卸作业一次的时间：

$$T_{\text{周期}} = 6 + 6.33 + 40 + 10 + 2 \times 28.88 + 3 \times 7 \approx 141.09(\text{s}), \text{ 为了便于计算取 } 142\text{s};$$

(5) 货 2 线理论叉车数量： $Z_{\text{叉车}} = \frac{1594.52 \times 1.2 \times 142}{3600 \times 3 \times 10 \times 0.7} \approx 4(\text{台})$ ；

(6) 货 2 线现有叉车的日作业量： $Q_{\text{每日}} = \frac{4 \times 3600 \times 3 \times 10 \times 0.7}{1.2 \times 142} \approx 1774.65(\text{t/d})$ 。

表 2-2 为通过公式 (2-1) 至公式 (2-5) 计算得出的货 1 线和货 2 线区域现有理论叉车数量即现有叉车日均作业量。

表 2-2 货 1 线和货 2 线理论叉车数量及现有叉车日均作业量

作业区域	货 1 线	货 2 线
年吞吐量 (t)	1358200	582000
日均吞吐量 (t)	3721.1	1594.52
$T_{\text{周期}}$ (s)	206	140
发到不均衡系数 $\alpha$	1.2	1.2
现有叉车日均作业量 $Q_{\text{每日}}$ (t)	1817.31	1774.65
理论叉车数量 (台)	7	4
现有叉车数量 (台)	3	4

根据表 2-2 可以得出以下结论：

(1) 货 1 线区域理论叉车数量远多于现有叉车数量，且现有的 3 台 6 吨内燃叉车的日均作业量可能无法完成该货运线的平均日作业量；

(2) 货 2 线区域理论叉车数量和现有叉车数量相等，现有的 4 台 3 吨内燃叉车的日均作业量已经超出了该区域的平均日作业量，虽然存在有叉车空闲的情况，但总体可以正常完成目前的装卸作业。

## 2.4 公铁联运区装卸设备配置现存问题

### 1. 装卸设备数量配置不合理

由于该功能区内需要进行装卸的货物主要为化工品和少量军工品，货物种类少、数量大且都以包装成件的形式进行装卸运输，而目前该区域仅依靠叉车进行装卸作业，因此叉车的数量和使用情况就变得至关重要。但在 2022 年整个货运中心吞吐量都减少的情况下，货 1 线作业区域内存在现有叉车的日均作业量无法满足该作业区的日均作业量的情况。由于现有叉车的作业能力偏低，就需要增加工人和设备的数量或增加作业时间来提高整个系统的装卸效率，以此在规定时间内完成装卸任务，但这些方式都将造成叉车的损耗和装卸的人工成本增加。而货 2 线作业区域内现有叉车数量与根据传统方法计算出的理论叉车数相同，现有叉车的日均作业量也超过了该作业区的日均作业量，但随着铁路货运中心的发展及货运量的增长，还是会出现叉车无法在规定时间内完成装卸作业任务，从而影响整个系统的运作效率。

### 2. 列车等待作业时间过长

由于化工品和军工品的产品特殊性，为避免货物在运输过程中因为时间过长造成货物损失或发生危险，货物到站后必须尽快完成装卸操作，减少时间浪费。现有作业叉车数量是依靠经验值得来，就导致货 1 区域内的现有叉车数量过少，无法在规定时间内完成货物的装卸作业。从而该区域内后续进站列车需要等待前序列车完成装卸作业并离站后，才能进站进行装卸操作。传统的装卸设备配置优化方法也未考虑列车的逗留等待时间。为了避免列车的等待时间过长，运输系统效率不高，列车出现等待损失成本，因此需研究新的装卸设备优化配置方法。

## 2.5 公铁联运区装卸设备配置优化对策

### 1. 收集数据

对 L 铁路货运中心进行实地考察，对其内部公铁联运区的年吞吐量、运输货物种类、装卸设备类型及数量等信息数据进行收集汇总。

### 2. 确定装卸设备配置原则

根据公铁联运区的年吞吐量、运输的货物特性和装卸作业流程等影响因素，确定装卸设备的配置原则。

### 3. 对装卸设备进行选型

根据《铁路物流中心设计规范》中对于装卸设备的选用规定及公铁联运区运输货物的类型、特性对其内部的装卸设备进行选型配置。

### 4. 分析确定装卸设备配置的成本构成

确定该功能区内的排队系统中到发列车的等待时间成本和逗留损失成本，对成本进行量化计算。

### 5. 调整装卸设备的数量。

利用排队论的数学模型，通过模拟等待队列，合理规划叉车的数量，确保排队系统的综合时间成本相对最优且叉车的数量相对最优和作业效率平衡，避免出现叉车过多或不足的情况。

## 第 3 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备配置影响因素

影响铁路货运中心装卸设备配置的因素主要有年吞吐量、货物的到发时间、设备的作业效率和设备购置成本等。

### 3.1 年吞吐量

年吞吐量作为影响铁路货运中心规划建设及内部装卸设备配置的重要因素，年吞吐量与装卸设备的数量通常是成正比的，因此需要根据铁路货运中心的年吞吐量对装卸设备的数量进行计算预测。

#### 1. 吞吐量大小决定装卸设备数量

在铁路货运中心运营初期，由于吞吐量相对较小，各功能区内并不需要太多数量的装卸设备即可完成相应的装卸任务。如果出现装卸设备数量不足或现有装卸设备的作业能力无法在规定时间内完成装卸作业的情况，也可通过短时间内加班加点完成既定任务。L 铁路货运中心公铁联运区内货 1 线作业区域虽然存在现有装卸设备数量不足、装卸作业能力短缺的问题，但现有装卸设备的作业能力与理论日均吞吐量相差较小，仅通过短时间加班就可以解决该问题。

#### 2. 吞吐量发展决定装卸设备选择

在《中欧班列建设发展规划（2016—2020 年）》中提到：L 铁路货运中心所在城市被国家定义为内陆主要货源地节点。也正是由于该铁路货运中心所处的特殊地理位置，使其成为我国“一带一路”倡议中向西开放的重要综合交通枢纽和一级综合铁路货运中心，承担起中欧班列发展中重要的物流节点功能。但随着“一带一路”倡议建设的不断发展推进，我国与中亚、西亚及欧洲各国的贸易往来日益频繁，对于铁路货运需求的不断增长，也使得作为重要物流节点的该铁路货运中心的货运量不断增加。

随着货运量的增加，就可能出现装卸设备数量和作业能力完全无法满足日益增长的吞吐量，无法在规定时间内完成相应的装卸作业任务，甚至无法仅凭加班加点来完成作业任务。此时就需要增加装卸设备数量，提高装卸设备的作业效率，甚至扩大作业区面积等方式以此提高整个系统的装卸效率。而货 2 线区域现有的装卸设备数量及其作业能力能够满足当前的吞吐量及作业任务，但随着未来的发展，该货运线的装卸能力还需要进一步提升。

## 3.2 列车到发时间

铁路列车的到发时间通常指列车到达车站的时间和离开车站的时间，是衡量列车在站台的停留时间和车站的繁忙程度重要指标，会直接影响货物在相关功能区内的转运速度和运作效率。

### 1. 列车到发具有不确定性

铁路列车到发时间一般由所属铁路局进行调度安排，尽管按照全局调度进行发车，但由于铁路运输具有很高的复杂性和不确定性，其受到许多不可控因素的影响。例如，天气状况、车站设施故障、铁路线路损坏和列车出现故障等不可预测的突发事件所导致的列车延误；另外，虽然货运列车的运行时间大部分都在夜晚，但客运列车的路权要高于货运列车，因此还会出现需要临时停车为其让行的情况，而这些事件都会导致在某一时间段内货运列车的到发相对集中，增加了列车到发的不确定性。

### 2. 列车到发时间与作业时间呈负相关

列车到发时间与站场内装卸设备作业时间呈负相关，直接影响限制了装卸设备作业时间。一方面，如果列车提前到达，但在相关功能区内没有相应的装卸设备来处理货物，就会造成列车在站台的等待，后续列车的进站作业时间也会相应延长，造成了时间和资源的浪费，降低了整个物流系统的运作效率。另一方面，如果列车出现晚点情况也会导致货物不能及时转运，无法和其他运输方式协调，从而增加了货物的等待时间，降低了整个运输过程的效率和效益。

因此，针对这一情况装卸设备的配置就需要考虑列车到发时间的因素，对装卸设备的作业效率也提出了更高的要求。目前，L 铁路货运中心货 1 线的装卸作业能力太低，不能满足列车集中到发时的快速作业要求，货运线会出现短时间内的“堵车”情况。同时，货运线内的装卸设备的数量不足，就无法使其在规定时间内完成装卸相应的作业任务，就会造成货物的积压、后续到达列车无法进站进行装卸作业，甚至导致后续列车会出现持续晚点等问题。此时就需要相应增加装卸设备的数量，来提高装卸效率，以满足货物的装卸需求。

## 3.3 装卸设备类型

由于铁路货运中心不同于普通物流中心，它的货物类型相对固定、每日吞吐量较大且起伏不明显，因此装卸设备的作业量大而相对平稳。而在选用装卸设备时，由于其类型和型号繁多，需要根据每个铁路货运中心的功能、定位及内部功能区的不同需求进行合理选用。

### 1. 装卸设备选型原则

根据《铁路物流中心设计规范》中规定可知：在公铁联运区内一般选用的装卸设备有叉车和带式输送机，托盘、夹包器、集装袋和集装网等则作为专用属具配合装卸作业任务。其中，叉车作为装卸过程中最常见、使用最广泛的一种装卸搬运设备，其前部有货叉或夹包器，可以灵活地对托盘或包装成件进行作业。

L 铁路货运中心公铁联运区内运输的货物类型都为包装成件货物，到发列车载重总量大、货物单体重量大且货物尺寸相对固定，更重要的是由于是该功能区的定位，货物大多直进直出，很少进行存储，而且需要装卸设备在进行作业时与公路运输方式相衔接，一般装卸设备很难在规定时间内完成装卸作业或是在后续交接过程中需要耗费大量时间。因此，在进行综合考虑后，L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备类型的选择按照以下原则：

(1) 选用叉车进行装卸更加方便快捷、更易于和公路运输方式衔接；

(2) 在选取叉车型号时，需要根据年作业量、常运输货物类型及单体重量等因素进行综合考虑；

(3) 为了保证装卸区域内的作业安全和操作标准化，通常会在同一货运线区域内选择同一型号的叉车进行作业。

## 2. 装卸设备选型范围

根据实地调查可知，目前该铁路货运中心公铁联运区内装卸设备仅为叉车，该区域内主要进行运输和装卸的货物为成件的化工品及少量军工品，表 3-1 为 L 铁路货运中心公铁联运区内现有叉车的类型、型号及搬运的常规货物规格。

货 1 线区域的货物仅为化工品，货物种类固定且装卸任务较大，仅需要将货物装卸至露天作业场地，因此选择 6t 叉车可以更快速地开展装卸任务；

货 2 线区域内除了化工品，还有少量军工品需要装卸。军工品货物单件重量远大于化工品，还受到国家法律法规限制在装卸过程中需要严格遵守相关规定确保军工品安全性和保密性。因此二者不能进行混合作业且军工品需要将其装卸至快运仓库中，因此选择 3t 叉车可以更方便灵活地在仓库中作业。

表 3-1 L 铁路货运中心公铁联运区现有叉车类型及搬运货物规格

作业区域	运输货物种类	常运输货物规格	选用叉车型号	选用叉车类型
货 1 线	包装成件化工品	200kg/箱	合力 CPCD60	6t 内燃叉车
		100kg/箱		
货 2 线	包装成件化工品	100kg/箱	龙工 FD30T	3t 内燃叉车
		500kg/箱		
	军工品装备器材	800kg/箱		
		1000kg/箱		

因此，对 L 铁路货运中心公铁联运区叉车进行数量优化时，考虑在当前作业区域内已有叉车基础上进行再调整。

### 3.4 装卸设备成本

#### 3.4.1 装卸设备服务成本

装卸设备的服务成本是指单位时间内装卸设备提供服务所需要的成本，这些成本包括折旧、保养、维修、保险、燃油和人工等方面的成本。

##### 1. 折旧成本

装卸设备的购置成本通常通过折旧成本来体现，而折旧成本  $C_D$  是指在装卸设备的使用寿命内，根据功能公式按照一定比例计算的折旧成本。一般折旧费是由购买成本、使用年限和残值三个因素共同决定的。一般的叉车都是按照 20000 个工作小时设计生产的，叉车的残值率一般在 2%~5%。根据直线法中的工作量法进行计提折旧，叉车的单位时间折旧成本可以通过以下公式计算：

$$\text{单位时间折旧成本} = \text{叉车购置成本} \times \frac{1 - \text{预计净残值率}}{\text{预计总作业量}} \quad (3-1)$$

##### 1. 维修成本

维修成本  $C_M$  是指装卸设备在使用过程中需要定期进行维修以保证其能够正常运作。而在该公铁联运区内叉车的预防性维修分为日常保养和定期的中、大修。其中，每日保养包含对装卸设备的小修；中修和大修都是根据叉车的作业时间而确定，一般为叉车累计作业 500 小时进行一次中修，累计作业 800 小时进行一次大修。因此，叉车的单位时间维修成本可以通过以下公式进行计算：

$$\text{单位时间维修成本} = \frac{\text{单次保养费用} \times \text{保养频次} + \text{单次中修费用} \times \text{中修频次} + \text{单次大修费用} \times \text{大修频次}}{\text{叉车年作业时间}} \quad (3-2)$$

##### 2. 保险成本

保险成本  $C_I$  即在购置装卸设备时企业可以根据需求选择缴纳车辆损失险和特种设备第三者责任险等。叉车在购置时通常需要根据自身购置成本的 2% 来缴纳保险。因此，叉车的单位时间保险成本可以通过以下公式进行计算：

$$\text{单位时间保险成本} = \frac{\text{叉车购置成本} \times 2\%}{\text{叉车年作业时间}} \quad (3-3)$$

### 3. 燃料成本

燃料成本  $C_E$  即需要维持装卸设备正常运转所消耗的柴油、汽油或电力等的燃料的费用，该成本与装卸设备的数量及使用时间成正相关。由于燃料费用会受到燃料价格、装卸设备型号、使用环境和工作强度等因素影响，研究时过于复杂，因此本文将各项因素理想化，仅考虑所使用燃料的平均价格、装卸设备单位时间的平均油耗以及工作环境和强度一直不变等情况。因此，叉车的单位时间燃料成本可以通过以下公式进行计算：

$$\text{燃料成本} = \text{燃料单价} \times \text{单位时间燃料消耗量} \quad (3-4)$$

### 4. 人工成本

人工成本  $C_L$  即为铁路货运中心内从事装卸设备操作的工人的工资，其中工资包括岗位基本工资、津贴、补贴和奖金。因此，单位时间内的人工成本可以通过以下公式计算：

$$\text{人工成本} = \frac{\text{工人单位时间工资}}{\text{单位作业时间}} \quad (3-5)$$

#### 3.4.2 到发列车逗留时间成本

列车逗留时间为其等待进站和接受装卸设备进行服务的时间和。单位时间列车的逗留损失成本是指在铁路运输过程中，由于装卸设备对前序列车的作业未完成或是其他因素，从而导致后序到达列车停留时间过长而产生的各项成本总和。这些成本主要包括：

##### 1. 运输成本

铁路的运输成本是指列车及设备维护成本、人工成本和能源成本等。到达列车逗留时间过长，列车的能源消耗及设备的磨损相应增加。为了保证列车及车上各项设备的正常运作，就需要更多的工作人员对其进行检查从而增加了人工成本。

##### 2. 清算成本

铁路运输的清算成本是指在结算过程中所发生的成本，包括与客户或其他铁路公司之间进行的结算。到达列车逗留时间过长，就会导致整个运输过程的时间延长，货物无法在规定时间内装卸、交付给客户，就会产生后续的赔付问题，降低客户的满意度。

##### 3. 运营成本

铁路运输的运营成本是指为了维持铁路正常运营所发生的成本。铁路运输部门需要制定有效的运输计划，提高装卸设备的作业能力，以此来减少列车的逗留时间，提高列车的发运能力和运输效率，从而降低单位时间列车的逗留损失成本。

## 第 4 章 L 铁路货运中心公铁联运区装卸设备数量配置优化

装卸设备属于铁路货运中心的重要设备，当前公铁联运区内装卸设备类型仅为叉车，在此基础上本文主要考虑叉车数量配置优化。

### 4.1 装卸设备配置原则

#### 1. 低成本原则

公铁联运区内装卸设备主要选择中、小吨位的叉车。由于其购置成本较高、使用寿命较长，就需要定期进行保养维修。因此除了购置成本之外，还存在定期保养维修成本、人工成本及燃料成本等。在进行采购时，需要考虑后续成本相对较低且方便保养维修的叉车。

#### 2. 适应性原则

由于该功能区内货物的特殊性，在运输时需要配备专门的设备对其进行购买叉车时，以能最大程度提高整个公铁联运区装卸效率为目的，来综合考虑所购置的设备能否适应该功能区内运输货物的特性，是否能与现有设备相适应协调完成装卸任务。适应于该功能区内的货物特性。

#### 3. 安全环保原则

在选择装卸设备时，应该优先考虑设备性能稳定、操作简单、能耗低和对环境污染程度小，以此来保证装卸作业可以安全可靠地完成。

### 4.2 装卸设备数量优化问题分析

#### 4.2.1 基本假设

根据前文计算结果可知，虽然可以运用传统方法对公铁联运区的装卸设备进行数量配置，但是这种方法仅考虑了满足当前吞吐量的情况，未考虑列车的到发存在不确定性，可能还会出现装卸设备忙闲不均和列车排队的时长增加等情况，从而导致列车进出站的效率过低并且造成装卸资源浪费，限制了整个物流系统的效率和发展。这种不确定性也成为如何制定合理的装卸设备配置方案的关键。因此在进行铁路货运中心相关功能区装卸设备配置时，可以对其运用以下步骤进行分析：

1. 对某时间段内该功能区列车的到发情况进行分析，确定其是否服从泊松分布；
2. 确定叉车在进行装卸作业时是否对到发列车进行先到先服务原则；

3. 分析列车的等待情况，考虑列车的等待时间和队列长短的关系，从而构建出合理的设备配置优化模型。

#### 4.2.2 列车排队系统结构

基于前文公铁联运区作业流程的分析，该公铁联运区是一个排队系统。该排队系统是由输入过程、排队规则和服务机构组成。在该功能区内无论进行装货还是卸货作业，都是需要前序列车完成作业离开货运线后，后续列车才可进入货运站内接受装卸设备的服务。由于列车的到达时间和叉车的装卸作业时间都具有随机性，因此这个排队系统是一个随机排队系统，到达该功能区内的列车就是顾客，内部的叉车即为服务台，为列车提供装卸服务，排队流程如图 4-1 所示。

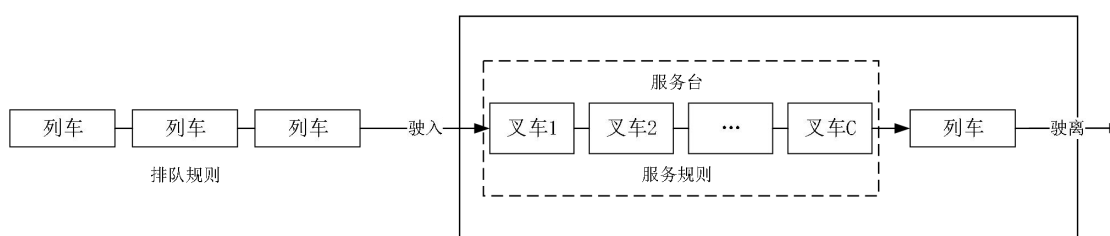


图 4-1 列车排队流程

##### 1. 输入过程

输入过程主要是确定顾客到达系统服从什么样的规律，本文将列车视为顾客，列车的到达是随机的，列车间相互独立且到达的数量是无限的，通常这种情况列车的到达规律服从泊松分布。

##### 2. 排队规则

当列车到达公铁联运区时，如果所有的叉车都在作业但无法在后续列车到达前完成作业，则后续列车则无法正常进入货运站内，只能在货运线上继续等待，直到前序列车的作业任务完成离去后，才可进入接受装卸服务。而在进入货运站前，列车都需在一条货运线上等待并依次接受服务，故排队系统内的列车排队规则为单列、先到先服务等待制。

##### 3. 服务机构

排队系统中的服务机构一般都需要考虑服务台的数量、服务方式和服务时间的规律这三点。在该排队系统中公铁联运区是服务机构，该功能区内叉车就是服务台，叉车的数量即为服务台的数量。一趟列车通常需要多台叉车进行装卸作业，很明显这是多服务台模式。

本文研究的装卸设备仅为叉车，服务时间就是叉车完成装卸作业的时间，一般用平均服务率  $\mu$  来表达单位时间内结束服务的列车数量，而当该排队系统内货物到达的时间分布为泊松分布时，装卸时长则服从负指数分布<sup>[1]</sup>。可通过卡方分布对其进行检验，并设定当  $\chi^2 < \chi_{0.05}^2$  或检验值大于 0.05 时服从上述分布<sup>[2]</sup>。而且在铁路货运系统中，无论后续列车有多少，不存在到达某一运量或列车数量后就停止一切服务的情况。因此这是一个单列、多服务台且系统容量无限制的排队系统，建立排队模型为  $M/M/C/\infty/\infty/FCFS$ 。

### 4.3 装卸设备数量优化模型建立

#### 4.3.1 排队优化模型建立

1. 平均到达率  $\lambda$ ：排队系统中单位时间内平均到达的列车数；
2. 平均服务率  $\mu$ ：排队系统中单位时间内叉车完成装卸任务的列车数；
3. 服务强度  $\rho$ ：表示每辆叉车在单位时间内完成装卸任务的时间，用公式表示为：

$$\rho = \frac{\lambda}{C\mu} \quad (4-1)$$

其中， $C$ ——叉车数量。

4. 该排队系统内没有等待列车的概率  $P_0$ ，即系统的闲置概率用公式表示为：

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^{C-1} \frac{1}{k!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \frac{1}{C!(1-\rho)} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^C \right]^{-1} \quad (4-2)$$

5. 该排队系统内有  $n$  辆等待列车数的概率  $P_n$ ，用公式表示为：

$$P_n = \begin{cases} \frac{1}{n!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0, n \leq C \\ \frac{1}{C!C^{n-C}} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0, n > C \end{cases} \quad (4-3)$$

6. 平均队长  $L_q$ : 该排队系统内等待接受装卸服务的列车数, 在  $\rho = \frac{\lambda}{C\mu} < 1$  时用公式表示为:

$$L_q = \frac{(C\rho)^C \rho}{C!(1-\rho)^2} P_0 \quad (4-4)$$

7. 平均等待队长  $L_s$ : 该排队系统内等待接受装卸服务和正在接受装卸服务的列车总数, 用公式表示为:

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad (4-5)$$

8. 平均等待时间  $W_q$ : 一辆列车在接受装卸作业前需要等待的时间, 用公式表示为:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho\lambda^{C-1}}{\mu^C C!(1-\rho)^2} P_0 \quad (4-6)$$

9. 平均逗留时间  $W_s$ : 该排队系统内所有等待列车的平均等待时间, 由公式 (4-5) 和公式 (4-6) 联合可得:

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{L_q}{\lambda} + \frac{1}{\mu} = \frac{\rho\lambda^{C-1}}{\mu^C C!(1-\rho)^2} P_0 + \frac{1}{\mu} \quad (4-7)$$

#### 4.3.2 成本优化模型建立

在排队过程中, 无论是货主还是铁路货运中心都希望尽可能地减少排队时间。通常都会采取增加装卸设备数量来提高装卸作业的效率, 加快列车的进出站速度。但装卸设备的数量与成本成正比, 数量增加过多会造成成本浪费, 过少又会降低整个系统的效率和服务水平。因此需要既保证装卸作业的效率, 降低列车的等待时间, 又要确保整个系统的等待成本与服务成本之和最小。故可将该排队系统内列车在单位时间内的等待成本和逗留损失成本之和最低为目标函数:

$$\text{Min}z = C_s C + C_w L_s \quad (4-8)$$

其中， $C_s$ ——每台叉车在单位时间内的服务成本；

$C_w$ ——每辆列车在该排队系统内单位时间的逗留损失成本；

$C$ ——叉车的数量；

$L_s$ ——列车平均等待队长。

由于叉车的数量是离散的，不能通过求导求出极值点，只能通过边际分析法逐个计算其数值。可设  $C^*$  为  $z = z(C)$  函数的极小值点，则  $C^*$  可通过公式表达：

$$\begin{cases} z(C^*) \leq z(C^* - 1) \\ z(C^*) \leq z(C^* + 1) \end{cases} \quad (4-9)$$

根据公式 (4-8) 和公式 (4-9) 计算可得：

$$L_s(C^*) - L_s(C^* + 1) \leq \frac{C_s}{C_w} \leq L_s(C^* - 1) - L_s(C^*) \quad (4-10)$$

运用 MATLAB 求出  $C$  的值，求出  $L_s(C^*)$  的值，并计算出  $L_s(C^*) - L_s(C^* + 1)$  和  $L_s(C^* - 1) - L_s(C^*)$  的值，求出两相邻的  $L_s(C^*)$  的差值。如果  $\frac{C_s}{C_w}$  符合公式 (3-10)，则为  $C^*$  最优的值。

其中，服务成本  $C_s$  的计算分别按照以下计算：

### 1. 折旧成本 $C_D$

#### (1) 货 1 线区域

$$\text{单位时间折旧成本} = 93300 \times \frac{1-5\%}{18250} \approx 4.86 \text{元/h}$$

#### (2) 货 2 线区域

$$\text{单位时间折旧成本} = 56800 \times \frac{1-5\%}{18250} \approx 2.96 \text{元/h}$$

### 2. 维修成本 $C_M$

表 4-1 叉车保养维修频次费用表

区域	保养维修类型	保养维修周期	频次 (次/台·年)	费用 (元/台·次)
货 1 线区域	保养	每日	365	30
	中修	500h	7.3	630
	大修	800h	4.56	3000
货 2 线区域	保养	每日	365	40
	中修	500h	7.3	480
	大修	800h	4.56	2400

根据公式 (3-2) 计算可得出货 1 线和货 2 线的单位时间内每台叉车的维修成本分别为:

(1) 货 1 线区域

$$\text{单位时间维修成本} = \frac{365 \times 30 + 7.3 \times 630 + 4.56 \times 3000}{3650} \approx 8.01 \text{元/h}$$

(2) 货 2 线区域

$$\text{单位时间维修成本} = \frac{365 \times 40 + 7.3 \times 480 + 4.56 \times 2400}{3650} \approx 7.96 \text{元/h}$$

### 3. 保险成本 $C_I$

(1) 货 1 线区域

$$\text{单位时间保险成本} = \frac{93300 \times 2\%}{3650} \approx 0.51 \text{元/h}$$

(2) 货 2 线区域

$$\text{单位时间保险成本} = \frac{56800 \times 2\%}{3650} \approx 0.31 \text{元/h}$$

### 4. 燃料成本 $C_E$

(1) 货 1 线区域

$$\text{单位时间燃料成本} = 7.46 \times 0.35 \times 86 \approx 224.55 \text{元/h}$$

(2) 货 2 线区域

$$\text{单位时间燃料成本} = 7.46 \times 0.30 \times 36 \approx 80.57 \text{元/h}$$

### 5. 人工成本 $C_L$

$$\text{人工成本} = \frac{\text{工人月工资}}{\text{月作业时间}} = \frac{9728}{300} \approx 32.43 \text{元/h}$$

## 4.4 装卸设备数量优化模型计算

### 4.4.1 参数计算

#### 1. 平均到达率 $\lambda$

##### (1) 货 1 线区域

根据表 2-2 可知，货 1 线区域的日作业量为 3721.1 吨，则每小时的平均作业量为 372.11 吨。该线路运送的化工品都为成件品，运输的列车一般为 10 节车皮，

铁路规定一车皮标准载重为 60 吨，则  $\lambda = \frac{372.11}{60 \times 10} \approx 0.62$  列/h；

##### (2) 货 2 线区域

货 2 线区域的日作业量为 1594.52 吨，则每小时的平均作业量为 159.45 吨。该线路运送的化工品及少量军工品都为成件品，运输的列车一般为 10 节车皮，铁路

规定一车皮标准载重为 60 吨，则  $\lambda = \frac{159.45}{60 \times 10} \approx 0.44$  列/h。

#### 2. 平均服务率 $\mu$

##### (1) 货 1 线区域

目前，货 1 线区域内现有 3 台 6 吨内燃叉车，3 台叉车的日作业量为 1817.31 吨，则每小时每台叉车的作业量为 60.58 吨。则  $\mu = \frac{60.58}{60 \times 10} \approx 0.10$  列/h；

##### (2) 货 2 线区域

货 2 线区域内现有 4 台 3 吨内燃叉车，4 台叉车的日作业量为 1774.65 吨，则每小时每台叉车的作业量为 44.37 吨。则  $\mu = \frac{44.37}{60 \times 10} \approx 0.07$  列/h。

#### 3. 叉车单位时间的服务成本 $C_S$

表 4-2 为前文根据现有数据及公式 (3-1) 至公式 (3-5) 分别计算出货 1 线区域和货 2 线区域内叉车单位时间内的各项成本及服务成本总和。

表 4-2 每台叉车的服务成本

作业区域	货 1 线	货 2 线
折旧成本 $C_D$ (元/h)	4.86	2.96
维修成本 $C_M$ (元/h)	8.01	7.96
保险成本 $C_I$ (元/h)	0.51	0.31
燃料成本 $C_E$ (元/h)	224.55	80.57
人工成本 $C_L$ (元/h)	32.43	32.43
服务成本 $C_S$ (元/h)	270.36	124.23

#### 4. 到发列车逗留时间成本 $C_W$

根据相关文献的阅读、对 L 铁路货运中心工作人员的咨询以及《铁路局运输主要经济效果手册》中规定可知：一列货运列车每晚 1 分钟，运输成本增加 12.93 元，清算成本增加 12.56 元，运营成本增加 2.86 元，总计到发列车逗留时间成本  $C_W$  28.35 元/列·min，即 1701 元/列·h。

#### 4.4.2 数量优化计算

##### 1. 货 1 线区域

根据前文排队论确定的参数并运用 MATLAB 程序中进行运算，得到货 1 线区域内叉车数量对总成本的影响情况如图 4-2 所示。

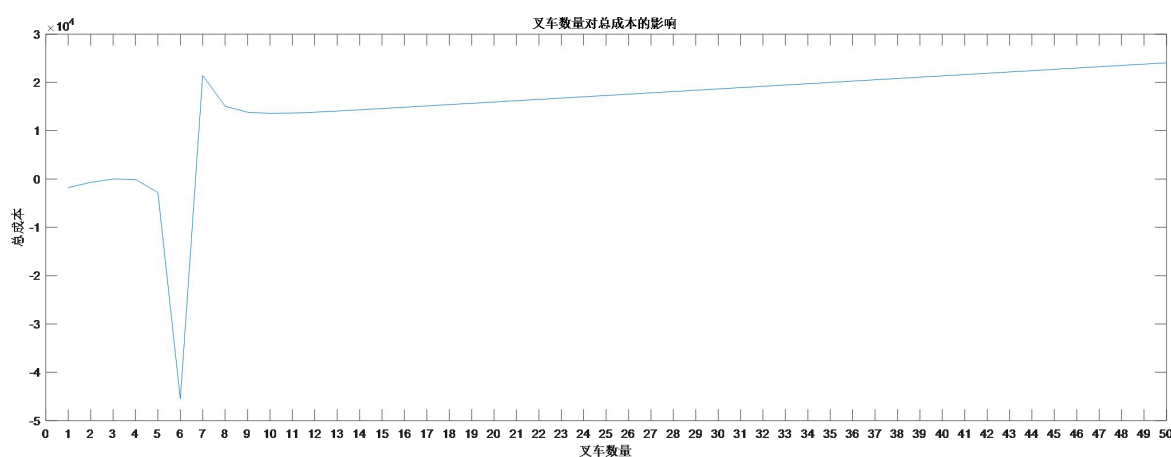


图 4-2 货 1 线区域内的叉车数量对总成本的影响

由图 4-2 可知，货 1 线叉车数  $C$  小于 7 台时，排队系统单位时间内的综合成本都为负数，因此，后续分析可以从 7 台叉车开始。MATLAB 对于货 1 线区域叉车数量的各项优化结果如表 4-3 所示。为了便于统计，除单位时间综合成本取整数外，其他数据结果取小数点后四位。

表 4-3 货 1 线区域叉车数量优化计算

叉车数量 $C$	7	8	9	10	11	12	13
服务强度 $\rho$	0.8857	0.7750	0.6889	0.6200	0.5636	0.5167	0.4769
闲置概率 $P_0$	0.0011	0.0017	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
排队概率 $P_n$	0.1418	0.1099	0.0757	0.0469	0.0291	0.0180	0.0112
平均队长 $L_q$	5.2981	1.3968	0.5039	0.1966	0.0776	0.0301	0.0114
平均等待队长 $L_s$	11.4981	7.5968	6.7039	6.3966	6.2776	6.2301	6.2114

续表 4-3 货 1 线区域叉车数量优化计算

叉车数量 $C$	7	8	9	10	11	12	13
平均等待时间 $W_q$	8.5453	2.2529	0.8128	0.3171	0.1252	0.0486	0.0183
平均逗留时间 $W_s$	18.5453	12.2529	10.8128	10.3171	10.1252	10.0486	10.0183
$L_s(C^*) - L_s(C^* + 1)$	3.9013	0.8929	0.3073	0.1190	0.0475	0.0188	0.0072
$\frac{C_s}{C_w}$	0.1589	0.1589	0.1589	0.1589	0.1589	0.1589	0.1589
$L_s(C^* - 1) - L_s(C^*)$	-39.2231	3.9013	0.8929	0.3073	0.1190	0.0475	0.0188
单位总成本 $z(C^*)$	21451	15085	13837	13584	13652	13842	14080

如表 4-3 得到的结果可知, 当符合 (公式 4-10) 即  $\frac{C_s}{C_w}$  取值在 0.1190 至 0.3073

之间时, 此时货 1 线叉车数量  $C^* = 10$  台。而随着叉车数量  $C$  的增加, 该排队系统单位时间总成本也随之增加, 而列车的等待时间和等待队长都随之减少, 而此时排队系统的单位时间总成本最少为  $Z \approx 13584.20$  元。综上所述, 公铁联运区内货 1 线作业区域叉车最佳配置数量为 10 台 6 吨的内燃叉车。

## 2. 货 2 线区域

根据前文确定的参数和货 2 线现有数据并运用 MATLAB 程序进行运算后得出的货 2 线区域内叉车数量优化结果, 货 2 线区域内叉车数量对总成本的影响情况如图 4-3 所示。

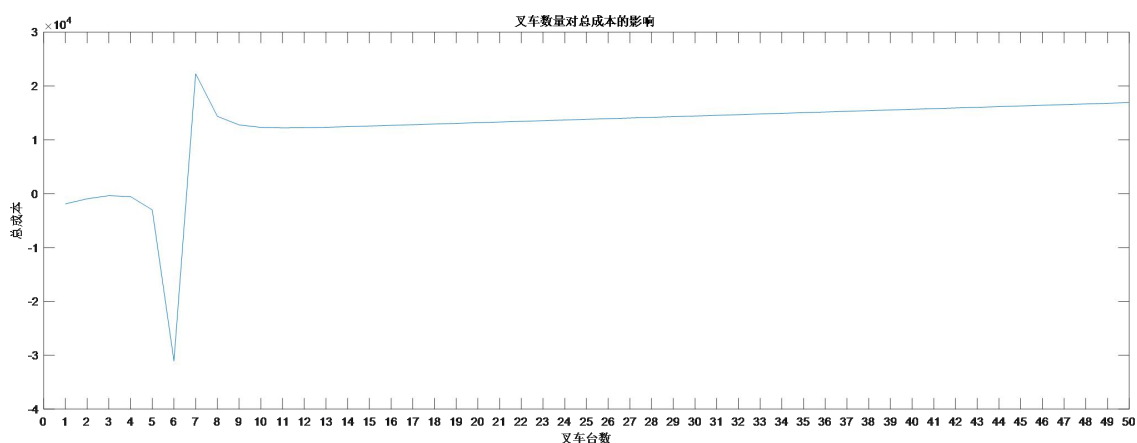


图 4-3 货 2 线区域内的叉车数量对总成本的影响

由图 4-3 可知, 当货 2 线叉车数  $C$  小于 7 台时, 其排队系统内单位时间总成本都为负数, 故在后续研究中从 7 台叉车开始考虑。利用 MATLAB 对于货 2 线区域叉车数量的各项优化结果如表 4-4 所示, 各项数据取值方式与货 1 线相同。

表 4-4 货 2 线区域叉车数量优化计算

叉车数量 $C$	7	8	9	10	11	12	13
服务强度 $\rho$	0.8980	0.7857	0.6984	0.6286	0.5714	0.5238	0.4835
闲置概率 $P_0$	0.0009	0.0015	0.0017	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019
排队概率 $P_n$	0.1433	0.1126	0.0786	0.0494	0.0282	0.0161	0.0092
平均队长 $L_q$	6.2894	1.5672	0.5605	0.2190	0.0870	0.0340	0.0129
平均等待队长 $L_s$	12.5752	7.8529	6.8463	6.5047	6.3727	6.3198	6.2987
平均等待时间 $W_q$	14.2942	3.5619	1.2740	0.4978	0.1976	0.0774	0.0294
平均逗留时间 $W_s$	28.5799	17.8476	15.5597	14.7835	14.4834	14.3631	14.3151
$L_s(C^*) - L_s(C^* + 1)$	4.7222	1.0067	0.3415	0.1321	0.0529	0.0211	0.0082
$\frac{C_s}{C_w}$	0.0730	0.0730	0.0730	0.0730	0.0730	0.0730	0.0730
$L_s(C^* - 1) - L_s(C^*)$	-31.2796	4.7222	1.0067	0.3415	0.1321	0.0529	0.0211
单位总成本 $z(C^*)$	22260	14352	12764	12307	12206	12241	12329

如表 4-4 得到的结果可知，当符合公式 (4-10) 即  $\frac{C_s}{C_w}$  取值在 0.0529 至 0.1321 之间时，此时货 2 线叉车数量  $C^* = 11$  台。而随着叉车数量  $C$  的增加，该排队系统总成本也随之增加，而列车的排队时间和队长明显减少，而此时排队系统的单位时间总成本最少的  $Z \approx 12206.46$  元。综上所述，公铁联运区内货 2 线作业区域叉车最佳配置数量为 11 台 3 吨的内燃叉车。

#### 4.4.3 两种方法成本比较分析

##### 1. 传统计算方法叉车数量实际需求

由于传统计算方法只考虑到铁路货运中心的吞吐量来确定叉车数量，只考虑到了整个物流系统的平均处理时间，默认到发列车不存在等待情况，货运列车到达货运线后就叉车可以直接对货物进行装卸作业。这种方法忽略了系统中的瓶颈，如果系统内存在瓶颈，那么就会存在一些列车到达后需要等待更长的时间才能进行装卸作业，因此计算出的叉车数量可能要低于实际需要的数量。

##### 2. 改进后叉车数量明显增加

结合表 2-2 可以看出，当公铁联运区仅考虑年吞吐量并结合传统计算方法对叉车进行配置时，货 1 线的理论叉车数为 7 台 6t 内燃叉车，货 2 线的理论叉车数为 4 台 3t 内燃叉车。而通过表 4-2 和表 4-4 可以得到，当该功能区考虑到发列车的等待时间并运用排队论对其进行规划求解后，货 1 线的理论叉车数为 10 台 6t 内燃叉车，货 2 线的理论叉车数为 11 台 3t 的内燃叉车，各货运线内叉车数量明显增加。

### 3. 逗留成本在总成本中占比大

而排队论作为一种用于分析排队系统的优化算法，通过运用可以找到物流系统中的瓶颈并计算出到发列车的等待时间和逗留时间，从而更准确地确定所需的叉车数量。而根据前文可知，该排队系统到发列车的逗留损失成本为 1701 元/列·h，而货 1 线的叉车服务成本为 270.36 元/台·h，货 2 线仅为 124.23 元/台·h。表 4-5 为到发列车逗留时间成本与规划后增加的装卸设备服务成本对比。

表 4-5 发列车逗留时间成本与规划后增加的装卸设备服务成本对比

作业区域	货 1 线	货 2 线
到发列车逗留时间成本 $C_W$ (元/列·h)	1701	1701
排队论规划后增加叉车的服务成本 $C_S$ (元/h)	1892.52	869.61

由表 4-5 可知，货 1 线和货 2 线增加叉车数量后，货 1 线作业区域内叉车的服务成本略大于一列货运列车逗留时间成本，货 2 线作业区域内一列货运列车逗留时间成本仍然远大于增加的叉车的服务成本。因此，可以得出列车的逗留损失成本在总成本中的占比较大，在进行成本核算时必须考虑到。

通过表 4-2 和表 4-4 运用排队论对叉车数量进行规划的情况来看，随着装卸设备的数量增加，到发列车的排队时间和队长都相应减少，系统整体的运行效率提升。从长远角度来看，单纯增加设备数量并不是可行方法，需要基于到发列车的排队情况对相关功能区内的装卸设备数量进行优化。

## 第 5 章 总结与展望

### 5.1 总结

本文主要以 L 铁路货运中心公铁联运区实例为背景，通过阅读总结国内外物流中心及铁路货运中心装卸设备优化配置的文献，对该公铁联运区内装卸设备数量优化配置进行研究：

1. 分析 L 铁路货运中心公铁联运区概况，装卸设备作业流程及数量配置现状等；
2. 依据《铁路物流中心建设标准》计算两条货运线装卸设备需求数量和作业量，得出当前装卸设备数量与作业能力存在缺口；
3. 从年吞吐量、列车到发时间、装卸设备类型和装卸设备成本四个方面分析影响装卸设备配置的因素。对装卸设备服务成本和到发列车逗留时间成本构成及计算方法进行研究；
4. 建立排队优化模型和成本优化模型，计算出到发列车等待队长和逗留时间成本、装卸设备服务成本；
5. 通过分析两条货运线优化后装卸设备各项参数，得出两条货运线装卸设备最优数量，与依据《铁路物流中心设计规范》计算方法下装卸设备数量进行对比。

### 5.2 展望

尽管作者就国内外关于铁路货运中心装卸设备优化配置的相关理论、方法和模型都进行了阅读、总结和探讨，对于 L 铁路货运中心也进行了实地调查，获得了较多的装卸方面的经验和数据。但由于作者认识和能力的局限性，本文的研究较为浅薄，在以下几个方面有待进一步研究：

1. 由于 L 铁路货运中心公铁联运区的定位较为特殊，才出现了单一类型的装卸设备进行装卸作业。但在铁路货运中心实际的装卸作业中，往往都是多类型的装卸设备配合作业。而本文建立的排队系统内装卸设备相互独立，因此，可能需在此基础上考虑多类型装卸设备共同合作等情况；
2. 本文仅针对公铁联运区装卸设备的数量进行计算配置，仅考虑了该区域的作业需求，未从整个铁路货运中心的运量和装卸需求出发；
3. 对于相关文献和模型的理解不够准确，考虑到的条件过于理想化，仅能简化模型再进行求解，下一步还需根据实际工作需求增加模型的复杂程度。

## 参考文献

- [1]任康. 铁路物流中心装卸设备配置与布局优化研究[D].西南交通大学,2021.
- [2]李焕. GC 钢铁物流园装卸设备与停车位数量配置优化研究[D].安徽工业大学,2020.
- [3]刘代平, 徐菱. 钢铁物流园区装卸搬运设备优化配置研究[J]. 物流技术,2013,32(23):237-240.
- [4]黄大明, 文冰, 蒋顺梅. 基于排队论的港口运输装卸服务系统优化方法研究[J]. 广西大学学报(自然科学版),2009,34(06):780-786.
- [5]宋伯慧, 王耀球. 装卸搬运设备配置优化研究[J]. 物流技术,2006,(07):145-147.
- [6]唐昊. A 场站的双层集装箱列车装卸作业资源配置研究[D].北京交通大学,2020.
- [7]宫磊. 物流中心装卸搬运设备保有量研究[D].大连海事大学,2011.
- [8]姚瑶. 港站铁水联运集装箱装卸搬运设备配置合理量研究[D].西南交通大学,2012.
- [9]魏波, 陈进军. 基于整数规划的装卸搬运设备配置数量优化研究[J]. 价值工程,2016,35(03):222-223.
- [10]刘致宁. 公铁联运货运枢纽集装箱作业系统仿真研究[D].吉林大学,2022.
- [11]李威. 大型干散货码头装卸工艺系统设备配置仿真优化研究[D].大连理工大学,2022.
- [12]Daniel J.Fonseca, Gopal Uppal,Timothy J. Greene. A knowledge-based system for conveyor equipment selection[J].Expert Systems with Applications, 2004, 26 (4): 615-623.
- [13]Gao H, Liu J. Research on optimal equipment allocation in container terminal[C].2011 International Conference on E-Business and E-Government (ICEE). IEEE, 2011: 1-5.
- [14]孔亮. 基于排队过程的重载铁路装卸机械合理配置研究[J]. 交通科技与经济,2016,18(01):42-45+55.
- [15]罗兴华. 南关岭铁路物流中心仓储设施配置及仿真分析[D].大连交通大学,2017.
- [16]张琼. 考虑集装箱到发时间窗的铁路集装箱中心站作业优化研究[D].北京交通大学,2021.
- [17]叶鸳. 基于公铁联运的集装箱装卸设备配置与集卡衔接组织研究[D].北京交通大学,2012.

[18]Fedtke S, Boysen N. A comparison of different container sorting systems in modern rail-rail transshipment yards[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 82: 63-87.

## 致 谢

行文至此，感触颇多。四年本科生涯终将结束，回首求学之路，孤独的、迷茫的亦或是痛苦的日子都有过，但更多的还是老师们给予我的帮助、父母和朋友们给予我的支持与鼓励以及自身的勇敢又不服输。

感谢我的指导老师——杨华老师，从选题、开题再到论文定稿整个过程能够顺利完成，正是杨老师对我的倾囊相授和悉心指导。在我申请学校时给予我的帮助、对于我的关心和爱护我都铭记于心。感谢每一位物流管理专业的老师，四年的谆谆教导才使得我对于这个专业有了深入的认识并让我爱上这个专业，选择继续在这个方向深造。各位老师对我的指导与帮助我难以言谢。祝福各位老师身体健康、工作顺利、桃李满天下。

感谢我的父母，漫漫求学路十几载，是他们辛苦工作供我成长，见识到了外面多彩的世界甚至走向地球的另一端；是他们参与我人生的每个关键时刻，无条件支持我的任何决定，让我勇敢追梦。养育之恩娟娟如流水，无以为报。唯愿我的父母身体健康，我也会更加努力，早日成为他们的依靠。

感谢我的朋友们，无论何时何地，总是给予我关心、鼓励还有陪伴。朋友们对我最大的祝福永远都是“顺利毕业”，如今梦想已然成真。

最后，我还要感谢我自己。那个“心高气傲”发誓要走出来看看世界模样的自己；那个拥有从头再来勇气、永不服输的自己。回想大学四年，因为疫情和自身原因，大学生活并不算精彩，也留下了许多遗憾。但遗憾总是贯穿人生，我无愧于心。

新慧路 2 号的故事到此结束，希望在欧亚大陆的另一端，我可以书写更加精彩的故事。往事暗沉不可追，来日之路光明灿烂。

## 附 录

MATLAB 运行源代码:

```
clear
clc
for C = 1:12
    lamda = 1.38;% (1) 平均到达率
    mu = 0.36;% (2) 平均服务率
    rho = lamda/(C*mu);% (3) 服务强度
    temp1 = 0;

    for i=0:C-1
        temp1 = temp1 + 1/factorial(i)*(lamda/mu).^i;
    end

    P0 = (temp1+1/(factorial(C)*(1-rho)))*(lamda/mu).^C.^(-1);%概率 P_0

    Lq = (C*rho).^C*rho/(factorial(C)*(1-rho).^2)*P0;% (6) 平均队长

    Ls = Lq+lamda/mu;% (7) 平均等待队长

    Wq = Lq/lamda;% (8) 平均等待时间
    Ws = Ls/lamda;% (9) 平均逗留时间
    Cw = 80;Cs = 93.3;
    cost(C) = Cs*C+Cw*Ls;
end
[min_value,min_C] = min(cost(8:end));
min_C = min_C+8-1;% min_C 就是达到成本极小值的 C
%通过确定好的 C, 来确定 Pn 先暂定 n 为 1 到 30
for n = 1:min_C
    Pn(n) = 1/factorial(n)*(lamda/mu).^n*P0;
```

end

for n = min\_C+1:30

Pn(n) = 1/(factorial(min\_C)\*min\_C.^(n-min\_C))\*(lamda/mu).^n\*P0;%概率

end