

## 摘 要

机车周转图系统是列车运行图系统的重要组成部分，是全路列车运行提供动力组织工作的基础。随着我国经济快速发展，对铁路运输需求越来越大，传统手工编制机车周转图的方法由于质量差和效率低等缺点，已经逐步被计算机编制手段所取代，但现有机车周转图系统在与列车运行图系统兼容和机车周转图自动编制方面存在严重不足。因此，不断完善和优化机车周转图系统，对于提高业务的标准化水平，加速机车周转，意义深远。

论文重点讨论了机车周转图自动编制的模型和算法，利用基于 MTSP 算法、模拟退火算法、蚂蚁算法实现了肩回交路的自动编制，并采用启发式算法实现了半循环机车交路的自动编制。论文还从软件工程学的角度，对系统进行分析设计，并使用 Visual C++ 开发平台完成系统实现。

论文组织如下：第一章主要介绍了当前国内外对机车周转图系统的研究和应用现状。第二章明确需求，形成机车周转图系统方案。第三章分析系统目标，进行功能分析和数据库结构设计等。第四章对影响机车周转图编制的各种因素进行了分析。第五章结合人工智能和神经网络的理论，针对肩回交路，重点讨论了基于 MTSP 算法、模拟退火算法、蚂蚁算法的实现。第六章进一步对相关模型与算法深入研究，提出半循环机车交路的编制模型与算法。第七章介绍了系统开发中主要难点的解决方法，以及系统的实现。

最后总结全文，并指出系统在许多方面存在的尚待改进的之处。

关键词：机车周转图；系统分析与设计；模型和算法；VC++

## Abstract

Locomotive working diagram system is the important part of the train operating-diagram system, it is the foundation to offer motive force for organization work of the train operation. With the rapid development of national economic, the demand of railway transportation is growing more and more. It is urgent to construct a locomotive working diagram system based on train operating-diagram drawing system in order that train operating-diagram drawing system can play more important role and that information sharing technology brought by computer can be fully utilized, because the quality of traditional operating-diagram is poor and its efficiency is low.

The paper discusses more on the model and arithmetic of locomotive working diagram system. With retrospect arithmetic, simulating anneal arithmetic, ant arithmetic and so on, the system carrying out the locomotive working diagram automatically. The system is implemented with VC++.

The paper is organized as follows: Chapter one introduces the current research situation of the locomotive working system in our country, and the research content. Chapter two introduces some rudimentary theory. Chapter three gives the system requirement analysis, function analysis and database structure introduction, Chapter four analysis for the factors impacted Locomotive working diagram, Chapter five with artificial intelligence and NN, discuss more on retrospect arithmetic, simulating anneal arithmetic, ant arithmetic to shoulder-circuit locomotive working diagram. Chapter six introduces the solution methods of the difficulties in developing semi-circulating locomotive working diagram. Finally, the full text is summarized, and relevant system interface, and the work done and the improvement needed are pointed out.

**Keywords:** Locomotive working diagram system; Systems analysis and design; model and algorithm; VC++

---

# 第 1 章 引言

## 1.1 课题的背景

随着国民经济的快速发展,我国运输需求居高不下,铁道运能持续紧张。针对目前铁路运输能力不足、技术装备水平不高、生产力布局不够合理、客货服务质量急需提高等现状,铁道部积极推行运输组织方式改革,推行机车运转制发展长交路、乘务员实行轮乘制、车站布局调整等方案。机车价格十分昂贵,如何通过编制优化的机车周转图来合理安排机车的使用、提高铁路竞争力,已经成为铁路运输组织和管理中一个重要问题。

列车运行图是列车运行组织核心,机车周转图系统是计算机编制列车运行图重要子系统之一,它与列车运行图编制系统密不可分,是铁路运输信息化的一个重要组成部分。机车周转图与列车运行图是铁路组织列车运行的基础性文件和铁路运输工作的综合计划。机车周转图与列车运行图的关系主要体现在两个方面:一方面,列车运行图是机车周转图编制的基础,机车周转图是在已知列车运行图的机车上编制完成的。另一方面,机车周转图可作为衡量列车运行图好坏的技术指标。

在城市交通、航空领域和调度问题中,给定汽车、飞机的运行线路和运行时间等条件后,其运输组织也存在着周转问题,且一直得到广泛重视。该问题是大规模的组组合优化问题,主要实现资源的分配的优化,在完成给定任务的前提下,占用资源最省。在交通领域,周转计划占用资源最省,就意味着使用牵引设备台数最少,设备周转加快。

长期以来,大多数铁路机务人员凭借经验来勾画机车周转图,图形质量差别很大。而且由于所要解决的问题错综复杂,每次编图往往要有数百人次参加,历时数月之久。同时,因为编图费工费时,又不得不减少编图次数,延长执行时间,更谈不到从总体上进行优化。随着市场不断扩大,运行图调整也更为频繁,手工编制机车周转图已不适应客观需要,逐步被计算机编制手段所取代。

现有机车周转图系统,用计算机代替传统的纸、笔和橡皮,实现图形化界面人机交互,提高了机务人员编图的效率。但研究中发现,系统瓶颈问题主要包括两方面:一方面,计算机编制机车周转图与列车运行图系统基础数

据资料的不能共享,包括列车运行时刻表、车次、车站等数据。另一方面,机车周转图的自动编制算法不够灵活。因此,不断完善和优化机车周转图系统、完善软件功能、提供友好的交互界面,利用先进的计算机技术和数学手段,可提供比较可行的优化方案,不断寻找自动编制合理机车周转图的方法,对于节省机车、提高机车利用率,具有重要的理论和现实意义。

## 1.2 国内外动态

当今国外铁路技术发展日新月异,虽然各国铁路列车运行图特点各有千秋,但其共同的目的在于提高机车利用率、减少机车使用数量,从而降低运营成本。要达到以上目的需要各国铁路运输相关部门十分重视机车的优化运用问题。

由于日本的铁路系统发展得比较早,而且铁路行业的相关技术比较先进,对使用计算机编制列车运行图的研究进行得比较早。日本新干线采用行车管理系统 COSMOS 主要包括运行图运用计划、车辆运用计划、乘务员运用计划、检修计划、车辆分配计划、计划传达、实绩统计管理等功能,实现了全面计算机管理,成为现代铁路的成功典范。

法国在吸收日本经验基础上,结合本国技术优势,采用长短交路相结合、多次循环开行的方式提高机车使用效率。德国通过优化列车运行图保证运行线的良好接续来提高机车使用效率。

西班牙、意大利、瑞典、美国、韩国等国家和中国台北等地区,受到日、法、德等国家的影响,鉴于国内技术水平和经济原因,走自主研发或以自主研发为主的道路比较困难,均选择了关键技术以引进为主的策略,并辅助以本国的科技开发。

基于我国铁路客流量大、列车开行密度大的运输特点,简单地照搬国外的技术,不能适应我国铁路运输的需要,不能更好的发挥机车的作用、提高机车的运用效率,需要研究适合我国铁路运输的机车周转图。在如何开发有效的算法来优化机车周转图方面,我国不少专家、学者对此问题进行了深入研究,减轻了人的机械性重复劳动创造了条件。

但是,在现场实际应用中,现有的计算机编制机车周转图系统存在着以下几处不足之处。

第一,现有计算机编制机车周转图系统与计算机编制列车运行图系统相互分离,各系统都是采用不同平台、不同开发工具进行开发的,无法实现信

信息的综合运用。机车周转图是在列车运行图基础上编制的，因此，机车周转图系统需要有关列车运行图的数据，所以建立机车周转图数据库的时候，应包括大量运行图数据资料，包括线路数据资料、车站数据资料、区段线路资料、列车数据资料、机务段数据资料、机车资料等。但为保证机车周转图系统对列车运行线数据的修改不会影响运行图系统基础数据，机车周转图系统与列车运行图系统应采用两个独立数据库，运输编图人员编制完成运行图后，机务数据库提取运行图数据资料，存入机车周转图数据库，再对机车周转图数据库进行操作。

第二，在机车周转图自动编制算法方面，问题已经得到广泛研究，在文献<sup>[10] [11] [12] [13] [14] [15] [19]</sup>介绍了机车周转图自动编制的算法，但研究工作还不全面。文献<sup>[12]</sup>根据机车周转问题的特殊性，指出对于成对运行图往往可以采用“紧凑指派”规则求解，提出了时间界为 $O(m+n)$ 的线性配置算法，可以迅速求出不成对或成对运行图的机车周转图。文献<sup>[13]</sup>通过构造元素表的形式及对角线平移的方法，寻找最优机车周转图。这些算法对于实现成对和不成对列车运行图机车周转图的自动编制，有一定的参考价值。但考虑交路中车站数不确定，机车牵引区段不固定情况等，这些问题还需要进一步研究，而且针对半循环交路，目前尚未有可利用的算法，机务人员一般凭经验手工编制半循环机车交路。

综上所述，计算机编制机车周转图系统还处于不成熟阶段，迫切需要投入力量进行认真、细致的研究，建立一个功能更为完善、使用更为方便、自动化和智能化程度更高的计算机编制机车周转图软件，以满足当前快速发展的铁路事业的需要。

### 1.3 本文的主要工作

机车周转图系统围绕基本列车运行计划规定的列车去向和数量，合理安排机车的运用，在保证完成运输任务的前提下，实现机车运用的安全、高效、均衡和有序。系统主要实现对机车周转图进行自动编制和优化，为机车周转图调整提供基于图形化界面的人机交互方式，对机车使用情况进行统计分析，进一步丰富系统功能，提高系统辅助决策水平。

本文主要由以下几个部分组成：

第一章：阐述本文研究意义和国内外现状，介绍论文的主要工作；

第二章：对机车周转图系统进行业务分析，在此基础上，进行系统需求

分析；

第三章：分析和设计机车周转图系统功能，对系统数据库进行了详细的设计；

第四章：详细分析影响机车周转图编制问题的主要因素；

第五章，结合人工智能和神经网络的理论，针对肩回交路的编制问题，重点讨论了基于 MTSP 算法、模拟退火算法、蚂蚁算法的实现。

第六章：进一步对相关模型与算法深入研究，提出半循环机车交路的编制模型与算法。

第七章：介绍系统的关键技术和系统实现。

结论：总结了本文所做的工作，并对机车周转图系统未来进行展望。

---

## 第 2 章 需求分析

从本章起进入机车周转图系统的分析、设计和实现阶段。本章中的需求分析从业务需求出发，分析铁路各部门对机车周转图系统的功能需求，再从软件设计的角度对软件需要作了更为细化的系统需求分析。本章分两部分进行：第一节对机车周转图系统进行业务分析，第二节对机车周转图系统进行需求分析。

### 2.1 业务分析

#### 2.1.1 业务需求分析

对系统进行了业务需求分析和业务流程分析并得到用户的认可，对项目进行系统需求分析是极其重要的。业务分析是能体现整个系统的灵魂的文档，将用户的需求从具体到抽象的一个过程，并制定编码人员可实施的规范和标准。

业务分析主要包括：基础数据管理及维护、机车周转图自动编制、图形调整、机车周转图的绘制与输出、机车周转图的统计与分析、机车周转图的上报与下达、系统管理等。

机车周转图系统根据获取的列车运行图等相关信息，结合机车运用情况以及需要全面考虑的一些参数，利用满足所有参数值要求的优化算法，从而自动编制机车周转图。在列车运行出现调整等情况下，根据变更信息，结合参数条件的要求，自动编制机车使用的变更计划。此外，机车周转图系统具备对机车周转图的历史信息进行汇总统计的功能，并及时将机车周转图数据进行上报和下达。

#### 2.1.2 业务流程图

业务流程图是在分析系统的任务的前提下提出来的，它既描述了一个工作涉及的组织单位和参与人员的信息，又描述了工作的详细过程，有助于系

---

统的设计者更好的理解整个系统，方便其分析设计工作。

对计算机编制机车周转图来说，由于它与列车运行图的紧密关系，一般需要经过以下几个步骤：

第一步：连接数据库。通过与计算机列车运行图系统的数据接口获取列车运行图方案中列车运行图相关数据（列车运行时刻表）和机车周转图系统的机务方面的数据（机务规则），并且按照需要进行筛选。

第二步：建立交路信息。通过人机界面获得编图人员对交路信息的设置情况，包括选择需要编制机车交路的牵引区段、勾画机车交路的方式（肩回式、半循环、环行最短折返时间、机务本段、折返段和中间站等）。

第三步：自动编制机车周转图。根据已经获取的编图数据和编图人员要求的编图牵引区段，系统自动编制机车台数最少的机车周转图。

第四步：检查图形合理性。机务编图人员如果对上述的机车周转方案（通过机车周转图或指标统计判断）满意，则进行统计工作，进行第九步。否则，进行下一步。

第五步：人机交互。系统通过人机界面为机务编图人员提供修改机车周转图的功能，同时根据机务编图人员的修改更新显示出来的机车周转图，并将修改结果保存起来。

第六步：生成运行图修改方案。机务编图人员判断是否需要运输编图人员提供修改列车运行图，如果不需要修改列车运行图，则进行统计工作，进行第九步。否则进行下一步。

第七步：反馈运行图修改方案。机务编图人员得到对列车的修改意见，并将修改意见转达给运输编图人员；

第八步：修改运行图。如果运输编图人员根据机务编图人员的意见修改列车运行图，重新进入第一步编制机车周转图。

第九步：打印输出。将机车周转图，在计算机屏幕上显示出来，支持打印功能，生成 EXCEL 统计报表。



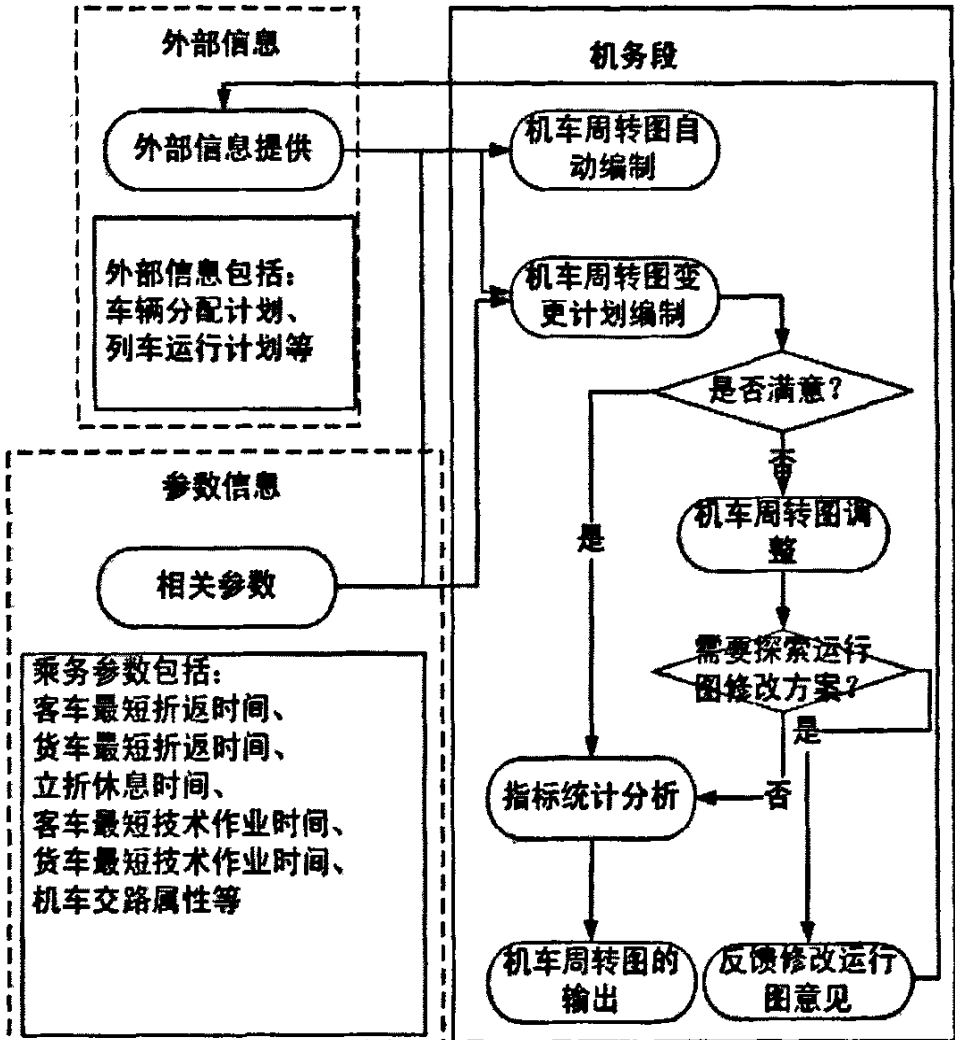


图 2-1 机车周转图业务流程图

## 2.2 系统需求分析

需求分析是软件生存期中重要的一步，也是决定性的一步。需求分析是介于系统分析和软件设计阶段之间的桥梁。一方面，需求分析以系统规格说明和项目规划作为分析活动的基本出发点，并从软件角度对它们进行检查与调整；另一方面，需求规格说明又是软件设计、实现、测试直至维护的主要基础。良好的分析活动有助于避免或尽早剔除早期错误，从而提高软件生产率，降低开发成本，改进软件质量。

系统结合我国列车运行图编制的特点，运用现代优化算法对机车周转图

进行优化, 实现计算机自动编制、机车周转图图形绘制、相关评价指标输出等功能, 主要还应满足以下用户需求:

### 1. 生成各类机车周转图

机车周转图分为: 基本机车周转图、分号机车周转图(独立分号及一、二、三分号)、旬间记名式机车周转图、日计划机车周转图, 其中基本机车周转图又包括客车机车周转图、货车机车周转图、客货混编机车周转图。

### 2. 基础数据管理功能

通过该功能可以对当前数据库中所保存的基础数据进行增、删、改、查询等相关的操作, 使系统中基础数据可以直接批量地输入或修改。基础数据包括周转图、交路、区段、区段车站、关联车站、车站车次、区段车次类别、机务段、列车时刻表等相关信息。

#### (1) 数据库兼容

要求软件数据库具有相当强兼容能力, 对于各种运行图编制软件, 生成数据库, 均可读取运行图相关文件, 克服了手工输入运行图数据的繁重工作。

#### (2) 机务数据库与列车运行图数据库分离

机务数据库与列车运行图数据库分别操作与管理。每次机务人员调整运行图数据只影响机务数据库中列车运行图数据, 而运行图数据库中列车运行图数据不变。

#### (3) 机车数据管理

按照机车分类定义机车属性, 并实现机车统一管理和分配, 记录机车使用日志。

### 3. 自动提取列车运行线

由于运行图中编有大量各种类型的车次, 而在编制机车周转图时, 有时按客、货车要分类进行编制, 要求可以在通过设定参数情况下, 自动提取参与交路编制的相关车次信息。

### 4. 实现灵活的机车周转图自动编制

机车周转图系统具备车辆运用计划、列车运用计划等相关信息的掌握, 结合系统获取到的车辆运用计划、列车运用计划信息, 根据机车的运用情况以及考虑的参数(包括立折休息时间、客车最短技术工作时间、货车最短技术工作时间、客车最短折返时间、货车最短折返时间等), 得到满足所有参数值要求的优化算法, 根据算法, 系统自动编制机车周转图。根据实际需要, 可实现采用人工参与和自动勾画相结合的方法。

### 5. 实现各种运转制的机车周转图的编制

由于铁路路网是一个非常复杂的图，铁路部门根据实际情况定义了多种的交路方式，包括：单肩回式、双肩回式、半循环式、循环式、环形等，各种运转制严格规定了机车的使用方式，主要区别在于机车经过机务段时是否检修频率。实际应用中现场因素较多，要求探讨每一种运转制的实现方法和使用范围等，并实现肩回式和半循环机车交路的自动编制。

### 6. 提供友好的图形化人机交互界面

对于机车周转图的图形操作，主要是在编制机车周转图和绘制机车周转图的相关操作，包括以下几个类型的操作：

(1) 图形系统的常规操作，包括：放大、缩小、局部放大、满屏显示、图形漫游、刷新、字体放大、字体缩小。

(2) 图形修改操作，移动运行线、机交线、车站线、标注、待避线，待避线设定与取消，车站显示或隐藏，车站切分与否，车站线是采用双线或单线显示。

(3) 修改内部数据操作，包括：添加、删除、修改运行线和机交线，相关交路统计信息修改。

(4) 所有涉及内部数据变化的撤销与恢复操作。

### 7. 图形的显示

在同一个图形中，可同时显示多个交路图，也可根据情况单独显示或合并显示机车周转图。

### 8. 提供多种绘图输出方式

编图员在调图视图中编制出的图形不适合直接输出，绘图视图中提供完善的图形操作：包括运行线移动、机交线移动、字体大小调整、框架调整、框架表头内容修改、添加图形附加信息、以及输出设备的选择，在绘图视图中经过调整后输出标准、简洁、清楚的机车周转图。

### 9. 提供完善的指标统计功能

指标统计包括客（货）机车走行公里、使用台数、全周转时间（包括纯运行、中间站停留及机车在自外段、站停留时间）、日车公里、旅行速度、技术速度、速度系数、机车使用系数、超劳统计等技术指标，生成机车周转图指标统计 48 项报表、机车交路统计报表、超劳报表等。支持统计指标 EXCEL 报表生成、浏览、打印输出等。

### 10. 统计指标上报与合并功能

---

铁路机务部门指标首先是机务段对每个交路的统计指标进行合并，形成机务段统计结果，然后上报铁路局。铁路局将统计结果上报铁道部，铁道部合并各路局的统计结果最终形成全路报表，提供给其他部门使用。要求能提供各级报表生成与合并功能。

#### 11. 提供数据的合理性检查和匹配检查功能

检查因人为原因而出现编图内容不正确。包括：列车点单分析，车次上下行检查，机车周转图分析，浏览列车点单、车站到发车次、浏览中间站停。

---

## 第3章 总体设计

在前面一章里，我们已经对系统进行了详细的需求分析。本章将主要从功能设计和数据库设计的角度对系统作进一步的设计。

### 3.1 系统设计目标、原则

#### 3.1.1 系统设计目标

系统设计目标是为铁路机务部门提供一个使用方便、功能完善、维护方便的机车周转图系统。同时考虑到当前我国铁路信息化水平正处于快速发展阶段，系统设计时应充分考虑系统的扩展性，尽量提高系统结构的独立性以及功能模块化以方便系统功能的扩展。系统功能的设置，既要能提供方便、快捷的数据读取、处理手段和科学的数据存储方法，提高编制计划的整体科学水平和效率，实现基础设施性能的最优化运用，建成适应国情路情、技术先进、功能完善、可行方案优化、结构合理、安全可靠的系统。具体如下：

- 系统实现包括基础数据管理、机车周转图自动编制、基于图形化人机调整、机车周转图绘图、指标分析与统计、合并与上报、系统管理等功能。
- 软件具有开放性、可扩展性和可维护性。
- 软件具备定时保存当前编图的数据，并且提供系统故障数据恢复功能，确保系统在出现问题后，可自动恢复故障前编辑状态。
- 采用直观清晰、形象化的图形、数据形式，友好的人机交互界面，丰富的提示信息，操作简单方便、灵活。

#### 3.1.2 系统设计原则

为了确保系统目标的全面实现，在系统设计过程中，应遵循下列原则：

##### 1. 确保系统的安全性和可靠性

系统控制资源分配，以人为本，动态控制，与环境相结合。在给定资源

的前提下,可以实现用户的要求,并且安排出合理可用的资源调配方式是开发的基本目标。

### 2. 坚持标准化、规范化

本系统规模大、技术复杂、难度大。系统研制开发应建立在相关规范和标准的基础之上,制定系统数据格式标准,为系统的应用创造条件。

### 3. 操作简单、风格一致

采用直观清晰、形象化的图形、数据形式,友好的人机交互界面,丰富的提示信息,使操作简单方便、灵活。各个部分再用统一风格设计与显示,给用户提供一个一致操作平台。

### 4. 软件具有开放性、可扩展性和可维护性

采用模块化设计,并尽可能做到功能模块化。一个模块的修改不会引起其它模块的变动或较大的变动,维护方便,模块间界面信息简单,接口关系清楚,各相关模块既相对独立,又有机统一。另一方面,采用参数化设计,将各种因素化为可选参数进行编图。

## 3.2 系统定位

按照机车周转图编制日常工作中的作业程序,对系统进行规划设计,其目的在于建立机车周转图自动编制系统,该系统具备与运行图系统反馈机制,向运行图系统提供相关机车交路中运行线修改意见,并利用运行图的反馈信息来完善机车周转图的编制。同时完成机车运用数据的统计数字计算、机车指标效率的分析,为运输编图人员和机务编图人员编制列车运行图和机车周转图质量提供了一种方便的辅助手段,实现机车周转图编制由手工劳动转为计算机处理,为机务段开展的机车、机务管理等工作提供管理工具和手段。

## 3.3 系统总体方案

机车周转图系统主要涉及基础数据管理子系统、机车周转图自动编制子系统、基于图形化人机调整子系统、机车周转图绘图子系统、指标分析与统计子系统、合并与上报子系统、系统管理等,对于系统所有数据采用全参数化设计。计算机编制机车周转图系统框架如图 3-1:

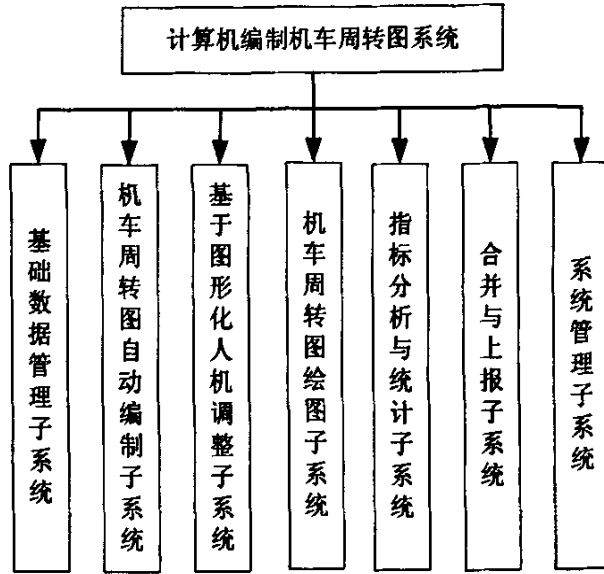


图 3-1 系统的总体方案图

### 3.4 系统流程图

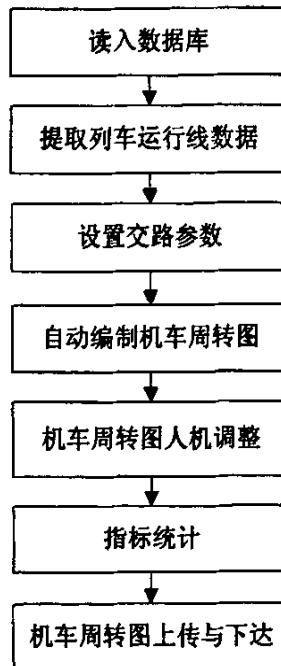


图 3-2 系统操作流程图

### 3.5 系统功能划分

系统功能模块设计的目标是利用图形化工具和辅助决策手段实现计划编制的自动化，并能为铁路运输提供合理经济的机车使用方案，快速高效的生成图形统计指标分析。

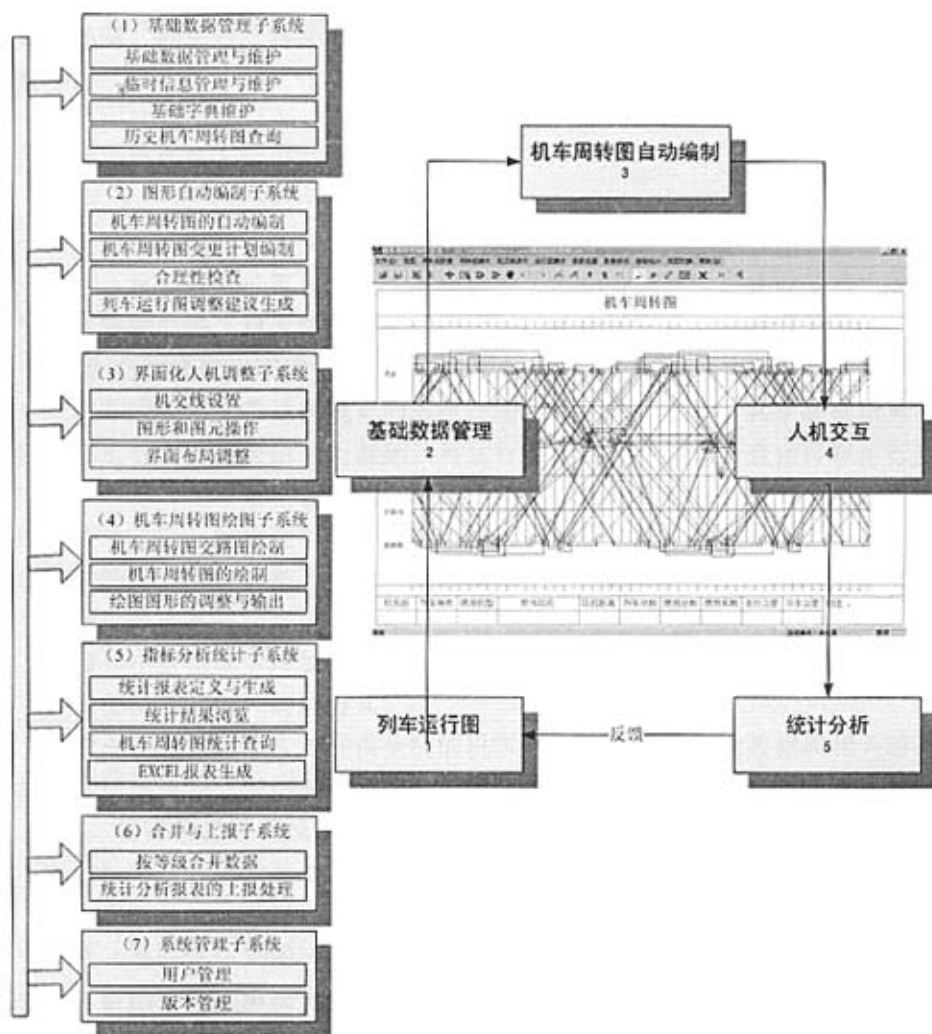


图 3-3 系统功能划分



### 3.5.1 基础数据管理子系统

#### 1. 基础数据管理及维护

包括对应用系统设定的有关基础数据的收集、加工、传输及存储, 机车周转图编制的基本要素的确定。该系统需要的基础数据主要有: 车站、区间、列车经路、列车运行特征参数、列车时刻、交路属性、机务段字典及路局字典等。

##### (1) 基础数据录入

基础数据录入可以分为两个途径:

##### ① 人工录入数据

运输编图人员编制完成列车运行图之后, 手工将列车运行图数据资料抄录下来, 重新输入计算机编制机车周转图交路相关的数据, 在此基础上编制机车周转图交路。对于简单的运行图来讲, 操作较直观, 但费时费力。

##### ② 自动提取列车运行线

机车周转图交路是在现有列车运行图的基础之上编制。共享基础信息, 以列车运行图时刻表信息为基础, 与运行图同步更新共享, 直接读取运行图数据库信息, 读取数据包括列车特征、基本车次时刻信息、车站信息、作业时间要求等等。给定列车运行图, 编图人员设置参数, 在已有的运行图上显示相关的部分列车、部分车站的运行图。

##### (2) 基础数据操作

信息在数据库中增加、删除、修改基本数据的操作, 提供了系统操作机车周转图图形的一种快速方式。

查询模块向运输人员提供全线的机车周转图运用计划的数据和相关信息, 并提供监督、查询的手段。

#### 2. 临时信息管理及维护

##### (1) 临时变动紧急处理

实现与运用(经过、折返、分解)进行快速整合, 具有灵活性, 可适应季节性、临时性时刻的变更。当一辆列车晚点时, 影响后续列车, 通过紧急处理, 给出合理的解决方案。

##### (2) 系统故障恢复维护

系统具备定时保存当前数据, 并且提供系统故障数据恢复功能, 确保系统在出现问题后, 可自动恢复故障前编辑状态。

### 3. 基础字典的维护

包括机务段、路局、机车、交路、周转图、用户等。

### 4. 历史机车周转图的查询

按照日期浏览查询历史数据,支持不同日期机车周转图图形或指标对比。

## 3.5.2 机车周转图自动编制子系统

### 1. 机车周转图的自动编制

系统采用参数化设置,建立算法库。根据已知运行图和编制要求条件,通过计算生成多个可行编图方案,由用户根据统计结果择优。

### 2. 机车周转图变更计划编制

在生成的机车周转图时,若列车车次编码不变及到发时刻排列相对顺序不变,只有个别车次运行线到发时刻更改,且不影响原先机车周转图的匹配结果,则可以在原图的基础上,直接根据变化的运行线自动刷新折返线的长度,而不改变机车周转图的编制结果。

假如某些运行线到发时刻的改变,影响机车周转图的到发匹配结果,返线有重叠,要提示重新勾画交路,则图形也可通过系统刷新得到。

### 3. 合理性检查

检查图形是否完整,交路是否有车次未指派机车牵引,各机车工作任务是否相对均衡,使用机车数是否合理等。

## 3.5.3 图形化界面的人机交互子系统

作为一种专家系统,基于图形化界面的人机交互提供一种决策手段。系统中规定:人机交互操作较自动编制高级。即自动编制图形生成要在人工规定基础上生成,不可与其设置矛盾。

### 1. 机交线设置

#### (1) 手工调整机交线

手工添加、删除机交线、分类显示机交线、显示机交线停时、拖动机交线高度。

#### (2) 机车使用台数的设置

车站中规定必须剩有  $N$  个机车,以待紧急情况调用。车站计划机车使用,

不能超过车站机车总数。

## 2. 图元及图形操作

### (1) 图元操作

放大、缩小、局部放大、全屏显示、图形漫游、刷新、字体放大、字体缩小撤销与恢复操作。

### (2) 图形操作

移动运行线、接续线、车站线、标注、待避线，待避线设定与取消，车站显示或隐藏，车站切分与否，车站线是采用双线或单线显示。

### (3) 内部数据操作

添加、删除、修改运行线和接续线属性，更新相关交路统计信息。

## 3. 界面布局调整

利用图形工具对应用子系统的人机界面布局进行调整。

### 3.5.4 机车周转图绘图子系统

负责已有机车周转图图形的打印输出。系统将计算出来的机车周转图数据转换成铁路惯用的机车周转图，在计算机屏幕上显示出来，支持打印功能。

机车周转图绘图主要包括以下功能模块：

#### 1. 机车周转图交路图绘制

以交路为单位，直接绘制所选机车周转图图形。

#### 2. 机车周转图周转图绘制

以显示图形为对象，绘制其周转图图形，可能包含若干个交路图。

#### 3. 绘图图形调整与输出

机车周转图交路采用图纸形式输出二、十分格机车周转图，对于生成的图形需要采用多种方式输出，可采用的输出方式应该多样化，并且可以选择合适的纸面大小。

此外，绘图视图中提供完善的图形操作：包括运行线移动、接续线移动、字体大小调整、框架调整、框架表头内容修改、添加图形附加信息、以及输出设备的选择，在绘图视图中经过调整后输出标准、简洁、清楚的图形。

### 3.5.5 指标分析统计子系统

生成各种需要格式的机车周转图的图形和表格文件。以图形、表格等形式显示、输出机车周转图相关文件，向有关部门和人员提供全面文档。

指标分析统计子系统主要包括以下功能模块：

#### 1. 统计报表定义与生成

以 EXECL 形式输出报表，表头和行数列表均参数化设置。

(1) 以交路为单位，其中多个交路同时统计，生成机务段或路局统计报表。

#### (2) 统计机车周转图周转图

选择交路的一个中间车站，可把图形分开来统计指标。这种统计方法与交路为单位统计并存，切换方便。

#### (3) 统计报表汇总与合并

#### 2. 统计结果浏览

浏览统计结果生成的报表内容，以 EXECL 界面形式打开。

#### 3. 机车周转图统计查询

对图形中各种约束条件进行检查，如机车数量是否可以接受，指标数据是否有效，交路是否全部指派机车等。

#### 4. EXCEL 报表生成

指标统计包括以下报表：

- (1) 列车运行数据查询分析
- (2) 车次上下行对比查询分析
- (3) 机车折返交路查询分析
- (4) 列车在站到开时刻查询分析
- (5) 超劳统计
- (6) 图面机车运用数据统计
- (7) 运用数据统计
- (8) 指标汇总统计表（效率表）48 项统计表

### 3.5.6 合并与上报子系统

负责整个系统的数据的上报和下达，实现数据的合并与分解管理工作。

---

主要包括以下功能模块：

#### 1. 按等级合并数据

报表都是由低一级报表汇总得到，系统提供相应级别报表汇总功能。系统可自动合并的报表，也可以手动合并。

#### 2. 统计分析报表的上报处理

报表汇总可以由软件提供的自动上报功能来完成报表的汇总统计工作。

### 3.5.7 系统管理子系统

负责整个系统的用户的建立和管理、权限的分配和角色的授权，此外，还进行系统的版本管理工作。

系统管理主要包括以下功能模块：

#### 1. 用户管理

用户管理是按业务流程，制订操作者管理机制，为各岗位进行用户授权。主要完成：创建和维护业务部门及其标识；创建和维护用户，给用户分配口令和标识；对用户进行授权，对用户进行有效性检验，根据用户的操作日志对用户进行审计。

主要包括以下功能：

- 用户的建立和管理
- 用户权限的管理
- 用户角色的管理
- 用户日志管理

#### 2. 版本管理

对于开发的各应用子系统软件，在使用中发现缺陷时，应根据提供的修正补丁，定期、按计划地完成系统的小版本升级。

主要包括以下功能：

- 既有软件备份
  - 软件升级管理
-

## 3.6 数据库设计

### 3.6.1 概述

数据结构设计的好坏直接影响着系统开发的编码、测试、维护工作。在整个建模过程中应遵循：命名的规范化、设计的合理化、性能的高效化、结构的稳定化、实现的简单化、数据的一定冗余化的大原则。

将机车交路系统的使用数据分为内部逻辑数据、图形数据和统计数据三个方面来设计和实现。其中，机车交路内部逻辑数据与图形数据关联关系如图3-4：

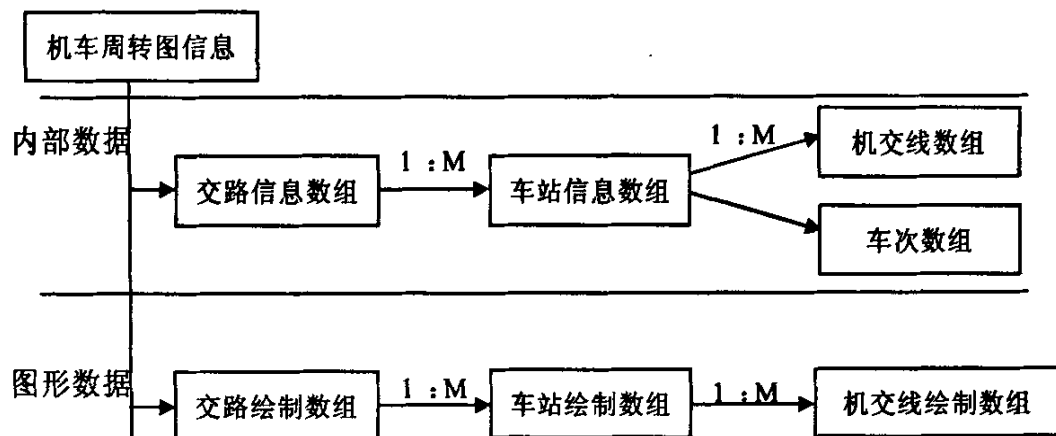


图 3-4 内部数据与绘制数据关联关系图

表 3-1 交路图构成表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
交路图名称	strJltName	Varchar	40	NOTNULL
交路图注释	strJltZs	Varchar	40	NULL

### 3.6.2 内部逻辑数据

机车交路系统的内部数据是实际运算过程中直接使用的数据，分为初始数据和运算结果数据。内部数据是整个系统的运算基础与目标，系统所有功能都是通过如何调整和运算这些内部数据使系统得到最佳运算结果。考虑到

与运行图的结合使用，内部数据逻辑结构设计时只设计本系统中特有的数据结构与数据表项，主要表项如下：

表 3-2 交路信息表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
交路名称	strJlName	Varchar	40	NOTNULL
交路代码	strJlCode	Varchar	40	NULL
交路类型	Jltype	Long		NULL
半循环方式	Bxhbdghfs	Long		NULL
必经车站数	Bjczgs	Long		NULL
列车种类	Lclx	Varchar	40	NULL
牵引类型	Qylx	Varchar	40	NULL
使用机型	Syix	Varchar	40	NULL
配属段	Psd	Varchar	40	NULL
支配段	Zpd	Varchar	40	NULL
延长公里	Ycgl	Float		NULL

表 3-3 车站表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
车站名称	Czm	Varchar	40	NOTNULL
车站号	Czh	Varchar	40	NOTNULL
在交路中序号	Sxh	Long		NULL
机车运转方式	Czjczyfs	Long		NULL
关联车站数组	glczmArray	Varchar	40	NULL
车站换乘方式	Czhcfs	Varchar	40	NULL
是否为立折车站	Lzcz	Long		NULL
就近机务段序号	Jjjwdsxh	Long		NULL
过表机车数	Gbjcs	Long		NULL
客车过表机车数	Kcgbjcs	Long		NULL
货车过表机车数	Hcgbjcs	Long		NULL
客技术作业时间	Kcjszysj	Long		NULL
货技术作业时间	Hcjszysj	Long		NULL
客最短折返时间	Kczdzfsj	Long		NULL
货最短折返时间	Hczdzfsj	Long		NULL

表 3-3 车站表 (续表)

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
车站性质	Jlczxz	Varchar	40	NULL
必经标志	Bjbz	Varchar	40	NULL
客货混勾标志	b_kchchg	Long		NULL

表 3-4 车次表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
车次	Cc	Varchar	40	NOTNULL
时刻	Sk	Long		NULL
机车数	Jcs	Long		NULL
元式交路设置	Ysjl	Long		NULL

表 3-5 机交线数据表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
勾画方式标志	Ghfs	Varchar	40	NOTNULL
到达车次列车序号	Ddcclcxh	Varchar	40	NOTNULL
到达时刻	Ddsk	Varchar	40	NULL
出发车次列车序号	Cfcclcxh	Varchar	40	NULL
出发时刻	Ddsk	Varchar	40	NULL
类型标志	Type	Long		NULL
紧交路标志	Jjlbz	Long		NULL
交线号	Jxh	Varchar	40	NULL

### 3.6.3 图形数据

图形数据是在内部数据和图形参数设定的基础上自动生成,并且可以根据需要对图形数据进行调整。它的作用是在视图中直观显示出所有与当前交路相关的内部数据之间的位置关系与连接关系,并将图形操作的修改结果保存。主要表项如下:

表 3-6 交路图形数据表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
交路图名称	strJltName	Varchar	40	NOTNULL
交路名称	strJlName	Varchar	40	NOTNULL



表 3-6 交路图形数据表 (续表)

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
交路左 x 坐标	x1	Long		NULL
交路右 x 坐标	x2	Long		NULL
交路上 y 坐标	Y	Long		NULL
附注	fzRect	CRect		NULL
交路号	Jlsxb	Long		NULL

表 3-7 运行线图形数据

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
交路名称	jl_mc	Varchar	40	NOTNULL
出发 x 坐标	x1	Long		NULL
出发 y 坐标	y1	Long		NULL
到达 x 坐标	x2	Long		NULL
到达 y 坐标	y2	Long		NULL
运行线类型	Type	Long		NULL
标注 x 坐标	X	Long		NULL
标注 y 坐标	Y	Long		NULL

表 3-8 机交线图形数据表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
交路名称	jl_mc	Varchar	40	NOTNULL
出发 x 坐标	x1	Long		NULL
出发 y 坐标	y1	Long		NULL
到达 x 坐标	x2	Long		NULL
到达 y 坐标	y2	Long		NULL
运行线类型	Type	Long		NULL
标注 x 坐标	X	Long		NULL
标注 y 坐标	Y	Long		NULL
标注内容	Bz	Varchar	40	NULL
竖线高度	jjxHigh	Long		NULL
笔号	pen_num	Long		NULL
停时	Ts	Long		NULL
勾画方式	Ghfs	Long		NULL

表 3-9 绘制车站线数据表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
交路名称	jl_mc	Varchar	40	NOTNULL
车站名	czm	Varchar	40	NOTNULL
车站左端点 x 坐标	x1	Long		NULL
车站右端点 x 坐标	x2	Long		NULL
车站线 y 坐标	y	Long		NULL
双线间距	sxjj	Long		NULL
车站线是否显示	sfxsczx	Long		NULL

### 3.6.4 统计数据

表 3-10 机车交路个数统计数据表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
段别	db	Varchar	40	NOTNULL
列车种类	lcb	Varchar	40	NULL
客车蒸汽交路个数	kc_zq_jlgs	Long		NULL
客车蒸汽交路延长公里	kc_zq_ycgl	Float		NULL
客车蒸汽交路平均距离	kc_zq_pjgl	Float		NULL
客车内燃交路个数	kc_nr_jlgs	Long		NULL
客车内燃交路延长公里	kc_nr_ycgl	Float		NULL
客车内燃交路平均距离	kc_nr_pjgl	Float		NULL
客车内燃长交路个数	kc_nr_cjl_jlgs	Long		NULL
客车内燃长交路延长公里	kc_nr_cjl_ycgl	Float		NULL
客车内燃长交路平均距离	kc_nr_cjl_pjgl	Float		NULL
客车电力交路个数	kc_dl_jlgs	Long		NULL
客车电力延长公里	kc_dl_ycgl	Float		NULL
客车电力平均距离	kc_dl_pjgl	Float		NULL
客车电力长交路个数	kc_dl_cjl_jlgs	Long		NULL
客车电力长交路延长公里	kc_dl_cjl_ycgl	Float		NULL
客车电力长交路平均距离	kc_dl_cjl_pjgl	Float		NULL
客车综合交路个数	kc_zh_jlgs	Long		NULL

表 3-10 机车交路个数统计数据表 (续表)

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
客车综合延长公里	kc_zh_ycgl	Float		NULL
客车综合平均距离	kc_zh_pjgl	Float		NULL
客车综合长交路个数	kc_zh_cjl_jlgs	Long		NULL
客车综合长交路延长公里	kc_zh_cjl_ycgl	Float		NULL
客车综合长交路平均距离	kc_zh_cjl_pjgl	Float		NULL
客车最长交路区段	kc_zcjl_qd	Varchar	40	NULL
客车最长交路距离	kc_zcjl_jl	Float		NULL
客车最长交路机型	kc_zcjl_jx	Varchar	40	NULL
客车蒸汽交路个数	kc_zq_jlgs	Long		NULL
货车蒸汽交路延长公里	hc_zq_ycgl	Float		NULL
货车蒸汽交路平均距离	hc_zq_pjgl	Float		NULL
货车内燃交路个数	hc_nr_jlgs	Long		NULL
货车内燃交路延长公里	hc_nr_ycgl	Float		NULL
货车内燃交路平均距离	hc_nr_pjgl	Float		NULL
货车内燃长交路个数	hc_nr_cjl_jlgs	Long		NULL
货车内燃长交路延长公里	hc_nr_cjl_ycgl	Float		NULL
货车内燃长交路平均距离	hc_nr_cjl_pjgl	Float		NULL
货车电力交路个数	hc_dl_jlgs	Long		NULL
货车电力延长公里	hc_dl_ycgl	Float		NULL
货车电力平均距离	hc_dl_pjgl	Float		NULL
货车电力长交路个数	hc_dl_cjl_jlgs	Long		NULL
货车电力长交路延长公里	hc_dl_cjl_ycgl	Float		NULL
货车电力长交路平均距离	hc_dl_cjl_pjgl	Float		NULL
货车综合交路个数	hc_zh_jlgs	Long		NULL

表 3-11 机车周转图技术指标统计数据表

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
配属段	psd	Varchar	40	NOTNULL
支配段	zpd	Long		NULL
列车种类	lclx	Long		NULL
区段	qd	Long		NULL

表 3-11 机车周转图技术指标统计数据表 (续表)

含义	字段名	数据类型	数据长度	可空
距离	qdjl	Long		NULL
年季别	njb	Long		NULL
使用机型	syjx	Long		NULL
列车对数	lcds	Long		NULL
大列	dl	Varchar	40	NULL
使用台数	syts	Long		NULL
使用系数	syxs	Long		NULL
走行公里	zxgl	Long		NULL
本务走行公里	bwzxgl	Long		NULL
重联走行公里	zlzxgl	Long		NULL
单机走行公里	djzxgl	Long		NULL
日车公里	rcgl	Varchar	40	NOTNULL
全周转时间合计	hj_qzsj	Long		NULL
全周转时间平均	pj_qzsj	Long		NULL
旅行时间合计	hj_lxsj	Long		NULL
外段停时平均	pj_wdtlsj	Varchar	40	NOTNULL
外段技术作业合计	hj_wdjszy	Long		NULL
外段技术作业平均	pj_wdjszy	Long		NULL
外段所在站停时合计	hj_wdsztl	Long		NULL
外段所在站停时平均	pj_wdsztl	Long		NULL
外段等待工作合计	hj_wdddgz	Long		NULL
外段等待工作平均	pj_wdddgz	Long		NULL
技术速度	jssd	Long		NULL
旅行速度	lxsd	Varchar	40	NULL
速度系数	sdxs	Long		NULL
乘务制度	cwzd	Long		NULL
包乘制度	bcbz	Varchar	40	NOTNULL
包轮班数	blbs	Long		NULL
乘务人数	cwrs	Long		NULL
注释	bz	Long		NULL

## 第 4 章 机车周转图编制的影响因素分析

在第二章和第三章中就系统分析和系统功能进行了探讨研究，分析了系统功能。从第四章开始，论文主要讨论系统算法相关问题，本章将分析影响机车周转图编制的各种因素，并进行适当定量说明。

### 4.1 列车运行图

机车周转图是根据列车运行图、机车运转方式、乘务员乘务方式编制的机车牵引列车的工作计划和机车实际工作过程的线条图。列车时刻表决定了列车运行情况，决定了机车牵引的任务。列车运行图是最基础的资料，机车周转图在列车运行图给定基础上编制而成的。运行图结构对机车周转图有较大影响，如果运行线连接良好，机车在等待换挂运行的停留时间减少，利用率提高，使用机车台数自然会减少。因此，编制连接良好的运行图，具有重要意义。

由于运输需求（客流预测情况）、现场设备状态、车辆运用情况、乘务员运用计划、气象灾害情况（如地震、洪涝灾害、大雪等恶劣气候和自然灾害）、列车运行秩序混乱、既有线列车运行情况和其它必要的参考信息，要及时修改交路计划，自动生成新的机车周转图。

### 4.2 机车运转制

机车交路是机车固定担当运输任务的周转区段。按机车运转制分肩回式、半循环式、环形和循环式，其中肩回式又可以划分为单肩回、双肩回和多肩回。

日常的机车周转图勾画时采用的划分方式按机车运转制来分，当前我国铁路主要采用前两种运转制。

#### 4.2.1 肩回式

肩回式运转制是机车在担当机务本段所在站两侧的两个区段上的列车作业时，每次往返担当一个区段上的列车作业，机车回到本段所在站后，与列

车摘钩，并进入机务本段进行整备作业的运转制。据了解，这种运转方式在我国铁路是最普遍采用的交路形式。

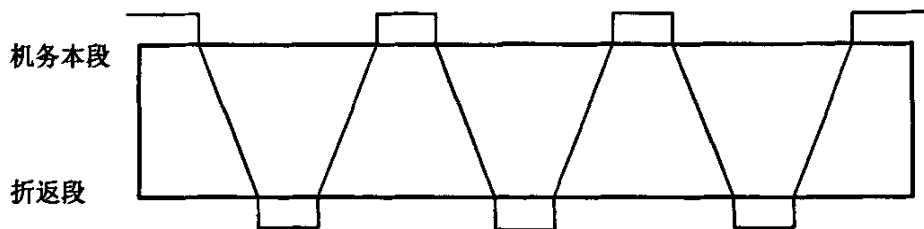


图 4-1 肩回交路示意图

#### 4.2.2 半循环式

半循环运转制是指机车由机务本段向一个交路出发，经折返段（点）返回机务本段机务本段所在站时不入段整备（可在车站进行补给燃料、水等作业），继续向另一个交路运行，经第二个交路折返段，在返回机务本段所在站入段整备的运转制。这种运转制较肩回式运转制减少了一次入本段操作，减少了入段时间，相应提高了机车周转效率，减少了机车运用台数。它在不具备循环式运转制条件下采用的。

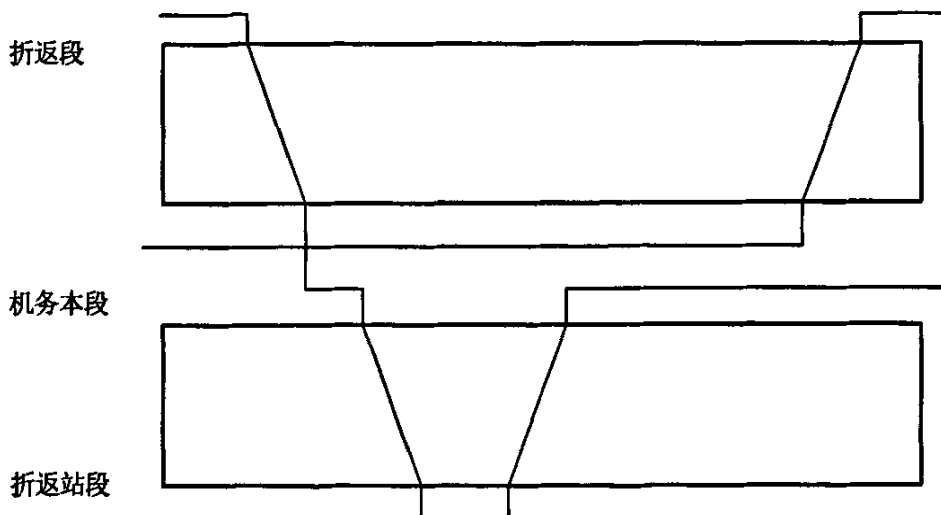


图 4-2 半循环机车交路示意图

### 4.2.3 环形

环形运转制是指机车从机务段出发，不需转头，在交路上运行两个或两个以上折返后才入机务本段一次的运转制。这种运转制适用与距离短而运量大的交路，主要应用于小运转或市郊列车。

### 4.2.4 循环式

循环运转制是铁路中机车运转方式中最节约机车的方法，机车在驶出机务段后可以不间断地牵引列车，只到累计完成一定里程的运输任务后才返回到机务段进行检修。使用循环运转制和实行轮乘制的机车，其全周转时间中减少了入本段作业，减少了机车使用台数。但是当前我国铁路的运行机车以及管理水平还没有到达这种要求。

表 4-1 给出几种运转制使用机车情况，其中最短折返时间取 100 分钟。

表 4-1 几种机车运转制的机车使用台数比较

列车开行方案	单肩回	双肩回	半循环式	环形	循环式
运行图 1	18	17	15	13	12
运行图 2	37	34	33	31	26
运行图 3	98	81	77	72	64

## 4.3 机车乘务制

机车乘务制度是机车乘务员使用机车的制度，分包乘制、轮乘制和轮包结合制，班制的选择应符合部定机车乘务员劳动时间标准和运输的需要。为发挥内燃、电力机车的优势，提高运输能力和运输效率，内燃、电力机车应有计划地逐步实行长交路、轮乘制。根据各区段机车交路、乘务制度、乘务员劳动时间标准和工作条件，合理采用机车运转制和乘务员换班方式。

### 1. 机车乘务员值乘制度

机车乘务员的值乘制度有包乘制和轮乘制两种。

包乘制是指由固定的几个乘务机班组成机车乘务组，轮流值乘一台机车的乘务制度。包乘制有利于加强乘务员对机车运用和保养的责任心，便于乘务员熟悉机车的性能特征，掌握机车的状态。但包乘制使机车运用受到限制，

机车生产时间不能充分利用, 机车交路也不能很长, 从而降低了机车运用效率和乘务员的劳动生产率。

轮乘制是拾没有固定的机车乘务组, 机车由若干乘务机班轮流使用, 各乘务机班可以在任一台机车上值乘的乘务制度。因此, 必须建立严格的制度, 明确规定乘务员和检修人员的职责, 由于采用轮乘制时, 可以保证乘务组有更好的劳动和休息条件, 消除机车在折返段因等待乘务组休息而产生的停留时间, 从而显著提高机车的运用效率和乘务员的劳动生产率, 机车交路得以延长。若将轮乘制和长交路加以结合, 则可取得更佳的技术经济效果。

## 2. 机车乘务员的作息时间

为确保行车安全, 机车乘务员的劳动和休息时间, 应满足如下要求:

(1) 一次连续工作时间标准(包括出、退勤工作时间), 旅客列车一般不得超过 8h, 货物列车一般不得超过 10h。

(2) 全月工作时间按 180h 掌握(包括乘务工作时间和参加机车检修工作时间)。

(3) 在本段休息时间不应少于 16h。

(4) 外段调休时间不得少于 5h, 而驻班休息时间不得少于 10h。轮乘制外段换班继乘休息时间不得少于 8h。

(5) 实行轮乘制的机车乘务员每月应有 1~2 次 48~72h 的大休班时间。

## 4.4 车站设置方案

建立机车牵引区段, 其中包括若干个车站, 车站的属性决定了机车的检修和换挂作业。车站属性特征包括以下几种:

机务本段: 亦称机务段。是管理和使用机车的基层生产单位。配属有一定数量的机车, 拥有机车检修、整备和运行所需的整套技术装备。担任指定交路上的列车牵引任务, 也负担折返段的机车折返的整备作业。

机务折返段: 简称折返段。是机务段机车行驶去段的终点, 机车在此折返。折返段一般不配属机车, 但设有机车整备设施, 保证机车在此完成折返前的整备作业或停留待命。

折返站: 机车回驶的地点。设有整备、转向设备及乘务员临时休息的地方。

中间站: 机车在此不办理任何作业。

因为牵引区段中车站属性设置不同、站间离的不同, 导致机车周转图不



同，且机车使用台数也不同。

#### 4.5 列车种类

在研究机车使用问题时，假定各机车类型完全一致，而实际可能同一线路上的运行的列车种类并不同，如日本新干线上同时运行“回声号”、“光号”和“希望号”。对于这种情况，在制定机车周转图时，只在同一种类型的列车之间单独编制，不同种类列车之间互不混用。目前，我国一般分客车、货车、小运转等几种类型。机车使用的总数量不能超过规定的有效的机车数量以及各时段内某种类型机车的数量。

#### 4.6 最短折返时间标准

机车最短折返时间标准对机车周转图起着一定作用，如果周转最短折返标准时间过长，也就是机车作业的时间长，那么机车可用于运行的时间相对缩短，因此，完成相同运行图任务就需要更多一些的机车。相反，需要机车数量会减少。表 4-2、表 4-3 给出了列车运行方案需要的机车数量随最短折返时间变化的情况，表中的数字也证明了上述分析。在制定机车运行最短折返标准时，应在允许的时间范围内压缩标准时间，以免不必要地增加机车使用数量，但不能产生紧交路。

表 4-2 肩回式最短折返时间标准对机车数量影响

列车开行方案	100 分钟	90 分钟	80 分钟	70 分钟	0 分钟
方案 1	23	23	21	21	18
方案 2	68	64	59	58	43
方案 3	92	89	80	78	63

表 4-3 半循环式最短折返时间标准对机车数量影响

列车开行方案	100 分钟	90 分钟	80 分钟	70 分钟	0 分钟
方案 1	19	19	18	17	15
方案 2	32	32	31	30	30
方案 3	104	99	91	87	79

#### 4.7 临时列车处理

一般在节假日往往临时增加开行一些列车以适应市场的需要。对于这种

---

情况，采用单独处理方式，首先一定时期内不发生变化的列车运行线作为基本计划机车周转图，对于在节假日临时增加的列车，可独立勾画。这样既可以保证基本计划的优化，又可以保证临时任务的完成。

---

## 第 5 章 肩回交路的算法研究

机车周转方式,亦称机车运转制,是指机车在交路(即机车固定担当运输任务的周转区段)上担当列车作业。机车运转制主要分为肩回式、半循环式、循环式、环形等。本章将针对肩回交路的编制进行深入讨论,将各种约束条件表示成数学表达式,再把它转化为相应的数据模型,在满足系统设置的约束前提下,运用合适的算法自动完成机车周转图的自动编制。第一节分析问题,建立数学模型,后三节分别讨论利用基于 MTSP 算法、模拟退火算法、蚂蚁算法实现机车周转图的自动编制。

### 5.1 数学模型

#### 5.1.1 问题的提出

近年来,随着信息化的发展,机车是铁路设备中投资较大的设备资源,节约机车的使用数量,具有巨大经济效益。最优机车周转图的一个重要指标是在完成给定牵引任务的情况下,机车使用台数最少,且机车在站停留时间最均衡。所谓均衡是指机车在站等待时间之间相差越小越好,这样有利于延长机车的使用寿命,安排乘务员班次。因此,编制机车周转图时,在机车总等待时间最少的前提下,应尽可能确保其均衡性。

实际规模的机车周转图编制问题是一个大规模的组合优化问题,可以归结为运筹学上指派问题。把到达列车的机车视为设备,出发列车视为任务,安排机车周转图相当于指派某个设备去完成某项任务。与它类似的相关问题—乘务员运用计划、人员调配问题、车辆路径问题、课表编制问题、飞机排队问题等,对于小规模问题可以采用枚举法得到问题的最优解,但对于大规模的实际问题则会产生组合爆炸现象,利用枚举法很难得到实际问题的最优解。为此,在求解问题过程中,通过分析问题本质特征,结合基于 MTSP(多旅行商问题)算法、模拟退火算法、蚂蚁算法等理论求解机车周转图的编制问题。

### 5.1.2 数学描述

在线路 A—B 上, A, B 为两个端点站, 共有  $N$  个车站, 列车运行图已知, 且固定不变。已知: 车站  $K$  上、下行列车运行线数目为  $N_K$  ( $K=1, 2, \dots, N$ )。机车在站最短折返时间均为  $t_K$  ( $K=1, 2, \dots, N$ ), 最短立折时间标准  $t_K^f$  ( $K=1, 2, \dots, N$ ), 可用机车台数为  $n_{jc}$ 。把运行图用网络形式表示, 运行线看成是点  $v_i$  ( $i=1, 2, \dots, \sum_{K=1}^N N_K$ ),  $v_i$  包括列车车次, 始发时刻  $t_{i,fsk}$ , 始发车站  $s_{i,fcz}$ , 终到时刻  $t_{i,dsk}$ , 终到车站  $s_{i,dcz}$  等信息。 $v_i$  到达时刻与  $v_j$  出发时刻之间的折返线 (或接续线) 看成弧  $e_{ij}$ , 折返线 (或接续线) 在站停留时间看成弧的权重  $w_{ij}$  (表示点  $v_i$  到达时刻接续点  $v_j$  出发时刻的折返时间), 定义:

$$w_{ij} = \begin{cases} t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} & s_{j,fcz} = s_{i,dcz}, \\ \infty & \text{其他.} \end{cases} \quad (5-1)$$

其中, “ $\odot$ ” 表示:

若  $t_{j,fsk} - t_K \geq t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} - t_{i,dsk}$ ;

若  $t_{j,fsk} - t_K < t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} + 1440 - t_{i,dsk}$ 。

$C_i = (v_j, \dots, v_q \dots v_m)$ ,  $C_i$  为机车换挂顺序排列, 它是一个运行线的排列。

$S = \{C_1, C_2 \dots C_j\}$ ,  $S$  为解的集合。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{点 } v_i \text{ 到达时刻连接点 } v_j \text{ 出发时刻,} \\ 0 & \text{其他,} \end{cases} \quad (5-2)$$

其中,  $x_{ij}$  为点  $v_i$  与点  $v_j$  间连接标志。

### 5.1.3 约束条件

1. 每段运行线有且仅有一次被占用。

$$\sum_{i=1}^I C_i = S, \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I C_i \cap C_j = \emptyset \quad (5-3)$$

2. 立折时间满足最短立折时间标准。

$$t_{i,dsk} \odot t_{j,fsk} \geq t_K^{\text{折}} \quad (5-4)$$

其中，“ $\odot$ ”表示：

若  $t_{j,fsk} - t_K^{\text{折}} \geq t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} - t_{i,dsk}$ ;

若  $t_{j,fsk} - t_K^{\text{折}} < t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} + 1440 - t_{i,dsk}$ 。

3. 折返时间满足最短折返时间标准。

$$t_{i,dsk} \odot t_{j,fsk} \geq t_K \quad (5-5)$$

其中，“ $\odot$ ”表示：

若  $t_{j,fsk} - t_K \geq t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} - t_{i,dsk}$ ;

若  $t_{j,fsk} - t_K < t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} + 1440 - t_{i,dsk}$ 。

### 5.1.4 模型的建立

数学模型必须反映现实，也就是现实问题的数量关系。但是由于能用数学表示的事物是有限的，因此在许多情况下，与现象完全吻合的数学表达是不可能的。数学建模作为一种模型，必须对现象做出一些必要的简化和假设，首先要忽视现实问题中许多与数量无关的因素，其次还要忽略一些次要的数量因素。正是由于这种原因，可以说数学模型是用数学关系式描述的一种假定情况。

要使勾画出的机车周转图为最优方案有两个要求：总机车消耗时间最少和机车使用的均衡性。总机车消耗时间最少就要求投入使用机车数台数最少，

总机车消耗时间由以下三部分组成, 假设当前交路中只有两个车站 A、B:

(1) 所有机车牵引列车在区段内运行时间 T1, 它等于列车运行图中所有列车的旅行时间之和。

(2) 所有机车在机务本段所在站 A 的总停留时间 T2。

(3) 所有机车在折返段所在站 B 的总停留时间 T3。

由于列车在区段内运行时间 T1 是固定的, 因此要使总机车消耗时间最少, 就要使机车在所有车站机车总停留时间 T2 和 T3 最短, 可以证明停留时间 T2 加 T3 之和就最小, 只要机车的使用台数最少。

所谓均衡性就是所有投入使用机车的工作时间长短要基本相同, 要尽量避免出现有些机车运行时间很长, 而有些机车长时间地等待牵引任务。

分别用  $Z_1$  表示机车在各个车站停留时间之和、 $Z_2$  表示图形均衡性偏差。机车周转图数学模型的目标函数使用机车台数  $Z_1$  最少, 且机车周转图均衡性  $Z_2$  最佳。数学模型如式 (5-5) 和 (5-6):

$$Z_1 = \min \lambda_j \sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^{N_K} \sum_{j=1}^{N_K} w_{ij} x_{ij} \quad (5-5)$$

$$Z_2 = \min \sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^{N_K} \sum_{j=1}^{N_K} (w_{ij} x_{ij} - \frac{Z_1}{\sum_{K=1}^N N_K})^2 \quad (5-6)$$

$$\frac{\sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^{N_K} \sum_{j=1}^{N_K} w_{ij} x_{ij}}{1440} \leq n_{jc} \quad (5-7)$$

其中,  $\sum_{i=1}^{N_K} x_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, N_K, K=1, 2, \dots, N;$

$\sum_{j=1}^{N_K} x_{ij} = 1, i=1, 2, \dots, N_K, K=1, 2, \dots, N;$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\mu, \mu = \sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^{N_K} N_K$  为依据对现场情况的实际要求事先给定的一组

权值:

(1)  $\lambda_j$  一般取值为  $\beta$  ( $\beta$  可取任何值);

(2) 规定点  $v_i$  到达时刻必须连续点  $v_j$  出发时刻时,  $\lambda_j = 0$ ;

(3) 规定点  $v_i$  到达时刻一定不连续点  $v_j$  出发时刻时,  $\lambda_j = \infty$ 。

一般来说在人员排班问题的求解方法上,主要分为两大类求解方法:一类是生物进化理论、另一类为启发式算法。当模型是个 NP 问题,很难找到最优解时,则可使用概率性搜索算法生物进化理论。但若模型本身具有很强启发式信息,可采取启发式算法。后续几个小节中,将详细分析利用各种方法解决此数学模型的实现过程。

## 5.2 基于 MTSP 算法

### 5.2.1 基于 MTSP 算法原理

旅行商问题 (TSP) 是组合优化领域的经典问题之一,由于其描述简单但求解困难,一直以来被众多学者广为研究。TSP 问题描述为有一个推销员,要到  $n$  个城市推销商品,他要找出一个包含所有  $n$  个城市的具有最短路程的路径。

由于限制条件的增加, TSP 问题可以衍生出多个旅行商问题 (MTSP), 就是一个出发点,  $m$  个旅行商的 TSP, 优化目标就是要遍历所有的客户, 达到总里程最短或费用最省。下面用图论形式表示 MTSP:

定义 经过图  $G$  的每个顶点正好一次的圈, 称为图  $G$  的 Hamilton 图, 简称 H 图。

最优多旅行商回路 (设有  $L$  个回路) 表示如下: 在加权图  $G(V, E)$  中 (其中  $V$  是图  $G$  点的集合,  $E$  是图  $G$  边的集合), 求  $V$  的一个划分  $V_1, V_2, \dots, V_L$ , 将图  $G$  分解成  $L$  个生成子图  $(V_1, E_1), (V_2, E_2), \dots, (V_L, E_L)$ , 使得:

(1) 顶点 0 属于  $V_i, i=1, 2, \dots, L$ ;

(2)  $\sum_{i=1}^L V_i = V$ ;

(3)  $\sum_{i=1}^L E_i = E$ ;

(4)  $d_{ij} = \frac{\max W(C_i) - \min W(C_j)}{\max W(C_i)} \leq \alpha, i=1, 2, \dots, L; j=1, 2, \dots, L, j \neq i;$

$$(5) Z = \min \sum_{i=1}^L W(C_i).$$

其中,  $C_i$  为访问  $V_i$  的顶点集的 H 图,  $W(C_i)$  为  $C_i$  回路的权值 (时间、距离等),  $\alpha$  为所有线路允许的最大均衡度误差,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .  $Z$  为 MTSP 目标函数,  $Z$  值越小, 结果越好。

### 5.2.2 基于 MTSP 算法实现

从一定角度来看, 最优机车周转图编制问题与最优多旅行商问题存在许多共性, 又各有其特点。

两问题本质相同。机车周转图中  $\sum_{k=1}^n n_k$  条运行线相当于 MTSP 的  $\sum_{k=1}^n n_k$  个城市, 机车交路数目不限, 即旅行商数目不限。设有  $s$  条回路, 机车从每个回路机车周转图过表时刻 (18:00) 出发, 分别走 1 条路径, 使得各运行线有且仅有 1 个机车访问, 回过表时刻, 机车形成循环闭合回路, 即 MTSP 的旅行商回路。

两者又有区别。MTSP 中各旅行商行走线路没有空间和时间的限制, 可以向任意方向行走, 最后回到原点。而机车周转图, 如图 5-1 中箭头所示, 各机车必须沿时间轴向时间增大的方向前进, 时间上不可逆行。并且同一车站的两列终到列车 (或始发列车) 之间不能直接接续; 到达列车的终到车站和出发列车的始发车站不同的列车不能接续。因此, 网络中各点之间并非都能直接连通。

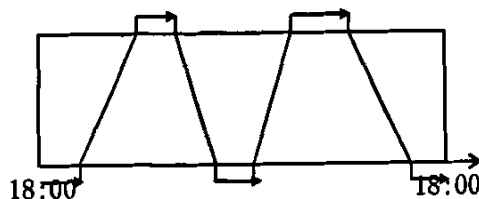


图 5-1 框机车周转图的 TSP 线路示意图

#### 1. 初始解的生成

由初始状态到目标状态要经历许多中间状态, 不同的决策函数, 直接影响解的生成。算法步骤:

Step1 剩余未访问点集  $V$ , 将各点按照到达时刻由小到大排序存入  $V$ ,  $l=1$ 。



Step2 设第  $l$  个旅行商路径点集为  $V_l$ , 取  $V$  中未访问最早到达时刻的点为回路起点  $v_0$ ,  $V = V - \{v_0\}$ ,  $v_i = v_0$ , 将  $v_0$  加入到  $V_l$  中。

Step3 若  $V$  为空, 算法结束。否则, 计算  $V$  中  $v_j$  ( $j$  为离  $i$  最近点开始遍历) 点加入到目标路径  $v_i$  后, 计算造成机车在站总停留时间相对减少量  $w_j$ 。若  $w_j > 0$ , 将  $w_j$  存入集合  $M$ 。

Step4 取集合  $M = \{w_j | w_j > 0\}$  内最大元素, 若存在多个, 取第一个。将  $v_j$  加入目标路径, 形成 "... $v_i \rightarrow v_j \rightarrow 18:00$ "。若  $M$  为空, 取距  $v_i$  最近的点为  $v_j$ 。若  $v_j = v_0$ , 1 条旅行商回路形成,  $l++$ , 返回 Step2。否则,  $v_i = v_j$ ,  $V = V - \{v_j\}$ , 将  $v_j$  加入  $V_l$  中, 返回 Step3。

其中, “ $\rightarrow$ ” 表示机车牵引前一条运行线后, 换挂牵引后一条运行线的一种接续关系。

## 2. 优化算法

通过启发式搜索算法生成初始解中, 若存在“套跑”现象如图 5-2, 可进行图形均衡性优化处理, 生成如图 5-3 所示图形。

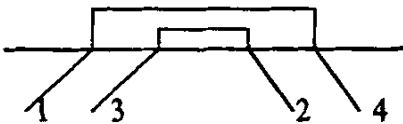


图 5-2 存在“套跑”现象的机车周转图

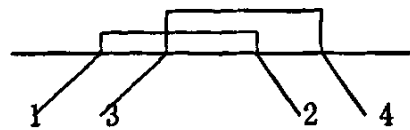


图 5-3 取消“套跑”现象的机车周转图

如图 5-2 所示,  $Z_1^1 = t_4^{fst} - t_1^{dst} + t_2^{fst} - t_3^{dst}$ ,  $Z_2^1 = (t_4^{fst} - t_1^{dst} - \frac{Z_1^1}{2})^2 + (t_2^{fst} - t_3^{dst} - \frac{Z_1^1}{2})^2$ 。

如图 5-3 所示,  $Z_1^2 = t_2^{fst} - t_1^{dst} + t_4^{fst} - t_3^{dst}$ ,  $Z_2^2 = (t_2^{fst} - t_1^{dst} - \frac{Z_1^2}{2})^2 + (t_4^{fst} - t_3^{dst} - \frac{Z_1^2}{2})^2$ 。

$\therefore Z_1^1 = Z_1^2$ , 图 5-2 和图 5-3 中机车使用台数相同。若比较两图优劣, 看

图形均衡性。计算  $Z_2^1 - Z_2^2$  大小如下:

$$\begin{aligned}
&= (t_4^{fsk} - t_1^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2})^2 + (t_2^{fsk} - t_3^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2})^2 - (t_2^{fsk} - t_1^{dsk} - \frac{Z_1^2}{2})^2 (t_4^{fsk} - t_3^{dsk} - \frac{Z_1^2}{2})^2 \\
&= [(t_4^{fsk} - t_1^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2}) - (t_4^{fsk} - t_3^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2})] [(t_4^{fsk} - t_1^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2}) + (t_4^{fsk} - t_3^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2})] + [ \\
&(t_2^{fsk} - t_3^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2}) - (t_2^{fsk} - t_1^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2})] [(t_2^{fsk} - t_3^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2}) + (t_2^{fsk} - t_1^{dsk} - \frac{Z_1^1}{2})] \\
&= (-t_1^{dsk} + t_3^{dsk}) (2t_4^{fsk} - t_1^{dsk} - t_3^{dsk} - Z_1^1) + (t_1^{dsk} - t_3^{dsk}) (2t_2^{fsk} - t_3^{dsk} - t_1^{dsk} - Z_1^1) \\
&(2t_2^{fsk} - t_3^{dsk} - t_1^{dsk} - Z_1^1) = 2 (t_3^{dsk} - t_1^{dsk}) (t_4^{fsk} - t_2^{fsk}) \\
&\therefore t_3^{dsk} > t_1^{dsk}, t_4^{fsk} > t_2^{fsk}
\end{aligned}$$

$\therefore Z_2^1 > Z_2^2$ , 证得, 图 5-3 优于图 5-2。因此, 将“套跑”现象消除, 可以优化机车周转图的图形均衡性。

消除“套跑”方法有两种:

#### (1) 交路段合并

不同回路常采用合并两回路为 1 个回路的方法: 当交路段两个回路中各含有“...  $v_i \rightarrow v_j$  ...”和“...  $v_p \rightarrow v_q$  ...”形式时, 如果合并成 1 个回路后, 可以使机车周转图的总体均衡性优化, 则合并交路段为含有“...  $v_i \rightarrow v_q$  ...  $v_p \rightarrow v_j$  ...”形式的 1 个回路, 其中,  $i, j, p, q \in \{1, 2, \dots, \sum_{k=1}^n n_k\}$ 。

#### (2) 交路段分解

1 个交路的优化, 可以将 1 个回路分解成 2 个回路: 当交路段某个回路中含有“...  $v_i \rightarrow v_q$  ...  $v_p \rightarrow v_j$  ...”的形式时, 如果分解成 2 个回路后可以使机车周转图的总体均衡性优化, 则分解交路段为分别含有“...  $v_i \rightarrow v_j$  ...”和“...  $v_p \rightarrow v_q$  ...”形式的 2 个回路, 其中,  $i, j, p, q \in \{1, 2, \dots, \sum_{k=1}^n n_k\}$ 。

图形均衡性优化算法:

Step1 计算回路中每对“ $v_p \rightarrow v_q$ ”匹配结果占用时间域  $t_p^{fsk} - t_q^{dsk}$ , 即机车在  $v_j$  换挂(或接续)  $v_i$  所占时间范围, 用  $\{t_p^{fsk}, t_q^{dsk}\}$  表示。交换标志  $jhbz=0$ 。  
 $i=1, j=1$ ;

Step2 若  $j = \sum_{k=1}^N N_k$ , 进入 Step3。  $j++$ , 如果  $jhbz=1, jhbz=0$ 。比较第  $i$  个匹配结果  $\{t_m^{fsk}, t_n^{dsk}\}$  和第  $j$  个匹配结果  $\{t_x^{fsk}, t_y^{dsk}\}$ , 若  $t_m^{fsk} < t_x^{fsk}$  且  $t_n^{dsk} > t_y^{dsk}$ , 则交换两对匹配为  $\{t_m^{fsk}, t_y^{dsk}\}$ 、 $\{t_x^{fsk}, t_n^{dsk}\}$ ,  $jhbz=1$ 。否则, 返回 Step2。

Step3  $i++$ , 若  $i = \sum_{k=1}^N N_k$  且  $jhbz=0$ , 则推出。否则, 若  $i = \sum_{k=1}^N N_k$  且  $jhbz=1$  返回 Step1。如果  $i < \sum_{k=1}^N N_k - 1, j=i+1$ , 返回 Step2。

## 5.3 模拟退火算法

### 5.3.1 模拟退火算法原理

5.2 节采用的 MTSP 算法在搜索过程中利用先到先发规则, 可以获得满意解, 具有简便、快速、稳定、易于计算机实现等优点。但在解的生成过程中主要运用“贪心”策略, 在局部选择满足最优的前提下, 类似爬山算法, 很容易陷入局部最优解, 而不是全局最优解。

为改善这种算法的缺陷, 借助于随机搜索算法产生一个新状态, 若其费用比当前暂时最优解更低, 则把该状态作为新的暂时最优解, 使目标逐步优化, 反复进行此过程, 以概率 1 收敛于全局最优解。模拟退火算法作为一种广泛使用的随机搜索算法, 具有质量高、初始解鲁棒性强、易于实现等优点。

模拟退火算法最初的思想由 Metropolis 在 1953 年提出, Kirkpatrick 在 1983 年成功地将其应用在组合最优化问题中。模拟退火算法来源于固体退火原理, 将固体加温至充分高, 再让其徐徐冷却, 加温时, 固体内部粒子随

温升变为无序状, 内能增大, 而徐徐冷却时粒子渐趋有序, 在每个温度都达到平衡态, 最后在常温时达到基态, 内能减为最小。用固体退火模拟组合优化问题, 将内能模拟为目标函数, 温度演化成控制参数, 即得到解组合优化问题的模拟退火算法: 由初始解  $i$  和控制参数初值  $t$  开始, 对当前解重复“产生新解→计算目标函数差→接受或舍弃”的迭代, 并逐步衰减  $t$  值, 算法终止时的当前解即为所得近似最优解, 这是一种启发式随机搜索过程。

### 1. 模拟退火算法基本描述

Step1 初始状态: 从一个随机选取的状态出发, 开始探测整个状态空间。

$L$  为各温度下循环次数。温度变化表  $ST = (t_1, t_2, \dots, t_q)$ ,  $q$  为温度个数总数。

Step2 内部处理: 依据产生函数在每一步产生一个新的状态。目标函数值为  $f_0$  的原状态, 目标函数值为  $f_1$  的新的状态。计算两次结果之间的目标函数值的差值以确定是否接受新的结果, 如果接受新的结果, 就用它代替当前的结果, 以一定的冷却方式降低温度, 目标函数在寻优过程中偶然稍有上升, 只要不影响体系整体的收敛趋势, 在一定的概率下可以容忍, 容忍函数

$$p = e^{-\frac{\Delta E_i}{T}} \quad (5-8)$$

式(5-8)中  $\Delta E_i = f_0 - f_1$ ,  $T$  为当前退火温度, 是容忍函数中的控制参量。如果求得的概率  $p$  落在所要求的置信区间内, 则用新的解代替现有解, 进入 Step4, 否则继续进行迭代计算, 进入 Step2。

Step3 内循环: 如果热平衡还未达到(迭代次数  $k$  小于  $L$ ), 迭代次数++, 以不变的温度  $T$  继续转入 Step2。

Step4 外循环: 如果在现有温度下, 则  $i++$  (以递增 1 的冷却方式降低温度), 如果  $i > q$ , 停止运算。否则, 迭代次数=1,  $T = T_i$  转入 Step2。

基于模拟退火算法随机搜索的特点, 可以跳离局部极小点达到全局最优, 理论上可以证明, 经过有限次实验后, 该法以概率 1 渐近地收敛于全局(近似)最优解。

### 2. 模拟退火算法参数说明

#### (1) 初始解的选择

因为模拟退火算法是一种随机概率算法, 算法迭代过程中, 初始解的选择不影响解的质量。

#### (2) 解的接受准则

解的接受准则按照改进的 Metropolis 算法来计算, 其公式如下:

$$P(T_k) = \{X_k - Y_k\} = \begin{cases} 1 & \text{if } L(Y_k) \leq L(X_k) \\ \exp\left(\frac{L(X_k) - L(Y_k)}{K \cdot T_k}\right) & \text{其他} \end{cases} \quad (5-9)$$

在计算中还进行当前可行最优解的判断和处理, 以保证记忆器中的解是当前可行最优解。简化计算中, 产生新解被接受的概率可以表示为:

$$P(T_k) = \{X_k - Y_k\} = \begin{cases} 1 & L(Y_k) - L(X_k) \geq 0 \\ 0 & L(Y_k) - L(X_k) = \infty \\ \exp\left(\frac{L(X_k) - L(Y_k)}{T_k}\right) & L(Y_k) - L(X_k) \leq 0 \end{cases} \quad (5-10)$$

$P(T_k)$  大于一个随机数时, 接受新解, 否则, 拒绝接受新解。

### (3) 温度控制

#### ① 初始温度的选取

温度  $T$  的初始值设置是影响模拟退火算法全局搜索性能的重要因素之一。初始温度高, 则搜索到全局最优解的可能性大, 但因此要花费大量的计算时间; 反之, 则可节约计算时间, 但全局搜索性能可能受到影响。

#### ② 退火速度

温度管理问题也是模拟退火算法难以处理的问题之一。模拟退火算法的全局搜索性能也与退火速度密切相关。一般来说, 同一温度下的“充分”搜索(退火)是相当必要的, 但这需要计算时间。实际应用中, 要针对具体问题的性质和特征设置合理的退火平衡条件。实际应用中, 由于必须考虑计算复杂度的切实可行性问题, 常采用如下所示的降温方式:

$$T(t+1) = k \times T(t) \quad (5-11)$$

式中  $k$  为正的略小于 1.00 的常数,  $t$  为降温的次数。

### (4) 迭代步长

迭代步长也称迭代步数。下面列出几种常见迭代步长的方法:

#### ① 固定长度

这是一种简单又直观的方法, 要求在每一个温度, 迭代相同的步数  $L$ 。  $L$  的选择同问题的规模有关, 通常采用与邻域大小相关的规则。一般采用基本形式描述为:  $L=f(n)$ , 其中  $n$  为所研究问题规模(或)邻域的大小。

### ② 由接受和拒绝的比率来控制迭代步数

给定一个充分大的步长上限  $U$  和一个接受次数指标  $R$ , 当接受次数等于  $R$  时, 在此温度不再迭代而使温度下降, 否则, 一直迭代到上限  $U$ 。

为便于算法实现, 本文采用固定长度来控制迭代步数。

### (5) 算法终止设置

合理的停止规则既能保证算法收敛于一个近似解, 又能使最终解具有一定的全局性。算法终止原则主要有如下四种:

#### ① 零度法

模拟退火最终温度为零。结合实际应用中, 对最终温度的确定方法是:

给定一个参数  $\varepsilon$ , 当温度下于这个数的时候, 表示已经达到最低温度。

#### ② 循环总数控制法

总的温度下降次数为一定值  $K$ , 在温度迭代次数达到  $K$  时, 停止运算。

#### ③ 基于不改进规则的控制法

在一个温度和给定的迭代次数内没有改进当前的局部最优解, 则停止运算。模拟退火的一个基本思想是跳出局部最优解, 直接的结论是在较高的温度没能跳出局部最优解, 则在低的温度跳出最优解的可能也比较小。

#### ④ 接受概率控制法

给定一个较小的指标  $\lambda_f > 0$ , 除当局部最优解外, 其他状态接受概率都小于  $\lambda_f$  时, 算法结束。

## 5.3.2 模拟退火算法实现

分析机车周转图的编制问题, 发现机车周转图的编制可以转化成模拟算法实现。机车在执行列车牵引列车任务时, 机车完成上一列车任务后, 在车站可供选择接续的列车很多, 所以解的方向不唯一。探索生成最优解的过程中, 机车周转图的好坏主要由停留时间之和图形均衡性偏差两个函数评价, 运用此函数计算目标函数之差, 生成容忍函数, 以一定概率控制在搜索过程中产生更优化的解, 直到达到温度总数, 满足终止规则为止。

利用模拟算法编制机车周转图具体步骤如下:

Step1 根据列车时刻表和所有车站属性信息, 提取列车运行线。定义温度变化表  $ST = (t_1, t_2, \dots, t_q)$ ,  $q$  为温度总数,  $i=1$ ,  $T=t_i$  为现有温度, 迭代相同的步数  $K=1$ 。

Step2 为每段运行线分配一个机车, 生成问题初始解。

Step3 取一机车任务的一部分, 分配给另一个机车, 若因约束条件限制无法实现 (小于机车最短折返时间标准或到达运行线的到达车站与出发运行线车站不相同), 则根据顺序依次选择下一个机车, 如仍然不行, 依次类推。若两两组合均失败, 算法结束。

Step4 计算新生成解的目标函数  $Z_1$  和  $Z_2$  值, 判断使用机车是否减少或均衡性优化, 若成立, 则直接替换原来的结果。否则, 产生一个统一的随机数字  $u \in [0,1]$ , 计算新解决方法的接受概率  $p = e^{-\frac{\Delta f}{T}}$  ( $\Delta f$  为新旧目标之间的差异) 如果  $u < p$ , 则新解替换原有的解决方案。否则,  $K++$ , 若  $K < L$ , 返回 Step3。

Step5 如果在现有温度下, 迭代次数  $K=L$ , 则  $i++$ , 如果  $i > q$ , 算法结束。否则,  $T=T_i$ , 转入 Step3。如果热平衡还未达到, 以不变的温度  $T$  继续转入 Step3。

## 5.4 蚂蚁算法

### 5.4.1 蚂蚁算法原理

对于规模很大的问题, 模拟退火算法在时间上效率低下, 基于近些年出现的新型智能化思想, 人工蚂蚁算法给出了一种可快速求解问题的进化算法, 在一系列困难的组合优化问题中取得了成功。

20 世纪 50 年代中期创立了仿生学, 人们从生物进化的机理中受到启发。通过模拟自然界蚂蚁搜索路径的行为, 提出一种新型的算法—蚂蚁算法, 是群智能理论研究领域的一种主要算法。虽然研究时间不长, 但是现在的研究显示, 蚂蚁算法在求解复杂优化问题方面有一定优势, 表明它是一种有发展前景的算法。用该方法求解 TSP 问题、分配问题、job-shop 调度问题, 取得了较好的试验结果。

蚂蚁算法是对自然界蚂蚁的寻径方式进行模拟而得出的一种仿生算法。

蚂蚁在运动过程中，能够在它所经过的路径上留下一一种称之为外激素 (pheromone) 的物质进行信息传递，而且蚂蚁在运动过程中能够感知这种物质，并以此指导自己的运动方向，因此由大量蚂蚁组成的蚁群集体行为便表现出一种信息正反馈现象：某一路径上走过的蚂蚁越多，则后来者选择该路径的概率就越大。

为了说明蚂蚁算法的原理，先简要介绍一下蚂蚁搜寻食物的具体过程。在蚂蚁寻找食物时，它们总能找到一条从食物到巢穴之间的最优路径。这是因为蚂蚁在寻找路径时会在路径上释放出一种特殊的信息素。当它们碰到一个还没有走过的路口时，就随机地挑选一条路径前行。与此同时释放出与路径长度有关的信息素。路径越长，释放的激素浓度越低。当后来的蚂蚁再次碰到这个路口的时候，选择激素浓度较高路径概率就会相对较大。这样形成一个正反馈。最优路径上的激素浓度越来越大，而其它的路径上激素浓度却会随着时间的流逝而消减。最终整个蚁群会找出最优路径。

蚂蚁算法基本描述：

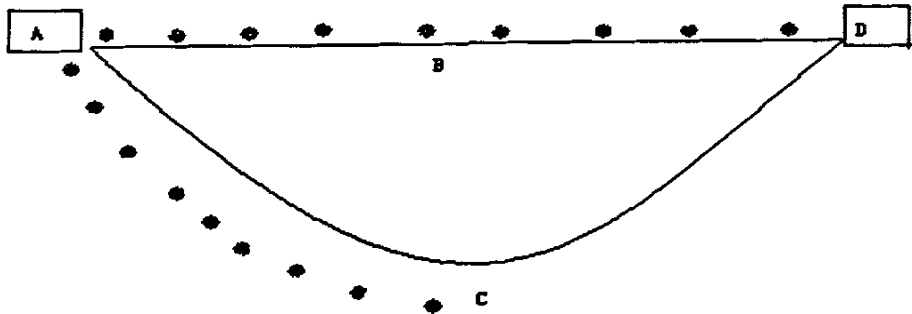


图 5-4 简化蚂蚁寻食过程示意图

假设蚂蚁从 A 点出发，食物在 D 点，如果可能随机选择路线 ABD 或 ACD，走各个线路时速度相同蚂蚁，每经过一处所留下的信息素为一个单位。假设初始时每条路线分配一只蚂蚁，每只蚂蚁每个时间单位行走一步，图 5-4 为两只蚂蚁经过 9 个时间单位时的情形：走 ABD 的蚂蚁到达终点，而走 ACD 的蚂蚁刚好走到 C 点，为一半路程。

又过了 9 个时间单位，从开始算起 18 个时间单位时的情形：走 ABD 的蚂蚁到达终点后得到食物又返回了起点 A，而走 ACD 的蚂蚁刚好走到 D 点。则经过 36 个时间单位后，所有开始一起出发的蚂蚁都经过不同路径从 D 点取得了食物，此时 ABD 的路线往返了 2 趟，每一处的信息素为 4 个单位，而 ACD



的路线往返了一趟，每一处的信息素为 2 个单位，其比值为 2: 1。

寻找食物的过程继续进行，则按信息素的指导，蚁群在 ABD 路线上增派一只蚂蚁（共 2 只），而 ACD 路线上仍然为一只蚂蚁。再经过 36 个时间单位后，两条线路上的信息素单位积累为 12 和 4，比值为 3: 1。

若按以上规则继续，蚁群在 ABD 路线上再增派一只蚂蚁（共 3 只），而 ACD 路线上仍然为一只蚂蚁。再经过 36 个时间单位后，两条线路上的信息素单位积累为 24 和 6，比值为 4: 1。

若继续进行，则按信息素的指导，最终所有的蚂蚁会放弃 ACD 路线，而都选择 ABD 路线。则计算所有路径信息素，信息素浓度大的线路被认为是最优路径。

### 5.4.2 蚂蚁算法实现

基于以上蚂蚁寻找食物时的最优路径选择问题，可以构造蚂蚁算法，来解决最优化问题，如编制机车周转图问题。在蚂蚁的搜寻过程中，以信息素的概率分布来决定从运行线  $i$  到运行线  $j$  的转移，蚂蚁向下一个目标的运动是通过一个随机概率选择的原则实现，也就是运用当前所在节点存储的信息，计算出下一步可达节点的概率，并按此概率实现一步移动，逐此往复，越来越接近最优解。在机车周转图的编制过程中，将机车的折返时间转化为移动的选择概率一部分。

这里我们考虑只有  $m$  个蚂蚁的问题。运行线  $i$  和  $j$  之间的时间代表成本，成本间是对称的（即  $w_{i,j} = w_{j,i}$ ），同一车站的两列终到列车（或始发列车）之间不能连接，到达列车的终到车站和出发列车的始发车站不同的列车不能接续，求解目标找到一个最小成本的线路集合。每只蚂蚁必须走完所有运行线，并在此过程中更新每一条弧  $(i, j)$  信息素。

Step1 根据列车时刻表和所有车站属性信息，提取列车运行线。对  $n$  条运行线的问题，运行线间间的距离矩阵为  $(w_{i,j})_{m \times m}$ ，给其中的每一条弧  $(i, j)$  赋信息素初值  $\tau_y(0) = w_{i,j}$ ， $k=1$  表示信息素的更新次数，假设  $s=1$ ，第一只蚂蚁在工作，所有蚂蚁都从第一个车站的第一个出发时刻为起点出发。通过目标

函数  $Z_1$  和  $Z_2$  值, 判断路径, 最优路径为  $L(w)$ , 为空集。

Step2 (外循环) 如果满足算法的停止规则 ( $s > m$ ), 则停止计算并输出计算得到的最好解。否则, 用  $L(s)$  表示蚂蚁  $s$  行走的运行线集合, 初始  $L(s)$  为空集。

Step3 (内循环) 蚂蚁  $s$  开始试探搜索路径。当蚂蚁  $s$  在运行线  $i$ , 若

$L(s) = n$ , 则完成第  $s$  只蚂蚁的计算。否则, 以概率  $p_{ij} = \frac{\tau_{ij}(k-1)}{\sum_{l \in T} \tau_{ij}(k-1)}$  选择蚂蚁

走完运行线  $i$  转移到下一目标运行线  $j$ ,  $L(s) = L(s) \cup \{j\}, i \neq j$ 。若  $L(s) \neq n$ ,

则重复 Step3。

Step4 对  $1 \leq s \leq m$ , 若  $L(s) = n$ , 按  $L(s)$  中运行线的顺序计算路径长度; 若  $L(s) \neq n$ , 路径长度置为一个无穷大值 (即不可达)。比较  $m$  只蚂蚁中的路径长度, 记行走最短路径的蚂蚁为  $w$ 。判断目标函数  $Z_1$  和  $Z_2$  值, 若  $f(L(s)) < f(L(w))$ , 则  $w = L(s)$ 。用如下公式对  $w$  路径上的信息素痕迹加强, 对其他路径上的信息素进行挥发, 信息素逐渐减少至消失。

$$\left( \begin{array}{l} \tau_{ij}(k) = (1 - \rho_{k-1})\tau_{ij}(k-1) + \frac{\rho_{k-1}}{|w|} \dots \dots \dots (i, j) \text{ 为 } w \text{ 上一条弧} \\ \tau_{ij}(k) = (1 - \rho_{k-1})\tau_{ij}(k-1) \dots \dots \dots (i, j) \text{ 不是 } w \text{ 上一条弧} \end{array} \right) \quad (5-12)$$

其中, 挥发因子  $\rho_k$  对于一个固定的  $K \geq 1$ , 满足:

$$\rho_k \leq 1 - \frac{\ln k}{\ln(k+1)}, \dots \dots \dots k \geq K, \sum_{k=1}^{\infty} \rho_k = \infty \quad (5-13)$$

计算得到新的  $\tau_{ij}(k), k = k+1, s++$ , 重复步骤 Step2。

## 第 6 章 半循环机车交路的算法研究

上一章要针对肩回交路做了深入分析,并给出几种解决方法。本章通过比较肩回式与半循环式两种运转制的特点,在定性分析的基础上,给出了机车全周转时间节省的计算公式,对半循环机车交路编制问题做深入研究。

### 6.1 数学模型

#### 6.1.1 问题提出

机车运转制对机车周转快慢有决定作用。针对不同的机车运转制,一般说来,循环运转制比较好,它与肩回运转制比较,节省机车出入本段时间、减少车站负担、加速机车周转等优点。当前研究工作主要都是针对成对的肩回式运转制情况,目前并且已经有了成熟的算法,而对于相对复杂的半循环机车交路的编制,相关研究还很少。

#### 6.1.2 数学描述

在线路 A—C 上, A, C 为两个端点站,共有  $N$  个车站,其中一个车站 B 定义为机务本段,其余车站为折返段(点)。列车运行图已知,且固定不变。已知:车站  $K$  上、下行列车运行线数目为  $N_K$  ( $K=1, 2, \dots, N$ )。机车在站最短折返时间均为  $t_K$  ( $K=1, 2, \dots, N$ ),最短立折时间标准  $t_K^d$  ( $K=1,$

$2, \dots, N$ )。可用机车台数为  $n_{jc}$ 。把运行图用网络形式表示,运行线看成是

点  $v_i$  ( $i=1, 2, \dots, \sum_{K=1}^N N_K$ ),  $v_i$  包括列车车次,始发时刻  $t_{i,fsk}$ ,始发车站  $s_{i,fsk}$ ,

终到时刻  $t_{i,dks}$ ,终到车站  $s_{i,dks}$  等信息。 $v_i$  到达时刻与  $v_j$  出发时刻之间的折返线

看成弧  $e_{ij}$ ,折返线在站停留时间看成弧的权重  $w_{ij}$  (表示点  $v_i$  到达时刻接续点

$v_j$  出发时刻的折返时间), 定义:

$$w_{ij} = \begin{cases} t_{j,fak} \odot t_{i,dsk} & S_{j,fak} = S_{i,dsk}, \\ \infty & \text{其他.} \end{cases} \quad (6-1)$$

其中, “ $\odot$ ” 表示:

若  $t_{j,fak} - t_K \geq t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fak} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fak} - t_{i,dsk}$ ;

若  $t_{j,fak} - t_K < t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fak} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fak} + 1440 - t_{i,dsk}$ 。

$C_i = (v_j, \dots, v_q \dots v_m)$ ,  $C_i$  为机车换挂顺序排列, 它是一个运行线的排列。

$S = \{C_1, C_2 \dots C_l\}$ ,  $S$  为解的集合。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{点 } v_i \text{ 到达时刻连接点 } v_j \text{ 出发时刻,} \\ 0 & \text{其他,} \end{cases} \quad (6-2)$$

其中,  $x_{ij}$  为点  $v_i$  与点  $v_j$  间连接标志。

### 6.1.3 约束条件

1. 每段运行线有且仅有一次被占用。

$$\sum_{i=1}^l C_i = S, \quad \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l C_i \cap C_j = \emptyset \quad (5-3)$$

2. 立折时间满足最短立折时间标准。

$$t_{i,dsk} \odot t_{j,fak} \geq t_K^{\text{立}} \quad (5-4)$$

其中, “ $\odot$ ” 表示:

若  $t_{j,fak} - t_K^{\text{立}} \geq t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fak} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fak} - t_{i,dsk}$ ;

若  $t_{j,fak} - t_K^{\text{立}} < t_{i,dsk}$ ,  $t_{j,fak} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fak} + 1440 - t_{i,dsk}$ 。

3. 折返时间满足最短折返时间标准。

$$t_{i,dsk} \odot t_{j,fsk} \geq t_K \quad (5-5)$$

其中，“ $\odot$ ”表示：

$$\text{若 } t_{j,fsk} - t_K \geq t_{i,dsk}, t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} - t_{i,dsk};$$

$$\text{若 } t_{j,fsk} - t_K < t_{i,dsk}, t_{j,fsk} \odot t_{i,dsk} = t_{j,fsk} + 1440 - t_{i,dsk}。$$

4. 机车经过本段时交替入段。

### 6.1.4 模型的建立

同肩回交路相同，要想得到最优机车周转图，只能通过减少机车在站停留时间。因此，半循环机车交路数学模型的目标如式 6-3：

$$F = \min \lambda_j \sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^{N_K} \sum_{j=1}^{N_K} w_{ij} x_{ij} \quad (6-3)$$

$$\sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^{N_K} \sum_{j=1}^{N_K} w_{ij} x_{ij} \leq n_{jc} \quad (6-4)$$

其中， $\sum_{i=1}^{N_K} x_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, N_K, K=1, 2, \dots, N;$

$\sum_{j=1}^{N_K} x_{ij} = 1, i=1, 2, \dots, N_K, K=1, 2, \dots, N;$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\mu, \mu = \sum_{K=1}^N \sum_{i=1}^{N_K} N_K$  为依据对现场情况的实际要求事先给定的一组

权值：

(1)  $\lambda_j$  一般取值为  $\beta$  ( $\beta$  可取任何值)；

(2) 规定点  $v_i$  到达时刻必须连续点  $v_j$  出发时刻时， $\lambda_j = 0$ ；

(3) 规定点  $v_i$  到达时刻一定不连续点  $v_j$  出发时刻时， $\lambda_j = \infty$ 。

## 6.2 肩回式与半循环式比较

表 6-1 两种机车运转的比较表

	肩回交路	半循环交路
概念	机车担当与机务段相邻两个区段的列车牵引任务，每次返回机务段所在站时都需入段进行整备作业。	机车担当与机务段相邻两个区段的列车牵引任务，机车第一次返回机务段所在站不入段，继续牵引列车向前方区段运行，到第二段返回机务段所在站时摘钩入段进行整备作业。
优点	交路勾画算法成熟，机务人员操作方便。易于实现机车的分配和统计。	减少机车出入段次数，减轻车站到发线咽喉道岔的负担，提高站场通过能力。
缺点	机车入段技检频繁，增加到发线和咽喉负担。	机务段所在站上必须设置部分整备设备，增加了投资。乘务员在外公寓时间长。
适用范围	我国铁路是最普遍采用的机车周转图，是大多数传统交路方式。	一个方向直通列车多，另一个方向必须改编列车或变更列车重量。

机车使用台数与全周转时间存在关系： $n_{\text{台}} = \frac{T_{\text{全}}}{24} \times n_{\text{对}}$ 。其中， $T_{\text{全}}$  表示机车

全周转时间  $T_{\text{全}} = t_{\text{本}} + t_{\text{纯时}} + t_{\text{折}}$ ； $n_{\text{对}}$  表示运行线对数； $t_{\text{本}}$  表示机车机务本段停留时间； $t_{\text{纯时}}$  表示机车纯运转时间； $t_{\text{折}}$  表示机车在机务折返段停留时间。

由于在编制机车周转图时，列车运行线固定不变，所以机车全周转时间的决定于机车在机务本段及所在站的停留时间上，而与机车纯运转时间和机车在折返段及所在站的停留时间无关。机车全周转时间中可调整部分只有机车在本段所在站的停留时间。所以，只有通过减少机车本段所在站停留时间的途径来减少机车使用台数。其中， $n = \sum_{K=1}^N N_K$ ， $n_1$  为 A—B 牵引区段内上、

下行运行线对数， $n_2$  为 B—C 牵引区段内上、下行运行线对数， $t_{\text{min}}$  为机车经过本段不入段时的停留时间，一般取 8 分钟。比较两种机车运转方式的情况如下：

半循环交路机车使用台数的极限为：

$$N_{\min}^{\#} = \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^n (t_j^{fjk} \odot t_i^{dsk}) + \min\{n_1, n_2\} \times t_{\min} + (\max\{n_1, n_2\} + n_1 + n_2) \times t_{\#}}{1440} \right\rceil \quad (6-5)$$

肩回交路机车使用台数的极限为：

$$N_{\min}^{\#} = \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^n (t_j^{fjk} \odot t_i^{dsk}) + (n_1 + n_2) \times t_{\#}}{1440} \right\rceil \quad (6-6)$$

$$N_{\min}^{\#} - N_{\min}^{\#} = \left\lceil \frac{(n_1 + n_2) \times t_{\#} - \min\{n_1, n_2\} \times t_{\min} - \max\{n_1, n_2\} \times t_{\#}}{1440} \right\rceil$$

$$\text{若 } n_1 > n_2: N_{\min}^{\#} - N_{\min}^{\#} = \left\lceil \frac{n_2 t_{\#} - n_2 t_{\min}}{1440} \right\rceil \quad (6-7)$$

$$\text{若 } n_1 < n_2: N_{\min}^{\#} - N_{\min}^{\#} = \left\lceil \frac{n_1 t_{\#} - n_1 t_{\min}}{1440} \right\rceil \quad (6-8)$$

由(6-7)和(6-8)可知，半循环交路较肩回交路最多可节省机车

$\left\lceil \frac{\min\{n_1, n_2\} \times (t_{\#} - t_{\min})}{1440} \right\rceil$ 。所以，半循环交路无论在何种运行图编图条件下，

使用机车台数均不多于肩回交路。在运输繁忙区段，有条件的地方可以将机车交路由肩回交路改为半循环交路，减少机车出入段次数，减轻咽喉能力干扰，提高机车利用率。

### 6.3 半循环交路算法实现

半循环交路概念：机车担当与机务段相邻两个区段的列车牵引任务，机车第一次返回机务段所在站不入段，继续牵引列车向前方区段运行，到第二段返回机务段所在站时摘钩入段进行整备作业。

不难发现，与肩回式相比，半循环交路在机车全周转过程的差别主要体现在机车在本段及所在站的停留时间少了一个  $t_{\#}$ 。因此，以机车全周转的一个全过程为单位生成图形，图 6-1 为一个半循环交路全周转的形式。

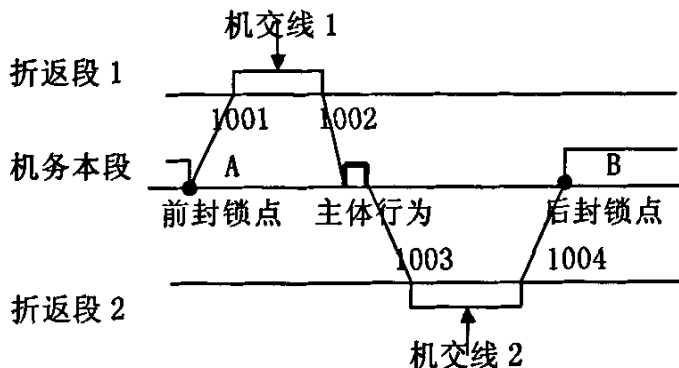


图 6-1 半循环交路编制单位示意图

由半循环概念可知，半循环交路编制过程是：机车由机务本段向一个区段出发，经折返段（点）返回机务本段所在站时不入段整備，继续向另一个区段运行，经过第二个区段的折返段，再回机务本段所在站入段整備，这样一个过程则称一个半循环交路全周过程。机车在经过机务本段时交替入段和不入段操作，下面说明几个问题：

① 在编制半循环交路时，首先生成所有折返段（点）的机交线。

② 主体行为 机车经折返段（点）返回机务本段所在站时不入段整備，继续向另一个区段运行，叫半循环交路的主体行为。如运行线 1002 到达时刻接续运行线 1003 的出发时刻。

③ 前封锁点 在本段不可以生成主题行为的出发时刻。由主体行为“1002→1003”开始推导，运行线 1002 在折返段 1 的机交线 1 的接续关系，找到运行线 1001，在机务本段，如图 6-1，与运行线 1001 出发时刻匹配的运行线必须入机务本段，所以 A 点为不可生成半循环交路的主体行为的点，称为半循环交路的前封锁点。

④ 后封锁点 同理，在本段不可以生成主题行为的到达时刻。由主体行为“1002→1003”开始推导，运行线 1003 在折返段 2 的机交线 2 的接续关系，找到运行线 1004，在折返段 2，运行线 1004 到达时刻必须入机务本段再接续其他运行线，所以 B 点为不可生成半循环交路的主体行为的点，称为半循环交路的后封锁点。

⑤ 半循环交路的两个牵引区段，由第一个牵引区段进入第二个牵引区段的机车要与第二个牵引区段进入第一个牵引区段的机车数目相等。

在编制半循环交路时，首先生成所有折返段（点）的机交线。再根据半循环交路特点，处理本段机车交替入段。因此，论文提出以两步操作来生成



半循环机车交路：第一步目标是利用贪婪算法生成折返段的机交线集合；第二步处理本段机车交替入段情况。

### 6.3.1 按贪婪 (Greedy) 规则求解折返段

Step1  $i=1, j=1, k=1$ , 将各点按到达时刻排序;

Step2 找到任意车站任意未访问过的点, 作为路径的开始点  $v_0$ ,  $i$ =此点所在位置值, 并记下点  $v_i$  信息。若找不到这样未访问过的点, 算法结束;

Step3 从点  $v_i$  开始, 按下述规则选择下一个被访问点, 设为  $v_j$ :

情况 1: 若  $v_j$  未被访问过, 并且  $v_j^{fs} = v_i^{ds}$ , 取  $w_j = \min \{w_j \mid j \text{ 点是没有被访问过点}\}$ ,  $j$ =此点所在位置值, 则 “ $v_i \rightarrow v_j$ ”,  $v_j$  记为  $v_i$ , 重复 Step3;

情况 2: 若  $v_j$  为  $v_0$ , 返回 Step2。

### 6.3.2 启发式算法求解本段

若机务本段有  $n$  对列车,  $w_j$  表示  $v_i$  到达时刻匹配  $v_j$  出发时刻的主体行为的在站停留时间, 且  $t_{\min} \leq w_j < t_*$ , 则机务本段可构成主体行为的  $w_j$  最多有  $n^2$  个。首先被选中的主体行会直接影响其他主体行为的生成。因为每个主体行为会生成两个封锁点, 被封锁点丧失了生成更节省时间的主体行为的机会。如何选择第一个主体行为? 下一个主体行为按照什么规则选择? 这是一个 NP 问题。

因为如果选择一个主体行为, 则停留时间为  $w_j$ , 相应产生一对封锁点, 就意味着否定其他最多  $3n-1$  个主体行为  $w_j$ 。这些  $w_j$  由三部分组成, 其中,

$n-1$  个  $w_y$  为  $v_i$  与除  $v_j$  外其他  $n-1$  个点构成主体行为； $n$  个  $w_y$  为前封锁点与  $n$  个点构成主体行为； $n$  个  $w_y$  为后封锁点与  $n$  个点构成主体行为。将加大启发式信息比重，使解向最优解靠近，考虑这些关联关系和相互影响关系，会大大增加了算法的合理性和科学性，也体现了此算法处理半循环自动编制的本质。因此，将主体行为的费用由  $w_y$  变成  $\Delta w_y$  作为评价函数：

$$\begin{aligned} \Delta w_y &= (t_{\star} - w_y) - [t_{\star} - \min \{ \text{前封锁点的可能生成的所有 } w_y \}] - \\ & [t_{\star} - \min \{ \text{后封锁点的可能生成的所有 } w_y \}] \\ &= \min \{ \text{前封锁点的可能生成的所有 } w_y \} + \min \{ \text{后封锁点的可能生成的所} \\ & \text{有 } w_y \} - w_y - t_{\star} \end{aligned} \quad (6-9)$$

基本步骤如下：

Step1 运行线到达、出发时刻设置不入本段标志为是，牵引区段 1 进入牵引区段 2 的机车数目  $N_{1 \rightarrow 2} = 0$ ，牵引区段 2 进入牵引区段 1 的机车数目  $N_{2 \rightarrow 1} = 0$ ，因为  $N_{1 \rightarrow 2} = N_{2 \rightarrow 1}$ ，所以解处于平衡状态。利用 6.3.1 算法生成两折返段机车周转图匹配。按照式 6-9 将所有的  $\Delta w_y$  ( $t_{\min} \leq w_y < t_{\star}$ ) 放入集合  $V$  中：

Step2 若  $V$  不为空，在取  $V$  中  $\Delta w_y$  最小的元素，将“ $v_i \rightarrow v_j$ ”记入机务本段机交线集合。若  $v_i^{\text{发}} = \text{折返段 1}$ ，并且  $v_j^{\text{到}} = \text{折返段 2}$ ，则  $N_{1 \rightarrow 2} ++$ ；若  $v_i^{\text{到}} = \text{折返段 2}$ ，并且  $v_j^{\text{发}} = \text{折返段 1}$ ，则  $N_{2 \rightarrow 1} ++$ 。否则，进入 Step4；

Step3 通过主体行为“ $v_i \rightarrow v_j$ ”找到  $\Delta w_y$  匹配的前封锁点，记为  $v_p$ ，并将该点的不入本段标志置为否。同理，将  $\Delta w_y$  后封锁点做同样标记，记为  $v_q$ 。

---

在 $V$ 中删除所有 $\Delta w_{kp}$ 和 $\Delta w_{qk}$  ( $k=1, 2, \dots, n$ )。若 $N_{1 \rightarrow 2} = N_{2 \rightarrow 1}$ ，替换上个平衡状态数据，返回 Step2。

**Step4** 回到最近平衡状态。将机务本段剩余时刻点（包括不可生成入机务本段的点）利用 6.3.1 算法生成接续关系。

---

## 第7章 机车周转图系统的实现

在对系统进行了需求分析、系统分析、系统设计、算法设计后，进入了系统实现阶段。本章将重点介绍系统主要部分的实现方法，并给出相关的源代码及界面。

### 7.1 开发平台及工具

计算机编制机车周转图系统的实现采用 Windows 平台，系统模式为 C/S 结构，开发工具 VC++。

### 7.2 系统关键技术

#### 7.2.1 提取列车运行线

机车周转图是在列车运行线已知的情况下编制完成的，所以要进行机车周转图编制，必须先得到列车运行线信息。机车周转图中所需要的运行线数据与运行图编制系统的运行线数据有所不同，可能只是运行图运行线的某一部分，或者以机车交路中车站为分割点，将运行图中的运行线分割成几个区段。例如，将图 7-1 中运行线  $x$ 、 $y$ 、 $z$  分割成  $\{x_1, x_2\}$ 、 $\{y_1, y_2\}$  和  $\{z_1, z_2, z_3\}$  等几个区段，其中，机车牵引完  $x_1$  后，牵引  $x_2$  或  $z_3$ 。

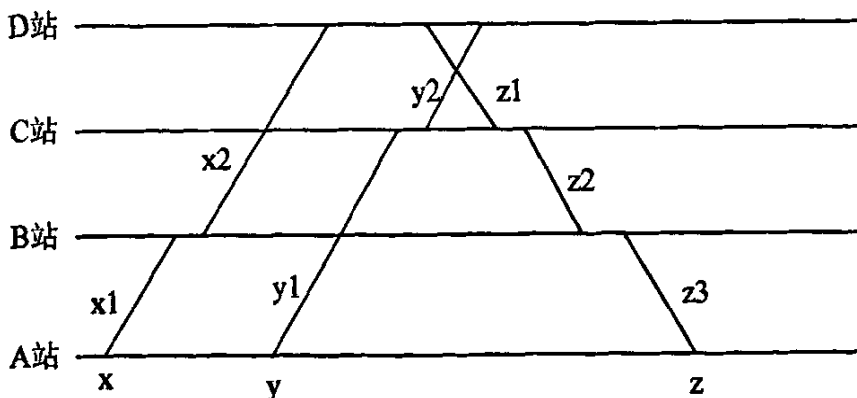


图 7-1 将运行线切割成若干区段示例

因此，需要设计算法搜索需要车次的运行线数据。实现的方法有两种：

### 1. 人工录入运行线

视图添加车次

车次名称 列车特征

车次通过车站以及到发点

车站名称	出发时刻	到达时刻
兰州	13.25	-1
西固城		
打柴沟		
武威南	-1	18.28

机车数

1

确定

取消

图 7-2 添加车次对话框

在机车周转图调图界面，拖动鼠标，在新运行线出发车站处，点击左键，生成新运行线的起始车站。在新运行线到达车站处，点击右键，生成新运行线的终到车站。最后，填写该对话框，写入该运行线属性，包括车次、到达时刻、出发时刻等。

这种添加运行线的方法主要适用于增加临时列车或列车运行线数量比较少情况下使用。

### 2. 自动提取运行线

根据交路属性信息，自动提取相应列车运行线，并显示。

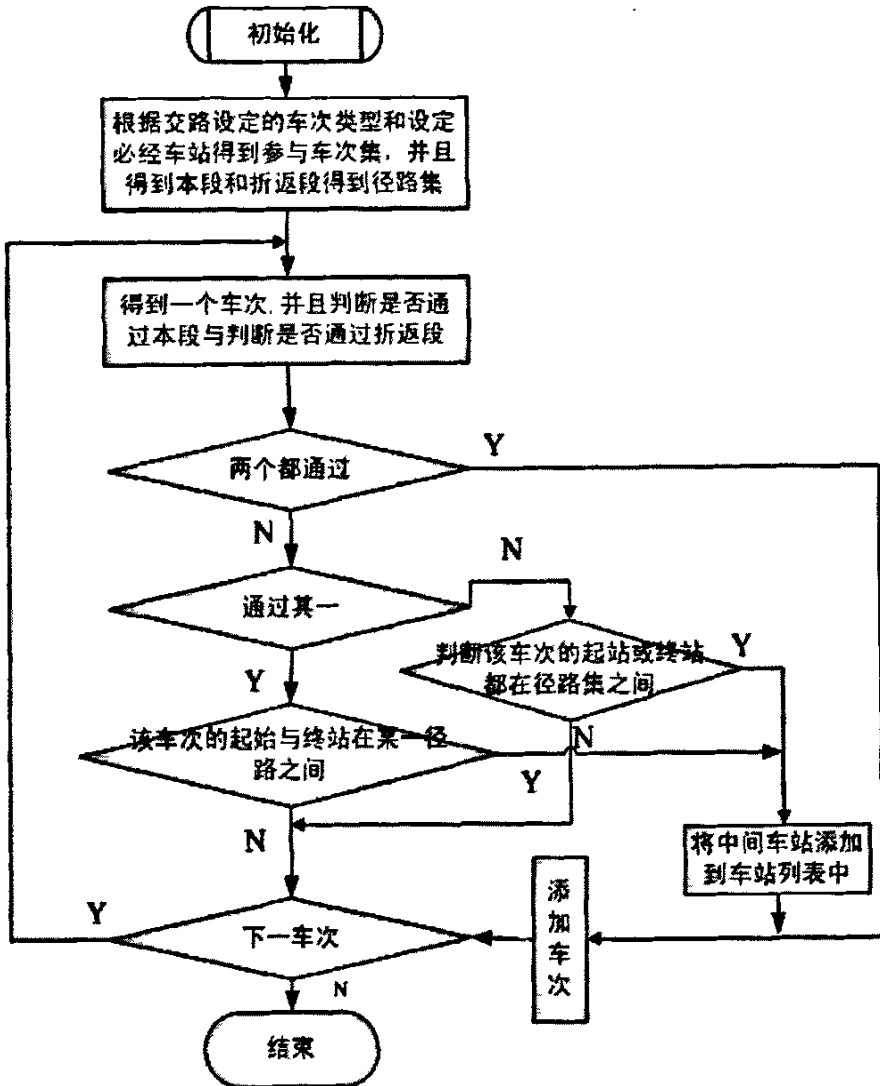


图 7-3 自动提取列车运行线流程图

由图 7-3 车次搜索算法流程图可以看到该搜索算法中包含两个循环，一个是车次循环，其中的车次是经过过滤的。第二层循环：判断每个具体车次是否满足设定的条件。

## 7.2.2 机车周转图算法的实现

算法是机车周转图编制系统中最为核心的部分，决定了系统的自动化水平和决策方向。机车周转图的自动编制有多种形式，可以按交路区段为单位

自动编制、按车站为单位自动编制、按车站分组为单位编制、按类型、元式为单位自动编制、按运转方式自动编制（包括单肩、双肩、半循环、环行等）、按同车次优先自动编制等等，如图7-4所示。

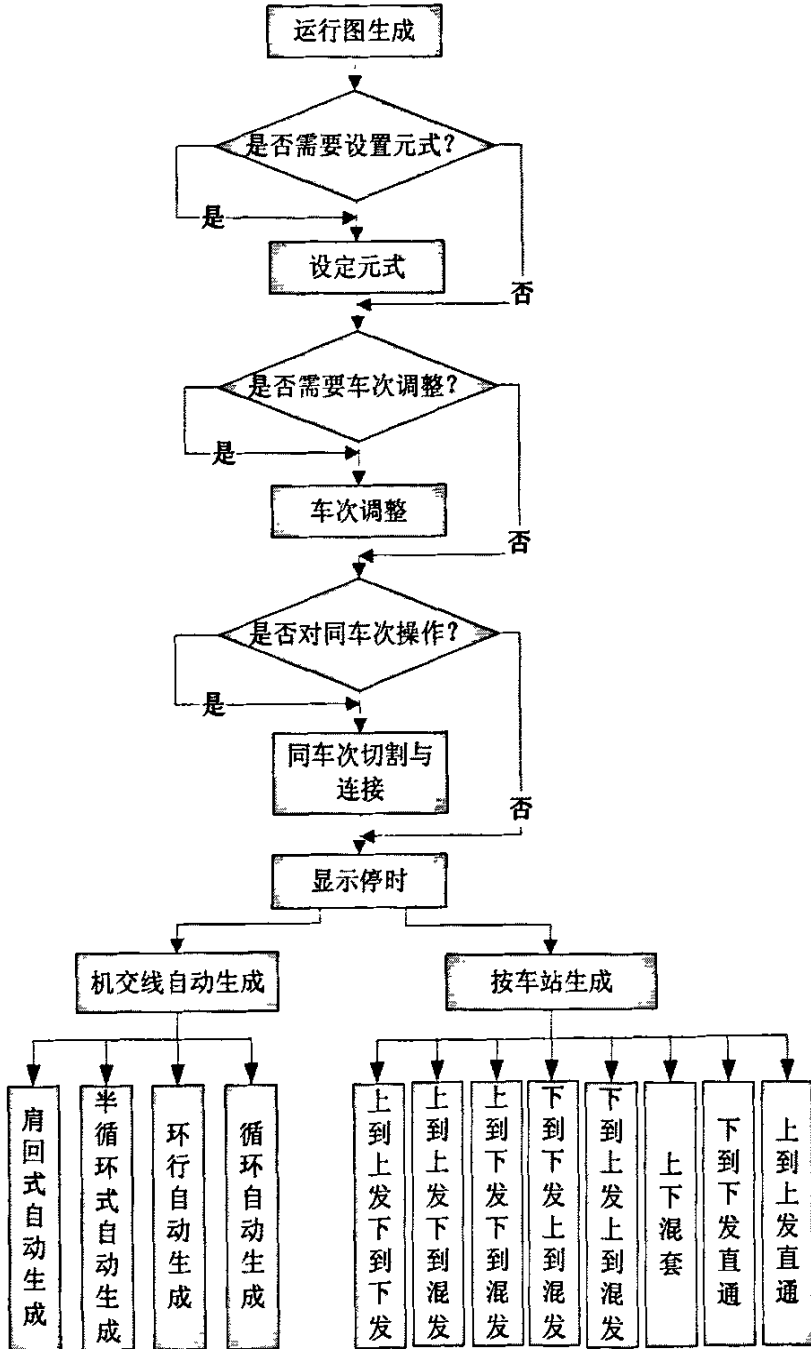


图 7-4 机车周转图自动编制流程图

算法实现的部分代码如下：

实现的部分代码如下：

```
int i=1;
while (i<m_curJlcz.GetCurLen()+1) {
    int m=TjDdccAndCfcc(m_curJlcz[i]);
    if (m==1||m==0) {
        CString strErr;
        strErr.Format("%s有不成对车次。",m_curJlcz[i].czm);
        SetErrMsg(strErr,true);
    }
    i++;
}
JcjlYxtczZbsjCreate(1);
Jjxsc();
HzJjxsc(); //环形交路处理
Jjxsc()函数如下:
.....//省略
i=1;
while (i<m_curJlxx.GetCurLen()+1) {
    jlType = m_curJlxx[i].jltype;
    //-1 默认没有设置 0为单肩回 1为双肩回 2 为半循环 3为混合交
路
    if (jlType == -1) {
        CString str;
        str.Format("请您选择交路:%s",m_curJlxx[i].strJlName);
        AfxMessageBox(str);
        return FALSE;
    }
    //半循环设置结果检查
    if (m_curJlxx[i].jltype == 2 ) { //半循环方式
        j=1;
        while (j<m_curJlxx[i].jlxxczArray.GetCurLen()+1) {
```



```
k=GetCurJlczXb(m_curJlxx[i].strJlName,
m_curJlxx[i].jlxxczArray[j].czm);
if (k == -1) {
    return FALSE;
}
j++;
}
if (nBdczxb == -1) { //没有设置本段车站
    CString str;
    str.Format("%s的本段车站", m_curJlxx[i].strJlName);
    return FALSE;
}
}
i++;
}
j=1;
while (j<m_curJlxx[i].jlxxczArray.GetCurLen()+1) {
    k =GetCurJlczXb(m_curJlxx[i].strJlName,m_curJlxx[i].
jlxxczArray[j].czm;
    if (k != -1) {
        CzYsJjxsc(m_curJlcz[k], qJxArray, hJxArray, m_curJlxx[i]);
        if(m_curJlcz[k].gbjcs!=-1 || m_curJlcz[k].kegbjcs!=-1
|| m_curJlcz[k].hcegbjcs!=-1) {
            CzJjxGbtzsc(m_curJlcz[k], qJxArray, hJxArray,
m_curJlxx[i]);
        }
        if (bMrBxhGhjx) { //处理半循环机务本段的交线自动勾画
            CzYsJjxsc(m_curJlcz[nBdczxb], qJxArray, hJxArray,
m_curJlxx[i], 2);
        }
    }
}
j++;
}
```

……//省略


### 7.2.3 机车周转图调整


机车周转图系统为运输人员和机务人员编制列车运行图和机车周转图提供了一种方便快捷的辅助手段。目前,它是一种计算机决策支持系统,其重点是放在“支持”而不是决策工作的自动化上。决策支持系统允许决策者在问题求解过程中对信息进行检索并对一些可选方案进行择优。


对于计算机编制机车周转图子系统来说,由于算法在一定程度上对机务规则进行了简化,通过自动编制的机车周转图,可能在一定程度上不能满足实际需要,这就需要对自动编制的交路进行手工调整,以便符合实际需要。

为了方便、简化用户的调整操作,系统提供方便的、智能化的、有效的调整手段,用户只需要简单的鼠标拖动操作就可以完成对交路的调整。使得机务编图人员可以根据实际需要修改这个方案,形成铁路现场真正使用的机车周转图。因此系统并不是要代替决策者编制机车周转图,而是提供一种方便的辅助决策的手段。


编制机车周转图时,大多采用自动编制与人工编制互补进行的。这样克服手工编制机车周转图的弊端,将大大提高工作效率,提高编图质量。


1. 放大:单击“视图”菜单中的“放大”项或者单击按钮,当前交路图放大 1.2 倍。

2. 缩小:单击“视图”菜单中的“缩小”项或者单击按钮,当前交路图缩小 1.2 倍。


3. 全局放大:单击“视图”菜单中的“全局放大”项或者单击按钮,当前交路图可以实现以鼠标光标位置为中心放大逐步放大。

4. 全屏显示:单击“视图”菜单中的“全局放大”项,当前交路图放大到最大显示。

5. 恢复操作:单击“视图”菜单中的“恢复操作”项或者单击按钮,可将上一次撤消的人机交互操作恢复。

6. 撤消操作:单击“视图”菜单中的“撤消操作”项或者单击按钮,可将上一次的人机交互操作撤消。

7. 删除机交线:选择此菜单后,可以实现手工删除机交线。鼠标双击要删除的折返连接线,便删除了此机交线信息。

8. 添加机交线：选择此菜单或单击后，可以实现手工删除机交线。分以下三个动作：

① 鼠标移至运行线在车站到达或出发时刻，出现提示“当前选择的车站是\*\*，车次是\*\*”时，单击鼠标左键；

② 鼠标上下移动确定折返连接线的高度并单击鼠标左键；

③ 鼠标移动至另一个时刻对应位置并出现提示“当前选择的车站是\*\*，车次是\*\*”时，单击左键设置完成。

在此过程中，若单击鼠标右键则取消已经完成添加动作。

#### 7.2.4 机车周转图指标统计

指标统计是系统勾画结果好坏的最终体现，指标输出方式最常用的方法是采用报表形式。报表输出方式也有很多方式，当前比较常用的方式是输出到第三方软件，这种方式能给使用者以更大的方便，可以脱离应用软件修改报表的内容，而且可以借助第三方软件的排版打印功能调整报表布局。因此系统采用 EXCEL 表格作为报表输出方式。这里主要介绍 EXCEL 报表的建立、填写和生成过程。

下面简单介绍一下在 VC 中生成 Excel 报表方法：

第一步：定义机车周转图技术指标统计报表 48 项数据结构。

```
struct JczztJszb{
    CString      psd;          // 配属段
    CString      zpd;          // 支配段
    CString      lclx;         // 列车种类
    CString      qd;           // 区段
    FLOAT        qdjl;         // 距离
    CString      njb;          // 年季别
    CString      syjx;         // 使用机型
    FLOAT        lcds;         // 列车对数
    .....//省略
};
typedef CArray<JczztJszb, JczztJszb&> JczztJszbArray;
```

第二步：定义机车周转图指标统计类。

```
class CJczztJszbReportTable
{
public:
    CTime m_tSxrq;
    CString m_strTlj;
    CString m_strTlfj;
    CString m_strFjh;
    CString m_strTitle;
    JczztJszbArray m_jczztJszbArray;
    void WriteExcel();
    void CalcZb();
protected:
    void CaclCurJltZb();
    void WriteJszbToExcelRow(const JczztJszb& jszb,
        CExcelOperation* pExcelOp, const row);
    void SumJszbsInExcel(const CUIntArray& arrayRowsToSum,
        CExcelOperation* pExcelOp, int DestRow);
};
```

第三步：定义统计类对象。

```
CJczztJszbReportTable* m_pJczztJszbRT;
```

第四类：生成机车周转图指标并写报表。

```
m_pJczztJszbRT->CalcZb();
```

```
m_pJczztJszbRT->WriteExcel();
```

```
    // 获取前一段时间的指标
```

```
    PutLastYearDataToCurrentRow();
```

```
    ++row;
```

```
    // 填充本次指标统计
```

```
    WriteJszbToExcelRow(newJszb, &excelOp, row);
```

```
    ++row;
```

```
    // 填充比较指标
```

```
    PutCompRow();
```

```
    ++row;
```

}  
 .....//省略

### 7.3 系统操作界面

系统中实现的操作界面与显示界面很多,主要有以下几个代表性的界面。

#### 1. 基础数据管理界面

交路数据与车站数据是计算机编图的最基本数据,其他数据都是建立在其基础之上的,系统把这两种数据纳入基础数据进行管理,实现系统中基础数据的增加、删除、修改的操作。

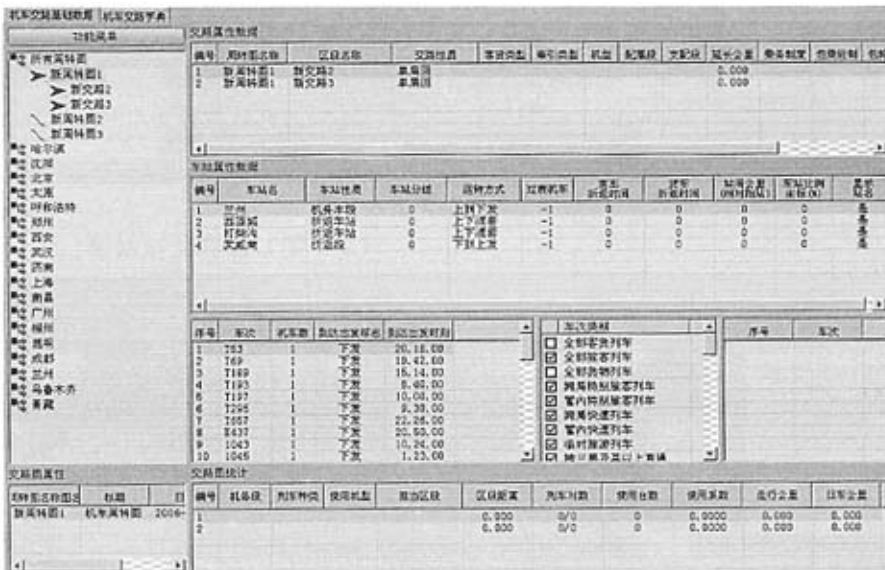


图 7-5 基础数据管理界面

关于数据项和目录项的操作,这里介绍几个热键:

Ctrl+Insert: 插入行,输入第一行数据或在两行数据中间插入一行数据时采用。

Ctrl+Home: 删除行,删除当前光标所在行。

Enter: 追加行,一行数据输入完毕后,输入另外一行数据时采用。

DEL: 删除目录项,删除光标所在目录项。

#### 2. 定义交路信息界面 (图 7-6)



图 7-6 定义交路信息界面

### 3. 车站定义界面 (图 7-7)

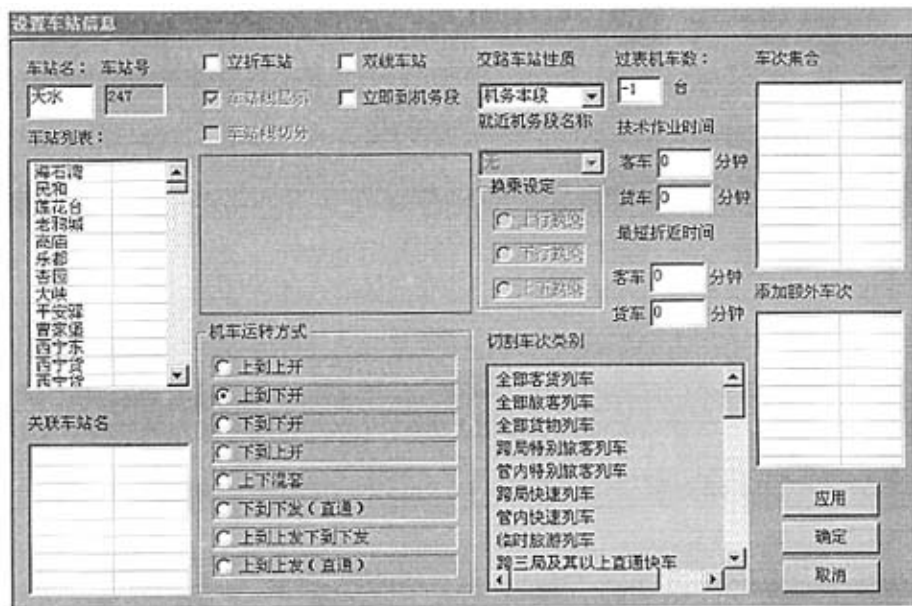


图 7-7 定义车站界面

## 4. 调整交路界面 (图 7-8)

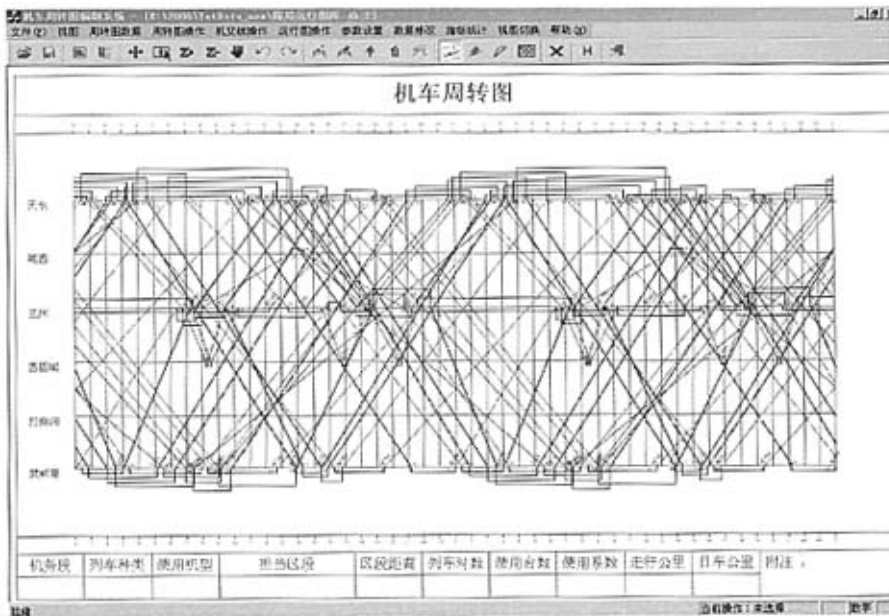


图 7-8 调图界面

## 5. 绘图输出界面 (图 7-9)

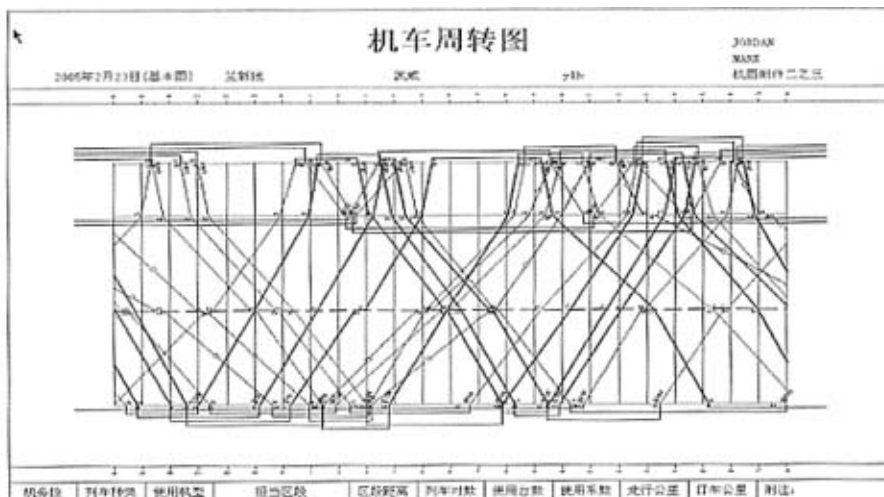


图 7-9 绘图输出界面

## 6. 统计界面与输出到 EXCEL 界面 (图 7-10)





Microsoft Excel - 机车周转图分项目指标统计汇总表

分项目指标统计汇总表

成都铁路局

序时	日 段 停 留 时 间												分 段 停 留 时 间											
	全		平		技术作业				停留站作业				全		平		技术作业				全		平	
	计	均	计	均	计	平均	合计	平均	合计	平均	合计	平均	计	均	计	均	计	平均	合计	平均	计	均		
10	0.50	52.18	3.02	28.00	0.85	15.20	0.71	47.18	2.25	145.22	6.22	18.47	0.78	13.23	0.41	115.22	5.43	42.82	17.11					
11	0.20	82.28	3.82	22.00	0.95	15.20	0.71	47.28	2.24	145.22	6.22	18.47	0.78	13.23	0.41	115.22	5.43	42.82	17.11					
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
25	0.20	82.28	3.72	20.80	0.95	15.20	0.71	47.28	2.24	145.22	6.22	18.47	0.78	13.23	0.41	115.22	5.43	42.82	17.11					
26	0.40	82.28	3.82	20.80	0.95	15.20	0.71	47.28	2.24	145.22	6.22	18.47	0.78	13.23	0.41	115.22	5.43	42.82	17.11					
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
31	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

图 7-12 EXECL 报表输出 2

## 结 论

机车是铁路运输中的重要组成部分，机车的运用效率的高低，直接影响铁路运输生产组织的效果。该机车周转图系统的建立，具有以下几点重要意义：

1. 建立统一信息平台，是运行图编制系统的继承和扩展，实现铁路基础数据资料的共享；
2. 实现图形的自动编制，改变了手工纸和笔编图的局面。建立了更加优化的图形，减少机车设备的占用，减轻了编图技术人员的劳动强度，提高了工作效率；
3. 建立了交路信息管理子系统，使之以基础信息存放到数据库中提供给其他系统使用；
4. 实现了机车周转图常用统计报表的计算与生成，提高了工作效率且避免了人工统计出错的可能。

本论文就机车周转图系统设计和实现进行了研究。主要工作如下：

1. 在充分进行现场调研的基础上，对系统的功能需求进行详细分析，完成了系统功能模块的设计，对系统进行了总体规划；
2. 实现了系统基础数据资料管理，包括增、删、改、查询等功能。
3. 详细分析了编制机车周转图的影响因素、主要约束条件和评价标准。
4. 将基于 MTSP 算法、模拟退火算法和蚂蚁算法引入到解决肩回交路的编制中，并实现了算法在自动编制机车周转图中的应用。
5. 通过理论分析，证明了半循环交路与肩回交路相比，可以缩短机车全周转时间，节省机车使用台数，降低运输成本，有效提高机车运用效率。利用启发式算法思想，提取半循环交路问题特有的启发式信息，提出了按照半循环定义以半循环一个全周转过程为单位生成半循环式机车周转图的启发式算法。
6. 实现了对自动编制的机车周转图的手工调整，并在调整中自动检查约束条件。完成了机车周转图的统计功能，自动生成统计报表并以 EXECL 格式输出。

由于本人水平有限，对以上问题的分析和研究并不完善。另外系统还可以在结构设计、功能实现方面进行扩展，主要表现在以下几个方面：

- 
1. 系统支持网络功能, 开发 B/S 模型, 采用 B/S 与 C/S 相结合的系统模式。
  2. 加强软件实用性和软件易用性。使系统的人机接口更加友好、更加美观。
  3. 进一步完善软件自动编制机车周转图水平, 建立算法库。
  4. 由于列车运行图结构与机车周转图存在一定的关系, 在完成机车周转图与列车图建立反馈机制的基础上, 是否可以尝试机车周转图与列车运行图同时编制。

这些问题还需要在时间中不断摸索、探讨。论文中存在的不足, 恳请各位老师和专家批评指正。

---

## 致 谢

本文是在导师倪少权教授、博导悉心指导和亲切关怀下完成的。从论文的选题、研究到撰写，整个过程无不浸透着恩师的心血和汗水。研究生学习期间，导师在思想、学习、工作上给予严格要求、督促，在生活上给予了极大的帮助和关心。恩师严谨治学、诲人不倦、言传身教的精神和作风，孜孜不倦献身事业的崇高品德给我深刻的影响。在此，向他致以崇高的敬意并衷心感谢。

同时，特别感谢交通运输学院吕红霞副教授。在系统的开发过程中，得到了张杰老师长期的大量的帮助，在此对他们表示深深的谢意。哈尔滨铁路局与成都铁路分局机务处的各位工程师为我解决了许多有关铁路现场实际工作的疑惑。

另外，在系统开发和论文撰写期间还得到交通运输信息技术研究所陈韬、李雪婷老师的帮助，研究所的其他同学也给予了不少的帮助，对他们一并表示感谢。他们陪伴我度过了一段愉快的研究生学习生活；特别感谢我的项目组成员们，他们的工作帮助我最终完成这篇毕业论文。

深深感谢我的父母和男友，在研究生期间他们在生活上和精神上给了我很大的支持，使我能顺利完成学业。

感谢西南交通大学多年的培养，衷心感谢百忙之中抽出时间参加论文评阅和评议的各位专家学者，感谢他们为审阅本文所付出的辛勤劳动。

---

## 参考文献

- [1] 胡思继. 铁路行车组织[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002
- [2] 铁路机车运用管理规程 北京 中国铁道部出版社, 1998
- [3] <http://col.njtu.edu.cn/shihang/yang/yangzhaoxia/wwwroot/organization/tl/index.htm>
- [4] 顾炎. 铁路运输工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997
- [5] 成铁运[2001]242号文件附件三, 列车运行图资料, 成都铁路局, 2001.10
- [6] 铁道部专业设计院, 机务段设计手册, 中国铁道部出版社, 1983
- [7] 铁路机车调度总则, 中华人民共和国铁道部, 1997.1
- [8] 王长明, 铁路机车运用管理, 中国铁道出版社, 2002
- [9] 贾新民. 铁路机务常用字典[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000: 50-59
- [10] 肖文龙. 最优机车周转图的自动化铺划[J]. 长沙铁道学院学报, 1999,3.
- [11] 谢金宝, 永秀. 利用网络技术求解机车交路方案[J]. 铁道学报, 1996,10.
- [12] 史峰, 胡安洲. 机车周转图的线性配置算法[J]. 铁道学报, 1996,4.
- [13] 吕红霞, 杨明伦, 毛节明. 计算机编制不成对机车周转图的研究[J]. 西南交通大学学报(自然科学版), 1998,4
- [14] 崔炳谋. 机车周转图的计算机优化算法. 铁路计算机应用
- [15] 何奉道, 梁向阳. 基于遗传算法的机车周转图优化编制方法. 西南交通大学
- [16] 李致中. 铁道运输管理的数学模型及算法. 华中理工大学出版社, 1995.11
- [17] 高小平, 张兴国. 计算机编制机车周转图研究[J]. 铁路计算机应用, 2003.9
- [18] 倪少权, 吕红霞, 李浩. 列车运行图系统设计的研究[J]. 铁道运输与经济, 2001.7
- [19] 王守慧, 张全寿. 日计划机车周转图智能编制方法的研究[J]. 北方交通大学学报.
- [20] 赵鹏, 富井规雄. 动车组运用计划及其编制算法[J]. 铁道学报, 2003 (6)
- [21] 赵鹏, 富井规雄. 基于路段交换的多基地动车组运用计划的编制算法[J]. 铁道学报, 2004 (2): 7-10
- [22] Jin Shengping. A Hybrid Genetic Algorithm to Solve TSP and MTSP[J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2002.12
- [23] 党建武, 靳蕃. 神经网络求解 MTSP 的应用研究[J]. 铁道学报, 1997.10
- [24] 马良. TSP 及其扩展问题的混合型启发式算法[J]. 上海理工大学学报, 1999 (1)
- [25] 徐杰, 杜文, 李宗平, 立冰. 基于模拟退火算法和图着色的调车机车安排研究[J]. 铁道学报, 2003.6
- [26] 张应辉, 饶云波, 周明天. 模拟“退火”算法在多目标航空公司职员排班系统中的应用[J]. 计算机应用 2006.8: 3-4

- 
- [27] 刘云忠, 宣慧玉. 蚂蚁算法在车辆路径问题中的应用研究[J]. 信息与控制, 2004.4
- [28] 崔雪丽, 马良, 范炳全. 车辆路径问题 (VRP) 的蚂蚁搜索算法. 系统工程学报, 2004.8
- [29] 赵鹏. 高速铁路动车组和乘务员运用的研究. 北方交通大学博士学位论文, 1998: 32-35
- [30] J.A.邦迪, U.S.R.默蒂. 图论及其应用. 科学出版社, 1984
- [31] (美)Kruglinski,DavidJ. VC++技术内幕 (第五版). 清华大学出版社, 1996.5
- [32] 辛长安, 梅林. VC++编程技术与难点剖析. 清华大学出版社
- [33] James M. Lacey, Lacey, James M , MCSD Visual C++ 6 desktopExam 70-016New YorkCoriolis Group2000
- [34] 倪少权, 吕红霞, 张杰. 铁路列车运行图系统的研究[M]. 中国交通研究与探索(下册). 人民交通出版社, 2003
- [35] 倪少权, 吕红霞等. 全路列车运行图编制系统设计的研究[J]. 西南交通大学学报, 2003.3
- [36] 杨系流. 优化机车周转图的简便方法[J]. 铁道运输与经济, 1990.9
- [37] John W, Satzinger Robert B, Jackson Stephen D.Burd. 系统分析与设计[M]. 电子工业出版社, 2003
- [38] 郑人杰, 殷人昆, 陶永雷. 实用软件工程[M]. 北京航空航天大学出版社, 2002
- [39] Booch, Grady. Object Oriented Analysis and Design with Applications. Addison-Wesley, 1994
- [40] 蔡锁章. 数学建模原理与方法[M]. 海军出版社, 2000.6
- [41] 严蔚敏, 吴伟明. 数据结构[M].第二版. 清华大学出版社, 1991.
- [42] 张海藩. 软件工程[M] (第三版), 清华大学出版社, 1998.1
- [43] 胡运发编著. 数据与知识工程导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2003
- [44] 陶宏才编著. 数据库原理及设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.2
- [45] 黄超编著. Windows 网络编程[M]. 人民邮电出版社, 2003
- [46] 李强, 贾云霞编著. Visual C++项目开发实践[M]. 中国铁道出版社, 2003
- [47] David J. Kruglinski, Scot Wingo, George Shepherd 著. Visual C++ 6.0 技术内幕 (第五版) [M]. 希望图书创作室译. 北京希望电子出版社, 1995
- [48] Robert D.Thompson. MFC 开发人员参考手册[M]. 前导工作室译. 机械工业出版社, 1998
- [49] Microsoft. Visual C++6.0 类库参考手册[M]. 希望图书创作室译. 北京希望电子出版社, 1999
- [50] John E. Swanke. Visual C ++ MFC 编程实例[M]. 机械工业出版社, 2000
- [51] 侯俊杰. 深入浅出 MFC[M]. 华中科技大学出版社, 2001.
-

- [52] 北京源江科技开发公司制作. Visual C++编程资源大全(光盘版). 万水电子信息有限公司出版社, 2001.
- [53] 卢雪强. 利用 Excel 实现报表制作[J]. 铁路计算机应用, 2003,12(6)
- [54] 张曜, 郭立山, 戴传智. Windows API 函数实用手册[M]. 冶金工业出版社, 2003.
- [55] 希望图书创作室. Microsoft Excel 2000 语言参考手册[M]. 希望电子出版社, 2000
-

---

### 攻读硕士学位期间发表的论文及科研成果

- [1] 陈广秀, 吕红霞. 混合启发式算法求解 TSP. 西南交通大学学报.2006.10
  - [2] 陈广秀, 毛旭, 陈立君. 动车组编制计划系统研究与设计. 铁道运输与经济.2007.1
  - [3] 陶然, 吕红霞, 陈广秀.《基于 MTSP 的机车周转图编制模型与算法》.西南交通大学学报. 2006, 5
  - [4] 刘领兵, 吕红霞, 陈广秀.《多端点不成对机车周转图模型与算法》.交通运输工程与信息学报. 2006, 3
  - [5] 于得水, 陈广秀, 刘领兵.《货物列车指标统计系统的设计与实现》.铁路计算机应用.2006.11
-