

智能铁路系统 与 枢纽车流组织优化

严余松 蒋葛夫 编著

西南交通大学出版社
· 成都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

智能铁路系统与枢纽车流组织优化/严余松编著.
成都: 西南交通大学出版社, 2001.5
ISBN 7-81057-565-1

I. 智… II. 严… III. 铁路系统 — 自动化 — 研究
IV. U29-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 030079 号

智能铁路系统与枢纽车流组织优化

严余松 蒋葛夫 编著

*

出 版 人 宋绍南

责任编辑 王

封面设计 肖 勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行科电话: 7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

成都飞机工业公司印刷厂印刷

*

开本: 850 mm×1168 mm 1/32 印张: 4.25

字数: 72 千字 印数: 1~800 册

2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-565-1/U·042

定价: 11.00 元

致 谢

本书是在我的博士学位论文“智能铁路系统枢纽车流调度决策与小运转列车运行组织模型及算法研究”的基础上进一步研究完善后写成的，凝聚着导师朱松年教授几年来所付出的大量心血。在本书的研究写作过程中，得到了西南交通大学柯尊平教授、蒋葛夫教授、李万青教授、杜文教授、高家驹教授、顾炎教授、高世廉教授、叶怀珍教授、胡景惠副教授、董秀兰副教授、彭其渊教授、蒲云教授、张锦副教授等老师的关心、支持和帮助，也得到了铁道部干部管理学院韩惠珍教授、长春铁路分局刘彦江总工程师、吉林铁路分局孙立恒总工程师、姜兴月工程师的关心、支持和帮助。在此，我一并表示深深的谢意。

多年来，我的妻子罗平女士和我的女儿严雯小姐给予了我许多的理解和关心，是她们承担了全部的家务，并为我创造了良好的学习和研究环境，正是她们的无私奉献和大力支持，才使我能顺利完成学业。在此，我向她们表示最真诚的谢意：你们辛苦了。

学海无崖、学无止境，我将刻苦学习，不断进取，为交通运输事业的发展继续努力奋斗。

作者

2001 年 1 月于西南交大

前 言

智能铁路系统 IRS 属智能交通系统 ITS 的研究范畴，是运输学学科研究的前沿与热点之一，是铁路发展的智能化阶段。本书在吸收国内外该领域研究成果的基础上，提出了我国智能铁路系统 IRS 的基本构想，进而对影响智能铁路系统 IRS 的基本组成部份——先进的运输管理系统 ATMS 的枢纽车流调度决策问题和枢纽小运转列车的运行组织问题进行了较为系统和富有创新的研究，取得了开拓性的研究成果，为根据运输市场的变化，智能生成各种运输生产方案，动态调整路网车流分布创造了条件，有利于实现全局运输组织工作的优化。

在本书的研究写作过程中，得到了西南交通大学朱松年教授、柯尊平教授、李万青教授、杜文教授、高家驹教授、顾炎教授、高世廉教授、叶怀珍教授、胡景惠副教授、董秀兰副教授、彭其渊教授、蒲云教授、张锦副教授等老师的关心、支持和帮助，也得到了铁道部干部管理学院韩惠珍教授、长春铁路分局刘彦江总工程师、吉林铁路分局孙立恒总工程师、姜兴月工程师的关心、支持和帮助。在此，一并表示深深的谢意。

本书共分 6 章，其主要内容包括智能交通系统、智能铁路系统、铁路枢纽车流调度决策模型及其算法、枢纽车流组织模型应用实例、铁路枢纽小运转列车运行组织模型及其算法等。

本书具有理论性与应用性相结合的特点，既可作为交通运输类专业本科生、研究生的相应课程教材，也可供交通运输业领导干部、管理人员及交通运输研究人员学习参考。

作者

2001 年 1 月于西南交通大学

目录

	主要缩写词对照表
1	1 绪论
1	1.1 铁路枢纽运输工作研究现状
4	1.2 铁路枢纽运输组织研究存在的主要问题
5	1.3 本书研究的主要意义
7	1.4 本书的主要内容
9	2 智能交通系统
9	2.1 智能交通系统发展概况
14	2.2 智能交通系统的基本构成
17	2.3 智能交通系统的关键技术
20	3 智能铁路系统
20	3.1 智能铁路系统的国内外研究情况
22	3.2 国外几种智能铁路系统简介
31	3.3 中国智能铁路系统的基本构想
36	3.4 智能铁路系统的特征和优势
37	3.5 智能铁路系统的关键技术
39	3.6 GPS 在智能铁路系统中的应用
43	4 铁路枢纽车流调度决策模型及其算法
43	4.1 枢纽车流基本分析及问题解决的基本思路
51	4.2 枢纽内有调中转车流调度决策模型

57	4.3 枢纽内地方车流调度决策模型
64	4.4 模型的求解
67	5 枢纽车流组织模型应用实例
67	5.1 吉林枢纽概述
71	5.2 吉林枢纽车流情况汇总表
76	5.3 中转车流调度决策实例
85	5.4 地方车流调度决策实例
97	6 铁路枢纽小运转列车运行组织模型及其算法
97	6.1 概 述
100	6.2 满意路及其递归算法
106	6.3 小运转列车网络流模型
122	参考文献
127	作者简介

1 绪 论

1.1 铁路枢纽运输工作研究现状

铁路枢纽是在铁路网点或网端地区，由若干个在统一指挥下协调工作的车站、引入线路与相应的联络线和运输设备构成的组合体。铁路枢纽是铁路网的重要组成部分，也是联系铁路与城市和国民经济各部门的重要环节，在铁路内部又是铁路运输生产的主要基地。它除办理有关车站的列车运转、技术作业和客货业务外，又是组织车流交换、调整列车运行和供应运输动力的重要据点。在铁路运输组织工作中，铁路枢纽起着极其重要的作用。

国外铁路枢纽的形成与我国相比有显著的不同，铁路枢纽内一个方向上有几个公司各自经营的铁路，枢纽内车站的设立也是为各公司服务的，枢纽内、外的设备都相当富裕，形成了以基本计划管理为主，规划型的行车组织模式，在铁路调度指挥自动化、作业计划的自动编制等方面取得了较大成功。20 世纪 80 年代以来，在既有的计算机信息网络的基础上，对各级调度指挥系统

增添了不同程度的辅助决策功能，已逐步实现由管理信息系统 MIS 向决策支持系统 DSS 过渡。如前苏联铁路的 АСЫКТ、美国铁路的 TOPS、加拿大铁路的 TRACS 系统等。进入 20 世纪 90 年代以来，为了提高铁路运输的安全、效率和灵活性以及增强运输竞争力，以计算机辅助系统为核心的调度指挥系统得到了积极的推进。如日本新干线研究开发的计算机辅助行车控制系统 COMTRAC 和列车运行管理系统 COSMOS，北美、西欧的一些国家研制的先进列车控制系统 ATCS、ASTREE 等，以及新一代智能铁路系统，都越来越强调对计划的优化和自动编制。

在我国，铁路运输形成了组织型的行车组织模式，通过编制各级日班、阶段作业计划实现日常运输组织指挥。行车组织指挥水平很大程度上依赖于调度员的个人素质，具有较大的随意性，不能适应市场经济的要求。近年来，随着我国铁路现代化进程的加快，编组站、货运站、机务段信息系统的建立，以全路货车实时追踪系统为核心的运输管理信息系统 TMIS 的加紧建设，铁道部——路局——分局基于信息网络的初步形成，微机化调度集中系统的采用，研究与开发我国铁路调度指挥计算机辅助决策支持系统的时机已日趋成熟。

铁路枢纽是我国铁路网的重要组成部分，它不仅担负着枢纽地区到发的客、货运输任务，而且还承担着各衔接干支线之间到发的旅客、货物、机车、车辆的中转任务，作业组织非常复杂，铁路枢纽的综合治理是目前

我国铁路现代化改造的重点工程。铁路枢纽从某种程度来说，它就是一个小分局。路网干线车流进入枢纽内的编组站，进行解体、装卸、取送、编组等作业后，变成新的列车，随着路网干线车流转送到目的地。因此编组站工作是枢纽工作组织的核心，其它工作都是围绕编组站工作展开——保证进入枢纽内的车流经过作业后能及时输送出去。文献^[49]认为编组站的装卸车计划、排空计划以及列车出发计划三者的编制可以归结为一个核心——列车出发计划的编制。由于出发计划编制的核心是确定出发列车的编组内容和车流来源，而装卸车和排空计划是对相应的出发列车的编组内容做一定的配合与限制。那么，若将装卸车和排空计划视为出发列车计划编制前的预备工作，在考虑装卸、排空对车站的重、空车流的影响后，就可以把装卸、排空计划纳入编组站出发计划，主要考虑的问题为出发列车的车流来源与接续。最终将此问题归结为一个“品类”和运输时间约束的运输问题，模型的变量和约束条件都是多项式的。但在实际求解方面，还存在规模太大，求解效率不高的问题，因而仅从理论上探讨了这一模型的算法。文献^[43]以某一实际枢纽为背景，研究了枢纽运输组织的静态优化设计问题，建立了枢纽车流组织的整数规划模型，对枢纽内编组站作业分工和车流径路选择进行了综合优化，并探讨了小运转工作方案和机车运用方案。文献^[44]在对我国主要铁路枢纽现状及运营调整分析的基础上提出了一个简化的数学模型，研究枢纽内车流组织优化

及枢纽改扩建时机和改扩建方案比选等问题。文献^[63]在对铁路枢纽进行系统分析的基础上，建立了枢纽车流组织的优化模型并进行了灵敏度分析，最后以一个实际的铁路枢纽为背景给出了规划中的近期铁路枢纽车流组织方案。值得指出的是，这些模型在实际求解时，有的将模型近似简化，因而得到的结论有时不很理想。

1.2 铁路枢纽运输组织研究存在的主要问题

铁路枢纽是一个综合性系统，枢纽内设有大量的线路、车站、机务、电务、车辆和通信信号等运输生产设备，是一个统一的整体，必须协调一致地工作。枢纽运输工作的好坏、工作水平的高低直接决定了铁路运输组织工作的好坏和铁路运输产品质量的高低。由于枢纽内运输设备的数量和种类较多，运输作业量大，因而对枢纽内运输组织的研究大多是把枢纽内的编组站作为研究的重点，对枢纽内的编组站或编组站的某一部分、某一环节进行研究，且定性分析的多，定量研究的少，静态研究的多，动态研究的少，对枢纽运输组织工作整体的研究做得不够，更没有形成较完整的理论体系。铁路枢纽运输组织工作存在的主要问题是：

- 大多数学者是对编组站或编组站的作业过程进行研

究，缺乏对整个枢纽进行整体优化的研究，枢纽内各编组站作业最优与整个枢纽运输组织最优是不同的。

- 许多学者都是从计划的角度用平均车流进行静态研究的，用动态车流进行动态、实时研究的较少，从车流调度决策的角度进行研究，使之能根据车流的变化实时寻求出最优方案更是缺乏。
- 许多学者设计出的模型，其算法效率都较有限，不能满足动态调整车流的要求，有的为了有较高的求解效率又将模型进行了简化。
- 车流的变化直接影响小运转列车的组织，将动态变化的车流与小运转列车的运行组织结合起来进行研究，使小运转列车的运行在满足出发列车要求的前提下尽量优化，这方面的问题有待进行更深入的研究。
- 缺乏从发展我国智能铁路系统的角度研究枢纽车流调度决策的问题。

1.3 本书研究的主要意义

枢纽运输工作组织的好坏，不仅直接影响到铁路系统内部的车流的通畅，而且关系着铁路能不能满足顾客和用户的运输需求，以及适应市场经济对铁路运输要求的大问题。进入铁路枢纽的路网干线车流，经过在枢纽

内各有关车站的解体、装卸、取送、编组作业后，组成新的出发列车，随路网干线列车出发输送到各地。枢纽内各车站（包括编组站）的各种作业计划（包括解编计划、取送车计划、调机运用计划等）应在保证枢纽畅通，枢纽全局优化的前提下来组织，枢纽的装卸车计划、排空计划，以及列车出发计划三者的编制其核心是列车出发计划的编制，即出发列车组成车流的确定。因此研究市场经济条件下铁路枢纽车流调度决策问题，解决出发列车组成车流的来源问题，具有重要的现实意义。依据其对智能铁路系统 IRS 的基本构想，先进的运输管理系统 ATMS 是智能铁路系统的基本组成部分，通过自动编制各级运输计划，对车辆装卸和列车运行进行控制和指挥，根据运输市场的变化动态调整路网车流分布，智能生成各种运输方案，保证运输畅通和运输任务的完成，使铁路运输系统能主动适应运输市场的需求。可见，枢纽运输组织工作的好坏，直接影响着运输管理系统 ATMS 乃至整个智能铁路系统 IRS，研究和开发枢纽运输组织系统，包括枢纽车流调度决策系统和枢纽小运转列车组织系统，具有十分重要的理论意义和现实意义。枢纽车流调度决策系统和枢纽小运转列车组织系统使枢纽内各种车流能进行有效组织，从而降低枢纽运输组织工作成本，保证枢纽内始发列车正点出发，为枢纽内其它运输组织工作包括编组站的解体、编组及取送车作业等提供指导性计划。

1.4 本书的主要内容

智能铁路系统 IRS 属智能交通系统 ITS 的研究范畴，是运输学学科研究的前沿与热点之一，是铁路发展的智能化阶段。智能铁路系统 IRS 是对铁路运输系统的规划、设计、建设、运行与管理的系统化与智能化，是依靠先进的信息技术和有效的运输管理手段，实现铁路运输管理和组织的智能化，用最少的投入，达到最大运输量与最高运输效率的铁路运输系统。其基本特征是将先进的信息技术、导航定位技术、数据通信传输技术、自动控制技术、人工智能技术、组合优化技术、图像分析技术以及计算机网络与处理技术等有效地综合运用于整个铁路运输系统，建立起一种在较大范围内充分发挥作用的实时、准确、高效的铁路运输管理系统，使铁路具有主动、有效地适应运输市场需求的能力，实现铁路运营、控制和管理的综合化、现代化。本书在吸收国内外该领域研究成果的基础上，提出了我国智能铁路系统 IRS 的基本构想，进而对影响智能铁路系统 IRS 基本组成部分——先进的运输管理系统 ATMS 的枢纽车流调度决策问题和枢纽小运转列车的运行组织问题进行了较为系统和富有创新的研究，取得了开拓性的研究成果，为根据运输市场的变化，智能生成各种运输生产方案，动态调整路网车流分布创造了条件，有利于实现全局运输组织工作的优化。本书的主要内容有：

- 在对智能交通系统 ITS 发展概况和智能铁路系统研究

情况进行分析、总结的基础上，提出了我国智能铁路系统 IRS 的基本构想，阐述了智能铁路系统的基本组成和总体结构，指出了智能铁路系统 IRS 的特征和优势，并对智能铁路系统 IRS 的若干关键技术进行了论述。

- 在对枢纽车流进行分析的基础上，提出了枢纽车流调度决策的基本原则和解决枢纽车流调度决策问题的基本思路，进而建立了枢纽车流的计划模型和调度决策模型（含有调中转车流和地方车流），并以吉林枢纽为背景进行了实例分析，验证了所建模型的合理性和算法的有效性，较好地解决了枢纽内车流调度决策问题，为枢纽内的其它运输组织工作包括编组站的列车到达、解体、编组、出发作业和取送车作业提供了全局性的指导性计划。
- 经过分析建立了枢纽小运转列车运行组织的网络流模型，提出了用网络流模型解决枢纽小运转列车运行组织的基本思路，为全面解决枢纽小运转列车的组织问题创造了条件。
- 提出了满意路的基本概念，分析了满意路的基本性质，提出了求解所有满意路的递归算法，并通过算例，验证了该递归算法的可行性。遗传算法及其改进算法、0—1 规划的二进制组合算法及其改进以及满意路及其递归求解方法的提出，为实时、快速地求解枢纽车流调度决策模型和小运转列车运行组织模型创造了较好的条件。

2 智能交通系统

本章介绍了智能交通系统 ITS 的国内外发展情况，介绍了智能交通系统的基本构成及智能交通系统的若干关键技术。

2.1 智能交通系统发展概况

智能交通系统 ITS 的概念是在 20 世纪 90 年代初才形成的。在这之前，美国、日本以及欧盟等一些发达国家曾经对高速公路和机动车辆的智能化问题进行过不少研究，并取得了一些成果。当时，美国取名为 IVHS。后来，随着交通智能化的要求日益迫切，交通产业现代化的任务日益繁重，确定了将道路交通智能化的研究成果扩大应用到铁路、水运和航空领域的发展方向，并从综合交通系统的角度来研究交通网络智能化的问题，逐步形成了建立智能交通系统的新概念。

智能交通系统 ITS 是人类在走过“以交通设施建设来满足交通需求增长”的阶段后的交通系统发展的新阶段，即智能化阶段。智能交通系统有广义和狭义之分，

广义的智能交通系统是对道路运输系统的规划、设计、建设、运行与管理的系统化与智能化，狭义的智能交通系统则主要是指依靠先进的信息技术和有效的道路交通管理手段，实现交通运输管理和组织的智能化，用最少的交通设施投入，达到最大运输量与最高运输效率的交通系统。从科学技术来看，智能交通系统将先进的信息技术、导航定位技术、数据通信传输技术、自动控制技术、图像分析技术以及计算机网络与处理技术等有效地综合运用整个交通运输体系，建立起一种在较大范围内充分发挥作用的实时、准确、高效的交通运输管理系统。

智能交通系统寻求将先进的计算机、通信和信息技术运用到车辆、交通网络和作业计划上，其效益主要体现在缓解交通拥挤、减少交通堵塞、减少旅行时间、增加安全性、减少大气污染和能源消耗，提高交通设施的通行能力与运输效率。在交通、计算机、信息、通信和系统科学与工程领域中，智能交通系统的理论和实践是人们目前集中、深入细致研究的领域之一，有着非常光明的发展前景。ITS 技术就是利用先进技术使汽车有头脑，使道路变聪明，从而改变在愚蠢的道路上行驶着并不聪明的汽车的现状。智能交通系统的成功肯定会对我们将来的生活起着不可估量的重要作用。如果智能交通系统按照人们所预计的那样发展，它最终将可能影响世界上的每一个人，而为了达到这一目标，智能交通系统也可能采用多种不同的形式。