

列车运行图计算机编制系统研究 与应用综述

王 凯^{1,2} 倪少权^{1,2,3}

1. 西南交通大学, 交通运输与物流学院, 成都 610031
2. 西南交通大学, 全国铁路列车运行图编制研发培训中心, 成都 610031
3. 综合交通运输智能化国家地方联合工程实验室, 成都 610031

摘 要: 列车运行图是铁路运输工作的生产计划,其编制质量的高低直接影响铁路运输组织的效率和安全。计算机编制列车运行图可以大大降低人工编制列车运行图的强度,同时保证运行图的质量和水平。目前,国内外专家在计算机编制列车运行图的理论和方法上取得了丰硕的成果,并且开发了相应的编制系统。本文从编制方法和国内外列车运行图编制系统等方面介绍了国内外计算机编制列车运行图的现状,并在现状分析的基础上针对计算机编制列车运行图存在的不足方面,提出进一步的研究方向。

关键词: 计算机; 列车运行图; 编制系统; 铁路运输组织

中图分类号: U292.4*1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2016)03-0075-08

DOI: 10.3969/j.issn.1672-4747.2016.03.012

Survey on Research and Application of Train Operation Diagram Making System

WANG Kai^{1,2} NI Shao-quan^{1,2,3}

1. School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China
2. National Railway Train Diagram Research and Training Center, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

收稿日期: 2015-09-21.

作者简介: 王 凯(1992-), 男, 汉族, 安徽蚌埠人, 西南交通大学交通运输与物流学院在读硕士研究生, 研究方向: 交通运输规划与管理。

3. National and Local Joint Engineer Laboratory of Comprehensive Intelligent Transportation, Chengdu 610031, China

Abstract: Train operation diagram is an operation plan of railway transport, the quality of the diagram directly affects the efficiency and safety of the transport operation and management. Drawing train working diagram with computer can greatly reduce the manual work intensity, while the quality and level of train working diagram are ensured. Up to now, plentiful results have been achieved on the theories and methods of drawing train working diagram with computer, and a corresponding making system was developed. A general survey of computer drawing train operation diagram from preparation method, train working diagram making system at home and abroad was introduced. On that basis, the inadequacies of computer drawing train working diagram were reviewed. Finally, the further optimization research direction of computer drawing train working diagram were investigated according to the existing problems.

Key words: Computer; train working diagram; drawing system; railway transport organization

0 引言

列车运行图是铁路组织列车运行的基础,是对列车运行时间、空间关系的图解表示,是列车在区间运行及在车站到发或通过时刻的文本^[1]。列车运行图编制的质量直接影响着铁路运输生产的效率。编制列车运行图,不仅要考虑各种设备因素、车站因素,充分利用和发挥它们的综合效率,同时还要考虑到旅客及货物运输的安全和方便,考虑车、机、工、电、辆各部门工作人员的合理工作制度及工作条件,保证技术站作业的均衡性和节奏性以及车站设备能力的限制等。在这众多的因素间还存在着错综复杂的制约关系,增加了编图的难度^[2]。随着我国铁路既有提速和高速铁路建设,列车运行图变化频次很大,传统的手工编图方式已无法满足铁路的发展和市场的变化需要,采用计算机编制列车运行图势在必行。本文根据国内外计算机编制列车运行图的大量文献,对研究成果进行了系统的分类,并就其特点从计算机编制列车运行图的方法和计算机编制列车运行图系统研究等方面分析已有的研究成果。

1 计算机编制列车运行图的方法

迄今为止,国内外的许多专家和学者在计算机编制列车运行图方面做了很多的研究,也取得了很多的成果。根据国内外大量文献的综合分析,将计算机编制列车运行图所采用的方法主要分为三类:模拟方法、数学模型法和人工智能法。

1.1 模拟方法

模拟方法主要是以人工编图的原则和经验为依据,制定和生成计算机编图的判别和执行程序,从而实现人工编图的全过程。郭富娥^[3]根据各国运用计算机编制列车运行图的研究及使用情况,总结出在旅客列车运行时刻给定条件下的计算机编图的五种模拟方法:移动始发点;逐区间递进铺划;在一个周期之内,循环移动单线区段平行运行图;上、下行列车相互交替对应铺画;试探法。彭其渊等^[4]构造了采用逐区间递推铺画方法时生成货物列车始发与终到时刻的优化模型。但是采用模拟方法编制的列车运行图存在一定的缺陷:列车运行图的质量和效果在很大程度上取决于所制定

的判别准则和程序设计的合理性与全面性。

1.2 数学模型法

数学模型方法是指利用逻辑代数、线性规划、图论及动态规划等方法,对计算机编制列车运行图的数学模型、算法进行研究,实现列车运行图编制的局部或整体优化。从目前的研究结果看,主要包括分支限界法、动态规划法及整数规划法等。

(1) 国内方面

国内列车运行图的编制理论主要分为两种——单目标优化和多目标综合优化。单目标优化中,彭其渊^[2,5,6]以旅行时间最小为目标,分别对单线和双线铁路建立了数学模型,并提出了“窗口镜法”,通过局部优化达到列车运行图整体优化。汪波^[7]充分考虑到列车不同情况下的停站时间、到发安全间隔等各项周期约束,以列车的总停留时间最小为目标。黎新华^[8]、李峰^[9]、史峰^[10,11]等也是以列车的旅行时间最小或者列车速度最高为目标建立模型,进而优化列车运行图的编制。胡思继^[12]通过建立区间占用排队系统的方法来研究区间允许占用率问题。张星臣^[13]则是通过建立撒点模型来增加列车在运行过程中的冗余性。多目标综合优化中,马建军^[14]提出了两层网络表示法构建基于铁路局路网的网状线路理论来编制铁路局网状线路列车运行图实验平台:宏观层用来描述网状线路的结构和线路衔接关系,计算客货列车的运行径路;微观层以轨道电路、道岔等单元计算列车的接、发车进路以及平行、敌对进路。许红等^[15]对客运专线的列车总运行时间、运行图的均衡性和可调整性3种指标进行了综合优化。史峰等^[16]也对单线列车的列车到发时刻偏差、列车区间运行时分波动和列车总旅行时间等方面进行了综合优化。

(2) 国外方面

20世纪70年代,国外铁路方面的专家就已经开

始使用数学规划方法来解决运行图编制问题。Amit等^[17]在1971年第一次运用数学方法解决了列车时刻表及运行控制部分问题。1990年,Jovanovic等^[18,19]以最小化延误费用为目标,建立了一个新的混合整数规划模型,该模型通过基于下界的启发式加速算法,研发出列车运行图的编制工具。此后,Carey^[20]根据英国客运专线的情况,结合列车运行图与列车径路优化,建立了列车运行图编制的0-1规划数学模型,运用迭代分解算法,提升了求解的效率。Bussieck等^[21]以整数规划、分枝定界法和线性松弛不等式为约束条件,建立了旅客列车最小运营费模型,并给出了相应的求解算法。Adenso-Diaz等^[22]根据西班牙某条双线铁路的运行情况,建立了整数规划模型,提出基于回溯的启发式算法。Caprara等^[23]就意大利某单线铁路的通过能力为研究对象,建立了列车运行图的整数规划模型,并设计拉格朗日松弛算法对该问题进行了优化求解。Bintong^[24]通过研究列车晚点、会车和越行概率,结合双时估计法,提出了列车到发时刻的随机扰动模型,并归纳出列车延误的非线性数学模型。Valentina等^[25]从随机优化、轻鲁棒性、可恢复鲁棒性、延迟管理、双标准拉格朗日方法、启发式方法等对运行图编制优化方法进行了综述。文献[26-32]对列车运行图的编制方法优化也进行了一定程度的研究。

由于列车运行图涉及面广、影响因素繁杂,难以用特定的模型进行描述,有些因素还难以用数学公式表达,甚至有些因素本身之间就是相互矛盾和相互制约的。对于这样一个多目标的、复杂的NP问题,难以通过数学模型和相应的求解算法得出满意且符合实际的列车运行图。

1.3 人工智能方法

人工智能方法是将编制列车运行图的约束条件和人工经验作为知识规则,在此基础上,构建列车运

行图编制专家系统,并将列车运行图看作各区间列车顺序的一个组合,从而将列车运行图的编制作为一个搜索问题来解决。

人工智能方法最先起源于日本。文献[33]指出日本已开发了许多实用化的列车运行管理系统(例如COMTRAC系统),但是系统中仍有很大一部分工作要依赖于经验丰富的专家人工来完成。为了取代这些专家,日本又开发了运行调整专家系统ESTRAC。在该系统中,用产生式规则来描述专家的经验 and 思路,在分析有经验的专家调整列车运行过程的基础上,从中抽出所使用的搜索方法,力图达到能像专家那样解决运行图调整问题。人工智能方法的主要原理是搜索树,对“列车顺序组合”的搜索为题进行研究,把经验制约作为计算机的指示规则,利用这些规则去指导运行图的铺画,并且采用启发式搜索的方法来处理列车运行线的冲突消解问题。

Komaya^[34]提出了一种以模拟和专家系统为主要手段的方法,包含局部模拟、基本命令、战术层面知识以及战略层面知识等内容,局部模拟和基本命令用以模拟列车的运行过程,战术层面知识解决局部的规划,战略层面知识在模拟以及局部规划的基础上利用专家的经验进行宏观控制。Fay^[35]在启发式搜索中加入了模糊评判,并且以Petri网的形式来描述具体的推理过程来应对列车运行的扰动。在国内,周学松等^[36]提出了一种人工智能类的基于列车运行状态推导图的列车运行调整算法,将列车运行调整问题分解为单列车运行线的推算问题。周磊山^[37]等在DEDS的基础上,用分层决策和滚动优化的方法设计了适合我国各种铁路区段列车运行计划与调整的通用算法,用人工智能方法和图形用户界面(GUI)等加强了系统的处理能力和表现能力。蔡柏根等^[38]利用TMSS模拟产生列车运行,建立了层次型的知识库,将CADES的

推理机设计为三级控制结构,使CADES成为一个动态的多级产生式专家系统。倪少权等^[39]提出了建立一个合适编图专家系统的方法途径,使计算机的工作过程模拟运行图专家如何运用其知识和经验来解决编图实际问题。吕苗苗^[40]等建立了新旧交替列车运行图优化模型,并基于最早冲突优化思路设计了启发式求解算法。倪少权^[41]在经验积累的基础上提出了“单双线合一”的计算机编图统一算法思想,并采用基于人工编图经验的启发式搜索算法对列车运行图编制问题进行求解。其团队成功研制并开发了具有广泛通用性的集各种行车条件于一体的计算机编图软件——“铁路列车运行图编制系统”,实现了全路列车运行图的计算机联网编制及动态管理,提升了全国铁路列车运行图编制和管理的技术手段。

相比于国内铁路而言,国外铁路线路较少,一般是对某条单线或者是局部铁路的列车运行图进行优化,而我国铁路往往涉及较多的跨线、跨局长途运输,编图情况较为复杂。其次国外铁路的运能充足,其编制目标是列车正点率、列车运行图的均衡性和可调整性、吸引旅客的方便性等,较多考虑换乘衔接;而国内铁路的运能较为紧张,运行图的编制首先考虑的是运能,在保证运输能力的基础上才去优化其他目标,故而国内外列车运行图的编制理念和编制方法有较大区别。

2 国内外计算机编图系统概述

2.1 国外计算机编图系统研究开发综述

国外从20世纪50年代末开始对计算机编制列车运行图进行研究。

原苏联从20世纪50年代末开始对计算机编制列车运行图的模型和模式进行了试验和改进,后来

采用人机对话的方式,主要着眼于运输生产上的实用性,在计算机给定初始方案的基础上进行人机对话调整。

日本在运用计算机编图初期主要采取人机对话的形式,编图人员使用光笔进行列车运行图的编制和调整。编制原则是从高级列车开始一列一列地铺画。当编图人员向计算机输入车次、始发车站及始发时刻等数据后,由计算机自动计算该列车在区段内各站的到发时刻。纯人机对话形式的计算机编图只能缩短编图时间,减少编图计算工作量,难以提高编图的质量。后来,日本在研究人工智能的基础上进行列车运行图编制专家系统的开发,采用搜索树原理和经验制约作为知识规则进行驱动,以列车运行带代替列车运行线,考虑各列车之间的相互约束及各车站间的列车组合顺序,利用人工作业中以经验为依据的所谓启发式手段,找出“满足条件程度尽可能高的选择标准”,从而把人的判断能力和计算机的高速运行能力结合起来,开发了列车运行图编制系统(DIADS)。

美国从20世纪50年代末开始进行应用计算机编制列车运行图的研究,主要采用计算机模拟方法和逻辑判断方法。

英国从20世纪60年代以来进行运行图编制自动化方面的研究工作。1965年,英国借助计算机模拟列车运行的程序,首先在较短的区段上进行模拟,后来发展到30个车站、300个信号机的单线自动闭塞区段上进行模拟。从1971年开始,英国广泛采用列车运行图编制与绘制系统^[42]。

荷兰是最早将周期运行图付诸实践的国家。有关基于周期运行图编制的研究始于80年代末期。此外,德国、比利时、罗马尼亚、加拿大等国家也先后进行了计算机编图的研究与试验,在不同程度上取得了一些成果。

2.2 我国计算机编图软件的应用与研发

我国铁路部门采用计算机编制列车运行图始于20世纪末。1997年,我国铁路第一次提速,原铁道部采用西南交通大学与济南、北京、上海铁路局联合研发的计算机编图软件进行了计算机编制京沪线列车运行图的试点工作。2000年,以铁路局为背景的列车运行图编制系统的研究取得了显著进展,多个铁路局已在实际编图工作中完全采用了计算机编图,取代了传统的手工作业编图方式。2003年,在原铁道部运输局的组织和参与下,西南交通大学研究开发了计算编制全路直通客车运行方案图系统,实现了基于计算机局域网编制全路直通客车方案二分格图,2005年西南交通大学研究开发了全路旅客列车运行图系统,实现了基于计算机局域网编制全路旅客列车运行图。2009年,西南交通大学全国铁路运行图编制研发培训中心又研究开发了支持异地联网编图的全路列车运行图编制系统3.0版。目前,中国铁路总公司以及各铁路局使用的计算机编图软件是由西南交通大学全国铁路运行图编制研发培训中心开发的全路列车运行图编制系统4.0。全路列车运行图编制系统4.0实现了基于64位的系统技术升级,突破了3.0版内存容量限制的瓶颈,彻底解决了全路客货列车数据管理的容量需要,实现了两个列车运行图文档间的数据交换。

对于列车运行图编制系统的研究,我国经历了由最初单纯强调研究开发计算机自动编图系统过渡到研究开发列车运行图编制信息系统,进而向着研究发全国铁路列车运行图编制信息系统发展的历程(见图1)。从我国铁路列车运行图编制系统研究发展的进程来看,大致可以划分为以下六个阶段。

阶段1:着重于有针对性地解决具体的研究对象,

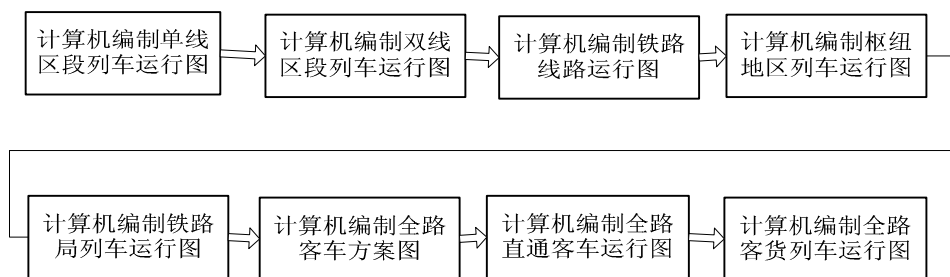


图1 我国计算机编制列车运行图发展过程

Fig.1 The development process of train working diagram drawing system

根据不同路局不同区段的特点研究解决带有鲜明个性化的具体问题。

阶段2：致力于研究系统的通用性和适应性，力图通过一个系统去解决不同区段、不同线路的问题。

阶段3：建立一个对于单线和双线、自动闭塞和半自动闭塞都有效，对于全路而言都是通用的、功能较完善的、行之有效的以铁路局为整体的计算机编图软件系统，提高了编图效率。

阶段4：从构建全国路网编图技术手段的目标出发，重点研究建立全路旅客列车运行图编制系统，为实现全路旅客列车运行图的优化编制创造条件，提高我国铁路列车运行图的编制质量和效率。

阶段5：构建全路列车运行图编制的技术手段，研究建立支持异地联网编图的全路列车运行图编制系统，研究重点是全路计算机编图的网络化、精细化、智能化及系统化技术，实现列车运行图及其相关业务计划编制的一体化，建立面向铁路内部的列车运行图综合管理信息系统，实现基于计算机网络的列车运行图基础信息收集、管理、查询和综合决策支持，为实现铁路列车运行图编制和管理的集中化、统一化、快捷化提供技术支撑。本阶段正是国内计算机编图所处的阶段。

阶段6：实现基于全路网的计算机自动优化编图，大幅度提高系统的自动化程度和编图效率，大幅度提

高列车运行图管理的信息化程度。

3 研究展望

列车运行图是全路组织列车运行的基础，传统的编图方法编图速度慢、周期长，编制的列车运行图质量和水平不够高。随着计算机技术的高速发展，计算机编制列车运行图的方式代替传统的编图方式来编制列车运行图已经成为了必然的趋势。基于国内外列车运行图计算机编制系统与编制方法的现状，建议的研究目标、研究内容等如下：

(1) 提高计算机编制列车运行图的智能化水平。

尽管我国铁路基本实现了计算机编制列车运行图，但是对列车运行图编制的相关理论与方法不够深入，列车运行图编制系统的智能化水平不高。只有提高列车运行图编制的智能化水平，才能在提高运行图编制的速度、缩短编制周期的同时，保证列车运行图的质量和水平，才能使运行图的编制更加适应市场化需求。

(2) 计算机编制列车运行图中天窗的优化编制。

现有的相关研究大多考虑的是对列车等因素的优化，如列车运行计划、动车组交路计划等，但是很少涉及天窗的优化方案。天窗的设置也是影响路网通过能力以及列车运行图可行性的重要因素。

(3) 协同智能优化。列车运行图的优化不仅仅局限于对列车运行方案的智能优化，还应该考虑列车开

行方案和列车停站方案的协同智能优化。

参考文献

- [1] 胡思继. 铁路行车组织[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.
- [2] 彭其渊, 杨明伦, 倪少权. 单线实用货物列车运行图计算机编制系统[J]. 西南交通大学学报, 1995, 30(5): 537-542.
- [3] 郭富娥. 论利用电子计算机编制列车运行图[J]. 铁道运输与经济, 1992, 14(1): 35-38.
- [4] 彭其渊, 杨明伦, 倪少权. 单线区段货物列车始发方案的优化模型及求解方法[J]. 西南交通大学学报, 1995, 30(2): 177-181.
- [5] 彭其渊, 杨明伦. 单线区段实用货物列车运行图的优化模型及算法[J]. 西南交通大学学报, 1995, 30(3): 15-20.
- [6] 彭其渊, 杨明伦. 计算机编制复线实用货物列车运行图的整数规划模型及求解方法[J]. 中国铁道科学, 1994, 15(14): 60-66.
- [7] 汪波, 杨浩, 牛丰, 等. 周期运行图编制模型与算法研究[J]. 铁道学报, 2007, 29(5): 1-6.
- [8] 黎新华. 单线区段列车运行图铺划与运行调整优化方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2005.
- [9] 李峰. 网络环境下单线列车运行图编制的优化算法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [10] 史峰, 黎新华, 等. 单线列车运行图铺划的时间循环迭代优化方法[J]. 铁道学报, 2005, 27(1): 1-5.
- [11] 史峰. 定序单线列车运行图的原始-对偶算法[J]. 铁道学报, 1996, 18(1): 8-20.
- [12] 胡思继, 杨肇夏, 李海鹰. 关于铁路区间允许占用率计算方法的研究[J]. 中国铁路, 1997, 28(7): 19-22.
- [13] 张星臣, 胡安洲. 基于运行线上撒点储备能力分配模式下运行方案铺画模型[J]. 北方交通大学学报, 1997, 21(3): 273-279.
- [14] 马建军, 胡思继. 网状线路列车运行图实验平台基础理论的研究[J]. 北方交通大学学报, 2002, 26(5): 9-12+18.
- [15] 许红, 马建军, 等. 客运专线列车运行图编制模型及计算方法研究[J]. 铁道学报, 2007, 29(2): 1-7.
- [16] 史峰, 黎新华, 等. 单线列车运行调整最早冲突优化方法[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(1): 106-113.
- [17] Amit I., Goldfarb D. The timetable problem for railways[J]. Developments in Operations Research, 1971, (2): 379-387.
- [18] Jovanovic D., Harker P.T. A decision support system for train dispatching: An optimization-Based methodology [J]. Journal of the Transportation Research Forum, 1990, (31): 25-37.
- [19] Jovanovic D., Harker P. T. Tactical scheduling of train operations: the SCAN I system [J]. Transportation Science, 1991, 25(1): 46-64.
- [20] Carey M., Lockwood D. A model algorithms and strategy for train pathing [J]. Journal of the Operational Research Society, 1995, 46(8): 988-1005.
- [21] Bussieck M. Optimal lines in public rail transport [D]. Braunschweig. Technische Universität, 1998.
- [22] Adenso-Diaz B., Oliva González M., González-torre P. On-line timetable rescheduling in regional train services [J]. Transportation Research Part B, 1999, 33: 378-398.
- [23] Caprara A, Fischetti M., Toth P. Modeling and solving the train timetabling problem [J]. Operations Research, 2002, 50(5): 851-861.
- [24] Bintong C., Harker P.T. Two moments estimation of the delay on single-track rail lines with scheduled traffic [J]. Transportation Science, 1990, 24 (4): 261-275.
- [25] Valentina C., Paolo T. Nominal and robust train timetabling problems [J]. European Journal of Operational Research, 2012, (219): 727-737.
- [26] Rob M., Goverde P. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory [J]. Transportation Research Part B, 2007, (41): 179-201

- [27] Mark Wardman, Jeremy Shires, William Lythgoe, Jonathan Tyler. Consumer benefits and demand impacts of regular train timetables [J]. International Journal of Transport Management, 2004, (2) :39-49
- [28] Lee Y., Chen C.A. Heuristic for the train pathing and timetabling problem [J]. Transportation Research Part B, 2009, 43(8-9):837-851.
- [29] Leo Kroon, Ga'bor Maro' ti, Mathijn Retel Helmrich, et al. Stochastic improvement of cyclic railway timetables [J]. Transportation Research Part B, 2008, (42): 553-570.
- [30] Burdett R.L., Kozan E. Techniques for inserting additional trains into existing timetables [J]. Transportation Research Part B, 2009 (43): 821-836.
- [31] Marin Marinov, Ismail Sahin, Stefano Ricci, Gordana Vasic-Franklin. Railway operations, time-tabling and control [J]. Research in Transportation Economics, 2013, (41) :59-75,
- [32] Andrea D'Ariano, Dario Pacciarelli, Marco Pranzo. A branch and bound algorithm for scheduling trails in a railway network [J]. European Journal of Operational Research, 2007, (183): 643-657.
- [33] 程 宁. 日本铁路的人工智能应用现状[J]. 铁道科技动态, 1989, 20(6): 30-31.
- [34] Komaya K. An integrated framework of simulation and scheduling in railway systems [J]. Computers in Railways III, 1992, 1: 611-622.
- [35] Fay A. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control [J]. Engineering Application of Artificial Intelligence, 2000, 13(6): 719-729.
- [36] 周学松, 朱 钰, 胡思继. 基于列车运行状态推导图的列车运行调整算法[J]. 铁道学报, 1999, 21(6): 1-5.
- [37] 周磊山, 秦作睿. 列车运行计划与调整的通用算法及其计算机实现[J]. 铁道学报, 1994, 16(3): 56-65.
- [38] 蔡柏根, 王菊贞. 基于模拟的列车调度专家系统的研究[J]. 铁道学报, 1992, 14(3): 31-41.
- [39] 倪少权, 杨明伦, 彭其渊. 列车运行图编制专家系统之研究[J]. 西南交通大学学报, 1995, 30(5): 550-556.
- [40] 吕苗苗, 倪少权, 陈钉均, 等. 新旧交替列车运行图客车车底周转图智能编制方法研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(10): 1-6.
- [41] 倪少权. 中国铁路列车运行图编制系统研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [42] 孙 焰. 单线列车运行图优化理论及计算机编制方法[D]. 长沙: 长沙铁道学院, 1997.

(中文编辑: 刘娉婷)