

文章编号:1005-0523(2011)06-0073-07

我国铁路运输系统节能问题的研究分析

胡 辉^{1,2}

(1. 华东交通大学经济管理学院,江西 南昌 330013; 2. 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室,北京 100044)

摘要:从技术、管理和应用3个层面总结归纳了国内铁路运输系统节能问题的研究现状以及应用的研究方法,分析探讨了铁路运输系统节能研究面临的理论问题和现实问题,最后从应用角度提出了基于数据挖掘的能耗模型研究思路和基于组织管理的节能研究的主要内容。

关键词:铁路运输;节能问题;研究分析;数据挖掘;组织管理

中图分类号:U268

文献标志码:A

作为消耗能源资源的重要行业,铁路运输领域的节能工作对于建设资源节约型社会有重要意义,也是可持续发展对交通运输行业提出的现实要求。铁路运输相对于其他交通方式,具有单位货运和客运周转量能耗低、排放少的优点,譬如铁路运输每人公里的能源消耗量约是小汽车的1/6,飞机的1/4^[1]。但由于作业繁重,铁路运输行业消耗能源的总量很大,这也意味着铁路运输在节能方面仍有较大潜力。

根据《中长期铁路网规划》(2008年调整),到2020年,我国铁路将逐步形成由客运专线、城际铁路和客货混跑快速线路相配套的快速客运网络^[2-3]。另据不完全统计,“十二五”期间还将有19个城市新建轨道交通线路,预计我国将拥有超过5 000公里的城市轨道交通网络^[3-4]。这些巨大而复杂的交通网络必然会消耗大量的能源,一方面给运营企业带来巨大的运营成本和经济压力,另一方面也给日益紧缺的能源和环境保护工作带来挑战。

从普通铁路来看,铁路运输部门能耗占整个铁路能耗的80%以上,而列车牵引能耗占铁路能耗的65%^[4]。从城市轨道交通(地铁和轻轨)来看,能耗支出占运输总成本支出的比例达35%^[5]。因此,目前对轨道交通中节能减排的具体研究,主要是围绕列车节能运行的技术操作层面展开,包括以列车动力系统为研究对象的牵引动力优化研究和从机车控制过程角度的列车操纵优化研究,这两方面均取得了大量理论和实际成果。

但同时,铁路运输系统是一个复杂度高、耦合度大、计划性强的系统,其运营水平的高低不仅依赖于各子系统技术水平的高低,更与其中的运输组织管理技术息息相关。好的技术只有在好的组织管理技术下才能发挥更大的效用,科学的运输组织管理对提升运输系统的服务水平,实现运输生产从粗放型向集约型、精细化的转变,无疑起着至关重要的作用。因此,节能不仅应从技术层面实现,更需从组织管理的系统层面进行协调集成,因而需要更好的组织管理技术保证。

1 铁路运输系统节能研究现状

1.1 研究概况

铁路运输领域的节能问题就是在铁路基础设施建设与铁路网线的运营过程(客运和货运)中如何尽可能减少资源能源(“油”、“电”、“水”和“土地”)的消耗,以服务于国民经济社会的可持续发展。

铁路运输领域的节能问题涉及面广,包括宏观(国家社会、铁道部)、中观(城市区域、路局公司)、微观

收稿日期:2011-10-24

基金项目:江西省社会科学基金项目(09YJ227)

作者简介:胡辉,(1973—),男,博士研究生,研究方向为交通运输系统建模。

(机车设备、车站路段)不同层面,涵盖领域宽,内含技术(如建筑节能、可再生能源、节能控制等技术)、管理(列车运行计划、组织调度等管理技术)、经济(能源经济、区域经济、运输经济等经济领域)诸多要素,是一个典型的复杂系统问题,需要从系统的观点去认识问题、分析问题和解决问题。

纵观国内对铁路运输节能的研究,总的来说处于发展的阶段。图1是通过万方数字化期刊查询到近5年与铁路节能减排相关度较高的文献及其在一般期刊与核心期刊所占比例的情况。由图可见,对铁路运输领域的节能研究吸引了越来越多的关注,呈现不断增加的趋势(2011年只是部分数据),但对问题研究深入的论文数量不多,这也一定程度上说明对铁路运输领域的节能研究处于发展有待进一步深入的阶段。

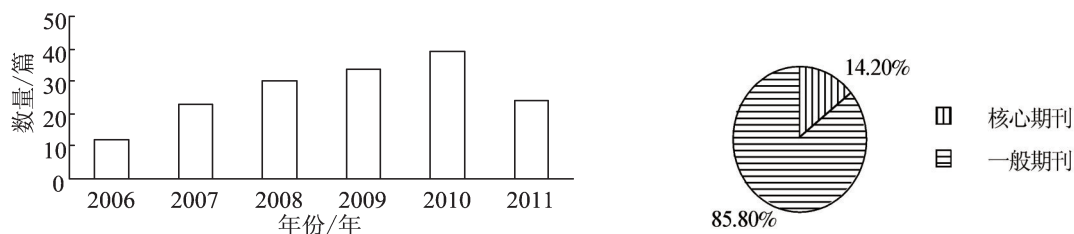


图1 近5年来与铁路节能有关的文献情况

Fig.1 Quantity of literature related to energy saving in railway in recent 5 years

1.2 研究层面

大体而言,铁路运输系统中的节能研究围绕技术、管理和应用3个层面展开。

1.2.1 技术层面

技术层面的列车节能研究主要有列车动力牵引系统的更新改造、列车运行中机车操纵的优化方法2种思路。

1) 列车动力系统的节能研究。列车动力牵引系统的节能技术包括新型的动力牵引系统、再生制动、储能装置等牵引动力研究。

燃料电池混合动力系统。陈维荣等^[5]分析了燃料动力技术、混合动力系统、能源管理控制系统、电能存储设备以及高压氢安全措施等关键技术,指出了需要重点研究的问题。

再生制动。这方面的研究相对较多,主要是探讨了再生制动技术地铁中的应用,同时研究深度有所深入,比如结合列车运行图进行时刻表的编制,列车运行的仿真研究和能耗分析等等^[6-8]。

储能装置。储能装置的应用主要在城市轨道交通系统中,如飞轮储能、超级电容器储能、混合逆变装置等等^[9-10]。

2) 列车运行操纵优化的节能研究。列车运行操纵优化的研究具有较坚实的理论基础(牛顿运动定律和最优控制理论),研究成果比较多^[11-23]。但需要指出的是,国内率先研究的是安徽大学的程家兴教授,后续的研究力量主要集中在西南交通大学和北京交通大学,其他高校、科研院所如上海交通大学、同济大学、中南大学、铁科院、上海交通大学、军事交通学院等也陆续展开了研究,他们对列车运行操纵优化的研究建立在以下原理和方法的基础之上。

动力学原理的节能理论研究。通过构建列车运行过程及能耗模型,应用多种优化算法如自适应计算过程与遗传算法相结合,或依据最优控制理论的最大值原理采用解析法进行求解,在此基础上研制了基于列车动态运行信息的列车优化操纵实时控制系统。基于这些基本理论和平台,不少学者相继在各种条件下(如坡道、列车干扰、不同目标速度、不同线路条件、单列车、多列车等)从各种角度(如速度均衡性、制动产生的动能损失、阻力系数不确定等)提出了列车操纵的优化方法。

基于专家系统的节能运行仿真实验研究。如冯晓云^[16]教授提出将模糊预测控制和满意优化方法应用于列车自动驾驶系统;以满意优化控制取代传统的最优控制的模糊预测控制专家系统方法,设计实现了列车操纵模糊专家系统仿真平台。

1.2.2 管理层面

1) 节能的管理体系架构。节能的管理体系涉及到管理方向、规范、标准、路径和指标分析^[3,24]。

周新军^[25-26]从宏观层面分析了我国铁路能耗的状况,总结阐述了我国铁路节能技术的途径及未来发展方向,包括大量使用电力机车、提高电气化铁路比重、提高机车牵引效率以及优化运输组织等。周方明,毛保华等^[3]全面分析了铁路运输的各个环节和层面,详述了各项节能技术的机理以及可以达到的节能效果,并从微观、中观和宏观角度阐述了节能管理,指出了组织管理角度的具体节能方向。樊勇涛,李夏苗等^[27]对铁路行车、铁路技术装备水平、物流管理水平及运输组织能力与铁路能耗之间的关系进行了详细的分析,对铁路能耗因素从多个角度提出了相应的节能措施。崔力心^[28]从直接能源消耗和间接能源消耗两方面对影响高速铁路节能减排效益的因素进行分析,对比研究不同运输方式的能源消耗情况,提出增加高速铁路的客座利用率、设计合理的速度目标值、加快技术进步等对策措施,对我国高速铁路的节能减排有借鉴启示作用。

2) 节能的管理优化和评价技术。节能的优化技术包括数学建模优化技术、统计分析评价技术,如机车运用数量最少、机车走行时间最少的建模调度管理技术和对各种节能技术综合评价的决策技术等往往内涵了总能耗最小的思想。

彭其渊^[29]从运营组织管理的角度构建了包含运输总能耗最小的运行图模型。龙建成等^[30]以作业晚点时间最短以及各进路的总走行时间最短为目标的列车进路选择优化模型。苗建瑞等^[31]提出的基于动车组运用最少的动车交路计划模型。薛艳冰等^[32]根据客运货运不同实际情况,提出了基于多元回归的能耗模型,并在此机车上开发了列车牵引能耗计算软件以实现能耗的分析,找到影响能耗的主要因素,对列车编组进行评价选择,以及预测新型机车的能耗。刘海东,毛保华等^[33]在已有列车运行平台基础上,通过模拟统计的方法分析了不同节能方案(坡度、限速、站距、列车重量等)的节能效果,为城市轨道交通的线路设计和列车的节能研究提供了参考。王玉明^[4]构建的灰色关联模型对城市轨道交通管理总体策略的评价。贺允东^[34]用统计分析方法揭示了机车牵引能源消耗变化的内在规律,指出牵引动力改革是降低铁路能源消耗的主要途径,提出了节能措施。

1.2.3 应用层面

应用层面的节能研究主要是面向企业实际提出的节能方法和措施,是实际工作者对节能工作的总结和思考,也是相关技术和管理手段在实际应用中的落实和创新。

1) 机车节能操纵的经验总结。王奇钟^[35]针对机车司机操纵列车时存在不合理的能源消耗这一问题,总结归纳了节能操纵的思路及方法。韩长虎等^[36-37]在实践基础上通过构造“均衡速度”和“接力赛”理论分析模型,对列车节能运行的2个最基本的问题进行了深入研究探讨,综合分析得出列车节能运行的3个论断。通过机车优化操纵总表达式对列车耗能比例进行分析得出列车能耗浪费的主要原因在于铁路基础设施的设置不合理,进而从机车节能降耗、利用重力势能转化为列车动能的角度,探讨站场、线路、道岔、信号重点优化措施,并对有关设施的优化及取得的效果进行了介绍^[38-39]。宋敏华^[40]针对城市轨道交通节能技术现状及存在的问题,总结了已采用的主要节能措施,并探讨了未来城市轨道节能的技术发展方向。

2) 管理措施、模式的提出和实践。万立和等^[41]利用科学管理手段制定出机车运行的燃油消耗标准模块,又根据运行工况等制定出调整模块,为油耗的统计分析奠定了基础,实际应用效果良好。邹稳根^[42]简要介绍了铁路节能减排降耗的重点,从运输节能、节热、节电、节水等多方面提出了具体措施。李巍^[43]通过对包神铁路公司节能减排现状和特点的分析,初步提出总结了节能减排工作的思路 and 模式:“长优改造日管理”的节能减排的思路和模式,该模式在企业实际中已见成效。史茂^[44]分析了铁路运输中机车能源浪费的原因如无效等待和乘务员操纵水平,提出了相关的建议和措施。李宝文^[45]通过对兰州铁路局各机务段的调查,以2006年机车运用效率统计数据为基础,全面分析了影响机车能耗的关键环节,提出了降低机车能耗的建议和措施。刘开国^[46]简述了城市轨道交通供电系统在运营方面的节能措施和经济运行方式,提出了可行的方法和建议。应名洪^[47]提出了城市轨道交通的节能评价体系和评价指标体系,并把它上升到轨道交通运营企业的战略层面。

3) 技术、管理的集成和应用。李广峰^[48]介绍了基于机车牵引计算的优化操纵方案的建模过程和制定方法,并探讨了将其应用在实际机务运用管理中应注意的问题,在此基础上利用计算机技术建立了一套实际的应用系统,提高了机车乘务员的标准化作业水平和机务运用管理效率。郭宏程^[49]介绍了开发内燃机车燃油统计分析程序的原理、使用情况和所产生的综合效益,对使用内燃机做动力的单位有一定的借鉴价值。在城市轨道交通方面,颜邦杰等^[50]通过调整列车时刻表的预留量进行了列车节能测试计划,在不降低运输服务水平情况下降低了企业运营成本。左玉东,阮玉华等^[51-52]分别从电力机车、司机操纵角度分析设计相应的能耗管理信息系统。覃栋等^[53]介绍了一种新的电力机车能耗管理信息系统,为克服机械式电表的缺陷、节约电能以及解决铁路系统供电段与机务段的电费核算问题指明了一个新的方向。

1.3 研究方法

通过上面铁路运输系统中节能研究层面的分析,可看到节能领域的研究方法呈现出多元化的特点,也意味着节能研究正在逐步深入和细化。

1) 综合比较的研究方法。如周新军对我国铁路能耗现状和不同交通方式的比较,崔力心对国外高铁交通方式的能耗比较等。

2) 现场调查的研究方法。主要是铁路运输企业工作和科研院所研究人员深入现场,通过第一手资料了解机车节能情况、企业节能情况。

3) 模拟仿真的研究方法。通过建立列车牵引计算的运行仿真平台,能模拟现场情形,得到接近实际能耗的结果。

4) 建模优化的研究方法。把铁路运输企业面临的实际问题抽象为或隐或显包含能耗最小的数学模型,然后利用最优化(包括精确的优化算法和启发式的智能算法)的方法进行求解得出解决方案,可为企业在不同层面进行决策时提供参考。

5) 统计分析的研究方法。铁路运输系统中的节能问题虽然在微观层次理论上可以得到能耗的精确结果,但局限于实际的各种复杂多变情况,完全准确的能耗数据几乎不可能得到。因此,借助统计分析的方法,对于不同层面的能耗有大致的估计,同时也能为节能评价提供了技术手段。

2 铁路运输系统节能研究面临的理论和现实问题

随着能源紧缺程度的增加和可持续发展理念的不断深入,铁路运输系统既面临机遇也遭遇挑战。从理论分析和现实情况来看,铁路运输系统作为单位能耗最低的便捷交通方式,在与其他交通方式的竞争中将获得更有利的地位。但从实际具体运营情况来看,铁路运输系统在为社会提供“安全快捷低廉”的运输服务的同时,总的能耗将增加并会造成对环境多方面的影响,并且这些影响将可能逐步引发社会公众的关注和重视。

2.1 理论问题

从上节对列车节能研究分析可以看到,微观角度(深入到机车牵引)的理论基础主要是能量守恒定律,牛顿运动定律,最优控制理论,人工智能和专家系统,已有的相关文献的建模分析大都是建立在这些理论模型的基础之上,然后通过列车运行仿真平台或列车运行实测数据加以验证。

但如果从系统的观点来看,列车的节能将体现在列车的调度管理之中,比如以总延迟最小的调度原则暗含了路网总能耗最小的思想。进一步,列车的调度管理是建立在列车运行图基础之上,而列车运行图又建立在路网结构基础之上,路网结构则与铁路运输系统之外的环境系统相关。

反过来看,铁路运输系统的总能耗应首先决定于路网结构(包括静态结构如车站、轨道、信号机的规划股指和动态结构如列车开行线路),而其他环节的节能方法和手段都是在它的制约下进行的。因此,铁路运输系统的节能问题可从3个层面进行理论分析:技术操作层面的列车牵引运行和设施节能、管理运营层面的列车调度和设施节能、战略规划的网络结构配置节能。

在此,我们斗胆提出一个理论问题,对于3个层次的节能问题,是否存在能耗的上限和下限?如果有,

能耗与哪些因素有关,能否对它进行估计?这样就可以从理论上明确节能的最好和最坏可能性。

2.2 现实问题

从目前这3个层面的节能研究来看,面临不少现实的问题。

1) 技术操作层面。在列车模拟运行仿真方面,列车牵引运行计算的理论、数据不可能与列车实际运行的状况完全一致,只是为实际牵引操作提供类比和借鉴。在列车驾驶专家系统方面,现场司机的经验技能可能难以及时固化在专家系统中。虽然现场中列车运行的能耗数据一般有原始数据,但这些原始数据没有进一步挖掘去发现其中可能存在的规律。此外,列车牵引动力系统的改造优化(如再生制动)和革新技术(如燃料混合动力列车)在实际中需逐步摸索,不断总结经验。

2) 管理运营方面。现实中的列车是运行在一个动态变化的路网环境之中,列车之间往往存在相互作用,需要良好的调度管理策略才能对路网中列车进行整体节能优化,而不是单个列车节能优化。目前,现实中的调度管理策略一般是基于时间的调度管理,需要从理论上说明与节能的关系。另外,节能管理模式、方法、指标评价体系的构建也需要与目前组织体制结合。

3) 战略规划方面。铁路路网结构分静态和动态两部分,静态结构主要是车站、线路、信号机、长大坡、桥梁、隧道等固定设施的布置结构,动态结构是路网中由列车开行方案决定的移动设备(主要是机车和其牵引的客货车)走行路线图。实际中的路网规划涉及改造和列车开行方案的确定很少直接从能耗角度优化评价,需要管理者决策者引起重视。

3 铁路运输系统节能研究的展望

基于以上对铁路运输系统的节能研究及其存在问题的分析,我们认为除了继续在已有技术操作层面加强对节能研究外,更可考虑直接面向实际提出新的能耗模型,并且把研究提升到运输组织管理的层面,突出管理与技术的集成研究。

3.1 基于数据挖掘的能耗模型研究

已有的列车牵引能耗模型其实也不能完全反映列车实际能耗情况,考虑到真实的列车有油耗、电耗统计情况,而且经过长时间的数据沉淀,已经积累了不同机型在各种实际情况下运行的大量能耗数据。因此,利用相对成熟的数据挖掘方法和软件进行能耗数据挖掘,建立机车的各种数学模型在技术上是完全可行的。同时如果建模成功,这些模型还可以固化积累并自学习调整成为机车牵引能耗系统的“知识”,从而为机车的操纵、调度、维修、购买等技术作业和管理决策奠定基础,提供参考。

3.2 基于运输组织管理的节能研究

良好的节能技术需要科学的组织管理才能发挥更大的作用,必须通过管理制度、模式和方法实现各种技术的有机结合,基于运输组织管理的节能研究涉包括如下3个方面的内容。

1) 宏观层面的节能战略管理研究。首先,应把“节能”提升到运输组织的战略层面,领导高度重视,员工积极参与。其次,完善节能管理体系结构和组织模式,制定各个层面节能的标准和规范。再次,在新技术(如燃料混合动力、太阳能等新能源)引入方面,做好技术的评价管理工作,促进牵引动力结构的优化。最后,在路网结构改造、新建进行方案选定时,把节能当作一个重要的因素考虑。总之,铁路运输系统宏观层面的节能战略管理为节能工作的进行立下一个框架,以把握引导铁路运输系统节能的发展方向。

2) 中观层面的节能战术管理研究。在制定列车开行方案、列车运行图、机车交路计划时,便把能耗考虑在内。建立科学合理的奖罚机制和合作机制,激励单位和个人的节能积极性,推动关联单位进行节能的技术革新。引入新的节能组织模式如“合同能源管理”,实现管理组织模式的创新。

3) 微观层面的节能调度管理研究。在具体运输组织调度管理层面,从节能角度进行停站方案、列车编组、货运重载、减少单机和空车、列车运行调整时间优化等方面的设计和优化,为铁路运输生产的“集约化”和“精细化”提供具体的管理技术和方法。

因此,组织管理层面的节能研究不是建立在空中楼阁之上,而是与节能技术、方法密切相关,实际研究

中二者应有机集成,这需要结合具体领域的技术方法和管理模型才能得到科学合理的结论。因此,基于运输组织管理的节能研究可从上述的某一方面进行具体深入的建模优化和分析评价。

4 结束语

本文回顾总结了我国铁路运输系统节能问题的研究现状,并对问题的进一步研究进行了展望。首先,从技术、管理和应用3个层面进行了详细探讨,归纳了节能研究的主要方法,分析了铁路运输系统节能研究面临的理论和现实问题,最后从应用角度提出了基于数据挖掘能耗模型研究思路 and 基于组织管理节能研究的主要内容,希望能为我国铁路运输领域的节能研究提供新的思路和视角。

参考文献:

- [1] 方利国. 节能技术应用与评价[M]. 北京:化学工业出版社,2008:180-200.
- [2] 孙忠国. 铁路运输节能减排技术[M]. 北京:化工工业出版社,2009:1-18.
- [3] 周方明,毛保华. 铁路运输节能技术与节能管理研究[J]. 综合运输,2010(8):29-33.
- [4] 王玉明. 城市轨道交通能耗影响因子量化分析[D]. 北京:北京交通大学,2011.
- [5] 陈维荣,钱清泉,李奇. 燃料电池混合动力列车的研究现状与发展趋势[J]. 西南交通大学学报,2009,44(2):1-6.
- [6] 张文丽,李群湛,刘炜,等. 地铁列车再生制动节能仿真研究[J]. 交流技术与电力牵引,2008(3):41-44.
- [7] 李政,潘孟春,胡楷. 城市轻轨再生制动能量吸收的仿真研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(15):4916-4919.
- [8] 曾建军,林知明,张建德. 地铁制动能量分析及再生技术研究[J]. 城市轨道交通,2006(6):33-36.
- [9] 黄舰,李廷勇,徐长勤. 1500V城轨系统再生制动能量的储存利用[J]. 都市快轨交通,2010,23(3):98-101.
- [10] 王雪迪,杨中平. 超级电容在城市轨道交通中改善电网电压的研究[J]. 电气传动,2009,39(3):77-80.
- [11] 程家兴. 长途列车节能操纵的建模[J]. 系统仿真学报,1999,11(4):286-288.
- [12] 程家兴. 列车节能操纵中最优方案的算法[J]. 微机发展,1999,15(2):1-4.
- [13] 王自力. 列车节能运行优化操纵的研究[J]. 西南交通大学学报,1994,29(3):275-28.
- [14] 金炜东,王自力,李崇维,等. 列车节能操纵优化方法研究[J]. 铁道学报,1997,19(6):58-62.
- [15] 金炜东,靳蕃,李崇维,等. 列车优化操纵速度模式曲线生成的智能计算研究[J]. 铁道学报,1998,20(5):47-52.
- [16] 冯晓云. 模糊预测控制及其在列车自动驾驶中的应用研究[D]. 成都:西南交通大学,2001.
- [17] 丁勇,毛保华,刘海东,等. 列车节能运行模拟系统的研究[J]. 北方交通大学学报,2004,28(2):76-81.
- [18] 丁勇,毛保华,刘海东,等. 定时约束条件下列车节能操纵的仿真算法研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(10):2241-2244.
- [19] 李波,王自力. 遗传算法在列车优化操纵曲线方面的应用[J]. 内燃机车,2008(3):5-10.
- [20] 石红国. 列车运行过程仿真及优化研究[D]. 成都:西南交通大学,2006.
- [21] 刘海东,毛保华,丁勇,等. 城市轨道交通列车节能问题及方案研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2007,7(5):68-73.
- [22] 柏赞,毛保华,周方明,等. 基于功耗分析的货物列车节能运行控制方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2009,9(3):43-50.
- [23] 付印平,高自友,李克平. 路网中的列车节能操纵优化方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2009,9(4):90-96.
- [24] 姜正才. 提高铁路整体装备和管理水平是铁路节能的根本途径[J]. 中国能源,1994(9):22-27.
- [25] 周新军. 铁路节能现状及技术改进路径[J]. 铁道工程学报,2008(11):1-5.
- [26] 周新军. 我国铁路能源消耗和节能现状[J]. 中外能源,2009,14(3):87-92.
- [27] 樊永涛,李夏苗. 铁路能耗因素分析及节能措施研究[J]. 管理观察,2009(17):232-233.
- [28] 崔力心. 国外高速铁路节能减排影响因素分析[J]. 铁道运输与经济,2010,32(4):17-19.
- [29] 彭其渊,朱松年,王培. 网络列车运行图的数学模型及算法研究[J]. 铁道学报,2001,23(1):1-8.
- [30] 苗建瑞,王莹,杨肇夏. 基于最优接续网络的动车组路计划优化模型与算法研究[J]. 铁道学报,2010,32(2):1-7.
- [31] 龙建成,高自友,马建军,等. 铁路车站进路选择优化模型及求解算法的研究[J]. 铁道学报,2007,29(5):7-14.
- [32] 薛艳冰,马大伟,王烈. 列车牵引能耗计算方法[J]. 中国铁道科学,2007,28(3):84-87.
- [33] 刘海东,毛保华,丁勇,等. 城市轨道交通列车节能问题及方案研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2007,7(5):68-73.

- [34] 贺允东. 牵引动力改革是铁路节能降耗的主要途径[J]. 铁道学报, 1996, 18(1): 21-28.
- [35] 王奇钟. 节能列车操纵的思路及方法[J]. 铁道机车车辆, 2008, 28(4): 64-67.
- [36] 韩长虎, 傅文森, 王志刚. 列车跟踪运行操纵理性探讨[J]. 内燃机车, 1995(11): 24-28.
- [37] 靳承林, 韩长虎. 优化货物列车运行诸问题的现实性思考[J]. 铁道运输与经济, 1999(11): 4-6.
- [38] 韩长虎, 靳承林, 董学良. 内燃机车牵引运行优化操纵第一论断[J]. 内燃机车, 2000(8): 20-23.
- [39] 韩长虎, 梁少敏, 王秀华. 列车节能运行两个论断之探讨[J]. 内燃机车, 2002(4): 20-23.
- [40] 宋敏华. 城市轨道交通节能技术发展趋势研究[J]. 工程建设与设计, 2009(1): 15-19.
- [41] 万立和, 王兆林, 许志杰. 利用燃油消耗标准模块指导机车油耗的可行性探讨[J]. 内燃机车, 2003(4): 32-34.
- [42] 邹稳根. 关于铁路节能减排的探讨[J]. 铁道机车车辆工人, 2010(9): 1-6.
- [43] 李巍. 包神铁路公司节能减排思路和模式的探索与实践[J]. 神华科技, 2009, 7(4): 89-92.
- [44] 史茂. 铁路运输中机车能耗的浪费[J]. 上海铁道科技, 2004(5): 42-43.
- [45] 李宝文. 对影响机车能源消耗关键环节的调查与分析[J]. 铁道运输与经济, 2008, 30(2): 42-44.
- [46] 刘开国. 城市轨道交通供电系统的节能措施与经济运行[J]. 电气时代, 2009(12): 82-84.
- [47] 应名洪. 城市轨道交通网络化建设与运营[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007: 12.
- [48] 李广峰. 基于牵引计算的机车优化操纵方案研究与应用[J]. 铁道机车车辆, 2008, 28(5): 48-50.
- [49] 郭宏臣. 开发统计分析程序精细管理机车能耗[J]. 铁道货运, 2009, 2: 14-15.
- [50] 颜邦杰, 张辰秋. 捷运列车排点与节能[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(1): 139-144.
- [51] 左玉东. 电力机车能耗监测及其管理信息系统的设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.
- [52] 阮玉华. 机车能耗分析与司机操纵评价管理系统的设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [53] 覃栋, 王云艳. 能耗信息管理系统在电力机车的应用[J]. 微计算机与信息, 2006, 22(6): 187-189.

A Research on Energy Saving in China's Railway Transportation System

Hu Hui^{1,2}

(1. School of Economics and Management, East China Jiaotong University, Nanchang, 330013; 2. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing, 100044, China)

Abstract: The current situation and methodologies of energy saving in China's railway transportation system are summarized comprehensively. Then, the theory and practical problems are analyzed and put forward. Finally, from the perspective of application and operation management, a research idea of energy consumption model based on data mining and principal contents of energy saving are proposed for further study.

Key words: railway transportation; energy saving; data mining; operation management