

文章编号：1005-8451 (2013) 01-0017-06

# 动车组运用检修计划智能编制平台的研究

王忠凯，史天运，张惟皎，王辉

(中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所，北京 100081)

**摘要：**编制动车组的运用计划和检修计划是动车运用所运输组织过程中的核心环节之一，对于保证动车组的安全性，提高运用效率，降低检修成本具有重要的意义。梳理了动车组运用和检修计划的编制业务，分析了计划编制的目标和影响因素。依托动车组管理信息系统，论述了动车组运用和检修计划智能编制平台的软件架构和主要功能，研究了平台的关键技术。实践表明，通过构建智能化的运用和检修计划编制平台，提高了计划的科学性、合理性，优化了动车组的运用和检修效率。

**关键词：**动车组；运用计划；检修计划；优化排程技术

**中图分类号：**U266.2 : TP39 **文献标识码：**A

## Research on intelligent scheduling platform of utilization and maintenance plan of EMUs

WANG Zhongkai, SHI Tianyun, ZHANG Weijiao, WANG Hui

( Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China )

**Abstract:** Scheduling the utilization and maintenance of Electric Multiple Units (EMUs) was a key step in the transportation organization of the EMUs depot and had a huge impact on ensuring safety, rising efficiency and reducing operation cost of EMUs. This paper analyzed the service, objectives and factors of scheduling the plans. Depended on EMUs-MIS, the software architecture, the main functions and the key technologies of the intelligent platform of scheduling utilization and maintenance plan were discussed. The practice proved that the scientificity and rationality of the plans could be secured and the operation and maintenance efficiency could be increased.

**Key words:** Electric Multiple Units(EMUs); utilization plan; maintenance plan; optimization scheduling technology

动车组的日常运用和检修工作由动车运用所负责，用于指导运用所运输组织的生产计划主要包括动车组当日和次日开行计划、乘务计划、长周期检修计划、月检修计划、周检修计划、日检修计划、调车建议计划。编制合理的运用和检修计划对于合理组织运用所的运输生产，提高动车组的运用效率和降低检修成本具有重要意义。

围绕动车组运用和检修计划编制理论，大量学者进行了系统的研究。文献[1~4]以列车运行图为基础，分析了动车组的运用方式、列车运行线之间的接续条件以及动车组检修对运用计划的影响，将动车组运用计划编制问题转换为复杂的

旅行商问题，设计了规划模型，采用数学方法或启发式方法求解；文献[5]以交路段覆盖、检修能力和路径数量为约束，以动车组检修前的累计运行里程最大化为目标函数，采用分枝定价算法求解，研究了动车组检修计划的编制方法；文献[6]在动车运用所担当交路和配属的动车组已知的前提下，提出过一体化编制动车组运用计划和检修计划的优化模型和求解算法；文献[6]提出了基于业务规则构建动车组运用和检修计划编制系统的方案。在动车运用所实践中，动车组的运用和检修计划主要依靠调度人员综合各种复杂因素后手工编制。随着我国客运专线体系的不断建成，动车组和交路数量不断增加，手工编制方式很难达到理想的优化效果。本文在动车组运用和检修计划编制方法理论研究的基础上，依托动车组管

收稿日期：2012-11-12

基金项目：铁道部科技研究开发计划（2011J002）。

作者简介：王忠凯，助理研究员；史天运，研究员。

理信息系统，研究运用检修计划智能辅助编制平台的关键技术和主要功能。

## 1 动车组运用检修计划编制业务分析

### 1.1 动车组运用检修过程

动车运用所掌握的资源包括配属的动车组和检修基础设施，运用工作是在为每日的运用交路分配状态良好的动车组，保证完成给定的运输任务；检修工作是结合动车组的运用情况，根据铁道部制定的动车组检修规范，对动车组实施一二级运用检修，保证动车组处于良好的运用状态。动车组的运用和检修基本过程如图1所示。涵盖了计划编制和计划执行两个环节，形成了检修和运用两个闭环流程，累计了动车组的运用和检修两类实绩信息。

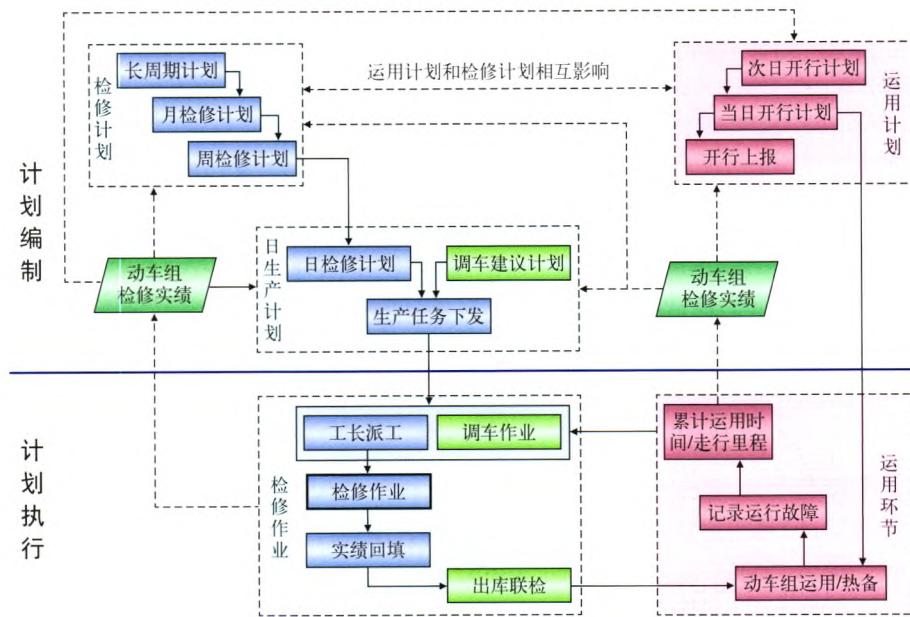


图1 动车组的运用和检修流程图

从制定动车组次日开行计划，到制定当日开行计划、再到动车组担当运用交路，产生运用实绩信息，最后运用实绩情况影响下一次运用计划的编制，构成动车组的运用闭环流程。

从制定各种时间范围的检修计划，到编制日生产计划，到检修作业并记录检修实绩，最后检修实绩信息影响下一次检修计划的编制，构成动车组的检修闭环流程。

在动车组的运用和检修过程中，产生的运用和检修实绩，会影响下一次计划的编制；同时，

动车组的运用计划和检修计划也相互影响，在某些场景下，会紧密的耦合在一起，这些因素都增加了计划编制的复杂度。

### 1.2 各类运用检修计划

动车运用所的运用计划是在运用所配属的动车组和运用交路已知的条件下，为每日的运用交路分配状态良好的动车组和随车机师，完成给定的运输任务。主要体现为：

**当日开行计划：**根据动车组配属情况和交路信息，明确当日的动车组担当运用交路情况。

**次日开行计划：**根据动车组配属情况和交路信息，预先安排次日的动车组担当运用交路情况。

**乘务计划：**根据动车组配属情况、交路信息和随车机师，明确具体车次的随车机师。

检修计划是在运用所的检修能力已知的条件下，根据各车型一二级检修规程，结合动车组历史检修数据和运用情况，安排动车组在某时间段进行某项检修作业，确保动车组良好运用状态。根据计划时间范围，检修计划可以分为：

**长周期检修计划：**长周期计划在全年（或多个季度）统筹重要的或占用检修资源较多的检修任务，实现每个月的检修工作量的均衡。

**月检修计划：**月检修计划在一个计划月内统筹安排动车组全部检修作业包的检修时间，实现检修工作量的均衡，以便进行物料的准备。

**周检修计划：**周检修计划制定动车组在一周内的具体检修内容。相对长周期检修计划和月检修计划，周检修计划更具实际意义，一般将周检修计划作为一段时间的实施计划，指导动车组的检修。

**日检修计划：**考虑周检修计划中检修任务的安排和动车组回所情况，制定的当日各列动车组具体的检修任务情况，用于指导当日的检修生成。

此外，运用所还需要根据运用所线区段股道布置情况，结合当日动车组开行计划和日检修计划，编制调车建议计划。调车建议计划制定后，

下达给运用所信号楼执行。

### 1.3 计划编制业务分析

#### 1.3.1 计划的编制目标

动车组运用和检修计划的编制目标包括：

(1) 确保动车组及其配件的检修项目在规定周期内得到检修，严格执行一二级检修规程，实现动车组配件级别的“不漏项、不超期”，为保障动车组安全运行打下基础。

(2) 合理统筹动车组的运用和检修之间的矛盾，确保完成给定的运输任务。

(3) 减少动车组的使用数量，提高动车组利用率。

(4) 充分利用检修项目的检修周期，减少提前检修量，降低检修成本。

(5) 合理均衡动车运用所的工作量，以利于动车运用所的生产组织。

(6) 高效利用动车运用所的关键检修资源，提高检修吞吐量。

(7) 实现计划的自动化编制，减轻调度人员繁重的计划编制任务。

#### 1.3.2 运用计划编制的影响因素

(1) 车型匹配因素：运用交路具有定员、运行速度等方面的要求，这些因素可以统一为车型匹配原则，即必须为运用交路安排指定车型的动车组。

(2) 重联动车组因素：如果运用交路需要重联动车组，则必须为该交路安排两列相同车型的动车组。

(3) 动车组检修情况：需要安排已经完成检修的动车度担当运用任务。

(4) 随车机师的休息情况：必须按照铁道部相关规范，保证随车机师的休息。

#### 1.3.3 检修计划编制的影响因素

(1) 动车组运用情况。

(2) 运用所生产组织方式。

(3) 不同车型的检修方式。

(4) 同车型不用作业内容之间的影响。

(5) 高级修对运用检修的影响。

## 2 动车组运用检修计划智能编制平台

### 2.1 软件架构设计

为提高软件的扩展性，平台基于 SOA 架构设计实现，结构如图 2 所示。

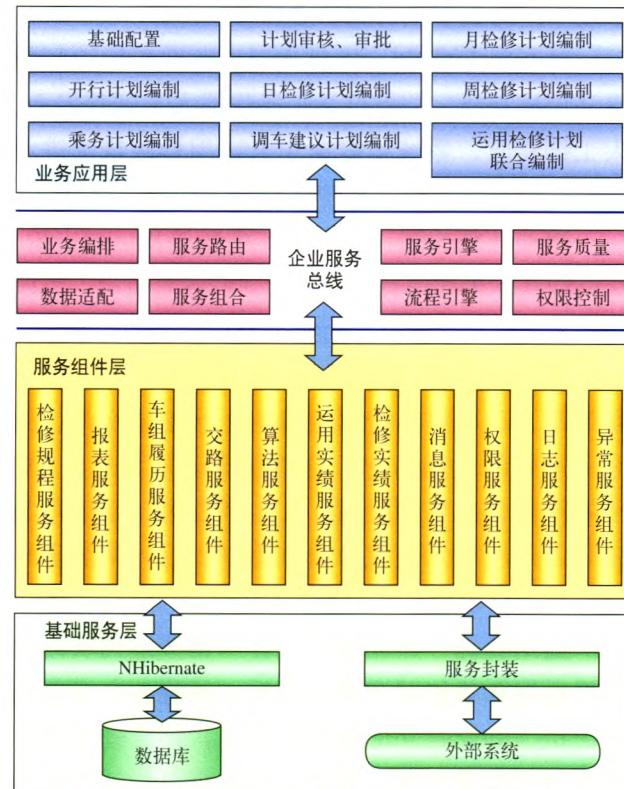


图2 动车组运用检修计划编制平台软件架构图

### 2.2 总体功能设计

动车组运用检修计划智能编制平台总体功能框架如图 3 所示。

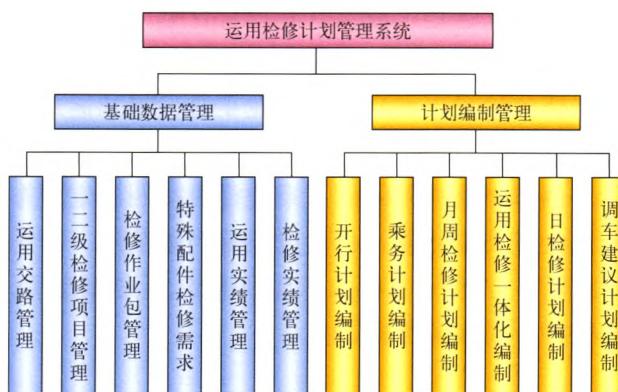


图3 动车组运用检修计划编制平台总体功能图

### 2.3 详细功能描述

**基础数据管理功能：**交路管理提供对图定交路信息的查询和临时交路的增加、修改、删除和查询功能；检修项目管理实现一二级检修项目的全路统一维护以及运用所自定义检修项目管理功能；作业包管理实现一二级检修项目打包配置和完备性校验功能；特殊件检修需求实现对关键配

件检修周期等规范的定义和维护功能；运用和检修实绩用于校正动车组自动累计的走行里程和维护动车组各检修项目的历史检修信息。

**开行计划编制：**提供次日 / 当日开行计划的自动预排功能，并提供易于操作的人工调整界面，人工调整时，系统根据动车组运用检修情况进行校验，计划制定后，系统将计划上传至铁道部。

**乘务计划编制：**根据动车组配属及运用安排、交路的具体车次信息和随车机师的休息情况，系统提供乘务计划的编排界面并对用户操作进行校验。

**月 / 周检修计划编制：**依据动车组一二级检修规范，动车组各检修项目的上次检修实绩，结合动车组的运用情况，自动测算动车组月度 / 周度的检修任务到期时间；人工调整时，系统进行校验并给出提示信息。计划编制完后，系统提供计划的上报功能。

**运用检修一体化编制：**针对某些运用所的动车组运用和检修紧密耦合情况，系统综合考虑运用所担当的交路和配属的动车组，结合动车组的历史运用检修实绩，提供多个计划日的运用计划和检修计划自动编排功能。并提供对人工调整操作的校验和分析功能。

**日检修计划编制：**系统可以根据周检修计划的安排获取日检修计划，也可以根据动车组的运用检修情况自动生成当日的检修计划，还提供了易用的人工调整界面。计划制定后，系统可以将检修任务情况下发到检修作业平台，指导运用所的检修生产。

**调车作业计划编制：**系统提供按照固定调车模板生成计划功能；也可以根据当前情况，动态计算调车方案；还支持人工计划调整。计划制定后，系统将计划传输到信号楼。

### 3 平台关键技术研究

#### 3.1 设计灵活的计划编制模式

##### 3.1.1 固定运输模式

如果运用所承担运用交路比较一致，且备用动车组比较充足，为便于运用所的运输组织工作，通常安排动车组连续担当某一固定交路的运输任务，从而在一段时间内形成相对固定的运输模式。此时，采用分别编制运用计划和检修计划的方案

较为有利。先编制动车组运用计划，并设定动车组会连续担当某一运用交路，形成一段时间内相对固定的动车组运用计划。而后将运用计划作为检修计划的输入数据，分离运用计划和检修计划之间紧密的耦合关系，单独编制检修计划。

##### 3.1.2 套跑运输模式

如果运用所承担的交路情况较为复杂，同时备用动车组较紧张，必须充分发挥动车组的运力，才能同时满足动车组的运用和检修约束条件，通常安排动车组在多个运用交路之间套跑，则无法将动车组的运用情况换算成动车组的日均运行时间和走行里程，运用计划和检修计划将紧密耦合在一起，采用运用计划和检修计划一体化编制的方法。

#### 3.2 建立计划优化编排的数学模型

在动车组运用计划和动车组检修计划的优化研究中，如果将运输任务看成城市，将运输任务之间的接续关系看成城市之间的连通关系，则可以将原问题转化为一类特殊的旅行商问题。特殊性在于动车组运用计划和检修计划需要考虑动车组的检修问题。动车组的一二级检修规程规定了若干项检修作业，并为每项检修作业定义了检修周期。动车组在连续接续若干个运输任务后，需要根据累计的运用时间和走行里程，在各项检修作业的周期内（不得超过检修周期），安排动车组进行预防性检修，某项检修作业完成后，其运用时间和走行里程将会重新累计。检修作业需要一定的检修耗时，部分检修作业需要多天才能完成，检修情况对运用方案的影响较为显著。

将动车组运用计划和检修计划的优化问题抽象为一类带状态约束的旅行商问题。给定 N 个城市以及任何两城市之间距离，假设旅行商连续旅行距离限度值为 T。令旅行商从其中某城市出发，要经过每个城市一次，且只能经过一次，最后必须返回出发城市；旅行过程中，旅行商在访问若干个城市后，其累计的旅行距离达到了限度值 T，旅行商必须转入休息状态，旅行商在两次相邻的休息状态之间连续的旅行距离不得超过限度值 T。尽量减少该旅行商的巡游距离和休息次数。

用图  $G=(V, A)$  表示城市及其关系，其中， $V = \{i | i=1, 2, \dots, N\}$  为城市集合，用  $i, j$  表示城市； $A = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$  为边的集合，表示

城市之间的连通关系，定义  $d_{ij}$ ，表示边  $(i, j)$ ， $i, j \in V$ ， $i \neq j$  的距离，旅行商连续旅行距离限度值为  $T$ 。 $x_{ij}$  为 0~1 变量，表示城市之间的接续关系，当旅行商经过城市  $i$  后立即选择访问城市  $j$  时， $x_{ij}$  为 1；否则为 0。 $y_i$  为 0~1 变量，如果旅行商访问完城市  $i$  后，转入休息状态， $y_i=1$ ；否则  $y_i=0$ 。

则将基本的动车组运用计划和检修计划编制模型描述为：

$$\text{Min } Z = c_1 \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ij} d_{ij} + c_2 \sum_{i \in V} y_i \quad (1)$$

S.T.

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ij} \leq |K| - 1 \quad \forall K \subseteq V \quad (4)$$

$$\sum_{i \in K} \sum_{j \in K} x_{ij} d_{ij} \leq T \cdot \max\{1, \sum_{i \in K} y_i\} \quad \forall K \subseteq V \quad (5)$$

式（1）表示求最短巡游路径和最少休息次数的优化目标，其中  $c_1$  和  $c_2$  分别表示权值；式（2）、（3）保证旅行商进出每个城市的次数为 1；式（4）保证剔除子回路，其中， $K$  为的  $V$  子集；式（5）保证旅行商在两次相邻的休息状态之间连续的旅行距离不得超过限度值  $T$  的约束条件。

### 3.3 实现高效的计划优化求解算法

动车组运用计划和检修计划优化问题属于 NP-HARD 问题，随着动车组和交路数量的增加，问题的求解难度日益增大。针对 NP-HARD 问题的求解算法可以分为两类：一类是精确算法 (Exact Algorithm)，另一类是近似算法 (Approximate Algorithm) 或启发式算法 (Heuristic)。

精确算法是指算法保证在有限的时间内获得优化问题的最优解，早期运筹学的研究侧重于问题精确算法的研究，例如：分支算法、分支切平面算法、分支定界算法、动态规划方法、列生成法和基于最短路径算法等。

针对动车组运用检修计划的优化问题，往往要求在可以接受的计算时间内，给出一些较好的解，供调度人员参考，因而可以应用近似算法求解。所谓近似算法，或者称为启发式算法，通过对问题结构的探索，利用基于问题的特定信息引导算

法在可接受的计算时间内发现问题较好的解。鉴于蚁群优化算法在基本的旅行商问题的显著优势，平台主要采用蚁群算法对计划优化问题进行求解。

蚁群优化算法先构造原问题的求解图，而后利用人工蚂蚁在图上迭代寻优。蚂蚁个体之间通过信息素进行信息传递，蚂蚁在运动过程中，能够在它所经过的路径上留下信息素，后来的蚂蚁在运动过程中能够感知这种信息素，并根据信息素的浓度来选择自己的行走路径。一条路上的信息素越浓，其它蚂蚁将以越高的概率跟随此路径，从而该路径上的信息素将被进一步加强。大量蚂蚁的集体行为表现出一种信息正反馈现象，最终逐步收敛到问题的最优解。

## 4 应用案例

动车组运用检修计划智能编制平台于 2012 年 3 月在多个运用所上线运行，有效地支撑了运用所的运输组织工作。

确保了计划的严谨性、合理性和科学性，杜绝了动车组的检修项目超期检修现象，提高了动车组的利用率，特别是在备用动车组数量较少或运输任务多的运用所，有效地协调了运用和检修之间的矛盾。动车组各个检修项目的检修时间尽量在项目到期时进行，利用了动车组的运力，减少了动车组检修次数，降低了检修成本。减轻了计划编制人员得劳动强度，提高了计划的准确性。

## 5 结束语

本文在动车组运用和检修计划编制方法理论研究的基础上，依托动车组管理信息系统，研究了运用检修计划智能辅助编制平台的关键技术，论述了平台的软件架构和主要功能。实践证明，该平台有效支持了运用所的运用和检修计划编制工作，通过制定合理的运用检修计划，促进了动车组安全高效运行，减少了检修成本，提升了运用所的运输组织水平。

### 参考文献：

[1] PEETERS M, KROON L. Circulation of Railway Rolling

(下转 P24)

式(8)表示动车组检修结束对应的时间节序号。 $bt$ 为已知条件,由动车组开始检修时间确定。

### 3 模型求解

在求解动车组高级修检修计划编制模型时,为使动车组高级修检修所需时间最少,应在满足检修工序能力限制约束、检修任务关系约束和检修工时约束的基础上,根据动车组检修时间的先后顺序为检修任务安排检修时间。

具体求解算法如下:

(1) 根据检修工序先后关系,将检修任务进行优先级排序:假设检修工序  $w_1$  和  $w_2$ ,  $w_1$  和  $w_2$  的检修任务集为  $I_{w_1}$  和  $I_{w_2}$ , 若检修工序  $w_1$  在检修工序  $w_2$  之前,则检修任务集  $I_{w_1}$  优先级高于检修任务集  $I_{w_2}$ ; 转(1)。

(2) 对于同一检修工序下的检修任务,按检修任务对应动车组的检修时间先后顺序进行优先级排序:假设动车组  $t_1$ ,  $t_2$  在检修工序  $w$  任务集为  $I_{t_1w}$  和  $I_{t_2w}$ , 若动车组  $t_1$  检修时间先于动车组  $t_2$ , 则属于  $I_{t_1w}$  的检修任务的优先级高于属于  $I_{t_2w}$  的检修任务的优先级; 转(3)。

(3) 对于同一检修工序下同一动车组的检修任务,根据检修任务前置检修任务优先级进行优先级排序:假设动车组  $t$  在检修工序  $w$  的检修任务  $i_{tw}$ ,  $j_{tw}$ , 若  $i_{tw}$  前置任务的优先级高于  $j_{tw}$  前置任务的优先级,则检修任务  $i_{tw}$  的优先级高于检修任务  $j_{tw}$ ; 转(4)。

(4) 根据检修任务优先级按由高到低的顺序为检修任务安排时间节,若所有检修任务均安排了时间节,转(7);否则,转(5)。

(上接P21)

- Stock: a Branch-and-Price Approach [J]. Computers & Operational Research, 2008, 35 (2): 538-556.
- [2] 赵鹏.高速铁路动车组和乘务员运用的研究[D].北京:北方交通大学, 1998.
- [3] 王莹.动车组运用计划和乘务计划的优化方法研究[D].北京:北京交通大学, 2009.
- [4] 史峰、周文梁、郁宇卫.客运专线动车组运用计划优化模型与算法[J].北京:铁道学报, 2011, 33 (1): 8-12.
- [5] 王莹、刘军、苗建瑞.基于列生成算法的动车组检修计划优化[J].北京:中国铁道科学, 2010, 31 (2):

(5) 为检修任务寻找满足约束条件(2)和(3)的最小时节序号,转(6)。

(6) 根据约束条件(4)和(5),确定检修任务占用的时间节序号,转(4)。

(7) 算法结束。

### 4 结束语

本文对动车组高级修检修计划编制问题进行分析,归纳出动车组高级修检修计划编制的检修任务关系、检修工时要求和检修工序能力限制约束,在此基础上,在保证所有检修任务均有安排的前提下,以动车组高级修检修所需时间最短为优化目标,建立动车组高级修检修计划编制模型,设计该模型的求解算法。

该模型和算法已在动车组检修管理信息系统中实现,工程应用表明该算法求解效率高,可在短时间内获得动车组检修计划,大幅度提高检修计划的编制质量和效率。

#### 参考文献:

- [1] 王莹, 刘军, 苗建瑞.基于列生成算法的动车组检修计划优化[J].中国铁道科学, 2012, 31 (2): 116-119.
- [2] 中华人民共和国铁道部.铁路动车组运用维修规程[S].北京:中国铁道出版社, 2007.
- [3] 孙雪娟, 葛正义, 张春.高速铁路动车组检修计划方案的探讨[J].铁道建筑, 2004 (12): 73-75.
- [4] 李鹏.基于交路互换的客运专线动车组检修计划的研究[D].北京:北京交通大学, 2010.
- [5] 齐金平, 查显锋.动车组检修作业工单调度优化模型和算法[J].中国铁路, 2011 (3): 54-57.

责任编辑 徐侃春

115-120.

- [6] 王忠凯, 史天运, 张惟皎, 王辉.动车组运用计划和检修计划一体化编制模型及算法[J].北京:中国铁道科学, 2012, 33 (3): 102-108.
- [7] 王辉, 张惟皎, 王忠凯, 郭悦.基于业务规则的动车组运用检修计划管理[C].第七届中国智能交通年会优秀论文集, 2012, 7: 473-478.
- [8] 中华人民共和国铁道部.铁路动车组运用维修规程[S].北京:中国铁道出版社, 2007.

责任编辑 徐侃春