

文章编号：1005-8451（2013）01-0022-03

动车组高级修检修计划编制模型与算法

陈彦

（中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所，北京 100081）

摘要：本文首先对动车组高级修检修计划编制问题进行分析，在此基础上，在保证所有检修任务均有安排的前提下，以检修任务关系、检修工时要求和检修工序能力限制为约束，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，工程应用表明该模型和算法可大幅提高现场检修计划编制质量和效率。

关键词：动车组检修；高级修；检修计划；模型

中图分类号：U266.2 : TP39 **文献标识码：**A

Model and algorithm for making overhaul plan of EMUs

CHEN Yan

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

Abstract: The overhaul of EMUs was based on the overhaul plan, the rationality decided the quality and efficiency of overhaul of EMUs. The paper analyzed the problem of making overhaul plan of EMUs. Based on that, all overhaul tasks were assigned, considering the relation of overhaul tasks, time request and the capacity limitation of procedure as restrictions, the shortest time for overhaul of EMUs as aim, the model for making overhaul plan of EMUs was established, and the algorithm for this model was designed. The model and algorithm were implemented in overhaul of EMUs of Information Management System, and it was proved that the model and algorithm could improve the quality and efficiency of making maintenance plan.

Key words: maintenance of EMUs; overhaul; overhaul plan; model

动车组高级修生产组织围绕检修计划进行，其编制质量直接影响动车组高级修检修效率。因此动车组高级修检修计划编制是动车组检修管理信息系统的重要内容。随着投入运营的动车组数量增加，动车组高级修强度日益提高，动车组车型多和各车型检修工序存在差异，当多组不同车型动车组同时进行检修时，动车组高级修检修计划编制变得非常复杂，单纯地依靠调度人员手工编制检修计划无法满足现场生产需求。为此有必要研究动车组高级修检修计划编制模型和算法作为检修计划编制辅助手段，以有效地提高检修计划编制效率和质量。

研究动车组高级修检修计划编制的目标是通过合理分配检修任务的开始时间和完工时间，以实现作业过程及时高效执行。动车组高级修检修计划编制归结起来是在满足工期的前提下得到一

个满意解：各检修任务的开工时间、完工时间及项目总工期。这种问题存在于社会各个领域内，目前，大部分研究是单项目任务问题，很少涉及处理多项目任务作业时间分配。

本文首先对动车组高级修检修计划编制问题进行分析，在此基础上，将部件和检修工序为二元组定义检修任务，在保证所有检修任务均有安排的前提下，以检修任务关系、检修工时要求和检修工序能力限制约束，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。

1 动车组高级修检修计划编制问题

动车组高级修为动车组分解检修，动车组部件先分解为子部件，子部件检修完成后，再进行组装。动车组部件按照规定的检修工序流程进行流水作业，每一类动车组部件均有固定的检修工

收稿日期：2012-11-12

作者简介：陈彦，助理研究员。

序流程，动车组每一个部件的每一道检修工序对应于一个检修任务，动车组部件之间的关系及其检修工序流程构成动车组检修任务关系。

记动车组部件类型集为 P ，动车组 p 部件类型 $p \in P$ ， P 类部件集合为 R_p ，动车组 p 类部件 $r_p \in R_p$ ，动车组 p 类部件检修工序集为 W_p ，动车组 p 类部件检修工序 $w_p \in W_p$ ，则部件 r_p 检修工序 w_p 的检修任务可以定义为二元组 (r_p, W_p) 。

以动车组部件类型 $a, b, c \in P$ 为例， a, b, c 类部件集分别为 R_a, R_b, R_c ，一个 a 类部件 $r_a \in R_a$ ，由一个 b 类部件 $r_b \in R_b$ 和一个 c 类部件 $r_c \in R_c$ 组成。 a 类部件的检修工序集 $W_a = \{w_a^1, K, w_a^i, w_a^{i+1}, K, w_a^l\}$ ，其中，检修工序 w_a^i 将部件 r_a 分解为部件 r_b 和 r_c ，检修工序 w_a^{i+1} 将检修完成的部件 r_b 和 r_c 组装成部件 r_a ，动车组 b 类部件的检修工序集 $W_b = \{w_b^1, w_b^2, K, w_b^n\}$ ，动车组 c 类部件的检修工序集 $W_c = \{w_c^1, w_c^2, K, w_c^n\}$ ，则部件 r_a, r_b, r_c 检修任务关系图，如图 1 所示。

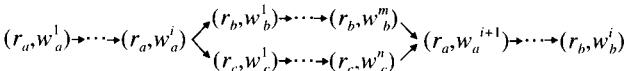


图1 部件检修任务关系

将检修时间划分为时间节，每道检修工序在一个时间节内同时检修的部件数量不能超过检修工序的能力限制，各类部件每道检修工序均有规定的检修时间要求（即规定的时间节数），且检修任务只有前置检修任务完成才可以开始。

在满足上述约束条件的基础上，为了提高动车组检修效率和检修能力，编制动车组高级修检修计划时应以动车组高级修检修所需时间最少为目标。

综合上述，动车组检修计划编制问题可以归结为以满足检修工序能力限制、检修工序检修时间要求和检修任务关系为前提，以动车组高级修检修所需时间最少为目的，为动车组高级修检修任务安排时间。

2 动车组高级修检修计划编制模型

定义以下变量：动车组集为 T ，动车组 $t \in T$ ，检修任务集为 I ，检修任务为 $i \in I$ ，检修工序集为 W ，检修工序为 $w \in W$ ，动车组 t 的检

修任务集 $I_t \subset I$ ，动车组 t 对应检修工序 w 检修任务集 I_{tw} ，检修工序 w 的检修能力为 C_w ，检修工序 w 所需时间节数为 K_w 。 α_{iw} 为 0~1 变量，若检修任务 i 对应的检修工序为 w ，其值为 1，否则为 0； β_{ij} 为 0~1 变量，若检修任务 i 为检修任务 j 的前置任务，其值为 1，否则为 0； x_{in} 为 0~1 变量，若检修任务 i 安排在第 n 个时间节其值为 1，否则为 0； b_t 为动车组 t 检修开始对应的时间节序号， e_t 为动车组 t 检修结束对应的时间节序号， s_i 为检修任务 i 开始对应的时间节序号， d_i 为检修任务 i 结束对应的时间节序号。

以动车组高级修检修所需时间最少为目标，建立动车组检修计划编制模型如下：

$$\min H = \sum_{t \in T} (e_t - b_t) \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i \in I} \alpha_{iw} x_{in} \leq C_w \quad \forall w \in W, n = 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$\beta_{ij} (s_j - d_i) > 0 \quad \forall i, j \in I \quad (3)$$

$$\alpha_{iw} \left(K_w - \sum_n x_{in} \right) = 0 \quad \forall i \in I, w \in W \quad (4)$$

$$\alpha_{iw} x_{in} \left(K_w - \sum_{m=n, n+1, \dots, n+K_w-1} x_{im} \right) = 0 \quad \forall i \in I, w \in W \quad (5)$$

$$d_i = \max \{n | x_{in} = 1, n = 1, 2, \dots\} \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$s_i = \min \{n | x_{in} = 1, n = 1, 2, \dots\} \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$e_t = \max \{d_i | i \in I_t\} \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$x_{in} = 0, 1 \quad \forall i \in I, n = 1, 2, \dots \quad (9)$$

其中，式（2）为检修工序能力限制约束，即检修工序同一时间节内安排的检修任务数不能超过检修工序的能力限制；

式（3）为检修任务关系约束，表示前置任务完成后，后续任务才能开始；

式（4）为检修工序工时约束，表示检修任务需安排规定的时间节数；

式（5）表示检修任务安排的时间节必须连续；

式（6）表示检修任务开始对应的时间节序号；

式（7）表示检修任务结束对应的时间节序号；

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