

文章编号: 2095-4980(2017)02-0292-05

## 动车调车作业优化模型及解算

徐金钰, 吕 闪, 贾苏元, 李 慧

(大连交通大学 电气信息学院, 辽宁 大连 116028)

**摘要:** 随着我国高速铁路的发展, 动车组数量的增多, 检修计划编制工作量将日益繁重。因此, 开展检修调度优化研究十分必要。在优化建模的基础上, 选择了遗传算法进行求解, 经 Matlab 的仿真进行验证分析, 适应度函数在特定点后达到相对稳定状态, 算法在波动一段时间后趋于稳定, 函数得到最优解。

**关键词:** 动车组检修; 优化模型; 遗传算法

中图分类号: TN47

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201702.0292

## EMU shunting operation optimization model and solution

XU Jinyu, LYU Shan, JIA Suyuan, LI hui

(School of Electronics and Information Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian Liaoning 116028, China)

**Abstract:** With the development of high-speed railway in our country, and the increase in the number of Electric Multiple Units(EMU), preparation of plans to overhaul becomes a heavy workload. Therefore, the study of maintenance scheduling optimization is necessary. Based on the optimization modeling, Genetic Algorithm(GA) is adopted to solve this problem. Through the simulation in Matlab, the fitness function can reach a steady state at a specific point; and the fitness function can get the optimal solution.

**Keywords:** Electric Mltiple Units overhaul; optimization model; genetic algorithm

我国秉承自身高速铁路运输特点, 参考德国、日本及法国等高速铁路的运营维修经验, 将中国高速铁路(China Railway High-speed, CRH)系列动车组的检修分为 5 级修程: 1,2 级为运用检修, 运用所内进行; 3 级以上为定期检修, 动车段内进行。

1 级维修——例行检查: 内容包括调整和补充动车组易损耗部件, 通过检测设备和网络技术对动车组状态和性能进行检查; 2 级维修——重点检查: 在一级检修的基础上, 增加一些检修项目并提高检修程度, 通过检测系统对车体设备及位置进行检测; 3 级维修——重要部件分解检修: 在 2 级检修的基础上对转向架及其主要零部件进行分解检修, 并对更换下来的关键部件进行分解、清洗和专项检修; 4 级维修——系统全面分解检修: 对动车组各主系统进行分解检修、特性试验, 包括驱动系统、走行装置、制动系统和电气设备等。对其进行解体后进行全面仔细检修, 并进行车体的涂漆; 5 级检修——整车全面分解检修: 大范围地对全车进行分解检修和更新零部件, 以及进行车体的涂漆<sup>[1-2]</sup>。

动车运用所调车作业计划是运用所组织动车组运用和检修工作的关键。作业计划可归纳为: 给定动车组集合, 每列动车组安排有一个作业集合, 该集合包括运用计划规定的进入和离开运用所作业和检修计划规定的若干项检修作业, 日常检修作业有持续时间和顺序要求, 作业可以在具备条件的线区中任何一条股道上实施, 动车组转线盒停留过程中必须满足股道之间的连通关系和时空占用相容性条件<sup>[3]</sup>。

### 1 运用所线区布局及作用

图 1 以典型运用所的各个线区布局为例。运用所一般包括多个功能线区, 每个线区包括若干条股道, 不同线区可以承担不同的运用、检修作业任务, 其中  $a_1$  为轮对镟修线, 用来完成动车组轮对镟修作业;  $b_1$  为临修作业线, 用来处理动车组临时故障;  $r_1 \sim r_4$  为检修作业线区, 主要功能为 1 级检修(有电检查, 无电检修), 2 级检修的大部分作业包检修;  $c_1 \sim c_8$  为吸污作业线区, 主要完成动车组的吸污作业;  $g_1 \sim g_2$  为洗车线区, 主要完成动车组的

清洗作业;  $s_1 \sim s_{10}$  为存车线区, 主要完成动车组在运用所内部中转、停留、整备作业;  $e_1$  为运用所进出线。

实践中通常采用人工调度方式, 在运用所股道布局 and 检修资源固定的前提下, 随着动车组数量的增加, 调车作业过程日益复杂化, 人工调度方式难以满足业务要求, 因此, 优化方法的研究对于提高调度效率, 合理安排动车组在运用所内部调转, 优化运用所的检修作业过程有着重要作用<sup>[4]</sup>。

## 2 优化模型

调车作业计划涵盖了动车组的进所、检修、存车和出所的全过程, 是将动车组的检修任务和运用所的检修资源组织起来的关键。对其建模, 使其优化安排作业是极为必要的。

### 2.1 模型介绍

这里以尽量减少检修主要线区时间和调车成本为目标, 在默认条件及常规安全操作条件成立的前提下, 提出如下运用所调车作业优化模型:

$$\text{Min } Z = m_1 T + m_2 F \quad (1)$$

$$T = \sum_{e \in E} \sum_{d \in D_e^c} \sum_{l \in L_d} x_{\text{del}}^e (t_{\text{edl}}^e - t_{\text{edl}}^s) \quad (2)$$

$$F = \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} \sum_{l \in L_d} \sum_{h \in L_{d+1}} \sum_{k \in W(d, (d+1)h)} y_{\text{edlh}}^k f_{d, (d+1)h}^k \quad (3)$$

$$m_1 + m_2 = 1 \quad (4)$$

式中:  $m_1, m_2$  分别表示  $T$  和  $F$  的权重值, 具体根据实际情况而定;  $T$  表示主要线区的占用时间, 单位: min;  $F$  表示调车作业所选择路径的成本。运用所线区集合为  $D$ , 线区数目为  $N_D$ , 关键检修线区的集合为  $D^c$ , 线区  $d$  的股道集合为  $L_d$ , 股道数目  $N_d$ , 运用和日常检修计划中全部作业集合为  $R$ , 动车组集合为  $E$ , 动车组数目为  $N_E$ ,  $x_{\text{edl}}$  为 0~1 变量, 表示动车组  $e$  在线区  $d$  的股道  $l$  上停留, 当动车组  $e$  在线区  $d$  的股道  $l$  上停留并实施相关运用或检修作业时为 1, 否则为 0。  $y_{\text{edlh}}^k$  为 0~1 变量, 表示动车组调车过程中的路径选择情况, 当动车组  $e$  按照其调转线区作业列表  $D_e$  中的线区次序, 从线区  $d$  的股道  $l$  上转线到线区  $d+1$  的股道  $h$  上, 选择  $W(d, (d+1)h)$  中的第  $k$  条调车路径时,  $y_{\text{edlh}}^k$  为 1, 否则为 0。  $Z_{\text{dlec}}$  为 0~1 变量, 表示线区  $d$  的股道  $l$  的占用次序情况, 当动车组  $e$  先于动车组  $c$  占用线区  $d$  的股道  $l$  时,  $Z_{\text{dlec}}$  为 1, 否则为 0。  $t_{\text{enel}}^e$  表示动车组  $e$  进入线区  $d$  的股道  $l$  的时间,  $t_{\text{enel}}^e$  表示动车组  $e$  离开线区  $d$  的股道  $l$  的时间<sup>[5-6]</sup>。

### 2.2 模型默认初始条件

1) 完成运用和检修作业约束: 如果动车组需要在某线区进行运用或检修作业, 指定车辆须在规定的线区选择一条股道进行停留, 完成计划作业:

$$\sum_{l \in L_d} x_{\text{del}}^e = \begin{cases} 1, & \forall e \in E, d \in D_e \\ 0, & \forall e \in E, d \notin D_e \end{cases} \quad (5)$$

2) 调车路径选择唯一性约束: 动车组在两线区之间转线时只能选一条通路:

$$\sum_{h \in L_{d+1}} \sum_{k \in W(d, (d+1)h)} y_{\text{edlh}}^k = \begin{cases} 1, & \forall e \in E, d \in D_e^c, l \in L_d \\ 0, & \forall e \in E, d \notin D_e^c, l \in L_d \end{cases} \quad (6)$$

3) 检修作业停留时间约束: 待检列车在指定轨道检修操作时, 需要一定时间保证任务完成:

$$x_{eN_{e1}} = 1, t_{\text{enel}}^e \leq T_e^e \forall e \in E, d = N_e \quad (7)$$

4) 动车组进所时间约束: 列车必须在检修计划规定的时间内完成检修任务:

$$x_{e1} = 1, t_{e1}^s = T_e^s \quad \forall e \in E, d = 1 \quad (8)$$

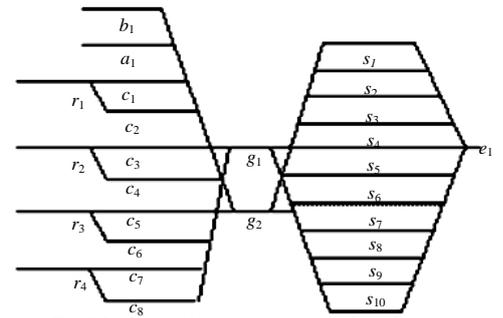


Fig.1 Layout of line area for typical track train  
图 1 典型动车运用所线区股道布局图

5) 股道时空占用相容性约束：每一个股道被占用在时空上不能冲突

$$t_{edl}^e \leq t_{edl}^s + L(1 - z_{dlec}) \quad \forall e \in E, d \in D, l \in L_d \quad (9)$$

$$2z_{elec} \leq x_{edl} + x_{cdl} \quad \forall e \in E, d \in D, l \in L_d \quad (10)$$

### 3 模型求解

#### 3.1 遗传算法

使用遗传算法对优化模型进行求解(见图 2)，遗传算法是一种非数值求解的算法，用于解决调度最优化的求解问题。在概率论的基础上，搜索解空间，最终求得问题的最优结果。遗传算法主要由编码、种群、适应度函数、遗传操作、算法终止条件等 5 个部分组成。本文对模型求解进行以下设置：

1) 编码设计：将每道检修工序选择不同编号的股道，使用不同的检修工序在不同股道间调车路径最科学。将指定数量动车组的 6 道检修工序转成符合遗传规律的按一定结构组成的染色体；

2) 初始种群：结合运用所实际情况，将初始种群选 100；

3) 适应度函数：根据优化模型由目标函数  $f(x) = \frac{1}{g(x)}$  得到  $f(x) = \frac{1}{\min T_i}$ ， $i=1,2,3,\dots,n$ 。  $T_i$  表示进行第  $i$  道检修工序的最小检修时间；

4) 选择算子：设群体大小为  $N_i$ ，个体  $i$  的适应度为  $f_i$ ，则个体  $i$  被选中的概率为；  $P_i = f_i / \sum_{i=1}^N f_i$ ；

5) 遗传操作：本算法使用单点交叉，交叉操作是获得优良个体的主要方法，随机在父个体中选择一个点进行交叉，这种方法最易于运算。

选取 2 个父代染色体 X1:1 2 4 3 5 6, X2:1 2 3 5 6 7。

2 个染色体都有 6 个基因，随机设置第 3 位为交叉位置，交叉生成的新个体为：Y1:1 2 3 3 5 6, Y2:1 2 4 5 6 7。

将生成的新个体放入下一代，判断下一代的规模是否达到初始群体的规模，如果规模达不到，则重复以上交叉操作，直至规模符合要求，终止交叉操作。一般都通过相关数据和实验得出交叉概率  $P_c$ ；

1) 变异：随机选取变异位置，2 位置中间基因串进行逆转，得到新的染色体。一般变异概率可经由实验得到，设置为参数。

采用逆转变异，选取一个父代染色体 1 2 3 5 6 4 7 9 8，随机选取变异位置第 3 位和第 8 位 1 2 3 5 6 4 7 9 8，将这 2 位中间的基因串进行逆转，得到新的染色体 1 2 3 7 4 6 5 9 8。

2) 算法终止条件：给定一个最大遗传代数，当迭代代数达到最大遗传代数时停止运算<sup>[7-8]</sup>。

#### 3.2 算法求解

求解步骤：

- 1) 捕获动车组参数信息，分析动车组运用状态，制定合理检修计划；
- 2) 对算法相关参数进行设置；
- 3) 按预先设定的编码方式将实际问题转换成遗传算法能求解的方式，生成初始群体；
- 4) 设计适应度函数，通过选择、交叉和变异过程选取适应度高的个体遗传到下一代；

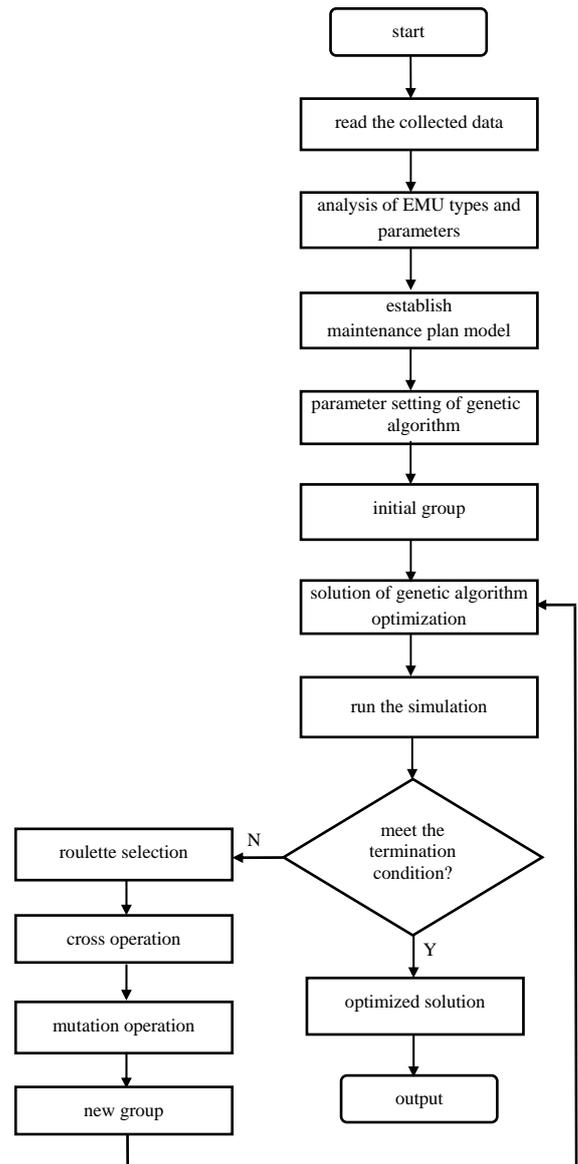


Fig.2 Flow chart of genetic algorithm solution  
图 2 遗传算法求解流程图

- 5) 求解最优解至达到遗传终止条件;
- 6) 输出最优结果并进行分析。

#### 4 算例及结果

以某动车运用所为例, 以待检动车组 CRH-A, CRH-B, CRH-C 3 种动车作为检修实例, 并默认以下相关数据对模型解算:

##### 1) 检修作业计划表(见表 1)

表 1 检修作业计划表  
Table1 Maintenance schedule

EMU number	maintenance procedure	maintenance operation	overhaul time/h	shunting cost
CRH-A	1	car washing	0.5	1
	2	suction	1.0	1
	3	bogie frame	8.0	3
	4	wheel	15.0	10
	5	pantograph slide	10.0	20
	6	pantograph frame	7.0	7
CRH-B	1	car washing	1.0	1
	2	suction	1.0	1
	3	bogie frame	6.0	2
	4	wheel	12.0	8
	5	pantograph slide	6.0	10
	6	pantograph frame	7.0	9
CRH-C	1	car washing	1.5	3
	2	suction	2.0	2
	3	bogie frame	10.0	10
	4	wheel	20.0	20
	5	pantograph slide	12.0	8
	6	pantograph frame	8.0	9

##### 2) 遗传参数设置(见表 2)

表 3 所示为设置不同  $m_1, m_2$  时, CRH-A, CRH-B, CRH-C 3 辆车分别占用时间和调用成本, 根据实际情况, 加以调整。

选取研究对象, 根据检修计划编码  $3 \times 6 = 18$  bit, 随机选取 3 辆车的父代染色体(1 2 1 3 1 2, 1 2 2 1 3 1, 3 1 2 4 1 2), 染色体中 3 表示动车组 B 在执行第 5 道检修工序时选取其检修线区的股道 3 进行作业。

经过编程, 实现选择、交叉、变异和筛选, 由图 4 可以看出, 当迭代次数达到 42 时得到一组最优解(1 2 1 2 2 1, 3 2 1 3 2 2, 1 1 2 3 2 3), 对应于前面股道连通关系和调车成本费用的计算方法及相关参数, 求出其检修耗时和调车成本。通过计算得到 3 辆动车组耗时 36 h, 31 h, 48 h, 调车成本为 38, 30, 50。每道工序在相应股道进行作业时的适应度函数如图 3 所示。选取不同迭代次数对算法进行 Matlab 仿真, 算法收敛图如图 4 所示。由此可以看出遗传算法实现了检修时间和成本的压缩, 达到了优化的目的。

表 2 遗传参数设定  
Table2 Genetic parameter setting

initial population	iteration number	crossover probability	mutation probability
50	100	0.9	0.05

表 3 参数对不同动车组检修结果影响  
Table3 Influence of parameters on the maintenance ults of different motor train sets

$m_1$	$m_2$	$Z_A$	$Z_B$	$Z_C$
0.1	0.9	37.8	30.1	49.5
0.4	0.6	37.2	30.4	49.2
0.6	0.4	36.8	30.6	48.8
0.8	0.2	36.4	30.8	48.4

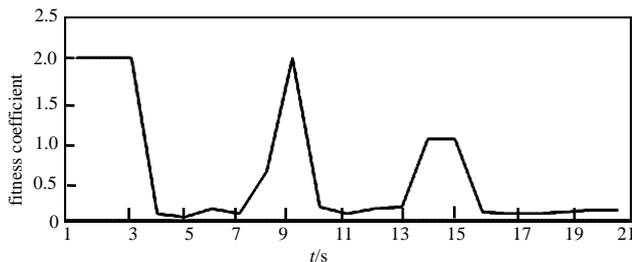


Fig.3 Fitness function  
图 3 适应度函数

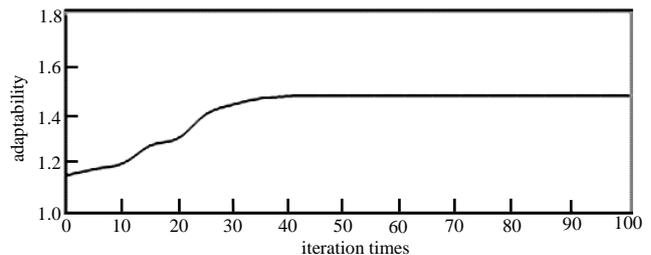


Fig.4 Algorithm convergence  
图 4 算法收敛图

## 5 结论

由此可以看出, 适应度函数在经历几次波动后趋于稳定, 且从图 4 中可以看出, 遗传算法在研究动车调车作业时, 在开始计算时出现波动, 但在 30 之前出现了相对优解, 在迭代次数达到 42 时得到最优解。在实际应用中遗传算法其通信复杂度不高, 搭建环境简单, 算法求解效率较高, 适用于动车调车实际应用。

### 参考文献:

- [1] 王忠凯, 史天运, 张惟皎, 等. 动车运用所调车作业计划优化编制模型与算法[J]. 铁道学报, 2013, 35(8):1-9. (WANG Zhongkai, SHI Tianyun, ZHANG Weijiao, et al. Use the motor car shunting operation plan optimization programming model and algorithm[J]. Journal of the China Railway Society, 2013, 35(8):1-9.)
- [2] 张峰, 胡纪清. 动车组调度指挥工作的现状及对策研究[J]. 铁道运输与经济, 2010, 32(4):41-44. (ZHANG Feng, HU Jiqing. Research on current situation and countermeasures of dispatching and commanding of EMU[J]. Railway Transport and Economy, 2010, 32(4):41-44.)
- [3] 李波. 动车所一、二级检修作业能力优化[J]. 中国铁路, 2009(12):28-30. (LI Bo. Optimization of the one-and two-level maintenance capacity of EMU Institute[J]. China Railway, 2009(12):28-30.)
- [4] 曾向阳. 客运专线动车组运用计划优选及运用修优化研究[D]. 成都:西南交通大学, 2011. (ZENG Xiangyang. Passenger dedicated line EMU operation plan optimization and maintenance optimization study[D]. Chengdu, China: Southwest Jiaotong University, 2011.)
- [5] 高飞, 闫连勇, 龚向东. 北京动车检修基地调度指挥体系研究[J]. 铁道运输与经济, 2012, 34(7):83-87. (GAO Fei, YAN Lianyong, GONG Xiangdong. Study on scheduling command system of Beijing EMU maintenance base[J]. Railway Transport and Economy, 2012, 34(7):83-87.)
- [6] 黄志彤. 动车组运用及检修机构布局与规模确定的研究[D]. 成都:西南交通大学, 2009. (HUANG Zhitong. Research on the layout and scaling of the operation and maintenance of the EMU[D]. Chengdu China: Southwest Jiao Tong University, 2009.)
- [7] 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]. 铁道学报, 2011, 33(1):8-12. (SHI Feng, ZHOU Wenliang, YU Yuwei. The optimization model and algorithm for the application of the plan optimization model and algorithm of passenger dedicated railway line[J]. Journal of the China Railway Society, 2011, 33(1):8-12.)
- [8] 韩志甲, 邓海峡, 李晓平. 基于遗传算法的排产优化方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(4):595-599. (HAN Zhijia, DENG Haixia, LI Xiaoping. Optimization method of production scheduling based on genetic algorithm[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014, 12(4):595-599.)

### 作者简介:



徐金钰(1990-), 女, 辽宁省锦州市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为智能交通工程及其控制. email: 279235526@qq.com.