

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.04.002

车辆装备维修工艺调度计划的优化模型

程军伟, 王超, 刘旭刚, 张国彬
(军事交通学院 汽车工程系, 天津 300161)

摘要: 为增强车辆装备维修工艺调度计划的有效性和缩短维修时间, 依据车辆装备维修工艺实际过程和资源约束限制, 构建了车辆装备维修工艺调度计划的优化模型。以某车辆装备的维修过程为例, 进行仿真。仿真实例计算结果表明: 车辆装备维修工艺调度计划优化后的总工时数较优化前减少了 51.4%, 初步验证了优化模型的适用性。

关键词: 车辆装备; 维修工艺; 调度; 优化

中图分类号: U472.4; N945.12 **文献标志码:** A

Optimizing Model of Maintenance Craft Procedure Scheduling for Vehicle Equipment

Cheng Junwei, Wang Chao, Liu Xugang, Zhang Guobin
(Dept. of Automobile Engineering, Academy of Military Transportation, Tianjin 300161, China)

Abstract: To increase the validity of scheduling of maintenance craft and shorten maintenance time, an optimizing model of scheduling of maintenance craft was formulated based on actual maintenance procedure and restriction of resource for vehicle equipment. A certain type vehicle was used to simulate its process of maintenance. The simulation results show that work time after optimizing scheduling of maintenance craft procedure declines by 51.4 percent compared with that before. Then the optimization model is verified.

Keywords: vehicle equipment; maintenance craft; scheduling; optimization

0 引言

维修调度计划制定受到维修组织方式、维修资源配置与调度等多种因素的制约。科学合理制定车辆装备维修调度计划是保证车辆装备维修质量及效益的重要条件, 是“精细管理、精确保障”的基本要求。文献[1]提出了考虑潜在维修资源需求及协同保障条件的装备维修保障资源配置的优化方案, 文献[2-4]依据战时装备维修保障资源调度体系构建了多维修点资源优化调度模型, 实现了战时装备维修资源的优化配置与调度。在维修资源优化配置与调度的基础上, 尚需进一步研究装备维修工艺过程的优化方法, 从而实现所配置维修资源的高效利用。文献[5]构建了柔性作业车间调度问题的多目标数学优化模型, 为车辆装备维修工艺流程优化调度提供了参考。

针对部队部分车辆装备维修工艺不够优化、维修资源利用效率不高等问题, 依据军用车辆装备维修的实际要求, 探讨军用车辆装备维修工艺过程的优化方法, 以实现在现有维修资源约束的条件下车辆装备维修工时最短的目标。

1 维修工艺调度计划优化的数学模型

1.1 问题描述

为便于维修作业组织及各类维修资源的调用, 车辆装备大修作业时通常将整车划分为发动机离合器、变速器(含分动器)附传动轴总成、前桥总成、后桥总成、制动系、车架总成、车身总成、全车电器(含空调)、车轮及轮胎等总成。对任一总成, 其维修工艺主要包括拆卸与分解、清洗与检验、修复与更换、装配与调整、试验等。车辆装备各总成的维修过程通常遵循上述各维修工艺间的先后次序。

综合考虑部队车辆装备修理机构类别、维修资源的数量及质量、维修任务、修理作业组织方式等多种因素影响, 在不增加现有各类维修资源条件下, 优化车辆装备维修工艺调度计划可以充分挖掘现有人力、物力的潜能、保证维修任务的完成。

在维修过程中, 由于受到维修资源和维修作业方式限制, 任一维修工艺阶段仅允许针对一个总成进行操作。

收稿日期: 2010-11-25; 修回日期: 2011-01-30

基金项目: 军事交通学院科研基金资助(2009A7)

作者简介: 程军伟(1979—), 男, 河南人, 博士, 讲师, 从事车辆动力学、维修性建模研究。

假定某车辆装备待维修的总成数共有 n 个，其中第 $j(j=1,2,\dots,n)$ 个总成记为 B_j ，各总成共需经过 m 项维修工艺，记第 $i(i=1,2,\dots,m)$ 项维修工艺为 A_i 。依据上述描述构建车辆装备维修工艺调度计划的优化模型。

1.2 仿真模型

$$\min T \tag{1}$$

$$s.t. \tag{2}$$

$$T \geq x_{mj} + t_{mj}, j=1,2,\dots,n \tag{3}$$

$$x_{ij} \geq x_{i-1,j} + t_{i-1,j}, j=1,2,\dots,n, i=2,3,\dots,m \tag{4}$$

$$x_{ij} + t_{ij} - x_{ik} \leq U_{ijk} \cdot y_{ijk}, j,k=1,2,\dots,n, j \neq k, i=1,2,\dots,m \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1, k \neq j}^n y_{ijk} = m \cdot n \cdot (n-1)/2 \tag{6}$$

$$x_{ij} \geq 0, y_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1, j,k=1,2,\dots,n, j \neq k, i=1,2,\dots,m \tag{7}$$

优化目标函数的确定，以时刻 0 为计时开始时间，式 (1) 中， T 为全部总成遍历所有维修工艺阶段需用工时，也即完成所有维修任务需用的总时间。记 x_{ij} 为第 j 总成 B_j 开始进入第 i 项维修工艺 A_i 的时刻， t_{ij} 为第 j 总成 B_j 处于第 i 项维修工艺阶段 A_i 所持续的工时，任一总成经历任一维修工艺阶段的工时 t_{ij} 为已知。完成所有维修任务所需工时 T 也可由维修工艺调度计划中拟安排的最后一总成完成第 m 项维修工艺阶段任务的结束工时来表示，因此，完成维修任务所需的总工时 T 最小的这一目标函数可表达为 $\min \{ \max [x_{m1} + t_{m1}, x_{m2} + t_{m2}, \dots, x_{mn} + t_{mn}] \}$ ，该式又可转化为式 (2) 的约束，该约束条件共有 n 个。

1) 各总成维修工艺次序的约束。式 (3) 给出了车辆装备维修工艺先后次序的约束条件。对于任一总成 B_j ，首先应经过第 $i-1$ 项维修工艺过程，之后方可进入第 i 项维修工艺过程。因此，总成 B_j 开始进入第 i 项维修工艺的开工时 x_{ij} 应满足式 (3) 的约束，该约束条件共有 $n(m-1)$ 个。

2) 各维修工艺阶段待维修总成数的约束。式 (4) 表达的是任一维修工艺阶段 A_i 仅允许对一个总成进行操作的约束关系。为避免不同总成 B_j 、 B_k 同时处于同一维修工艺阶段 A_i ，应满足 $x_{ij} + t_{ij} \leq x_{ik}$ 或 $x_{ik} + t_{ik} \leq x_{ij}$ ， $j,k=1,2,\dots,n, j \neq k, \forall i$ 。此类选择性不

等式可通过引入 $0 \sim 1$ 变量 y_{ijk} 来转化为约束的标准形式 $x_{ij} + t_{ij} - x_{ik} \leq U_{ijk} y_{ijk}$ ， U_{ijk} 为不等式 $x_{ij} + t_{ij} - x_{ik} \leq U_{ijk}$ 恒成立时的任意给定数， y_{ijk} 为 $0 \sim 1$ 整数变量，当 $y_{ijk} = 0$ 时约束条件 $x_{ij} + t_{ij} \leq x_{ik}$ 有效。式 (4) 所表达的选择性不等式约束共有 $m \cdot n \cdot (n-1)$ 个。

式 (5) 表明由式 (4) 所表示的 $m \cdot n \cdot (n-1)$ 个选择性不等式约束中，应有 $m \cdot n \cdot (n-1)/2$ 成立。

3) 变量取值的约束。式 (6) 表明第 j 总成第 i 个维修工艺开工时 x_{ij} 应满足非负约束条件，辅助变量 y_{ijk} 为 $0 \sim 1$ 整数变量。

该模型为混合型整数规划模型，当变量 n 、 m 较大时，应采用启发式算法进行求解。

2 仿真实例

以某车辆装备的维修过程为例，该车待维修的总成数 $n=6$ ，每一总成 B_j 均需经过拆卸与分解、清洗与检验、修复与更换、装配与调整、试验共 $m=5$ 项维修工艺，每一总成在任一维修工艺阶段 A_i 的工时定额见表 1。

表 1 各总成维修工艺阶段工时定额 h

工艺	总成					
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
A ₁	65	23	20	26	5	17
A ₂	55	20	10	20	8	23
A ₃	65	30	15	25	4	15
A ₄	85	10	35	40	22	18
A ₅	50	7	20	16	13	30

由表 1 数据并依据式 (1)~式 (6) 由 lingo 软件计算得到该车维修工艺调度计划的优化方案。在满足式 (2)~式 (6) 约束条件下的 6 个车辆总成的维修工艺过程为：

- 工艺 A₁: B₆-B₃-B₅-B₁-B₄-B₂;
- 工艺 A₂: B₃-B₅-B₆-B₁-B₂-B₄;
- 工艺 A₃: B₅-B₆-B₃-B₁-B₂-B₄;
- 工艺 A₄: B₅-B₆-B₃-B₁-B₂-B₄;
- 工艺 A₅: B₃-B₅-B₆-B₁-B₂-B₄。

计算结果表明，完成 6 个车辆总成维修任务的最短工时为 385 h，而原规定的维修工时定额为 792 h。同原规定的工时定额相比，优化后工时数减少了 51.4%。由此可见，对车辆装备维修工艺过程进行优化具有明显的军事经济效益。

3 结束语

该模型考虑了各维修工艺间先后次序及任一维修工艺阶段的资源约束等条件,对车辆装备维修调度计划的科学制定、车辆装备维修信息化建设等具有积极意义。

参考文献:

- [1] 曹继平, 宋建社, 王正元, 等. 战时装备维修保障资源优化调度方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(6): 915-919.

(上接第4页)

表1中分析了各种类型OSV的特点和适用情况。OSV的分类并无明显界限,随着科技的发展,具备多种类型优点的综合型OSV也将成为在轨服务系统的发展选择。

5 结束语

该研究可为飞行器的总体设计理顺思路,提供支持。在后续工作中,可根据笔者提出的思路和分类方法,对OSV的功能实现、关键技术以及服务策略进行深入研究。

参考文献:

- [1] 李岩, 程龙. 构建空间在轨维护与服务系统的初步设想[J]. 导弹与航天运载技术, 2008, 29(7): 31-34.
- [2] 胡鹏翔, 郑钢铁, 等. 在轨服务技术的发展概论[C]//863-7领域空间在轨服务技术研讨会文集. 北京: 国家高技术863-7领域办公室, 2007: 9-16.
- [3] 刘永健, 谭春林, 等. 在轨服务体系研究[C]//863-7领域空间在轨服务技术研讨会文集. 北京: 国家高技术863-7领域办公室, 2007: 1-8.
- [4] 陈小前, 袁建平, 等. 航天器在轨服务技术[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2009: 115.
- [5] 崔乃刚. 空间自主在轨服务飞行器自主规划与运行管理系统研究[C]//863-7领域空间在轨服务技术研讨会文集. 北京: 国家高技术863-7领域办公室, 2007: 186-192.
- [6] 肖刚. 基于多平台多源信息时空配准的空间目标形态测量与融合识别研究[C]//863-7领域空间在轨服务技术研讨会文集. 北京: 国家高技术863-7领域办公室, 2007: 372-381.
- [7] 李元祥. 空间非合作目标探测、跟踪与识别技术[C]//863-7领域空间在轨服务技术研讨会文集. 北京: 国家高技术863-7领域办公室, 2007: 382-389.
- [8] 孙富春. 天基空间目标监视与识别发展现状及趋势

- [2] 曹继平, 宋建社, 郭军, 等. 一种战时装备维修保障资源优化调度算法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(15): 3390-3394.
- [3] 曲长征, 吴向东, 陈乐, 等. 维修机构性能评价参数体系[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(1): 4-5.
- [4] 朱昱, 宋建社, 王正元. 一种基于最大保障时间的战时装备维修任务调度[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(11): 1900-1903.
- [5] 舒华, 裴庆银, 陈适, 等. 战时车辆维修资源优化调度研究[J]. 军事交通学院学报, 2009, 11(2): 26-29.
- [6] 程翔宇. 基于遗传算法的多目标动态作业车间调度及应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.
- [C]//863-7领域空间在轨服务技术研讨会文集. 北京: 国家高技术863-7领域办公室, 2007: 398-405.
- [9] 宋爱国. 遥操作在轨维护卫星机器人[C]//863-7领域空间在轨服务技术研讨会文集. 北京: 国家高技术863-7领域办公室, 2007: 67-71.
- [10] 庞学亮, 王清. 高速飞行器背景磁场模型分析与改进[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(5): 22-24.
- [11] Jean-Claude Piedboeuf. On-orbit Servicing in Canada: Advanced Developments and Demonstrations[R]. Canada: Canadian Space Agency, 2004.
- [12] W.De Peuter, G.Visentin, W.Fehse & A.Elfving. Satellite Servicing in GEO by Robotic Service Vehicle[EB]. Satellite Servicing.
- [13] Donald M. Waltz. On-Orbit Servicing of Space Systems[M]. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1993.
- [14] Shane Stamm, Pejmun Motaghedi. Orbital Express Capture System: concept to reality[J]. Proc. Of SPIE, 2004, 5419: 78-91.
- [15] Pejmun Motaghedi, Shane Stamm. 6 DOF Testing of the Orbital Express Capture System[J]. Proc. Of SPIE, 2005, 5799: 66-81.
- [16] Xavier Cyril, Gilbert Jaar, Jean St-Pierre. Advanced Space Robotics Simulation For Training And Operations[J]. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 2000-2004.
- [17] Bernd Sommer. Automation & Robotics (A&R) within the German Space Program[R]. Germany: German Aerospace Centre (DLR), 2003.
- [18] Dennis Ray Wingo. Orbital Recovery's Responsive Commercial Space Tug For Life Extension Missions[C]. California: Space 2004 Conference and Exhibit, San Diego, 2004: 2004-2008.
- [19] Ralf Dittmann, Bernd Sommer. On-Orbit-Servicing Activities Within the German Space Agency[C]. Germany: General Technologies and Robotics German Aerospace Center, 2004.
- [20] Andrew Long and Daniel Hastings. Catching the Wave: A Unique Opportunity for the Development of an On-Orbit Satellite Servicing Infrastructure[J]. In: Space 2004 Conference and Exhibit, San Diego, California, 2004: 2008-2020.