

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.09.015

基于网络计划技术的舰载机航空导弹转运流程

马登武¹, 郭小威², 吕晓峰¹

- (1. 海军航空工程学院 兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001;
2. 海军航空工程学院 研究生管理大队, 山东 烟台 264001)

摘要: 为提高航空导弹保障效率, 对航空导弹转运流程进行分析。首先, 分解出组成工序及其相互关系, 并用单一时间估计法确定各工序持续时间。然后, 根据逻辑关系绘制网络图, 计算节点和活动的参数。最后, 采用关键路线法对关键工序进行优化, 调整关键路线进而缩短转运时间。该方法能有效提高保障效率。

关键词: 舰载机; 航空导弹; 保障; 网络计划技术; 关键路线

中图分类号: O221 **文献标识码:** A

Airborne Missile Transport Process of Carrier-Based Aircraft Based on Network Planning Techniques

Ma Dengwu¹, Guo Xiaowei², Lu Xiaofeng¹

- (1. Dept. of Ordnance Science & Technology, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of airborne missile support, transport process is analyzed. Firstly, unitized procedures and their relations are disassembled, and duration of each procedure is got with the method of ration. Afterward, the network chart is established with logic, and time parameters of nodes and activities are calculated. Finally, critical activities are optimized with the critical path method, and the transport duration is reduced by adjusting the critical path. This method can improve support efficiency effectively.

Keywords: carrier-based aircraft; airborne missile; support; network planning techniques; critical path

0 引言

舰载机是舰艇编队的主要作战单元, 航空导弹又是舰载机的主要战斗武器, 航空导弹保障是舰载机机务保障的重要组成部分, 快速安全的导弹保障可有效缩短舰载机机务准备时间。

网络计划技术诞生于 20 世纪 50 年代的美国, 主要用于工程规划、计划和对其实实施控制, 在缩短建设周期、提高工效、降低造价以及提高管理水平方面取得了显著的效果, 经过数十年的发展, 其应用范围已经由最初的武器研制和工程建设扩展到诸多管理领域。国外多年实践证明, 应用网络计划技术组织与管理生产, 一般能够缩短工期 20% 左右, 降低成本 10% 左右^[1]。由于舰载机航空导弹保障流程的复杂性, 故引入网络计划技术, 对其舰载机航空导弹保障流程进行优化, 以提高保障效率。

1 航空导弹转运流程分析

舰载机航空导弹补给、贮存、转运流程复杂, 保障设施设备多, 人员专业配置详细^[2]。为简便起

见, 着重研究舰载机航空导弹保障的转运阶段。

1.1 转运流程的分析方法

网络计划技术方法包括关键路线法 (CPM)、计划评审技术 (PERT)、决策关键路线法 (DCPM) 和图示评审技术 (GERT) 等^[3]。网络图是网络计划技术的研究基础, 其基本思想是: 首先应用网络计划图来表示工程项目中计划要完成的各项工作, 完成各项工作必然存在先后顺序及其相互依赖的逻辑关系; 然后将这些关系用节点、箭线来构成网络图。根据其表示方法的不同, 网络图可分为双代号和单代号 2 种。

运用关键路线法, 其双代号网络图又称箭线式网络图, 它用箭线表示工作 (活动、工序或作业) 以及工作之间的相互关系, 必要时引入虚工作 (不消耗资源和时间)。网络计划技术的编制和执行过程可按照图 1 的流程图进行^[4]。

1.2 工作时间的确定

根据工程网络计划技术的分析步骤, 对舰载机航空导弹转运流程进行研究。将航空导弹转运过程

收稿日期: 2010-03-16; 修回日期: 2010-05-12

作者简介: 马登武 (1964-), 男, 山东人, 博士后, 教授, 从事航空武器系统运用工程和航空军械保障工程研究。

分解成为各个具体的工作(工序), 并列全部工作的活动明细表, 如表 1。

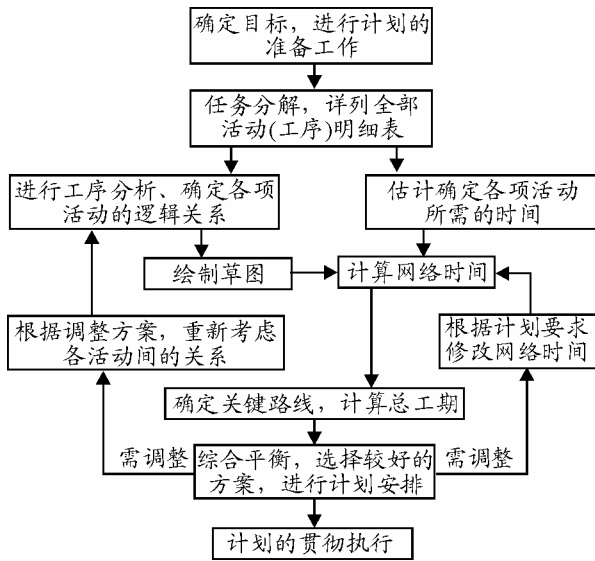


图 1 网络计划技术的编制和执行流程图

表 1 航空导弹转运工作明细表

工作代号	工作名称	紧前工作	持续时间
A	准备工作一	—	1
B	准备工作二	A	2.4
C	准备运输设备和工具	—	1.7
D	设备启用	C	1.2
E	转换工具	B、D	1.5
F	准备运输工具	—	0.7
G	运输工具到位	F	1
H	调运工具准备	G	1.3
I	运输工具定位	E、H	0.8
J	路线准备	G	1.2
K	人员调整	B、D	1.5
L	阶段转运	I、J	1.3
M	调整方位	I、J	1
N	路线调整	M	1.2
O	预设置路线	K	1.2
P	阶段转运	O、L、N	1
Q	准备转换工具	K	1.8
R	预设置路线	N	1.2
S	阶段转运	P、Q、R	0.8
T	协调接收工作	R	1.3
U	接收	S、T	1

需要说明的是, 尽管有些工序在逻辑上并不存在紧前紧后的关系, 但是由于操作人员数量的限制, 这些工作不可能同时进行, 即时间上存在先后顺序, 也就形成了实际操作过程中的紧前紧后关系。例如, 虽然“准备工作丙”并不是“吊装工作丁”的紧前

工作, 但由于这两项工作的操作员相同, 不可同时进行, 因而也就形成了 C→D 的关系。

在关键路线法中, 活动的持续时间(以准备工作甲为基准)是采用了单一时间估计法, 将完成该活动的最大可能时间作为活动的持续时间, 常用 D (Duration) 表示, 即 D_{i-j} 。估计活动的持续时间应考虑到该活动的工作量、完成该活动的人力、物力及其效率、工作条件等, 有些还要考虑正常的间歇时间和必要的自然过程。

单一时间估计法可分为类比法、公式计算法和定额法 3 种。

1.2.1 类比法

类比法就是召集有关人员, 参照过去所积累的资料, 将要进行的工程与已经完成的相似工程对比分析, 或将要完成的活动与类似活动进行对比分析, 经商议、分析和估计, 确定出各个活动的持续时间。

1.2.2 公式计算法

当占有比较详细的定额资料和活动能力资料时, 可采用下列公式计算活动的持续时间。

当活动为手工进行的活动时, 其持续时间为:

$$D = \frac{Q}{8n \cdot l \cdot \eta} + \frac{\Delta t}{8n} \quad (1)$$

当活动为机械进行的活动时, 其持续时间为:

$$D = \frac{M}{m \cdot n \cdot \eta} + \frac{\Delta t}{8n} \quad (2)$$

式中, Q 为手工完成的工作量; M 为机械完成活动的工作量(台·班); l 为工作人数; n 为工作班次; m 为使用的机器台数; η 为效率系数; Δt 为工作的正常中断时间和适当的保险时间。

1.2.3 定额法

定额法以定额资料为基础, 计算公式为:

$$\text{活动时间} = \text{定额时间} \times (1 \pm \text{调整系数}) \quad (3)$$

式中, 调整系数是考虑工作的技术复杂程度和技术条件的变化而给出的系数。

确定工作时间时, 根据工作性质特点将类比法、公式计算法和定额法结合使用。各工作持续时间如表 1。

1.3 网络图的绘制

根据所列活动明细表中各工作的持续时间和相互关系, 绘制网络图, 如图 2。

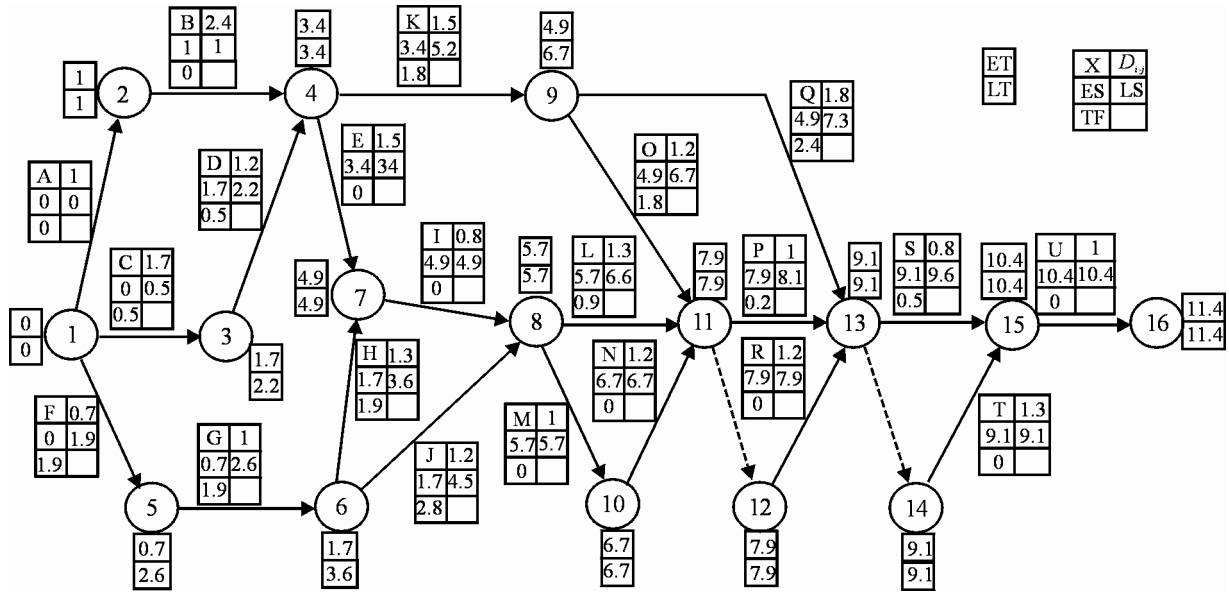


图 2 航空导弹转运双代号网络图

2 时间参数及关键路线的分析

计算网络图中节点和活动的参数，找出关键路线和关键工作^[5]。网络计划时间参数的计算方法可以分为手算法和电算法两大类，手算法又可分为图算法、表算法、矩阵算法和公式算法。这里采用公式算法，直接利用各时间参数的计算公式进行计算。

1) 节点的最早发生时间

$$ET_j = \max \{ET_i + D_{i-j}\} \quad \forall i, j = 2, 3, \dots, 16 \quad (4)$$

其中， D_{i-j} 为工作持续时间； ET_j 为箭头节点的最早发生时间； ET_i 为箭尾节点的最早发生时间^[6]；始节点 $ET_1=0$ 。

2) 节点的最迟发生时间

$$LT_i = \min \{LT_j - D_{i-j}\} \quad \forall j, i = 15, 14, \dots, 1 \quad (5)$$

其中， LT_i 为箭尾节点的最迟发生时间； LT_j 为箭头节点的最迟发生时间；这里属于没有规定工期的情况，即终节点 $LT_{16}=LT_{16}$ 。

3) 即各工作的最早开始时间为：

$$ES_{i-j} = ET_i \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad (6)$$

各工作的最迟开始时间为：

$$LS_{i-j} = LT_j - D_{i-j} \quad j = 2, 3, \dots, 16 \quad (7)$$

4) 各工作的总时差

$$TF_{i-j} = LS_{i-j} - ES_{i-j} \quad (8)$$

总时差为零的活动即是关键活动，由关键活动组成的路线就是关键路线。可得图 2 上航空导弹转

运工作的关键路线： $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16$ 。

各时间参数如图 2 框表。

3 航空导弹转运流程的优化

通过对图 2 网络图时间参数的计算，得出舰载机航空导弹的转运时间为 $T=ET_{16}=11.4$ 。显然，这个保障时间对现代战争条件下的舰载机出动准备来说是一个相当长的过程，必须进行过程优化，尽可能地缩短转运时间 T ，措施如下：

1) 加强导弹上舰后的维护保养工作，并简化启用准备工作。使得关键工作 A、B 持续时间缩短，有 $\Delta t_{1-2}=0.5$ ， $\Delta t_{2-4}=0.9$ 。

2) 从图 2 可以看出，有关路线设置的工作时间相对较长，并且都处于关键路线上。对相关设施的改进可有效缩短总时间 T ，可有 $\Delta t_{6-8}=0.6$ ， $\Delta t_{8-10}=0.4$ ， $\Delta t_{10-11}=0.6$ ， $\Delta t_{12-13}=0.6$ ， $\Delta t_{14-15}=0.6$ ， $\Delta t_{15-16}=0.4$ 。

此时，通过以上措施对关键工作持续时间的调整，有效压缩了整个网络图的总工期，计算网络图的各时间参数，可得出优化后网络图的关键路线： $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 16$ 。即有，优化后舰载机航空导弹的转运时间为 $T'=ET'_{16}=9.2$ 。

3) 继续分析 T 新的关键路线，可以看出转换工具的相关工作持续时间对总工期影响较大。通过改进，可得 $\Delta t_{1-3}=0.5$ ， $\Delta t_{3-4}=0.2$ ， $\Delta t_{4-7}=0.5$ 。由此得出，关键路线没有改变，但转运时间缩短为 $T''=ET''_{16}=7.7$ 。

优化后的舰载机航空导弹转运网络图时间参数

如图 3。

如上所述, 不断找出新的关键路线, 并对关键

工作进行分析调整, 直至任务总工期达到所要求目标。

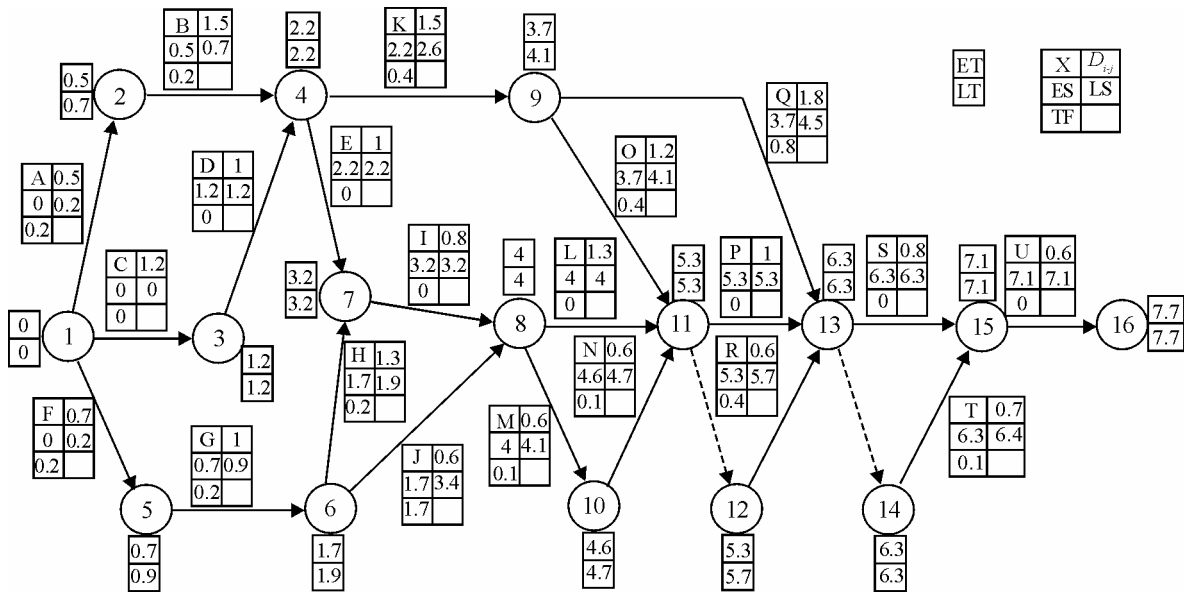


图 3 优化后的航空导弹转运网络图

4 总结

该研究通过优化舰载机航空导弹的转运流程, 有效地提高了效率。在确定转运过程中的关键工作后, 通过人员培训或设备工具改进, 可有效缩短工作持续时间, 进而提高整个保障效率。在调整网络图结构的情况下可有更大的优化空间。虽然笔者着重研究的是单枚导弹的转运优化问题, 但该技术也可应用到复杂任务需求下多枚导弹保障效率问题。

参考文献:

(上接第 44 页)

参考文献:

[1] Wu Q., Rao N., Barhen J. On computing mobile agent routes for data fusion in distributed sensor networks[J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(6): 740-752.

[2] 曹涌涛, 何晨, 王, 等. 一种使用于无线传感器网络的低能耗移动代理路由算法[J]. 上海交通大学学报, 2008(3): 520-523.

[3] Heinzelman W., Chandraksan A., Balakrishnan H.. An application-specific protocol architecture for wireless micro-sensor networks[J]. IEEE Transaction on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.

[1] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[2] 郝杰忠, 杨建军, 杨若鹏. 装备技术保障运筹分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[3] 王诺. 网络计划技术及其拓广研究[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.

[4] 高福聚. 工程网络计划技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

[5] 王众托. 系统工程引论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[6] 李明雨, 杨萍, 毕义明. 网络计划在导弹批量测试中的应用[J]. 兵工自动化, 2005, 24(4): 19-21.

[4] Current J.T., Schilling D.A.. The covering salesman problem[J]. Transportation Science, 1989, 24(3): 208-213.

[5] Guha S., Khuller S.. Approximation algorithms for connected dominating sets[J]. Journal of Algorithms, 1998, 20(4): 374-387.

[6] Klein P. N., Ravi R.. A nearly best possible approximation algorithm for node-weighted Steiner trees [J]. Journal of Algorithms, 2005, 19(1): 104-114.

[7] 项丽, 段哲民. 无线传感器网络中移动节点接入的实现[J]. 通信技术, 2008(3): 35-42.

[8] S. R. Gandham, M. Dawande, R. Prakash, and S. Venkatesan. Energy efficient schemes for wireless sensor networks with multiple mobile base stations[C]. Los Angeles: Proceeding of the IEEE GLOBECOM, 2007.