

# 一种系统维修性建模方法研究

于永利 朱小冬 于洪敏

(军械工程学院维修工程研究所, 石家庄 050003)

**[摘要]** 本文从系统维修着手, 分析了系统维修事件和维修活动组成的一般模式, 给出了典型维修活动模型及系统维修性建模的一般方法和步骤。同时, 利用本文提供的建模方法对一个实际问题进行了详尽地分析, 得到了令人满意的结果。

**[关键词]** 维修性, 系统建模, 维修作业

## 1 引言

象系统可靠性一样, 系统维修性也是描述系统的基本属性之一, 系统维修性的优劣直接影响系统的维修工作, 从而影响系统的正常使用<sup>[1]</sup>。系统维修性好坏的度量往往使用一些定量参数, 例如系统维修度  $M(t)$ 、系统平均修复时间和最大修复时间等等。但获得系统维修性这些定量参数与获得系统可靠性定量参数相比较要困难一些。这是因为在可靠性理论<sup>[2,7]</sup>研究中, 对系统可靠性的建模方法和数学模型的建立及问题求解等方面都已进行了详细地分析, 而在系统维修性理论研究中相应的问题研究进行得较少<sup>[1,3-5]</sup>。这就使得系统维修性工作的开展比较困难, 尤其是对一些问题的定量分析研究更是无法直接进行<sup>[6,8]</sup>。由此可见, 系统维修性建模和相应数学模型的研究已成为制约系统维修性研究的重要因素。所以, 对该问题的研究无论在理论上还是在实际应用上都是十分必要的。

本文目的就是利用对系统维修的分析结果, 建立一种典型的系统维修性模型的建模方法, 并给出系统维修性的典型模型, 同时对系统维修性的数学模型进行研究。

## 2 系统维修分析

众所周知, 按照系统故障发生与否, 可以把维修分成修复性维修和预防性维修。这两类维修事件都是由一些相应维修活动组成, 例如修复性维修事件一般由故障定位、故障隔离、分解、更换、再装、调整及检测等维修活动组成。从修复性维修事件的组成可以看出, 这些维修活动应该是按照顺序的关系进行的, 即完成一件活动以后再进行下一个, 而不是并行的(见图1)。此时修复性维修的时间应该是各个维修活动时间的总和。

对于预防性维修而言, 经过详尽地分析可以发现也存在着顺序关系。由此可见维修活动的顺序排列关系是维修事件分解的一种基本类型。

---

国家自然科学基金青年科学基金资助项目。

本文于1995年1月16日收到。

然而在系统维修性研究中,上述维修活动的时间对不同系统往往有很大差别,所以将它们做为研究系统维修性的基本事件是不合适的,而应该将这些维修活动进一步分解为基本维修作业,如拧螺钉、装垫片等。一般说来,对于不同的系统只要结构相似、维修性设计合理,基本维修作业的时间应该相差不大。基本维修作业一般不一定完全按照顺序的关系组成维修活动,实际上应该包含部分并行的关系。例如,一个维修分队对装备进行预防维修时,就可按组对已分解下来的装备各部件分别进行分解和保养等工作,此时各组的关系就属并行。显然,并行关系中维修时间应是并行的维修作业中维修时间的最大值。

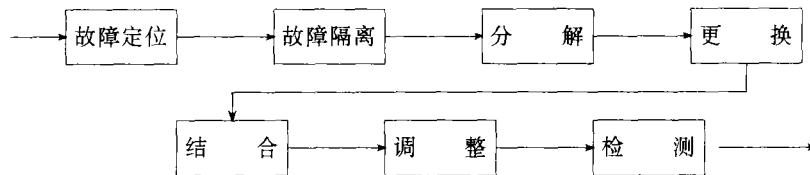


图1 修复性维修事件活动的顺序关系

在实际工作中,维修事件所组成的模型往往不只是上述两种简单形式,一般多为两种简单形式的组合。例如:装备进厂大修时的维修事件可以简单划分为图2形式。

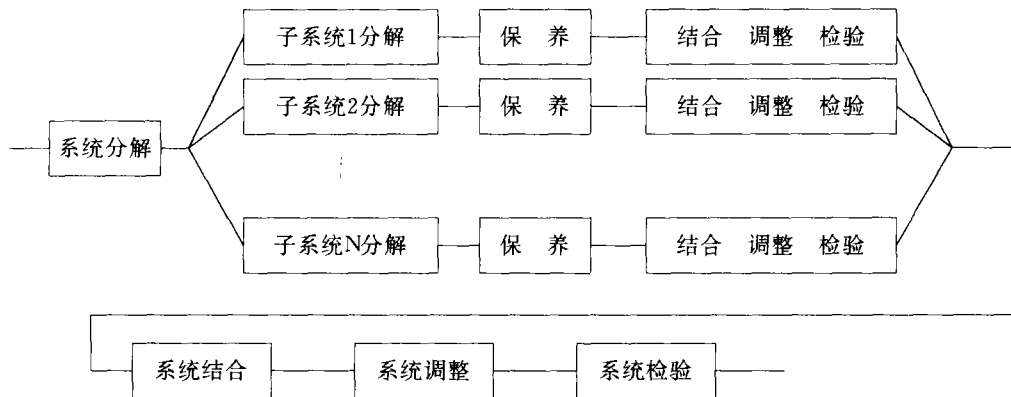


图2 装备进厂大修维修事件简化图

### 3 系统维修性模型及建模方法

#### 3.1 维修活动的基本模型

由上述可以看出,系统维修活动的基本模型主要有两大类:顺序模型,并行模型。

(1) 顺序模型。一串活动(作业)以先后顺序进行,维修时间应为各活动(作业)时间之和。假设:一维修事件由  $N$  个活动顺序组成,每个维修活动的时间为  $T_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ),则维修时间  $T$  应为:

$$T = \sum_{i=1}^N T_i \quad (1)$$

此时维修事件的维修度可以直接根据概率理论与维修性有关理论<sup>[1,7]</sup>得到

$$M(t) = M_1(t) * M_2(t) * \cdots * M_N(t) \quad (2)$$

其中  $M_i(t)$  为第  $i$  个维修活动的维修度。 $M(t)$  为维修事件的维修度。 $*$  表示卷积。

(2) 并行模型。一般活动(作业)同时进行, 维修时间应为一组活动(作业)中时间的最大值。假设: 一维修事件由  $N$  个活动并行组成, 第  $i$  个维修活动的时间为  $T_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ), 则维修时间  $T$  应为:

$$T = \max(T_1, T_2, \dots, T_N) \quad (3)$$

根据维修度的定义<sup>[1]</sup>,

$$M(t) = \prod_{i=1}^N M_i(t) \quad (4)$$

由上述两个模型就可以对某一维修事件的维修时间进行分析, 并给出何时可以完成这一维修工作概率。但对一个系统而言, 它的维修性分析多是以许多维修事件为基础的, 所以应对系统维修性模型进行分析。

### 3.2 系统维修性模型

在系统维修性的理论研究和工程实践中, 系统的各个维修事件在总值中所占的比例一般都能由统计和分析给出<sup>[1,3]</sup>。假设: 系统维修共由  $M$  个维修事件组成, 第  $i$  事件所占的时间比例为  $\alpha_i$  ( $i=1, 2, \dots, M$ ), 且

$$\sum_{i=1}^M \alpha_i = 1 \quad (5)$$

显然  $\alpha_i$  可以看作是第  $i$  个事件出现的概率, 由前述方法可以容易地得到第  $i$  个事件在  $t$  时刻完成的概率为  $M_i(t)$ 。由概率论知识可以得到系统维修度  $M_s(t)$  应为:

$$M_s(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i M_i(t) \quad (6)$$

至此, 利用公式(2)和(4)~(6)就可以对系统的维修性进行全面地分析。

### 3.3 建模的步骤

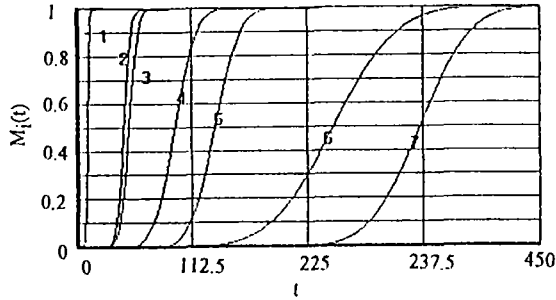
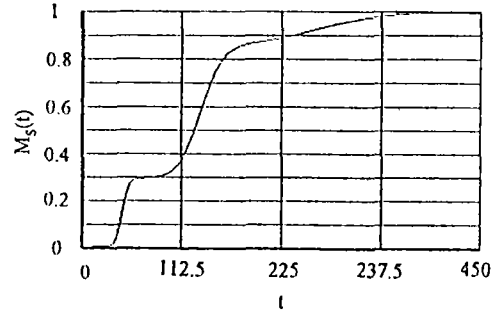
根据前面分析可以列出系统维修性建模的一般步骤:(1) 确定系统所有维修事件, 并确定  $\alpha_i$  的值;(2) 确定每一维修事件的基本组成, 构成维修事件的基本模型;(3) 利用公式(2), (4)以及基本维修作业的时间分布, 确定出每一维修事件的  $M_i(t)$  值;(4) 利用公式(6)和已确定出的  $\alpha_i$ ,  $M_i(t)$ , 确定出系统维修度  $M_s(t)$ ;(5) 利用  $M_s(t)$  可以进一步分析系统维修性的其它量化指标。

## 4 工程建模实例

某型装备在分队级所从事的维修工作共有七种, 这些种类的维修工作在总维修次数中所占比例 ( $i=1, 2, \dots, 7$ ) 分别为:

$$0.013, 0.273, 0.013, 0.117, 0.026, 0.013, 0.545$$

对这七种类型工作分别进行分析、建模和计算时, 可以得到装备这七种类型维修工作的  $M_i(t)$ , 如图3。利用  $M_i(t)$  和  $\alpha_i$  可以确定出装备在分队级维修时的维修度  $M_s(t)$  (见图4)。通过  $M_s(t)$  值就可以得出装备维修性的其他定量指标。

图3 装备7种维修工作的  $M_i(t)$ 图4 装备分队级维修的  $M_s(t)$ 

## 参 考 文 献

- [1] 甘茂治等. 维修性工程, 北京: 国防工业出版社, 1991, 10.
- [2] 陈凯等. 可靠性数学及其应用, 吉林教育出版社, 1989, 6.
- [3] GJB368. 1-368. 4. 装备维修通用规范. 国防科工委国家军用标准出版发行部, 1987.
- [4] MIL-HDBK-472 (美国军用标准手册), MAINTAINABILITY PREDICTION, 美国国防部出版, 1984.
- [5] Shooman M L et al. Research on System Maintainability, Availability, and Cost Models, 1987, AD-A157324.
- [6] Greenman L R. Maintainability Engineering Design Notebook and Cost of Maintainability, 1975, AD-009044.
- [7] Misra K B. Reliability Analysis and Prediction, Elsevier Science Publisher, 1992.
- [8] Cummings, K et al. Automation of Maintainability Prediction, 1980, AD-A091787.

## STUDY ON MODELING METHOD OF SYSTEM MAINTAINABILITY

Yu Yongli    Zhu Xiaodong    Yu Hongmin

(Maintenance Engineering Institute, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003)

**Abstract** This paper analyses the general mode of maintenance event and maintenance action from the system maintenance, and gives the typical maintenance action time model and the general method and step of system maintainability modeling. An actual problem is solved by the above modeling method, and the result is satisfactory.

**Key words** maintainability, system model, maintenance activity