



中华人民共和国国家军用标准

FL

GJB 368.4—87

装备维修性通用规范 维修性的分配和预计

General specifications for materiel maintainability
Maintainability allocation and prediction

1987—09—12 发布

1988—03—01 实施

中国人民解放军总后勤部
国防科学技术工业委员会

批准

中华人民共和国国家军用标准

装备维修性通用规范 维修性的分配和预计

GJB 368.4—87

General specifications for materiel maintainability
Maintainability allocation and prediction

本标准规定维修性的分配和预计方法,以便确定装备各部分应达到的维修性指标,评价设计满足维修性要求的程度,为详细设计和制定维修保障方案提供依据。

本标准适用于各类装备系统的维修性设计、评审和改进工作。

1 引用标准

GB3187《可靠性基本名词术语及定义》

GJB368.1—87《装备维修性通用规范 维修性管理大纲》

GJB368.2—87《装备维修性通用规范 维修性的基本要求》

GJB368.3—87《装备维修性通用规范 常用件应用的维修性要求》

GJB368.5—87《装备维修性通用规范 维修性的试验与评定》

GJB368.6—87《装备维修性通用规范 维修保障分系统的建立》

2 维修性分配

在确定了装备的维修性指标以后,应在设计的初始阶段完成初步的分配工作,即将维修性指标分配到系统的各功能部分,并在详细设计过程中,对分配进行反复的修正。分配的广度和深度取决于装备的复杂程度和设计进程,并受其它性能(如可靠性等)的影响。

2.1 条件

- a. 已经提出对装备的维修性要求并载入合同中。
- b. 已经初步确定装备的系统功能层次。
- c. 已完成故障模式、效应及其后果分析,为维修性的分配和预计提供了必要的数据(如故障率)。

2.2 维修性分配的定量指标

2.2.1 平均修复时间 \bar{M}_{er}

排除故障所需实际修复时间的平均值。若某一装备由 n 个可修复的项目构成,则

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{M}_{cti}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \dots \dots \dots (1)$$

式中: λ_i ——第 i 项目的故障率, 通常以装备每工作小时的故障次数表示;

\bar{M}_{cti} ——第 i 项目的平均修复时间, 通常以小时表示。

2.2.2 平均预防维修时间 \bar{M}_{pj}

装备每次预防维修所需实际时间的平均值。可用下式表示:

$$\bar{M}_{pj} = \frac{\sum_{j=1}^m f_{pj} \bar{M}_{pj}}{\sum_{j=1}^m f_{pj}} \dots \dots \dots (2)$$

式中: f_{pj} ——第 j 项目预防维修作业的频率, 通常以装备每工作小时分担的 j 项目维修作业数计;

\bar{M}_{pj} ——第 j 项目预防维修作业所需的平均时间, 通常以小时表示;

m ——预防维修作业的项目数。

2.2.3 平均维修时间 \bar{M}

装备每次维修所需实际时间的平均值。此处的维修既包含排除故障维修(或称修复性维修), 又包含预防维修。可用下式表达:

$$\bar{M} = \frac{\lambda \bar{M}_{ct} + f_p \bar{M}_{pj}}{\lambda + f_p} \dots \dots \dots (3)$$

式中: λ ——装备的故障率;

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \dots \dots \dots (4)$$

f_p ——装备预防维修的频率;

$$f_p = \sum_{j=1}^m f_{pj} \dots \dots \dots (5)$$

λ 和 f_p 须以同一时间单位的频率表示, 维修时间也须以同一时间单位表示。

2.2.4 维修性指数(维修工时率)MI

维修性指数作为维修工时指标, 以装备每工作小时的维修工时数表示。

$$MI = MI_c + MI_p \dots \dots \dots (6)$$

式中: MI_c ——排除故障维修的维修性指数;

MI_p ——预防维修的维修性指数。

$$MI_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{M}_{cti} \dots \dots \dots (7)$$

式中: \bar{M}_{cti} ——完成第 i 项目排除故障维修所需的平均工时数。

$$MI_p = \sum_{j=1}^m f_{pj} \bar{M}_{pj} \dots \dots \dots (8)$$

式中： \bar{M}_j ——完成第 j 项目预防维修所需的平均工时。

λ 和 f 须以同一时间单位的频率表示，维修时间也须以同一时间单位表示。

2.3 维修时间元素

维修时间按维修工作步骤可以划分为七种主要的维修时间元素，即：准备时间、检测诊断时间、换件时间、调校时间、保养时间、检查时间以及原件修复时间。在维修一个系统时，按照合理的顺序安排，可能需要上列维修工作的一步、几步或全部，分配时按所需的维修工作步骤分配相应的维修时间元素。

2.4 系统描述

系统描述用于对装备维修保障分系统的职能和装备的功能层次进行形象的分析，使维修性分配时需要考虑的各个方面都能得到恰当的处理。

2.4.1 维修职能流程框图

用框图表示和确定各级维修职能的一种系统方法。即在每一个维修级别上，从装备进入维修时起，直到完成最后一项维修保障职能使该系统恢复其良好状态为止，对两类维修（排除故障维修和预防维修）提出要点并找出各项职能之间相互联系的方法。维修级别按各军兵种的相应体制确定。维修职能流程框图的示例见图 A1 和图 A2。它显示了典型的框图编号和分配的内容。对于每一个职能方框，随着分析的进行，还应填入有关的平均维修时间和频率的分配。

维修职能流程框图保证在分析和分配中不遗漏应有的维修职能和工作，并可用来判明是否包含了评定维修性设计所需的各个方面和全部指标。如果需要综合权衡或采取修正措施，还可以借此确定其互相间的影响并判明其效果。

2.4.2 系统功能层次框图

用框图表示和确定从系统到零件每一个项目所需要的维修特点和措施的一种系统方法，进一步明确构成维修职能流程框图所需的维修工作细节。系统功能层次的分解根据维修保障方案和功能分析数据进行。

系统功能层次框图的示例见图 A3。装备系统可分为若干层次。层次多少按装备系统复杂程度而定，但应与可靠性分配层次取得一致。

若系统的构成较为复杂时，框图的每一个分支可以使用易于识别的符号或代码标出一个端点。

图中的各条连线表明实体间的功能联系而不是电路或机械的转换，并通过故障模式与效应分析提供在功能方面互相之间的影响。

把维修工作时间和相应的故障率（对于排除故障维修）或预防维修频率同上述功能层次框图结合在一起，就可以看清维修效果，从而能使维修性目标达到优化，或判明所采取的修正措施是否合理。同时，应考虑预防维修对故障率 λ_1 的可能影响。

还可以利用这种框图来显示装备每一独立层次内有关的定量分配。凡是从分析中得到的一切数值都可填入该图相应项目的框内，以便表明每一个框所摊的份额，并累加起来直到最高的层次（系统）。

2.5 维修性分配的主要步骤与方法

第一步,确定每一个维修级别(按部队维修体制分级)需行使的维修保障职能和流程(维修职能流程框图)。

第二步,确定装备各功能层次的组成部分及维修部位,由设计初期的系统概貌逐步进展到细目(系统功能层次框图)。

第三步,对于系统以下各个功能层次的细目,确定其排除故障维修的频率(故障率)和预防维修的频率。两类频率不得混淆。

第四步,将已经规定的维修性指标和约束条件对系统以下的各个层次的细目进行分配,不论使用何种指标,它们必须在整个分配过程中一致,不得混淆。对于系统每一个功能层次的细目,可以将各指标列在维修职能流程框图上和功能层次框图中,也可以列入便于累加处理的其它适当表格中。

分配可能有两种情况:

a. 对于新的设计,固有特性未知,分配应以涉及的每个功能层次上项目的相对复杂性为基础,在许多场合,项目的故障率可用作衡量复杂性的度量(见附录 B,故障分摊率)。

b. 若设计是从过去的设计演变而来,分配应以过去的经验为基础,并确定需要改进的地方。

第五步,对维修职能流程框图的维修任务和系统功能层次框图中每一个项目的维修性分配进行可行性研究,并与其它性能及费用进行综合权衡。若认为不能满足要求,则应进行下述过程:

a. 通过改进设计提高维修性,在满足整个系统要求的条件下重新分配。

b. 在尽可能降低维修保障费用、提高装备有效度和合理使用维修保障资源的前提下,调整各个维修级别上的维修任务。

若仍不能满足要求时则应改进装备的可靠性,降低故障率,或重新考虑系统要求。

2.6 维修性改进的分配

\bar{M}_{ci} , MI 等的分配结果若符合该系统要求的规定值(维修性指标),则可认为分配完成。如果某层次的分配未能产生符合该系统维修性指标的结果,则可用以下方法修正。

假设系统功能层次框图的某一个项目能够取得的维修性改进与该项目维修性的原配值或预计值成正比,并且不依赖于该项目的故障率,则有:

$$\bar{M}'_{ci} = \bar{M}_{ci} M_{ci} / \bar{M}_{ci} \dots \dots \dots (9)$$

式中: \bar{M}'_{ci} ——第 i 项目改进分配后的平均修复时间;

\bar{M}_{ci} ——第 i 项目原分配的平均修复时间;

\bar{M}_{ci} ——规定的系统平均修复时间(指标);

\bar{M}_{ci} ——由(1)式确定的值。

在同一假设下,若要求使用维修性指数,则有:

$$MI'_{ci} = MI_{ci} MI_{ci} / MI_{ci} \dots \dots \dots (10)$$

式中: MI'_{ci} ——第 i 项目改进分配后的维修性指数;

MI_{ci} ——第 i 项目原分配的维修性指数;

MI_c ——规定的系统维修性指数(指标);

MI_c ——由(7)式确定的值。

3 维修性预计

应用适当的预计方法,对具体设计构型的维修性特征量进行估算,评价设计是否满足维修性要求,所需的维修保障是否有效地满足产品的工作要求,以便确定需要采取的修正设计的措施。预计要从设计早期起反复进行到设计已经达到规定的维修性目标为止。

3.1 条件

3.1.1 已作出了系统的初步设计。

3.1.2 在开始维修性预计之前,应该收集有关资料 and 情况,并权衡这些数据与资料对于新方案是否合理可用,其中主要有:

- a. 现有类似装备的历史数据;
- b. 现有的维修保障分系统;
- c. 进行维修工作的维修级别;
- d. 维修人员的技能标准;
- e. 与所研制的装备有关的故障率数据;
- f. 维修工作顺序和维修工作时间元素的数据,维修时间指标和特性;
- g. 有关的数学模型和适用的统计分布;
- h. 预计方法;
- i. 其它。

3.2 判断标准

应根据 GJB368.1~368.3—87 以及相应装备的维修性标准与合同的具体要求制订新装备的设计准则核对表,作为预计的判断标准,其中修复时间是一个指标。维修性设计的定性特点由维修性的定量指标来加以衡量。

计算出与某一级维修职能有关的和系统某一功能层次上的各个项目的平均修复时间,用以确定上一功能层次的修复时间。每一步都必须对有关联的各个因素加以记录,从而有利于判明和核实逻辑分析的相关性。

3.3 预计参数

3.3.1 维修频率

3.3.1.1 故障率

在预计工作中,假定早期故障已经消除。这一假设应由分析人员通过考察各个被分析项目的质量验收规程等方法予以判明。在确定各故障率时,必须考虑使用和环境条件的影响。在累计过程中,时间单位必须一致。

3.3.1.2 预防维修频率

必须根据实际的使用率和装备各个项目的耗损规律以判定计划的预防维修频率。

预防维修频率应与故障率使用同样的时间单位。

3.3.2 维修时间

排除故障维修与预防维修两类维修时间的累计可使用公式(1)至(5)。维修时间是进行预计分析必不可少的要素,以秒、分或小时表示。根据维修性设计特点与复杂程度、人的因素以及维修保障各要素的相互关系,决定每一项维修工作步骤所需的操作时间,然后累计起来获得该项维修工作的合计时间。累计时应注意某些工作步骤可能需要重复。

3.4 预计方法的选择

目前可使用的维修性预计方法有多种。本标准只列出一些较重要的预计方法的要点,以便根据不同情况加以选择,也可同时运用一种以上的方法。选择的基本原则是必须了解装备的种类及其有关特性、执行的任务、保障的目标与环境条件、维修保障方案的特点、维修与管理的技术水平以及有关历史数据等。方法选择得适当将可以减少预计中的误差。

3.4.1 推断法

根据新装备的设计特点,现有类似装备的设计特点与维修性之间所观察到的相互关系,来预计新装备的维修性特征量。推断法的准确程度取决于新装备同现有装备接近的程度,还取决于已有数据的精确程度。

常用的推断法有平滑法预计,根据假设的分布特性预计等等。

3.4.2 时间累计图表法

是一种较为简便、成熟的维修性预计方法,目前有多种具体的程序和表格,分别适用于各类装备。

各种程序使用的基本技术是对各项维修工作时间进行综合和累加以获得总的系统维修时间。这类累加以分析每一项维修工作各个步骤所需的时间为基础,根据构成具体维修任务的各项维修工作来预计某项新任务的总时间。在累加中所用的时间是时间某种分布的平均值。

各种维修时间决定于装备的设计特点、各级维修职能与系统功能层次的关系、人的因素以及维修保障各要素等因素,应随着这些因素的不同而制订出不同的预计程序。

3.4.3 模拟法

如果在真实的系统上进行实验不方便、昂贵、耗费时间或者不安全,则最好采用模拟(仿真)的方法预计。特别是在所模拟的系统还不存在时,进行模拟可以帮助作出适当的维修性设计决策。维修性预计的模型应按照系统各组成部分所经历的各项维修工作加以描述。在模型中可以把所研究的系统划分为单个项目或分系统,它们对于系统的每一种可能状态及其输入所产生的作用都是能够预计的。模拟法常需借助计算机进行。

3.4.4 专家预计法

由对装备设计和维修保障有经验的专家们根据历史数据的统计分析对新装备的设计进行维修性分析判断,是一种常用的经济可行的方法。此种判断通常以下列各项为依据。

- a. 根据已有统计数据所显示的趋势的推断。
- b. 根据对各种原型、模型和模拟器材的观测结果来推测维修的方便性;
- c. 分析在维修工作的实施中所需要的人员技能与行为因素;
- d. 维修性核对表;
- e. 典型维修操作步骤的时间和动作研究;

- f. 使用与维修经验；
- g. 可能引起维修性设计方面根本性变化的特殊知识；
- h. 对于在不同的维修级别上维修保障能力的认识；
- i. 对于在各个维修级别上用于换件的系统功能层次分解的知识。

在进行判断中注意这些基本要素,以有关的经验为基础而防止偏见时,就能获得较为可靠的维修时间预计值。

专家预计法的一个弱点是在作平均维修时间的点估计时,以“技工平均技术水平”来代替所有技工能力的分布。同时,应注意判断的误差可能是累积的。

附录 A
系统描述示例图
(参考件)

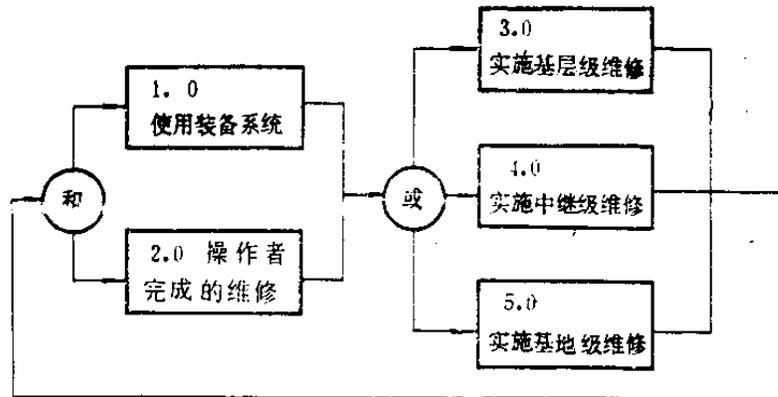


图 A1 装备系统各级维修的总流程(示例)

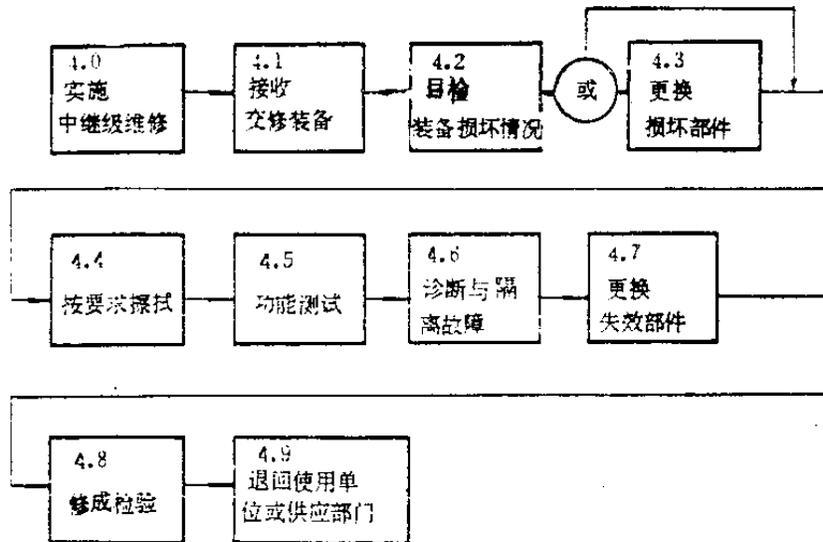
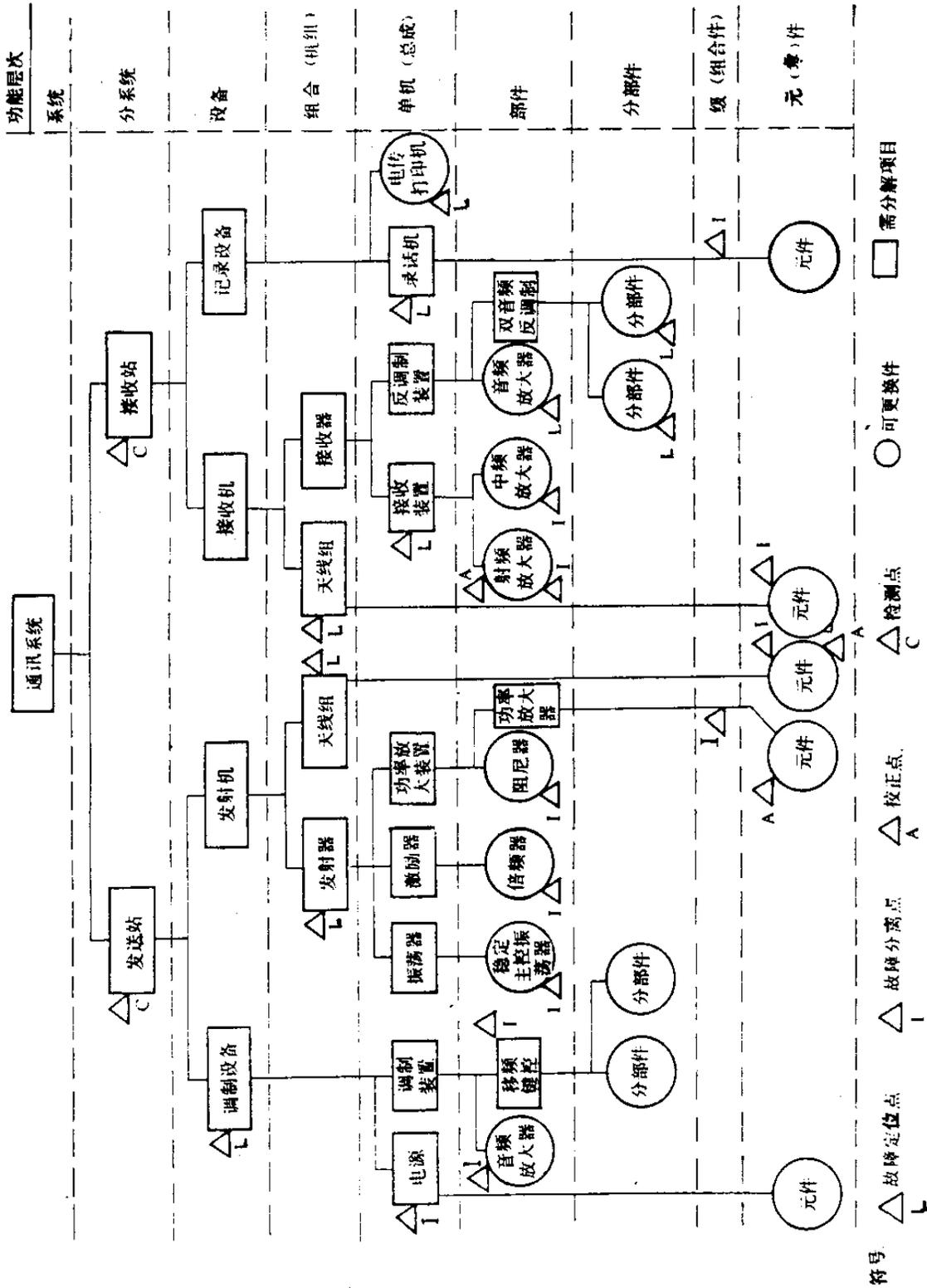


图 A2 装备系统中继级维修职能的流程(示例)



图A3 装备系统功能层次框图(示例)

附录 B 维修性分配示例

(参考件)

设有 XYZ 系统, 已经过可靠性分析, 其功能层次框图 (单机 A 的数量为 2, 单机 B 和 C 各 1) 与故障率的分配如图 B1 所示。该系统的设计须符合下列要求: 固有有效度 A_i 为 0.9989; MTBF 为 450 小时; M_{er} 为 0.2 工作小时/小时。现在要求把 \overline{M}_{er} 和 M_{er} 分配到部件层次。

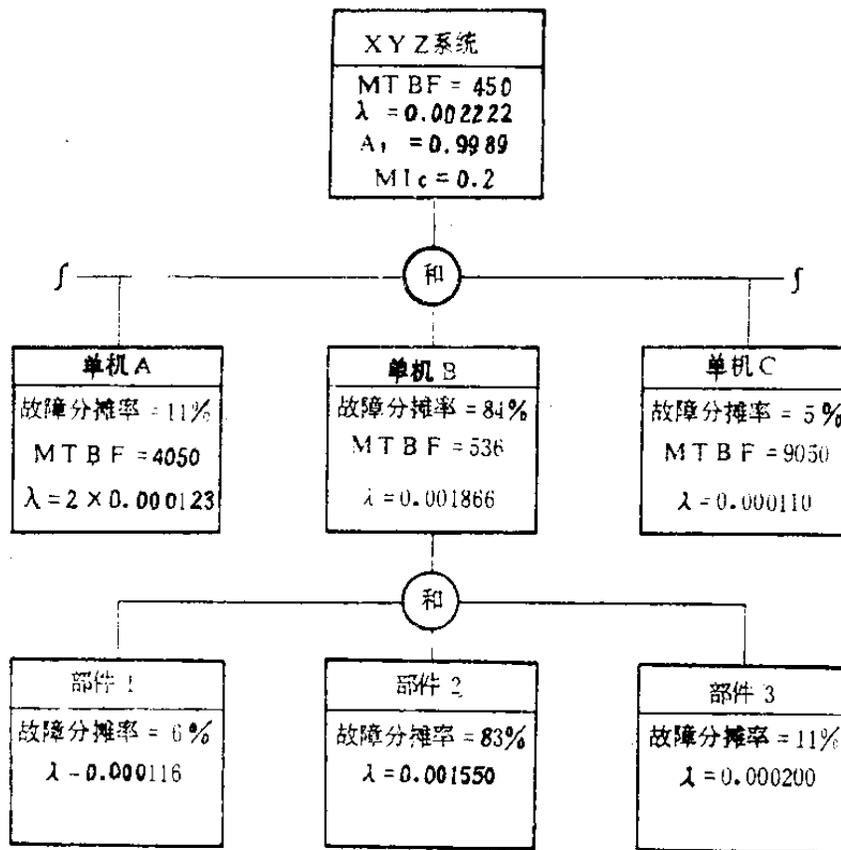


图 B1 XYZ 系统功能层次可靠性分配框图

B.1 求系统的平均修复时间 \overline{M}_{er}

可以应用固有有效度 A_i 的方程求出:

$$\overline{M}_{er} = \frac{MTBF(1 - A_i)}{A_i} \dots \dots \dots (B1)$$

$$\overline{M}_{er} = \frac{450(1 - 0.9989)}{0.9989} = 0.5 \text{ 小时}$$

因此对于系统要求的 \overline{M}_{er} 不大于 0.5 小时。

注: 故障分摊率: 下一项目的故障率在上一项目总的故障率中所占的百分比。在维修性分配中也叫复杂性系数。

B.2 将系统的 \overline{M}_{er} 分配到单机层次

分配时可使用表 B1 的格式, 分配过程得以简化。

参看表 B1, 第 1, 2 两栏指出每一个项目(单机)的类型和数量 Q_i 。单机的故障率列于第 3 栏, 各项目的总故障率(用 C_{ri} 表示)列在第 4 栏。第 5 栏是故障分摊率 C_{pi} 。每个项目分配的平均修复时间 \bar{M}_{cni} 列在第 6 栏。这些时间最终要根据装备设计的固有特性而定, 在系统寿命周期的目前时刻还是未知数。因此, 修复时间(即排除故障修理时间)开始时是利用故障分摊率导出的。即在预期的总故障率中分摊率最高的项目(在此例中为单机 B), 其平均修复时间 \bar{M}_{cni} 应要求短些, 而故障分摊率低的项目其 \bar{M}_{cni} 可长一些。故可以故障分摊率的例数作为加权系数, 使用下式:

$$\bar{M}_{cni} = \frac{\bar{M}_{ci} \sum_{i=1}^n Q_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^n C_{pi}} \dots \dots \dots (B2)$$

计算出分配到单机 A, B, C 的平均修复时间作为初步方案, 填入表 B1 第 6 栏内, 如括号中的数
表 B1 XYZ 系统的维修性分配

1	2	3	4	5	6	7
项 目	每个系统内项目的数量(Q_i)	故障率(λ_i) × 1000 小时	各项目的总故障率 $C_{ri} = Q_i \lambda_i$ ×1000 小时	故障分摊率 $C_{pi} = C_{ri} /$ $\sum C_{ri}$	分配的平均修复时间 \bar{M}_{cni} (小时)	占系统平均修复时间的份额 $C_{pi} = C_{ri} \bar{M}_{cni}$
1. 单机 A	2	0.123	0.246	11%	(1.505)0.9	0.221
2. 单机 B	1	1.866	1.866	84%	(0.199)0.4	0.746
3. 单机 C	1	0.110	0.110	5%	(3.37)1.0	0.110
合 计			$\sum C_{ri} = 2.22$	100%		$\sum C_{pi} = 1.077$

$$\text{XYZ 系统平均修复时间 } \bar{M}_{ci} / \sum C_{pi} / \sum C_{ri} = \frac{1.077}{2.222} = 0.485 \text{ 小时(要求: 不大于 0.5 小时)}$$

字所示, 依次为 1.505, 0.199, 3.37(小时)。n 为单机类型数, 在此 n 为 3。对于复杂的项目, 在某些情况下, 要得到短的 \bar{M}_{cni} , 可能会提高设计的费用, 为此作出必要的修正, 使得最终的结果符合定量的要求。在本例中, 如第 6 栏所示, 修正后的 \bar{M}_{cni} 依次为 0.9, 0.4, 1.0(小时)。

C_{pi} 等于 C_{ri} , \bar{M}_{cni} 是各项目在系统总的平均修复时间 \bar{M}_{ci} 中所占的份额, 填入第 7 栏, 所有单机的这些份额之和可以用来校核是否符合系统总的平均修复时间 \bar{M}_{ci} , 即

$$\bar{M}_{ci} = \sum C_{pi} / \sum C_{ri} = \frac{1.077}{2.222} = 0.485$$

此值接近所要求的 0.5 小时。所以所分配的各单机的 \bar{M}_{cni} 值提供了排除故障维修的设计标准, 并应列入装备的设计文件。

B.3 将单机 B 的 \bar{M}_{cni} 分配到部件层次

把单机 B 的 $\bar{M}_{cni} = 0.4$ 小时分配到部件 1, 2, 3, 其程序与以上完全相同。经修正后单机 B 各部件的 \bar{M}_{cni} 分配结果列于表 B2 内。

表 B2 单机 B 的维修性分配

1	2	3	4	5	6	7
项 目	每个单机内项目的数量(Q_i)	故障率(λ_i) 1000 小时	各项目的总故障率 $C_{fi} = Q_i \lambda_i$ $\times 1000$ 小时	故障分摊率 $C_{pi} = C_{fi} / \sum C_{fi}$	分配的平均修复时间 \bar{M}_{eti} (小时)	占单机平均修复时间的份额 $C_{ti} = C_{fi} \bar{M}_{eti}$
部件 1	1	0.116	0.116	6%	(2.145)0.5	0.058
部件 2	1	1.550	1.550	83%	(0.161)0.4	0.620
部件 3	1	0.200	0.200	11%	(1.244)0.3	0.060
合 计			$\sum C_{fi}$ 1.866	100%		$\sum C_{ti}$ 0.738

$$\text{单机 B 的 } \bar{M}_{ctb} = \sum C_{ti} / \sum C_{fi} = \frac{0.738}{1.866}$$

$$= 0.395 \text{ 小时(要求, 不大于 0.4 小时)}$$

可以看到,修正值与计算值有很大差异,从实际情况出发可以获得不同分配方案。

\bar{M}_{ei} 值涉及的是修复活动所消耗的时间。有时,这个指标跟可靠性指标结合在一起就可以在设计中建立必要的维修性特性。在另外一些情况下,单是确定 \bar{M}_{ei} 是不够的,因为可能有许多设计方案都能满足 \bar{M}_{ei} 的要求,但却未必都能符合费用—效果的要求。例如为满足 \bar{M}_{ei} 要求,就可能要求维修人员具有较高的技术水平,增加维修人员的数量,或使手工操作自动化等等,这都牵涉到增加费用问题。因此,对于一些重大的项目,可能需要规定一些另外的约束条件,如每级维修人员的技术等级和维修工时指标(如维修性指数 MI)等。这将在可达性、组装方案、搬运要求、诊断手段等方面对设计产生影响,而且对维修保障的设计也许更有意义。

B.4 维修工时指标(即 MI_i)是维修工作复杂性和维修频率的函数。对系统这一层次的要求,是根据系统的工作时数、预期的维修活动数量以及每项维修活动所需工时的估计值等进行分配的。尽可能使用经验数据。在本例中 MI_i 基本上是按故障分摊率分配的。

B.5 系统各个层次的定量分配完成后,所有的值即填入系统功能层次框图内,如图 B2 所示。此图显示了重要的系统维修性设计要求的全貌。

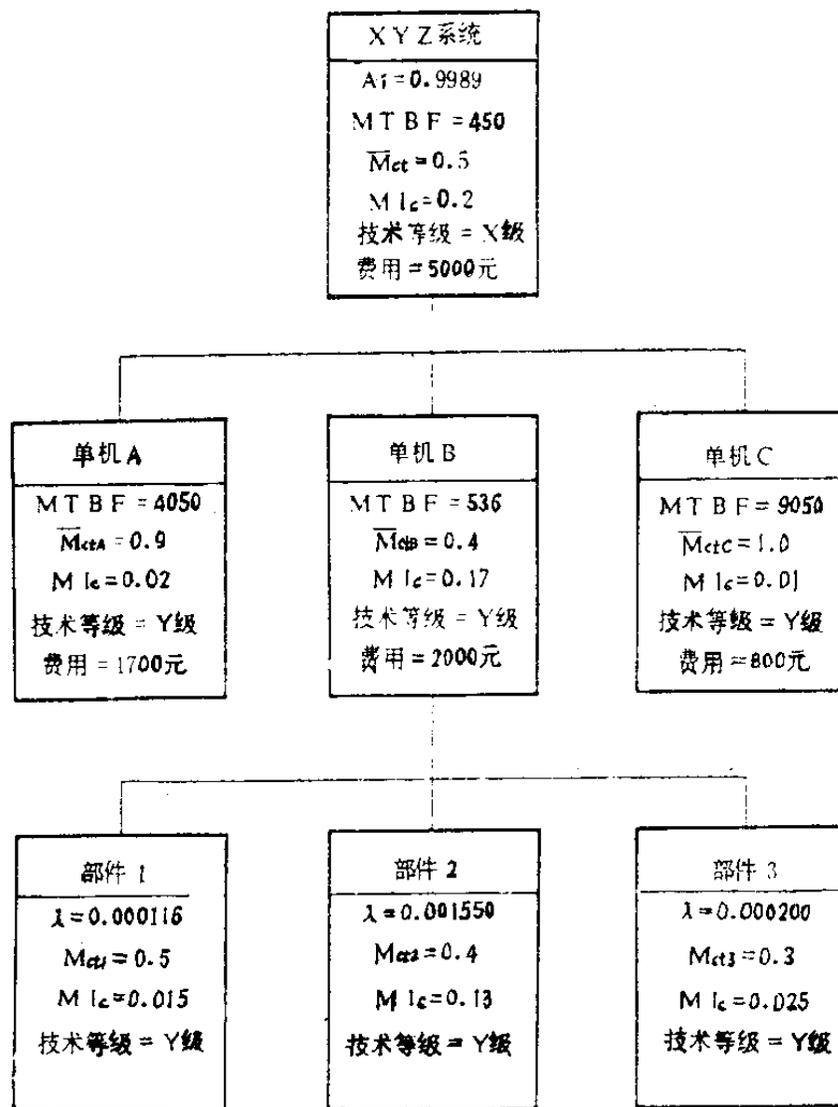


图 B2 XYZ 系统功能层次维修性分配图

附加说明：

本标准由中国人民解放军总后勤部军械部提出。

本标准由中国人民解放军军械工程学院负责起草。

本标准主要起草人：王宏济。