

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.003

自动火炮武器火控系统可靠性分配方法

张振禹¹, 雷玲¹, 程俊²

(1. 中国兵器工业第五八研究所 军品部, 四川 绵阳 621000;
2. 总装重庆军代局 驻绵阳地区军代室, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为指导自动火炮武器火控系统设计阶段的可靠性设计, 针对火控系统的可靠性指标—平均故障间隔时间, 提出一种实用的可靠性分配方法。通过建立基本可靠性模型, 采用工程加权和专家评分相结合的评定方法完成对火控系统的可靠性分配。分配数据合理、有效, 符合火控系统平均故障间隔时间指标要求。结果表明, 该方法能有效指导火控系统设计阶段的可靠性分配工作。

关键词: 平均故障间隔时间; 可靠性分配; 基本可靠性模型

中图分类号: O213.2 **文献标志码:** A

Research on Reliability Allocation About Fire Control System of Automatic Artillery

Zhang Zhenyu¹, Lei Ling¹, Cheng Jun²

(1. Dept. of Armament Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China;
2. PLA Presentation Office in Mianyang District, PLA Representation Bureau of General Equipment Department in Chongqing, Mianyang 621000, China)

Abstract: For guiding the reliability design about fire control system in design phase, aiming at mean time between failures (MTBF), put forward an applied method about reliability allocation. Through establishing basic reliability model, it adopts the combined method of project weighed and expert grading to direct the reliability allocation of fire control system. The allocation data is availability and feasible and according with the MTBF about fire control system. The result shows that the method can guide the reliability allocation of fire control system in design phase availably.

Keywords: mean time between failures (MTBF); reliability allocation; basic reliability model

0 引言

根据GJB451的内容, 平均故障间隔时间 $MTBF$ 是可修复产品的一种基本可靠性参数, 其度量方法为: 在规定的条件下和规定的期间内, 产品寿命单位总数与故障总次数之比。基本可靠性是产品在规定的条件下和规定的时间内, 无故障工作的能力, 反映了产品对维修资源的要求。可见, $MTBF$ 是用以衡量产品基本可靠性的指标, 可采用基本可靠性模型进行分析。因此, 笔者针对自动火炮武器火控系统的可靠性指标—平均故障间隔时间, 提出一种实用的可靠性分配方法。

1 基本可靠性模型的建立

根据GJB813的内容, 基本可靠性模型包括一个可靠性框图和一个相应的可靠性数学模型。

1.1 基本可靠性框图

基本可靠性框图为全串联模型, 由组成火控系统的各组件以框图形式串联而成, 排列可不分先后, 但不能缺项、漏项, 一定要保证组成完整, 通常火控系统由外购组件与自研组件组成。图 1 为火控系

统的基本可靠性框图。

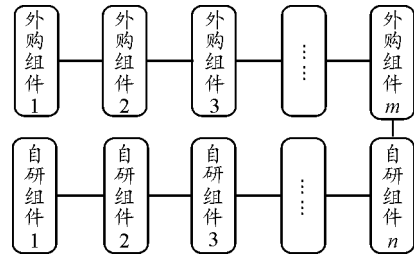


图 1 火控系统基本可靠性框图

1.2 基本可靠性数学模型

基本可靠性模型是一个串联模型, 包括那些冗余或代替工作模式的单元都按串联处理, 用以估计产品及其组成单元引起的维修及后勤保障要求。

设随机故障服从指数分布, 因而, 基本可靠性数学模型为:

$$\lambda_{s1} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (1)$$

$$\lambda_{s2} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2)$$

$$MTBF_{s1} = \frac{1}{\lambda_{s1}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \quad (3)$$

收稿日期: 2011-01-25; 修回日期: 2011-03-25
作者简介: 张振禹 (1981—), 男, 天津人, 大学本科, 从事火控研究。

$$MTBF_{s2} = \frac{1}{\lambda_{s2}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4)$$

$$\lambda_s = \lambda_{s1} + \lambda_{s2} = \sum_{i=1}^m \lambda_i + \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5)$$

$$MTBF' = MTBF \times (1 + 10\%) \quad (6)$$

$$MTBF' = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\lambda_{s1} + \lambda_{s2}} = \frac{1}{\frac{1}{MTBF_{s1}} + \frac{1}{MTBF_{s2}}} \quad (7)$$

式中: λ_{s1} 为火控系统外购组件的总失效率; λ_{s2} 为火控系统自研组件的总失效率; λ_s 为火控系统的总失效率; λ_i 为组成火控系统的各组件的失效率; $MTBF_{s1}$ 为火控系统外购组件的综合平均故障间隔时间; $MTBF_{s2}$ 为火控系统自研组件的综合平均故障间隔时间; $MTBF$ 为研制总要求下达的火控系统的平均故障间隔时间; $MTBF'$ 为火控系统进行可靠性分配时采用的平均故障间隔时间, 通常由经验式 (6) 算得。

各外购组件的失效率由生产厂家提供, 由式 (1) 和式 (3) 计算出外购组件的综合平均故障间隔时间 $MTBF_{s1}$, 由经验公式 (6) 计算出 $MTBF'$, 由式 (7) 计算出自研组件的综合平均故障间隔时间 $MTBF_{s2}$, 取值时通常比计算结果略大并取整数。

2 可靠性分配

2.1 可靠性分配方法

火控系统自研组件可靠性指标分配方法采用工程加权和专家评分相结合的评定分配方法。选择失效率 λ 作为分配参数, 工程加权主要考虑以下 5 种主要影响因素: 复杂性、成熟性、环境条件、任务时间和重要程度。

加权因子评分原则和范围如下:

1) 复杂性: 分值范围 1~20, 主要按该组件所含元器件数目的多少与机械结构复杂程度来判定。元器件数目越多, 机械结构复杂的组件分值越高;

2) 成熟性: 分值范围 1~10, 技术成熟的, 加工定型的批量生产的组件分值较低, 相反, 自研的组件分值较高;

3) 环境条件: 分值范围 1~10, 环境条件越恶劣的组件分值越高。安装在驾驶室的环境条件为 G_{M1} 级, 取 8 分; 安装在底盘的为 G_{M2} 级, 取 9 分; 安装在上架的也为 G_{M2} , 但取值 10 分;

① 重要程度: 分值范围 1~10, 对重要的组件,

在失效时会产生严重的后果, 或常会导致全系统失效, 则应分配给较低的分值;

② 任务时间: 分值 1~10, 组件工作时间越长分值越高。

根据上述评分原则和范围, 组织该产品设计人员和有关专家进行评分。

2.2 可靠性分配计算公式

对火控系统各自研组件进行可靠性指标分配时, 采用以下公式进行计算:

$$MTBF'_i = MTBF_{s2} \frac{\left(\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^5 K_{ij} \right)}{\left(\prod_{j=1}^5 K_{ij} \right)} \quad (8)$$

式中: $MTBF'_i$ 为分配给第 i 个自研组件的平均故障间隔时间计算值; K_{ij} 为第 i 个自研组件中第 j 个因素的分值。

2.3 可靠性分配结果

对火控系统各自研组件的可靠性指标分配结果如表 1。

表 1 自研组件可靠性指标分配结果

组件名称	复杂性	成熟性	环境条件	重要程度	任务时间	综合加权系数	MTBF / h 分配值	
							计算值	指令值
组件 1	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	$\prod_{j=1}^5 K_{1j}$	$MTBF'_1$	$MTBF_1$
组件 2	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	$\prod_{j=1}^5 K_{2j}$	$MTBF'_2$	$MTBF_2$
组件 3	K_{31}	K_{32}	K_{33}	K_{34}	K_{35}	$\prod_{j=1}^5 K_{3j}$	$MTBF'_3$	$MTBF_3$
.....
组件 n	K_{n1}	K_{n2}	K_{n3}	K_{n4}	K_{n5}	$\prod_{j=1}^5 K_{nj}$	$MTBF'_n$	$MTBF_n$
综合指标	—	—	—	—	—	$\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^5 K_{ij}$	$MTBF_{s2}$	$MTBF'_{s2}$

表 1 中, $MTBF'_n$ 为各自研组件的平均故障间隔时间计算值, $MTBF_n$ 为分配值, 可根据各自研组件的技术特点由 $MTBF'_n$ 调整取得。由式 (9) 计算出 $MTBF'_{s2}$, 其结果应略大于或等于 $MTBF_{s2}$ 。

$$MTBF'_{s2} = \frac{1}{\frac{1}{MTBF_1} + \frac{1}{MTBF_2} + \frac{1}{MTBF_3} + \dots + \frac{1}{MTBF_n}} \quad (9)$$

2.4 可靠性分配结果验证

将计算出的火控系统外购组件的综合平均故障间隔时间 $MTBF_{s1}$ 和自研组件的综合平均故障间隔时间 $MTBF'_{s2}$ 代入式 (10) 中计算出 $MTBF''$, 结果应大于或等于 $MTBF'$, 则表示分配结果正确。

$$MTBF'' = \frac{1}{\lambda'_s} = \frac{1}{\lambda'_{s1} + \lambda'_{s2}} = \frac{1}{\frac{1}{MTBF'_{s1}} + \frac{1}{MTBF'_{s2}}} \quad (10)$$

3 可靠性分配方法验证及结果

采用该可靠性分配方法对某型自动火炮武器火控系统的可靠性指标进行分配。火控系统基本可靠性框图如图 2。

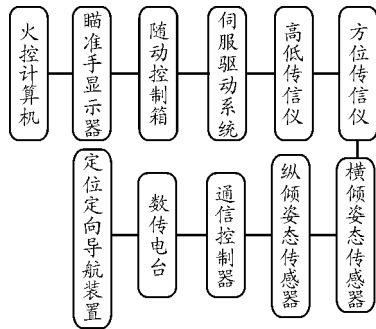


图 2 某型火控系统基本可靠性框图

在该火控系统的组成中，定位定向导航装置、数传电台、通信控制器属于外购外协组件，其可靠性指标由生产厂家提供，如表 2。

表 2 外购外协组件可靠性指标

组件名称	平均故障间隔时间 $MTBF/h$	失效率 λ/h^{-1}
定位定向导航装置	550	0.001 820
通信控制器	2 000	0.000 500
数传电台	1 200	0.000 833
综合指标	$MTBF_{s1}=317.16$	$\lambda_{s1}=0.003 153$

设计任务书下达的火控系统指标为 $MTBF \geq 100 h$ 。

根据经验公式 (6)， $MTBF'$ 取 110 h 进行可靠性分配。

由式 (1) 计算出外购组件的综合失效率 $\lambda_{s1}=0.003 153 h^{-1}$ 。

由式 (3) 计算出外购组件的综合平均故障间隔时间 $MTBF_{s1}=317.16 h$ 。

由式 (5) 计算出自研组件的综合失效率 $\lambda_{s2}=0.005 938 h^{-1}$ ，式 (7) 计算出自研组件综合平均故障间隔时间 $MTBF_{s2}=168.41 h$ ，调整结果取 $MTBF_{s2}=170 h$ 。

采用工程加权和专家评分相结合的评定分配方法，火控系统各自研组件的可靠性指标分配结果如表 3。

表 3 自研组件可靠性指标分配

组件名称	复杂性	成熟性	环境条件	重要程度	任务时间	综合加权系数	$MTBF/h$ 分配值	
							计算值	指令值
火控计算机	7.0	10.0	8	9	10	50 400	1 474.2	1 350.0
瞄准手显示器	4.5	9.0	10	10	10	40 500	1 834.6	2 000.0
随动控制箱	7.5	10.0	10	9	10	67 500	1 100.8	1 000.0
伺服驱动系统	10.0	8.2	10	10	10	82 000	906.1	900.0
高低传信仪	4.3	7.9	10	10	10	33 970	2 187.3	2 500.0
方位传信仪	8.1	8.0	10	10	10	64 800	1 146.6	1 500.0
横倾姿态传感器	5.5	8.9	10	10	10	48 950	1 517.9	1 600.0
纵倾姿态传感器	5.5	8.9	10	10	10	48 950	1 517.9	1 600.0
综合指标	—	—	—	—	—	437 070	170.0	176.4

由式 (8) 计算出火控系统各自研组件平均故障间隔时间的计算值 $MTBF'_i$ ，调整后得到指令值 $MTBF_i$ ，代入式 (9) 算得 $MTBF'_{s2}=176.4 h$ 。

将 $MTBF_{s1}=317.16 h$ 和 $MTBF'_{s2}=176.4 h$ 代入式 (10)，算得 $MTBF''=113.4 h$ ，略大于 $MTBF'=110 h$ ，分配结果正确。

4 结束语

该可靠性分配方法基于火控系统基本可靠性指标 $MTBF$ ，通过建立基本可靠性模型，采用工程加权和专家评分相结合的评定分配方法，实现了对火控系统的可靠性指标分配，分配结果合理，符合下达的火控系统可靠性指标要求，可以有效指导火控系统设计阶段的可靠性分配工作。

参考文献:

- [1] 王世萍, 朱敏波. 电子机械可靠性与维修性[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [2] 中华人民共和国国家军用标准 GJB 451A-2005 可靠性维修性保障性术语[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2005.
- [3] 周全, 曲玉琨, 钟良海, 等. 某新型榴弹炮火控系统效能分析[J]. 四川兵工学报, 2010(10): 22-23.
- [4] 中华人民共和国国家军用标准 GJB 813-90 可靠性模型的建立和可靠性预计[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 1990.
- [5] 管怀建, 唐亮, 邓志江. 基于正负理想点法的火炮武器系统作战效能评估[J]. 兵工自动化, 2010, 29(3): 44-46.
- [6] 何国伟. 机电产品的可靠性[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.