

doi: 10.7690/bgzd.2016.01.008

故障树分析技术在某型发射装置弹射机构中的应用

姜 维

(中国空空导弹研究院第十六研究所, 河南 洛阳 471009)

摘要: 为找出发射装置弹射机构的薄弱环节, 以发射装置弹射机构无法弹射为顶事件建立故障树, 采用故障树分析法, 找出导致顶事件发生的各种原因和原因组合, 在统计分析电子元器件、结构件和液压元件故障发生概率的基础上开展了故障树定量分析。在各底事件中电子元器件的重要度较高, 结构件和液压元件的重要度较低, 在研制中对电子元器件应重点关注。

关键词: 故障树分析; 发射装置; 弹射机构

中图分类号: TJ768.2 **文献标志码:** A

Application of Fault Tree Analysis for Ejection Mechanism of Launch Device

Jiang Wei

(No. 16 Institution of China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: In order to find out the weakness of the ejection mechanism of launch device, a fault tree for the ejection mechanism of launch device unable to eject was built in this text. A variety of reasons or combination reasons for the fault tree was found out through the fault tree analysis method, the quantitative analysis of fault tree was developed on the basis of the statistical analysis of fault probability of electronic components, structural parts and hydraulic component. The results show that in the bottom events, the important degree of structure and hydraulic components are lower, and the emphasis should be focused on the electronic components in the development.

Keywords: fault tree analysis; launch device; ejection mechanism

0 引言

弹射机构是发射装置的重要组成部分, 主要用于导弹的挂载和弹射。由于弹射机构结构复杂, 工作环境严酷, 其可靠性直接影响载机的性能和任务的完成。基于此, 笔者将采用故障树分析法 (fault tree analysis, FTA) 对发射装置弹射机构进行分析, 找出影响产品可靠性的薄弱环节, 为产品可靠性的提高指明改进方向。

1 发射装置弹射机构故障树建立

在分析发射装置弹射机构功能原理的基础上, 以重点关注的事件“发射装置弹射机构无法弹射”作为顶事件建立故障树。发射装置弹射机构弹射涉及到控制电路、动力组件和执行机构等环节, 任何一部分发生故障将导致发射装置无法弹射导弹。

为保证故障树建立准确合理, 做出以下假设:

- 1) 载机工作正常;
- 2) 发射装置与载机的接口工作正常。

基于以上假设, 以“弹射机构无法弹射”作为顶事件建立故障树, 依次找出导致该项事件发生且有因果关系的中间事件, 并用相应的逻辑门把故障

事件连接起来逐步深入, 直到不需要或不可能继续分析原因的底事件为止^[1-2]。建立的故障树见图 1。

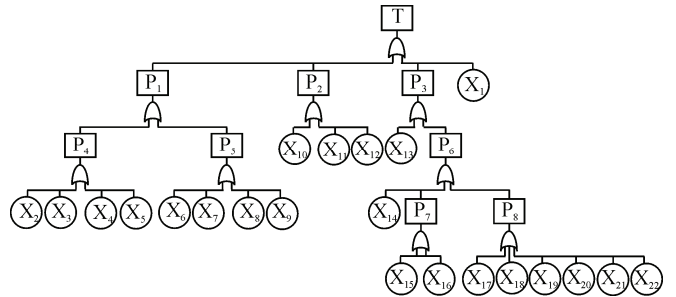


图 1 弹射机构无法弹射故障树

故障树中各事件说明如下:

T 为弹射机构无法弹射; P₁ 为弹射机构故障; P₂ 为弹射动力组件故障; P₃ 为电路盒故障; P₄ 为构件断裂; P₅ 为连接轴断裂; P₆ 为硬件故障; P₇ 为无 28 V 电压; P₈ 为控制板电路故障; X₁ 为电缆故障; X₂ 为前支撑断裂; X₃ 为前推臂断裂; X₄ 为后支撑断裂; X₅ 为后推臂断裂; X₆ 为连接轴 1 断裂; X₇ 为连接轴 2 断裂; X₈ 为连接轴 3 断裂; X₉ 为连接轴 4 断裂; X₁₀ 为慢速阀故障; X₁₁ 为导阀故障; X₁₂ 为主阀故障; X₁₃ 为软件故障; X₁₄ 为滤波器故障; X₁₅ 为 DC 模块失效; X₁₆ 为前端稳压模块故障; X₁₇

收稿日期: 2015-09-20; 修回日期: 2015-10-26

作者简介: 姜 维(1982—), 男, 河南人, 硕士, 工程师, 从事装备可靠性技术研究。

为时钟晶振失效; X_{18} 为 DSP 系统失效; X_{19} 为叠加连接器故障; X_{20} 为可编程逻辑器件失效; X_{21} 为 D/A 器件失效; X_{22} 为电源基准失效。

2 故障树分析

图 1 的发射装置弹射机构无法弹射故障树共有 22 个最小割集, 全部为一阶割集, 其重要程度相同。

故障树定量分析是在各底事件互相独立和已知其发生概率的条件下, 计算顶事件发生概率和底事件重要度等定量指标^[3]。因故障树中涉及到的各底事件故障数据缺乏, 笔者将针对涉及到的电子元器件、结构件和液压元件采用不同的计算方法粗略估计各底事件的发生概率(软件故障发生概率目前无法计算, 暂时忽略)。

2.1 电子元器件故障发生概率

发射装置挂弹飞行阶段电路盒处于工作状态, 文中取最严酷状态进行计算, 即载机飞行 3.5 h 后发射导弹。电子元器件的失效率从 GJB/Z 299C—2006、MIL-HDBK-217F 等标准中查找, 其可靠度采用可靠性预计方法按工作 3.5 h 计算。电子元器件的故障发生概率见表 1。

表 1 电子元器件故障发生概率

元器件	可靠度	故障发生概率
滤波器	0.999 994 0	0.000 006 0
DC 模块	0.999 990 0	0.000 010 0
前端稳压模块	0.999 992 0	0.000 008 0
时钟晶振	0.999 990 0	0.000 010 0
DSP 系统	0.999 983 0	0.000 017 0
叠加连接器	0.999 990 0	0.000 010 0
可编程逻辑器件	0.999 999 0	0.000 001 0
D/A 器件	0.999 993 0	0.000 007 0
电源基准	0.999 997 0	0.000 003 0
电缆	0.999 997 8	0.000 002 2

2.2 结构件故障发生概率

前支撑断裂、前推臂断裂、后支撑断裂、后推臂断裂 4 个底事件中涉及到结构件, 其材料为镁合金, 强度极限为 400 MPa, 采用有限元分析方法得到各结构件最大应力。在连接轴 1 断裂、连接轴 2 断裂、连接轴 3 断裂、连接轴 4 断裂 4 个底事件中, 由于连接轴在有限元分析中建模较为困难, 难以计算其最大应力。在发射装置所开展的强度、振动试验中连接轴未出现故障, 并已提出使用补偿措施提高其使用可靠性。在本故障树定量计算中假定其可靠度为 0.999 999 9。

假定结构件的材料强度极限和应力均服从正态分布, 强度和应力的变异系数均为 0.1, 计算各构件可靠度系数 β , 查询标准正态分布表得到各构件可

靠度 R , 计算公式见式 (1)。各结构件可靠度及故障发生概率计算结果见表 2。

$$\beta = \frac{\mu_s - \mu_s}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_s^2}}, R = \Phi(\beta) \quad (1)$$

表 2 结构件可靠度及故障发生概率

结构件	最大应力/MPa	可靠度	故障发生概率
前支撑	100	0.999 999 9	0.000 000 1
前推臂	131	0.999 999 9	0.000 000 1
后支撑	155	0.999 999 9	0.000 000 1
后推臂	189	0.999 999 6	0.000 000 4

2.3 液压元件故障发生概率

发射装置挂弹飞行阶段液压元件不工作, 在导弹发射阶段发射装置完成空中充液、弹射等工作, 此时液压元件处于工作状态, 持续时间大约 20 s。

目前掌握的液压元件相关数据仅有厂家提供的液压元件的平均故障间隔时间 MTBF 数据。在航空产品中使用的液压元件, 既要排除早期故障, 又不希望用到老化失效期, 因而其有效使用寿命是服从指数分布规律。实践结果证明: 一般产品在随机失效期, 其寿命通常也接近指数分布, 即失效率趋近为一常数^[4]; 因此, 笔者按指数分布计算液压元件的可靠度。液压元件可靠度及故障发生概率见表 3。

表 3 液压元件可靠度及故障发生概率

液压元件	MTBF/h	可靠度	故障发生概率
慢速阀	6 000	0.999 999 9	0.000 000 1
导阀	6 000	0.999 999 9	0.000 000 1
主阀	6 000	0.999 999 9	0.000 000 1

2.4 故障树定量分析

在本故障树定量计算中作如下假设: 各底事件之间相互独立, 底事件和顶事件都只考虑 2 种状态, 即发生或不发生。本故障树各最小割集的底事件互不相同, 各个最小割集之间互相独立, 各个最小割集发生(或不发生)互不相关, 可用独立近似计算方法进行顶事件计算^[5], 公式如下:

$$P(T) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(x_i)] \quad (2)$$

式中: x_i 为底事件, $i=1, 2, \dots, n$; T 为顶事件; $P(x_i)$ 为底事件发生概率; $P(T)$ 为顶事件发生概率。

根据前文得到的各底事件发生概率, 利用式 (2) 计算得到顶事件发生概率为: $P(T)=9.15 \times 10^{-6}$ 。

从可靠性角度看, 发射装置中各组成部分的重要程度不同, 故障树各底事件对顶事件发生的影响大小不同。各底事件中概率重要度和结构重要度计算结果见表 4(按重要度从大到小排列前 10 位)。