

doi: 10.7690/bgzdh.2019.11.020

逆向 FTF 方法在制导弹药故障分析中的应用

高萌¹, 吕向群¹, 丁超², 李超¹

(1. 陆军工程大学军械士官学校, 武汉 430075; 2. 长城机械厂军代室, 湖南 娄底 417000)

摘要:为解决末制导炮弹控制系统失效的问题, 提出一种用于末制导炮弹控制系统可靠性分析的逆向 FTF 方法。根据控制系统构和原理, 在综合 FTA 和 FMECA 方法的基础上, 利用逆向 FTF 法对末制导炮弹进行了故障分析, 通过对控制系统底事件进行 FMECA 分析, 确定其失效原因、失效影响和严酷度等级, 得出末制导炮弹控制系统故障的关键故障模式。研究结果表明: 该方法具有一定的实用性, 可为末制导炮弹控制系统的改进及炮弹延寿工作提供参考依据。

关键词: 制导弹药; 逆向 FTF; 故障分析

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

Application of Inverse FTF Method in Failure Analysis of Terminal Guided Ammunition

Gao Meng¹, LYU Xiangqun¹, Ding Chao², Li Chao¹

(1. Ordnance Petty Officer Institute of PLA, PLA University of Army Engineering, Wuhan 430075, China;

2. Military Representatives Office, Great Wall Machinery Factory, Loudi 417000, China)

Abstract: In order to solve the problem of failure of control system of terminal guided ammunition, this paper proposed a method of HI-FMECA for reliability analysis of the control system of terminal guidance projectile. According to the structure and principle of the control system and on the basis of the comprehensive methods of FTA and FMECA, the HI-FMECA method was used to analyze the failure of the terminal guidance projectile. Through the FMECA analysis of the bottom events of the control system, the failure reason, and failure influence, and severity level were determined, and the key failure mode of the terminal guidance projectile control system was obtained. The results showed that this method was practical. It provided a certain basis for the control system of terminal guidance projectile and life extension work of shells.

Keywords: guided ammunition; inverse FTF; failure analysis

0 引言

末制导弹丸由控制舱和弹舱构成。控制舱内装有弹上控制系统, 由鼻锥部、自动导引头、自动驾驶仪等组成^[1]。相对于传统炮弹, 激光末制导炮弹结构复杂、技术密集度高^[1]。在末制导炮弹大量试验中, 多发炮弹未击中目标, 其中控制系统失效是发生故障的重要原因; 因此, 找出控制系统关键故障和关键部件尤为重要。

FTA (fault tree analysis) 法由于故障树的建立、定性分析及定量计算比较复杂, 大型的故障树不便理解, 而 FMECA (failure mode effects and criticality analysis) 法在具体应用中容易出现疏漏, 不适合进行复杂关系的因果分析^[2]。FTF^[3]分析法是 FTA 和 FMECA 相结合的综合方法, 可分为正向 FTF 法和逆向 FTF 法 2 种。正向 FTF 法首先进行 FMECA, 依据结果确定顶事件, 再进行 FTA, 这种方法分析比较全面详细, 但对复杂系统分析周期长、工作量

较大。逆向 FTF 法先依据系统功能要求确定顶事件, 有针对性地对 FTA 得到的底事件进行 FMECA, 不仅可以重点分析复杂系统的多种因素影响, 能较细致地考虑多重故障问题, 而且可以克服正向 FTF 方法中 FME-CA 的盲目性, 节约大量的分析时间。笔者综合 FTA 和 FMECA 法, 提出一种合理的逆向 FTF 分析法。利用该方法对末制导炮弹控制系统进行故障模式分析, 确定导致故障的关键部件, 为系统的改进和维修延寿提供参考。

1 逆向 FTF 方法

逆向 FTF 方法的原理是: 先进行 FTA 分析, 找出导致顶事件发生的全部原因事件, 即第一次故障原因分析 (FTA), 然后对底事件进行 FMEA 分析, 计算各个底事件的危害度 (criticality analysis, CA) 大小, 即第二次故障原因分析 (FMECA), 进而确定危害度大的故障模式和导致控制系统失效的关键部件, 其步骤见图 1 所示。

收稿日期: 2019-07-11; 修回日期: 2019-08-29

作者简介: 高萌 (1989—), 男, 河北人, 硕士, 助教, 从事弹药检测与质量评估研究。E-mail: 623533238@qq.com。

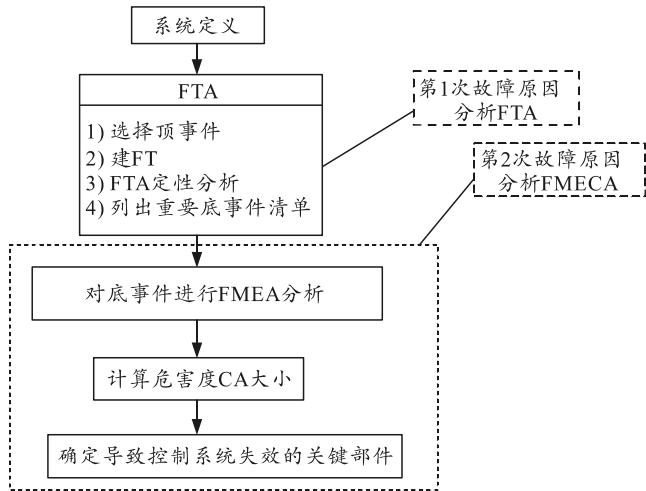


图 1 逆向 FTF 方法的原理

2 应用实例

2.1 控制系统构造与原理

末制导炮弹主要由控制舱和弹舱组成。控制舱内装有控制系统，由鼻锥部、自动导引头、自动驾

驶仪组成。鼻锥部主要由待发程控装置、风帽、电爆管和鼻锥装药组成，用于保护导引头的光学部件，可适时抛掉，露出光学元件。自动驾驶仪主要由整流罩、位标器和电子舱组成，用于弹道末段捕获目标并自动导向目标。自动驾驶仪由驱动装置、惯性陀螺、电源装置等组成，用于控制弹丸按一定的导引规律飞行^[4]。末制导炮弹控制系统结构如图 2。

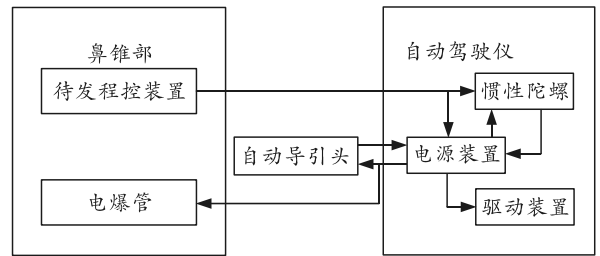


图 2 末制导炮弹控制系统结构

2.2 FTA 分析

结合研究背景，按照 FTA 的一般步骤，对末制导炮弹控制系统开展故障树分析。结果如图 3 所示。

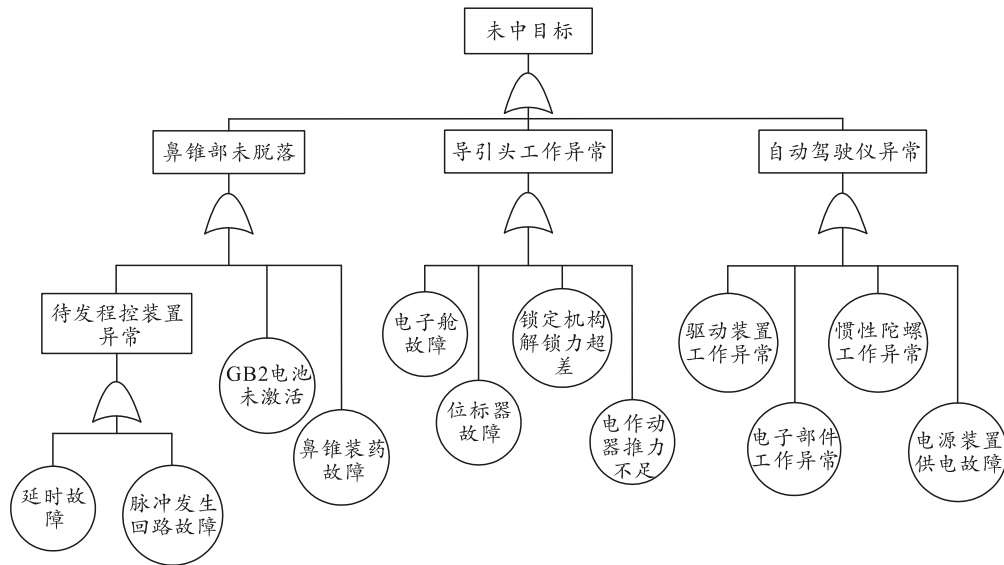


图 3 控制系统故障树

2.3 FMECA 分析

对控制系统底事件进行 FMECA 分析，主要是确定其故障模式及影响和严酷度等级。依据 GJB/Z1391，严酷度类别的定义如表 1 所示。

表 1 严酷度类别的定义

严酷度类别	严酷度定义
I 类 (灾难的)	炮弹控制系统毁坏或重大财产损失。
II 类 (致命的)	炮弹控制系统严重损坏、任务失败或重大财产损失。
III 类 (中等的)	炮弹控制系统中等程度损坏、任务延误或中等程度财产损失。
IV 类 (轻度的)	炮弹控制系统轻度损坏。

故障模式危害度的计算公式^[5] $C_i = \beta_i \alpha_i \lambda_p t$ 。式中： β_i 为故障模式影响概率； α_i 为故障模式频数比； λ_p 为故障率； t 为工作时间； $\beta=1$ ，表示系统肯定发生失效； $\beta=0.5$ ，表示系统可能发生失效； $\beta=0.1$ ，表示系统很少发生失效； $\beta=0$ ，表示对系统无影响； λ_p 通过产品说明书和历史故障数据分析获得。

根据制导弹药控制系统历史故障数据^[6]，综合其故障模式影响及危害度分析，结果如表 2 所示。根据严酷度等级和 CA 大小，可得危害性矩阵如图 4 所示。故障模式分布点沿对角线方向距离原点越

远，则故障模式的危害度越大。由图可以看出对控制系统故障危害性从高到低的顺序为：6、1、9、7、12、8、2、5、3、11、4、10。可见，6(位标器故障)、

1(延时故障)、9(驱动装置工作异常)的危害度明显大于其他故障模式，应视为末制导炮弹控制系统故障的关键故障模式。

表 2 末制导炮弹控制系统 FMECA

序号	故障模式	故障影响	严酷度	失效模式危害度 $C = \beta_i \alpha_i \lambda_p t$				
				β_i	α_i	λ_p	t	C_i
1	延时故障	延时偏差，鼻锥部未安装定时间脱落	II	0.6	1.00	0.83×10^{-5}	1	5×10^5
2	脉冲发生回路故障	无正负脉冲电压，鼻锥部不能正常脱落	II	0.4	1.00	2.65×10^{-6}	1	1.06×10^{-6}
3	GB2 电池未激活	热电池未供电，鼻锥部不能正常脱落	II	0.6	0.44	0.84×10^{-6}	1	0.22×10^{-6}
4	鼻锥装药故障	输出能量不足，鼻锥部不能正常脱落	III	0.6	0.23	0.19×10^{-4}	1	2.6×10^{-6}
5	电子舱故障	比例导引能力下降，导引头工作异常	II	0.2	1.00	0.04×10^{-4}	1	0.8×10^{-6}
6	位标器故障	不能保证视场角和映射目标，导引头工作异常	II	0.6	1.00	0.15×10^{-4}	1	9×10^{-6}
7	锁定机构解锁力超差	不能有效调节陀螺运动，导引头工作异常	II	0.4	1.00	8.23×10^{-6}	1	3.29×10^{-6}
8	电作动器推力不足	不能有效控制物镜动作，导引头工作异常	III	0.6	0.41	0.20×10^{-4}	1	5×10^{-6}
9	驱动装置工作异常	比例导引能力下降	II	0.2	0.23	0.94×10^{-6}	1	4.3×10^{-6}
10	电子部件工作异常	电信号无法正常传输，比例导引能力下降	III	0.2	0.05	0.56×10^{-6}	1	0.6×10^{-6}
11	惯性陀螺工作异常	惯性制导能力下降	II	0.4	0.26	0.04×10^{-4}	1	0.4×10^{-6}
12	电源装置供电故障	无法供电，比例导引能力下降	II	0.2	0.20	0.83×10^{-4}	1	3.3×10^{-6}

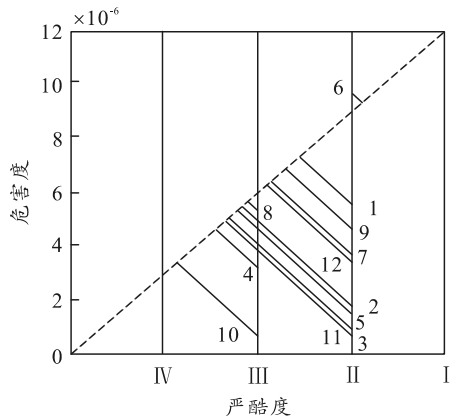


图 4 控制系统故障模式危害性矩阵

3 结束语

笔者采用逆向 FTF 法对末制导炮弹控制系统进行了 2 次故障原因分析，计算出危害度 CA 大小，得出了位标器故障、延时故障、驱动装置工作异常等故障模式是导致末制导炮弹控制系统故障的关键

环节，在末制导炮弹进行检测验收时，可重点检测引起故障的部位。

参考文献：

- [1] 张年松. 弹药制导与控制系统基础[M]. 北京: 北京理工大学, 2015: 10-12.
- [2] 孙华, 唐晓庆, 李瑞. FMECA 和 FTA 综合分析法在动密封系统中的应用[J]. 装备学院学报, 2015, 26(6): 84-85.
- [3] 陈颖. FMECA 技术及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 286-287.
- [4] 刘建平. 激光末制导炮弹故障分析[J]. 火箭与制导学报, 2007, 27(5): 125-126.
- [5] 朱向明, 周凤岐, 张树征. 防空导弹引信飞行试验故障模式影响分析[J]. 探测与控制学报, 2009, 31(3): 3942.
- [6] 刘耀辉, 刘小方, 张毅, 等. 某型导弹发射单元机动作战伴随保障能力评估[J]. 兵工自动化, 2018, 37(8): 73-77.