

【理论与探索】

FTA 在电子时间引信失效模式分析中的应用*

王晓方¹,高森林²,赵晓利¹,刘秋生¹

(1. 军械工程学院,石家庄 050003; 2. 沈阳军区装备部,沈阳 110021)

摘要:对 FTA 以及某型电子时间引信的组成及工作原理作了介绍,并通过建立故障树失效模型,对系统的失效模式进行分析,为系统的改进设计和维修打下良好的基础.

关键词:故障树分析法;故障树;失效模式分析

中图分类号:TP206 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-0707(2008)01-0053-04

引信的检测和维修在引信的质量保障体系中有举足轻重的作用,而对引信的失效模式分析则为其检测和维修奠定了理论基础,是检测和维修工作中不可或缺的一部分. FTA(故障树分析法)是一种演绎分析方法,可对系统的安全性和可靠性进行分析. 本研究以某型电子时间引信为例,利用故障树分析法,对其失效模式进行分析,在分析的基础上,确定系统失效原因的各种可能组合方式或发生概率,进而计算系统失效的概率.

1 FTA 简介

故障树分析法(Fault Tree Analysis)简称 FTA 法. 它把系统最不希望发生的故障状态作为故障分析的目标,把选定的系统故障状态称为顶端事件. 沿着这样的思路进行分析:首先,分析人员提出并回答“有哪些直接的因素能造成顶事件的出现”;然后找出这些因素中每一个因素又是由什么下一级因素引起的. 按照这个线索步步深入,一直追溯到那些原始的、故障机理或概率分布都是已知的、不需继续分析的因素为止. 因此,故障树实质上就是事件之间的一张逻辑关系图.

故障树分析法的实施步骤包括:选取顶事件,建立故障树,求故障树的最小割集,求系统故障概率.

2 某型电子时间引信的组成及工作原理

电子时间引信具有作用时间长、时间准确度高、可靠性好,以及可长线装定或遥控装定等优点. 某型电子时间点火引信配用于榴弹炮、加榴炮、加农炮反坦克子母弹、箭形弹和照明弹等特种弹上,作为母弹舱引信.

2.1 引信的功能与组成结构

引信主要由引信体、电子组件、快激活电池、传爆序列和保险机构组成,电子时间引信基本组成如图 1.

2.2 引信各部作用及工作流程

- 1) 电子组件的主要任务是完成计时,弹道保险和输出点火信号等.
- 2) 快激活电池的功能是为引信的电路正常工作提供电压和电流.

* 收稿日期:2007-09-29

作者简介:王晓方(1983—),男,硕士研究生,主要从事弹药智能与信息化技术研究.

3) 传爆序列的功能是传递爆轰能量,引爆弹药主装药.

4) 保险机构是为了防止引信在勤务处理或发射过程中发生意外而解除保险作用,并在预定条件下才解除保险.

引信的工作流程为:发射后,在后坐力作用下,惯性销克服惯性销簧抗力下移,释放制动爪(2个中的1个),制动爪在离心力作用下克服扭力或抗力向外转动,释放回转体,回转体在离心力的作用下开始转动;同时,电池中快激活机构的后坐、离心保险也解除,电池激活,开始对电路供电.此时引信电路中的时基振荡器立即起振,并通过同步脉冲发生器产生长脉冲和短脉冲,使引信电路恢复到初始工作状态,并将存储管中所存的装定时间以反码的形式取到存储计数器中,同时将弹道保险电路置于保险状态,然后开始引信的计时过程.

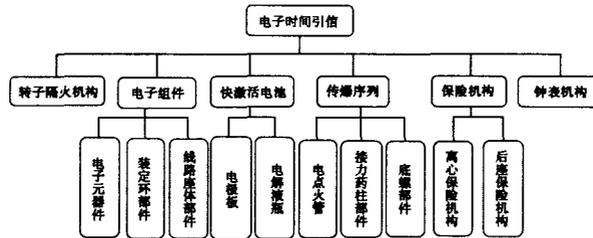


图1 电子时间引信基本组成

出炮口后,当弹丸飞行到距炮口一定距离以外时,回转体旋转到位,传火序列对正,解除隔火状态;弹道上,存储计数器继续工作.当飞行到装定时间时,存储计数器计满,其进位脉冲触发点火电路,电点火管发火,引燃传火药,使弹丸作用.其中引信的电路部分工作流程如图2所示.

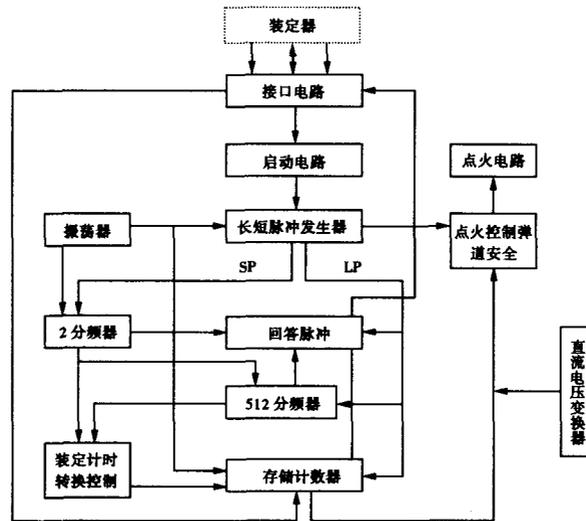


图2 电子时间引信电路工作流程

3 在 FTA 下建立故障树

假设该系统及各部件只有正常或故障 2 种状态,且各部件的故障相互独立.

设 x_i 表示底事件 i 的状态变量, x_i 仅取 0 或 1 两种状态,取引信失效为顶事件, Φ 表示为其状态变量,也仅取 0 或 1 两种状态,则有如下定义:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{底事件 } i \text{ 发生(即部件故障)} (i = 1, 2, 3, \dots) \\ 0 & \text{底事件 } i \text{ 不发生(即部件正常)} (i = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

$$\Phi = \begin{cases} 1 & \text{顶事件发生(即引信失效)} \\ 0 & \text{顶事件不发生(即引信正常)} \end{cases}$$

引信故障树如图 3 所示。

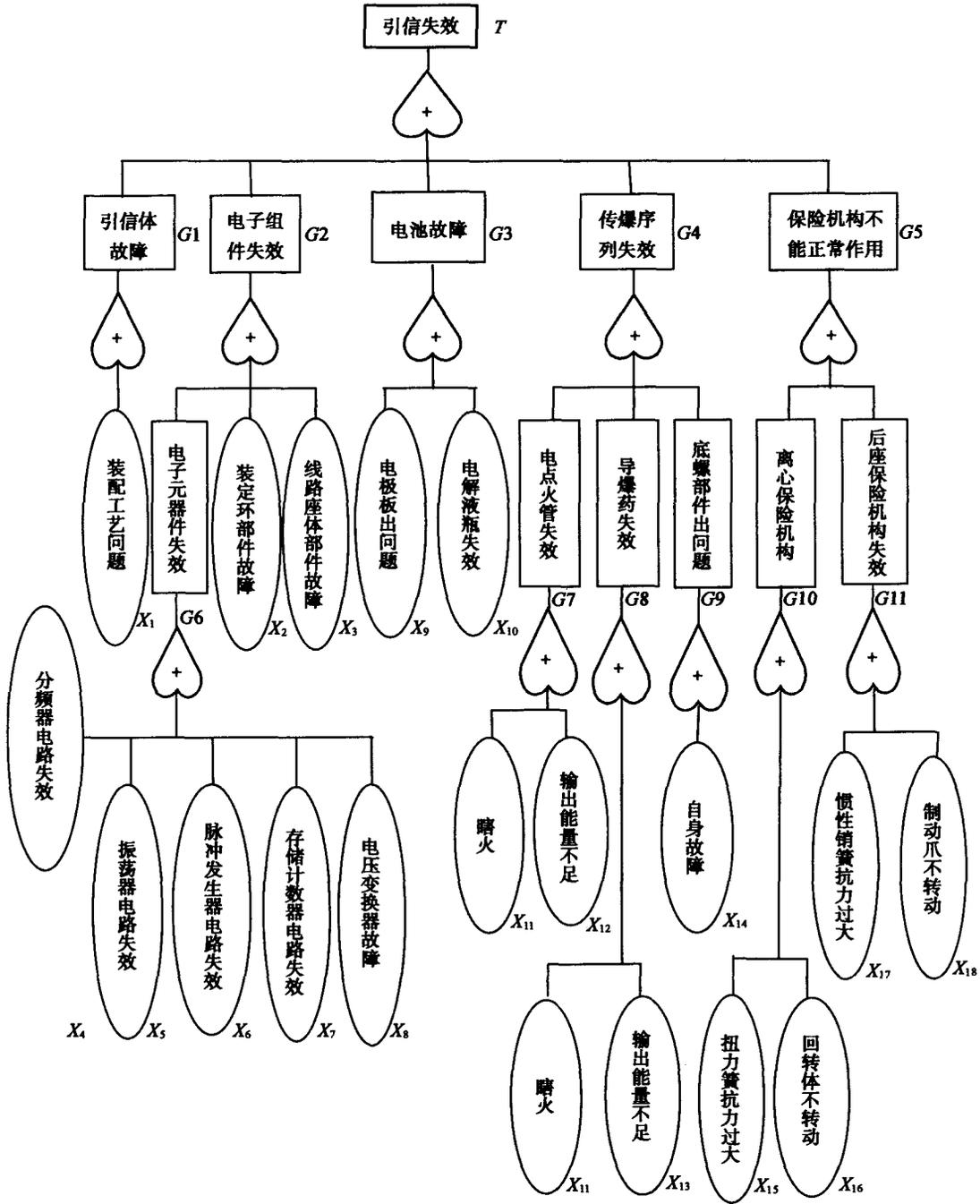


图 3 引信作用故障树

4 基于 FTA 的失效模式分析

利用下行法,求得系统失效树的隔集为: $\{x_1\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_8\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_9\}, \{x_{10}\}, \{x_{11}\}, \{x_{12}\}, \{x_{11}\}, \{x_{13}\}, \{x_{14}\}, \{x_{15}\}, \{x_{16}\}, \{x_{17}\}, \{x_{18}\}$.

由假设条件,各个底事件相互独立,故设每个底事件的故障概率为 $q_i (i = 1, 2, 3, \dots, 18)$. 则可以求

得

1) 系统的不可靠度(失效率) $F_s(t)$ 为:

$$F_s(t) = E[\emptyset(X)] = E\left[1 - \prod_{i=1}^{18} (1 - x_i)\right] = 1 - E[1 - x_1(t)]E[1 - x_2(t)] \cdots E[1 - x_{18}(t)] = \\ 1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - \\ q_{10})(1 - q_{11})(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18}) \quad (1)$$

2) 底事件的概率重要度. 底事件的概率重要度以符号 $I_p(i)$ 表示,它表示第 i 个底事件的概率重要度,并定义为:

$$I_p(i) = \frac{\partial}{\partial q_i} F_s(q_1, q_2, \dots, q_{18}) \quad (2)$$

其中 $F_s(q_1, q_2, \dots, q_{18})$ 为顶事件发生的概率,在底事件相互独立的条件下,它是各底事件发生概率 q_1, q_2, \dots, q_{18} 的一个函数.

第 i 个底事件的概率重要度定义为:第 i 个底事件发生概率的微小变化而导致顶事件发生概率的变化率.

将式(1)代入式(2),可求得:

$$I_p(1) = (1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - \\ q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18}) \\ I_p(2) = (1 - q_1)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - \\ q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18}) \\ \dots\dots$$

$$I_p(18) = (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - \\ q_{10})(1 - q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})$$

3) 底事件的相对概率重要度($I_c(i)$)

底事件的相对概率重要度以符号 $I_c(i)$ 表示,它表示第 i 个底事件的相对概率重要度,并定义为:

$$I_c(i) = \frac{q_i}{F_s(q_1, q_2, \dots, q_{18})} \frac{\partial}{\partial q_i} F_s(q_1, q_2, \dots, q_{18})$$

第 i 个底事件的相对概率重要度定义为:第 i 个底事件发生概率微小的相对变化而导致顶事件发生概率的相对变化率.

将式(1)代入式(3),可求得

$$I_c(1) = \frac{(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18})}{1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18})} \\ I_c(2) = \frac{q_2(1 - q_1)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18})}{1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18})} \\ \dots\dots \\ I_c(18) = \frac{q_{18}(1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})}{1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)(1 - q_5)(1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - q_{11})^2(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})(1 - q_{16})(1 - q_{17})(1 - q_{18})}$$

通过以上分析,得到了系统的不可靠度(失效率)以及各底事件的概率重要度,可以看出对系统影响较大的是引信的电子组件部分,也可以看出,该系统故障树多为“或门”形式,即任一单元部件失效(故障)都会导致整个系统的失效,而引信系统作为整发弹的“大脑”,一旦失效,整发弹也将陷入瘫痪状态,所以在以后的检测和维修过程中,应该予以充分考虑.

参考文献:

- [1] 郭芳筠. 弹药可靠性工程基础[M]. 北京:兵器工业出版社,1991.
- [2] 郭永基. 可靠性工程原理[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [3] 李彦学,智墩旺. 无线电与电子时间引信[M]. 北京:兵器工业出版社,1996.
- [4] 赵晓利,王军波. 弹药学[M]. 北京:解放军出版社,1998.
- [5] GJB/Z29A-2003,引信典型故障树手册[P].