

# 基于故障树的导弹发控系统故障模式及原因分析\*

郭留河,张云峰

(装甲兵工程学院,北京 100072)

**摘要:**为了给导弹发控系统原位故障定位仪的软件设计提供快速准确的故障定位策略,深入分析了某导弹发控系统的组成、工作原理和实际使用过程中出现过的故障记录,以系统自检过程为研究对象,利用FTA方法建立了系统故障树模型,对建立的故障树模型进行了定性和定量分析,计算了最小割集重要度,确定了系统的主要故障模式、故障原因和故障定位的优先等级,为快速故障定位策略奠定了理论和实践基础。

**关键词:**故障树;导弹发控系统;自检;故障模式

**中图分类号:**E927.5 **文献标志码:**A

## The Failure Mode and Cause Analysis of Missile's Launch and Control System Based on Fault Tree

GUO Liuhe, ZHANG Yunfeng

(The Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

**Abstract:** In order to provide quick and correct fault positioning strategy for the software design of in situ fault position indicator of missile launching and control system, analysis of elements and working principles of the missile launching and control system was made. Taking the missile launching and control system as the research object, a FTA method was used to build fault tree, and qualitative and quantitative analysis was made for it, minimum mow was calculated to gather importance, the main fault mode, the fault reason and the initiative period of fault position were confirmed and this lays theoretical and practice foundation for the quick and accurate fault positioning.

**Keywords:** fault tree; missile's launch and control system; self-test; fault mode

### 0 引言

反坦克导弹是步兵战车的主要反装甲武器。导弹发控系统是导弹系统中除导弹外的车载部分,包括电视测角仪、导弹控制盒、显控盒、操纵台、发射托架、发射架和连接电缆等。为了便于检查系统的技术状态是否正常,判断能否发射导弹,系统内置了功能较强的自检模块<sup>[1]</sup>。当自检不正常时,就表明发控系统有故障,不能发射导弹。为了在出现自检不正常的情况下,快速确定故障原因,文中运用故障树方法,研究了该系统的故障模式和故障原因,确定了故障定位的优先等级和快速故障定位策略。

### 1 系统自检原理

发控系统自检原理如图1所示,当状态选择开关置“自检”位时,状态控制电压 SELFC 和自检标志电

压 SELF1 均为低电平。给导弹系统加电后,发控系统就在微处理器的控制下依次检查导弹控制盒初始供电电路输出电压、回输信号处理电路、功率放大电路输出电压幅度、解锁控制电路等关键电路工作的正确

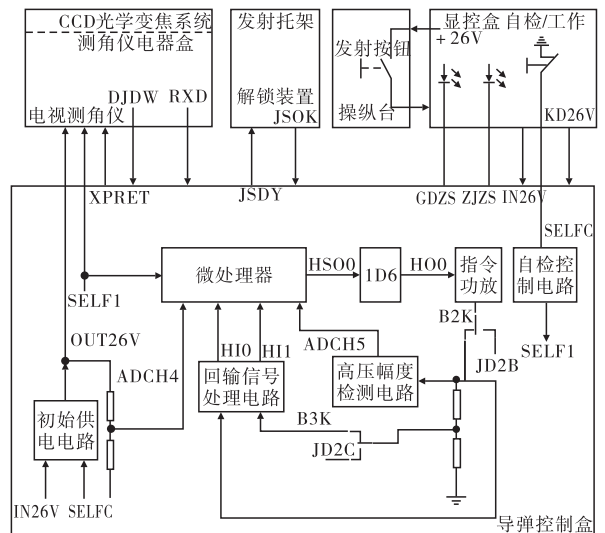


图1 发控系统自检原理框图

\* 收稿日期:2012-07-19

作者简介:郭留河(1960-),男,山东阳谷人,副教授,硕士生导师,研究方向:导弹工程与运用。

性,检查发射托架解锁电磁阀及微动开关动作的正确性,并控制测角仪变焦和自检。当系统正常时,显控盒上的自检指示灯周期闪烁,否则,自检指示灯保持常亮。

## 2 故障树建立

按照建立故障树的一般步骤,首先将导弹发控系统故障作为顶事件  $T_1$ ,再将导致  $T_1$  发生的直接原因“导弹发射故障  $A_1$ ”和“导弹控制故障  $B_1$ ”并列作为第二级,其中“ $A_1$ ”又由“发射指令失效  $C_1$ ”和“发射托架失效  $D_1$ ”两个原因引起。导致  $D_1$  失效的原因又由部件级(如发射架锁定机构  $H_1$ 、导弹锁定机构  $I_1$ 、电磁解锁机构  $J_1$  等),最终搜寻到元器件级(如微动开关  $X_{22}$ 、锁子弹簧  $X_{21}$ 、电磁阀  $X_{25}$  等)。如此逐级展开,最终找到故障树的所有底事件,经过适当简化后得到如图 2 所示的故障树。

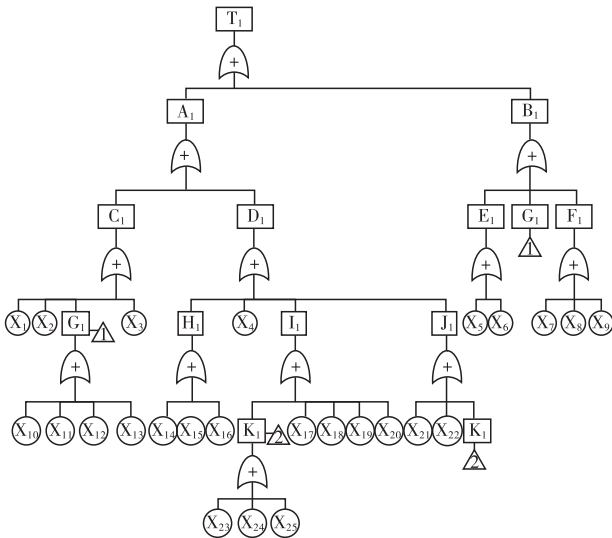


图 2 发控系统故障树

根据发控系统实际和故障定位到部件的需要,参考使用过程中的故障统计结果<sup>[2]</sup>,利用元器件计数可靠性预计法<sup>[3]</sup>,把图 2 中的底事件上移到系统部件接口或部件检测

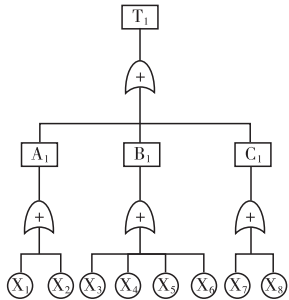


图 3 发控系统故障树简化模型

口的可测量上,得到如图 3 所示的简化故障树模型,其门事件含义如表 1 所示,各底事件的概率数值如表 2 所示。

表 1 故障树门事件含义

序号	门或事件	含义
12	$T_1$	自检不正常
11	$A_1$	电视测角仪故障
10	$B_1$	导弹控制盒故障
9	$C_1$	电磁解锁装置故障
8	$X_8$	微动开关故障
7	$X_7$	解锁电磁阀衔铁不动
6	$X_6$	导弹控制盒 CPU 故障
5	$X_5$	输入电路不正常
4	$X_4$	高压指令不正常
3	$X_3$	初始供电电路输出电压不正常
2	$X_2$	测角仪自检不正常
1	$X_1$	CCD 变焦不正常

表 2 底事件概率表

标号	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
概率	0.3	0.08	0.01	0.1	0.05	0.01	0.2	0.4

## 3 故障树模型分析

### 3.1 事件概率计算

故障树中各事件概率值如下:

$$P_{A1} = 1 - (1 - P_{X1})(1 - P_{X2}) = 0.356$$

$$P_{B1} = 1 - (1 - P_{X3})(1 - P_{X4})(1 - P_{X5})(1 - P_{X6}) = 0.16201$$

$$P_{C1} = 1 - (1 - P_{X7})(1 - P_{X8}) = 0.52$$

$$P_{T1} = P_{A1} P_{B1} P_{C1} = 0.02999$$

$$P_{T1} = P_{A1} P_{B1} P_{C1} = 0.02999$$

### 3.2 故障树最小割集及其重要度计算

按照 Fussell 法,根据图 3 故障树,通过分析得出最小割集的 Fussell 分割如表 3。从表中可知系统有 31 种主要故障模式。

表 3 最小割集的 Fussell 分割

1	2	最小割集 M
		$M1(X1), M2(X2), M3(X1X2), M4(X1X3), M5(X1X4), M6(X1X5), M7(X1X6), M8(X1X7), M9(X1X8), M10(X2X3), M11(X2X4), M12(X2X5), M13(X2X5), M14(X2X6), M15(X2X7), M16(X2X8), M17(X3), M18(X4), M19(X5), M20(X6), M21(X3X4), M22(X3X4X5), M23(X3X4X6), M24(X3X4X5X6), M25(X4X5), M26(X4X6), M27(X4X5X6), M28(X5X6), M29(X7), M30(X8), M31(X7X8)$

为了快速故障定位,还应确定故障定位的优先等

级,即求出各故障模式的重要度,并按照重要度从大到小的顺序进行原因分析,按照 Fussel 和 Vesely 方法<sup>[4]</sup>求出的重要度如表 4 所示。从表中可以发现,当发控系统出现故障时,虽然有 31 种故障模式,但 M1, M2, M4, M10, M28, M29, M30 这七种故障模式是最有可能的故障原因,因此,当系统出现故障时,首先应从 M1 开始,并按照重要度由大到小的的顺序来分析确定故障部位。

表 4 最小割集的重要度

最小割集	重要度	最小割集	重要度	最小割集	重要度
M1	0.07092	M12	0.00189	M23	0.000315
M2	0.0354	M13	0.00504	M24	0.00063
M3	0.00709	M14	0.00252	M25	0.000078
M4	0.0189	M15	0.000504	M26	0.000039
M5	0.00946	M16	0.000630	M27	0.000078
M6	0.00189	M17	0.000315	M28	0.63
M7	0.00236	M18	0.000063	M29	0.315
M8	0.00118	M19	0.00236	M30	0.063
M9	0.000236	M20	0.00118	M31	0.00118
M10	0.0189	M21	0.00023		
M11	0.00946	M22	0.00063		

### 4 结论

文中在深入分析导弹发控系统基础上,利用故障树分析法找到了系统的主要故障模式,确定了故障定位的优先等级,为快速故障定位策略奠定了理论基础。实验表明,该方法机理清晰,可信度高,可行性好,对其他复杂系统的快速故障定位策略具有借鉴意义。

#### 参考文献:

[1] 郭留河,赵国明. 某型车载导弹发射制导装置现场快速检测方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(5): 44 - 47.

[2] 郭留河. 步兵战车导弹系统维修模拟训练系统国防科技报告[R]. 北京: 装甲兵工程学院, 2011.

[3] GJB/Z 299B - 98 电子设备可靠性预计手册[S].

[4] 孙逊. 基于 FTA 的故障诊断分析算法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.

[5] 钟涛, 张为华, 王中伟. 战术导弹故障树自动建立方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2004, 24(5): 429 - 431.

[6] 刘吉新. 某型导弹及发射装置检测仪的设计[D]. 北京: 北京理工大学, 2010.

(上接第 3 页)

#### 参考文献:

[1] Apkarian P, Gahinet P, Becker G. Self-Scheduled  $H_{\infty}$  control of linear parameter-varying systems: A design example [J]. Automatica, 1995, 31(9): 1251 - 1261.

[2] Packard A. Gain scheduling via linear fractional transformations[J]. System and Control Letters, 1994, 22(2): 79 - 92.

[3] Apkarian P, Gahinet P. A convex characterization of gain-scheduled  $H_{\infty}$  controllers[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1995, 40(2): 853 - 864.

[4] 虞忠伟, 陈辉堂. 机器人 LFT 变增益  $H_{\infty}$  控制[J]. 控制理论与应用, 2002, 19(5): 713 - 719.

[5] 钱杏芳, 林瑞雄, 赵亚男. 导弹飞行力学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999: 175 - 230.

[6] Wu F, Dong K. Robust and gain-scheduling  $H_2$  synthesis for LFT parameter-dependent system [C]//American Con-

trol Conference, 2005: 2851 - 2856.

[7] Scherer C W. Robust mixed control and LPV control with full block scalings[J]. Recent Advance of LMI Methods in Control, 2000, 12(4): 187 - 207.

[8] 李文强, 苏涛, 杨林, 等. 基于 LFT 的鲁棒变增益控制的降保守性设计[J]. 海军航空工程学院学报, 2011, 26(5): 533 - 538.

[9] 于剑桥, 刘莉, 靳东亚, 等. 导弹线性分式变换模型及其在  $H_{\infty}$  增益调度自动驾驶仪设计中的应用[J]. 兵工学报, 2007, 28(7): 844 - 848.

[10] 贾晓洪, 凡永华, 杨军. 气动力/直接力复合控制导弹自动驾驶仪的鲁棒稳定性分析[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(4): 1 - 2.

[11] Yu J Q, Luo G C, Yin W T. Missile robust gain scheduling autopilot design using full block multipliers[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2010, 21(5): 883 - 891.