第 12 卷 第 16 期 2012 年 6 月
1671—1815(2012)16-3990-04

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 12 No. 16 Jun. 2012
© 2012 Sci. Tech. Engrg.

兵工技术

基于故障树的某自行火炮供输弹机构故障分析

舒 鑫[1,2] 冯国飞[1] 唐香珺[1]
(军械工程学院[1], 石家庄 050003; 北京理工大学机电学院[2],北京 100081)

摘 要 使用故障树分析法对某供输弹机进行了分析。通过定性分析找出了引起故障的主要原因。通过定量分析计算了顶事件的故障概率和各底事件的概率重要度。指出了该系统的薄弱环节,为使用和维修提供了建议,有助于降低系统的故障概率,提高系统使用可靠性。

关键词 故障树 供输弹 故障分析
中图法分类号 TJ306.3 TP391.9; **文献标志码** A

供输弹机构是某自行火炮系统的关键子系统,对于提高火炮射速、降低乘员人力负担、保证战斗任务的顺利完成起着至关重要的作用。其性能好坏直接影响武器系统的总体战斗力和可靠性。由于供输弹机构有结构复杂、使用频率高、不便于保养等特点,使其成为自行火炮中故障发生率较高的子系统。本文在分析供输弹系统结构原理的基础上,跟踪了该系统的使用情况,对该系统的故障模式、故障规律进行了定性和定量分析。通过分析找出了该系统的薄弱环节,为使用和维修提供了相应的建议,有助于降低该系统的故障率,提高使用可靠性。

1 供输弹机构结构组成

供输弹机构的作用是代替装填手的工作,按所需的弹种将炮弹从弹箱或炮弹储存器中取出并送到炮膛中。本文研究的供输弹机构由机械系统、液压系统和控制系统三个子系统组成,其中机械系统主要包括供弹机、协调器、输弹机、抛壳机、闭锁器、弹仓、托药盘等。供输弹机构的组成框图如图 1 所示 。

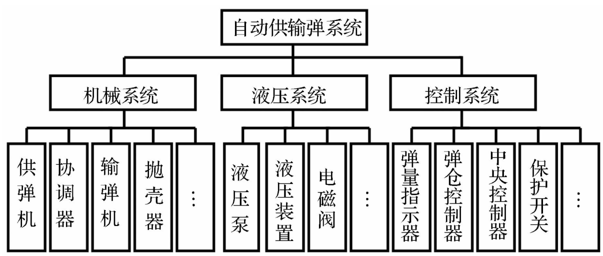

图 1 供输弹机构组成框图

各部分的功能分别为:供弹机选择弹丸并向协调器输送弹丸;协调器将弹丸转运到输弹线上;输弹机负责将弹丸、弹药输送到炮膛内;抛壳机担负着将药筒抛出车外的任务;液压系统则为摆弹、摆药、输弹、输药提供动力;控制系统则负责给出全系统的控制信号,控制供输弹机构的动作时序。该系统有连续和单步两种工作方式,其中连续工作为主要方式。在连续方式下,任何一个子系统出现故障,都会导致供输弹任务的失败[1]。

2 故障树分析方法

故障树分析(FTA)是产品(系统)可靠性和安全性分析的工具之一,用来寻找导致系统故障或灾难性危险事件(顶事件)发生的所有原因和原因组合,在具有基础数据时还可以求出顶事件发生的概率及其他定量指标。其主要特点是直观明了、思路清晰、逻辑性强。

故障树的建造是 FTA 法的关键,其完善程度将

2012 年 3 月 5 日收到,3 月 16 日修改 军械工程学院基础部科学研究基金项目(JCB1012)资助

第一作者简介:舒 鑫(1980—),男,军械工程学院基础部讲师,博士研究生。研究方向:武器系统动力学分析,微系统技术。

影响到定性分析和定量计算的准确性。故障树分析采用逻辑的方法,从顶事件开始,以顶事件为根,以中间事件为枝干,以底事件为叶,逐层展开,最终获得引起顶事件发生的倒置树形图表,使可靠性分析工作可以形象地进行。其步骤为:①广泛收集并分析设计说明书、原理图和运行规程等技术资料;②选择顶事件;③建造故障树;④故障树的规范化;⑤故障树的简化和分解[2,3]。

3　供输弹机构故障分析

3.1　建立故障树

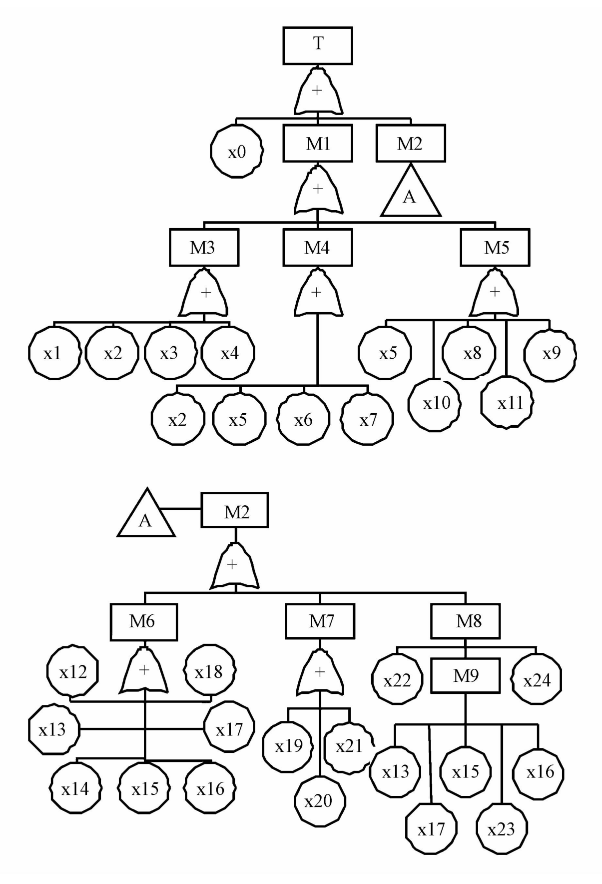

图 2　故障树图

本文主要研究该供输弹系统在输弹过程中的故障现象,其主要故障表现有:输弹不到位、输弹速度慢、输弹过程中卡弹、输弹机不动作四种形式。根据对该供输弹系统的功能与结构分析,上述四种故障模式主要是由机械系统中的协调器和输弹机以及液压系统故障造成。因此,以输弹故障为顶事件,建立故障树如图 2。由于系统组成构件众多,不可能对所有的构件进行分析,故障树中仅考虑影响安全性、使用性的事件,不考虑发生概率极小且无严重后果的事件[4]。故障树中各中间事件和顶事件见表 1,各底事件见表 2。

表 1　顶事件与中间事件表

	编号	中间(顶)事件名称
顶事件	T	输弹故障
	M1	协调器故障
	M2	输弹机故障
	M3	协调精度不合格
	M4	协调器本体转速不正常
中间事件	M5	协调器无动作
	M6	输弹机不动作
	M7	输弹链解锁不可靠
	M8	输弹不到位
	M9	液压器件故障

表 2　底事件及其故障概率表

编号	底事件名称	故障概率
x0	电源故障	0.000 033
x1	测速电机损坏	0.000 183
x2	电磁失电制动器损坏	0.000 570
x3	测量机构损坏	0.000 570
x4	电位计连接松动	0.000 570
x5	起落电机故障	0.000 180
x6	小平衡机气量不当	0.003 333
x7	小平衡机液量不当	0.003 333
x8	接线脱焊	0.000 567
x9	控制模块损坏	0.001 833
x10	开关损坏	0.000 570
x11	行军固定器未解脱	0.000 180
x12	液压电磁阀故障	0.001 830
x13	液压马达坏	0.001 830
x14	初位信号异常	0.002 500
x15	油源电机故障	0.000 180
x16	油滤太脏	0.002 670
x17	双联泵故障	0.001 830
x18	油源启动盒故障	0.001 830
x19	调位器损坏	0.000 183
x20	杠杆磨损或断	0.000 030
x21	压簧压力调整不当	0.001 830
x22	行程开关损坏	0.001 830
x23	管路接头渗漏	0.005 000
x24	弹链卡滞	0.004 330

3.2　故障树分析

3.2.1　定性分析

定性分析的目的是寻找导致顶事件发生的所

有原因或原因组合。使用上行法对图 2 所示故障树进行分析,可知故障树的全部 25 个底事件分别为故障树的最小割集。也就是说,本系统每一个底事件发生都会导致顶事件发生。

从故障树和表 2 列出的底事件表格可以看出导致供输弹系统输弹故障的原因很多。从使用的角度来说,本供输弹系统需要精心地维护保养,对于潜在的故障需要及早发现,及早排除,否则任何一个底事件的发生都将导致顶事件发生,引起供输弹故障。

3.2.2 定量分析。

定量分析是使用各底事件的失效率和故障树中的逻辑门,通过运算,计算顶事件的发生概率以及底事件的重要度。进而根据相对重要程度对底事件进行区分。在进行定量分析时,底事件的失效概率一般由使用统计数据、专家打分、仿真计算三方面数据综合得出。本文表 2 中列出的故障概率是通过统计部队维修记录数据得到的。对于电源故障、油源电机故障、杠杆磨损或断 3 个对顶事件发生具有重要影响,但故障概率较低,目前尚无维修记录的底事件,采用相似产品法获取数据。相似产品法要求参考的产品在结构、使用环境等条件上要与被参考产品相似。所以本文参考了该部队结构、原理、使用环境相似的其他供输弹系统故障数据。利用底事件的故障概率数据可以计算出顶事件出现概率和各底事件的概率重要度。

顶事件出现概率计算:本故障树由单一或门组成,其顶事件出现概率为:

$$P(T) = P(X_1 \cup X_2 \cup X_3 \cdots \cup X_n) = 1 - \prod_{i=1}^{n} [1 - P(X_n)] \quad (1)$$

将各底事件的失效概率带入式(1)计算得到供述弹系统故障树顶事件的出现概率为 0.038 9。

概率重要度是指底事件发生概率变化引起顶事件发生概率的变化程度,以 $I_g(i)$ 表示第 i 个底事件的概率重要度,有:

$$I_g(i) = \frac{\partial P(T)}{\partial P(X_i)} \quad (2)$$

将数据带入式(2),可以计算出各底事件的概率重要度。通过计算结果可以看出概率重要度排名前几位的分别是 $I_g(23) = 0.967\ 7$, $I_g(24) = 0.967\ 0$, $I_g(6) = 0.966\ 1$, $I_g(7) = 0.966\ 1$。也就是说这几个底事件对故障出现与否的影响最大,在平时使用和维护的时候应该格外注意这些部件,一旦这些部件的可靠性进一步降低将带来供输弹故障的显著增加,同时应该采取技术措施减少这些部件故障的发生,如经常性检查液压管路的接头部位和小平衡机的液压件是否有漏液,并对弹链进行经常性的擦拭、保养,防止沙粒入侵。

4 小结

本文使用故障树分析法对某供输弹机进行了故障分析,分析的结果表明概率重要度较高的底事件是弹链卡滞、管路泄漏以及小平衡机气(液)量不当。从定量分析结果来看,顶事件发生概率较高,这一方面是由于保养没有及时跟上造成的,另一方面是由于该供输弹系统使用环境恶劣,在阵地转移、射击等任务环境下频繁承受剧烈冲击振动,加之沙粒入侵等因素,加速了部分零部件的老化,造成了整体可靠度较低。

为提高该系统的使用可靠性,建议从以下几个方面着手:一是及时进行维护保养,更换老化的零部件;二是对顶事件影响较大的重要底事件进行重点关注,提前排除故障隐患,保证正常训练和使用任务的完成。

参 考 文 献

1 王红玲. 火炮自动供输弹系统故障诊断技术研究. 太原:中北大学,2006

2 郝静茹,米 洁,李启光. 机械可靠性工程. 北京:国防工业出版社,2008

3 GJB/Z 768A-98,故障树分析指南. 1998

4 赵 波. 某自行火炮供输弹机构故障预测系统研究. 石家庄:军械工程学院,2010

(下转第 3999 页)

5　结论

在进行大量低温实验后,我们可以看到,本文研制的压电双晶片扫描器在低温 120 K 下仍然具有较高的性能。扫描幅度达到 1.2°,扫描精度达到 80urad,能够满足低轨卫星红外扫描相机低温光学高精度像方扫描的应用要求。

参　考　文　献

1　Bartschi B Y, Morse D E, Woolston T L. The spatial infrared imaging telescope III. Johns Hopkins APL Technical Digest, 1996; 17(2): 215—225

2　Schwalm M, Barry M, Perron G, *et al*. Cryogenic telescope, scanner, and imaging optics for the wide-field infrared survey explorer (WISE). cryogenic optical systems and instrument XI. Proceedings of SPIE Vol. 59040K, 2005

3　舒晓武, 刘　承, 赵为党, 等. 大角度低温光学扫描器. 光子学报, 1998; 27(3): 259—265

4　Zhang Xuan, Zhao Gao-fei, Pan Min. The research of piezoelectric actuator for cryogenic scanning application. Proceedings of SPIE, 2011; 8193(32):1—7

High Precision Cryogenic Scanning Technology for Space Infrared Camera

ZHANG Xuan[1], ZHAO Gao-fei[1], PAN Min[2]

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences[1], Shanghai 200083, P. R. China;
The 50th Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation[2], Shanghai 200063, P. R. China)

[**Abstract**]　In order to resolve high precision image plane scanning problem for cryogenic optical system of space infrared camera, the cryogenic scanning technology based on piezoelectric bimorph actuator has been studied. The radiant characteristic of cryogenic optical system has been analyzed. Based on the motional property, a matched scanner has been designed and fabricated, and the scanning properties have been tested at cryogenic temperature. The results indicate that the piezoelectric bimorph scanner can reach a scanning range of 2.4° and a scanning precision of 80 μrad, which meet the demand of cryogenic optical system of low-orbit space infrared camera.

[**Key words**]　cryogenic optics　　image plane scanning　　high precision scanning　　piezoelectric bimorph actuator

(上接第 3992 页)

Fault Analysis of A Self-propelled Gun's Self-loading Machanism by Fault Tree Analysis Method

SHU Xin[1,2], FENG Guo-fei[1], TANG Xiang-jun[1]

(Ordnance Engineering College[1], Shijiazhuang 050003, P. R. China;
School of Mechatronical Engineering[2], Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, P. R. China)

[**Abstract**]　A self-loading mechanism's fault by fault tree analysis method is analysed. Through the qualitative analysis the main reasons for failure is found, through quantitative analysis the top event fault probability and the probability importance of bottom events were calculated. The weak links of the system are point out, and provided suggestions for the use and repair, help to reduce the system failure probability, improved system reliability.

[**Key words**]　Fault Tree　　Self-loading　　fault analysis