

故障树分析应用于某型照射器质量改进

Application of the Fault Tree Analysis for the Qualitative Rectification of an Irradiator

朱海游¹ 吴剑勇^{2/1} 中航工业雷达与电子设备研究院 2 空装科研订货部

摘要: 在收集已发生故障数量和故障模式的基础上, 应用故障树分析的原理, 对某型照射器建立故障树模型和最小割集分析, 根据计算概率重要度, 确定照射器的质量改进内容。

关键词: 故障树; 概率重要度; 改进; 照射器

Keywords: fault tree; probability importance; rectification; irradiator

0 引言

目前, 某型照射器的技术保障还是采用现场维修的手段, 无法有效解决相同故障频发等技术质量问题。故障树分析作为可靠性和安全分析的一种技术, 是建立在运筹学和系统可靠性基础上的一种符号逻辑分析方法, 具有思路清晰、逻辑性强的特点, 既可进行定性分析, 也可以进行定量分析^[1]。在收集和分析近几年该型照射器发生的故障数据的基础上, 提出采用故障树分析方法对照射器的故障模式进行全面分析, 依据已发生故障的统计分布, 找出导致故障的主要因素, 提出相应的改进措施, 提高该型装备的完好率, 缩短现场维修周期。

1 故障树建立

1.1 底事件的确定

故障树分析法以系统最不希望发生的故障状态为分析目标, 找出导致这一故障发生的直接因素。通常将最不希望发生的事件称为顶事件, 导致顶事件的原因事件称为底事件。

自2001年以来, 某型照射器已陆续列装部队, 已知交付套数的总使用次数为M, 使用至今共出现故障N次。

故障频率P由式(1)确定:

$$P = \frac{N}{M} \quad (1)$$

故障频率的分布部位如表1所示。

由表1可知, 每个故障部位的故障是导致照射器不能正常使用的直接原因。由于维护保障是在部队进行, 不具备对元器件损坏的原因进行分析的条件, 因此不进一步演绎和查找。表1中的故障部位作为该照射器质量改进的底事件。根据统计概率的定义和工程经验, 表1的故障频率可近似为故障概率。

1.2 建立故障树

故障树建造的完善程度将直接影响定量分析的准确性。本研究以照射器故障作为顶事件, 已发生故障的故障部位为底事件来建立故障树。在建造故障树时, 首先对照射器的结构树划定边界, 然后分析顶事件和底事件在结构树中的相互关系, 最后确立故障树。如图1所示, 表2为故障树各门事件的含义。

2 故障树的定量分析

2.1 最小割集

最小割集表示系统的一种失效模式, 系统的全部最小割集构成系统的故

表1 故障频率分布

故障部位	故障频率
速调管	0.000081
接触不良	0.000037
小功率放大器	0.000017
限幅器	0.000012
晶振	0.000008
滤波器	0.000004
控制保护电路	0.000004
检波器	0.000033
A4板	0.000037
晶体	0.000016
高压电感	0.000004

障谱。最小割集给出了导致系统故障的所有部件失效的唯一组合, 最小割集可以指导系统的故障诊断和维修。修复某个故障件可以使系统恢复功能, 只有修复同一最小割集中的全部故障件, 才能恢复系统的可靠性设计水平。求系统故障树最小割集的常用方法有下行法、上行法与参数转换法等。表3是通过下行法求得的照射器故障树的最小割集。

经简化、吸收, 去掉重复的割集, 得到全部11个最小割集分别为: $K1=\{X1\}$; $K2=\{X2\}$; $K3=\{X3\}$; $K4=\{X4\}$; $K5=\{X5\}$; $K6=\{X6\}$; $K7=\{X7\}$; $K8=\{X8\}$; $K9=\{X9\}$; $K10=\{X10\}$; $K11=\{X11\}$ 。

2.2 定量分析(概率重要度计算)

根据概率知识, 照射器不能正常

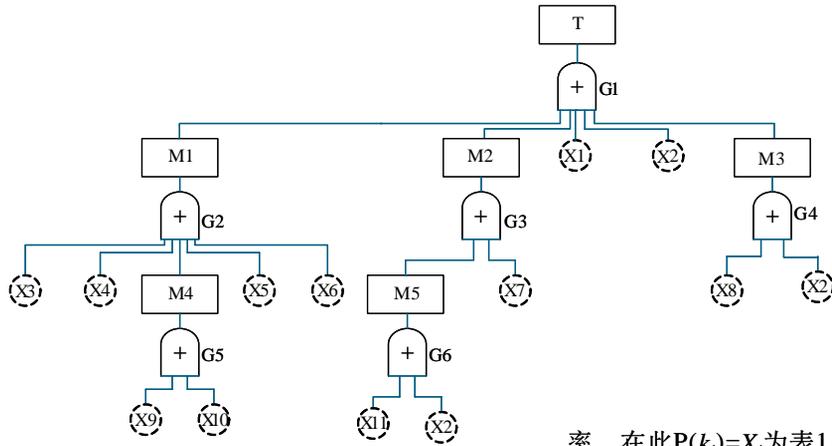


图1 照射器故障树

表2 故障树门事件含义

序号	门或事件	定义
1	T	照射器故障
2	M 1	激励器故障
3	M 2	速调管辅助电路故障
4	M 3	微波组件故障
5	M 4	调制信号产生器故障
6	M 5	高压电路故障
7	X 1	速调管故障
8	X 2	接触不良
9	X 3	小功率放大器工作不正常
10	X 4	限幅器损坏
11	X 5	晶振工作不正常
12	X 6	滤波器不正常
13	X 7	控制保护电路故障
14	X 8	检波器工作不正常
15	X 9	A 4板故障
16	X 10	晶体工作不正常
17	X 11	高压电感工作不正常

表3 下行法求最小割集

步骤	1	2	3	4	5	6
过程	M 1	X 3	X 3	X 3	X 3	X 3
	M 2	X 4	X 4	X 4	X 4	X 4
	M 3	M 4	M 4	M 4	X 9	X 9
	X 1	X 5	X 5	X 5	X 10	X 10
	X 2	X 6	X 6	X 6	X 5	X 5
		M 2	M 5	M 5	X 6	X 6
		M 3	X 7	X 7	M 5	X 11
		X 1	M 3	X 8	X 7	X 2
		X 2	X 1	X 2	X 8	X 7
			X 2	X 1	X 2	X 8
				X 2	X 1	X 2
					X 2	X 1
						X 2
						X 2

使用的顶事件发生概率 F_s 计算公式为:

$$F_s = P(U_{i=1}^{11} k_i) \quad (2)$$

由于 k_i 之间不相容,故:

$$F_s = P(U_{i=1}^{11} k_i) = \sum_{i=1}^{11} P(k_i) \quad (3)$$

式中, $P(k_i)$ 为最小割集 k_i 发生的概

率,在此 $P(k_i)=X_i$ 为表1中的对应各项。将表1的值代入式(3),得 $F_s=0.0000253$ 。

根据统计,照射器的平均使用时间 $t=1000h$, λ_i 为各底事件的故障频率,则底事件的不可靠度 $F_i(t)$ 为:

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t} \quad (4)$$

顶事件 $F_s(t)$ 的不可靠度为:

$$F_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - F_i(t)] \quad (5)$$

依据概率重要度定义,

$$\Delta g_i(t) = \frac{\partial F_s(t)}{\partial F_i(t)} \quad (6)$$

根据表1的数据可以得到各底事件的故障发生概率,则底事件的概率重要度计算值如表4所示。

概率重要度是顶事件的发生概率对某个原因事件发生概率的偏导数,它反映基本事件概率的增减对顶事件发生概率影响的敏感度。从表4可以得出各基本事件的概率重要度排序为 $X1 > X2 > X9 > X8 > X3 > X10 > X4 > X5 > X6 = X7 = X11$ 。由此可知,

速调管、接触不良、检波器和A 4板等四种故障模式对照射器的完好率影响较大。

表4 概率重要度

底事件代号	故障部位	概率重要度
X 1	速调管	0.841903
X 2	接触不良	0.805648
X 3	小功率放大器	0.78975
X 4	限幅器	0.785754
X 5	晶振	0.782665
X 6	滤波器	0.779521
X 7	控制保护电路	0.779521
X 8	检波器	0.802484
X 9	A 4板	0.805648
X 10	晶体	0.788947
X 11	高压电感	0.779521

3 结论

针对某型照射器已发生的故障模式和故障数量的实际数据,通过构建故障树、确定最小割集以及计算和分析概率重要度,确定了速调管、接触不良、检波器和A 4板为质量改进的重点,在现场维护中针对性地加大速调管、检波器和A 4板的备件供应,为照射器现场快速修复提供了保证。

参考文献

- [1] 潘波,黄领才,姜同敏,侯卫国. 服役飞机结构件腐蚀失效故障树分析及改进[J]. 北京航空航天大学学报,2010(3).
- [2] 李志成. 雷达发射机的故障树分析[J]. 舰船电子对抗,2007(8): 59.
- [3] 马瑞萍,尹晓飞. 某型导弹控制系统故障树分析[J]. 四川兵工学报,2008(10).
- [4] 曾声奎,赵廷第,张建国,康锐,石君友,等. 系统可靠性设计分析教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [5] 刘品. 可靠性工程基础[M]. 北京:中国计量出版社,1995.

作者简介

朱海游,研究员,研究方向为质量管理。

吴剑勇,高级工程师,研究方向为型号管理。