

基于故障树和 LabVIEW 的引信测试仪诊断系统

曹 磐,程 翔,李长生

(南京理工大学 智能弹药技术国防重点学科实验室,南京 210094)

摘要:在科研生产中,需要引信测试仪对各重要环节中的产品性能进行参数测试来保证产品品质,因此测试仪的可靠稳定运行十分重要。为保障系统稳定、可靠地运行,提出了一种基于故障树和虚拟仪器相结合用于引信测试系统的故障诊断方法;采用故障树分析法对故障树模型进行了分析,并采用虚拟仪器技术开发了测试仪检测系统;实验结果表明,诊断系统人机交互能力好,验证了基于故障树和虚拟仪器 LabVIEW 的方法用于引信测试系统设备诊断的可行性;有力提高了现场维修技术人员的检测与故障诊断能力。

关键词:引信;测试仪;故障树;虚拟仪器;故障诊断;最小割集

本文引用格式:曹磐,程翔,李长生. 基于故障树和 LabVIEW 的引信测试仪诊断系统[J]. 兵器装备工程学报,2016(12):108-112.

Citation format:CAO Pan, CHENG Xiang, LI Chang-sheng. Fault Diagnosis on Fuze Test System Based on Fault Tree Analysis and LabVIEW Techniques[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2016(12):108-112.

中图分类号:TJ430.6

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)12-0108-05

Fault Diagnosis on Fuze Test System Based on Fault Tree Analysis and LabVIEW Techniques

CAO Pan, CHENG Xiang, LI Chang-sheng

(Ministerial Key Laboratory of ZNDY, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In research and production, fuze test system needs measure product technical parameters to guarantee product quality. Thus fuze test system plays an important role in reliability and stabilization. In order to ensure system operate stably, this paper put forwards a fault diagnosis method of fuze test system based on fault tree model and virtual instrument. Using qualitative and quantitative analysis verify the system reliability, combining with virtual instrument technology in LabVIEW software platform. The diagnosis example illustrates that the ability of human interaction is perfect and tests the feasibility of this method. This techniques have significantly enhanced the diagnosis ability of technician staff.

Key words: fuze; test system; fault tree; virtual instrument; fault diagnosis; minimum cut set

为了确保引信的产品品质,在生产过程中对引信用测试仪进行严格的测试是必不可少的,引信测试仪由各种单元模块组成,此类器件会老化或接触不良,从而发生故障,要在大量的元器件和线路中迅速、准确地找出故障是不容易的。传统的故障排除方法过度依赖于维护人员对系统的熟悉程度

和维修经验,但一般的维护人员不具有丰富的故障排查能力,造成故障诊断的速度与准确性不高,故障平均修复时间长。针对引信测试系统故障现象和原因复杂的关系,传统的诊断方法因专家知识大多以浅知识为主,知识库设计不完善,很难得到满意的结果。本研究运用故障树分析法将系统

收稿日期:2016-07-30;修回日期:2016-08-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61403201);中国人民解放军总装备部预研基金资助项目(9140A05020114BQ02063);中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(30915118824)

作者简介:曹磐(1990—),男,硕士研究生,主要从事机械电子工程研究。

通讯作者:程翔(1960—),男,教授,主要从事引信系统设计和引信实验技术研究。

的故障现象和原因建立成故障树,因果关系清晰,是一种有效的知识获取方法。对故障树进行定性和定量分析,并且结合虚拟仪器技术实现故障诊断平台进行故障源的搜索、定位,发现系统的薄弱环节并采取相应的改进措施,提高系统的可靠性。

1 故障树分析法与结构函数

故障树分析法^[1-2]的目的在于研究导致故障的原因,它把系统总体到部分层次分开,逐级细化,按照树枝状演绎。首先收集故障案例,进行事故统计,设想给定系统可能发生的事故;其次,对所调查的事故进行全面分析,从中找出后果严重且较易发生的事故作为顶事件;最后,建立故障树模型,细化可能导致的故障模式以及故障原因,对故障的发生进行定性分析和定量分析,确定其对系统的影响,进而改善系统。图1为故障树分析法的流程。

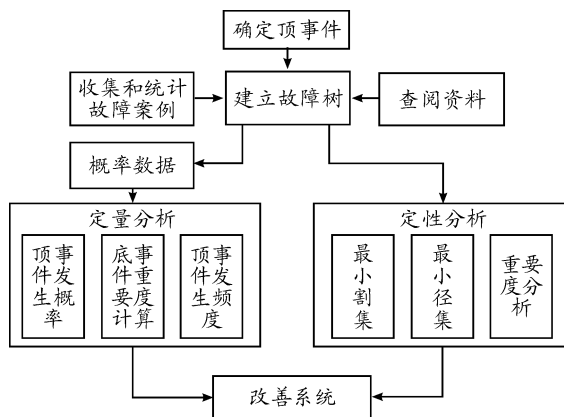


图1 故障树分析法流程

若测试仪设备和零部件都只考虑两种状态(正常、故障),则可用0和1两个数表示顶事件和底事件的状态。以某引信测试仪为例,系统组成如图2所示,其系统故障可以分解为装定单元失效、模拟涡轮上电单元失效、解保和发车信号调理单元失效、测速信号发生单元失效、主控模块失效。

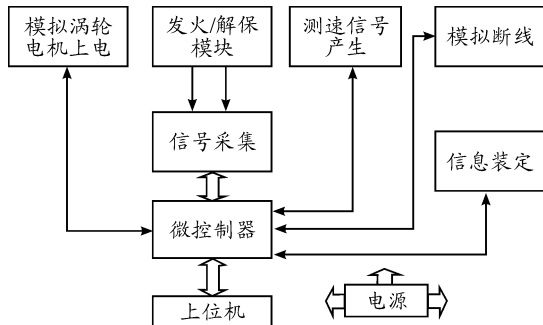


图2 引信测试仪组成图

为了研究问题的方便,故障树顶事件 T 描述为引信测试仪系统发生故障,将顶事件 T 作为输出事件,将影响输出的所有直接原因作为输入事件,以 x_i 表示。并假设各单元的失

效是相互独立的,对系统和单元只考虑失效和成功两种状态,可以做如下定义:

设故障树有 n 个底事件,第 i 个底事件的状态用二值变量 x_i 表示,于是有

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 个底事件发生} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 个底事件不发生} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $x_i = 1$ 表示第 i 个底事件发生,即第 i 个底事件有故障发生; $x_i = 0$ 表示第 i 个底事件不发生,即第 i 个底事件没有有故障发生。

顶事件 T 的状态用二值变量 T 表示,于是有

$$T = \begin{cases} 1, & \text{顶事件发生} \\ 0, & \text{顶事件不发生} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $T = 1$ 表示顶事件发生,即引信测试系统有故障发生; $T = 0$ 表示顶事件不发生,即引信测试系统没有故障发生。

顶事件 T 的状态完全由底事件的状态决定,所以 T 是状态变量 x_i 的函数,可表示为

$$T = T(x_i) \quad (3)$$

$T(x_i)$ 是故障树的结构函数,它表明了设备状态与各组成单元状态之间的关系,故障树结构函数可以用布尔代数运算法则进行运算和化简,使故障树的顶事件与底事件间具有最简单的逻辑关系,以便进一步对故障树进行定性、定量分析。

2 引信测试仪故障树建立及分析

2.1 故障树的建立

建立故障树的目的是通过建树过程对设备的设计、运行、管理进行彻底熟悉,找出薄弱环节,建立故障树是故障树定性分析和定量计算的前提,故障树是否完善直接影响分析结果的准确性。根据系统的结构和功能,分析不希望发生的显著影响装备技术性能、经济性、可靠性和安全性的故障事件,根据分析的目的和故障判据,确定本次分析的顶事件,建立故障树^[3-4]。

以某引信测试仪为例,用下行法^[5]从顶事件开始由上而下,循序渐进逐级建立故障树,步骤如下:

1) 确定顶事件。在熟悉系统及相关资料的前提下,将故障事件逐一列举,然后再选出最不希望发生的事件为顶事件。在引信测试仪系统中确定顶事件 T 为“测试仪故障”。

2) 分析能导致顶事件发生的输入事件,如果该事件还能进一步分解,则将其作为下一级的输出事件,直到所有的输入事件不能再分解为止,即得到了底事件。用下行法依次确定 E_1 装定模块失效、 E_2 模拟涡轮上电模块失效、 E_3 信号调理模块失效、 E_4 测速信号发生模块失效作为顶事件 T 的输入事件、 E_5 主控芯片模块失效;从而确定能导致中间事件 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 发生的底事件。

3) 故障树的简化并绘制故障树。确定了顶事件、中间事件、底事件之后给定一些必要的合理假设对故障树进行简化,自上往下用逻辑符号绘制故障树如图3,并将这些事件用逻辑符号连起来。

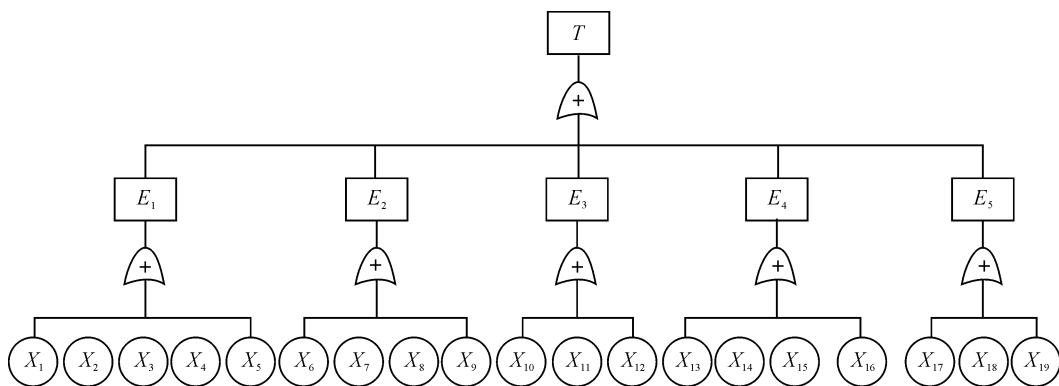


图3 某引信测试系统故障树

2.2 故障树定性分析

故障树定性分析的主要目的是确定设备出现某种故障(顶事件)的全部可能情况即得到故障树的最小割集^[6],每个最小割集都是导致故障树顶事件发生的一种可能,得到了最小割集实际上就知道了故障发生的各种可能原因。通过最小割集分析出设备的薄弱环节,为状态监测、故障分析和提高设备的可靠性提供依据。

所谓割集指的是:如果某几个底事件的集合全部发生,导致了顶事件必定发生,则称此集合为故障树的一个割集。最小割集是指引起顶事件发生的基本事件的最低限度的集合。将故障树的结构函数用布尔代数运算法则化简为底事件积之和表达式^[7],式中每一底事件的乘积项就是故障树的一个最小割集,全部乘积项就是故障树的全部最小割集,也称作设备的故障谱。

如图3某引信测试仪故障树,其结构函数可以表示为

$$\begin{aligned}
 T &= E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = \\
 &(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5) + \\
 &(X_6 + X_7 + X_8 + X_9) + (X_{10} + X_{11} + X_{12}) + \\
 &(X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16}) + (X_{17} + X_{18} + X_{19}) = \\
 &X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + \\
 &X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + \\
 &X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19}
 \end{aligned} \quad (4)$$

所以某引信测试仪故障树的最小割集是 $\{X_1\}$, $\{X_2\}$, $\{X_3\}$, $\{X_4\}$, $\{X_5\}$, $\{X_6\}$, $\{X_7\}$, $\{X_8\}$, $\{X_9\}$, $\{X_{10}\}$, $\{X_{11}\}$, $\{X_{12}\}$, $\{X_{13}\}$, $\{X_{14}\}$, $\{X_{15}\}$, $\{X_{16}\}$, $\{X_{17}\}$, $\{X_{18}\}$, $\{X_{19}\}$ 共有19项。

2.3 故障树定量分析

定量分析的目的是计算顶事件的失效概率,为状态监测、故障分析和设计改进提供可靠依据^[8]。可以根据底事件的发生概率计算出顶事件的发生概率。某引信测试仪底事件发生概率如表1所示。

故障树有19个最小割集,由分析可知本测试仪系统引起故障的各底事件之间是“或”的关系,故用几个相容时间的概率公式计算顶事件发生概率。

表1 某引信测试仪底事件发生概率

| 状态变量 | 定义 | 概率 |
|----------|--------------|-------|
| X_1 | 装定控制芯片失效 | 0.005 |
| X_2 | 晶振失效 | 0.030 |
| X_3 | 3.3 V 电源模块失效 | 0.045 |
| X_4 | 9 V 电源模块失效 | 0.040 |
| X_5 | 为引信供能模块失效 | 0.015 |
| X_6 | 功率放大模块失效 | 0.056 |
| X_7 | -9 V 电源模块失效 | 0.040 |
| X_8 | 升压变压器失效 | 0.057 |
| X_9 | 信号发生模块失效 | 0.063 |
| X_{10} | 分压电路模块失效 | 0.024 |
| X_{11} | -5 V 电源模块失效 | 0.035 |
| X_{12} | 反向运放模块失效 | 0.115 |
| X_{13} | 同向运放模块失效 | 0.135 |
| X_{14} | 5 V 电源模块失效 | 0.035 |
| X_{15} | 运算放大器失效 | 0.136 |
| X_{16} | 模拟断线失效 | 0.124 |
| X_{17} | 3.3 V 电源模块失效 | 0.045 |
| X_{18} | 主控芯片失效 | 0.004 |
| X_{19} | 复位模块失效 | 0.015 |

根据底事件概率可以计算顶事件概率

$$\begin{aligned}
 P(T) &= P(X_1 + X_2 + \dots + X_{19}) = \\
 &1 - \prod_{i=1}^{19} (1 - px_i) = 0.568
 \end{aligned} \quad (5)$$

概率重要度是故障树定量分析的重要组成部分,通过求得最小割集的重要度可以分析最小割集对顶事件发生的影响程度。为了描述各最小割集对顶事件发生所作的贡献,可定义最小割集重要度 $PM = PX/PT$ 。PX 为最小割集的发生概率,PT 为顶事件的发生概率。最小割集重要度如表2所示。

表2 最小割集重要度

| 重要度 | 数值 | 重要度 | 数值 |
|-----------|-------|-----------|-------|
| PM_1 | 0.009 | PM_{11} | 0.061 |
| PM_2 | 0.053 | PM_{12} | 0.201 |
| PM_3 | 0.079 | PM_{13} | 0.236 |
| PM_4 | 0.070 | PM_{14} | 0.061 |
| PM_5 | 0.026 | PM_{15} | 0.228 |
| PM_6 | 0.151 | PM_{16} | 0.217 |
| PM_7 | 0.070 | PM_{17} | 0.079 |
| PM_8 | 0.100 | PM_{18} | 0.067 |
| PM_9 | 0.110 | PM_{19} | 0.026 |
| PM_{10} | 0.042 | | |

从数据可以看出不同割集的重要度值相差很大,如果选取最小割集的重要度 ≥ 0.1 的最小割集,这时真正的候选故障源只有 $\{X_6\}, \{X_8\}, \{X_9\}, \{X_{12}\}, \{X_{13}\}, \{X_{15}\}, \{X_{16}\}$ 7个。也就是说,从理论上讲这19种不同最小割集都可能是引起顶事件的发生原因,但实际上从最小割集的重要程度来看,其他12种最小割集发生的概率明显小于以上7种。大大减小了故障定位的难度,提高了维修的效率。

2.4 基于故障树的专家系统

专家系统故障诊断方法,是指计算机在采集被诊断对象的信息后,综合运用诊断规则,进行一系列的推理,必要时还可以随时调用各种应用程序,运行过程中向用户索取必要的信息后,就可快速地找到最终故障或最有可能的故障,最后再将诊断结果返回用户。

从知识获取的角度,故障树具有标准化的知识结构^[9],利用故障树知识生成诊断专家系统知识库,可以显示诊断专家的问题求解策略,极大地降低系统知识获取的难度。通过割集把故障树和诊断专家系统的知识库联系起来:故障树的一个割集是系统的一种失效模式,同时对应于知识库的一条规则;割集里的基本事件是该失效模式的最基本原因,对应知识库中规则的故障原因;从顶事件到割集的路径,是该割集区别于其他割集的中间条件,对应于知识库中规则的前提。

3 软件系统的构建

3.1 软件开发平台的选用

软件系统是故障检测系统的核心部分,它使系统中每个模块的功能有机结合,在多个模块相互协作和数据传递的过程中起着决定性的作用,并使整个系统的运作有效、稳定。该测试仪系统选用 LabVIEW 作为开发平台,LabVIEW 是美国国家仪器公司开发的一种用图标代替文本创建应用程序的图形化编程环境,使用的语言为图形语言,即“G”语言^[10]。其前面板中包含了很多外观和传统仪器类似的控件如示波

器、万用表等,用户界面友好,又能够有效地对系统硬件进行控制,及时地处理保存各种测试数据。

3.2 检测软件系统组成

故障检测软件主要由管理模块、控制诊断模块、输出模块组成,如图4所示。

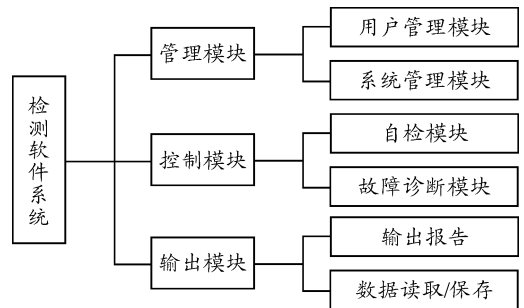


图4 故障检测软件系统组成

1) 用户管理模块:设置登入用户名和密码,并能增加用户及修改密码功能。还可以保存登入的用户名和登入的时间,以便于今后查询和管理测试结果。

2) 系统管理模块:允许用户输入各种参数,如测试目标的编号和操作人员,选择不同的系统配置等。

3) 自检模块:检测故障检测系统中的各种测试仪器是否能够正常采集或测量,并能将自检结果输出。

4) 故障诊断模块:按照用户设定的测试流程进行检测,测试人员通过简单勾选实现对测试流程的增减。在测试过程中,能够从软件界面中直接观察波形,如果结果全部符合要求,则显示合格结论。如果有不合格的结果,则显示不合格结果,并给出发生故障的原因,通知测试人员进行故障排查。

5) 输出报告:参数测试的过程中,对每一测试项目完成后,应对测试结果进行分析和判断,并将测试结果输出。

6) 数据读取与保存:读取数据库中保存的测试数据、测试人员的信息以及测试结论等,并将这些数据输出到一定格式的表格中,生成测试报告,可以供用户进行数据查询。

故障检测软件测试流程如图5所示。

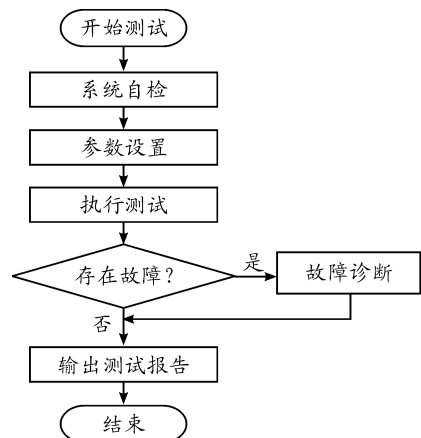


图5 故障检测软件测试流程

4 实验分析

故障诊断系统的前面板(如图6所示)分为性能测试和故障诊断两块。性能测试选项卡中可以实时显示测试波形、测试结果、保存测试结果。如果测试结果中异常,测试停止,点击故障诊断按钮可以进入故障诊断选项卡(如图7所示)。

在故障诊断过程中,按照流程通过检测故障树的每个节点的信号状态来判断故障节点是否正常,对检测出的节点实际数值或者信号波形与真值进行对比,查找出有故障的节点,给出维修建议,指导维修人员对故障节点进行故障排除。

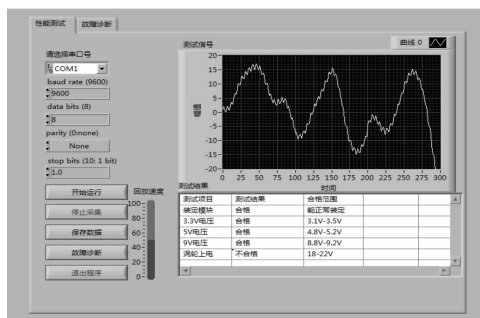


图6 性能测试界面

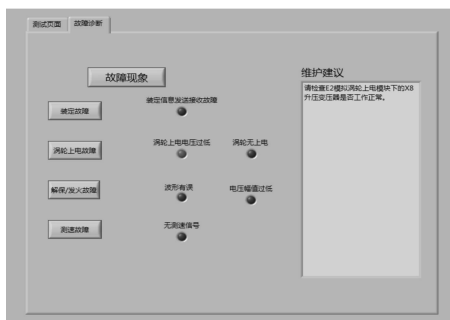


图7 诊断界面

5 结论

提出了一种基于故障树和虚拟仪器相结合用于引信测

试系统的故障诊断方法。以故障树作为知识获取的主要手段,构建了基于故障树的专家诊断系统。相对于人工手动排查故障原因,显著地提高了设备故障定位的效率。实验表明,本方法确保诊断知识完整性的同时又可以充分发挥专家系统诊断快速高效的优点。该故障诊断系统有力提高了现场维修技术人员的检测与故障诊断能力,对其他装备的故障诊断具有参考价值。

参考文献:

- [1] 芮延年,傅戈燕.现代可靠性设计[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [2] GB7829—87,故障树分析程序[S].
- [3] GEUM Y, SEOL H, LEE S, et al. Application of Fault tree Analysis to the Service Process: Service Tree Analysis Approach[J]. Journal of Service Management, 2009, 20(3/4): 433-454.
- [4] 杨为民.可靠性·维修性·保障性总论[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [5] 朱立安.基于规则的汽轮发电机组故障诊断专家系统的研究与完善[D].杭州:浙江大学,2007.
- [6] 许荣,车建国,杨作宾,等.故障树分析法及其在系统可靠性分析中的应用[J].指挥控制与仿真,2010,32(1): 112-115.
- [7] 罗航,王厚军,黄建国,等.故障树定量分析及其交互方式的实现[J].电子测量与仪器学报,2010,24(5):473-480.
- [8] 贾雪峰.故障树分析法在门式起重机维修中的应用[J].机电工程技术,2012(1):72-74.
- [9] 刘江.基于故障树的通用航空器故障诊断专家系统研究[D].广汉:中国民用航空飞行学院,2011.
- [10] 李银军,罗彦斌.基于虚拟仪器的某高炮综合检测系统设计[J].电子测量技术,2010,33(6):82-84.

(责任编辑 杨继森)