

基于标定信息的惯性测量组合 故障树分析方法*

付云朋,王宏力,侯青剑

(第二炮兵工程学院,西安 710025)

摘要:针对惯性测量组合结构和工作原理复杂,发生故障难以快速诊断,充分利用标定信息,采用故障树分析法对其进行故障诊断,可在短时间内查明故障原因,从而实现故障的快速定位.通过具体案例分析,表明此方法具有可行性和有效性.

关键词:惯性测量组合;故障树;故障诊断

中图分类号: TN966

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)09-0057-03

惯性测量组合是导弹武器系统的核心组成部分,用于测量导弹绕3个轴向的角速度和加速度,并提供光学方位瞄准基准,在导弹飞行过程中起着至关重要的作用.作为复杂系统,惯性测量组合不可避免的会发生故障,如果不能快速查找故障原因并排除,必定影响导弹作战任务的完成.因此,研究惯性测量组合的故障诊断具有十分重要的意义.

故障诊断的方法很多,其中故障树分析法提供了一种自上而下、由简到繁、逐层演绎的系统故障分析方法,它适合于分析复杂系统,能够考虑包括人的影响与环境影响对系统失效的作用的多重因素,并可以用图形的方法有层次地逐级描述系统在失效的进程中各种中间事件的相互关系,从而直观的描述系统是通过什么途径而发生的.故障树分析法最早应用于航天和军工部门,随后在核能、航空、航海、机械、电子等许多领域得到了广泛的应用.

但是,惯性测量组合的结构和工作原理复杂,物理器件多,建立整个系统的故障树非常困难,针对惯性测量组合使用中常出现的标定结果不合格的故障,在深入分析惯性测量组合组成、工作原理以及标定方法的基础上,提出了依据标定结果建立故障树的方法,通过建立相应故障通道的故障树大大缩小了故障搜索范围,实现了惯性测量组合故障的快速定位.

1 故障树分析法

故障树分析法是把分析系统最不希望发生的故障状态作为故障分析的目标,然后找出直接导致这一故障发生的全部因素,再找出造成下一级事件发生的全部直接因素,直到那些故障机理已知的基本因素为止.通常把最不

希望发生的事件称为顶事件,不再深究的事件称为底事件,而介于顶事件与底事件之间的一切事件称为中间事件,用相应的符号代表这些事件,再用适当的逻辑门把顶事件、中间事件、底事件联结成树形图,即构成了故障树^[1].

建树一般可按下述步骤进行^[2]:

1) 广泛收集并分析有关技术资料,包括熟悉设计说明书、原理图、结构图、运行及维修规范等有关资料;辨别因素和软件对系统的影响;辨识系统可能采取的各种状态模式以及它们各单元状态的对应关系,识别这些模式之间的相互关系.

2) 选择顶事件和确定边界条件.人们不希望发生的显著影响系统技术性能、经济性、可靠性和安全性的故障事件可能不止一个,在充分熟悉系统及其资料的基础上,做到既不遗漏又分清主次地把全部重大故障事件一一列出,再根据分析的目的和故障判据确定本次分析的顶事件.边界条件是一些合理的假设,这样有助于在建树过程中忽略次要因素,抓住重点.

3) 建造故障树.将顶事件作为第1级,用适当的逻辑门把导致顶事件的所有原因与顶事件连接起来,如此逐行进行下去,直至把最基本的原因分析出来,这样就形成了一个倒置的树状逻辑图.

4) 简化故障树.通过去掉多余的逻辑门和逻辑事件来对故障树进行化简.

2 惯性测量组合组成、工作原理及标定方法

对惯性测量组合进行故障树分析,关键是建立故障树,故障树的完善程度将直接影响最后结果的准确性.对

* 收稿日期:2009-06-29

作者简介:付云朋(1984—),男,唐山人,硕士研究生,主要从事故障诊断与维修研究.

于惯性测量组合这个复杂系统,建树工作十分烦琐.因此,首先对惯性测量组合的组成、工作原理及标定方法进行深入研究.

惯性测量组合主要由本体、电子箱、二次电源3大部分组成.本体上装有3个石英挠性摆式加速度计(J1、J2、J3)和2个动力调谐陀螺仪(T1、T2)及其伺服回路板(TS-1、TS-2).电子箱(未考虑温度控制板)中装有6块各个加速度计、陀螺仪的模数转换电路板(JB-x、JB-y、JB-z、TB-x、TB-y、TB-z)和1块频率标准板(PW).二次电源装有4块电源板,分别是温控电源板(WD)、交流电源板(GD)、陀螺功放电源板(TD)、回路电源板(HD).惯性测量组合的信号连接关系如图1所示.

1) 工作原理分析

系统加电后(温度控制电路工作,在满足惯性测量组合的温度条件后),交流电源板产生三相交流电,驱动陀螺仪电机运转,陀螺仪输出的电信号送至相应的伺服回路板,经过放大处理后,再返送至陀螺仪使其平衡,此信号经过模数转换电路板变成脉冲信号输出至弹上计算机.

2) 标定方法

利用已知输入信息,通过位置翻转和转台转动,对惯性测量组合各仪表的各方向进行激励,对仪表各方向的脉冲输出进行采集并计算,得到惯性测量组合的各误差模型系数,从而得到惯性测量组合的各误差模型.

由惯性测量组合的组成特点可知,在对仪表的1个方向采集脉冲时,其他方向的器件不产生影响.因此,可将惯性测量组合分为6个通道,分别是加速度计J1的X通道、加速度计J2的Y通道、加速度计J3的Z通道、陀螺仪T1的Z通道、陀螺仪T2的X通道和Y通道.本文中将以陀螺仪通道为例进行分析.

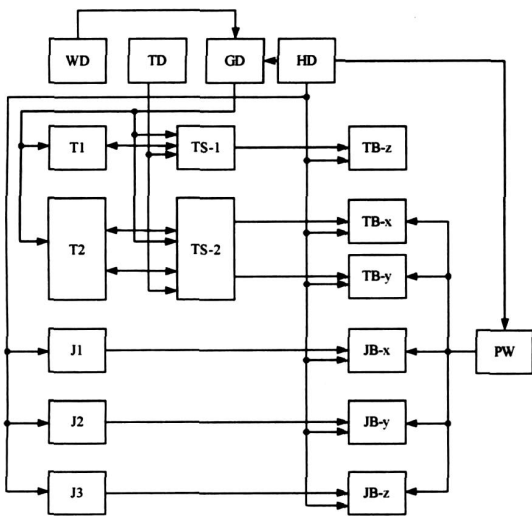


图1 惯性测量组合信号连接关系

3 惯性测量组合故障树的建立

惯性测量组合工作原理相对复杂,物理器件较多,建

立整个系统的故障树,必然导致所建故障树十分庞大,不利于故障的快速定位.综合考虑惯性测量组合标定方法,若与加速度计或陀螺仪的某通道标定结果出现异常,则故障源一定是与此通道相关的器件和因素,与其它通道无关,因此可以建立惯性测量组合各个通道的故障树.

3.1 顶事件与边界条件的确定

正确选择故障树的顶事件十分重要,顶事件的确立必须和故障树要完成的主要任务相一致,针对本文中研究内容,选取加速度计和陀螺仪的各个通道故障作为顶事件进行分别建树.

对于一个系统而言,可能发生的故障难以穷尽,建树过程中,如果把所有因素都考虑进去,势必使树的结构极为复杂,难以找到真正的焦点,比如有些部件的失效率极低,与可靠性差的部件相比几乎可以忽略它们对分析结果的影响[3].为获得在实际工作条件下与主要逻辑关系等效的系统故障树,对惯性测量组合的边界条件假设[4]:不考虑操作失误以及外界干扰因素;各插头以及电缆连接完好;惯性测量组合的输入信号符合规定要求;温控电路工作正常;各事件都为二值性.

3.2 故障树的建立

选取加速度计和陀螺仪的各个通道故障作为顶事件进行分别建树,可以获得加速度计和陀螺仪各个通道的故障树.以陀螺仪T2的X通道为例建立故障树,选取“X通道故障”作为顶事件,底事件的选取定位到能够独立完成某一功能的模块.故障树如图2所示.表1和表2分别给出了故障树的中间事件和底事件.

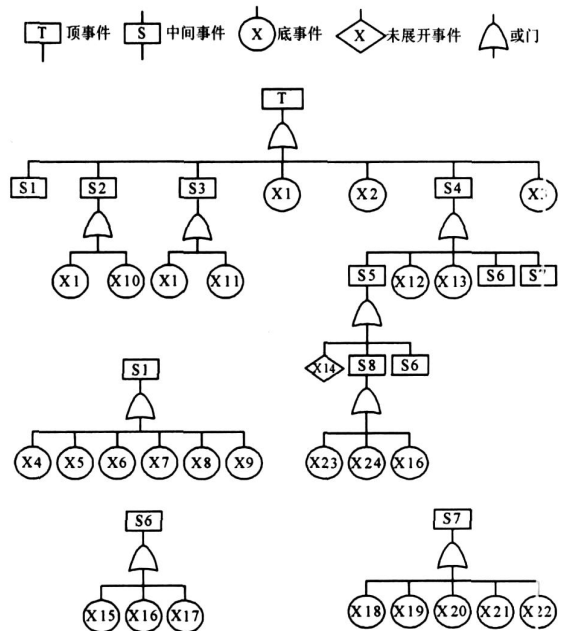


图2 陀螺仪T2的X通道故障树

表 1 中间事件

Si	中间事件
1	模数转换电路板 TB-x 故障
2	频率标准板 PW 送到模数转换电路板 TB-x 的 1 kHz 脉冲信号故障
3	频率标准板 PW 送到模数转换电路板 TB-x 的 64 kHz 脉冲信号故障
4	伺服回路板 TS-2 送到模数转换电路板 TB-x 的指令电流故障
5	陀螺仪 T2 的 X 通道交流输出故障
6	交流电源板 GD 送到伺服回路板 TS-2 的 7 V 16 kHz 信号故障
7	陀螺仪 T2 的 X 通道伺服回路故障
8	交流电源板 GD 送到陀螺 T2 的三相电故障

表 2 底事件

Xi	底事件
1	回路电源板 HD 的 +15V-A 产生电路故障
2	回路电源板 HD 的 -15V-A 产生电路故障
3	频率标准板 PW 送到模数转换电路板 TB-x 的 ± 24 V 产生电路故障
4	恒流源故障
5	锯齿波发生器故障
6	电流积分器故障
7	电子换向开关故障
8	量化逻辑电路故障
9	脉冲输出器故障
10	频率标准板 PW 的 1 kHz 脉冲信号产生电路故障
11	频率标准板 PW 的 64 kHz 脉冲信号产生电路故障
12	陀螺功放电源板 TD 的 ± 15 V-G 产生电路故障
13	陀螺功放电源板 TD 的 ± 40 V 产生电路故障
14	陀螺 T2 故障
15	交流电源板 GD 的 7 V 16 kHz 信号产生电路故障
16	温控电源板 WD 送到交流电源板 GD 的 +15 V 产生电路故障
17	温控电源板 WD 送到交流电源板 GD 的 -15 V 产生电路故障
18	交流放大器故障
19	相敏解调器故障
20	滤波器故障
21	校正网络故障
22	功率放大器故障
23	交流电源板 GD 的三相电产生电路故障
24	回路电源板 HD 的 ± 12 V 产生电路故障

4 案例分析

某次对惯性测量组合进行标定时,陀螺仪 T2 的 X 通道模型的误差系数异常.依据前面的分析,则可断定陀螺仪 T2 的 X 通道故障.由所建故障树可知,能够直接导致陀螺仪 T2 的 X 通道故障的因素有 TB-x 故障、1 kHz 脉冲信号故障、64 kHz 脉冲信号故障、TB-x 的指令电流故障、+15V-

A 产生电路故障、-15V-A 产生电路故障和 ± 24 V 产生电路故障.通过检测,TB-x 的指令电流故障.而导致 TB-x 的指令电流故障的因素有陀螺仪 T2 的交流输出故障、7 V 16 kHz 信号故障、伺服回路故障、 ± 15 V-G 产生电路故障和 ± 40 V 产生电路故障.对这 5 个信号进行测试,发现陀螺仪 T2 的交流输出故障.导致这一结果的原因有 7 V 16 kHz 信号故障、陀螺 T2 的三相电故障以及陀螺 T2 故障.通过进一步检测,发现 7V 16kHz 信号、陀螺 T2 的三相电都正常,(下转第 62 页)

附表

干扰量	级数	偏差	干扰正负	纵向偏差/m	横向偏差/m
起飞重量偏差/N	一级	2.52 %	正	73.23	- 26.45
	二级	2.22 %	负	- 80.12	- 86.32
发动机推力偏差/N	一级	0.63 %	正	- 30.56	- 8.48
	二级	1.08 %	负	38.59	- 0.68
秒耗量偏差/(N s ⁻¹)	一级	2.43 %	正	- 60.45	- 47.91
	二级	4.48 %	正	- 43.56	- 32.34
法向推力偏斜偏差/(°)	一级	25	正	52.01	17.75
	二级	23	负	- 60.23	- 17.12
横向推力偏斜偏差/(°)	一级	25	正	15.49	- 206.12
	二级	23	负	- 21.02	208.89
纵向风偏差/(m s ⁻¹)	主动段	30	正	- 58.42	2.17
			负	48.52	- 1.13
比推力偏差/s	一级	1.53 %	正	- 4.55	- 0.01
	二级	1.42 %	负	- 3.88	0.02
压力偏差/(N m ⁻²)	主动段	10 %	正	- 33.45	- 0.32
			负	32.44	- 1.78
程序角偏差/(°)	一级	0.155	正	83.22	60.89
	二级	0.445	负	- 100.20	- 55.78
重心偏差/m	一级	0.043	正	- 1.83	0.04
	二级	0.031	负	- 2.24	- 0.01
方法误差	—	—	—	227.42	324.22

(上接第 59 页)则可断定导致陀螺仪 T2 的 X 通道故障的故障模式为陀螺 T2 故障。

通过以上分析可以知道,从发现故障到确定故障源,总共对 14 个信号进行了检测,明显减少了检测时间,大大缩小诊断范围,提高了诊断效率,实现了故障的快速定位。

5 结束语

在深入分析惯性测量组合组成、工作原理以及标定方法的基础上,利用标定信息分通道建立故障树,与建立整个系统的故障树相比,建树更为简便,故障搜索效率更高。具体案例分析表明,基于标定信息的故障树分析方法是惯

性测量组合故障诊断的一种有效方法。

参考文献:

- [1] 史定华,王松瑞.故障树分析技术方法和理论[M].北京:北京师范大学出版社,1993.
- [2] 胡昌华,许化龙.控制系统故障诊断与容错控制的分析与设计[M].北京:国防工业出版社,2001.
- [3] 杨定新,陶利民.捷联惯导系统电路故障诊断的故障树分析法[J].航空电子技术,1999(5):32-36.
- [4] 周海京,遇今.故障模式、影响及危害性分析与故障树分析[M].北京:航空工业出版社,2003.