

文章编号: 1000-8055(2000) 03-0303-04

一种用于可靠性自动化分析的故障系统描述模型

宋志平 李应红

(空军工程大学 工程学院一系, 陕西 西安 710038)

摘要: 为了对系统的可靠性进行自动化分析, 本文在两个方面发展了进行故障系统描述的故障传递表模型: (1) 对故障传递表的格式进行了较大改进; (2) 提出了能流故障类, 以它为故障传递表描述的补充。采用这种改进的模型可方便地对系统进行多模态及复杂的故障关联描述。将模型应用于航空发动机液压机械控制系统的描述, 并自动建造故障树, 取得了较好的效果。

关键词: 故障诊断系统; 可靠性; 自动化; 模型

中图分类号: V 263.6

文献标识码: A

1 引言

产品的可靠性问题越来越受到人们的重视。如何利用计算机对一个系统的可靠性进行自动化分析是一个尚未研究成熟的课题。在这些分析中诸如自动建造故障树、故障模式影响分析、元件重要度计算、故障监控方式确定等都依赖于对故障系统的描述, 即系统可靠性自动化分析首先要建立故障系统描述模型。所谓故障系统, 是实际系统中各种故障状态及故障状态之间内在关联的总和, 是实际系统的故障状态集合。对故障系统描述和进行可靠性自动化分析的过程可用图 1 表述:

在图 1 中, 描述阶段完成从实际的系统中提取故障状态信息, 构造模型故障系统。而转化和可靠性分析过程则对所提取到的故障信息进行进一步处理。描述过程是否能真实、有效地反映实际系统, 决定了所生成的应用数据结构(如故障树)的有效性和实用价值。显然, 故障关系模型不能由部

件故障及其二元关系简单叠加构成, 它必须充分反映系统故障信息的整体关联。

从 80 年代末以来, 产生了一些应用于自动建造故障树的故障系统描述模型^[1, 2]。有代表性的是 Andre Bossche 在文献[1]中提出的故障传递表模型, 这种模型的基础是部件故障分级和部件间故障传播描述, 故障被看作部件中输出变量偏离正常值或输入输出变量间正常功能关系的改变。变量偏差 δ 分为 5 种情况($-10, -1, 0, +1, +10$), 即正负大偏差(± 10)和小偏差(± 1)。其中, 小偏差在控制系统的前馈和反馈回路中可以被补偿。基于该模型出现了一系列自动建造故障树的研究^[3, 4]。

在实际应用中发现, 这些模型还很不完善, 主要归纳为: (1) 对于部件间输入输出关系复杂和部件间功能变量偏差形式多且关联复杂的系统, 描述工作容易复杂化, 且还不能完整反映系统故障信息; (2) 系统中存在一些复杂故障关联(如几种

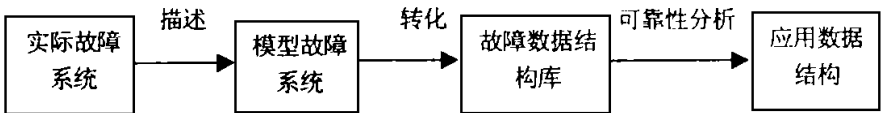


图 1 故障系统描述与自动化分析过程图

收稿日期: 1999-08-25; 修订日期: 1999-11-08

作者简介: 宋志平(1973-), 男, 空军工程大学工程学院一系, 博士研究生。

重要的非线性关联) 是这些模型无法描述的; (3) 生成的故障传递表的模块化不强, 可移植性差。所以这些模型很难有效应用于对复杂故障系统的描述中。本文对 Bossche 故障传递表的格式进行了较大的改进, 并提出了能流故障类的概念, 我们将这种新模型称为能流故障传递表描述模型。

2 能流故障传递表描述模型

2.1 对故障传递表格式的改进

本文将 Bossche 故障传递表发展为一种新格式的故障传递表。其改进的关键部分可归纳为:

(1) 放弃将变量偏离分为 5 个水平的做法, 而将需要被考虑的同一参数的各种偏离和同一部件故障的不同发生程度都看作同一类对象—故障元, 故障元也可以是为表述复杂故障关系而设置的虚拟故障元。故障元本身没有关联信息, 它们之间的关联通过广义传递关系来描述。

广义传递关系包括“或”、“与”、“导致”等原有传递关系, 还有: “补偿”关系, 表示发生关系的故障元如果是共因故障, 则相互中和; “屏蔽”关系, A “屏蔽”B 表示 A 故障可使 B 故障终止传播; “同类”关系, 表示这些故障元属于同一故障模式的不同发生程度, 并且低程度的故障元如果经过传递环可导致高程度的故障元。

(2) 传递关系的描述是通过传递符号实现的。“或”(+)、“与”(*)、“补偿”(−)、“屏蔽”(!)、“同类”(<) 和“导致”(=) 等。故障元同这些符号一起构成故障传递语句, 语句排列构成故障传递表(图 2, 传递表描述的几种形式简例)。

故障 A + 故障 B = 故障 C	(1)
故障 C * 故障 D = 故障 E	(2)
故障 A − 故障 E	(3)
故障 M = 故障 N	(4)
故障 P ! 故障 N	(5)
故障 M * 故障 P = 故障 Q	(6)
故障 Xin 模块 m = 故障 E	(7)
故障 E = 故障 F : 状态 n	(8)
故障 I < 故障 J < 故障 K	(9)

图 2 新格式传递表描述的几种形式简例

(3) 传递语句可以依据部件或子系统而分为不同的模块, 模块内部的故障元被封装, 其它模块的语句如果需要引用此故障元, 则须注明模块名(形式如图 2 7)。

(4) 依照故障系统描述中的需要建造系统的

状态树(例: 发动机状态树的简化形式, 图 3), 按照状态树设定某些传递语句的状态条件, 表示这些传递语句只在某一系统状态下才成立(图 2 (8))。

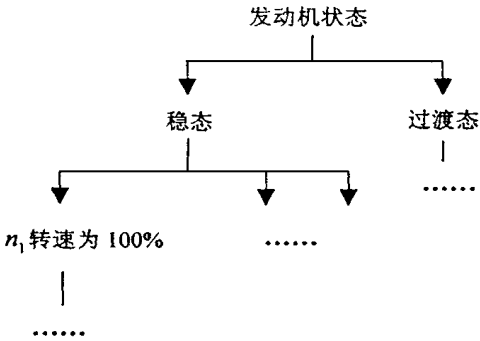


图 3 发动机状态树的简化形式

新故障传递表形式更灵活, 能够较简易地实现原有的描述。比如, 对于控制系统的前馈和反馈回路中存在的故障补偿现象, 可以描述为由共因故障导致的非线性关联。图 2, (1) (2) (3) 简要介绍了这种描述, (3) 表示 A 与 E 是“补偿”关系, 相互之间存在补偿的可能, 而(1), (2) 表示 A 与 E 是共因的(共因于 A), 所以 A 和 E 可相互补偿。

在新故障传递表中, 通过设置系统状态树, 解决了对故障的软关联问题的描述。所谓软关联, 指的是系统中故障模式的传递或传播取决于系统的状态, 在有些状态下可传递, 有些则不可(图 2, (7) 对软关联的描述)。故障软关联在工作范围广、状态变化大的系统中显得尤其重要。新故障传递表能够描述几种复杂的故障关联, 如: 图 2(4) ~ (6) 中, 如果故障 Q 的危险等级小于故障 N, 则是一种由故障遮蔽导致的非线性现象(P 故障发生而系统故障等级下降)。这种现象很常见, 尤其是在软件系统中。

对故障传递表的改进, 使它实际上成为一种故障传递描述语言。这一语言能够较完备地描述系统中故障关联, 而其描述的形式又较灵活, 可移植性较强。同时, 描述的结果可以被方便地转化为一种数据结构, 以利于进行自动化分析。笔者编制的故障系统模型建造软件可对这一语言进行识别、检测和转化^[5]。

2.2 能流故障类

由于 Bossche 传递表是以部件之间的直接关系为基础来描述系统, 故而不可避免地存在对某些复杂结构和复杂关联难以处理及描述过程过于烦琐的缺陷(如: 部件间的网状连接结构、故障远

程潜在关联、 n 中取 r 问题等)。提出能流故障类弥补了传递表模型的这一固有缺陷。能流故障类所面向的是系统中的某些相关整体,它通过描述某些相关整体与部件的关系来构造系统故障关联。能流故障类的使用还可大大减少描述工作量。

在故障系统中,能流是一个定义范围被延展了的概念,它不仅包括电流、液流和气流等物理意义上的能流,也可以是对系统中某些相关运动或相关功能的抽象称谓。比如,飞机机械操纵系统,可以把操作的位移量看作能流。能流系统则是系统中某一能流和与此能流直接联系的部件的总称。一个实际系统可依据能流的形式或能流关联的特点而分为若干个能流系统。在能流系统中,能流本身可以具有某些故障形式,也可以是部件故障传播的载体,这些都表现为能流中某种参数出现偏差,我们将这种偏差称为能流故障。能流故障是能流系统中部件故障关联的纽带。能流故障类则是对能流故障的形式、关系和形成特点进行总体描述的一个概念,它是一个能流系统中各种能流故障及故障关联属性的集合的抽象。我们通过对能流故障类的描述和对部件与能流故障类关系的描述来完成对能流系统的描述。

2.2.1 能流故障类的结构

能流故障类的主体是能流故障,能流故障类的结构描述了能流故障的一般关联形式。

(1) 能流故障包含了在此能流可能的所有故障模式,这些故障模式首先集合为一个树状的结构。其中,通常以此能流故障类的失效为根结点,而故障类失效的具体形式为根结点的下级结点,然后,根据需要将结点继续细化形成一级级的枝叶。形成的树能流故障集具有如下要求:任何结点

的故障模式必须是其上级结点故障模式的具体表现形式;而每个结点的故障模式又不可是其非上级结点故障模式的表现形式(图 4 为某型发动机主燃油调节系统的燃油能流故障集的简化示意)。

(2) 故障结点间不仅具有树关系,还可以具有“同类”关联和“补偿”等复杂关联形式,这些故障关联是通过在故障类所附属的故障传递表来描述的。其中,同类关联只能是同枝结点的下属结点之间的关系,它表示这些结点是同一故障形式的不同等级的故障程度,在一定条件下,这些不同程度的故障之间可以转化。如图 4 中的“油压上升快于常值”下属的两个结点。而“补偿”关联表明故障模式之间存在着由共因补偿导致的非线性故障关联,发生关联的结点之间没有固定的连接关系。

(3) 能流故障有属性特征值。一个能流故障的属性值描述了能流故障的形成条件、作用范围以及传播方向。通过属性值建立能流局部与能流整体、能流与部件的故障关联。属性包含范围值、条件值和传播方向值。其中,范围值描述了在不考虑部件对能流故障的作用的前提下,局部能流故障在能流系统中的传播范围。范围属性可以是“全系统”、“回环”(电路中的回路或液流中的循环等)等要素。条件属性描述部件故障形成能流故障的条件,它可以是“ n 中取 r ”、“单一因素”等要素。传播方向属性则是“双向”、“顺流”、“反流”等要素(如:图 4 中的“燃油气塞”属性为“全系统、单一因素、顺流”)。在故障类中,每个下级结点继承其上级结点的属性,也可根据需要对它的属性进行重新设定。

2.2.2 能流故障类与部件

能流依附于具有一定的物理连接结构的部件集合,这些部件同能流故障类的故障关系也就可

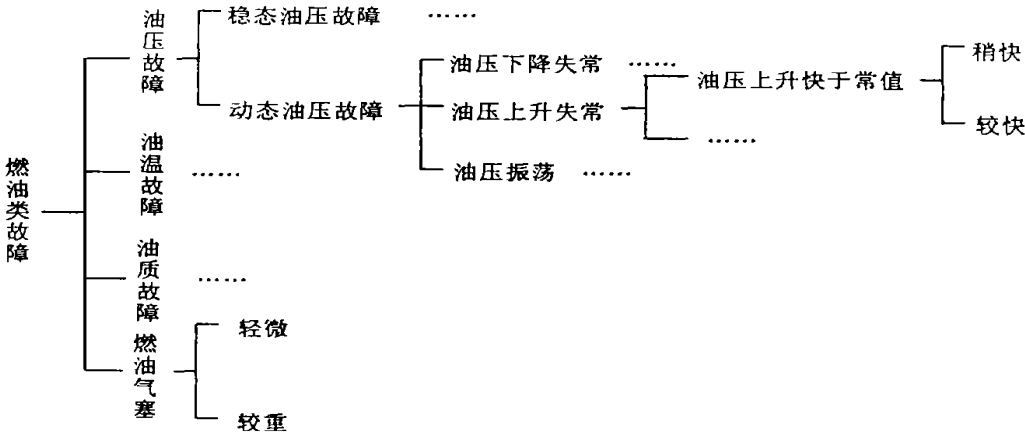


图 4 某型发动机主燃油调节系统的燃油能流故障集的简化示意

以由故障传递表描述。在描述中,能流故障类可以被看作一个广义的部件,它的故障模式则是其故障集合中的元素。这样,故障传递表模型描述基础就在原部件关系的基础上发展了部件与能流故障类的关系。

能流故障类与部件之间首先有故障传递关系,故障传递关系发生在部件中的故障模式与能流故障之间。描述这种故障关系要遵循“独立准则”,亦即忽略其它部件的存在,考虑能流系统中只有本部件时的传递关系。部件也可对能流故障在能流中的传播产生作用。能流故障的传播遵循在其属性中进行的一般描述,在特定部件处则可能具有特殊的传播方式。传播关系是用广义传递关系来描述的。

3 应 用

我们将本文的描述模型应用于对某型航空发动机的主燃油调节系统和导流叶片调节系统的故障树自动建造,对于这种故障关联较复杂的液压机械控制系统,利用 Bossche 的故障传递模型自动建造多模态故障树非常困难,且易于产生错误结果。现以导流叶片调节系统为例,介绍本文模型在自动建树中的应用。

(1) 运用本文的模型对该系统进行故障描述。该系统共包括部件近 60 个,存在反馈装置和余度装置,故障关系较复杂。得到故障传递关系语句 280 多句,设置能流故障类 1 个(高低压调节反馈位移故障类)。

(2) 描述结果被编制的“故障图建造系统”软件识别和转化为一种数据结构库,称故障图^[5,6]。

(3) 分别选取 6 个顶事件(如:低压压气机导流叶片调整量过小),基于该系统的故障图进行多

模态故障树的自动建造。将所建成的故障树与手工建造的故障树进行比较检验,可知,所生成的故障树合理、正确。

在应用中可以看出如下特点:可以选取系统中任何的故障模式为顶事件来自动生成故障树,对系统的一次描述即可解决建造多模态故障树问题,自动化意义较大;其次,随着对系统故障关联认识的加深或系统功能关系的改进,可以方便地对描述结果进行修改和维护。

具体描述内容参考文献[5]。

4 结 论

本文的故障系统能流故障传递表描述模型可以有效地应用于复杂的电子、机械和液压系统,是进行系统可靠性自动化分析的基础。

参 考 文 献

- 1 Bossche A. Fault tree analysis and synthesis[P]. NASA, n88-235210
- 2 Schwarzblat M. et. PC-FTA: An expert system for fault tree construction[C]. In Proceeding of the international conference on PSAM, 1991: 793-798
- 3 辛宇峰,李应红. 一个智能化的故障树自动建造系统[C]. 第一届全国智能控制与智能自动化大会论文集(上),北京:科学出版社 1993: 129-134
- 4 陶军,李应红,辛宇峰. 控制系统故障树自动建造研究[J]. 自动化学报, 1997: 822-827
- 5 宋志平. 故障树自动建造系统研究:[研究生论文][D]. 空军工程学院, 1998
- 6 田丰,马仲蕃. 图与网络流理论[M]. 北京:科学出版社, 1987
- 7 章国栋等. 系统可靠性与维修性分析与设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1990

(责任编辑 王震华)

A Model of Fault System Description for Automatic Reliability Analysis

Song Zhiping Li Yinghong

(1st Dept. College of Engineering, The Air Force University of Engineering, Xi'an 710038, China)

Abstract: In order to analyze the systematic reliability automatically, a model of fault transfer table for describing fault system is developed in two aspects: (1) the format of fault transfer table is improved obviously; (2) the energy-flow fault class is put forward so as to supplement the fault transfer table. Using this ameliorated model, multi-mode and complicated fault conjunctions can be described expediently. This model has been applied to fault description of an aeroengine hydraulic mechanical control system, and the fault tree has been built automatically, in result a success has been reached.