

基于GO法的机床液压系统故障诊断方法研究*

陈国华^{1,2,3}, 胡海莹^{1,2}, 仲振亚^{1,3}, 闫茂松^{1,3}

(1 湖北文理学院机械与汽车工程学院, 襄阳 441053; 2 汽车零部件装备制造湖北省协同创新中心, 襄阳 441053; 3 襄阳华中科技大学先进制造工程研究院, 襄阳 441053)

摘要:在深入分析某机床液压系统故障机理的基础上,运用故障树分析原理建立了机床液压系统的故障树模型。针对GO法在分析系统可靠性方面的优点,建立了机床液压系统的可靠性诊断GO模型,并给出了具体的可靠性定量计算及故障模式分析的方法。实例分析验证了模型与方法的有效性与可行性。

关键词:GO法;机床液压系统;故障诊断;可靠度

中图分类号:TH137 **文献标志码:**B **文章编号:**1671—3133(2015)12—0121—05

Fault diagnosis method for CNC hydraulic system based on GO methodology

Chen Guohua^{1,2,3}, Hu Haiying^{1,2}, Zhong Zhenya^{1,3}, Yan Maosong^{1,3}

(1 School of Mechanical and Automotive Engineering of Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei, China; 2 Equipment & Manufacturing for Auto Parts in Collaborative Innovation Center of Hubei Province, Xiangyang 441053, Hubei, China; 3 Institute of Advanced Manufacturing Engineering of Huazhong University of Science and Technology in Xiangyang, Xiangyang 441053, Hubei, China)

Abstract: Based on fault tree analysis theory, fault tree model of CNC hydraulic system has been built after the deep analysis of the fault mechanism of a certain CNC hydraulic system. And in view of the the advantages of GO methodology on the analysis of system reliability, the GO model is established for the reliability diagnosis of the CNC hydraulic system, as well as a specific quantitative calculation for reliability and a analysis method for the failure mode are presented. Finally a case analysis is introduced to verify whether the model and method is effective and feasible.

Key words: GO methodology; CNC hydraulic system; fault diagnosis; reliability

0 引言

用户选购数控装备时,十分关注产品是否具备所需的性能或功能,但更为关注的是性能或功能的保持性,极为关注产品在全寿命周期中的表现,强调产品在使用和运行中的质量,即数控机床的可靠性,因此顾客满意的最基本的要求就是数控机床的可靠性。

数控机床是一个高度复杂的大系统,它一般包括主机、刀库、油冷机、排屑器、数控转台、托盘交换装置、主轴、直线导轨、滚珠丝杠、防护系统、控制系统及液压系统等。为了保证机床整机的可靠性水平,必须提高每一个子系统的可靠性,故障分析与诊断属机床可靠性研究的一个重要内容。

数控机床液压系统是数控机床加工的重要组成部分,数控机床加工控制完全由液压系统来实现,如工件的定位、主轴刀具的夹紧等都是通过液压系统来驱动的,所以数控机床的故障有很大一部分来源于数控机床液压系统^[1-2]。对于机床液压系统引起的故障能够做出及时准确的判断,并找出故障原因和解除办法,将大大降低维修的盲目性,提高经济性和安全性,因此研究机床液压系统的故障诊断问题具有十分重要的意义。

机床液压系统的故障树分析,多数文献都只进行故障模式分析^[3-6],而在计算系统可靠性方面,只能先求出最小割集,然后通过最小割集的概率来得出顶端事件的概率,是一种近似值而非准确值,为此本文将

* 湖北省科技重大专项项目(2014AAA007);2012年襄阳市科技计划开发与研究项目;2014年汽车零部件装备制造湖北省协同创新中心对外开放项目

一种新的可靠性分析方法——GO法应用于机床液压系统的可靠性研究中,不仅可以精确计算系统可靠性,也能进行故障模式分析,为机床系统故障研究提供了一种新的思路。

1 机床液压系统的故障树分析

在前期深入分析某数控加工中心液压系统故障机理基础上,为了便于该液压系统的故障树分析,去掉没有引起系统故障的事件,认为该加工中心液压系统的故障主要表现为液压系统压力不足和流量不稳定两个方面^[4]。

引起机床液压系统压力不足的主要表现为液压负载不动或者负载时停时动,通过故障树原理进一步分析发现,造成该系统故障的主要原因有:1)液压缸、阀、管接头、压力表接头等密封元件损坏;2)液流阀错误或磨损;3)油箱缺油;4)泵故障。

引起机床液压系统流量不稳定的主要表现为执行件时快时慢,不稳定。造成此故障的原因有:1)过滤网、阀或管道堵塞;2)流量调整阀或方向阀故障;3)阀节流口磨损;4)液压缸、阀、管接头、压力表接头等密封元件损坏;5)泵故障。

根据故障树分析的原理与方法,继续逐层深入分析中间事件、底事件,可建立某加工中心液压系统的故障树结构,如图1所示。

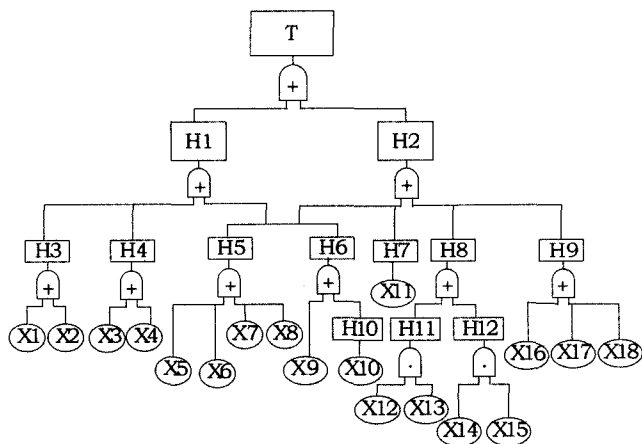


图1 某加工中心液压系统的故障树结构

图1中各符号表示的事件含义为:T为机床液压系统故障;H1为机床液压系统压力不足;H2为机床液压系统流量不稳定;H3为溢流阀调压错误或磨损;H4为油箱缺油;H5为液压缸、阀、管接头、压力表接头等密封元件损坏导致的泄漏;H6为泵故障;H7为阀节流口磨损;H8为过滤网、阀和管道堵塞;H9为流

量调整阀或方向阀故障;H10为电动机转向错误;H11为过滤网堵塞;H12为阀或管道堵塞;X1为液压油有固体颗粒或不干净;X2为人为错误;X3为油箱漏油;X4为人为错误;X5为液压油有固体颗粒导致的磨损;X6为油冷装置故障;X7为液压油生化服饰金属壁;X8为压力过大损坏密封件;X9为泵疲劳损坏;X10为电气接线错误;X11为液压油有固体颗粒磨损;X12为液压油不干净;X13为过滤网时间过长未更换;X14为液压油流速过慢;X15为液压油有杂质;X16为锈蚀或固体颗粒卡死;X17为电气系统故障;X18人为错误。

2 基于GO法的机床液压系统故障建模

2.1 GO法原理^[7]

GO法是一种以成功为导向的系统概率分析技术,它的基本思想是把系统原理图、流程图或工程图直接按照一定规则翻译成GO图(或GO模型)。GO图的建立过程是用GO操作符号去代替具体的部件,或者是代表逻辑关系;用信号流连接操作符号,代表具体的物流,或者是代表逻辑上的进程。操作符代表一定的功能,它与其输入、输出信号有规定的运算规则,利用GO图和GO操作符的运算规则就可以完成系统可靠性分析的各种功能。GO法有以下特点。

1)GO法直接从系统图建立GO图,GO图中的操作符直接表示系统中部件的功能,操作符的输入、输出信号表示部件之间的关系和相互作用,因此GO图是系统的直接模拟,GO图中的操作符和系统的部件几乎是一一对应的。

2)GO图直接表示系统和部件之间的相互作用和相互关系,因此易于检查、变换和修改。

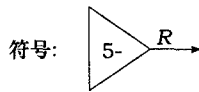
3)GO法以成功为导向直接进行系统概率分析和常规的工程分析,与通常的流程过程分析相类似,易于理解。

4)GO法不只是评价导致系统故障的事件组合,还要分析系统所有可能状态的事件的组合,因此GO法定性分析可以分别确定系统成功和系统故障的事件集合。

5)GO操作符和信号流都可以表示系统的多个状态,因此GO法可用于有多状态的系统概率分析,GO法分析可以非常精确地计算系统的成功状态概率和故障状态概率。

因此GO法应用较广,概括起来具有以下功能。

1)提供系统可靠性精确有效的定量信息,可用来评价系统的可靠性或可用性。



设操作符的成功概率为 $P(1)$, 故障状态概率为 $P(2)$, 则输出信号 R 的概率即与操作符成功与故障状态概率相同。如图2中, 输出信号1的成功概率与输入操作符“5-1”的 X_1 成功概率相同, 故障状态概率也与之对应。

3) 第10类: 与门操作符。



表示的意义为: 输入信号 S_1, S_2, \dots, S_i 中所有输入信号成功, 才会有输出信号 R 。

运算规则为: 输出信号的成功概率为:

$$P(R=1) = P(S_1=1) \times P(\dots) \times P(S_i=1)$$

故障概率为:

$$P(R=2) = 1 - P(S_1=1) \times P(\dots) \times P(S_i=1)$$

通过以上运算规则, 就可以很方便地计算最终输出信号的成功与故障的概率, 即机床液压系统的可靠性。

2.3.2 机床液压系统故障模式分析及重要度的计算

机床液压系统故障模式分析主要就是确定该系统中的最小割集。GO法确定最小割集的基本方法是: 求一阶割集时, 只要假定功能操作符中某1个操作符为故障状态, 不管其他操作符是何种状态, 若计算该系统成功概率为0, 则该操作符的故障状态即为系统的一个一阶割集, 依次进行就可以求得所有一阶割集; 求二阶割集时, 假定在一阶割集以外取两个操作符号, 并假设为故障状态, 无论其他功能操作符为何状态, 若计算系统概率为0, 则该两个操作符为二阶割集, 依次可以求得所有二阶割集。如此类推, 就可以得到系统的所有阶割集, 如此求得的所有阶割集即为系统的最小割集。

最小割集中操作符故障状态的组合代表了系统功能子系统故障事件的组合, 这些子系统故障概率乘积代表了最小割集的发生概率。最小割集的发生概率用于评价最小割集的重要度, 为进行系统改善提供依据。

3 实例分析

为对某卧式加工中心进行可靠性研究, 实现其平均无故障工作时间 (Mean Time Between Failure, MTBF) 的倍增, 前期进行了大量的机床整机故障部位、故

障模式和故障原因等分析。根据研究计划, 笔者选取了不同用户的6台加工中心, 开展了从2012年1月~2013年12月为期2年的机床故障统计工作。在机床实际加工过程中, 按照每周进行1次系统故障排查, 对6台加工中心共进行了624次检查记录并整理与统计, 数据列于表1中, 由此可以进行故障改进研究。

表1 机床液压系统故障统计数据

	H1	H2	H3	H4	H5	H6
X1	7					
X2	2					
X3		6				
X4		2				
X5			12			
X6			4			
X7			2			
X8			5			
X9				19		
X10				2		
X11				6		
X12					5	
X13					4	
X14					6	
X15					6	
X16						4
X17						8
X18						3

3.1 机床液压系统可靠度的计算

运用GO法可计算该加工中心液压系统的可靠度精确值为0.8755, 也即信号流30的值(信号流30的计算涉及到了具有共有信号的计算问题, 可参照文献[8]), 各信号流的计算结果如表2所示。

表2 各信号流的计算结果

信号流序号	成功概率	失效概率	信号流序号	成功概率	失效概率
1	0.988	0.112	16	0.994	0.006
2	0.996	0.004	17	0.987	0.013
3	0.990	0.010	18	0.995	0.005
4	0.996	0.004	19	0.986	0.014
5	0.981	0.019	20	0.987	0.013
6	0.994	0.006	21	0.999	0.001
7	0.996	0.004	22	0.999	0.001
8	0.992	0.008	23	0.964	0.036
9	0.969	0.031	24	0.964	0.036
10	0.996	0.004	25	0.967	0.033
11	0.990	0.010	26	0.967	0.033
12	0.992	0.008	27	0.976	0.024
13	0.994	0.006	28	0.906	0.094
14	0.990	0.010	29	0.900	0.100
15	0.990	0.010	30	0.876	0.124

3.2 机床液压系统故障模式分析

割集概率是由割集内各故障事件概率的乘积得到,重要度表示的是割集故障概率占系统总故障概率的百分数,重要度越大说明该事件或因素对系统故障越有影响,因此应加以重点控制或改善。GO法为计算系统割集的故障模式分析带来了方便,表3所示为机床液压系统的故障模式。

表3 机床液压系统的故障模式

阶数	操作符组合	割集概率 $\times 10^{-2}$	重要度/%	
1	1	1.122	8.52	
	2	0.321	2.44	
	3	0.962	7.31	
	4	0.321	2.44	
	5	1.923	14.61	
	6	0.641	4.87	
	7	0.325	2.47	
	8	0.801	6.09	
	9	3.045	23.13	
	10	0.321	2.44	
	11	0.962	7.31	
	16	0.641	4.87	
	17	1.282	9.74	
	18	0.481	3.65	
	2	12,13	0.005	0.038
		14,15	0.009	0.068
	所有割集之和		13.162	100

由表3所示可知,重要度最大的是第9号操作符所在的割集,即“泵疲劳损坏”,达到了23.13%,是该机床液压系统故障最重要的因素,应予以重点控制或改善;其次是第5号操作符所在的割集,即“液压油有固体颗粒导致的磨损”,达到了14.61%;第17号操作符所在割集,即“电气系统故障”,达到了9.74%;第1号操作符所在的割集,即“液压油有固体颗粒或不干净”,达到了8.52%。如此类推,就可以确定哪些因素应重点控制或改善,这为机床液压系统故障改进提供了思路。

4 结语

数控机床的故障很大部分来源于数控机床液压系统,研究机床液压系统故障诊断方法是一项非常有意义的工作。本文将一种新的可靠性分析方法——GO法应用于机床液压系统的可靠性研究,给出了可靠性精确定量计算与故障模式分析的方法,并由此评价系统的可靠性,以及确定需要重点控制或改善的对象。本文所提方法也可为类似可靠性问题提供参考或借鉴。

参考文献:

- [1] 周汝胜,焦宗夏,王少萍. 液压系统故障诊断技术的研究现状与发展趋势[J]. 机械工程学报,2006,43(9).
- [2] 王芙蓉. 基于Delphi7的机床液压系统故障诊断专家系统的开发[J]. 机床与液压,2006(9).
- [3] 张龙,熊国良,何柏林,等. 机床液压系统故障树分析[J]. 机床与液压,2005(2).
- [4] 张根保,张恒,庞继红,等. 数控机床液压系统故障溯源及分析[J]. 计算机应用研究,2012,29(4).
- [5] 米金华,李彦锋,李海庆,等. 基于模糊理论的数控机床液压系统故障树分析[J]. 制造技术与机床,2011(4).
- [6] 张艳丽,高佩川,袁勤. 数控加工中心液压系统模糊故障树分析[J]. 机床与液压,2010,38(17).
- [7] 沈祖培,黄祥瑞. GO法原理及应用:一种系统可靠性分析方法[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [8] 沈祖培,唐辉. 有共因失效的系统可靠性的GO法分析[J]. 清华大学学报:自然科学版,2006,46(6).

作者简介:陈国华,工学博士,副教授,主要研究方向为工业工程、机床可靠性等。

E-mail:59782071@163.com

收稿日期:2015-03-03

(上接第120页)

- [11] Kannan D, Diabat A, Alrefaei M, et al. A carbon footprint based reverse logistics network design model [J]. Resources, Conservation and Recycling,2012(67): 75-79.
- [12] Wang F, Lai X, Shi N. A multi-objective optimization for green supply chain network design [J]. Decision Support Systems,2011,51(2): 262-269.
- [13] 伍星华,王旭. 再制造混合物流网络的多周期多目标优化设计[J]. 计算机工程与应用,2011,47(2): 21-25.

作者简介:周珍,硕士研究生,主要从事绿色物流等方面的研究工作。

杨斌,博士,教授,主要从事绿色航运物流系统等方面的研究工作。

许波梳,博士,工程师,主要从事物流管理与工程等方面的研究工作。

E-mail:zhouzhen90@163.com

收稿日期:2014-09-30