

# 主机遥控气动装置 FTA 与 FEA 计算机分析软件开发

郑士君<sup>1</sup>, 褚建新<sup>1</sup>, 韩成敏<sup>2</sup>, 徐 波<sup>2</sup>

(1. 上海海运学院, 上海 200135; 2. 中远集装箱运输有限公司, 上海 200090)

**摘要:** 对主机遥控气动装置在故障树分析 (FTA) 和故障效应分析 (FEA) 基础上, 从系统化角度建立镜像对称故障矩阵模型, 从而实现计算机故障信息流分析与查询。

**关键词:** 故障树分析; 故障效应分析; 故障信息流

**中图分类号:** TD315 **文献标识码:** C **文章编号:** 1001-8328 (2001) 03-0025-03

**Abstract:** Based on the FTA (fault-tree analysis) and FEA (failure effect analysis) of pneumatic device in automatic remote control system for main diesel engine, the fault model with logic matrix in mirror symmetry was built systematically and the computer-based analysis and finding of fault information stream were realized. The applications software has been installed in some vessels and a good result has been gained.

**Key words:** fault-tree analysis; failure effect analysis; fault information stream

## 1 引言

由于主机遥控系统对船舶运行的重要性, 因此对其发生故障的可能性作出正确判断, 或当故障发生后, 能迅速、准确地找出故障源, 对船舶轮机管理人员而言是极其重要的。

许多故障实例表明, 由于电子元器件集成度、自检能力及可靠性的日益提高, 主机遥控系统疑难故障大多出现在气动控制部分。对气动装置进行故障诊断与分析, 用 FTA (故障树分析) 和 FEA (故障效应分析) 方法是行之有效的。这两种方法在信息流上有明确的因果关系。对 FTA 而言, 它运用逻辑演绎方法建立主机遥控装置的失效信息逻辑关系链, 使我们顺着这种信息流的逻辑关系最终找到可能导致系统失效的故障源, 即系统某功能失效 (果) 是由若干元器件失效 (因) 所引起。与故障树分析相对应的即系统中某元器件失效模式 (因) 将引起系统的若干故障效应 (果)。它也是运用逻辑演绎方法, 通过故障源 (失效模式) 来寻找危害系统的功能失效效应。

在以往的故障分析技术中, 上述两种方法通常是独立进行的。但是实质上这两种方法有内在的联系。找出这种关系, 将会对故障分析有很大的帮助。本文对 MAN B&W 主机遥控气动装置在故障树

分析和故障效应分析基础上, 从系统化角度建立对称互逆的故障矩阵模型, 从而实现计算机故障信息流分析与查询。

## 2 气动装置的故障树分析

根据调研结果及专家经验, 主机遥控气动控制装置可能出现的系统级故障现象归纳为五大类: 备车故障、启动故障、点火故障、换向故障和调速故障。这些系统级故障见表 1 所示。

表 1 MAN B&W 型主机遥控气动装置系统级故障集合表 (顶事件)

故障名称	序号	故障现象 (顶事件)
备车故障	$f_1$	主机备车未妥
	$f_2$	驾控不能换向启动, 集控正常
换向故障	$f_3$	集控不能换向启动, 机侧正常
	$f_4$	机侧不能换向启动
启动故障	$f_5$	驾控不能启动, 集控正常
	$f_6$	集控不能启动, 机侧正常
	$f_7$	机侧正常
	$f_8$	驾控三次启动失败
点火故障	$f_9$	主机启动困难, 偶尔启动成功时, 缸头安全阀起跳
	$f_{10}$	驾控能启动, 但不发火, 集控正常
	$f_{11}$	集控能启动, 但不发火, 机侧正常
调速故障	$f_{12}$	机侧能启动, 但不发火
	$f_{13}$	主机转速达不到要求值
	$f_{14}$	主机转速不稳定
	$f_{15}$	主机超速运行

造成系统级故障的原因必然是系统中相应的功能块失效(故障)而引起。而功能块是由一些组件构成,所以功能块失效必然是其中某些组件失效所造成。功能组件的失效又必然是构成该组件的若干

元器件失效所造成。例如表 1 中的序号  $f_5$  “驾控不能启动,集控正常”。仔细分析这一顶事件发生原因,将其归纳在表 2 中。

表 2 FTA 示例:“驾控不能启动,集控启动正常”顶事件  $f_5$  发生原因表

序号	功能块	序号	组件	序号	元器件 (不可分解底事件)
$U_{51}$		$V_{511}$		$W_{5111}$	阀 (80) 至电磁阀箱之间管路泄漏或堵塞
$U_{52}$	阀 (80) 故障	$V_{521}$		$W_{5211}$	阀芯错位
				$W_{5212}$	泄漏
				$W_{5213}$	操作不当
$U_{53}$	电磁阀箱故障	$V_{531}$	阀 (84) (86) (88) (90) 故障	$W_{5311}$	阀芯卡死
				$W_{5312}$	弹簧断裂
				$W_{5313}$	密封失效
		$V_{532}$	阀 (85) (87) (89) (91) 故障	$W_{5314}$	电磁铁烧坏
				$W_{5321}$	阀芯卡死
				$W_{5322}$	泄漏
$U_{54}$	驾/集电信号传递故障	$V_{541}$		$W_{5411}$	线路断路
				$W_{5412}$	线路短路
				$W_{5413}$	操作不当
$U_{55}$	联锁阀组故障	$\triangle U_{55}$			
$U_{56}$	DGS 调速器故障	$\triangle U_{56}$			
$U_{57}$	AC-IV 遥控单元故障	$\triangle U_{57}$			

由表 2 可见,我们把系统级故障(顶事件)发生原因,从系统的功能块追查至不可再分解的系统元器件(底事件)。表中  $U_{55}$ 、 $U_{56}$ 、 $U_{57}$  功能块故障,还会引起其它的系统级故障,因此将它们从表 2 中转出,构建独立的子表,供查用。这样,我们可画出以三级故障链表示的主机遥控气动装置“驾控不能启动,集控启动正常”的最小路集故障树。如图 1 所示。对表 1 中所描述的其它系统级故障,均通过上述方法建立故障树。

### 3 气动装置的故障效应分析

FEA 是从可靠性角度对已完成的产品或对投入运行的设备进行详细评价,对潜在的故障按其影响程度确定等级,并根据需要提出改进意见。

对主机遥控气动控制装置元器件、组件或功能块的故障模式及其故障效应按其作用类别可分为:气源单元、启动单元、停车单元、换向单元和调速单元。它们的某一失效行为(即故障模式)将导致某系统级故障的发生。我们将 B&W 遥控系统气动装置故障效应主要元器件进行分类后,对每一元器件建立一 FEA 表格档案,例如对启动单元的“启动控制阀(阀 33)”,其失效模式产生的原因以及对系统的影响,构造如表 3 所示的档案。

表 3 FEA 示例:“启动控制阀(阀 33)”FEA 档案表

功能	故障模式	故障原因	对系统的影响	预防措施
驾控时传递启动信号并输出启动气控信号	不能正常换位	电磁铁损坏	驾控主机不能启动	检验 AC-IV 的输出信号;电磁铁防潮;提高压缩空气品质;定期维护
		铁芯卡死		
弹簧失效				
	严重泄漏	密封失效	驾控主机启动异常	

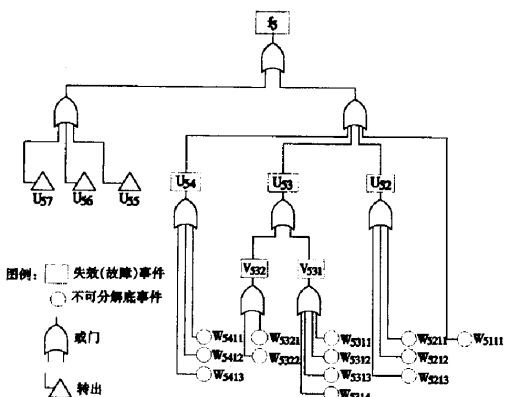


图 1 FTA 示例:“驾控不能启动,集控启动正常”最小路集故障树

对表 3 中,5 个栏目说明如下:① 功能——

所列对象原定应完成的功能。② 故障模式——故障模式也即故障的形态。具有代表性的故障模式有：电器部件的短路、断路；回路无输出；机械系统中的变形、磨损、粘结；流体系统的泄漏、污染等。③ 故障原因——经过分析所设想的原因。一般认为，对于这类问题，轮机人员掌握了大量资料。④ 对系统的影响——在此栏内记述它对上层次所产生的影响。首先容易记入的是与其直接相连的上一级硬件的影响，进而向更上一级分析。⑤ 预防措施——指出并评价那些能够用来消除或减轻故障影响的补偿措施。它们可以是维护上的补偿措施，也可以是操作人员的应急补救措施。

这样所生成的 FEA 档案，能够使轮机人员充分感受到 FEA 对他们的帮助，其实用性是十分明显的。与 FTA 相比，FEA 可以看成是 FTA 的逆向信息流。

#### 4 系统化矩阵模型

当用计算机进行故障查询与分析时，必须对故障树以及故障档案进行数字化描述，即建立 FTA 与 FEA 数学模型。

我们把主机遥控气动控制装置的故障树分成三级：第一级为功能块；第二级为组件；第三级为元器件。元器件故障是不可再分解的故障源。设系统级故障  $F: \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ ，这些故障是由功能块  $U: \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  的失效（一级故障源）而造成，功能块的失效是由组件  $V: \{v_1, v_2, \dots, v_l\}$  的失效（二级故障源）引起，组件的失效又是由元器件  $W: \{w_1, w_2, \dots, w_g\}$  的失效（三级故障源）引起，于是有：

$$F = AU = ABV = ABCW = DW \tag{1}$$

式中  $A$ 、 $B$ 、 $C$  分别为一、二、三级故障关联逻辑矩阵，矩阵元素取 1 或 0 表示对上一级故障发生与否， $ABC = D$ 。式 (1) 表明，系统级故障  $F$  是由不可再分解底事件（元器件） $W$  所引起。利用式 (1) 可以使计算机实现 FTA 的查询。

对式 (1) 中  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  分别求逆，得  $\alpha = A^{-1}$ ， $\beta = B^{-1}$ ， $\gamma = C^{-1}$ ， $\delta = D^{-1}$ ，于是有：

$$W = \gamma V = \gamma \beta U = \gamma \beta \alpha F = \delta F \tag{2}$$

式 (2) 表明，元器件失效模式  $W$  将对系统产生影响  $F$ ，利用式 (2) 可以使计算机实现 FEA 的查询。

式 (1) 和式 (2) 给出了主机遥控气动控制装

置故障树和故障效应逻辑矩阵模型。它们具有镜像对称性，由此可见，当我们把 FTA 方法与 FEA 方法通过逻辑表达式有机结合起来后，更适宜于计算机有效、准确、灵活、迅速地分析和查询主机遥控气动控制装置各类故障。

#### 5 热点链接

2 个独立的窗口屏幕，分别装入主机遥控气动装置 FTA 系统级故障源（顶事件）和 FEA 主要元部件。通过设置热点，以图文方式显示热点所对应的故障信息流。实现这种计算机分析与查询程序，要建立热点文件和故障数据库。

为了构造热点链接文件，根据在主窗口中所显示的气动装置 FTA 或 FEA 图表尺寸，来确定热点的位置坐标。图 2 所示，凡在图中网格交叉点上均可定义热点  $C_{x,y}$ 。

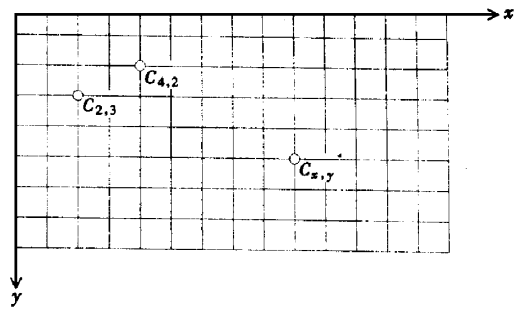


图 2 建立热点文件的网格模板

对应一个  $C_{x,y}$ ，计算机根据式 (1) 或式 (2) 的解算结果，相应有一个指针从系统基本数据库指向故障数据库某一条记录。热点被激活后，则能在 FTA 或 FEA 主窗口弹出相应图文说明。从而达到了故障分析目的。图 3 简要说明故障信息流计算机查询程序结构。

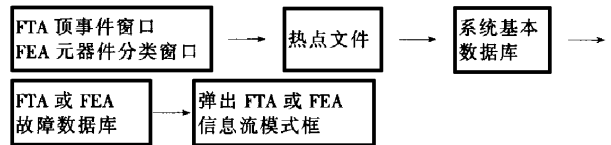


图 3 故障信息流计算机查询程序结构示意图

构造热点链接文件的优点是使应用程序具有开放性。B&W 机型主机型号从 46MC 到 98MC，相应的气动控制系统的一些功能块或组件可根据用户要求而选用。所以当气动装置结构变动时，我们只要修改热点文件，增加或删除热点。而不用去修改主程序。

热点可以多层嵌套，这特别适用于故障树多路

# 阀位指示器及其指示调节

明仁雄, 万会雄

(武汉理工大学流体传动与控制研究所, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 简要叙述了浸液式液压驱动蝶阀阀位指示器的主要结构及工作原理, 并介绍了阀位指示器正确调节方法。

**关键词:** 阀位指示器; 计量液压电机; 节流针阀; 调零

**中图分类号:** U672.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1001-8328 (2001) 03-0028-02

**Abstract:** This article brief discuss the primary structure and working principle of the valve position indicator in the immersion type hydraulic driving butterfly valve, and introduced the correct adjustive method of the valve position indicator.

**Key words:** valve position indicator; metering hydraulic motors; throttle valves; zero regulation

## 1 前言

阀门电液遥控系统广泛用于船舶压载舱、船底舱输水系统及油船输油系统等需要对管道阀门进行远距离操纵和控制的场合。该系统利用油压对管道阀门进行远距离集中、适时控制, 其系统原理图如图 1 所示。

在图 1 中省去了液压动力站, 仅表示一个液压驱动蝶阀的控制油路, 该控制油路主要由电磁换向阀、液压锁、液压驱动头、蝶阀及阀位指示器组成。

常用的液压驱动头为齿条柱塞—齿轮式摆动液压缸, 压力油驱动液压缸柱塞作往复直线运动, 齿条—齿轮机构将柱塞的往复运动转换为蝶阀的回转运动。液压驱动头可分为非浸液式及浸液式两种。

非浸液式驱动头适用于不浸入液体的场合, 驱动头内装置有显示蝶阀开启和关闭的微动开关 (或位移传感器)。浸液式液压驱动头因要适用于浸入液体的场合, 在液压驱动头内不允许设置微动电气开关 (或位移传感器), 阀门的开启与关闭由油路中的阀位指示器显示。

## 2 阀位指示器的主要结构及工作原理

阀位指示器是一种容积式计量元件 (计量液压电机)。如图 1 所示, 进入液压驱动头或由液压驱动头排出的液压油流经阀位指示器。

如图 2 所示, 阀位指示器主要由计量液压电机 (通常为齿轮电机)、旁路节流针阀 (调零阀)、减速装置、阀位指针及两个电气微动开关 (图上未表示) 等组成。

分支的转出与转入。多层嵌套热点文件的构造与前面讲的类似, 区别只不过是加上层次识别符。

## 6 结论

依据本文所论述的船舶主机遥控系统故障信息流分析而设计开发的计算机应用软件, 采用 Microsoft Visual C++ 5.0 工具开发。界面设计为多文档多窗口屏幕界面。

软件的第一版, 已安装在中远集装箱运输有限公司 13 艘大型集装箱船舶上 (其中 5 250TEU6 艘, 3 400TEU7 艘)。其界面友好, 资料丰富, 操作方

便, 实用性强。能够帮助轮机管理人员及公司机务人员对其所发生的故障现象进行分析和评估, 搜索出导致系统失效的故障源, 指出故障源所在的物理位置, 提供修复方法。目前在认真听取各方意见的基础上, 已着手应用程序第二版的开发。同时积极将成果向航运界的船公司推广。

### 参考文献

- 1 史定华, 王松瑞. 故障树分析技术方法和理论. 北京师范大学出版社, 1993
- 2 易宏等. 船舶可靠性工程导论. 国防工业出版社, 1995

(收稿日期 2000-11)