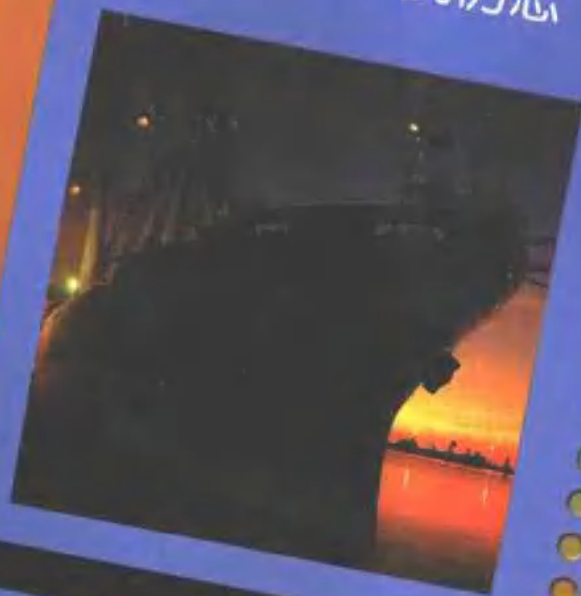


# 船舶电气设备 维修指南

阮初忠 编著



人民交通出版社

# 船舶电气设备维修指南

Chuanbo Dianqi Shebei Weixiu Zhinan

阮初忠 编著

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书是根据船舶电气设备的维护、保养、检修的特点编写的。

第一章,介绍了船舶电气设备故障分析的几种方法;第二章,简介在船舶电气设备维修中常用仪表的工作原理和使用方法,特别介绍了元器件的测量和判别好坏;第三章,阐述在维修中常用的维修材料,使维修人员了解各种常用材料的性能,以及如何选用这些材料;第四章,介绍船舶电器维修,重点阐述了发电机主开关和可编程控制器的维修;第五章,介绍船用电机的维修;第六章,介绍船舶辅机电气控制系统的维修,以丰富的实例来阐述其维修方法;第七章,介绍船舶电站维修,重点介绍各种调压器的检修和自动化船舶电站的检修方法;第八章,介绍主机遥控系统和巡回监视系统的维修,重点介绍了我国航运船舶普遍采用的系统。

本书可作为轮机管理专业船舶电气管理与维修课程的教材和教学参考书、在职轮管人员的船舶电气设备维修培训或自学教材,亦适用于修造船厂电气技术人员阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

船舶电气设备维修指南/阮炳忠编著. - 北京:人民交通出版社,1999

ISBN 7-114-03500-4

I. 船… II. 阮… III. 船用电气设备-船舶修理 IV. U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 44159 号

## 船舶电气设备维修指南

阮炳忠 编著

责任印制:杨柏力 版式设计:周园 责任校对:尹静

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号 010 6421 6602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京京华印刷制版厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张:23.75 插页:6 字数:594千

2000年2月 第1版

2000年2月 第1版 第1次印刷

印数:0001-3000册 定价:25.00元

ISBN 7-114-03500-4

U·02510

# 前 言

随着船舶电气化、自动化程度不断提高，船舶电气设备越来越复杂。一旦发生故障，有一定的理论基础和实践工作经验，要快速排除故障，是很难做到的。目前船舶电气设备维修的指导书籍甚少。所以，作者通过多年的船舶电气维修的教学、科研；上船实践经验以及收集多年的书刊和同行所提供的船舶电气设备维修经验。历经近二年时间，编写了这本书。期望它能对从事船舶电气维修和管理人员有所帮助。

本书侧重于实用性，通过大量的实际设备线路阐述了船舶电气设备的维修方法。而且对于每个设备都首先阐述其工作原理、线路特点。然后讲解检修方法，使读者能达到举一反三的目的。

在编写过程中，曾经得到以下单位和同行们的热情支持和帮助：

厦门远洋公司	许国荣
江苏远洋公司	吴科良
青岛远洋公司	周楚勤
天津远洋公司	张 楚
广州海运集团公司	刘柏林
集美大学航海学院	·蔡春生 黄师齐

在此谨致谢意。

由于作者水平有限，维修经验不足，书中错误和遗漏在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1998.12.8

# 目 录

<b>第一章 船舶电气设备故障分析方法</b> .....	(1)
第一节 传统的故障诊断法.....	(1)
第二节 故障树分析法.....	(3)
第三节 船舶电气设备专家诊断系统.....	(8)
第四节 船舶电子设备故障分析及修理方法 .....	(11)
<b>第二章 船舶电气设备维修常用仪表及其使用</b> .....	(20)
第一节 万用表 .....	(20)
第二节 示波器 .....	(29)
第三节 兆欧表 .....	(32)
第四节 钳形表和短路侦察器 .....	(33)
<b>第三章 船舶电气设备常用维修材料</b> .....	(37)
第一节 船用导电材料 .....	(37)
第二节 船用绝缘材料 .....	(46)
第三节 半导体器件 .....	(49)
第四节 磁性材料 .....	(65)
第五节 船用其他电气附属材料 .....	(65)
<b>第四章 船舶电器维修</b> .....	(67)
第一节 电器分类和型号命名 .....	(67)
第二节 接触器维修 .....	(69)
第三节 继电器维修 .....	(74)
第四节 自动开关维修 .....	(77)
第五节 常用熔断器 .....	(79)
第六节 PC 控制器维修.....	(81)
<b>第五章 船用电机维修</b> .....	(90)
第一节 对船用电机的基本要求 .....	(90)
第二节 船用电动机的维护 .....	(91)
第三节 船用异步电动机的检修 .....	(98)
第四节 船用直流电机的维修.....	(108)
第五节 交流单相电机的维修.....	(110)
第六节 船用变压器的维修.....	(117)
<b>第六章 船舶辅机电气系统的维修</b> .....	(119)
第一节 电气控制线路图的读图方法及一般故障的检查方法.....	(119)
第二节 单速拖动控制系统的维修.....	(126)

第三节	泵的自动控制系统维修	(131)
第四节	船舶分油机电气系统维修	(138)
第五节	船舶起货机电气系统的维修	(148)
第六节	锚机、绞缆机电气系统维修	(178)
第七节	舵机电气控制系统的维修	(182)
第八节	船舶辅锅炉电气控制系统的维修	(205)
第九节	船舶空调、冷藏设备、冷藏集装箱电气控制线路的维修	(214)
<b>第七章</b>	<b>船舶电站的维修</b>	<b>(229)</b>
第一节	船舶电站的维护与保养	(229)
第二节	船舶发电机、调压器常见故障检修	(236)
第三节	船舶电站自动装置的维修	(257)
第四节	轴带发电机系统的维修	(286)
第五节	船舶电站的调试	(291)
<b>第八章</b>	<b>主机遥控和巡回监视系统的维修</b>	<b>(296)</b>
第一节	主机遥控系统的维修	(296)
第二节	电子调速器的维修	(331)
第三节	巡回监视系统的故障维修	(341)

# 第一章 船舶电气设备故障分析方法

随着船舶电气化、自动化程度不断提高，电气设备就变得越来越复杂。电气设备的故障也是多种多样，所以诊断故障和排除故障的方法也不一。但是，分析故障的逻辑思维方法基本上是一样的。本章主要介绍目前常用的船舶电气设备故障分析方法：传统的故障诊断法，故障树分析法、专家系统诊断法，电子设备故障分析法。

## 第一节 传统的故障诊断法

### 一、概 述

传统故障诊断法也叫作经验诊断法，通过设备故障现象分析和以往的经验（这个经验可能是自己的切身体会，也可能是其他方面，如书面得来的），做出设备故障的点（或零部件）的判断，并加以排除，这种诊断的精确与否主要依赖于诊断人的素质。诊断人对设备技术性能、工作原理掌握越熟透、对设备故障诊断的经验越丰富，他诊断出故障点的可能性就越大。这样，对维修人员提出了较高的要求。首先维修人员必须掌握设备的工作原理，各部件出现故障时所表现的特征，要有足够的设备管理维修经验，才能有效地、迅速地排除故障。这对于我们海上管理维修人员来讲，尤为重要。

### 二、传统的故障诊断的步骤

所谓设备发生故障，就是设备失去或减弱正常工作的能力。维修人员就得加以诊断故障所在，并排除、修复。所以维修人员诊断设备故障点与医生诊断人的病因的步骤基本一样，只不过维修人员“医治”的是设备，医生医治的是人而已，其步骤：

第一步：保持现场的情况进行症状分析

#### 1. 询问操作人员

询问内容一般为：

(1) 发生了什么故障？在什么情况下发生的？什么时候发生的？

(2) 设备已经运行了多长时间？

(3) 你曾注意到有何异常现象？有何声响或光报警信号等？有无烟气或异味？有无误操作（注意询问方式）？

(4) 控制系统操作是否正常？操作程序有无变动？在操作时是否有特殊困难或异常？

#### 2. 观察

观察的内容一般有：

(1) 有无明显的异常现象？零件有无卡阻或损伤？各种导线有否松动、破裂、擦伤或烧毁？

(2) 设备运行参数有何变化？有无明显的干扰信号？有无明显的损坏信号？

### 3. 检查监测指示装置

- (1) 检查所有仪表读数是否正常，如电压、频率、电流等。
- (2) 检查报警装置及联锁装置、打印输出或显示器是否正常。

### 4. 在允许的条件下，让故障现象重现

在允许的条件情况下，重新开动设备；让故障现象重现，仔细观察，检查故障现象，但需注意人身、设备安全，不能让故障结果扩大。

#### 第二步：检查设备

##### 1. 利用五官检查（继续深入观察的过程）

(1) 看：插头及插座，电机或泵的运转，控制调整位置是否正确，有无起弧或燃烧的痕迹，断开电路开关，看有无故障的元（组）件。

(2) 摸：振动、电机和元（组）件的温度。

(3) 听：有无异常声响。

(4) 闻：有无焦味、其他异味。

(5) 查：元器件的形状与位置是否变化，设备性能参数变化情况，检查线路元（组）件功能。

##### 2. 评定检查结果

评定故障判断是否正确？故障线索是否找到？各项检查结果是否一致。

#### 第三步：故障位置的确定

##### 1. 确定系统结构和测试方法

(1) 确定系统结构：熟悉系统工作原理，各元（组）件的位置。这项工作，做为电气管理人员，平时就要做到，对全船的电气设备线路，原理应当十分熟悉。一旦发生故障，通过一、二步骤就可初步诊断故障所在。

##### (2) 确定测试方法

根据系统结构、工作原理和故障现象确定用什么方法测试，可能获得什么测试参数或性能参数，在什么操作条件下进行测试，必须遵守哪些安全措施。

注：检测的方法很多，如直观比较法（与无故障设备比较），分部隔离法（缩小检查范围），变换条件法（故障征兆不明显）；试探反证法，监测测量法，试切试样法等等。

##### 2. 系统检测（用五官或仪器进一步认真检查）

采用最适于系统结构的技术测量，在合适的测试点，根据输入和反馈所得结果与正常值或性能比较，检查出故障位置。

必须指出，并不是所有电气设备出现故障，其诊断都必须通过以上各个步骤。对故障比较明显，一目了然的就没有必要，如一盏灯不亮，灯泡钨丝断了，只要换一个灯泡就把故障排除了，没有必要通过上述的所有步骤。否则，就多此一举了。

## 三、传统诊断的准则

1. 维修人员要熟悉电气设备结构、工作原理、元（组）件功能及所在的位置。

2. 问、看、摸、听、闻，了解故障现象，初步诊断故障所在或原因。

3. 查：确定什么方式进行测试、检查，此时，必须三思而后行，克服人为不正确的测试、错误的检查方法。在检查中，不作任何假设或推断性的结论，而是尊重实际，经过详细的检查、核实后才得出结论。同时在检查中，先外后内，先易后难。



4. 留下记录, 丰富自己经验, 摸索维修规律。

传统故障诊断, 在以后各有关章节结合实例加以说明, 这里就不举例了。

## 第二节 故障树分析法

### 一、概 述

故障树分析法, 简称 FTA (Fault Tree Analysis), 早在 60 年代初就由美国贝尔研究所首先用在民兵导弹的控制系统设计上, 为预测导弹发射的随机失效概率作出贡献。其后, 波音公司研制出 FTA 的计算机程序, 进一步推动了它的发展。到了 60 年代中期, FTA 从宇航范围进入核工业和其他领域。FTA 在全世界受到普遍重视, 是在 1974 年 8 月美国发表《美国商用核电站事故风险评价报告 (草案)》(报告代号为 WASH-1400) 之后。该报告成功之处便在于应用了事件树和故障树分析法。该报告用这两种分析方法计算出初因事件的发生频率, 工程安全设施故障概率以及各种水平的放射性排入环境的事故的概率。因此, 第一次定量地给出核电站可能造成的风险, 在和其他能源造成的风险比较之后, 令人信服地导出核能是一种非常安全的能源的结论。目前, FTA 已从宇航、核能进入一般电子、电力、化工、机械、交通乃至土木建筑领域。科学工作者和工程技术人员愈来愈倾向于采用 FTA 作为评价系统可靠性和安全性手段; 用 FTA 来预测和诊断故障, 分析系统的薄弱环节、指导运行和维修。实现系统设计的最优化, 我们这里是运用 FTA 来诊断船舶电气设备故障。

其实故障树分析中使用的某些概念来自图论。在图论中, 一个树是由一些顶点 (节点) 和边构成, 它是一种不包含闭环的连通图。如图 1-1 所示。图中任一顶点、节点都通过边的连接而通到任一其他顶点、节点。树中的有向边称为弧, 代表事件, 具有有向边的树称为逻辑树。故障树就是一种逻辑树, 树枝代表系统或元件的事故发生事件, 而节点代表事故事件之间的逻辑关系。故障树从顶事件的树根出发向下发展, 顶事件的下一级事件是一些能够引起顶事件发生的事件, 这些事件与顶事件之间的关系是逻辑关系。在故障树中最常用的逻辑关系是“与”和“或”关系。如此延伸下去, 直到系统内部可导致顶事件产生的元件故障为止。因此, 故障树是用图形符号形象地表示那些引起系统不希望事件的各种事件之间的逻辑组合, 给人一个一目了然之感, 思维逻辑都很清楚。

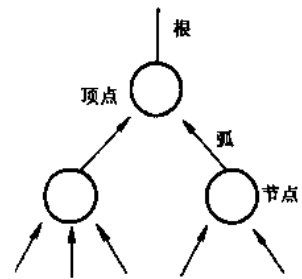


图 1-1 故障树

### 二、故障树的符号




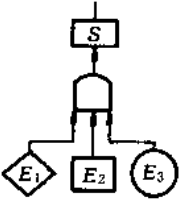
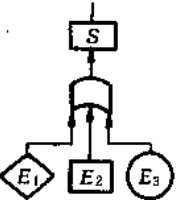
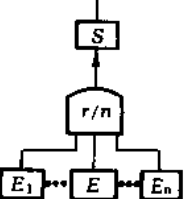
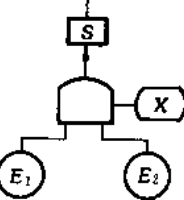
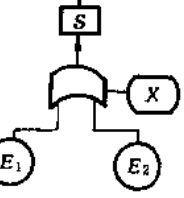
符号、名称、意义见表 1-1。

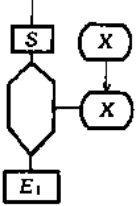
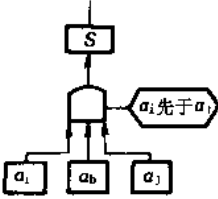
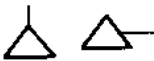


符号、名称、意义

表 1-1

符 号	符号名称	符 号 的 意 义
	基本事件	已知故障概率, 不可能再分解的事故事件, 即树叶

续上表

符 号	符号名称	符 号 的 意 义
	假定的事件	由于缺乏资料而不能进一步分析的事件
	结果事件 (中间事件)	由其他事件组合而成的事件, 相互之间由逻辑门相连接
	将产生的事件	原因尚待明确的事件
	“与” 门	当输入端所有事件 ( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ ) 均发生时, 才产生输出事件 ( $S$ )
	“或” 门	当输入端的事件 ( $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ ) 中只要有一个发生就产生输出端事件 ( $S$ )
	“ $r/n$ ” 组合门	当输入 $n$ 个事件中有 $r$ 个产生, 即产生输出端事件 ( $s$ )
	条件“与” 门	当输入的所有事件 ( $E_1$ 、 $E_2$ ) 均发生, 同时满足条件 $x$ , 即产生输出端事件 ( $s$ )
	条件“或” 门	输入端的事件 ( $E_1$ 、 $E_2$ ) 中至少有一个发生, 同时满足条件 $x$ , 即产生输出端事件 ( $s$ )

符 号	符号名称	符 号 的 意 义
	条件门	输入端的事件已发生，同时满足条件 $x$ ，即产生输出端事件 ( $s$ )
	优先门	当 $a_1$ 先于 $a_2$ 发生时，在 $a_1$ 、 $a_2$ 和 $a_3$ 同时发生，事件 $s$ 才能发生
	转移符号	转移出  转移入 

### 三、建造故障树的方法

首先要选择顶事件，一般来讲，就是选择设备的某一个故障为顶事件，如电动机不能起动；发电机不能建立电压；主开关不能合闸等等，做为故障分析目标，顶事件选好后，就可以按顶事件所代表的故障事件把系统内部的诸多故障事件（中间事件或底事件）联系起来。

选择了顶事件之后，确定边界条件（如分析电动机本身“不能起动”故障，其边界条件就是，电源正常，控制回路正常）。然后，就得先找出与顶事件相关的系统内部固有的故障事件，同时找出这些事件导致顶故障事件的所有可能的途径。在这过程中，必要时还要选择合适的中间事件，使得故障树层次、逻辑思维更加清晰。如果是复杂的大型系统，可以把本来是中间事件的子系统的故障作为顶事件，建造若干子树进行分析，最后用转移符号给予综合。

最后建造故障树，它是故障分析的对象，是直接影响分析结果的关键。具体步骤是：

第一步，把顶事件写在上端。

第二步，找出直接导致顶事件发生的各种可能因素或因素组合。这些因素包括功能故障、部件不良、程序错误、人为失误、环境影响等。

第三步，找出第二步中各因素的直接原因。按照这样格式逐级向下演绎。一般来说，直至找出各个基本事件为止。

### 四、举例说明建造故障树过程

#### 例一 交流电动拖动系统

交流电动拖动系统如图 1-2 所示，求作顶事件为电动机过热的故障树。

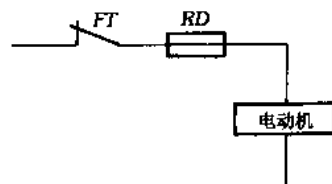
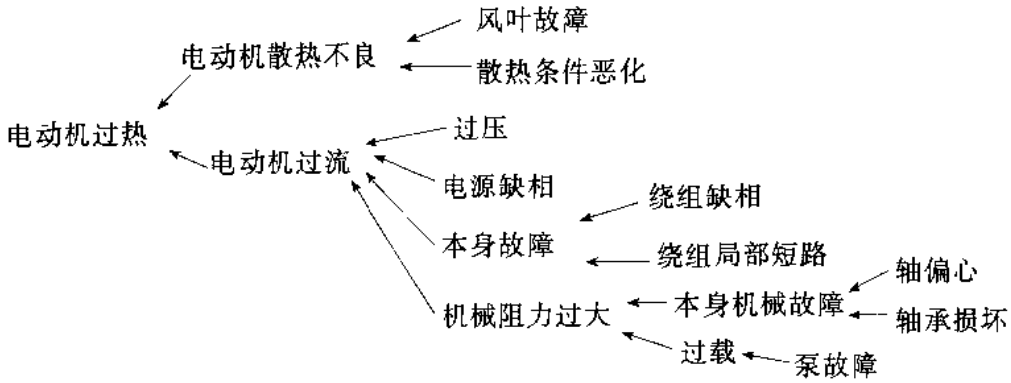


图 1-2 交流电动拖动系统

解：假定导线接触良好，用演绎法，导致电动机过热的直接原因是过流，间接原因是散热条件。所以，就有如下逻辑过程：



有了这种逻辑关系，我们只要按故障树的符号把它们连接起来，就成了一棵关于电动机过热故障树。如图 1-3 所示。

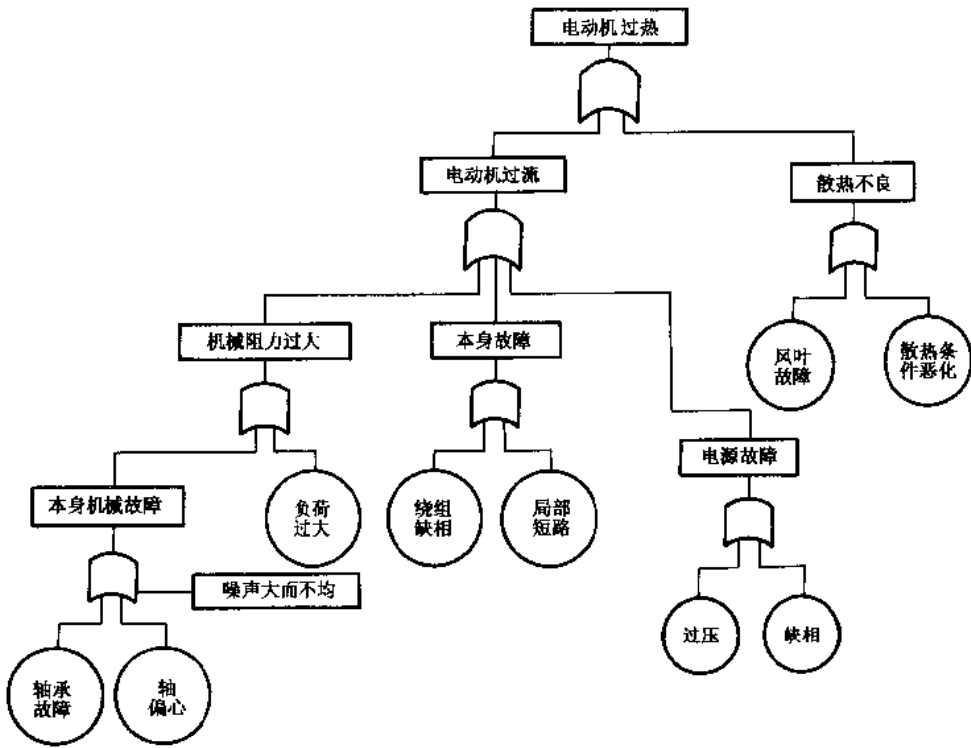


图 1-3 电动机过热故障树

有了故障树之后，就可遵循故障树进行检查，排除故障。由故障树可见，造成电动机过热的基本原因有九个（即 9 个树叶），就得进行每个检查，一般顺序是由易到难，由故障率比较高的部件优先检查。但有一些部件发生故障导致顶事件发生还伴有其他特征。如上轴承故障造成电动机过热，伴有很大不均匀噪声，轴承端盖过热，如果发生这种情况，就没有必要由上述的从简到难的顺序，就可直接检查电动机轴承部件。

### 例二 单速不可逆交流电动拖动系统

单速不可逆交流电动拖动系统如图 1-4 所示，以电动机不能起动为顶端事件做出它的故障树。

解：造成这种故障的直接原因有：(1) 电动机本身故障。(2) 电动机无电。(3) 机械卡

死。造成电动机无电的原因有：①线路停电；②K无法合上；③KM没有合上。而造成KM没有合上的原因有：①KM衔铁卡死无法合上；②KM线圈故障；③KM无电。造成KM无电的可能就是：①FU熔断；②SB<sub>1</sub>开路；③SB<sub>2</sub>失效合不上；④FT断开。而FT断开可能是：①过载动作没有复位；②本身故障无法闭合。按上述演绎就可以得到如图1-5的故障树。

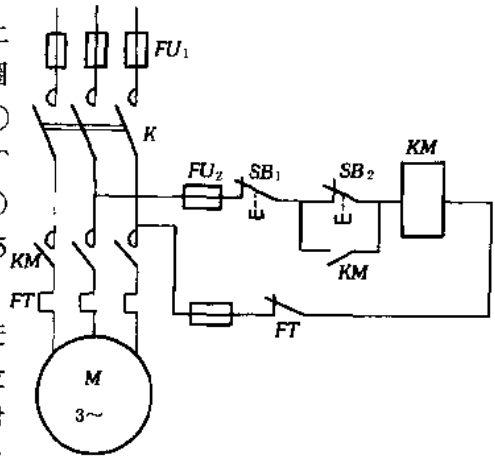


图 1-4 直起器

有了这棵故障树，只要按这棵树从根源到树叶进行检查。但是这种检查方法费时费力。在常规检查没有发现故障原因时，我们可以采用割枝方法，即在树叉上（中间事件）开始检查、对于同一级中间事件仍按从易到难，从简到繁原则进行检查。比如本例中，

先检查KM是否合上。如果合上，说明与“KM没有合上”的中间事件关联的（树叶）基本事件没有发生。只要检查其他的中间事件。如果发生了，就沿该中间事件向下检查，也可再使用割枝办法检查。直至找到基本事件发生为止。

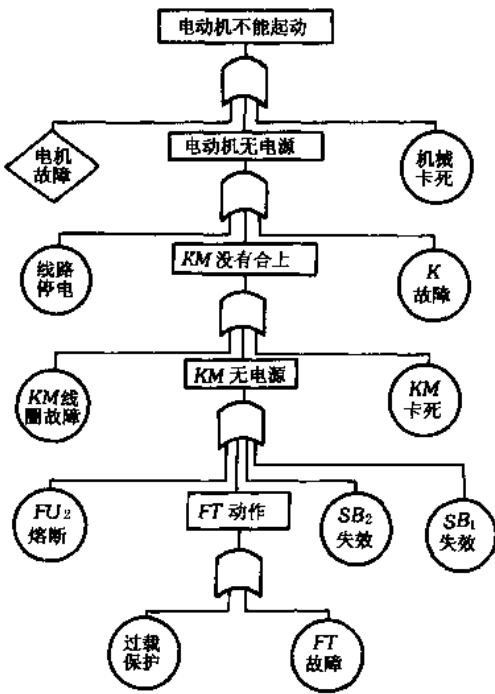


图 1-5 电动机不能起动故障树

## 五、故障树诊断方法

### 1. 首先要建立故障树

建造故障树可以与设备设计、可靠性分析时一起完成，有了故障树既可以进行设备可靠性分析，同时为我们管理维修提供了一个分析故障的逻辑思维。必须指出：一个设备有可能出现多少故障，就有多少个与此对应的故障树，应一一建造。

### 2. 按故障树进行诊断故障点

一般检查的方法：首先进行常规检查，按故障时所表现出的特征进行检查，如果没有明显特征，常规也未能找到故障原因时可采用割枝方法，即从故障树的某一级中间事件进行，看该中间事件是否发生，如果没有发生，说明与该中间事件关联的基本事件没有发生，就可以去掉这些基本事件的检查。如果同一级中间事件不止一个发生时，一般以由易到难，由表及里，由故障率高的元件的分枝优先检查。而且这种割枝法可以重复多次，有效地减少检查范围。如果找到其中一个发生了，就以该中间事件为顶事件（分枝树），沿其往下检查，一直查到故障点为止。

总之，用故障树诊断故障点，逻辑思维清楚、条理明确，但是比较繁琐，特别是建立故障树，既费时，又费人力，是一项很艰巨的工作，而且故障树建造准确与否直接关系到诊断的准确性。一般用于比较复杂成形的系列设备。应该指出：由于计算机人工智能的发展，建

造故障树可借助于计算机来完成,为故障树诊断法扫除一大障碍,而且故障树又是开发设备故障诊断专家系统的一个基础。

### 第三节 船舶电气设备专家诊断系统

#### 一、概 述

随着船舶大型化和自动化不断提高,船舶设备和控制系统就越来越复杂,它们几乎包括陆上所有比较成熟的现代技术。船舶电力系统也不例外,由原来的电站容量几千瓦发展到现在上千千瓦。控制系统由原来的人工控制发展到微机控制。将来的发展方向是多微网络和人工智能控制。如果将来采用超导磁力推进,电站容量就更大,控制系统就更复杂了。

现代科学技术发展一日千里,这就要求科技人员随时随地更新知识,才能跟上时代的步伐。但是,由于船上的条件限制,要做到船舶电气工作人员能够很快地更新知识,掌握新技术、正确使用高度自动化设备以及对它的故障诊断的维修已经不是一件很容易的事。而且,设备自动化程度越高,系统就越复杂,系统的元部件就越多,造成故障的可能原因就越多,同时,对新发展的高自动化设备又没有运行、管理维修经验。为了能够对设备、控制系统的正常运行、故障作出正确的判断,及早地识别故障、快速诊断故障的所在,及时排除故障,必须去寻找设备故障辅助分析诊断方法。目前船上已经采用了模拟装置,打印出故障类型或某一个环节故障,比如轴带发电机的主 SCR 没有触发脉冲。但无法进一步显示造成这种故障的原因,到底是触发控制电路没有工作电源,还是没有控制信号,还是触发控制电路本身故障。对于更进一步显示元部件故障就更困难。为了填补这种不足,目前船舶电气科学工作者正在开发船舶电气设备故障诊断专家系统。目前已有雷达故障诊断专家系统投入我国舰艇上运行。

#### 二、船舶电气设备故障诊断专家系统组成和工作过程

##### 1. 什么是专家系统

专家系统是这样的一个系统:

(1) 专家系统处理现实世界中提出的需要由专家来分析和判断的复杂问题;

(2) 专家系统利用专家推理方法的计算机模型来解决问题,并且与专家分析的结果一样。

因此,船舶电气设备的故障诊断专家系统就是用于复杂的高自动化电气设备的故障诊断的专门计算机系统。

##### 2. 船舶电气设备故障诊断专家系统组成

这种诊断专家系统要像专家们诊断电气设备故障,首先就必须有像专家们所具有船舶电气领域的专业理论知识以及专家们的电气故障诊断的经验。把这些知识存放起来的地方——称为知识库,其次要像专家们根据故障特征和有关的理论知识、经验作出故障点的逻辑推理过程——推理机构;第三,要有一个像专家那样把他的推理结论解释给询问者听,使人信服,或解释专家的建议——解释机构;还有与开发者,用户发生联系的机构。因此,船舶电气故障诊断专家系统应该由知识库、推理机构、解释机构、询问机构、知识获取机构和存放故障特征向量机构等组成,如图 1-6 所示。

##### 3. 工作原理

当船舶电气设备故障诊断专家系统投入运行时，询问机构向用户提出询问故障现象特征、参数，用户回答了有关询问之后，计算机就按知识库的知识表达方式把故障特征存储在故障特征向量中，并查询知识库，做出推理。必要时推理机构可以再询问用户要求补充故障特征（这样的询问过程可能多次），如果最后询问用户没有什么可知故障特征补充，那么推理机构就根据现有的故障特征向量和知识库所具有的知识做出推测，把结果交给解释机构，解释机构用易懂或者自然语言解释全过程。由于这种故障诊断专家系统是一个实验性很强的开发系统。通过试验、运行有必要修改知识库的知识，这样就必须有修改的途径，该系统可以通过询问机构和知识获取机构来达到目的。

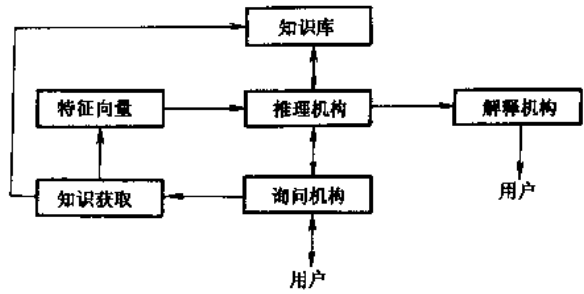


图 1-6 专家系统组成框图

就根据现有的故障特征向量和知识库所具有的知识做出推测，把结果交给解释机构，解释机构用易懂或者自然语言解释全过程。由于这种故障诊断专家系统是一个实验性很强的开发系统。通过试验、运行有必要修改知识库的知识，这样就必须有修改的途径，该系统可以通过询问机构和知识获取机构来达到目的。

### 三、开发船舶电气设备故障诊断专家系统的方法

目前适合于诊断、咨询专家系统开发工具如 PC 和 CM.1 已经把询问机构、知识获取机构、推理机构和解释机构建立起来。开发者就可直接利用这个工具，没有必要重新建立。所以要建立一个该系统只要人们收集船舶电气有关的书面理论知识和专家们的经验，按工具所要求的格式输给计算机，建立一个高水平的专家知识库。

那么，如何建立船舶电气设备、控制系统的故障诊断专家系统的知识库呢？一般的步骤如下：

#### 1. 知识获取

一般是通过多方面来进行，第一、通过分析设备工作状态、工作原理、测试来获取设备正常工作状态下的特征、参数；第二、根据设备的资料（说明书、原理图）和出现故障的现象进行分析来获取造成该故障原因、特征、部位和排除故障的方法；第三、从模拟装置上来获取；第四、从专家们对故障诊断行为和经验上来获取等。但是，不管从哪一方面来获取都有可能出现多种原因造成某种故障的可能性。这种必须根据专家们的经验来处理。一般是按元件失效率，由易到难，由表及里的检查、排除故障的原则来全面衡量。建立知识库一般是由专家和计算机工作者共同合作进行的。知识获取是专家系统开发最关键的一步，系统开发成功与否、质量好坏都由这一步所决定。

#### 2. 知识表达方式的选择

该系统可以采用产生式来表示，这种表达方式是当前最常用的一种知识表达方式，有 PC (Personal Consultant) 和 CM.1 中文版本适合于开发诊断、询问专家系统工具支持。

#### 3. 建立初步知识库（原型系统）

确定该设备故障诊断为目标，把该设备可能出故障，每个故障产生的原因、特征、故障所在以及分析方法（包括分析中的假设、中间推理）列出，然后用计算机表达这些。

#### 4. 原型的发展和试验

#### 5. 知识库的改进和发展

下面以可控相复励恒压装置为例建立该装置故障诊断知识库。

该装置的原理框图如图 1-7。采用故障树分析法：

(1) 发电机建立不了电压（原动机转速为  $n_c$ ）。

首先我们先建立故障树，如图 1-8 所示。从故障树可得这么几条规则：

①如果发电机无剩磁电压，那么，发电机应充磁。

②如果发电机不能起压，且有剩磁电压；那么，励磁回路故障。

③如果剩磁电压极性正确；且电刷、转子未开路；那么，相复励装置故障。

④如果相复励装置故障：那么，整流器故障，可信度为  $X_1$ ；移相电抗器开路，可信度为  $X_2$ ；复励变压器故障，可信度为  $X_3$ ；

这里一个故障多种原因，每个原因的可能性不一样，则要根据元件的失效率或专家们的经验给出可信度  $X_1, X_2, X_3$ 。

(2) 发电机空载电压低

根据故障树如图 1-9 所示和故障特征可得规则：

①如果  $|U_0 - U_{fe}| > \Delta U_1$ ，那么 ZL 整流器有开路二极管；

②如果  $\Delta U_2 < |U_0 - U_{fe}| < \Delta U_1$ ，那么 SCR 全导通；

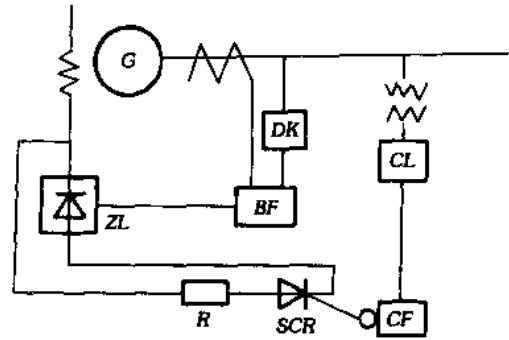


图 1-7 可控相复励恒压装置原理图

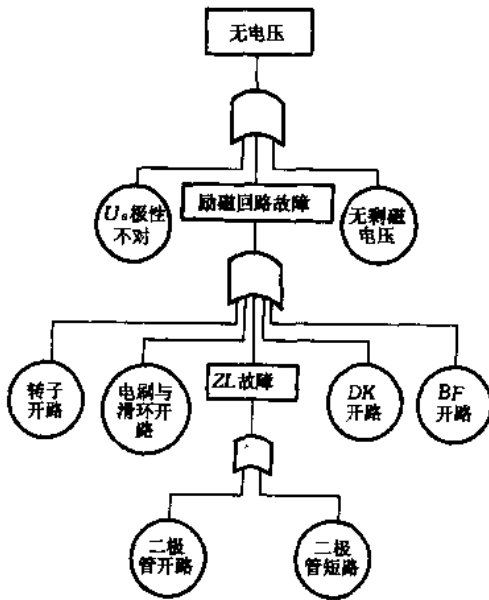


图 1-8 “无电压” FT

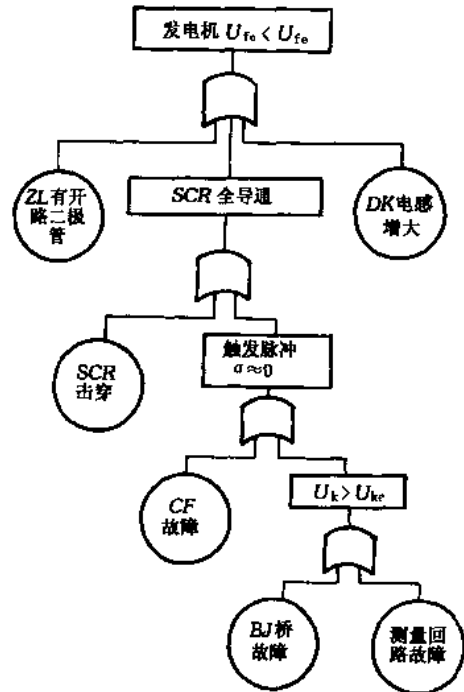


图 1-9  $U_0 < U_{fe}$  FT

③如果  $6V < |U_0 - U_{fe}| < \Delta U_2$ ，那么 DK 电感增大，应增大气隙；

④如果 SCR 全导通，那么 SCR 击穿可信度为  $\left( \frac{100}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} \times \lambda_1 \% \right)$ ；



CF 触发电路造成  $\alpha=0$  误触发, 可信度  $\left(\frac{100}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} \times \lambda_2\%\right)$ ;

BJ 桥稳压管击穿, 可信度  $\left(\frac{100}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} \times \lambda_3\%\right)$ ;

测量回路故障, 可信度  $\left(\frac{100}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} \times \lambda_4\%\right)$ 。

这里  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  是对立事件的失效率, 这条规则是一种故障多种原因 (按逻辑关系是串联关系) 按各元部件的失效率分配可信度。这特别适合于新设备刚投入使用没有运行经验, 按失效模型开发的原型知识库, 通过运行实践修改推广。

### (3) 发电机空载电压高

根据演绎法, 同样可建造出它的故障树, 如图 1-10 所示。由故障树可得如下几条规则:

① 如果  $U_{30} > U_{fe}$ ; 那么电压校正器无调节作用;

② 如果校正器无主调节作用: 那么 SCR 开路, 可信度为  $X_1$ ; 分流电阻开路, 可信度为  $X_2$ ; SCR 无触发脉冲, 可信度为  $X_3$ 。

③ 如果 SCR 无触发脉冲: 那么 CF 触发电路故障, 可信度为  $X_4$ , 比较桥故障, 可信度为  $X_5$ ; 测量回路故障, 可信度为  $X_6$ 。

④ 如果  $U_{30} > U_{fe}$ , 且分流电阻、SCR 完好; 那么 SCR 无触发脉冲。

⑤ 如果 SCR 无触发脉冲且  $U_k > U_{se}$ , 那么 CF 触发电路故障。

⑥ 如果 SCR 无触发脉冲且  $U_k = -U_w$ , 那么 BJ 桥稳压管开路。

⑦ 如果 SCR 无触发脉冲且  $-U_w < U_k < U_{se}$ , 那么 CL 测量回路故障。

以上是作为一个例子来说明建造设备故障诊断专家系统知识库的过程, 当然这个设备还有其他故障, 对应规则 (知识) 还没有总结, 需指出的是, 除采用产生式表示知识, 目前, 还采用框架结构表示知识。只要把一个故障作为一个框架结构, 在其槽内填入故障现象, 特征及必要参数, 建立知识库, 用户只要输入故障名称, 尽可能多的故障现象。然后计算机通过默认推理, 匹配等方法, 作出推理、判断给出故障原因。由于篇幅有限, 这里不做详细介绍。

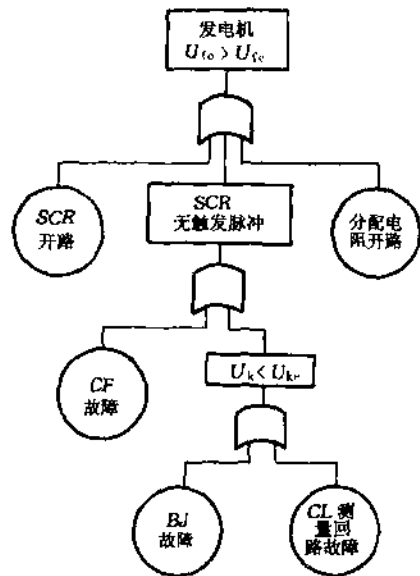


图 1-10  $U_{30} < U_{fe}$  FT

## 第四节 船舶电子设备故障分析及修理方法

### 一、概 述

随着船舶电气化和自动化程度不断提高, 电子设备用于船上的数量与日俱增。做为船上电气维修人员必须掌握电子设备故障分析方法以及维修技能。由于电子设备线路复杂、元器件数量之多、型号规格也多。所以, 电子设备故障分析和修理有它独特之处, 我们在这里简