

船舶电气设备 维修技术

阮初忠 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



船舶电气设备维修技术

阮初忠 编著



机械工业出版社

本书是根据船舶电气设备的工作原理分析、维护、保养、检修的特点编写的。本书主要包括有船舶电器、电机、船舶辅机电气控制系统、船舶电站、主机遥控系统、智能柴油机控制系统、船舶巡回监控系统的维修内容。本书侧重于实用性,通过大量的实际设备电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、电路特点,然后讲解检修方法,使读者能达到举一反三的目的。

本书可作为轮机和船舶电气管理专业的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。

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶电气设备维修技术/阮弼忠编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 10
ISBN 978-7-111-39825-7

I. ①船… II. ①阮… III. ①船用电气设备—维修 IV. ①U672.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 227709 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:张沪光

版式设计:霍永明 责任校对:常天培

封面设计:路恩中 责任印制:张楠

北京振兴源印务有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 28.25 印张 · 1 插页 · 796 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-39825-7

定价:74.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着船舶电气化、自动化程度的不断提高,船舶电气设备越来越复杂。一旦发生故障,没有一定的理论基础和实践工作经验,要想快速排除故障,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,作者通过几十年的船舶电气维修的教学、科研;上船任职和维修实践经验以及收集多年的资料和同行所提供的船舶电气设备维修经验,历经近两年时间,编写了本书。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电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、电路特点。然后讲解检修方法,使读者能达到举一反三的目的。

全书共有 10 章。第一章介绍了船舶电气设备故障分析的几种方法;第二章介绍了在船舶电气设备维修中常用仪表的工作原理和使用方法,特别介绍了电子元器件的测量和判别好坏;第三章阐述了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;第四章介绍了船舶电器维修,重点阐述了发电机主开关和可编程序控制器的维修;第五章介绍了船用电机的维修;第六章介绍了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;第七章介绍了船舶电站的维修,重点介绍了各种调压器的检修和自动化船舶电站的检修方法;第八章介绍了主机遥控系统和电子调速器的维修,重点介绍了我国航运船舶常用的二大系列 Nabtesco、AUTOCHIEF 系列主机遥控系统和对应的电子调速器维修方法;第九章介绍了智能柴油机控制系统维修,重点介绍了 B&W 和苏尔寿公司智能柴油机控制系统的维修方法;第十章机舱巡回监控与报警系统的维修,重点介绍了我国航运船舶普遍采用的 DC-C20 和 K-CHIEF500 系统维修方法。

本书的第二、三章由阮初忠和郑依妹编写,第四章由阮初忠、庄一凡编写,第八章由阮初忠、王春芳编写,第十章由阮初忠、马昭胜编写,其余由阮初忠编写,全书由阮初忠统稿。

在编写过程中,曾经得到青岛远洋公司的崔岩,青岛北控电气有限公司的吴保君、吕敬民,上海海洋职业技术学院的咎宪生的大力帮助,在此谨致谢意。在书中引用的相关书籍和刊物的内容的作者也在此表示感谢。

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。

作 者

2012 年 7 月

目 录

前言

第一章 船舶电气设备故障的分析方法	1
第一节 传统的故障诊断法	1
第二节 故障树分析法	2
第三节 船舶电气设备专家诊断系统	7
第四节 船舶电子设备的故障分析及修理方法	10
第二章 船舶电气设备维修的常用仪表及其使用	18
第一节 万用表与示波器	18
第二节 绝缘电阻表	23
第三节 钳形表和短路侦察器	25
第三章 船舶电气设备的常用维修材料	28
第一节 船用导电材料	28
第二节 船用绝缘材料	34
第三节 电阻、电容和电感	37
第四节 半导体器件	44
第五节 磁性材料	62
第六节 船用其他电气附属材料	63
第四章 船舶电器的维修	64
第一节 电器的分类和型号命名	64
第二节 接触器的维修	66
第三节 继电器的维修	71
第四节 断路器的维修	73
第五节 常用熔断器	76
第六节 PLC 控制器的维修方法	77
第五章 船用电机和变压器的维修	86
第一节 对船用电机的基本要求	86
第二节 船用电动机的维护	86
第三节 船用异步电动机的检修	93
第四节 船用直流电机的维修	102
第五节 交流单相电动机的维修	104
第六节 船用变压器的维修	111
第六章 船舶辅机电气系统的维修	113
第一节 电气控制电路图的读图方法及一般故障的检查方法	113
第二节 单速拖动控制系统的维修	120
第三节 泵的自动控制系统的维修	124
第四节 船舶分油机电气系统的维修	132
第五节 船舶起货机电气系统的维修	137
第六节 锚机、绞缆机电气系统的维修	160

第七节 舵机电气控制系统的维修	163
第八节 船用辅锅炉电气控制系统的维修	176
第九节 船舶空调、冷藏设备、冷藏集装箱电气控制电路的维修	181
第七章 船舶电站的维修	198
第一节 船舶电站的维护与保养	198
第二节 船舶发电机、调压器常见故障的检修	204
第三节 船舶电站自动装置的维修	225
第四节 轴带发电机系统的维修	245
第五节 船舶电站的调试	252
第八章 主机遥控系统的维修	257
第一节 主机遥控系统	257
第二节 DIFA-31 型微机控制的主机遥控系统的维修	267
第三节 M-800-III 型主机遥控系统的维修	283
第四节 AUTOCHIEF-IV 主机遥控系统的维修	312
第五节 DGS8800e 数字调速系统的维修	335
第六节 现场总线的 AC C20 主机遥控系统的维修	353
第九章 船舶柴油机智能控制系统的维修	367
第一节 船舶柴油机智能控制基本原理	367
第二节 RT-flex 系统的维修	371
第三节 ME 系列智能型柴油机控制系统的维修	385
第十章 巡回监控与报警系统的维修	392
第一节 SIMOS 31S 微机集中监测系统的维修	393
第二节 K-CHIEF500 型监视报警与控制系统的维修	399
第三节 DATACHIEF C20 监视报警与控制系统的维修	421
附录	439
附录 A 国内外常用电气图形符号对照	439
附录 B 电气设备常用基本文字符号	445
参考文献	448

第一章 船舶电气设备故障的分析方法

随着船舶电气化、自动化程度的不断提高，电气设备变得越来越复杂，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同。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做经验诊断法，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亲身体会，也有通过收集资料得来的），做出设备故障的点（或零部件）的判断，并加以排除，这种诊断的准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，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、迅速地排除故障。这对于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，其步骤如下。

第一步：保持现场的情况进行症状分析

1. 询问操作人员

询问的内容一般如下：

- 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了？
- 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

观察的内容一般如下：

- 1) 有无明显的异常现象？零部件有无卡阻或损伤？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. 在条件允许时可让故障现象重现

在条件允许的情况下，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，检查电路元（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，作为电气管理人员，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，通过第一步、第二步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。

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，就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（Fault Tree Analysis, FTA），早在 20 世纪 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，树枝代表系统或元器件的故事件，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器件故障为止。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。

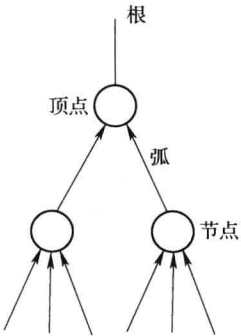


图 1-1 故障树

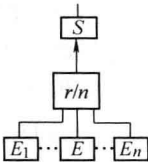
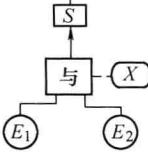
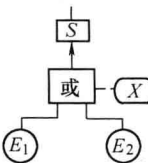
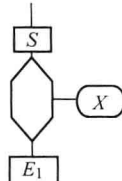
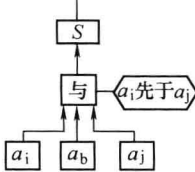
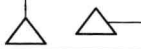
二、故障树的符号

故障树的符号、名称、意义见表 1-1。

表 1-1 故障树的符号、名称、意义

符 号	符 号 名 称	符 号 的 意 义
	基本事件	已知故障概率，不可能再分解的故事件，即树叶
	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)

(续)

符 号	符 号 名 称	符号的意义
	“ 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)
	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_i 先于 a_j 发生时, 在 a_i 、 a_j 和 a_b 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, 作为故障分析目标, 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。具体步骤如下:

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的过程

例 1-1 交流电力拖动系统

交流电力拖动系统如图 1-2 所示，求作顶事件为电动机过热的故障树。

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电流，间接原因是散热条件。所以，就有如下逻辑过程：

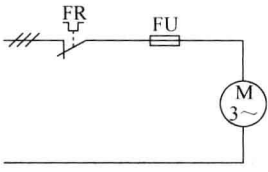
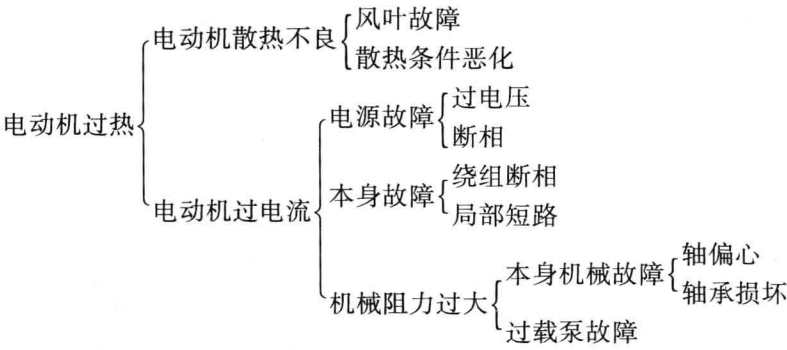


图 1-2 交流电力拖动系统



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。

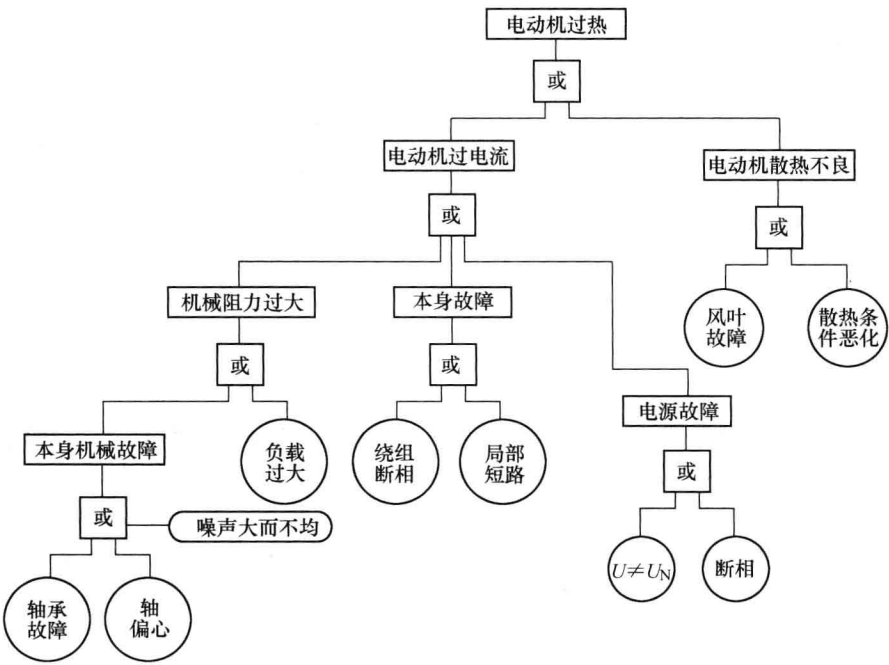


图 1-3 电动机过热故障树

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 9 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 1-2 单速不可逆交流电力拖动系统

单速不可逆交流电力拖动系统如图 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；②QS 无法合上；③KM 没有合上。而造成 KM 没有合上的原因有：①KM 动铁心（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；②SB₁ 开路；③SB₂ 失效合不上；④FR 断开。而 FR 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 所示的故障树。

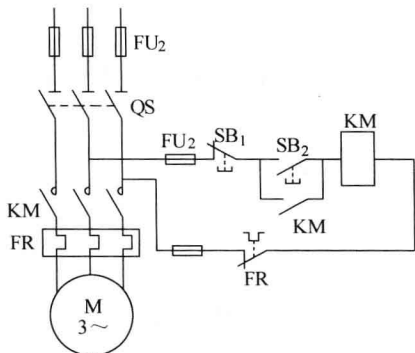


图 1-4 单速不可逆交流电力拖动系统

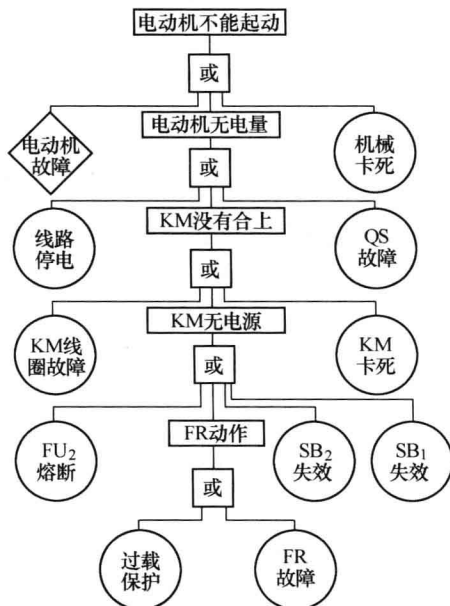


图 1-5 单速不可逆交流电力拖动系统
“电动机不能起动”故障树

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。

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，由故障率高的元器件的分枝优先检查。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，但是比较繁重，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计算机控制。由多微机控制发展到网络控制。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了。而且，设备自动化程度越高，系统就越复杂，系统的元器件就越多，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 VT（晶闸管）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器件故障就更是困难。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

- 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、经验做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. 其工作原理

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

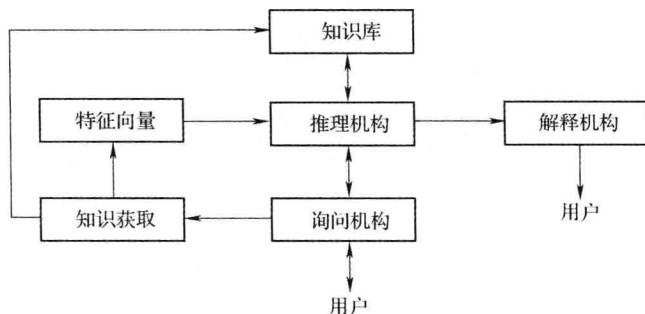


图 1-6 专家系统组成框图

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。

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。一般是按元器件失效率，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，个人咨询者）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，每个故障都产生原因、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_e ）

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：

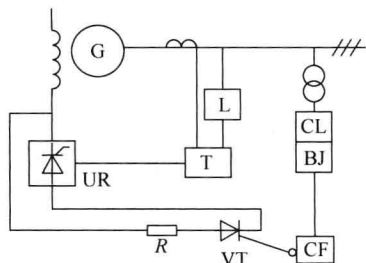


图 1-7 可控相复励恒压装置原理图

L—移相电抗器 T—相复励变压器 CL—测量电路

CF—移相触发电路 UR—整流模块

VT—晶闸管 BJ—比较电路

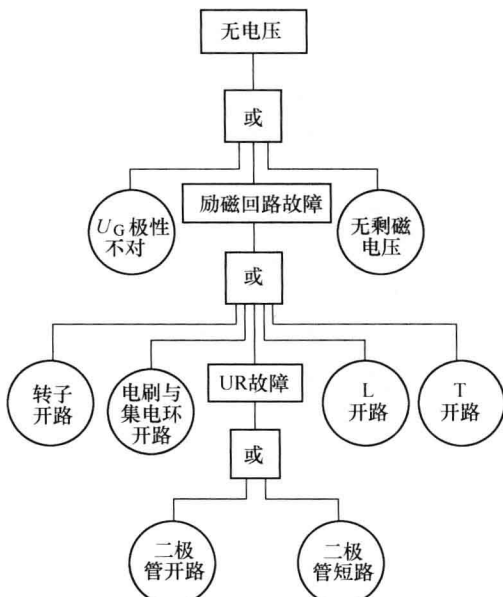


图 1-8 无电压故障树

- 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 UR 整流器有二极管开路；
- ② 如果 $\Delta U_2 < |U_0 - U_{fe}| < \Delta U_1$ ；那么晶闸管 VT 全导通；
- ③ 如果 $6V < |U_0 - U_{fe}| < \Delta U_2$ ；那么 L 电感增大，应增大气隙；
- ④ 如果 VT 全导通，那么 VT 击穿可信度为 $\left(\frac{100}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} \times \lambda_1 \% \right)$ ；

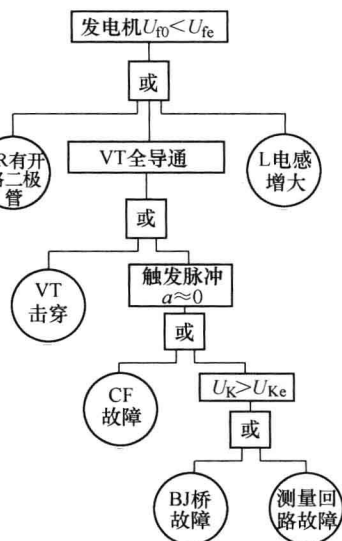


图 1-9 $U_0 < U_{fe}$ 故障树

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 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_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) 按各元器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 $U_0 > U_{fe}$, 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 VT 开路, 可信度为 X_1 ; 分流电阻开路, 可信度 X_2 ; VT 无触发脉冲, 可信度为 X_3 ;
- ③ 如果 VT 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 $U_0 > U_{fe}$, 且分流电阻、VT 完好; 那么 VT 无触发脉冲;
- ⑤ 如果 VT 无触发脉冲且 $U_k > U_{ke}$, 那么 CF 触发电路故障;
- ⑥ 如果 VT 无触发脉冲且 $U_k = -U_w$, 那么 BJ 桥稳压管开路;
- ⑦ 如果 VT 无触发脉冲且 $-U_w < U_k < U_{ke}$, 那么 CL 测量回路故障。

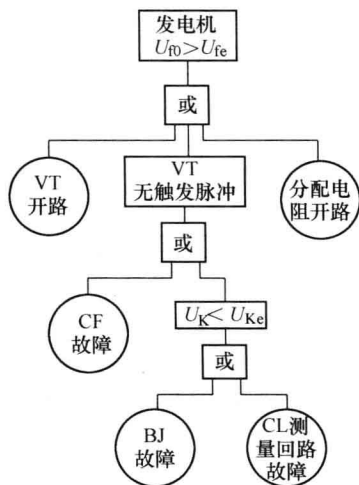


图 1-10 $U_0 > U_{fe}$ 故障树

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。

第四节 船舶电子设备的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量与日俱增。作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其独特之处, 在这里简单介绍分析电子设备故障原因的几个方法。

二、船舶电子设备的故障分析方法

1. 不通电观察法

电子设备发生故障, 主要是由于电阻、电容、电感等电路元件和晶体管、集成电路等电子器

件以及变压器、开关、熔丝管等部件的损坏而引起的,也可能是由于电路的或机械的连线或触点不良造成的。其中如电阻烧坏、电容器漏液或炸裂、电源变压器损坏,开关滑位、电路断线、插件松脱等迹象都容易发现。因此,在检查电子设备时,可先在不通电的情况下,观察电子设备上的开关、旋钮、插口、接线柱等有无松脱、滑位、断线等问题,打开电子设备外壳盖板,观察内部的元器件、插件、电源变压器电路连线等,有无烧焦、漏液、发霉、击穿、开断等现象。

但是应当指出,在修理时不能单纯地调换已损坏的器件就算了事,应当进一步查对电子设备的电路原理图,搞清楚损坏元器件的部位和作用,从而分析导致损坏的原因,及其可能波及的范围,查出导致故障发生的真正原因,发现其他损坏的元器件,这样才算完全修好设备。否则,真正的故障因素没有排除,设备开机使用后,更新的元器件一定又会损坏。

2. 通电观察法

如果在不通电观察中未能发现故障原因时,就应采用“通电观察法”进行检查。为了避免设备故障扩大,以及便于重复观察,必须使用自耦变压器(交流 $0 \sim 240\text{V}$, 500VA ,若设备供电电源为直流电源,还需加整流装置,变为直流 $0 \sim 240\text{V}$)逐步加压供电,在调压自耦变压器输出端,应串接一个适当量程的电流表和并联电压表,通电观察时,应先把电子设备的开关合上,然后从“0”V开始逐步加压,这时注意所加电压和设备内部有无异常现象发生。

通电观察法特别适用于检查跳火、冒烟、异味、烧熔丝等故障现象。这些故障常发生在电子设备的整流电路部分,通电观察时,首先应注意整流部分、电解电容有无“吱吱”声,或者电源变压器、电阻器等元器件是否发烫、发臭、发黑、冒烟、跳火等现象,一旦发生应立即切断电源。如果一时看不清已损坏的元器件时,可重复上述过程。一旦查出损坏的元器件后,应进一步查对电子设备的电路原理图,分析元器件损坏的原因,以及可能波及范围,然后再拟定下一步的测试方案。

3. 对症下药法

在电子设备的说明书中,大多有比较完整的维修与调试资料。如各级电路的工作电压数据表、波形图以及常见故障现象、原因、检修方法对照表等,这对于电子设备检修者都是很有价值的参考资料。因此,在检修电子设备时,可根据现象,参照现成资料对症下药,以加快电子设备的修复。

4. 参数测试法

电子设备发生故障时,设备有关电路的参数都会发生变化。只要测试到这种变化所在,就可知道故障发生的部位。所以,运用仪器、仪表测试被检电子设备电路中的有关参数(如电压、电流、电阻等)测得元器件参数,是一种有效分析故障原因的方法。通常在通电状态下,不会扩大故障的情况下,使用测试电路中的有关部分电压参数,甚至电流参数,在不允许再通电试验时,测试电路的电阻值。下面分别介绍这两种方法。

(1) 电压测量法

检查电子设备内部各部分是否正常,是分析故障原因的基础。因此,检修电子设备时,应先测量待修电子设备中各部分的直流电压值是否正常。即使在已经确定故障所在的电路部位时,也需要进一步测量有关电路中的晶体管、集成电路各脚的工作电压是否正常,这对于发现与分析故障的原因和损坏的元器件,很有帮助。“电压测量法”是检查电子设备故障原因的最基本的方法。比较完善的电子设备的电路原理图上,标注有主要部位的工作电压值,在检修过程中,经常需要对照电子设备说明书中给出的电压数据,进行必要的直流电压测量,这样就能很快地查明故障的产生原因和损坏变值的元器件。如果没有现成的电压数据可供参照,也应当根据电路的工作原理加以分析和估计。

(2) 电阻测量法

在检修电子设备时,经常发现由于电路元器件的插脚或滑动触点接触不良,或个别接点虚焊,或者电阻变值。以及电容器漏电等,从而导致故障发生。这些问题都需要在待修设备不通电的情况下,采用“电阻测量法”进行检查,以寻找故障所在。

对于接触电阻或通路电阻的测量,要使用万用表的最小电阻档,即“ $R \times 1$ ”档,对于连接在电路中的电阻器件的测试,要考虑到被测元器件与其电路之间的连接关系。如果没有其他回路的连接,则可用万用表的相应的电阻档直接在待测电阻的两端进行测量,否则应脱焊被测电阻的一端,然后才能进行阻值的正确测量。对于高阻值电阻元件的测试,应防止手指碰触测试棒的金属探针,以免影响测试结果,而引起错觉。对于整流输出短路情况,也可用测量负载电阻的阻值加以判断。

对于电容器的漏电程度,绝缘击穿以及电容量变值等情况,一般都可采用“电阻测量法”进行检查,但被测电容一端必须脱焊。在检测电解电容器时,应注意万用表测电阻档的测试棒极性不能接错,即红表笔为“-”电压端、黑表笔为“+”电压端。若使用数字万用表测量电容值会得到更准确的数值(后同)。

对于电感线圈和变压器绕组的通断,也可采用“电阻测量法”进行检查。

在缺少专门的晶体管测试仪器的情况下,经常采用“电阻测量法”来粗略地判断各种晶体管的好坏,即使用万用表的适当测电阻档来检测晶体管P-N结的正反向电阻的大小,以及检测相应于 I_{ceo} 、 I_{cbo} 和 I_c 的电阻指示值,并加以比较或估算。譬如P-N结构的正、反向电阻都很小,表明晶体管已击穿短路;反之,正、反向电阻都很大,表明晶体管已烧坏断路等。

5. 波形观测法

在检修电子设备中,常常使用电子示波器来观测待修电子设备的各级电路的输入和输出信号波形,可以迅速地发现产生故障的部位,有助于故障原因的分析,进一步确定检修的方法与步骤。

6. 分割测试法

有些电子设备的组成电路比较复杂,涉及器件很多、并且互相牵制、多方影响。在检修这类电子设备时,常常采用分割电路的方法,即电路连接的一端脱焊,或者取出有关插板,观察其对故障现象的影响,或者单独测试被分割电路的功能,这样就能发现问题所在之处,便于进一步检查故障产生的原因。

7. 元器件替代法

在检修电子设备时,通常使用相同型号、相同规格、相同结构的元器件、印制电路板、单元插接部件来替代有疑问的部分,以便观测对故障现象的影响。如果故障现象消失了。表明被替代的部分存在问题,然后再行脱焊更新,或者进一步检查故障的原因。这种方法,在船上经常使用,由于有些电子设备发生故障等不及你把故障原因弄清,必须快速修复,才能保证船舶安全航行。所以,这种替代法最为有效,然后把故障部件修复,作为备件。

8. 整机比较法

在检修电子设备时,需要有电路正常时的工作点电压数值和工作波形图作为参考,以便采用“电压测量法”和“波形观测法”来比较其差异而发现问题。因此,在缺少有关资料,并且已使用多种检测方法仍难以分析故障发生的原因,或者难以确定存在问题的部位时,通常采用“整机比较法”,即利用同一类型的完好的电子设备,对可能存在故障的部分,进行工作点测定和波形观测,以比较两台好坏设备的差别,往往就会发现问题,并有助于故障原因的分析。特别是对于检修复杂的电子设备在没有有关资料的情况下颇有成效。

9. 电容旁路法

电容旁路法,是利用适当电容量和耐压的电容器,对被检电子设备电路的某一部分进行交