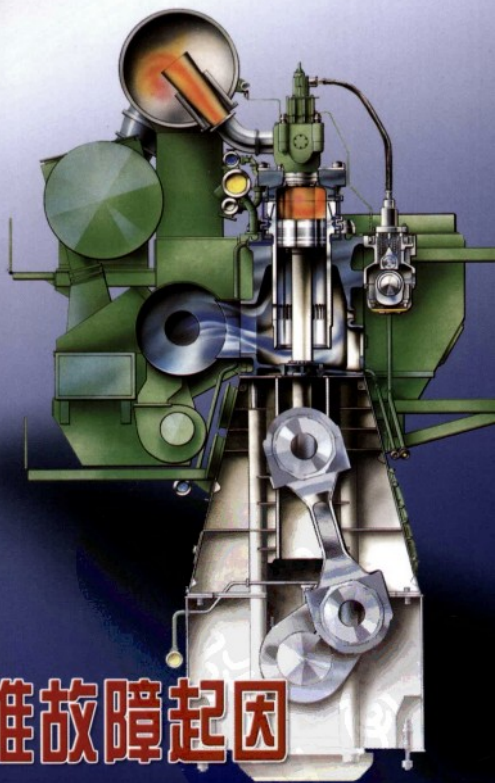


船员实用技能系列图书



● 白育津 著

船舶机械疑难故障起因

查找方法、过程及原则



人民交通出版社

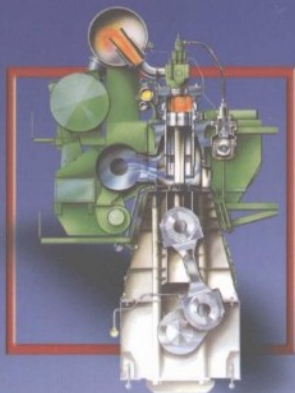
China Communications Press

水道图书工作室



欢迎光临中国水道图书网
www.chinasybook.com

- ☐ 策划编辑 / 刘继辉
- ☐ 责任编辑 / 钱悦良
- ☐ 美术编辑 / 孙立宁



为了能使本套技能系列图书更具实用价值，
您有什么好的建议请联系我们：

shuiyun@ccpress.com.cn

ISBN 978-7-114-06933-8



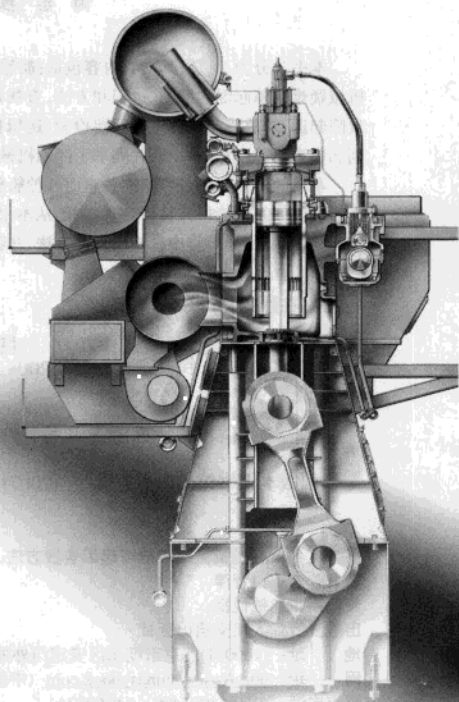
9 787114 069338 >

定 价：35.00 元

新
知
船
聲

PDG

船员实用技能系列图书



● 白育津 著

船舶机械疑难故障起因 查找方法、过程及原则

人民交通出版社

PDG

内 容 提 要

本书共分为 11 章,其主要内容包括:船舶机械疑难故障的定义与分类,查找船舶机械疑难故障起因的原则、过程和方法,查找常见的、不常见和罕见的船舶机械疑难故障起因,对故障起因假说的间接检验、逻辑检验,以及在这个过程中应当遵循的原则和应当引起注意的事项,并列举了船舶机械故障的 35 个实例。

本书的读者对象是那些准备直面各种船舶机械设备的疑难故障并试图努力解决那些疑难问题的轮机人员,希望他们能从本书中了解到一些在实际工作中曾经运用过的,或者从实际工作中总结出来的方法,并获得一些收益。

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶机械疑难故障起因查找方法、过程及原则/白育津著. —北京:人民交通出版社, 2008.3
ISBN 978-7-114-06933-8

I. 船... II. 白... III. 船舶机械-故障检测 IV. U664

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 191062 号

书 名: 船舶机械疑难故障起因查找方法、过程及原则

著 者: 白育津

责任编辑: 钱悦良

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.chinasybook.com> (中国水运图书网)

销售电话: (010)64981400, 64960094

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 人民交通出版社交实书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×960 1/16

印 张: 16.5

插 页: 3

字 数: 257 千

版 次: 2008 年 3 月第 1 版

印 次: 2008 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06933-8

印 数: 0001—3000 册

定 价: 35.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

献给我的父亲、母亲





目 录

第一章 导言：为什么要查找船舶机械疑难故障的起因	1
第一节 人工智能能够替代轮机人员的分析判断吗	2
第二节 为什么要查找船舶机械疑难故障的起因	8
第三节 价值一万九千九百九十九美元的过程	10
第四节 轮机管理人员与船舶机械设备疑难故障起因的关系	12
第二章 船舶机械设备疑难故障及其起因的定义与分类	14
第一节 机械故障的定义	14
第二节 船舶机械设备故障的分类	15
第三节 船舶机械设备疑难故障的定义与分类	17
第四节 船舶机械设备故障的现象与起因	18
第五节 怎样才算是查找到了船舶机械设备的疑难故障 的起因	22
第三章 准备工作和注意事项	27
第一节 心理的准备——要有自信心	27
第二节 预先想好一个大致的拆检步骤	36
第三节 在找到轮机疑难故障的起因之前，不要一次 更换多个部件	39
第四节 不要忽视对“新的”部件的检查	40
第四章 查找船舶机械设备疑难故障起因的原则	42
第一节 判明情况是处理船舶机械设备疑难故障的 首要工作	42
第二节 从相关的最简单之处查起	45
第三节 大胆的假设，小心的验证	49
第四节 仔细检查，不急于拆检	59
第五章 查找船舶机械设备疑难故障起因的过程	63
第一节 查找过程的定义	64
第二节 一般的查找过程	65
第三节 比较缜密的查找过程	71



第四节	比较简捷的查找过程	100
第六章	查找船舶机械疑难故障起因的方法	104
第一节	从相关的最简单之处查找法	106
第二节	定式查找法	108
第三节	比较查找法	112
第四节	扰动查找的方法	116
第五节	分项查找 + 分项检验 + 逐步排除的方法	122
第六节	重新组合 + 分项查找的方法	130
第七章	信息的搜集和利用	139
第一节	充分利用说明书中的信息	139
第二节	主动摄取信息	142
第三节	充分利用各种信息	161
第八章	查找常见的船舶机械设备疑难故障的起因	165
第一节	辨别船舶机械设备疑难故障状态的特性	166
第二节	提高查找故障起因的相关系数	170
第三节	提高对故障起因假说的相关度	180
第九章	查找不常见的和罕见的轮机疑难故障的起因	186
第一节	寻找一个折射点	188
第二节	换一个角度思考问题	194
第三节	以自己能够理解的方式看待和解决复杂系统的故障问题	202
第十章	对故障起因假说的间接检验	215
第一节	用否定的方法的间接检验	216
第二节	不动点假说的检验——寻找一个恰如其分的假说	218
第三节	模拟功能(替代)的检验	227
第十一章	对疑难故障起因假说的逻辑的检验	238
第一节	为什么要进行逻辑的检验	238
第二节	避免以偏概全	239
第三节	避免相互矛盾	240



实例目录

实例 1	主机初次启动困难	22
实例 2	润滑油分油机因为跑油而无法运转	29
实例 3	辅机超速保护装置故障	32
实例 4	福岛液压起货机(FUKUSHIMA CRANE) 的检查与检修步骤	37
实例 5	主机的活塞失中	40
实例 6	主机废气涡轮增压器喘振	45
实例 7	在停泊期间,主机燃烧室内发现大量积水	50
实例 8	主空气压缩机曲轴箱内润滑油乳化	56
实例 9	燃油分油机在分油期间漏水	59
实例 10	发电机的柴油机排烟温度较高	68
实例 11	润滑油分油机的活动底盘无法升起	69
实例 12	主机转换用重油不久,主机转速表的 指针突然剧烈波动	75
实例 13	根据表面结霜情况评估制冷设备的状态	76
实例 14	抓斗的液压油泵偏磨严重	79
实例 15	液压舵机难以从电液远操方式转换为液压远操方式	86
实例 16	主机转速突然自行下降	100
实例 17	燃油分油机无法排渣	106
实例 18	液压起货机吊货后吊臂向后打滑	109
实例 19	主机启动困难	113
实例 20	舵机的 2 号油泵电动机在单边转舵时过载	118
实例 21	主机润滑油分油机运转中噪声太大	124
实例 22	排除主机初次启动时发火困难的故障	132
实例 23	空调压缩机没有润滑油压力	140
实例 24	润滑油分油机无法自动排渣	145
实例 25	三台并电运行的发电机之间负荷大幅波动	152
实例 26	主机的排烟温度过高	161



实例 27	制冷压缩机的吸入压力升高	167
实例 28	主机加速困难	170
实例 29	主机的冷却水压力不稳定	184
实例 30	液压抓斗无法关闭	189
实例 31	主机经常出现转速大幅波动和涡轮增压器喘振	194
实例 32	变螺距桨叶指示波动	204
实例 33	主机初次启动时发火困难	219
实例 34	驾驶台遥控系统无法使主机加速至额定转速	228
实例 35	主机在控制室操纵时,无法换向至倒车位置	242





第一章

导言:为什么要查找船舶机械疑难故障的起因

即使是在科学中,研究的对象也不再是自然界本身,而是人类对自然的探索。这里,人类所面对的又仅仅是他自己。

[德国]维尔纳·海森伯(Werner Heisenberg)

《物理学家的自然观》吴忠译

商务印书馆

由于自然淘汰,精心培育起来的对事物好奇心已成为我们赖以生存的基本要素。

[美国]卡尔·萨根(Carl Sagan)

《暗淡蓝点》叶式辉等译

上海科技教育出版社

我们所从事的航海运输事业是人类所从事过的最古老、最悠久的行业之一。我们工作和生活的场所——船舶,其外形和几百年前,甚至几千年前相比较,变化都是不大的;尽管制造现代运输船舶的材料早已不再以木材为主,船舶的体积和载重量也不是从前的船舶所能相比的。但是,她们都还是需要水的浮力才能载重、才能航行,就像几千年前的独木舟一样。同时,船舶所能航行的范围也是有限的——仅仅是在我们这个星球表面大约十分之七的水域中;这个范围不可能像航天事业那样,随着人类科学技术的不断进步而不断地扩大她的探索范围。很显然,航海运输事业不是什么“朝阳产业”。但是,在可以预见到的将来,航海运输却也是别的运输行业无法替代的。并且,在航海运输这个行业的内部,变化还是



巨大的。无论是航海的设备、航海的仪器,或者是船舶的动力,都随着科学技术的不断进步而不断发展。

第一节 人工智能能够替代轮机人员的分析判断吗

我曾有幸和一位老资格的、当年在我国远洋运输界很有些名气的老船长同船工作一年多。他上船时带着四本硬面抄(我曾经比较仔细的翻阅过),每一本硬面抄都是 200 页(不是普通的 100 页的硬面抄),每一页的每一行当中都用钢笔端端正正的写满了两行字,也就是说这四本硬面抄至少相当于 16 本一般 100 页硬面抄的容量。这些硬面抄中记录了老船长从 20 世纪 50 年代中至 90 年代初所经历的所有航程——从船舶的吃水、船舶的航向、主机的转速和理论速度到当时的风力与风向以及估计的海水流向与流速等等,这一切都是为了积累数据,以便在天气不好,观测不到星星与太阳而无法准确的确定船位时,能够有所依据,推算出一个不致相差太远的船位。

在 GPS(Global Position System, 全球自动定位系统)装船使用之前,由于无法准确地测定船位(绝大多数是因为天气的原因),而推算的船位误差又太大,导致船舶因偏航触礁的海难事故不计其数。在我国,20 世纪六七十年代,由于上述原因而造成的海难事故中,影响较大的就有“跃进”轮和“新会”轮。

随着计算机技术的快速发展,航海仪器也越来越先进。现在的 GPS 不仅体积越来越小,功能越来越多,价钱也越来越便宜了。为了预防 GPS 出现故障而引起麻烦,有些船长自己带着一台 GPS 上船。这样,他们几乎再也不用费尽心思去推算船位了。近些年,我偶尔才会见到有些好学的,或者说是好奇的年轻驾驶员摆弄一下六分仪,测几个星,定个船位。可以这么说,先进的航海仪器以更准确、更及时的定位替代了许许多多曾经是非常宝贵的经验。

从 1807 年美国工程师 R. 富尔顿将第一台蒸汽机成功地安装到船上^①以后,轮机管理才开始在源远流长的航海历史中逐渐的有了一席之地。

^① 关于是谁、在什么时候将第一台蒸汽机成功地安装到船上,有着不同的观点(请参阅杨樵的《轮船史》一书),我们此处采用的是《中国大百科全书》中的《交通分卷》的观点。



地,而随着 B&W 公司在 1912 年将第一台柴油机^①安装上船以来,船舶的机械设备又有了更多、更新的发展,轮机管理也随之有了越来越丰富的内容。在轮机管理的实际工作中,对发生在船舶机械设备中各种疑难故障的分析、判断和处理一直占有重要的地位。在许多人看来,一个轮机人员处理疑难故障能力的大小,就是他的技术水平的直接表现。

从 20 世纪 60 年代起,一些工业先进的国家就采用了一种称之为“故障诊断”的技术对一些重要的机械设备进行监控和检测,对机械的剩余运行寿命进行预测。这种技术主要是运用振动、声发射和润滑油样分析等方法进行诊断。随着人工智能和专家系统的发展,故障诊断技术在近年又有了长足的进步。然而,不知是因为造价的原因,或是别的什么原因(应该不会是因为技术的原因),据我所知,上述的故障诊断技术很少运用到商船上,似乎只有在一些大型的军舰上采用了这种技术。

幸运的是,——也可能是不幸?迄今为止,我们轮机管理人员的经验和知识还没有被飞速发展的人工智能技术所代替。不仅是在旧船,在自动化程度不那么高的船舶上,我们轮机管理人员的知识与经验还能派上用处;就是在许多新船,在一些自动化程度很高的船舶上,在查找许多疑难故障起因的过程中,仍然得依靠我们的知识与经验,仍然得依靠我们的想象力与判断力。

那么,今后呢?在今后不远的将来,人工智能是否也能够像 GPS 和气象传真图替代了多少代航海人的经验与智慧那样,替代轮机管理人员的经验、智慧和想象,在查找许多疑难故障起因的过程中,做出准确的判断呢?我猜想,如果船舶的动力依然是以内燃机为主的话,那么,人工智能是很难或者说是几乎不可能代替轮机管理人员对疑难故障的起因做出比较准确判断的。

尽管我常常对计算机技术的飞速发展感到惊异,特别是对人类在航天事业取得的进展感到惊异;我又略带遗憾地得知卡斯帕罗夫(前国际象棋世界冠军,曾经长期占据世界第一的位置)终于输给了“深蓝”(IBM 的计算机);但是,同时我也知道计算机们的“先天”的缺陷,它们全都缺少我们普通人都具有的一般的想象力。例如,我们都知道,我们无法说出一

^① 关于是谁、在什么时候将第一台柴油机成功地安装到船上,也有着不同的观点(请参阅杨植的《轮船史》一书),我们此处采用的是丹麦的 Christen Knak 著的《柴油机船发动机与机械装置》(郝尔铎等译,人民交通出版社)中的观点。



个最大的自然数,我们可以轻而易举地在任何极大的数目上面加个“1”,可是计算机不“知道”这一点,如果你试图要它找一个最大的自然数,它要不就是找到一个不是最大的自然数,要不就不停地运转下去——俗称“死机”!同样,计算机也不知道, $\sqrt{2}$ 是永远也开不尽的。正如牛津大学的罗杰·彭罗斯教授在他的名著《皇帝新脑》一书中描述的那样:就像安徒生的《皇帝的新衣》中的皇帝没有穿衣服一样,电脑也没有头脑。

当然,相比最大的自然数,船舶机械设备的数量是太有限了,即使把所有的机械设备都拆成一个个的零部件,其数量也是有限的。因此,在船舶机械设备中,能够发生故障的零部件和部位的数量也是有限的。很显然,至少从理论上说,能够造成轮机设备出现疑难故障的起因的数量,不是一个使计算机运转不停的极大数目。所以,我不说人工智能不可能代替轮机管理人员对疑难故障的起因做出比较准确判断的。

在我工作过的某些 20 世纪 90 年代中期制造的船上,轮机设备的控制与监测系统的电子部分就已经具有了自检功能,当电子部分有了故障时,它不仅能够发出警报,它还能够控制室的监视屏上显示机舱内某个控制箱内的某一块电路板出现了故障(尽管它常常误报警)。毫无疑问,以后制造的电子设备的自检功能会更强大,更完善,它们会逐步地提高自检的准确度,减少误报警。可是,机械设备本身呢?当它们有了故障时,是否也可以借助越来越先进的检测设备和越来越强大的计算机技术,不仅仅发出故障警报,同时还能告诉轮机管理人员,是什么原因造成了什么地方发生了什么故障呢?

许多年前,我就听说过,有一家公司开发了一套检测系统,它能根据主机缸套和活塞环的磨损量,代替轮机长制订检修(吊缸)计划。可惜,我一直没有看到过这方面的报道,也不清楚它采用的是哪一种检测方法(我猜想,它可能采用的是化验扫气箱的油渣中金属含量的方法),更不清楚这套系统是否装船使用了,以及实际使用的效果如何。不过,我们可以设想一下这套检测系统在实际运用中可能遇到的困难:

1. 如果它是采用化验扫气箱中油渣的方法,通过其中金属的含量来判断缸套和活塞环的磨损量,那么,它首先会遇到采样的困难,扫气箱中的油渣又粘又稠,获取油渣的样品(sampling)不可能像获取锅炉的水样那样容易;其次,主机在全速航行时与在变速航行时的磨损量是不同的,气缸油的耗量也不相同,并且,缸套在整个圆周表面上的磨损量也是不同



的,因此,要想获取能够准确反映缸套和活塞环磨损量的油样将是非常困难的;再者,我们轮机管理人员并不仅仅根据主机的运转时间(或者说是缸套与活塞环的磨损量)来决定检修(吊缸)的时间,如果缸套表面有较严重的划痕或是裂纹,检测系统能够“看到”吗?或者,如果是活塞环折断了,单凭化验扫气箱中油渣的方法,检测系统就能够“知道”吗?

2. 如果是通过测量缸套厚度的方法来检测缸套的磨损量,尽管在正常情况下,缸套的最大磨损量也是很小的,在直径上一般每千小时不超过0.1mm(实际运转中的许多主机缸套每千小时磨损量远低于0.1mm),显示在缸套厚度上也就0.05mm。即使检测系统能够准确地测量出缸套的最大磨损量,那么活塞环呢?活塞环的磨损量比缸套的磨损量大得多,在正常情况下,吊缸检修的主要工作就是清洁、测量缸套和活塞以及更换活塞环。即使检测系统能够测量活塞环的磨损量——活塞环的径向磨损是很不均匀的,可是,它能够“看到”活塞环的折断吗?它能够“看到”活塞顶部的结炭或是烧蚀吗?

很明显,单凭一、两种自动的检测方法是很难了解到缸套内部的真实状态的。当然,轮机人员通过扫气口能够观察到的缸套与活塞环的情况也是有限的。也许以后会在缸套上安装类似摄像头那样可以“看”的探测器,然后将“看到”的东西传送到监视系统,供系统比较、分析和判断。如果再加上可以准确地测量缸套厚度和活塞环弹力的检测装置,那么,这样的系统大概是可以比较准确地了解到缸套与活塞的实际状态,并代替轮机长制订检修(吊缸)计划。

在实际的查找机械疑难故障起因的工作中,我们往往会遇到许多的不确定因素,例如,常见的机械疑难故障——主机的排烟温度过高,可能造成这种故障现象的起因至少就有15种之多(参见第八章)。如果期望人工智能代替轮机人员对故障的起因做出准确的判断,那么就一定要减少不确定的因素。而减少不确定因素最有效的方法不是增加计算机运算的速度,而是增多检测点和检测项目,提高检测的精确度。

毫无疑问,随着新技术和新材料的不断涌现,对船舶机械设备的检测手段会越来越丰富,检测的方法也会越来越先进。如果传感器也能像别的电子产品——例如GPS那样,功能越来越强大,价格却越来越低廉的话,也许,有朝一日,在船舶机械设备的所有可能磨损的部位都会安装上检测装置,在所有的滤器前后都会安装上传感器,在所有可能卡死或是松脱的部位都会安装上报警装置,那时,轮机设备的监测系统应该能够比较



准确的显示多数的机械设备疑难故障的起因,但不会是全部的机械设备疑难故障起因。为什么这样说呢?因为有的机械疑难故障的起因不是依靠传感器或是测量工具可以检测出来的,例如,在实例 15 中,整个舵机装置中没有一个是部件有缺陷,可它就是无法从电液远距离操纵系统转换为液压远距离操纵系统(参见第五章);又例如,在实例 25 中,三部发电机中的任何一部都可以正常工作,任何两部都可以正常地并电工作,可是三部发电机并电时,就难以正常的工作(参见第七章)。对于这一类的机械故障,需要我们轮机管理人员在实际的查找工作中,运用自己的经验、智慧和想象力将故障的起因“描述”出来,通过验证把故障的起因显现出来。

也许,我们可以把轮机设备的关系性的疑难故障(参见故障的分类一章)再分成这样两大类,可以计算的和无法计算的。造成某些轮机疑难故障的起因,尽管查找起来困难而烦琐,但它们还是可能通过测量和计算发现的。例如,二冲程柴油机的活塞失中,能够造成这种故障的起因有许多:前后主轴承在轴线上高低不一,曲柄销的锥度过大,连杆轴承的上瓦厚薄不均,十字头轴承的下瓦厚薄不均,十字头的滑靴或是导板磨损过大等等(参见图 1-1),可是,如果我们能够把所有相关的数值都测量出来,通过计算就能把活塞失中的起因找出来,并且通过计算得到校正活塞的修正量。尽管在实际的工作中,大概没有人这样计算,但是并不等于它是不可以计算的。而我们在前面谈到的故障实例 15 和故障实例 25 却都难以通过计算找到它们的起因。

对于上述的后一种疑难故障的起因,可能有人认为,可以通过专家系统查找。然而,我们且不说专家系统能够提供的故障模式是非常有限的,即使是专家系统包括了所有的可能造成故障的起因——我认为不存在这种可能性,专家不可能经历过所有的机械故障,也不可能事先的预想到今后发生的所有的机械故障——在实际的运用专家系统查找疑难故障起因时,还是需要我们轮机管理人员在专家系统提供的故障树的每一个结点或是流程图的每一个选择点做出判断:是,或者不是。或许有人会说,我们可以把大量的检测点和先进的检测设备与专家系统结合起来,让专家系统自己判断是或者不是。是的,如果不计费用的话,这确实是一个不错的方法。可是它并不能包办一切。我们知道,在实际的查找轮机疑难故障起因的过程中,我们可能会遇到大量的似是而非的、介于一种正常的或是不太正常的模棱两可状态的现象,比如说滤器的脏堵,只要是使用

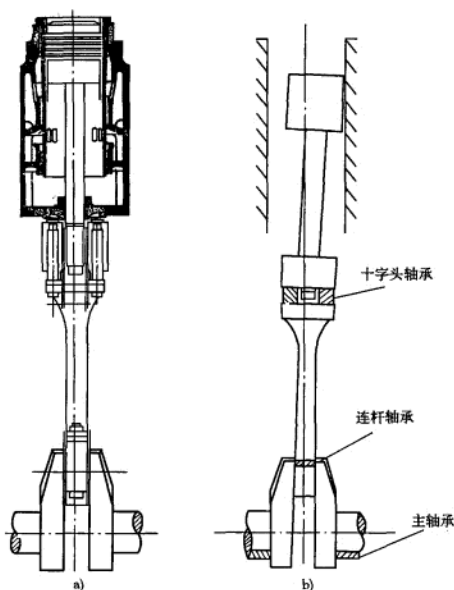


图 1-1 二冲程柴油机活塞失中(仅作为示意图)

中的滤器,很少是干干净净的,那么,怎样才算脏堵呢?我们当然可以借助滤器前后的压力差来判断;但是,如果系统中有两级或是更多级的滤器,假定每一级的滤器都有些脏,可又都没有达到报警值——或者说是专家系统设定的认为滤器是脏堵的最小差值,而总的压力降则超过了允许范围。

总的压力降 = 第一级滤器压力降 + 第二级滤器压力降 + 第三级滤器压力降 + … + 第 n 级滤器压力降

这时,专家系统将告诉我们什么呢?是所有的滤器都脏堵了,还是所有的滤器都不脏呢?

当然,即使是智能系统判断主机燃油系统或是控制空气系统所有的滤器都脏了,我们将所有的滤器都清洗一遍,或是全部换新,问题都不太大。可是,在遇到下面的问题时,情况可就没有这么简单了。

也许,更可能会给人工智能系统造成麻烦的是,判断部件的磨损是否



是造成疑难故障的起因。我们还是举活塞失中的例子,假定磨损使曲柄销和十字头销出现了锥度,而这锥度又在设定的允许范围之内;连杆轴承和十字头轴承也由于单边磨损出现了轴瓦前后的厚度不均匀,而这不均匀度又在检测设定的允许范围之内;我们假定所有的磨损都出现在后面——这并不是不可能的(参见图 1-1b),于是,活塞将出现向缸套的后部倾斜的失中现象。这时,智能系统又会告诉我们什么呢?如果说是所有相关的部件都没有过度的磨损,可是活塞确实是失中了;我们知道,不可能采用加大活塞与缸套之间间隙的做法来避免活塞失中;如果说是减小相关部件最大磨损量允许范围的设定值,那么,智能系统将告诉我们,所有相关的部件都有过度的磨损了。难道要更换所有相关的部件吗?显然是不现实的。我们本希望智能系统能够准确、适时地对机械设备疑难故障的起因做出判断,以减少备件消耗,减小我们的工作量,然而,从这个例子看来,它显然是有悖于我们的初衷。

我觉得,一个先进的、完善的检测系统应该能够帮助轮机管理人员全面、准确地了解机械设备的即时状态;专家系统能够提供一些比较常见的故障模式,起到开拓轮机人员思路的作用;但是,如果希望它们能够替代轮机人员在查找轮机疑难故障的起因中——特别是在查找不常见的,甚至是罕见的轮机疑难故障起因的过程中,做出正确的判断,那还是比较遥远的事情——如果说是可能的话。

既然如此,认真地总结我们的知识与经验,汲取别的行业的知识与经验,以提高我们在查找船舶机械疑难故障起因时的分析能力与判断能力,还是有一定的现实意义。

第二节 为什么要查找船舶机械疑难故障的起因

也许有人会提出如下的两个问题:

1. 为什么要查找船舶机械疑难故障的起因呢?
2. 当某个船舶机械疑难故障得以排除的同时,不也意味着找到了故障的起因了吗?或者说,排除船舶机械的疑难故障和查找船舶机械疑难故障的起因难道还有什么区别吗?

我们先来回答第二个问题。尽管两者的最终结果都是故障现象消失和机械设备恢复正常运转;但是,船舶机械疑难故障的排除并不等于找到了机械疑难故障的起因。查找船舶机械疑难故障的起因就意味着,我们