

设备诊断实施技术丛书

设备的管理与 诊断技术

沈一飞 黄有方 编著



上海科学技术文献出版社

《设备诊断实施技术丛书》编委会

主任委员:朱林生

副主任委员:沈一飞

主 编:佟德纯

委 员:(姓氏笔划为序)

王大义	叶万水	石来德
华占秀	孙雪麟	李柱国
陈兆能	何维亨	吴震球
单怀俊	杨建珍	萨本佑
葛修鑫	蔡 正	

前 言

高速发展的现代科技和社会消费,要求工业产品的性能和质量都要达到前所未有的高标准,这首先要依赖于工业生产设备的高精密度、高完善度和高可靠度。因此,现代工业中,对各种生产设备的管理显得尤为重要,越来越引起企业家和工程技术界的重视。这不仅因为生产设备的失效或精度的下降都要付出昂贵的代价,而且单靠人的经验去分析判断已十分困难。现代设备服务于设备终生的管理中,包括设备运行、状态监测、故障诊断、趋势预报、决策维修等,所采用的技术手段及分析方法有几十种之多,并向着智能化、综合化和网络化发展,全面更新了原有的管理概念。高级精密的设备监测、诊断、分析仪器及高水准的管理技术人员,已成为现代化企业不可缺少的重要成员。

我国政府的有关部门将设备状态监测和故障诊断工作的要求纳入了《国营工业交通设备管理条例》之中,明确规定:“要根据生产需要,逐步采用现代故障诊断和状态监测技术、发展以状态监测为基础的预防维修体制”。把设备诊断技术列入了企业管理法规,并指出了设备诊断技术要为维修体制改革和设备现代化管理服务。

设备状态监测与故障诊断是设备诊断中的两个过程,两者既有密切联系又有区别。设备状态监测是指对设备某些参数(如振动、噪声、温度等)进行测取,将测定值与规定的正常值(门限值)进行比较,以判别设备的工作状态是否正常。若对设备进行定期或连续监测便可获得设备状态变化的趋势性规律,进而对设备剩余的寿命作出估计,于是便可对设备状态进行预测、预报。状态监测又称为简易诊断,只要恰当选择监测参数、测点以

及监测周期等,一般都能取得良好的效果,这种初级诊断适于现场作业人员实施。对设备产生故障的原因、部位和严重程度作出判断,为设备优化管理决策提供依据,称为精密诊断,是由专门技术人员实施。

设备诊断技术属于信息论范畴,因此它包括信号的采集、信号的分析处理(数据处理)和状态识别(包括判断和预报)三个基本环节。然而,信息技术不等于诊断技术。从事设备诊断的技术人员必须具备有关设备及零部件工作机理方面的知识,以及用于诊断和仪器设备或分析系统的有关知识。由于诊断方法及手段越来越发展,有关知识面也越来越广阔。现在以设备物理参数分类的常用设备状态诊断方法大致有以下几种:

(1)振动诊断:以机械振动、冲击、机械导纳以及模态参数为检测目标。

(2)声学诊断:以噪声(声压和声强)、声阻、超声、声发射为检测目标。

(3)温度诊断:以温度、温差、温度场、热象为检测目标。

(4)污染诊断:以泄漏、残留物、气体、液体、固体磨粒成分变化为检测目标。

(5)光学诊断:以亮度、光谱和各种射线效应为检测目标。

(6)性能趋向诊断:以机械设备各种主要性能指标为检测目标。

(7)强度诊断:以力、应力、扭矩力为检测目标。

(8)压力诊断:以压力、压差以及压力脉动为检测目标。

(9)电参数诊断:以电流、电压、电阻、功率等电信号及磁性为检测目标(包括对钢丝绳以电磁特性为检测目标)。J

(10)表面形貌诊断:以变形、裂纹、斑点、凹坑、色泽等为检测目标。

由上海市设备管理协会主持,邀请了多年来从事设备诊断技术工作及研究工作的专家,编写一套《设备诊断实施技术丛书》。丛书分批推出,各分册以设备状态中不同物理参数和设备类别为专题,介绍诊断信号的获取、分析、计算等的方法及原理,以及它们的检测标准,并辅以使用的各种诊断仪器方面的基本知识和实际操作步骤,供企业设备诊断技术人员在工作中作技术指导用书。对处于工作状态的设备进行诊断,不仅是与看不见的东西打交道,而且因为自身因素及环境因素的复杂,有极大的可变动性,人们必须依赖科学的方法和数学推理作出判断。技术人员只有熟知推导过程,才能准确、合理地使用诊断仪器显示系统提供的结论,最终达到对设备进行准确诊断的目的,并能不断适应更新的科学仪器为他们提供的诊断方法。为此,丛书将各种数学推导也作基本介绍,但不多也不深,如要作进一步深入研究,可以求助于许多已经出版的相应科目的理论专著。

设备诊断是一门新兴的边缘学科,同时也是发展迅速的学科。丛书将根据该领域内新技术新方法应用的出现,不断推出新的分册。希望这套书能成为技术人员和管理人员的得力助手,不负全体编写人员的初衷和他们的辛勤笔耕。

编 者
1996. 5.

目 录

第 1 章 设备管理与设备状态诊断.....	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 设备的状态维修	2
§ 1.3 设备管理系统	5
§ 1.4 设备的终生管理	7
第 2 章 设备的投资.....	9
§ 2.1 设备的寿命周期费用	9
§ 2.2 设备投资评估的现值比较法.....	11
§ 2.3 设备投资评估的回收期法.....	16
§ 2.4 设备投资评估的费用比较法.....	19
§ 2.5 设备更新的经济评估.....	21
一、账面价值法.....	21
二、投资回收金比较法.....	22
三、出现新型设备时的更新问题.....	24
第 3 章 设备的效率	27
§ 3.1 设备的综合效率.....	27
§ 3.2 设备选型.....	29
一、满足度评分法.....	30
二、评价系数法.....	31
§ 3.3 设备综合管理.....	33

一、技术管理	33
二、经济管理	35
三、组织管理	36
四、计算机管理	36
§ 3.4 全员参加的生产维修(TPM)和人员培训	38
一、全员参加生产维修(TPM)	38
二、设备管理人员的配备和培训	39
第4章 设备的寿命	41
§ 4.1 引言	41
§ 4.2 名义应力疲劳算法	43
一、无限寿命疲劳计算	44
二、有限寿命计算	47
§ 4.3 雨流法计循环数	49
§ 4.4 局部应力应变法计算疲劳寿命	51
一、局部应力应变法的基本思想	52
二、局部应力应变计算法的依据和总应变求算	52
§ 4.5 疲劳强度的可靠性计算	55
一、疲劳数据的离散性和概率分布	55
二、可靠性计算的主要内容	58
第5章 设备的疲劳	64
§ 5.1 线弹性断裂力学	64
一、断裂力学的基本观点	64
二、应力强度因子和断裂韧性	65
三、线弹性断裂力学应用范围	68
§ 5.2 裂纹张开位移(COD)	69

一、张开位移概念·····	69
二、张开位移与应力强度因子的关系·····	70
§ 5.3 裂纹的扩展速率·····	71
一、裂纹扩展速率曲线·····	71
二、应力强度因子变化范围的门槛值·····	71
三、裂纹扩展速率的帕里斯(PARIS)公式·····	73
四、帕里斯公式积分·····	75
§ 5.4 用裂纹张开位移求扩展寿命·····	77
§ 5.5 临界裂纹的确定及寿命计算程序·····	79
一、确定最危险裂纹状态·····	79
二、用 K_{Ic} 确定临界裂纹·····	79
三、用强度极限 σ_s 定临界裂纹·····	81
四、寿命计算程序·····	82
§ 5.6 寿命安全系数·····	82
第 6 章 设备的诊断技术 ·····	85
§ 6.1 声诊断技术·····	88
一、声音诊断技术·····	88
二、声压测量与诊断技术·····	95
三、超声诊断技术·····	97
四、声发射诊断技术·····	101
§ 6.2 振动诊断技术·····	103
一、振动的分类·····	103
二、振动的统计参量·····	104
三、振动的测量·····	108
四、振动诊断·····	110
五、声信号及振动信号的处理技术·····	114

§ 6.3 温度诊断技术	116
一、温度测量方法	117
二、温度计的分类与原理	118
三、温度诊断基本原理	121
§ 6.4 油液诊断技术	123
一、油液分析的内容	125
二、油液诊断系统	130
§ 6.5 其他诊断技术	138
一、综合诊断方法	138
二、性能指标监测与诊断方法	139
三、涡流诊断技术	139
四、漏磁诊断技术	139
五、电流诊断方法	140

参考文献

第1章 设备管理与设备状态诊断

§ 1.1 引言

现代生产对设备的依赖程度越来越大,致使设备维修管理的重要性日益突出。根据设备的技术状态组织维修,已成为现代设备管理的主要内容。而要了解设备的状态,必须以先进的设备状态监测和诊断技术作为基本手段。由于科学技术的不断发展,电子技术、计算机技术以及信息工程领域所取得的成就,使很多现代化的监测和诊断手段的实现成为可能。

状态监测和故障诊断是一种针对性和应用性很强的技术。但是,任何先进的技术,如不纳入企业的技术和经济管理渠道,不但不能起积极作用,反而会浪费大量的物力和人力,成为企业的额外负担。计划预防维修方式虽然在过去起过积极作用,但已不能完全适应目前企业的生产规模和技术水平,必须用状态维修为主的维修方式来替代。如果维修方式不变,仍按原来方式组织设备的大、中、小修,费用并不节省,还要再花钱、花精力做设备的状态检测。如此,不仅效果有限,势必会使企业感到是额外负担。另一方面,企业采用先进技术,也会促进体制或管理方式上的改进或改革,但是同引进诊断技术相比,它的难度大,过程也比较长。因为改革涉及到企业各个部门与成员的思想认识、工作内容和利益分配,而这一步又非走不可,否则很难适应现代生产的需要,科技发展和巨大的经济利益,正在推动这一工作的进

程。建筑在现代监测和诊断技术基础上的现代维修管理方式必将逐步取代原有的维修管理方式。

既然现代的诊断和监测技术需要依托于现代维修管理方式,两者必须并行考虑。因此有必要首先对现代维修管理的主要思想和内容作一介绍,并对具体技术内容只作概括介绍,而不深入展开。

§ 1.2 设备的状态维修

设备的维修管理方式不仅同监测和诊断技术有关,更重要的是它必须同生产力水平相适应。这是因为设备本身就是企业生产的数量和质量的物质基础,是判定生产力水平的重要依据。生产力水平的提高就意味着设备的技术进步和规模扩大,设备的维修管理无论是技术上和体制上都要有相应的变化。所以,随着科技进步和生产力水平的提高,设备的维修管理也有一个发展的历史过程。

上世纪末和本世纪初,生产力水平处于手工业和少量机器生产阶段,对设备采用坏了再修的方式。40年代,尤其是二次大战以后,生产规模以及机械化程度有了很大提高,事后维修方式往往使机损事故扩大,增加了维修时间,使生产遭到重大损失。另一方面,当时对机械故障的机理研究有了比较大的进展,如磨擦磨损的理论和实验,“疲劳”强度的理论和实验等,都有了一定的成果,因而建立在这些理论和实践基础上的计划预防维修制度逐渐取代了事后维修方式。

计划预防维修制度有两种体系:一是欧美式的预防维修,它以日常检查和定期检查为基础;二是原苏联的计划预防维修,它以修理周期和复杂系数等一套定额标准为主要支柱。我国于50

年代引进原苏联的计划预防维修制,并在此基础上结合我国的国情和实践经验,形成了具有特色的我国的计划预防维修制。它曾在我国的生产中发挥了积极作用,但是它也存在着弊端,尤其是今天,这种弊端更加显示了出来。理由如下:

(1)设备的计划预防维修的修理周期是根据主要部件的磨损规律来确定的。但是这样做只抓住了它们的共性,对每台设备的个性,例如,制造质量的好坏,使用是否频繁,操作、保养是否正确等等,千差万别的情况,无法顾及。即使主部件损坏,也不一定所有零部件都需要按此周期进行修理。因此,计划预防维修往往造成过剩修理或失修。

过剩修理是指设备状态还不需要修理而按规定计划提前作了修理,不仅增加了修理次数和停机时间,而且会使设备的精度降低,加速磨损,从而缩短了设备的使用寿命。为什么会降低精度?那是因为一台新设备拆卸后经再安装,很难使零部件的相对位置恢复到原有状态。同时在拆、装过程中,很容易碰伤零部件的装配表面。

从磨损角度讲,一对运动副,在装配后的起始跑合过程中磨损较快,跑合后进入稳定状态磨损量很小,到劣化后磨损量又会增加。如果在进入稳定状态时,正好遇大修,拆卸后重新装配,就要重新跑合,从而会加剧磨损而缩短寿命。

失修是设备没有得到及时修理,使设备的劣化趋向加剧,扩大事故。小则增加维修停机时间和费用,大则机毁人亡,甚至造成影响社会的大事故。

(2)现代生产日益向大型化、连续化、高速化和自动化发展,如果发生过剩维修或失修,所造成的停机损失会越来越大,这迫使企业必须采用新的维修方式,克服计划预防维修的弊端。

鉴于以上原因,就应时有了状态维修。它是根据零部件运动

的技术状态来决定修理还是继续运行,可以防止过剩维修或失修,是适应现代生产的一种比较合理的维修方式。但也不是所有情况都要采用状态维修。这是因为:

(1)有的零部件损坏不会给整体增加劣化程度,它可以采用坏了就修的事后维修方式;有的零部件损坏呈明显规律性,可以采用计划预防维修。对于上述两种情况,如再去作状态检测实行状态维修,显然是不经济和不必要的。

(2)实行状态维修必须要有比较成熟的状态监测或故障诊断手段,以便及时了解设备运行的技术状态。而这种监测和诊断应该是对设备不解体的,所谓“比较成熟”是指检测、分析和处理结果要比较准确和可靠。当然,不可能要求达到100%准确,但就目前国内外技术水平看,能达到70%左右就称得上是比较成熟了;

(3)故障出现后,必需要有监测、分析、处理和调整的时间。所以,从设备出现故障到完全破坏的过程要有足够长时间,以便来得及实现监测和处理。监测和处理所需的时间长短同其具体手段有关,而手段的选择又要以监测对象和故障类别为依据;

(4)除非故障发生会造成社会公害,一般在实行状态监测和状态维修时,均要考虑经济效益,如经济上划不来,也不宜进行。

除了上述这些因素外,还要有专业技术人员和相应的监测仪器,才能开展检测、诊断和状态维修工作。从长远看,有很大部分的工作内容可求助于社会专门机构,但就目前国情看,除了专业性很强、数量很大、且便于搬运的设备,例如汽车可以到社会上的专门检测站检测某些故障外,大多数内容的检测还难于实现社会化。

1987年7月28日,我国颁布了《全民所有制工业交通企业设备管理条例》,其中第七条规定:“企业应当积极采用先进的设

备管理方法和维修技术,采用以设备状态监测为基础的设备维修方法,不断提高设备管理和维修技术现代化”。这里既指明了以状态监测为基础的设备维修方向,但也没有作硬性规定,理由就是上面所讲的。

§ 1.3 设备管理系统

现代生产的社会性日益强化,首先,分工的专业化使企业之间联系紧密,第一家企业的产品不能按期供应,不仅影响第二家企业的生产,而且要影响到同第二家企业有关的第三、第四家等一系列企业的生产。所以对不能按期供货的企业,在经济上的罚款和制裁必然会很严厉。如果企业的设备出了问题而得不到及时解决,等于坐以待毙。其次,设备的备配件供给要受到社会制约。第三,设备的漏油、漏水、漏气,涉及到有害的化学气体或液体以及放射性物质等,都会对社会环境造成污染,成为公害,必将受到来自社会的制约,企业必须承担环境保护方面的义务。第四,水、煤、电、气供应以及道路交通等均要依赖于社会,如果出了重大故障,有可能影响周围地区供给。所有这些都说明了现代企业的社会性,也说明做好设备维修管理工作的重要性和迫切性。

现代化生产设备的复杂程度越来越高,很多科学和技术成果都被极大地吸收到设备更新中,专职的维修人员,不仅要熟悉已高度复杂化了的现代设备,而且要掌握现代的诊断、检测技术和设备的计算机管理手段。因此,专业的设备维修队伍必须是知识和技术密集型的队伍。

早在事后维修时期,就产生了专职的维修工人。设备修理从使用设备的生产中分离出来,形成相对独立的专业工作,是工业

发展的必然结果。马克思在《资本论》中说,除了生产工人以外,“还有为数不多的负责检查和经常修理全部机器的人员,如工程师、机械师、细木工等等,这是一类高级的工人,其中一部分人有科学知识,一部分人有手艺”。但是这为数不多的人员并没有形成系统,他们依附于生产。真正形成独立系统是在采用计划预防维修之后,这时有了一支独立维修管理队伍,系统的目标函数是设备的完好率,侧重于技术管理。现代的设备管理要求技术管理与经济管理并重,它对企业的作用即功能更显得重要和突出,系统的目标函数是企业总的经济效益和社会效益。

为了适应现代生产需要,从 60 年代起,相继提出了一些现代设备管理理论,主要有日本的《全员生产维修》,英国的《设备综合工程学》和美国的《后勤学》。

《全员生产维修》仅应用于设备的使用企业(后面将作进一步介绍);《综合工程学》则扩大到设备制造;《后勤学》内容更广,它是从设备制造单位的立场出发,研究“资源的需求、设计、供应和维修,并以后勤保障、计划和作业为对象的管理艺术、管理科学与工程技术活动”。可以认为,这三者间的关系是前者为后者分支。

现代设备管理一方面要有专业化很强的知识和技术密集型的专职维修队伍,另一方面要动员企业全体成员加入设备的维修和管理。现代设备的管理包括物质形态的技术管理和价值形态的经济管理,都应该由全体企业成员参加,否则难以适应现代生产的社会化、高速化和资金密集化的要求。

概括起来讲,现代设备管理应该是企业内部的一个独立子系统,这一子系统的性质和内容有:

- (1)以企业总的经济效益和社会效益为目标函数;
- (2)有很强的子系统功能,即最经济地选配和维修好企业的

设备,在保证正常的生产运行同时,满足社会的环境保护要求;

(3)一整套组织机构,如总师室、机电处、技术处、设备物资处、修理车间、备件库、检测站、润滑室以及计算中心等;

(4)一支知识和技术密集型的专职队伍,并同企业全体成员相结合,做好设备维修管理;

(5)已经有比较系统的而且正在充实和发展的设备管理理论。

§ 1.4 设备的终生管理

现代设备的投资数量大,往往属于投资密集型,设备的折旧和维修费用要占据生产成本中极大部分,设备的好坏直接关系到生产产品的数量和质量,影响着企业的生存。企业再不能停留在只注重使用阶段的预防和维修,必须从设备的造型阶段开始,重视设计与制造,介入到设备供货单位的工作中去,即设备终生管理的概念。

“设备的终生”是指从研制设备的调查研究开始,直到报废为止的整个过程。大致可分为前期管理和后期管理两个阶段。前期管理阶段包括调查研究、计划、设计和制造等环节;后期管理阶段包括安装、调试、运行、维修以及更新报废等环节。传统的设备管理重视后期管理阶段,但是后期管理工作同前期密切相关。大量实例证明,由于忽视了前期管理工作,使后期管理发生很大困难。例如某电厂煤码头,由于皮带输送机不配套,造成输煤系统“卡脖子”。又例如吊机的主电机功率选得太小,使用中经常发生烧坏事故,大大增加了设备运行管理的困难。实际上,设备的可靠性、维修性和经济性很大程度上决定于设备的前期管理工作。据统计,后期事故中的 85%是由于前期的管理工作没有做

好造成的,如安全装置、便于维修、降低能耗和原材料消耗以及使用人员的操作习惯等问题,都要在设备的前期工作中加以考虑。

从检测和故障诊断角度出发,有时需要预埋导线或传感器,设置内窥孔,为光谱、铁谱分析中采样需要,在润滑油排出处设采样槽,以及为设备实际使用寿命管理需要的计数器、计量器等。这些都要在设备的前期设计制造中给予注意。

生产规模越大,设备的现代化程度越高,事故引起的损失也越大,所提出的对监测功能的要求也越高,越要做好前期工作。重视设备的前期管理工作,实现设备的全过程终生的管理,是现代化设备物质运动发展规律的客观要求,也是现代化管理的重要内容。