



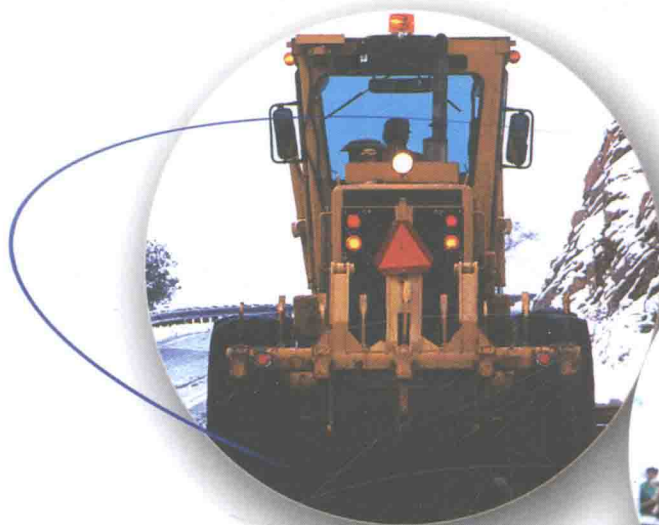
全国高等职业教育规划教材

工程机械类专业

*G*ongcheng jixie jiance yu guzhang zhenduan

工程机械检测 与故障诊断

赵常复 韩进 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材
工程机械类专业

工程机械检测与故障诊断

主 编 赵常复 韩 进
参 编 刘显玉 王 锦 朱克刚
 闫宝森 徐晓东
主 审 汤铭奇



机械工业出版社

本教材以工程上常用的国内外工程机械为主体对象,介绍其动力系统、底盘系统、工作装置、控制系统和其他系统中常见故障的检测方法与诊断程序。

本教材围绕以培养技能应用型人才为主线,从人才培养目标出发,注重实践教学,以应用为目的,具有知识的应用性、可操作性和实用等特点。

本教材可作为高职高专工程机械类专业及相关专业的教学用书,亦可作为相关维修和技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械检测与故障诊断/赵常复,韩进主编. —北京:
机械工业出版社, 2011. 5
全国高等职业教育规划教材. 工程机械类专业
ISBN 978 - 7 - 111 - 34603 - 6

I. ①工… II. ①赵…②韩… III. ①工程机械 - 检
测 - 高等职业教育 - 教材②工程机械 - 故障诊断 - 高等职
业教育 - 教材 IV. ①TU607

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 097289 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: 王海峰 责任编辑: 王德艳
版式设计: 张世琴 责任校对: 任秀丽
封面设计: 赵颖喆 责任印制: 杨 曦
北京京丰印刷厂印刷
2011 年 7 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm × 260mm · 12.75 印张 · 314 千字
0 001—3 000 册
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 34603 - 6
定价: 24.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

为适应科学技术的不断发展,促进国民经济建设速度,建设工程机械施工必须采用大量的工程机械与设备。而工程机械设备的完好,将直接影响到工程施工的质量和工程的进度。由于工程机械使用环境复杂,工作条件恶劣,出现故障是难免的,这就要求工程机械设备的操作和维护修理人员能根据故障现象迅速准确地检测和判断出故障发生的原因和部位,并能尽快地排除故障。由于工程机械大多数故障从表面是很难观察到的,特别是工程机械更新换代速度加快,各种新工艺、新技术、新设备不断出现,对工程机械学科的人才培养提出了更高的要求。另外,目前我国职业教育形势发展很快,对教材的要求也越来越高,为此,我们编写了《工程机械检测与故障诊断》这本教材。

本教材共分9章,计划总学时为60学时,各学院可根据实际情况决定内容的取舍,每章附有复习思考题。

本教材由辽宁科技学院赵常复、韩进主编,参加本教材编写的有:辽宁科技学院赵常复(第1章、第2章第1、2、3、7、8节,第8章)、山东唐骏欧铃汽车制造有限公司徐晓东(第2章第4、5、6节)、辽宁科技学院韩进(第3、4章)、辽宁科技学院刘显玉(第5章)、鞍钢集团矿业公司弓长岭选矿厂王锦(第6章)、辽宁科技学院闫宝森(第7章)、辽宁科技学院朱克刚(第9章)。全书由赵常复统稿、修改并定稿。

本教材在编写过程中,得到了许多同行的大力支持,并从中获得了许多参考资料和实践经验,此外,还参阅了国内外相关书刊和文献,在此,对相关作者表示最真诚的谢意。

本教材由汤铭奇教授担任主审,主审人仔细、认真地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 概论	1
1.1 工程机械检测与故障诊断技术概述	1
1.2 工程机械检测与故障诊断技术基本 概念及参数	6
复习与思考题	13
第2章 工程机械发动机故障检测与 分析	14
2.1 发动机故障检测与诊断方法	14
2.2 发动机故障参数值的检测	16
2.3 发动机异响故障的检测与诊断	29
2.4 发动机润滑系统检测与故障诊断	43
2.5 发动机冷却系统检测与故障诊断	50
2.6 发动机燃料系统检测与故障诊断	53
2.7 柴油机综合故障的诊断	64
2.8 电控柴油机故障检测与诊断	88
复习与思考题	93
第3章 推土机故障检测与诊断	94
3.1 概述	94
3.2 推土机各系统常见故障检测与诊断	97
3.3 推土机故障检测与诊断实例分析	102
复习与思考题	103
第4章 装载机故障检测与诊断	105
4.1 概述	105
4.2 装载机各系统常见故障检测与 诊断	108
4.3 装载机故障检测与诊断实例分析	112
复习与思考题	115
第5章 挖掘机故障检测与诊断	116
5.1 概述	116
5.2 挖掘机各系统常见故障检测与 诊断	119

5.3 挖掘机故障检测与检测实例分析	124
复习与思考题	131
第6章 铲运机故障检测与诊断	132
6.1 概述	132
6.2 铲运机各系统常见故障检测与 诊断	136
6.3 铲运机故障检测与诊断实例分析	137
复习与思考题	144
第7章 汽车式起重机故障检测与 诊断	145
7.1 概述	145
7.2 汽车式起重机工作机构常见故障 检测与诊断	149
7.3 汽车式起重机故障检测与诊断实例 分析	154
复习与思考题	161
第8章 平地机故障检测与诊断	162
8.1 概述	162
8.2 平地机各系统常见故障检测与 诊断	167
8.3 平地机故障检测与诊断实例分析	169
复习与思考题	174
第9章 工程机械电气设备故障检测与 诊断	175
9.1 工程机械电气设备故障检测与诊断的 基本步骤与方法	175
9.2 蓄电池的故障检测与诊断	179
9.3 交流发电机及调节器故障检测与 诊断	185
9.4 起动系统故障检测与诊断	194
复习与思考题	198
参考文献	199

第1章 概 论

1.1 工程机械检测与故障诊断技术概述

工程机械泛指基本建设工程施工所用各类机械设备的统称,广泛用于建筑工程、道路交通、矿山等行业,也称为建设机械。随着我国国民经济的快速发展,工程机械种类繁多,结构复杂,应用越来越广,新技术、新工艺应用也越来越多。这些现实状况,都给工程机械行业的维修、使用带来了相当的困难,同时,也带来了无限的商机。

现代工程机械设备运行的安全性与可靠性,取决于两个方面,一是工程机械设备设计与制造的各项技术指标的实现;二是工程机械设备安装、运行、管理、维修和检测诊断措施的实施。现代工程机械设备的检测诊断技术、修复技术和润滑技术已成为推进设备管理现代化,保证设备安全可靠运行的重要手段。

工程机械故障检测与诊断技术能为运营企业带来重大的经济效益,这方面无论在国外还是国内都已得到证实。

1) 工程机械运营企业,配置故障检测与诊断系统能减少事故停机率,具有很高的收益/投资比。据日本资料统计,实施故障检测诊断后,事故率可减少75%,维修费用可降低25%~50%。

2) 工程机械运营企业,配置故障检测诊断系统能延长设备维修周期,缩短维修时间,为制订合理的维修制度提供基础信息,可极大地提高经济效益。

3) 从社会宏观角度上看,设备维修费用是一笔巨大的数目,而实施故障诊断带来的经济效益是巨大的。

4) 我国的公交运营企业每年用于设备大修、小修及处理故障的费用一般占固定资产原值的30%~50%。采用检测诊断技术改善设备维修方式和方法后,一年取得的经济效益可达数百亿元。

从上述分析可以看出,工程机械设备检测诊断技术在保证设备的安全可靠运行,以及获取很大的经济效益和社会效益方面,效果是非常明显的。本教材所指的检测技术主要是针对工程机械使用性能而言,诊断技术主要是针对工程机械故障而言。通过对工程机械进行检测与诊断,可以在不解体的情况下判定工程机械的技术状况,为工程机械继续运行或进厂维修提供可靠依据和保证。

1.1.1 工程机械术语解释

1) 工程机械技术状况:定量检测得到的表征某一时刻工程机械外观和性能参数值的总合。

2) 工程机械故障:工程机械部分或完全丧失工作能力的现象。

3) 故障现象:故障的具体表现。

- 4) 故障树: 表示工程机械故障因果关系的分析图。
- 5) 工程机械检测: 确定工程机械技术状况或工作能力而进行的检查和测量。
- 6) 工程机械诊断: 在不解体 (或仅卸下个别小件) 条件下, 确定工程机械技术状况或查明故障部位、原因而进行的检测、分析与判断。
- 7) 诊断参数: 供诊断用的、表征工程机械总成及机构技术状况的数值。
- 8) 诊断周期: 工程机械诊断的间隔时间。
- 9) 诊断标准: 工程机械诊断方法、技术要求和限值等的统一规定。
- 10) 工程机械检测与诊断站: 从事工程机械检测与诊断的企业性机构 (暂在维修企业)。

1.1.2 工程机械检测与诊断的目的

1) 能及时地、正确地对各种异常状态或故障状态作出诊断, 预防或消除故障, 对设备的运行进行必要的指导, 提高设备运行的可靠性、安全性和有效性, 以期把故障损失降低到最低水平。

2) 保证设备发挥最大的设计能力。制订合理的检测维修制度, 以便在允许的条件下充分挖掘设备潜力, 延长服役期限和使用寿命, 降低设备全寿命周期费用。

3) 通过检测、故障分析、性能评估等, 为设备结构改造、优化设计、合理制造及生产过程提供数据和信息。

总体来说, 设备故障诊断既要保证设备的安全可靠运行, 又要获取更大的经济效益和社会效益。

事实上, 如果加强检测与故障诊断工作, 有许多事故是可以防患于未然的。下面是一些事故增加的原因, 也正是设备故障诊断所要解决的问题。

1) 现代生产设备向大型化、连续化、快速化、自动化方向发展, 一方面在提高生产率、成本、节约能源和人力等方面带来很大好处; 但另一方面, 由于设备故障率增加和因设备故障停工而造成的损失却成十倍, 甚至成百倍地增长, 维修费用也大幅度增加。

2) 高新技术的采用对现代化设备的安全性、可靠性提出越来越高的要求。

3) 现有大量生产设备的老化要求加强安全检测和故障诊断。许多老设备、老机组, 服役已接近其寿命期限, 进入“损耗故障期”, 故障率增多, 有的甚至超期服役, 全部更新经济负担很重, 此时如有完善的故障诊断系统, 将能延长设备的使用寿命。

1.1.3 工程机械技术状况变化的标志

工程机械是由成千上万个零件组成的系统, 随着使用时间的延长和行驶里程的增加, 零件的形状、组织结构或表面质量等都不可避免地要遭到破坏, 相互之间的配合状况和位置精度也逐渐变差, 从而导致系统性能的退化, 使用可靠性降低。其具体表现是:

(1) 工程机械运行能力下降 工程机械运行能力下降, 即动力性变差, 具体表现为: 工程机械最高行驶速度降低、最大爬坡度减小、加速能力及牵引能力下降等。当发动机有效功率和有效转矩小于额定功率和最大转矩的 70% 时, 则表明工程机械运行能力变差而不能继续使用。

(2) 工程机械燃油、润滑油消耗增加 发动机由正常工作期进入磨损极限期, 零件间

的配合间隙增大,工程机械的燃油、润滑油消耗量将明显增加。当工程机械的燃油消耗量比正常额定用量增加15%~40%时,则表明工程机械燃油消耗量增加;润滑油消耗量比正常消耗量增加3~4倍,则表明工程机械润滑油消耗量增加。

(3) 工程机械工作可靠性变差 工程机械制动性能下降,车辆因故障停修次数增多、故障频率提高、运输效率降低等,使安全行车无保障,则表明工程机械设备工作可靠性变差。

1.1.4 影响工程机械技术状况变化的因素

1. 工程机械结构设计制造质量的影响

工程机械结构设计的科学性、合理性,材料的优劣,制造装配技术等都将直接影响其技术状况。由于工程机械结构比较复杂,各总成、零部件的工作状况也各不相同,具有较大差异,不能完全适应各种运行条件的需要,在使用中暴露出某些薄弱环节,这就属于设计制造质量的影响。

2. 配件质量对工程机械设备技术变化的影响

零件在制造或修理加工过程中,由于制造或修理加工的工艺不符合规定或满足不了零件的技术要求,如零件的尺寸公差、形位公差和表面粗糙度等在加工时没有达到设计的技术要求。在维修过程中勉强使用,这样就破坏了零件表面应有的几何形状和性能,使装配零件间相互关系和位置发生变化,因而造成零件的技术性能和使用性能变差或产生早期损坏,甚至在装配过程中,不能满足必要的技术条件,使零件的装配质量下降或无法装配使用。

3. 燃油品质的影响

柴油品质的影响。工程机械多采用柴油,柴油品质对发动机零件磨损的影响也很大。如重馏分过多,会造成燃烧不完全,形成炭粒而使气缸磨损量增加,喷油器喷孔堵塞,影响发动机正常工作。柴油的粘度过大,将会增加机件运动阻力;粘度过小,将会失去润滑作用而加速零件的磨损。十六烷值选择不当,会使发动机工作粗暴,加速机件磨损。柴油中含硫量超过0.10%时,将使发动机零件磨损量增加。

4. 润滑油、脂品质的影响

润滑油品质对润滑质量有直接的影响。如:粘度影响润滑油的流动性,粘度大则流动困难,粘度小则不能形成稳定油膜,都将使润滑条件变差,加剧零件磨损。选用品质较好的润滑油,可明显降低零件磨损。润滑脂的品种、牌号很多,而且性能各异,使用时应针对工程机械设备上需要的润滑部位合理选用。此外,润滑脂应保持清洁,不能混入灰土、砂石或金属屑等杂物,以防增加机件磨损。

5. 运行条件的影响

(1) 气温 温度过高或过低都不利于工程机械正常工作。气温过高易造成发动机过热,使润滑油粘度下降,润滑效果变差,发动机易爆燃或早燃,加剧机件磨损。气温过低,发动机热效率低,经济性变差;润滑油粘度增大,使得润滑条件变差,加速机件磨损,发动机低温起动困难。

(2) 道路条件 在良好道路上行驶的工程机械,行驶速度能得到发挥,燃油经济性较好,零件磨损较小,使用寿命长;反之,在坏路上行驶时,工程机械制动次数增多,换挡频繁,加剧离合器摩擦片、制动鼓与制动蹄片的磨损,弹簧易疲劳,都将缩短零件或总成的使

使用寿命。

(3) 使用因素的影响 使用因素包括多方面,如驾驶操作方法、装载是否均匀合理以及行驶速度等。

1) 驾驶操作。养成正确的驾驶操作习惯对延长工程机械使用寿命有直接的影响。如采用冷摇慢转、预热升温、轻踏缓抬、平稳行驶、及时换挡、爬坡自如、掌握温度、避免灰尘等一整套合理的操作方法。在使用制动时应多采用预见性制动而少采用紧急制动;尽量控制离合器半联动使用次数,防止造成离合器异常磨损;换挡时应坚持采用“两脚离合器”。

2) 装载质量。工程机械的最大装载质量,必须严格控制在制造厂规定的范围内。如果超载,各总成、零件的工作负荷增加,零件磨损速度明显加快,使得工作状态趋向不稳定。发动机长时间处于高负荷状况下工作,造成发动机过热,使得发动机磨损量增加,如图 1-1 所示。

3) 行驶速度。工程机械行驶速度对发动机磨损量的影响比装载质量的影响更为明显。发动机转速与磨损量的关系,如图 1-2 所示。

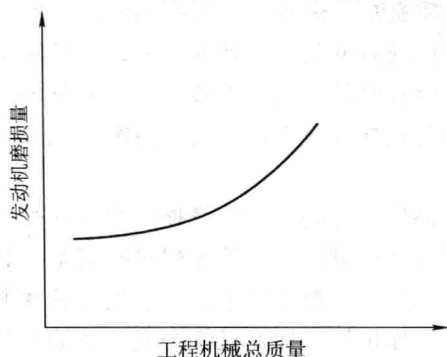


图 1-1 工程机械总质量与
发动机磨损量的关系

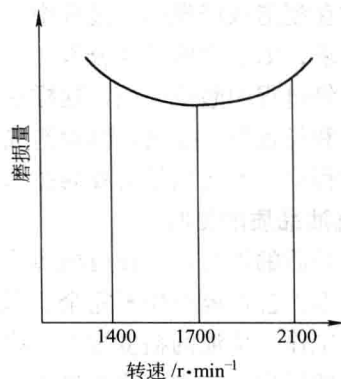


图 1-2 发动机转速与
磨损量的关系

由图 1-2 可知:发动机处于高速运转时,活塞平均速度高、压力大,故磨损量也相应加大;发动机处于低速运转时,机件润滑条件相对较差,磨损量也同样加剧。有些驾驶员习惯使用加速滑行,这种方法比稳定中速行驶给发动机造成的磨损量要增加 25% ~ 30%。发动机启动次数越多,加速终了的速度越高,速度变化范围就越大,发动机的磨损量也越大。因此,必须控制行车速度,选用合适的挡位。经常保持中速行驶,不仅能减轻发动机磨损、延长其使用寿命,而且还能提高工程机械燃油经济性。

每一种款型的工程机械,都有一个较合适的行驶速度范围。在使用时,必须正确估计发动机的动力,做到及时换挡,尽量避免出现高档低速或低挡高速行驶现象。有些驾驶员为了省油,习惯用高档低速行驶,而不是根据实际行驶速度选择挡位,这种不良操作方法,使得发动机处于极限工作状态或超负荷状态,由于此时发动机转速较低,发动机的润滑条件较差,加剧了磨损,导致工程机械技术状况恶化。

6. 维修质量的影响

(1) 维护质量 维护质量的好坏,将直接影响零件的磨损速度和设备使用寿命。例如,燃料系统维护质量差,就会造成混合气浓度过浓或过稀,燃烧不完全,排气污染严重,发动机动动力不足,机体过热等故障。

工程机械设备经过及时润滑、清洁、检查、紧固、补给、调整等,能减少机件磨损,避免工作中发出异响,也使得操纵轻便、灵活,保证安全行驶。

(2) 修理质量 工程机械设备通过修理能及时恢复其完好的技术状况。为保证修理质量和降低修理成本,必须根据检测诊断和技术鉴定来确定修理作业范围和深度。这样既能防止拖延修理造成车辆技术状况恶化,又能防止因提前修理而造成浪费。例如,发动机最大功率或气缸压力较标准降低 25% 以上时,燃油和润滑油消耗量显著增加,而车辆的其他总成、车架的技术状况良好,这时只需要进行总成大修,就能恢复其完好的技术状况;此时若进行车辆大修,会造成不必要的浪费,提高运输成本。反之,如除发动机技术状况明显变差,同时车体、车架或其他总成的技术状况也显著变差,这时应该进行车辆大修,才能完全或接近完全恢复车辆的完好技术状况;若只进行总成大修,则无法恢复整车技术状况。

1.1.5 工程机械零件的磨损规律

构成工程机械设备的基本单元是零件,许多零件构成了摩擦副,如轴承、齿轮、活塞与气缸等,它们在外力作用下,以及热力、物理和化学等环境因素的影响,经受着一定的摩擦、磨损,最后失效。对工程机械故障模式的统计结果表明,零件因表面损坏而失效占一半以上,其中磨损约占表面损坏故障的 50%。因此,了解零件磨损规律是非常必要的。

磨损所产生的故障属于渐进性故障。大量的试验与使用实践表明,零件磨损量与工作时间的关系,可用磨损曲线来表示,如图 1-3 所示。

由图 1-3 可以看出,零件的磨损过程基本上可以分为三个阶段,即:

I 阶段:零件装配后即进入运转磨合(走合)阶段,如图 1-3 中曲线 OA_1 段。它的磨损特点是在短时间内(OA 段)磨损量(OK)增长较快,经过一段时间后趋于稳定,它反映了零件配合副的初始配合情况。该阶段的磨损强度在很大程度上取决于零件表面的质量、润滑条件和载荷的大小。随着表面粗糙度的增加,以及载荷的增大,在零件初始工作阶段,都会加剧磨损。零件配合间隙也由初始状态逐步过渡到稳定状态。

II 阶段:又称正常磨损阶段,如图 1-3 中曲线 A_1B_1 段。零件的磨损特点是增长缓慢,属于自然磨损,且大多数零件的磨损量与工作时间成线性关系。磨损量与使用条件和维护条件的好坏关系极大,使用维护得好,可以延长零件的使用寿命。

III 阶段:又称极限磨损期。零件自然磨损到 B_1 点以后,磨损强度急剧增加,配合间隙急剧变大,磨损量超出 OK_1 ,破坏了零件正常润滑条件。零件过热,以致由于冲击载荷出现敲击现象,零件进入极限状态。因此,达到 B_1 点以后,零件不能继续工作,否则将出现事

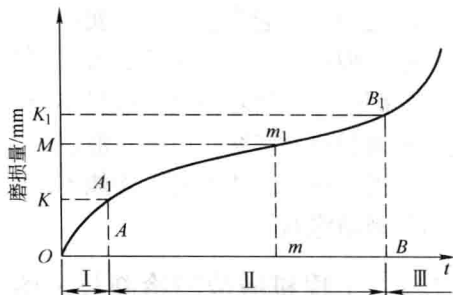


图 1-3 工程机械零件典型磨损曲线

故性损坏。一般零件或配合副,使用到一定时间 B 点(到达 B_1 前后),应采取调整、维修或更换等预防措施,来防止事故性故障的发生。

由于零件在工程机械中所处的位置及摩擦工况不同,以及制造质量和功能等原因,并不是所有零件都有磨合期和极限磨损期。如密封件(油封)、燃油泵的精密偶件等,它们呈现不能继续使用的不合格情况,并不是因为在它们使用期内出现极限磨损,而是由于它们的磨损量已影响到不能完成自身功能的程度。

上述零件典型磨损曲线,对工程机械使用和维修具有一定的指导意义。例如,根据曲线变化规律,应做好磨合(走合)期的使用和维护,以减少零件的早期磨损,延长其使用寿命;在正常磨损阶段,应提高车辆的使用水平,及时维护,以减少零件的磨损;当车辆使用到 B 点时,则应及时进行维修,更换严重磨损零件,调整配合间隙,以恢复工程机械设备的技术性能。

1.2 工程机械检测与故障诊断技术基本概念及参数

1.2.1 工程机械故障的基本形式

工程机械及其零、部件的故障基本形式大致可分为:损坏、退化、松脱、失调、堵塞及渗漏、整机及子系统故障等类型,它们主要包括:

损坏型——断裂、裂纹、烧毁、击穿、弯曲、变形。

退化型——老化、变质、腐蚀、剥落、早期磨损。

松脱型——松动、脱落、脱焊。

失调型——间隙不当、流量不当、压力不当、行程不当、照度不当。

塞漏型——堵塞、不畅、泄漏。

整机型——性能不稳、功能不正常、功能失效、起动困难、供油不足、怠速不稳、总成异响及制动跑偏等。

1.2.2 工程机械故障诊断技术的定义

工程机械设备故障诊断技术就是在设备运行中或基本不拆卸设备的情况下,掌握设备运行状况,判定产生故障的部位和原因,以及预测预报设备状态的技术。它包括三个方面的内容:其一是了解设备现状;其二是了解设备异常或故障特征;其三是预知或预测设备状态的发展。其中,预知指对具体的对象和参数运用决策论方法做出判据;预测是指对不确定的对象运用概率和统计方法进行推测。

1.2.3 工程机械故障诊断技术的内容

工程机械设备故障诊断内容包括状态检测、分析诊断和故障预测三个方面,其具体实施过程可以归纳为以下四个方面:

(1) 信号采集 设备在运行过程中必然会有力、热、振动及能量等各种量的变化,由此产生各种不同信息,根据不同的诊断需要,选择能表征设备工作状态的不同信号,如振动、压力、温度等,是十分必要的。这些信号一般是用不同的传感器来采集的。

(2) 信号处理 这是将采集的信号进行分类处理、加工, 获得能表征机器特征的过程, 也称特征提取过程, 如振动信息从时域变换到频域进行频谱分析即是这个过程。

(3) 状态识别 将经过信号处理获得的设备特征参数与规定的允许参数或判别参数进行比较、对比以确定设备所处的状态, 是否存在故障及故障的类型和性质等, 为此应正确制订相应的判别准则和诊断策略。

(4) 诊断决策 根据对设备状态的判断, 决定应采取的对策和措施, 同时应根据当前信号预测及设备状态可能发展的趋势, 进行趋势分析, 上述诊断内容可用图 1-4 来表示。

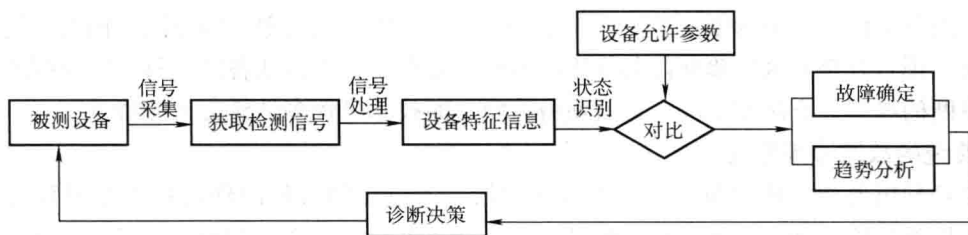


图 1-4 设备诊断过程框图

1.2.4 工程机械故障诊断技术的分类

工程机械故障诊断技术根据对象、目的等不同可以有各种分类方法。

1. 按目的和要求分类

(1) 功能诊断与运行诊断 功能诊断是对新安装的机器设备或刚维修的设备检查其功能是否正常, 并根据检查结果对机组进行调整, 使设备处于最佳状态; 而运行诊断是对正在运行的设备进行状态诊断, 了解其故障的情况, 其中也包括对设备的寿命进行评估。

(2) 定期诊断和连续诊断 定期诊断是每隔一定时间对监测的设备进行测试和分析; 连续诊断是利用现代测试手段对设备连续进行监控和诊断。究竟采用何种方式取决于设备的重要程度及事故影响程度等。

(3) 直接诊断与间接诊断 直接诊断是直接根据主要零部件的信息确定设备状态, 如主轴的裂纹、管道的壁厚等; 当受到条件限制无法进行直接诊断时就采用间接诊断, 间接诊断是利用二次诊断信息判断主要部件的故障, 多数二次诊断信息属于综合信息, 如利用轴承的支承油压来判断两根转子对中状况等。

(4) 常规工况与特殊工况诊断 大多数是在机器设备常规运行工况下进行监测和诊断的, 有时为了分析机组故障, 需要收集机组在起停时的信号, 这时就需要在起动或停机的特殊工况下进行监测和诊断。

(5) 在线诊断和离线诊断 在线诊断是指对于大型、重要的设备为了保证其安全和可靠运行, 需要对所监测的信号自动、连续、定时的进行采集与分析, 对出现的故障及时做出诊断; 离线诊断是通过磁带记录仪或数据采集器将现场的信号记录并储存起来, 再在实验室进行回放分析。对于一般中小型设备往往采用离线诊断方式。

2. 按完善工程分类

(1) 简易诊断 利用一般简易测量仪器对设备进行检测, 根据测得的数据, 分析设备

的工作状态。如利用测振仪对机组轴承座进行测量,根据测得的振动值对机组故障进行判别或者应用便携式数据采集器将振动信号采集下来后再进行频谱分析用以诊断故障。

(2) 精密诊断技术 利用较完善的分析仪器或诊断装置,对设备故障进行诊断,这种装置配有较完善的分析、诊断软件。精密诊断技术一般用于大型、复杂的设备。

1.2.5 工程机械故障诊断技术的基本方法

设备故障的复杂性和设备故障与征兆之间关系的复杂性,决定了设备故障诊断是一种探索性的过程。就设备故障诊断技术这一学科来说,重点不仅在于研究故障本身,而且在于研究故障诊断的方法。故障诊断过程由于其复杂性,不可能只采用单一的方法,而要采用多种方法,可以说,凡是对故障诊断能起作用的方法就要利用,必须从各种学科中广泛探求有利于故障诊断的原理、方法和手段,这就使得故障诊断技术呈现多学科交叉的特点。

1. 传统的故障诊断方法

首先是利用各种物理的和化学的原理和手段,通过伴随故障出现的各种物理和化学现象,直接检测故障。例如:可以利用振动、声、光、热、电、磁、射线、化学等多种手段,观测其变化规律和特征,用以直接检测和诊断故障。这种方法形象、快速,十分有效,但只能检测部分故障。

其次,利用故障所对应的征兆来诊断故障是最常用、最成熟的方法,以旋转式机械为例,振动及其频谱特性最能反映故障特点,最有利于进行故障诊断的手段,为此,要深入研究各种故障的机理,研究各种故障所对应的征兆,在诊断过程中,首先分析在设备运转中所获取的各种信号,提取信号中的各种特征信息,从中获取与故障相关的征兆,利用征兆进行故障诊断。由于故障与各种征兆间并不存在简单的一一对应的关系,因此,利用征兆进行故障诊断往往是一个反复探索和求解的过程。

2. 故障的智能诊断方法

在上述传统的诊断方法的基础上,将人工智能(Artificial Intelligence)的理论和方法用于故障诊断,发展智能化的诊断方法,是故障诊断的一条全新的途径,目前该方法已被广泛应用,成为设备故障诊断的主要方向之一。

人工智能的目的是利用计算机去做原来只有人才能做的智能任务,包括推理、理解、规划、决策、抽象、学习等功能。专家系统(Expert System)是实现人工智能的重要形式,目前已广泛用于诊断、解释、设计、规划、决策等各个领域。现在国内外已发展了一系列用于设备故障诊断的专家系统,获得了良好的效果。

专家系统由知识库、推理机以及工作存储空间(包括数据库)组成。实际的专家系统还应有知识获取模块、知识库管理维护模块、解释模块、显示模块以及人机界面等。

专家系统的核心问题是知识的获取和知识的表示。知识获取是专家系统的“瓶颈”,合理的知识表示方法能合理地组织知识,提高专家系统的能力。为了使诊断专家系统拥有丰富的知识,必须进行大量的工作。要对设备的各种故障进行机理分析,可建立数学模型,进行理论分析;进行现场测试和模型试验;总结领域专家的诊断经验,整理成计算机所能接受的形式化知识描述;研究计算机的知识自动获取的理论和方法。这些都是使专家系统有效工作所必需的。

3. 工程机械设备故障信息的获取方法

前面已经提到,要对设备故障进行诊断,首先应获取有关信息。信息是提供人们判断或识别状态的重要依据,是指某些事实和资料的集成。信号是信息的载体,因而设备故障诊断技术在一定意义上是属于信息技术的范畴。充分地检测足够量的能反映系统状态的信号对诊断来说是至关重要的。一个好的诊断系统首先应该能正确地、全面地获取监测和诊断所必需的全部信息。下面介绍信息获取的几种方法。

(1) 直接观测法 应用这种方法对机器状态做出判断主要靠人的经验和感官,且限于能观测到的或接触到的机器零部件。这种方法可以获得第一手资料,更多的是用于静止的设备。在观测中有时使用了一些辅助的工具和仪器,如倾听机器内部声音的听棒,检查零件内孔有无表面缺陷的光学内窥镜,探查零件表面有无裂纹的磁性涂料及着色渗透剂等,来扩大和延伸人的观测能力。

(2) 参数测定法 根据设备运动的各种参数的变化来获取故障信息是广泛应用的一种方法。由于机器中各部件的运行必然会产生各种信息,这些信息参数可以是温度、压力、振动或噪声等,它们都能反映机器的工作状态。为了掌握机器运行的状态可以用一种或多种信号,如根据机器外壳温度的变化可以掌握其变形情况,根据轴瓦下部油压变化可以了解转子对中情况;又如分析油中金属碎屑情况可以了解轴瓦磨损程度等。在运转的设备中,振动是重要的信息来源,在振动信号中包含着丰富的故障信息。任何机器在运转时工作状态发生了变化,必然会从振动信号中反映出来。对旋转机械来说,目前在国内外应用最普遍的方法是利用振动信号对机器状态进行判别。从测试手段来看,利用振动信号进行测试也最方便、实用,要利用振动信号对故障进行判别,首先应从振动信号中提取有用的特征信息,即利用信号处理技术对振动信号进行处理。目前应用最广泛的处理方法是进行频谱分析,即从振动信号中的频率成分和分布情况来判断故障。

其他如噪声、温度、压力、变形、胀差、阻值等参数也是故障信息的重要来源。

(3) 磨损残渣测定法 测定机器零部件如轴承、齿轮、活塞环等的磨损残渣在润滑油中的含量,也是一种有效的获取故障信息的方法。根据磨损残渣在润滑油中含量及颗粒分布可以掌握零件磨损情况,并可预防机器故障的发生。

(4) 设备性能指标的测定 设备性能包括整机及零部件性能,通过测量机器性能及输入、输出量的变化信息来判断机器的工作状态也是一种重要方法。例如,柴油机耗油量与功率的变化、机床加工零件精度的变化、风机效率的变化等均包含着故障信息。

对机器零部件性能的测定,主要反映在强度方面,这对预测机器设备的可靠性,预报设备破坏性故障具有重要意义。

4. 工程机械设备故障的检测方法

工程机械设备有各种类型,因而出现的故障类型也多种多样,不同的故障需要采用不同的方法来诊断。本节将对具体的各种故障应采用的方法及各种诊断方法的应用范围进行介绍。有关各种诊断方法的详细论述可参阅后面各章。

(1) 振动和噪声的故障检测 振动和噪声是大部分机器所共有的故障表现形式,一般采用以下方法进行诊断:

1) 振动法:对机器主要部位的振动值如位移、速度、加速度、转速及相位值等进行测定,与标准值进行比较,据此可以宏观地对机器的运行状况进行评定,这是最常用的方法。

2) 特征分析法: 对测得的上述振动量在时域、频域、时-频域进行特征分析, 用以确定机器各种故障的内容和性质。

3) 模态分析与参数识别法: 利用测得的振动参数对机器零部件的模态参数进行识别, 以确定故障的原因和部位。

4) 冲击能量与冲击脉冲测定法: 利用共振解调技术测定滚动轴承的故障。

5) 声学法: 对机器噪声的测量可以了解机器运行情况并寻找振动源。

(2) 材料裂纹及缺陷损伤的故障检测 材料裂纹包括应力腐蚀裂纹及疲劳裂纹, 一般可采用下述方法进行检测:

1) 超声波探伤法: 该方法成本低, 可测厚度大, 速度快, 对人体无害, 主要用来检测平面型缺陷。

2) 射线探伤法: 主要采用 X 和 γ 射线; 该法主要用于展示体积型缺陷, 适用于一切材料, 测量成本较高, 对人体有一定损害, 使用时应注意。

3) 渗透探伤法: 主要有荧光渗透与着色渗透两种, 该法操作简单、成本低, 应用范围广, 可直观显示, 但仅适用于有表面缺陷的损伤类型。

4) 磁粉探伤法: 该法使用简便, 较渗透探伤更灵敏, 能探测近表面的缺陷, 但仅适用于铁磁性材料。

5) 涡流探伤法: 这种方法对封闭在材料表面下的缺陷有较高检测灵敏度, 它属于电学检测方法, 容易实现自动化和计算机处理。

6) 激光全息检测法: 它是 20 世纪 60 年代发展起来的一种技术, 可检测各种蜂窝结构、叠层结构、高压容器等。

7) 微波检测技术: 它也是近几十年来发展起来的一种新技术, 对非金属的贯穿能力远大于超声波方法, 其特点是快速、简便, 是一种非接触式的无损检测。

8) 声发射技术: 它主要对大型构件结构的完整性进行监测和评价, 对缺陷的增长可实行动态、实时监测且检测灵敏度高, 目前在压力容器、核电站重点部位及放射性物质泄漏、输送管道焊接部位缺陷等方面的检测获得了广泛的应用。

(3) 设备零部件材料的磨损及腐蚀故障检测 这类故障除采用上述无损检测中的超声探伤法外尚可应用下列方法:

1) 光纤内窥技术: 它是利用特制的光纤内窥技术直接观测到材料表面磨损及腐蚀情况。

2) 油液分析技术: 油液分析技术可分为两大类, 一类是油液本身物理、化学性能分析; 另一类是对油液中残渣的分析。具体的方法有光谱分析法与铁谱分析法。

(4) 温度、压力、流量变化引起的故障检测 机器设备系统的有些故障往往反映在一些工艺参数, 如温度、压力、流量的变化中。在温度测量中除常规使用的装在机器上的热电阻、热电偶等接触式测温仪外, 目前在一些特殊场合使用的非接触式测温方法有红外测温仪和红外热像仪, 它们都是依靠物体的热辐射进行测量的。

(5) 诊断参数的选择和判断标准

1) 诊断参数的选择。对机械进行状态检测, 必须测出与机械状态有关的信息参数, 然后与正常值、极限值进行比较, 才能确定目前机械的状态。因此, 检测的置信程度与参数选择、测量误差以及评价标准有密切关系。为了对机械进行准确、快速检测与诊断, 其参数的

选择是主要工作之一。由于诊断目的和对象不同,参数也可能是多种多样的。诊断参数是指为达到诊断目的而定的特征量。信息参数是表征检测对象状态的所有参数。选择诊断参数应遵循以下几个原则:

①诊断参数的多能性。一个参数的多能性应理解为它能全面地表征诊断对象状态的能力。机械中的一种劣化或故障可能引起很多状态参数的变化,而这些参数均可以作为诊断的信息参数,最终要从它们当中选出包含最多诊断信息、具有多性能的诊断参数。

②诊断参数的灵敏性。选取的参数在机械发生劣化或故障时随着劣化或故障趋势而变化,该参数的变化较其他参数更为明显。例如,发动机气缸活塞副磨损后,即使磨损比较严重,输出的参数中,功率下降只有5%~7%,而压缩空气泄漏率可达40%~50%,则选择后者为诊断参数更适宜。

③诊断参数应呈单值性。随着劣化或故障的发展,诊断参数的变化应该是单值递增或递减,即诊断参数值的大小与劣化或故障的严重程度有较确定的关系。

④诊断参数的稳定性。在相同的测试条件下,所测得的诊断参数值离散度要小,即重复性好。

⑤诊断参数的物理意义。诊断参数应具有一定的物理意义,且能量化,即可以用数字表示且便于测量。

2) 诊断的周期。诊断工作伴随着机械的整个寿命周期。在使用阶段,根据机械的运行状况可对机械实行正常运行诊断和服务于维修的定期诊断。对定期诊断的机器,需要确定其诊断周期。

确定诊断周期时,最重要一点是对劣化速度进行充分的研究。测量周期一般根据机器两次故障之间的平均运行时间确定。为了获得理想的预测能力,在一个平均运行周期内至少应该测5~6次。还应指出,所能确定的测量周期毕竟只是基本测定周期,如果一旦发现测定数据出现加速变化趋势时,就应该缩短测定周期。例如,高速旋转零件变形后可能立即造成机械的故障,则需要进行实时监测。对于劣化速度缓慢的参数,例如磨损、疲劳等,可以采用较长的检测周期。总而言之,检测周期必须充分反映机械劣化程度。

此外,根据当前的测定值和过去的测定值确定下一次检测时间的“适时检测”是比较好的方法。它一方面能进行劣化预测,同时可定量地确定下次检测日。

3) 诊断标准的确定。在测得检测参数后,就需要判断所测出的值是正常还是异常。其方法是将实测数据与标准值进行比较。判断标准共有三种,需按诊断对象来确定采用哪一种。

①绝对判断标准。绝对判断标准是根据对某类机械长期使用、观察、维修与测试后的经验总结,并由企业、行业协会或国家颁布,作为标准供工程实践使用。和任何其他标准一样,诊断标准有其制定的前提条件和适用范围,使用时必须注意。

②相对判断标准。相对判断标准是对机器的同一部位定期测定,并按时间先进行比较,以正常情况下的值为初始值,根据实测值与该值的比值来判断的方法。如果我们把新机械某点的初始振动值 α_0 的 n 倍(n 一般取10)作为允许的极限值,当该点的振动值超过 $n\alpha_0$ 时,即认为该机械已发生故障,需要立刻维修。

③类比判断标准。类比判断标准是指指数台同样规格的机械在相同条件下运行时,通过对各台机械的同一部位进行测定并进行互相比来掌握其劣化程度的方法。从维修角度出发,

最好是兼用绝对判断标准和相对标准,从两方面进行研究。

1.2.6 工程机械故障诊断常用技术参数

工程机械总成和零件的技术状况,由其结构参数和诊断参数确定。前者直接表示某机构的技术状况或工作能力,而后者则间接表示工程机械、总成和机构的技术状况和工作能力。在实际运用中,常用的主要诊断参数如下:

(1) 发动机总成诊断参数 发动机输出功率(kW);燃料消耗(L/100km);废气排放污染物浓度(%)等。

(2) 气缸活塞组技术状况的诊断参数 气缸压缩压力(MPa);曲轴箱窜气量(L/min);气缸漏气量(L/min);气缸漏气率(%);异响及振动等。

(3) 曲轴连杆组技术状况的诊断参数 异响及振动;主油道压力(MPa)下降值;主轴承间隙(mm)等。

(4) 配气机构技术状况的诊断参数 气门间隙(mm);配气相位($^{\circ}$)等。

(5) 电气设备的诊断参数 低压电路电压、电压降、电流;发电机电压(V)、电流(A)等。

(6) 供油系统、润滑系统、冷却系统的诊断参数 泵的压力和流量;机油压力(MPa);冷却液温度($^{\circ}\text{C}$)等。

(7) 底盘总体诊断参数 驱动车轮的输出功率(kW)和牵引力(N)。

(8) 底盘各总成机构技术状况的诊断参数 离合器滑转率;传动系统游动角度;传动系统异响及振动;转向角、前轮定位参数、转向盘扭力等;制动距离(m)、制动力(N)或制动减速度(m/s^2);制动力分配;制动踏板作用力等。

1.2.7 现代工程机械电子控制装置概况

电气与电子控制系统是现代工程机械的重要组成部分,其性能的优劣直接影响了现代工程机械的动力性、经济性、工作可靠性、运行安全性、施工质量、生产效率以及使用寿命等。随着现代施工工程要求的不断提高,电子控制系统已成为现代工程机械不可缺少的组成部分,也是衡量现代工程机械技术水平高低及先进程度的一个重要依据。

随着现代科技的迅猛发展,特别是自20世纪90年代后期以来,微电子技术、计算机技术、智能技术、网络技术、总线技术、通信技术、传感与检测技术、机器人技术等快速发展以及向工程机械领域的不断渗透,现代工程机械正处于一个机电一体化的崭新的发展时代。机械与电子、计算机等技术的有机结合,极大地提升了现代工程机械的综合技术性能。目前基于计算机技术的控制系统在现代工程机械中得到了越来越广泛的应用,计算机技术的应用一方面促进了现代工程机械由模拟控制系统向数字控制系统发展,提高了工程机械的作业精度、工作可靠性、过程自动化程度和工作效率,另一方面也使现代工程机械实现智能控制、网络化与整体控制成为可能。概括起来讲,电子控制系统在现代工程机械中的应用主要体现在以下几方面:

(1) 状态监控、检测、报警与故障诊断 用来对工程机械的动力系统、传动系统、液压系统和工作装置等的运行状态进行监控,工作出现异常时及时报警并指出故障部位。

(2) 节能与环保、提高工效 如日本小松公司的挖掘机采用的CLSS系统(闭式中心负