



Intelligent Manufacturing Excellent Asset Management and Maintenance Practice

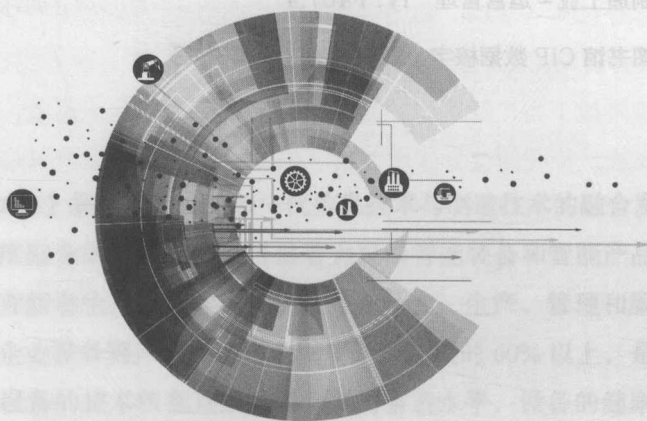
智能制造^之 卓越设备管理与运维实践

王军 王晓东◎编著



机械工业出版社
China Machine Press

工业控制与智能制造丛书



Intelligent Manufacturing Excellent Asset Management and Maintenance Practice

智能制造 卓越设备管理与运维实践

王军 王晓东◎编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

智能制造之卓越设备管理与运维实践 / 王军, 王晓东编著. —北京: 机械工业出版社, 2019.4

(工业控制与智能制造丛书)

ISBN 978-7-111-62820-0

I. 智… II. ①王… ②王… III. ①智能制造系统—制造业—设备管理 ②智能制造系统—制造业—运营管理 IV. F407.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 097538 号

智能制造之卓越设备管理与运维实践

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 余 洁

责任校对: 殷 虹

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

版 次: 2019 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 170mm×230mm 1/16

印 张: 16.5

书 号: ISBN 978-7-111-62820-0

定 价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

Preface 前言

《中国制造 2025》提出加快推动新一代信息技术与制造技术的融合发展，将智能制造作为两化深度融合的主攻方向；提出着力发展智能装备和智能产品，推动生产过程智能化，培育新型生产方式，全面提升企业研发、生产、管理和服务的智能化水平。我国工业企业设备资产一般占企业固定资产总值的 60% 以上，是工业生产的物质技术基础。设备的技术状态直接关系企业的制造水平，设备的健康状况更是制约着企业的质量、成本、安全、健康、环保等管理要素，设备的维护费用、管理水平直接影响企业的经营效益。因此，设备管理与运维是工业企业的核心业务，相应的信息系统是工业信息化的重要组成部分，智能设备、设备智能化和设备管理智能化是智能制造的重要组成部分。

我国工业企业长期存在设备运行效率低、高能耗、高污染等现象。有资料统计，我国燃烧锅炉的平均运行效率为 73%，比国际先进水平低 8%。中小型电动机的设计效率为 90%，风机、水泵的平均设计效率为 82%，均比国际先进水平低 5%，风机、水泵系统的运行效率比国际先进水平低 12%。能耗方面，载货汽车的百吨千米油耗比国外先进水平高 30%，内河运输船的油耗比国外先进水平高 10% ~ 20%。因此，设备的运行效率和运行效益不容乐观。

另外，设备安全状态堪忧。我国对特种设备执行强制检查制度，据统计特种设备数量每年以 10% ~ 12% 的速度在增加，同时安全隐患的检出率也居高不下。例如，客用索道的问题检出率达到 55.81%。目前我国设备事故发生率是发达国家的 4 ~ 6 倍，重大、特大事故时有发生，给人民的生命财产造成严重损失。

先进的设备离不开配套的人才队伍，但我国普遍存在设备管理人才短缺。一方

面，当前科技水平突飞猛进，带动各行各业的装备水平快速提高，设备的自动化水平、数字化率、智能化程度也不断提升，这种发展趋势对设备操作人员、管理人员、维护人员提出了更高的要求，对管理模式及技术手段也提出了明确的要求。另一方面，我国设备管理人才非常紧缺。据资料显示，现有企业设备管理部门高级管理人员中80%是从相近或相关专业调配而来。在设备人才素质评价中，知识素质水平达到企业要求度的50%~80%，能力素质达到企业要求度的60%~70%。而我国各大院校设置设备管理相关专业的少之又少。

智能制造环境下将广泛采用智能设备和开展设备智能化改造，企业设备管理将面临空前的挑战。传统的设备技术方法和维修组织管理方法将很难有效保障智能装备的运行，需要对其进行革新或重新设计。在智能制造环境中如何构建一个开放的控制与反馈系统，以便基于设备工业大数据、云服务和互联网技术建立智能装备运行故障及异常问题的精确动态快速反应机制，是设备管理界需要面对的重要课题。

随着先进制造技术、新一代信息化技术的高速发展和不断融合，现代设备多是机、电、气、液一体化的高度复杂装备，其故障特征、故障机理与传统的以机械传动为主的设备有着本质的不同。设备的结构复杂性和智能化水平越来越高，设备的操作、维护、故障分析等对维护人员的技能水平要求很高，因此，设备管理与运维难度空前提高。从另外一个角度看，基于设备的高度自动化和智能化的发展趋势，设备在生产系统中承担了更多的任务，成为生产系统的关键工序，甚至出现了无人工厂等全自动化生产系统，因此现代设备的任何停机都将造成更大的效益损失或影响。当前这种相对较低的设备运维水平与设备复杂性、重要性不断提升之间的矛盾是智能制造环境下的重要问题之一。

本书的结构思维导图如图0-1所示，分为需求描述、解决思路、管理及功能、信息化技术支撑以及落地指导五个方面。

本书第1章主要分析了智能制造环境下设备管理的变革及要求。基于设备管理理论的最新成果，结合当前设备本体的技术发展趋势，给出了智能制造环境下设备管理的最新需求。第2章结合卓越业务模型给出了设备管理与运维业务的卓越模型，分析了卓越设备管理与运维体系需要达到的业务目标，并以“IE+IT”的视角给出了信息化系统的实现办法；设计了包括数据层、对象层、服务层在内的三层EAM² (Excellent Asset Management & Maintenance) 软件平台。第3~6章分别给出

了EAM²平台的业务操作功能，分别是运维资源信息化管理、精益执行管理、精美现场作业管理、卓越绩效管理。第7章结合当前信息化及维护技术的发展，给出了互联网+智能维护的最新应用场景。第8章阐述了EAM²平台与智能制造环境下的企业及其应用系统的集成与信息共享。第9章指出了EAM²平台实现的关键信息化技术要求，给出了大数据、工作流、信息安全等关键技术。第10章介绍了专门针对卓越设备管理与运维平台落地的“4P5S”实施方法论。

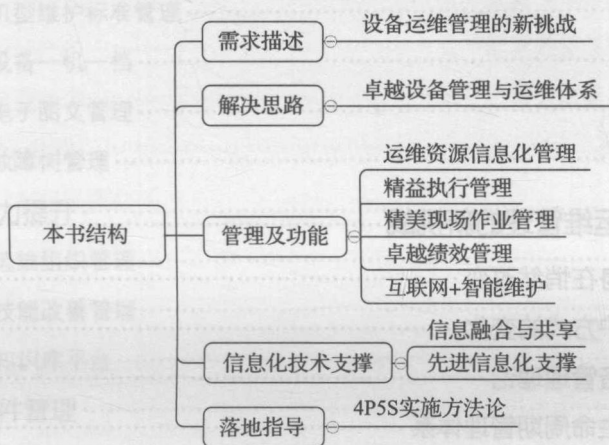


图 0-1 本书结构的思维导图

本书从工业企业的实际需求出发，结合智能制造环境下的紧迫需求，融合笔者的企业信息化咨询与项目工作实践，以理论联系实际的方法，将设备的全生命周期管理、精益管理、全员维护、先进的维护策略（预测性维护、智能维护）等理论与信息化技术进行融合，结合“IE+IT”的思想实现了管理平台与信息平台的平衡发展。本书可用于指导现代设备管理与维护体系的建设，以及智慧工厂的建设，支持工业企业智能制造的转型升级。

智能制造环境下的设备管理与运维必将是一个不断发展、快速突破及融合创新的业务领域，笔者相信近期将会有一批面向智能设备、智能运维、智能服务的新技术、新工具和新模式产生。因此，随着技术的发展，本书肯定存在很多局限性和不足之处，恳请广大读者批评指正。

目 录 Contents

前言

第 1 章 设备运维管理的新挑战	1
1.1 设备本身在悄然改变	2
1.2 设备维护方式的变化	4
1.3 现代设备管理理论	5
1.4 资产全生命周期管理体系	6
1.5 智能制造对设备管理的要求	9
1.5.1 设备管理更加重要	9
1.5.2 设备业务的分层管理	11
1.5.3 深度融合信息化技术	12
1.5.4 互联网 + 设备运维	14
1.6 “IE+IT”的深度融合	16
第 2 章 卓越设备管理与运维体系	19
2.1 通用 EFQM 模型概述	20
2.2 适用于设备管理的 EFQM 模型	22
2.3 卓越设备模型与信息化融合	23
2.4 支持卓越设备模型的信息化架构	24
2.5 信息化核心流程	26
2.6 应用功能概述	28

第3章 运维资源信息化管理	30
3.1 管理需求	30
3.2 设备技术管理	33
3.2.1 设备台账管理	33
3.2.2 机型结构管理	34
3.2.3 机型维修策略管理	38
3.2.4 机型维护标准管理	42
3.2.5 设备一机一档	45
3.2.6 电子图文管理	47
3.2.7 故障树管理	49
3.3 人员能力提升	53
3.3.1 运维组织管理	53
3.3.2 技能改善管理	53
3.3.3 知识库平台	56
3.4 备品备件管理	58
3.4.1 备件需求申请	58
3.4.2 备件采购计划	61
3.4.3 备件暂存入库	62
3.4.4 备件发票入库	63
3.4.5 备件耗用出库	63
3.4.6 备件库存管理	66
3.4.7 备件动态管理	66
3.4.8 备件统计查询	71
3.5 数据资源管理	73
3.6 本章小结	81
第4章 精益执行管理	82
4.1 管理需求	82
4.2 设备全生命周期管理	86

4.2.1	设备投资规划	86
4.2.2	设备前期管理	87
4.2.3	设备统一台账	90
4.2.4	设备变动管理	99
4.3	设备运维管理	117
4.3.1	预防维护管理平台	117
4.3.2	预测维护管理平台	134
4.3.3	事后维修管理平台	144
4.3.4	改善维修管理平台	153
4.4	本章小结	158
第5章	精美现场作业管理	159
5.1	管理需求	160
5.2	现场电子看板	162
5.3	个人/岗位工作台	164
5.4	机台终端管理	166
5.5	移动作业管理	168
5.5.1	移动业务处理平台	169
5.5.2	移动信息查询平台	174
5.5.3	改善与交流平台	177
5.6	本章小结	180
第6章	卓越绩效管理	181
6.1	管理需求	182
6.2	设备综合管控看板	184
6.2.1	公司级综合看板	184
6.2.2	厂级综合看板	184
6.2.3	车间级综合看板	185
6.2.4	个人级综合看板	185

6.3	工作目标管理	188
6.3.1	目标管理	188
6.3.2	对标管理	191
6.4	设备绩效管理	194
6.4.1	指标库管理	194
6.4.2	指标因子数据采集及管理	195
6.5	运行统计分析	198
6.5.1	统计分析	198
6.5.2	报表管理	202
6.6	设备评价管理	202
6.6.1	健康水平评价	202
6.6.2	管理体系评价	206
6.7	本章小结	208
第7章	互联网 + 智能维护	209
7.1	智能维护及应用	210
7.2	设备在线状态监测	212
7.3	基于大数据的状态预测	215
7.4	设备健康分析与管理	217
7.5	虚拟现实 (VR) 应用于维护	220
7.6	移动 AR 巡检	220
7.7	智能装备及维护策略	222
7.8	本章小结	225
第8章	信息融合与共享	226
8.1	设备状态感知	226
8.2	全生命周期信息共享	227
8.3	设备领域信息物理层	228
8.4	本章小结	229

第9章 先进信息化支撑	230
9.1 无线传感器网络	230
9.2 实时数据处理技术	231
9.3 实时运算引擎	233
9.4 工作流引擎	235
9.5 数据可视化及报表平台	237
9.6 云平台	240
9.7 安全及性能要求	242
9.8 本章小结	243
第10章 4P5S 实施方法论	244
10.1 “IE+IT”的数字精益理念	244
10.2 实施里程阶段	245
10.2.1 项目规划阶段	246
10.2.2 现状分析阶段	247
10.2.3 业务蓝图阶段	248
10.2.4 开发部署阶段	249
10.2.5 上线支持阶段	250
10.3 本章小结	250
后记	251
参考文献	252

设备运维管理的新挑战

设备是指可供在生产或生活中长期使用，并在反复使用中基本保持原有实物形态和功能的劳动资料和物质资料的总称，包括机床、反应炉、车辆、飞机、工程机械、工业实施等。设备管理即以设备为研究对象，根据企业的生产经营目标，应用一系列理论方法，通过一系列技术、经济、组织措施，对设备的物质运动和价值运动进行全过程的科学管理，从规划、设计、选型、购置、安装、验收、使用、保养、检验、维修、改造、更新直到报废，保持设备的良好运行状态并不断提高设备的技术水平，使设备资产的投资回报最大化，进而使企业获得最佳经济效益。

本章的结构如图 1-1 所示。企业要管理好设备，首先必须了解设备本体的变化趋势，以及设备管理理论的最新成果，包括维护方法、管理理念和管理标准等。同时，需要进一步了解现代设备对企业开展智能制造的进一步影响与支撑。“中国制造 2025”提出了我国实施智能制造的行动方案与路线图。智能制造必然要求在设备投资、设备管理组织、设备使用层面采用全新的、智能化的管理方法。

采用信息化技术提升及固化管理措施是智能制造环境下设备管理与维护的重要特征。本章描述了管理要求与信息化相互融合及促进的“IE+IT”方法论。该方法论摒弃了唯管理改善论或唯技术工具论的片面观点，是在两化融合过程的众多失败经验中总结提出的。“IE+IT”提出的在管理水平与信息化水平之间平衡发展、相互促进的思维模式贯穿全书。

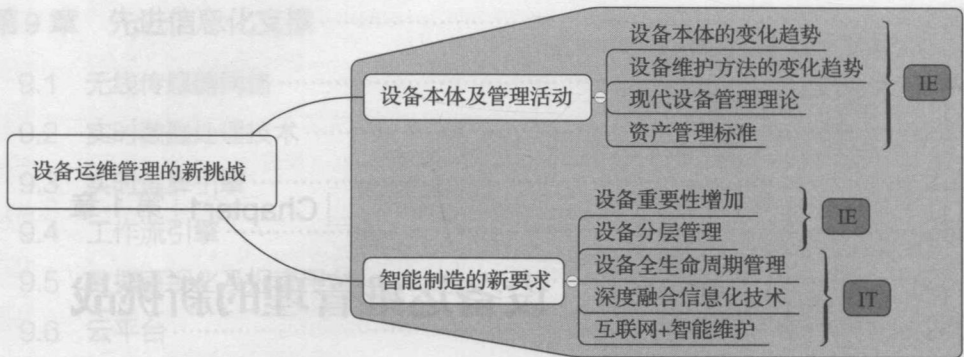


图 1-1 设备运维管理的新挑战

1.1 设备本身在悄然改变

在工业及制造领域，最早的设备应当称为工具，即通过纯手工方式进行操作，利用力学原理对材料进行加工与制造。人力工具最大的不足是：效率低，加工能力差，高度依赖使用者的特殊技巧。因此，该阶段人是制造的主导因素，各类手工作坊是制造的基本组织形态。

1. 蒸汽时代

自 18 世纪 60 年代哈格里夫斯发明的“珍妮纺纱机”开始，以手工作坊式的生产模式转变为以机器为主要工具的工业化生产方式，大规模工厂开始出现，标志着工业革命的开始。18 世纪 70 年代，瓦特的改良蒸汽机开始被用做纺织机械的动力，并很快推广开来，引起第一次技术和工业革命的高潮，人类从此进入机器和蒸汽时代。蒸汽机不仅在纺织业中得到广泛应用，在采矿、冶炼、机器制造等行业中也得到迅速推广，此时制造可以完全不依赖人力，高效率、标准化进行。

2. 电气时代

19 世纪 60 年代，德国发明了发电机和电动机，电力驱动成为补充和取代以蒸汽机为动力的新能源。人们把这次变革叫作“第二次工业革命”，人类由此进入“电气时代”。采用电力驱动的设备在体积、效率方面远超蒸汽设备，设备精密度、生产效率得到进一步提高。

由于电能不易存储，在交通运输方面存在较大缺陷，而高效率的工厂生产对交通运输业需求巨大。19 世纪 80 年代，以煤气和汽油为燃料的内燃机相继诞生，19 世纪 90 年代柴油机研制成功。内燃机的发明解决了交通工具的发动机问题，运

输类设备迎来了巨大的发展空间。

在20世纪50年代之前,设备主要依靠电力或内燃机提供动力。随着技术的改良和进步,设备效率不断提升,加工速度不断提高。但制造过程中,产品零件的加工参数、加工工序的转换还需依赖人力,要根据专门的人工计算的数据调整设备来进行生产,设备的加工复杂度基本靠人工经验。

3. 数控时代

与此同时,需要加工零件的复杂度也在不断提高,如直升机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工不但复杂,而且精度要求高。为此,美国帕森斯公司和麻省理工学院于1952年联合试制成功第一台利用电子管数控装备的三坐标数控铣床,开创了数控装备的新时代。

随着电子技术的高速发展,数控装备进展迅猛。20世纪50年代晶体管元件和印刷电路板被应用于数控装置;60年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(DNC),数控装置进入了以小型计算机化为特征的时代;80年代初,随着计算机软、硬件技术的发展,出现了能进行人机对话式自动编程序的数控装置。数控装置越来越趋于小型化,可以直接安装在机床上,数控机床的自动化程度也进一步提高,具备自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。但此时的数控加工设备竞争激烈、厂家林立、标准众多、接口独立,因此,互联互通一直是困扰企业生产一线的关键问题。

4. 智能时代

20世纪后10年和21世纪,信息通信技术(ICT)得到前所未有的发展,数控设备向开放化、智能化方向发展。为了解决传统的数控系统封闭性和数控应用软件的产业化生产存在的问题,许多国家展开对开放式数控系统的研究,如美国的NGC、欧洲共同体的OSACA、日本的OSEC、中国的ONC等计划。一方面,随着智能制造的发展,不同品种、不同档次的开放性数控设备形成系列化,同时,数控设备能够适应工厂多样化产品的加工需求,数控系统开放化已经成为数控系统的未来之路。另一方面,先进制造系统要求加工过程自适应控制、工艺参数自动生成、设备状态自主感知、加工对象自动识别、控制参数自动整定等控制智能化功能,同时还要求简化编程方式,提供智能化的自动编程、智能化的人机界面等操作智能化功能。而企业管理者提出了智能诊断、智能监控、方便系统的诊断及维修等管理智能化功能。具备这些智能功能的设备称为智能装备,也是当前设备发展的最新阶段。

综上所述,设备本身正在朝着大型化、高速化、精密化、自动化、数字化和智能化方向发展。

1.2 设备维护方式的变化

企业要在市场竞争中取得优势,必须保证高效率、高质量、低成本、安全环保的生产,而效率、质量、成本、安全环保在很大程度上受设备的制约。设备的技术水平直接关系到企业的生产水平,设备管理水平直接影响到企业的经济效益。对现代企业而言,设备管理与运维已经成为关系到企业核心竞争力、经济效益及生存发展的重要环节。

1. 事后维修方式

工业化最早从英国开始,直到20世纪初的很长一段时间都采用事后维修(Breakdown Maintenance, BM)方式。事后维修是在设备发生故障后再进行修理的一种维修方式。由于事前不知道故障何时发生、在哪个零件上出现,因此缺乏修理前的准备,设备停工修理时间较长。同时,由于这种修理是无计划的,常常打乱生产计划,容易影响产品质量和交货期,给企业带来较大损失。

2. 预防维修方式

美国受两次世界大战的影响,工业化进展很快,在实践总结的基础上于1925年提出预防维修(Preventive Maintenance, PM)方式。预防维修基本是以检查为主的维修体制,改变原有的事后维修,倡导提早检查、防患于未然。通过预防维修可减少故障发生,降低停机损失,提高生产效益。

3. 计划预修方式

苏联采用计划模式,工业化进展较快,于20世纪30年代提出了“点检预修制”。不同时期的点检预修制有不同的内涵,但总体上也是预防设备的意外故障,按照预定计划进行一系列预防性修理。这种维修方式类似于PM方式,但由于当时的检测水平和技术落后,很难对设备状态做出准确判断,因此影响了维修计划的准确性。在随后的维修实践中,逐步发展出标准修理制度、定期修理制度,以及定期与状态相结合的点检预修方式。值得一提的是,我国设备的维修方式受苏联的影响很大,很多大型企业仍然采用以时间周期、维修复杂性为主要分类的计划维修方式。

4. 生产维护方式

第二次世界大战之后, 各国经济得到空前发展, 同时, 设备维修方式不断推陈到新的阶段。20世纪50年代, 美国提出生产维护(Productive Maintenance, PM)方式, 该方式采用系统的观点, 站在生产的角度设计维修模式, 强调维修是为生产服务的要求。生产维护包括四类具体的维护方式: 维修预防、事后维修、改善维修、预防维修。这种维修方式更贴近企业实际, 且更经济。强调对不重要的设备采用事后维修, 避免维修过度; 对重要设备则通过预防维修, 减少非计划停机的发生; 对于设计缺陷和固有故障强调采用技术改造、更换等预防维修的方式。

5. 综合维护方式

随着设备加工能力、本身的复杂性和生产速度的不断提高, 设备在企业中的重要程度也日益提高。同时, 设备本身的投资、维修成本也成为企业制造成本的重要组成部分, 降低维护费用和提高可用度成为企业直观的诉求。因此, 新的维修方式也不断发展, 其中有代表性的如下:

- **状态性维修**: 在准确把握设备状态的基础之上采取的针对性维修手段。
- **预测性维修**: 在状态性维修基础之上, 对设备部件剩余寿命和故障趋势的准确预测而采取的针对性维修手段。
- **可靠性维修**: 基于设备状态数据的科学分析, 利用可靠性理论而制定的维修策略。
- **智能化维修**: 严格来说, 智能化维修并不是一种维修方式, 而是在维修过程及维修管理的各个环节中, 以计算机为工具, 并借助人工智能(AI)技术来模拟人类专家智能(分析、判断、推理、构思、决策等)的各种维修和管理技术的总称。

综上所述, 与设备本身技术水平的发展相适应, 设备维护方式朝着: 从事后维护向事中、事前维护转变; 从计划为主的维修向检修为主的维修转变; 从单一维修模式向系统化、多模式并存的方式转变; 从人工经验型维修向基于数据分析的科学型维修转变; 从人工作业模式向全面应用计算机管理的电子化模式转变。

1.3 现代设备管理理论

当前极具生命力的设备管理理论是全员生产维护(Total Productive Maintenance, TPM)和设备综合工程学(Terotechnology)。

1. 全员生产维护

TPM 是以设备有效利用率为目标, 以维修预防 (MP)、预防维修 (PM)、改善维修 (CM) 和事后维修 (BM) 综合构成的全员生产维护为总运行模式, 由设备的计划、使用、维修等所有相关人员 (从最高经营管理者到第一作业人员) 全体参与, 以建立自主小组的活动来推行 PM, 使损失为零。TPM 活动是以改善设备的状况, 改进人的观念、精神面貌及改善现场工作环境的方式, 建立起规范、活泼的工作氛围, 使企业不断地发展和进步, TPM 管理主要从全效率管理、6S 管理、自主维修管理三方面展开。

TPM 的重要之处是将人的因素引入设备管理中, 综合各类设备维修方式的特点, 使之成为一套完整的管理体系。TPM 管理体系体现为三个“全”: 一是全效率, 即将设备有效作业率作为衡量设备的指标体系, 明确而全面。企业必须科学分析引起设备有效作业率下降的七大损失, 并逐步改善。二是全系统, 即采用多种维修方式相结合, 既兼顾维修的经济性, 又兼顾维修的有效性。三是全员参与, 即如何调动企业全员参与到设备管理当中, 发挥人员的主观能动性, 挖掘人员的潜力, 尤其是操作人员的自主活动。

2. 设备综合工程学

设备综合工程学是指以设备全生命周期为研究对象, 是管理、财务、工程技术和其他应用于有形资产的实际活动的综合, 其目标为追求经济的生命周期费用 (Life Cycle Cost, LCC)。1974 年, 英国工商部给了如下定义: “为了求得经济的生命周期费用而把适用于有形资产的有关工程技术、管理、财务及其业务工作加以综合的学科, 就是设备综合工程学, 涉及设备与构筑物的规划和设计的可靠性与维修性, 涉及设备的安装、调试、维修、改造和更新, 以及有关设计、性能和费用信息方面的反馈。”

设备综合工程学把维修从一个技术领域发展成为一门跨学科的管理与技术综合的学科, 其突出之处在于把设备全生命周期不同阶段的内容用系统论的观点综合起来管理, 强调技术是基础、管理是手段、经济是目的。设备综合工程学已在我国学术界及管理界得到认可, 包括在大专院校成立设备管理培训中心, 在中国设备管理协会设立专门的专业委员会等。

1.4 资产全生命周期管理体系

设备是企业资产的一种, 是工业企业最为重要的资产之一。英国作为工业