

高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

# 现代设备工程学

周 敏 魏厚培 张 华 编著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

# 现代设备工程学

周 敏 魏厚培 张 华 编著

北 京

冶金工业出版社

2011

## 内 容 提 要

本书立足于当前国际制造业“生产与设备全面管理”新理念,重点阐述了我国设备工程与管理新体制,突出了我国设备工程与管理工作现代化、科学化特色。本书分为13章,系统介绍了国内外设备工程与管理概况、设备工程项目管理、设备工程基础工作、设备的运行与维护、设备检修、备件管理、设备工程的监测与诊断技术、设备工程的经济分析、设备工程管理信息化、设备辅助决策管理、设备知识管理与工程、绿色设备工程等。在内容编排上,本书既注重系统性和新颖性,又强调技术性、实践性和实用性。

本书可以作为高等院校设备工程与管理的专业教材,也可作为现代企业设备工程与管理干部的参考书,或作为企业高层管理干部的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代设备工程学/周敏,魏厚培,张华编著. —北京:冶金工业出版社,2011.1

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-5424-1

I. ①现… II. ①周… ②魏… ③张… III. ①设备管理—高等学校—教材 IV. ①F273.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第218799号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 常国平 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5424-1

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011年1月第1版,2011年1月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;16.5印张;437千字;250页

45.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

我国加入 WTO 以来,制造业的发展突飞猛进,现已形成了以珠江三角洲、长江三角洲和环渤海湾地区为核心的世界级制造中心。制造业的飞速发展,使得设备在企业的地位越来越重要。不少企业逐渐从“生产为主,设备为辅”的观念,向“生产与设备全面管理”的思想转变。做好设备工程与管理的工作已成为企业管理者的共识。

近 30 年来,前苏联、美国、英国、日本的设备工程与管理都各具特色,基本形成了各自的设备工程与管理体制。其他国家如瑞典、意大利、德国、法国和新加坡的设备工程与管理体制也都具有自己的特点。除此之外,国内外设备工程与管理的新趋势、新思想、新技术不断涌现,给这一学科注入了活力。因此,总结国内外先进的设备工程与管理的新成就、新技术及有益经验,逐步形成和完善我国设备工程与管理新体制,以推动我国设备工程与管理的工作朝现代化、科学化的方向发展,已成为工业企业界极为关注的重大课题。

本书共分为 13 章,主要介绍了国内外设备工程与管理的历史与现状、设备工程项目管理、设备工程基础工作、设备的运行与维护、设备检修、备件管理、设备工程的监测与诊断技术、设备工程的经济分析、设备工程管理信息化、设备辅助决策管理、设备知识管理与工程、绿色设备工程等。在内容编排上,既注重系统性和新颖性,又强调技术性、实践性和实用性。本书可以作为高等院校设备工程与管理的专业教材,满足大专院校相关专业教学的需要,同时可以作为现代企业设备工程与管理工作人员的参考书,也适合作为企业高层管理干部的培训教材。

本书由武汉科技大学周敏、张华,武汉钢铁公司魏厚培编著,刘军伟、容芷君、王蕾、陈龙、王琮、彭涛、付宗旺、郭媛、占铭、师源、徐祯炜、江志刚、赵强、熊颖清、高挺、陈艳霞等参与了编写、整理或校对等工作,给予了大力支持。本书还借鉴了许多文献,对原作者表示谢忱。

由于编著者水平及时间所限,书中可能还存在一些不足之处,希望读者朋友不吝指正,以便及时修订。

编著者  
2010 年 11 月

# 目 录

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>1 设备工程与管理的历史沿革</b>     | <b>1</b>  |
| 1.1 国外设备工程与管理简况           | 1         |
| 1.1.1 前苏联计划预防修理制度的主要内容及发展 | 1         |
| 1.1.2 英国设备综合工程学           | 2         |
| 1.1.3 日本全员生产维修管理制度        | 3         |
| 1.1.4 美国后勤工程学             | 4         |
| 1.1.5 瑞典预防性维修体系           | 5         |
| 1.2 国内设备工程与管理简况           | 7         |
| 1.2.1 事后维修阶段              | 7         |
| 1.2.2 设备预防维修管理阶段          | 8         |
| 1.2.3 设备系统管理阶段            | 8         |
| 1.2.4 设备综合管理阶段            | 9         |
| <b>2 设备工程项目管理</b>         | <b>10</b> |
| 2.1 设备规划管理                | 10        |
| 2.1.1 事前调研和准备阶段           | 10        |
| 2.1.2 设备的计划阶段             | 10        |
| 2.1.3 设备规划方案的确定           | 10        |
| 2.1.4 设备的设计阶段             | 11        |
| 2.1.5 设备的施工阶段             | 11        |
| 2.1.6 编制设备规划的依据           | 11        |
| 2.1.7 设备规划的编制程序           | 12        |
| 2.1.8 设备规划的可行性分析          | 13        |
| 2.1.9 设备投资决策              | 14        |
| 2.1.10 设备投资的分析            | 14        |
| 2.2 设备的选型与购买              | 15        |
| 2.2.1 设备选型的原则             | 15        |
| 2.2.2 设备选型的步骤             | 15        |
| 2.2.3 设备选型的参数与性能分析        | 16        |
| 2.2.4 设备订货与购置             | 17        |
| 2.2.5 设备到货验收              | 18        |
| 2.3 设备安装调试与初期管理           | 19        |
| 2.3.1 设备的安装               | 19        |
| 2.3.2 设备调试和验收             | 21        |
| 2.3.3 设备使用初期的管理           | 23        |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.4 自制设备管理 .....           | 24 |
| 2.4.1 自制设备设计制造的原则 .....    | 24 |
| 2.4.2 自制设备管理的内容和程度 .....   | 24 |
| 2.4.3 自制设备的验收 .....        | 25 |
| 2.5 进口设备管理 .....           | 26 |
| 2.5.1 进口设备管理的重要意义 .....    | 26 |
| 2.5.2 加强进口设备管理的措施 .....    | 26 |
| 3 设备工程基础工作 .....           | 27 |
| 3.1 设备凭证管理 .....           | 27 |
| 3.2 设备档案与资料管理 .....        | 28 |
| 3.2.1 档案与资料管理的内容与要求 .....  | 28 |
| 3.2.2 设备档案内容 .....         | 28 |
| 3.2.3 设备资料内容 .....         | 29 |
| 3.3 设备规章制度管理 .....         | 29 |
| 3.3.1 设备规章制度管理的内容 .....    | 29 |
| 3.3.2 设备管理规章制度 .....       | 31 |
| 3.4 设备管理的指标体系 .....        | 33 |
| 3.4.1 设备管理指标及其作用 .....     | 33 |
| 3.4.2 指标设置的原则 .....        | 34 |
| 3.4.3 设备管理指标体系 .....       | 34 |
| 3.5 设备管理的考核和统计 .....       | 37 |
| 3.5.1 原始记录 .....           | 37 |
| 3.5.2 设备统计 .....           | 37 |
| 3.6 设备管理的检查与评比案例 .....     | 39 |
| 4 设备运行与维护 .....            | 51 |
| 4.1 设备运行管理 .....           | 51 |
| 4.1.1 设备运行管理的主要内容 .....    | 51 |
| 4.1.2 设备运行管理的作用 .....      | 52 |
| 4.2 设备健康状态 .....           | 53 |
| 4.2.1 设备健康状态管理的基本内容 .....  | 54 |
| 4.2.2 设备健康状态监测、检查、评价 ..... | 55 |
| 4.2.3 设备健康状态评估 .....       | 58 |
| 4.3 设备维护 .....             | 61 |
| 4.3.1 设备护养 .....           | 61 |
| 4.3.2 设备润滑 .....           | 64 |
| 4.3.3 设备使用维护 .....         | 69 |
| 4.3.4 设备维护检查与评估 .....      | 70 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4.3.5 提高设备维护水平的措施 .....     | 71  |
| 4.4 设备故障分析及处理策略 .....       | 72  |
| 4.4.1 设备故障分析 .....          | 72  |
| 4.4.2 设备故障曲线与维护策略 .....     | 73  |
| 4.4.3 典型设备故障漏油的治理 .....     | 74  |
| 5 设备检修工程 .....              | 76  |
| 5.1 检修科学理论体系 .....          | 76  |
| 5.1.1 设备检修科学概述 .....        | 76  |
| 5.1.2 设备检修的概念与检修管理的目标 ..... | 77  |
| 5.2 设备失效及老化理论 .....         | 77  |
| 5.2.1 设备失效理论 .....          | 77  |
| 5.2.2 设备老化理论 .....          | 82  |
| 5.3 设备的可靠性理论 .....          | 83  |
| 5.3.1 设备检修理论概述 .....        | 83  |
| 5.3.2 影响设备检修性的主要因素 .....    | 85  |
| 5.3.3 提高设备检修性的主要途径 .....    | 86  |
| 5.3.4 设备检修方式及选择 .....       | 86  |
| 5.3.5 设备检修制度 .....          | 88  |
| 5.3.6 设备检修费用 .....          | 89  |
| 5.4 设备检修计划的编制及实施 .....      | 91  |
| 5.4.1 设备检修计划的类别及内容 .....    | 91  |
| 5.4.2 设备检修计划的编制 .....       | 92  |
| 5.4.3 设备检修计划的实施 .....       | 93  |
| 5.5 设备检修技术 .....            | 96  |
| 5.5.1 设备检修的基础技术工作 .....     | 96  |
| 5.5.2 设备检修技术文件管理 .....      | 97  |
| 5.5.3 设备检修的技术检验 .....       | 97  |
| 5.5.4 设备检修常用量检具管理 .....     | 97  |
| 5.6 设备检修定额 .....            | 98  |
| 5.6.1 设备检修复杂系数 .....        | 98  |
| 5.6.2 设备检修定额 .....          | 99  |
| 5.6.3 制订设备检修工作定额的方法 .....   | 100 |
| 5.7 设备检修质量管理 .....          | 100 |
| 5.7.1 设备检修质量管理的工作内容 .....   | 100 |
| 5.7.2 设备检修的质量保证体系 .....     | 101 |
| 5.7.3 设备检修质量的检验 .....       | 101 |
| 5.8 设备检修中应用的网络技术 .....      | 102 |
| 5.8.1 网络图的组成 .....          | 102 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 5.8.2 绘制网络图 .....            | 103        |
| 5.8.3 网络图时间参数计算 .....        | 105        |
| 5.8.4 网络的优化 .....            | 108        |
| <b>6 备件管理 .....</b>          | <b>110</b> |
| 6.1 备件管理概述 .....             | 110        |
| 6.1.1 备件及备件管理 .....          | 110        |
| 6.1.2 备件的范围 .....            | 110        |
| 6.1.3 备件的分类 .....            | 110        |
| 6.1.4 备件管理的目标和任务 .....       | 110        |
| 6.2 备件的计划管理 .....            | 111        |
| 6.2.1 备件年度综合计划 .....         | 112        |
| 6.2.2 备件计划的编制 .....          | 113        |
| 6.2.3 备件计划的审核、执行和检查 .....    | 113        |
| 6.2.4 备件的统计与分析 .....         | 114        |
| 6.3 备件的技术管理 .....            | 114        |
| 6.3.1 备件的储备原则 .....          | 114        |
| 6.3.2 备件的储备形式 .....          | 114        |
| 6.3.3 备件的储备定额 .....          | 115        |
| 6.4 备件库存管理 .....             | 117        |
| 6.4.1 备件库存管理的内容 .....        | 117        |
| 6.4.2 备件库组织形式与要求 .....       | 118        |
| 6.5 备件的库存管理模式 .....          | 119        |
| 6.5.1 备件供管社会化趋势 .....        | 120        |
| 6.5.2 备件“无库存”管理模式 .....      | 120        |
| 6.5.3 联合备件库存管理模式 .....       | 120        |
| 6.5.4 供应商管理备件库存模式 .....      | 121        |
| 6.6 备件的质量屋管理 .....           | 121        |
| 6.6.1 质量的概念及其特性 .....        | 121        |
| 6.6.2 质量屋的概念及其特性 .....       | 122        |
| <b>7 设备监测技术 .....</b>        | <b>124</b> |
| 7.1 设备状态监测 .....             | 124        |
| 7.1.1 设备状态监测技术的含义及主要形式 ..... | 124        |
| 7.1.2 设备状态监测的主要技术 .....      | 124        |
| 7.1.3 设备状态监测的十大手段 .....      | 125        |
| 7.2 常用监测技术 .....             | 125        |
| 7.2.1 振动监测技术 .....           | 125        |
| 7.2.2 温度监测技术 .....           | 128        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 7.2.3 油液监测技术 .....           | 128 |
| 7.2.4 噪声监测技术 .....           | 129 |
| 7.2.5 无损检测技术 .....           | 130 |
| 7.3 基于无线传感器及测量装置的监测系统 .....  | 132 |
| 7.3.1 系统简介 .....             | 133 |
| 7.3.2 在线式监测无线传输系统 .....      | 133 |
| 7.3.3 离线式监测无线传输系统 .....      | 134 |
| 7.3.4 系统产品 .....             | 134 |
| 8 设备诊断技术 .....               | 137 |
| 8.1 设备诊断技术 .....             | 137 |
| 8.1.1 设备诊断技术的概念 .....        | 137 |
| 8.1.2 设备诊断技术的工作原理和工作程序 ..... | 137 |
| 8.1.3 设备诊断技术的组成和功能 .....     | 138 |
| 8.1.4 设备诊断的判定标准及其制定方法 .....  | 139 |
| 8.1.5 设备诊断技术在设备工程中的作用 .....  | 140 |
| 8.2 设备诊断技术常用方法 .....         | 141 |
| 8.2.1 设备诊断技术的选择 .....        | 141 |
| 8.2.2 设备诊断分析方法 .....         | 142 |
| 8.2.3 振动诊断的分析方法 .....        | 148 |
| 8.3 智能诊断 .....               | 150 |
| 8.3.1 旋转机械类智能诊断系统 .....      | 150 |
| 8.3.2 往复机械类智能诊断系统 .....      | 153 |
| 8.4 设备故障诊断专家系统 .....         | 156 |
| 8.4.1 设备故障诊断专家系统的基本原理 .....  | 156 |
| 8.4.2 设备故障诊断专家系统应用案例 .....   | 157 |
| 8.4.3 设备故障诊断专家系统的开发与应用 ..... | 159 |
| 8.5 智能诊断综合应用案例 .....         | 161 |
| 9 设备工程经济 .....               | 171 |
| 9.1 设备租赁与购买经济性分析 .....       | 171 |
| 9.1.1 设备租赁概述 .....           | 171 |
| 9.1.2 设备租赁与购买的决策分析 .....     | 171 |
| 9.2 设备的折旧 .....              | 173 |
| 9.2.1 设备折旧的意义和计提的依据 .....    | 173 |
| 9.2.2 设备折旧方式 .....           | 174 |
| 9.3 设备的磨损与寿命 .....           | 176 |
| 9.3.1 设备的磨损及其度量 .....        | 176 |
| 9.3.2 设备的寿命 .....            | 178 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 9.4 设备磨损补偿的技术经济分析 .....           | 180 |
| 9.4.1 设备磨损的补偿方式 .....             | 180 |
| 9.4.2 设备修理的经济分析 .....             | 180 |
| 9.4.3 设备更新的经济分析 .....             | 182 |
| 9.4.4 设备技术改造的经济分析 .....           | 185 |
| 10 设备工程管理信息化 .....                | 188 |
| 10.1 企业资源计划 .....                 | 188 |
| 10.2 设备管理信息系统 .....               | 188 |
| 10.2.1 PMIS 与 ERP 的关系 .....       | 188 |
| 10.2.2 PMIS 系统的目标 .....           | 188 |
| 10.2.3 PMIS 发展趋势和特点 .....         | 189 |
| 10.3 PMIS 编码设计 .....              | 190 |
| 10.3.1 设备位置编码 .....               | 190 |
| 10.3.2 设备类别编码 .....               | 191 |
| 10.3.3 设备备件、材料编码 .....            | 192 |
| 10.4 PMIS 体系结构 .....              | 193 |
| 10.5 PMIS 系统的功能模块设计 .....         | 194 |
| 10.5.1 公共基础模块 .....               | 194 |
| 10.5.2 设备备件采购/库存管理模块 .....        | 194 |
| 10.5.3 设备台账管理模块 .....             | 196 |
| 10.5.4 固定资产管理模块 .....             | 197 |
| 10.5.5 设备运行管理模块 .....             | 198 |
| 10.5.6 设备维修管理模块 .....             | 199 |
| 10.5.7 设备信息查询管理模块 .....           | 199 |
| 10.5.8 系统维护管理模块 .....             | 199 |
| 11 设备辅助决策管理 .....                 | 201 |
| 11.1 智能决策支持系统 IDSS .....          | 201 |
| 11.1.1 基于 MAS 的设备智能决策支持系统模型 ..... | 201 |
| 11.1.2 设备经济寿命预测模型 .....           | 203 |
| 11.1.3 设备智能决策 Agent .....         | 204 |
| 11.1.4 设备智能决策系统案例 .....           | 205 |
| 11.2 基于知识的设备维护群体决策支持系统模型 .....    | 206 |
| 11.2.1 设备维护群体决策流程 .....           | 206 |
| 11.2.2 设备维护群体决策方法 .....           | 207 |
| 12 设备知识管理与工程 .....                | 209 |
| 12.1 隐性知识的管理 .....                | 209 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 12.2 显性知识的管理 .....               | 211        |
| 12.3 面向 workflows 的知识管理 .....    | 211        |
| 12.3.1 决策层重视 .....               | 211        |
| 12.3.2 组织倡导 .....                | 211        |
| 12.3.3 信息技术支持 .....              | 212        |
| 12.3.4 制度与文化支持 .....             | 212        |
| 12.4 知识管理系统应用案例 .....            | 212        |
| <b>13 绿色设备工程 .....</b>           | <b>215</b> |
| 13.1 绿色设计 .....                  | 216        |
| 13.1.1 绿色材料及其选择 .....            | 217        |
| 13.1.2 面向拆卸的设计 .....             | 218        |
| 13.1.3 面向回收的设计 .....             | 219        |
| 13.2 绿色工艺 .....                  | 220        |
| 13.3 绿色包装 .....                  | 220        |
| 13.4 绿色制造应用案例 .....              | 221        |
| 13.4.1 消失模铸造 .....               | 221        |
| 13.4.2 汽车齿轮类零件精锻成形技术 .....       | 222        |
| 13.4.3 气门锻件热近净成形技术 .....         | 222        |
| 13.4.4 高强度难变形铝合金零件流动控制成形技术 ..... | 223        |
| 13.4.5 抽油杆多工位锻锻成形工艺及模具 .....     | 224        |
| 13.4.6 数控精锻液压机 .....             | 224        |
| 13.5 再制造工程 .....                 | 225        |
| 13.5.1 再制造业的发展现状 .....           | 225        |
| 13.5.2 设备再制造工程的基本内容 .....        | 226        |
| 13.6 绿色维修技术 .....                | 227        |
| 13.6.1 电刷镀技术 .....               | 227        |
| 13.6.2 热喷涂技术 .....               | 232        |
| 13.6.3 补焊技术 .....                | 237        |
| 13.6.4 堆焊技术 .....                | 243        |
| 13.6.5 表面工程技术 .....              | 246        |
| <b>参考文献 .....</b>                | <b>249</b> |

# 1 设备工程与管理的历史沿革

设备工程是研究设备全寿命周期的学科，它是由设备的规划工程、维修工程、动力工程和安全环保工程等四个部分内容组成的综合性工程。这样，设备工程按照设备寿命周期中的运动过程可分为规划工程和维修工程两个主要阶级；另外，还有两条支链；一条是动能供应过程，另一条是安全环境保护过程，前者是设备输入的必要部分，使设备得以正常运行，后者是设备运行输出中的社会效益，即保护人身安全和周围环境。设备工程是研究设备寿命周期中存在的物质运动和价值运动两种运动形态。物质运动方面研究设备的可靠性、工艺性以及使用中发生的磨损、性能劣化、检查、修复等技术业务；价值运动方面是研究设备价值的转换和补偿、维修的经济性、新设备的投资、更新改造的经济分析等经济业务。

## 1.1 国外设备工程与管理简况

### 1.1.1 前苏联计划预防修理制度的主要内容及发展

1923 年前苏联就提出了设备定期维修的方法，直至 1967 年才形成了前苏联统一的计划预防修理制度。计划预防修理制度的理论依据是设备组成单元的磨损规律。其主要内容包括：

(1) 确定修理工作的类别。设备的计划修理类别有：大修、中修、小修、预防性检查。

(2) 编制设备修理计划，进行有计划的修理，并监督其实现。

(3) 确定各类设备的修理周期结构。修理周期结构是指在一个大修周期内，把设备的维修类别按照规定的时间间隔，依据一定顺序进行的排列。它是根据机器零件的磨损规律和修理工作量确定的，不同类型的设备其修理周期结构不同。例如，在计划预防修理制度中规定金切设备中普通机床的修理周期为 26000 小时，相当于两班制运行车间，约 6 年左右大修一次。修理周期结构是：K—O—M—O—M—O—C—O—M—O—M—O—C—O—M—O—M—O—K，即两次大修（K）之间应安排两次中修（C），六次小修（M），九次检查调整（O）。在一个修理周期内共有 18 次各种定期的计划修理，约四个月就需进行一次检查或修理。

(4) 确定各类设备的修理复杂系数。修理复杂系数是设备修理难易程度的一个假定单位，计划预修制度中的计算、测定和考核都是以设备修理系数为基础的。该系数主要用于制定各种修理定额，如修理工作的劳动量定额、停歇时间定额、材料消耗定额和修理费用定额等。

(5) 组织修理业务。包括组织机修车间、各车间机修站、修理组，准备必要的设备及配备管理人员和劳动力。

20 世纪 80 年代以来，计划预防修理制度正在逐步发生改变，但其基本理论基础相同：

(1) 改进维修方式和维修制度。在设备维修活动中肯定了操作工人参加的重要性；使修理周期结构更加符合设备的实际运动规律；根据设备的实际使用情况，延长了修理间隔期；提高修理工作的机械化水平，采用现代化管理方法；取消中修。

(2) 重视设备的更新改造。逐步改变以扩大设备拥有量为主的做法，合理调整加工设备的结构，增加特种加工设备及热加工和毛坯加工设备比重；大幅度增加高效和自动化设备的数量和比重；结合大修进行旧设备的改造。

(3) 加强设备的技术维护，推行技术维护及修理规程化。前苏联国标 ГОСТ 18322—78 规定：

技术维护是当设备按规定用途使用、待用、存放和运输时,为保持设备的工作能力或良好状态而进行的一套作业或某项作业。所谓规程化技术维护与维修是指按技术文件中所规定的时间间隔和工作量进行技术维护与计划修理,图 1-1 是技术维护和修理制度的结构示意图。许多企业推行规程化维修后,大大提高了维修作业效率和质量,减少了设备因突发故障造成停机损失。

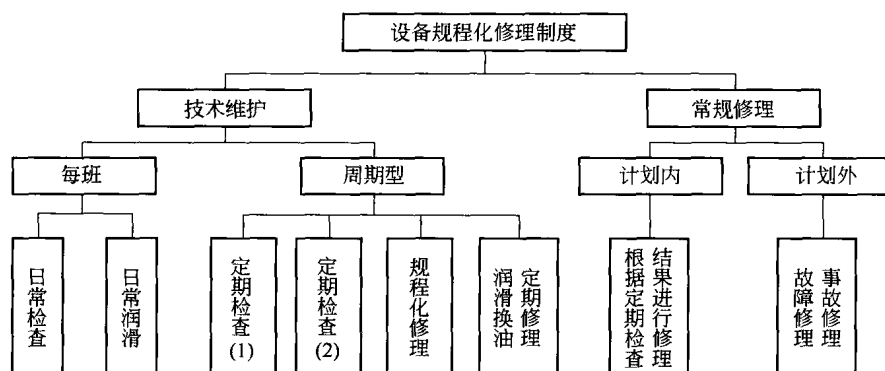


图 1-1 技术维护与修理制度结构示意图

(4) 设备修理工作集中化与专业化。设备修理由跨部门的专业化修理企业、行业(或地区)专业化企业、大型企业修理厂共同进行。此外,前苏联还注意采用状态检查、监测技术、故障理论、计算机等新技术。值得注意的是,计划预防修理制度的实施支柱——修理周期结构和修理复杂系数仍未改变。

### 1.1.2 英国设备综合工程学

20 世纪 70 年代初,英国的丹尼斯·巴库斯(Dennis Parkes)提出了设备综合工程学。此后,经欧美、日本等国家不断的研究、实践和普及,成为一门新兴学科。

1974 年,英国工商部给设备工程下的定义是:为了追求经济的周期费用,而对有形资产的有关工程技术、管理、财务以及其他实际业务进行综合研究的学科。它是一门以设备一生为研究对象,以提高设备效率、使其寿命周期费用最经济为目的的综合学科。其主要特点:(1)以寿命周期费用作为评价设备管理的重要经济指标,并追求寿命周期费用最经济;(2)强调对设备从工程技术、工程经济和工程管理三方面进行综合管理和研究;(3)进行可靠性和维修性设计,综合考虑设置费与维修费,使综合费用不断下降,最大限度提高设备效率;(4)强调发挥有形资产(设备、机械、装置、建筑物、构筑物)即设备一生各阶段机能的作用;(5)重视设计、使用和维修的信息反馈,实现设备一生系统的管理。

设备综合工程学的创立,开创了设备管理学科的新领域,从理论方法上突破了设备管理的狭义概念,把传统的设备管理由后半生扩展到设备一生的系统管理,并协调设备一生的各个环节,有目的地系统分析、统筹安排、综合平衡,充分发挥各环节的机能,实现设备寿命周期最经济。

为了推进设备综合工程学的应用和发展,英国成立了国家设备综合中心及国家规模的可靠性服务系统;开展以可靠性为中心的维修,更加注重可靠性和维修性设计;把节能、环保和安全作为设备综合工程学的新课题。经过多年的实践和完善,已取得了明显效果,带来了较好的经济效益。

同时,在巴库斯先生的倡议下,成立了“欧洲维修团体联盟”,该团体每两年召开一次欧

洲设备管理维修会议，近年来，中国每次均派代表团参加。会议宗旨是开展各国设备管理实践、维修技术的交流，促进设备综合工程学的推广和发展，帮助发展中国家培养设备工程人才。

### 1.1.3 日本全员生产维修管理制度

日本全员生产维修（Total Productive Maintenance, TPM）是从 20 世纪 50 年代起，在引进美国预防维修和生产维修体制的基础上，吸取了英国设备综合工程学的理论，并结合本国国情而逐步发展起来的。

日本设备工程协会对全员生产维修下的定义：以提高设备综合效率为目标；建立以设备一生为对象的生产维修系统，确保寿命周期内无公害、无污染、安全生产；涉及设备的规划、使用和维修等所有部门；从企业领导到生产一线工人全体参加；开展以小组为单位的自主活动，推进生产维修。

全员生产维修追求的目标是“三全”，即全效率——把设备综合效率提高到最高；全系统——建立起从规划、设计、制造、安装、使用、维修、更新直至报废的设备一生为对象的预防维修（PM）系统，并建立有效的反馈系统；全员——凡涉及设备一生全过程所有部门以及这些部门的有关人员，包括企业最高领导和第一线生产工人都要参加到 TPM 体系中来。全员生产维修是日本式的设备综合工程学，有自身的特点：

- （1）重视人的作用，重视设备维修人员的培训教育以及多能工的培养；
- （2）强调操作者自主维修，主要是由设备使用者自主维护设备，广泛开展“5S”活动，通过小组自主管理，完成预定目标；
- （3）侧重生产现场的设备维修管理；
- （4）坚持预防为主，重视润滑工作，突出重点设备的维护和保养；
- （5）重视并广泛开展设备点检工作，从实际出发，开展计划修理工作；
- （6）开展设备的故障修理、计划修理工作；
- （7）讲究维修效果，重视老旧设备的改造；
- （8）确定全员生产维修的推进程序。

自全员生产维修推广以来，发展迅速，效果显著。在日本，全员生产维修的普及率已到 65% 左右，使很多企业的设备维修费用降低 50%，设备开动率提高 50% 左右，在国际上的影响也逐渐扩大，已有十多个国家引进、研究 TPM 的管理制度。

近年来，全员生产维修又有了新发展，主要有以下几个方面：

（1）更加重视操作者自主维修。全员生产维修的目标是“通过改善人和设备的素质改善企业素质”来实现的。机器人化、自动化、柔性化等所谓工厂自动化（Factory Automation, FA）的发展，必须培训适应 FA 时代要求的关键人员，即为自动化设备配备能手，应做到：操作人员要学会自主维修的本领；维修人员应提高维修机械电子设备的本领；设计制造人员使自动化设备不断接近“无维修设计”。为了在改善人的素质的同时改善设备的素质，要做到：靠改善现有设备的素质提高设备效率；把通过改善现有设备素质所取得的经验和信息收集起来，向设备的规划阶段反馈，以期实现设备寿命周期费用设计与配置的改善。

（2）提高设备效率。日本就设备现场管理提出提高设备效率，是指如何从时间和质量两方面掌握设备的开动动态，增加能够创造价值的时间和提高设备的产量。其手段有：从时间上增加设备的开动时间；从质量上增加单位时间内的产量，即通过减少废次品来增加合格品的数量。

提高设备效率的最终目标是如何充分发挥和保持设备的固有能力，即维持人-机的最佳状态——极限状态，也就是“使故障为零，使废次品为零”的人-机极限状态。影响设备效率的提高有六大因素，表 1-1 汇总了六大损失的改进目标。

表 1-1 六大损失的改进目标

| 序 号 | 损失类型      | 目 标  | 说 明                                                       |
|-----|-----------|------|-----------------------------------------------------------|
| 1   | 故障损失      | 0    | 所有设备的故障损失都必须为零                                            |
| 2   | 工装模具调整的损失 | 时间极少 | 尽量用较短的时间完成                                                |
| 3   | 速度损失      | 0    | 要使加工速度与设计速度之差变为零，而且通过改进，实现超过设计速度的目标                       |
| 4   | 小故障停机的损失  | 0    | 有程度的差别，但要控制在百万分之几（如 $10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ ）的范围内 |
| 5   | 废次品及返修的损失 | 0    |                                                           |
| 6   | 调试生产的损失   | 时间极少 |                                                           |

在全员生产维护中，不是仅仅以故障为对象，其最终目的是通过提高与设备效率有关的时间开动率、性能开动率、合格品率等所有因素，来提高设备效率，一般可用下式表示：

设备效率 = 时间开动率 × 性能开动率 × 合格品率 (1-1)

其中：

时间开动率 = (负荷时间 - 停机时间) / 负荷时间 (1-2)

性能开动率 = 净开动率 × 速度开动率 (1-3)

净开动率 = 加工数量 × 实际加工周期 / (负荷时间 - 停机时间) (1-4)

速度开动率 = 理论加工周期 / 实际加工周期 (1-5)

合格品率 = 合格品数 / 加工数量 (1-6)

(3) 推行质量维修。质量维修就是为了确保设备和加工件的完全合格，必须树立保持设备完好这一基本观念。规定不产生质量不良的设备条件，对这些条件进行点检和测定，通过确认这些确定值在标准值之内以预防质量不良，通过观察测定值的变化预知发生质量不良的可能性并采取对策。图 1-2 表示质量维修的基本概念，规定不生产不良品的设备条件，培养具有管理能力的操作者，同时通过管理防止产生不良品的条件，达到消灭不良品的目的。

(4) 开发自制专用设备，推行设备一生管理。从设备综合工程学的观点出发，为了使设计、制造和使用相结合，真正推行对设备一生的管理，其途径之一是自制设备。

(5) 进一步发展维修业。随着企业经营环境的变化，设备维修部门所处地位日益提高，随着设备自身素质和量的变化，设备维修技术也需有质的变革，要求设备维修能尽快有质的转变。设备维修主要发展方向为：1) 向预防维修过渡的设备诊断技术将日益扩展，努力开发成本低、性能好的设备仪器，开发设备诊断技术的适用范围，准确预测部件寿命，提高设备可靠性，向预防维修过渡；2) 研究确定维修效果的定量评价方法；3) 推进计算机维修计划管理，提高维修管理水平；4) 开发设备维修的新技术；5) 以预防维修体制为基础，建立综合设备维修管理体系；6) 进一步普及和推进 TPM 的思想和观点。

1.1.4 美国后勤工程学

20 世纪 40 年代起，美国就开始实施设备预防维修，为提高维修经济效益，50 年代开始对维修方式的研究，形成了生产维修体制，并提出了设备可靠性、维修性设计及寿命周期费用等基本思想。

后勤工程学是美国 20 世纪 60 年代在经典军事后勤学的基础上，汲取寿命周期费用、可靠

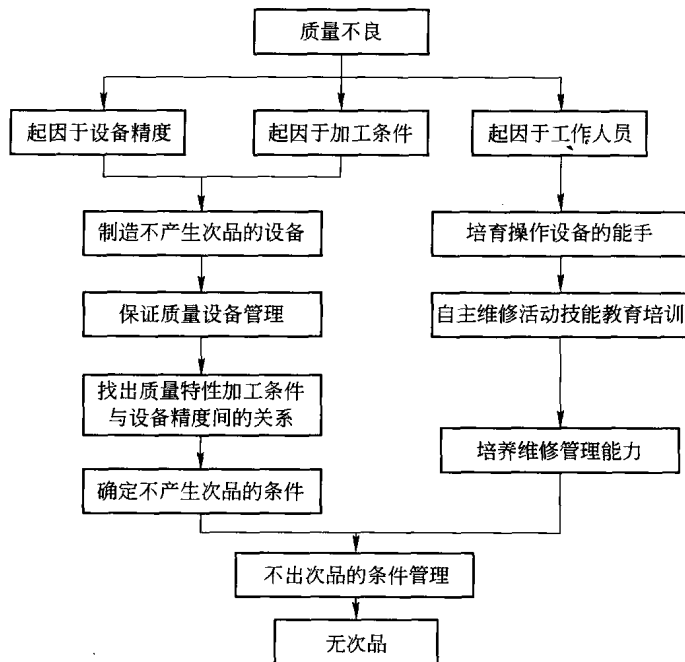


图 1-2 质量维修的基本概念

性及维修性等现代理论而发展形成的。后勤工程学是为满足某种特定的需要而设计、开发、供应和维修各种装备、设施或系统的全部管理过程，并研究系统或装备的功能需要与有效度、可靠性、寿命周期费用之间最佳平衡的学科。

按照后勤工程学的基本思想，在设计制造设备（或系统）之时，应同时考虑向设备的用户提供以下支持的问题：（1）提供操作、使用、管理方面的指导性文件；（2）提供设备维修保养措施；（3）提供适时、方便的备品备件；（4）为用户培训操作、维修、管理方面的人员；（5）提供设备可靠性、维修性和服务年限的科学实验数据。

后勤工程学的任务领域比英国设备综合工程学、日本的全员生产维修更广。后勤工程学主要是从系统（或设备）的设计制造出发，考虑到设计制造及其后的运行使用等各方面（即所谓的后勤支援）；设备综合工程学虽然仅针对设备本身，但其管理涉及从设计制造到设备使用维修的全过程；全员生产维修则主动积极地进行设备的维修，从而提高生产效率。

后勤工程学与设备综合工程学侧重管理理论的研究，注重整体的设备管理效益，全员生产维修主要是一种管理制度与方法，侧重企业生产维修为主体的微观管理，但是，这三者的目标是一致的，都是追求系统（或设备）的寿命周期费用最经济。三者的关系如图 1-3 所示。

### 1.1.5 瑞典预防性维修体系

瑞典的设备预防性维修是从预防医疗的观点出发，对设备的异状进行早期诊断、早期治疗，以状态为基准安排各种方式的计划维修，以达到最高的设备可利用率和最低的维修费用。其维修体系的发展大约经历了事后维修、预防性维修和以状态为基准的预防性维修三个阶段。而预防性维修的组织体系主要是由社会化的维修中心和企业的维修体系两部分组成。如瑞典的依德哈马维修咨询公司（Idhammar Konsult）就是有影响的专业化维修企业，对瑞典的维修社会化和现代化企业发展起了很大的作用。瑞典预防性维修理论的主要特点为：

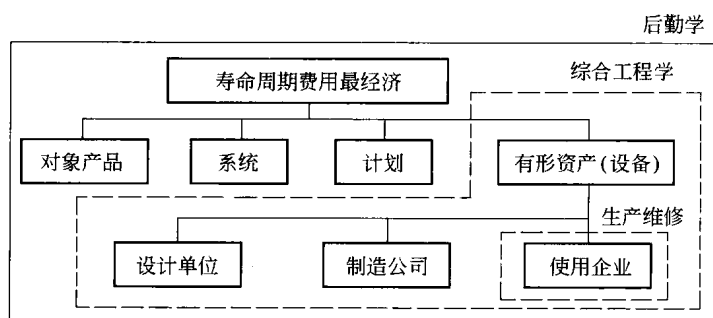


图 1-3 后勤学、设备综合工程学、生产维修三者关系

(1) 重视设备可靠性的研究。设备的可靠性由功能可靠性、供应保证和设备维修性三方面因素组成，并用设备可利用率  $A$  衡量设备可靠性：

$$\text{设备可利用率}(A) = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MWT + MTTR} \quad (1-7)$$

式中  $MTBF$ ——平均间隔故障时间；

$MDT$  ——平均停机时间；

$MWT$  ——平均等待时间；

$MTTR$ ——平均修理时间。

(2) 重视寿命周期费用的研究。瑞典设备维修保养协会伍尔曼教授对设备寿命周期费用中的各阶段费用做了分析研究，其分布规律如图 1-4 所示。图中曲线所包围的总面积即为寿命周期费用。瑞典维修专家克德斯特·依德哈马 (Christer Idhammar) 进一步论述了设备设置和使用两阶段对设备寿命周期费用影响的规律 (图 1-5)。如在设计阶段就考虑提高设备的可靠性和维修性，设备的寿命周期费用即按曲线  $A$  形式发展，反之，则按曲线  $B$  发展。如要延长设备的技术寿命，就需各种维修保养、改装等，寿命周期费用就按曲线  $C$  发展。所以设备在规划设计时必须考虑维修因素，以求得经济的寿命周期费用。

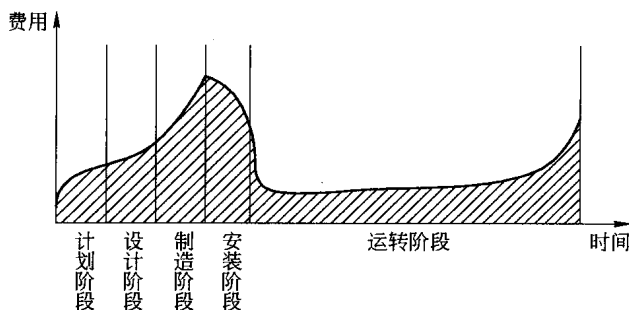


图 1-4 设备寿命周期费用

(3) 开展维修人机工程学的研究。从人机工程学的角度出发，瑞典开展了对维修业的工作环境、工作条件、劳动强度、设备安装位置等的研究，为设备管理和维修开创了新路。目前，瑞典预防维修体系已进一步取得了发展和完善，并在几十个国家传播，产生了深远的影响并取得成效。

目前，发达国家设备管理的发展中有代表性的是日本全员生产维修 (TPM) 的发展和欧洲维修团体联盟对设备综合工程学的深化拓展。TPM 已在全世界范围内产生了较大的影响，TPM