

以人为本的维修

——人类工效学在维修中的应用

吴当时 戚菊芳 董和敏 编著

 中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

本书阐述人类工效学“以人为本”的核心理念和基本原则,分析现代维修的特点,在此基础上全面论述维修操作失误管理和设备维修性人类工效学设计,对维修操作失误和有意违章的诱因及其防范措施作了较为深入的剖析,旨在实现既安全又方便有效的维修。

以各行各业都十分关心的维修为实例,把人类工效学与操作管理具体而又紧密地结合起来,把人类工效学与设备维修性设计具体而又紧密地结合起来,这是本书的一个特色。实际上这两方面不仅适用于维修领域,它具有相当大的普适性。

本书注重基本概念的阐述,注重实用性,不仅可供维修设计人员、维修管理人员和广大维修技术人员使用,对运行人员、运行管理人员和各类设备的设计人员也有很大参考价值,也可供高等院校相关专业师生和人类工效学研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

以人为本的维修——人类工效学在维修中的应用/吴当时,盛菊芳,童和钦编著. —北京:中国电力出版社,2006

ISBN 7-5083-3694-1

I. 以... II. ①吴... ②盛... ③童...
III. 工效学-人机工程-人因工程应用-设备-维修
IV. TB18

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第129042号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006年3月第一版 2006年3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.25印张 406千字

印数 0001—2500册 定价 29.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

以人為本的維修

梁東



以人为本的维修

——人类工效学在维修领域的应用

序

人类工效学在我国是一门比较新兴的边缘学科，它是研究如何做到各种工作系统中机器和环境与在其中工作的人相互适应、以提高人的工作效绩并达到系统整体协调的工程学科之一。人类工效学的研究和应用已经在我国各个领域逐渐开展起来，也出版了不少有关书籍。然而，专门研究人类工效学在维修领域应用的书，目前我国还比较少见。

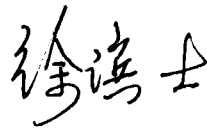
设施或设备是现代各行各业进行生产的主要工具，是创造物质财富的重要手段。设施或设备的正常运转，大多数都离不开维修。同时，在当前经济技术条件下，设施或设备的维修都还不容易完全自动化或无人化，仍然离不开人的直接参与，维修环境又相对较差，对维修人员的要求相对较高。即使是迅速发展的信息产业或高度现代化的机器人和航天飞机，也不例外。

对于那些没有专门进行维修性设计和维修性人类工效学设计的设施或设备，往往会使维修作业人员难于进行维修工作，或维修效率低下，甚至容易出现维修事故。因而，维修中人的失误，特别是维修操作失误，就不但是影响“及时、安全、快速、有效、经济”维修的主要因素，甚至可能成为设备日后运行出现故障的重要因素。

本书编著者抓住了如何使维修工作更安全、更有效这个主题，从分析现代维修特点开始，阐述并运用人类工效学以人为本的核心理念，分析了维修操作失误的方方面面，根据工作系统是人——机器——环境系统、它必须整体协调的思想，按照加强对维修操作失误的管理和实施维修性人类工效学设计这两条主线，对这个问题展开了比较具体的论述。有自己的见解，也有具体建议。

相信此书的出版，对从事各行各业的维修人员减少维修失误、提高维修有效性和效率会有帮助。

中国工程院 院士
中国设备管理协会 副会长



二〇〇五年八月二日

前 言

奉献在读者面前的这本《以人为本的维修》，用了“人类工效学在维修中的应用”做副标题，是我们多年来学习、运用人类工效学（或“人因工程学”）观察、分析现代维修问题的一个尝试。

维修，作为维护与检修的统称，不论是名词、形容词还是动词，是人们日常生活中到处可以遇到的一个词语。在实际生活中，凡是人所设计、制造、为人所用的物件，只要不是一次性物品，不是无故障时间趋于无穷大的物件，大多是要进行维护或维修才能保持其继续可用的。在企业中，特别是大型工业企业，如何实现设备或设施的及时、快速、安全、有效、经济的维修，直接影响到企业的生存，已经日益成为人们关注的热点问题。

20年前，笔者之一从事“核电厂异常事件数据库”的研究开发，接触到大量的电厂异常事件报告和事故报告，看到许多异常事件和事故是由于维修中的失误造成的。这不仅导致了严重的经济损失，甚至导致了人员伤亡。之后，笔者一直关心、收集这方面的资料，思考维修失误与运行安全的关系。

我们在学习人因工程学（Human Factors Engineering，或 Human Factors，如译为“人素工程学”也许更好）并将之应用于大型电厂安全研究的过程中，对人的失误，尤其是人的操作失误，有了进一步的体会。而在我们看到的诸多有关人失误的论著中，关于维修中人失误的研究相对比较少。然而，各行各业都离不开维修，而且在当前情况下，设施或设备的维修都很难自动化或无人化，离不开人的直接参与，维修环境也相对较差，因而维修中人的失误，特别是维修操作失误，不但是影响“及时、安全、快速、有效、经济”维修的主要因素，甚至导致设备日后运行中出现故障或事故。

这就促使我们萌发了如何运用人因工程学（或人类工效学）研究维修问题并编写一本书的想法，最终形成了这本《以人为本的维修》。

我们并不想全面论述现代维修工作或现代维修管理，也没有论述维修如何全面实现“及时、安全、快速、有效、经济”的要求，而只侧重于考虑安全、快速、有效。我们只是想阐述一种思想、一种认识、一种理念，即从人的个性生理、心理特性和社会心理特性来认识人的操作失误（包括违章），操作失误是很难完全避免的，但是它是可认识的、可管理的，可以把操作失误的风险控制在可接受的水平，因此必须用系统的观点来分析维修操作失误的原因，而不能把维修操作失误的原因只归结为操作者本人，必须用系统工程的方法来控制维修操作失误的风险。基于上述理念的维修管理和设备的维修性人因工程学设计（或称之为维修性人类工效学设计），可为维修操作者创造一个适宜于维修人员的既安全又

全又方便、有效的维修条件。我们把它归结为“以人为本”的维修。

说到这里，不得不对我们在考虑使用学科名称时所遇到的尴尬，以及我们为什么最终选用“人类工效学”作为学科名称，再多讲几句。在我国核电工业领域，人们已经习惯于“人因工程学”这个名称，但是在国内其他工程技术领域，尽管还是对这一学科的研究和应用，却往往使用了不同的学科名称，如：人机工程学、人一机器—环境系统工程学、人的因素（或“人为因素”）、人类工效学（或“工效学”）、人素工程学，等等。我们觉得，维修既然是涉及各行各业的，作为它所应用的一门工程技术学科，其名称最好是各行各业都易接受、都能熟悉的才好。经过反复推敲，我们觉得这门学科是以提高人类工作绩效（Human performance enhancement）为主要目的和中心内容的，所以用“人类工效学”似乎就能够更直接、更全面地概括本学科的目的和内容。

这样，我们最终选用了“人类工效学”作为学科名称。不同的读者可以按照自己的习惯，把我们书中的“人类工效学”理解或置换为“人机工程学”、“人因工程学”、“人的因素”“人一机器—环境系统工程学”等等，都是可以的。

本书分六个部分，共23章，外加9个附录。

第一部分是概论，分析了现代维修的特点和人类工效学以人为本的理念（由吴当时、盛菊芳执笔），第二部分着重叙述与维修有关的人的个性生理、心理特性和社会心理特性，作为研究维修操作失误和维修性人类工效学设计的基础，第三部分从维修管理的角度，用人类工效学原则对维修操作失误和有意违章进行了分析，提出了基本管理理念和管理方法（这两部分由盛菊芳、吴当时执笔），第四部分叙述进行维修性人类工效学设计的原则和方法（由吴当时、童和钦执笔），第五、第六部分则是从便于维修、控制维修操作失误出发，而对硬件和计算机软件的维修性人类工效学设计作补充论述（由童和钦执笔）。最后由吴当时、盛菊芳统稿。

我们的分析和论述，主要是针对现代复杂的社会经济技术系统的，如大型电厂、大型化工厂、钢铁厂、飞机、船舶等的维修，但是对其他的维修工作乃至运行安全工作也有借鉴作用。

我们希望，这本书不仅会吸引广大的维修工作者，特别是维修领域的领导和管理者来共同探讨人类工效学在维修工作中的应用，更希望广大的从事各种设备与设施的设计工作者，特别是设计领域的领导和管理者来共同探讨人类工效学在维修性设计中的应用，因为正是他们首先承担着为第一线维修人员创造优良作业条件的责任。

当然，所有关心人类工效学应用的同行们也可能会对这个问题感兴趣，我们热切希望他们共同来探讨这个问题，并提出宝贵的意见。

编写这本书的过程，是我们不断学习的过程。受我们的知识、经验、精力所限，我们的论述很可能有许多不适当的地方，错误、疏漏在所不免，诚恳地希望广大读者和同行们批评指正，我们今后还将继续学习研究。

以人为本的维修，实际上是个很大的题目，有许多问题我们还来不及研究。但是我们认为：现代维修工作，更需要人们从理解、关怀、尊重第一线维修人员出发，尽可能为他们创造适宜的作业条件，便于他们能够更好地工作。在现代经济技术的发展

情况下，这是有可能做到的。在今后日益发达的社会、人文、经济、技术条件下，更需要朝这个方向发展。因此，我们希望能够继续学习研究，根据“以人为本”的理念，从更深入了解、关心、研究、改善维修领域第一线工作人员作业条件入手，探讨提高维修作业中人的工作效绩、减少维修失误，从而促进整个维修工作实现更高的安全性与更高的效率。

在本书的编写过程中，我们得到苏州热工研究院院领导的指导和大力支持，得到《电力安全技术》杂志编辑部的大力支持，得到原能源部核总工程师办公室主任丁玉佩教授级高级工程师和南京电力自动化研究院童时中教授级高级工程师的关心和多方帮助，得到南华大学人因工程研究所所长张力教授的大力支持。还得到原天津电力局总工程师魏承谟教授级高级工程师的关心和大力支持，他仔细阅读了全书，提出许多宝贵意见，为本书写了“读议（书评）”。尤其是中国工程院院士、中国设备管理协会副会长、国家产学研设备工程开发中心主任徐滨士教授在百忙中为本书写序。借此机会，我们向他们表示衷心的感谢。

我们查阅、参考的大量国内外有关的文献资料和书籍，使我们受益匪浅，在书中我们引用了其中不少论点、数据和资料，在此我们无法一一列举，谨向这些文献资料和书籍的作者、编者，表示衷心的感谢。

好友梁东，中国书法家，原煤炭部办公厅主任、教育司司长，欣然命笔为本书题写书名，使本书增色，我们也表示衷心的感谢。

编著者

2005年8月



序

前言

第一部分 概论	1
第一章 现代维修	2
§ 1.1 维修工作的重要地位	2
§ 1.2 现代维修概念	3
§ 1.3 维修活动的类别	4
§ 1.4 现代维修工作的特点	6
第二章 人类工效学和以人为本	11
§ 2.1 学科的命名、定义和在我国的发 展情况	11
§ 2.2 人类工效学的基本观点和方法	12
§ 2.3 人类工效学在维修中的应用	17
第二部分 维修中人的因素	19
第三章 了解人——人的生理特性和个性心理特性	20
§ 3.1 人的感官特性	20
§ 3.2 人的反应时和反应准确性	23
§ 3.3 记忆与遗忘	25
§ 3.4 注意	27
§ 3.5 思维	30
§ 3.6 定势	31
§ 3.7 人体生物节律	31
第四章 理解人——人的个性—社会心理	34
§ 4.1 能力	34
§ 4.2 气质	36
§ 4.3 性格	37
§ 4.4 需要、动机与行为	38
§ 4.5 态度和习惯	41
§ 4.6 人际沟通	43
§ 4.7 从众与服从	44
第五章 关怀人——别让疲劳积累	46
§ 5.1 疲劳及其产生和积累过程	46

§ 5.2	影响操作者疲劳的因素	47
§ 5.3	疲劳的特性	47
§ 5.4	疲劳的消除和防止	50
第三部分	维修管理	55
第六章	人的不可靠性——维修操作失误	56
§ 6.1	人的失误	56
§ 6.2	关于人失误的基本理念	58
§ 6.3	维修中导致操作失误的因素	60
§ 6.4	把操作失误的风险减至最少	70
第七章	人的不可靠性——违章	73
§ 7.1	违章普遍存在的原因	73
§ 7.2	违章的性质	73
§ 7.3	对有意违章者的心理活动的剖析	75
§ 7.4	违章的特点和危害性	79
§ 7.5	违章的管理	82
第八章	提高系统可靠性——按岗位需要招聘维修人员	87
§ 8.1	招聘合适的维修人才	87
§ 8.2	维修人员招聘的方式方法	90
第九章	不断提高人的可靠性——培训	93
§ 9.1	维修人员全面培训的重要性	93
§ 9.2	现有企业维修人员培训普遍存在的问题	93
§ 9.3	培训的基本理念	95
§ 9.4	维修人员培训的基本内容	97
§ 9.5	根据成人学习心理进行培训	99
§ 9.6	培训类型	100
§ 9.7	培训方式	102
§ 9.8	结语	105
第十章	不断提高系统的可靠性——经验反馈	107
§ 10.1	事前评价	107
§ 10.2	事后分析	110
§ 10.3	总结推广良好实践	111
§ 10.4	基于人类工效学原则的维修人因事件数据表 (HFMEA 数据表)	113
第四部分	维修性人类工效学设计总论	119
第十一章	维修性人类工效学设计	120
§ 11.1	维修性设计和维修性人类工效学设计	120
§ 11.2	维修性人类工效学设计导则	121
§ 11.3	维修性人类工效学设计大纲的格式	126
第十二章	维修工作空间的人类工效学设计	134

§ 12.1	概述	134
§ 12.2	人体尺寸数据及其应用	135
§ 12.3	工作场所的布局要便于维修工作	143
§ 12.4	受限空间的设计要合理	148
§ 12.5	两级平面间的通道	149
§ 12.6	维修车间的布局和其他必需设施的安排	152
第十三章	维修环境的人类工效学设计要求	154
§ 13.1	照明环境	154
§ 13.2	噪声和振动环境	157
§ 13.3	微气候环境	161
第十四章	维修安全的人类工效学问题	169
§ 14.1	树立正确的安全概念	169
§ 14.2	培育维修人员的安全意识	171
§ 14.3	防止维修中各类设备对人造成伤害	172
§ 14.4	采用安全防护装置	174
§ 14.5	个人用防护装备	176
§ 14.6	安全告警与安全标志的设计	176
§ 14.7	安全距离的采用	178
第十五章	维修规程的人类工效学导则	181
§ 15.1	维修规程规范化的重要性	181
§ 15.2	建立维修规程管理体系和管理制度	181
§ 15.3	遵循制定规程的主要步骤	182
§ 15.4	统一规定维修规程的构成要素	184
§ 15.5	重视文本编写的各方面细节要求	185
§ 15.6	最大限度地使用维修员辅助手段	191
第五部分	计算机软件维护性人类工效学设计	193
第十六章	软件维护的特点和软件维护性	194
§ 16.1	计算机软件维护的概念	194
§ 16.2	计算机软件维护的特点	194
§ 16.3	软件维护环境	197
§ 16.4	提高软件维护性的一般方法	198
§ 16.5	计算机软件维护性的人类工效学要求	199
第十七章	软件维护性设计原则与要求	201
§ 17.1	系统结构与维护性	201
§ 17.2	用户界面和人机对话系统的人类工效学设计	203
§ 17.3	软件编码原则与要求	204
§ 17.4	软件程序的错误控制	205
§ 17.5	软件文档的编写要求	206

第十八章 软件维护管理	208
§ 18.1 软件维护管理的主要方法	208
§ 18.2 软件维护的控制和组织	210
§ 18.3 软件文档和软件质量的管理	212
第十九章 软件维护性评估准则	214
§ 19.1 易理解性准则	214
§ 19.2 适用性准则	215
§ 19.3 易修改性准则	216
§ 19.4 易测试性准则	217
§ 19.5 可移植性准则	218
§ 19.6 可靠性准则	218
第六部分 硬件维修性人类工效学设计	219
第二十章 可达性设计	220
§ 20.1 概述	220
§ 20.2 维修中的视觉可达性	221
§ 20.3 安装场所的可达性	222
§ 20.4 机器的外部可达性	222
§ 20.5 机器的内部可达性	225
第二十一章 可操作性设计	227
§ 21.1 人力提举或搬运物体的重量限制	227
§ 21.2 手动操纵器的设计要求	228
§ 21.3 适于维修的组装方式	229
§ 21.4 便于调整和校正的设计	231
§ 21.5 便于测试与诊断的设计	233
§ 21.6 维修用工具和设备的设计	236
第二十二章 防错容错设计	238
§ 22.1 防错容错设计对维修的意义	238
§ 22.2 防组装差错设计	239
§ 22.3 防操作差错设计	240
§ 22.4 防差错的提示技术	241
§ 22.5 防差错的标志设计	242
§ 22.6 冗余技术	245
§ 22.7 反馈技术	246
§ 22.8 自动保护技术	246
§ 22.9 显示器、控制器编组和编码技术	248
第二十三章 标准化设计与模块化设计	251
§ 23.1 标准化设计	251
§ 23.2 模块化设计	254

附录	259
A.1 常规性保养的设计要求	260
A.2 战场抢修性设计要求	261
A.3 便于在线损伤修复的设计要求	263
A.4 不工作状态下的维修性设计要求	264
A.5 以可靠性为中心的维修（简介）	266
A.6 寿命周期费用管理（简介）	268
A.7 美国—加拿大 2003 年 8 月大面积停电事故	269
A.8 维修工作系统的人类工效学评价项目检查单	270
A.9 计算人体三节律状态的方法	271
参考文献	274
读议（书评）	276

以人为本的维修

中国劳动社会保障出版社



第一部分

概 论

现代人类生活和生产离不开对所用设备的维修。

在目前的社会经济技术条件下，维修作业还比较难于完全自动化、无人化，离不开人的直接参与，作业的突击性、时间性强，作业的潜在风险性大，维修人员的作业条件又往往比较艰苦。因此，如何“以人为本”来改善维修人员的工作条件，提高维修人员工作的有效性和效率，就是现代维修面临的一个重要问题。

人类工效学以人的因素为第一要素，强调在设施和设备的设计中，要全面考虑维修人员的生理、心理特性及其限制，使机器和作业环境都适宜于人的工作，也强调人要适应作业需要，达到人—机器—环境系统整体协调，从而实现安全、有效地完成维修任务。因此，将人类工效学应用于维修是解决上述问题的一个途径。

第一章

现 代 维 修

§ 1.1 维修工作的重要地位

1.1.1 任何设施和设备都离不开维修

很久以来,维修一直被认为是“修修补补,敲敲打打”的工匠活,是简单的手工劳动。比起生产设施或设备的运行来,维修总是处于次要的附属的地位。

但是,随着人们需要的提高和科学技术的发展,各种生产用的和生活用的设备越来越先进,越来越复杂,情况有了很大的变化。

在当今世界,持续运行的高度机械化、自动化甚至数字化的生产企业,不断为人类创造巨大财富;时刻不间断的供电、供水和通信等公用设施,正点运行的火车、公共汽车、飞机航班等运输设备,人们起居不离的房舍、道路等建筑设施,……都为人们的生产和生活提供了极大的便利。对于这样一些大型的复杂的社会技术系统,设施和设备的运行或使用所带给人们的福利,人们是时刻感觉到的,因而对它们的运行正常和使用方便也就十分关心。人们首先是千方百计设法使各种设施或设备本身不产生故障。但是在设施和设备的使用和运行过程中,由于磨损、腐蚀、振动、老化、运行环境变化以及不正确的操作(这一点常常被忽略)等因素,必然导致设施或设备性能下降,甚至发生故障,不能满足运行和使用的要求。

当设备或设施发生严重故障时,不仅物质财富遭到破坏,服务被中断,人们的工作、生活受到影响,甚至人民生命都会受到威胁,生态环境也可能遭到破坏。

因此,在设施或设备运行中就应该设法检测其性能有何变化,一旦发现其性能下降时,就必须通过维修来恢复其性能,以保持设施或设备的正常运转和方便使用。若设施或设备发生了故障甚至严重故障,这时为恢复并保持其可用性,就更离不开维修。

即使是迅速发展的高度自动化的信息产业、机器人或航天飞机,也始终离不开维修。可以说,凡是人类设计、制造的任何设施和设备,只要不是一次性使用即予废弃的,或者还没有做到无故障时间趋于无穷大的,在其为人类所用、为人类服务的使用寿命内,都是需要不断进行性能监测并适时进行维护的,出了故障就需要及时修理的。也就是说,要保持其长期正常运行或方便使用,就一时一刻都离不开维护与检修,即维修。所以维修工作现代社会生活中占有非常重要的地位。

就我国目前情况看,从国外引进的复杂设备,维修力量往往成为决定该设备能否正常运行的重要因素。因此,在我国引进先进高科技设备时,人们担心的常常不是运行人员的能力,而是维修人员的水平。因为凭着以往的运行经验,运行人员在短期的培训之后,一般能很快学会运行,但是一旦出现故障,若维修力量薄弱,就只好到国外返修或更

换零部件,既降低了设备使用率,又大大增加了成本。

然而,在有些工业部门,由于重视维修工作,注意掌握现代维修技术,我们的维修人员技术水平很高,能够独立解读、排除所辖范围内设备的故障,甚至排除了当时外国专家已认定为排除不了而必须送到国外返修的故障。例如,我国引进苏二七飞机时,就是依靠我军航空维修人员的维修能力,独立排除了故障,还总结了不少经验。

1.1.2 人们对维修重要地位的认识是逐步加深的

人们对维修的重要地位和复杂性的认识,是随着生产规模、生产技术的发展而逐步加深的。

对于生产规模不很大、生产技术不太复杂的设施或设备,在既定的设计和运行条件下,人们总是通过经常的性能检测和比较简单的日常维护以及对故障的即时修理来保障设施的高效运转和有效服务。一般说来,检测、维护与修理确能以较少的资源消耗及时获得与购买新品同等或相近的性能。

然而,对于上述各种大型的复杂技术系统来说,随着设备或设施的数量、种类及其设计复杂程度日益增加,维修的难度也越来越大,维修牵涉到的专业面也越来越广,维修活动越来越多种多样。即使是一个具体设备的维修,也常常是机、电、控制交织在一起,物理作用、化学作用相互影响,软件、硬件、软件都不可少。

同时,近几十年来,维修技术飞速发展,在高科技工业领域的维修,如航天维修、航空维修、核电厂维修等,早已从以个人为主的“经验型维修”发展到了“技术型维修”,并且正向更高的“智能型维修”发展。所谓“智能型维修”就是维修工作的进行是基于人的智慧、技能和经验等在人脑和电脑中的高度融合,包括利用互联网等技术,使高度智能化的机器按照人的意旨自动化地检测、诊断并进行维修工作。这当然是美好的远景。

在这样的大背景下,对于大型的复杂的社会技术系统来说,就需要对维修做预先、全面的考虑和充分的物质准备。而在维修过程中,不但需要先进的维修技术、维修设备,还需要进行精心的组织、指挥。最后,还要做好收尾复原工作。对维修结果,要进行认真的检查验收。维修于是便成为一项系统工程。

这样,就逐渐形成了现代维修概念,维修工程学也应运而生。

§ 1.2 现代维修概念

维修是维护与检修的统称,检修包括检测与修理等。人们对维修认识不断深化的过程,至今仍在不断继续。

如果现在要用一句话来定义维修,那就是:维修是为保持、恢复或改善设施或设备的规定技术状态而进行的全部活动。

这是一个非常广泛的现代维修概念。

(1) 按照这个概念,设备不仅应能完成规定功能,而且应保持在规定的技术状态。对设备的维护和检修,早已从随机被动的出了故障才赶紧检修的状态,发展到以“预防为主”的计划检修,即“预防性维修”,并随着状态监督和诊断技术的不断进步,正向“预

知性维修”过渡，而随着计算机和互联网技术、智能检测仪器和工器具等的发展，“智能维修”也在积极酝酿之中了。维修已从单纯为了预防发生设备故障或事后排除设备故障，发展到了通过维修以局部改善设施或设备性能，提高系统、设施或设备的可用率以及方便使用。维修的全部活动，既包括技术性活动，如检测、隔离故障，更换或修复零部件，拆卸，安装，校正，调试等，又包括管理性活动，如维修时间与频度的控制、维修人员的组织与调度、维修物资的准备与管理等。

(2) 随着现代化技术系统越来越复杂，维修问题不仅在设备的使用阶段重要，如现在巨型飞机飞行时不仅要有驾驶员岗位，还必须设有负责维修的空中机械师岗位，而且对维修的考虑已经逐渐外延到设备的设计阶段和设备的储存阶段，贯穿于设备研制、服役的全过程。

也就是说，维修已经成为一个需要在工作系统的设计阶段就加以充分考虑和处理，而在后续的各阶段都要继续考虑和处理的问题。

(3) 在现代大型工农业技术领域中，企业的维修部门不再只是企业的后勤保障部门，而且已经是重要的支柱部门；不再是生产运行部门的附属单位，而逐渐发展为与生产运行部门并行的独立部门了。维修工作不再处于附属地位。

(4) 维修部门首先要有一支优秀的维修队伍，还要有先进的维修设施，更要建立一个先进的维修管理体系。

服务于不同部门的维修队伍，专业性很强。既要有技术精湛的一线作业的维修人员，还要有善于运筹帷幄与现场指挥的维修管理人员。

维修设施可包括：各种维修工器具，维修用的计量仪器、测试设备，各种计算机、模拟器（例如，供维修人员操练维修技能以应付核电厂或化工厂中污染设备维修的全尺寸模拟器或一定比例的模拟器），工器具受污染的检测和去污设施，维修需要的移动设施、运输设施、起重设施，以及维修场所、维修通道，等等。

还必须要有有一个庞大的维修支持系统，包括维修培训系统、维修信息系统、备用零部件库，等等。

(5) 以上这些便促成了维修工程学的发展。维修早已不是“修修补补，敲敲打打”的简单工艺，维修已经成为一门新兴的交叉技术学科——维修工程学。

维修的重要性、科学性正越来越明显，越来越成为人们的共识。

§ 1.3 维修活动的类别^[22]

为了保证各行各业各种设备工作状态完好，人们进行着各式各样的维修活动。对各种维修活动，可以从不同的角度进行不同的分类。

在现代复杂技术系统中，最常用的是按照维修目的和时机分为以下四种类别：修复性维修、在线修复或现场抢修、预防性维修、改进性维修等。前两者属于非计划性维修，带有强迫性、局限性；后两者属于计划性维修，强调了主动性、前瞻性。

修复性维修（Corrective Maintenance）也称纠正性维修、排除故障维修或修理，是指设

施或设备（或其机件）发生故障后，使其恢复到规定状态所进行的各种维修活动。

在线修复或现场抢修（On-line or In-field Damage Assessment and Repair）是指在运行中设备发生故障，在评估损伤的基础上，采用快速诊断与应急修复手段，如战地抢修、突发事件应急抢修。虽然现场修理也是修复性的维修，但因为这种抢修的环境、条件、时机、要求和所采取的技术措施都与一般的修复性维修有所不同，故一般作为一种独立的维修类别。

关于事故抢修和在线损伤修复的进一步说明，请参见附录 A.2 和 A.3。

预防性维修（Preventive Maintenance）是指对设施或设备进行有计划的检查、检测，发现故障征兆以防止故障发生，使设施或设备保持在规定状态所进行的各种维修活动，主要用于故障后果可能危及安全或影响任务完成或导致较大经济损失的情况。目前大型工厂大多数都实行这种预防性维修，其目的不仅仅是消除隐患，防患于未然，还可以充分利用设备的潜力。

一般又将预防性维修分为保养、操作人员监控、使用检查、功能检测、定时拆修、定时报废以及上述两种或多种工作的综合等七种维修工作类型：

(1) 保养（Servicing），是为保持设施或设备固有设计性能而进行的清洗、擦拭、通风、添加油液或润滑剂、充气等工作，这是对维修技术要求最低的工作类型。

(2) 操作人员监控（Operator monitoring），是操作人员在设施或设备正常运行时对其状态进行监控的工作，其目的是发现潜在故障。监控工作包括设备使用前检查、对仪器仪表的监控，通过气味、噪声、振动、温度、操作力、视觉反应的改变等感觉辨认潜在故障，但它对隐蔽性功能故障不适用。

(3) 使用检查（Operational check），是按计划进行的定性检查工作，如采用观察、演示、操作手感等方法检查，以确定设备或机件能否执行其功能。例如，对火警装置、应急设备、冗余或备用设备的定期检查等，其目的是发现隐蔽性功能故障，减少发生多重故障的可能性。

(4) 功能检查（Functional inspection），是按计划进行的定量检查工作，通常需使用仪器仪表等测试装置，以确定设备或机件的功能参数是否在规定的限度之内，其目的是发现潜在故障。

(5) 定时拆修（Rework at some interval），是指设备使用到规定的时间即进行拆修，使其恢复到规定的状态。拆修可预防那些不拆开就难以发现和预防的故障所造成的后果。

(6) 定时报废（Discard at some interval），是指设备或机件使用到规定时间予以废弃。一般它比定时拆修消耗更多资源。

(7) 上述两种或多种工作的综合（Combination of tasks）。

以上这些维修活动大多数已经成为目前工厂的例行维修工作。

关于常规性保养的进一步说明，请参见附录 A.1。

某些设施或设备在建造后并不立即使用，而需等待相当长的时间才使用甚至始终处于不工作状态（如武器），其不工作状态的时间在其全寿命过程中可能占有相当的比例。这种在使用前和两次使用之间的不工作状态，包括以下几种模式：储存状态、运输状态、备