机车车辆维修基本理论

董锡明　著　靳少华　主审

中　国　铁　道　出　版　社
2006年·北京

序

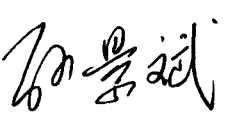
机车车辆作为铁路运输的主要技术装备，是完成铁路运输任务的物质基础。机车车辆维修是保持和提高铁路运输能力的重要因素。

随着科学技术的发展，技术装备的复杂程度不断提高，使用装备的企业对装备的依赖程度也不断提高。如何更好地维护装备，对企业的总体效能会产生重大影响。维修已经从一种技艺发展成为一门综合性学科。

随着铁路运输事业的不断发展，对机车车辆运用要求不断提高，现行机车车辆维修体制已不能适应我国铁路运输发展的需要，修制改革势在必行。在修制改革过程中必须加强维修理论的研究，建立起适合铁道机车车辆的维修理论，以指导维修实践。

本书从介绍机车车辆维修基本概念开始，由浅入深地介绍机车车辆维修理论与发展，系统地进行了机车车辆维修分类，详细阐述了机车车辆维修中运用可靠性、可靠性分析、维修性、测试性、寿命管理、寿命周期费用、维修信息管理等内容，最后综述近代铁道机车车辆维修现状与发展趋势。

本书作者从20世纪90年代初就一直致力于机车车辆维修理论的研究与实践，为系统地建立机车车辆维修理论付出了巨大的努力，取得了丰硕的成果。本书是作者在吸收国内外维修理论最新成果并结合我国机车车辆修制改革实践的基础上提炼而成的，是第一本系统介绍机车车辆维修基本理论的著作。本书主要内容曾作为教材多次在各种机车车辆维修培训班使用，受到学员们的普遍欢迎，相信本书的出版必将有利于推动我国机车车辆维修理论的普及、研究与应用。



前　言

机车车辆维修对于铁路运输的作用是巨大的，主要表现在：

(1)维修是保持和提高铁路运输能力的重要因素。近代，在高科技条件下，空间、时间明显压缩，铁路运输能力更依赖于机车车辆等铁路技术装备，尤其在铁路客运高速、货运重载运输的今天，机车车辆维修越发重要。

(2)维修是铁路安全运输的重要保证。在现实工作中，不乏由于忽视维修中的某些重要环节而造成人员重大伤亡和财产巨大损失的案例。维修工作中每一环节的疏漏都会涉及安全，影响日常运输，甚至造成重大事故。

(3)维修是产生效益的巨大源泉。维修工作是铁路安全性的重要保证，除有巨大的社会效益外，还具有重大的经济效益。它是一种重要的投资方式，能够以较少的资源消耗获得与购买新设备同样或相近的效能。

(4)维修是保持社会经济可持续发展的重要环节。设备的维修是资源的一种再利用，是延长设备使用寿命，节约能源和材料，减少废弃物和污染物，改善环境的重要环节。

(5)维修是企业树立信誉、完善售后服务的重要手段。机车车辆维修使列车保持良好状态，使乘客得到安全、快捷、舒适的旅行，使货主得到安全、准时、满意的服务，从而维护了铁路的形象与信誉。

因此，机车车辆维修普遍受到各国铁路的精心管理和高度重视，并且不断地进行修制改革，改进和完善机车车辆维修质量和效能。

20世纪50年代以前，维修不被认为是什么学问，只把它看成是一种技艺，在当时的维修领域中没有系统的维修理论，只有一些

相关的概念。随着近代科学技术的发展,技术装备日益复杂,使用要求也不断提高,促使维修工作必须建立在现代科学技术基础之上,必须有先进的理论做指导。维修实践的发展和需要,促进了维修理论的发展,特别是新兴科学技术的理论和方法,诸如系统工程、计算机及电子学、可靠性工程、管理科学和工程经济等学科的发展和应用,为维修理论的发展打下了良好的基础。如今维修理论已经成为一门新型的综合性学科理论,并在不断地系统化和完善。但是,铁路与其他技术行业相比,铁道技术装备维修理论方面的研究起步较晚,直到 20 世纪 90 年代,铁道运输装备,包括机车车辆维修理论的研究才逐渐兴起。目前,随着高速铁路和重载运输技术的现代化,一些发达国家(西欧和美国)对铁道技术装备的维修理论正在进行广泛深入的系统研究,在以可靠性工程为理论基础的 RAMS(可靠性、可用性、维修性和安全性)、RCM(以可靠性为中心的维修)和 LCC(寿命周期费用)以及维修策略方面取得了不少成果。

尽管我国在机车车辆维修制度改革方面取得了不少成果,但必须清醒地认识到,我国机车车辆维修制度与国外发达国家相比还非常落后,许多近代的维修策略还未涉足,大量先进的维修技术还未被采用,因此为了我国铁路运输扩能的需要,必须加速机车车辆修制改革的进程,重视机车车辆整个寿命周期内的各项维修活动,加强机车车辆采办和设计中可靠性、维修性的要求、监督和验证,大力推行和完善分层次、多样化、灵活性的先进维修模式。机车车辆修制改革必须以维修理论为指导,才能沿着正确的方向取得丰硕的成果。因此建立一套适合我国国情的机车车辆维修理论已经成为当务之急。近年来,虽然国内外已有一些关于技术装备维修理论方面的论述,尤其在航空和军用技术装备的领域内。但是,在铁道机车车辆范围内,作者还未见到维修理论方面的系统论述。基于上述状况和目的,作者撰写了这样一本阐述机车车辆维修理论的专著,愿以此与同仁们一起为创立我国机车车辆的维修理论体系而努力。

本书主要论述机车车辆维修管理方面的问题和方法，不拟涉及维修工艺及其具体的维修技术，因此本书的主要内容有：第一章介绍了机车车辆维修的基本概念，包括维修思想和维修制度、维修方式、可靠性、维修性、可用性、寿命、寿命周期费用 LCC 和分层次维修等；第二章介绍了现代维修理论的产生与发展，近代维修的新观念，机车车辆维修理论的范畴；第三章介绍了机车车辆维修的分类，提出了机车车辆维修不同类型的分类方法；第四章介绍了机车车辆维修与可靠性工程，主要是从维修的角度出发，阐明了用户在机车车辆寿命周期各个阶段所要做的可靠性工作；第五章主要介绍了国外机车车辆故障的定义，提出了我国机车车辆故障定义的建议，并介绍了分析故障的可靠性方法，如图示法、FMEA 法和风险分析；第六章主要介绍了机车车辆维修性的定性要求和定量要求，以及“三化”（标准化、系列化和模块化）在机车车辆中的应用；第七章主要介绍了寿命的分类、寿命的确定方法、寿命管理以及提高机车车辆及其主要零部件的寿命和可靠性的措施；第八章主要介绍了维修制度的发展，以可靠性为中心的维修制度 RCM，世界铁路机车车辆维修制度改革状况及我国维修制度改革的现状与建议；第九章介绍了寿命周期费用 LCC，主要涉及 LCC 的基本概念，常用的机车车辆 LCC 模型以及 LCC 分析与评价，并以 X2000 高速列车为例介绍了 LCC 的应用；第十章主要阐述机车车辆测试性的基本概念、定性和定量要求，机车车辆常用的技术诊断方法及其质量要求；第十一章主要论述了信息、信息系统、信息管理的基本概念，维修信息系统的构成，信息的流程，以及机车车辆维修信息系统的现状、发展与建议；第十二章主要介绍了维修的新观念和新发展，近代机车车辆维修的技术现状与发展，机车车辆的技术诊断，机车车辆的信息系统以及我国机车车辆维修现状和进展。

可靠性工程是维修理论的基础，本应对其做更加详细的论述，但由于作者编写的《机车车辆运用可靠性工程》一书已于 2002 年底出版。该书主要是从维修的角度对机车车辆的可靠性工程问题进行了论述，因此可以将其看成是本书的姊妹篇。有关机车车辆

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

维修中的可靠性工程问题可详细参阅该书。为了使读者阅读方便，作者在撰写本书的过程中尽量保持各章的独立性，因此文字和图难免有所重复。本书主要内容曾多次在铁路部门的有关会议上和培训班中宣讲，取得了良好的效果，引起不少同志的兴趣和鼓励，希望本书能尽快出版，令作者深受鼓舞。本书素材一方面来自于作者和同事们在这一领域内多年来的研究成果；另一方面来自国内外发表的许多文章和资料，在此作者对他们表示诚挚的谢意！

作者首先要感谢铁道部运输局的孙景斌同志，他在百忙中审阅了本书的写作提纲，并提出了宝贵的意见；还要感谢铁道部运输局装备部检修处的同志们，他们对此项工作给予了多方面支持；感谢中国铁道科学研究院机车车辆研究所的同事们，尤其是铁道部机车车辆大修规程管理研究室的同志们，这里特别要感谢李忠厚、王华胜两位同志在本书的写作、讲课和出版过程中给予的大力支持和帮助。

由于作者水平所限，遗漏、谬误恐所难免，对所提出的批评指正，谨表谢意！

作者于北京

2004.11

目　录

第一章　机车车辆维修基本概念 …… 1
第一节　维修思想与维修制度 …… 1
第二节　维修方式 …… 3
第三节　可 靠 性 …… 5
第四节　维 修 性 …… 7
第五节　可用性(有效性) …… 8
第六节　寿　　命 …… 8
第七节　寿命周期费用 …… 11
第八节　分层次大修 …… 13
第二章　机车车辆维修理论与发展 …… 16
第一节　维修理论的发展 …… 16
第二节　近代维修理论的新观念 …… 22
第三节　机车车辆维修理论的范畴 …… 26
第四节　加强机车车辆维修理论的研究 …… 29
第三章　机车车辆维修及其分类 …… 31
第一节　维修的定义 …… 31
第二节　机车车辆维修的作用和重要性 …… 32
第三节　机车车辆维修分类 …… 34
第四章　机车车辆维修与可靠性工程 …… 44
第一节　引　　言 …… 44
第二节　可靠性基本概念及可靠性指标 …… 47
第三节　机车车辆运用可靠性工作 …… 58
第五章　机车车辆故障与可靠性分析 …… 71
第一节　引　　言 …… 71
第二节　故障(失效)的定义与规定 …… 72

第三节 故障模式和故障机理 …… 75
第四节 故障的可靠性分析 …… 79
第六章 机车车辆维修性与标准化、系列化、模块化 …… 88
第一节 引 言 …… 88
第二节 机车车辆维修性要求 …… 91
第三节 机车车辆的标准化、系列化和模块化 …… 95
第四节 标准化、系列化、模块化在机车车辆中的应用 …… 99
第七章 机车车辆寿命及其管理 …… 110
第一节 寿命的定义及分类 …… 110
第二节 寿命的确定方法 …… 116
第三节 寿命管理 …… 120
第四节 提高机车车辆寿命和可靠性的措施 …… 125
第八章 机车车辆维修制度 …… 132
第一节 维修制度基本概念 …… 132
第二节 维修制度的发展 …… 145
第三节 以可靠性为中心的维修制度 …… 153
第四节 机车车辆维修制度改革 …… 168
第九章 机车车辆寿命周期费用(LCC) …… 177
第一节 概 述 …… 177
第二节 寿命周期费用 LCC 模型 …… 185
第三节 寿命周期费用分析与评价 …… 201
第四节 LCC 应用实例 …… 206
第十章 机车车辆测试性与技术诊断 …… 211
第一节 引 言 …… 211
第二节 机车车辆的测试性 …… 213
第三节 诊断技术 …… 219
第四节 建 议 …… 235
第十一章 机车车辆维修信息管理 …… 236
第一节 引 言 …… 236
第二节 信息管理的基本概念 …… 238

第三节　信息管理的发展 …… 241
第四节　维修管理信息系统 …… 252
第五节　建立我国机车车辆维修信息系统 …… 262
第十二章　近代铁道机车车辆维修现状与发展趋势 …… 270
第一节　维修的新观念、新发展 …… 270
第二节　机车车辆维修的技术现状和发展 …… 272
第三节　我国机车车辆维修现状与进展 …… 279
参考文献 …… 284

第一章　机车车辆维修基本概念

第一节　维修思想与维修制度

维修实践需要一种思想观念作为指导，称之为维修思想。在一定的维修思想指导下，制定出的一套规定与制度（维修计划、维修类别、维修方式、维修等级、维修组织、维修考核指标体系等）称之为维修制度。维修思想和维修制度大致可分为三个体系："事后维修"的维修思想、"以预防为主"的维修思想和"以可靠性为中心"的维修思想及维修制度。

一、"事后维修"的维修思想

"事后维修"的维修思想是一种比较原始的维修思想，这种维修思想是在装备发生故障以后才进行维修保养。早在20世纪40年代以前，装备维修一般都是采用"事后维修"为指导思想。这种思想实际上是当时使用装备的自然反映，由于装备简单，平时也不保养，等使用坏了再修。这种思想至今仍反映在人们的家庭或简单劳动中对待工具的态度上。由于装备简单，排除故障容易，因此谈不上有什么维修制度，只是掌握了一些零星的维修概念。

二、"以预防为主"的维修思想和计划预防修的维修制度

"以预防为主"的维修思想是20世纪40年代逐渐发展起来的。这种维修思想要求装备及其零部件在即将磨损到限或损坏之前要及时更换、修理，将维修工作做在故障发生之前。在这种维修思想指导下，形成了以磨损理论为基础的计划预防修的维修制度。这种计划预防维修制度以机械装备故障率曲线（浴盆曲线）中耗损故障期始点来确定大修时机（图1—1）。由于把机件磨损或故障作为时间的函数，因此定时维修、拆卸分解就成为这种维修制度的

主要方法。计划预防维修制度的具体实施可概括为“定期检查、按时保养、计划修理”。计划预防维修制度的关键是确定装备及其主要零部件的修理周期，合理划分维修等级和维修周期结构，制定维修规程与规范。

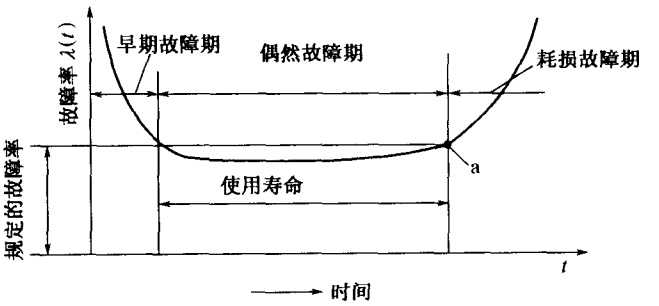


图 1—1 浴盆曲线

三、“以可靠性为中心”的维修思想及维修制度

“以可靠性为中心”的维修思想及维修制度是在“以预防为主”维修思想及计划预防维修制度的基础上发展起来的。人们在实践中发现，并不是修理越勤、检修范围越大就能减少故障，相反会因为频繁拆装而出现更多的故障。装备的可靠性是由设计制造所确定的，有效的维修只能保持其固有可靠性。对于复杂装备大多只有早期故障期和偶然故障期，没有耗损故障期。也就是说，复杂装备的故障率曲线没有上升的趋势，即可靠性与时间无关，因此定期计划维修对许多故障是无效的。“以可靠性为中心”的维修思想认为，一切维修活动归根结底都是为了保持和恢复装备的固有可靠性。因此在这种思想指导下，所制定的维修制度就是根据装备及其零部件的可靠性状况，以最少的维修资源消耗，运用逻辑决断分析方法来确定所需的维修方式、维修类型、维修间隔期和维修等级，制定出维修大纲，从而达到优化维修的目的。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第二节　维修方式

维修方式是指对装备维修时机的控制。也就是说，对维修时机的掌握是通过采用不同的维修方式来实现的。目前的维修方式有三种：定时维修、视情维修和事后维修。

一、定时维修

定时维修以使用时间作为维修期限，只要装备到了预先规定的时间，不管其技术状态如何，都要进行规定的维修工作，这是一种强制性的预防性维修。定时维修的关键是如何确定维修周期。正确的大修时机应该是偶然故障期的结束点（见图 1—1），即在故障率进入耗损期急剧上升之前。定时维修方式的优点是容易掌握维修时机，便于安排维修计划，维修组织管理工作也比较简单、明确。缺点是其只适用于已知寿命分布规律，且有耗损故障期的装备，这种装备的故障与使用时间有明确的关系。而对于那些没有耗损故障期的复杂装备则不适用。另外，定期维修中的大拆大卸方法也不利于发挥机件的固有可靠性。

二、视情维修

视情维修又称状态修，是按照装备实际技术状况来确定维修时机。它不对装备规定维修期限，不固定拆卸分解范围，而是在检查、检测、监控其技术状态的基础上确定装备的最佳维修时机。这种维修方式是靠不断定量分析和监测装备的某些参数和状态数据来决定维修时机和项目。视情维修适用于故障初期有明显劣化征兆，而且故障发展缓慢的装备，同时故障还直接危及安全或有重大经济损失（功能性故障），并有适当的检测手段，能制订出技术状态标准的情况。它的优点是针对性强，可以充分发挥装备的工作寿命，提高维修的有效性，减少维修工作量和人为差错。但也有缺点，这种维修方式费用高，需要适当的检测、诊断条件和较高的人

员素质,因此适用于贵重的关键装备和危及安全的关键机件。

三、事后维修(修复性维修)

事后维修又称修复性维修或故障修,是指装备发生故障后,使其恢复到规定状态所进行的维修活动。

装备发生故障后的修理(修复性维修)按照是否修理及时可分为及时修理和延迟修理。对于那些不影响安全和生产任务的故障可继续使用,严加监控,延迟修理。近代,随着信息技术的发展,监控手段的提高,逐渐形成了状态监控维修,即从总体上对装备进行连续监控,确定装备的可靠性水平,来决定维修时机。状态监控维修不规定装备的维修时间,因此能最充分地利用装备的寿命,使维修工作量最少,是一种最经济的维修工作。有人称此种维修为监控可靠性水平的视情维修或故障后的视情维修。

四、维修方式的选择

在维修实践中,如何选择维修方式是十分重要的。选择维修方式应该从故障后果,即装备发生故障后对安全和经济性的影响来考虑。由上述三种维修方式的特点可以看出,定时维修和视情维修属于预防性维修,而事后维修(修复性维修)则是非预防性维修。定时维修是按时间标准进行维修;视情维修是按实际状态标准进行维修;而事后维修则不控制维修时间。三种维修方式各有特点,各有其适用范围。从这个意义上讲,它们并没有先进落后之分,问题的关键是应该根据维修的具体情况,正确地选择维修方式。选择维修方式的步骤一般是先要确定复杂装备中哪些零部件是重要功能产品(重要维修项目),这些零部件发生故障会对装备产生严重后果(安全性、环境性、经济性等)。在选择分析时只分析这些重要功能的零部件,而没有必要对所有零部件进行逐一分析。然后利用维修方式逻辑决断方法(图 1—2)对这些重要功能零部件适用于哪种维修方式进行分析和逻辑判断,根据它们的功能、条件、故障的可能形式(隐蔽性、潜在性)等来选择是采用定时维修,

视情维修，还是事后维修。当然还可将维修方式细分，例如定时维修还可细分为定时维护、定时拆卸和定时报废等。在近代复杂装备的维修中，往往这三种维修方式并存，相互配合使用，以充分利用各个机件的固有可靠性。

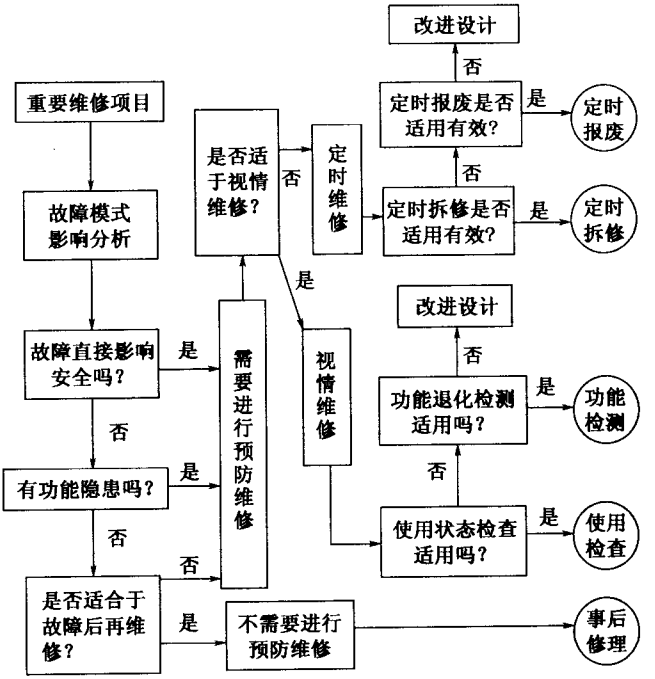


图 1—2　维修方式逻辑决断原理图

第三节　可　靠　性

所谓可靠性是指“产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力”(GB3187—1982)。

以上可靠性定义包含五个要素：

(1)产品：是指研究对象。可以是硬件，例如东风$_4$ 型内燃机

车上的一个元器件(如晶体管、开关或灯泡),一个零部件(如气门、转向架),一个系统(如冷却系统、润滑系统)或一个组件(如柴油机、电机),或者是整台机车或车辆等;也可以是软件,例如机车车辆维修指南、维修信息系统程序、生产质量控制文件,也可以包括人的使用和操作技术等因素在内。

(2)规定条件:是指产品在使用中所处的环境条件(温度、压力、湿度、风沙和辐射等)、工作条件(功能模式、负荷条件、冲击振动情况等)、维修条件和操作方式等。所规定的条件对可靠性有着直接的影响。例如一台内燃机车工作在高原、大风沙地区和工作在高温、湿度大的地区,其可靠性是不一样的。另外,可靠性还和各个地区的线路情况、坡道高低、牵引吨位大小和司机熟练程度等有关。

(3)规定时间:是指产品完成规定任务或功能所需要的时间,可以用运行时间、走行公里或循环次数来表示。例如目前我国干线机车一般用走行公里来表示,调车机车和车辆用运行时间(年、月、日、小时)来表示。其他国家表示机车车辆运行时间的方法也不尽相同,德国、法国、俄罗斯是以机车走行公里数来表示,英国是以柴油机工作小时数来表示,美国则以运用天数来表示。受循环负荷的零部件(如曲轴、轴承等)多用循环次数来表示。一般说来,耗损产品可靠性是时间的递减函数,时间越长,可靠性越差。

(4)规定功能:通常是指产品在技术文件中所规定的工作能力。对机车车辆而言,规定功能指的是,机车车辆设计任务书、技术条件、使用说明书、订货合同、国家标准及相关技术文件中所规定的功能与性能要求。产品不同所规定的功能也不一样,完成规定的功能就是保持规定的工作能力;反之,丧失规定的功能则称为失效(故障)。按照 GB 3187—1982 的规定,失效(故障)的概念是:"产品丧失规定的功能。"对于可修复产品通常称为"故障";对于不可修复产品则称为"失效"。一个产品应按照规定完成它的功能,一方面性能不能低于规定的范围,另一方面在结构上不得发生断裂破损,两者不可偏废,在我国机车车辆研制初期,当时人们只注

重产品的性能，而忽视了结构和系统的可靠性，国产机车在当时的运用中频出故障，带来了巨大的经济和社会效益方面的损失，教训是沉痛的。

(5)能力：常用概率来度量“能力”，称为可靠度。由于产品的故障是随机事件，产品寿命是随机变量，因此产品在规定的寿命周期内完成规定功能的能力也是随机的，要用概率才能定量地表示产品可靠性程度。

第四节　维　修　性

维修性的定义为：“在规定的条件下，并按规定的程序和手段实施维修时，产品在规定的使用条件下保持或恢复能执行规定功能状态的能力”(GB 3187—1982)。

由上述定义可知，维修性定义有如下要点：

(1)维修性不是指具体的维修技术和维修活动，而是和可靠性一样，是产品本身的一种特性，是可维修产品广义可靠性的属性之一，是通过设计而赋予产品的一种固有属性。维修性的度量是随机变量，只具有统计上的意义，因此要用概率表示，称为维修度。

(2)规定条件：包括维修人员的熟练程度，维修设备、工具、备件是否有保障，甚至还包括技术数据是否齐全，操作是否方便，维修规范是否合理，后勤保障是否充分等。

(3)规定时间：指维修时间。维修时间规定得越长，维修度越大。正常产品的维修时间与其寿命相比应该是短暂的，也就是说，维修度具有快速性，只有这样，产品故障才能及时诊断和排除，尽快投入使用。

(4)规定的程序和手段：按照规定的程序和手段进行维修是十分必要的，不仅可以提高维修度，还可以降低维修费用，延长产品寿命，减少故障发生频率，否则维修之后反而会降低其可靠性。因此，为了提高维修度应当制定详细的维修规程和规范，规定和明确维修性的技术要求，还要考虑使用故障检测装置，设定检测点，使

检测程序标准化。

第五节 可用性(有效性)

有效性是反映产品效能的主要特征之一。有效性的定义是："可以维修的产品在某时刻具有或维持规定功能的能力"(GB 3187—1982)。

由上述定义可知,有效性有如下特征:

(1)有效性是产品可靠性和维修性的综合表征。对可修复产品而言,总是希望其工作时间要长,非工作时间要短。因此不仅要关心产品的可靠性,即不易出现故障的可能性如何,而且还要关心产品一旦出现故障应能尽快修复,使其早日投入正常运行。因此综合考虑可靠性和维修性的广义可靠性就是有效性。

(2)和可靠性、维修性一样,有效性也可用概率表达,称为有效度(可用度),即在任意随机时刻,当任务需要时,产品可投入使用状态的概率。

(3)这里要强调的是,有效性定义是针对"某一时刻"的,而不是"某一时间间隔",因此它表征某一特定时刻要进行该项工作的完好程度。

(4)有效性不但与工作有关,而且还是维修时间的函数,随着工作时间和维修时间的不同,有效性也不相同。

第六节 寿 命

寿命类别是多种多样的,各个行业由于装备用途和使用习惯不同,而有自己的产品寿命定义。即使同一行业,世界各国所采用的寿命参数也有不同,对各类产品所选用的寿命参数也不一样,但其基本概念和理论基础则是相同的。产品寿命类型的选择除考虑安全性、可靠性、维修性、保障性和经济性以外,主要考虑产品在什么时候达到"临界状态"。"临界状态"是指产品在此状态下不能继

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com