

目 录

前言

致谢

译者的话

第1章 以可靠性为中心的维修简介	1
1 日新月异的维修领域	1
2 维修与 RCM	6
3 RCM 的 7 个基本问题	8
4 RCM 的实施	16
5 RCM 所能达到的效果	17
第2章 设备登记表	20
1 何为设备登记表?	20
2 何为“机器”?	21
3 如何对设备编号?	24
4 设备登记表上应该记录的信息?	31
5 如何编拟设备登记表?	35
第3章 功能和故障	36
1 功能和性能标准	36
2 功能故障	48
3 故障模式	54
4 故障影响	61
第4章 故障后果	66
1 隐蔽性后果	68
2 安全性和环境性后果	86
3 使用性后果	93
4 非使用性后果	102
5 结论	104
第5章 预防性工作	106

1 技术可行性.....	106
2 工龄相关故障.....	107
3 预定翻修工作.....	109
4 预定报废工作.....	112
5 非工龄相关故障.....	115
6 预定视情工作.....	116
7 选择预防性工作.....	129
第6章 暂定措施.....	134
1 预定故障检测工作.....	135
2 无定期维修.....	143
3 重新设计.....	144
4 润滑.....	154
5 区域检查和巡回检查.....	155
第7章 RCM 决断工作图.....	157
1 后果和工作的综合.....	157
2 RCM 决断程序.....	157
3 填写决断工作单.....	169
第8章 建议工作的计划、组织和控制.....	171
1 将工作进行组合.....	171
2 维修计划与控制系统.....	175
3 缺陷报告制度.....	184
第9章 故障特性及技术履历.....	186
1 故障过程.....	186
2 六种故障模型.....	201
3 技术原始数据.....	216
第10章 RCM 的实施.....	227
1 谁对设备状况最了解?.....	227
2 RCM 评审小组.....	231
3 督导员和审查员.....	235
4 实施的策略.....	238
5 短期方法.....	239
6 长期方法.....	242

X 目 录

7 永久的 RCM	243
8 掌握 RCM 技巧	245
第 11 章 RCM 达到的结果	247
1 RCM 分析的结果	247
2 RCM 的效益	249
第 12 章 RCM 发展简史	260
1 航空公司的经历	260
2 RCM 在其它领域的应用	263
3 为何叫 RCM2?	265
附录	269
附录 A 状态监测技术	269
附录 B 分析的级别	296
参考文献	306

第1章 以可靠性为中心的维修简介

1 日新月异的维修领域

在过去的15年中,维修一直在不断变革,也许比任何其它管理学科的变革都要大。这种变革是因为需要维护的有形资产(设施,设备和建筑物)的数量和种类大为增加,也是由于设计更为复杂、维修技术推陈出新以及对维修体制和维修职责的观点不断更新的结果。

维修还要与不断变化的期望值相适应,这些期望值包括对设备故障对安全性和环境的影响程度的深入认识、对维修和产品质量之间的关联的深入认识,以及为获得较高的设施可用度并要控制成本所带来的不断增加的压力。

这种变革对所有生产行业中的观念和技能都进行着严格的考验,与工程人员和管理人员一样,维修人员不得不彻底更新思维方式和行为方式。与此同时,无论怎么使维修系统计算机化,其局限性正变得日益明显。

面对这种蜂拥而至的变化,各国的维修管理人员都正在试图寻求一种新的维修方法,他们要避免总是与重大变革相伴的起步错误和误入歧途。为此,他们要寻求一种战略性框架系统,该框架系统将新的发展结果并入一种相关联的模型中,这样他们就能对新的发展结果加以合理评估,并且采用其中对自己和公司最有价值的那一部分。

本书所描述的正是可提供这样一种框架系统的学科,称为以可靠性为中心的维修,即RCM。

如果运用得当,RCM可改变应用RCM的企业、企业现有的

2 以可靠性为中心的维修

有形资产和使用与维护这些资产的人员三者之间的关系，还能使新的设施以更快的速度、更大的把握和更高的精度投入有效的应用。

本章从过去 50 年内维修的演变过程入手，对 RCM 加以简单介绍。

自 30 年代起，维修的演变可分为 3 个阶段。RCM 正迅速成为第三阶段的基础，但只有借助第一、第二阶段的发展才能正确地展望第三阶段。

1.1 第一阶段

第一阶段一直延续到二次世界大战，当时工业机械化程度不高，因此停机时间无足轻重。这意味着，在大多数管理人员的头脑里，预防设备的故障并非头等大事。同时，大部分设备都比较简单，而且其中大多数的设计余量很大，这就使设备比较可靠且易于修复。因此，除了简单的清洁、维护和润滑等日常检修工作外，不需要进行什么系统的维修，对工人技能的要求也比今天要低。

1.2 第二阶段

第二次世界大战期间，情况发生了明显变化。战争带来的压力增加了对各种物品的需求，而产业劳动力却锐减，这导致了机械化程度的提高。到了 50 年代，所有种设备的数量都更多且更复杂，生产开始依赖于这些设备。

随着这种依赖性的增长，停机时间就成为很突出的问题。这使人们想到可能并且应该预防设备故障，进而形成了预防性维修的概念。在 60 年代，预防性维修主要表现为定期对设备进行大修。

与其它运行费用相比，维修费用也开始急剧增加，这使维修计划与控制系统应运而生。这种系统在很大程度上使维修得到了控制，而且目前仍是维修实践中的既定组成部分。

固定资产占用的资本数量以及该资本成本的急剧增长，促使人们开始寻求最大限度延长资产寿命的方法。

1.3 第三阶段

自70年代中叶,工业领域的变革进程异常迅猛,变革可分为新期望值、新研究和新技术:

1.3.1 新期望值

图1-1显示了维修期望值的演变过程。

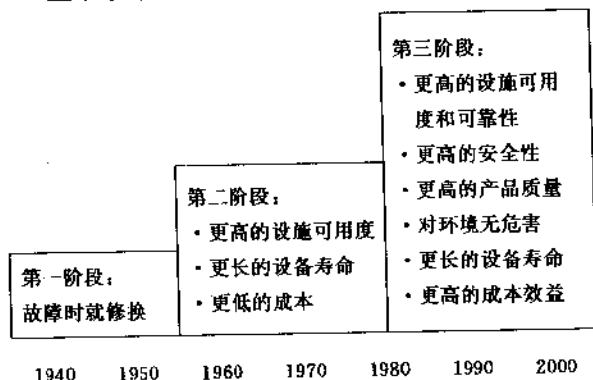


图1-1 维修期望值的增长

停工时间始终影响着有形资产的生产率,表现为产量降低、运行成本增加、售后服务受到影响。到了60年代和70年代,这已成为采矿业、制造业和运输业的重大心患。在制造业中,由于世界各地都在推广准时生产体制,这使停工时间所带来的影响更为加剧。在这种体制中,减少了半成品的库存,这意味着很小的故障现在也极有可能导致整个工厂停产。在近代,机械化和自动化的增长已意味着,在诸如健康监护、数据处理、远程通信和建筑业管理这些不同行业中,可靠性和可用度现在也已成为关键性的因素。

自动化程度越高还意味着影响我们维持满意的质量标准的能力的故障就越多,这一结论适用于产品质量,也同样适用于公共设施服务标准。例如,设备故障对建筑物内的气候控制和运输网的准点运行会有影响,对达到稳定的规定加工公差也有影响,影响程度不相上下。

越来越多的故障具有严重的安全性后果和环境性后果，同时安全和环境标准正在迅速增高。在世界上有些地区，问题已尖锐到了这种地步：要么单位服从全社会对安全和环境的期望值，要么单位就停止生产。上述问题大大增加了我们对设施完好性的依赖，这不单纯是费用问题，已纯粹成为单位能否生存的问题。

在对有形资产的依赖性日益增加的同时，设施的费用——设施的运行费用和设施占用的资金也在增加。为最大限度地收回在设施上的投资，必须让设施在我们要求的寿命内不停地高效运转。

无论是绝对值还是在总费用中的比例，维修费用本身还是一直在上升。在有些工业领域，维修费用如今已成为运行费中高甚至最高的成本构成。因此，仅在 30 年内，维修费用已从几乎无足轻重的位置上升到成本控制重点中的首位。

1.3.2 新研究

除了增高的期望值外，新研究大大改变了我们对设施工龄期与故障的很多基本看法，尤其是大多数设施的运行工龄与设施发生故障可能性之间的联系很明显越来越少。图 1-2 表明早期的故障观点比较简单，认为设施越陈旧越可能发生故障，人们对“强化试验”的深入认识产生了在第二阶段中普遍相信“浴盆”曲线的观点。

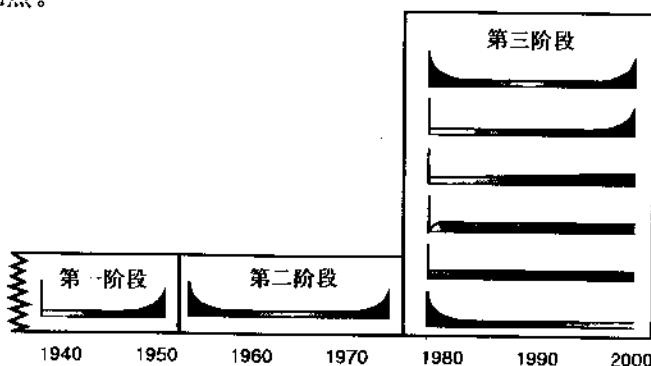


图 1-2 设备故障观点的变化

但是,第三阶段的研究揭示,事实上实际中出现的故障模型,不是一种、两种,而是6种。这在以后的章节里将详细讨论,它也对维修产生了深刻影响。

1.3.3 新技术

新的维修观念和技术迅速发展。过去十五年来数以百计,现在几乎每周都有一些新东西问世。

图1-3表明强调大修和保障系统的经典思想演变成包括各种不同领域里的多种新研究的过程。

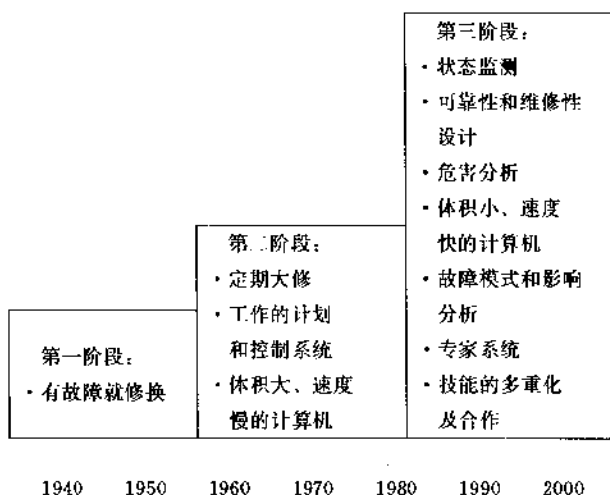


图 1-3 维修技术的变化

新研究包括:

(1) 决策支持手段,如危害度分析,故障模式及影响分析,以及专家系统;

(2) 新的维修技术,如状态监测;

(3) 更加注重设备的可靠性和可维修性设计;

(4) 组织中的主要方法朝参与、合作、灵活的方向转变。

今天维修人员所面临的主要挑战,不仅是要学习这些新技术,而且要能决定在本单位内哪些值得做,哪些不值得做。如果我们

做出了正确的选择,就能够改善设施的性能且同时控制住、甚至降低维修费用。如果选择是错误的,就会产生新问题,同时现存问题只能更加严重。

1.3.4 维修所面临的挑战

归纳起来,现代维修管理人员所面临的挑战可归结为下列几点:

- (1) 选择最合适的技术;
- (2) 研究每种故障过程;
- (3) 以满足设备拥有者、使用者和全社会的期望值为目的;
- (4) 经济效益最佳和最持久的形式;
- (5) 所有相关人员的合作与积极支持。

RCM 提供一种能使用户迅速而简单地应付这些挑战的框架系统。RCM 之所以能达到这一点是因为它从不忽视维修是针对设施而言的这一事实。如果设施不存在,维修功能本身也就不存在。因此,RCM 从对各设施在其使用环境内的维修需求进行一个全面的零基审查入手。

这些维修需求常常不被重视。这就造成了对设施的真正需求做片面或错误的假设,在此基础上,进行单位结构的改进、资源的配置和系统的实现。另一方面,如果按现代维修思想来正确限定这些需求,那么维修效率和效益就能取得显著的改观。

本章余下的内容更详细地介绍了 RCM。首先探索“维修”本身的含义,然后对 RCM 的概念进行定义,同时也描述了 RCM 在应用过程中包括的 7 个主要步骤。

2 维修与 RCM

从工程的观点来看,管理任何设施有两个环节,必须进行维护,而且还需经常对设施进行改进。

在牛津大字典里将“维护”一词解释为“使保持……状态”,在韦伯斯特词典里的解释为“维持现有状态”。这说明维修意味着

维持某些东西。另一方面,“改进”某些东西意味着以某种方式改变它。维护和改进之间的区别有着较为深刻的内涵,对这一问题我们将在以后的章节里详细讨论。但在这里我们主要针对维修而言。

当我们打算维护某种设施时,我们所希望的“使保持……状态”是什么?我们所希望的维持“现有状态”又是什么呢?

问题的答案可从所有投入使用的设施都要实现特定功能或数种功能这一事实中找到。因此可以得出,当我们对设备进行维护时,我们希望维持的状态必须是设备保持实现其设计功能的那种状态。

维修:确保设备保持实现其设计功能的状态。

显然,为实现这种可能,设备一开始就必须能实现其设计功能。这是因为维修——“使保持……状态”的过程——只能实现部件的固有性能(或固有可靠性),而无法提高它。

实际上,大多数设备原本能够实现规定的性能。因此,多数情况下,不会有什么问题。

可是,有些设施开始时就无法实现其规定性能。在这种情况下,维修本身也无能为力。因此,必须对设施进行改进以使其能实现规定的性能,或者降低我们的期望值。

RCM 被称为以可靠性为中心的维修,是因为人们认识到维修所能做的仅仅是确保设施保持其固有性能或固有可靠性的状态。

任何设施的设计功能都可按几种方式定义,完全取决于怎样使用、在何处使用(运行环境)。术语“设计功能”也意指特定的性能的期望值。由此而得出以可靠性为中心的维修的正式定义:

以可靠性为中心的维修,是一种用于确定某设施在其运行环境下维修需求的方法。

根据前面维修的定义,RCM 较完整的定义应为:一种用于确定为确保任一设施在现行使用环境下保持实现其设计功能的状态所必须的活动的方法。

3 RCM 的 7 个基本问题

在开始分析某单位设施的维修需求之前，我们需要了解这些设施是什么，以及哪些设施需进行 RCM 审查？在大多数情况下，这意味着要编写一本较全面的设备登记表，如第 2 章所述。

其后，RCM 方法需要对每一选出设施就下列 7 个问题进行提问，问题如下：

(1) 在现行的使用环境下，设施的功能及相关的性能标准是什么？

(2) 什么情况下设施无法实现其功能？

(3) 引起各功能故障的原因是什么？

(4) 各故障发生时，会出现什么情况？

(5) 什么情况下各故障至关重要？

(6) 做什么工作才能预防各故障？

(7) 找不到适当的预防性工作应怎么办？

下列段落将对这些问题进行简单介绍，然后在本书的其它章节详细讨论。

3.1 功能和性能标准

如果维修意味着保证设施能保持实现其设计功能的状态，那么，任何设施的维修目标只能通过限定设施的功能和期望的性能水平才能确定。

设施的维修目标由设施的功能及其相应的期望性能标准所确定。

为此，RCM 方法首先要确定设施在其使用环境下的功能和性能标准。另外，也强调了如有可能，需要量化性能标准，包括产量、产品质量、售后服务、环境问题、运行费用和安全性等。

正常情况下，这一阶段只占据整个 RCM 分析时间的三分之一，一般还可使进行分析的人员加深对设施的实际工作过程的了解程度。

3.2 功能故障

维修目标由所研究设施的功能及其相应的性能标准所确定,那么维修如何能实现这些目标呢?

如果设施设计得完善,那么唯一妨碍它正常运行的就是某种故障。这表明维修借助于适当的故障处理方法来达到目的。可是,在我们采用适当的复合故障处理手段之前,我们需要确定会发生什么故障?RCM方法在两个层次上进行确定。

首先,提问部件故障到什么程度才不能实现其功能。

然后,提问什么能引起每种可能的功能丧失。

设施不能实现其设计功能时,称为功能故障。定义为设施不能满足期望的性能标准。显然,只有在明确了设施的功能和性能标准后,才能鉴别出功能故障。

3.3 故障模式

如前所述,一旦确认了功能故障,下一步就要设法确定比较可能引起每种功能丧失的故障模式。这有助于我们正确地理解我们正寻求预防的是什么?

进行到这一步时,为了保证把时间和精力花费在研究起因而不是征兆上,详细地确定每一故障的原因是重要的。另一方面,为避免分析本身过于详细而浪费时间也是很重要的。

3.4 故障影响

当确定故障模式时,还要把故障影响记录下来。故障影响所描述的是故障模式发生时将会出现什么情况,包括象停工、对产品质量的影响、故障发生的迹象、可能的纠正措施、对安全和环境的威胁等等。这一步使得我们有可能确定每一故障的重要程度,因此也可决定所需预防维修的级别。

确定功能、功能故障、故障模式和故障影响的过程为改善性能和安全性,也为减少浪费提供了出人意外且常常激动人心的机会。

上述四步在第3章中将做详细的讨论。

3.5 故障后果

对一个中等工业企业进行详细分析,会得出3000~10000个

可能的故障模式。其中每一种故障都以某种方式影响着企业，但在各种情况下，影响是不同的。它们可能会影响设备的运行、也可能影响产品质量、售后服务、安全性和环境。所有故障都需要花费时间和经费进行纠正。

正是这些后果强烈地影响着我们所设法预防每种故障的范围。换句话讲，如果故障有严重后果，我们就可能竭尽全力设法防止其发生。另一方面，如果它几乎不产生影响，那么我们就可以决定，除了日常的清洁和润滑外，对它可以不采取任何预防措施。

RCM 最大长处在于它认识到故障后果远比故障的技术特性要重要得多。事实上，它实施何种类型的预防性维修的唯一原因不在于对故障本身进行预防，而在于避免或至少可减轻故障后果。

在维修决策中，RCM 方法不仅确认了故障后果的重要性，而且还把它们分成下列 4 类：

一是隐蔽性故障后果：隐蔽性故障没有直接的影响，但它们使设施使用部门容易受到其它具有严重的、甚至是灾难性的故障后果的影响（这种故障中的大多数与不具有失效保险能力的保护装置有关）。RCM 的长处还在于它处理隐蔽性故障的方式。首先，确定隐蔽性故障，其次根据重要程序进行排列，最后采用一种简单易懂的、切实可行的、有条理的方法来排除隐蔽性故障。

二是安全性和环境性后果：如果故障会使人伤亡，就具有安全性后果；如果故障导致违反了行业、地方和国家的环境标准，则故障具有环境性后果。即使不能完全排除故障，也应把这两类故障所带来的风险度真正降到非常低的水平，这是 RCM 的一条基本原则。

三是使用性后果：如果故障影响生产（产量、产品质量、售后服务或除直接维修费用以外的运行费用），就具有使用性后果。这些后果会花费很多经费，所耗经费量意味着预防使用性后果需要花费经费的多少。

四是非使用性后果：划分到这一类里的明显故障既不影响安全也不影响生产，因此它们只涉及直接维修费用。

在以后章节里我们可以看到,RCM 方法采用这种分类法作为其框架系统的基础进行维修决策。根据上面的分类,对每一故障模式的后果进行有机的审查,RCM 方法把维修功能的使用性、安全性和环境性目的综合起来。这有助于把安全性融入工程管理的的主流中。

其次,RCM 着重于对设备性能最有影响的维修活动,而把精力从那些对性能影响不大或者没有影响的维修活动转移开来。这有助于保证花费在维修上的一切总是最有效的。

本章后几节还将对后果评估过程进行讨论,更详细的内容在第4章中将进行讨论。

实质上,RCM 方法在这一步要弄清每种故障是否有重要的后果。如果这种后果不存在,通常的暂定决断是无预防性维修。如果它存在,下一步要弄清应实施什么预防维修工作。可是,如果先不考虑故障模型及其对选择各种预防方法的影响,则对预防维修工作选择过程无法进行合理的审查。

3.6 预防维修工作

许多人相信提高设施可用度的最佳方法是定期对设施进行某种预防性维修。第二阶段维修思想表明这种预防性维修活动应包括定期大修和更换部件。

图1-4显示了故障的固定间隔观点。认为大部分部件在X寿命区内可靠运行,然后耗损。经典思想表明广泛地记录设备故障有助于我们确定这一寿命,因而可在部件快发生故障前的很短时间里,安排相应的预防措施。

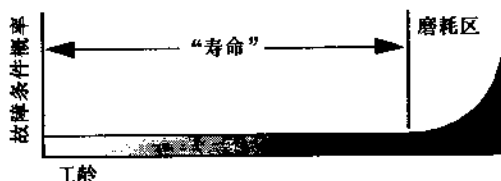


图1-4 传统的故障观点

这适用于某些简单的设备和一些具有支配性故障模式的复杂部件。特别是，设备的耗损特征常常可在设备与产品直接接触的这种情况下发现，像粉碎机 and 料斗衬里、螺旋式输送机、机床、水泵叶轮、高炉耐火材料等等。工龄相关故障还常常与疲劳和腐蚀有联系。

可是，即使和 15 年前相比，现在的设备普遍复杂得多，这导致设备的故障模型发生了很大的变化。图 1-5 显示了各种机电部件故障的条件概率与使用工龄期的关系。

模型 A 就是众所周知的“浴盆曲线”。起始段故障率较高（称

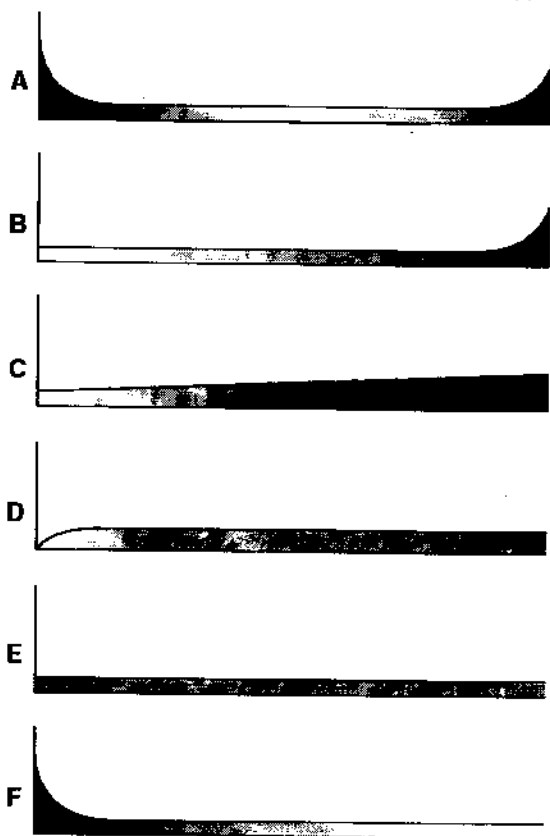


图 1-5 6 种故障模型

做“早期损坏率”或“老化”),其后故障概率恒定或逐渐增大,最后为耗损区。模型B显示了故障概率恒定或逐渐增大,最后为耗损区(与图1-4相同)。

模型C显示了故障概率缓慢增加,而没有明显的耗损工龄区。模型D显示当部件是新的或刚出厂时,故障概率较低,尔后迅速增加到一个较稳定的水平,而模型E表明在整个工龄期内故障概率都恒定不变(随机故障)。模型F起始时,早期损坏率较高,尔后其故障概率逐渐下降到一个稳定的或极其缓慢增加的水平上。

对民用飞机进行的研究表明:部件的4%属A型,2%属B型,5%属C型,7%属D型,14%属E型,而不低于68%属F型。(这些故障模型在飞机上出现的次数,不一定和在工业领域里相同,但勿需怀疑,由于设备越来越复杂,E型和F型就会越多,这6种故障模型将在第5章和第9章里做详细的讨论)。

这些结论与可靠性和运行工龄之间总是有联系这种观点相矛盾。这种观点导致了这样一种概念,即部件大修得越频繁,发生故障的可能性就越小。如今,这种概念很不适用。除非有一种支配性的工龄相关故障模式,否则,工龄期限对提高复杂部件的可靠性用处很小。事实上,由于把“早期损坏率”引入本应稳定的系统,定期大修实际上只能增加整体故障率。

了解到这些事实已使单位完全放弃预防性维修的想法。事实上,这对于后果较轻的故障是正确的。但当故障后果极为严重时,必须采取某种措施以预防故障,至少可以降低后果的影响。

这又把我们带回到预防性工作的问题上来了。RCM认可所有3大类型的预防性维修工作,它们是:

- (1) 预定视情工作;
- (2) 预定翻修工作;
- (3) 预定报废工作;

3.6.1 视情工作

预防某种类型故障的持续需要以及传统技术手段的无能为力促进了新型故障预防技术的发展。大多数新技术都依赖于这样一

个事实，即大部分故障在它们快要发生时能有一些预告信号。这些预告信号被称为潜在故障，定义为显示功能故障即将发生或正在发生的可辨别的实际状态。

采用新技术来检测潜在故障，以便可以采取避免由于潜在故障劣化成功能故障而带来的后果。之所以称为视情工作，是因为根据部件保持满足期望性能标准的状态时才继续运行。（视情工作包括，预测维修，视情维修和状态监测）。

不同的潜在故障所发出的预告时间在几微秒和数 10 年之间不等。间隔期越长意味着检查频度越低而且预防功能故障（或者至少可避免故障后果）的时间越充足。因此，人们投入了极大的精力致力于视情维修技术的研究，因为利用这种技术可得到即将发生的功能故障尽可能多的预告信号。

应用适当的话，视情维修工作是一种非常好的预测功能故障的方式，但它也可能白白浪费许多宝贵的时间。RCM 能够使人们在这方面做出极有把握的决断。

3.6.2 预定翻修和预定报废工作

预定翻修要求按一个特定的工龄期限或在工龄期限之前，重新加工一部件或大修一组件，而不管当时其状态如何。与此相同，定期报废工作要求按一个特定的工龄期限或在工龄期限之前报废部件，也不顾当时部件的状态。

RCM 的长处在于为确定哪些（如果有）预防性维修是技术可行的、多长时间做一次预防性工作和由谁来实施提供了一个简单、准确和容易理解的判据，这些判据在第 5 章中将做详细的讨论。RCM 还按工作需要性递减的次序排列这些工作。

3.7 暂定工作

究竟预防性工作是否技术可行，取决于工作及其所预防故障的技术特性。预防性工作是否值得做也取决于其是否能适当地处理好故障后果。

如果找不到技术可行的且值得做的预防性工作，那么必须采用合适的暂定措施，这种措施的性质取决于故障后果，即：