

前 言

本标准等同采用国际电工委员会标准 IEC 706-5:1994《设备维修性导则 第5部分 第4节:诊断测试》。

本标准是系列标准《设备维修性导则》的一部分,该系列标准包括以下部分:

- GB/T 9414.1 设备维修性导则 第一部分:维修性导言
- GB/T 9414.2 设备维修性导则 第二部分:规范与合同中的维修性要求
- GB/T 9414.3 设备维修性导则 第三部分:维修性大纲
- GB/T 9414.4 设备维修性导则 第五部分:设计阶段的维修性研究
- GB/T 9414.5 设备维修性导则 第六部分:维修性检验
- GB/T 9414.6 设备维修性导则 第七部分:维修性数据的收集、分析与表示

本标准的附录 A、附录 B 是提示的附录。

本标准由信息产业部提出。

本标准由电工电子产品可靠性与维修性标委会归口。

本标准起草单位:信息产业部邮电工业标准化研究所。

本标准主要起草人:武冰梅、黄先琼。

本标准首次发布的时间为 2000 年 7 月。

IEC 前言

- 1) IEC(国际电工委员会)是包括所有国家电工技术委员会(IEC 各国家委员会)的世界范围的标准化组织。IEC 的目标是促进在电工和电子领域内有关标准化的各种问题的国际合作。为此目的和其他活动的需要,IEC 出版各种国际标准。这些国际标准的制定委托给各技术委员会。如对所涉及的内容感兴趣,任何 IEC 国家委员会都可以参加标准制定工作。国际的、政府的和非政府的组织与 IEC 联络也可以参加标准制定工作。根据与国际标准化组织(ISO)间的协议所确定的条款,IEC 和 ISO 密切合作。
- 2) IEC 对有关技术问题的正式决议或协议是由那些特别关心这些问题的国家委员会参加技术委员会制定的,对所涉及的问题尽可能表达国际上的一致看法。
- 3) 这些决议或协议以标准、技术报告或导则的形式出版并推荐国际使用。在这个意义上为各国家委员会接受。
- 4) 为了促进国际上的统一,IEC 国家委员会保证在他们国家和地区标准中尽可能最大限度地贯彻 IEC 国际标准。IEC 国际标准和相应的国家标准或地区标准之间的任何差异都应在后者中明确指出。
- 国际标准 IEC 706-5 由 IEC 第 56 技术委员会(可信性)起草。
- 本标准的正文基于下述文件:

国际标准草案	表决报告
56(CO)157	56(CO)171
56(CO)160	56(CO)173

表决本导则的全部信息可在上表所述的表决报告中找到。

IEC 706 总标题为:设备维修性导则,由下述部分组成:

- 第 1 部分:1982 年发布。包含以下几节:
- 第 1 节:维修性导言
 - 第 2 节:规范与合同中的维修性要求
 - 第 3 节:维修性大纲
- 第 2 部分:1990 年发布。包含以下几节:
- 第 5 节:设计阶段的维修性研究
- 第 3 部分:1987 年发布。包含以下几节:
- 第 6 节:维修性检验
 - 第 7 节:维修性数据的收集、分析和表示
- 第 4 部分:1992 年发布。包含以下几节:
- 第 8 节:维修和维修保障计划的制订
- 第 5 部分:1994 年发布,包含以下几节:
- 第 4 节:诊断测试
- 第 6 部分:1994 年发布。包含以下几节:
- 第 9 节:维修性评价的统计方法
- 附录 A、附录 B 仅为参考件。

引 言

诊断测试是系统或设备的使用和维修中的一个重要的特性,对系统或设备的维修性起举足轻重的作用。这种测试可以人工进行,也可用具有不同自动化程度的测试设备进行。诊断测试的最优化设计要求设计、使用和维修组织间的密切协作。本导则旨在强调多方面的要求并有助于彼此间的及时协调。



设备维修性导则
第四部分：诊断测试

GB/T 9414.7—2000
idt IEC 706-5:1994

Guide on maintainability of equipment—
Part 4: Diagnostic testing

1 范围

本标准作为《设备维修性导则》的第四部分发布。其目的在于：

——为在设计和研制中早期考虑测试性方面的问题提供指南；

注：产品的设计应便于诊断测试，这可通过在设计过程中尽早考虑测试性方面的问题得以有效地实现，通常和故障模式与影响分析(FMEA)结合进行。如果等到设计阶段已结束后再考虑，就只能加入有限的测试性特征，这样势必降低效用并造成费用不成比例地提高。

——有助于确定有效的测试程序作为使用和维修的组成部分。

注：使用和维修方案在一定程度上与设计原理有关，因此为保证诊断测试的可能性被充分利用，应在使用和维修策略中包含测试要求并将制定测试要求作为设计过程的一个组成部分。

设备维修性导则系列标准在概念和原则上可适用于各种类型的设备，然而所述的许多技术显然更适用于电工和电子领域，因为这些领域应用机会最多。对机械设备而言，传统的诊断测试仍能适用，但在电子测量和监控装置方面的诸多进展，预示着许多经改进的诊断测试设备现在也能在机械零件和复杂系统中应用。诊断测试装置的结构研究对保证其在广泛领域中应用十分重要。

本标准作为状态监测提供参考。状态监测装置与本导则涵盖的诊断测试概念密切相关并且不能也不应该割裂开来。当然，这不是指所有的状态监测都应成为本标准的一部分。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 3187—1994 可靠性、维修性术语(eqv IEC 191-1)

GB/T 3358.1—1993 统计学术语 第一部分：一般统计术语

GB/T 7826—1987 系统可靠性分析技术 失效模式和效应分析(FMEA)程序
(idt IEC 812:1985)

GB/T 9414.5—1988 设备维修性导则 第六部分：维修性检验

GB/T 9414.6—1988 设备维修性导则 第七部分：维修数据的收集、分析与表示

3 定义和缩略语

3.1 定义

本标准采用 GB/T 3187 和 GB/T 3358.1 中的术语和定义。除此之外，还采用以下术语和定义：

3.1.1 机内测试(BIT) built-in test

任务系统或设备的一种内在的能力,即提供一种测试功能以识别和定位故障或性能恶化。

3.1.2 机内测试设备(BITE) built-in test equipment

用于实现机内测试功能的任何永久安装的装置。

3.1.3 诊断 diagnostic

根据症状判断故障性质的手段或活动。

3.1.4 诊断正确率 diagnostic correctness

一个产品故障在给定条件下能被正确诊断的比例。

3.1.5 诊断测试 diagnostic testing

用来进行诊断的测试程序。

3.1.6 虚警 false alarm

机内测试设备或其他监测电路在无功能故障的情况下产生故障指示。

3.1.7 虚警率 false alarm rate

单位时间内虚警的次数。

3.1.8 故障识别时间 fault recognition time

出现失效的瞬间到故障被识别之间的时间。

3.1.9 故障分辨率 fault resolution

测试程序或测试规程能将故障在系统或设备内定位的程度。

3.1.10 测试性 testability

一种定性的设计特性,用于决定产品在规定条件下能够被测试的程度。

3.1.11 测试性要求 testability requirements

包括测试性设计目的、目标值、门限值和限制条件的一组总要求。

3.1.12 测试性验证 testability verification

用于判定产品的测试性要求是否达到的程序。

3.1.13 测试效能 test effectiveness

包含考虑硬件设计、机内测试设计、测试设备设计和测试程序集设计的一组度量。测试效能度量包括但不限于下列指标:故障识别比、故障分辨率、平均故障识别时间、平均故障定位时间和诊断正确率。

3.2 缩略语

ATE	automatic test equipment	自动测试设备
BIT	built-in test	机内测试
BITE	built-in test equipment	机内测试设备
CADMAT	computer aided design, manufacture and testing	计算机辅助设计、制造和测试
FMEA	failure modes and effects analysis	故障模式与影响分析
LCC	life cycle cost	寿命周期费用
LRU	line replaceable unit	现场可更换单元
UUT	unit under test	被测单元

4 技术要求和限制条件

4.1 寿命周期费用

LCC(寿命周期费用)是评价任何设计质量的一个越来越重要的方面。许多顾客除了关心直接采购费用之外,还要求控制与日常使用、维修及后勤保障相关的费用。这些费用主要受产品可靠性、维修性和维修保障特性的影响。在这个意义上,诊断测试技术的应用有可能使LCC的一部分费用显著降低。但在确定诊断测试要求时,应考虑LCC优化所带来的限制条件。

4.1.1 初期权衡

在工程研究处于概念和定义阶段,产品的测试性应与有关风险进行权衡,权衡通常应考虑的因素如下:

很多设计,无论多新,在一定程度都以现用设备为基础。现用设备说明给定的技术水平反映了设计的先进性、设计时的技术诊断设想以及在设备的寿命周期中作出的更改。但是,随着技术的进步,新的设计会带来一些不同的使用方案。某些组件、部件和零件的可靠性可能达到如此程度,使得在相同的使用条件下不需要状态监测和诊断测试。如若新的设计使得不确定因素增加,或是受试部件的重要性得到确认,则掌握该产品使用状态的要求也就相应增加。要不然,进行专门的设计测试以减少不确定因素的范围也许是可能的或可行的。这将取决于不确定度的性质、其被解决的可能性,以及与诊断和监测产品运行状态所需设备的费用有关的开发和产品费用,包括不可用时间和维修人员所需的费用。

在评价各种备选方案时,应考虑诊断测试的技术水平、各种可选用的方法,包括它们的优缺点、费用以及对将来可能需要的适应性。

4.1.2 可用性和诊断测试

在设计和研制阶段,根据相关的初期权衡研究的结果,应将测试性指标及特性包含到设计中。对诊断测试技术的专门考虑可以提高产品的维修性,减少不可用时间,从而提高可用性和利润并降低总体费用。

对存在固有耗损特性的产品,通过诊断测试程序可以明显减少预防性维修的费用,特别是可以优化维修间隔期、必要的预防性维修工作项目及资源。如果像大多数固态电子系统那样不存在耗损,则预防性维修的费用几乎可以忽略,而最大的费用影响因素是投资费用,该项费用主要取决于要达到的可用性。因为不可用时间的主要部分是故障识别和定位时间,将诊断重点放在这些要素上是最有效的。

4.2 使用和维修方案

诊断测试工作与产品的使用和维修过程密切相关。因此,在确定诊断测试要求时,使用和维修方案是应考虑的重要因素,它们应尽可能在系统寿命周期的早期确定,最好在概念和定义阶段。使用方案应首先考虑以使系统能完全满足其使用要求,维修方案应设计成能够以最低费用、最有效地利用资源去满足使用的需要。

必须始终考虑权衡的程度以实现常有的各种相互对立的要求之间的最佳平衡。

4.2.1 使用方案

确定使用方案需考虑的各种要素见表1。为了能适当考虑维修环境和使用的限制条件,这些要素的每一项都应有详细规定。

4.2.2 维修方案

确定维修方案需考虑的多种要素见表2。这些要素确定了设计中应包含的测试性特性的要求及范围。在维修方案和诊断技术之间为调节各种相互依赖的关系或许需要再次进行某种程度的权衡。

表1 使用方案的要素

要 素	可 能 性		
场 所	移动型		
	固定型	可转运	变换场所
			固定场所
		不可转运	
运行模式	持续运行	持续监测	
		间隔时段监测	
		允许中断及中断条件	
	间歇运行包含间歇性条件		

表 1 (完)

要 素	可 能 性	
运行应力状态	部分应力运行	
	标称应力运行	
	过应力运行	
后 果	安全性	
	费用	降低利用率
		间接损坏
		维修费用
	修复、紧急措施	
环境条件	机械应力	
	温度应力	
	电应力	
	化学应力	
	其他	
人 员	未经培训	
	不同领域的培训	
	已经培训	高等程度
		中等程度
		低等程度
处 理	手动	
	半自动	
	全自动	

表 2 维修方案的要素

要 素	详细要求内容		
维修策略	预防性	维护	
		检查	
		计划性修理	
	修复性	系统级	故障识别
			故障定位
			修理(更换)
			校准
		零部件级	功能检查
			故障定位
			修理
			校准
			功能测试

表 2 (完)

要素	详细要求内容		
维修时间	连续监测		
	计划性维修	间隔	时间周期
			操作
		类型	级别
			定时维修
			视情维修
	非计划性维修		
维修场所	固定	维修车间的数量	
		维修车间的区域分布	
		维修车间的技术潜力	
	移动	维修站的设备	
		维修站的技术潜力	
维修程序		程序	
	资源	硬件	
		软件	
	文件(说明性的或图文的)		硬件
			软件
后勤	库存品	库房的数量	
		库房的区域分布	
		库存品的规格	
		储存条件	
	库存品管理	采购	
		供应	
		运输	
维修环境	温度条件		
	其他条件		
维修人员	基础培训	培训部门	
		资格等级	
	专门培训	系统级	
		零部件级	
	进修培训	时间段	
课程表			

4.3 诊断方案

在设计和研制初期,考虑到寿命周期费用优化、使用和维修方案这些限制条件,应依据下列因素确定一个合适的诊断方案:

- 诊断测试的目标、任务和应用；
- 诊断测试的方法；
- 诊断测试的要求。

4.3.1 诊断测试的目标、任务和应用

诊断测试的目标是按维修策略所确定的水平为被测设备提供最佳费效比的、快速的和清晰的故障识别方法。好的诊断测试应：

- 提高设备的可用性；
- 降低维修费用；
- 减少间接损坏的风险；
- 提高系统的安全性；
- 优化运行使用。

为实现该目标，诊断系统应：

- 提供置信测试以证实设备对其规定任务的适用性；
- 识别灾变失效和退化失效；
- 能将故障定位至某一功能或LRU(现场可更换单元)；
- 通过评定耗损状态，发出临近耗损失效的告警；
- 提供设备使用和维修数据。

诊断测试设备的主要应用是：

- 系统运行前的安全性和功能性检测；
- 运行中实施的性能监测；
- 在使用环境中可识别到失效组件或LRU 层次上的设备失效；
- 利用指定的修理设施找出故障的详细位置。

4.3.2 用于诊断测试的方法

应用于诊断测试的可能方法包括利用从单纯的手动测量、机械特性的评价到全过程和安装的全自动诊断程序，对单个零部件及复杂系统进行测试。广泛采用的诊断方法如图1所示，可分为三类：

——外部诊断 使用的测试设备独立于UUT(被测单元)，只在必要时才与之连接。所用的测试设备可能具有通用性，或者是对标准测试设备做一些改进，或者是针对被测设备而专门设计。可能也会包括计算机控制的ATE(自动测试设备)。

——内部诊断 使用永久性的BITE(机内测试设备)，在系统运行时BITE能连续地或间断地工作。另外，在系统非正常或非工作状态下，也可能进行专门的测试。

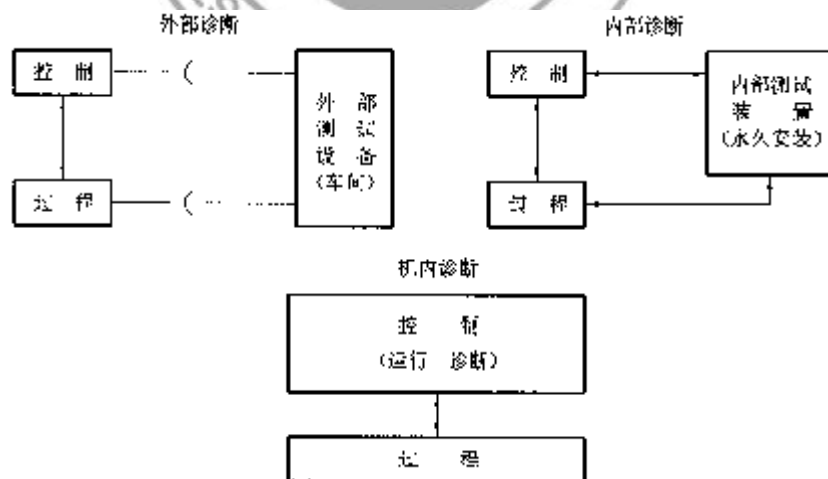


图1 诊断测试方法

——机内诊断是内部诊断的一种特殊形式,即功能组件在控制运行过程的同时实施诊断,通过 BIT (机内测试)软件并行或交替实现运行和诊断功能。该系统具有重构能力,在失效识别后可进行自动故障处理以保护其运行能力。这是内部诊断方法的特殊优点。

4.3.3 诊断测试的要求

4.3.3.1 故障模式

FMEA(故障模式及影响分析)是为诊断测试的规范、设计和评价提供依据的一种最好方法。它可根据故障模式检测和诊断的难易程度及测试性对可能的故障模式进行分类,从而为选择能检测识别到故障模式的 BITE,及为确定合适的测试点及诊断步骤(又见 GB/T 7826)提供信息。

FMEA 也为安全性和危险评估及故障裕度和测试性设计提供统一的基线。在较大的系统中,对全系统的分析十分重要,这样既避免仅对子系统单独分析可能引起的重复工作,也可覆盖子系统之间相互作用的失效。

4.3.3.2 原始数据

原始数据的测量是诊断测试的基础,原始数据(二进制或模拟)能充分描述 UUT 状态的细节信息,并最好也是使用所需的数据。为降低费用,进一步的参数只在绝对必要时才加入,特别是非电气参数,因为将测量值转换成表征的电信号可能困难且昂贵。

如要写出有用的诊断说明,可用的原始数据就必须明确地反映 UUT 的状态及瞬变特性,并且有足够的灵敏度。因此应以理论和实践的手段建立或确定极限值、容差、真值或判决表以及更复杂的物理相互联系。

在某些情况下,不仅需要通过测量得到数据,而且需要现用的原始数据,例如从外部加到 UUT 的离散的或数字电信号,以促使其执行某一功能状态而开始诊断,这被定义为激励。

4.3.3.3 二次数据

二次数据由原始数据导出,通常由一些单独的数据项组合而成。它们组成测试效能,包括但不限于下列参数:

a) 故障识别比

对一些与安全性相关的故障,其故障识别比应尽可能接近 100%,在其他情况下,故障识别比也许根据其技术和费用的考虑进行优化。

注:不必要求故障识别与故障功能定位保持在同样层次上,如果保持产品安全性的活动可能要从较高层次着手,则允许故障识别指定在该层次上。

b) 故障识别时间

对一些与安全性相关的故障,故障识别时间应减至最小,还应遵守由外部条件造成的时间上限的要求。在所有其他情况下,故障识别时间可根据技术和费用的考虑进行优化。

c) 故障分辨率

本要素按下列特性的等级进行定量测量:

- 在各个约定层次上故障定位的选择性;
- 耗损特征评估的准确度。

故障分辨率与给定的约定层次有关,并取决于维修规程和条件。

d) 故障定位时间

本要素为从失效发生或测试程序启动到诊断结论完成所需的时间。

e) 诊断正确率

对一些与安全性相关的故障,诊断正确率应尽可能接近 100%。在所有其他情况下,诊断正确率可根据技术和费用的考虑进行优化。

误诊断情况应根据其类型和影响在产品的计划、研制和评价中予以考虑。依据缺陷的程度,可定义下列退化等级:

- 1) 未识别与安全性相关的故障;应避免这种情况;
- 2) 虚警:虚警,特别在其发生频率超出可接受的极限时,也能导致严重的后果。因此,专门定义了虚警率(见附录 A);
- 3) 未识别的故障(除上述退化等级 1 以外);
- 4) 误定位的故障;
- 5) 误判断的故障。

附录 A 给出了上述参数的数学表达式。

4.3.3.4 标准接口

为了技术诊断的实现和应用,原始数据和二次数据需要大量的转换。应对数据接口、任务和应用的转换顺序给以详细的定义。主要接口的任务和设计步骤是:

a) 人机通信接口

1) 任务

- 显示诊断结果(二次数据);
- 转移二次数据文件;
- 使专用测试程序初始化;
- 检查实时原始数据;
- 修改某些过程参数;
- 失效情况下为了重构应使恢复程序初始化。

2) 设计步骤

对可能遇到的宽范围变化的功能及其诊断不可能制定一个通用的设计步骤。但对设计中使用和维修方面应给予充分考虑是十分必要的。

在一些个别的专门应用领域,标准化十分必要,参考相关的产品标准是有帮助的。

b) 产品管理接口

1) 任务

与外部资源的联系有:

- 诊断结果的检查(二次数据);
- 检测当前的和存贮的原始数据;
- 修改过程处理和过程参数;
- 软件改进的开发和测试。

2) 设计步骤

根据选择的构造和用途,所有的数据传送装置都应符合相应的国际标准。例如:ISO/TR 7477、EIA/TIA 232-E、EIA-422-A、EIA-485、IEEE 488.1、IEEE 488.2、ITU-T V.11、ITU-T V.22、ITU-T V.24、ITU-T V.28、ITU-T V.29、ITU-T X.25 和 IEC 625-1。

c) 计算机接口

1) 任务

对 UUT 的两个或更多微电子部件之间的原始数据或二次数据的串行或并行/串行交换需要一个接口。

2) 设计步骤

设计步骤紧紧依赖于各自的条件,但无论怎样都应符合国际标准。如果可能(相应装置的数量、安全性、距离),优先使用 EIA-422、ITU-T V.11 或 EIA-485。另外,也可参考 IEC 625。

4.3.4 诊断测试备选方法的评价

为了优选诊断测试程序,应对备选的诊断设计方案(根据 4.3.1~4.3.3 确定)进行对比和评价,并应考虑下列经济准则:

——投资费用：

- 基于使用性和可用性所需系统的数量；
- 研制费用；
- 一次性软件费用；
- 维修用设备的费用；

——受下列因素影响的单个设备费用：

- 复杂性；
- 生产数量；
- 冗余等级；
- BIT 能力的等级；
- 质量标准；

——与维修相关的费用：

- 计划性及非计划性维修的费用；
- 由诊断系统防止间接损坏所节省的费用；
- 根据培训水平所考虑的自动化程度；
- 预计的设备寿命；

——增加运营收益的方法：

- 改善处理特性；
- 提高可用性,例如故障的快速诊断和修理或利用冗余；
- 提高利用率；

——其他因素：

- 改进潜力；
- 附加硬件、软件的技术和费用对设备安全性、可靠性的影响；
- 识别瞬态及间歇失效的能力；
- 诊断系统的恢复能力。

注：当前的技术水平如下：

——系统级：

诊断测试主要由内部诊断所完成,也可用作功能监测和初始化检查。机内诊断应尽可能使用,且故障定位可以到 LRU 层次上。系统级的外部诊断的任何要求将会导致不可用时间的增加和可用性的下降。在多数情况下,外部诊断的设备包括软件驱动测试必须是特殊开发的。现有的数据终端可用于简单系统且足够了(例如便携式计算机)。

——零部件级：

内部诊断仅适用于一些硬件零部件。因而内部诊断在零部件上的应用的可能性是有限的。用现有的设备可完成外部诊断。电路内测试可应用于故障定位,功能测试可用于校准。

5 测试性工作要求

若诊断测试的技术要求是针对某一种产品规定的,应建立一个测试性大纲以保证满足这些技术要求,并且在采购过程的各阶段都充分考虑可测试性。该大纲可能是整个可信性大纲中的一部分,但必须包含下列的专门要素：

- 测试性工程；
- 测试性验证；
- 测试性文件。

5.1 测试性工程

本工作要素的目的是为实现针对该产品建立的诊断测试要求提供方法。在这个意义上,应考虑以下

测试性设计准则：

- 对功能组和功能单元应进行功能划分,明确安排和定义好接口,并尽可能使物理和电气划分与结构相协调以便于诊断、维修和后勤的优化调整;
- 应优先采用可以用适当的原始数据来度量和评价其状态和瞬变过程的功能、零部件和设计要素;
- 测量规程应考虑到它们适用于维修并与已有或预定的外部设备适配,还应考虑测量设备的物理和电气的可达性;
- 诊断系统的所有内部或外部设备硬件零件都应具有 **BIT** 能力,应保证 **BITE** 的性能和校准的正确性;
- 初始化:系统或设备应设计成具有严格定义的初始状态以开始故障定位过程。在失效情况下,初始化应能自动和反复地进行;
- 执行测试规程和施加外部激励对零部件本身、相关设备或整个系统应无有害影响;
- 所有总线系统都应具有测试可达性;
- 在适用的场合下,应设计有功能的诊断应用软件并编制相应的文件,以便于维修人员验证;
- 复原模式:每个诊断系统都会不太完善,尽管其可靠性很高,也可能发生失效。因此,当诊断系统出现失效时,诊断系统应能在不损害系统运行的情况下中止其诊断过程。在这种情况下,应保证常规的面向功能的测试方法可用来将故障定位到可更换单元。应能用维修接口检查现行的原始数据。

5.2 测试性验证

本工作要素的目的是先运用理论方法再通过实际手段来证明诊断测试要求已得到满足。其方法和程序与维修性参数验证中所应用的很类似(见本系列标准第六部分,包含在 **GB/T 9414.5—1988** 中)。所考虑的验证方案应包括下列内容:

- 理论验证;
- 实践验证。

5.2.1 理论验证

理论验证的要素有:

- 文件评审:按 5.3 中的要求提供的文件应从完整性、准确性及方便使用等方面进行评审;
- 分析:该活动包含产品的分析研究及其测试性特征的评估,如故障识别比、故障分辨率及诊断正确率。可按附录 A 进行评估。

5.2.2 实践验证

测试性可采用实际的方法进行验证,例如:

- 目测和分部测试:本项工作的目的是评审设计的测试性并确保接口符合要求。
- 质量鉴定试验:质量鉴定试验的目的是验证诊断任务和诊断规程在整个使用条件及环境条件下能够正确运行。测试性验证应在无故障情况和引入典型故障后进行。耗损状态的评价应在不同耗损程度下证实。经过用户确认,与安全相关的故障可优先考虑。
- 序列测试:这些测试目的是为了证明接口、置信测试、“通过一通不过”测试的正确性。
- 现场数据的评价:通过目测、质量鉴定试验或序列测试不能精确证实的质量度量,应通过附加的现场数据的收集和评价来验证。主要的度量涉及:
 - 诊断正确率;
 - 故障识别比;
 - 虚警率。

5.3 测试性文件

本工作要素的目的是保证诊断方案的所有文件都以标准化的形式提供,以使相关信息有利于系统的操作和维护人员利用。文件的编制应考虑使用和维护的操作环境、维修方案、技能等级及所进行的培

训程度。

5.3.1 通用要求

无论诊断要求如何,下述种类的文件对于复杂系统的运行十分必要。在这些种类中,应对在各种规定条件下综合操作、维修和诊断功能的诊断措施进行恰当描述:

- 产品的概述;
- 使用和维修说明书;
- 电路图;
- 供电图;
- 位置图或部件明细表;
- 其他图纸;
- 软件文档;
- 部件清单;
- 测试说明书;
- 安全认证证书。

5.3.2 特殊要求

通常应提供下列附加文件:

- 诊断规程的描述,包括二次数据和接口过程的类型及重要性。如果诊断规程与内部或外部诊断的计算机程序结合在一起,经用户同意,供货方可以用足够的程序文件代替叙述性的说明。在这些文件的基础上,顾客能够完成程序的优化或自行编写和补充附加的诊断程序;
- 复原模式中测试规程的描述。

6 测试性合同

诊断测试要求有效地转化为可测量的实际结果的一个关键前提是适当的合同条款。为促进诊断测试规程的优化设计、开发和提供,顾客应提供对其测试性的确切要求。为此,他应向供货方提供下列文件:

- 要求的说明;
- 测试性规范。

6.1 要求的说明

要求的说明包含用户需求的详细说明而且是形成设计和研制工作的基础。在研制过程中如还能得到其他有用信息,可能进行改进,但更改应得到相互同意,因为这样经常会推延时间和增加费用。这些要求应包含:

- 诊断测试的目标(见 4.3.1);
- 使用方案(见 4.2.1);
- 维修方案(见 4.2.2);
- 经济环境的定性描述(见 4.1);
- 优选的方法和解决途径(见 4.3.2、4.3.4);
- 原始数据的选择、收集和评价(见 4.3.3.2)。

6.2 测试性规范

测试性规范决定了产品的要求也可能是研制阶段的要求,包含:

- 诊断测试的任务及应用(见 4.3.1);
- 二次数据的类型及质量(4.3.3.3),特别是:
 - 与安全相关的故障清单,要求故障识别比应尽可能接近 100%;
 - 所有其他故障的故障识别比下限;

- 故障识别时间的最大值；
- 故障分辨率,例如以故障清单的形式列举；
- 故障定位时间的目标值(最大值)；
- 诊断正确率的目标值及最小值；
- 虚警率的最大值。

——测试性的设计(见 5.1)：

- 一般要求；
- 检查清单的详细要求；
- 测试性设计准则。

——验证要求(见 5.2)：

- 测试性验证的次数及规程；
- 安全性验证的次数及规程。

6.3 后果

对不满足 6.2 规定要求的后果应予以说明。



附录 A

(提示的附录)

诊断测试的数学原理

A1 定义、缩略语和符号

本附录采用第3章给出的所有的定义和缩略语。除此之外,还采用下列条款中给出的术语、定义、缩略语和符号。

A1.1 定义

A1.1.1 告警缺陷:系统监控部分的故障不能引起告警。

A1.1.2 故障漏检:系统功能部分出现故障而监控部分无故障,但未发出告警。

A1.2 缩略语

F	functional	功能
S	supervision	监控
AD	alarm defect	告警缺陷
DC	diagnostic correctness	诊断正确率
FA	false alarm	虚警
FC	fault coverage	故障识别比
FL	fault localization	故障定位
FR	fault recognition	故障识别
FU	fault undetection	故障漏检

A1.3 符号

$\lambda(t)$	零部件瞬时失效率;
$\Lambda(t)$	设备/系统串联可靠性图瞬时失效率;
P_{AD}	告警缺陷概率
P_{DC}	诊断正确性概率
P_{FA}	虚警概率
P_{FC}	故障识别比概率
P_{FL}	故障定位概率
P_{FR}	故障识别概率
P_{FU}	故障漏检概率
$P_{i,jk}$	在零部件 <i>i</i> 上导致事件 <i>k</i> 发生的故障模式 <i>jk</i> 的条件概率。

A2 假设

假设每一个技术系统可看作由两部分组成:

- 功能部分(**F**)完成所有运行功能;
- 监控部分(**S**)完成所有监控、监测及显示功能。

维修性作为整个系统的特性,与功能部分及监控部分都相关。在诊断测试的数学描述中,采用以下假设:

- 只考虑修复性维修(例如失效引起的修理活动);
- 诊断的故障是由于产品不能履行其应有的功能;产品在其规定的极限范围内的参数漂移引起的故障不能且不应予以考虑;

——不考虑间歇故障；

——在一给定时间内同时出现的多重故障的情形不能且不应予以考虑。

A3 数学模型

一般情况对于基本事件 k 在一套相互排斥的事件中,事件 k 发生的概率 $P_k(t)$ 为:

$$P_k(t) = \frac{\sum_i \lambda_i(t) \sum_{jk} P_{i,jk}}{\Lambda(t)}$$

(i 为基本零部件下标,)有下列关系:

$$\sum_i \lambda_i(t) = \Lambda(t)$$

$$\sum_i \sum_{jk} P_{i,jk} = l$$

在恒定失效率下 P_k 与时间无关。若不用上述表达式的数值评价,则用一种估算方法是很方便的,即应用蒙特卡罗仿真技术,其估算结果可能:

——得到一个点估计值;

——得到一个置信区间估计值;

——着手进行验证/演示测试。

A4 故障处理

A4.1 故障收集

由于系统可分别再分为功能部分和监控部分,依据表 A1 可构成故障收集程序,得到概率量化的四种度量(在恒定失效率情况下与时间无关)。

表 A1 技术系统故障收集程序的构成
(+为无故障,一为有故障)

功能部分	监控部分	事件	概率	观察次数(见示例)
+	+	无告警		
+	—	告警:FA	P_{FA}	60
+	—	无告警:AD	P_{AD}	40
—	+	告警:FR	P_{FR}	800
—	+	无告警:FU	P_{FU}	100
+	—	不考虑(多重故障)		

应用以上给出通用数学模型,并且已知:

—— l 是与任何监控部分零部件相关的下标;

—— i 是与任何功能部分零部件相关的下标;

因此

——虚警(FA)概率为:

$$P_{FA} = \frac{\sum_l \lambda_l \sum_{jFA} P_{l,jFA}}{\sum_i \lambda_i + \sum_l \lambda_l}$$

——告警缺陷(AD)概率为:

$$P_{AD} = \frac{\sum_l \lambda_l \sum_{jAD} P_{l,jAD}}{\sum_i \lambda_i + \sum_l \lambda_l}$$

——故障识别(FR)概率为:

$$P_{FR} = \frac{\sum_l \lambda_l \sum_{j \in FR} P_{l,j,FR}}{\sum_i \lambda_i + \sum_l \lambda_l}$$

——故障漏检(FU)概率为:

$$P_{FU} = \frac{\sum_l \lambda_l \sum_{j \in FU} P_{l,j,FU}}{\sum_i \lambda_i + \sum_l \lambda_l}$$

$$(\Delta_l = \sum_l \lambda_l \ll \sum_i \lambda_i = \Delta_i)$$

与定量解不同,通过分清能够被增强或抑制的诊断事件的“事件激励因素”,这些公式可以定性地用于设计(或方案)决策中。例如,虚警概率 P_{FA} ,可通过降低 $P_{l,j,FA}$ 得到减小, $P_{l,j,FA}$ 是指引起错误故障指示的监控部分的故障模式的(条件)概率。

根据上述假设可得:

$$P_{FA} + P_{AD} + P_{FR} + P_{FU} = 1$$

举例: P_{FA} 、 P_{AD} 、 P_{FR} 、 P_{FU} 的估算值可从现场观测导出。

假设某一系统的现场数据如表 A1 所示,于是得出下列的点估计值:

$$P_{FA} = \frac{60}{1000} = 6\%$$

$$P_{AD} = \frac{40}{1000} = 4\%$$

$$P_{FR} = \frac{800}{1000} = 80\%$$

$$P_{FU} = \frac{100}{1000} = 10\%$$

A4.2 故障识别比及诊断正确率

这两种度量是由下列公式表示的概率:

——故障识别比(FC):这是一个条件概率,条件是功能部分的失效:

$$P_{FC} = \frac{P_{FR}}{P_{FR} + P_{FU}}$$

$$\approx 1 - \frac{P_{FU}}{P_{FR}} \quad (P_{FU} \ll P_{FR})$$

——诊断正确率(DC):是一个条件概率,条件是告警发生的事件:

$$P_{DC} = \frac{P_{FR}}{P_{FR} + P_{FA}}$$

$$\approx 1 - \frac{P_{FA}}{P_{FR}} \quad (P_{FA} \ll P_{FR})$$

同样,以上公式也可通过鉴别与 P_{FC} 和/或 P_{DC} 相关的设计特征而转化为定性的设计建议。

例如:采用表 A1 的数据,得出的点估计值:

$$P_{FC} = \frac{0.8}{0.8 + 0.1} = 0.89$$

$$P_{DC} = \frac{0.8}{0.8 + 0.06} = 0.93$$

A4.3 故障定位

故障定位度量用故障可定位在不超过 k 数量的 LRU 的概率表示(在恒定失效率下与时间无关)。运用上面给出的通用数学模型,以下公式成立:

$$P_{\text{FL}}(k) = \sum_m C_m \cdot P(S_m)$$

其中： S_m 为产生可疑的 LRU 的数目 $n(S_m)$ 的单个故障征兆。

$$C_m = \begin{cases} 0 & \text{当 } k \neq n(S_m) \\ 1 & \text{当 } k = n(S_m) \end{cases}$$

$$P(S_m) = \frac{\sum_r \lambda_r \sum_{js_m} P_{r,js_m}}{\sum_i \lambda_i + \sum_l \lambda_l}$$

$$\{r\} = \{i\} \cup \{l\}$$

$P(S_m)$ 为 S_m 的概率(在指数分布条件下与时间无关)；

P_{r,js_m} 为零部件 r 发生故障模式 js_m 时, 导致 S_m 的条件概率。

附录 B

(提示的附录)

文献目录

- IEC 625-1:1993 可编程测量设备——接口系统(字节串行、比特并行)——第 1 部分:功能、电气和机械规范、设计者及用户的系统应用及要求(Programmable measuring instruments—Interface system (byte serial, bit parallel)—Part 1: Functional, electrical and mechanical specifications, system applications and requirements for the designer and user)
- ISO/TR 7477:1985 数据通信——使用 V. 24 和 X. 24 互换电路的 DTE 和 DTE 的物理连接方案(Data communication—Arrangements for DTE to DTE physical connection using V. 24 and X. 24 interchange circuits)
- EIA/TIA 232-E:1991 采用串行二进制数据互换的数据终端设备和数据电路终接设备之间的接口(Interface between data terminal equipment and data circuit-terminating equipment employing serial binary data interchange)
- EIA 422-A:1978 平衡式电压数字接口电路的电气特性(Electrical characteristics of balanced voltage digital interface circuits)
- EIA 485:1983 在平衡数字多点系统中使用的发生器及接收器的电气特性标准(Standard for electrical characteristics of generators and receivers for use in balanced digital multipoint systems)
- IEEE 488. 1:1987 可编程检测仪表的 IEEE 标准数字接口(IEEE standard digital interface for programmable instrumentation)
- IEEE 488. 2:1992 应用 IEEE 488. 1:1987 的 IEEE 标准编码、格式、协议及公共命令(IEEE standard codes, formats, protocols and common commands for use with IEEE 488. 1:1987)
- ITU-T V. 11:1993 工作在最高速率 10 Mbit/s 的数据信令上的平衡双流接口电路的电气特性(Electrical characteristics for balanced double-current interchange circuits operating at data signalling rates up to 10 Mbit/s)
- ITU-T V. 22:1988 公用电话交换网和点对点二线租用电话型电路上使用的标准化 1 200 bit/s 的双工调制解调器(1 200 bits per second duplex modem standardized for use in general switched telephone network and on point-to-point 2-wire leased telephone-type circuits)

- ITU-T V. 24, 1993 数据终端设备(DTE)和数据电路终接设备(DCE)之间的接口电路定义表(List of definitions for interchange circuits between data terminal equipment (DTE) and data circuit-terminating equipment (DCE))
- ITU-T X. 25, 1993 以分组方式操作并通过专用电路接到公用数据网的终端使用的数据终端设备(DTE)和数据电路终接设备(DCE)之间的接口(Interface between data terminal equipment (DTE) and data circuit-terminating equipment (DCE) for terminals operating in the packet mode and connected to public data networks by dedicated circuit)
- ITU-T V. 28, 1993 非平衡双流接口电路的电特性(Electrical Characteristics for unbalance double-current interchange circuits)
- ITU-T V. 29, 1988 点对点四线租用电话型电路上使用的标准化 9 600 bit/s 调制解调器(9 600 bit/s modem standardized for use on point-to-point 4-wire leased telephone-type circuits)

