



中华人民共和国国家军用标准

FL 0199

GJB 2547—95

装备测试性大纲

Testability program for materiel

1995—10—16 发布

1996—06—01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

目 次

1	范围	(1)
1.1	主题内容	(1)
1.2	适用范围	(1)
1.3	应用指南	(1)
2	引用文件	(1)
3	定义	(1)
4	一般要求	(3)
4.1	测试性工作的目标	(3)
4.2	测试性工作的内容	(3)
4.3	与其他工作的协调	(3)
4.4	测试性定量要求	(4)
4.5	测试性定性要求	(4)
4.6	对测试性信息的要求	(4)
5	详细要求	(4)
工作项目 100 系列	测试性工作的监督与控制	(4)
工作项目 101	制定测试性工作计划	(4)
工作项目 102	测试性评审	(5)
工作项目 103	制定测试性数据收集和分析计划	(6)
工作项目 200 系列	设计与分析	(7)
工作项目 201	诊断方案和测试性要求	(7)
工作项目 202	测试性初步设计与分析	(8)
工作项目 203	测试性详细设计和分析	(9)
工作项目 300 系列	试验与评定	(10)
工作项目 301	测试性验证	(10)
附录 A	固有测试性评价(补充件)	(12)
附录 B	测试性大纲应用指南(参考件)	(21)

中华人民共和国国家军用标准

装备测试性大纲

GJB 2547—95

Testability program for materiel

1 范围

1.1 主题内容

本标准规定了制定测试性工作计划、确定诊断方案和测试性要求、进行测试性设计与评价、实施测试性评审的统一方法。

1.2 适用范围

本标准适用于各类有测试性要求的系统和设备,用于招标、签订合同或拟定任务书以及研制与生产。

1.3 应用指南

1.3.1 本标准规定的工作项目及内容应根据系统和设备的类型、重要程度、经费与进度要求进行剪裁。

1.3.2 本标准的工作项目输入中凡带*的条款由订购方规定,订购方未规定的事项可由承制方确定。

1.3.3 详细的应用指南见附录 B(参考件)。

2 引用文件

GJB 368A	装备维修性通用大纲
GJB 450	装备研制与生产的可靠性通用大纲
GJB 451	可靠性维修性术语
GJB 900	系统安全性通用大纲
GJB 1371	装备保障性分析
GJB 1391	故障模式、影响及危害性分析程序
GJB 2072	维修性试验与评定

3 定义

除以下术语外,本标准中所使用的术语采用 GJB 451 中规定的定义。

3.1 测试性 testability

产品能及时、准确地确定其状态(可工作、不可工作或性能下降)并隔离其内部故障的一种设计特性。

3.2 固有测试性 inherent testability

仅取决于系统或设备硬件的设计,不受测试激励数据和响应数据影响的测试性。

3.3 机内测试 built-in test (BIT)

系统或设备内部提供的检测和隔离故障的自动测试能力。

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

完成机内测试功能的装置。

3.5 脱机测试 off-line test

产品在脱离正常工作环境下,对其所进行的测试。

3.6 测试接口组合 test program set (TPS)

对被测单元(UUT),启动并执行一给定测试所需的测试程序、接口装置、测试程序说明和辅助数据的组合。

3.7 虚警 false alarm

BIT 或其他监控电路指示有故障而实际上不存在故障的情况。

3.8 虚警率 false alarm rate

在规定的时间内发生的虚警数和同一时间内的故障指示总数之比。

3.9 不能复现 cannot duplicate (CND)

由 BIT 或其他监控电路指示的故障在基层级维修时得不到证实的现象。

3.10 重测合格 retest okay (RTOK)

在某维修级别测试中识别出的有故障的 UUT 在更高维修级别中测试时却是合格的现象。

3.11 故障检测率 fault detection rate

用规定的方法正确检测到的故障数与故障总数之比,用百分数表示。

3.12 模糊组 ambiguity group

包含可能产生相同故障信号的故障的一组可更换单元。组中的每个可更换单元都可能是真正有故障的。

3.13 模糊度 ambiguity group size

模糊组中包含的可更换单元数。

3.14 故障隔离率 fault isolation rate

用规定的方法将检测到的故障正确隔离到不大于规定模糊度的故障数与检测到的故障数之比,用百分数表示。

3.15 故障检测时间 fault detection time

从开始故障检测到给出故障指示所经历的时间。

3.16 故障隔离时间 fault isolation time

从检测出故障到完成故障隔离所经历的时间。

3.17 诊断 diagnostics

检测和隔离故障的活动。

3.18 诊断要素 diagnostic element

构成诊断能力的要素,包括自动和人工测试、维修辅助信息、技术资料、人员和培训等。

3.19 诊断方案 diagnostic concept

对系统或设备诊断的范围、功能和运用的初步安排。

3.20 综合诊断 integrated diagnostics

通过考虑和综合全部有关的诊断要素,使系统诊断能力达到最佳的设计和管理过程。这个过程包括确定设计、工程活动、测试性、可靠性、维修性、人机工程和保障性分析之间的接口。其目标是以最少的费用最有效地检测、隔离系统和设备内已知的或预期发生的所有故障,以满足系统任务要求。

3.21 维修辅助信息 maintenance aid

维修辅助信息是给技术人员提供帮助的信息,它包括使维修操作简便的方法、出版物或指南。它能提供:

- 判断故障的历史信息;
- 用于帮助发现故障的故障查找逻辑;
- 用于帮助发现和修复故障的程序。

3.22 测试可控性 test controllability

确定或描述系统和设备有关信号可被控制程度的一种设计特性。

3.23 测试观测性 test observability

确定或描述系统和设备有关信号可被观测程度的一种设计特性。

4 一般要求

4.1 测试性工作的目标

测试性工作的目标是确保系统和设备达到规定的测试性要求,以提高系统和设备的战备完好性和任务成功性、减少对维修人力和其他资源的要求,降低寿命周期费用,并为管理提供必要的信息。

4.2 测试性工作的内容

系统和设备的测试性工作包括以下内容:

- a. 制定测试性工作计划;
- b. 确定诊断方案和测试性要求;
- c. 进行测试性设计;
- d. 评审测试性工作;
- e. 验证测试性要求。

4.3 与其他工作的协调

4.3.1 支持制定综合诊断方案,从而对与诊断有关的所有要素进行计划和综合,以满足系统的任务和性能要求;

4.3.2 支持维修性设计并与之相综合,以满足性能监控和所有维修级别的修复性维修活动的要求;

4.3.3 支持确定综合保障要求,包括保障设备和其他保障要素的要求;

4.3.4 支持各约定产品层次(从元器件到系统级)的设计工程要求并与其综合。

4.4 测试性定量要求

测试性定量要求应在合同中规定,并纳入承制方的有关技术文件。订购方没有明确的低层次产品的测试性定量要求由承制方在详细设计之前确定。测试性定量要求包括:故障检测率、故障隔离率、故障检测时间、故障隔离时间和虚警率等。

4.5 测试性定性要求

应在合同文件中规定必要的测试性定性要求,并纳入承制方的有关技术文件。这些定性要求如:测试可控性、测试观测性和 UUT 与测试设备的兼容性等。

4.6 对测试性信息的要求

测试性工作要为寿命周期内的各项工程活动提供所需的测试性信息。这些信息包括研制、生产和使用阶段中的测试性数据、资料及文件等。应制定测试性数据收集和分析计划。从测试性工作项目所获得的信息,还应满足 GJB 1371 的要求。

5 详细要求

工作项目 100 系列 测试性工作的监督与控制

工作项目 101 制定测试性工作计划

101.1 目的

明确并合理地安排要求的工作项目,以达到规定的测试性要求。

101.2 工作项目要点

101.2.1 说明为完成合同中包括的每个工作项目需要做哪些工作,完成每个工作项目的时间节点及与其他工作项目的关系。

101.2.2 应有一个机构全权负责测试性工作的实施,并应确定负责诊断能力各要素的机构之间的任务和接口。

101.2.3 在不同的研制阶段,工作计划中应具体说明以下内容:

101.2.3.1 对完成以下工作的说明:

- a. 根据任务需求和系统性能要求确定测试性要求并与其他设计要求相综合;
- b. 在整个设计过程中对测试性要求进行跟踪,并明确各层次产品的测试性要求;
- c. 制定控制措施保证各转承制方的测试性工作满足整个系统或设备的要求。

101.2.3.2 确定设计过程中将要使用的测试性设计指南和分析程序。

101.2.3.3 对测试性评审的时机、要点、程序和方法的说明。

101.2.3.4 说明为保证各维修级别测试(包括工厂测试)之间的测试兼容性的方法。该方法必须涉及两方面的兼容性,即各维修级别间测试容差的兼容性和测试环境的兼容性。

101.2.3.5 说明保证各诊断要素间兼容性的方法。

101.2.3.6 说明用于识别高风险诊断技术的方法和降低这些风险的方法。

101.2.3.7 说明如何评审和利用提交的测试性信息。

101.2.4 测试性工作计划应经订购方认可。

101.3 工作项目输入

101.3.1 需要实施的工作项目*。

101.3.2 实施每个工作项目的时间区间。

101.3.3 修改计划的审批手续*。

101.3.4 应提交的资料项目*。

101.4 工作项目输出

101.4.1 测试性工作计划。

工作项目 102 测试性评审

102.1 目的

及时进行测试性评审以保证测试性工作按合同要求和工作计划进行。

102.2 工作项目要点

102.2.1 进行合同所规定的系统评审时应包括测试性工作的所有有关方面,如:

- a. 规范中与测试性有关的要求;
- b. 与测试性有关的工作项目实施的状况和结果;
- c. 工作项目输出文件;
- d. 测试性设计、费用或进度问题。

102.2.2 测试性设计评审由承制方、转承制方和供应方进行并形成文件。这些评审一般应与可靠性、维修性和保障性评审一起协调进行。在每次评审前,应通知订购方。设计评审应包括设计的各有关方面,如:

- a. 评审所选诊断方案对战备完好性、寿命周期费用、人力和培训的影响;
- b. 对性能监控、BIT、脱机测试和维修辅助信息的要求及约束条件进行评审以保证它们是完整的和一致的;
- c. 对固有测试性设计准则和加权因子的选取原则(见附录 A 补充件)进行评审;
- d. 对设计所选用的测试性技术进行评审,确定所使用的设计指南或程序。说明将采用的所有测试性分析程序或自动化工具;
- e. 评审测试性设计准则被遵循的程度,确定阻碍全部实施测试性设计准则的技术限制或费用因素;
- f. 评审作为测试性设计基础的故障模式数据的充分程度,评估测试性和 FMEA 数据的一致性;
- g. 评审 BIT 硬件研制、BIT 软件和任务软件开发工作之间的协调情况。评审 BIT 与操作人员 and 维修人员的接口;
- h. 对用于度量 BIT 故障检测和故障隔离的方法进行评审,确定所使用的模型及其假设,并确定用于自动测试生成和测试性评价的方法;
- i. 评审 BIT 故障检测和故障隔离的水平以确定是否满足要求。对通过改进测试或重新设计产品以提高 BIT 水平的工作进行评审。评估测试性与维修性数据的符合性;

j. 对要在维修性验证中进行验证的测试性参数进行评审。确定把与测试性有关的问题纳入维修性验证计划和程序的方法；

k. 评审测试点信号特性与所选择的测试设备的兼容性。评估测试性与保障和测试设备特性之间数据接口的一致性；

l. 对性能监控、BIT 和脱机测试性能的完整性和一致性进行评审；

m. 对用于识别和确定由新的故障模式、测试无效、模糊度和测试容差不协调造成的问题的方法进行评审，还应对通过跟踪诊断软件和手动程序改进来解决这些问题的方法进行评审；

n. 对监控生产试验和现场维修活动的方法进行评审以确定故障检测和故障隔离的有效性；

o. 对工程更改建议对诊断能力的影响的评价计划进行评审。

102.3 工作项目输入

102.3.1 每次系统评审时需要提供的技术资料的详细程度*。

102.3.2 在测试性设计评审中，订购方参与的程度*。

102.4 工作项目输出

102.4.1 作为系统评审结果一部分的测试性评审结果(102.2.1)。

102.4.2 测试性设计评审结果，包括悬而未决的问题。(102.2.2)。

工作项目 103 制定测试性数据收集和分析计划

103.1 目的

确定、跟踪生产和使用过程中与测试性有关的问题并确定所需的纠正措施。

103.2 工作项目要点

103.2.1 制定分析生产试验结果的计划，以确定 BIT 硬件和软件、自动测试设备(ATE)硬件和软件以及维修文件是否满足故障检测率、故障隔离率、故障检测时间和故障隔离时间的要求。

103.2.2 制定分析使用和维修活动的计划，以确定 BIT 硬件和软件、ATE 硬件和软件以及维修文件是否满足故障检测率、故障隔离率、虚警率、故障检测时间和故障隔离时间的要求。

103.2.3 确定测试性数据收集要求，以满足测试性分析的需要。所收集的数据应包含对有关的工作异常情况和维修活动的说明。测试性数据收集过程应与可靠性、维修性和保障性分析数据收集过程相结合，并与用户的数据收集系统相兼容。

103.3 工作项目输入

103.3.1 可用于生产和使用试验的基层级和中继级或基地级测试设备；*

103.3.2 现有的数据收集系统；*

103.3.3 本工作项目与 GJB 450 工作项目 104 及 GJB 368A 工作项目 104 的相互关系。*

103.4 工作项目输出

103.4.1 用于生产试验的测试性数据收集和分析计划(103.2.1)；

103.4.2 用于使用和维修活动的测试性数据收集和分析计划(103.2.2 和 103.2.3)。

工作项目 200 系列 设计与分析
工作项目 201 诊断方案和测试性要求

201.1 目的

评价备选诊断方案,提出能最好地满足所选定的诊断方案的系统测试性要求并把这些要求分配到低层次产品。

201.2 工作项目要点

201.2.1 导出并确定系统级诊断需求,包括:

- a. 确定直接需要诊断功能的系统任务和性能要求;
- b. 把这些系统任务和性能要求转换成诊断需求,这些需求应能支持任务想定和系统设计并与系统的使用约束相一致。

201.2.2 确定能满足任务要求并在每个维修级别提供完整(100%)诊断能力的备选诊断方案。诊断方案包括每个维修级别不同程度的 BIT、人工和自动测试、提交的技术信息、人员技术水平和训练方案的组合。诊断方案与延缓和预防维修方案有关,考虑的因素包括:

- a. 可利用的标准的、现有的、已计划的诊断资源(如,测试设备系列、维修辅助信息等),确定资源约束;
- b. 在类似系统中存在的应避免的诊断问题;
- c. 在系统研制和诊断要素研制中可采用的并有可能提高诊断有效性、减少诊断费用或提高系统可用性的技术改进。

201.2.3 评价备选诊断方案并选择诊断方案。评价应包括:

- a. 系统战备完好性随诊断要素的不同组合以及关键测试性和诊断参数的变化的敏感性;
- b. 寿命周期费用随关键测试性和诊断参数、诊断要素组合和诊断资源的分布变化的敏感性;
- c. 备选诊断方案对每个维修级别的每工作小时直接维修工时、维修作业类别、技术水平或其他诊断度量的影响;
- d. 每个方案的风险。

201.2.4 提出系统级故障检测和故障隔离要求,包括 201.3.4 中的要求,并把这些要求写入系统规范。

201.2.5 根据可靠性、危害性、技术风险以及诊断能力等把系统测试性要求分配到技术状态项目(CI)并写入规范。分配应涉及所有诊断要素。

201.2.6 提出 CI 中指定为 UUT 的每个产品的脱机测试故障检测和故障隔离要求,并把这些要求写入 CI 研制规范。

201.3 工作项目输入

201.3.1 从系统需求说明和 GJB 1371 工作项目 201 得到的任务、性能要求和使用约束(201.2.1);

201.3.2 按 GJB 1371 规定的或由订购方批准的方法进行的保障性分析数据(201.2.2);

- 201.3.3 按 GJB 450 工作项目 202 所做的可靠性分配结果；
- 201.3.4 不进行权衡的定量诊断和测试性要求(201.2.1、201.2.4 和 201.2.5)*；
- 201.3.5 按有关标准进行的人机工程分析结果(201.2.2、201.2.3 和 201.2.5)。
- 201.4 工作项目输出
- 201.4.1 对所选择的诊断能力权衡方法、评价准则、所用模型和分析结果的说明(201.2.4 和 201.2.5)；
- 201.4.2 系统规范中的诊断和测试性要求(201.2.4 和 201.2.5)；
- 201.4.3 每个 CI 规范中的诊断和测试性要求(201.2.6)。

工作项目 202 测试性初步设计与分析

202.1 目的

在设计早期把测试性设计到系统或设备中并评价其程度。

202.2 工作项目要点

- 202.2.1 把测试性设计作为系统或设备设计的组成部分。
- 202.2.2 把合适的测试性设计方案结合到每个产品的初步设计中。确定系统备选方案对固有诊断能力的影响。提出诊断设计应考虑的因素,如系统级 BIT,机内诊断数据采集方式和传感器位置等。
- 202.2.3 从附录 A 中选择要在设计中实施的测试性设计准则。对具体的设计,要对设计准则进行剪裁,并包括 UUT 与脱机 ATE 兼容性方面的准则。
- 202.2.4 对系统或设备设计所选择的测试性设计方案进行定性分析和评价以保证设计能达到所要求的测试性水平。进行固有测试性分析,以确定硬件特性是否有利于测试并确定问题范围。订购方指定要进行固有测试性评价的每个产品按附录 A 的方法进行评价。
- 202.2.5 修改设计直到固有测试性水平满足或超过最低要求。如果不可能达到最低要求或达到最低要求的效费比差,但能满足故障检测和故障隔离要求,那么应提供有关的数据加以说明。

202.3 工作项目输入

- 202.3.1 系统或设备设计数据；
- 202.3.2 应进行固有测试性分析的产品*；
- 202.3.3 每个要进行固有测试性分析的产品应达到的固有测试性最低要求*。

202.4 工作项目输出

- 202.4.1 已设计到系统或设备中的测试性特征(202.2.1、202.2.2 和 202.2.4)；
- 202.4.2 对测试性设计权衡和选定的测试性特征的说明(202.2.2 和 202.2.4)；
- 202.4.3 每条测试性设计准则的加权系数和评分方法(附录 A 和 202.2.3)；
- 202.4.4 固有测试性评价结果。

工作项目 203 测试性详细设计和分析

203.1 目的

把测试性设计到系统或设备中去;评价系统或设备可能达到的测试性水平;保证测试性与其他诊断要素有效的综合与兼容。

203.2 工作项目要点

203.2.1 把测试性,包括 BIT 综合到每个产品的详细设计中去。

203.2.2 确定用于预计系统和设备故障检测和故障隔离水平的方法。

203.2.3 分析任务系统的设计以保证对所有系统级功能都能进行规定程度的测试(如 BIT、性能监控等),并且测试功能与系统级的其他诊断资源(如维修辅助信息、技术手册等)已进行了有效的综合。保证性能监控功能和显示格式能给操作人员提供合适的信息。应特别注意区分硬件故障与软件问题。

203.2.4 研制系统级 BIT 硬件和软件,把 BIT 能力综合到每个分系统和设备中去。

203.2.5 根据组成系统的每个产品(包括订购方提供的设备)预计的 BIT 故障检测水平,用故障率加权来预计整个系统的 BIT 故障检测水平。预计系统的故障隔离水平。

203.2.6 对每个 CI 以及每个 CI 中指定为 UUT 的产品进行中继级测试性分析。分析应包括产品 BIT 和外部 ATE 测试。保证测试功能已与中继级的其他诊断资源(如技术手册、管理信息系统等)进行了有效的综合。

203.2.7 基层级和中继级测试性分析应:

a. 确定与每个 UUT 具体故障模式相对应的每一元器件、零部件的故障以及连接部分的故障。这些故障构成了预计的故障总体并且是测试生成(BIT 和脱机测试)和测试性评价的基础;

b. 建立每个产品元器件、零部件及其相互连接的模型以便精确地模拟预计的故障总体。承制方应从要求的精度、测试生成和模拟费用、标准化和通用性方面考虑建立或选择最优的模型。分析和评价 UUT 与脱机 ATE 间的兼容性;

c. 在预计的故障总体的基础上分析和评价测试性。应重点分析关键的和高故障率的产品及其连接部分的故障检测和故障隔离水平。必要时,测试性数据应用于指导设备和测试程序的重新设计,并用于支持备件要求的预计;

d. 对难于用设计的测试激励隔离的故障,应说明理由并提交订购方评审,同时提供附加的或备选的诊断方法,并为保障性分析确定难于测试的故障。

203.2.8 产品的 BIT 设计应不断迭代直到每个预计的测试性值不小于规定值。

203.2.9 产品的外部测试设计应不断迭代直到每个预计的测试性值不小于规定值。

203.2.10 统计与 BIT 和测试性设计有关的费用(如增加的硬件、提高的模块化程度、增加的连接插针)以及与进行测试性工作、测试生成和生产试验有关的费用。为维修性和保障性分析提供测试性预计方面的输入。

203.2.11 采取措施保证所有维修级别的测试(包括工厂测试)间的测试兼容性,包括各维修

级别间的测试容差以及测试环境的兼容性。

203.3 工作项目输入

203.3.1 要进行测试性预计的产品*；

203.3.2 系统或设备的设计数据；

203.3.3 BIT 和外部测试要求；

203.3.4 每个产品的故障模式和故障率；

203.3.5 订购方提供的设备的测试性数据*；

203.3.6 从维修性验证得到的纠正措施建议。

203.4 工作项目输出

203.4.1 满足测试性要求的系统或设备设计特征(202.2.1、203.2.4、203.2.5)。

203.4.2 系统和设备测试性预计方法、模型和工具的说明(203.2.1)。

203.4.3 在适当的测试要求文件中说明指定为 UUT 的每个产品的 BIT 和测试性特征(203.2.1)。

203.4.4 每个产品的测试性预计结果(203.2.5、203.2.6)。

203.4.5 系统测试性预计结果(203.2.4、203.2.7)。

203.4.6 对保证测试兼容性的措施和设计综合的说明(203.2.11)。

工作项目 300 系列 试验与评定

工作项目 301 测试性验证

301.1 目的

确定系统或设备是否满足规定的测试性要求,并评定测试性预计的有效性。

301.2 工作项目要点

301.2.1 确定如何使用维修性验证、测试程序验证或其他验证方法来验证测试性要求。验证内容按合同规定,一般包括:

- a. 系统运行检查发现异常的能力；
- b. 系统或设备 BIT 检测和隔离故障的能力；
- c. UUT 与所选择的测试设备的兼容性；
- d. 测试设备和相应的测试接口组合检测和隔离故障的能力；
- e. 有关故障字典、探测步骤、人工查找故障程序和工作原理等方面的技术文件的充分性；
- f. BIT 故障检测和故障隔离指示与脱机测试结果之间的符合程度；
- g. 用于预计测试性指标的模型的有效性。

301.2.2 拟定测试性验证计划,并与维修性验证计划相协调；

301.2.3 必要时,利用 GJB 2072 中适当的方法和判据,实施附加的验证,以获得足够的用于评定的测试性数据,并作为测试性验证结果的一个部分编制成文件。只要可能,这项验证应与其他验证结合进行。

301.3 工作项目输入

301.3.1 测试性验证项目*；

301.3.2 测试性验证方法*。

301.4 工作项目输出

301.4.1 测试性验证计划；

301.4.2 测试性验证结果。

附录 A

固有测试性评价

(补充件)

A1 目的

本附录规定了系统或设备的固有测试性评价方法。

A2 一般要求

A2.1 在研制过程中应对系统或设备的固有测试性进行分析,以确定硬件是否有利于测试,并确定存在的问题。

A2.2 订购方规定要进行固有测试性评价的每一个产品应按本附录规定的方法进行评价。

A2.3 任何由订购方规定为必须遵守的测试性设计准则,不属设计权衡内容,应单独评价,并应规定相应的最低要求值。

A3 详细要求

A3.1 评价步骤

系统或设备的固有测试性评价应使用固有测试性核对表,按下述步骤进行评价:

- a. 从 A3.6 中删去那些不适用于本设计的测试性设计准则(见 A3.2)。
- b. 在 A3.6 中增加与本设计有关的测试性设计准则或修改 A3.6 中的准则(见 A3.2)。
- c. 根据每条准则的相对重要程度,指定加权系数(见 A3.3)。
- d. 确定固有测试性最低要求值(见 A3.4)。
- e. 上述 a. 到 d. 应得到订购方的认可。
- f. 统计与每条测试性设计准则相关的分析对象数(见 A3.5)。
- g. 统计满足每条测试性设计准则的分析对象数(见 A3.5)。
- h. 计算每条准则的得分(见 A3.5)。
- i. 计算每条准则的加权得分(见 A3.5)。
- j. 计算本设计的固有测试性值(见 A3.5)。
- k. 改进设计直到固有测试性水平不小于最低要求值。

A3.2 至 A3.5 节提供了进行固有测试性评价的详细指南。

A3.2 准则的剪裁原则

A3.6 中的准则为进行固有测试性评价提供了基础,其意图是为剪裁测试性设计准则提供出发点,以使它适用于具体的系统。A3.6 给出的准则包括了测试性要考虑的全部范围。许多准则可能对特定的设计不适用,剪裁过程的第一步应当从核对表中去掉这样的准则条目。核对表内也有许多准则条目是用很通用的方式叙述的,因此这些条目能够广泛应用。对表中这些条目应根据特定设计进行剪裁,使它适用于具体的特性和设计要求,另外,可能还需要增加一些在核对表中没有的新的准则条目。

部分测试性设计准则的一般应用指南列于表 A1 中。

表 A1 测试性设计准则的应用

分 类	系 统	分 系 统	电 路
测试要求	✓	✓	✓
BIT	✓	✓	✓
划分	✓	✓	✓
测试控制	✓	✓	✓
测试通路	✓	✓	✓
测试数据	△	△	✓
结构设计	△	✓	✓
模拟电路设计	×	×	✓
数字电路设计	×	×	✓
元器件选择	✓	✓	✓

注:✓——适用;△——修改后部分可用;×——不适用。

包含在 A3.6 中 BIT 标题下的许多核对表条目也适用于机械测试。在这种情况下,“BIT”一词可以用其他适当的词替换。

A3.3 准则的加权原则

应根据对测试性的相对重要程度对准则进行加权。每条准则的得分是通过由承制方确定、订购方认可的加权系数来确定的。

准则的相对重要程度是通过分配 1—10 的权值确定的,对满足测试性要求是关键性的设计准则应分配加权系数为 10,对满足测试性要求是重要的但不是关键的,分配加权系数为 5,对测试性设计有益,但对满足测试性要求不是重要的设计准则,分配加权系数为 1。

A3.4 固有测试性最低要求值

订购方应确定用于固有测试性评价的最低要求值。由于评价对象的广泛性,所以无法推荐单一的“最好的”最低要求值。准则剪裁和加权完成后,100 分表示经双方一致同意的测试性设计准则已全部结合到设计中去了。目标应该是保证设计能百分之百地符合确定的测试性设计准则,应根据达到这个目标的可能性及实际情况对这个目标进行调整。

在进行固有测试性评价时,最低要求值一般为 85—95 分。最后确定的最低要求值是协商过程的结果,它包括费用、进度和对其他专业工程的影响,而不是由于设计者技术上的限制。

A3.5 计分步骤

当有可利用的足够详细的设计资料进行固有测试性评价并且核对表中准则的有关加权系数已确定时,就可开始计分。计分步骤如下:

步骤 1:确定每条准则适用的分析对象数并填入表 A2 的“准则适用对象数”栏;

步骤 2:利用设计资料确定符合每条准则的分析对象数目并填入表 A2 的“符合准则对象数”栏;

步骤 3:计算每条准则得分 S_i ,并填入表 A2 的“得分”栏;

$$S_i = N_o \times 100 / N_t \dots\dots\dots (A1)$$

式中: S_i ——第 i 条准则的得分;

N_o ——符合第 i 条准则的分析对象数;

N_i ——第 i 条准则适用的分析对象数。

步骤 4: 计算每条准则的加权得分 S_{wi} , 并填入表 A2 的“加权得分”栏;

$$S_{wi} = W_i \times S_i \dots\dots\dots (A2)$$

式中: S_{wi} ——第 i 条准则的加权得分;

W_i ——第 i 条准则的加权系数;

S_i ——步骤 3 中计算出的第 i 条准则的得分。

步骤 5: 计算固有测试性值(T)。

对表 A2 中的加权系数栏和加权得分栏求和, 并使用如下公式:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n S_{wi}}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots (A3)$$

式中: T ——固有测试性值;

n ——适用于本设计的准则总数。

记分表的格式如表 A2 所示, 其中设计准则的内容见 A3.6。

表 A2 记分表格式示例

测试性设计准则	加权系数 W_i	准则适用 对象数 N_i	符合准则 对象数 N_o	得分 S_i	加权得分 S_{wi}
准则 1					
准则 2					
·					
·					
·					
准则 n					
总计					

A3.6 固有测试性核对表

A3.6.1 结构设计(用于电子功能)

- 印制电路板上的元件是否按标准的座标网格方式布置?
- 元件之间是否留有足够的空间, 允许插入测试夹子和测试探针?
- 所有元件是否都按同一方向排列? (如所有插座的 1 号插针是否都在相同方向)
- 连接电源、接地、时钟、测试和其他公共信号等的插针是否都位于连接器的标准(固定)位置?

- e. 边缘连接器或电缆连接器上的输入和输出信号插针的数目是否与所选择测试设备的输入和输出的能力相匹配?
- f. 排列连接器插针时是否考虑到使由于相邻插针短路而引起的损坏程度最小?
- g. 印制电路板的布局是否支持引导探针测试技术?
- h. 为提高 ATE 对表面安装器件的测试能力,设计中是否准备了测试连接器?
- i. 为了减少所需专用接口适配器的数目,在每块印制板上是否尽可能地使用了可拆除的开关?
- j. 电源和接地线是否尽可能包括在输入、输出连接器和测试连接器上?
- k. 在确定敷形涂覆时是否考虑了测试和修理的要求?
- l. 设计中是否避免了对会降低测试速度的专用装置(例如专用冷却)的要求?
- m. UUT 的预热时间是否合理?
- n. 每个 UUT 是否都有清晰的标志?

A3.6.2 划分(用于电子功能)

- a. 每个被测试的功能所涉及的全部元件是否都安装在一块印制电路板上?
- b. 如果一块印制电路板上有一个以上的功能,是否能按功能进行独立测试?
- c. 在一个功能中的复杂数字电路和模拟电路能否进行单独测试?
- d. 在一个功能中,每块被测试的电路规模是否足够小,以降低故障检测和隔离费用?
- e. 如果需要,上拉电阻是否与驱动电路装在同一印制电路板上?
- f. 为了易于与测试设备兼容,模拟电路是否按频率划分?
- g. 测试需要的电源的类型和数目是否与测试设备相一致?
- h. 测试要求的激励源的类型和数目是否与测试设备相一致?
- i. 模糊组中的元器件是否放在同一封装内?

A3.6.3 测试控制

- a. 是否使用连接器的空余插针将测试激励和控制信号从测试设备引到电路内部的节点?
- b. 是否能将电路迅速而容易地预置到一个已知的初始状态(总清,初始化序列小于 N 个时钟周期)?
- c. 冗余元件是否能进行独立测试?
- d. 是否能用测试设备的时钟信号断开印制电路板上振荡器并驱动所有的逻辑电路?
- e. 在测试模式下,是否能将长的计数链分成几段,每一段都能在测试设备控制下进行独立测试?
- f. 测试设备是否能将 UUT 在电气上划分成几个较小的易于独立测试的部分(如将三态器件置于高阻状态)?
- g. 不可避免时,单稳触发电路是否具有旁路措施?
- h. 是否提供了把系统总线作为一个整体进行测试的措施?
- i. 是否能在测试设备控制下断开反馈回路?
- j. 在有微处理器的系统中,测试设备是否能访问数据总线、地址总线和重要的控制线?
- k. 在高扇入的节点(测试瓶颈)上是否设置了测试控制点?

l. 是否为有高驱动能力要求的控制信号设置了输入缓冲器?

m. 是否采用了如多路转换器和移位寄存器之类的有源器件,使测试设备能利用现有的输入插针控制需要的内部节点?

A3.6.4 测试通路

a. 是否使用连接器的备用插针将附加的内部节点数据传输给测试设备?

b. 信号线和测试点是否设计成能驱动测试设备的容性负载?

c. 是否提供了使测试设备能监控印制电路板上的时钟并与之同步的测试点?

d. 电路的测试通路点是否位于高扇出点上?

e. 是否采用了缓冲器和多路分配器保护那些因偶然短路而可能损坏的测试点?

f. 当测试点是锁存器且易受反射信号影响时,是否采用了缓冲器?

g. 是否采用了有源元件(如多路分配器和移位寄存器),允许利用现有的输出插针将需要的内部节点数据传输到测试设备上?

h. 为了与测试设备相兼容,UUT 中的所有高电压在提供测试点观测之前,是否都按比例降低了?

i. 测试设备测量的精度是否满足 UUT 的容差要求?

A3.6.5 元器件选择

a. 所使用的元器件的品种和规格是否尽可能地少?

b. 是否尽可能地选用了故障模式已充分暴露的元器件?

c. 元器件是否有刷新要求?如果有刷新要求,测试时,是否有足够的时钟周期保障动态器件的刷新?

d. 使用的元器件是否属于同一逻辑系列?如果不是,相互连接时,是否使用了通用的信号电平?

A3.6.6 模拟电路设计

a. 每一级分立的有源电路是否引出一个测试点到连接器上?

b. 每个测试点是否经过适当的缓冲或与主信号通道隔离?

c. 是否禁止对生产产品进行多次、有互相影响的调整?

d. 不用其他 UUT 上的偏置电路或负载电路,电路的功能是否完整?

e. 所需与多相位有关的或与时间相关的激励源的数量是否最少?

f. 对相位和时间要求测量的次数是否最少?

g. 要求的复杂调制测试或专用定时测试的数量是否最少?

h. 激励信号的频率是否与测试设备能力相兼容?

i. 激励信号的上升时间或脉冲宽度是否与测试设备能力相兼容?

j. 要测量的响应信号在频率上是否与测试设备能力相兼容?

k. 测量时,响应信号的上升时间或脉冲宽度是否与测试设备能力相兼容?

l. 激励信号的幅值要求是否在测试设备的能力范围之内?

m. 测量时,响应信号的幅值是否在测试设备的能力范围之内?

n. 设计是否避免了外部反馈回路?

- o. 设计是否避免使用温度敏感元件或对这些元件进行补偿?
- p. 设计是否允许在没有散热条件下进行测试?
- q. 是否使用了标准连接器?

A3.6.7 射频(RF)电路设计

- a. 发射机(变送器)输出端是否有定向耦合器或使用了类似的信号敏感和衰减技术,用于 BIT 或脱机测试监控,或者两者?
- b. 如果射频发射机使用脱机 ATE 测试的话,是否进行了适当地测试安装(微波暗室)设计,以便在规定的频率和功率范围内安全地测试?
- c. 为准确模拟要测试的所有射频信号负载要求,在脱机 ATE 或者 BIT 电路中是否使用了适当的终端负载装置?
- d. 对测试射频 UUT(RF UUT)所需的全部射频激励和响应信号,在脱机 ATE 内是否提供了开关?
- e. 为补偿由开关和电缆导致的测量数据误差,脱机 ATE 或 BIT 的诊断软件是否提供了调整 UUT 输入功率(激励)和补偿 UUT 输出功率(响应)的能力?
- f. 射频 UUT 使用的信号频率和功率是否超出了 ATE 的激励和测量能力? 如果是这样,ATE 内是否使用了信号变换器,以使 ATE 和 UUT 兼容?
- g. UUT 的 RF 测试输入和输出接口部分,在结构上是否与脱机 ATE 输入输出兼容?
- h. UUT 和 ATE 的 RF 接口设计,能否使系统操作者不用专门工具就可迅速容易地连接和断开 UUT?
- i. 可否不用较大分解 RF UUT 就能完成任何组件或分组件的修理或更换?
- j. 是否为 UUT 校准提供了充分的测试性措施(可控性和可观测性)?
- k. 是否建立了 RF 补偿调整程序和数据库,以便校准施加的所有激励信号和通过 BIT 或脱机 ATE(接到 RF UUT 接口)测量的所有响应信号?
- l. 对每个被测的 RF 激励和响应信号,在 RF UUT 接口处是否明确地指明了所有 RF 测试参数及其定量要求?

A3.6.8 电光(E/O)设计

- a. 是否设有光学分离器和耦合器,以便不进行较大分解就可为信号提供可达性?
- b. 光学系统的功能配置,能否保证可对光学系统及其有关的驱动电子部分进行独立测试?
- c. 预定的脱机测试安装方式是否满足要求的机械稳定性?
- d. UUT 设计和安装是否已考虑了温度稳定性,以保证在整个正常工作环境中性能稳定?
- e. ATE 系统、光源和监控系统是否有足够的波长范围以便适应各种 UUT?
- f. 为获得准确的光学读数(对准),是否有足够的机械稳定性和可控性?
- g. 轴线能否自动校准或不需要校准?
- h. 是否有适当的滤光措施以达到光线衰减要求?
- i. 在整个工作范围内光源是否提供了足够的动态特性?
- j. 监控器是否有足够的灵敏度,以适应广泛的光强度范围?

- k. 所有调制模型是否都能被仿真、激励和监控?
- l. 测试程序和内部存储器能否测试灰色阴影的像素?
- m. 不用较大的分解或重新排列,是否有到光学部件的通路?
- n. 目标是否能被自动控制以便聚焦和小孔成像?
- o. 平行光管(准直仪)是否在它们整个运动范围内自动可调?
- p. 平行光管是否有足够的运动范围,以满足多种测试应用?

A3.6.9 数字电路设计

- a. 电路是否设计成只包含同步逻辑电路?
- b. 所有不同相位和频率的时钟是否都来自单一主时钟?
- c. 所有存贮器是否都用主时钟导出的时钟来定时(避免使用其他部件信号定时)?
- d. 设计是否避免使用阻容单稳触发电路和避免依靠逻辑延时电路产生定时脉冲?
- e. 电路是否支持“位片”测试?
- f. 在主接口处,是否包含有数据环绕电路?
- g. 所有总线在没有选中时,系统是否设置了预定值(缺省值)?
- h. 对于多层印制电路板,每个主要总线的布局是否允许用电流探头或其他技术进行故障隔离?
- i. 是否为只读存贮器(ROM)中每个字规定了一个已知输出?
- j. 选择了不用的地址时,是否能产生一个明确定义的错误状态?
- k. 每个内部电路的扇出数是否低于预定值?
- l. 每块电路板输出的扇出数是否低于预定值?
- m. 在测试设备输入端时滞可能成为问题的情况下,电路板的输入端是否有锁存器?
- n. 设计上是否避免了“线或”?
- o. 设计上是否包含限流器以防止发生“多米诺”效应?
- p. 如果采用了结构化测试性设计技术(如扫描通路、信号特征分析等),是否满足了所有的设计规则?
- q. 是否为微处理器和其他复杂器件提供了插座?

A3.6.10 BIT

- a. 每个 UUT 内的 BIT 是否能在测试设备的控制下执行?
- b. 测试程序装置(TPS)是否设计成能利用 BIT 能力?
- c. UUT 上的 BIT 指示器是否用于重要功能? BIT 指示器的设计是否能在 BIT 故障时给出失败(FAIL)指示?
- d. BIT 是否使用了积木式方法(即在一个功能测试之前对该功能的所有输入进行检查)?
- e. 积木式 BIN 是否充分利用了功能电路?
- f. 组成 BIN 的硬件、软件和固件的配置是否最佳?
- g. UUT 上的只读存贮器(ROM)是否包含自测试子程序?
- h. 所设计的自测试电路是否是可测试的?
- i. 是否已确定了识别是硬件还是软件导致故障的方法

j. BIT 是否有保存联机测试数据的方法,用来分析维修环境中不能复现的间歇故障和运行故障?

k. 预计的 BIT 电路的故障率是否在规定的范围内?

l. 由于设置 BIT,引起的附加重量是否在规定的范围内?

m. 由于设置 BIT,引起体积的增加是否在规定的范围内?

n. 由于设置 BIT,引起的附加功耗是否在规定的范围内?

o. 由于设置 BIT,所需增加的元件数量是否在规定的范围内?

p. 是否按相对故障率和功能关键性给每个 UUT 分配适当的 BIT 能力?

q. 根据使用情况进行修改的 BIT 门限值是否存放在软件或存在易于调整的固件中?

r. 为了尽量减少虚警,BIT 传感器数据是否进行了滤波和处理?

s. BIT 提供的数据是否满足系统使用和维修人员的不同需要?

t. 是否给置信度测试软件和诊断软件留有足够的存贮空间?

u. 任务软件是否有足够的检测硬件错误的能力?

v. BIT 的故障检测时间是否与被监控功能的危害性相一致?

w. 在确定每个参数的 BIT 门限值时,是否考虑了每个参数的统计分布特性、BIT 测量误差,最佳的故障检测和虚警特性?

A3.6.11 性能监控

a. 是否确定了系统工作和用户要求监控的关键功能?

b. 监控系统的输出显示是否符合人机工程分析的结果,以确保用最适用的形式为用户提供要求的信息?

c. 为保证来自被监控系统的数据传输与中央监控器兼容,是否建立了接口标准?

A3.6.12 机械系统状态监控(MSCM)

a. 是否已把 MSCM 及战斗损伤监控功能与其他性能监控功能结合起来?

b. 是否设置了预防性维修监控功能(滑油分析、减速器破裂等)?

c. 是否已进行了预防性维修分析?

A3.6.13 传感器

a. 为获得宽频带动态数据,压力传感器是否安装在靠近压力敏感点的地方?

b. 传感器的选择是否考虑了传感器的工作环境条件?

c. 是否考虑了测试介质和敏感元件之间的热惯性(滞后)?

d. 是否已建立了敏感装置的校准程序?

A3.6.14 诊断能力综合

a. 保证测试兼容性的方法是否已经建立、使用并写入文件?

b. 在每一维修级别,是否已建立了保证测试资源与其他诊断资源(技术信息、人员和培训等)兼容性的方法?

c. 诊断策略(相关性图表、逻辑图)是否已写入文件?

A3.6.15 测试要求

a. 是否已经进行了修理级别分析?

b. 在各维修级别上,对每个 UUT 是否已确定了如何使用 BIT、ATE 和通用电子测试设备来进行故障检测和故障隔离?

c. 计划的测试自动化程度与维修技术人员的能力是否一致?

d. 对每个 UUT,测试性设计的水平是否与修理级别、各种测试手段组合及决策自动化的程度相符合?

A3.6.16 测试数据

a. 时序电路的状态图是否能识别无效序列和不确定的输出?

b. 如果使用了计算机辅助设计,计算机辅助设计的数据是否能有效地支持测试生成过程和测试评价过程?

c. 对设计中使用的大规模集成电路,是否有足够的数据准确地模拟大规模集成电路并产生高置信度的测试?

d. 对计算机辅助测试生成,现有的软件在计算效率、故障模拟、元器件库和测试响应数据处理方面是否满足要求?

e. 系统设计工程师是否根据测试设计者的意图和原理的阐述将测试性特性包含在测试要求文件中?

g. 每个主要的测试是否都有测试流程图? 测试流程图是否仅限于少数几张图表? 图表之间的连接标志是否清楚?

h. UUT 中每个信号的容差范围是否已知?

附 录 B

测试性大纲应用指南

(参考件)

B1 总则

本附录为工作项目的剪裁提供指南。

B1.1 剪裁工作项目的准则

测试性工作是系统和设备研制工作的重要组成部分。测试性工作应纳入系统和设备研制计划。

由于系统和设备的类型和研制要求不同,以及各种条件的限制,因而要求订购方和承制方在签订合同或拟订研制任务书之前,剪裁本标准规定的测试性工作项目及其内容。并将费用效益作为剪裁的基本依据。

剪裁的基本要求是:

- a. 删除对具体系统和设备不合适和不必要的要求;
- b. 修改某些条款或补充本标准中没有包括的技术要求;
- c. 协调与所选用的其他标准之间重复或不一致的问题。

经过剪裁的要求、工作项目及其内容应编入合同等有关文件中。

本标准规定的每个工作项目中均有“工作项目输入”,其中凡带* 符的条款由订购方规定。

B1.2 测试性工作项目实施表

本标准对系统和设备研制与生产阶段的划分是:

- a. 战术技术指标论证阶段;
- b. 方案论证及确认阶段;
- c. 工程研制阶段(含设计定型);
- d. 生产阶段。

表 B1 向订购方和承制方提供了一个使用本标准的指南。它说明在每一阶段应该做哪些工作项目。

表 B1 测试性工作项目实施表

	工 作 项 目	战术技术指标论证阶段	方案论证与确认阶段	工程研制阶段	生产阶段
101	制定测试性工作计划	△	✓	✓	×
102	测试性评审	△	✓	✓	△
103	制定测试性数据收集和分析计划	×	△	✓	✓
201	诊断方案和测试性要求	△	✓	✓	×
202	测试性初步设计与分析	×	△	✓	△

续表 B1

工 作 项 目		战术技术指 标论证阶段	方案论证与 确认阶段	工程研制 阶 段	生产 阶段
203	测试性详细设计与分析	×	△	✓	△
301	测试性验证	×	△	✓	△

注：✓——适用 △——有选择地应用 ×——不适用

表 B1 中的某些工作项目适用于系统或设备不同的研制阶段，其实际内容应随着工程的进展逐步细化。对于不同的系统和设备，应根据研制程序，确定其研制与生产阶段和相应的测试性工作项目。

B2 一般应用指南

B2.1 系统测试性工作(图 B1)

对大型复杂的系统，图 B1 汇总了每个研制阶段的测试性工作。

B2.1.1 战术技术指标论证阶段

- a. 制定测试性工作计划(工作项目 101)；
- b. 确定系统级故障检测和故障隔离要求(工作项目 201)；
- c. 进行测试性评审，作为论证阶段评审的一部分(工作项目 102)。

B2.1.2 方案论证及确认阶段

- a. 制定测试性工作计划(工作项目 101)；
- b. 分配诊断要求(工作项目 201)；
- c. 进行测试性设计(工作项目 202)；
- d. 进行测试性评审，作为方案阶段评审的一部分(工作项目 102)。

B2.1.3 工程研制阶段

- a. 制定并修改测试性工作计划(工作项目 101)；
- b. 把测试性特性设计到每个产品中去，并评价其有效性(工作项目 202 和 203)；
- c. 进行测试性评审，作为工程研制阶段评审的一部分(工作项目 102)；
- d. 保证各诊断要素间的兼容性(工作项目 203)；
- e. 验证测试性(工作项目 301)。

B2.1.4 生产阶段

- a. 收集有关的测试性数据(工作项目 103)；
- b. 采取纠正措施(工作项目 103)。

B2.2 产品测试性工作(图 B2)

组成系统或单独研制的设备的产品的测试性工作如下：

B2.2.1 初步设计

- a. 如果测试性工作计划不能作为系统研制合同的一部分来制定，那么应单独制定一个测试性工作计划(工作项目 101)；
- b. 把测试性特性设计到产品中去(工作项目 202)；

- c. 准备每个产品的固有测试性核对表(工作项目 202);
- d. 进行测试性评审(工作项目 102)。

B2.2.2 详细设计

- a. 评价每个产品的固有测试性(工作项目 202);
- b. 把测试性特征设计到产品中去(工作项目 203);
- c. 预计每个产品的测试性水平(工作项目 203);
- d. 进行测试性评审(工作项目 102);
- e. 验证产品的测试性(工作项目 301)。

B2.3 设备测试性工作(图 B3)

对某些简单较小的系统或单独研制的设备,其测试性工作如下:

- a. 确定系统或设备的测试性要求(由订购方利用工作项目 201 实施);
- b. 制定测试性工作计划(工作项目 101);
- c. 把测试性特征设计到产品中去,并评价其有效性(B2.2);
- d. 收集有关的测试性数据(由订购方利用工作项目 103 实施)。

B2.4 高风险分系统的测试性工作

在方案论证与确认阶段,应特别重视那些在测试中存在高风险的分系统。测试性设计的高风险情况可能由以下原因引起:

- a. 被测功能的关键性;
- b. 难以以可承担的费用实现要求的测试水平;
- c. 对 UUT,难以确定适当的测试性度量或难以验证;
- d. 由于没有达到预期的测试水平、自动化程度和其他要求,对维修性产生很大影响;
- e. 在工程研制和生产期间,分系统改进的可能性很小。

B3 详细应用指南

B3.1 制定测试性工作计划(工作项目 101)

B3.1.1 测试性工作计划的内容

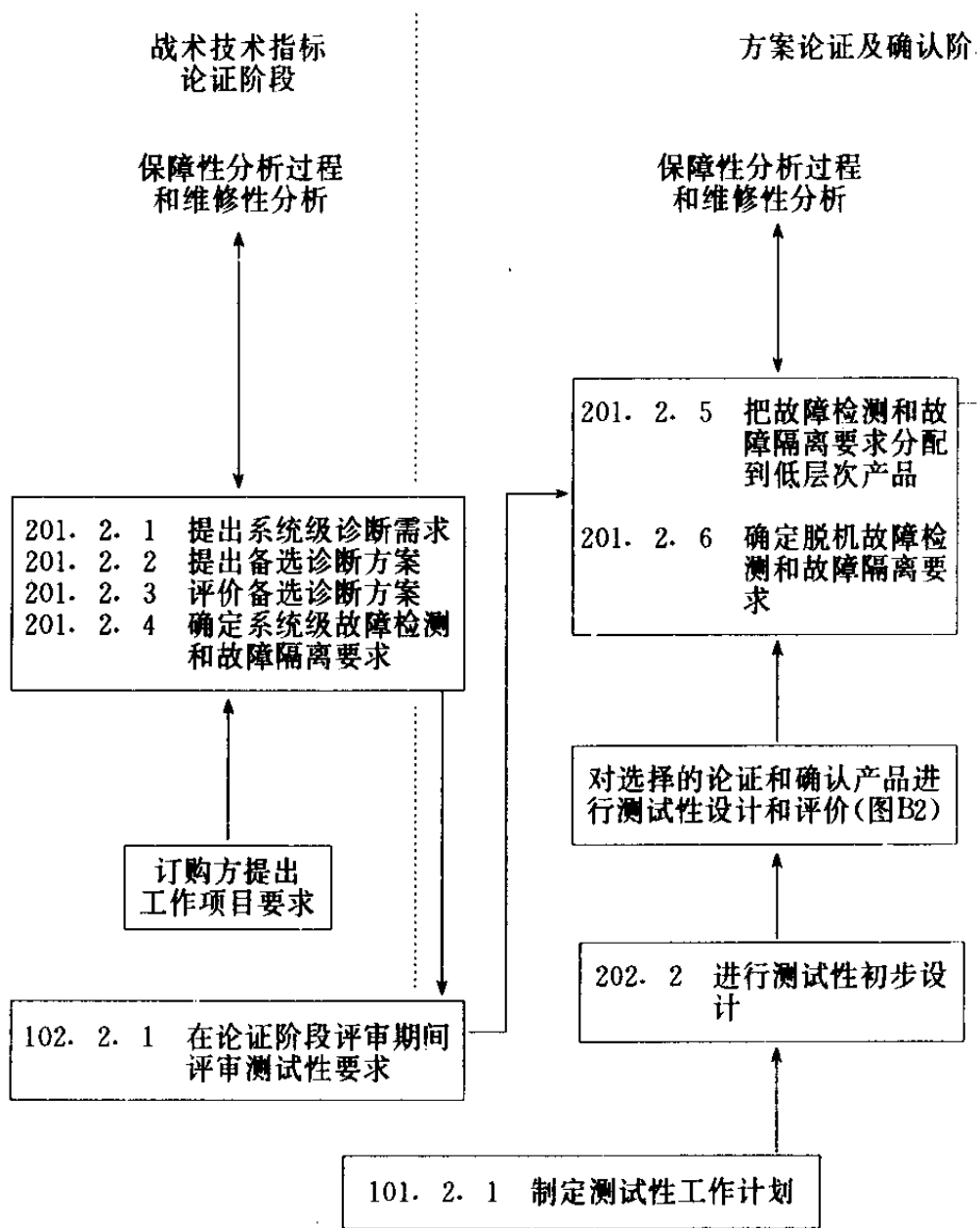
测试性工作计划是实施测试性工作的最基本文件,是承制方必须做的一项工作。测试性工作计划的内容主要包括:

- a. 要完成哪些测试性工作项目;
- b. 每个工作项目如何完成,什么时候完成;
- c. 如何利用这些工作项目的结果。

测试性工作计划可以是一个独立的文件,但在需要时,也可作为系统工程计划的一部分。测试性工作计划应与维修性工作计划和保障性分析计划紧密协调。

B3.1.2 测试性工作计划的提交

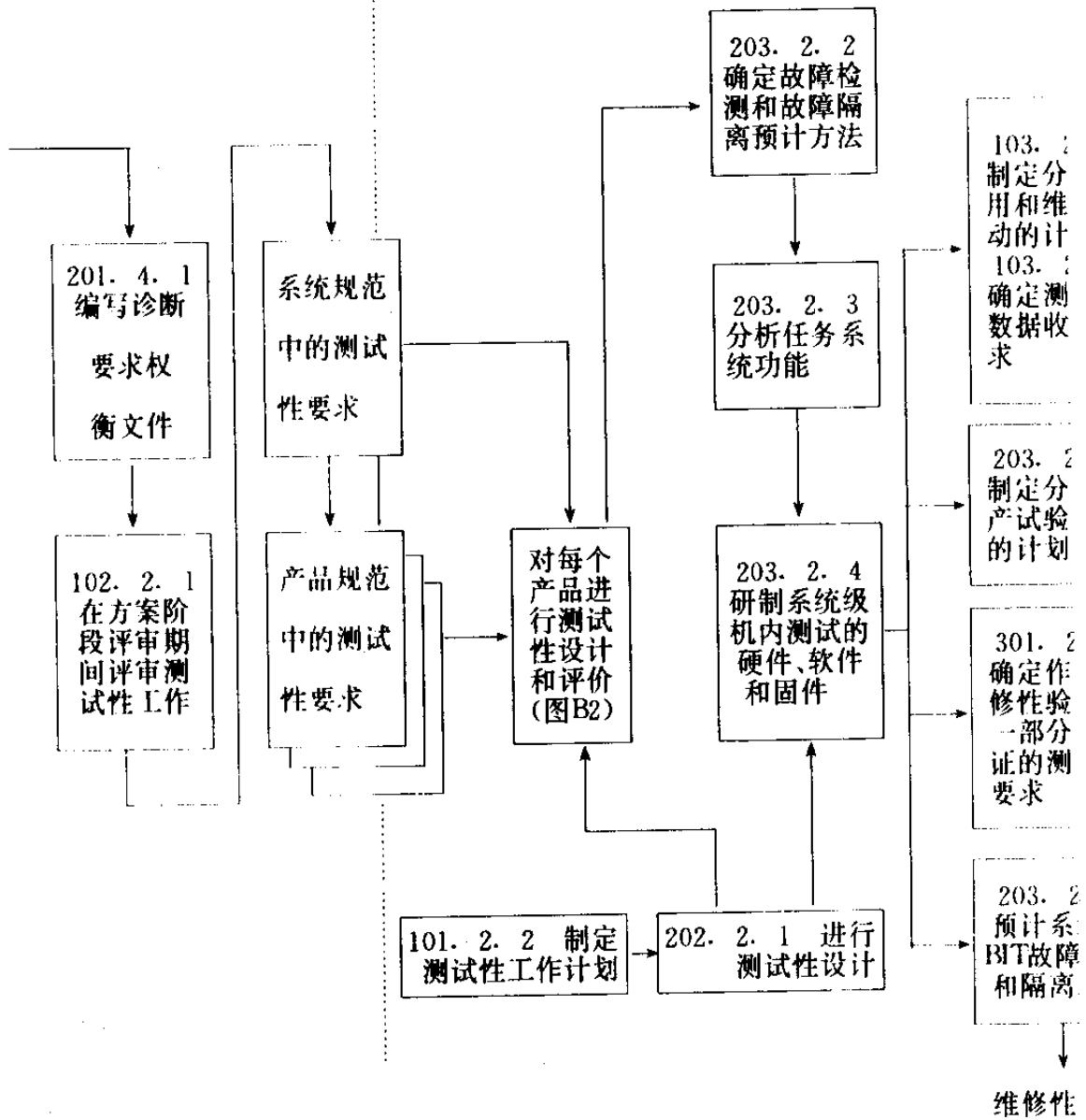
订购方要求制定测试性工作计划时,应允许承制方合理地剪裁本标准规定的各项工作。测试性工作计划是一个动态文件,它反映当前工作的状态和已计划的措施。因此,在条件许可的情况下,订购方必须规定有关修改及批准测试性工作计划的手续。工程项目进度更改、测试结果或测试性工作项目的输出可能要求修改测试性工作计划,以便使它成为一个有效的管理文



注:虚框内的内容不是本标准的任务

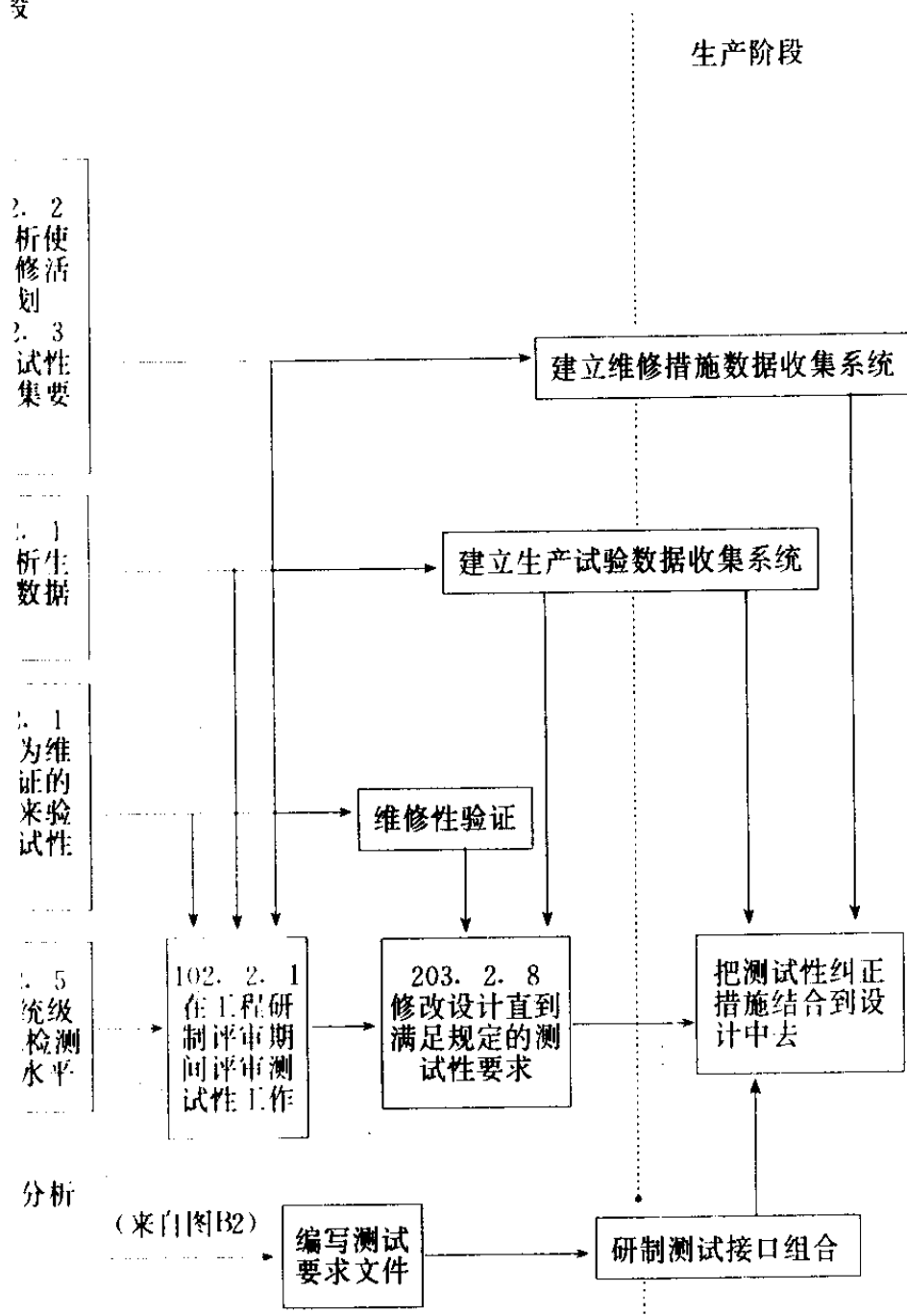
投

工程研制阶段



图B1 系统测试性工作流程图

投



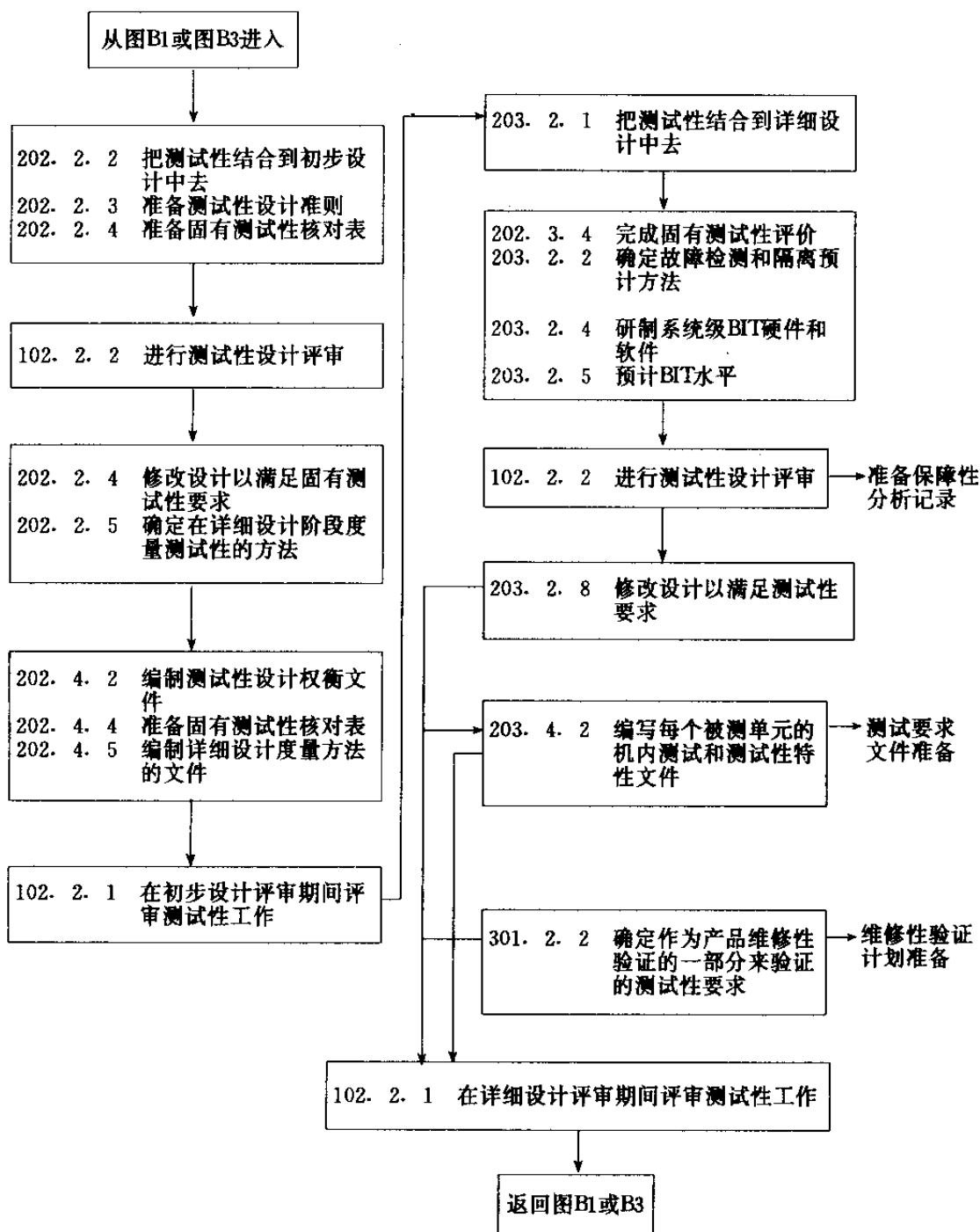


图 B2 产品测试性工作流程

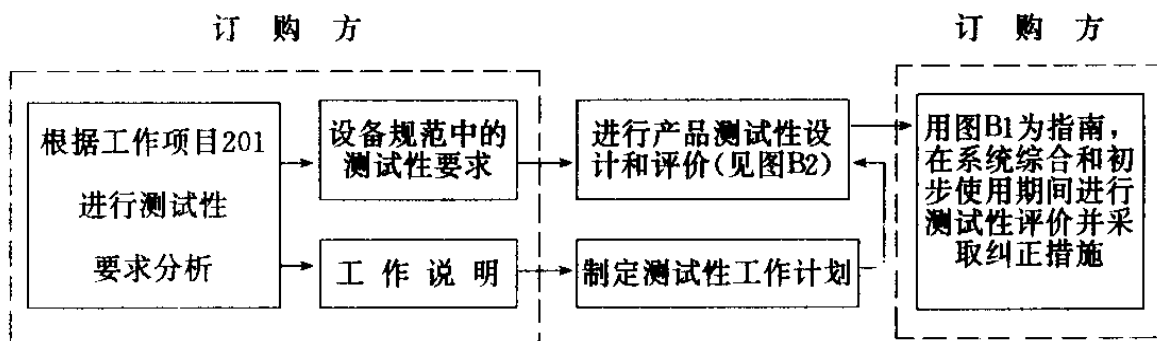


图 B3 设备测试性工作

件。

B3.1.3 计划阶段

在战术技术指标论证阶段,该计划应说明确定诊断方案和系统级诊断需求所采用的方法。在方案论证与确认阶段,该计划应说明如何将这些诊断需求转换为测试性要求,然后分配到分系统和 CI。此外,该计划应说明在后续阶段将进行的测试性活动。这包括建立保证所有诊断要素兼容性和综合的方法以及验证、测试和评价诊断能力的手段。最后,在工程研制阶段的后期以及系统生产阶段,该计划应说明用于确定和跟踪与测试性有关的问题的方法。在所有情况下,应向订购方提供足够的信息以便对测试和测试性备选方案进行有效的评价。测试性工作计划应说明与测试性有关的信息是如何流通的。

B3.1.4 机构接口

为了制定和维持一个有效的测试性大纲,测试性管理人员应与所有设计工程(包括 BIT 软件开发)建立密切协作关系,在满足系统保障要求时,任务系统设计应作为通过保障性分析过程进行权衡的要素之一。因此,测试性管理人员应积极地与设计人员相配合以便使性能、费用和保障性得到适当的权衡。

B3.2 测试性评审(工作项目 102)

B3.2.1 评审的类型

本工作项目涉及两类评审:系统评审(102.2.1)和测试性设计评审(102.2.2)。

B3.2.1.1 系统评审

系统评审是订购方重要的管理和技术手段,应在工作说明中规定以保证有足够的人员和资金。该评审应在系统研制期间进行以评价整个工程项目的进展情况、一致性和技术充分性。测试性工作进展情况应作为该评审的一部分。

B3.2.1.2 测试性设计评审

测试性设计评审是评估测试性设计进展情况所必需的,这种评审与系统评审相比,技术上更详细,评审次数更频繁。该评审应保证承制方内影响测试性或受测试性影响的所有机构都有代表参加并有一定的决策权。承制方内部和转承制方设计评审的结果应形成文件,并在订购方要求时及时提供。这些评审应尽可能与维修性评审协调进行。

B3.2.2 附加的数据

除了正式评审外,很多有用的信息还可从承制方未正式提交的数据中利用新增资料清单获得。清单的资料项目也应纳入合同中,这个清单是一种文件和数据的汇编,订购方可以预定或在承制方有关部门查阅。

B3.3 测试性数据收集和分析计划(工作项目 103)

B3.3.1 测试性跟踪

在系统研制阶段之后,还应对测试性进行跟踪和评价。本工作项目的目的在于为评价实际使用和维修环境对 UUT 测试性的影响制定计划。测试性设计对中继级和基地级维修任务的有效性应作为上述评价的一部分来监控和分析。尽管许多数据的收集和分析以及纠正措施可能在合同结束之后才进行,并且不是由承制方来完成,但是,在工程研制阶段开始以后,就应开始制定测试性数据收集和分析计划。

B3.3.2 数据收集和分析计划

在生产阶段(103.2.1)和使用阶段(103.2.2)应分别制定数据收集和分析计划。这些计划应说明在各种文件(如试验与评估报告、生产试验报告、工厂验收试验报告等)中应记录哪些数据。

B3.3.3 测试成熟过程

大多数测试的实施,不管其计划多么好,都需要一段时间确定问题和采取纠正措施以达到规定的性能水平。这个“成熟”过程同样适用于 BIT 和脱机测试。在确定用于测试模拟参数的 BIT 和脱机测试的容差时更是如此,通常要经过较长的测试时间才能设定测试容差,以达到故障检测和虚警间的最佳平衡。需要强调的是在生产阶段精调测试系统的需求并不意味着降低对工程研制阶段提供“完美的设计”的要求。加速测试成熟过程的一种方法是对部分验收试验利用计划的基层、中继或基地级测试设备。对那些已发现的故障,应运行 BIT 测试硬件和软件对其进行测试,并记录和评估 BIT 的有效性。

B3.3.4 使用试验与评价

BIT 的适用性评价应作为试验与评价的一个组成部分。应使用一个闭环的数据跟踪系统来跟踪系统初始故障发生、基层级纠正措施、高级维修的维修措施以及修理后重新投入使用的产品的使用 and 性能。测试性数据收集系统应尽可能与类似的可靠性和维修性的数据收集系统相结合。应收集充分的数据以支持 B3.3.4.1 和 B3.3.4.2 的分析。首先应评审所有的维修措施,以确定产品的故障是否与 BIT 和脱机测试有关。然后如果在数据跟踪中发现实际的故障,应利用 B3.3.4.1 已证实的故障进行分析。如果没有发现实际的故障,应利用 B3.3.4.2 中的未证实的故障进行分析。

B3.3.4.1 已证实的故障

对于每个证实的故障,应分析如下 BIT 数据:

- a. 是否检测到故障?
- b. 是否向操作人员正确地指出了工作状态?
- c. 是否为修复性维修措施提供了有效的故障隔离信息?
- d. 故障隔离的模糊度是多少?

e. 基层级维修需要的故障隔离时间是多少?

对每个证实的故障,应分析如下脱机测试兼容性数据:

a. 为了克服 UUT 与 ATE 之间(机械或电气)接口上的缺陷是否需要补充检查?

b. ATE 提供的故障检测结果与 BIT 的检测结果是否一致?

c. UUT 设计是否妨碍了 ATE 提供准确的故障隔离数据?

B3.3.4.2 未证实的故障

对每个由 BIT 指示或报警指出的但未证实的故障(不能复现),应分析如下数据:

a. 报警的性质是什么?

b. 产生报警的频度是多少?

c. 哪些故障会引起这次报警?

d. 忽视报警的潜在后果是什么?(人员不安全、发射不可靠武器等)

e. 与虚警相应的使用费用是多少?(任务失败、降级工作、系统停机)

f. 与虚警有关的维修费用是多少?

g. 在工作软件库中,哪些附加数据可以用来表示不能复现事件的特征?

B3.3.4.3 纠正措施

汇总 BIT、脱机测试兼容性数据,并在需要时,由承制方或使用方提出纠正措施。涉及任务系统重新设计的纠正措施要提交评审,并作为所制定的工程更改过程的一部分来实施。

B3.4 诊断方案和测试性要求(工作项目 201)

B3.4.1 目的

工作项目 201 的目的是评价备选诊断方案,提出系统测试性要求并把这些要求分配到低层次产品。

工作项目 201 在系统研制的早期阶段(战术技术指标论证和方案论证与确认阶段)进行,此时系统的使用和保障要求彼此之间正处于权衡、分析和优化之中。测试性考虑和影响是该分析过程的一个组成部分。应对各种测试性备选方案对任务能力、性能参数、保障费用和可用性的影响进行评价。应根据系统总目标对测试性参数和诊断资源组合进行评价。确定系统的诊断方案时,应考虑嵌入式和外部诊断能力以及在各维修级别所需的资源。应对各种诊断方案对人力、人员和寿命周期费用的影响进行评价。工作项目 201 的结果或输出是写入系统和 CI 规范的测试性要求。根据这些要求,通过设计把测试性设计到系统和设备中去(见工作项目 202 和 203)。

工作项目 201 说明了如何为构成完整诊断能力的所有诊断要素确定定量要求。因此,分析和权衡时应考虑影响故障检测和故障隔离能力的所有因素。在某些情况下,这些分析和权衡是由保障性分析或维修性分析完成的。如果是这样的话,可对工作项目 201 进行剪裁,只涉及嵌入式和外部测试功能。

B3.4.2 技术改进

201.2.2c 说明通过技术改进使新系统的保障性得到了改进。这一分析还将确定什么地方可以改进,并确定对保障性、费用和战备完好性的预期的改进效果以便确定测试设备和测试性初始目标。这项工作应由设计人员与保障性专家共同完成。

B3.4.3 标准化

在许多情况下,充分利用现有的保障资源及人员技能可以显著地减少系统寿命周期费用、提高系统的战备完好性、使新系统引入的影响最小,并且增加用户使用新系统的灵活性。新系统的测试系统标准化要求,可由订购方在有关文件的规定中提出。这些要求包括标准软件语言需求或多用途标准系统测试设备的使用(201.2.2a)。

B3.4.4 测试性初始目标

测试性参数值(即初始目标、目标、门限值)随系统研制阶段的不同而不同。通常在战术技术指标论证阶段应确定初始目标。初始目标应基于先前类似系统的任务结果和为定义保障系统而作的工作的结果来确定(特别是基于作为采用新技术的结果来确定),并且应进行权衡以使效费比最佳。

B3.4.5 诊断方案

诊断方案的研究始于战术技术指标论证阶段,并在方案论证与确认阶段由于获得了更详细的数据而得到进一步细化。在战术技术指标论证阶段,通常不规定定量的测试性要求,但对于关键的测试性参数应作出初步估计,以确定它是否支持系统的可用性、维修性和保障方案。诊断方案通常涉及如下内容:

- a. 确定监控关键功能和对人员安全有影响的功能的联机 BIT 要求;
- b. 确定通过采用冗余设备、冗余功能、备用的或降级的工作方式等来提高系统可用性的联机 BIT 要求;
- c. 确定用于系统功能检测的 BIT 要求,以支持在系统工作之前或在系统运行期间以一定周期进行置信度测试;
- d. 确定上述 a. b. c. 中 BIT 的故障隔离能力。确定支持初步维修方案的附加 BIT 要求;
- e. 确定自动、半自动及人工脱机测试要求,以弥补因 BIT 技术和经费上的限制造成的诊断能力的不足(BIT、脱机自动测试、半自动测试和人工测试的组合必须能在每一维修级别上提供 100%的维修能力);
- f. 确定哪些现有的基层级 BIT 能力在更高维修级别上可以使用。确定对 ATE、通用电子测试设备及技术文件的要求,以便和 BIT 一起提供总维修能力。

上述 d. e. f. 是在方案论证与确认阶段获得了更详细的数据后确定的。

B3.4.6 测试性要求

在战术技术指标论证阶段,可参照表 B2 提供的示例将定性测试性要求写入有关文件中,以提醒承制方测试性设计是设计工作的重要组成部分。

在工程研制阶段之前,应确定那些必须满足的最基本的测试性要求,这些要求不再进行权衡。整个系统的目标和门限值必须进行转化,以确定在系统规范或合同要求文件中的测试性要求。这一工作的目的是确保在系统规范或合同要求的文件中的测试性要求只包含那些在系统设计和保障系统研制过程中承制方可控制的参数。在确定这些测试性要求时还应考虑到保障负担、订购方提供的设备、管理和后勤方面的延误时间以及其他不受承制方控制的因素的影响。

表 B2 测试性定性要求示例

顺序号	测试性定性要求	
1	划分	系统的划分应部分地以准确隔离故障的能力为基础
2	测试点	系统中每个产品都应具备足够的测试点,以便测量或激励内部电路节点,从而使故障检测和隔离达到较高的水平
3	维修能力	在每维修级别上应当综合 BIT、脱机自动测试和人工测试,以提供一个一致且完整的维修能力。测试自动化程度应与维修人员的技能以及修复性和预防性维修的要求相一致
4	BIT	BIT 应监控任务关键功能,设置的 BIT 容差要使故障检测和虚警具有最佳特性。应为操作人员和维修人员设计利用率最高的 BIT 指示器

B3.4.7 系统规范中的测试性要求

在方案论证与确认阶段,通过权衡分析得到定量测试性要求,并将其写入系统规范中。所提的要求应该既包括规定值又包括最低可接受值。表 B3 给出了测试性要求的示例。

表 B3 测试性要求示例

测试性要求
a. 对状态监控的要求
b. 对故障模式的定义
c. 使用全部测试资源时的故障检测率
d. 使用 BIT 时的故障检测率
e. 使用 BIT 监控状态信号时的故障检测率
f. BIT 的最大故障检测时间
g. 虚警定义,允许的 BIT 最大虚警率
h. 使用 BIT 把故障隔离到可更换单元的要求
i. 故障隔离时间
j. 对 BIT 的硬件规模、重量、功率、存储器容量和测试时间的限制
k. BIT 硬件的可靠性
l. 对错误自动恢复的要求
m. 对各硬件层次故障检测与各维修级别故障检测一致性的要求

下面对表 B3 中的部分要求进行说明:

- a. 定义任务系统与监控系统的接口。建议使用 BIT 电路监控系统性能和状态。
- b. 提供测试性设计和评价的基础。确定故障模式时应考虑所采用的元件技术、制造工艺及不利环境的影响。尽量使用故障模式和影响分析及故障树等可靠性分析的数据。这种数据

代表对系统故障的概略估计,随着设计工作进展将不断细化和修改。

c. 允许使用全部测试资源,一般总是要求达到 100% 的故障检测率。

d. 指明使用 BIT 进行自动检测时应达到的故障检测率。

e. 对快速处理严重故障的要求。应根据允许的最大故障检测时间选择故障检测方法。规定用并行故障检测技术监控那些关键任务或影响人身安全的功能,在要求防止错误在系统中传播的地方也采用并行检测技术。

f. 规定并行故障检测技术及其他各种自动检测技术的允许的最大故障检测时间。此项要求决定周期诊断软件的运行频度。一般来说,周期测试及请求测试的频度取决于被测功能、故障率、耗损因素、允许的最大故障检测时间及使用和维护方案。

g. 规定最大的 BIT 虚警率。不能复现的故障实际上可能是间歇故障,也可能是 BIT 电路的问题。为了找出并纠正 BIT 的问题,有必要在系统规范中规定系统必需配备的测试仪器,以便在使用试验与评价期间找出并改正真正的 BIT 问题(如,BIT 故障、不适当的测试容差等)。

h. 根据维修方案,提出由 BIT 把故障隔离到可更换单元要求。该要求通常表示为:“在规定的时间内,将 BIT 检测出的故障的 X% 隔离到一个可更换单元,或隔离到不大于 N 个可更换单元上”,为了准确反映机内测试的有效性,总是采用经过故障率加权所得到的百分数。

i. 故障隔离时间。它是由维修性要求的平均修复时间或最大修复时间推出的:

故障隔离时间 = 修复时间 - (准备时间 + 拆卸时间 + 更换时间 + 重装时间 + 调整时间 + 检验时间)。

j. BIT 的约束条件。应与 a. ~ i. 中规定的 BIT 性能相匹配,而不应随意规定。系统需要增加多少硬件来实现 BIT 应视具体情况而定。一般而言,BIT 硬件占系统硬件的 5% 至 20%。

k. BITE 的可靠性要求。应与所需的 BIT 性能要求协调,而不应随意规定。应保证 BIT 故障后不影响系统的关键功能。

B3.4.8 产品研制规范中的测试性要求

表 B4 提供了产品测试性要求的示例。

表 B4 产品测试性要求示例

技 术 状 态 项 目 测 试 性 要 求	a. 故障模式的定义 b. 使用全部测试资源的故障检测率(应为 100%) c. 使用 CI 中全部 BIT 资源的故障检测率和故障报告的要求 d. 使用 BIT 监控 CI 内部状态信号时,对故障检测率和故障报告的要求 e. BIT 和对关键信号监控的最大故障检测时间 f. BIT 的最大虚警率。包括把瞬态过程或间歇故障作为有效的 BIT 报警的准则 g. 使用 CI 中的 BIT 把故障隔离到一个或多个可更换单元的要求 h. 使用 CI 中 BIT 的故障隔离时间 i. 对 BIT 资源的限制 j. BIT 硬件的可靠性 k. 对 BIT 传感器校准的定期检验要求
---	---

续表 B4

被测单元的测试性要求	以下要求适用于 CI 中作为 UUT 的每个产品: a. UUT 与选择的 ATE 之间在功能、结构和电气方面的兼容性 b. 对 UUT 的测试点的通路要求 c. 使用中继或基地级维修的全部测试资源时的故障检测率应为(100%) d. 使用自动测试资源(ATE 和 TPS 加上嵌入式 BIT)时的故障检测率 e. 使用自动测试资源进行 GO/NO GO 测试时,对平均(或最大)测试时间的要求 f. 使用自动测试资源时导致不能复现和重测合格的最大虚假的“不正常”指示率 g. 使用自动测试资源把故障隔离到 UUT 内部一个或多个可更换单元的要求 h. 使用自动测试资源时的故障隔离时间
------------	---

注:在中继级维修的 UUT 可能包含多个在基地级测试的 UUT,每个 UUT 均应包含在 CI 规范中。

B3.4.8.1 CI 测试性要求

将系统测试性要求分配给每个 CI,即可得到每个 CI 的定量测试性要求。分配依据是 CI 的相对故障率、任务重要性或其他规定的准则。在许多数字系统中,BIT 全部或部分地通过软件来实现。在这种情况下,测试性要求将在计算机程序配置项目研制规范中出现。这个程序可以是专用于 BIT 功能的程序,也可以是一个包含测试功能的任务程序。

B3.4.8.2 UUT 测试性要求

中继级测试要求是由 CI 怎样进一步划分成 UUT 来决定的。对每个 UUT 的测试性要求都应包含在相应的 CI 研制规范中。

B3.5 测试性初步设计与分析(工作项目 202)

B3.5.1 目的

工作项目 202 有两个主要目的,首先是把测试性设计到系统和设备中去;其次是评价固有测试性。完成固有测试性评价对整个测试性大纲是关键,评价方法见附录 A。通过固有测试性评价确定硬件设计特性是否支持测试并确定问题范围。固有测试性评价在相对易于更改的时刻及时地把设计中的测试性问题反馈给承制方。

测试性设计主要涉及三方面的工作:

- a. UUT 与脱机测试设备之间兼容性的设计;
- b. UUT 中,用于故障检测和故障隔离的 BIT 设计(硬件和软件);
- c. 产品的结构设计。该设计考虑二个方面内容:为提高故障检测和故障隔离能力对系统或设备所作的划分:为测试设备(BIT 或脱机测试)提供观测和控制产品内部节点的通路,以提高故障检测和故障隔离水平。

B3.5.2 系统的初步设计

在方案论证和确认阶段,应评价各种备选系统设计方案,其中包括对人力要求、保障费用、可靠性、和系统战备完好性进行分析。在需要论证和确认的系统设计方案中,通常没有详细的、

定量的测试性要求。事实上,就测试性而言,方案论证和确认阶段的目的就在于确定技术上可实现的、费用上能承受的并足以支持系统使用和维修的定量测试性要求。为此,对于那些存在测试问题或不希望在工程研制阶段更改的产品,应该进行测试性初步设计与分析。

B3.5.3 测试设计的权衡

综合的测试设计通常是把 BIT、脱机自动测试和人工测试结合在一起,以提供符合系统可用性要求和寿命周期费用要求的测试能力。应分析各备选方案的性能、保障性及费用要求,并选出费用最低的方案。

B3.5.3.1 人工测试与自动测试的权衡

用人工测试还是 ATE 对系统进行监控和维修取决于维修策略、总的维修计划和被测系统的数目。根据测试复杂性、故障隔离时间、使用环境、保障要求、研制时间和费用等,对每个维修级别上的测试要求进行权衡。测试自动化程度必须与设备操作和维修人员的技能水平相一致。

B3.5.3.2 BIT 与 ATE 的权衡

由于 BIT 和 ATE 两者能力上存在固有的差异,所以分配给 BIT 或 ATE 的测试要求也不同:

a. BIT 用于对系统或设备进行初步的故障检测和隔离。BIT 的优点是能在任务环境中独立工作。

b. 脱机 ATE 用于对 UUT 进行故障检测,并将故障隔离到 UUT 内部的元器件。与机内测试相比,ATE 的优点是不增加任务系统的重量、体积和功率,也不会影响任务系统的可靠性。

B3.5.3.3 BIT 和脱机测试的配合

在进行脱机测试设计时,应充分利用每个 UUT 中的 BIT 能力。另外,脱机测试所使用的测试容差应该比 BIT 使用的测试容差更加严格,以避免出现“重测合格”问题。

B3.5.4 一般的测试性问题

B3.5.4.1 结构划分

结构划分的原则是:

- a. 有利于故障隔离;
- b. UUT 的最大插针数与 ATE 接口能力一致;
- c. 在不影响功能划分基础上,尽量使模拟电路和数字电路分开;
- d. 尽量将功能不能明确划分的一组电路装在同一个可更换单元中。

B3.5.4.2 功能划分

一个可更换单元最好只实现一个功能。如果用一个可更换单元实现多个功能,应保证能对每个功能进行单独测试。

B3.5.4.3 电气划分

应尽量利用阻塞门、三态器件或继电器等把正在测试的电路同不在测试的电路隔离,以缩短测试时间。

B3.5.4.4 初始化

系统或设备应该从确定的初始状态开始故障隔离。如果没有达到正确的初始状态,应将这种情况与足够的故障隔离特征数据一起报告操作员。系统或设备应能够预置到一个唯一的初始状态,以保证对给定的故障进行重复测试时能得到相同的响应。

B3.5.4.5 模块接口

应尽量使用现有的连接器插针进行测试控制和测试观测。对于高密度的电路和印制电路板,可优先选用多路转换器和移位寄存器等电路,免得增加插针。

B3.5.4.6 测试控制(可控性)

提供专用测试输入信号、数据通路和电路,使测试系统(BIT 和 ATE)能够控制产品内部的元器件工作,来检测和隔离内部故障。应特别注意对时钟线、清零线、反馈环路的断开以及三态器件的独立控制。

B3.5.4.7 测试观测(观测性)

提供测试点、数据通路和电路,使测试系统(BIT 和 ATE)能观测产品内部故障的特征数据,用于故障检测和隔离。测试点的选择应足以准确地确定有关的内部节点的数据。

B3.5.4.8 元器件选择

在选择都能满足性能要求的元器件时,应优先选用具有满意的测试性特征的集成电路或组装件。同时,优先考虑那些内部结构和故障模式已充分暴露的集成电路。

B3.5.4.9 故障模式

故障模式和影响分析是测试设计和测试性设计的基础。应根据所采用的元部件技术、制造工艺、元部件装配工艺和不利的环境影响来确定故障模式,应充分利用可靠性分析的结果。

B3.5.5 UUT 与 ATE 的兼容性

为了减少或消除大量的专用接口装置的设计,UUT 在电气上和结构上应与 ATE 兼容。

B3.5.5.1 用于脱机测试的电气划分

ATE 应能控制 UUT 的电气划分,以便对小的、独立的且易于控制的电路块用独立的测试程序段进行测试。

B3.5.5.2 UUT 测试点的选择原则

选择 UUT 测试点的数目和位置时应以下述内容为依据:

- a. 根据故障隔离要求选择测试点;
- b. 选择的测试点能方便地通过系统或设备的插头或测试插头连到 ATE 上;
- c. 选择测试点时,对高电压和大电流的测量要符合安全要求;
- d. 测试点的测量值应以设备的公共地为基准;
- e. 应消除测试点与 ATE 之间的相互影响,以保证设备连接到 ATE 上后,性能不会降低;
- f. 高电压或大电流的测试点在结构上要同低电平信号的测试点隔离;
- g. 选择测试点时,应符合 ATE 合理的频率要求及测量精度;
- h. 数字电路和模拟电路应分别设置测试点,便于独立测试。

B3.5.6 BIT

产品一般应具备一定的 BIT 能力,进行初步故障检测和故障隔离。BIT 也可以在修复性维修活动或系统重构成降级模式后检验系统的工作能力。

B3.5.6.1 BIT 故障检测方法

BIT 故障检测方法可分为并行(连续)、周期和启动等多种,应根据允许的最大故障检测时间选择合适的方法。并行检测技术(利用硬件余度)用于监控关键的任务和影响安全的功能,并且用在需要防止错误在系统中传播的地方;周期测试用于监控备份的功能或非关键的功能;启动测试用于监控需要操作员干预和传感器模拟的功能。周期测试和启动测试的频度和每次测试的时间取决于被测功能、故障率、耗损因素、允许的最大故障检测时间和具体的维修方案。

B3.5.6.2 用于 BIT 的电气划分

BIT 应能控制产品的电气划分,以便以小的、独立的且易于控制的电路块为基础进行测试、编制测试文件和评价测试性。在有计算机的设备中,这样的控制可以用 BIT 软件实现。

B3.5.6.3 BIT 设计权衡

- a. 集中式 BIT 和分布式 BIT;
- b. 专用 BIT 和通用 BIT;
- c. 主动激励和被动监控;
- d. BIT 硬件、软件和固件;
- e. BIT 电路的测试电路;
- f. BIT 故障指示器的设置。

B3.5.7 BIT 软件

BIT 软件主要包括故障检测程序和故障隔离程序。

B3.5.7.1 BIT 存储器容量要求

- a. 在控制存储器中,应留出存放微诊断程序和初始化例行程序的容量;
- b. 在主存储器中,应留出存放错误处理程序和故障检测程序的容量;
- c. 在辅助存储器中(例如:磁盘存储器),应留出存放故障隔离程序的容量。

B3.5.7.2 BIT 存储器字长要求

- a. 在控制存储器中,字长应支持对硬件元器件的控制;
- b. 在主存储器和辅助存储器中,字长应支持错误检测和错误校正技术的应用。

B3.5.7.3 测试程序和数据保护要求

不可改写的存储器(只读存储器)应留有足够容量存放重要的测试程序和数据,以确保它们的完整性。应采用足够的硬件冗余和软件冗余,保证可靠地加载重要的软件段。

B3.5.7.4 应用软件(任务软件)

应用软件应有足够的响应中断和陷井的能力,以保证能立即处理由并行的 BIT 硬件检测到的错误,而不丢失有关的错误信息。操作系统和每个关键的应用程序必须包括满足故障检测时间要求的软件检查。

B3.5.7.5 应用软件错误处理

应用软件中错误处理子程序(由中断和陷井调用)的设计应该有硬件设计工程师和测试工程师参加。要执行的错误处理(重入、自动错误校正、诊断调用、操作员信息、错误记录和立即停机等)必须符合故障模式和影响分析的结果。操作系统层次结构的设计应有利于诊断软件控制和观测硬件部件。

B3.5.8 系统级 BIT

系统级 BIT 把 BIT 硬件、BIT 软件和应用软件错误检查综合在一起,提供系统级的故障检测和故障隔离能力。

B3.5.8.1 BIT 检测间歇故障

为了提高安全性和减少 BIT 虚警次数,系统级 BIT 必须设计成以预定的方式响应间歇故障,用 BIT 检测故障应采用重复测试的方法。为了判断故障是永久性的还是间歇的,必须确定重复测试的次数。根据故障的危害程度、出现的频度和发展趋势,确定将可恢复的间歇故障通知操作员的条件。对于数字系统,故障数据可以在故障序列中记录下来。故障序列中的数据可以用来排除间歇故障和识别那些趋于产生永久性故障的硬件,系统级 BIT 的执行过程应该是灵活的。例如:测试容差可以存储在软件或固件中,当 BIT 虚警太多时,可以方便地改变容差和滤波算法。

B3.5.8.2 BIT 故障隔离

系统级 BIT 应能把故障隔离到规定的可更换单元上,并通知操作员应选择的降级工作方式。在某些情况下,为了确定系统哪些功能已经丧失,哪些功能仍然正常,需要把故障隔离到比可更换单元更低一级的产品层次上。当准备将分系统交给转承制方研制时,每个分系统的规范中都应包括独立的测试要求,以尽量减少通过系统对分系统进行详细的测试。系统测试和分系统测试之间的接口应该简单,以便在系统综合之前评价和验证每个转承制方产品的 BIT 水平。

B3.5.8.3 与容错设计的配合

如果为了达到系统可用性和安全性指标,要求系统在某些故障情况下继续运行,那么应该把容错设计与测试性设计结合在一起考虑。设备冗余或功能冗余可以用于辅助测试。测试性设计应为冗余电路提供独立的测试能力,进行故障评定、重构降级模式和配置检验时应尽量使用测试资源。

B3.5.9 测试性评价和度量

利用表 B5 可以对系统或设备在设计和生产等不同阶段的测试性进行评价和度量。

表 B5 测试性评价和度量

类 别		测试性评价和度量	初步设计	详细设计	验证	生产
固有测试性定性评价		见 B3.5.9.1	✓	✓		
定量 度量	预期的 测试性	预计的故障检测率		✓	✓	
		预计的故障隔离率		✓	✓	
		预计的故障检测时间		✓	✓	
		预计的故障隔离时间		✓	✓	
		预计的测试费用	✓	✓	✓	

续表 B5

类 别		测试性评价和度量	初步设计	详细设计	验证	生产
定 量 度 量	使 用 测试性	达到的故障检测率				✓
		达到的故障隔离率				✓
		达到的故障隔离时间				✓
		虚警率、不能复现率 和重测合格率				✓
		实际的测试费用				✓

注:✓——适用

B3.5.9.1 固有测试性评价

固有测试性评价是对仅取决于产品设计特性的测试性进行评价。固有测试性评价可以确定产品的硬件设计特性是否有利于测试,并确定存在的问题。这种分析主要用于设计的早期阶段,促使承制方尽早发现设计上的缺陷,及时采取纠正措施,改善测试性(B3.5.10和附录A)。

B3.5.9.2 预计的测试性

预计的测试性是根据产品设计特性、与所选择的维修环境的关系以及在该环境下的测试能力对测试性进行度量(B3.6.3至B3.6.5)。

B3.5.9.3 使用测试性

使用测试性是根据实际使用情况对测试性进行度量(B3.6.5)。

B3.5.10 固有测试性初步考虑

承制方应尽早注意测试性问题,并以定性的方式表明在初步设计中已考虑了测试性问题。初步设计中考虑的测试性问题至少应包括B3.5.4至B3.5.7中介绍过的那些概念。

B3.5.11 固有测试性评价

产品的固有测试性评价详见附录A。

B3.6 测试性详细设计与分析(工作项目203)

工作项目203的目的是把测试设计到产品中去,使之能满足测试性要求,通过分析来预计可能达到的测试性水平。工作项目202和工作项目203的主要区别是前者的输出是可测试的硬件设计,后者的输出是满足规定要求的故障检测和故障隔离水平。测试性的预计是根据测试序列的应用来进行的(无论BIT或脱机设备测试程序)。固有测试性的评价则只根据系统或产品的设计而不是根据测试序列的应用来进行的。

由于工作项目203是针对详细设计的,所以它主要适用于工程研制阶段。

B3.6.1 测试性设计技术

在详细设计期间,初步设计中采用的测试性设计技术将进一步细化。B3.5.3至B3.5.8中为初步设计提供的指南也同样适用于详细设计。

B3.6.2 固有测试性评价

在详细设计期间,附录A也适用于详细设计。固有测试性评价应该在详细设计评审之前

完成。

B3.6.3 预计的测试性

在完成系统或设备设计时,应生成测试序列并评价测试性。在 BIT 或 TPS 完成之前,建议使用故障模拟方法(B3.6.4),通过注入大量的模拟故障,分析测试性水平。分析结果可用于 TPS 或 BIT 软件的设计,也可用于产品的设计,以改进测试性。对于那些未被检测或不易隔离的故障,可作如下处理:

- a. 如果故障不能用任何测试序列检测出来,(例如,未使用的电路中的故障),则这样的故障应从故障总体中删除;
- b. 如果故障能检测出来,但是测试序列不完全,则应在测试序列中增加测试激励模式;
- c. 如果故障能检测出来,但是产品的硬件设计妨碍了合理的使用测试序列,则应重新设计,提供附加的测试控制和观测。

测试性度量包括以故障率或故障数为基础的度量(B3.6.3.1 至 B3.6.3.4)和费用效益度量(B3.6.5)。

B3.6.3.1 故障检测率

计算故障检测率的公式如下:

$$r_{fd} = \lambda_d / \lambda \cdots \cdots \cdots (B1)$$

$$= \sum_{i=1}^{\kappa} \lambda_i / \lambda$$

式中: r_{fd} ——故障检测率;

κ ——检测到的故障模式数;

λ_i ——所检测到的第*i*个故障模式的故障率;

λ_d ——检测到的所有故障模式的故障率之和;

λ ——总故障率。

B3.6.3.2 故障隔离率

规定故障隔离率指标时应规定相应的模糊度。

故障隔离率的计算公式如下:

$$r_{fi} = \lambda_i / \lambda_d \cdots \cdots \cdots (B2)$$

$$= \sum_{i=1}^P \lambda_{Li} / \lambda_d$$

式中: r_{fi} ——故障隔离率;

L ——模糊度;

P ——隔离模糊度不大于*L*的故障模式数;

λ_{Li} —— P 中第*i*个故障模式的故障率;

λ —— P 中所有故障模式的故障率之和;

λ_d ——同(B1)式。

B3.6.3.3 故障潜伏时间

故障潜伏时间是指从故障发生到给出故障指示所经历的时间,故障检测时间是故障潜伏

时间的一部分。故障潜伏时间对说明 BIT 快速处理致命故障的能力十分有用。通常要求所有致命故障的故障潜伏时间不得大于 1 分钟,95%的致命故障的潜伏时间不得大于 1 秒钟,85%的严重故障的潜伏时间不得大于 1 分钟。

B3.6.3.4 故障隔离时间

使用 BIT 或脱机测试进行维修期间,故障隔离时间通常是修复时间中最长、最难预测的部分。测试性工作不仅应设法减少故障隔离时间,而且应按 GJB 368A 工作项目 205 的要求给维修人员提供故障隔离时间的精确预计值。故障隔离时间可以用平均时间或最大时间(按规定的百分位)表示。这个时间不仅与诊断测试序列的长度有关,而且还必须包括人工干预所需的时间。

B3.6.4 故障模拟

在一个产品中实际注入足够的故障来确定产品对测试序列的响应显然不现实。即使在该产品中注入为数不多的典型故障,所花费的时间和费用也是不允许的,而且注入故障还受到电路封装的限制。可行的办法是用计算机程序把大量的故障注入到硬件产品的软件模型中。该程序可以模拟含有某个故障的产品对激励的响应情况。在注入大量故障之后,按照故障检测率和故障隔离率来评价测试激励。计算机程序可以模拟数字电路的故障状态,以此评审 TPS 的测试能力。也可以用该程序评定 BIT 的性能。另外,还可用程序为模拟器自动生成测试序列。对于模拟电路的故障状态,也可以用计算机程序来模拟,不过必须人工提供测试激励。这种方法的实用性取决于模型反映实际故障的准确性。建立的产品模型必须包括所有关键的故障模式。在模拟故障之前,必须验证产品的无故障特征,验证的方法是采用功能测试并把模型的响应与正确的响应进行比较。

B3.6.5 测试性费用数据

所有测试性能的度量最终都要转换为费用影响。一般来说,测试质量越高,生产费用也越高,但使用和维修费用越低,系统的寿命周期费用也越低。在通过保障性分析确定测试性要求时,这些费用数据很重要,应该把系统或设备研制生产过程中收集的测试性费用数据(工作项目 103)存入数据库,供以后保障性分析使用。

B3.6.5.1 非再现费用

非再现费用是整个寿命周期中一次性投入的费用,这里是指与系统或设备的测试性有关的研制费用,主要包括以下几项:

- a. 制定测试性工作计划费用;
- b. 测试性设计费用;
- c. 测试模拟和分析费用;
- d. 测试性资料准备费用。

B3.6.5.2 再现费用和代价

再现费用是按年度重复出现的费用,这里是指与系统或设备的测试性有关的生产、使用和维修费用及代价,主要包括下列几项:

- a. 实现 BIT 和测试性要求所需的附加硬件的费用;
- b. 附加硬件、连接器和提高模块化程度所需的体积和重量;

- c. 附加硬件所需的功率；
- d. BIT 软件所需的计算机存储器；
- e. 由于 BIT 电路故障引起系统中断的可能性；
- f. 附加硬件对可靠性的影响。

B3.6.5.3 研制和生产阶段费用评定

应从以下几个主要方面估计测试性对研制和生产阶段费用的影响：

- a. 测试生成费用；
- b. 生产阶段的测试费用；
- c. 测试设备费用；
- d. 接口装置费用。

B3.6.5.4 使用和维修阶段费用评定

应从以下几个主要方面估计测试性对使用和维修阶段费用的影响：

- a. 测试和修复费用；
- b. 测试和修复时间；
- c. 人力费用；
- d. 备件费用；
- e. 培训费用。

B3.6.6 使用测试性

使用测试性用于评价实际使用和维修环境对系统或设备测试性的影响。为了度量系统或设备在使用或维修环境下的测试性，应按工作项目 103 制定数据收集计划。应注意的是，纠正使用中的测试问题有很多方法（例如：人员变动、组织机构变动和步骤上的变动等）并不一定都导致工程设计的更改。使用中的测试性度量涉及：

- a. 测试设备的自动化程度——提供的测试设备与安排的人员的培训和技能水平是否一致？
- b. BIT 故障检测率——BIT 能否及时准确地检测故障，而尽量不依赖于人工检测？
- c. BIT 虚警率——BIT 虚警率是否高到影响使用可用性和维修工作量？
- d. 重测合格问题——在某一级维修中检测出的故障是否能在更高维修级别中也检测出来？
- e. BIT 故障隔离时间——BIT 是否支持平均修复时间(MTTR)要求和系统可用性要求？
- f. 脱机故障隔离时间——ATE 和相应的 TPS 是否支持基地测试速度要求？
- g. 故障隔离率——BIT 和 ATE 的故障隔离率是否低到影响备件供应？
- h. BIT 可靠性——BIT 可靠性是否差到影响任务功能？

B3.7 测试性验证(工作项目 301)

区分基层级维修的故障检测和故障隔离与其他维修级别的故障检测和故障隔离是有必要的。如果把某些与测试性有关的问题(301.2.1)结合到维修性验证计划和过程中去，那么基层级维修的故障检测和隔离可以作为通常的维修性验证的一部分来验证。其他维修级别上的故障检测和隔离可以作为评价 TPS(包括评价软件、接口和文件)过程的一部分来验证。

B3.7.1 BIT 和脱机测试的关系

通过制定测试性验证计划,可以协调维修性和 TPS 验证中要验证的产品(如注入共同的故障),以便提供 BIT 结果和脱机测试结果相关的数据。这样能够及早地指出在基层级维修中可能出现的不能复现问题。

B3.7.2 BIT 虚警率

BIT 虚警率是一个重要的测试性参数,它在验证过程的被控环境下是难以测量的。如果虚警率相对很高,则可利用可靠性验证过程来验证,并且把每个 BIT 虚警作为相关故障处理,验证过程的环境条件应能代表所期望的工作环境条件,以便在验证过程中能经历各种引起虚警的原因。

B3.7.3 预计分析模型的确认

即使注入大量故障,验证也只能提供有限的反映实际测试性水平的数据。尽管如此,在确认工作项目 203 中所使用的预计和分析模型及其假设的正确性方面,测试性验证还是很有效的方法。如果某些假设或模型不正确,那么应利用工作项目 203 重新建立模型并进行新的预计。

B4 测试性分析报告**B4.1 内容**

测试性分析报告应反映有关工作项目的结果,并以统一的标准格式将这些结果编制成文件。测试性分析报告至少应在每次重大的评审之前作出修订,并且这一要求也应反映在合同要求的文件中。每次提交的测试性分析报告的内容和详细程度取决于研制阶段。表 B6 给出了测试性分析报告的应用指南,指出哪些工作项目的结果评审之前由订购方审查。

B4.2 应用

承制方应利用测试性分析报告及时向有关单位通报测试性设计状况。测试性分析报告是一个不断更新的文件,它包含了测试性设计的最新信息,并在适当的技术状态控制下发布。至少在进行测试性设计非正式评审时,测试性分析报告应准确反映最新设计。

表 B6 测试性分析报告应用指南

本标准条款 编 号	文 件 号	方案阶 段评审	初步设 计评审	详细设 计评审	设计定 型评审
201.4.1	要求权衡结果的说明	✓	✓		
202.4.2	设计权衡结果的说明	✓	✓	✓	
202.4.2	测试性设计数据		✓	✓	
202.4.3	固有测试性核对表		✓		
202.4.4	固有测试性评价		✓	✓	
202.4.5	详细设计分析过程的说明		✓	✓	
203.4.3	产品测试性预计数据			✓	✓
203.4.4	系统测试性预计数据				✓

注:✓表示在对应的评审之前要求提交有关的测试性分析报告供订购方审查。

B4.3 测试性分析报告与测试要求文件的相互关系

在工程研制阶段进行的测试性分析和编制的测试性分析报告应作为每个 UUT 测试要求文件的一部分来使用。测试要求文件在负责详细硬件设计的单位和负责测试程序研制的单位之间建立了正式的相关界面。测试要求文件作为 UUT 整个性能检验和诊断步骤的源文件使用,并作为对每个 UUT 在它的维修环境中(无论是由人工或 ATE 维修)的设备的要求。测试要求文件还为 UUT 设计提供详细的技术状态标识和测试要求数据,以保证它们之间有相兼容的测试程序。

B5 与保障性和其他专业工程的接口

通过设计,本标准的工作项目与保障性分析过程和其他专业工程紧密地结合在一起。由于测试性与其他专业工程之间互有输入输出,所以清楚地了解它们之间的相互关系是非常重要的。信息流的中断会产生很严重的影响,如偏离要求和作重复工作。因此本标准提供了一系列图表用于加强理解并帮助剪裁工作项目以写入合同文件。

图 B4 示出了本标准工作项目 201, 诊断方案和测试性要求, 和保障性分析过程的接口关系。表 B7 给出了工作项目 201 的输入和从工作项目 201 得到的输出。

图 B5 描述了工作项目 201 与以下专业工程标准之间的信息流:

GJB 450 装备研制与生产的可靠性通用大纲

GJB 368A 装备维修性通用大纲

GJB 900 系统安全性通用大纲

表 B8 和表 B9 描述了工作项目 201、202 和 203 与这些专业工程间的输入和输出。

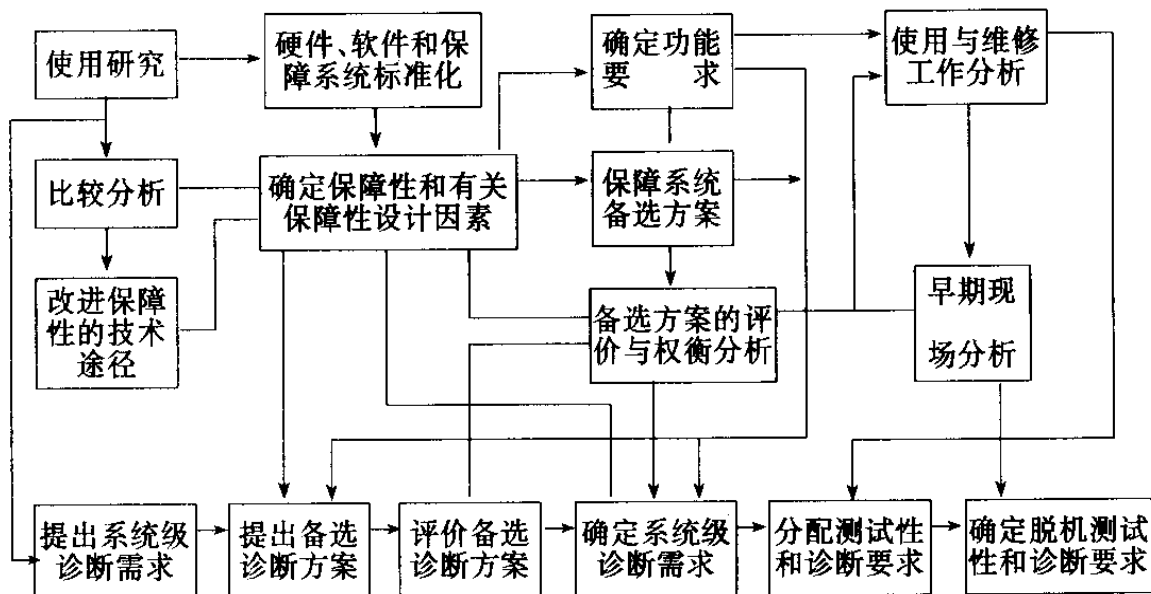
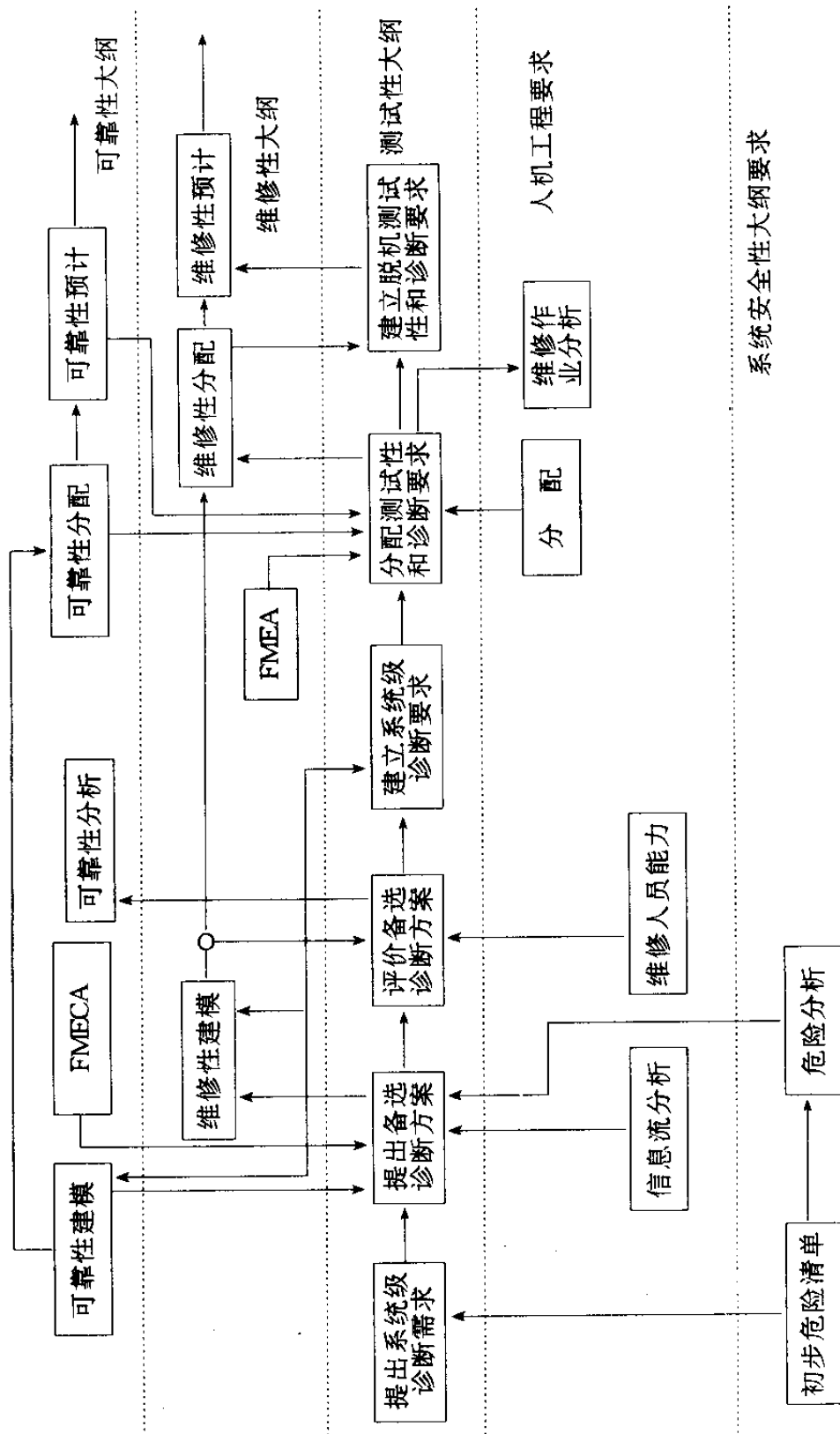


图 B4 保障性分析与测试性工作信息流



图B5 测试性与可靠性、维修性、安全性及人机工程间的信息流

表 B7 与保障性分析的接口(工作项目 201, 诊断方案和测试性要求)

	GJB 1371 工作项目号											
	201	202	203	204	205		301	302	303		401	402
工作项目号	输入	输入	输入	输入	输入	输出	输入	输入	输入	输出	输入	输入
201.2.1 确定系统级诊断需求	与预定用途有关的保障性因素											
201.2.2 确定诊断方案		现有保障资源约束数据	基准比较系统所用数据	任务系统所用技术	保障性定量值和设计目标		使用和保障功能	系统保障方案 302.2.1				
201.2.3 评价备选诊断方案										评价备选诊断方案 303.2.8		
201.2.4 确定系统级 FD/FI 要求						系统级保障资源要求	保障资源功能 301.2	其它层次产品的保障性要求	确定保障计划			
201.2.5 分配测试性和诊断要求											维修工作分析	
201.2.6 确定 UUT 的脱机 FD/FI 要求												评价潜在的现场问题

注:表中“输入”表示保障性分析给测试性工作的输入,“输出”表示测试性工作给保障性分析的输出。

表 B8 测试性与维修性和安全性工作的接口

工作项目号	GJB 368A 工作项目								GJB 900 工作项目	
	201		202		203	204		205	201	202
	输入	输出	输入	输出	输出	输入	输出	输出	输入	输入
201.2.1 确定系统级诊断需求									安全性监控要求	
201.2.2 确定诊断方案		给维修性模型提供输入								风险分析
201.2.3 评价备选诊断方案	维修性模型									
201.2.4 确定系统级 FD/FI 要求		修改维修性模型(反馈)								
201.2.5 分配测试性和诊断要求				分配的 CI 测试性要求		FMEA 数据				
201.2.6 确定 UUT 的脱机 FD/FI 要求			维修性分配信息		脱机 FD/FI 要求					
202 固有测试性设计与评价							测试性设计			
203.2.5 203.2.6 测试性分析					嵌入和外部测试性数据分析结果	FMEA 数据				
203.2.5 预计 BIT FD/FI 水平								BIT FD/FI 水平		

注：表中的“输入”表示维修性和安全性工作给测试性工作的输入；

表中的“输出”表示测试性工作给维修性和安全性工作的输出；

FD/FI 表示故障检测/故障隔离

表 B9 测试性与可靠性工作的接口

	GJB 450 工作项目			
	201	202	203	204
工作项目号	输 入	输 入	输 入	输 入
201.2.1 确定系统级诊断需求				
201.2.2 确定诊断方案	可靠性 建 模			FMEA 数据
201.2.3 评价备选 诊断方案				
201.2.4 确定系统级 FD/ FI 要求				
201.2.5 分配测试性和诊 断要求		可靠性 分配	可靠性 预计	
201.2.6 确定 UUT 的脱 机 FD/FI 要求				

附加说明:

本标准由中国航空工业总公司提出。

本标准由中国航空工业总公司三〇一所归口。

本标准由中国航空工业总公司三〇一所、北航一所、六二八所、六一五所和空一所起草。

本标准主要起草人:林典伦、田 仲、贾培盈、曾天翔、魏子山、朱万年。

计划项目代号:1HK26。