

中华人民共和国国家军用标准

FL 0105

GJB 2547B-2024

代替 GJB 2547A-2012

装备测试性工作通用要求

General requirement for materiel testability program

2024-07-05 发布

2024-10-01 实施



中央军委装备发展部 颁布

目 次

前言.....III

1 范围.....1

2 引用文件.....1

3 术语和定义、缩略语.....1

3.1 术语和定义.....1

3.2 缩略语.....2

4 总则.....3

4.1 测试性工作的目标.....3

4.2 测试性工作的基本原则.....3

4.3 订购方和承制方的工作要求.....3

4.4 测试性工作与其他相关工作的协调.....4

4.5 测试性信息.....4

4.6 测试性要求.....4

4.7 测试性要求的验证考核.....5

4.8 使用期间的测试性工作.....5

4.9 软件测试性工作.....5

5 测试性及其工作项目要求的确定(工作项目 100 系列).....6

5.1 确定测试性要求(工作项目 101).....6

5.2 确定测试性工作项目要求(工作项目 102).....7

6 测试性管理(工作项目 200 系列).....8

6.1 制定测试性计划(工作项目 201).....8

6.2 制定测试性工作计划(工作项目 202).....8

6.3 对承制方、转承制方的监督和控制(工作项目 203).....9

6.4 测试性评审(工作项目 204).....10

6.5 测试性数据收集、分析和管理(工作项目 205).....11

6.6 测试性增长管理(工作项目 206).....12

7 测试性设计与分析(工作项目 300 系列).....12

7.1 测试性设计方案制定(工作项目 301).....12

7.2 测试性模型建立(工作项目 302).....13

7.3 测试性分配(工作项目 303).....14

7.4 测试性预计(工作项目 304).....15

7.5 测试性设计准则制定(工作项目 305).....15

7.6 诊断设计(工作项目 306).....16

7.7 测试性设计核查(工作项目 307).....17

8 测试性试验与评价(工作项目 400 系列).....18

8.1 测试性试验(工作项目 401).....18

8.2 测试性分析评价(工作项目 402).....18

8.3 测试性评估(工作项目 403).....19

GJB 2547B—2024

9 使用期间测试性信息收集与改进(工作项目 500 系列)	20
9.1 使用期间测试性信息收集(工作项目 501)	20
9.2 使用期间测试性改进(工作项目 502)	21
附录 A (资料性附录) 应用指南	22

前 言

本标准是 GJB 2547A—2012《装备测试性工作通用要求》的替代标准，修订后标准仍保持原标准工作项目系列的框架结构。与原标准相比，主要有以下变更：

- a) 总则部分：补充了对测试性工作项目的选取要求，以及软件测试性工作的要求；修改完善了测试性工作的目标、基本原则、测试性定性要求、测试性定量要求、测试性试验与评价等内容。
- b) 100 系列主要变化如下：
 - 1) 在标准正文中明确了在项目立项综合论证和研制总要求论证中分别开展初步诊断方案和测试性初步要求论证、诊断方案和测试性要求的论证，并对诊断方案论证内容及要求做了规定；
 - 2) 将测试性要求的确定原则从标准正文中移至指南中，并对 100 系列工作项目的输入输出进行了优化调整。
- c) 200 系列主要变化如下：
 - 1) 进一步明确了承制方、转承制方的监督与控制层次，完善了对承制方、转承制方监督与控制工作的要求，去掉了对供应方的监督和控制；
 - 2) 对测试性评审的具体内容进行了补充和优化完善；
 - 3) 增加了测试性数据收集、分析和管理工作责任主体和工作要点；
 - 4) 根据装备鉴定定型程序及试验考核程序的变化，进一步明确了研制初期、研制后期、性能鉴定试验、作战试验和在役考核期间的测试性增长工作要求。
- d) 300 系列主要变化如下：
 - 1) 新增了工作项目 301 “测试性设计方案制定”；
 - 2) 原工作项目 301 “建立测试性模型”名称变更为工作项目 302 “测试性模型建立”；
 - 3) 原工作项目 302 “测试性分配”调整为工作项目 303，名称不变，增加了“将测试性定性设计要求分解传递到规定的产品层次”，“应明确哪些测试能力由本级产品完成，哪些能力分配到下层次产品”等内容；
 - 4) 原工作项目 303 “测试性预计”调整为工作项目 304，名称不变，内容强调了“应优先采用基于相关性模型的测试性预计方法”；
 - 5) 原工作项目 304 “故障模式、影响及危害性分析——测试性信息”删除；
 - 6) 原工作项目 305 “制定测试性设计准则”名称变更为“测试性设计准则制定”，对内容进行了适当补充修改，并强调了应对准则进行动态管理；
 - 7) 原工作项目 306 “固有测试性设计和分析”删除，将其中的“产品的结构设计与诊断体系结构设计”内容合并到工作项目 301 “测试性设计方案制定”中，将“贯彻测试性设计准则并进行符合性检查”内容分别合并至工作项目 306 “诊断设计”和 307 “测试性设计核查”中；
 - 8) 原工作项目 307 “诊断设计”调整为工作项目 306，名称不变，对工作项目内容进行了丰富完善，并增加了测试容差设计和降虚警设计等相关内容；
 - 9) 原工作项目 401 “测试性核查”调整到 300 系列中，变成工作项目 307 “测试性设计核查”。
- e) 400 系列主要变化如下：
 - 1) 原工作项目 402 “测试性验证试验”更改为工作项目 401 “测试性试验”，适用于装备工程研制阶段开展的测试性研制试验和性能鉴定试验期间开展的测试性鉴定试验工作；

- 2) 将原工作项目 401 “测试性核查” 修改为 “测试性设计核查”，并纳入 300 系列，作为工作项目 307，而将原先通过专项试验进行测试性核查的内容纳入现在的工作项目 401 “测试性试验” 中；
 - 3) 原工作项目 403 “测试性分析评价” 调整为工作项目 402 “测试性分析评价”，内容基本不变；
 - 4) 新增工作项目 403 “测试性评估”，明确了装备测试性评估工作具体包括：装备性能鉴定试验期间的测试性评估、作战试验期间的测试性评估、测试性综合评估、在役考核期间的测试性评估和使用期间的测试性评估 5 项工作。
- f) 500 系列主要变化如下：
- 1) 500 系列名称 “使用期间测试性评价与改进” 更改为 “使用期间测试性信息收集与改进”；
 - 2) 将原工作项目 502 “使用期间测试性评估” 删除，其主要内容合并到工作项目 403 “测试性评估” 中；
 - 3) 原工作项目 503 “使用期间测试性改进” 调整为工作项目 502，名称不变。

本标准附录 A 是资料性附录。

本标准由中央军委装备发展部合同监管局提出。

本标准起草单位：中国航空工业发展研究中心、中央军委装备发展部装备项目管理中心、空军研究院航空兵研究所、中国航空工业集团公司第一飞机设计研究院、北京航空航天大学、空军装备部项目管理中心、国防科技大学、中国航空工业集团公司成都飞机设计研究所、中国电子科技集团公司第十五研究所、中国电子科技集团公司第十四研究所、中国航空无线电电子研究所、中国航天科工集团公司二院第二十三所、中国人民解放军 92942 部队、中国兵器工业集团第二〇一研究所等。

本标准主要起草人：张宝珍、邢晨光、王江山、郝晓辉、韩 斌、石君友、韩峰岩、尤晨宇、刘冠军、于春蓉、关 昕、曾天翔、杜舒明、周心舟、吴建龙、郭 丹、周鸣岐、程红伟、张 忠、刘代军。

GJB 2547 于 1995 年首次发布，2012 年第一次修订。

装备测试性工作通用要求

1 范围

本标准规定了装备寿命周期内开展测试性工作的一般要求和工作项目,为订购方和承制方开展测试性工作提供依据和指导。

本标准适用于各类装备(或分系统和设备)。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GJB 368 装备维修性工作通用要求
- GJB 431 产品层次、产品互换性、样机及有关术语
- GJB 450 装备可靠性工作通用要求
- GJB 451 装备通用质量特性术语
- GJB 900 装备安全性工作通用要求
- GJB 1371 装备保障性分析
- GJB 1686 装备质量信息管理通用要求
- GJB 1775 装备质量与可靠性信息分类和编码通用要求
- GJB 1909 装备可靠性维修性保障性要求论证
- GJB 3273 装备研制项目技术审查
- GJB 3385 测试与诊断术语
- GJB 3837 装备保障性分析记录
- GJB 3872 装备综合保障通用要求
- GJB 3966 被测单元与自动测试设备兼容性通用要求
- GJB 8895 测试性试验与评价
- GJB 10054 装备测试性建模要求
- GJB/Z 72 可靠性维修性评审指南
- GJB/Z 141 军用软件测试指南
- GJB/Z 190 装备测试性设计准则制定指南
- GJB/Z 1391 故障模式、影响及危害性分析指南

3 术语和定义、缩略语

GJB 431、GJB 451 与 GJB 3385 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 术语和定义

3.1.1 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程度),并隔离其内部故障的一种能力。

3.1.2 平均诊断时间 **mean time to diagnostics (MTTD)**

故障诊断所用时间与故障诊断总次数之比。

3.1.3 严重故障检测率 **critical fault detection rate**

用规定的方法，正确检测到的严重故障数与被测单元发生的严重故障总数之比，用百分数表示。

3.1.4 平均虚警间隔时间 **mean time between false alarms**

在规定的条件下产品运行总时间与虚警总次数之比。

3.1.5 平均严重故障虚警间隔时间 **mean time between false alarms for critical faults**

在规定的条件下产品总运行时间与显示或报告出现严重故障的虚警总次数之比。

3.1.6 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。

3.1.7 诊断方案 **diagnostic concept**

系统或设备诊断能力的范围、功能和运行的初步构想。

3.1.8 嵌入式诊断 **embedded diagnostics**

装备内部提供的故障诊断能力。实现这种能力的硬件和软件包括状态监测装置、机内测试设备(BITE)、故障信息的传输存储和显示设备、嵌入式健康管理系统等，它们安装在装备内部，或在结构上或电气上与装备永久性连接，是装备的一个组成部分。

3.1.9 状态监测 **condition monitoring**

监视和测量产品状态特征和性能参数，以便确定产品状态和性能是否满足规定要求，进行故障诊断和趋势分析。

3.1.10 综合诊断 **integrated diagnostics**

通过分析和综合测试性、自动和人工测试、维修辅助手段、技术信息、人员和培训等构成诊断能力的所有要素，使系统诊断能力达到最佳的结构化设计和管理过程。其目的是以最少的费用、最有效地检测、隔离系统内已发生的或预期发生的所有故障，以满足系统任务要求。

3.1.11 测试性模型 **testability model**

能够体现产品测试性设计特征的各种模型的统称，可用于设计、分析和评估产品的测试性。

3.1.12 故障—测试相关性模型 **fault-test dependability model**

用于描述系统故障与测试之间逻辑关系的模型，简称相关性模型。

3.1.13 测试性评估 **testability assessment**

为确定产品的测试性水平或确认是否满足规定的测试性要求而开展的数据收集、分析和评定活动。

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；

CFDR——critical fault detection rate 严重故障检测率；

CND——cannot duplicate (故障)不能复现；

ETE——external test equipment 外部测试设备；

FAR——false alarm rate 虚警率；

FDR——fault detection rate 故障检测率；

FDT——fault detection time 故障检测时间；

FHA——function hazard analysis 功能危险分析；

FIR——fault isolation rate 故障隔离率；

FIT——fault isolation time 故障隔离时间；

FMEA——failure modes and effects analysis 故障模式与影响分析；

FMECA——failure modes, effects and criticality analysis 故障模式、影响与危害性分析；

FRACAS——fault report analysis and corrective action system 故障报告、分析及纠正措施系统；

FTA——fault tree analysis 故障树分析；
 ICD——interface control document 接口控制文件；
 LRU——line replaceable unit 现场/外场可更换单元；
 LRM——line replaceable module 现场/外场可更换模块；
 MBIT——maintenance built-in test 维护/维修 BIT；
 MFDT——mean fault detection time 平均故障检测时间；
 MFIT——mean fault isolation time 平均故障隔离时间；
 MTBFA——mean time between false alarms 平均虚警间隔时间；
 MTBFACF——mean time between false alarms for critical faults 平均严重故障虚警间隔时间；
 MTTD——mean time to diagnostics 平均诊断时间；
 PBIT——periodic built-in test 周期 BIT；
 PMA——portable maintenance aids 便携式维修辅助装置；
 POBIT——power-on built-in test 加电/上电 BIT；
 RTOK——retest okay 重测合格；
 SRU——shop replaceable unit 车间可更换单元；
 TPS——test program set 测试程序集；
 TRD——test requirement document 测试需求文件；
 UUT——unit under test 被测单元。

4 总则

4.1 测试性工作的目标

开展测试性工作的目标是确保新研或改型的装备达到规定的测试性要求，提高装备的状态监测与故障诊断能力，进而提高装备的战备完好性、任务成功性和安全性，减少维修人力及其他保障资源，降低寿命周期费用。

4.2 测试性工作的基本原则

4.2.1 充分论证测试性要求，并与可靠性、维修性、保障性和安全性等相关要求及资源相协调，保证与任务需求、使用要求、维修保障策略一致。

4.2.2 积极采用系统工程和并行工程方法，在装备功能性能设计的同时充分考虑测试与诊断问题，实现测试性工作与装备功能性能、可靠性、维修性和保障性工作等各类工程活动的同步实施与综合协调，使测试性工作融入装备研制工作中。

4.2.3 加强测试性工作管理及资源保障，对研制和生产过程中测试性工作进行监督与控制，结合测试性试验与评价工作的结果进行相关评审；装备测试性工作应配备必要的资源，尤其应明确其专项工作经费需求。

4.2.4 测试性设计与分析、试验与评价应反复迭代，对研制、试验和评估中发现的产品测试性问题与缺陷，应采取有效措施切实予以纠正；应重视使用期间的测试性数据收集、评估与改进工作，以满足装备成熟期测试性要求。

4.2.5 应通过收集和分析现役装备存在的测试性方面的问题，总结以往装备研制的经验和教训，利用有关标准或有效的工程经验，采取规范化的工程途径，促进测试性工作的工程化，逐步实现最佳工程实践。

4.3 订购方和承制方的工作要求

4.3.1 订购方的工作要求

订购方的工作要求主要有：

a) 制定并实施测试性计划，对装备寿命周期的测试性工作进行整体策划及管理；

- b) 提出装备的测试性要求和测试性工作项目，并纳入立项综合论证报告、研制总要求、研制合同及相关附件；
- c) 对承制方的测试性工作进行监督与控制，主持或参加测试性评审、测试性试验与评价工作，并对测试性试验与评价的结果进行认定；
- d) 按合同或有关规定向承制方提供开展测试性工作所需的信息；
- e) 装备部署后，组织开展使用期间测试性信息收集、评估与改进等工作。

注：订购方主要指组织或承担装备科研订购、合同监管、试验鉴定和使用保障等工作的部门和单位。

4.3.2 承制方的工作要求

承制方的工作要求主要有：

- a) 制定并实施测试性工作计划，落实合同要求的各项测试性工作，做好测试性设计，实现合同规定的测试性要求；
- b) 对转承制方的测试性工作进行监督与控制，按转承制或供应合同验收转承制产品或外购产品；
- c) 根据合同或有关规定向订购方提供资料及数据；
- d) 针对使用中暴露的测试性方面的问题，负责或协助订购方采取有效的改进措施；
- e) 装备立项论证和研制总要求论证时，配合订购方对装备的测试性要求进行可行性分析，确保测试性要求的合理性和可实现性。

注：承制方主要指承担装备及配套产品研制和生产等工作的单位。

4.4 测试性工作与其他相关工作的协调

测试性工作应与其他相关工作协调，主要包括：

- a) 测试性工作应与可靠性、维修性、保障性、安全性和环境适应性等通用质量特性相关的工作相协调，并结合进行，减少重复；
- b) 测试性与可靠性、维修性、保障性、安全性和环境适应性存在数据相互影响关系，应迭代更新确保数据协调一致；
- c) 测试性工作的输出应能满足可靠性、维修性、保障性、安全性和环境适应性等通用质量特性工作的有关输入要求，测试性工作计划应明确这些接口关系；
- d) 测试性工作应与健康管理系统和外部诊断资源的研制相协调，明确接口关系，满足其输入要求；
- e) 测试性工作应与装备功能性能设计工作、试验鉴定工作相协调，明确接口关系，满足其输入要求。

4.5 测试性信息

测试性信息包括装备论证、工程研制、鉴定定型、生产和使用期间产生的有关测试性数据、报告及文件等。测试性信息工作的要求主要有：

- a) 测试性信息应作为装备质量信息的重要内容，并按 GJB 1686 的规定实施统一管理；
- b) 应明确装备寿命周期各阶段对测试性信息的要求，并通过利用或完善现有的装备信息系统，有效地收集、记录、分析、处理和反馈测试性信息；
- c) 应按 GJB 1775、GJB 3837 等标准的要求，规定有关测试性信息单元的名称和代码；
- d) 订购方和承制方相互提供的测试性信息及其要求均应在有关合同中明确。

4.6 测试性要求

4.6.1 测试性定性要求

测试性定性要求是对装备及其下属各层次产品设计提出的非量化要求，一般包括以下几类：

- a) 合理划分功能与结构的要求；
- b) 测试点要求；
- c) 嵌入式诊断要求，如 BIT、状态监测、嵌入式健康管理系统等；
- d) 故障信息处理要求；

e) 有关外部测试、兼容性及检测能力要求等。
对软件而言,一般还应包括下列测试性定性要求:

- a) 软件便于故障诊断测试的架构设计要求;
- b) 关键行为、重要节点监测与故障诊断要求;
- c) 软件故障的判据与数据处理要求;
- d) 获取故障信息的接口要求。

4.6.2 测试性定量要求

测试性定量要求用测试性参数描述,其量值称为测试性指标,一般包括但不限于以下参数的量值:

- a) 故障检测率(FDR);
- b) 严重故障检测率(CFDR);
- c) 故障隔离率(FIR);
- d) 虚警率(FAR)、平均虚警间隔时间(MTBF_{FA})或平均严重故障虚警间隔时间(MTBF_{AC});
- e) 平均诊断时间(MTTD);
- f) 平均故障检测时间(MFDT);
- g) 平均故障隔离时间(MFIT)。

4.6.3 测试性工作项目要求

测试性工作项目包括在装备论证、工程研制、鉴定定型、生产和使用期间所开展的测试性工作。共计 20 个测试性工作项目,分类为 5 大系列,包括:确定测试性要求及其工作项目要求(工作项目 100 系列),包含 2 个工作项目;测试性管理(工作项目 200 系列),包含 6 个工作项目;测试性设计与分析(工作项目 300 系列),包含 7 个工作项目;测试性试验与评价(工作项目 400 系列),包含 3 个工作项目;使用期间测试性评估与改进(工作项目 500 系列),包含 2 个工作项目。应根据装备所处阶段、复杂和重要程度、使用(贮存)环境、新技术含量、费用、进度以及预期产品使用(列装)数量等因素对工作项目的适用性和有效性进行分析,合理选择和安排测试性工作项目。

4.7 测试性要求的验证考核

在研制合同中,对于规定的测试性要求必须同时明确验证的时机、验证的方法和合格判据。测试性要求的验证考核应注意以下问题:

- a) 测试性试验可根据 GJB 8895 或其他有关标准,选择适合的试验方案进行。
- b) 在性能鉴定试验期间,通过测试性试验考核装备约定层次产品的测试性水平是否满足规定的测试性要求;不能开展测试性试验的产品,以及测试性试验不能考核的测试性要求,应通过测试性分析评价进行考核;同时利用装备级试验期间收集的测试性数据,结合测试性试验数据、测试性分析评价数据进行综合评估,确认装备及各层次产品是否满足规定的测试性要求,为装备状态鉴定和列装定型提供依据。对数据不足无法评估的测试性要求,可延伸到装备作战试验期间进行考核。
- c) 在作战试验和在役考核期间收集测试性相关信息,评估装备在相应状态下达到的测试性水平,确认是否满足测试性要求,为装备列装定型和测试性或诊断能力改进提供依据。

4.8 使用期间的测试性工作

装备部署后,订购方应有计划地组织使用过程中的测试性信息收集工作,为在役考核期间的测试性评估提供支持信息;并根据装备使用或在役考核期间暴露的测试性问题,开展测试性或诊断能力改进工作。

4.9 软件测试性工作

在软件研制过程中,应同步开展软件测试性论证、分析设计、验证和确认工作。具体工作包括:

- a) 订购方对所论证的软件提出测试性要求;
- b) 软件密集型系统的承制方对订购方的测试性要求进行需求分析,将测试性要求转换为软件系统

的设计需求；

- c) 承制方应采用合理的方法将系统的测试性设计需求分配给需要完成测试性需求的软件组成部分；
- d) 软件开发方应依据订购方对软件提出的测试性要求，或系统设计中分配给软件的测试性需求，在软件需求分析、软件设计、软件实现中开展相关工作，对发现的软件测试性问题及时采取补救措施，确保软件能够满足上级文档对其提出的测试性要求；
- e) 承制方在软件需求规格说明评审、软件设计评审、软件测试等节点检查和验证软件是否满足软件测试性要求和相关测试性需求；
- f) 订购方或其委托的第三方试验机构在试验鉴定过程中对软件的测试性要求进行测试和评估，鉴定其是否达标；
- g) 当订购方的软件测试性要求发生变更时，承制方应开展相应的软件测试性变更工作。

5 测试性及其工作项目要求的确定(工作项目 100 系列)

5.1 确定测试性要求(工作项目 101)

5.1.1 目的

开展诊断需求分析，协调并确定装备测试性定量和定性要求，以满足装备战备完好性、任务成功性和安全性要求，降低保障资源规模和寿命周期费用。

5.1.2 工作项目要点

5.1.2.1 订购方应根据装备的作战使命任务、作战使用、使用安全、维修保障及装备管理运用等方面的约束条件，开展装备诊断需求分析，确定装备需要监测的关键功能、测试覆盖范围等。

5.1.2.2 在装备研制立项综合论证时，订购方根据装备的订购方案、初始保障方案和诊断需求等，提出装备初步诊断方案，主要包括装备诊断对象和范围、诊断要素和能力、诊断运行场景等内容。在此基础上，提出测试性初步要求。

5.1.2.3 在研制总要求论证时，承制方根据装备初步诊断方案提出备选诊断方案，通过分析权衡确定装备的诊断方案，并经订购方评审确认。主要包括测试种类，诊断对象、范围、功能和方法，诊断要素和能力、诊断运行场景等内容。

5.1.2.4 订购方根据研制总要求论证的总体要求和装备诊断方案，经权衡分析，确定装备测试性要求。装备测试性要求确定工作应按 GJB 1909 规定的要求和程序进行。

5.1.2.5 在测试性要求确定过程中，应对测试性要求进行过程评审和最终评审。测试性要求的评审应有装备论证、设计、试验、使用和保障等各方面的代表参加。测试性要求评审可与装备要求评审和相关通用质量特性要求评审同时进行，也可单独组织评审。

5.1.2.6 初步诊断方案和测试性初步要求应纳入装备立项综合论证报告；测试性要求应纳入装备研制总要求、研制合同或相关文件。

5.1.3 工作项目输入

5.1.3.1 在装备研制立项综合论证中，工作项目输入主要包括：

- a) 装备作战使命任务、作战使用要求、相似装备或产品的测试性指标数据等；
- b) 装备型号论证总体要求；
- c) 相关法规、标准；
- d) 上级主管部门的要求等。

5.1.3.2 在装备研制总要求论证中，工作项目输入主要包括：

- a) 装备研制立项论证报告中的初步诊断方案和测试性初步要求；
- b) 从装备任务需求说明和 GJB 1371 规定的“使用研究”(工作项目 201)得到的任务能力、性能要求和使用约束；

- c) 按 GJB 1371 规定的或订购方批准的方法进行保障性分析所得到的数据;
- d) 按 GJB 368 进行的维修性分析所得到的数据;
- e) 按 GJB 450 和按 GJB/Z 1391 进行故障模式影响分析等可靠性分析得到的结果;
- f) 按 GJB 900 进行的安全性分析所得到的数据;
- g) 相似装备的测试性指标数据。

5.1.4 工作项目输出

工作项目输出包括:

- a) 纳入项目立项综合论证报告中的装备初步诊断方案和测试性初步要求;
- b) 纳入项目研制总要求中的测试性要求。

5.1.5 注意事项

主要包括:

- a) 装备初步诊断方案、诊断方案确定工作的安排应纳入测试性计划;
- b) 要求承制方参与或承担的论证工作应当通过合同明确;
- c) 装备测试性要求应与诊断方案协调一致, 经反复迭代形成。

5.2 确定测试性工作项目要求(工作项目 102)

5.2.1 目的

选择并确定合理的测试性工作项目, 以实现规定的测试性要求。

5.2.2 工作项目要点

5.2.2.1 订购方应优先选择经济有效的测试性工作项目。

5.2.2.2 测试性工作项目的选择取决于具体产品的情况, 考虑的主要因素有:

- a) 诊断方案;
- b) 测试性要求;
- c) 产品的类型和特点;
- d) 产品的复杂程度和重要性;
- e) 产品新技术含量;
- f) 费用、进度及所处的研制阶段等。

5.2.2.3 测试性工作项目应与相关工程工作相协调, 特别是与依据 GJB 450、GJB 368、GJB 3872、GJB 900 确定的可靠性、维修性、安全性和综合保障工作项目以及产品功能性能设计工作相协调, 综合安排, 相互利用信息, 减少重复的工作。

5.2.2.4 应明确对测试性工作项目的具体要求和注意事项。

5.2.3 工作项目输入

工作项目输入包括:

- a) 从装备任务需求说明得到的有关信息;
- b) 立项综合论证报告中的初步诊断方案和测试性初步要求;
- c) 研制总要求论证报告中的测试性要求。

5.2.4 工作项目输出

工作项目输出包括需要实施的装备测试性工作项目及说明, 并纳入装备研制总要求。

5.2.5 注意事项

主要包括:

- a) 测试性工作项目选择和确定工作应纳入测试性计划;
- b) 对承制方的测试性工作项目要求应纳入合同或其他相关文件。

6 测试性管理(工作项目 200 系列)

6.1 制定测试性计划(工作项目 201)

6.1.1 目的

全面规划装备寿命周期中的测试性工作,以保证测试性工作顺利进行。

6.1.2 工作项目要点

6.1.2.1 订购方应在装备立项综合论证期间对测试性工作进行全面规划,制定测试性计划,其主要内容包括:

- a) 装备测试性工作的总体要求和安排;
- b) 测试性工作的管理和实施机构及其职责;
- c) 测试性及其工作项目要求论证工作的安排;
- d) 对承制方监督与控制工作的安排;
- e) 测试性评审工作的要求与安排;
- f) 测试性试验评价与改进工作的要求与安排;
- g) 工作进度安排等。

6.1.2.2 测试性计划应进行评审。

6.1.2.3 随着装备研制工作的进展,订购方应不断调整、完善测试性计划。

6.1.3 工作项目输入

工作项目输入包括:

- a) 装备任务需求说明;
- b) 装备任务剖面、作战使用及维修保障等方面的约束条件;
- c) 装备研制要求;
- d) 型号研制进度与经费安排;
- e) 与测试性相关的工作系统组织结构。

6.1.4 工作项目输出

工作项目输出是测试性计划。

6.1.5 注意事项

主要包括:

- a) 要求承制方承担的工作应在相关文件中明确;
- b) 测试性计划应与订购方的其他计划如可靠性计划、维修性计划、综合保障计划等相协调。

6.2 制定测试性工作计划(工作项目 202)

6.2.1 目的

明确并合理地安排工作项目,以确保装备满足合同规定的测试性要求。

6.2.2 工作项目要点

6.2.2.1 承制方、转承制方应根据测试性计划和要求,制定测试性工作计划,明确详细的工作任务、分工、进度、保障条件等,以保证装备满足合同规定的测试性要求,其主要内容包括:

- a) 测试性要求和测试性工作项目要求,工作计划中至少应包含合同规定的全部测试性工作项目;
- b) 全面负责测试性工作管理和实施的组织机构,以及机构组成要素之间的任务和接口;
- c) 各项测试性工作项目的实施细则,包括工作项目的目的、内容、时机、范围、实施程序、交付物、交付物要求和评审要求等;
- d) 测试性工作与装备研制计划中可靠性、维修性和综合保障等其他工作协调的说明。

6.2.2.2 测试性工作计划应随着工作进展逐步细化完善。

6.2.2.3 测试性工作计划应经评审和订购方认可。

6.2.2.4 测试性工作计划应纳入装备研制工作计划。

6.2.3 工作项目输入

工作项目输入是：

- a) 订购方提出的测试性要求和工作项目要求；
- b) 研制工作进度；
- c) 相关组织架构；
- d) 订购方提出的测试性计划。

6.2.4 工作项目输出

工作项目输出为测试性工作计划。

6.2.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 测试性工作项目要求；
- b) 测试性评审的要求；
- c) 需提交的资料项目。

6.3 对承制方、转承制方的监督和控制(工作项目 203)

6.3.1 目的

明确订购方对承制方和转承制方,承制方对转承制方的测试性工作进行监督与控制,以确保承制方、转承制方有效完成测试性工作项目,交付的产品满足规定的测试性要求。

6.3.2 工作项目要点

6.3.2.1 应制定有效的管理制度和机制,对承制方和转承制方的测试性工作实施进行监督与控制,监督控制的方式主要包括:

- a) 对承制方和转承制方的测试性工程能力进行评价,建立型号承制方和转承制方准入和退出机制,确保具备测试性工程能力的单位承担型号研制任务;
- b) 在产品研制转阶段时,对测试性工作进行审查,并将测试性审查结论作为产品通过转阶段审查的重要依据;
- c) 建立测试性重大事项备案和审批制度,重要事项须经批准后才能开展相关工作;
- d) 针对产品研制重大节点或重大事项,对承制方和转承制方组织测试性专项检查,督促承制方和转承制方全面落实相关工作。

6.3.2.2 落实既定的测试性工作管理制度与机制,审查承制方和转承制方的测试性工作内容及输出,保证承制方测试性工作达到预期效果,主要包括:

- a) 审查承制方质量管理体系中测试性相关内容;
- b) 审查承制方的测试性工作计划,对测试性工作项目完成情况进行监督控制;
- c) 审查产品研制各阶段的故障模式、影响与危害性分析(FMECA)、功能危险分析(FHA)等关键输入、测试性设计方案、诊断设计方案等设计输出;
- d) 评估产品研制各阶段的测试性水平,并对存在的测试性问题予以纠正;
- e) 审查承制方的测试性数据收集、问题报告及纠正活动的工作程序和重大测试性问题的纠正处理结果,以保证测试性问题及时得到处理。

6.3.2.3 应明确对转承制产品的测试性要求,并与装备的测试性要求协调一致。

6.3.2.4 对转承制方的要求均应纳入有关合同,主要包括以下内容:

- a) 测试性定量与定性要求及试验评价方法;
- b) 对转承制方测试性工作项目和工作计划的要求;
- c) 对转承制方测试性工作实施监督和检查的安排;
- d) 转承制方执行测试性数据收集、分析和管理的有关要求;
- e) 承制方参加转承制方产品设计评审、测试性试验与评价的有关事项。

6.3.3 工作项目输入

工作项目输入包括：

- a) 对承制方的产品测试性要求和工作项目要求；
- b) 对转承制方的产品测试性要求和工作项目要求。

6.3.4 工作项目输出

工作项目输出包括：

- a) 研制各阶段测试性评审的结论；
- b) 型号测试性监督和控制工作的制度、规定等；
- c) 承制方、转承制方输出的满足相关要求的测试性设计方案、详细设计文件、试验验证结论，满足测试性要求的产品试件、样件等。

6.3.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 对承制方、转承制方的监督与控制要求及内容；
- b) 对参加承制方、转承制方测试性评审的要求；
- c) 承制方、转承制方的产品是否进行测试性试验，以及试验与监督的负责单位。

6.4 测试性评审(工作项目 204)

6.4.1 目的

按计划进行测试性评审，确保测试性工作按合同要求和工作计划进行，并最终实现规定的测试性要求。

6.4.2 工作项目要点

6.4.2.1 订购方应安排并主持或参与装备的测试性评审。

6.4.2.2 装备在进行合同规定的评审时，应包含测试性工作的有关方面，主要包括：

- a) 型号规范中与测试性有关的要求；
- b) 测试性工作计划内容及实施的状况和结果；
- c) 测试性工作项目输出文件；
- d) 测试性设计、进度等问题。

6.4.2.3 测试性评审应主要包括以下具体内容：

- a) 对装备初步诊断方案和测试性初步要求、装备诊断方案和测试性要求进行审查，分析技术风险，确保测试性要求满足装备顶层要求；
- b) 对测试性设计准则及设计准则的遵循程度进行评审，评估确定实施测试性设计准则的技术限制或费用等因素；
- c) 产品 FMECA、FHA 等设计输入应经过评审，保证故障模式分析的完整性、有效性，以及测试性设计输入与 FMECA、FHA 等数据的一致性；
- d) 对产品测试性设计方案进行评审，评估方案的技术可行性，确认方案是否满足测试性要求，分析潜在技术风险；
- e) 对测试性详细设计，包括软、硬件设计情况进行评审，评估设计的有效性，确认实现的功能能否满足测试性要求；
- f) 对测试性试验计划、试验方案、试验实施关键节点进行评审，确保测试性设计在研制各阶段的有效确认和验证；
- g) 对发现的重大测试性问题及处理措施进行评审。

6.4.2.4 测试性评审根据产品层次由订购方、承制方、转承制方组织开展，评审形式一般为会议评审，也可采用专业机构评价审查的方式。

6.4.2.5 测试性评审时机、评审内容、评审类型、评审方式及要求等应在测试性工作计划中予以明确。

6.4.2.6 测试性评审应纳入产品总体评审计划,宜与可靠性、维修性、安全性、综合保障等评审结合进行,必要时也可组织专项审查。

6.4.2.7 测试性评审的结果应形成文件,主要包括评审的结论、存在的问题、解决措施及完成日期。

6.4.2.8 测试性评审应按 GJB/Z 72 和 GJB 3273 规定的有关内容进行。

6.4.3 工作项目输入

工作项目输入包括:

- a) 测试性工作计划;
- b) 评审要点及要求;
- c) 待审的测试性工作项目输出技术资料、模型等。

6.4.4 工作项目输出

工作项目输出是测试性评审结果,当结合其他专业进行评审时应作为项目评审结果的一部分,并且应包括悬而未决的问题。

6.4.5 注意事项

合同或技术协议中应明确:

- a) 对承制方测试性评审的要求;
- b) 需提交的资料项目。

6.5 测试性数据收集、分析和管理(工作项目 205)

6.5.1 目的

收集、分析和管理研制、生产和使用过程中与测试性有关的数据,为测试性设计分析、评价和改进提供信息。

6.5.2 工作项目要点

6.5.2.1 测试性数据收集、分析和管理工作应贯穿装备研制、生产和使用全寿命阶段,在研制和生产阶段由承制方负责,在使用阶段由装备订购方负责。

6.5.2.2 测试性数据应包括研制、生产阶段产生的测试性设计分析数据、模型、试验数据和使用阶段产生的诊断测试数据等。

6.5.2.3 针对不同研制阶段,明确测试性数据收集要求,收集的数据应包括对有关设计分析、试验情况、使用阶段的原始诊断指示、诊断时机和维修活动的说明。

6.5.2.4 进行测试性数据收集,其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,并满足现有的装备信息系统相关要求。

6.5.2.5 进行测试性数据分析,其分析过程包括故障检测、隔离时间的判定,以及发现测试性缺陷和问题、确定问题原因及纠正措施,并反馈到设计、生产中的过程。测试性缺陷和问题数据可纳入“故障报告、分析和纠正措施系统”统一管理。

6.5.2.6 测试性数据作为装备质量信息的重要内容,应按 GJB 1686 的规定实施统一管理。

6.5.2.7 本工作项目应与 GJB 450 规定的“建立故障报告、分析和纠正措施系统”(工作项目 205)及 GJB 368 规定的“建立维修性数据收集、分析和纠正措施系统”(工作项目 205)相协调。

6.5.3 工作项目输入

工作项目输入包括:

- a) 可用于研制、生产测试与使用维修活动的各级测试设备的有关资料;
- b) 用户现有的装备信息系统要求;
- c) 测试性设计分析资料;
- d) 测试性试验及其他试验数据。

6.5.4 工作项目输出

工作项目输出是:

- a) 研制和生产测试中的测试性数据和有关的分析报告;
- b) 性能试验、作战试验和在役考核等活动中的测试性数据和有关的分析报告。

6.5.5 注意事项

合同或技术协议中应明确:

- a) 承制方测试性数据收集、分析和管理工作与用户装备信息系统协调的内容和范围;
- b) 承制方向订购方提供数据的产品层次及提交有关资料的要求;
- c) 订购方向承制方反馈数据的产品层次及提交有关资料的要求。

6.6 测试性增长管理(工作项目 206)

6.6.1 目的

通过分析、试验与评价等手段及时发现测试性问题并采取纠正措施,以实现测试性增长。

6.6.2 工作项目要点

6.6.2.1 承制方应制定测试性增长计划,从研制初期开始实施测试性增长管理。

6.6.2.2 在工程研制初期应通过测试性预计、测试性设计核查等方法手段识别测试性设计缺陷,针对设计缺陷,进行原因分析,采取设计改进措施。

6.6.2.3 工程研制后期应通过测试性设计核查、测试性试验等手段发现测试性问题,针对测试性问题,进行原因分析,采取改进与纠正措施,并对改进纠正措施进行跟踪与试验确认,以考察纠正措施的有效性。

6.6.2.4 针对性能鉴定试验期间的测试性试验或测试性分析评价、作战试验期间的测试性评估、在役考核期间的测试性评估等发现的测试性问题,进行原因分析,采取改进与纠正措施,并对改进纠正措施进行跟踪与试验确认,以考察纠正措施的有效性。

6.6.2.5 针对装备使用期间发现的测试性问题,进行原因分析,在装备改进中解决。

6.6.3 工作项目输入

工作项目输入包括:

- a) 测试性定性要求;
- b) 测试性定量要求;
- c) 收集的测试性数据;
- d) 已发现的测试性问题。

6.6.4 工作项目输出

工作项目输出是测试性增长报告(含测试性增长计划)。

6.6.5 注意事项

合同或技术协议中应明确需提交的资料项目。

7 测试性设计与分析(工作项目 300 系列)

7.1 测试性设计方案制定(工作项目 301)

7.1.1 目的

开展测试性要求分析,将测试性要求转化为具体、明确的测试性设计要求,并在此基础上,开展测试性总体设计,制定并形成测试性设计方案,指导和约束装备各层次产品的测试性设计与分析工作。

7.1.2 工作项目要点

7.1.2.1 装备及其下属各层次产品均应开展测试性要求分析。承制方应根据本层次产品相关设计信息,将测试性要求转化为产品嵌入式诊断、外部测试、人工测试等具体的测试性设计要求。

7.1.2.2 以测试性设计要求为输入,开展测试性总体设计,包括测试可控性和可观测性设计、嵌入式诊断总体设计、外部测试和人工测试规划等,形成测试性设计方案,并随测试性设计要求的变更进行迭代完善。

7.1.2.3 为易于进行测试可控性和可观测性设计，应在产品结构设计时，将故障检测隔离作为权衡要素，对层次、功能、结构、电气等进行合理划分。

7.1.2.4 在嵌入式诊断总体设计中，应权衡分析可靠性、维修性、安全性、重量、尺寸及费用等因素，确定产品的测试能力配置，形成最优的嵌入式诊断架构，并确定嵌入式诊断数据处理方式，包括数据编码、传输、存储、显示和输出等。

7.1.2.5 在外部测试和人工测试规划中，应针对产品不同维修级别和测试任务，配置合理的、必要的外部测试和人工测试资源。

7.1.2.6 对技术资料、维修人员、培训等诊断要素提出能力要求，以保证这些诊断要素与嵌入式诊断、外部测试、人工测试相兼容。

7.1.3 工作项目输入

工作项目输入包括：

- a) 装备测试性要求；
- b) 产品研制合同或技术协议；
- c) 产品的初步技术方案；
- d) FHA、FMEA/FMECA、FTA 等分析结果；
- e) 相似产品的测试性数据。

7.1.4 工作项目输出

工作项目输出包括：

- a) 测试性设计要求，包括定量要求和定性要求等；
- b) 测试性设计方案，包括诊断测试对象、嵌入式诊断架构、嵌入式诊断数据处理方式、外部测试和人工测试资源规划和配置情况等。

7.1.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 装备或产品应具备的诊断能力；
- b) 嵌入式诊断和外部测试应达到的指标要求；
- c) 需提交的资料清单等。

7.2 测试性模型建立(工作项目 302)

7.2.1 目的

建立装备及其下属各层次产品的测试性模型，用于测试性分配、测试性预计、诊断设计等。

7.2.2 工作项目要点

7.2.2.1 承制方应针对不同的测试性工作需求，采用 GJB 10054 等标准规定的程序和方法，分别建立相应的测试性模型。测试性模型一般包括相关性模型、测试性框图和数学模型等。应优先采用相关性模型。订购方有要求时，测试性建模方法应经订购方认可。

7.2.2.2 承制方应根据产品测试性设计资料，清晰、准确地建立能够描述产品测试性设计情况的测试性模型，客观、真实地反映产品中故障、测试及相互关系等测试性因素及其与测试性参数的关系。

7.2.2.3 测试性模型应随着测试性和其他相关试验获得的信息的变化，以及产品结构、使用要求和使用寿命约束条件等方面的更改而修改。测试性模型应适应产品内部结构、外部接口的变化，以便于修改完善。

7.2.2.4 在研制过程中，应持续对测试性模型进行验证和确认。模型的验证和确认可由承制方自行开展，也可由订购方认可的、具有相应资质的第三方机构开展。

7.2.2.5 承制方应采取有效措施，对测试性模型进行管理，模型的建立、完善、修改等应明确记录并归档，使整个建模过程透明可见。

7.2.3 工作项目输入

工作项目输入主要包括：

- a) 测试性设计要求，包括定量设计要求和定性设计要求；
- b) 装备或产品的设计资料，包括功能、组成、原理图、信号流图等；
- c) 测试性设计资料，包括测试性设计方案、嵌入式诊断设计文件、外部测试设计文件等；
- d) 安全性、可靠性、维修性和保障性等相关要求及数据。

7.2.4 工作项目输出

工作项目输出主要包括：

- a) 测试性模型；
- b) 测试性建模报告或说明。

7.2.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 测试性建模方法；
- b) 测试性指标和约束条件；
- c) 需提交的测试性模型资料。

7.3 测试性分配(工作项目 303)

7.3.1 目的

将本层次产品的测试性设计要求分配或分解至下层次产品，以明确下层次产品的测试性要求。

7.3.2 工作项目要点

- 7.3.2.1 承制方应根据产品的任务要求、使用要求以及技术特点确定测试性分配的原则和方法。
- 7.3.2.2 测试性分配应以所建立的测试性模型(见工作项目 302)为基础，并随模型的修改而迭代变更。
- 7.3.2.3 承制方应根据产品测试性设计方案确定的系统级测试能力和单元级测试能力，按照产品分解结构，将测试性定量设计要求分配到规定的产品层次，将测试性定性设计要求分解传递到规定的产品层次。测试性分配时，应明确哪些测试能力由本层次产品完成，哪些测试能力分配到下层次产品。
- 7.3.2.4 应针对产品的类型和特点，并考虑实现的可行性等因素进行测试性分配。
- 7.3.2.5 测试性分配结果应写入产品研制合同、技术协议或有关文件中。

7.3.3 工作项目输入

工作项目输入主要包括：

- a) 装备或产品的使用要求、组成及功能描述、维修级别划分等；
- b) 待分配的测试性设计要求，包括定量设计要求和定性设计要求；
- c) 故障模式、故障影响、故障率、平均修复时间等数据；
- d) 相似装备或产品的测试性数据；
- e) 测试性设计方案；
- f) 测试性模型。

7.3.4 工作项目输出

工作项目输出是测试性分配文件，主要包括以下内容：

- a) 所选用的测试性分配方法和模型的说明；
- b) 分配数据表及分配结果；
- c) 分配工作说明等。

7.3.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 测试性分配方法和模型；
- b) 测试性分配的最低产品层次；
- c) 订购方指定的配套产品，应提供其测试性水平和相关的维修保障信息；
- d) 需提交的资料项目。

7.4 测试性预计(工作项目 304)

7.4.1 目的

根据装备及其下属各层次产品的测试性设计资料,使用合适的方法或模型,估计装备或产品的测试性设计水平是否满足规定的要求,发现测试性设计中的薄弱环节,为改进设计提供依据。

7.4.2 工作项目要点

7.4.2.1 承制方应对规定的产品及其组成部分进行测试性预计。测试性预计结果应表明是否满足规定的测试性定量设计要求。

7.4.2.2 测试性预计应以所建立的测试性模型为基础(见工作项目 302),并随模型的修改进行迭代。应优先采用基于相关性模型的测试性预计方法。

7.4.2.3 应根据测试性预计反映的问题,改进与完善测试性设计,直到预计结果满足规定的测试性定量设计要求。

7.4.2.4 采用的测试性预计方法、模型和数据等应得到订购方的确认。不进行测试性预计的产品,需给出理由并经订购方认可。

7.4.3 工作项目输入

工作项目输入主要包括:

- a) 装备或产品的组成及功能描述等;
- b) 测试性设计资料,包括测试性设计方案、嵌入式诊断设计文件、外部测试设计文件等;
- c) 故障模式、故障影响、故障率等数据;
- d) 维修级别划分;
- e) 相似装备或产品的测试性数据;
- f) 测试性模型。

7.4.4 工作项目输出

工作项目输出是测试性预计文件,主要包括以下内容:

- a) 组成及功能框图(含 BIT 和测试点);
- b) 测试方法清单;
- c) 选用的测试性预计方法、模型和数据;
- d) 测试性预计过程和预计结果;
- e) 不能检测和隔离的功能、单元或故障模式;
- f) 测试性设计改进措施。

7.4.5 注意事项

合同或技术协议中应明确:

- a) 测试性预计的产品层次;
- b) 订购方指定的配套产品,应提供其测试性水平和相关的维修保障信息;
- c) 测试性预计方法、模型及数据来源;
- d) 需提交的资料项目。

7.5 测试性设计准则制定(工作项目 305)

7.5.1 目的

将测试性设计要求、使用和保障约束以及测试性设计经验转化为具体的测试性设计准则,以指导产品的测试性设计。

7.5.2 工作项目要点

7.5.2.1 装备及其下属各层次产品应制定测试性设计准则。承制方应采用 GJB/Z 190 等标准规定的程序和方法,依据具体产品的层次、类型、特点、规定的测试性设计要求以及其他相关要求制定测试性设计准则。

7.5.2.2 应对测试性设计准则进行改进和完善，随着研制工作的深入及时对产品研制与使用实践过程中的测试性经验教训进行总结、梳理和提炼，并补充完善到设计准则中，提高准则的适用性。

7.5.2.3 测试性设计准则文件中应明确进行符合性分析评价的方法，具体参见 GJB/Z 190。

7.5.3 工作项目输入

工作项目输入主要包括：

- a) 测试性设计要求；
- b) 产品组成及功能描述等；
- c) 测试性设计资料，包括测试性设计方案、嵌入式诊断设计文件、外部测试设计文件等；
- d) 相关标准、规范、手册、指南等文件给出的测试性设计条款；
- e) 相似产品的测试性设计准则，以及测试性设计经验和教训；
- f) 安全性、可靠性、维修性和保障性相关要求。

7.5.4 工作项目输出

工作项目输出是产品的测试性设计准则文件，主要包括以下内容：

- a) 产品测试性设计过程中应遵循的具体准则条款；
- b) 测试性设计准则符合性分析评价的方法。

7.5.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 要采用的专门设计手册；
- b) 要考虑的有关测试性设计原则或指南；
- c) 需提交的资料项目。

7.6 诊断设计(工作项目 306)

7.6.1 目的

将嵌入式诊断能力和外部测试能力设计到装备及其下属各层次产品中，以满足规定的测试性设计要求。

7.6.2 工作项目要点

7.6.2.1 承制方应落实测试性设计方案和测试性设计准则的相关内容，对产品进行诊断策略设计、嵌入式诊断设计和外部测试设计等。

7.6.2.2 应在所建立的测试性模型(见工作项目 302)的基础上进行诊断策略设计，并随模型的修改进行迭代。

7.6.2.3 应在嵌入式诊断总体设计的基础上，对嵌入式诊断所采用的软、硬件以及嵌入式诊断数据的编码、传输、存储、显示和输出等进行详细设计。

7.6.2.4 应设计合理的测试容差和故障指示条件，并采用有效的虚警抑制措施，以消除或降低虚警。

7.6.2.5 应采取措施保证所有维修级别的测试兼容性，包括各维修级别间的测试容差以及测试环境的兼容性。

7.6.2.6 应对需要外部测试的产品进行测试点的详细设计和电气及物理接口的详细设计，并按照 GJB 3966 等标准开展测试兼容性设计，确保被测单元(UUT)与自动测试设备(ATE)或其他外部测试设备(ETE)的兼容性。

7.6.2.7 应进行外部自动和人工测试程序设计，包括确定测试顺序、故障判据、测试门限以及与外部测试设备、辅助工具交互的程序等。

7.6.3 工作项目输入

工作项目输入主要包括：

- a) 测试性设计要求；
- b) 测试性设计方案；

- c) 测试性设计准则;
- d) 测试性模型;
- e) FHA、FMEA/FMECA、FTA 等分析结果;
- f) 相关约束条件。

7.6.4 工作项目输出

工作项目输出是测试性详细设计文件, 主要包括:

- a) 嵌入式诊断详细设计文件;
- b) 外部测试详细设计文件;
- c) 测试需求文件 (TRD);
- d) 与外部测试设备的接口控制文件 (ICD);
- e) 故障维修手册中的人工排故程序。

7.6.5 注意事项

合同或技术协议中应明确:

- a) 嵌入式诊断和外部测试应达到的指标要求;
- b) 外部测试接口的特殊要求;
- c) 需提交的资料项目。

7.7 测试性设计核查(工作项目 307)

7.7.1 目的

确认测试性设计工作的有效性, 识别测试性设计缺陷, 以便采取纠正措施, 实现测试性的持续改进与增长。

7.7.2 工作项目要点

7.7.2.1 从方案设计、工程研制到状态鉴定前, 承制方应在其所负责的系统、分系统或设备等产品层次上分别组织开展测试性设计核查。应根据产品类型、产品层次、设计要求, 确定测试性设计核查的重点和方法。

7.7.2.2 测试性设计核查应重点查找测试性设计中存在的问题及其纠正措施的有效性, 包括对测试性设计准则符合性检查, 对测试性要求满足情况的核查等。

7.7.2.3 测试性核查可以采用分析对比、功能演示、建模仿真、实物检查等方法进行, 并可以采用加权评分方法进行综合评价; 对测试性设计核查发现的测试性设计缺陷, 进行原因分析并纠正。

7.7.2.4 测试性设计准则的符合性检查, 应对测试性设计是否符合准则各条款的要求进行全面的分析评价, 找到存在的问题, 以尽早采取改进措施。

7.7.2.5 测试性设计核查实施前应制定测试性设计核查大纲, 测试性设计核查结束后应编写测试性设计核查报告。

7.7.3 工作项目输入

工作项目输入包括:

- a) 测试性设计要求;
- b) 测试性设计方案、测试性设计准则等分析对比所需的产品设计资料和数据;
- c) 测试性建模仿真方法所需的产品设计资料和数据;
- d) 实物检查方法所需的产品样件。

7.7.4 工作项目输出

工作项目输出包括:

- a) 测试性设计核查大纲;
- b) 测试性设计核查报告。

7.7.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 对测试性设计核查方法的要求；
- b) 关于核查结果的确认要求；
- c) 需要提交的资料项目。

8 测试性试验与评价(工作项目 400 系列)

8.1 测试性试验(工作项目 401)

8.1.1 目的

确认产品测试性设计的有效性、评估产品测试性水平，发现产品的测试性设计与要求的偏离；考核产品测试性设计是否符合规定的测试性要求，为产品鉴定定型提供依据。

8.1.2 工作项目要点

8.1.2.1 测试性试验应采用故障注入或模拟故障的方式在产品实物上开展，适用于工程研制阶段开展的测试性研制试验和性能鉴定试验期间开展的测试性鉴定试验工作。

8.1.2.2 测试性试验应参照 GJB 8895 开展，也可按照试验鉴定管理部门或者组织方规定的试验要求开展。对于软件类产品进行测试性试验时，还应参照 GJB/Z 141 开展试验工作。

8.1.2.3 测试性试验可使用共用试验件或专用试验件，当采用共用试验件时，应注意避免不同类型试验之间的相互影响；测试性研制试验可结合产品功能性能试验一并开展，也可单独开展；用于测试性鉴定试验的试验件，应达到规定的状态鉴定技术状态。

8.1.2.4 测试性试验前，应制定测试性试验大纲，并经过评审；试验完成后，应编写测试性试验报告，给出试验结论。

8.1.2.5 承制方/转承制方应针对测试性试验发现的问题进行测试性设计改进，并进行回归试验确认改进效果。

8.1.3 工作项目输入

工作项目输入包括：

测试性试验任务书或试验方案。

8.1.4 工作项目输出

工作项目输出包括：

- a) 测试性试验大纲；
- b) 测试性试验程序；
- c) 测试性试验报告；
- d) 测试性试验问题分析及总结报告等。

8.1.5 注意事项

合同或技术协议中一般应明确：

- a) 测试性试验项目；
- b) 需提交文件资料，如试验报告等。

8.2 测试性分析评价(工作项目 402)

8.2.1 目的

通过综合利用产品的各种测试性相关信息，评价产品是否满足规定的测试性要求。

8.2.2 工作项目要点

8.2.2.1 对于不能开展测试性试验的产品，以及测试性试验不能考核的测试性要求，应采用分析评价方法进行鉴定。

8.2.2.2 测试性分析评价一般由试验鉴定管理部门指定的机构进行，承制方/转承制方配合开展工作。

8.2.2.3 测试性分析评价应采用产品及其组成部分的试运行数据、测试性试验数据、功能演示数据、实物检查数据、相似产品数据、或者建模与仿真分析资料等进行综合分析评价，并应在状态鉴定前完成。

8.2.2.4 测试性分析评价前，应制定测试性分析评价大纲，并经过评审；工作完成后，应编写测试性分析评价报告，给出测试性分析评价结论。

8.2.2.5 承制方/转承制方应针对测试性分析评价发现的问题进行测试性设计改进，并对测试性改进的有效性进行确认。

8.2.3 工作项目输入

工作项目输入包括：

测试性分析评价任务书或分析评价方案。

8.2.4 工作项目输出

工作项目输出包括：

a) 测试性分析评价大纲；

b) 测试性分析评价报告；

c) 测试性分析评价问题分析及总结报告等。

8.2.5 注意事项

合同或技术协议中一般应明确：

a) 测试性分析评价项目；

b) 需提交文件资料，如测试性分析评价报告等。

8.3 测试性评估(工作项目 403)

8.3.1 目的

收集测试性信息，评估装备是否满足规定的测试性要求。

8.3.2 工作项目要点

8.3.2.1 装备状态鉴定性能试验期间，对研制总要求中提出的测试性要求，应开展测试性鉴定评估工作。测试性鉴定评估一般由试验鉴定管理部门指定的机构进行，综合利用装备实际运行中的测试性数据，必要时补充测试性鉴定试验数据和测试性分析评价数据，评估确认是否满足规定的测试性要求，为装备状态鉴定和列装定型提供依据。

8.3.2.2 装备作战试验期间，作战试验部队应同步收集测试性信息，在近似实战战场环境和对抗状态下评估装备达到的测试性水平，确定是否满足规定的测试性要求，并发现测试性设计缺陷，为装备列装定型提供依据。

8.3.2.3 装备作战试验结束后，试验鉴定管理部门建立的专项评估工作组应根据需要开展测试性综合评估工作。汇总测试性试验、测试性分析评价、性能鉴定试验期间的测试性评估、作战试验期间的测试性评估的数据和结果，并对实际使用数据中的故障、检测、隔离、虚警、时间等数据进行确认，综合评估测试性水平，确定是否满足规定的测试性要求，为装备列装定型提供依据。

8.3.2.4 装备在役考核期间，在役考核承试单位应同步收集测试性信息，评估在役考核状态下达到的测试性水平，确定是否满足规定的测试性要求。

8.3.2.5 装备在使用期间，应继续收集测试性信息，评估装备在使用条件下达到的测试性水平，确定是否满足规定的测试性要求，为改进测试性、完善使用与维修工作以及新研制装备的论证提供支持。

8.3.2.6 测试性评估应采用装备及其配套产品的实际使用数据，包括在使用、维修等过程中产生的各种测试性信息，当数据不足时可补充试验数据等进行综合评估。

8.3.2.7 评估测试性定量要求的达标情况时，故障检测率、故障隔离率、平均虚警间隔时间一般采用单侧置信下限进行评估，虚警率一般采用单侧置信上限进行评估。

8.3.2.8 针对测试性定性要求，应结合装备试验期间的使用维护工作，采用功能演示、实物检查、资料审查等方式进行测试性定性评价，逐条确认是否满足要求。

8.3.2.9 测试性评估前，应制定测试性评估大纲，明确评估依据、评估目的、评估对象及技术状态、测试性定量定性要求、评估周期、评估数据收集的范围、数据判别与统计筛选原则、定量评估模型、定性评估方法等；评估后应编写测试性评估报告。

8.3.2.10 测试性评估大纲应经过评审和批准。

8.3.3 工作项目输入

工作项目输入包括：

- a) 装备鉴定定型试验总案；
- b) 装备状态鉴定性能试验大纲；
- c) 装备作战试验大纲；
- d) 测试性要求；
- e) 装备或者产品的使用运行、试验、测试数据或者评估需求。

8.3.4 工作项目输出

工作项目输出包括：

- a) 测试性评估大纲；
- b) 测试性评估报告。

8.3.5 注意事项

合同或技术协议中应明确：

- a) 测试性评估的数据和方法要求，测试性信息收集的协调开展；
- b) 测试性评估应尽可能与装备可靠性、维修性、保障性、安全性评估结合进行。

9 使用期间测试性信息收集与改进(工作项目 500 系列)

9.1 使用期间测试性信息收集(工作项目 501)

9.1.1 目的

通过有计划地收集装备使用期间的各项有关数据，为使用期间测试性评估与测试性改进，以及新研装备的论证与研制等提供信息。

9.1.2 工作项目要点

9.1.2.1 在工作项目 205 的基础上，收集使用期间的测试性信息，包括装备在使用、维修、贮存和运输过程中产生的各种测试性信息。

9.1.2.2 在工作项目 201 的基础上，装备使用单位应组织制定使用期间测试性信息收集计划，其主要内容包括：

- a) 信息收集与分析的部门、单位及人员的职责；
- b) 信息收集工作的管理与监督(含保密)要求；
- c) 信息收集的范围、方法和程序；
- d) 信息分析、处理、传递的要求和方法；
- e) 信息分类方法；
- f) 定期进行信息分类审核、汇总的安排；
- g) 向承制方反馈测试性信息的安排。

9.1.2.3 装备使用单位应按计划规定的要求和程序，完整、准确地收集使用期间的测试性信息，按规定的方法、方式、内容和时限，分析和存储测试性信息，定期进行审核、汇总、上报和反馈。

9.1.2.4 使用期间测试性信息应参照 GJB 1775 及有关标准进行分类和编码。

9.1.2.5 使用期间测试性信息应纳入装备使用单位的装备信息系统。

9.1.3 工作项目输入

工作项目输入包括：

- a) 测试性计划;
- b) 可靠性、维修性、保障性信息收集计划与工作要求;
- c) 用户现有的装备信息系统要求。

9.1.4 工作项目输出

工作项目输出包括:

- a) 使用期间测试性信息收集计划;
- b) 按计划收集的产品使用期间的测试性信息。

9.1.5 注意事项

主要包括:

- a) 使用期间测试性信息收集应与可靠性、维修性、保障性等信息收集工作相结合;
- b) 测试性信息收集应重视及时性、真实性、完整性与准确性;
- c) 所收集信息的内容应能满足评估测试性的要求。

9.2 使用期间测试性改进(工作项目 502)

9.2.1 目的

对装备在使用期间暴露的测试性问题采取改进措施,以提高装备的测试性水平。

9.2.2 工作项目要点

9.2.2.1 根据装备在使用中或在役考核期间发现的测试性问题和相关技术的发展,通过分析论证,确定需要改进的项目。

9.2.2.2 在工作项目 201 和工作项目 202 基础上,订购方应组织制定使用期间测试性改进计划,并组织实施。计划主要包括:

- a) 改进的项目、改进方案、达到的目标;
- b) 负责改进的单位、人员和职责;
- c) 改进后验证的要求和方法;
- d) 经费和进度安排等。

9.2.2.3 使用期间改进装备测试性的主要途径包括:

- a) 改进测试性设计;
- b) 改进检测与使用方法;
- c) 改进测试设备及保障系统;
- d) 其他。

9.2.2.4 在使用过程中全面跟踪、评估测试性改进措施的有效性。

9.2.3 工作项目输入

工作项目输入包括:

- a) 使用中发现的有关测试性的问题;
- b) 在役考核期间测试性评估结果。

9.2.4 工作项目输出

工作项目输出包括:

- a) 使用期间测试性改进计划;
- b) 使用期间测试性改进方案;
- c) 使用期间测试性改进报告。

9.2.5 注意事项

对使用期间的承制方测试性改进工作要求,应在装备研制合同中明确。必要时可以单独签订合同。

附录 A
(资料性附录)
应用指南

A.1 概述

A.1.1 内容

本附录提供了本标准规定的各项测试性工作项目的详细指南。

A.1.2 目的

本附录为选择和实施本标准规定的测试性工作项目提供指导与参考。

A.2 剪裁工作项目的原则

测试性工作是产品研制工作的重要组成部分，测试性工作应纳入产品研制计划。

由于产品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定研制任务书之前，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) 删除对于具体产品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。

A.3 测试性工作项目实施表

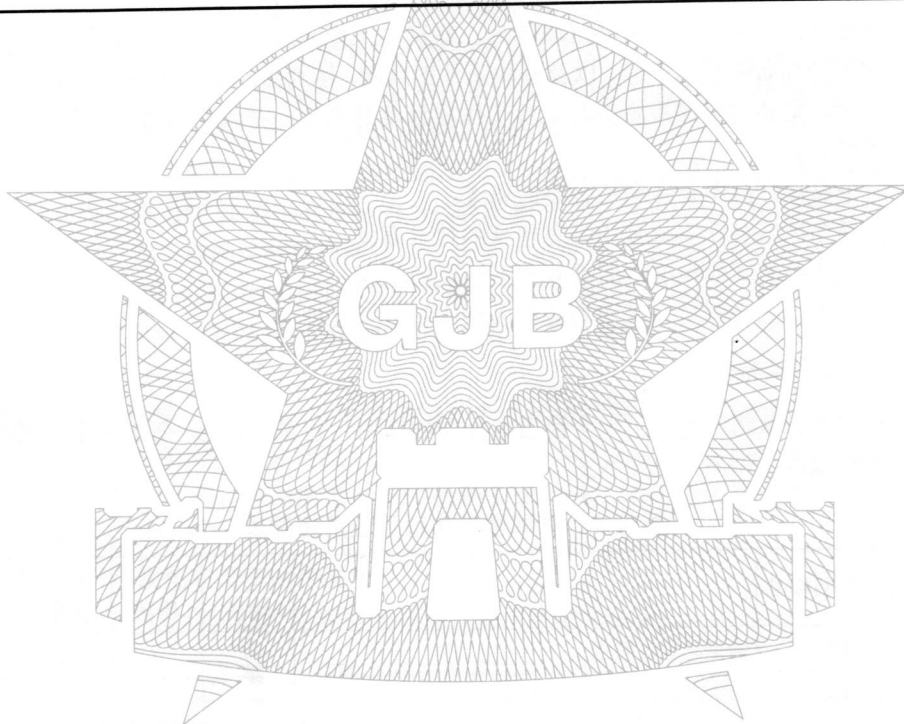
表 A.1 向订购方和承制方提供了一个使用本标准的指南，它说明在每一阶段应该做哪些工作项目。大型复杂系统的测试性工作流程见图 A.1。

表 A.1 测试性工作项目应用矩阵表

本标准 条款编号	工作项目编号	工作项目名称	立项 论证	工程 研制	鉴定 定型	生产与使用 保障
5.1	101	确定测试性要求	√	√	×	×
5.2	102	确定测试性工作项目要求	√	√	×	×
6.1	201	制定测试性计划	√	√	△	△
6.2	202	制定测试性工作计划	△	√	△	△
6.3	203	对承制方、转承制方的监督和控制	△	√	√	√
6.4	204	测试性评审	√	√	√	√
6.5	205	测试性数据收集、分析和管理的	×	√	√	√
6.6	206	测试性增长管理	×	√	√	√
7.1	301	测试性设计方案制定	△	√	×	×
7.2	302	测试性模型建立	△	√	△	△
7.3	303	测试性分配	×	√	×	×
7.4	304	测试性预计	△	√	√	△
7.5	305	测试性设计准则制定	△	√	△	×

表 A. 1(续)

本标准 条款编号	工作项目编号	工作项目名称	立项 论证	工程 研制	鉴定 定型	生产与使用 保障
7.6	306	诊断设计	×	√	△	△
7.7	307	测试性设计核查	×	√	√	×
8.1	401	测试性试验	×	√	√	×
8.2	402	测试性分析评价	×	√	√	×
8.3	403	测试性评估	×	△	√	√
9.1	501	使用期间测试性信息收集	×	×	×	√
9.2	502	使用期间测试性改进	×	×	×	√
注：符号说明 √——适用；△——有选择地应用；×——不适用。						



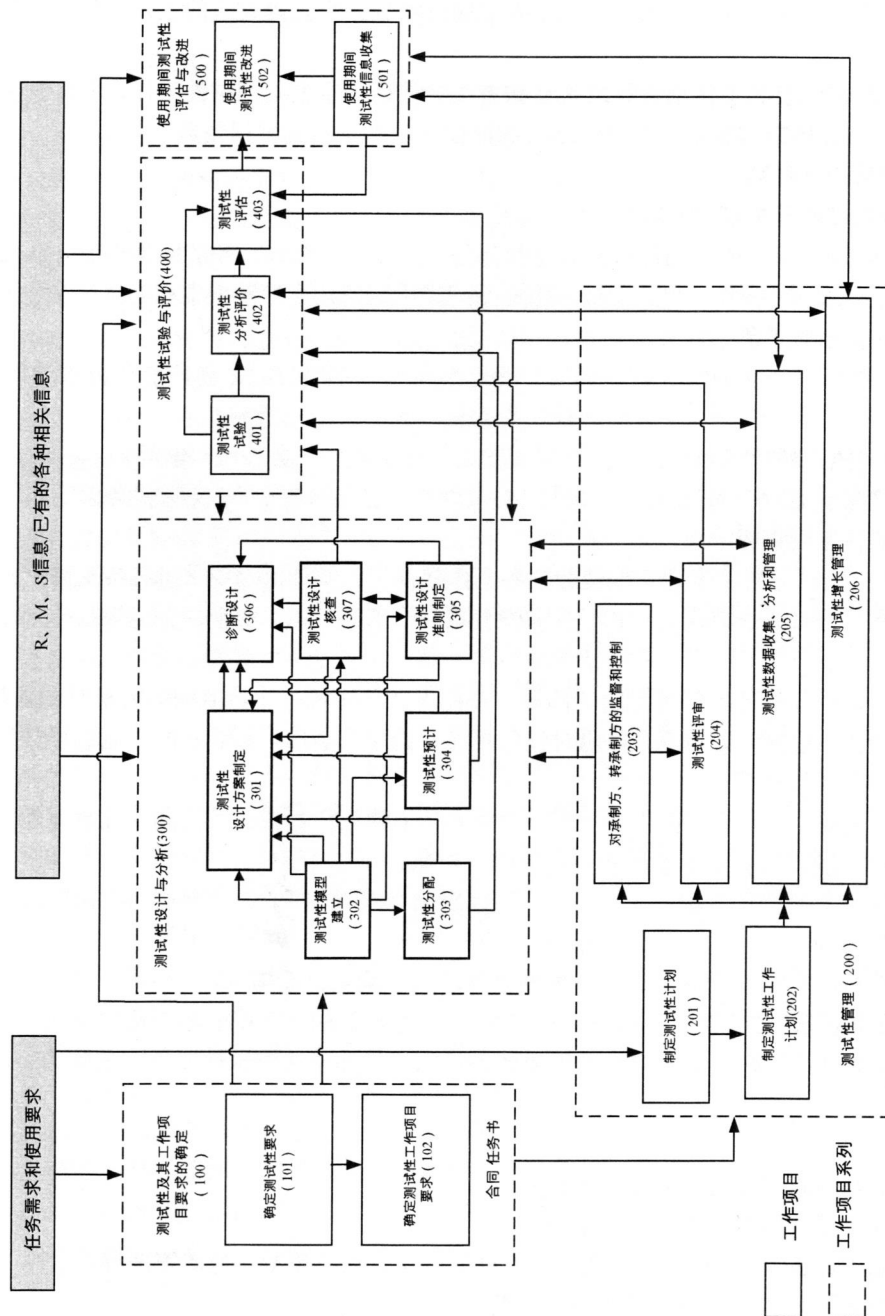


图 A.1 测试性工作项目关系示意图

A.4 测试性要求及其工作项目要求的确定

A.4.1 一般考虑

A.4.1.1 确定测试性要求的根本目的是为了获得易于测试/诊断的装备，以实现规定的战备完好性和任务成功性要求，并减少维修资源消耗，降低寿命周期费用。测试性要求包括定性和定量要求，应根据装备作战使命任务、作战使用要求，开展诊断需求分析，与装备诊断方案协调确定装备测试性要求。

A.4.1.2 确定测试性工作项目要求的目的是为了通过实施最少且最有效的工作项目，实现规定的测试性要求。

A.4.1.3 确定测试性及其工作项目要求是订购方主导的两项重要的测试性工作，是其他各项测试性工作的基础，其结果直接影响装备的测试性水平和测试性工作项目的费用效益。

A.4.2 工作项目 100 系列

A.4.2.1 确定测试性要求(工作项目 101)

A.4.2.1.1 工作项目 101 的目的是根据装备作战使用要求、安全性、经济性等约束，协调确定装备诊断方案和测试性要求。在装备研制立项综合论证期间提出装备初步诊断方案和测试性初步要求；在研制总要求论证期间提出装备测试性要求。

A.4.2.1.2 在装备研制立项综合论证期间，确定装备初步诊断方案之前应首先开展诊断需求分析工作，包括：

- a) 确定装备需要监测和诊断的功能(例如安全关键功能、任务关键功能等)；
- b) 根据这些功能对应的任务能力和性能要求确定装备的诊断需求，支持任务想定和装备设计并与装备的使用约束相一致。

A.4.2.1.3 诊断需求分析应考虑作战使命任务、作战使用、维修保障要求对装备测试的需求。诊断需求分析应在可靠性分析、故障模式分析、保障性分析、维修性分析、安全性分析等基础上进行，应重点考虑以下因素：

- a) 使用分析：分析装备任务要求、部署、使用方式及环境、质量监测等因素对装备测试的需求；
- b) 功能分析：根据装备特点，按照对任务可靠性的不同影响，对装备的功能进行分析，找出关键功能和非关键功能；
- c) 测试覆盖范围分析：根据使用分析、功能分析的结果和相似装备的测试性设计经验，确定测试覆盖的范围、需要重点监测和检测的测试对象；
- d) 维修保障对测试性的影响分析：从保障性要求、保障模式、维修级别、维修性指标、保障资源配备等方面，分析对测试性的要求；
- e) 安全分析：根据安全性要求，依据安全风险大小确定诊断需求。

A.4.2.1.4 在装备研制立项综合论证期间，订购方应根据装备的使用方案、初始保障方案和诊断需求，提出装备初步诊断方案。初步诊断方案是形成装备诊断方案和最终测试性要求的顶层约束，主要内容包括：

- a) 维修级别；
- b) 在规定维修级别的诊断对象、范围；
- c) 在规定维修级别的诊断要素和能力；
- d) 装备综合诊断架构(包括嵌入式测试、外部测试、状态监测、健康管理等要素)；
- e) 设备配套、技术资料及人员培训初步要求；
- f) 初步诊断能力分析；
- g) 关键技术及可行性分析。

A.4.2.1.5 在装备研制立项综合论证过程中，应从装备任务需求和使用要求、功能需求、可靠性要求、维修保障要求、实现技术约束等方面权衡分析对测试性要求的影响，结合初步诊断方案，确定测试性初步要求。权衡分析贯穿于装备测试性论证的各个环节，应考虑以下几方面：

- a) 装备任务的基本属性, 主要包括任务划分、任务重要度、任务执行时间等。对于不同的任务剖面, 诊断需求和测试性要求也不同。对于执行一般任务的装备, 要求能够检测和隔离关键的、故障率较高的故障; 而对于执行极其重要任务的装备, 要求能够快速准确地检测和隔离发生的故障, 避免故障发生造成的任务失败或其他危害; 因此, 任务重要度越高, 故障检测率和故障隔离率要求就越高。任务执行时间越长, 装备可靠性越低, 发生故障的概率就越大, 要求采取周期检测或实时监测, 并具有较高的故障检测率和隔离率, 从而有利于对故障采取屏蔽或维修措施, 确保任务的顺利完成; 对于任务执行时间极短的装备, 则应该要求任务执行前测试的故障检测率越高越好。
- b) 装备可用性、战备完好性和任务成功性。分析权衡其对测试性要求的影响。提高装备的可用性, 应尽可能减少非计划的故障维修时间、预防性维修时间、备件等待的后勤延误时间、维修等待时间、故障检测和隔离时间等不能工作时间。经统计分析, 除去装备自身质量问题, 目前影响装备完好性的主要原因是大修、定检、航材备件等因素。装备的高故障率要求较高的故障检测和隔离水平, 较高的故障隔离能力也可减轻航材备件压力; 另外, 较高的装备机内测试水平和状态监测能力, 实现故障预测与趋势分析, 可减少周期性和定期维修工作, 开展基于单机状态的视情维修是提升装备可用性、战备完好性的有效途径。通过改善系统的测试性和诊断能力, 可显著提高系统的任务成功性, 如采用 BIT 能够检测隐蔽故障, 实现余度功能管理, 帮助系统功能重构。任务成功率要求越高, 则故障检测率和隔离率要求就越高, 虚警率要求就越低。
- c) 装备的可靠性要求。分析权衡其对测试性要求的影响, 分析因素一般包括基本可靠性和任务可靠性。测试性设计增加了系统的复杂性, 自身发生故障会降低系统的基本可靠性, 因此, 一般要求测试系统的可靠度要比装备可靠度高一个数量级, 同时必须减小虚警率; 装备的任务可靠性强调装备自身可靠完成规定任务的能力, 要求装备具备故障修复、系统余度管理与重构能力、减少非任务工作时间, 要求装备提高故障检测率和隔离率, 缩短故障检测和维修时间, 具备实时监测、综合诊断等功能, 降低虚警。根据装备 FMECA 和 FHA 等分析结果, 权衡分析其对测试性要求的影响。装备 FMECA 和 FHA 的分析, 得到装备严酷度较高、危害度较大、故障影响较大、故障率较高的故障模式和关键功能, 一般要求采用 BIT 方式进行检测并具有较高的故障检测率和隔离率, 较小的故障检测和隔离时间。
- d) 装备维修保障要求。分析权衡其对测试性要求的影响, 分析因素一般包括维修级别、维修类型和维修保障资源等。维修保障能否快速、准确、有效的重要前提是能够及时、准确地检测和隔离故障。根据维修级别合理确定装备在不同维修级别下的测试范围及资源配置方式, 根据维修对象特点和修复性维修、预防性维修、预测性维修等不同维修类型, 确定故障检测隔离要求、状态监测要求、故障预测要求等。有限备件供应的约束下, 应尽量减少模糊维修、误拆卸等事件, 要求测试系统具有较高的故障检测率和故障隔离率, 将故障定位到单个可更换单元; 当维修保障人员水平较低时, 要求提高系统的智能检测和综合诊断能力。
- A. 4. 2. 1. 6** 在装备研制总要求论证期间, 承制方应对装备初步诊断方案深化论证, 提出备选诊断方案, 并进一步形成优选的装备诊断方案, 主要内容包括诊断对象、范围、功能、要求、方法、要素和维修级别及所需资源等。装备诊断方案优选应重点考虑以下方面:
- 应与装备测试性要求、维修体制、产品类型、技术特点、故障模式分析结果等进行协调权衡确定;
 - 应规划诊断的对象、范围、功能、方法;
 - 应权衡分析不同维修级别下的诊断要求, 权衡分析应选用的诊断要素及其诊断能力, 确定嵌入式诊断要求和外部诊断要求;
 - 应考虑系统结构、体积和重量约束等因素对诊断方案的影响;
 - 备选诊断方案的权衡可结合装备的使用与保障仿真工作开展。
- A. 4. 2. 1. 7** 订购方基于优选的诊断方案, 通过进一步的权衡分析, 提出与可靠性、维修性、安全性、寿命周期费用和保障系统及其资源等要求相协调的装备测试性要求, 并纳入新研或改型装备的研制总要

求, 装备测试性要求一般包括定性要求、定量要求和工作项目要求。测试性要求须在研制合同中明确。

A.4.2.1.8 装备测试性要求确定应遵循下述基本原则:

- 在确定测试性要求时, 应全面考虑任务需求、费用、进度、技术水平(技术成熟度、相似装备的测试性水平)等因素;
- 测试性要求的确定应根据装备的安全性、经济性、战备完好性、任务成功性等要求, 全面考虑装备的使命任务、类型特点、复杂程度及要求是否便于度量与验证等因素, 确定适当的测试性定性及定量要求;
- 测试性要求应与维修性、可靠性要求相协调, 在反映测试性目标的前提下, 表示定量要求的参数应尽可能少;
- 测试性定性及定量要求应根据产品类型、层次以及测试方法, 分别确定。使用方订购方可以单独提出装备的关键系统或设备的测试性要求;
- 可根据研制不同阶段提出测试性定量要求的门限值和成熟期目标值;
- 在确定测试性要求时, 应同时明确验证内容、时机、条件和方法。

A.4.2.1.9 在装备研制总要求论证过程中, 进一步对 A.4.2.1.8 中各因素对测试性要求的影响进行权衡分析, 主要包括以下方面:

- 进一步细化测试需求, 完善装备初步诊断方案, 进一步明确装备测试性功能需求。功能需求应满足任务要求, 分析完成任务所需的功能或功能组合, 根据功能需求提出监测或检测隔离要求, 功能的测试需求决定了测试性设计复杂程度, 进而影响装备可达的测试性指标。
- 结合测试性功能需求, 针对测试对象、测试地点、测试时机、测试方式、测试性设计约束等因素, 进一步完善装备诊断方案, 并对测试性要求进行权衡分析。
- 应结合测试性设计要素进行权衡分析, 重点考虑人工测试与自动测试的权衡、机内测试和外部测试的权衡、分布测试与集中测试的权衡。
- 权衡分析测试性要求应充分考虑相似装备测试性能力现状、使用测试技术的先进性、可行性、经济性和风险性, 并进行测试性要求内部之间的权衡和测试性与系统寿命周期费用的权衡。
- 将立项论证阶段的装备测试性初步要求(定量要求的目标值和门限值、定性要求)转换成研制总要求中的测试性定量要求的规定值和最低可接受值、定性要求。

A.4.2.1.10 测试性要求示例

A.4.2.1.10.1 定量和定性测试性要求

测试性要求包括定量和定性测试性要求, 测试性定性要求采用非定量的术语描述, 表 A.2 给出了测试性定性要求示例。测试性定量要求采用测试性参数的量值表示, 参见表 A.3。

表 A.2 测试性定性要求示例

序号	部分测试性定性要求	
1	划分	系统应以准确隔离故障的能力为基础进行划分
2	测试点	系统中每个测试单元都应该具备足够的测试点, 从而使故障检测和隔离达到较高的水平
3	能力	BITE 应能在机上将故障隔离到外场可更换单元(LRU)或外场可更换模块(LRM)
4	维修能力	BITE 的操作除在 BITE 控制板上显示的说明信息外, 应不需要说明书
5	安全性	测试过程中应防止对人员的伤害和对设备的损害
6	可用性	BITE 的故障不应使测试单元的性能降低; BITE 的故障不应妨碍装备的使用
7	BIT	BIT 应实时监测任务关键功能; 设置的 BIT 容差应使得故障检测和隔离具有最佳特性; 应为工作人员和维修人员设计利用率最佳的 BIT 指示器; 自测试应是 BITE 设计的一部分
8	嵌入式健康管理	应采用分层次推理的体系结构; 应能接受各系统 BITE 发出的故障和失效信息, 进行逻辑判断, 剔除无效故障信息, 有效降低虚警率, 提高故障隔离率

表 A.3 测试性定量要求示例

序号	测试性参数	测试性指标
1	严重故障检测率(设备自身)	$\geq 98\%$
2	故障检测率(设备自身)	$\geq 80\%$
3	故障检测率(含系统)	$\geq 90\%$
4	故障隔离率(电子设备, 隔离到 3 个外场可更换模块)	$\geq 98\%$
5	故障隔离率(非电子设备, 隔离到 1 个外场可更换组件)	$\geq 70\%$
6	故障隔离率(隔离到 1 个内场可更换单元, 自动测试设备测试)	$\geq 95\%$
7	平均虚警间隔时间	≥ 50 小时
8	不能复现率	$\leq 10\%$
9	重测合格率	外场指示故障, 在基地级的重测合格率 $\leq 10\%$
10	故障检测时间	≤ 1 分钟
11	航电系统平均虚警间隔时间	≥ 300 小时
12	对存储器容量的限制	数据记录架次 ≥ 6 个飞行架次
13	对诊断电路可靠性的要求	≥ 10000 小时
14	数据下载时间	$\leq 2\text{min}$

A.4.2.1.10.2 系统规范中的测试性要求

在工程研制方案设计期间, 通过测试性分配和权衡分析得到功能系统测试性要求, 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 A.4 给出了系统测试性要求项目示例。

表 A.4 系统测试性要求项目示例

顺序号	测试性要求
a	对状态监测的要求
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 监测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 A.4 中的部分要求项目进行说明：

- a) 明确监测对象和方法，定义任务系统与监测系统的接口。
- b) 提供测试性设计和评价的基础。定义故障模式时应考虑所采用的元器件技术、制造工艺及不利环境的影响。尽量使用故障模式及影响分析和故障树分析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测那些关键任务或影响人员安全的功能，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。此项要求决定诊断软件周期运行的频度。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、损耗因素、允许的最大故障检测时间及使用和维修方案。
- 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须配备的测试仪器，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的要求。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导出的。
- j) 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 + 检测时间)。
- k) BIT 的约束条件。应与 a) ~ i) 中规定的 BIT 性能相匹配，而不应随意确定。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%。
- l) 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。

A.4.2.1.10.3 产品规范中的测试性要求

表 A.5 提供了订购方规定的产品规范中测试性要求内容的示例。

表 A.5 订购方规定的产品测试性要求内容示例

订购方规定的产品测试性要求	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	使用产品中全部 BIT 资源的故障检测率和故障报告的要求
	d	使用 BIT 监测产品内部状态信号时，对故障检测率和故障报告的要求
	e	BIT 对关键信号监测的最大故障检测时间
	f	BIT 的最大虚警率。包括瞬态过程或间歇故障作为有效的 BIT 报警的准则
	g	使用产品中的 BIT 把故障隔离到一个或多个可更换单元的要求
	h	使用产品中 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

表 A. 5 (续)

被测单元的测试性要求	以下要求适用于订购方规定的产品中作为 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	使用中继级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通过/不通过测试时, 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 (CND) 和重测合格 (RTOK) 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 均应包含在订购方规定的产品规范中。

- a) 订购方规定的产品测试性要求: 将系统测试性要求利用工作项目 302 规定的程序和方法分配给订购方规定的每个产品, 即可得到每个产品的定量测试性要求。分配依据是产品的故障率、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。

- b) 每个 UUT 的测试性要求都应包含在订购方规定的产品规范中。

A. 4. 2. 2 确定测试性工作项目要求 (工作项目 102)

A. 4. 2. 2. 1 实施测试性工作的目的是为了实现规定的测试性要求。测试性工作项目的选取考虑要求的产品测试性要求、产品的复杂程度和关键性、产品的新技术含量、产品类型和特点及费用、所处阶段和研制进度以及现役相似装备的经验教训等因素。对一种具体的装备, 必须根据上述因素选择若干适用的测试性工作项目。订购方应提出工作项目要求, 并在合同中明确对每个工作项目要求的细节。

A. 4. 2. 2. 2 测试性工作项目的选择应遵循以下原则:

- a) 工作项目的选择应以确保达到测试性定量与定性要求为主要目标。要从实现测试性定量和定性要求出发, 从本标准选择若干必要的工作项目, 同时还应鼓励承制方提出补充的工作项目、备选的工作项目和对工作项目进行改进。
- b) 费用效益是选择工作项目的基本依据。由于进度和资金限制, 应该选择经济而有效的工作项目。选择工作项目时, 应考虑装备的测试性要求、产品的类型和特点、产品的复杂程度和重要性、产品的新技术含量、相关时间和费用成本、进度及所处的研制阶段等因素。一般情况下, 均应制定测试性计划和测试性工作项目计划 (工作项目 201 和 202), 规划相应的工作项目, 但在充分考虑装备的重要性的工程项目的复杂程度后, 也可引用单个的工作项目。
- c) 测试性工作项目应与其他专业工程 (如可靠性、维修性、安全性、综合保障等) 相协调, 避免重复, 测试性建模和分析尤其需要与维修性分析相协调, 减少重复的工作。
- d) 应明确对测试性工作项目的具体要求和注意事项, 以确保工作项目的实施效果。
- e) 测试性要求的确定、工作项目的选择和剪裁、说明细节的补充、设计评审项目要求的制定等工作之间需要协调。选择工作项目过多、要求提供过于详细的资料、对承制方的工作控制过度、对测试性工作及其结果进行过多的评审, 都会给承制方增加不必要的负担, 其结果是增加合同费用、延迟工作进度。
- f) 根据新研装备型号的需要, 经订购方批准, 承制方可以增加新的工作项目。

注: 本附录提出的原则为工作项目的选择提供一般的指导和说明。至于各工作项目的进行时机、所要求深度以及根据工作项目结果所要采取的措施, 在很大程度上取决于实践经验和具体装备的要求。

A.4.2.2.3 为了选择适用的工作项目，应对工作项目的适用性进行分析，可采用如表 A.6 所示的“工作项目重要性系数分析矩阵”的方法，得出各工作项目的重要性系数，重要性系数相对高的工作项目就是可选择的适用的项目。

表 A.6 工作项目重要性系数分析矩阵

工作项目	加权系数(1~5)							乘积 ^a	重要性系数 ^b
	复杂程度	关键性	产品类型及特点	新技术含量	使用环境	所处阶段	-----		
101									
102									
.....									
^a 乘积=各因素加权系数的连乘。 ^b 重要性系数：假设乘积值最大的工作项目重要性系数为 10， 其他工作项目的重要性系数=$\frac{\text{该工作项目的加权系数乘积}}{\text{最大乘积}} \times 10$。									

表 A.6 中需要考虑的因素可根据具体情况确定，如产品的复杂程度、关键性、新技术含量、费用、进度等。每一因素的加权系数通过打分确定(取值为 1~5)。确定了考虑因素并选取了加权值后，将每一个工作项目的加权值连乘，然后按表中的方法计算每一工作项目的重要性系数。

考虑的因素和加权系数的取值，与参与打分的专家水平和经验有关。虽然，得到的重要性系数带有一定的主观性，但表示了一种相对的、且经过权衡的结果。利用表 A.6 得到的工作项目重要性系数为订购方提出工作项目要求提供参考。

A.5 测试性管理

A.5.1 一般考虑

A.5.1.1 测试性管理是从系统的观点出发，对装备寿命周期中各项测试性活动进行规划、组织、协调与监督，全面贯彻落实测试性计划和测试性工作计划，实现既定的测试性目标。

A.5.1.2 订购方应在立项论证阶段制定测试性计划，对装备寿命周期，尤其是研制阶段和早期使用阶段的测试性工作做出全面安排，规定各阶段应做的工作，明确工作要求。对承制方工作的要求应纳入合同。

A.5.1.3 承制方根据合同和测试性计划制定详细的测试性工作计划，作为开展测试性工作的依据。

A.5.1.4 成立专门的测试性管理组织机构，确定组织机构及其职责，是落实各项测试性工作，实施有效测试性管理的重要环节。

A.5.1.5 对测试性工作进行监督与控制，实施测试性评审，测试性数据收集、分析和管理等是实现有效管理，确保实现规定测试性要求的重要手段。

A.5.2 工作项目 200 系列

A.5.2.1 制定测试性计划(工作项目 201)

A.5.2.1.1 测试性计划是订购方进行测试性工作的基本文件，也是承制方制定测试性工作计划的重要依据。该计划应包括测试性要求论证、测试性工作项目要求论证、测试性信息收集、对承制方的监督与控制、测试性试验与评价、改进等一系列工作的安排与要求。订购方须在立项论证阶段制定测试性计划，通过该计划的实施来组织、指挥、协调、控制与监督装备寿命周期中全部测试性工作。随着测试性工作的开展，应不断补充、完善测试性计划。

A.5.2.1.2 在测试性计划中，应明确订购方完成的工作项目及其要求、主要工作内容、进度安排以及实施单位等。要求承制方开展的工作，应纳入合同文件。

A. 5.2.1.3 测试性计划的作用是：

- a) 对测试性工作提出总要求、做出总体安排；
- b) 对订购方应完成的工作做出安排；
- c) 明确对承制方测试性工作的要求；
- d) 协调测试性工作中订购方和承制方以及订购方内部的关系。

A. 5.2.2 制定测试性工作计划(工作项目 202)

制定测试性工作计划的主要目的是，以最小的维修保障和使用寿命费用代价，合理的确定和安排测试性工作项目，以确保装备满足合同规定的测试性要求。

A. 5.2.2.1 测试性工作计划是承制方开展测试性工作的基本文件。承制方将按该计划来组织、指挥、协调、检查和控制全部测试性工作，以实现合同中规定的测试性要求。

A. 5.2.2.2 测试性工作计划需明确为实现测试性目标应完成的工作项目(做什么)，每项工作进度安排(何时做)，哪个单位或部门来完成(谁去做)，实施的方法与要求(如何做)以及如何利用工作项目输出的结果。

A. 5.2.2.3 测试性工作计划可以是独立的文件，也可以作为系统工程计划的一部分。测试性工作计划应与可靠性工作计划、维修性工作计划和保障性工作计划相协调。

A. 5.2.2.4 制定测试性工作计划时，应允许承制方合理地裁减本标准规定的各项工作。测试性工作计划是一个动态文件，可根据工程项目进度更改、测试结果或测试性工作项目的输出对测试性工作计划进行修改。测试性计划的修改必须经过订购方批准。

A. 5.2.2.5 为制定有效的测试性工作计划，测试性工程师应与其他所有系统专业(包括 BIT 软件设计)密切协作，在设计初期充分考虑系统设计要素(含测试性设计)的影响，以满足装备保障要求。因此，测试性工程师应积极与系统专业设计人员协作，以权衡装备性能、费用和保障性因素。

A. 5.2.2.6 测试性计划的作用是：

- a) 有利于从组织、人员与经费等资源，以及进度安排等方面保证测试性要求的落实和管理；
- b) 反映承制方对测试性要求的保证能力和对测试性工作的重视程度；
- c) 便于评价承制方实施和控制测试性工作的组织、资源分配、进度安排和程序是否合适。

A. 5.2.2.7 测试性工作计划应与可靠性工程、维修性工程和综合保障等领域的有关工作相互协调，避免重复。

A. 5.2.2.8 测试性工作计划必须纳入装备研制计划，其安排与研制阶段决策点相一致并按时完成。

A. 5.2.3 对承制方、转承制方和供应方的监督与控制(工作项目 203)

A. 5.2.3.1 对承制方或转承制方的测试性工作实施监督与控制是订购方重要的管理工作。在装备的研制与生产过程中，订购方应通过评审等手段监测承制方或转承制方测试性工作计划进展情况和各项测试性工作项目的实施效果，以便尽早发现问题并采取必要的措施。

A. 5.2.3.2 承制方为保证订购的配套产品达到测试性要求，必须采取下列监测措施：

- a) 选定转承制方时，应选择那些已被证实能够研制、生产满足测试性要求的产品的厂家；
- b) 将测试性要求分配至转承制方的产品，并纳入技术协议和研制合同，并在合同中规定测试性指标的试验验证要求；
- c) 与转承制方建立密切的联系，及时解决设计中的接口和相互关系问题；
- d) 进行必要的检查和评审，保证每个转承制单位正确有效地进行测试性工作。

A. 5.2.3.3 为保证转承制产品和供应品的测试性符合规定的要求，承制方在签订转承制和供应合同时应根据产品测试性定量、定性要求的高低、产品的复杂程度等提出对转承制方和供应方监测的措施。

A. 5.2.3.4 承制方在拟定对转承制方的监测要求时应考虑对转承制方研制过程的持续跟踪和监督，以便在需要时及时采取适当的控制措施。在合同中应有承制方参与转承制方重要活动(如设计评审、测试性试验等)的条款，参与这些活动能为承制方提供重要信息，为采取必要的监测措施提供决策依据。

A. 5.2.3.5 将测试性问题纳入可靠性 FRACAS 统一管理, 在转承制合同中提出有关转承制方参加承制方 FRACAS 的条款是承制方保持对转承制产品研制过程监测的重要手段。承制方及时了解转承制产品研制及生产过程出现测试性重大问题的原因分析是否准确、纠正措施是否有效, 并在必要时采取适当措施。

A. 5.2.3.6 订购方对转承制产品和供应品的直接监测要求应在相关的合同中明确, 例如订购方要参加的转承制产品的评审等。

A. 5.2.3.7 承制方应对转承制方的测试性工作计划进行评审, 并监督其执行, 其工作模式与订购方对承制方的测试性工作评审和监督类似。

A. 5.2.4 测试性评审(工作项目 204)

A. 5.2.4.1 测试性评审是对测试性工作监督和控制的有效方法, 在研制过程中应作为产品设计评审的一个组成部分, 并在合同或技术协议合同或技术协议中规定, 保证评审的人员和经费落实。

A. 5.2.4.2 测试性评审主要包括订购方内部的测试性评审和按合同要求对承制方、转承制方进行的测试性评审, 另外还应包括承制方和转承制方进行的内部测试性评审。

A. 5.2.4.3 测试性定量、定性要求和测试性工作项目要求是订购方内部测试性评审的重要内容。测试性定量、定性要求评审应与相关特性的要求评审结合进行, 并尽可能与系统要求审查(见 GJB 3273)结合进行。评审可采用专家评审的方式进行。

A. 5.2.4.4 承制方应对合同要求的正式测试性评审和内部进行的测试性评审做出安排, 制定详细的评审计划。计划应包括评审点的设置、评审内容、评审类型、评审方式及评审要求等。该计划应经订购方认可。

A. 5.2.4.5 测试性评审的主要内容包括:

A. 5.2.4.5.1 论证立项阶段

- a) 装备初步测试性要求确定的依据;
- b) 初步诊断方案与初步测试性要求的协调性;
- c) 装备测试性初步要求的科学性和合理性;
- d) 装备诊断方案、测试性及其工作项目要求的科学性和合理性;
- e) 测试性要求验证考核方案的规划。

A. 5.2.4.5.2 工程研制阶段

- a) 是否按照测试性工作项目要求制定并落实测试性工作计划;
- b) 测试性组织机构的落实情况;
- c) 测试性工作计划实施的情况;
- d) 测试性设计方案的正确性和合理性;
- e) 测试性建模、分配、预计等的正确性和合理性;
- f) 测试性设计准则和加权因子的选取原则的正确性和合理性;
- g) 测试性设计准则符合的程度;
- h) 测试性详细设计输出文件;
- i) 测试性设计核查大纲与报告;
- j) 测试性研制试验大纲、程序与报告;
- k) 测试性研制试验中发现的问题及其解决的情况。

A. 5.2.4.5.3 鉴定定型阶段

- a) 测试性鉴定试验大纲、程序与报告;
- b) 测试性分析评价大纲与报告;
- c) 测试性评估大纲与报告;
- d) 测试性鉴定定型阶段发现的问题及其解决的情况。

A.5.2.4.6 测试性设计评审的目的是保证所选定的设计和试验方案、实施进度等合理可行，以确保产品满足规定的测试性要求。订购方和承制方都应把测试性设计评审作为阶段决策的重要依据。

A.5.2.4.7 应尽早做出测试性评审的日程安排并提前通知参加评审的各方代表，提供评审材料，以保证所有的评审组成员能有准备地参加会议。在会议前除看到评审材料外，还能查阅有关的设计资料，以提高评审的有效性。

A.5.2.4.8 所有测试性评审均应将评审的结果形成文件，以备查阅。

A.5.2.5 测试性数据收集、分析和管理(工作项目 205)

A.5.2.5.1 实施测试性数据收集、分析和管理根本目的是为进行测试性设计分析、评价、改进提供依据。

A.5.2.5.2 应在整个研制周期中收集测试性数据。有关数据可通过以下工作或其结果中获得：

- a) 测试性设计和分析；
- b) 功能性能试验；
- c) 测试性试验；
- d) 样机研制；
- e) 部队试验与试用。

A.5.2.5.3 测试性数据的用途是：

- a) 提供维修与保障信息；
- b) 发现产品的测试性缺陷，如 BIT 虚警问题、故障隔离能力差等，并为拟定纠正措施提供依据；
- c) 确定是否符合规定的测试性要求；
- d) 检验测试性分配、预计及验证所采用的方法是否正确。

A.5.2.5.4 在装备研制阶段，应尽早制定测试性数据收集、分析和管理计划，开展测试性数据收集、分析和管理的工作，采集测试性数据，对装备测试性进行跟踪和评价，为进行测试性设计分析、评价、改进，优化测试性工作计划等提供依据。

A.5.2.5.5 在生产与使用阶段应制定测试性数据收集和分析计划。计划中应明确各种技术文件(如生产验收试验报告、试飞试验与评估报告、部队试验与评估报告等)中，测试性数据的形式和内容。

A.5.2.5.6 优化产品测试性设计，如优化确定 BIT 的测试参数、测试门限，以提高产品的测试性水平需要一个确定问题和不断采取纠正措施的过程，对于发生的故障，应运用一定测试手段进行检测，并将测试数据进行记录分析，以评估测试性设计的有效性。

A.5.2.5.7 应针对嵌入式诊断建立闭环的数据采集系统，跟踪系统故障现象、实际故障原因、基层纠正措施、高级别维修措施以及修理后重新投入使用的产品的性能，以分析获得相关信息优化设计。该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。针对数据追踪后实际故障情况，对嵌入式诊断的影响进行分析，分析要点见表 A.7。

表 A.7 嵌入式诊断影响分析要点

故障类型	故障	虚警
分析要点	a) 嵌入式诊断是否检测到该故障？ b) 嵌入式诊断是否向操作人员正确地指出了工作状态？ c) 嵌入式诊断是否为修复性措施提供了有效的故障隔离信息？ d) 嵌入式诊断故障隔离的模糊度是多少？ e) 嵌入式诊断是否给出了该故障的特征和原因？ f) 嵌入式诊断故障隔离时间是多少？ g) 若 UUT 与 ATE 之间(机械或电气)接口有缺陷，是否需要补充检查？ h) ATE 提供的故障检测结果与嵌入式诊断的检测结果是否一致？ i) UUT 与 ATE 的接口是否存在电气特性、时间特性、通信协议或信息定义上的不一致，致使测试结果不真？	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) 报警时与之相关的其他状态、功能、性能参数； e) 忽视报警的潜在后果是什么？(影响人员安全、不可靠发射武器等) f) 与虚警有关的损失是什么？(任务失败、降级工作、系统停机时间) g) 与虚警有关的维修费用是多少？ h) 哪些附加数据可以用来表示不能复现事件的特征？

A.5.2.5.8 应对装备使用过程中产生的测试性数据进行采集，并与产品 FRACAS 系统关联，分析故障原因，为产品改进提供依据。采集的测试性数据主要包括以下要素：

- a) 故障现象：应具体描述发生故障诊断事件时的故障现象；
- b) 检测时机：应确定故障检测的时机，如运行中，维护工作时等；
- c) 检测结果：应确定故障是否检测成功，如检测成功，用何种方式，如加电 BIT、维修 BIT、周期 BIT、自动测试设备和人工检测等；
- d) 检测指示：如故障检测成功，应详细记录检测指示结果；
- e) 隔离结果：确定故障发生时的隔离模糊组；
- f) 隔离指示：记录进行故障隔离的指示结果；
- g) 虚警：确定故障诊断事件是否为虚警。

A.5.2.5.9 对采集的测试性数据进行汇总分析，并在需要时，由承制方或订购方提出纠正措施。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。

A.5.2.5.10 测试性数据应作为装备质量信息的重要内容，并按 GJB 1686 的规定实施统一管理。

A.5.2.6 测试性增长管理(工作项目 206)

A.5.2.6.1 测试性增长管理宜利用产品研制过程中测试性预计、测试性设计核查、测试性试验(包括测试性研制试验及测试性鉴定试验与评估)、测试性分析评价、作战试验期间的测试性评估、在役考核期间的测试性评估、使用期间发现的测试性问题等各项信息，把测试性试验与有关试验中的测试性评估均纳入测试性增长为目的的综合管理之下，促使产品经济且有效地达到预期的测试性目标。

A.5.2.6.2 拟定测试性增长目标和增长计划是测试性增长管理的基本内容。测试性增长目标和计划应根据产品测试性要求、工程需要与现实可能性，经过对产品测试性预计值与同类产品测试性状况分析比较，以及在产品计划进行的测试性试验与分析后加以确定。

A.5.2.6.3 对测试性增长过程进行跟踪与控制是保证产品测试性得以持续改进和增长的重要手段。为了对增长过程实现有效控制，必须强调及时掌握产品的测试性信息，严格实施测试性数据收集、分析、处理，对改进纠正措施进行跟踪分析与试验确认，确保测试性缺陷原因分析准确、纠正措施有效。

A.5.2.6.4 应明确测试性增长管理的负责单位，对测试性增长过程进行跟踪与控制，以保证有效地实现测试性增长。

A.6 测试性设计与分析

A.6.1 一般考虑

A.6.1.1 测试性设计与分析的目的是将测试性设计与分析技术应用到装备及其下属各层次产品的研制过程，以满足规定的测试性要求。

A.6.1.2 早期的设计决策对装备的效能和寿命周期费用产生重要影响，因此，应尽可能早地在装备研制中开展测试性设计与分析工作，有效地影响装备的设计，提高装备的测试性水平。

A.6.1.3 每个产品都有其特定的测试性设计与分析要求，应通过剪裁测试性工作项目来适应这些要求。

A.6.1.4 在现代复杂装备的测试性设计与分析中，根据实际需要可适当选用现有商用成熟软件开展测试性设计与分析，以提高测试性设计与分析的工作效率和准确性。

A.6.2 工作项目 300 系列

A.6.2.1 测试性设计方案制定(工作项目 301)

A.6.2.1.1 测试性设计方案制定工作项目适用于工程研制方案设计期间，主要是通过开展测试性要求分析，明确装备及其下属各层次产品的测试性设计要求，在此基础上开展测试性初步设计，形成满足设计要求的、最佳的测试性设计方案，指导和约束装备及其下属各层次产品的测试性设计与分析。

A.6.2.1.2 测试性要求分析

A.6.2.1.2.1 测试性要求分析是对装备订购方或上一层次产品承制方提出的测试性要求进行综合分析,将其转化为具体的、明确的测试性设计要求。测试性要求分析是开展测试性初步设计,确定最佳测试性设计方案的基础和首要环节。

A.6.2.1.2.2 装备承制方应根据装备初步技术方案、相似装备测试性信息及安全性、可靠性、维修性等分析结果,综合考虑装备状态监测、故障诊断、故障预测、健康评估、功能测试及性能测试等需求,将订购方提出的测试性要求转化为装备的嵌入式诊断、外部测试、人工测试等测试性设计要求。

A.6.2.1.2.3 装备下属各层次产品承制方应根据本层次产品初步技术方案、相似产品测试性信息及安全性、可靠性、维修性等分析结果,综合考虑本层次产品状态监测、故障诊断、故障预测、健康评估、功能测试及性能测试等需求,将上一层次产品承制方提出的测试性要求转化为本层次产品的嵌入式诊断、外部测试、人工测试等测试性设计要求。

A.6.2.1.2.4 测试性设计要求通常应涵盖嵌入式诊断、外部测试和人工测试等方面的设计要求,也可根据装备的实际情况来确定测试性设计要求的内容。对于新研装备,应更关注嵌入式诊断方面的设计要求;而对于改进型装备,如果原有装备嵌入式诊断能力不足,且受研制进度、经费、重量、可靠性等因素制约难以进行设计改进,可以考虑增加外部测试或人工测试等方面的设计要求。

A.6.2.1.2.5 测试性设计要求应包括定量设计要求和定性设计要求。定量设计要求应可度量、可追溯和可验证,定性设计要求应可评价和可检查。

A.6.2.1.2.6 测试性要求分析通过一种自上而下、不断深入、反复迭代、逐步转换及细化的过程来实现。测试性要求分析应在工程研制方案设计期间开始时进行,并随着订购方或上一层次产品承制方的要求及技术方案的更改而迭代变更。

A.6.2.1.2.7 承制方应及时向装备订购方或上一层次产品承制方反馈测试性要求分析结果,确保测试性设计要求充分体现装备订购方或上一层次产品承制方需求。

A.6.2.1.2.8 嵌入式诊断设计要求包括机内测试(BIT)设计要求和状态监测设计要求等。目前,随着电子技术和计算机技术的发展,机内测试已成为嵌入式诊断的重点和主要形式。

A.6.2.1.2.9 机内测试设计要求主要包含测试项目、类型、数据传输方式、接口形式、存储方式、显示方式及测试精度等要求。其分析要点如下:

a) 机内测试项目要求分析要点包括:

- 1) 收集相关信息:被测对象(系统、分系统或模块)的技术指标、功能框图、FMCEA 报告、校准需求、安全性要求等;
- 2) 确定机内测试的技术指标:分析被测对象机内测试的必要性和可能性,并综合考虑测试项目对故障诊断、故障预测和健康评估的重要性、测试复杂度和测试成本等因素后确定机内测试的技术指标;
- 3) 确定为满足系统安全运行需求设置的测试项目:分析被测对象的安全性要求,确定用于监测系统运行安全的测试项目;
- 4) 确定为满足故障检测和故障隔离要求设置的测试项目:分析 FMCEA 报告中每个故障模式的检测和隔离要求,结合被测对象的功能框图,确定用于检测和隔离的测试项目;
- 5) 汇总以上测试项目,形成机内测试项目汇总表。

b) 机内测试类型需求分析的目的是确定每个测试项目采用何种类型机内测试(加电 BIT、周期 BIT 和维修 BIT)进行测试。其要求分析要点包括:

- 1) 确定加电 BIT(POBIT)测试项目:用于供电、系统安全、冷却、计算机启动、通信接口、关键参数等状态检测的测试项目应确定为加电 BIT 测试项目。在确定加电 BIT 测试项目时,需要考虑到系统启动时间的限制。

- 2) 确定周期 BIT (PBIT) 项目: 用于供电、系统安全、冷却、计算机运行、通信、关键参数等状态检测的测试项目应确定为周期 BIT 测试项目。周期 BIT 测试项目不能影响系统的正常运行。
- 3) 确定维修 BIT (MBIT) 项目: 用于系统校准的测试项目、需要注入专用测试信号并中断系统正常工作的测试项目以及用于供电、系统安全、冷却、计算机运行、通信、关键参数等状态检测的测试项目应确定为维修 BIT 项目。
- c) 机内测试项目的测试精度需求分析目的是针对定量测试项目确定允许的测试误差。故障诊断、故障预测和健康评估等功能都受到机内测试的测试精度制约。提高测试精度可以提高故障检测率、故障预测精度和健康评估的准确性。但是, 提高测试精度通常会导致测试成本增加。因此, 在确定机内测试的测试精度时, 需要综合平衡测试精度和测试成本。机内测试项目的测试精度要求分析要点包括:
 - 1) 确定有测试精度要求的测试项目: 在测试项目汇总表中, 选择需要定量测试的测试项目, 只对有定量测试需求的项目提出测量误差要求;
 - 2) 分析故障诊断需求, 确定用于故障诊断的测试项目测试精度要求;
 - 3) 分析故障预测需求, 确定用于故障预测的测试项目测试精度要求;
 - 4) 分析健康评估需求, 确定用于健康评估的测试项目测试精度要求;
 - 5) 分析系统校准需求, 确定用于系统校准的测试项目测试精度要求。
- d) 机内测试信息接口包括分系统 BITE 和嵌入式健康管理系统之间的信息接口、LRU/LRM BITE 和分系统 BITE 信息处理单元之间的信息接口。机内测试信息接口既可以是独立的报文, 也可以是与其他信息混合的报文。机内测试信息接口要求分析要点包括:
 - 1) 确定机内测试信息内容: 根据分系统或模块的测试项目、机内测试类型和机内测试处理结果, 确定每个机内测试信息接口要传输的信息;
 - 2) 确定机内测试信息报文长度: 根据机内测试项目的测试数据大小确定报文所需要的字节长度;
 - 3) 确定机内测试接口数据率: 根据机内测试的刷新周期和测试数据大小确定机内测试接口数据率;
 - 4) 确定机内测试信息的通信总线类型: 根据机内测试接口数据率和系统对通信总线使用的统一要求, 选择机内测试信息的通信总线类型。
- e) 机内测试信息包括原始测试数据、故障诊断结果等。机内测试信息通常以表格或图形化方式显示。机内测试信息的存储、显示要求分析要点包括:
 - 1) 确定需要实时显示的信息: 影响系统运行安全的状态参数、关键性能指标参数等机内测试信息需要实时显示, 其他信息可以通过查询显示, 即在需要观测的时候才显示;
 - 2) 确定故障诊断结果的显示方式: 诊断结论一般采用分层图形化显示, 需要根据产品的使用环境和用户需求, 确定每个层级的显示内容。

A. 6. 2. 1. 2. 10 状态监测设计要求分析与机内测试设计要求分析基本类似。除了监测对象、参数类型、接口形式、存储方式及显示方式等方面, 状态监测还应重点关注监测事件和环境等方面的要求。

A. 6. 2. 1. 2. 11 外部测试设计要求分析

外部测试用于解决机内测试未覆盖或测试精度不够的问题。外部测试接口用于在外部测试设备和被测对象之间建立测试连接。外部测试接口用于注入和采集测试信号。外部测试接口可以专用, 也可以与其他接口共用。分析要点如下:

- a) 确定需要外部测试的测试项目、测试精度要求;
- b) 确定系统测试接口: 系统测试接口包括系统输入校准信号接口、系统指标测试输入接口、系统指标测试输出接口等;

- c) 确定分系统测试接口：分系统测试接口包括分系统指标测试输入接口、分系统指标测试输出接口等。

A. 6. 2. 1. 2. 12 承制方应通过权衡分析来保证测试性设计要求与其他要求的相互协调，包括测试性设计要求与产品功能、性能、费用及进度要求之间的协调，以及测试性设计要求与安全性、可靠性、维修性、保障性和环境适应性等要求之间的协调。

A. 6. 2. 1. 2. 13 测试性设计要求分析的结果应形成文件，并与其他通用质量特性设计要求一起进行评审。

A. 6. 2. 1. 3 测试性初步设计

A. 6. 2. 1. 3. 1 以测试性设计要求为约束，开展测试性初步设计，包括“易测试”能力设计、诊断设计权衡、测试点布局、嵌入式诊断总体设计（机内测试总体设计、状态监测总体设计、嵌入式健康管理系统总体设计等）、外部测试和人工测试资源规划与设计等工作，最终形成满足设计要求的测试性设计方案。

A. 6. 2. 1. 3. 2 “易测试”能力设计

产品的结构设计应考虑以下内容，以便提供更好的测试特性：

- a) 产品在结构与功能等方面的合理划分，主要包括：
 - 1) 结构划分，产品结构划分应有利于故障隔离，在不影响功能划分基础上，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；
 - 2) 功能划分，当采用一个可更换单元实现多个功能时，应保证能对每个功能进行单独测试；
 - 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。
- b) 初始化，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。
- c) 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。
- d) 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（BITE 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。
- e) 测试观测（观测性），提供测试点、数据通路和电路，使测试系统（BITE 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。对高密度电路尤其是采用球栅阵列（BGA）封装器件的电路板，鼓励采用边界扫描技术，以提高测试覆盖率及故障定位的准确性。
- f) 元器件选择，在选择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。

A. 6. 2. 1. 3. 3 诊断设计的权衡

按照综合诊断思想，综合的诊断设计通常是把嵌入式诊断（包括系统级 BIT 和单元级 BIT 等）、外部测试（如 ATE、ETE 等）和人工测试等有机结合在一起，以提供符合装备可用性要求和寿命周期费用要求的诊断能力。当有两种以上测试方法可以选用时，通过权衡分析来选用简单的、费用最少的测试方法。分析系统的设计以保证其所有功能都能进行规定程度的诊断测试，确保诊断测试功能与系统级的其他诊断资源（如维修辅助手段、技术手册等）进行了有效的综合。

- a) 系统级 BIT 与单元级 BIT 的权衡。系统的测试能力不等于组成单元测试能力的简单求和，而要考虑更多因素。一方面，它不仅要考虑各组成单元故障，还要考虑系统集成故障（如单元接口、连接器、线缆处的短路、开路、接触不良等故障，以及单元间信号串扰、不匹配等故障）；另一方面，它不仅要考虑单元级测试（由单元独立实施，所测参数通常只反映本单元性能状态的测试）能力，还要考虑系统集成测试（由系统对单元的测试或者单元间的互测）能力，并从备选测试中做出综合权衡。

- b) 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。BIT 用于对系统或设备进行在线的故障检测和隔离。BIT 的优点是能在任务环境中独立工作。ATE 用于对 UUT 进行脱机故障检测，并将故障隔离到 UUT 内部的 SRU 或元器件。与 BIT 相比，ATE 的优点是不增加任务系统的重量、体积和功率，也不会影响系统的可靠性。
- c) 人工测试与外部自动测试的权衡，采用人工测试还是 ATE 对系统进行检测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。

A. 6. 2. 1. 3. 4 测试点布局

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连接器，便于独立测试。

A. 6. 2. 1. 3. 5 机内测试(BIT)总体设计

BIT 总体设计的重点是根据 BIT 设计要求，确定 BIT 配置(即哪些系统、设备、LRU 或 LRM 设置 BIT)，BIT 架构，BIT 软件运行环境、系统级 BIT 和分系统 BIT 之间的通信接口以及系统级 BIT 的测试功能等。其中 BIT 架构设计是最重要的内容之一，必要时需要通过权衡分析来确定。

常用的 BIT 架构主要有分布式、集中式以及分布-集中式三种形式。

- a) 分布式 BIT 架构。分布式 BIT，也称为联邦式 BIT，主要是在系统每个功能层次上配置相应的 BIT 处理器来完成信号采集和处理任务，不同功能单元之间的故障诊断任务是独立的。分布式 BIT 架构中，产品各组成单元设计有 BIT，具有独立数据处理能力及故障隔离功能，并根据各个单元 BIT 测试结果，利用归纳法来判断系统是否正常。采用分布式 BIT 架构，各分系统或单元 BIT 可脱机运行，且与分系统或单元功能保持某种形式的同步，有利于减少隔离的模糊度和隔离错误，但是资源浪费严重。
- b) 集中式 BIT 架构。集中式 BIT，也称为平权式 BIT，它仅有一个中央处理单元，所有诊断测试功能都包含在一个处理模块中，通过该模块对装备其他模块进行访问，然后对检测信号和(或)激励响应信号集中在一起进行分析评价。在采用集中式 BIT 时，系统中只有一个处理器，那么所有的分系统或单元的测试数据都需要通过该处理器进行分析处理，负责所有分系统或单元的故障检测和隔离。集中式 BIT 能较好地系统在运行时进行交叉测试，且占用硬件资源少，但是各分系统没有单独的诊断测试功能。
- c) 分布-集中式 BIT 架构。分布-集中式 BIT，也称为采邑式或分层集中式 BIT，是分布式与集中式的综合，在分布-集中式 BIT 架构中，产品各单元的 BIT 配合系统 BIT 或中央处理器联合，共同完成测试。在分布-集中式 BIT 架构中，每个分系统或单元具有各自 BIT，通过专用的测试总线进行各单元 BIT 之间的信息传输，或实现各单元 BIT 与系统中央处理器之间的信息传输，并由中央处理器对信息进行综合处理。分布-集中式 BIT 架构融合了分布式 BIT 与集中式 BIT 的优点，得到了广泛应用。

此外，在确定 BIT 架构时，可以参考以下设计原则：

- a) 电子系统应采用分布式或者分布-集中式 BIT, 并优先考虑采用分布-集中式 BIT;
- b) 非电系统应采用集中式或者分布中式 BIT, 并优先考虑采用分布-集中式 BIT;
- c) BIT 测试层次多于两层时, 各相邻层次可以采用分布式、集中式和分布-集中式 BIT 的各种复合形式;
- d) 分布式 BIT 应提供简单的 BIT 汇总设计;
- e) 分布-集中式 BIT 应优先采用专用总线进行 BIT 通信;
- f) BIT 可以共用产品的功能通路或者设置专用装置, 构成 BITE; 各 BITE 联合可以构成 BIT 系统。

A. 6. 2. 1. 3. 6 状态监测总体设计

状态监测主要针对非电子系统(设备、装置)、发动机和关键结构。开展状态监测总体设计时, 应根据测试性要求分析确定的需要进行监测性能、功能或特性参数, 考虑相应的传感器和相关信息处理软件, 以便进行实时状态监测。对于关键的监测信息, 应随时报告给操作者。并应具有能够存储足够多的数据的能力, 或者传输给嵌入式健康管理系统, 以便进一步分析。

A. 6. 2. 1. 3. 7 嵌入式健康管理系统总体设计

健康管理系统可以嵌入到装备内部实现, 并作为嵌入式诊断能力的组成部分。嵌入式健康管理系统能够采集系统和分系统机内测试和状态监测信息, 并对系统各种机内测试信息和状态监测信息进行集中分析、处理、存储和显示。嵌入式健康管理系统的总体设计应包括嵌入式健康管理系统的功能架构、物理架构(系统硬件与软件的架构)、健康管理数据的分析、记录、存储和显示、与其他系统和设备的关系等方案设计。设计要点如下:

- a) 运行环境设计: 确定嵌入式健康管理系统的硬件运行平台和软件运行平台要求。
- b) 嵌入式健康管理系统软件总体架构设计: 软件应包括机内测试信息采集、故障检测、故障隔离、虚警过滤、故障等级评价、信息存储、信息显示等功能。
- c) 信息存储功能设计: 需要存储的信息包括机内测试的原始测试数据和故障信息(故障模式名称、故障代码、故障出现和消失时间)。机内测试的原始测试数据用于故障原因分析、性能退化趋势分析等。故障信息用于产品的质量问题分析、备件需求预测等。
- d) 软件界面设计: 以图形方式和状态列表方式显示系统的工作状态。用系统功能框图显示系统的工作状态, 通过图形颜色的变化显示分系统的状态(正常、故障和故障级别)。用列表方式显示系统的状态参数, 并能根据条件筛选显示所关心的状态参数。
- e) 统计分析功能设计: 统计分析的内容包括系统关键参数的变化趋势、指定时间内某种故障模式出现的次数、某个分系统的故障次数等。

A. 6. 2. 1. 3. 8 外部测试资源规划与初步设计

外部测试设计的目的是为 BIT 未能覆盖的测试项目提供外部测试手段, 补充 BIT 能力局限与扩展对系统、设备的诊断能力。设计要点如下:

- a) 针对需要使用外部测试仪器或设备的测试项目开展测试方案设计;
- b) 提出测试项目对测试仪器的指标要求;
- c) 提出外部专用测试设备的指标要求;
- d) 确定通用测试仪器的型号;
- e) 确定外部专用测试设备的设计方案。

A. 6. 2. 2 测试性模型建立(工作项目 302)

A. 6. 2. 2. 1 测试性建模贯穿于装备工程研制方案设计期间和工程研制阶段。在工程研制方案设计期间, 利用测试性模型可以优化和评价测试性设计方案。在工程研制阶段, 应根据设计的变更和使用保障条件的变化及时对模型加以修改, 用于检查按研制进度是否可以达到规定的要求和设计指标。

A. 6. 2. 2. 2 测试性模型包括故障-测试相关性模型(简称相关性模型)、测试性框图和数学模型等。测试性模型可以手工建立, 也可以通过计算机软件程序来实现。

A. 6.2.2.3 相关性模型是进行测试性设计与分析的重要模型之一。相关性模型表达了产品故障与测试之间的逻辑关系及对测试资源的占用关系。在缺少故障模式信息情况下,可以仅建立产品单元和测试之间的相关性模型;在具备故障模式信息的情况下,应建立产品各单元故障模式与测试之间的相关性模型。在相关性模型的基础上,可以进行测试点的优化设计和分析,得到诊断策略,并可以预计故障检测和故障隔离能力。

A. 6.2.2.4 测试性框图包括简单的功能层次框图、信号流图以及包含测试点或者嵌入式诊断功能的原理仿真图(如电路原理图、功能仿真图等)。功能层次框图一般多用于测试性分配;信号流图和原理仿真图能够支持测试点的添加、修改以及故障注入信号的设置,一般多用于嵌入式诊断软、硬件设计。

A. 6.2.2.5 测试性数学模型是描述产品参数和产品特性关系的数学关系式。建立测试性数学模型,应考虑下列因素:

- a) 影响产品测试性的设计特征,如故障检测与隔离方式、故障率、故障影响、重量、布局、安装方式等;
- b) 与测试性模型相应的维修级别及保障条件;
- c) 与测试性模型有关的维修项目(如规定的可更换单元)清单;
- d) 相似产品的数据积累和维修工作经验;
- e) 模型的输入和输出应与产品的其他分析模型的输入和输出要求相一致。

A. 6.2.2.6 在面向测试性建模过程中,如装备约定层次较多、测试性建模工作量较大、需多人协同完成,可分别建立较低约定层次产品的测试性模型,通过模型集成获得较高约定层次产品或装备的测试性模型。

A. 6.2.2.7 依据产品测试性设计资料,通过人工比对判别和(或)计算机仿真分析的方式对所建立的测试性模型进行验证,以确保装备测试性建模以及测试性分配、预计结果的合理性与准确性。若模型验证不通过,应修正产品测试性模型并再次进行验证,直至满足基本原则、验证通过为止。

A. 6.2.2.8 测试性模型经过验证评审后,应进入模型库,并遵循模型入库、模型出库、模型维护与升级、模型退役与归档等管理要求,以支持装备全寿命周期内不同测试性建模活动中的模型重用,提高建模效率与质量、降低建模成本与风险。

A. 6.2.2.9 可能时,应实现测试性模型与维修性模型、费用模型、战备完好性模型及其他保障性分析模型的关联与协调。

A. 6.2.2.10 测试性模型通常与产品的复杂程度有关。因此,在确定本工作项目是否需要及其应用范围时,预想的产品复杂程度应当是考虑的重要问题。

A. 6.2.2.11 只要硬件设计许可,即使还没有可利用的定量的输入数据,也应尽早建立模型。利用早期的模型,能够发现需要采取的措施。

A. 6.2.3 测试性分配(工作项目 303)

A. 6.2.3.1 测试性分配主要适用于工程研制方案设计期间和工程研制阶段初期,包括测试性定量设计要求(即测试性指标)的分配和定性设计要求的分解传递。

A. 6.2.3.2 测试性分配是一个逐步深入和不断修正的过程,分配到装备哪一个层级,取决于研制工作的进程。在工程研制方案设计期间初期,由于获取的信息有限,只能在装备较高层次上进行初步分配;在工程研制方案设计期间后期和工程研制阶段初期,装备各层次产品的设计特性已逐步确定,可以获得更多更详细的信息,可以进一步分配到较低层次,也可对前一阶段分配结果做必要调整和修正,必要时可以重新进行分配,使之更符合实际情况。当产品有较大设计更改时也应分配结果进行复查和调整。

A. 6.2.3.3 测试性分配是自顶向下的过程。测试性分配的层级深度根据装备的复杂程度或装备转承制方的层级数量而定,如对于构成相对简单的装备或仅有一级转承制方的装备,则仅向下分配一级即可。

A. 6.2.3.4 根据装备任务要求、使用要求以及技术特点等确定测试性分配的原则和方法。为了使测试性分配结果尽可能合理,分配时尽量考虑各个有关因素,如故障率、故障影响、维修级别划分、平均维

修时间、嵌入式诊断架构、外部测试和人工测试资源规划、相似装备测试性历史数据、装备技术构成及特性等。

A. 6.2.3.5 测试性定性设计要求的分解传递是测试性定性要求落实的基础。测试性定性设计要求分解传递应针对产品的类型和特点,例如电子产品嵌入式诊断设计要求与机电产品嵌入式诊断设计要求内涵会存在差异,电子产品的嵌入式诊断设计侧重于机内测试,而机电产品的嵌入式诊断设计更侧重于状态监测。

A. 6.2.3.6 测试性指标分配一般只分配故障检测率和故障隔离率,其他测试性指标一般不做分配。例如,虚警率要求的范围一般在 1%~5%,分配给各组成单元的分配额也相差不多;故障检测时间是与使用 and 准备状态(战备完好性)密切相关的,一般对使用安全性最关键的故障检测时间规定不超过 1s,其他不超过 1min 等,不需分配;故障隔离时间是平均修复时间的组成部分,在维修性分配中已考虑,不需另外分配。

A. 6.2.3.7 测试性指标分配的基本原则:

- a) 故障率高的组成单元应分配较大指标;
- b) 通过 FMECA 分析得到的关键、重要件应分配较大指标;
- c) 维修时间较少的单元分配较小指标;
- d) 故障检测和隔离困难的单元应分配较小指标,如含有大量机械部件的单元可分配较小指标;
- e) 测试性开发成本很高或增加测试会引入很大干扰的单元应分配较小指标;反之具有成熟检测手段、流程和设备的单元则分配较大指标;
- f) 对于由新老产品组合而成的装备,先确定装备中已定型产品和/或改进型产品的测试性指标,然后将其作为已知数从系统级指标中剔除,得到全部新研产品的测试性总指标,最后将该指标分配给各新研产品。

A. 6.2.3.8 不同的研制阶段采用不同的测试性指标分配方法,采用的分配方法和理由应当记录成文并经订购方认可。目前主要的分配方法包括但不限于以下几种:

- a) 等值分配法,取各组成部分的测试性指标全部等于系统要求的指标,一般用于工程研制方案设计期间初期。
- b) 故障率分配法,仅考虑各组成部分的故障率的分配方法,一般用于工程研制方案设计期间后期和工程研制阶段初期。
- c) 加权分配法,考虑各组成部分的故障率 and 设计特性的分配方法,按照各分配单元的综合权重(由故障率系数、故障影响系数、平均故障维修时间影响系数、实现故障检测与隔离难易系数和成本系数加权构成)的大小进行分配,一般用于工程研制阶段初期。
- d) 综合加权分配法,将加权分配法得到的各组成单元的分配权重用故障率再次加权,得到综合权重,然后按照综合权重的比例大小进行分配,一般用于工程研制阶段初期。
- e) 由订购方批准或提供的其他方法。本标准也鼓励各方积极探索新的测试性指标分配方法,使分配结果更加科学合理和符合实际情况。

A. 6.2.3.9 完成初步的测试性指标分配后,应利用低层次产品的测试性设计数据,通过测试性预计,初步预计能够达到的测试性水平,并与要求值进行比较。在工程研制方案设计期间和工程研制阶段初期,尽管由于不掌握测试性设计的细节,不能获得准确的预计值,但对于方案比较 and 确定合理的分配模型是有意义的。应重复进行上述的分配 and 预计,直到获得合理的分配值为止。

A. 6.2.3.10 测试性分配前,依据装备测试性设计方案分析确定系统级的测试能力,对于明确的易由系统级完成的单元级故障测试任务,测试性分配时可指定由系统级完成,其他任务指标分配给单元级。

A. 6.2.4 测试性预计(工作项目 304)

A. 6.2.4.1 测试性预计主要适用于工程研制方案设计期间 and 工程研制阶段。在工程研制方案设计期间,测试性预计是选择最佳测试性设计方案的一个关键因素,由于在这个阶段可利用的具体数据量有限,

所以主要依赖于历史数据与经验进行测试性初步预计。在工程研制阶段,能够获得更加详尽的测试性设计数据,可以开展更全面、深入的测试性预计,估计装备或产品的测试性设计水平是否满足规定的要求,发现测试性设计中的薄弱环节,为改进设计提供依据。

A. 6. 2. 4. 2 测试性预计是测试性分配的逆过程。一般测试性指标分配到哪一层次产品,则从哪一层次开始预计;也可以根据设计需要,对指定层次的产品进行预计。

A. 6. 2. 4. 3 不同的研制阶段采用不同的测试性预计方法,应指明预计产品测试性所采用的专门技术和数据来源。所采用的数据应得到订购方的批准,主要的预计方法有:

- 相关性模型预计法:基于相关性模型,一般采用计算机辅助计算方式,预计产品的测试性指标,可以用于工程研制方案设计期间后期和工程研制阶段。
- 工程预计法:根据产品的测试特性和故障率,预计产品的测试性指标,一般用于工程研制阶段。
- 相似产品法:利用相似产品的数据,通过比例关系预计产品的测试性指标,可以用于工程研制方案设计期间初期。
- 由订购方批准或提供的其他方法。若无特殊要求,推荐优先采用相关性模型进行测试性预计。

A. 6. 2. 4. 4 测试性预计主要针对故障检测率和故障隔离率等指标进行预计,其预计公式分别如下:

A. 6. 2. 4. 4. 1 故障检测率

$$FDR = \frac{\lambda_d}{\lambda} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中: FDR ——故障检测率; λ_d ——检测到的所有故障模式的故障率之和; λ ——总故障率。

相关性模型预计法一般基于相关性矩阵进行预计。相关性矩阵表述为:

$$FT = \begin{matrix} & \begin{matrix} T_1 & T_2 & \cdots & T_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中: 矩阵元素 f_{ij} 一般为一布尔变量,如果故障 f_i 能被测试 t_j 观测,则令 $f_{ij} = 1$, 否则令 $f_{ij} = 0$ 。基于上述相关性矩阵,对式(A.1)进行转换,得到基于相关性模型的故障检测率预计公式为:

$$FDR = \frac{\sum_{f_i \in DF} \lambda_i}{\sum_{f_k \in F} \lambda_k} \times 100\% \dots\dots\dots (A.3)$$

式中: F 表示相关性模型中所描述的全部故障模式集; λ_i 表示第 i 个故障模式的故障率; DF 表示可测的故障集合,若故障 f_i 满足 $FS(f_i) \neq \phi$ (空集),则 $f_i \in DF$ 。该预计模型可采用计算机辅助计算。

A. 6. 2. 4. 4. 2 故障隔离率

$$FIR = \frac{\lambda_{IL}}{\lambda_d} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中: FIR ——模糊度小于等于 L 的故障隔离率; L ——故障隔离的模糊度, $L=1$ 时是非模糊的唯一隔离; λ_d ——检测到的所有故障模式的故障率之和; λ_{IL} ——隔离到模糊度小于等于 L 的各模糊组所包含故障模式的故障率之和。

$$\lambda_{\text{IL}} = \sum_{k=1}^p \lambda_k \quad k=1, 2, \dots, p \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中: λ_k , 第 k 个隔离模糊组中所包含故障模式的故障率之和; P 模糊组总数。

基于相关性矩阵, 对式 (A.4) 进行转换, 得到基于相关性模型的故障隔离率预计公式为:

$$FIR = \frac{\sum_{\substack{\forall FS(f_i) \neq \phi, \forall f_j \in U_q (f_i \in U_q), \\ FS(f_j) \neq \phi, FS(f_i) \neq FS(f_j)}} \lambda_i}{\sum_{\forall FS(f_k) \neq \phi} \lambda_k} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

式中: U_q 表示系统中第 q 个可更换单元, $f_i \in U_q$ 表示 f_i 为 U_q 中发生的故障, $f_j \notin U_q$ 表示 f_j 不是 U_q 中发生的故障, 因此 f_i 和 f_j 隶属于不同的可更换单元; λ_i 表示 f_i 的故障率; $FS(f_i) \neq \phi$ 表示 f_i 是可检测的故障, $FS(f_i) \neq FS(f_j)$ 表示可检测 f_i 和 f_j 的测试集不同, 即 f_i 可以同 f_j 隔离。该预计模型可采用计算机辅助计算。

A. 6. 2. 4. 5 测试性预计在整个项目过程中是反复迭代的, 而且与可靠性分配或预计、产品技术状态项目分析工作等密切关联, 在工程研制方案设计期间和工程研制阶段订购方均应对测试性预计提出要求。

A. 6. 2. 4. 6 测试性预计可以为测试性试验提供先验信息, 在测试性试验开始之前, 也应进行测试性预计。

A. 6. 2. 5 测试性设计准则制定(工作项目 305)

A. 6. 2. 5. 1 测试性设计准则应在工程研制方案设计期间制定并在工程研制阶段贯彻落实。在工程研制方案设计期间, 应制定出产品测试性设计准则的详细条款, 通过审查批准(或评审)后形成产品测试性设计准则文件, 便可在产品测试性设计过程中贯彻执行。随着产品设计的开展, 如发现有不适用或缺少的条款, 可以改进或完善该准则, 但仍须经过审查批准(或评审)。

A. 6. 2. 5. 2 测试性设计准则是产品正式测试性设计文件之一, 其制定、审查批准和贯彻执行情况等应纳入装备研制管理之中。

A. 6. 2. 5. 3 对于具体产品, 必须依据通用测试性准则和产品特点制定专用测试性设计准则。

A. 6. 2. 5. 4 测试性设计准则的拟订, 应该考虑能够确保产品在整个寿命周期内使用与维修保障的经济有效性。

A. 6. 2. 5. 5 测试性设计准则文件中应明确开展测试性设计准则符合性分析评价的方法, 详见 GJB/Z 190。

A. 6. 2. 5. 6 在产品评审与设计核查中, 应检查测试性设计准则的贯彻执行情况。

A. 6. 2. 5. 7 订购方应参与产品的测试性设计准则的评审, 以及贯彻执行情况的检查。

A. 6. 2. 6 诊断设计(工作项目 306)

A. 6. 2. 6. 1 诊断设计主要适用于工程研制阶段, 其目的是开展装备及其下属各层次产品的测试性详细设计, 以满足规定的测试性设计要求。

A. 6. 2. 6. 2 诊断设计建立在测试性设计方案和对产品设计信息深入了解的基础上。此时可以获得的信息包括: 产品的结构划分、嵌入式诊断架构、各个独立单元的功能和输入、输出, 故障模式信息, 初选的测试点等。测试与诊断设计的主要内容是在此基础上对组成产品的各个层次进行嵌入式诊断和外部测试详细设计, 包括诊断策略设计、嵌入式诊断详细设计、测试点详细设计、诊断逻辑和测试程序设计、UUT 与外部测试设备兼容性设计以及测试需求文件编写等。

A. 6. 2. 6. 3 诊断策略设计建立在测试性方案设计(测试性初步设计)基础上, 对产品不同层次的测试对象(UUT)都应进行诊断策略设计。诊断策略设计的工作要点有:

- a) 从 FMECA 获取产品及其组成单元的故障模式及故障率等数据;
- b) 依据测试性设计方案分析各个故障模式可用的检测方法, 如机内测试、状态监测、ETE、ATE

或人工测试等；

- c) 确定测量参数和测试点位置，分析 UUT 及其各组成单元的故障模式的检测参数、测试点的位置，并标注在 UUT 功能框图上，建立起 UUT 各组成单元(或各组成单元故障模式)与测试(点)的相关性模型；
- d) 建立并简化相关性矩阵，识别模糊组；
- e) 考虑可靠性影响因素优选测试点和诊断策略；
- f) 画出 UUT 诊断策略二叉树形图(诊断树)和(或)故障字典。

A. 6. 2. 6. 3. 1 嵌入式诊断详细设计主要包括：机内测试(BIT)详细设计、状态监测详细设计、健康管理详细设计、故障信息的显示记录和输出详细设计等几部分内容。

A. 6. 2. 6. 3. 2 BIT 详细设计主要工作内容为 BIT 软、硬件设计和 BIT 降虚警设计等。

A. 6. 2. 6. 3. 3 BIT 有多种运行模式，常用的有周期 BIT、加电 BIT 和维修 BIT 等三种。下面是这三种 BIT 详细设计要点：

- a) 周期 BIT (PBIT)，PBIT 应在产品运行过程中周期地或持续地检测和隔离产品运行中可能出现的故障，并存储和报告有关故障信息。PBIT 在产品运行的整个过程中是不间断的，即从产品完成加电 BIT 后一直到断电之前都将持续运行。PBIT 不应干扰和影响产品的正常运行，也不需要外部提供测试激励信号。对于设计了嵌入式健康管理系统的装备，其所属各层次产品 PBIT 应能通过数据总线(如 GJB 289A 总线等)向嵌入式健康管理系统发送故障相关信息。没有数据总线的产品应通过离散电平等方式发送其故障信息，再由能与嵌入式健康管理系统进行数据通信的产品进行发送。PBIT 可以采用的故障检测方式包括但不限于以下几种：
 - 1) 内部工作状态检测：PBIT 实时检测产品的关键性能、功能特性参数或特征信号，当这些指定的参数或信号超出预设范围时，由 PBIT 进行判别从而得出该产品处于不正常的工作状态或功能不满足原有设计要求，并报告故障信息。
 - 2) 总线数据故障检测：当产品在规定时间内没有接收到与其交联的产品所发送的总线数据，则 PBIT 判定该产品与其他产品之间发生数据总线通信物理故障；当连续几次接收到的总线数据信号出现错误、格式或内容与协议不符及其他总线协议错误等，则 PBIT 判定该产品发生数据总线通信协议故障。
 - 3) 模拟或离散信号故障检测：PBIT 检测本产品从其他产品输入的模拟信号和离散信号的范围和有效性，当模拟信号超标或离散信号状态错误时应报告故障信息。
 - 4) 输出数据回读检查：产品在其内部使用回读检查技术检查其输出信号或数据，当这些信号或数据出错后，PBIT 将检测到的故障进行报告。检查的方法是在产品发送数据或信号时通过额外的电路将数据或信号读入，再与已知的发送数据相对比，如果不一致，则认为输出数据有误。绕回检测点的位置应尽量靠近产品输出端。数据回读尽量采用现有的功能输入电路，如果需要额外加入数据采集电路应尽量保持简单并评估其可靠性。
 - 5) 电源故障检测和中断监测：产品应设置电源故障检测和中断监测电路，当发生电源故障或中断时，PBIT 应检测并报告相关故障信息。
 - 6) CPU 活动监测：对于内置 CPU 的产品，PBIT 可以采用看门狗脉冲、心跳脉冲等方式对处理器的活动情况进行监测，并且将检测到的故障进行报告。
 - 7) 软件故障监测：对于使用嵌入式软件的产品，PBIT 应监测各种软件异常或错误(如除零、非法地址访问等)，当发生影响正常功能的软件故障或需要进行维护或更换的软件故障时，PBIT 应检测并报告故障信息。
- b) 加电 BIT (POBIT)，POBIT 又称开机自检测，是产品通电以后自动进行的测试，主要用于检查产品的工作状态是否正常，能否投入正常运行。POBIT 应尽量覆盖 PBIT 无法检测到的故障，POBIT 不但可以将产品设置到不同的工作方式下以获得更多的测试内容，还可以暂时改变产

品内部的正常功能结构和信号流向，同时配合内部信号源以满足对更多功能和硬件的测试需求。但是如果某些测试内容需要其他产品进行特定设置予以配合，或者测试由于安全原因需要用户确认和操作，则应将这样的测试内容安排在维修 BIT 中进行。由于 POBIT 可能会中断产品正常运行，产品应设计硬件电路或软件程序来防止在正常运行中启动 POBIT。POBIT 不应依赖任何外部测试资源并能自动连续执行，不需要人工进行确认或输入即可进行测试和完成测试。POBIT 执行过程中一般不应输出非正常的信号，否则会引起与其接口的产品的误动作或者报警。特别是对可能引起外部机械部件发生动作或发生人身危害的输出信号，如果确实需要在 POBIT 中进行检查的，应设计隔离电路或继电器在检测期间暂时断开相关输出信号；对于设计了嵌入式健康管理系统的装备，其所属各层次产品 POBIT 应能通过数据总线（如 GJB 289A 总线等）向嵌入式健康管理系统发送故障相关信息。没有数据总线的产品应通过离散电平等方式发送其故障信息，再由能与嵌入式健康管理系统进行数据通信的产品进行发送。

POBIT 可以采用的故障检测方式包括但不限于以下几种：

- 1) CPU 指令检测：内置 CPU 的产品，POBIT 可以采用特定测试指令序列结果验证的方式对 CPU 的指令执行结果进行检测，应按照指令的优先级别分阶段按顺序完成，并将检测到的故障进行报告。
 - 2) ROM 存储器检测：内置 CPU 的产品，POBIT 可以采用校验和的方式对 ROM 存储器内存储的程序或预定数据进行检查，并与事先存储在存储器的结果数据进行比较，用以判断程序存储是否正常，并将检测到的故障进行报告。
 - 3) 易失性存储器检测：内置 CPU 的产品，POBIT 可以采用读写检查的方式对易失性存储器进行检测，并且通过数值比较判断其是否正常，并将检测到的故障进行报告。
 - 4) 基准信号检测：在产品内部设计指定参数的基准信号，在进行 POBIT 时将产品原有的输入信号端口断开，将基准信号接入实际功能电路，然后在产品输出端监测输出信号，以验证产品功能电路的正确性。常见的基准信号有电压基准、频率基准和射频基准等，基准信号的产生电路应保证简单和可靠。
 - 5) 数据绕回检测：设计 PBIT 时，由于可靠性、成本等因素限制无法对输出信号采用回读测试，应在设计 POBIT 时利用产品本身的输入电路对产品的输出总线信号进行检查，方法是将输出信号连接到产品的输入端，利用产品输入电路判断其输出信号的正确性。
- c) 维修 BIT (MBIT)，MBIT 是由操作人员通过按钮、开关、显示页面等人工启动的测试项目，用于补充 PBIT 和 POBIT 的测试内容；MBIT 主要用于产品工作后的维修检测，检查和确认产品运行中反映的故障情况，并进一步隔离故障。MBIT 也可用于产品维修换件以后的检测以及执行任务之前确认产品工作是否正常；MBIT 的设计应充分考虑与操作人员的人机交互界面，采用人机界面显示时提示语言和图形应清晰、易懂，操作人员应能方便地输入数据和参数，并且监视测试的进行过程，了解测试的进程和状态，以便能够中断或继续测试，测试结果描述的显示应注重易读性；采用灯光或者声音作为测试输出时颜色表达、闪烁方式等行为应符合一般操作者和使用者的习惯；对于设计了嵌入式健康管理系统的装备，其所属各层次产品 MBIT 应能通过嵌入式健康管理系统的显示界面进行启动和控制。在以下情况下，产品应设计特定的 MBIT：
- 1) 当 PBIT 或 POBIT 的检测内容由于安全等原因不能自动进行时，例如测试时会产生高功率信号对人员和周围系统安全造成影响（如高频电台和雷达的发射测试，大多数机械与液压作动功能等）；
 - 2) 当 PBIT 或 POBIT 的检测内容需要由交联的系统进行配合才能判断结果时，例如测试时需要本产品的输入信号或参数是预先规定的数值和内容，产品的 BIT 才能获得设备响应的正确值；

- 3) 当 PBIT 或 POBIT 的测试需要人工改变产品的结构和配置情况时, 例如有左、中和右三个 LRU 作为本产品的控制输入, 如果将左侧 LRU 作为主用设备, 其余两个 LRU 是冗余输入, 要检测中间和右侧 LRU 的输入信号时, 应将左侧 LRU 禁用或者关断;
- 4) 当 PBIT 或 POBIT 的测试结果需要人工判读时, 例如系统的输出为表头指示或者光电与声音信息;
- 5) 当 PBIT 或 POBIT 的测试条件和状态需要人工输入和设置时, 例如设置测试所需要的参数。

A. 6. 2. 6. 3. 4 BIT 降虚警设计

应采用有效的虚警抑制措施, 以消除或降低虚警的产生。虚警抑制措施主要包括但不限于以下几类方法:

- a) 测试容差(或门限值)设计, 包括确定合理的容差锥、延迟加入门限值、设置自适应门限值等。
- b) 故障指示与报警条件限制, 包括重复测试法、表决法、延时法等。
- c) 提高 BIT 的工作可靠性, 包括连锁条件设计、BIT 自检、重叠 BIT 等。
- d) 智能 BIT, 包括灵巧 BIT、自适应 BIT、暂存监测 BIT 等。
- e) 时间应力分析(TSA)。时间应力是产品在生产、运输、工作等过程中受到的各种应力的时间历程, 这些应力包括环境应力(如温度、湿度、冲击、振动等)和工作应力(如循环应力、压力等)。将获取到的时间应力数据与 BIT 数据结合起来进行关联分析, 并对 BIT 报警结果进行综合判决, 进而识别导致虚警的真正原因。

BIT 设计是可以从中选择一种或多种方法进行降虚警设计。

A. 6. 2. 6. 3. 5 状态监测详细设计

- a) 对于不具备 BIT 功能的产品(主要是机电、机械产品), 应进行传感器及相关信息处理能力的设计, 以便实时进行状态监测;
- b) 对于关键的性能、功能或特性参数的监测信息, 应随时报告给操作人员;
- c) 在工程研制阶段, 应完成与状态监测相关的硬件和软件的具体设计工作。

A. 6. 2. 6. 3. 6 嵌入式健康管理系统详细设计

- a) 嵌入式健康管理系统详细设计是依据测试性设计方案中规定的构成和功能, 进行其软件和硬件的设计。
- b) 在进行嵌入式健康管理系统设计时应尽可能采用先进的诊断设计技术, 最大限度地利用传统的故障特征检测技术, 并综合先进的软件建模技术、多传感器信息融合技术、人工智能技术等, 来增强诊断能力、状态预测能力、维护决策能力。
- c) 嵌入式健康管理系统详细设计一般包括但不限于以下内容:
 - 1) 信息编码详细设计;
 - 2) 人机界面与操作程序详细设计;
 - 3) 接口控制文件(ICD)设计;
 - 4) 硬件开发;
 - 5) 各功能软件/模块开发。
- d) 便于外场维修, 嵌入式健康管理系统还应具有:
 - 1) 统一的直观友好的信息显示界面;
 - 2) 统一的信息表达方式;
 - 3) 为维修人员提供不同层次测试的控制能力;
 - 4) 提供准确地故障定位能力, 出现模糊组时, 进行引导测试;
 - 5) 提供维修训练程序, 使维修人员熟练掌握嵌入式健康管理系统的使用技能和故障诊断、预测方法等。

A. 6. 2. 6. 3. 7 故障信息的显示、记录和输出设计

- a) 依据故障的影响程度设计相应的报警或显示方法,如指示灯、指示器、显示控制单元、显示器、告警装置、维修监测板、中央维修计算机等。影响严重的应同时使用声和光的方式及时告警。
- b) 根据使用需求设计 BIT 的故障检测与隔离信息以及相关信息的记录方法。简单的是用非易失存储器,要求高的可用移动存储器。
- c) 根据使用需求设计 BIT 的故障检测与隔离信息以及相关信息的输出方法。如外部测试接口(利用外部测试设备)、磁带/磁盘、打印机、远程通信装置等。
- d) 使用 ATE 测试 UUT 时的故障信息,亦应设计相应的显示、报警和存储装置。

A. 6. 2. 6. 4 外部测试详细设计的主要内容有测试点详细设计、诊断逻辑和测试程序详细设计以及与外部测试设备的测试接口详细设计等。

A. 6. 2. 6. 4. 1 测试点详细设计

在测试性要求分析、测试性设计方案制定和诊断策略设计的基础上,接着应进行测试点(或测试)的详细设计,工作要点包括:

- a) 确定测试点具体位置,主要工作包括:
 - 1) 用于连接外部测试设备的外部测试点,一般引到 UUT 专用检测插座上或 I/O 连接器上;
 - 2) 用于检测元器件的内部测试点,可设置在电路板适当位置上。
- b) 确定测试点用途,主要工作包括:
 - 1) 测量用测试点,用于测量 UUT 功能特性参数和内部一些电路节点信号,为无源测试点;
 - 2) 激励、控制用测试点,用于数字电路初始化、引入激励、中断反馈控制等的测试点,为有源测试点。
- c) 测试点详细设计,主要工作包括:
 - 1) 分析并列出各测量用测试点的信号特性和测试要求;设计有源测试点的激励和控制电路,或者确定外部提供激励和控制的要求;
 - 2) 测试点的接口能力应可以适应 3m 长电缆,使用 ATE 测量时不会造成被测信号失真,不影响 UUT 正常工作;
 - 3) 数字电路与模拟电路应分别设置测试点,以便于独立测试;
 - 4) 设置测量信号用公共接地点;
 - 5) 设计必要信号变换与调节电路;
 - 6) 设置的测试点在相关资料和产品上应有清楚的定义和标记。
- d) 安全性考虑,主要工作包括:
 - 1) 测试点电压在 300V~500V(有效值)时,应有隔离措施和警告标志,对高频辐射的 UUT 进行测试时应有安全措施;
 - 2) 高电压或大电流的测试点应在结构上同低电平信号测试点隔离;
 - 3) 必要时设计屏蔽、隔离或其他抗干扰措施;
 - 4) 任何测试点与地之间短路时,不应损坏 UUT。

A. 6. 2. 6. 4. 2 诊断逻辑和测试程序设计

- a) 分析确定每个选用测试点的测量参数特性,如参数类型、幅值、频率、容差等;
- b) 确定每个测量参数的具体测试位置,如检测哪一个插座的第几个点或者电路的哪一节点;
- c) 设计或选择测试所需的激励和控制用的有源信号及加入方法;
- d) 依据上述分析结果画出诊断测试的详细流程图;
- e) 用规定的编程语言研制诊断软件程序。

A. 6. 2. 6. 4. 3 UUT 与外部测试设备兼容性设计

外部测试设备包括 ATE、PMA 及其他外部测试用的测试设备,可以是选用已有的通用 ATE,也可

以是新设计的测试设备。UUT 和 ATE 的兼容性设计可参考 GJB 3966。详细设计内容主要包括 UUT 模块化、测试点、测试信号与激励设计等设计应满足下述要求：

- a) UUT 设计应尽可能提高功能模块化程度和功能独立性，便于外部测试设备能控制 UUT 划分，对各电路或功能进行独立测试或分段测试；
- b) UUT 对外接口设计要保证 UUT 与外部测试设备能够连接简单，为测量信号、激励信号、外部测试设备同步控制信号提供有效传输通路；
- c) 所需信号的测量方法、幅值、频率和准确度要求等，与外部测试设备能力范围之间是协调的；
- d) UUT 所提供的外部测试点数量，能够满足使用外部测试设备检测时的故障诊断能力要求；
- e) 测试点应该是通过外部连接器可达的，功能测试点一般设在 UUT 输入和输出信号连接器中，故障隔离与维修用测试点可以设在检测连接器中。

A. 6. 2. 6. 4. 4 测试需求文件 (TRD) 编写

编写测试需求文件，详细描述对 UUT 进行全面测试所需要的有关内容和要求，包括性能特性要求、接口要求、测试方法和流程、故障判据、测试条件、激励值等，以便于对 UUT 兼容性进行评价、测试设备设计或选用。TRD 用于：

- a) 明确 UUT 正常或不正常状态的标准；
- b) 检测并确定超差或故障状态；
- c) UUT 的调整和校准；
- d) 把每个故障或超差状态隔离到约定的产品层次，并满足隔离模糊度要求。

A. 6. 2. 7 测试性设计核查 (工作项目 307)

A. 6. 2. 7. 1 测试性核查是承制方为实现产品测试性要求而开展的贯穿于整个工程研制阶段的不断进行的分析与评价工作。

A. 6. 2. 7. 2 测试性核查的目的是通过检查与分析评价工作，识别设计缺陷，并采取纠正措施，实现测试性的持续改进与增长。

A. 6. 2. 7. 3 测试性核查的方法比较灵活，承制方可以随时进行必要的单项核查，原则如下：

- a) 对于规定开展的测试性设计分析工作项目进行核查，可以加权评分方法开展。应根据核查对象的特点、测试性要求、测试性工作项目组成、以及核查工作的开展时机，确定适用的测试性核查内容和评分表格。
- b) 对测试性定量设计效果进行核查，结合测试性分配、建模仿真与预计等工作开展。重点核查故障检查率、故障隔离率和虚警率是否满足指标要求，以及存在的测试性设计缺陷。
- c) 对测试性定性设计效果进行核查，结合测试性设计方案、测试性设计准则符合性检查、或者样机软/硬件检查与操作演示工作开展。重点核查功能性设计和配置性设计是否实现。
- d) 对于具有测试性要求而无法开展测试性研制试验的产品，必须开展测试性核查。

A. 6. 2. 7. 4 测试性核查前应制定测试性核查大纲，完成核查后应编写出测试性核查报告。

A. 7 测试性试验与评价

A. 7. 1 一般考虑

A. 7. 1. 1 测试性试验与评价的目的是：

- a) 确认产品测试性设计有效性及达到的测试性水平，发现测试性设计缺陷，为设计改进提供依据；
- b) 考核产品测试性设计是否符合规定的测试性要求；
- c) 对相关诊断要求 (测试保障资源) 进行评价。

A. 7. 1. 2 本系列工作项目是通过一系列的试验和评估来判定产品测试性是否符合规定要求的过程，除了在研制阶段进行的试验与评估外，还包括在装备作战试验、在役考核阶段的测试性数据收集与评价。测试性研制试验虽不能保证产品达到所要求的测试性要求，但它是测试性增长工作的重要组成部分，可

促进承制方开展测试性改进工作。

A. 7. 1. 3 订购方应根据产品的任务要求, 产品的种类以及试验费用等, 确定测试性试验与评价工作要求, 并将试验与评价的范围、产品层次以及试验规划与方案等, 详细写入合同或技术协议中。

A. 7. 1. 4 订购方应提供产品的使用条件和其他约束条件等信息, 以便为确定试验与评价计划提供依据。这些信息至少应包括: 测试性的定性与定量要求、试验环境、测试保障、产品使用模式以及验证的测试手段等内容。

A. 7. 1. 5 对于每一产品测试性试验, 都应确定验证方案和制定试验大纲, 试验完成后应写出相应的试验报告。

A. 7. 2 工作项目 400 系列

A. 7. 2. 1 测试性试验(工作项目 401)

A. 7. 2. 1. 1 测试性试验分为试验策划、试验设计、试验准备、试验实施和结果报告 5 个阶段。

A. 7. 2. 1. 2 试验策划阶段的工作包括试验方案制定、试验规范或要求制定、试验相关指南编制等内容, 主要由试验组织部门负责。测试性试验方案制定主要包括试验项目确定、试验任务分配、试验进度及经费等相关要求, 为试验开展做好规划。测试性试验规范或要求编制主要包括试验的一般要求及详细要求的确定。一般要求通常包括试验开展时机、试验件技术状态、试验设备、实验室环境条件及试验环境条件等。详细要求通常包括各试验阶段的主要工作内容及各工作内容的实施要求等, 用于规范与约束试验机构开展试验工作。测试性试验相关指南编制主要包括测试性试验统计方案设计指南与故障注入方法选择及操作指南等, 用于指导试验部门开展试验工作。试验统计方案设计指南主要内容包括样本量的确定、样本抽样及指标评估等内容。故障注入方法选择及操作指南主要内容包括各类故障注入方法的适用场景、操作流程及实施要点等。

A. 7. 2. 1. 3 试验设计阶段, 主要包括试验输入确定、试验统计方案设计、备选故障样本集建立及试验大纲编制等内容, 主要由承试单位负责。试验输入确定主要以受试产品 FMECA/FMEA 分析故障及相似或同类产品外场已发故障为输入, 结合产品特点及测试性设计对象, 确定受试产品测试性试验故障样本集(故障总体)的范围, 保证试验故障模式的完整性及有效性。试验统计方案设计主要以受试产品测试性定量指标要求及试验样本集为输入, 按照 GJB 8895 或试验组织部门规定的方法进行设计, 进而得到某受试产品的测试性试验方案, 包括本次试验样本量、故障样本抽样结果等。备选故障样本库建立主要是基于受试产品故障样本抽样结果, 针对特定检测方式(如机内检测)的故障样本, 按照 GJB 8895 或试验组织部门规定的方法逐条设计故障注入方法; 并依据受试产品设计方案、故障特点及测试性方案给出故障注入成功判据及检测指示等, 最终构建受试产品测试性试验备选故障样本库。测试性试验大纲编制主要内容包括试验目的、受试产品说明(包括组成、功能及测试性要求等)、试验件及技术状态、实验室环境条件、试验条件、试验判据(包括受试产品完好状态判据、故障检测成功判据及故障隔离成功判据等)、试验统计方案、备选故障样本库、试验实施要求(试验监测和试验记录等)、组织与管理、质量保证及技术安全措施等。

A. 7. 2. 1. 4 试验准备阶段, 主要包括受试产品准备及工作环境搭建、试验设备准备及试验环境搭建、试验程序编制等, 主要由承试部门负责, 受试产品研制单位配合。试验设备准备及试验环境搭建主要包括非标设备研制、故障注入设备准备、测试设备校准、试验系统搭建及调试等。试验程序编制主要内容包括试验用例及执行顺序。试验用例主要包括用例编号、故障样本的相关信息、试验判据的相关信息、故障注入的相关信息、试验条件的相关信息等内容。试验用例执行顺序应综合考虑各故障注入方法的难易程度及对受试产品可能产生的影响程度等因素。

A. 7. 2. 1. 5 试验实施阶段, 主要包括试验用例执行、试验监测与试验记录等, 应由试验承试部门负责, 受试产品研制部门参与并配合。试验用例执行主要按照试验程序中试验用例的执行顺序及各试验用例的详细操作步骤执行。试验监测与记录主要是按照试验大纲中的试验监测要求, 对试验过程实施监测, 并对监测过程及遇到问题的处理结果进行相应记录。

A.7.2.1.6 结果报告阶段,主要包括试验数据整理及试验报告编制,出具试验结论。应由试验承试部门负责。测试性试验报告主要内容包括试验目的、编制依据、受试产品说明、试验设备及试验环境、组织与管理试验实施情况、试验数据收集、分析、确认及汇总、指标评估、测试性设计缺陷分析、优化改进建议等。针对测试性试验发现的测试性设计缺陷,受试产品研制单位应组织开展问题分析、制定设计改进措施,并进行落实。

A.7.2.1.7 测试性试验应考虑自然发生故障的处理方法、虚警的处理方法,以及不可注入故障样本的检测隔离结果确认方法。

A.7.2.1.8 工程实践中,测试性试验主要分两类:测试性研制试验和测试性鉴定试验。在研制阶段开展的、旨在发现测试性设计问题的测试性试验称作测试性研制试验;在性能鉴定试验期间开展的、旨在考核产品测试性设计是否符合测试性要求的测试性试验称作测试性鉴定试验。

A.7.2.1.9 测试性研制试验是在产品的研制阶段,由试验机构按预先设计的试验方案,在受试产品上实施故障注入,并通过规定的方法进行实际测试,对产生的结果进行判断是否符合预期,以发现产品的测试性设计缺陷,采取改进措施,从而实现产品研制阶段的测试性增长,并初步评估产品的测试性相关指标值的试验与评价过程。原则上,测试性研制试验的故障诊断样本集应覆盖产品全部功能故障模式。测试性研制试验可以由承制方组织,也可以由订购方统一组织,属于产品研发试验。承制方应尽早进行测试性研制试验规划、确定试验方案、制定相关试验规范及指南等。

A.7.2.1.10 测试性鉴定试验是为了考核产品是否符合规定的测试性要求,属于性能鉴定试验。测试性鉴定试验一般由试验鉴定管理部门组织,并由试验鉴定管理部门指定的试验机构进行,承制方/转承制方配合开展工作。

A.7.2.1.11 为了通过测试性试验工作实现测试性增长,可以进行多轮试验,首轮试验对测试性设计情况进行摸底,并发现测试性设计缺陷,然后进行针对性设计改进并落实到产品实物中,再进行回归试验,确认设计改进效果,然后再组织鉴定试验。

A.7.2.2 测试性分析评价(工作项目 402)

A.7.2.2.1 对于未能进行测试性鉴定试验的产品和测试性要求,经订购方同意,可用测试性分析评价方法替代测试性鉴定试验,即用分析评价方法确定产品是否满足规定测试性要求。

A.7.2.2.2 测试性分析评价通常可采用产品研制试验的有关数据、试运行数据、测试性核查资料、低层次产品测试性试验数据综合、同类产品测试性水平对比分析、测试性仿真或虚拟样机分析、测试性设计缺陷分析等方法,评价复杂系统或设备是否能达到规定的测试性水平。

A.7.2.2.3 所采用的测试性分析评价的方法、利用的数据、评价准则和评价的结果均应经订购方认可。设计定型时的测试性分析评价结果可为使用期间测试性评价提供支持信息。

A.7.2.2.4 完成测试性分析评价后,应编写出测试性分析评价报告,并经订购方审定。

A.7.2.3 测试性评估(工作项目 403)

A.7.2.3.1 测试性评估包括状态鉴定所需的测试性评估、作战试验阶段的测试性评估、测试性综合评估、在役考核期间的测试性评估。

A.7.2.3.2 在状态鉴定期间,应在测试性鉴定试验和测试性分析评价基础上,开展测试性鉴定评估工作,全面考核产品是否满足规定的测试性要求。

A.7.2.3.3 在装备作战试验期间,可以同步开展测试性信息收集与评估工作,评估装备在作战试验状态下是否满足规定的测试性要求,并发现测试性设计缺陷,为装备列装定型提供依据。

A.7.2.3.4 在装备作战试验结束后,可以根据需要汇总测试性鉴定试验、测试性分析评价、测试性鉴定评估、作战试验测试性评估的数据,进行综合测试性评估,确定是否满足规定的测试性要求,为装备列装定型提供依据。

A.7.2.3.5 在装备在役考核期间,可以同步开展测试性信息收集与评估工作,评估装备在役考核状态

下是否满足规定的测试性要求。

A. 7. 2. 3. 6 在装备使用期间,应继续收集测试性信息,评估装备在使用条件下达到的测试性水平,确定是否满足规定的测试性要求,为改进测试性、完善使用与维修工作以及新研制装备的论证提供支持。

A. 7. 2. 3. 7 测试性评估应采用产品及其组成部分的实际使用数据,包括在使用、维修等过程中产生的各种测试性信息,当数据不足时可使用试验数据等进行综合评估。

A. 7. 2. 3. 8 测试性评估工作,应由试验鉴定管理部门建立的相应工作组进行,并对实际使用数据的故障、检测、隔离、虚警、时间等进行确认。

A. 7. 2. 3. 9 故障检测率评估需要统计的样本量是产品发生的责任故障次数,根据故障的原始记录可以确认规定的检测手段,如 BIT、外部测试设备等,能检测并给出报警信息的,判为可以正确检测的故障;故障隔离率评估需要统计的样本量是产品能被正确检测的故障次数,根据故障的原始记录可以确认规定的手段给出的报警信息满足规定隔离模糊度要求的,作为可以正确隔离的故障;虚警率评估需要统计的样本量是产品的报警次数,根据报警的原始记录和相关工作确认是没有发生故障的,作为虚警;平均虚警间隔时间评估还需要统计产品的运行时间。

A. 7. 2. 3. 10 故障检测率、故障隔离率、平均虚警间隔时间采用单侧置信下限进行评估,当故障检测率、故障隔离率的要求值为 100%时,可以采用点估计;虚警率采用单侧置信上限进行评估;其他的时间类参数可采用点估计进行评估。

A. 7. 2. 3. 11 最小样本量是定数最低可接受值试验方案中合格判定数等于零时的样本量。故障检测率、故障隔离率和虚警率在评估中统计样本量低于最小样本量条件时,具备实施条件的,应补充必要的故障注入试验,不具备条件的应注明低于最小样本量。

A. 7. 2. 3. 12 针对测试性定性要求,应逐条判断是否得到满足,并给出相应的判别说明。

A. 7. 2. 3. 13 测试性评估前,应制定测试性评估大纲,评估后应编写测试性评估报告。对于作战试验和在役考核,测试性评估大纲和测试性评估报告可以并入装备级大纲和报告中。

A. 8 使用期间测试性评价与改进

A. 8. 1 一般考虑

A. 8. 1. 1 500 系列规定的两个工作项目 501 和 502,是装备在使用期间非常重要的测试性工作,通过实施 500 系列工作项目达到以下目的:

- a) 利用使用过程中收集的测试性信息,确定是否满足装备使用要求,当不能满足时,可提出改进的要求和建议;
- b) 针对发现的测试性缺陷,组织实施改进措施,提高装备的测试性水平;
- c) 为装备的使用、检测和维修提供管理信息,为装备的改型和确定研制新装备的测试性要求提供依据等。

A. 8. 1. 2 工作项目 501、502 彼此之间是密切相关的,使用期间测试性信息收集(501)是测试性改进(502)的基础和前提。使用期间测试性信息收集的内容、分析的方法等应充分考虑测试性改进对信息的需求。应注意两项工作的信息传递、信息共享,减少不必要的重复,使测试性信息的收集和改进工作协调有效地进行。

A. 8. 1. 3 工作项目 501、502 是装备使用期间装备管理的重要内容,应与装备的其他管理工作相协调,统一管理。使用期间测试性信息的收集是装备信息管理的重要组成部分,应统一纳入装备的信息管理系统。测试性改进也是装备改进的一部分,需要经过统一协调与权衡来确定。

A. 8. 2 工作项目 500 系列

A. 8. 2. 1 使用期间测试性信息收集(工作项目 501)

A. 8. 2. 1. 1 应建立严格的信息管理和责任制度。明确规定信息收集与核实、信息分析与处理、信息传

递与反馈的部门、单位及其人员的职责。

A. 8.2.1.2 进行使用期间测试性信息需求分析,对测试性评价及改进工作的信息需求进行分析,确定测试性信息收集的范围、内容和程序等。测试性信息一般应包括

- a) 对每个证实的故障信息,包括:
 - 1) 测试的环境条件(使用中、基层次或中继级);
 - 2) 测试方法(BIT、ATE 或人工);
 - 3) 测试程度(隔离的产品层次和模糊度);
 - 4) 信息的显示与存储;
 - 5) BIT 与 ATE 检测结果的一致性。
- b) 对每个故障报警或指示而未证实的故障信息,包括:
 - 1) 报警的性质(虚警、CND);
 - 2) 产生报警的频度;
 - 3) 引起报警的原因;
 - 4) 忽视报警的潜在后果;
 - 5) 与虚警相关的(任务失败、降级工作、系统停机等)维修费用和使用费用。
- c) 使用中发现的测试性缺陷。
- d) 系统的累计运行时间。
- e) 测试用时间、测试费用、测试日期与测试单位。

A. 8.2.1.3 使用期间测试性信息收集工作应规范化。按 GJB 1775 等标准的规定统一信息分类、信息单元、信息编码,并建立通用的数据库等。

A. 8.2.1.4 应组成专门的小组,定期对测试性信息的收集、分析、贮存、传递等工作进行评审,确保信息收集、分析、传递的有效性。

A. 8.2.2 使用期间测试性改进(工作项目 502)

A. 8.2.2.1 确定的测试性改进项目,应该是那些对使用安全和状态监测、减少维修消耗时间、降低维修技术难度、降低使用费用有重要影响和效果的项目。

A. 8.2.2.2 测试性改进是装备改进的重要内容,应与装备的其他改进项目进行充分的协调和权衡,以保证总体的改进效益。根据使用中发现的测试性问题,通过必要的分析或试验,确定需要改进的项目。

A. 8.2.2.3 涉及改进产品测试性设计的问题,应与承制方协商确定改进方案,承制方应配合落实有关改进工作。

A. 8.2.2.4 使用期间测试性改进方案应进行评审,评审通过并获得批准后由承担测试性改进任务的单位(一般为原承制方)实施。

A. 8.2.2.5 使用期间装备测试性的改进方法应依据具体问题确定,主要途径包括:

- a) 改进产品测试性设计,如调整检测门限、修正故障判别和诊断程序等;
- b) 改进维修检测与使用方法;
- c) 改进有关测试设备及保障系统;
- d) 选用测试性好的新产品替换有问题的产品等。

A. 8.2.2.6 使用期间测试性改进方案的实施结果应由实施方提交完整的设计文档,以及改进后该装备的测试性试验验证报告。

A. 8.2.2.7 测试性改进应有专门的组织负责管理,其主要职责是

- a) 组织论证并确定测试性改进项目;
- b) 制定测试性改进计划;

GJB 2547B—2024

- c) 组织对改进项目、改进方案的评审;
 - d) 对改进的过程进行跟踪;
 - e) 组织改进项目的验证;
 - f) 编制测试性改进项目报告等。
-

中 华 人 民 共 和 国
国家军用标准
装备测试性工作通用要求
GJB 2547B—2024

*

国家军用标准出版发行部出版
(北京东外京顺路7号)
国家军用标准出版发行部印刷车间印刷
国家军用标准出版发行部发行
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 4 字数 126 千字
2024 年 9 月第 1 版 2024 年 9 月第 1 次印刷

*

军标出字第 16172 号