

高等学校通用教材

系统测试性 设计分析与验证

田 仲 石君友 编著



 北京航空航天大学出版社
<http://www.buaapress.com.cn>

高等学校通用教材

系统测试性设计分析与验证

田 仲 石君友 编著

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

内 容 简 介

测试性(testability)是使系统和设备的监控、测试与诊断简便而且迅速的一种设计特性,与系统维修性、可靠性和可用性密切相关。本书全面介绍了测试性设计分析与验证的有关理论和方法。内容包括:测试性和诊断概念、度量参数和指标、测试性要求和诊断方案、测试点与诊断策略、指标分配和预计以及测试性设计和验证等技术及方法。

本书注意科学性与实用性相结合,既可作为大专院校相关专业的教材、参考书,也可作为从事维修性、测试性及测试与诊断等工程技术和研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

系统测试性设计分析与验证/田仲等编著. —北京:北京
航空航天大学出版社,2003.4
ISBN 7-81077-297-X

I. 系… II. 田… III. 系统可靠性—测试
IV. N945.17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 023533 号

系统测试性设计分析与验证

田 仲 石君友 编著

责任编辑 刘晓明

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: bhpress@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:27 字数:691千字

2003年4月第1版 2003年8月第2次印刷 印数:2 001-4 000册

ISBN 7-81077-297-X 定价:32.00元

前 言

科学技术的进步,特别是计算机技术和大规模集成电路的广泛应用,在改善和提高系统、武器装备性能的同时,也大大增加了系统的复杂性。这势必带来测试时间长、故障诊断困难和使用保障费用高等问题,从而引起了人们的高度重视。研究人员展开了大量的系统测试和诊断问题的研究,要求在设计研制过程中使系统具有自检测和为诊断提供方便的设计特性,即测试性。20世纪80年代以来,测试性和诊断技术在国外得到了迅速发展,出现了大量的文章和研究报告,颁布了一系列军用标准,并贯彻到武器系统的研制中,取得了明显效益。测试性逐步形成了一门与可靠性、维修性并行发展的学科分支。

测试性是系统和设备的一种便于测试和诊断的重要设计特性,对现代武器装备及各种复杂系统特别是对电子系统和设备的维修性、可靠性和可用性有很大影响。具有良好测试性的系统和设备,可以及时、快速地检测与隔离故障,提高执行任务的可靠性与安全性,缩短故障检测与隔离时间,进而减少维修时间,提高系统可用性,降低系统使用保障费用。

测试性研究是一门新兴的学科,我国在这方面的研究起步较晚。近些年来,有关部门已经开展了不少的研究工作,颁布了测试性军用标准,在新型号研制中提出了测试性要求,开展了有关设计工作。但总的来说,我国还是处于测试性技术发展的初级阶段,测试性知识尚不普及,教学上缺少教材,工程应用上缺少设计指南,实践经验也不多。编写本书的出发点是为测试性教学和工程应用方面提供参考资料,希望能在促进我国测试性和诊断学科发展方面做些有益的工作。

本书是在多年科研、教学和参与设备研制的基础上,吸收国内外测试性研究成果,参考有关标准、文章、研究报告和图书编写而成的。书中全面阐述了测试性与诊断、参数和指标、设计工作项目、测试性要求和诊断方案、测试点与诊断策略、指标分配和预计以及测试性设计和验

证等技术及方法。测试性和机内测试(BIT)技术是首先在航空电子领域发展起来的,所以许多基础理论是针对电子系统和设备的,不少内容是以航空机载设备为例说明的。但本书介绍的测试性基本设计分析思想和技术,各类系统和设备均可参照应用。

考虑到教学和工程应用的需要,编写本书时注意到了科学性和实用性,力求结合国情,从系统性和工程实用观点出发组织有关章节内容。希望它能作为贯彻测试性国家军用标准的应用指南,并成为一本有用的教学参考书,为从事测试性和诊断技术研究的工程技术人员提供参考。

本书共分13章,其中第9章由石君友编写,其余各章由田仲编写。在该书编写过程中,单位领导和同事们给予了热情的支持和帮助。王晓峰副教授参与了本书的校对工作;康锐教授审阅了本书主要章节;曾天翔研究员审阅了全书,提供了宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢。

测试性是一门新兴学科,正处在发展之中。鉴于编者水平有限,对于书中的错误和疏漏之处,恳请读者谅解和指正。

编 者

2002年7月

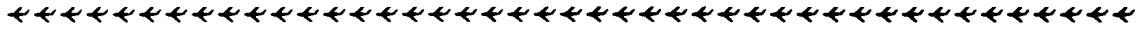
目 录

第 1 章 绪 论

1.1 故障、诊断与测试性的基本概念	1
1.1.1 故障及其后果	1
1.1.2 故障诊断	4
1.1.3 测试性和机内测试	8
1.1.4 综合诊断	13
1.2 测试性及诊断技术的发展	13
1.2.1 由外部测试到机内测试	13
1.2.2 测试性成为一门独立的学科	14
1.2.3 综合诊断、人工智能及 CAD 的应用	15
1.2.4 国内测试性发展现状	17
1.3 测试性/BIT 对系统的影响	17
1.3.1 对维修性的影响	17
1.3.2 对可靠性的影响	18
1.3.3 对可用性和战备完好性的影响	19
1.3.4 对寿命周期费用的影响	19
1.3.5 测试性/BIT 影响分析实例	21
1.4 常用测试性与诊断术语	23
习 题	27

第 2 章 测试性和诊断参数

2.1 概 述	28
2.2 参数定义及说明	29
2.2.1 故障检测率	29
2.2.2 关键故障检测率	31
2.2.3 故障隔离率	32
2.2.4 虚警率	34
2.2.5 故障检测时间	35
2.2.6 故障隔离时间	35
2.2.7 系统的故障检测率和隔离率	35
2.2.8 不能复现率	36
2.2.9 台检可工作率	37
2.2.10 重测合格率	37



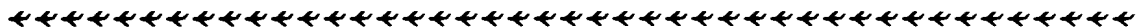
- 2.2.11 误拆率 37
- 2.2.12 BIT/ETE 可靠性 38
- 2.2.13 BIT/ETE 维修性 38
- 2.2.14 BIT/ETE 平均有效运行时间 38
- 2.2.15 虚警与 CND 及 RTOK 的关系 38
- 习 题 40

第 3 章 测试性设计与管理工作的概述

- 3.1 测试性工作项目及说明 41
 - 3.1.1 测试性工作项目 41
 - 3.1.2 测试性工作项目说明 42
 - 3.1.3 测试性与其他专业工程的接口 46
- 3.2 系统各研制阶段的测试性工作 47
 - 3.2.1 要求和指标论证阶段 47
 - 3.2.2 方案论证和确认阶段 47
 - 3.2.3 工程研制阶段 48
 - 3.2.4 生产阶段和使用阶段 48
- 3.3 测试性设计的目标和内容 49
 - 3.3.1 设计目标 49
 - 3.3.2 设计内容 49
- 3.4 测试性设计工作流程 50
 - 3.4.1 各研制阶段测试性工作流程 50
 - 3.4.2 与系统功能和特性设计并行的测试性设计流程 52
 - 3.4.3 多级测试性设计流程 53
 - 3.4.4 UUT 测试性与诊断设计流程 53
- 3.5 测试性设计工作的评价与度量 54
 - 3.5.1 测试性设计分析报告 54
 - 3.5.2 测试性与诊断有效性评价 55
 - 3.5.3 产品对使用要求的符合性评价 57
- 习 题 57

第 4 章 测试性与诊断要求

- 4.1 概 述 58
- 4.2 确定测试性与诊断要求依据分析 59
 - 4.2.1 任务要求分析 59
 - 4.2.2 系统构成特性分析 59
 - 4.2.3 使用和保障要求分析 60
 - 4.2.4 可利用新技术分析 60
- 4.3 测试性与诊断要求的内容 61



第 6 章 测试性与诊断要求分配

- 6.1 概 述 115
 - 6.1.1 测试性分配的指标 115
 - 6.1.2 进行测试性分配工作的时间 115
 - 6.1.3 测试性分配工作的输入和输出 115
 - 6.1.4 测试性分配的模型和要求 116
- 6.2 等值分配法和经验分配法 119
 - 6.2.1 等值分配法 119
 - 6.2.2 经验分配法 119
- 6.3 按系统组成单元的故障率分配法 119
- 6.4 加权分配法 121
- 6.5 综合加权分配法 123
 - 6.5.1 测试性分配模型和工作程序 123
 - 6.5.2 综合主要影响因素的加权分配方法 124
 - 6.5.3 只考虑复杂度时的分配方法 125
 - 6.5.4 只考虑重要度时的分配方法 126
- 6.6 有部分老产品时的分配方法 127
- 6.7 优化分配方法 128
 - 6.7.1 优化分配的数学模型 128
 - 6.7.2 解法介绍 128
 - 6.7.3 算法及步骤 130
 - 6.7.4 目标函数和约束函数的选择 130
 - 6.7.5 应用举例 135
- 习 题 139

第 7 章 固有测试性设计与评价

- 7.1 固有测试性设计 140
 - 7.1.1 划 分 140
 - 7.1.2 功能和结构设计 142
 - 7.1.3 初始化 142
 - 7.1.4 测试控制 144
 - 7.1.5 测试观测 148
 - 7.1.6 元器件选择 149
 - 7.1.7 其 他 150
- 7.2 测试性设计准则 150
 - 7.2.1 电子功能结构设计 150
 - 7.2.2 电子功能划分 150
 - 7.2.3 测试控制 151

7.2.4	测试通路	151
7.2.5	元器件选择	152
7.2.6	模拟电路设计	152
7.2.7	大规模集成电路、超大规模集成电路和微处理器	153
7.2.8	射频(RF)电路设计	153
7.2.9	光电(EO)设备设计	154
7.2.10	数字电路设计	154
7.2.11	机内测试(BIT)	156
7.2.12	性能监控	156
7.2.13	机械系统状态监控	156
7.2.14	诊断能力综合	157
7.2.15	测试要求	157
7.2.16	测试数据	157
7.2.17	测试点	157
7.2.18	传感器	158
7.2.19	指示器	159
7.2.20	连接器	159
7.2.21	兼容性	160
7.3	固有测试性评价	160
7.3.1	通用设计准则剪裁原则	161
7.3.2	简单分析评价方法	161
7.3.3	加权评分法	161
7.4	印制电路板测试性评价方法	164
7.4.1	方法概述	164
7.4.2	测试性评价因素及其评分	165
习 题	170

第 8 章 测试点与诊断策略

8.1	简单 UUT 的测试点和诊断策略	171
8.1.1	依据已知数据确定诊断策略	171
8.1.2	依据 UUT 构型确定诊断策略	171
8.2	复杂系统的诊断策略	174
8.2.1	分层测试策略	174
8.2.2	UUT 测试点和优化测试顺序	175
8.2.3	复杂系统诊断的基本原理	175
8.3	基于相关性模型的诊断方法	177
8.3.1	有关假设和定义	177
8.3.2	相关性建模	178
8.3.3	优选测试点制定诊断策略	180



- 8.3.4 考虑可靠性和费用的影响 186
- 8.3.5 应用举例 189
- 8.3.6 基于相关性的诊断方法小结 198
- 8.4 最少测试费用诊断策略设计 199
 - 8.4.1 诊断树费用分析方法 199
 - 8.4.2 诊断子集费用优选方法 201
 - 8.4.3 有用诊断子集分析方法 204
 - 8.4.4 有用诊断子集分析示例 205
- 8.5 基于故障树分析的故障诊断方法 209
 - 8.5.1 故障树分析 209
 - 8.5.2 利用 FTA 确定测试顺序 210
 - 8.5.3 举 例 212
- 习 题..... 213

第 9 章 测试性/BIT 设计技术

- 9.1 系统测试性设计 214
 - 9.1.1 系统测试性顶层设计 214
 - 9.1.2 系统测试性设计指南 216
- 9.2 系统 BIT 设计 219
 - 9.2.1 系统 BIT 顶层设计 219
 - 9.2.2 系统 BIT 设计指南 229
- 9.3 常用 BIT 设计技术 230
 - 9.3.1 数字 BIT 技术 231
 - 9.3.2 模拟 BIT 技术 244
 - 9.3.3 环绕 BIT 技术 246
 - 9.3.4 冗余 BIT 技术 249
 - 9.3.5 动态部件 BIT 技术 252
 - 9.3.6 功能单元 BIT 实例 253
- 9.4 测试点的选择与设置 257
 - 9.4.1 测试点类型 257
 - 9.4.2 测试点要求 258
 - 9.4.3 测试点选择 258
 - 9.4.4 测试点设置举例 259
- 9.5 测试性设计应注意的问题 262
 - 9.5.1 可靠性分析是测试性设计的基础 262
 - 9.5.2 确定合理的测试容差 263
 - 9.5.3 采取必要的防止虚警措施 266
 - 9.5.4 注意测试性增长工作 267
- 习 题..... 269

第 10 章 BIT 虚警问题及降低虚警率方法

10.1	BIT 虚警问题	270
10.1.1	虚警和虚警率的定义	270
10.1.2	已服役系统的虚警状况	272
10.1.3	国内虚警问题现状	275
10.2	BIT 虚警的影响	276
10.2.1	虚警对 BIT 有效性的影响	276
10.2.2	虚警对系统完成任务的影响	277
10.2.3	虚警对系统可靠性、维修性的影响	277
10.2.4	虚警对系统备件的影响	277
10.3	产生虚警的原因	277
10.3.1	虚警原因综述	278
10.3.2	I 类虚警的原因	279
10.3.3	II 类虚警的原因	280
10.4	降低虚警率的方法	283
10.4.1	确定合理的测试容差	284
10.4.2	确定合理的故障指示、报警条件	287
10.4.3	提高 BIT 的工作可靠性	294
10.4.4	环境应力的测量与应用	297
10.4.5	灵巧 BIT——人工智能技术的应用	301
10.4.6	灵巧 BIT 与 TSMD 综合系统	303
10.4.7	其他方法	305
10.5	降低虚警率方法总结	307
	习 题	308

第 11 章 系统测试性与诊断的外部接口

11.1	BIT 信息的显示与输出	309
11.1.1	BIT 测试能力和 BIT 信息内容	309
11.1.2	通过指示器、显示板输出信息	314
11.1.3	通过 BIT 结果读出器、维修监控板和显示器输出信息	315
11.1.4	通过中央维修系统/综合监控系统输出 BIT 信息	317
11.1.5	通过打印机、磁带/磁盘和 ACARS 输出 BIT 信息	323
11.1.6	利用外部测试设备输出和采集 BIT 信息	324
11.2	UUT 与 ATE 的兼容性	325
11.2.1	兼容性一般要求	325
11.2.2	兼容性详细要求	325
11.2.3	兼容性偏离的处理	326
11.2.4	兼容性评价	327



- 11.2.5 兼容性验证..... 331
- 11.3 测试程序及接口装置..... 331
 - 11.3.1 TPS 要求 332
 - 11.3.2 TPS 研制 334
- 习 题..... 336

第 12 章 测试性预计

- 12.1 概 述..... 337
 - 12.1.1 测试性预计的目的和参数..... 337
 - 12.1.2 进行测试性预计工作的时机..... 337
 - 12.1.3 测试性预计工作的输入和输出..... 338
- 12.2 工程常用预计方法..... 339
 - 12.2.1 BIT 故障检测与隔离能力的预计..... 339
 - 12.2.2 系统测试性预计..... 342
 - 12.2.3 LRU 测试性分析预计 344
 - 12.2.4 SRU 测试性分析预计 345
 - 12.2.5 其他参数的预计问题..... 346
- 12.3 概率方法..... 347
 - 12.3.1 常用方法存在的问题和故障责任数据..... 347
 - 12.3.2 概率方法的简单例子..... 349
 - 12.3.3 更复杂的例子..... 350
- 12.4 集合论方法..... 351
 - 12.4.1 专用测试的 FDR 351
 - 12.4.2 重叠覆盖的 FDR 352
 - 12.4.3 重叠覆盖的不相交和相交故障类的 FDR 355
 - 12.4.4 FIR 的计算..... 357
 - 12.4.5 集合论方法小结..... 359
- 习 题..... 362

第 13 章 测试性验证与评价

- 13.1 概 述..... 363
 - 13.1.1 测试性验证试验..... 363
 - 13.1.2 测试性验证的内容..... 363
 - 13.1.3 测试性验证试验与其他验证的关系..... 363
 - 13.1.4 测试性验证试验的时机和测试的产品..... 364
- 13.2 测试性验证的工作任务和程序..... 364
 - 13.2.1 测试性验证工作任务..... 364
 - 13.2.2 测试性验证工作程序..... 364
- 13.3 测试性验证的技术准备工作..... 365

13.3.1	关于试验的样本量	365
13.3.2	故障影响及注入方法分析	367
13.3.3	注入故障样本的分配及抽样	367
13.3.4	验证的产品及测试设备	369
13.4	测试性验证试验步骤与参数计算	369
13.4.1	试验步骤	369
13.4.2	参数计算	370
13.4.3	接收/拒收的判定	370
13.5	验证试验方案及结果判定	371
13.5.1	成败型定数抽样试验方案	371
13.5.2	最低可接受值试验方案	381
13.5.3	成败型截尾序贯试验方案	381
13.5.4	近似试验方案及判据	384
13.6	虚警率验证问题	385
13.6.1	数据来源	385
13.6.2	按可靠性要求验证	386
13.6.3	按成功率验证	386
13.6.4	考虑双方风险时的验证	387
13.6.5	近似验证方法	387
13.7	测试性参数估计	389
13.7.1	点估计	389
13.7.2	区间估计	389
13.7.3	近似估计	390
13.8	测试性综合评价	392
13.8.1	现有测试性验证方法的适用性	392
13.8.2	三阶段评定方法	393
13.8.3	综合分析评定	395
	习 题	396

附 录

附表 1	二项分布单侧置信下限	397
附表 2	二项分布单侧置信上限	400
附表 3	χ^2 分布分位数表	403
附表 4	BIT 信息表	405
附表 5	BIT 信息统计汇总表	406

常用英文缩略语

参考文献

第1章 绪论

1.1 故障、诊断与测试性的基本概念

1.1.1 故障及其后果

故障诊断和维修是研究系统和设备使用过程中与故障作斗争的理论和方法,而测试性、维修性和可靠性是从产品设计角度研究与故障作斗争的理论和方法。所以,研究测试性和诊断技术,必须首先对产品的故障有全面的了解。

1. 故障定义和分类

一个系统或一台设备不可能永远地正常运行下去。当工作不正常出现故障时,会发生各种情况。例如:

- ① 动作偶然失灵,但能很快恢复正常;
- ② 有异状,但短期内并不影响其完成功能;
- ③ 有异状,但性能指标尚没有明显下降,还能在一定时间内勉强维持运行;
- ④ 有异状,性能指标明显下降,需要退出运行进行检查和修理;
- ⑤ 已丧失正常功能,必须立即停止运行;
- ⑥ 已产生损坏现象,随即失去功能并自行停止运转;
- ⑦ 已发生破坏事件,造成严重损失或安全事故。

以上七种现象尽管表明设备“生病”程度和影响不同,但都属于故障现象。其中①~④项需要进行维修,以消除故障隐患,恢复设备的“健康”状况;而第⑤,⑥和⑦项,则已经错过检修时机而造成损失或事故。

通常,故障定义为产品不能执行规定功能的状态,即故障是产品已处于一种不合格的状况,是对产品正确状态的任何一种可识别的偏离,而这种偏离对特定使用者要求来说是不合格的,已经不能完成其规定功能。

产品合格与不合格、能否完成规定功能的判断,不仅取决于所研究产品的功能本身,而且还与产品的特性和使用范围有关。如航空发动机的滑油消耗量变大,对于短程飞行来说也许不会成问题;而远程飞行时,可能会把滑油耗光。又如,一个发动机仪表不正常了,对于多引擎的飞机不会造成飞行中断;而对于单引擎的飞机则显然是不行的。因此,不同使用部门所定的不合格标准可以是不相同的;但一个使用部门之内,则应把合格与不合格界线加以统一规定,给出明确的故障定义。

产品不合格状态的范围可以是,从完全丧失其完成规定功能的能力,到表明很快就要丧失这种能力的某种实际迹象。因此,对于维修来说还需把故障进一步分为功能故障和潜在故障。

功能故障是指产品(部件、设备或系统等)不能满足其规定的性能指标或丧失其完成规定



功能的能力。产品丧失其一种或几种规定功能当然是功能故障。除此之外,产品性能明显下降,工作时不能达到规定的性能水平也是功能故障。例如,一个电子表,有显示时、分、秒、日期和音乐报时等功能。如丧失了其中任一种或两种功能,都是功能故障。也会有这种情况,虽然表还在走,但每天的误差可达半小时,这也不能说表的功能是正常的。

潜在故障是一种指示产品即将发生功能故障的可能鉴别的实际状态,是与定义功能故障的产品性能标准直接相关的。例如,轮胎的胎面橡胶的功能之一是提供可以翻新的表层,保护轮胎的胎身使之能够翻新。轮胎在使用过程中会逐渐磨去胎面胶,如果这种磨损到了使轮胎不能翻新的程度,那么功能故障就发生了。为了防止发生这种功能故障,必须定义潜在故障为危及胎身前的某一个磨损点;定期检测胎面胶的磨损量,达到潜在故障标准时就进行更换。这样,就可以在不产生功能故障后果的情况下,使轮胎得到最大限度的利用。

在电子设备和计算机中,往往很难找出定义潜在故障的耗损特征值,或许不存在这种耗损特性。这类设备故障特征与上例胎面胶磨损不同,按其特点,有如下一些故障分类方法:

(1) 永久故障与间歇故障

所谓永久故障是测试期间一直存在的故障,故障现象在一定时间内是固定不变的。造成这类故障的原因多是构成系统、设备的物理器件损坏,以及参数偏离正常值、电路断路或短路等;计算机软件本身如有错误,有时也表现一定的“永久性”影响效果。

间歇故障是时有时无的,不是一直出现在检测过程中。这类故障多数是由于接触不良、元件老化、噪声、临界定时和过窄的容限等原因引起的。何时出现故障特性,带有一定的随机性。但是,有许多间歇故障最后将会演变成永久性故障。

(2) 系统故障与局部故障

系统故障是指影响到系统运行的全局性故障。这时系统可能出现如下情况:停止运行或永不停止运行;系统可以执行程序但结果总是错的。如计算机系统时钟故障就是影响全局的系统故障。局部故障只影响整个系统的某一部分,如某个一般的逻辑部件发生故障,但不影响全局。

(3) 硬件故障与软件故障

硬件故障是指构成系统或设备的物理器件参数偏离规定值或者完全损坏所造成的故障;而软件故障是指软件本身蕴含的错误所导致的结果。软件故障一般是在软件设计和编写过程中造成的。在计算机软件生产中,由于软件工程的复杂性,加之缺乏统一的科学管理和生产制度,出现软件错误往往是不可避免的,所以软件可靠性已成为人们共同关心的一个重要问题。

(4) 定值故障与非定值故障

定值故障是数字电路中输出固定为“0”(s—a—0)或固定为“1”(s—a—1)的故障。非定值故障是除固定为“1”或“0”以外的其他数字电路故障。

(5) 单故障与多故障

单故障是指测试时间内被测对象只有一个故障,常见于运行中的设备或系统;多故障是指被测对象同时存在多个故障,常见于新研制出来的设备。

故障类型不同,检测与诊断方法也不同。一般检测和诊断永久故障、硬件故障、定值故障及单故障相对比较容易些,而检测和诊断间歇故障、软件故障、非定值故障及多故障较困难些。许多检测与诊断方法都是对前者而言的,这是读者学习检测诊断方法时应注意的。



2. 故障影响后果

各种故障,不管它属于哪一类,只要存在就终究会产生程度不同的影响,带来不良后果。这也正是人们重视故障,并力争消除故障的原因。故障的影响可大可小,其范围包括从检测、修理或更换故障器件所花费用,直到损坏设备和危及人员安全等。故障的影响后果决定了故障检测、诊断和维修工作的优先顺序,以及要不要改进设计来防止该故障的发生。

一般说来,系统或设备越复杂,故障率越高,故障模式也越多。不管故障模式、类型有多少,所有的故障后果都可以归纳为以下四类。

(1) 安全性后果

发生故障会对设备使用安全性有直接不利的影响,其后果可能会引起人身伤害,甚至机毁人亡。安全性后果除来源于对使用安全有直接影响的功能丧失外,还可能来自因某种功能丧失所造成的继发性二次损伤。

(2) 使用性后果

这是故障对设备使用能力有直接不利影响的故障后果。它包括间接的经济损失(如原工作进度的拖延、停工等造成的损失)和直接的修理费用。所以,每当因排除故障而打断计划好的设备正常运行时,则该故障就是有使用性后果的。

(3) 非使用性后果

故障对设备的使用能力没有直接不利的影响,只影响直接的修理费用(经济性后果)。例如,配有多余度领航系统的飞机,一个领航装置出了故障,另外的领航装置保证所要求功能的可用性,仍可完成领航任务。因此在这种情况下,确定潜在故障的目的就是尽可能防止发生功能故障,把故障后果降低到只有非使用性后果的程度。

(4) 隐患性后果

有些故障没有直接的不利影响,但是增加了发生多重故障的可能性,隐含着可能产生直接的不利影响,属于隐蔽功能项目的故障后果。所谓隐蔽功能就是其故障时对于在履行正常职责的使用者来说是不明显的功能。如火警探测系统,平时是工作着的;而它的传感器功能是隐蔽的,若出了故障也是隐蔽的。当有火情时,如果因传感器故障而未报警就会导致严重后果。再如灭火系统,平时是不工作的,没有火警不需要灭火时也表现不出它的功能。如果这些隐蔽功能故障没有及时发现和排除,最终就可能造成严重的后果。

所有的故障后果都是系统或设备的设计特性所决定的,而且也只有从设计上采取改进措施才能改变故障后果。例如,安全性后果可能运用余度技术而降低为经济性后果;隐蔽功能可以通过配用自检装置或其他设计方法变成明显功能,从而改变其隐蔽性后果。

此外,故障的检测和诊断也与系统和设备的设计特性密切相关。如果设计时考虑到了故障检测与诊断的要求,设计了必要的自检功能和与外部测试设备的接口等,为测试提供最大的方便,则检测与诊断故障就很容易进行;否则诊断故障将会是很难的,特别是对于复杂的电子系统和设备更是如此。

在设计过程中,如何考虑具有不同影响后果的故障,如何为检测和诊断故障提供最大的方便,从而提高测试性水平,是本书将要论述的中心内容。