

计算机系统可靠性

〔英〕 R.朗博顿 著

张复 吴仲贤 译 游鄂毓 校

国防工业出版社

计算机系统可靠性

〔英〕 R.朗博顿 著

张 复 吴仲贤 译

游鄂毓 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地讨论了从微型机到大型机的各类计算机系统的可靠性,其中包括计算机可靠性的标准、影响可靠性的因素、预测可靠性的技术、应用中预测计算机使用效率的简易方法以及检测程序等。书中还介绍了接收试验新机器的鉴定规程,并统计了计算机的各种设备在运行中的故障数据,以供预测各种设备的可靠性和排除各种故障借鉴。书中的大部分内容是原书著者从事计算机应用工作多年的经验。本书可供从事电子计算机的应用、制造、设计和研究的科技人员、有关专业的大专院校师生以及技术管理干部参考。

COMPUTER SYSTEM RELIABILITY

Roy longbottom

JOHN WILEY & SONS

1980

*

计算机系统可靠性

〔英〕R. 朗博顿 著

张 复 吴仲贤 译

游鄂毓 校

责任编辑:张均武

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 $1/32$ 印张 $10\frac{1}{2}$ 270千字

1988年9月第一版 1988年9月第一次印刷 印数: 0,001—4,380册

ISBN7-118-00257-7/TP25 定价: 5.95元

译 者 的 话

本书全面而系统地向从事计算机使用和维护、制造、设计和研究的有关人员介绍了有关计算机系统（其中包含大、中、小型机、超小型机、微处理机、各种常用的外围设备、通信子系统及软件等）的可靠性、可用性、可服务性和可维护性的概念和基本理论依据，并介绍了大量的实用数据、图表和实用计算方法。从书中可以看出，这些内容是从长期实际工作经验中总结出来的，所以很有实际参考价值。当今计算机已深入社会各个领域。为加速我国社会主义现代化的建设，计算机的应用也正在不断地向前发展。值此大力推广计算机应用之际，我们将其译出，相信会对提高计算机在“四化”建设中的经济效益有所帮助。

我们向从事计算机应用、制造、设计和研究的有关人员，以及大专院校师生、技术管理干部推荐此书。

由于译者水平有限，错误在所难免，恳请读者指正。

原 书 序 言

撰写本书的目的在于阐明计算机系统可靠性评定的复杂性。书中内容主要是根据作者十八年来的下述实际工作经验写成的：可靠性统计数据分析；鉴定新的计算机系统；评价可维护性技术；确定和监督接收试验过程；为需要计算机系统（从超小型计算机到最大型的民用计算机系统）的工程项目提供比较方案。

本书试图为计算机系统的可靠性、可用性、使用效率、可服务性和可维护性的各个具体方面提供一种标准和说明，以扩大计算机的设计、生产、维护和使用人员的知识；在某种程度上，也是为那些需要作进一步研究，以了解如何设计可靠计算机系统的人员指出方向。

本书第一章对下述问题进行了分析：为什么人们可能会对计算机系统的平均故障间隔时间(mtb_f)这一标准的可靠性术语产生误解？当采用标准的可靠性预测技术时，为什么计算机用户见到的可靠性与制造厂家预定的可靠性指标有所不同？

第二章说明了可靠性如何随时间变化，特别说明可靠性同理论上的可靠性的稳定和耗损浴盆曲线的差异。这里，老炼时间可能高达10,000小时；耗损特性则主要取决于备件的效能和维护人员的能力。

第三章研究了包括设计和质量控制在内的质量问题。本章指出，质量控制应与设计相匹配，低劣的设计将要求很大范围的质量控制才能达到合理的可靠性水平；对于电子设备的可靠性，若应用不同，则其差异很大。对于运算速度相等的多台计算机，其中只有采用优质元件的计算机才有可能达到最高的可靠性。本章还指出现行设计要经常更改的细节，以及质量保证和控制技术的范围。

第四章研究了环境因素，其中讨论了温度、相对湿度、灰尘和电网变化对可靠性的影响，并给出了许多机种的厂家的技术规范。本章对空调要求，特别是超小型计算机的空调要求，也作了讨论。文中同时指出，可靠性也许取决于散热条件的程度比人们想像的要高。

第五章讨论了软件的可靠性，指明它与硬件可靠性的异同。本章示出了软件可靠性特性的各种图表，特别强调了引起整个系统故障的软件错误。

第六章讨论了用户所观察的硬件故障和软件错误的征兆，并回答了“计算机为何经常产生不可检错误”的问题。

第七章详细分析了停机时间特性以及对计算机的第二个主要可靠性术语——平均修复时间 (mttr) 可能出现的各种不同的解释。本章说明了为什么具有高维护性的系统，其平均停机时间仍可能“最长”。

第八章介绍了计算机系统的可服务性和可用性或工作时间百分比的不同测量方法，同时给出了不同的停机时间的影响和可靠性特性，以及在可靠性度量中非常重要的短期变化问题。

第九章讨论了现用系统的可维护性和容错特性，其中包括对工程测试程序的各种形式、构造方法、备件要求、错误检测、错误校正和记录设备等的分析。文中指出，由于提供诊断故障的各种设施要浪费资源，因此特别强调应着重再现间隙故障或瞬时故障。同时给出了测量可维护性和容错能力的各种方法，以及用户的短期可靠性效果和工程资源要求。

第十章介绍了对计算机系统接收试验的详细鉴定方法，指出了测量可靠性过程中的偏差。对接收试验的各种方式〔其中包括已采用过1500次以上的英国中央计算机总局 (CCA) 的标准试验及规程〕的优、缺点也作了介绍。

最后两章提供了各种大、中、小型处理机、超小型计算机、微处理机、通信用子系统、外围设备、软件，以及本书其他各章中所讨论的各种系统的可靠性和可服务性的各种实用预测方法。

同时，也给出了在实际应用中和所建议采用的各种方法中所得到的、以统计数据表示可靠性的例子。

附录中给出了可用作有效验收计算机系统的基础的各种程序。同时还给出了一种用于可编程序计算器的程序，它提供了一种简单的方法，以便预测在第十二章中详细介绍的计算机的可服务性。鉴于在本书的不少地方给出了与处理机速度相关的可靠性数据，因此，最后的附录中介绍了一种机器运算速度的计算方法，这是过去未曾介绍过的。

由于各人的专业不同，不可能要求许多人去详细研究本书的每一章节。计算机用户和咨询人员可参阅有关基本的软件错误和硬件故障、故障征兆、可用性测量、接收试验和实际可靠性预测等方面的章节。另一方面，从事设计或维护的工程师，可参阅有关设计质量考虑、环境因素、可维护性和停机时间特性等方面的章节。

目 录

第一章 失效问题	1
1.1 引言	1
1.1.1 浴盆曲线	1
1.2 理论可靠性预测	2
1.2.1 处理机模块	2
1.2.2 整个处理机	2
1.2.3 外围设备和系统	4
1.2.4 软件	5
1.2.5 失效定义问题	5
1.3 用户发现的故障	7
1.3.1 失效模式	7
1.4 失效概率	9
1.4.1 指数分布	9
1.4.2 泊松分布	11
第二章 随时间变化的可靠性	13
2.1 可靠性的稳定过程	13
2.1.1 早期故障	13
2.1.2 处理机群的可靠性	16
2.1.3 第一台产品模型	17
2.1.4 试用期	19
2.1.5 干扰故障	20
2.2 耗损性故障与寿命预测	20
2.2.1 一般电子设备	20
2.2.2 计算机	21
2.2.3 备份器件	23
2.2.4 外围设备	23
2.2.5 维护支援	23
2.2.6 维护费用	24
2.2.7 工作量的增加和改变	24
2.2.8 空调、电源等问题	25

第三章 质量考虑	26
3.1 设计问题	26
3.1.1 方法	26
3.1.2 最终的可靠性	27
3.1.3 设计质量	27
3.1.4 利用率的影响	28
3.1.5 新技术	30
3.2 更改	31
3.2.1 大型处理机	32
3.2.2 超小型计算机	33
3.2.3 最佳情况	35
3.3 质量保证	35
3.3.1 质量管理	35
3.3.2 设计限制	36
3.3.3 元件选择	38
3.3.4 构件质量控制	39
3.3.5 模块测试	40
3.3.6 部件测试	41
3.3.7 系统测试	42
3.3.8 包装和交货	43
3.3.9 故障信息反馈和故障分析	43
3.3.10 被忽略的方面	44
第四章 环境条件	46
4.1 空调	46
4.1.1 环境的影响	46
4.1.2 中型或大型系统的机房条件	47
4.1.3 适用于小型和超小型系统的机房条件	48
4.1.4 设计条件	49
4.1.5 中型和大型处理机的设计技术规范	49
4.1.6 小型计算机、超小型处理机和微型处理机的设计规范	49
4.1.7 大型系统外围设备设计技术规范	51
4.1.8 超小型和微型计算机的外围设备的设计技术规范	56
4.2 热损耗和空间要求	57
4.2.1 处理机	57
4.2.2 可靠性和热损耗	59

4.2.3	外围设备控制器和主存储器	61
4.2.4	主机外围设备	61
4.2.5	整个计算机系统	62
4.2.6	小型和超小型计算机系统热耗和空间要求	62
4.2.7	微处理机系统的热损耗和环境空间要求	63
4.3	空调要求	63
4.3.1	最大容许温度和热损耗	64
4.3.2	最小相对湿度	65
4.3.3	最大相对湿度	66
4.3.4	灰尘	67
4.3.5	空调装置费用	67
4.4	总电源	68
4.4.1	技术规范	68
4.4.2	保护措施	69
4.4.3	断开和接通对可靠性的影响	70
4.5	电磁辐射	71
4.5.1	技术规范	71
4.5.2	接地要求	71
4.6	冲击和振动	72
第五章	软件可靠性	73
5.1	与硬件比较	73
5.1.1	故障机理	73
5.1.2	错误率	74
5.1.3	校正	75
5.1.4	软件的早期情况	75
5.2	软件错误分类	75
5.2.1	用户发现的问题	76
5.2.2	用户提出的错误报告	76
5.2.3	厂家接受的错误报告	78
5.2.4	确定和校正的问题	79
5.2.5	总错误率	80
5.3	软件质量保证	80
5.3.1	体系配置	80
5.3.2	测试内容	80
5.3.3	测试持续时间	81

5.3.4	测试合格标准	81
5.3.5	测试组织机构	81
5.3.6	测试的效用	81
5.4	软件服务	82
5.4.1	积压	82
5.4.2	响应时间	82
5.4.3	优先权	83
5.4.4	可服务性、停机时间和系统故障	83
5.5	可靠性随时间的变化	85
5.5.1	平均长期效应	85
5.5.2	平均短期效应	85
5.5.3	单个系统短期效应	88
5.6	与硬件比较的软件可靠性差异	89
5.6.1	不同厂家之间的差异	89
5.6.2	长期间变化	91
5.6.3	在相同型号计算机上的变化	91
5.6.4	短期间的变化	92
5.7	软件可靠性的技术规范	93
第六章	故障征兆	94
6.1	失效后果	94
6.2	不可检错误	94
6.2.1	处理机	95
6.2.2	外围设备	97
6.2.3	厂家技术规范	99
6.2.4	总系统	101
6.3	用户记录的故障征兆	101
6.3.1	处理机	101
6.3.2	外围设备	102
6.4	软件故障征兆	105
6.4.1	控制操作系统	106
6.4.2	编译程序和汇编程序	107
第七章	停机时间和维修时间	108
7.1	停机时间定义	108
7.1.1	匹配的停机时间和故障分类	110
7.2	探查时间	111

7.2.1 小型计算机	111
7.2.2 超小型计算机	112
7.2.3 大型计算机	113
7.2.4 外围设备	115
7.3 用户观察到的停机时间	115
7.3.1 分布情况	117
7.3.2 维护效果	117
7.3.3 系统停机时间	118
7.4 外围设备停机时间	120
7.5 定期维护时间	120
7.6 补充维护时间	121
第八章 可服务性和可用性的比率	123
8.1 定义	123
8.2 历史情况	125
8.2.1 早期的系统	125
8.2.2 多道程序	125
8.2.3 加权系数	126
8.3 不同的结果	127
8.3.1 不同的测量方法	127
8.3.2 可服务性比率的范围	128
8.3.3 不同可靠性的影响	130
8.3.4 不同工作期限的影响	132
8.3.5 不同停机时间分布的影响	133
8.3.6 最坏情况的影响	133
第九章 可维护性和容错特性	137
9.1 定义	137
9.2 故障诊断	138
9.3 测试程序	138
9.3.1 诊断测试程序	139
9.3.2 功能测试程序	139
9.3.3 练习测试程序	140
9.3.4 交互式测试程序	143
9.3.5 联机测试程序	143
9.3.6 定时测试程序	145
9.3.7 兼容性测试程序	145

9.4 硬件测试设备	146
9.4.1 练习器	146
9.4.2 维护型处理机	147
9.5 模块测试器	147
9.6 结构模块化和功能模块化	149
9.6.1 结构模块化	149
9.6.2 功能模块化	150
9.6.3 大规模集成电路	152
9.7 边缘试验	154
9.7.1 电压容限	154
9.7.2 时序容限	155
9.7.3 温度容限	155
9.8 错误检测和校正	155
9.8.1 奇偶检验	155
9.8.2 错误校正	157
9.9 故障记录	158
9.9.1 历史记录	158
9.9.2 错误记录	158
9.9.3 操作台和显示设备	159
9.10 冗余和再配置	159
9.11 可恢复性	161
9.12 维护组织	162
9.12.1 维护费用	162
9.12.2 所要求的资源	162
9.13 维护和容错特性的效果	163
9.13.1 测量方法	163
9.13.2 短期效果	164
第十章 接收试验	167
10.1 试验的必要性	167
10.1.1 可靠性试验	168
10.1.2 设备检测和性能测量	171
10.1.3 支援服务	172
10.2 实际的接收试验	172
10.3 CCA的标准验收规程	173
10.3.1 演示	174

10.3.2	周期试验	176
10.3.3	监督员的作用	179
10.3.4	记录	180
10.3.5	试验计划表	180
10.3.6	验收结果	180
10.3.7	CCA验收规程的优缺点	185
10.3.8	CCA标准验收规程之前的验收规程	185
10.4	GSA验收规程	186
第十一章 实际可靠性计算		188
11.1	电子设备	188
11.1.1	概述	188
11.1.2	中央处理机	188
11.1.3	主存储器	192
11.1.4	体系结构的考虑	194
11.1.5	外围设备控制器	196
11.1.6	相对可靠性举例	197
11.1.7	探查时间	198
11.1.8	用户所观察到的异常现象和停机时间	199
11.2	外围设备	203
11.2.1	可换磁盘	203
11.2.2	影响可靠性的系数	204
11.2.3	磁带装置	206
11.2.4	外围设备综述	209
11.3	预测值举例	209
11.4	软件可靠性预测值	212
11.4.1	软件和硬件预测值的实例	215
11.5	从用户观点看服务质量	216
第十二章 复杂系统的实际可靠性和可服务性计算		218
12.1	装置的并联和串联	218
12.1.1	装置并联	218
12.1.2	装置串联	219
12.1.3	恢复系数	220
12.1.4	复杂的情况	222
12.2	总体系统计算	223
12.2.1	中型系统	223

XIV

12.2.2	短期的可服务性和可靠性	231
12.2.3	损伤工作时间	232
12.2.4	加权系数可服务性计算	232
12.2.5	定期维修	233
12.3	多处理机系统	233
12.3.1	信息转换系统	235
12.3.2	多超小型机系统	236
12.4	通信子系统	238
12.4.1	线路可靠性	238
12.4.2	调制解调器	241
12.4.3	终端	241
附录一	用 FORTRAN 写成的实用测试程序	247
A1.1	FOPR00 处理机测试	248
A1.2	FOPR01 处理机和存储器测试	250
A1.3	FOPR02 处理机测试	254
A1.4	FOPR03 处理机测试	256
A1.5	FOPR04 处理机测试	258
A1.6	FODK00 随机磁盘测试	264
A1.7	FODK01 磁盘测试或FOMT01 磁带装置测试	270
A1.8	FODK02 磁盘测试或FOMT00 磁带装置测试	280
A1.9	FODK03 磁盘测试或FOMT02 磁带装置测试	282
A1.10	FOLP00 行式打印机测试	288
A1.11	FOCP00 卡片穿孔机测试	298
A1.12	FOCR00 卡片阅读机测试	301
A1.13	FOTP00 纸带穿孔机测试	306
A1.14	FOTR00 纸带阅读机测试	308
附录二	用可编程序计算机计算复杂系统的可服务性	312
附录三	估算处理机的速度	321

第一章 失效问题

1.1 引言

电子计算机自从发明以来，其可靠性就一直是一个主要考虑的问题。在过去的年代里，由于出现了一些新的高可靠性技术，人们希望用户不再需要为这个问题担心。事实上，许多计算机用户对他们的计算机系统的可靠性远非满意，因而感到计算机厂家用其自称的高可靠性和高可用性指标欺骗了他们。实际上，机器一直不可靠的一些原因是很明显的，譬如说，机器系统越来越庞大和越来越复杂就是原因之一。但是，一个主要的原因是对可靠性没有充分理解。未能理解的首要问题就是“失效”(failure)这一术语。

1.1.1 浴盆曲线

在训练工程师期间，要讲授有关可靠性遵循图 1.1 所示的浴盆曲线方面的课程。此曲线表示了随时间变化的失效率（或故障

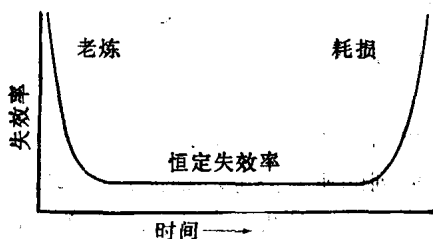


图1.1 浴盆曲线

率)。呈现高失效率的初始时期，在电子工业术语中称为“老炼”(burn-in)期；在机械学术语中称为“装调”(bedding-in)期。这种高失效率是由于器件的制造和装配缺陷所造成的。随后的期

间是器件的使用寿命期，其失效率是恒定的。最后的期间，是可靠性迅速恶化的耗损期。

浴盆曲线不完全适用于大多数计算机装置。由于最初设计不完全正确所带来的问题，或者由于没有预料到足够长的老炼期，因此恒定失效率在若干年里未能到达。初始时期之后，由于不同的应用或其他干扰因素所引起的变化，其可靠性远非恒定。通用计算机系统通常只要求有 5~10 年的寿命，所以，耗损失效常常不成什么问题。

1.2 理论可靠性预测

1.2.1 处理机模块

当一台计算机系统开始设计时，制造厂家通常要对被替换的模块、部件和整个计算机系统的最终稳定状态的可靠性进行计算。计算的结果将用作分析初始可靠性问题或进行资源分配的依据。一台典型的超小型计算机的处理机故障率的计算例子如表 1.1 所列。其计算内容包括每一个部件的元件数量和元件失效率，并应根据环境温度、电压和额定功率等的设计参数来考虑它们的加强系数；也应根据机器将来运行的环境，考虑其他的因素。其他更加精确的可靠性预测方法（譬如《军用手册 217 B》中所阐述的方法），可以对单个元件进行计算，而不是计算一个模块中总的元件数。因此，应考虑一些复杂的因素，诸如一个集成电路中门单元的数量等。

表 1.1 中列出的预测结果反映了一个影响预测值应用的主要问题。亦即对于所列的所有故障，都需要在工程维修中排除，并不是所有故障都会导致系统失效。例如，在控制面板上，大多数的预测故障都是由于指示灯引起的，而这种故障多半不会导致处理机停机。

1.2.2 整个处理机

整个处理机的总故障率是通过通过对各个部件的故障率进行累加而计算出来的。表 1.2 列出了一台具有两种主存规模的处理机的