

中华人民共和国国家标准

GB/T 24468—2009

半导体设备可靠性、可用性和维修性 (RAM)的定义和测量规范

Specification for definition and measurement of semiconductor equipment
reliability, availability and maintainability (RAM)

2009-10-15 发布

2009-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 Ⅲ

1 目的 1

2 范围 1

3 规范性引用文件 1

4 术语和定义 1

5 设备的状态 4

6 RAM 测量 8

7 不确定度测量..... 11

8 可靠性增长或退化的测量..... 13

9 集群设备 RAM 测量..... 13

附录 A（规范性附录） 置信限系数 14

附录 B（规范性附录） 集群设备 RAM 的测量 17

附录 C（资料性附录） 可靠性增长或退化模型 27

前 言

本标准修改采用 SEMI E10-0304《设备可靠性、可用性和维修性(RAM)的定义和测量规范》。

本标准与 SEMI E10-0304 相比,做了下列编辑性修改:

——第 4 章术语和定义按照国家标准的编写格式要求重新排列。

——本标准按照 GB/T 1.1 的要求对编号重新编排。

——本标准的附录 A 对应 SEMI E10-0304 中的附件 1。

——本标准的附录 B 对应 SEMI E10-0304 中的附件 2。

——本标准的附录 C 对应 SEMI E10-0304 中的相关信息 1。

本标准的附录 A、附录 B 是规范性附录,附录 C 是资料性附录。

本标准由全国半导体设备与材料标准化技术委员会提出。

本标准由全国半导体设备与材料标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:中国电子技术标准化研究所。

本标准主要起草人:黄英华、刘筠、张建勇、蒋迪宝。

半导体设备可靠性、可用性和维修性 (RAM)的定义和测量规范

1 目的

本标准通过提供半导体制造设备(以下简称设备)在制造环境下的可靠性、可用性和维修性(以下简称 RAM)性能的测量标准,为这种设备的用户和设备供应商建立一个交流的共同基础。

2 范围

2.1 本标准定义了设备的六个基本状态,所有的设备条件和阶段都必须归入这六个状态。设备的状态由功能决定,而不管是由谁来执行此功能。本规范中所涉及的设备可靠性的测量主要集中在设备失效和设备使用的关系上,而不是设备失效和设备经历的(日历)总时间之间的关系。

2.2 本标准第 5 章(设备的状态)定义了设备的时间是如何分类的,第 6 章(RAM 测量)确定了测量设备性能的公式。第 7 章(不确定度测量)给出了用统计学对计算出的性能量值进行评估的方法。

2.3 本标准的有效实施,要求设备的(RAM)性能可以通过设备的运行时间和周期进行跟踪。对设备状态的自动跟踪不属于本标准的范围,它由 SEMI E58 所覆盖。用户和供应商之间的清晰有效的沟通可以促进设备性能的不断提高。

2.4 本标准中的 RAM 指标可以在整个设备和分系统层次上直接应用于非集群设备,也可以在分系统层次(比如工艺模块)用于多路集群设备。

注:本标准不解决任何与标准使用相关的安全问题。本标准的用户有责任建立适当的安全和健康措施,并在使用前做出规定以及其他限制。

3 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

SEMI E35 半导体生产设备计量的主权成本

SEMI E58 自动化可靠性、可用性和维修性标准

SEMI E79 设备生产力的定义和测量标准

SEMI E116 设备性能跟踪规范

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

4.1

可靠性 reliability

在规定的条件下,设备在一定时间内执行其预定功能的能力。

4.2

可用性 availability

当需要时,设备处于可以执行其预定功能状态的可能性。

4.3

维修性 maintainability

在规定时间内,设备保持在或恢复到能够执行其预定功能的状态的可能性。

4.4

集群设备 cluster tool

由机械上互连的集成工艺模块(这些模块可能来自不同的制造商)组成的制造系统。

4.4.1

单路集群设备 single path cluster tool

只有一个加工流程的集群设备。

4.4.2

多路集群设备 multi-path cluster tool

具有一个以上独立的加工流程(例如相同型号的多个装载端口、多路真空锁、多个工艺处理室)的集群设备。

4.5

主机 host

代表工厂和用户与设备进行通信的智能系统,起监督作用。

4.6

保障工具 support tool

保障工具虽然不是设备的一部分,但是在正常的生产过程中它是与设备结合在一起而不可或缺的一部分(比如:盒子、硅片载具、探测卡、计算机化的控制器和监视器)。

4.7

单元 unit

任何硅片、衬底、芯片、封装的芯片或其中一部分。

4.8

操作人员 operator

在现场通过设备的控制面板与设备进行联系的任何人员。

4.9

用户 user

任何与设备进行互操作的实体,既可以是现场操作员,也可以是通过主机远程控制的人员。从设备的角度讲,操作员和主机都代表用户。

4.10

周期 cycle

设备系统或分系统的加工、制造或测试步骤的一个完整的工作顺序(包括单元的装载和卸载)。在单个单元的加工系统中,周期数等于加工的单元数;在批量生产系统中,周期数等于加工的批量数。

4.11

总时间 total time

测试周期内的所有时间(按一天24小时,一周7天计)。为了正确地描述总时间,设备的所有6个状态都必须计算在内,并被准确地跟踪。

4.12

非工作时间 non-scheduled time

设备没有被安排用于生产的时间。

4.13

工作时间 operation time

总时间减去非工作时间。

4.14

不能工作时间(DT) downtime

设备不处于执行其预定功能的状态的时间或不能执行其预定功能的时间。不能工作时间不包括非工作时间的任何部分。

4.15

能工作时间 **uptime**

设备处于能执行其预定功能的状态的时间。它包括生产、待机和工程时间,它不包括非工作时间。

4.16

制造时间 **manufacturing time**

生产时间和待机时间的总和。

4.17

预定功能 **intended function**

设备被制造出,用来执行的制造功能。它包括:传送设备的传送功能,测量设备的测量功能,也包括加工功能,如物理蒸发、沉淀和焊接引线。复杂的系统可能有不止一个预定功能。

4.18

维修 **maintenance**

使设备保持在或恢复到能够执行其预定功能状态的活动。在本标准中,维修指的是活动而不是组织;它包括调整、更换消耗品、软件升级、修复、预防性维修等,而不管是谁执行这些任务。

4.19

不能工作事件 **downtime event**

一个可以检测到的、对设备有重要影响并导致设备从正常工作状态转到计划或非计划不能工作状态的事件。

4.20

失效 **failure**

任何使得设备处于不能执行其预定功能的状态的非计划不能工作事件。任何零件的失效、软件或编程源程序问题、设施或电力设施的故障或人员的失误都可导致失效。

注:对失效进行分类和量化对促进问题的解决和提高设备的整体性能是非常重要的。本标准的使用需要设备供应商和用户之间对失效的分类达成一致。

4.21

设备相关失效 **equipment related failure**

任何只由设备引起的导致设备转到不能执行其预定功能状态的非计划事件。

4.22

产品 **product**

在生产时间被生产出来的单元(见单元)。

4.23

关启 **ramp down**

将设备准备到能够进行手工作业的状态所需的程序,是维修程序的一部分。它包括清洗、冷却、加热、备份软件、存储动态数据(例如参数,程序等)等。它只包括在计划和非计划不能工作时间内。

4.24

开启 **ramp up**

手工作业结束后,将设备恢复到能够执行其预定工作的状态的程序,属于维修程序的一部分。它包括开泵、预热、稳定阶段、常规初始化、加载软件、恢复动态数据值(例如参数,程序等),重新启动控制系统等。开启不包括设备或程序的测试时间,它包括在计划和非计划的不能工作时间内。

4.25

切断 **shutdown**

当设备进入非计划状态时将其转到安全状态所需时间。它包括达到安全状态所需的任何程序。切断只算在非工作时间内。

4.26

(设备操作)规范 specification (equipment operation)

设备在规定条件下达到一系列预定功能,它以文件的形式经过用户和供应商确认。

4.27

启动 start-up

在离开非计划状态时,设备达到可以执行其预定功能的状态所需的时间。它包括关系、预热、稳定阶段、常规初始化、加载软件、恢复动态数据值(例如参数,程序等)、重新启动控制系统等。它只包括在非工作时间内。

4.28

离线培训 training (off-line)

在设备运行时间外对人员进行的操作和/或维修的指导。它只算在非工作时间内。

4.29

现场培训 training (on the job)

在设备处于正常的工作功能的状态下对人员进行的操作和/或维修的指导。现场培训通常不中断工作或维修活动,因此可以被计算在任何设备状态内(不包括待机和非工作时间),无需特别分类。

4.30

利用率 utilization

在规定时间内,设备执行其预定功能的时间与这段时间的百分比。

4.31

验证性运行 verification run

用于确定设备(使用单元或不使用单元)能够按规范执行其预定功能而执行的单个运行周期。

5 设备的状态

5.1 设备的六个基本状态

为了清楚地测量设备的 RAM 性能,本标准定义了设备的六个基本状态,设备的所有条件和时间周期都必须归入这六个状态内。

设备的状态由功能而不是由组织机构来确定。例如,任何对设备的维修过程都将被纳入同一分类,而不管维修是由操作员、生产技师、维修技师还是加工工程师执行的。

图 1 是设备六个基本状态的框架图。这些设备的基本状态可以按照生产操作希望达到的设备跟踪解决方案被划分为若干分状态。本标准没有列出所有可能的分状态,但给出了一些例子作为指南。图 2 给出了与基本状态相关的时间框图以及分状态示例。这些时间框图在本标准后面的 RAM 计算公式中还要用到。



图 1 设备状态框架图

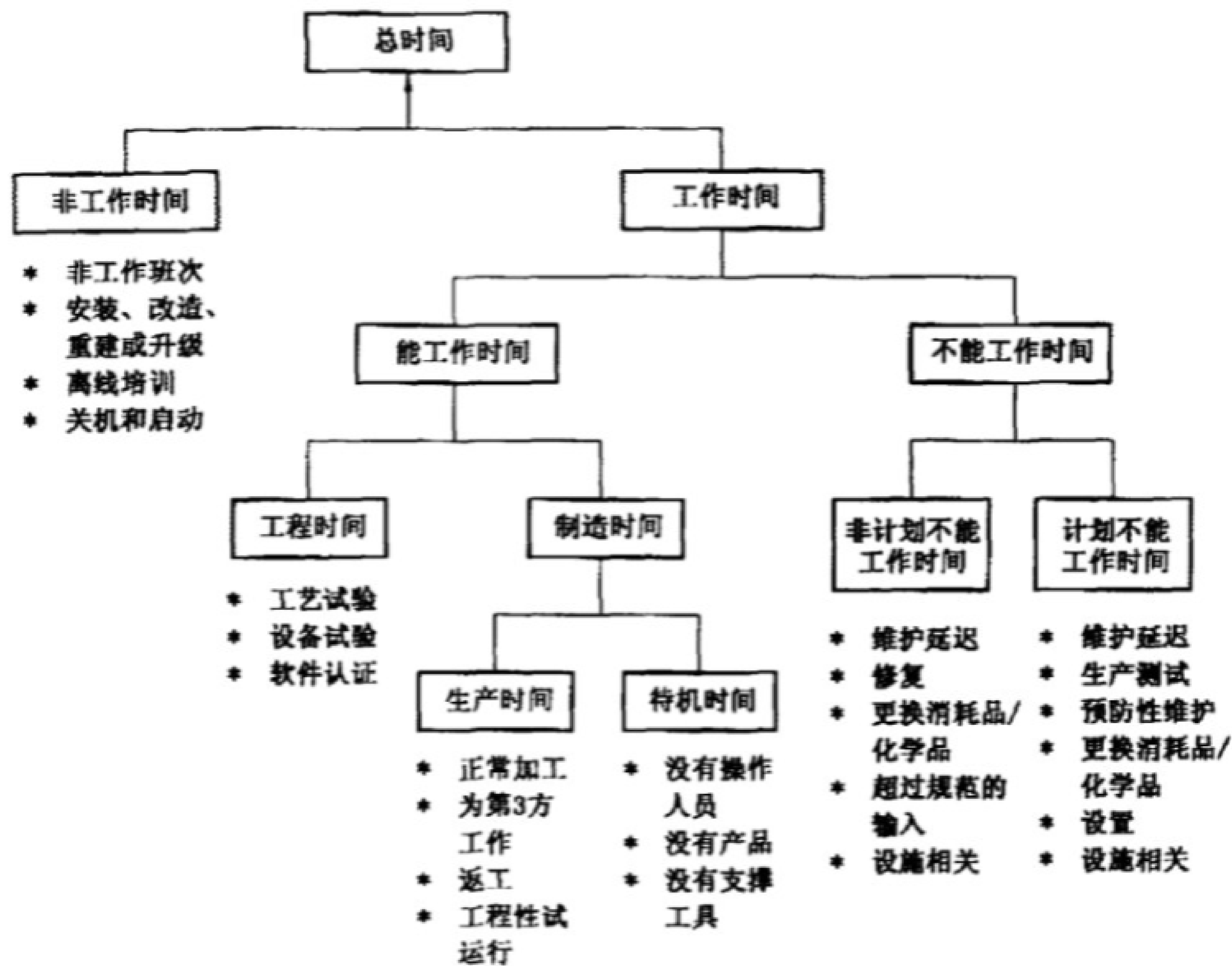


图 2 时间汇总

5.2 生产状态

设备正在执行其预定功能的时间段。它包括：

- 正常的生产(包括单元的装载和卸载)；
- 为第三方所作的工作；
- 返工；
- 结合单元的生产进行的工程性运行(例如，将产品分批和新的应用)。

5.3 待机状态

与非工作时间不同，设备处于可以执行其预定功能但不进行任何操作的状态，化学品和设施也可用，它包括：

- 没有操作员(包括休息、进餐时间和会议时间)；
- 没有单元(包括缺少保障设备，如测量工具)；
- 没有保障工具(例如盒子、硅片载具、探测卡等)；
- 没有外部自动化系统(例如，主机)的输入。

5.4 预检状态

设备处于可以执行其预定功能状态(不存在设备或加工问题)，但被用于预检试验的时间，预检状态包括：

- 加工预检(例如，加工特性分析)；
- 设备预检(例如，设备评估)；
- 软件预检(例如，软件认证)。

5.5 计划不能工作状态

由于计划的不能工作事件，设备不能执行其预定功能的时间，包括：

- 维修延时；
- 生产测试；
- 预防性维修；
- 更换消耗品和化学品；
- 设置；
- 与设施相关的不能工作时间。

5.5.1 维修延时

等待与维修相关的用户人员或供应商人员或零件(包括消耗品/化学品),使设备处于不能执行其预定功能状态的时间。维修延时也可能是由于管理人员决定让设备处于不能工作状态并且推迟维修而引起的。

维修延时可能发生在维修过程的任何时刻。必须分别对维修延时与维修时间进行跟踪。由维修延时而导致的不能工作时间归入离线时间,但不能归入修复时间(见 6.3 设备的可用性和 6.4 设备的维修性)。

5.5.2 生产测试

有计划的中断设备可用性以便按照设备工作规范对生产的单元进行评估,以确定设备正在按照规范执行其预定功能。不包括可以与生产并行或通过生产即可验证的测试,也不包括预防性维修、设置或修复过程后进行的任何测试。

5.5.3 预防性维修

下列活动时间的总和:

- 预防性措施:为了减少设备在工作中发生失效的可能性,预先确定的按计划间隔进行的维修程序(包括设备的关闭和开启);计划的间隔可以按照时间、设备周期或设备状况确定;
- 设备测试:为了证明设备的功能特性而进行的设备运行(例如,系统达到基本压力、硅片传送无误,气体流动正常、等离子气体点燃、动力达到规定的功率);
- 验证性运行:预防性措施后对单元的加工和评估,以确认设备正按照规范执行其预定功能。

注:设备供应商有责任规定一个预防性维修大纲,以达到预定的设备性能水平。如果用户希望供应商达到或改善设备的性能水平,用户有责任指出与推荐的大纲有关的任何偏差。

5.5.4 更换消耗品/化学品

有计划地中断工作,以便补充半导体制造所需原材料的时间。它包括更换气瓶、酸、靶、料等的时间以及净化、清洗或冲洗等与这些更换相关的活动。它不包括获取这些消耗品/化学品的时间。

5.5.5 设置

下列活动时间的总和:

- 转换:完成设备的变更以适应加工、单元、封装形式的变化等(不包括改造、重建以及升级的时间)所需的时间;
- 设备测试:为了证明设备的功能特性而进行的设备运行(例如,系统达到基本压力、硅片传送无误,气体流动正常、等离子气体点燃、动力达到规定的功率);
- 验证性运行:为了确认设备正在按照规范执行其预定功能,预防措施后对单元的加工和评估。

注:设备供应商负责提供按照预定的规范进行设置转换和测试的程序。如果用户期望供应商的设备能按照规范进行设置,则必须指出程序与规范的偏离。

5.5.6 与设施相关的不能工作时间

只是由于设施不能达到规范的要求而使设备不能执行其预定功能的不能工作时间。这些设施包括:

- 环境条件(例如,温度、湿度、振动、杂质颗粒数);
- 厂房连接设施(例如,动力、冷却水、厂房内气体、废气、液氮等);

——与其他设备或主计算机之间的通讯连接。

任何由上述项目引起的不能工作时间都应算在与设施有关的不能工作时间内。例如,由于按计划电力中断 15 min,必须重新启动抽气泵,使设备恢复到能够执行其预定功能的状态所需的所有时间都包括在与设施有关的不能工作时间内。

5.6 非计划不能工作状态

由于非计划不能工作事件而导致设备处于不能执行其预定功能的状态的时间。这些事件包括:

- 维修延时;
- 修复;
- 更换消耗品/化学品;
- 不符合规范的输入;
- 与设施有关的不能工作时间。

5.6.1 维修延时

等待与维修相关的用户人员或供应商人员或零件(包括消耗品/化学品),使设备处于不能执行其预定功能状态的时间。维修延时也可能是由于管理人员决定让设备处于不能工作状态并且推迟维修而引起的。

维修延时可能出现在维修过程的任何时刻。必须分别对维修延时和维修时间进行跟踪。由维修延时而导致的不能工作时间归入离线时间,但不能归入维修时间(见 6.3 和 6.4 设备的可靠性和维修性)。

5.6.2 修复

下列活动时间的总和:

- 诊断:确定设备问题或失效来源的程序;
- 纠正措施:实施的解决设备失效、使设备恢复到可以执行预定功能的状态的维修程序(包括设备的开启、关闭、重新启动、重新设置、重新循环、重新开启机器,将软件恢复到先前的版本等);
- 设备测试:为了证明设备的功能特性而进行的设备运行(例如,系统达到基本压力、硅片传送无误,气体流动正常、等离子气体点燃、动力达到规定的功率);
- 验证性运行:为了确认设备正在按照规范执行其预定功能,纠正措施后对单元进行的加工和评估。

5.6.3 更换消耗品/化学品

非计划的中断工作,以便补充半导体制造所需原材料的时间。它包括更换气瓶、酸、靶、料等的时间以及净化、清洗或冲洗等与这些更换相关的活动。它不包括获取这些消耗品/化学品的时间。

5.6.4 不符合规范的输入

由于不符合规范的输入或错误的输入导致设备处于不能执行其预定功能状态的时间。这些输入包括:

- 保障设备(例如,变形的盒式带或硅片载具、有故障的探测卡或错误的刻线等);
- 单元(例如,上道工序问题、变形的硅片、被污染的硅片、变形的引线框架等);
- 测试数据(例如,未校准的测量工具,读错的图表、错误的解释/输入等);
- 消耗品/化学品(例如,被污染的酸液、靶的粘合有缝隙、退化的耐光保护层、退化的模具化合物等)。

由上述问题引起的不能工作时间应包括在不符合规范的输入的不能工作时间内。例如,由于探测卡的短缺,探测/测试系统被卸下修复,则确定问题时的所有不能工作时间都应被重新归类到不符合规范的输入的不能工作时间。

5.6.5 与设施相关的不能工作时间

只是由于设施不能达到规范的要求而使设备不能执行其预定规范的不能工作时间。这些设施包括:

- 环境条件设施(例如,温度、湿度、振动、杂质颗粒数);
- 厂房连接设施(例如,动力、冷却水、室内气体、废气、液氮等);
- 与其他设备或主计算机之间的通讯连接。

任何由上述项目引起的不能工作时间都应算在与设施相关的不能工作时间内。例如,由于电力中断 15 min,必须重新启动冷凝泵。使设备恢复到能够执行其预定功能的状态所需的所有时间都包括在和设施相关的不能工作时间内。

5.7 非计划状态

设备不安排用于生产的时间,比如非工作班次,周末以及假日(包括关机和启动时间)。

由于离线培训或设备安装、改造、重建或升级(硬件或软件)等不适于在常规的维修计划内进行的活
动,使设备处于生产非计划工作,那么这些状态属于非计划状态。它包括把设备从这些状态转到可以执
行其预定功能状态所需的判定时间。

由于所有的维修时间必须归入计划不能工作时间或非计划不能工作时间内(这包括日常自动化维
修,例如冷却泵重新制冷),这一期间内对设备进行维修的时间不应算在非计划状态时间内。

同样,这一段时间内发生的任何生产或预检工作都必须归入生产时间或工程时间(这也包括无人值
守的工作,这些工作到一定时间后可以自行关闭)。

6 RAM 测量

6.1 RAM 指标

RAM 是衡量设备性能的重要指标,表 1 给出了 RAM 测量汇总。

6.2 设备可靠性

在规定的条件下,设备能够在一定时间内执行其预定功能的可能性。

注:这里提供了测量该性能的两种方法:生产时间(见 6.2.1 和 6.2.2)和设备周期(见 6.2.3 和 6.2.4);

- 生产时间仅考虑在制造单元的过程中发生的事情(适用于制造运行的目的);
- 设备周期则考虑到设备所有状态内每一周期所产生的磨损和损伤(适用于设备可靠性目的)。

6.2.1 MTBFp 平均失效间生产时间

失效之间设备执行其预定功能的平均时间。MTBFp 等于一定时间内生产时间除以这段时间内发
生的失效次数。该计算只包括生产时间。从任何其他状态转到生产状态时发生的失效都要计算在内。
因此,使用 MTBFp 要求用户不仅有能力跟踪失效信息,还要准确地跟踪总时间并将其准确的分类。

$$MTBFp = \frac{\text{生产时间}}{\text{生产时间内发生的失效次数}}$$

6.2.2 E-MTBFp 与设备有关的平均失效间生产时间

与设备有关的失效间,设备执行其预定功能的平均时间。E-MTBFp 等于一定时间内的生产时间
除以这段时间内发生的与设备有关的失效次数。该计算只包括生产时间。从任何其他状态转到生产状
态时发生的与设备有关的失效都要计算在内。因此,使用 E-MTBFp 要求用户不仅有能力跟踪失效信
息,还要准确地跟踪总时间和失效的根本原因并将其准确的分类。

$$E-MTBFp = \frac{\text{生产时间}}{\text{生产时间内发生的与设备有关的失效次数}}$$

6.2.3 MCBF 平均失效间周期数

平均失效间周期数:设备总运行周期除以这些运行周期内发生的失效数。这种算法超越了设备的
状态,把系统、子系统的所有周期包括进来。该方法不需要跟踪设备的状态,只需要跟踪设备的运行周
期数和设备的失效数。

$$MCBF = \frac{\text{总周期数}}{\text{失效数}}$$

6.2.4 E-MCBF 由设备引起的失效间的平均运行周期数

由设备引起的失效间的平均运行周期数;设备总运行周期除以这些运行周期内发生的由设备引起的失效数。这种算法超越了设备的状态,把系统、子系统的所有运行周期都包括进来。这种算法不需要跟踪设备的状态,只需要跟踪设备的运行周期和由设备引起的失效以及引起失效的根本原因。

$$E-MCBF = \frac{\text{总周期数}}{\text{由设备引起的失效数}}$$

6.3 设备可用性

当需要时,设备将会处于可以执行其预定功能的状态的可能性。

6.3.1 与设备有关的能工作时间

设备处于可以执行其预定功能状态的时间与工作时间减去维修延迟不能工作时间、不符合规范的输入造成的不能工作时间、与设施有关的不能工作时间的百分比。该计算仅从设备指标的角度反映设备的可靠性和维修性。

与设备有关的能工作时间(%)=

$$\frac{\text{设备能工作时间} \times 100\%}{[\text{工作时间} - (\text{所有维护延迟不能工作时间} + \text{不符合规范的输入造成的不能工作时间} + \text{与设施有关的不能工作时间})]}$$

6.3.2 与供应商有关的正常工作时间

设备处于可以执行其预定功能的时间与下列时间的百分比:即工作时间减去用户维修延迟不能工作时间、不符合规范输入的不能工作时间、与设备有关的不能工作时间。该计算只减去了工作时间内用户维修延迟不能工作时间,而将供应商对零件和服务的延迟计算在内,其目的是提供一种可以用在供应商的服务合同中的有效的测量性能的方法。

与供应商有关的正常工作时间(%)=

$$\frac{\text{设备能工作时间} \times 100\%}{[\text{工作时间} - (\text{用户维护延迟不能工作时间} + \text{不符合规范的输入造成的不能工作时间} + \text{与设施有关的不能工作时间})]}$$

6.3.3 正常工作时间

设备处于可以执行其预定功能的时间与运行时间的百分比。该计算用来反映设备的整体工作性能。

$$\text{运转能工作时间}(\%) = \frac{\text{设备能工作时间} \times 100\%}{\text{工作时间}}$$

6.4 设备维修性

在规定的一段时间内,将设备保持在或恢复到可以执行其预定功能的状态的可能性。

6.4.1 MTTR 平均修复时间

纠正失效使设备恢复到可以执行其预定功能状态的平均时间。一定时间内(包括设备和程序测试时间,但不包括维修延迟不能工作时间)的所有与设备有关的失效的修复时间(经过的时间,不一定是总人力时间)除以这一时间内与设备有关的失效数。

$$MTTR = \frac{\text{总修复时间}}{\text{失效次数}}$$

6.4.2 E-MTTR 与设备有关的失效的平均修复时间

纠正由设备引起的失效并使设备恢复到可以执行其预定功能状态的平均时间。一定时间内(包括设备和程序测试时间,但不包括维修延迟不能工作时间)的所有由设备引起的失效的修复时间(经过的时间,不一定是总人力时间)除以这一时间内由设备引起的失效数。

$$E-MTTR = \frac{\text{与设备有关的失效的总维修时间}}{\text{与设备有关的失效次数}}$$

6.4.3 MTOL 平均离线时间

设备不能工作时,使设备保持在或恢复到能执行其预定功能状态的平均时间。在规定时间段内,全

部不能工作时间(计划和非计划不能工作)除以这段时间内不能工作事件数。

$$MTOL = \frac{\text{设备总停机时间}}{\text{停机事件数}}$$

6.4.4 只与设备有关的计划不能工作时间

由于计划不能工作事件(如预防性维修)而引起的设备不能执行其预定功能的时间百分比。这个时间不包括由供应商或用户引起的任何维修延迟不能工作时间。该计算用于从设备设计反映对预防性维修的需求。

只与设备有关的计划不能工作时间(%)=

$$\frac{\text{设备计划不能工作时间} \times 100\%}{[\text{工作时间} - (\text{所有维护延时不能工作时间} + \text{不符合规范的输入造成的不能工作时间} + \text{与设施有关的不能工作时间})]}$$

6.4.5 只与供应商有关的计划不能工作时间

由于计划不能工作事件(如预防性维修)而引起的设备不能执行其预定功能的时间百分比。这个时间不包括由用户引起的任何维修延迟不能工作时间。这个计算是从设备的设计和供应商对服务的响应方面反映对预防性维修的需求。

只与供应商有关的计划不能工作时间(%)=

$$\frac{\text{设备计划不能工作时间} \times 100\%}{[\text{工作时间} - (\text{用户维护延时不能工作时间} + \text{不符合规范的输入造成的不能工作时间} + \text{与设施有关的不能工作时间})]}$$

6.5 设备利用率

在规定时间内设备执行其预定功能的时间与总时间的百分比。

6.5.1 工作利用率

生产时间与工作时间的百分比。该计算是用来比较不同工作配置间的设备利用率,它不包括非工作时间。

$$\text{工作利用率}(\%) = \frac{\text{生产时间} \times 100\%}{\text{工作时间}}$$

6.5.2 总利用率

生产时间与总时间的百分比。这个指标是要反映设备利用率的底线。

$$\text{总利用率}(\%) = \frac{\text{生产时间} \times 100\%}{\text{总时间}}$$

表 1 RAM 测量汇总

设备可靠性		
测量指标	怎样测量	条款
MTBF _p :平均失效间生产时间	生产时间/发生在生产时间内的失效次数	6.2.1
E-MTBF _p :与设备有关的平均失效间生产时间	生产时间/发生在生产时间内的与设备有关的失效的次数	6.2.2
MCBF:平均失效间周期数	设备周期总数/失效数	6.2.3
E-MCBF:由设备引起的失效间的平均运行周期数	设备周期总数/与设备有关的失效	6.2.4
设备可用性		
测量指标	怎样测量	条款
与设备有关的能工作时间/%	设备能工作时间×100(运转时间-(所有维护延时不能工作时间+不符合规范的输入造成的不能工作时间+与设施有关的不能工作时间))	6.3.1

表 1 (续)

设备可用性		
测量指标	怎样测量	条款
与供应商有关的正常工作时间/%	设备能工作时间×100(运转时间－(用户维修延时不能工作时间＋不符合规范的输入造成的不能工作时间＋与设施有关的不能工作时间))	6.3.2
正常工作时间/%	设备能工作时间×100/运转时间	6.3.3
设备维修性		
测量指标	怎样测量	条款
MTTR:平均修复时间	总修复时间/失效次数	6.4.1
E-MTTR:与设备有关的失效的平均修复时间	与设备有关的失效的总修复时间/与设备有关的失效的次数	6.4.2
MTOL:平均离线时间	设备不能工作时间总和/不能工作事件次数	6.4.3
只与设备有关的计划不能工作时间/%	设备的计划的不能工作时间×100(运转时间－(所有维护延时不能工作时间＋不符合规范的输入造成的不能工作时间＋与设施有关的不能工作时间))	6.4.4
只与供应商有关的计划不能工作时间/%	设备的计划的不能工作时间×100(运转时间－(用户维护延时不能工作时间＋不符合规范的输入造成的不能工作时间＋与设施有关的不能工作时间))	6.4.5
设备利用率		
测量指标	怎样测量	条款
工作利用率/%	生产时间×100/工作时间	6.5.1
总利用率/%	生产时间×100/总时间	6.5.2

7 不确定度测量

7.1 概述

第 6 章定义的测量 RAM 的方法只是点估计值,这些数值不能反映评估的不确定度或准确度。准确度随观察期内观察到的失效数和生产时间的长短而变化。

准确度的表示方法是,计算 MTBF_p 的置信水平的上下限,将计算出的区间随 MTBF_p 的点估计值一起表示。这种方法假设失效率是恒定的且失效间隔时间按指数分布。因此,不存在可靠性增长或退化趋势,计算 MTBF_p 是有意义的。当失效间隔时间表明失效率不是恒定值(比如当可靠性增长或降低时),第 8 章适用。第 8 章通常适用于样机可靠性增长试验中。

由于 MTTR 分布不太可能符合指数分布,用这种方法为 MTTR 建立置信限是不合适的。

本章中所有的方法和表格也适用于测量类似指标的估计的准确度,例如将小时换成周期或其他单位。同样,这些方法也适用于 E-MTBF_p 和 E-MCBF。为了提高评估 MTBF_p 的准确度,也可以将从其他正在使用的相同设备上获取的数据用在计算中。

7.2 置信上限和下限的计算

将 MTBF_p 的点估计值乘以表 A.1 和表 A.2 中的系数(在附录 A 中),即可获得 MTBF_p 的置信水平的下限和上限值。对于测量期间出现零失效的情况,表 A.1 的第 1 行 给出了计算 MTBF_p 置信水平下限值的系数,将这些系数乘以没有出现失效的生产时间即可获得期望的 MTBF_p 下限。当出现零失

效情况时,点估计值没有置信水平的上限值。

7.2.1 MTBF_p 下限的计算

从附录 A 的表 A.1 获得系数 $K_{r,conf}$,其中 r 是在测试期内观察到的失效数,conf 是期望的置信水平。表 A.1 的每行对应不同的 r 值,每列对应不同的 conf 值。一般情况下,置信水平应在 80%到 95%之间选取。

由于已经证明被测设备(按给定的置信水平)的可靠性至少相当于 MTBF_p 的下限,所以这个下限值是一个非常重要、有用的性能统计量,经常应用在合同中。

在表 A.1 中,对应 90%的置信水平,失效数小于 4 时,系数小于 0.5,失效数等于 4 时,系数等于 0.5。即失效数小于 4 时,MTBF_p 的下限小于 MTBF_p 估计值的一半,置信区间较宽。从准确度的角度上,失效数选择 4 或大于 4 较为有利。

7.2.1.1 示例

在给定的季度内,设备生产时间为 1 200 h,出现 6 次失效。MTBF_p 的点估计值为 $1\,200/6 = 200$ h。从表 A.1 中可查出 90%的置信度(对应 6 次失效)下限的系数是 0.570。90%置信水平时,MTBF_p 的置信下限为 $200 \times 0.570 = 114.0$ h。

7.2.2 MTBF_p 上限的计算

从附录 A 的表 A.2 获得系数 $K_{r,conf}$,其中 r 是在测试期内观察到的失效数,conf 是期望的置信水平。表 A.2 的每行对应不同的 r 值,每列对应不同的 conf 值。一般情况下,置信水平应在 80%到 95%之间选取。

7.2.2.1 示例

在给定的季度内,设备生产时间为 1 200 h,出现 6 次失效。MTBF_p 的点估计值为 $1\,200/6 = 200$ h。从表 A.2 中可查出 90%置信度(对应 6 次失效)上限的系数是 1.904。90%置信水平时,MTBF_p 的置信上限为 $200 \times 1.904 = 380.8$ h。

7.2.3 MTBF_p 置信区间的计算

MTBF_p 的上下置信限 $100 \times (1 - \alpha/2)$ 能够组合给出 $100 \times (1 - \alpha)$ 置信区间。这里 $\alpha/2$ 是区间任一端的风险概率。90%下限有 $\alpha/2 = 0.1$ 的概率捕捉不到真正的 MTBF_p,同样这对于 90%置信上限也成立。因此 90%下限和 90%上限组合给出 80%置信区间。同样,95%下限和 95%上限可组合给出 90%置信区间。

7.2.3.1 示例

在给定的季度内,设备生产时间为 1 200 h,出现 6 次失效。MTBF_p 的点估计值为 $1\,200/6 = 200$ h。90%的下限和上限分别是 114 h 和 380.8 h。对于设备的真实 MTBF_p,该区间[114,380.8]就是 80%的置信区间。

7.2.4 零失效时 MTBF_p 下限的计算

从附录 A 中表 A.1 的第一行(对应 $r=0$)获得与期望的置信水平对应的 $K_{0,conf}$ 系数。将这个系数与测试时间的长度相乘就可以获得估算值的下限。

7.2.4.1 示例

在给定的季度内,设备生产时间为 1 200 h,出现 6 次失效。MTBF_p 的点估计值为 $1\,200/6 = 200$ h。从表 A.1 中可查出 90%置信度下限的系数是 0.434。因此,设备 90%置信度的真实 MTBF_p 的下限为 $1\,200 \times 0.434 = 520.8$ h。

7.2.5 测试时间长度

为了能够证明在给定置信水平下的 MTBF_p 符合要求,就要选取合适的测试时间长度。首先,要选取一个最大允许失效数 r ,在测试期间内可以发生 r 次失效,而且仍能证明设备达到给定置信水平下 MTBF_p 的目标。然后,利用表 A.4 中的系数计算出需要的测试时间长度。目标 MTBF_p 乘以基于失效数 r 和期望的置信水平的系数就可以获得需要的总测试时间。

若想试验时间最短,可以按失效数 $r=0$ 设计试验。然而,这样做的代价就是增加了(原本可以通过试验的)设备不能通过试验的几率。在 6.2.1 中已提到,按测试中出现 4 次失效设计试验较为有利。

7.2.5.1 示例

希望证明某个设备在 80% 置信水平下的 MTBF_p 为 400 h。希望通过一个出现 4 次或少于 4 次失效的认证试验。从表 A.4 中我们得到对应的系数为 6.72,即测试时间为 $400 \times 6.72 = 2\,688$ h。我们可以对一套设备进行这样时间长度的测试,也可以将这段时间分到多个设备上。当时间积累到 2 688 h,出现的失效等于或少于 4 次时,就可以证明这套设备至少达到了在 80% 置信水平下 400 h 的 MTBF_p 目标。

8 可靠性增长或退化的测量

8.1 概述

只有当 MTBF_p(或 MCBF)和 E-MTBF_p(或 E-MCBF)在测试期间内恒定不变时,第 7 章的计算才有意义。如果可靠性出现增长(通常在进行设计确认或进行调试或早期寿命试验)或退化(通常出现在某个设备接近使用寿命或某个分组件受到过度的应力和磨损时),则进行总的 MTBF_p 计算就不合适,其结果具有误导性,必须使用其他方法。为了检测到可靠性增长或退化趋势,就必须对失效时间进行准确记录,并将它们用于合适的模型。

附录 C 中提供了可靠性增长或退化模型。

8.2 准确记录失效时间

失效的时钟时间必须转化为累积的生产时间(从开始使用设备进行生产开始,此时刻设为 0)。如果总时间按设备的六个状态不间断的进行监控,则转化就很容易完成。

8.2.1 示例

一台设备在一个星期内使用 5 天。为了简化,假设生产利用率为 100%,经过 3 个星期的使用后,它在半天时出现失效,并且在次日工作开始前才修复好。在第 4 周工作结束前没有再发生失效。则准确的失效时间为 124 h(3 个星期每星期 $5 \times 8 = 40$ h,再加上 8 小时工作日的一半)。如果第 2 次失效发生在第 5 周第 3 天的第 2 个小时,则准确的失效时间为 174 h。

9 集群设备 RAM 测量

集群设备 RAM 的测量见附录 B。

附 录 A
(规范性附录)
置信限系数

本附录提供与第 7 章有关的详细信息。

A.1 简介

在本附录的所有计算中都可以用 E-MTBF_p 代替 MTBF_p。

用表 A.1 和表 A.2 中的系数乘以 MTBF_p 点估计值可获得置信的上限和下限值。表 A.1 适用于一般情况,即在规定时间内对设备进行测试,事先不知道将要发生的失效数(时间统计数据)。另一种方法是统计失效的数据,即事先规定失效次数,观察设备直到出现该次数的失效为止。表 A.3 给出了统计失效数据的下限系数。由于统计失效数据很少出现在工具或设备的可靠性测量中,因此收录表 A.3 仅是为了完整性。表 A.2 给出的上限系数同时适用于这两种方法。

表 A.4 可以用于设计设备的评估或认证试验,用以证明在给定的置信水平下,设备的 MTBF_p 符合要求。为了使用表 A.4,必须首先选择一个在试验期间可能观察到的,而且仍符合要求的 MTBF_p 目标的最大失效数 r 。

A.1.1 用定时截尾数据来计算置信上限和下限系数

以下是用表 A.1 和表 A.2 的定时截尾数据来计算置信上限和下限系数的公式:

$$MTBF_{下限} = \frac{2r}{X^2_{2r+2,1-\alpha}} \times MTBF_p$$
$$MTBF_{上限} = \frac{2r}{X^2_{2r,\alpha}} \times MTBF_p$$

式中:

r ——失效数。

在上述情况下,置信水平为 $100 \times (1 - \alpha)$,MTBF_p 的真值落在 MTBF 下限之上,MTBF 上限之下,并采用 X^2 分布表。

A.1.2 零失效时的公式

对于零失效,使用下面的公式:

$$MTBF_{下限} = \frac{\text{生产时间}}{-\ln \alpha}$$

表 A.1 的第一行给出了当出现零失效时,上面的公式可以使用的系数。

A.1.3 定数截尾数据计算下限系数

对于失效检验试验,MTBF 上限与定时截尾试验数量相同,但是表 A.3 中的下限系数是:

$$MTBF_{下限} = \frac{2r}{X^2_{2r,1-\alpha}} \times MTBF_p$$

表 A.1 MTBF_p 单侧置信下限的边界系数(定时截尾数据或周期检验数据或定时间长度试验)

在已知的置信水平下,用时间或周期数的检查数据乘以 MTBF_p 或 MCBF 的估计值,得到边界下限。对 0 次失效,则用工作时间或循环数乘以与要求的置信水平相等的系数

失效数 r	置信度水平						
	60%	70%	80%	85%	90%	95%	97.5%
0	1.091	0.831	0.621	0.527	0.434	0.334	0.271
1	0.494	0.410	0.334	0.297	0.257	0.211	0.179

表 A.1 (续)

失效数 r	置信度水平						
	60%	70%	80%	85%	90%	95%	97.5%
2	0.644	0.553	0.467	0.423	0.376	0.318	0.277
3	0.718	0.630	0.544	0.499	0.449	0.387	0.342
4	0.763	0.679	0.595	0.550	0.500	0.437	0.391
5	0.795	0.714	0.632	0.589	0.539	0.476	0.429
6	0.817	0.740	0.661	0.618	0.570	0.507	0.459
7	0.834	0.760	0.684	0.642	0.595	0.532	0.485
8	0.848	0.777	0.703	0.662	0.616	0.554	0.508
9	0.859	0.790	0.719	0.679	0.634	0.573	0.527
10	0.868	0.802	0.733	0.694	0.649	0.590	0.544
12	0.883	0.821	0.755	0.718	0.675	0.617	0.572
15	0.899	0.841	0.780	0.745	0.704	0.649	0.606
20	0.916	0.864	0.809	0.777	0.739	0.688	0.647
30	0.935	0.892	0.844	0.816	0.783	0.737	0.700
50	0.953	0.918	0.879	0.856	0.829	0.790	0.759
100	0.969	0.943	0.915	0.897	0.877	0.847	0.822
500	0.987	0.976	0.962	0.954	0.944	0.929	0.916

表 A.2 MTBF_p 单侧置信上限的边界系数

在已知的置信水平下,用相应的系数乘以 MTBF_p 估计值得到上限(定时截尾数据或定数截尾数据)

失效数 r	置信度水平						
	60%	70%	80%	85%	90%	95%	97.5%
1	1.958	2.804	4.481	6.153	9.491	19.496	39.498
2	1.453	1.823	2.426	2.927	3.761	5.628	8.257
3	1.313	1.568	1.954	2.255	2.722	3.669	4.849
4	1.246	1.447	1.742	1.962	2.293	2.928	3.670
5	1.205	1.376	1.618	1.795	2.055	2.538	3.080
6	1.179	1.328	1.537	1.687	1.904	2.296	2.725
7	1.159	1.294	1.479	1.610	1.797	2.131	2.487
8	1.144	1.267	1.435	1.552	1.718	2.010	2.316
9	1.133	1.247	1.400	1.507	1.657	1.917	2.187
10	1.123	1.230	1.372	1.470	1.607	1.843	2.085
12	1.108	1.203	1.329	1.414	1.533	1.733	1.935
15	1.093	1.176	1.284	1.357	1.456	1.622	1.787
20	1.077	1.147	1.237	1.296	1.377	1.509	1.637
30	1.060	1.115	1.185	1.231	1.291	1.389	1.482
50	1.044	1.085	1.137	1.170	1.214	1.283	1.347
100	1.029	1.058	1.093	1.115	1.144	1.189	1.229
500	1.012	1.025	1.039	1.049	1.060	1.078	1.094

表 A.3 MTBFp 单侧置信下限的边界系数(失效检查数据)

在已知的置信水平下,用定数截尾数据乘以 MTBFp 估计值,得到边界下限。失效检查数据表示试验或观察期持续到获得拟定的失效数为止

失效数 r	置信度水平						
	60%	70%	80%	85%	90%	95%	97.5%
1	1.091	0.831	0.621	0.527	0.434	0.334	0.271
2	0.989	0.820	0.668	0.593	0.514	0.422	0.359
3	0.966	0.830	0.701	0.635	0.564	0.477	0.415
4	0.958	0.840	0.725	0.665	0.599	0.516	0.456
5	0.955	0.849	0.744	0.688	0.626	0.546	0.488
6	0.954	0.856	0.759	0.706	0.647	0.571	0.514
7	0.953	0.863	0.771	0.721	0.665	0.591	0.536
8	0.954	0.869	0.782	0.734	0.680	0.608	0.555
9	0.954	0.874	0.791	0.745	0.693	0.623	0.571
10	0.955	0.878	0.799	0.755	0.704	0.637	0.585
12	0.956	0.886	0.812	0.771	0.723	0.659	0.610
15	0.958	0.895	0.828	0.790	0.745	0.685	0.639
20	0.961	0.906	0.846	0.812	0.772	0.717	0.674
30	0.966	0.920	0.870	0.841	0.806	0.759	0.720
50	0.971	0.935	0.896	0.872	0.844	0.804	0.772
100	0.978	0.952	0.923	0.906	0.885	0.855	0.830
500	0.989	0.978	0.964	0.956	0.945	0.930	0.918

表 A.4 试验时间指南

用置信水平和失效数 r 相对应的 K 值乘以 MTBFp,用以确定试验时间

失效数 r	对于给定置信水平的系数 K					
	50%	60%	75%	80%	90%	95%
0	0.693	0.916	1.39	1.61	2.30	3.00
1	1.68	2.02	2.69	2.99	3.89	4.74
2	2.67	3.11	3.92	4.28	5.32	6.30
3	3.67	4.18	5.11	5.52	6.68	7.75
4	4.67	5.24	6.27	6.72	7.99	9.15
5	5.67	6.29	7.42	7.90	9.28	10.51
6	6.67	7.35	8.56	9.07	10.53	11.84
7	7.67	8.38	9.68	10.23	11.77	13.15
8	8.67	9.43	10.80	11.38	13.00	14.43
9	9.67	10.48	11.91	12.52	14.21	15.70
10	10.67	11.52	13.02	13.65	15.40	16.96
15	15.67	16.69	18.48	19.23	21.29	23.10
20	20.68	21.84	23.88	24.73	29.06	30.89

附录 B

(规范性附录)

集群设备 RAM 的测量

B.1 简介

本附录提供了评估多路集群工具可靠性、可用性和可维修性(RAM)的跟踪要求及标准测量。本标准正文中介绍的测量只适用于非集群工具或单路集群工具以及单个模块等较简单的模式,这些实体要么处于“正常工作状态”,要么处于“不能工作状态”。而多路集群工具在某些模块处于不能工作状态时,仍然可能具有加工能力。模块处于不能工作状态对多路集群工具性能的影响取决于多路集群工具具体的配置以及在非计划不能工作状态每个时间点下模块的具体组合。

由于模块的性能为评估多路集群工具的性能提供了足够的共同特征,所有在本相关信息中,所有的测量都是作为模块级数据的函数计算的。本附录还介绍了具体的跟踪模块的要求。总失效率(TFR)和集群工具平均修复时间(MTTR_{CT})这两种测量提供了对累计的模块可靠性和可维修性的简单评估。

其他的测量基于模块间的具体组合以及加工路径,在这里定义为“工艺流程”。一个“工艺路径”是一组特定的模块,每个模块都是唯一的且不能相互替代。一个“工艺流程”是一组预定义的模块,用来实现某道工序,任何多路集群设备都可能有一个或多个这样的“工艺流程”。在工序的一个或多个环节上,“工艺流程”可以有可相互代替的模块。因此一个“工艺流程”可能包含一个或多个“工艺路径”。

本附录还定义了对时间进行映射的方法,可以用这种方法从单个模块的状态生成“工艺流程”和多路集群工具的状态记录。这样多路集群设备的可用性就可以按照累积的“工艺流程”的可用性进行评估。多路集群工具的可靠性是以所有的工艺流程都处于非计划不能工作状态间的预期或平均生产时间进行评估的。

B.2 跟踪模块的要求

B.2.1 一般要求

对多路集群工具的测量要求对可能影响多路集群工具或其工艺流程的 RAM 或生产能力的所有模块跟踪本规范状态数据。这些模块既包括工艺模块也包括辅助模块。其中,工艺模块是指一个设备系统中不可分割的生产实体,例如:集群工具中的加工室或站(SEMI E79),辅助模块是指帮助单元在系统内运动或调节的设备实体,例如:机械臂,装载/卸载锁,预定位器。

B.2.2 测量过程中对模块的跟踪

对多路集群模块的测量要求至少跟踪模块的生产状态、非计划不能工作状态、计划不能工作状态以及中间状态(不属于前三种状态的时间都归入中间状态)。要准确的评估性能,把多路集群工具作为一个整体跟踪这些状态是不够的。以下介绍跟踪模块这些状态的具体要求,以及如何处理本规范的其他状态的要求。

B.2.2.1 对模块的生产状态的跟踪

应当跟踪每个模块的生产状态。对于工艺模块,生产时间应当包括主动装载和卸载的时间。等待时间或非运转时间,包括等待装载、等待卸载和加工延迟时间,都不算在生产时间内。加热、冷却、清洗、净化的时间如被指定加工过程的一部分,这些时间应当算作生产时间。然而,相同的过程如果不被指定为加工过程的一部分,则这些时间不应算在生产时间内。

注:生产状态时间可以从 SEMI E58 的状态变更数据或 SEMI E116 的模块“忙”状态事件(此时模块或整个多路集群设备都处于“制造”状态)中得来的,在 SEMI E116 中,任务类型只有“加工”和“支撑”两种。

B.2.2.2 对模块的非计划不能工作状态的跟踪

应当跟踪每个模块的非计划不能工作状态。将多路集群工具作为一个整体跟踪非计划不能工作状态是不够的。一个模块不可能同时处于生产状态和非计划不能工作状态。对于模块,非计划不能工作状态下每个相邻的事件都应算作一个模块,非计划不能工作状态下同一事件内的后续分状态事件不应被算作另外的失效。

B.2.2.3 对模块的计划不能工作状态的跟踪

应当跟踪每个模块的计划不能工作状态。将多路集群工具作为一个整体跟踪计划不能工作状态是不够的。一个模块不可能同时处于生产状态和非计划工作不能工作状态。计划不能工作内的事件不应算作失效。

B.2.2.4 其他要求

在模块层,待机时间和工程时间不应归入生产时间、计划不能工作时间或非计划工作时间的任何一种。为了跟踪多路集群工具的状态及对多路集群工具和“工艺流程”进行测量,将模块的这两种状态算作“中间状态”。

在将多路集群工具作为一个整体进行跟踪时,非工作时间,和本规范正文中的测量一样,在多路集群工具和工艺流程的 RAM 中,从工作时间内被省略了。

对于正处于安装阶段还没有执行过其预定功能的新模块,不应将它们算在集群工具的配置内。对于已经使用过的模块,它们的非计划工作时间应当算作在中间状态内。

B.2.3 观察期

为了计算这些测量,用户和/或供应商应当事先规定一个观察期。为了证明设备在给定置信水平下达到预期的 MTBF_p 要求,必须确定一段观察时间,第 A.1.3 部分为如何确定这段时间提供了指南。

观察期是指观察和跟踪设备性能所经过的日历时间(比如:星期、月、季度)。不可以省略集群工具内的任何一个模块。

B.3 总失效率及集群工具平均维修时间

B.3.1 总失效率(TFR)

总失效率是按照 B.2 的要求跟踪到的所有模块级失效开端的总和除以观察期。这种测量表征了维修的频率,其前提是假设出现在独立模块上的失效需要单独的维修行为。TFR 可以指示可靠性和可维修性。

$$TFR = \frac{\sum_{\text{所有模块}} \text{模块失效开端事件数}}{\text{观察期时间}}$$

注:对于可以比较模块失效率的多路集群工具,根据上式,包含模块数较少的多路集群工具要比包含模块数较多的多路集群工具有更好的性能。不过,包含模块数较多的多路集群工具可能有更好的累积预定流程正常工作时间(定义见 B.7.3)。

B.3.2 集群工具平均维修时间(MTTR_{CT})

纠正一个模块级的失效并将其恢复到可以执行其预定功能状态的平均时间;在规定的观察时间内(包括设备和流程测试时间,但不包括维修延时不能工作时间),对所有模块进行的所有维修时间(经过的时间,不一定是总的工作时间)的总和除以这段时间内失效事件的总和。

$$MTTR_{CT} = \frac{\sum_{\text{所有模块}} \text{维修时间}}{\sum_{\text{所有模块}} \text{模块失效开端事件数}}$$

注:这个公式与计算非集群设备和单路集群设备 MTTR 的公式相同。然而,由于多路集群设备可能有多个维修同时进行,维修时间的总和不受观察期时间的限制。

B.3.3 多个观察期内的计算原则

对于模块,其失效开端事件就是非计划工作不能工作事件内按时间顺序发生的连续事件的第一起。为了保证在多个观察期内失效开端事件和维修时间不被重复计算,要遵守下列原则:

- 在观察期内发生的失效开端事件要参加 TFR 和 $MTTR_{CT}$ 的计算,不管这些失效何时得到解决。
- 在观察期之前发生的失效开端事件不参加 TFR 和 $MTTR_{CT}$ 的计算,即使这些失效在观察期内或观察期后得到解决。
- 对于开端发生在观察期外的失效,发生在观察期内的维修时间要参加 $MTTR_{CT}$ 的计算。

注:这些量可以用于任何多模块工具的计算,即使这个工具不是多路集群设备。对于由模块组合工具失效引起的系统失效,这个量可以反映附加严重性以及模块维修活动的独立性。然而,按照标准的评估非多路集群设备的方法,设备要么完全处于非计划工作不能工作状态,要么不处于非计划工作不能工作状态。

B.3.4 与重新循环模型的兼容

这种测量法与基于重新循环模型的方法不兼容,重新循环模型假设正常工作时间和不能工作时间是互不包含的。而在这种测量法中,即使某个模型已经失效,其他模型仍然可能发生后续失效。重新循环的其他结果(例如,当随机对系统观察系统时,发现系统处于“正常工作状态”或“不能工作状态”的有限可能性。)同样也不适用。

B.4 时间映射

B.4.1 一般概念

时间映射将输出状态记录作为输入状态组分记录的函数。对于每个事件,当至少有一个模块的状态发生改变时,工艺流程和/或集群设备的状态都有可能发生变化。集群设备和工艺流程的状态记录是按时间顺序逐个事件作为模块状态记录的函数生成的。这些测量本身是作为这些输出状态记录的函数进行计算的。作为参考,可以把这种方法看作生成状态组分模型的一种卷积。

B.4.2 示例

图 B.1 给出了时间映射的示例。两个模块 M1、M2 在观察期 $t=0$ 到 $t=10$ 之间的输入状态组分入下图所示。输出状态作为输入状态的函数,按照时间关系映射。其规则是:如果两个模块全部处于或其中任意一个模块处于不能工作状态,在输出状态也处于不能工作状态。需要指出,对于生产状态记录,转变事件是整个输入状态组分记录中转变事件的集合。

B.4.3 时间映射的逻辑过程

在一个实时跟踪系统中,时间映射既可以在事件发生并被跟踪系统收到后马上进行,也可以经过一段时间后集中进行。不管怎样,它们的逻辑过程是一样的。根据要进行的映射的不同,可以在每个输入状态转变事件上应用不同的逻辑函数,将输出状态作为输入状态值的函数。本附录中使用两种时间映射函数进行测量。

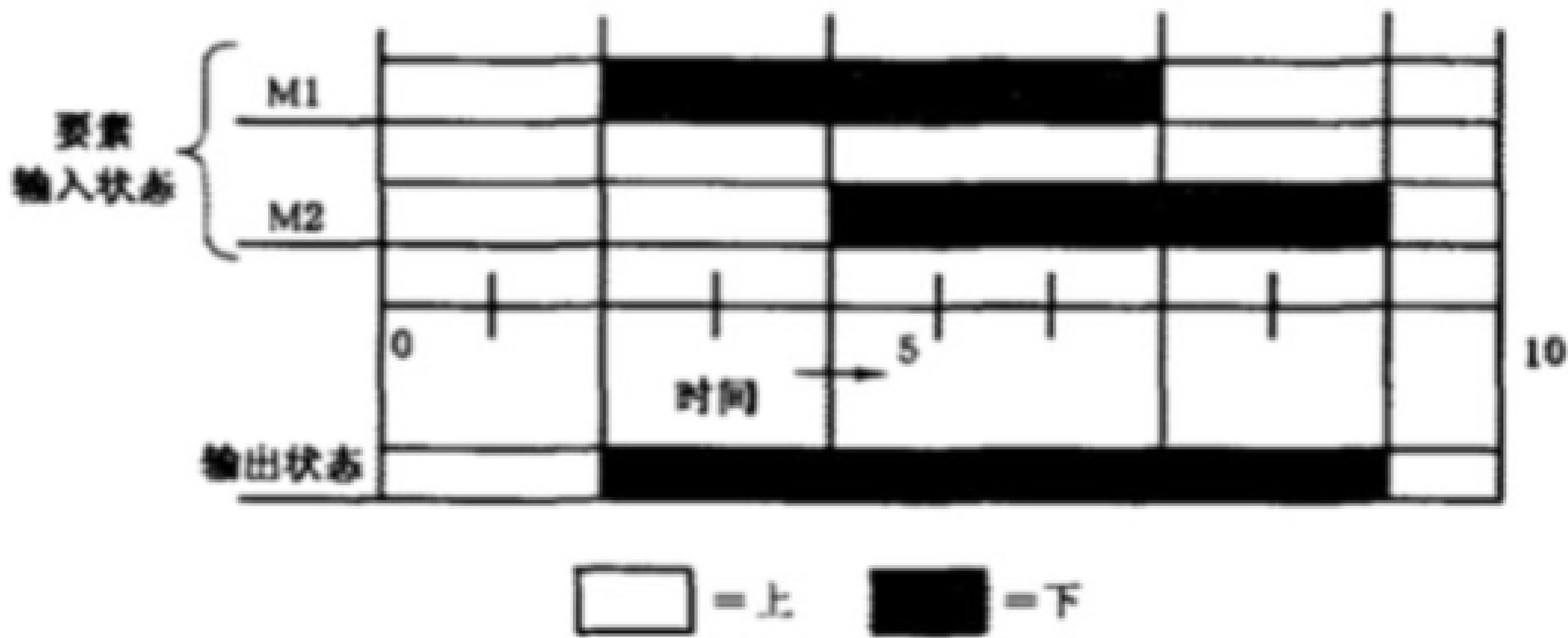


图 B.1 时间映射实例

从模块的“正常工作/计划不能工作/非计划不能工作”状态得到工艺流程的“正常工作/计划不能工作/非计划不能工作”状态,将其作为供应商和/或用户定义的工艺流程的函数。

多路集群设备“生产/中间/非计划不能工作”状态作为模块的“生产/非生产”状态和工艺流程的“正常工作/计划不能工作/非计划不能工作”状态的标准函数。

B.5 对工艺流程建模

B.5.1 工艺流程分类原则

为了评估多路集群设备的可用性和可靠性,应该对多路集群设备的工艺流程进行定义。区分那些在多路集群设备配置中理论上可能的工艺流程和预定工艺流程(IPF)很重要,预定工艺流程是实际用于工作(也就是执行其预定功能)的工艺流程。要使任意两方对本相关信息中介绍的量的测量有意义,双方应当首先以文件的形式确定对哪些 IPF 进行评估,这样,不管由谁进行计算,根据同一份模块状态记录对同一量计算的结果都会相同。

B.5.2 IPF“正常/不能工作”状态的一般情况

IPF 的“正常/关机”状态是根据组成这个 IPF 的模块的网络流建模的。如果整个 IPF 网络是贯通的,则 IPF 处于正常工作状态,反之则处于不能工作状态。一个 IPF 网络中的模块相互间可以有串行和并行两种关系,它们决定了网络的连通性。在数学上,当处于正常工作状态时,每个模块和每个 IPF 的状态值为 1,反之为 0。

$$M_i = \begin{cases} 1, & \text{如模块处于能工作状态} \\ 2, & \text{如果模块处于不能工作状态} \end{cases}$$

B.5.3 IPF 中工序环节的串行关系

IPF 中的一般工序环节相互之间是串行关系(也就是,如果任何一个阶段不能贯通,则整个网络不能连通),如图 B.2 所示。IPF 串行部分的状态值是每个组成部分状态值的乘积(例如, $IPF = \prod_{i=1}^4 S_i = S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4$)。

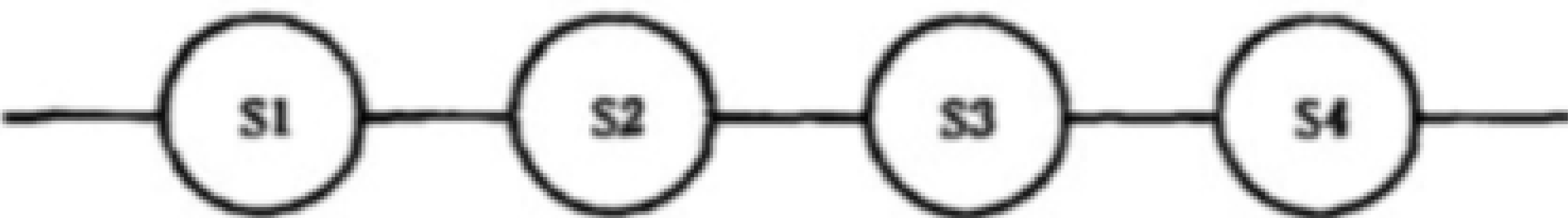


图 B.2 IPF 内串行的工艺环节

B.5.4 某个环节可相互替代的模块

在流程的任意环节, S_x, A_i 是一组可相互替代的模块,组内的模块相互之间是并行关系(即任何一个可互相替代的模块处于正常工作状态,则这一环节仍可能是贯通的),如图 B.3,下面就是这一环节的计算公式:

$$IPF = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - A_i) = 1 - [(1 - A_1) \times (1 - A_2) \times (1 - A_3)]$$

如果任何一个可互相替代的模块还处于正常工作状态,则方括号内的值为 0,IPF 的状态值为 1;如果所有的可互相替代的模块都处于不能工作状态,则方括号内的值为 1,IPF 的状态值为 0。

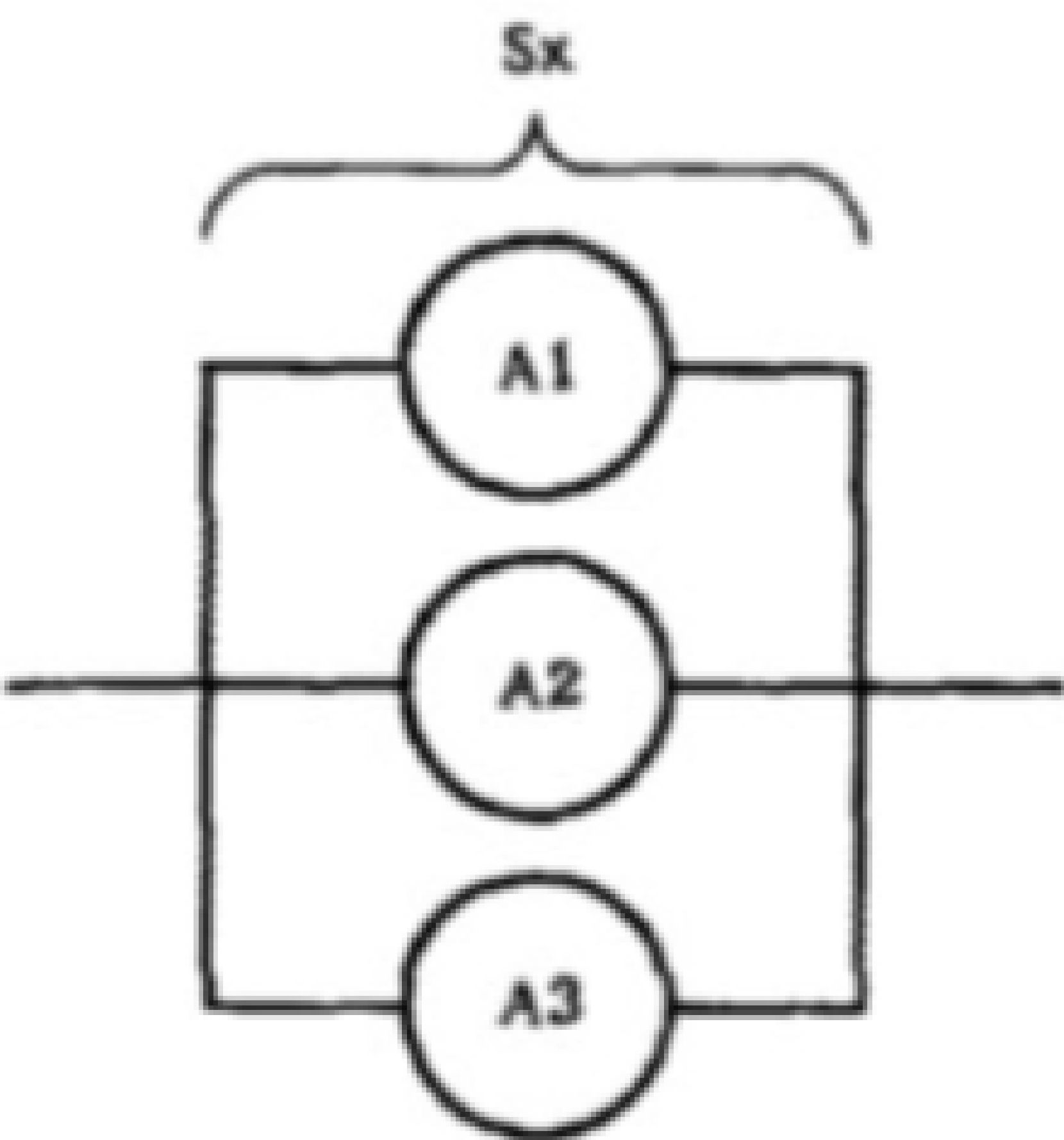


图 B.3 在流程的某个环节并行的可相互替代的模块

注:一般的网络模型中,可能有复杂的多组分结构与其他多组分结构并行。在编制本部分时,在对多路集群设备 RAM 的评估中,对这种结构的需求没有进行预计。因此,本部分仅限于工艺环节中的串行关系以及任何一个环节内可互相替代的模块间的单组分并行关系。

B.5.5 关键群

在几乎所有的系统中,都有一类模块,它们出现在每个 IPF 中,而不管工艺的区别,我们把这些模

块的集合叫“关键群”。关键群包括支撑模块(例如,传送、真空锁等),每个 IPF 都要用到的通用模块以及平台本身。关键群可能包含可相互替代的模块,如多个真空锁或多个冷却台。关键群和所有 IPF 的关系为:如果关键群失效,则所有的 IPF 都处于失效状态。因此,关键群和每个 IPF 都是串行关系。通过对关键群建模并将它提升到计算中,就可以避免很多重复计算。而且了解哪些模块属于关键群也可以帮助了解和提高整个系统的可靠性。

B.5.6 示例

下面列举了两个例子,具体说明了如何对 IPF,包括关键群和 IPF 状态函数建模。

B.5.6.1 示例 1

这个例子,如图 B.4 所示,是一个有 7 个模块的多路集群设备,L1 和 L2 是将单元装载到设备的模块。T 是单传送臂,执行所有的点对点传送。任何单元要经过的第一个工艺模块是 PM1 或 PM2,然后每个单元都经过 PM3,最后被 L3 卸出这个多路集群设备。

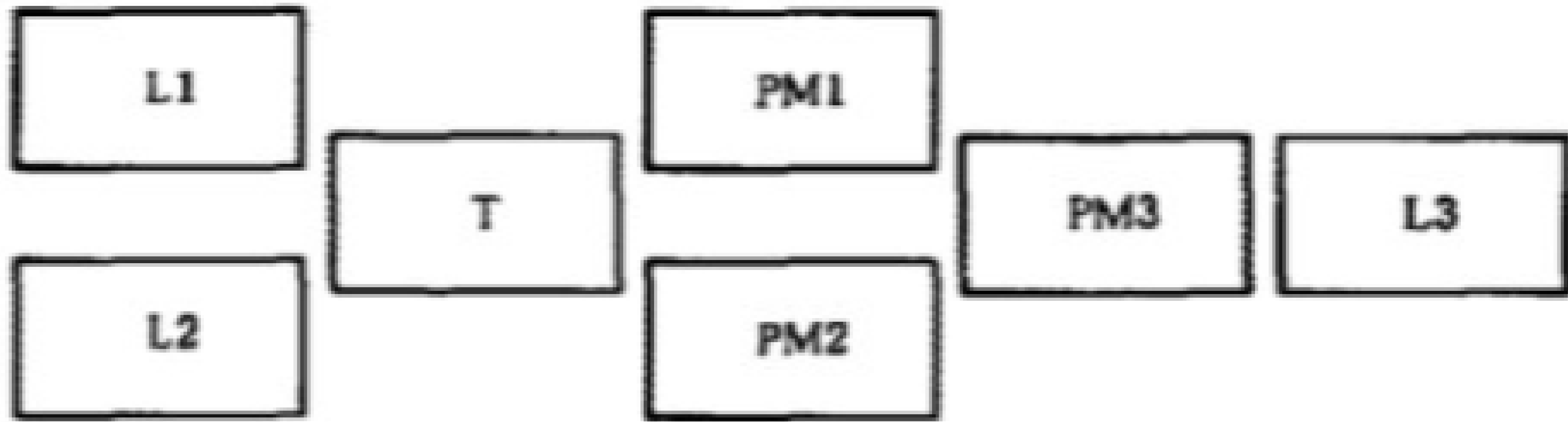


图 B.4 多路集群设备,示例 1

关键群由 3 个装卸模块和 1 个传送模块组成,它们都是这个多路集群设备的支撑模块。由于不管 IPF 间有何区别,每个单元都要访问 PM3,为了简化计算,将 PM3 也算在关键群内。任何其他系统层面上的失效问题都可以划分到那个抽象的工作平台模块,P。

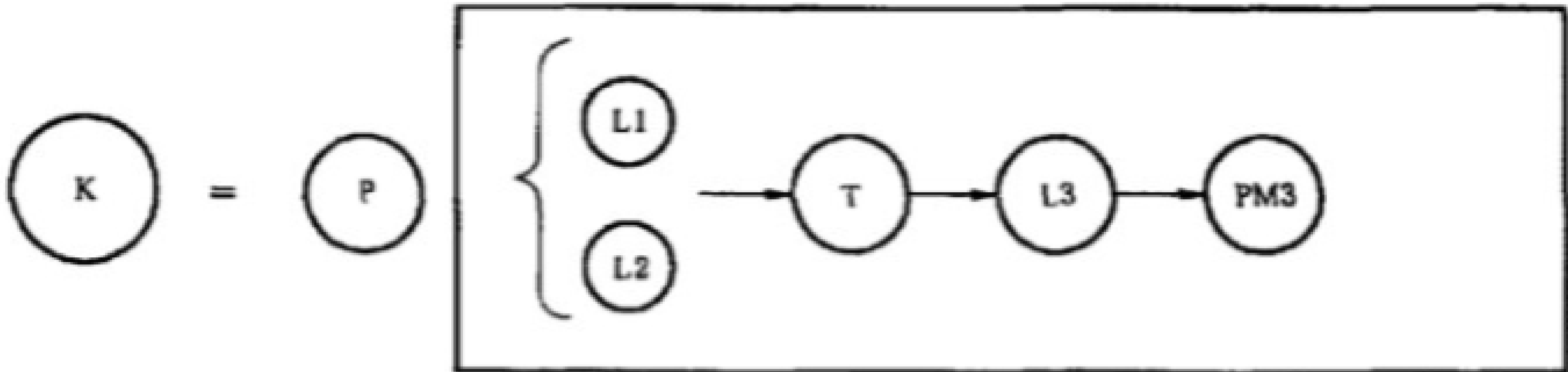


图 B.5 关键群,示例 1

关键群状态值的函数如下:

$$K=P\times[1-(1-L1)\times(1-L2)]\times T\times L3\times PM3$$

作为参考,表 B.1 列出了等效真值。

表 B.1 关键群的真值表

P	L1	L2	T	L3	PM3	K
1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1
其他						0

IPF1 是一个普通的 IPF,它要用到关键群和工艺模块 PM1、PM2 中的某一个模块,如图 B.6 所示:

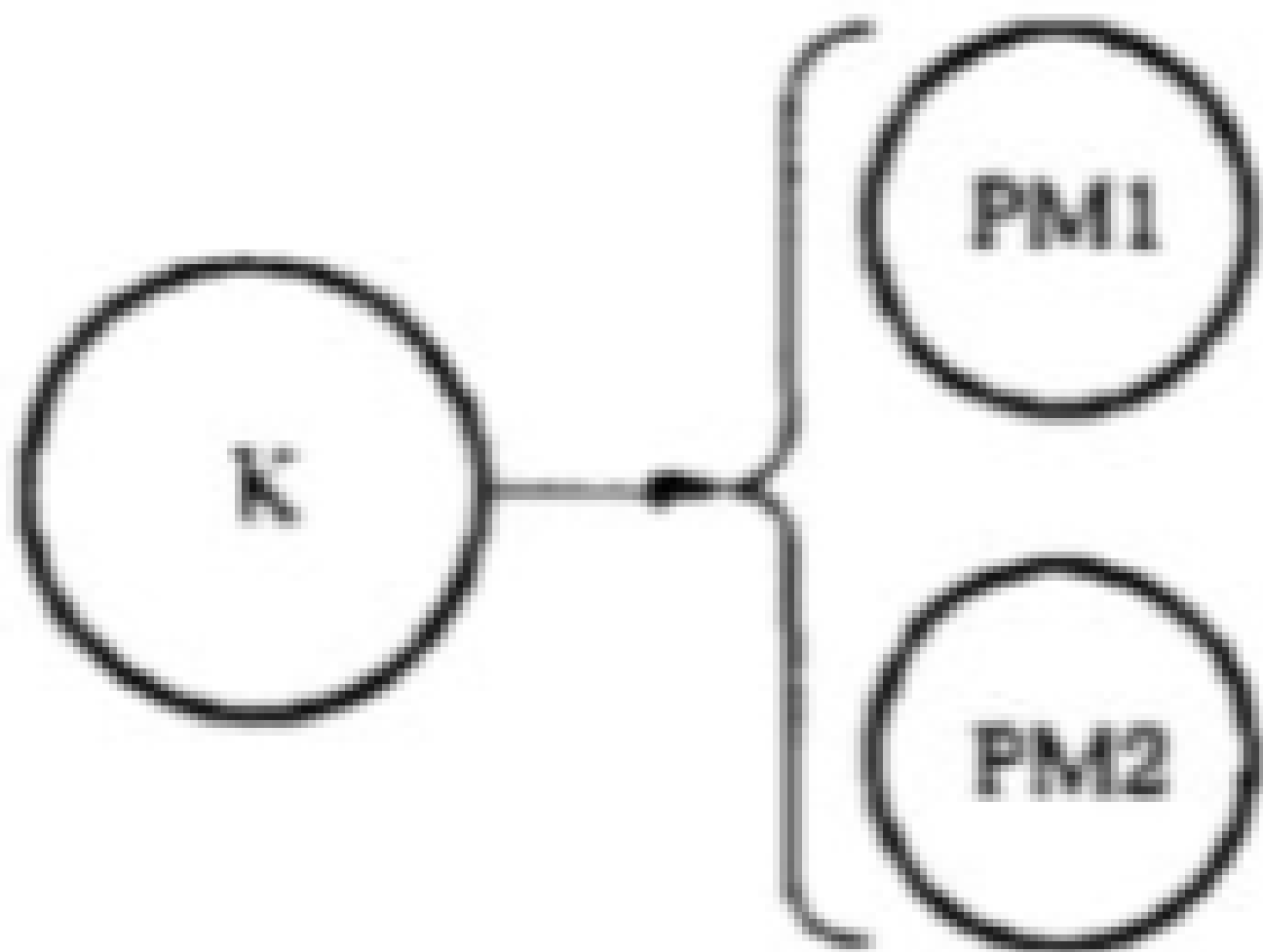


图 B.6 IPF1,示例 1

IPF1 状态值的函数如下：

$$IPF1=K\times[1-(1-PM1)\times(1-PM2)]$$

表 B. 2 列出了等效真值。

表 B. 2 状态函数的真值表

K	PM1	PM2	IPF1
1	1	1	1
1	1	0	1
1	0	1	1
其他			0

IPF2 代表了当 PM2 不能够在性能上与 PM1 匹配时出现的加工工程问题。因此,对于某些特定的加工,所有的单元都只能通过 PM1 进行加工,如图 B. 7 所示：

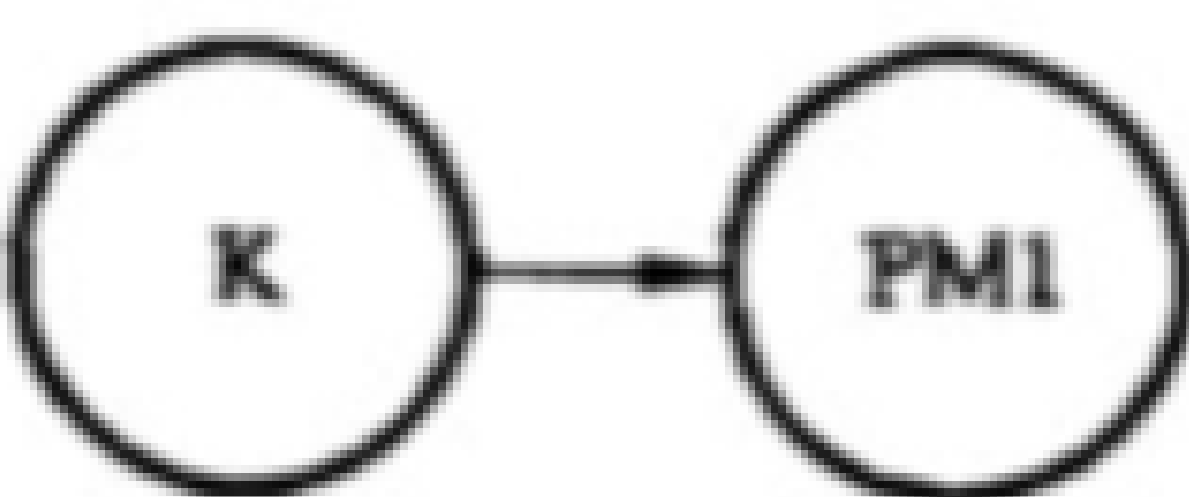


图 B. 7 IPF2, 示例 1

在这种情况下,IPF1 的状态值的函数为 $IPF1=K\times PM1$ 。

B. 5. 6. 2 示例 2

如图 B. 8 所示,是一个由 56 个模块组成的较为复杂的涂胶/显影系统,它包括 4 个装载/卸载模块 (L1—L4), 4 个共用的传送装置 (R1—R4), 4 个涂胶模块, 4 个显影模块以及 4 个加热/冷却盘阵列, 每个阵列有 10 个模块。

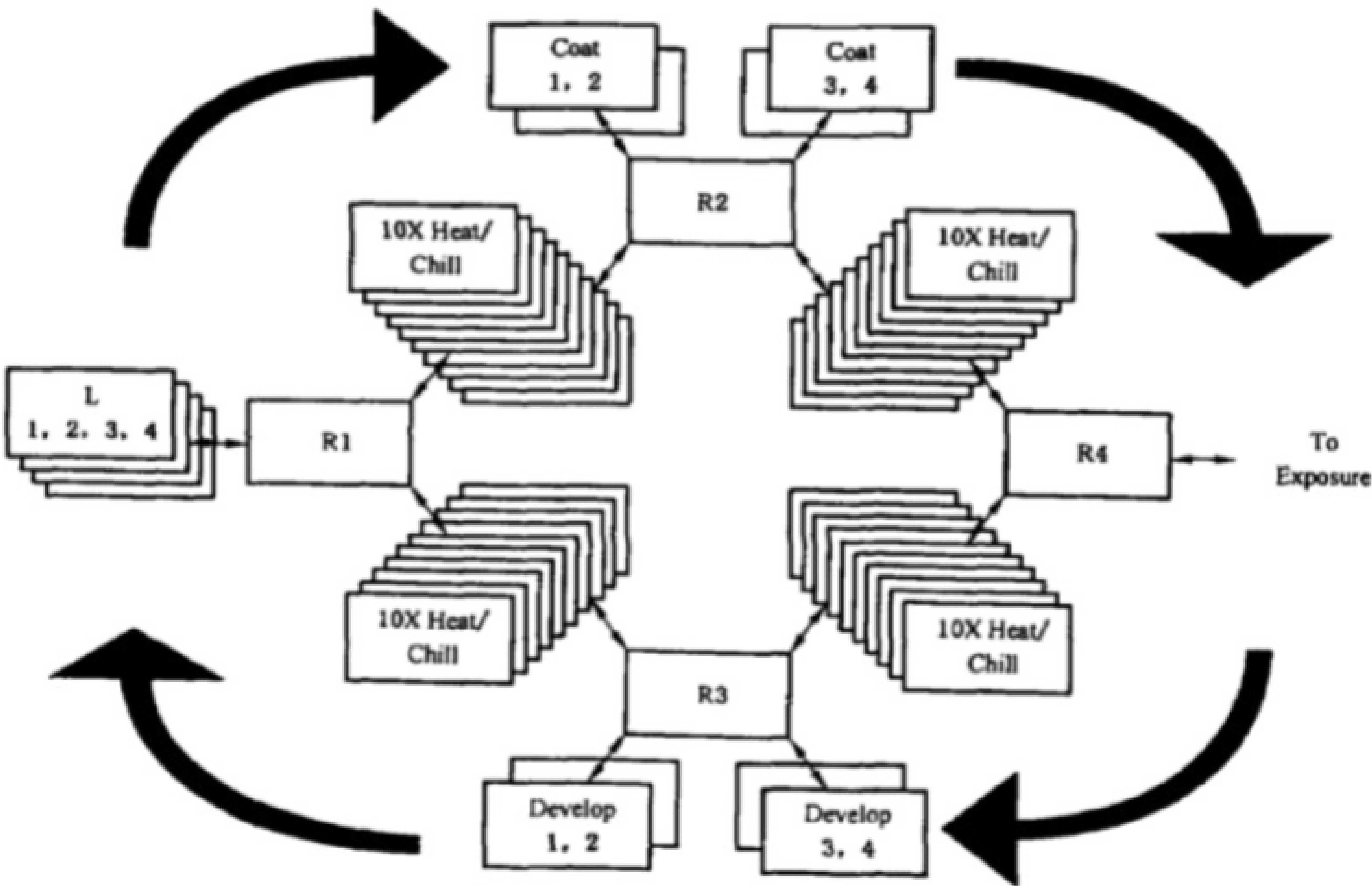


图 B. 8 涂胶/显影系统模块

关键群 K,如图 B. 9 所示,包括平台本身,4 个装载/卸载模块,和 4 个传送机器人。由于没有工艺模块被所有的 IPF 共用,因此关键群中没有工艺模块。

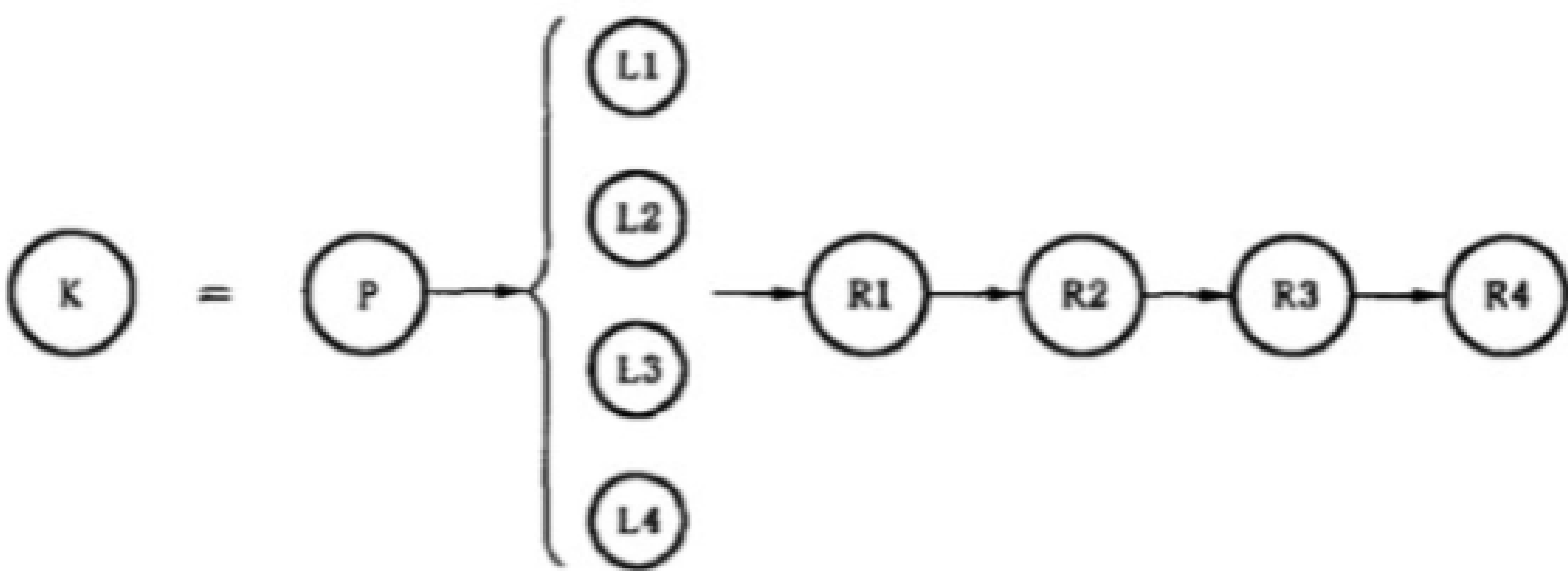


图 B.9 关键群模块, 示例 2

关键群 K 的状态值函数为:

$$K = P \times [1 - \prod_{i=1}^4 (1 - L_i)] \times \prod_{j=1}^4 R_j$$

可以将上面的函数扩展成:

$$K = P \times [1 - (1 - L_1) \times (1 - L_2) \times (1 - L_3) \times (1 - L_4)] \times R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4$$

表 B.3 列出了相应的真值。

表 B.3 状态函数的真值表

P	L1	L2	L3	L4	R1	R2	R3	R4	K
0	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	0
1	0	0	0	0	任意值	任意值	任意值	任意值	0
任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	0	任意值	任意值	任意值	0
	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	0	任意值	任意值	0
	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	0	任意值	0
	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	任意值	0	0
其他									1

注: 这个真值表强调的是能够导致关键群处于不能工作状态的子集, 这个子集叫“最小割集”。保持关键群处于正常工作状态的子集, 叫“最小路集”。

IPF1 有 13 个环节, 每个环节有两个可以相互替代的模块, 如图 B.10。

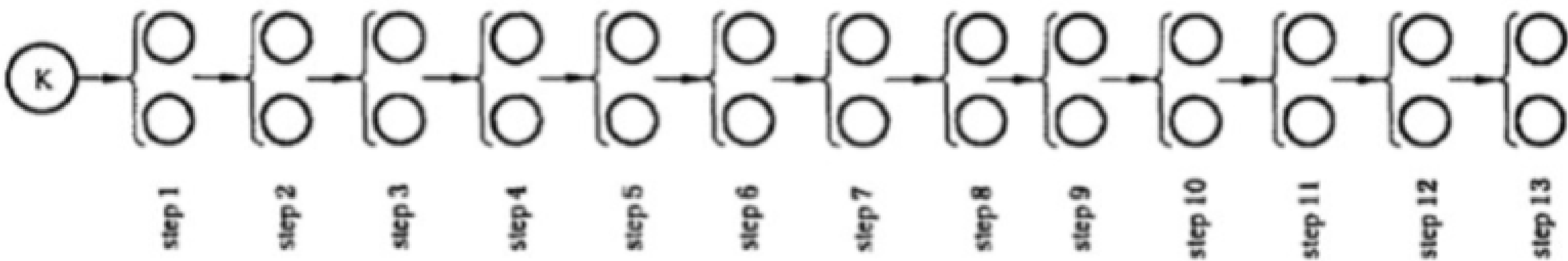


图 B.10 IPF1 模块的配置

IPF1 状态值的函数为:

$$IPF1 = K \times \prod_{i=1}^{13} [1 - (1 - PM_{i,1}) (1 - PM_{i,2})]$$

IPF1 的真值列表非常冗长, 这里就不列出了。

与 IPF1 一样, IPF2 也有 13 个环节, 然而, 由于工艺匹配的问题, 第 1、5、9、13 道工序配置的是单个模块, 如图 B.11 所示。

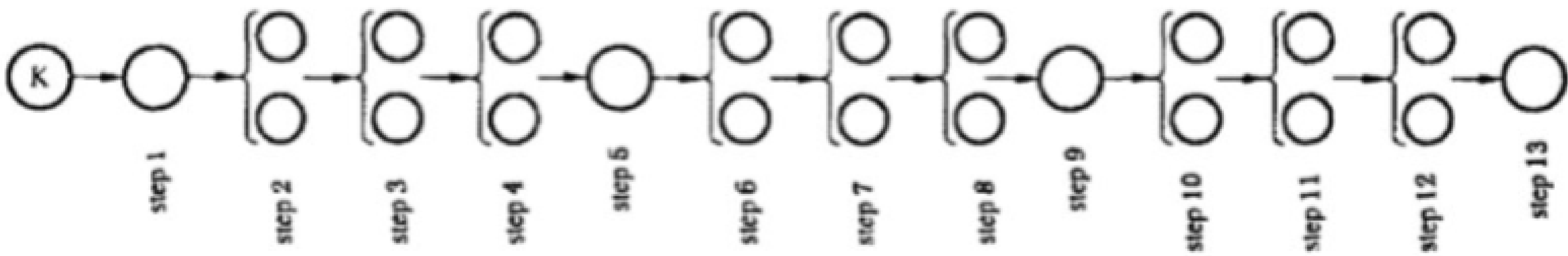


图 B.11 IPF2 模块的配置, 示例 2

IPF2 状态值的函数为:

$$IPF2 = K \times PM_{1,1} \times PM_{5,1} \times PM_{9,1} \times PM_{13,1} \times \prod_{i \in \{2,4,6,8,10,12\}} [1 - (1 - PM_{i,1})(1 - PM_{i,2})]$$

涂胶/显影系统很可能还有更多的 IPF, 它们的定义与 IPF1 和 IPF2 的定义基本相同。

B.5.7 非计划不能工作时间与总不能工作时间

为了区分一个 IPF 的非计划不能工作时间与总不能工作时间, 上面讨论的 IPF 函数要执行两次运算。第一次确定非计划工作不能工作状态, 第二次确定总不能工作状态。

B.5.7.1 非计划不能工作状态

第一次执行函数运算时, 如果模块处于非计划不能工作状态, 则将该模块的变量值设为 0, 其他情况下设为 1。如果计算结果为 0, 则这个 IPF 处于非计划不能工作状态。工艺流程非计划不能工作状态下每个连续发生的事件都是一个工艺流程的失效。如果计算结果为 1, 则这个 IPF 可能处于一般不能工作状态或正常工作状态。

$$M_{i-GD} = \begin{cases} 0, & \text{如果模块 } I \text{ 处于计划外不能工作状态} \\ 1, & \text{其他情况} \end{cases}$$

B.5.7.2 计划不能工作状态或非计划不能工作状态

第 2 次执行函数运算时, 如果模块处于计划不能工作状态或非计划不能工作状态, 将模块的变量值设为 0, 其他情况下设为 1。如果计算结果为 0, 在这个 IPF 处于一般不能工作状态, 如果计算结果为 1, 则这个 IPF 处于中间状态。

$$M_{i-GD} = \begin{cases} 0, & \text{如果模块 } I \text{ 处于计划外不能工作状态} \\ 1, & \text{其他情况} \end{cases}$$

B.5.7.3 总结

如果 $IPF(M_{UD}) = 0$, 则工艺流程处于非计划不能工作状态 (UD); 如果 $IPF(M_{GD}) = 0$, 则工艺流程处于一般不能工作状态 (GD); 如果 $IPF(M_{GD}) = 1$, 则 IPF 处于正常工作状态。

注: 对于一个至少有一个模块处于非计划工作不能工作状态的 IPF, 其工艺流程的状态可能有 3 种: a) 非计划工作不能工作状态; b) 一般不能工作状态; c) 中间状态。当处于非计划不能工作状态的那个模块在 IPF 内是串行关系时, 出现情况 a); 当处于不能工作状态的那个模块在 IPF 内不是串行关系, 但其他在 IPF 内是串行关系的模块 (或更多模块) 处于计划不能工作状态时, 出现情况 b); 当没有任何一个处于不能工作状态的模块在 IPF 内是串行关系时 (不管这个或这些模块是处于计划还是非计划不能工作状态) 出现情况 c)。

B.6 确定多路集群设备的状态

B.6.1 时间映射规则

以下从模块的“生产/非生产”状态和 IPF 的“正常工作/不能工作/非计划”状态确定多路集群设备的“生产/非计划工作不能工作/中间”状态的时间映射规则:

如果任何模块处于“生产状态”, 则集群设备处于“生产状态”。

如果所有的 IPF 都处于“非计划工作不能工作状态”, 则多路集群设备处于“非计划工作不能工作状态”。

其他情况下, 多路集群设备处于“中间状态”。

B.6.2 多路集群设备的失效

多路集群设备非计划不能工作状态下每个连续事件都是一个多路集群设备失效。

注 1: 这个逻辑和 SEMI E116 中模块状态和设备状态之间关系的逻辑相似。SEMI E116 中的“忙”状态和这里的多路集群设备“生产”状态类似; SEMI 116 中的“闭”状态和这里的“非计划工作不能工作状态”类似; SEMI E116 中的“闲”状态和这里的“中间”状态类似。

注 2: 一般情况下, 不容易对 IPF 划分生产时间。有时某些模块可能属于不止一个 IPF, 不可能时刻跟踪, 确定每个模块属于哪个流程。因此, 基于生产时间的测量方法可能不适用于 IPF 的计算。

注 3: 本标准的测量方法中, 不需要为多路集群设备计算除了非计划工作不能工作时间以外的不能工作时间。生产状态和非计划工作状态以外的状态对多路集群设备的影响是按该状态对 IPF 的累积影响评估的。

B.6.3 示例

如图 B.12 所示,是一个离散时间线的简化示例。示例里包括 3 个模块(M1、M2、M3)和 3 个 IPF (IPF1、IPF2、IPF3)。IPF1 使用所有的 3 个模块,IPF2 使用 M1 和 M2,IPF3 使用 M1 和 M3。各 IPF 状态值的函数如下:

$IPF1 = M1 \times M2 \times M3$

$IPF2 = M1 \times M2$

$IPF3 = M1 \times M3$

各 IPF 和多路集群设备的时间映射关系如表 B.4。

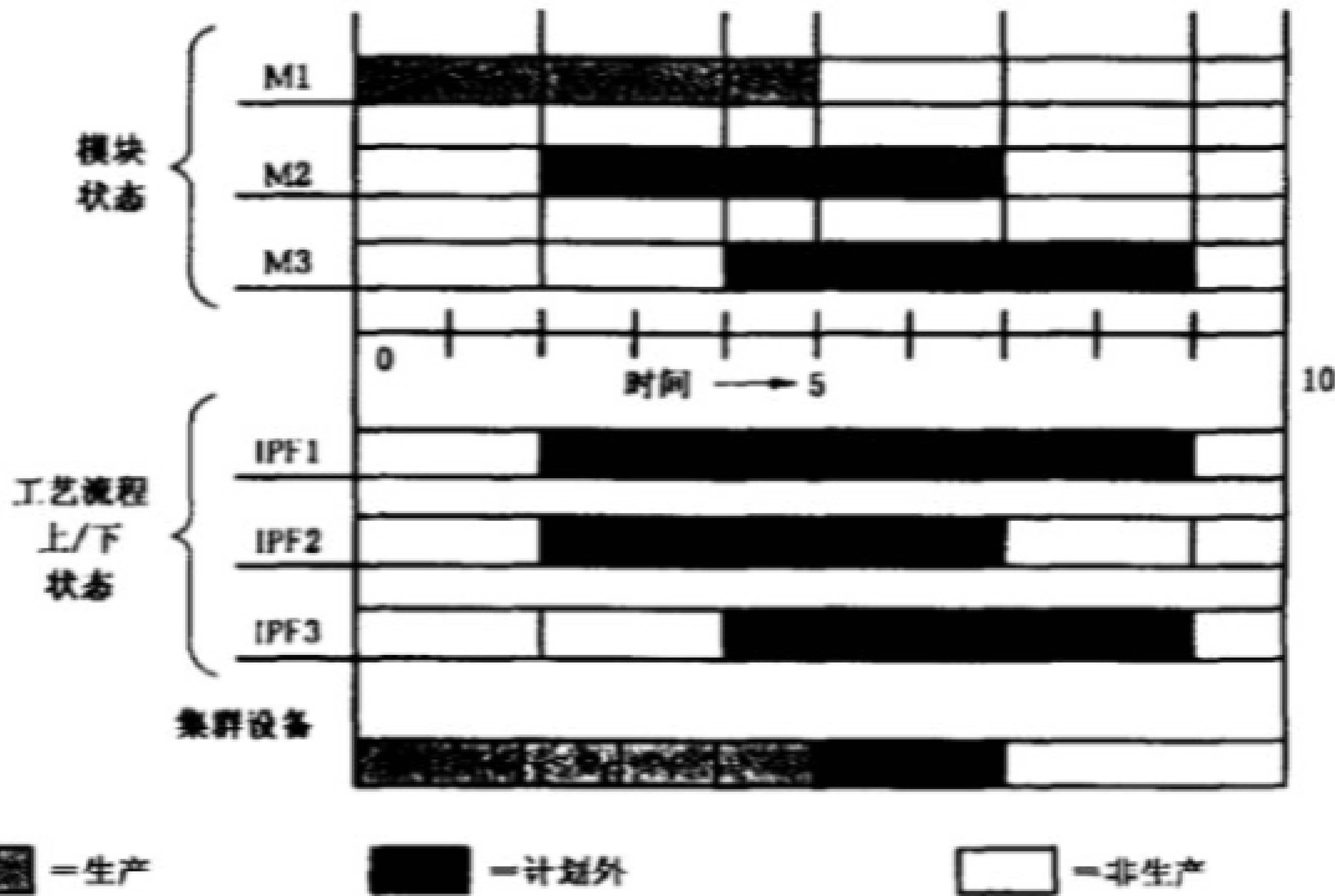


图 B.12 集群设备状态映射

注:在 $t=4$ 到 $t=5$ 这段时间,多路集群设备处于生产状态,但所有的 IPF 都处于不能工作状态,在实际的生产中,这种状态只可能出现在转化过程中。只要处于生产状态的模块完成正在进行的任务,多路集群设备就会不能工作。然而,只要模块处于生产状态,模块就会占用理论上的加工时间(SEMI E79 中的等级效率使用这个概念),为了保证在任何时间段计算出的等级效率都不会超过 100%,有必要将这一转换状态划分到生产时间。

表 B.4 集群设备状态的时间映射

时间	模块事件	IPF 事件	集群设备状态
$t=0$	M1 处于生产状态	所有的 IPF 都处于正常工作状态	生产状态
$t=2$	M2 失效 M1 仍处于生产状态	IPF1 和 IPF2 转到计划外不能工作状态	生产状态
$t=4$	M3 失效 M1 仍处于生产状态	所有的 IPF 都处于计划外不能工作状态	生产状态
$t=5$	M1 退出生产状态, 没有模块处于生产状态	所有的 IPF 仍处于计划外不能工作状态	计划外不能工作状态
$t=7$	M2 恢复到正常工作状态 M3 转到计划不能工作状态	IPF2 正常工作。至少一个 IPF 正常工作。IPF1 和 IPF3 处于不能工作状态,但不是计划外不能工作	中间状态
$t=9$	M3 恢复到正常工作状态 所有的模块都处于正常工作状态	所有的 IPF 都处于正常工作状态	中间状态

B.7 对 IPF 和多路集群设备的测量

B.7.1 定义及计算

准备好 IPF 和多路集群设备的状态记录后,对它们的评估可以按照对非集群设备和单路集群设备或模块的评估类似的方法进行。下面给出这些测量的定义以及基于示例 3 的计算。

注:这里所提供的对多路集群设备的测量方法反映的是多路集群设备相对全局失效的可靠性,而不是相对局部失效的可靠性。应该认识到,这里所提出的测量方法对每个加工环节都有较高冗余度的系统较为有利。可以使用 SEMI E79, SEMI E35 中的其他测量方法或非标准的测量方法对提高冗余度的成本进行计算。还应该认识到对于一个处于正常工作状态,但是某些可被替代的模块已经不能工作的 IPF,本标准所提供的测量方法无法反映生产能力的损失。同样,我们鼓励参考 SEMI E79, SEMI E35 中的测量方法或非标准的测量方法对此进行分析。

B.7.2 多路集群设备的可靠性

多路集群设备平均生产时间($MTBF_{PCT}$):失效间生产时间的平均值,这里生产时间是指至少有一个模块处于生产状态,失效指由于模块级非计划工作不能工作而导致多路集群设备没有一个 IPF 是可用的。

$$\begin{aligned} MTBF_{PCT} &= \frac{\text{多路集群工具生产时间}}{\text{多路集群工具失效数}} \\ &= \frac{5 \text{ h}}{1 \text{ 起失效}} \\ &= 5 \text{ h} \end{aligned}$$

多路集群设备失效时间(MFT_{CT}):由于模块处于非计划工作不能工作导致多路集群设备没有可用的 IPF 的平均时间。

注:由于多路集群设备的生产时间和非计划工作不能工作时间相互间互不包含,它们有可能与基于重新循环模型的方法兼容。重新循环的其他结果(例如,当随机对系统观察系统时,发现系统处于“正常工作状态”或“不能工作状态”的有限可能性,)可以由分析人员决定是否适用。

B.7.3 多路集群设备的可用性

B.7.3.1 累积的多路集群设备 IPF 的正常工作时间($Uptime_{CT-IPF}$)

多路集群设备的可用性是模块“正常工作/不能工作/非计划工作不能工作”状态的函数,是以所有 IPF 的累积的正常工作时间进行评估的。

$$\begin{aligned} Uptime_{CT-IPF} &= \frac{\sum_{\text{all IPF}} \text{IPF Uptime}}{\sum_{\text{all IPF}} \text{IPF Operations Time}} \times 100 \\ &= \frac{3+5+5}{10+10+10} \times 100 \\ &= \frac{13}{30} \times 100 \\ &\approx 43.3\% \end{aligned}$$

注:作为参考,用 SEMI E79 中的累积可用性效率对这个示例计算的结果是 20/30,或 66.7%。结果的差别清晰的表明把哪些模块的组合算作“失效状态”,模块失效对多路集群设备可用性的影响是有明显差别的。

附录 C
(资料性附录)
可靠性增长或退化模型

本附录提供与第 8 章有关的详细信息。

C.1 简介

在本附录的所有计算中都可以用 E-MTBF_p 代替 MTBF_p。

如果可修复的系统或设备的失效时间间隔是从同一指数分布系统中抽样的独立随机时间,则(理论上)失效发生率(ROCOF)为恒定的 λ , MTBF_p 为 $1/\lambda$ 。这种情况在可靠性文献中被称为均匀泊松过程(HPP)。HPP 假设支持第 6 章给出的 MTBF_p 的定义,第 7 章和附录 A 中所述的置信限系数。

如果可靠性随着时间增长或退化,则 ROCOF 不再是恒量,计算出的 MTBF_p 有误导作用。

本附录包含一个简单的趋势试验,如果怀疑 ROCOF 随时间发生变化,可以采用这个试验。本附录还介绍了一个知名且功能强大的模型,如果从设备的失效时间数据中发现可靠性有明显的增长趋势时,可以使用这个模型。

C.2 趋势检验

C.2.1 计算方法

首先,按照失效发生的顺序列出失效间隔。对于发生了 r 次失效的一段时间,可以写成 X_1, X_2, \dots, X_r 。按照从左到右的顺序,如果一个值小于比后面序列里的值,就纪录为 1 次逆转。即,只要 $X_i < X_j$, 且 $i < j$, 就算作 1 次逆转。例如,假设一个设备在生产时间内发生 4 次失效,时间分别在 30、160、220 和 360 小时,则时间间隔为 30、130、60 和 140 小时。总逆转数为 $3+1+1=5$ 次。

大于预期数的逆转数表明可靠性处于增长的趋势,小于预期的逆转数表明可靠性处于下降的趋势。

当失效数 r 小于等于 12 时,利用表 C.1 确定给定的逆转数 R 是否在 $100 \times (1-\alpha)$ 置信水平统计上显著。

当 r 大于 12 时,逆转数的近似临界值可根据下面的公式计算:

$$R(r;1-\alpha) = Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{(2r+5)(r-1)r}{72}} + \frac{r(r-1)}{4} - \frac{1}{2}$$

在这个公式中, $Z_{\alpha/2}$ 来自标准正态分布的临界值(90%显著, $Z_{\alpha/2} = 1.282$, 95%显著, $Z_{\alpha/2} = 1.645$, 99%显著, $Z_{\alpha/2} = 2.33$)。这个公式计算的是检测增长趋势的临界值。对于退化趋势(逆转数较少),使用 $(r)(r-1)/2$ 减去 $R(r;1-\alpha)$ 计算临界值。注意,当 $(r)(r-1)/2$ 恰好是发生 r 次失效时可能发生的逆转的总数。

例如,如果发生 17 次失效,按 95%显著性,利用公式 $R(r;1-\alpha)$ 给出临界逆转数 $R(17,95) = 88$ 。最大逆转数为 $17 \times 16/2 = 136$ 。这就是说,观察到 88 次或更多逆转表明可能有增长的趋势,而观察到 $136 - 88 = 48$ 次或更少逆转则表明有退化的趋势。

表 C.1 用于给定置信水平下逆转排列的临界值 $R(r;1-\alpha)$ (即逆转数)

抽样数 r	单侧下限关键值 (逆转数太少,提供下降的证据)			单侧上限关键值 (较多的逆转数,提供增长的证据)		
	99%	95%	90%	90%	95%	99%
4		0	0	6	6	
5	0	1	1	9	9	10

表 C.1 (续)

抽样数 <i>r</i>	单侧下限关键值 (逆转数太少,提供下降的证据)			单侧上限关键值 (较多的逆转数,提供增长的证据)		
	99%	95%	90%	90%	95%	99%
6	1	2	3	12	13	14
7	2	4	5	16	17	19
8	4	6	8	20	22	24
9	6	9	11	25	27	30
10	9	12	14	31	33	36
11	12	16	18	37	39	43
12	16	20	23	43	46	50

C.2.2 AMSAA 可靠性增长模型

假设失效的时间间隔表明可靠性有增长的趋势。通常这种情况发生在可靠性增长试验期间,这是由于对失效的根本原因进行了分析,并采取了措施以改进设备的可靠性。杜南观察到绘制 t_k/k 相对于 t_k 的曲线图(t_k 是发生第 k 次失效时的系统使用时间),通常在双对数坐标纸上呈现线性。这条曲线的斜率 β 表示可靠性增长率。 β 的典型经验值在 0.3 到 0.6 之间。

AMSAA 模型假设在可靠性增长试验中 MTBF_p 随时间而改进,并且具有以 MTBF₁(T) 表示的即时值。当试验在时间 T 结束时,MTBF_p 就成了一个具有 MTBF₁(T) 的常数。在 T 小时试验后,出现 r 次失效,MTBF_p 的估算值按下式计算:

$$MTBF_1(T) = \frac{T}{r \times (1 - \beta)}$$

.....(C.1)

在这个公式中, β 是可靠性增长的(Duane)斜率,利用克劳给出的修正过的最大可能估算值, β 值由下式计算出:

$$\beta = 1 - \frac{r - 1}{\sum_{i=1}^r \ln \frac{T}{t_i}}$$

.....(C.2)

C.2.3 示例

在一个季度里,一个设备的生产时间为 550 h,记录到 11 次失效,分别发生在下列生产时刻:18,20,35,41,67,180,252,287,390,410 和 511 h。确定是否呈现增长的趋势并以 AMSAA 模型估算季度末达到的 MTBF₁。

解决方案:时间间隔分别为:18,2,15,6,26,113,72,35,103,20 和 101 小时。逆转数为 7+9+9+9+5+0+2+2+0+1=40。使用表 C.1,按 95% 的置信水平,这是显著的,表明可能存在改进的趋势。图 C.1 给出了杜南曲线,在双对数纸上呈现出线性增长的趋势。AMSAA 模型的公式给出增长的斜率为 0.43,MTBF_p 在 550 h 的即时值为 87.2。需要注意,对于忽略增长的趋势的标准算法而言,将给出 MTBF_p 估算值为 550/11=50 h,低估了 43%。

图 C.2 对分析系统或设备可靠性数据时,推荐的程序进行了总结,而且还给出了对应的本标准或附录的章号或附录号。

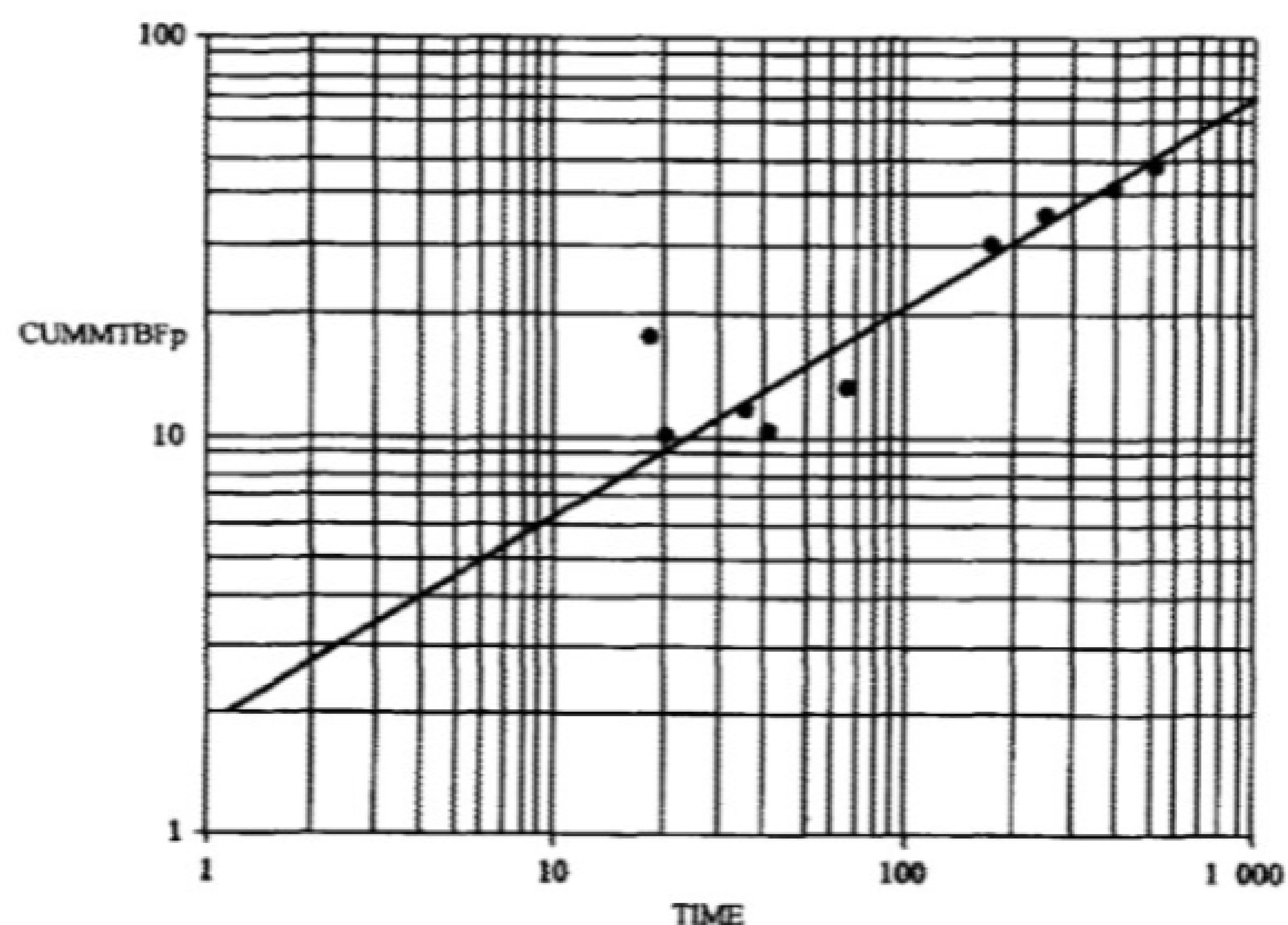


图 C.1 累计的 MTBFp 与时间的杜安绘图

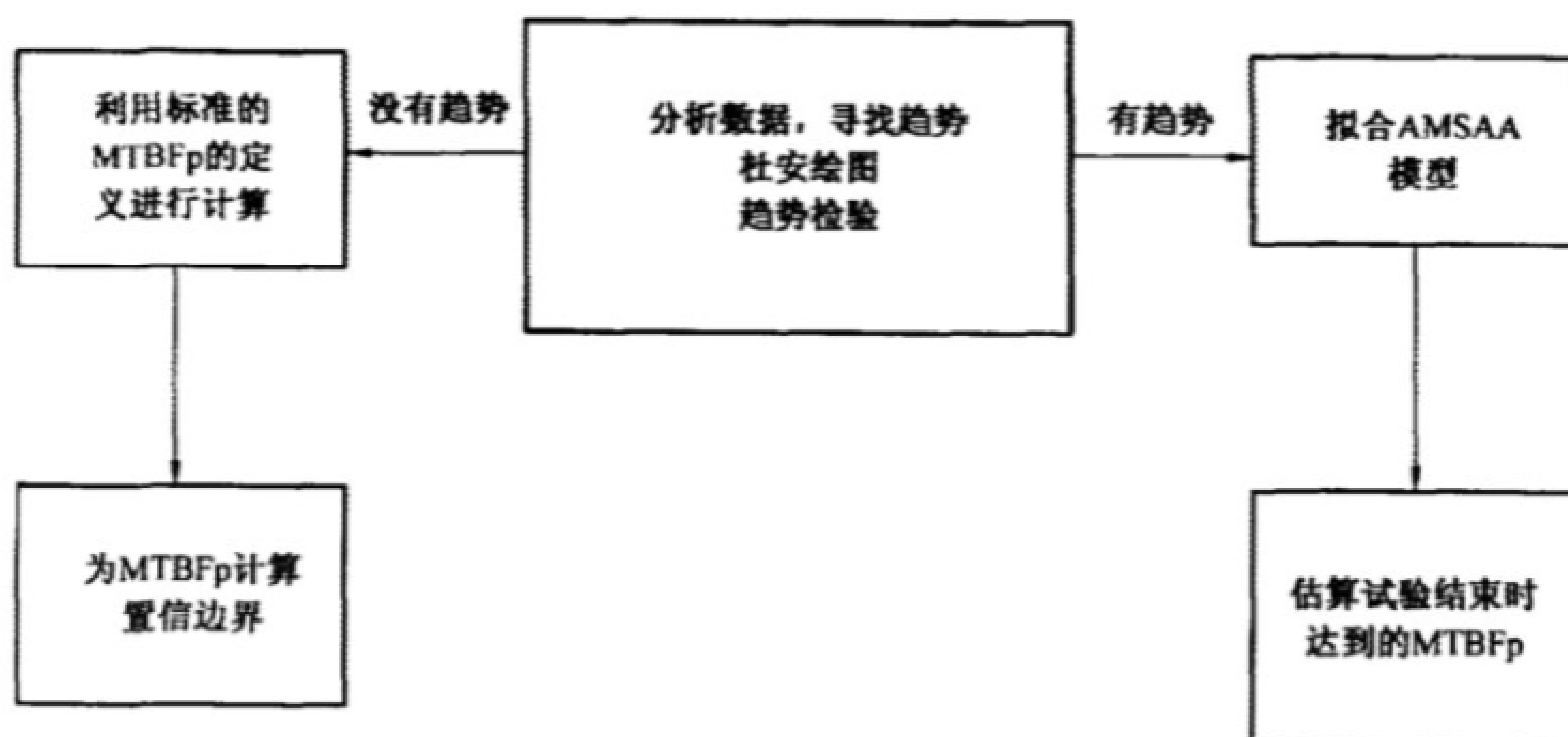


图 C.2 可靠性数据分析的流程

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
半导体设备可靠性、可用性和维修性
(RAM)的定义和测量规范
GB/T 24468—2009

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

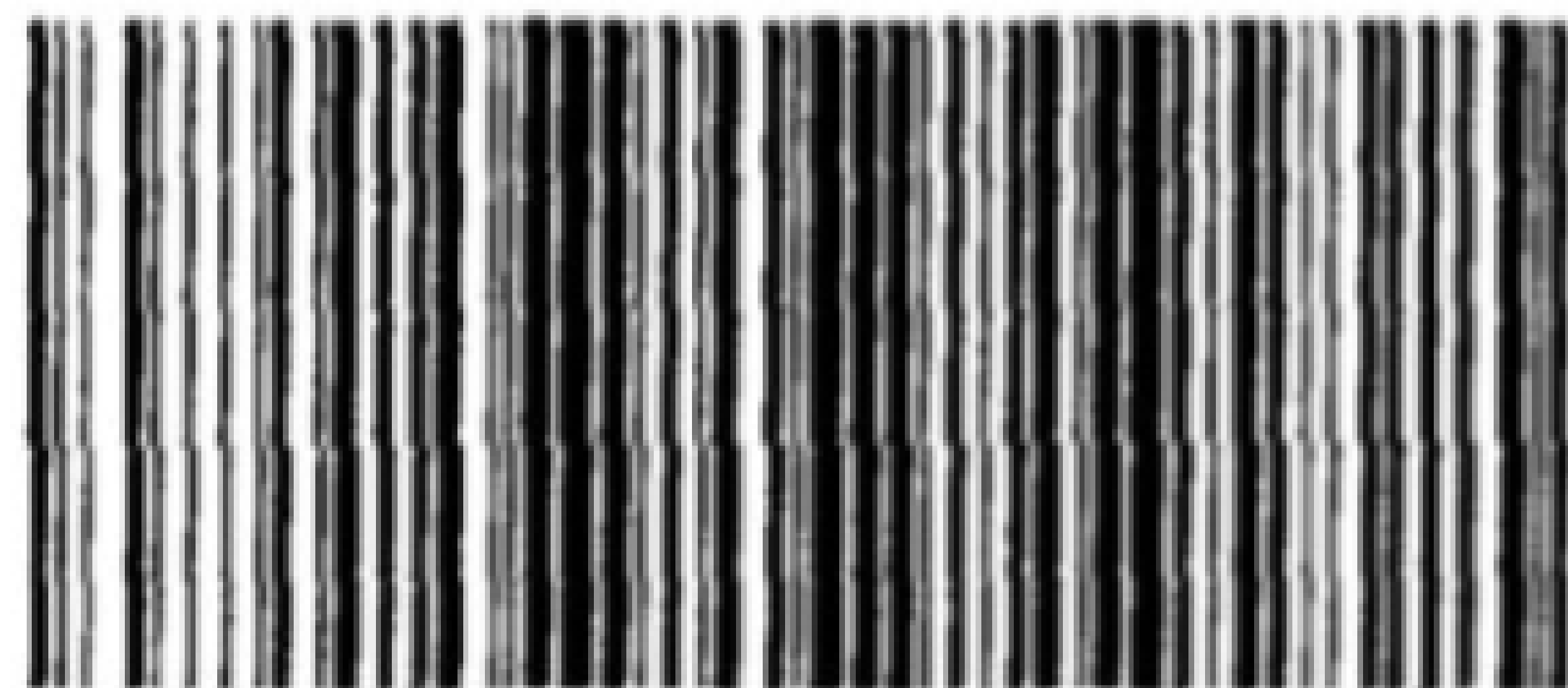
*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 58 千字
2009 年 11 月第一版 2009 年 11 月第一次印刷

*

书号:155066·1-39250 定价 33.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 24468-2009

www.bzxz.net

免费标准下载网