



中华人民共和国国家标准

GB/T 38047.1—2019

智能家用电器可靠性评价方法 第 1 部分：通用要求

Evaluation methods for reliability on smart household appliances—
Part 1: General requirements

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 可靠性评价内容 2

 4.1 评价参数选择 2

 4.2 评价指标的确定 2

 4.3 评价方法 2

5 可靠性试验方法 3

 5.1 试验剖面设计 3

 5.2 软件测试准备 6

 5.3 测试执行 7

6 故障数据的分析评估 9

 6.1 分布假设 9

 6.2 参数估计 9

附录 A（规范性附录） 智能家电产品的可靠性评价指标 10

附录 B（资料性附录） 图形表示法和表格表示法构造操作模式剖面的示例 11

附录 C（规范性附录） 根据概率分配测试用例的方法 12

附录 D（资料性附录） 测试记录示例性表格 13

附录 E（规范性附录） 经验分布函数的计算 14

附录 F（规范性附录） 威布尔分布的最小二乘参数估计 15

前 言

GB/T 38047《智能家用电器可靠性评价方法》分为以下几个部分：

——第1部分：通用要求；

——第2部分：特殊要求；

.....

本部分为 GB/T 38047 的第1部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国轻工业联合会提出。

本部分由全国家用电器标准化技术委员会(SAC/TC 46)归口。

本部分起草单位：中国家用电器研究院、工业和信息化部电子第五研究所、青岛海尔智能技术研发有限公司、广东美的制冷设备有限公司、珠海格力电器股份有限公司、海信(山东)空调有限公司、大金(中国)投资有限公司上海分公司、中国质量认证中心、合肥美的电冰箱有限公司、奥克斯空调股份有限公司、广东万和新电气股份有限公司、九阳股份有限公司、海信(广东)厨卫系统有限公司、长虹美菱股份有限公司、西安庆安制冷设备股份有限公司、亚都科技集团有限公司、浙江苏泊尔家电制造有限公司、浙江帅康电气股份有限公司、浙江星星冷链集成股份有限公司、浙江中广电器股份有限公司、杭州德意电器股份有限公司、广州万宝集团冰箱有限公司、中移(杭州)信息技术有限公司、广州视源电子科技股份有限公司、广东产品质量监督检验研究院、山东省计量科学研究院。

本部分主要起草人：马德军、吴上泉、杨林、徐鸿、刘群兴、赵鹏、张志刚、李红伟、黄权、陈军、陈进、郑崇开、冯承文、吴民安、秦英哲、李立博、邓旭、陈仙铜、樊杜平、黄逊青、张艳丽、苗帅、孙民、王小慧、李昱兵、郑高辉、卢毅、张贤勇、丁建东、马剑、薛祚威、石文鹏、汪超、陈凯、张伟、何伟洪、王泉。

智能家用电器可靠性评价方法

第1部分：通用要求

1 范围

GB/T 38047 的本部分规定了设计定型或生产定型的智能家用电器可靠性评价的评价内容、试验方法以及故障数据的分析评估。

本部分适用于单相器具额定电压不超过 250 V，其他器具额定电压不超过 480 V 的家用和类似用途智能家用电器。

注：不打算作为一般家用，但对公众仍可构成危险或具有类似使用环境、条件的智能家用电器，例如：打算在商店中、在轻工行业以及在农场中由非专业人员使用的智能家用电器，也在本部分范围之内。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5080.7—1986 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

GB/T 24986.1—2010 家用和类似用途电器可靠性评价方法 第1部分：通用要求

GB/T 28171—2011 嵌入式软件可靠性测试方法

GB/T 28219—2018 智能家用电器通用技术要求

GB/T 29832.1—2013 系统与软件可靠性 第1部分：指标体系

GB/T 29832.2—2013 系统与软件可靠性 第2部分：度量方法

GB/T 36426 智能家用电器服务平台通用要求

GB/T 36432 智能家用电器系统架构和参考模型

GJB 451A—2005 可靠性维修性保障性术语

3 术语和定义

GB/T 28171—2011、GB/T 28219—2018、GB/T 36432、GB/T 36426、GJB 451A—2005 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 28171—2011 和 GJB 451A—2005 中的一些术语和定义。

3.1

智能家用电器 smart household appliances

应用了智能化技术或具有了智能化能力/功能的家用和类似用途电器。

注：智能家用电器可简称为智能家电。

3.2

故障 fault

产品不能执行规定功能的状态。因预防性维修或其他计划的行动或缺乏外部资源造成不能执行规定功能的情况除外。

[GJB 451A—2005, 定义 2.2.1]

3.3

失效 failure

产品丧失完成规定功能的能力的事件。

注：实际应用中，特别是对硬件产品而言，故障与失效很难区分，故一般统称故障。

[GJB 451A—2005，定义 2.2.2]

3.4

操作 operation

持续一段时间，结束时将控制权还给系统的一种逻辑任务。

注：操作与软硬件的功能或特征相关，例如用户命令的执行、对输入的响应处理、系统事务处理。

3.5

偏离 deviation

软件执行中的系统行为相对预期行为的偏差。

[GB/T 28171—2011，定义 3.2]

3.6

成熟性 maturity

系统、产品或组件在正常运行时满足可靠性要求的程度。

[GB/T 25000.10—2016，定义 4.3.2.5.1]

3.7

容错性 fault tolerance

尽管存在硬件或软件故障，系统、产品或组件的运行符合预期的程度。

[GB/T 25000.10—2016，定义 4.3.2.5.3]

3.8

易恢复性 recoverability

在发生中断或失效时，产品或系统能够恢复直接受影响的数据并重建期望的系统状态的程度。

注：在失效发生后，智能家电控制系统有时会宕机一段时间，这段时间的长短由其易恢复性决定。

4 可靠性评价内容

4.1 评价参数选择

智能家电的可靠性评价参数包括成熟性、容错性和易恢复性三个维度的内容，附录 A 规定了各自维度的考核指标，并推荐使用平均失效间隔时间作为核心的评价参数。

4.2 评价指标的确定

智能家电可靠性评价指标是其可靠性参数要求的量值。根据用户的调查和数据的积累，综合考虑以下因素：

- a) 用户需求；
- b) 现有智能家电的水平；
- c) 在技术、经济实施方面的可行性。

4.3 评价方法

本部分规定了针对智能家电智能化技术的软硬件综合试验的可靠性评价方法，属于定量评价方法中的统计分析方法。

注：GB/T 24986.1—2010 中 8.1 和 8.2 规定了智能家电智能化以外其他部分的可靠性定性和定量评价方法。

5 可靠性试验方法

5.1 试验剖面设计

5.1.1 试验剖面设计总则

软硬件综合试验剖面设计的方法为：首先根据智能家电任务剖面确定其软件测试剖面，并建立其任务剖面 and 软件测试剖面之间的映射关系；然后根据任务剖面确定综合环境应力剖面，并建立任务剖面 and 综合环境应力剖面之间的映射关系；此时根据建立的映射关系将软件测试剖面 and 综合环境应力剖面进行综合，最终形成综合试验剖面。具体过程如图 1 所示。

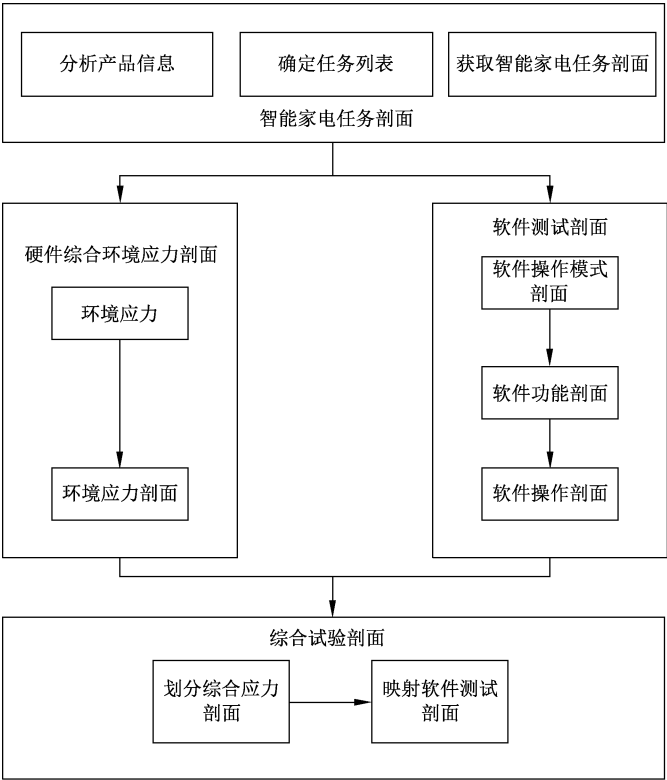


图 1 智能家电软硬件综合试验剖面设计流程

5.1.2 智能家电任务剖面设计

智能家电任务剖面设计原则为根据其待实现的最核心的产品目的来划分界定各任务，并且各任务在时间上不能同时发生。智能家电任务剖面是决定其在使用中将会遇到的主要环境条件的基础，其包括任务和发生概率的集合。发生的概率可以使用各种任务发生频率占所有任务发生频率的比例来确定，获得任务发生频率的途径有：

- a) 统计智能家电的售后、维护数据，以及智能家电系统日志中的相关信息；
- b) 对于具有多任务的智能家电，有相应国家标准或国际标准的，可以参考相应标准中各任务的时间占比。

5.1.3 构造软件测试剖面

5.1.3.1 软件测试概述

软件测试剖面是在预期环境中对软件各种预期操作的统计分布,可以描述其被使用的实际情况,可以使用图形表示法和表格表示法构造智能家电软件测试剖面。

当测试剖面比较复杂时,推荐采用图形表示法构造智能家电软件测试剖面。测试人员应根据软件研制任务书、需求规格说明文档、设计文档、操作手册进行测试剖面的构建,附录 B 为用图形表示法和表格表示法构造软件操作模式剖面的示例。

5.1.3.2 确定软件操作模式剖面

软件操作模式剖面是为了便于分析智能家电的执行行为,分组而成的一个功能或操作的集合。软件模式剖面是模式及其发生概率的集合。

软件操作模式可以来源于软件研制任务书或使用情况分析。发生的概率可以使用各种操作模式发生频率占有所有操作模式发生频率的比例来确定,获得操作模式发生频率的最佳途径是统计软件在客户现场的使用情况。对于新品智能家电,可以统计类似版本的智能家电产品或早期同类型产品,然后根据新品的实际情况进行调整,也可以邀请部分客户对其进行试用,统计试用情况;在没有统计数据的情况下,可以调查目标客户、询问专家意见等方式进行估计。定义模式剖面包括但不限于以下因素:

- a) 客户或者用户:如要求特殊功能的用户组,完全级别的家电用户模式、限值级别的家电用户模式等;
- b) 操作的构造性结构:如联机模式和单机模式;
- c) 网络环境:如过载与正常的通信量。

5.1.3.3 确定软件功能剖面

功能剖面是分解软件操作模式所需的功能,并确定每个功能的发生概率。构造过程可以先从智能家电软件的需求规格说明文档中获得初始的功能列表,再结合运行环境的各种情况得到最终的功能列表,最后为每个最终的功能分配发生概率。发生概率可以通过功能使用频率占同一软件操作模式剖面下所有功能使用频率的比例确定,功能的使用频率可以通过现场使用信息、参考类似或早期版本、邀请客户试用、调查目标客户及询问专家意见等方式确定。

5.1.3.4 确定软件操作剖面

功能和操作之间存在一定的联系,一个功能可以映射成一个或多个操作,一组功能也可以重新合并成一组不同的操作,可根据功能剖面获取操作列表。

操作发生概率的确定方式与功能发生概率的确定方式类似,通过操作发生频率占有所有操作发生频率的比例得到。

操作的发生频率可通过统计现场信息、参考类似产品或早期版本、统计客户使用信息、调查目标客户及询问专家意见等方式收集。

操作剖面的构造流程通常有 5.1.3.1~5.1.3.3 的三个步骤,其中前两个步骤是为准确得到操作剖面而逐步细化的过程,可以根据智能家电的实际情况进行合并裁剪:

- a) 在软件操作模式比较单一的情况下,可以省去软件操作模式剖面的构造;
- b) 在操作比较明显的情况下,可以省去功能剖面的构造;
- c) 当有充分的售后或调研分析数据,可以直接获得精确的功能剖面和操作剖面时,可以省略

5.1.3.1或 5.1.3.2 步骤。

注：比如针对互联/互通功能下的软件操作，可以包括但不限于配网、用户注册、登录、登出、智能家居的控制等。

5.1.4 构造综合环境应力剖面

5.1.4.1 环境应力选择

对智能家居起主要影响的环境参数分为气候参数和其他环境参数，应考虑所有环境参数的严酷度及持续时间或频率，以尽可能的逼近智能家居实际运行时的使用环境。

气候环境参数包括室内与室外条件的各种环境参数。它们有些是密切相关的，应该同时加以考虑。气候环境参数包括但不限于表 1 的内容。

表 1 气候环境参数

参数	参数来源	指标内容
环境温度	技术说明、相关国家标准要求	温度范围
湿度	技术说明、相关国家标准要求	湿度范围
温度变化率	技术说明	范围、变化率
气压	技术说明	气压范围
风	技术说明	速度

在某些情况下，下列参数中的一项或多项也应加以考虑：

- a) 正常工作电源的电压、频率波动范围；
- b) 传导或辐射电磁干扰，静电放电及雷电效应；
- c) 液体浸渍或液溅。

5.1.4.2 环境应力剖面制定

对于单任务的智能家居，根据智能家居产品的任务剖面中所经历的环境时序，制定硬件环境应力剖面。

对于多任务的智能家居，首先分别对每个任务绘制环境应力剖面，然后根据 5.1.2 中每个任务出现的概率，对相应任务的环境试验剖面的持续时间进行加权，最后得到多任务智能家居的硬件综合环境应力剖面，如图 2 所示。



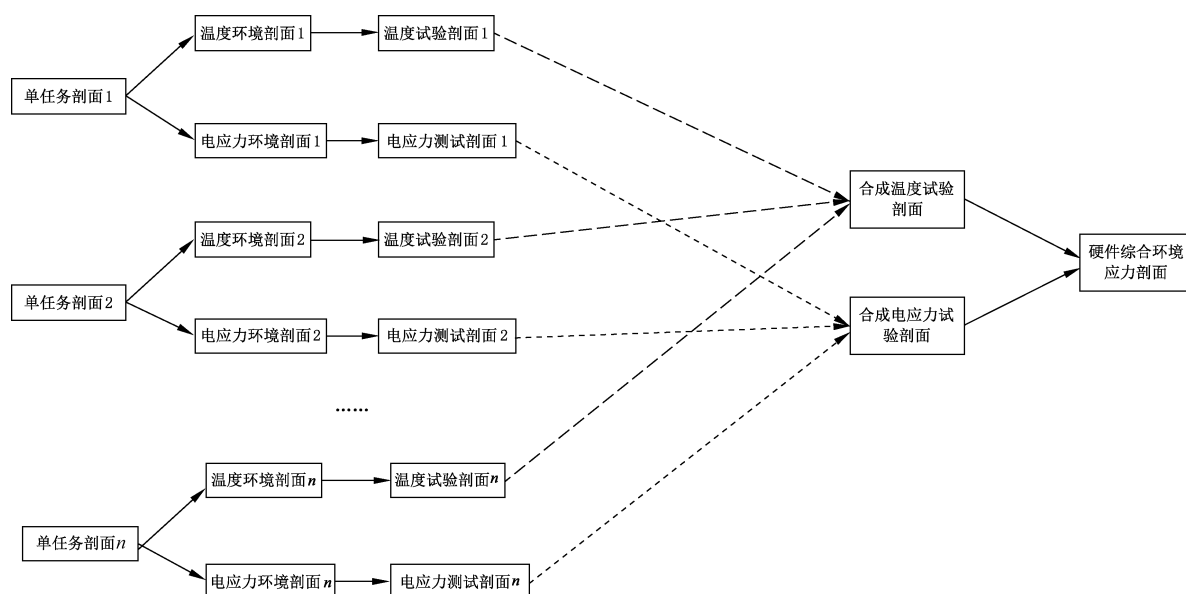


图2 多任务硬件综合环境应力剖面构造方法

5.1.5 综合试验剖面制定

根据智能家电任务剖面与软件测试剖面之间及智能家电任务剖面与环境应力之间的对应关系,将软件测试剖面与硬件综合环境应力剖面相匹配,得到综合软硬件试验剖面。

针对任意一种硬件综合环境应力,都应分配到软件测试剖面。

5.2 软件测试准备

5.2.1 计算测试用例数量方法

5.2.1.1 时间成本估计法

考虑时间、成本因素,取这两个数量的最小值作为计划准备的测试用例的数量。

时间的计算,用可用的时间乘以可用的人员数,再除以准备一个测试用例的平均时间。

成本的计算,用建立测试用例的预算除以每个测试用例的平均准备成本。

5.2.1.2 操作频率估计法

根据目标可靠性指标结合每个操作发生的频率,估计测试用例的数量。

以可靠性参数为平均失效间隔时间为例,首先假设智能家电整机的故障服从指数分布,其次根据生产方和使用方需求,按 GB/T 5080.7—1986 中的表 12,制定可靠性验证统计试验方案,确定测试时间,最后依据每个操作发生的频率,计算得出需要的测试用例数量。

5.2.2 分配测试用例

为每个操作分配测试用例数量,进行下列工作:

- 确定很少出现的关键操作(概率小但应测到),为每个这样的操作分配测试用例数量。关键操作是指其软件缺陷造成的故障属于表 2 中的关键故障。
- 确定偶发性的操作,分配一个测试用例,偶发性的操作是指出现概率非常低的操作,这样的目的是保证至少为这样的操作分配一个测试用例。

- c) 根据操作概率,把剩下的测试用例分配给剩余的其他操作,具体分配的方法见附录 C。

5.2.3 指定测试用例分组划分

5.2.3.1 等价类划分法

等价类划分法是把输入集合中的输入情况分为若干个互不相交的等价类,每个等价类中的输入情况对于揭露程序中的缺陷来说是等效的。在选取测试用例的时候,把等价类中的输入情况看作一个整体,从其中选代表性的数据作为测试用例进行测试。

在分析需求规格说明的基础上划分等价类,列出等价类表,其分为两种:有效等价类、无效等价类。有效等价类指符合需求规格说明,合理的输入数据构成的集合。无效等价类指不合理的输入数据所构成的集合。

5.2.3.2 边界值分析法

根据软件测试的特点,边界条件的测试是非常重要的,边界值分析法作为等价类划分方法的有效补充,需要针对等价类的边界取值进行测试用例设计,这意味着在某些情况下,参数值并不能完全随机生成,在测试用例集合中应包含具有边界取值的测试用例,所以,在工具中要提供给用户设定是否边界取值的接口,那么相应的在测试用例生成算法中根据用户的设定会选择强制生成参数的边界取值。

5.2.3.3 对于离散或连续输入

对于具有发生概率的参数,如何在取值范围内合理地产生参数值是使得测试用例符合真实情况的一个基本要求。根据智能家电软件的特点,参数的取值范围可以划分为两种类型,即连续型取值范围和离散型取值范围。那么应针对不同类型的取值范围分别产生随机值。

对于连续型的取值范围,采用如下方法获得随机值:用上界减去下界得到取值范围的区间长度,利用随机数发生器产生一个落在这个区间长度内的值,然后用下界加上这个随机值就获得了落在取值范围内的随机值。

对于离散型的取值范围,首先对取值范围做一个转变,用 0 来表示第一个元素,用 1 来表示第二个元素……,用 $n-1$ 来表示第 n 个元素。以此类推,那么取值区间就可以转变为 $(0, n-1)$ 这样的连续取值范围, n 就是取值范围内元素的个数。这样,利用随机数发生器产生一个 $(0, n-1)$ 内的随机整数就可以随机获得取值范围内的值。

5.2.3.4 图像和音频的测试用例选择

根据智能家电携带的图像处理模块和语音识别模块的具体要求分别建立图像测试数据库和语音测试数据库。

对于带图像功能模块、语音识别模块的智能家电,测试数据库可以根据智能家电、其携带的传感器的实际安装位置、使用情况、技术规格说明书,用实际的图像模型、音频模型去生成。

根据输入参数的分布情况建立随机索引去查询数据库,建立测试用例集。

5.3 测试执行

5.3.1 测试执行环境

软件测试环境指为被测软件提供测试输入并采集测试输出的软硬件环境。软件测试可以在真实的、仿真的或半实物仿真的测试环境中进行。结合仿真测试环境和真实环境,可以实现针对智能家电的半实物仿真测试环境,其可以由目标机、实时处理机和宿主机组成,目标机为被测智能家电整机产品。实时处理机是模拟智能家电的外部运行环境,它向智能家电提供激励信号,同时接收反馈信息。宿主机

主要是完成测试用例的设计、测试运行的管理、数据分配及测试后的评估工作。由于半实物仿真环境能够兼顾实际使用情况和操作,同时生成自动化的测试脚本,接收反馈数据,监控测试用例的执行情况,对智能家电执行的偏离情况进行统计,因此本部分推荐在有条件的情况下,实施半实物仿真的测试环境。

在真实测试环境进行测试有如下要求:

- a) 操作剖面中涉及的操作能在真实测试环境中执行。
- b) 能够采集用于软件故障判别的测试结果数据。
- c) 软件故障造成的危害不会损坏真实环境中的其他系统。

对采用仿真测试环境进行测试有如下要求:

- a) 操作剖面中涉及的操作能在仿真测试环境中执行。
- b) 要保证仿真测试环境的真实性,即:仿真环境的机理输入满足真实交联环境的输入接口、数据格式和输入时序的要求;与真实使用的交联环境的输入逻辑相同;能满足软件测试机理的实时性要求。
- c) 能够采集用于软件失效判别的测试结果数据。

5.3.2 确定故障程度

对于智能家电产品,根据其使用范围、对象,确定故障的严重程度。一般根据对人员生命、财产和系统能力的影响来区分故障严重程度;故障严重程度级别用于对故障数据的分析,在测试过程中研判是否属于故障的偏离,故障严重程度分类方法见表 2。

表 2 故障严重程度分类表

故障等级	故障
等级 1:严重故障	导致漏电、火灾危险、机械危险的故障;出现其他不符合相关安全标准规定的情况;智能家电中止工作或严重损坏数据库,如宕机等
等级 2:一般故障	运行时出现异常噪声;丧失智能家电产品的主要功能
等级 3:轻微故障	产品说明书中规定的辅助功能不能实现

5.3.3 故障数据统计

在测试中应对测试的输出进行分析,确定故障、故障时间。

5.3.4 分析和记录测试输出的偏离

可以采用自动化工具或以人工测试结果审查,确定执行结果与相对预期行为的偏差。

5.3.5 确定哪些偏离是故障

依据 GB/T 24986.1—2010 中 9.1 的要求、厂家的说明书、技术文档、用户需求情况,结合表 2 的内容研判该偏离是否属于故障,并定义故障等级,不管是硬件故障、控制终端程序故障、智能家电本体的嵌入式软件故障、传感器故障还是云端决策算法发生的故障均作为智能家电的故障统计,此外对于需要容错、避免严重错误的故障也应统计在内。

5.3.6 估计故障发生的时间

估计故障发生的时间采用统一的时间度量,以小时(h)为单位。

对于同时出现的多个故障,应通过分析该多个故障是否为一个独立故障引发的多个从属故障,或该

多个故障本身存在独立和从属的关系：

- a) 如果是,则应记录为单一故障,记录故障时间;
- b) 如果不是,则应记录为多个故障,并应在记录的时间间隔内,估计该多个故障的时间。

5.3.7 形成测试记录

按照执行的测试用例,记录测试过程、测试结果、运行时间、失效时间、失效现象、故障恢复时间,形成测试记录。附录 D 给出了一个测试记录示例性表格。

6 故障数据的分析评估

6.1 分布假设



在不对智能家电软件做任何修改的条件下,对于尚无充分数据验证和确定故障分布特性的家用电器,采用以下假设:

- a) 由较多的零部件组成,具有多种故障模式的整机设备、复杂部件以及由电子元器件为主构成的智能家电整机的故障间隔时间,采用指数分布假设。
- b) 由少数的零部件组成,具有某种或少数几种故障模式的机械零部件的故障时间间隔,可采用威布尔分布假设。
- c) 若有充分的试验数据,可进行验证后再确定。

6.2 参数估计

6.2.1 指数分布的参数估计

GB/T 24986.1—2010 中第 10 章的内容适用。

6.2.2 威布尔分布的参数估计

首先,针对第 5 章的故障数据,进行经验分布函数的计算见附录 E。

其次,根据经验分布函数,对威布尔分布做最小二乘参数估计见附录 F。

附 录 A

(规范性附录)

智能家电产品的可靠性评价指标

根据 GB/T 29832.1—2013 中的可靠性指标体系内容,制定对照关系表见表 A.1。

表 A.1 指标对照关系表

GB/T 29832.1—2013 指标			本部分指标	度量方法
成熟性	失效度 ^a	失效密度	故障密度 ^a	GB/T 29832.2—2013 中 5.1
		失效解决率	未涉及 ^b	—
	故障度 ^a	故障密度	未涉及 ^a	—
		潜在故障率	未涉及 ^a	—
		故障排除率	未涉及 ^a	—
	测试度	测试覆盖率	未涉及 ^c	—
		测试通过率	未涉及 ^c	—
	有效度	平均失效间隔时间	平均失效间隔时间	GB/T 29832.2—2013 中 5.4
		有效服务时间率	有效服务时间	
		累计有效服务时间	累计有效服务时间	
容错性	正常运行度	避免宕机率	避免宕机率	GB/T 29832.2—2013 中 6.1
		避免失效率	避免严重故障率 ^d	
	抵御误操作率		抵御误操作率	GB/T 29832.2—2013 中 6.2
易恢复性	重启成功度	平均宕机时间	平均宕机时间	GB/T 29832.2—2013 中 7.1
		平均恢复时间	平均恢复时间	
	修复成功度	易修复性	易修复性	GB/T 29832.2—2013 中 7.2
		修复有效性	修复有效性	

^a GB/T 29832.1—2013 中 5.1 中失效是指软件不能按照规定的性能要求执行它所要求的功能,即软件运行结果与需求不一致,GB/T 29832.1—2013 中 5.1 中故障主要是指在计算机程序中不正确的步骤、过程或数据定义。一方面,根据 GB/T 29832.2—2013 中 5.2 对故障密度的度量方法规定,需事先知晓软件的规模(如代码的行数),而本部分的测试方法为黑盒测试,因此两者的方法并不兼容;另一方面,由于本部分考核的是整机产品,在测试用例的执行过程中,计算机程序中的不正确步骤、过程或数据定义也将表现为对某种预期操作结果的偏离(即 GB/T 29832.1—2013 中 5.1 对失效的定义),同时还要结合表 2 对偏离进行故障判定和分级。因此,本部分使用故障密度代替 GB/T 29832.1—2013 中 5.1 的失效密度,并对 GB/T 29832.1—2013 中 5.2 的故障密度不涉及。

^b 本部分仅针对设计定型或生产定型的智能家电产品,不考虑软件的回归测试,因此这些指标不涉及。

^c 本部分不涉及覆盖要求计划执行的用例,因此这些指标不涉及。

^d GB/T 29832.1—2013 中 6.1 对避免失效率描述为避免关键和严重失效的比率,本部分中根据表 2 的要求对故障分级为轻微故障、一般故障和严重故障,因此本部分称为避免严重故障率。

附录 B
(资料性附录)

图形表示法和表格表示法构造操作模式剖面的示例

根据 5.1.3.1 中对软件操作模式划分需要考核的因素,包括客户和用户组、操作的构造性结构、网络环境等。操作的用户分类,可以分为完全级别的用户、限制级别的用户、售后用户;针对完全级别的用户、限制级别的用户,可细分为单机模式和联机模式,而联机模式又可分为网络拥塞和网络通畅模式。针对售后用户,假设该智能家电只允许其通过远程查询运行数据,因此仅在联机模式下工作,同时也可以细分为网络拥塞和网络通畅模式。

采用图形表示法构造操作模式剖面,如图 B.1 所示。

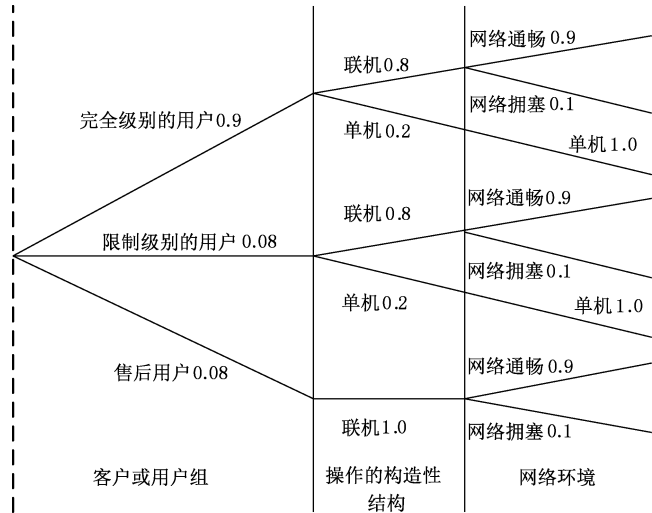


图 B.1 图形表示法构造操作模式剖面

采用表格表示法构造操作模式剖面,见表 B.1。

表 B.1 表格表示法构造操作模式剖面

序号	软件操作模式	发生概率
1	完全级别的家电用户、联机模式、网络拥塞	$0.9 \times 0.8 \times 0.1 = 0.072$
2	完全级别的家电用户、联机模式、网络通畅	$0.9 \times 0.8 \times 0.9 = 0.648$
3	完全级别的家电用户、单机模式	$0.9 \times 0.2 = 0.18$
4	限值级别的家电用户、联机模式、网络拥塞	$0.08 \times 0.8 \times 0.1 = 0.0064$
5	限值级别的家电用户、联机模式、网络通畅	$0.08 \times 0.8 \times 0.9 = 0.0576$
6	限值级别的家电用户、单机模式	$0.08 \times 0.2 = 0.016$
7	售后用户、网络拥塞	$0.02 \times 0.1 = 0.002$
8	售后用户、网络通畅	$0.02 \times 0.9 = 0.018$

注：本附录中的具体概率数值均为便于理解,假设举例所用。

附 录 C
(规范性附录)

根据概率分配测试用例的方法

根据操作剖面中给出的操作和对应的发生概率,采取随机抽样的方式选取操作。假设存在一组 A_i ($i=1,2,\dots,N$),其中每个元素都分别对应一个操作,该操作的发生概率为 p_i ,有 $0 < p_i < 1$,并且

$\sum_{i=1}^N p_i = 1.0$,随机抽样的过程如下:

- a) 对概率 p_i 求前 j 项和 S_j , $S_j = \sum_{i=1}^j p_i$,形成一个数列 $\{S_j\}$,其中 $j=1,2,\dots,N$,规定 $S_0 = 0$,显然 $S_1 = p_1, S_N = 1, S_j - S_{j-1} = p_j$ 。
- b) 任给一个随机数 $\eta, \eta \in (0,1)$,观察 η 落在哪个区间,若 η 满足 $s_{j-1} \leq \eta \leq s_j$,则该随机数 η 与 p_j 这个概率值对应,则此次随机抽到的元素为 A_j ,即分配到对应的操作。



附 录 D
(资料性附录)
测试记录示例性表格

在试验过程中,记录关联故障发生的时间、恢复故障的时间,并根据故障情况依据表 2 对故障进行等级划分,表 D.1 为一个试验记录的示例。

表 D.1 试验记录示例

事件	时间	故障间隔时间 min	恢复时间 min	现象	故障等级划分	备注
开始测试	2018 年 1 月 1 日 8 时 00 分	0	0	—	—	
故障 1	2018 年 1 月 1 日 8 时 35 分	35	—	宕机	1 级	
故障 1 恢复	2018 年 1 月 1 日 8 时 40 分	—	5	正常工作	—	
故障 2	2018 年 1 月 1 日 9 时 10 分	30	—	出现异常噪声	2 级	
故障 2 恢复	2018 年 1 月 1 日 9 时 20 分	—	10	正常工作	—	
故障 3	2018 年 1 月 1 日 10 时 10 分	50	—	注册用户信息失败	3 级	
故障 3 恢复	2018 年 1 月 1 日 10 时 15 分	—	5	—	—	
故障 4	2018 年 1 月 1 日 11 时 20 分	65	—	智能家电主要功能失效	2 级	
故障 4 恢复	2018 年 1 月 1 日 11 时 30 分	—	10	正常工作	—	
测试结束	2018 年 1 月 1 日 13 时 20 分	—	—	—	—	

附 录 E

(规范性附录)

经验分布函数的计算

根据智能家电的故障分布,可以对其故障累积分布的经验函数依照以下方法进行计算。

对于 n 组样本数据观测值,将其按照观测的时间进行排序:

$$t_1 \leq t_2 \leq \cdots \leq t_n$$

定义经验分布函数见式(E.1):

$$F_n(t) = \begin{cases} 0 & t < t_1 \\ i/n & t_i \leq t < t_{i+1} \\ 1 & t \geq t_n \end{cases} \quad \cdots \cdots (E.1)$$

其中 i 表示以将观测时间按照从小到大排序后的顺序号。

根据格里文科定理,当 $n \rightarrow \infty$ 时, $F_n(t)$ 依概率 1 均匀地收敛于 $F(t)$, 其中 $F(t)$ 为观测总体的累积分布函数。

在样本量较大($n \geq 20$)时,可由可靠度定义,直接计算其经验分布函数见式(E.2):

$$F_n(t) = \frac{r(t)}{n} \quad \cdots \cdots (E.2)$$

其中, $r(t)$ 为产品到时刻 t 的累积失效数, n 为样本总数。当样本数较少($n \leq 20$)时,为了减小误差,可采用式(E.3)计算经验分布函数。

近似中位秩公式:

$$F_n(t_i) = (i - 0.3)/(n + 0.4) \quad \cdots \cdots (E.3)$$



附录 F

(规范性附录)

威布尔分布的最小二乘参数估计

两参数威布尔分布的分布函数见式(F.1):

$$F(t) = 1 - e^{-t^m/t_0}, m > 0, t_0 > 0, t \geq 0 \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

其中, m 称为形状参数, t_0 为尺度参数, 首先对式(F.1)做简单变换, 得式(F.2):

$$\frac{1}{1 - F(t)} = e^{t^m/t_0} \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

然后针对式(F.2)的两边取两次对数, 得式(F.3):

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = m \ln t - \ln t_0 \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

令 $y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)}, x = \ln t, b_0 = -\ln t_0$, 则得到回归方程 $y = b_0 + b_1 x$ 。

根据观测数据 $\left\{ \ln t_i, \ln \ln \frac{1}{1 - F(t_i)}; i = 1, 2, \dots, n \right\}$, 即可用最小二乘法得到回归系数 b_0, b_1 和相关系数 r 。

最终得到参数估计见式(F.4):

$$\left. \begin{aligned} \hat{m} &= b_1 \\ \hat{t}_0 &= e^{-b_0} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (F.4)$$