



# 电器可靠性评价 与可靠性增长

陆俭国 王景芹 赵靖英 编著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

# 电器可靠性评价与可靠性增长

陆俭国 王景芹 赵靖英 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

河北工业大学电器研究所于 20 世纪 70 年代开始从事电器产品可靠性理论研究与应用的工作,本书的内容为该研究所四十多年来取得的研究成果的总结。国务院发布的质量发展纲要中提出了实施质量提升工程与可靠性提升工程,本书针对广泛应用于电力配电系统中的典型低压电器产品的可靠性问题进行了阐述。简要介绍了电器产品的发展历史,阐述了电器可靠性的基础知识、电器产品的可靠性统计理论、电器产品的可靠性抽样理论及电器产品的可靠性试验技术,结合电器产品可靠性试验方法的国家标准介绍了典型电器产品的可靠性评价技术以及电器产品的可靠性分析、可靠性设计、可靠性制造、可靠性增长理论和技术以及可靠性提升技术。

本书可作为高等工业学校电气工程专业的大学、研究生的专业教材,也可供从事电器设计、研究、制造及试验工作的工程技术人员使用,还可供电器产品使用部门的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电器可靠性评价与可靠性增长/陆俭国,王景芹,赵靖英编著. —北京:科学出版社,2019.3

ISBN 978-7-03-059937-7

I. ①电… II. ①陆… ②王… ③赵… III. ①电器-可靠性-研究 IV. ①TM5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 275057 号

责任编辑:钱 俊 陈艳峰 / 责任校对:杨 然

责任印制:吴兆东 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2019 年 3 月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:330 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

可靠性技术是二十世纪中叶发展起来的、以概率论为理论基础、以数理统计为基本方法的一门综合技术。它包括可靠性设计、可靠性制造、可靠性试验、可靠性统计、可靠性管理以及失效分析等很多内容。产品的可靠性是产品质量的一个重要组成部分。一个设备或系统的可靠性在很大程度上取决于该系统中所用元器件的可靠性,如果元器件的可靠性不高,则系统的可靠性也就很难得到保证。此外,系统的可靠性还随系统中所用元器件数量的增加而有所降低,随着自动控制系统的大型化和复杂化,为保证系统能正常工作,人们对所用元器件的可靠性提出了越来越高的要求。可靠性研究始于电子元器件。一些工业发达国家对产品的可靠性问题十分重视,投入了大量的人力、物力进行可靠性研究,取得了很大成效。阿波罗登月飞行、航天飞机、宇宙飞船等大型工程事先都制订了周密而详尽的可靠性保证计划。这对这些工程的顺利完成起了决定性作用,从这里更可看出可靠性技术的重要。电器产品量大面广,广泛用于各种控制系统和配电系统,所以提高电器产品的可靠性对于保证控制系统正常工作与配电系统正常供电均有重要作用。

本书绪论部分对电器产品的发展历史以及可靠性工作的内容作简要介绍;第1章至第4章为电器可靠性基础理论部分,阐述了可靠性的基础知识、电器产品的可靠性统计理论、电器产品的可靠性抽样理论及电器产品的可靠性试验技术;第5章结合典型电器产品分别讨论了控制继电器、小容量接触器、家用及类似场所用过电流保护断路器、家用及类似用途的剩余电流动作断路器、塑料外壳式断路器以及过载继电器的可靠性评价技术;第6章阐述了电器产品的可靠性技术设计、可靠性预计、可靠性分配以及可靠性分析;第7章介绍了电器产品可靠性增长理论以及可靠性提升技术。

本书由河北工业大学陆俭国、王景芹、赵靖英教授主编,温州大学吴桂初教授,河北工业大学李奎、苏秀苹、骆燕燕、刘帼巾、李文华等教授参加了部分内容的写作,天津农学院王丽讲师、常熟开关制造有限公司、厦门宏发电声股份有限公司、上海良信电器股份有限公司、长城集团电器有限公司及国家电器质量监督检验中心的有关同志参加了第7章部分章节的编写工作。

感谢国家科学技术学术著作出版基金的资助。

由于时间仓促,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2019. 1. 2

# 目 录

## 前言

绪论	1
0.1 电器可靠性工作概况	1
0.1.1 工业发达国家电器可靠性工作概况	1
0.1.2 我国电器可靠性工作概况	4
0.2 可靠性定义	7
0.3 产品可靠性与质量的关系	8
0.4 固有可靠性与使用可靠性	8
0.5 失效规律	8
0.6 提高电器产品可靠性的重要意义	9
0.7 可靠性工作的基本内容	10
第1章 可靠性基础知识	11
1.1 可靠性数学基础	11
1.1.1 布尔代数的基本知识	11
1.1.2 失效密度函数及累积失效分布函数	12
1.2 电器产品的可靠性特征量	14
1.2.1 不可修复产品的可靠性特征量	15
1.2.2 可修复产品的可靠性特征量	18
1.3 失效密度函数、累积失效分布函数与可靠性特征量的关系	19
第2章 电器产品的可靠性统计	22
2.1 失效分布类型	22
2.1.1 常见的失效分布类型	22
2.1.2 失效分布类型的确定方法	39
2.2 电器产品可靠性特征量的估计	54
2.2.1 大样本时电器产品可靠性特征量的估计	54
2.2.2 小样本时电器产品可靠性特征量的估计	67
2.2.3 无失效数据时电器产品可靠性特征量的估计	70
第3章 电器产品的可靠性抽样检查	77
3.1 概述	77

3.2	抽样检查方案的分类	77
3.2.1	按性质分类	77
3.2.2	按用途分类	78
3.2.3	按抽样次数分类	78
3.2.4	按进行方式分类	79
3.3	抽样检查的基本理论	80
3.3.1	抽样检查方案的接收概率	80
3.3.2	抽样检查方案的抽检特性曲线及参数 $p_0$ 、 $p_1$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$	82
3.3.3	抽样检查方案的确定方法	83
3.4	指数分布时电器产品的可靠性抽样	86
3.4.1	失效率抽样	86
3.4.2	平均寿命抽样	88
3.4.3	可靠寿命抽样	89
3.4.4	平均寿命序贯抽样	89
3.5	威布尔分布时电器产品的可靠性抽样	91
3.5.1	平均寿命抽样	91
3.5.2	可靠寿命抽样	94
<b>第4章</b>	<b>电器可靠性试验</b>	<b>97</b>
4.1	概述	97
4.2	可靠性试验的种类	98
4.3	可靠性筛选试验	99
4.3.1	特点	99
4.3.2	筛选试验项目、筛选应力以及筛选试验时间(或操作次数)的确定	99
4.4	可靠性环境试验	100
4.5	可靠性测定试验与可靠性验证试验	100
4.5.1	可靠性测定试验	101
4.5.2	可靠性验证试验	101
4.5.3	可靠性寿命试验(正常寿命试验)	103
4.6	加速寿命试验	104
<b>第5章</b>	<b>电器产品的可靠性评价</b>	<b>110</b>
5.1	控制继电器的可靠性	110
5.1.1	控制继电器的可靠性指标	110
5.1.2	控制继电器的可靠性试验要求	111
5.1.3	控制继电器的可靠性试验方法	112
5.1.4	触点负载类型为 ccl 的继电器可靠性试验	115

5.1.5	触点负载类型为 cc2 的继电器可靠性试验	118
5.1.6	控制继电器的可靠性试验装置	119
5.2	小容量交流接触器的可靠性	123
5.2.1	小容量交流接触器的可靠性指标	123
5.2.2	小容量交流接触器的可靠性试验要求	124
5.2.3	小容量交流接触器的可靠性试验方法	125
5.2.4	小容量交流接触器可靠性等级的确定	126
5.2.5	小容量交流接触器在实际使用负载条件下可靠性的确定方法	129
5.2.6	小容量交流接触器的可靠性试验装置	129
5.3	小型断路器的可靠性	133
5.3.1	小型断路器的可靠性指标	133
5.3.2	小型断路器的可靠性试验要求	135
5.3.3	小型断路器的可靠性试验方法	137
5.3.4	小型断路器的可靠性验证试验的抽样方案及试验程序	139
5.3.5	小型断路器的可靠性试验装置	143
5.4	漏电保护器的可靠性	146
5.4.1	漏电保护器的可靠性指标	146
5.4.2	漏电保护器的可靠性试验要求	149
5.4.3	漏电保护器的可靠性试验方法	151
5.4.4	漏电保护器的可靠性验证试验的抽样方案及试验程序	155
5.4.5	漏电保护器的可靠性试验装置	160
5.5	塑壳断路器的可靠性	164
5.5.1	塑壳断路器的可靠性指标	164
5.5.2	塑壳断路器的可靠性试验要求	165
5.5.3	塑壳断路器的可靠性试验方法	167
5.5.4	塑壳断路器的可靠性验证试验的抽样方案及试验程序	170
5.5.5	塑壳断路器的可靠性试验装置	172
5.6	过载继电器可靠性	178
5.6.1	过载继电器的可靠性指标	178
5.6.2	过载继电器的可靠性试验要求	178
5.6.3	过载继电器的可靠性试验方法	179
5.6.4	过载继电器的可靠性验证试验方案及试验程序	180
5.6.5	过载继电器的可靠性试验装置	181
<b>第 6 章</b>	<b>电器产品的可靠性设计</b>	<b>185</b>
6.1	概述	185

6.2	电器产品的可靠性技术设计 .....	186
6.2.1	降额使用 .....	186
6.2.2	贮备设计(冗余设计) .....	187
6.2.3	耐环境设计 .....	188
6.2.4	耐热设计 .....	190
6.2.5	耐振动设计 .....	191
6.3	电器中机械构件的可靠性设计 .....	192
6.3.1	基于应力-强度干涉模型的可靠性设计的基本原理 .....	192
6.3.2	电器中杆件的可靠性设计 .....	198
6.4	可靠性预计 .....	200
6.4.1	系统的可靠性框图 .....	201
6.4.2	串联系统的可靠性预计 .....	202
6.4.3	并联系统的可靠性预计 .....	203
6.4.4	$n$ 个取 $k$ 系统的可靠性预计 .....	204
6.4.5	串并联系统的可靠性预计 .....	205
6.4.6	复杂系统的可靠性预计 .....	207
6.5	可靠性分配 .....	211
6.5.1	简单的可靠性分配方法(等分配法) .....	212
6.5.2	根据相对失效率进行可靠性分配 .....	212
6.5.3	根据各组成单元的重要度及复杂度进行可靠性分配(AGREE分配法) .....	213
6.5.4	花费最小可靠性分配法 .....	214
6.6	可靠性分析 .....	214
6.6.1	失效模式和效应分析 .....	214
6.6.2	故障树分析法 .....	214
<b>第7章</b>	<b>电器产品的可靠性增长技术</b> .....	<b>223</b>
7.1	概述 .....	223
7.2	电器产品可靠性增长理论 .....	224
7.2.1	电器产品可靠性增长试验 .....	224
7.2.2	电器产品可靠性数据的收集 .....	225
7.2.3	电器产品可靠性增长管理 .....	225
7.2.4	电器产品及设备的可靠性增长模型及参数估计方法 .....	228
7.3	电器试验中的可靠性提升技术 .....	241
7.3.1	概述 .....	241
7.3.2	电器产品可靠性提升工作计划 .....	241
7.3.3	电器试验中的可靠性提升工作 .....	241



---

参考文献	248
附录 1 $\Gamma$ 函数表	250
附录 2 $\chi^2$ 分布下侧分位数 $\chi_p^2(f)$ 表	251
附录 3 标准正态分布函数 $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-v^2/2} dv$ 数值表	255
索引	257

## 绪 论

在近代科学技术突飞猛进的发展过程中,可靠性技术随着生产和科学技术的发展而产生,同时人们在不断地应用可靠性技术解决实际问题的过程中也促进了生产和科学技术的发展。产品可靠性是指产品在规定的条件下及规定的时间内完成规定功能的能力,而可靠性技术就是指与产品可靠性有关的工程方法,可靠性技术已有几十年的历史。第二次世界大战中,电子设备大量用于军用装置,经常发现各类电子设备不能有效地投入使用。在 20 世纪 50 年代初期的一次战争中,这个问题暴露得更为明显,美国的雷达设备经常不能正常工作而处于待修状态。由于电子设备可靠性不高而使维修费用很高,这就促使美国开始重视可靠性问题,并着手进行调查、研究及试验工作,从而揭开了电子设备领域内可靠性研究的序幕。早期的研究重点放在电子管方面,在确定电子管的性能时,不仅重视其电性能,而且也重视其耐震及耐冲击等环境适应性。20 世纪 50~60 年代是可靠性技术飞速发展的 10 年,美国国防部成立了各种可靠性研究组织。例如,1950 年成立了 Ad-HoC 可靠性小组,1952 年成立了 AGREE(电子设备可靠性顾问组),1957 年成立了 ACGMR(AdHoC 导弹可靠性委员会)等。在这些组织的领导下,美国大规模地开展了可靠性管理、可靠性分析及可靠性试验等方面的工作。同时美国各有关技术协会及一些公司、制造厂也开展了大量可靠性研究工作。20 世纪 60 年代后期,发布了不少有关可靠性管理、可靠性设计及可靠性试验鉴定等方面的标准,电子元器件及电子设备方面的可靠性技术渐趋成熟。20 世纪 70 年代,美国在可靠性研究方面逐渐深入到机械、电工、电力、化工等领域。综上所述,在从事可靠性研究方面,美国是开展得最早、范围最广、也最有成效的国家。此外,日、英、法、德、苏联等国家也积极开展了可靠性研究工作,至今也已取得很大的成效。苏联不仅制订了不少可靠性基础标准,而且对某些产品制订了可靠性标准或在产品标准中规定了可靠性要求及可靠性试验方法,同时还出版了关于可靠性方面的书籍及手册,如 1985 年出版了由乌沙柯夫(И. А. У ШАКОВ)编写的《系统可靠性技术手册》等。

### 0.1 电器可靠性工作概况

#### 0.1.1 工业发达国家电器可靠性工作概况

电器可靠性研究与应用工作已成为工业发达国家电器制造厂及研究部门的一

项重要工作。目前工业发达国家有些电器产品已规定了可靠性指标,有些电器产品虽还未明确规定可靠性指标,但在工厂内部大多已在开展产品的可靠性工作,并把产品可靠性的高低作为企业间竞争的重要手段。当前,工业发达国家电器产品可靠性研究与应用工作的重点主要为下列几方面。

### 1. 可靠性标准的制订

可靠性标准的制订工作进展很快,特别是可靠性基础标准的制订进展更快。IEC TC56 可靠性技术委员会从 1965 年成立以来,已发布了不少有关可靠性与维修性的标准。1988 年 IEC TC56 在东京召开年会,会议决定采用“工具箱原理”构成 TC56 的标准体系。所谓“工具箱原理”是指把标准及文件分成 4 类,即顶端文件(IEC300)、应用指南、工具类、支持文件。其中顶端文件 IEC300《可靠性与维修性管理》是一个可靠性管理方面的基础标准。应用指南类标准主要包括可靠性要求规范、可靠性设计分析、元(部)件可靠性预计、可靠性试验、可靠性增长、可靠性筛选、软件可靠性、维修性技术和现场评估。工具类标准主要包括 IEC605《设备可靠性试验》和 IEC706《维修性导则》两个系列标准。

在电器产品可靠性标准制订方面,工业发达国家第一个有可靠性要求的电器产品标准是 1964 年发布的美国军用标准 MIL-R-39016《有可靠性指标的电磁继电器总规范》;日本于 1980 年发布了日本工业标准 JIS C5440《有可靠性要求的控制用小型继电器通则》,并于 1981 年发布的 JIS C4530《拍合式电磁继电器》与 1982 年发布的 JIS C4531《接触器式继电器》中都规定了失效率试验的方法。2002 年 IEC60050-444《电术术语 基础继电器》中规定了 10 条关于可靠性的术语。IEC 于 2011 年发布了 IEC 61810-2-1《机电式基本继电器 2-1 部分:可靠性》。苏联在不少电器产品标准中都列入了可靠性要求与可靠性试验方面的内容,例如,1983 年发布的 ГОСТ 12434—1983《低压开关电器通用技术条件》中就规定了产品的可靠性要求。德国在 VDE0660《低压开关电器规范》中规定了产品机械寿命和电寿命的额定值取占全部接触器 90%的接触器所能达到的极限通断次数,这实际上也用可靠度等于 0.9 时的可靠寿命的概念来考核接触器的机械寿命和电寿命。法国在 NFC 63—100《工业用低压控制设备——接触器》标准中规定了对成批生产的电器,特别是约定发热电流小于或等于 40A 的电器,机械寿命是在有代表性的样机上以重复方式进行试验的,制造厂在统计了试验结果后给出产品的机械寿命值。实际上这就是用可靠性的概念来确定接触器的机械寿命。

### 2. 可靠性试验与可靠性试验装置的研制

在 20 世纪 80 年代美国、日本在电器的可靠性寿命试验中已普遍采用电子计算机进行控制与检测,如日本安川公司在继电器的接触可靠性试验中采用了电子

计算机进行控制与检测的自动试验装置；日本松下电器公司在继电器可靠性寿命试验中采用了微型计算机控制的全自动试验装置；日本富士通公司在舌簧继电器的可靠性试验中也采用了计算机控制的试验装置，该装置可同时进行 200 个舌簧管的寿命试验；美国用微处理机控制的 RT160 型继电器可靠性寿命试验装置具有能自动测量触点的接触压降等多项参数、试验结果的显示及打印等功能。在接触器的寿命试验方面，德国的电器公司一般都是经常做的。例如，西门子公司生产的接触器，每周抽一次样品，两个月共抽 20~30 台 ( $I_N \leq 32A$ ) 或 10~15 台 ( $I_N > 32A$ ) 为一组进行机械寿命试验，试验到所有样品都坏了为止。根据试验结果用威布尔概率纸定出可靠度  $R=0.9$  时的可靠寿命，此值不应低于产品样本上规定的机械寿命值。西门子公司接触器电寿命试验的每组台数与机械寿命试验时相同，但每月抽一次样品进行试验，一年所抽的样品为一组。法国的特力遥控机械公司的接触器每月抽 10 台样品进行机械寿命试验；日本的 S 型接触器也是每月抽 2~20 台进行机械寿命试验。

### 3. 加速寿命试验的研究

美国、日本等国都在对电器加速寿命试验的模式、方法及数据分析方法进行研究。例如，日本以负载电压及负载电流为加速变量进行了开关的加速寿命试验，根据试验结果算出了不同负载电压和负载电流值时的加速系数。

### 4. 可靠性设计的研究

美国、日本等国都十分重视产品的可靠性设计。例如，美国、日本、德国等国的各大电器公司均设计并开发了智能型断路器，大大提高了供电可靠性。智能化断路器不仅可以远距离地把信号传输给控制室的计算机，还可以接收来自计算机的指令，实现系统的自动化与双向通信。

### 5. 可靠性物理的研究

国外从 20 世纪 60 年代开始研究可靠性物理。美国空军 ROME 航空发展中心在 20 世纪 60 年代初首先开始对现场失效的元器件进行失效分析。J. Vaccro 首先提出用“失效物理学”这一概念来研究元器件的可靠性。从 1962 年起美国每年召开一次“失效物理”会议，从 1967 年起改称“可靠性物理”会议。所谓“可靠性物理”就是专门研究产品失效机理的科学。它对产品怎样失效和为什么失效的具体物理、化学过程进行研究。可以看出，可靠性物理学的研究是提高产品可靠性的基础性研究。

美国、日本等国对可靠性物理的研究都很重视。在电磁继电器、接触器可靠性物理的研究方面，对继电器触点的接触性能及电磁系统等部分的可靠性进行了深

人的研究,通过大量的试验和对实际使用的调查,掌握了继电器在工作中的各种故障形式以及产生故障的各种原因。其中,对触点接触可靠性的研究尤为重视,他们研究了各种使用环境条件对接触可靠性的影响,对触点的材料、形状、接触方式、接触压力等进行了全面的分析,并对产品的设计和使用提出了要求。日本对接触器使用中发生的故障进行了大量的调查,调查结果表明,接触器的可靠性除了取决于设计和制造外,正确使用与否对其可靠性影响也很大。

### 0.1.2 我国电器可靠性工作概况

原机械工业部对电工产品的可靠性工作十分重视,早在 20 世纪 70 年代末,原机械工业部委托河北工业大学举办了电器新技术学习班,可靠性技术是其中主要内容之一,1981 年在原机械工业部领导下成立了中国电工技术学会,并于 1983 年 10 月成立了该学会的电工产品可靠性专业委员会,在该学会组织下开展了电工产品可靠性研究工作与学术交流,并多次举办电工产品可靠性学习班。原机械工业部在 1986 年以(86)机技函字 1701 号文发布了《关于加强机电产品可靠性工作的通知》,以后又曾多次召开可靠性工作会议,部署在机电行业中开展“限期考核机电产品可靠性指标”的工作,从 1986~1991 年共发布了七批(共 1189 种规格)限期考核可靠性指标的机电产品清单,其中包括继电器、接触器、变压器、量度继电器、电动机、电力电子器件等不少电工产品,这对推动中国电工产品可靠性工作有很大作用。

在上海电器科学研究所、许昌继电器研究所、成都机床电器研究所等原归口研究所的组织下,从 20 世纪 80 年代中期开始,在电器行业中开展了可靠性研究工作。电磁式中间继电器可靠性研究、小容量交流接触器可靠性研究等项目被列为原机械工业部“七五”重点项目。由研究所、高等学校及有关企业合作开展了上述项目的研究工作,通过理论分析和大量试验研究,分析了这些电器产品的失效机理,研制了可靠性试验装置,提出了这些产品的可靠性指标及考核方法,指导工厂改进产品设计和制造工艺,提高了产品的可靠性。

从 20 世纪 80 年代中期至今,我国电器行业在可靠性工作方面进行了下列工作:

#### 1. 制订了可靠性试验与考核标准

河北工业大学等单位负责制订了五个电器可靠性行业标准,于 2007 年由中华人民共和国国家发展和改革委员会批准发布。并于 2008 年升格为国家标准,被中国国家标准化管理委员会批准发布。到 2016 年,我国共批准发布了九个继电器和有代表性的低压电器可靠性国家标准:

- 1) GB/T 15510—2008 控制用电磁继电器可靠性试验通则；
- 2) GB/Z 10962—2008 机床电器可靠性通则；
- 3) GB/Z 32513—2016 低压电器可靠性试验通则；
- 4) GB/Z 22200—2016 小容量交流接触器可靠性试验方法；
- 5) GB/Z 22201—2016 接触器式继电器可靠性试验方法；
- 6) GB/Z 22202—2016 家用和类似用途的剩余电流动作断路器可靠性试验方法；
- 7) GB/Z 22203—2016 家用及类似场所用过电流保护断路器的可靠性试验方法；
- 8) GB/Z 22204—2016 过载继电器可靠性试验方法；
- 9) GB/Z 22074—2016 塑料外壳式断路器可靠性试验方法。

在这些标准中规定了继电器和有代表性的低压电器产品的可靠性指标、可靠性试验方法、失效判据与可靠性验证试验方案。

## 2. 可靠性试验装置的研制

研制出了贯彻上述国家标准的控制用电磁继电器、小容量交流接触器、家用和类似用途的剩余电流动作断路器、家用及类似场所用过电流保护断路器、过载继电器、塑料外壳式断路器等产品的可靠性试验装置。

## 3. 限期考核可靠性指标的工作

从1986年至1991年5月原机械工业部先后共发布了七批(共1189种规格)限期考核可靠性指标的机电产品清单,其中包括几十种规格的电器产品。完成了几十种规格的控制继电器、交流接触器、熔断器等电器产品的可靠性指标的限期考核工作。

## 4. 电器可靠性设计的研究

运用应力强度干涉模型开展了电器中关键零部件—杆件、弹簧、电磁系统的可靠性设计技术研究,并采用冗余设计等技术开展了触头可靠性设计技术研究。

## 5. 电器行业可靠性试验室的建立

为了贯彻上述电器可靠性国家标准,河北工业大学与乐清市人民政府在乐清市(中国电器重要生产基地)建立了乐清市河北工大电器可靠性实验室,河北工业大学还帮助国家电器产品质量监督检验中心、常熟开关制造有限公司、厦门宏发电声股份有限公司等十多家电器企业及试验站建立了电器可靠性实验室。这些电器骨干企业在建立的可靠性实验室中开展了产品可靠性试验与失效分析工作,对提

高其产品可靠性有很好效果。

#### 6. 与电接触研究结合,开展学术交流活动

电器产品的可靠性取决于它们在使用过程中是否频繁发生故障,所以对电器产品进行失效分析,找出其故障模式与故障机理,可在设计、制造及材料等方面采取改进措施来提高其可靠性。电接触故障(包括接触不良或不能按规定要求将电路断开)是各种电器产品故障的一个重要形式。

IEEE 开关设备技术委员会断路器可靠性工作小组从 1974 年到 1977 年在全球范围内对使用中的高压断路器的故障进行了调查。此次调查的 77892 个断路器来自 22 个国家的 102 家公司,涉及了 1964 年后使用的、额定电压在 63kV 及以上的各种类型断路器。调查中发现断路器运行中故障的 19% 是辅助电路和控制电路中的电接触故障。

继电器故障中电接触故障所占的比例高达 75% 左右,可见开展电接触研究与电器产品可靠性有密切关系,因此中国电工技术学会电工产品可靠性专业委员会召开的八次学术年会中电接触研究均为主要内容之一,近些年来该学会将可靠性与电接触研究相结合,定期举办“电工产品可靠性与电接触国际会议”,于 2004 年至 2017 年举办了第一届至第六届“电工产品可靠性与电接触国际会议”,特别是第四届国际会议和第 26 届电接触国际会议(ICEC)一起举办,这也是 ICEC 首次在中国举办。

#### 7. 开展电器产品可靠性评价与提升工程

为贯彻落实机械产品制造强国战略与国家发布的质量发展纲要中提出的产品可靠性提升工程,中国电工技术学会电工产品可靠性专业委员会于 2012 年推荐确定继电器行业的龙头企业厦门宏发电声股份有限公司与低压电器行业的龙头企业及骨干企业常熟开关制造有限公司、上海良信电器股份有限公司、长城电器集团有限公司等四个企业为“电器产品可靠性提升工程”首批示范单位,并与上述四个示范单位签订了开展为期两年的可靠性提升工作协议书。

各示范单位十分重视此项工作,成立了以企业领导或技术负责人为组长的企业可靠性提升工作小组,制订了可靠性提升工作目标与计划,确定了企业可靠性提升的典型产品;进行了可靠性摸底验证试验;根据试验结果对失效产品或试验中暴露出的问题进行分析,提出并落实改进措施;改进后进行产品第二轮可靠性验证试验;并送第三方检测机构国家电器产品质量监督检验中心进行可靠性试验与评价。各示范单位经两年多努力,已圆满完成上述各项工作,试验结果表明:各示范单位进行该工作的产品可靠性有明显提升,取得了很好的效果,对推进我国电器行业的可靠性提升工作起到了示范带头作用。

上述电器可靠性评价工作的开展标志着中国的电器产品可靠性工作进入了一个新阶段。

虽然在国内电器可靠性研究方面进行了上述方面的工作,取得了一定进展,但由于我国电器产品的可靠性研究工作起步较晚,至今仅对继电器、接触器、小型断路器及漏电保护器等部分电器产品进行了可靠性试验与考核工作,不少电器产品还未开展可靠性研究与考核,在电器新产品开发时还未开展可靠性设计与可靠性制造,特别是我国电器制造企业中,对电器产品可靠性工作还重视不够,一般还未设置专门的可靠性管理机构,可靠性工作还未认真开展。我国电器产品的可靠性水平普遍低于国外发达国家电器产品的可靠性水平。

## 0.2 可靠性定义

产品的可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间(或操作次数)内完成规定功能的能力。

首先,产品的可靠性与规定的功能有关。所谓规定的功能是指产品标准或产品技术条件中所规定的各项技术性能。上述定义中的“完成规定功能”是指完成全部规定的技术性能。

其次,产品的可靠性是与规定的条件分不开的。所谓规定的条件是指产品使用时的负载条件、环境条件以及贮存条件。显然,负载条件不同时产品的可靠性也不同。例如,电器触头接通并断开电流的大小、触头回路电源电压的高低都会影响到电器产品的可靠性,环境条件(如温度、湿度、海拔、盐雾、冲击、振动等)对电器产品可靠性的影响也很大。显然,在恶劣的环境条件下,电器产品的可靠性就低些。贮存条件对电器产品的可靠性也有影响。例如,因贮存条件不良而使产品受潮时,其可靠性就会降低。

最后,也是最重要的是产品的可靠性与规定的时间密切相关。产品在一天内完成规定的功能当然比在一年内完成同样的功能容易得多,所以规定的时间越长,产品的可靠性就越低,亦即产品的可靠性随着其使用时间的增长而降低。

上述可靠性的定义只能定性地描述产品可靠性的高低。为了能定量地描述产品可靠性的高低,下面引入可靠度的概念。电器产品的可靠度是指产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定的功能的概率,一般用  $R$  表示。例如,某种规格的接触器操作至  $10^6$  次时的可靠度为 90%,就是指若多次抽取  $n$  个该规格的接触器在规定的条件下操作至  $10^6$  次时,平均有 90% 的接触器按照规定的条件完成规定的功能。



### 0.3 产品可靠性与质量的关系

产品的可靠性是产品质量的一个重要方面。电器产品的质量应包括其技术性指标和可靠性指标两个方面。这两者之间既有联系又有差别,假如产品的可靠性不高,即使其技术性指标很先进,也不能认为产品质量好。例如,一台低压断路器的通断能力指标虽很先进,但其动作不可靠,当电路发生短路等故障时,它不能可靠地动作,就可能扩大事故,这台低压断路器当然不能认为是质量好的产品。反之,一台低压断路器的通断能力很低时,即使其可靠性较高,电路发生短路故障时,它能可靠地动作,但它只能用于短路电流较小的场合,因此其应用条件受到限制,这台低压断路器当然也不能算是质量很好的产品。因此,对于一台高质量的产品来说,高可靠性与先进的技术性能指标是缺一不可的。

### 0.4 固有可靠性与使用可靠性

IEC300 中指出:“产品在用户手中显示出的可靠性是对用户最有意义的可靠性。”产品在用户实际使用时显示出的可靠性称为工作可靠性(operational reliability),它由固有可靠性(inherent reliability)和使用可靠性(use reliability)构成。固有可靠性是制造厂在产品生产过程中所确定的产品可靠性,它和原材料、零部件的选择、设计、制造、试验等方面的因素都有密切关系。它是制造厂在模拟实际工作条件的标准环境下进行测定并必须予以保证的可靠性。使用可靠性是与产品使用有关的一些因素所确定的可靠性。产品在制造厂生产出来后,要经运输、贮存及安装等过程才能投入实际使用,产品在实际使用过程中要受到环境、操作情况、维修方式及维修技术等因素的影响,在实际使用中人为因素对产品可靠性的影响也很大。上述这些因素确定了产品的使用可靠性。

一个固有可靠性很高的产品,如使用不当,其使用可靠性不高,则该产品的工作可靠性也就不理想。相反,一个固有可靠性虽不很高的产品,假如使用得当,其使用可靠性很高,则该产品的工作可靠性虽不是很理想,但也能满足一定要求。

### 0.5 失效规律

产品的失效率  $\lambda(t)$ ,是指已工作到时刻  $t$  的产品在  $t$  时刻后的单位时间内发生失效的概率。很多产品的失效率  $\lambda(t)$  与时间  $t$  的关系曲线如图 0-1 所示。图 0-1 中的曲线通常称为“浴盆曲线”。从曲线上可看出,产品失效率随时间的变化大致可划分为三个阶段,即早期失效期、偶然失效期与耗损失效期。

1) 早期失效期。它发生在产品工作早期。其特点是产品失效率较高,但随工