

主办单位

- 中国科协学会工作部
- 中国科协普及工作部
- 中国科协继续教育中心
- 中央电视台
- 中国质量管理协会
- 中国电子学会
- 中国仪器仪表学会
- 中国通信学会

卓礼章 编著

可靠性设计

人民邮电出版社

《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班教材 五

主办单位 中国科协普及工作部
中国科协继续教育中心 中 央 电 视 台
中国质量管理协会 中 国 电 子 学 会
中国仪器仪表学会 中 国 通 信 学 会

可 靠 性 设 计

卓礼章 编著

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书较全面地讲述了电子设备可靠性指标的确定,可靠性预计,可靠性分配,失效模式、效应及危害性,失效树分析,元器件选用和降额设计,热设计,电磁兼容性设计,容差与漂移设计,三防设计,抗振设计,贮备设备维护性设计,人-机工程设计,可靠性增长试验方案设计,可靠性设计评审等。

本书内容精炼,理论与实例相结合,适于电子设备设计人员和有关专业的师生阅读参考。

可 靠 性 设 计 KEKAOXING SHEJI

卓礼章 编著

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号

北京广益印刷厂印刷
人民邮电出版社发行

开本: 787×1092 1/16 1989年4月 第一版
印张: 17 页数: 136 1993年1月北京第2次印刷
字数: 420千字 印数: 12 001—19 000

ISBN 7-115-03812-0/Z·133

定价: 11.60元

《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班

主办单位

中国科协学会工作部 中国科协普及工作部
中国科协继续教育中心 中央电视台
中国质量管理协会 中国电子学会
中国仪器仪表学会 中国通信学会

教育委员会

顾问:

盛树仁 高镇宁 宋季文 刘 恕
张五球 叶柏林 陈保定 马怀祖

主任委员:

宋直元

副主任委员 (以姓氏笔划为序):

丁俐丽 牛田佳 邓震垠 (常务) 朱玉龙
成银生 李传卿 陆廷杰 罗国英 林振申
苑郑民 钟 良 (常务) 魏学兴

委员 (以姓氏笔划为序):

马 林 马桂夫 么子臣 王圣媛 王相龙
宁云鹤 史定华 汪元江 刘宗仁 过元柄
庄异君 陈 刚 陈章豹 牟致忠 何国伟
郎锋军 杨为民 周 济 周维田 杨定亚
林中强 单永铮 茆侍松 陆洪时 徐运忠
张庆龙 殷鹤林 程光辉 傅光民 裘履正

承办教学单位

上海电子学会可靠性与质量管理专业委员会
上海第二工业大学
中国电子产品可靠性与环境试验研究所
《电子技术》杂志社

教研组

组长、教育录像和教材主编：

傅光民

副组长：

裘履正

成员（以姓氏笔划为序）：

马怀祖	史定华	许 康	庄异君	牟致忠
罗 威	林中强	卓礼章	郁时霖	茆侍松
费鹤良	倪正铭	夏春镗		

前 言

可靠性 (Reliability), 是产品的重要质量指标。可靠性高, 意味着寿命长、故障少, 可靠性低, 意味着寿命短、故障多。电视机的平均无故障工作时间, 汽车的平均无故障行驶公里数, 运载火箭的发射成功率等都是产品的可靠性指标。

可靠性工程与管理是 40 年代以来迅速发展起来的新兴综合学科, 涉及数学、物理、化学、电子、机械、环境、管理以及人机工程等各个领域。它致力于研究提高产品可靠性, 包括从原材料、元器件、零部件到整机及系统的各个环节。从研究、设计、制造到使用及维修的全寿命周期, 是一个十分复杂的系统工程。国内外的实践表明, 可靠性工程与管理技术的应用, 为企业与社会带来了巨大的经济效益, 因而引起世界各国的普遍重视与关注, 纷纷投入大量人力物力进行研究和推广应用。产品的可靠性, 已经成为当今国际和国内市场竞争的焦点。

1987 年 9 月, 国家经委、国家机械委、国防科工委、劳动人事部、广播电影电视部、中国科协联合发文决定, 由中国科协、中央电视台、中国质协、中国电子学会、中国仪器仪表学会、中国通信学会联合主办全国性的可靠性工程与管理电视讲座和函授班。中国通信学会为牵头单位, 承担组织工作。上海电子学会可靠性与质量管理专业委员会、上海第二工业大学、中国电子产品可靠性与环境试验研究所、《电子技术》杂志社承办教学工作。聘请上海市第二工业大学可靠性研究室主任傅光民同志、上海自动化仪表研究所高级工程师裘履正同志负责组成教研组, 承担制订电视讲座及函授班的教学大纲, 提出课程设置及详细提纲, 组织编写课本及全套书面教材的工作。经教学双方共同努力, 第一期教学取得了良好成果。

近几年来, 产品可靠性工作开始得到重视和加强, 产品可靠性规划、设计、试验、失效分析、评审、鉴定、指标考核和相应的管理、监督逐步开展, 特别是国标、行 (部) 标和产品质量分等标准中对产品可靠性作为限期必须考核的项目实行以来, 机电产品质量有了一定程度的提高。但是, 发展极不平衡, 我国产品与工业先进国家的同类产品相比, 仍有较大差距。开展可靠性工作要从人才培养入手。为了进一步在全国范围培养大批可靠性工程技术人才和可靠性管理人才, 促进可靠性工作的全面开展, 大幅度提高我国产品可靠性质量, 1992 年 9 月, 人事部、中国科协、机械电子部、国防科工委、广播电影电视部、航空航天部、邮电部、国家技术监督局联合发文决定, 由中国科协学会部、普及部、继续教育中心, 中央电视台和上述四个全国性学会 (协会) 联合主办第二期可靠性工程与管理电视讲座和函授班。中国通信学会为牵头单位, 承担组织工作。为了加强组织领导, 聘请国家计委、国务院电子信息系统推广应用办公室、上述发文单位、主办单位和有关院校、科研所、企业等单位的领导干部、专家、学者组成可靠性工程与管理电视讲座和函授班教育委员会 (第二届)。教学承办单位、教研组负责人同上届。

联合发文指出: “提高产品质量, 是国民经济和社会发展的一项长期战略任务, 在加快改革开放和经济发展的新形势下, 尤为重要。提高产品可靠性是提高产品质量和提高产品社会、经济效益的基础, 也是繁荣市场, 促进出口, 保证产品上台阶, 在商品竞争中赢得主动

权的必要条件。”“各级经济管理部门，各有关部门，各企业和相关的科研、设计、生产、监督、试验、使用、维修等部门，应当把可靠性技术培训列为专业技术人员和管理人员在职教育和岗位培训的一个重要内容，要充分利用举办电视讲座和函授班的有利条件，结合实际情况组织本系统本地区有关人员积极报名参加学习。已经建立继续教育登记制度的单位，可将参加本次教学的学员考试成绩登记入册。并将这次培训作为考核审查可靠性工作开展情况的一个方面的依据。”

根据岗位培训的实际需要，教学分设管理班与工程班。管理班学员是有关企业、研究所以及主管部门的领导干部与管理人员。学员应收看中央电视台第一套节目播出的 22 集电视教学片（每集 50 分钟），自学《可靠性工程与管理电视讲座教材》、《可靠性管理》一书；工程班学员是工程技术人员及可靠性与质量管理工作人员。学员除收看电视讲座，学习《可靠性工程与管理电视讲座教材》、《可靠性数学》、《可靠性物理》、《可靠性管理》外，选学《可靠性设计》、《锡焊技术与可靠性》、《可靠性试验》、《环境试验》、《机械可靠性》等五门课程中的一门。《可靠性教学辅导教材》作为参考。

教学认真贯彻理论联系实际、学以致用方针，注意系统性、实用性，着重阐明物理概念，给出定性分析、定量计算方法及运用实例，避免繁琐的数学推导。内容以民用电子设备为重点，讲授可靠性通用技术，兼顾仪器、仪表、通信、航天、航空、轻工等系统的部分应用实例。通过电视讲座及函授学习，可以帮助学员了解可靠性工程与管理的发展历史与重要意义；掌握可靠性工程与管理的主要工作内容及本岗位的可靠性技术（可靠性设计、制造、试验及管理）；了解部分企业、研究所行之有效的实践经验；从而提高可靠性工程与管理技术水平，提高产品可靠性。为此，教材请国内有较丰富工程与教学实践经验的同志编写，总结国内外富有成效的可靠性工作案例，参考国内外可靠性书刊及论文，有较广泛的适用性和较高的实用性，可作为在职可靠性岗位培训的教材，也可作为大专院校可靠性与质量管理专业的参考教材。

在教材编写与出版以及电视教学片摄制过程中，得到中央有关部委、有关全国性学会（协会）、上海及各地工厂企业、研究所、大专院校、人民邮电出版社等 50 多个单位 200 多位同志的大力支持、指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫，工作量很大，组织编写、摄制系统性的可靠性教材及电视教学片尚属首次，缺乏经验，不妥之处，敬请读者批评指正。

可靠性工程与管理电视讲座和函授班教育委员会

1992 年 9 月

编 者 的 话

本书是《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班教材之五。主要是为从事电子产品设计人员进行可靠性设计方面的在职教育和岗位培训之用。

可靠性设计是可靠性工程的主要内容。产品的可靠性主要是由设计所决定，所以可靠性工作必须从设计抓起，设计人员必须补上可靠性设计这一课。

根据《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班教育委员会的教学方针，本书以民用电子产品为重点，兼顾工业和国防电子设备与系统，贯彻理论联系实际，学以致用方针。全书着重讲授可靠性设计技术的应用，扼要讲授可靠性设计的理论知识。使读者通过对本书的学习，能基本掌握可靠性设计的一般方法。本书吸收了目前国内外出版的有关可靠性书刊文献、培训班讲义和可靠性标准中的部分内容，也有相当部分是作者多年来从事可靠性工程的现场实践、应用实例和可靠性教学工作的总结。

本书经倪正铭、周元初两位同志审核，并提出了许多宝贵的意见，最后经教研组长、教材主编傅光民同志审定，特此表示衷心感谢。

由于可靠性设计技术正处在发展之中，加之作者水平的限制，成书时间的仓促，谬误之处在所难免，祈请广大读者给予批评指正。

作 者

1988年2月于上海

目 录

第一章	绪 论	1
第二章	可靠性指标的确定	7
第三章	可靠性预计	17
第四章	可靠性分配	39
第五章	失效模式、效应及危害度分析	56
第六章	失效树分析	73
第七章	元器件选用和降额设计	92
第八章	热 设 计	107
第九章	电磁兼容性设计	119
第十章	容差与漂移设计	143
第十一章	三防设计	162
第十二章	抗振设计	166
第十三章	贮备设计	183
第十四章	维修性设计	194
第十五章	安全性设计	205
第十六章	人-机工程设计	219
第十七章	可靠性增长试验方案设计	236
第十八章	可靠性设计评审	254

第一章 绪 论

1.1 可靠性设计的现实意义

对于一个复杂的电子设备，不但要求它功能全、性能好，还应要求它在规定条件下和规定时间内能成功地完成规定的功能。这就要求从对产品构思、设计，到制造、贮运、安装、使用、维修的全过程中，都必须认真考虑可靠性问题。如果不在可靠性上下足够的功夫，产品在使用时多半会因不可靠而带来麻烦，甚至造成重大损失。所以产品的可靠性如同产品的其它特性一样，是工程设计的一项重要参数，故从设计开始就应该有明确的可靠性指标、保证措施和考核办法。

产品的可靠性常用固有可靠度和使用可靠度来描述。它们之间的关系是：

$$R_u = k \cdot R_D \cdot R_m = k \cdot R_I$$

式中 R_u 为使用可靠度，

R_D 为设计过程中赋予产品的潜在可靠度，

R_m 为制造过程所形成的由工程能力所决定的制造可靠度，

$R_I = R_D \cdot R_m$ 为产品的固有可靠度，

k 为使用系数，由使用条件和维修水平所决定。

产品的固有可靠度 R_I 是产品的内在特性之一。产品一旦完成设计，并按设计预定要求被制造出来，其固有可靠度就完全被确定了。由于制造过程的主要任务是实现设计过程所形成的潜在可靠度，使用和维护过程是维持已获得固有可靠度，而对产品可靠性起决定作用的是设计过程，因此，把可靠性工程的重点放在可靠性设计阶段是理所当然的。

由于电子设备或整机是由电子元器件和部件组装而成，因而常常把电子设备或整机的可靠性完全归结为元器件的可靠性和制造工艺的可靠性，似乎它与设计无多大关系，这是一种片面的看法。元器件和制造工艺固然重要，但如果看不到设计对可靠性所起的重大作用，就不可能发挥设计对提高电子设备或整机可靠性的巨大潜力。

现代的电子设备性能越来越优异，功能越来越齐全，结构也越来越复杂，一台设备所需要的元器件数量也趋向于越来越多。例如：

40年代歼击机上电子设备有600个元器件，

60年代歼击机上电子设备有9000个元器件，

70年代歼击机上电子设备有 10^5 个元器件，

SPY-1 雷达有电子元器件 10^6 个，

阿波罗宇宙飞船所使用的电子元器件更多，达 7×10^7 个。

电子设备越复杂化,使用的元器件数量越多,其可靠性问题也必然越严重。对于指数分布串联结构模型的电子设备,其可靠度为所用元器件可靠度的乘积,即

$$R_t = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (0 < R_i < 1)$$

显然,当 n 增大时,设备的可靠度 R_t 将降低。如果要保证设备的可靠度 R_t ,则必须提高每一个元器件的可靠度 R_i ($i = 1, 2, \dots, n$),也就是要降低每一个元器件的失效率 λ_i ($i = 1, 2, \dots, n$)。元器件的失效率有固有失效率和使用失效率之分。固有失效率是元器件本身质量决定的,使用失效率则视使用者给予该元器件的使用条件而定。正确采用可靠性保障设计技术,就能大大地降低元器件的使用失效率,以保证一个复杂的电子设备仍能获得较高的可靠性。这是可靠性设计发挥作用的一个重要方面。

电子设备对工作和环境应力是十分敏感的。现代电子设备随着使用领域的不断扩大,所遇到的环境条件也越来越严酷。例如机载电子设备要经受 -40°C 到 $+100^{\circ}\text{C}$ 的环境温度;阿波罗登月装置要承受 -137°C 到 $+127^{\circ}\text{C}$ 的温度变化;在炮弹上的元器件要经受 20000g 的冲击加速度;大型化工系统的设备常受到诸如硫化氢、二氧化硫、二氧化氮等多种腐蚀性气体的危害;在宇宙飞行器上的设备还会受到各种宇宙射线的辐射。此外,设备在运输和贮存过程中,又会遇到各种振动、冲击和气候变化的影响。虽然各种元器件在制造过程中已考虑了经受环境应力的能力,但只能从通用性角度考虑。对于设备的特定环境应力条件,必须由设备设计者进行耐环境应力设计。如不作这方面的努力,在以后的使用中,必然会导致不可靠的后果。

从来自各方面的对产品失效的长期统计分析,也使人们看到了设计对产品可靠性的重要作用。据日本电子行业的统计,在产品不可靠的原因中,设计要占 80% ,元器件占 15% ,制造工艺仅占 5% 。又据美国海军电子实验室统计,产品不可靠的原因中,设计占 40% ,元器件占 30% ,使用和维护占 20% ,制造占 10% 。其实在元器件方面,有一部分也是属于设计原因。在实践中我们经常发现,许多元器件的损坏是设计不合理所造成的。在我国,对战术雷达和民用电视机等电子产品的现场故障统计分析,也表明设计原因占据首位。这些来自现场的统计数据,有力地告诉人们,要提高电子设备的可靠性,在可靠性设计方面确有极大的潜力。

1.2 可靠性设计的基本任务

电子系统或设备可靠性设计的基本任务,是在现有元器件水平的基础上,从系统或设备的总体设计、元器件的选用、电路的稳定性、结构工艺设计、热设计以及维修性设计等各个方面,尽量采用各种措施,在重量、体积、性能、费用、时间等因素综合平衡下,实现系统既定的可靠性指标。

虽然系统可靠性设计是系统工程设计不可分割的一个组成部分,但从系统可靠性设计的目的及具体工作内容来看,又有它自身的明显的特点。系统可靠性设计的基本工作内容大致有以下四个方面。

1.2.1 总体方案的制定

设计任何一种设备,首先必须制订好总体设计方案,它是产品设计的纲要,是开展详细

设计的依据。制订总体设计方案具体包括以下六个方面内容：

① 明确产品的主要用途和功能、性能要求。例如彩色电视接收机主要用于家庭观赏电视节目，它的基本功能是重现电视台播放的彩色图像和声音。要实现这一功能，就要有一系列性能指标来表征和保证。

② 了解产品的使用环境条件。它包括环境温度、湿度、气压、电源、振动、腐蚀、辐射……只有在了解产品的使用环境条件后，才能确定产品应具备何种环境适应性，从而提出相应的耐环境设计要求。

③ 确定产品可靠性的定量指标。在制定总体方案阶段，应该在市场调查的基础上，根据国内外用户的需要、产品的使用要求及主客观条件，合理地确定产品的可靠性定量指标。

④ 调查相似老产品的现场情况。一般来说，新产品往往是老产品的改进和提高，因此在制定总体方案时，调查相似老产品的现场可靠性情况，有助于借鉴老产品设计中的成功经验和不足之处。从而在新产品设计时吸取优点，改进不足，使设计质量不断提高。

⑤ 拟订为实现产品可靠性设计指标应采取的相应措施。这些措施包括以后在详细设计阶段需要做的一系列工作，也包括某些需要经过试验才能确定的措施。

⑥ 进行方案论证。总体方案是设计成败的关键，因此必须邀请经营、销售、生产制造、维修服务、质量控制与检验、成本核算、价值分析等各方面有丰富经验的人员，与设计人员、可靠性人员一起进行方案的可行性论证，并根据论证的意见进行修改补充。如有几个方案，则在广泛听取意见基础上，在综合权衡下选定最终方案。

为保证所设计的设备达到预定的可靠性要求，在考虑设备的总体方案时，应遵循以下的可靠性设计准则：

① 在保证系统功能不受影响的前提下，所设计的设备的结构、线路、元器件数量、组装方式等应尽量简单化。为此，设计的总体方案要尽量采用集成化、一体化、积木化、插件化，删繁就简，防止在设计中贪大求全，在结构上、性能上提出过高要求的弊端。

② 要尽量采用比较成熟的，对其可靠性已有所了解并在实际使用中行之有效的标准构件和典型单元电路。为此，应尽量提高模块化、标准化、通用化的程度，并要恰当地选用新技术，使设计有所创新，以提高设计水平和可靠性水平。

③ 要尽量实施系列化设计。在原有的成熟产品上逐步扩展，构成系列，在继承老产品的基础上吸收新技术。

④ 要尽量减少元器件规格品种，增加元器件的复用率，使元器件品种规格与数量比减少到最小程度。对新使用的元器件，应在正式选用之前尽可能了解其可靠性水平。

⑤ 对不了解其可靠性情况的、无把握完成可靠性指标的关键电路、部件、元器件要适当采用冗余设计技术。

⑥ 对设备的总体方案必须进行可行性可靠性预计，预计结果达不到可靠性指标值的，应修改总体方案或另选方案。

1.2.2 可靠性设计技术的应用

总体方案确定后，为在电路、部件、整机、分系统和结构设计中保证总体可靠性指标得到实现，必须充分应用各种可靠性设计技术，它们是：元器件的选用和降额设计、热设计、漂移设计、电磁兼容性设计、抗振设计、三防设计、贮备设计、维修性设计、人——机系统

设计等等。这些可靠性设计技术的充分应用，能有效地提高产品的设计质量，大大降低元器件的使用失效率，提高设备的固有可靠性，它是可靠性设计中一项重要的工作内容。

1.2.3 可靠性评价分析技术的应用

设计阶段对今后产品的可靠性起着关键作用，在整个开发设计研制过程中，必须不断对产品的可靠性进行定性和定量的评价分析，以便及时了解可靠性设计指标是否能达到，所采取的可靠性设计措施的有效程度，设计中存在的薄弱环节和潜在缺陷，产品在使用时将会发生怎样的故障，以及一旦发生这类故障其后果如何等问题。弄清以上问题有助于及时改进设计，防止“带病”投产和在使用中发生意外事故。可靠性评价分析技术有可靠性预计和应力分析、失效模式效应和危害度分析、失效树分析、边缘分析和潜在通路分析等技术。

1.2.4 可靠性试验

对研制样机进行可靠性试验是可靠性设计工作中一个不可缺少的部分，它是对新设计产品的硬件通过试验进行评价和分析。设备在研制阶段的可靠性试验可分为两大类。

一是可靠性增长试验。这种试验以检查和发现设计中的潜在缺陷为目的，通过试验迫使潜在缺陷暴露，经过分析，改进设计，使缺陷得以系统地、永久地被消除。通过试验一改进一再试验多次反复，产品的可靠性获得增长，使研制的硬件实际可靠性水平达到指标要求。

二是可靠性鉴定试验。它以验证产品是否达到合同指标为目的，在研制设计工作基本结束，产品结构不再改变时进行。它是产品能否进行设计定型或被合同购买方所接受的一项证明。鉴定试验需按合同规定的统计置信度方案进行，其详细内容在《可靠性试验》一书中叙述。

1.2.5 可靠性设计评审

可靠性设计评审是新产品研制计划中的一项基本活动。设计评审就是从总的方面保证设计能在最终要求的使用条件下正常工作。它是在产品设计过程中的一些关键时刻，组织各方面的专家对全部的设计的过程、方法、数据和资料进行评定和审查。

可靠性设计评审的主要目的是审查设计是否符合预定的技术指标和可靠性要求，方案是否合理，步骤是否有遗漏，计算分析是否准确，元器件和材料是否选用恰当，现有的可靠性设计技术是否采用以及试验是否充分等，以促进设计工作的深化和细化，提高产品设计的可靠性和经济性。

1.3 可靠性设计的基本程序

为了保证可靠性设计工作的基本内容能有计划、有步骤地落实，对产品研制全过程的各个工作环节进行有效的监督控制，有必要把可靠性设计的基本任务和工作内容编写成程序。下

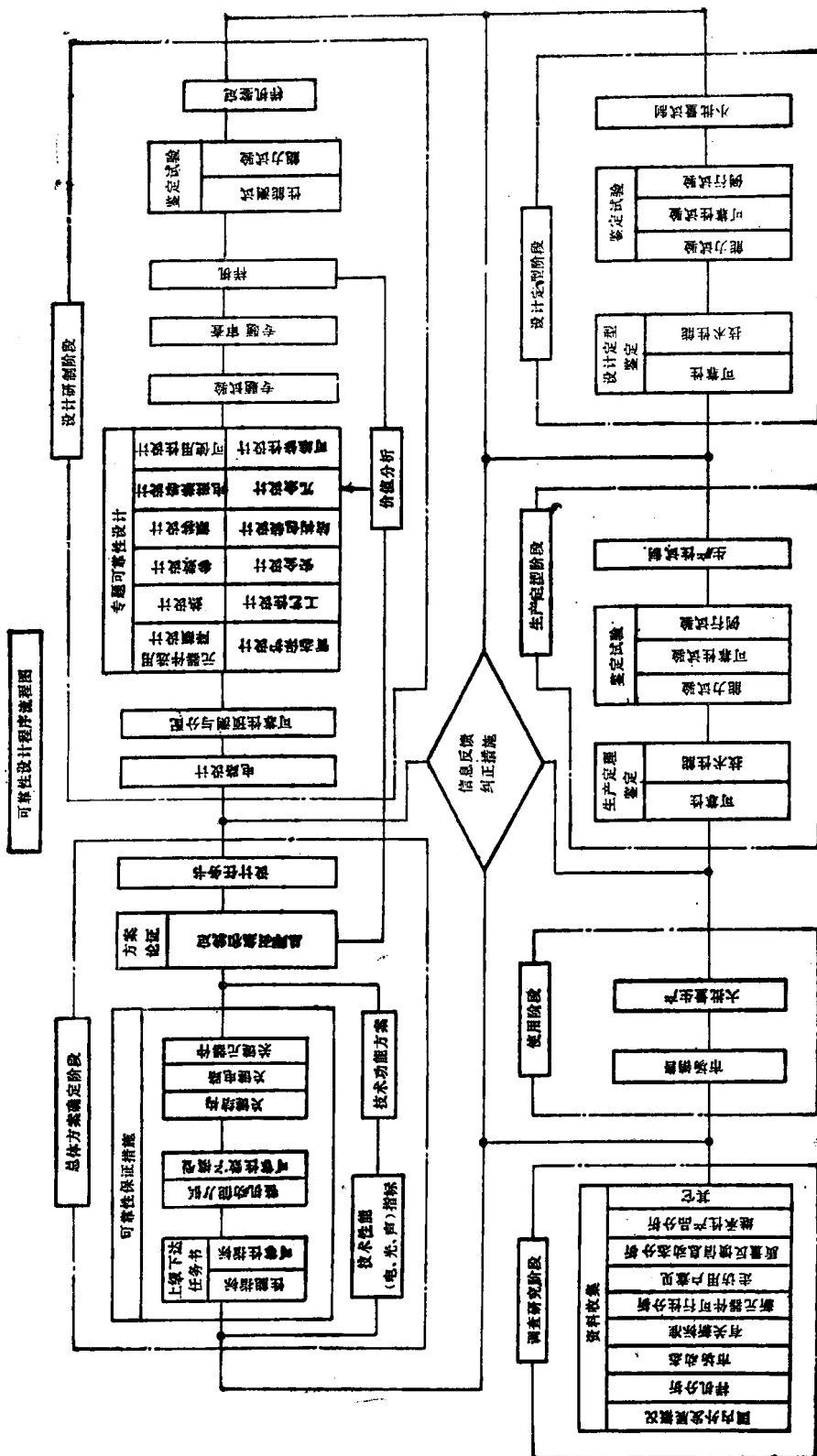


图 1-1

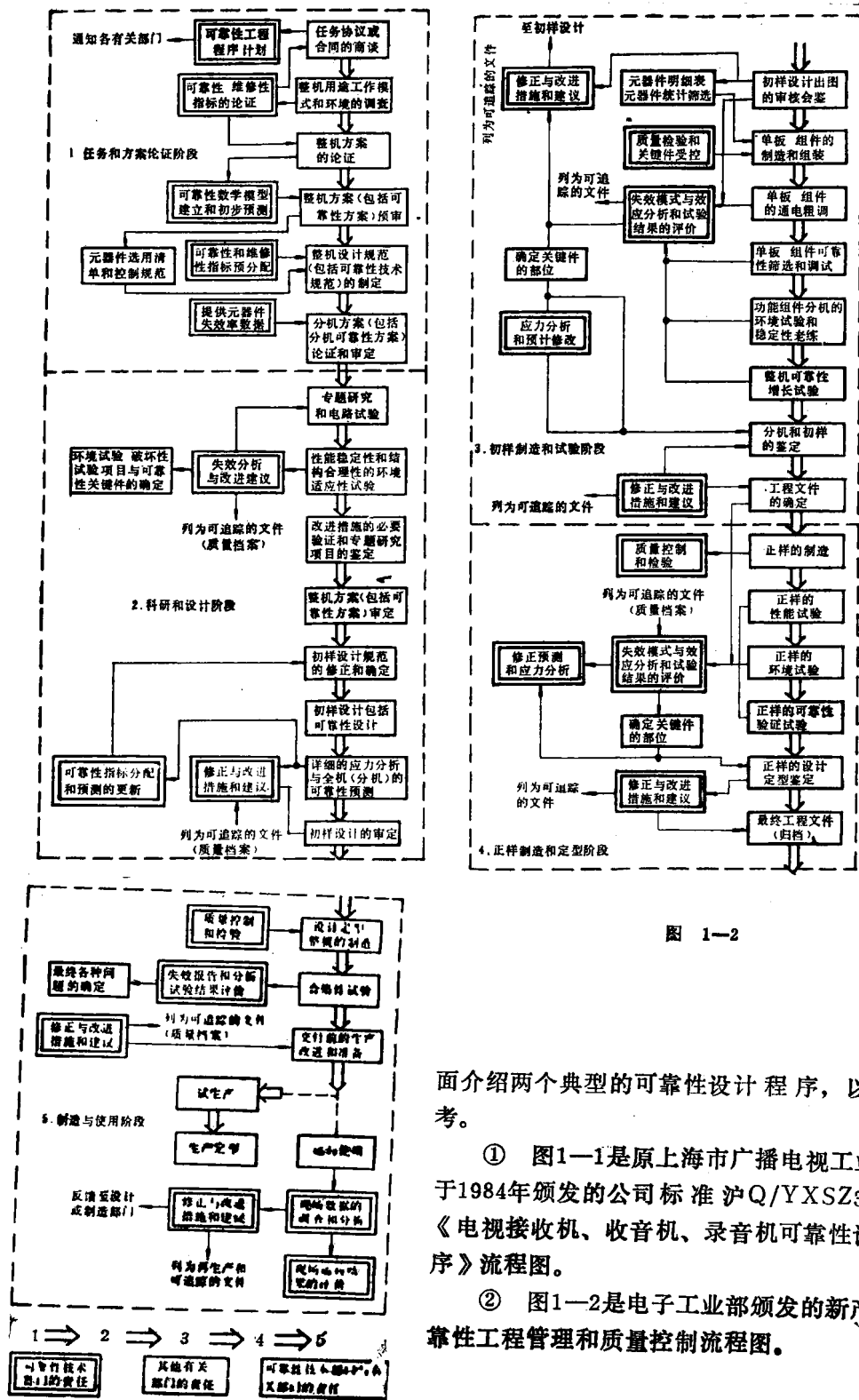


图 1-2

面介绍两个典型的可靠性设计程序，以供参考。

① 图1-1是原上海市广播电视工业公司于1984年颁发的公司标准沪Q/YXSZ352-84《电视接收机、收音机、录音机可靠性设计程序》流程图。

② 图1-2是电子工业部颁发的新产品可靠性工程管理和质量控制流程图。

第二章 可靠性指标的确定

2.1 可靠性指标的不同表示形式

电子产品的广泛性带来了可靠性指标的多样性,不同的产品应选用不同的可靠性指标。常用的衡量产品可靠性的指标有可靠度、平均寿命、可靠寿命和失效率。

2.1.1 可靠度 $R(t)$

可靠度是产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率。

可靠度常用在一次使用的装置中,如导弹、火箭、战术武器等。对这些装置人们关心的是在一定时间内的成功概率,故用可靠度来衡量最为恰当。

可靠度是一个概率,它的数学形式是

$$R(t) = P[T > t] \quad (2.1)$$

式中 T 是产品的实际寿命, t 是规定的工作时间, P 是 $T > t$ 时的概率。显然,当 t 远小于 T 时,产品完成规定功能的可能性越大,可靠度 $R(t)$ 趋近于 1; 当规定的 t 增大,越接近于 T 时,产品完成规定功能的可能性越小,可靠度 $R(t)$ 趋于 0。可见, $R(t)$ 是 t 的一个单调不减函数。又当规定的工作时间 t 超过了产品的实际寿命 T 时,产品就可能完不成规定的功能。这种可能性用数学形式表示是

$$F(t) = P[T \leq t] \quad (2.2)$$

显然 $F(t)$ 与 $R(t)$ 有如下关系

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.3)$$

$F(t)$ 被称为不可靠度,又称累积失效率或失效分布函数。

对于 N 个产品,从 $t = 0$ 开始工作,经过 t 小时总共有 $n(t)$ 个失效,则当 N 足够大时,产品在 t 时刻的可靠度 $R(t)$ 的观察值可用下式表示

$$R(t) = \frac{N - n(t)}{N} = \frac{N(t)}{N} \quad (2.4)$$

根据式 (2.3) 的关系,可知

$$F(t) = 1 - R(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (2.5)$$

式中 $N(t)$ 表示 N 个产品工作到 t 时刻的残存合格品数,故 $N(t)/N$ 可称作残存合格率, $n(t)/N$ 则是累积不合格率,如果是可修复产品,又可称作是累积返修率。

如果已知产品的寿命服从指数分布, 则可靠度函数具有如下的形式

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

式中 λ 是分布的参数。大多数电子设备在稳定工作时期内, 它的寿命大都能服从指数分布, 故式(2.6)十分重要。

2.1.2 平均寿命 θ

平均寿命是指一批产品在交付使用后工作寿命的平均值。它可分为下列两种情况:

① 对不可修复或不值得修复的产品, 如电子管、示波管、显像管、电位器、开关等等, 它们的平均寿命是指产品发生失效前工作时间的平均值, 记作 $MTTF$ (Mean Time To Failure)。

② 对可修复产品, 如电视机、计算机、雷达、通信设备等, 它们的平均寿命是指相邻两故障间工作时间的平均值, 又称平均无故障工作时间, 记作 $MTBF$ (Mean Time Between Failures)。

平均寿命是一个很重要的可靠性指标, 人们可以从这个指标直观地了解一项产品的可靠性水平, 并进行比较。对电子整机、设备和系统, 一般都是用 $MTBF$ 来衡量它的可靠性水平。

平均寿命 θ 与可靠度的关系可以表示为:

$$\theta = MTBF = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (\lim_{t \rightarrow \infty} t \cdot R(t) = 0) \quad (2.7)$$

当已知产品寿命服从指数分布时,

$$\theta = MTBF = \int_0^{+\infty} e^{-\lambda t} dt = \left. \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda} \right|_0^{+\infty} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.8)$$

由式(2.8)可知, 指数分布型产品的 $MTBF$ 是其分布参数 λ 的倒数。

$MTTF$ 和 $MTBF$ 都是以小时为单位。

2.1.3 可靠寿命

平均寿命是以一批产品在投入使用后, 其寿命的平均值作为这批产品可靠性的特征指标的。绝大多数电子设备和系统, 都用它作为可靠性指标。但是在工程实际中, 有时人们关心另一种寿命, 它要求了解产品在投入使用后多长时间内, 仍能保持所要求的可靠性水平, 保证在这段时间内产品是可靠的。人们把这段时间称作产品的可靠寿命。用数学语言可描述为: 对于给定的某一可靠度值 R_0 , 产品工作时间 t_0 后, 它的可靠性水平仍能保持其可靠度 R_0 , 则称 t_0 为对应于可靠度 R_0 的可靠寿命, 并记作 t_{R_0} 。

由于可靠度函数 $R(t)$ 是时间 t 的单调函数, 对于任一给定的 R_0 ($0 \leq R_0 \leq 1$), 均可找到一个唯一的可靠寿命 t_{R_0} , 见图2-1。

当产品的寿命服从指数分布时, 由式(2.6)可得

$$t = \frac{-\ln R(t)}{\lambda}$$

对于给定的 R_0 , 则