

综 述

可靠性数据资源应用体系建设现状及发展趋势

陈源^{1,2}, 王丰¹, 朱蕾^{1,2}, 万军^{1,2}, 杨万均^{1,2}, 朱玉琴^{1,2}

(1. 西南技术工程研究所, 重庆 400039;

2. 重庆市环境腐蚀与防护工程技术研究中心, 重庆 400039)

摘要: 阐述了可靠性数据的定义和来源, 论述了可靠性数据资源的作用。重点介绍了国内外可靠性数据资源网络建设的状况和进展, 以及电子元器件可靠性预计手册和非电产品可靠性预计手册的编制情况和进展。在此基础上, 分析了可靠性数据资源未来应用的发展方向。

关键词: 可靠性数据; 数据资源网; 可靠性预计手册

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.04.015

中图分类号: TB114.3; V215.7 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)04-0061-05

Reliability Data Resources Application System Construction and Development Trend

CHEN Yuan^{1,2}, WANG Feng¹, ZHU Lei^{1,2}, WAN Jun^{1,2}, YANG Wan-jun^{1,2}, ZHU Yu-qin^{1,2}

(1. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Environmental Corrosion and Protection, Chongqing 400039, China)

Abstract: The definition and source of reliability data were stated and the functions of reliability data resources were discussed. The emphasis was on the state and progress of reliability data resources network construction at home and abroad. The development of electronic components reliability prediction manuals and nonelectric products reliability prediction manuals were summarized. The trend of reliability data resources application was analyzed.

Key words: reliability data; data resources network; reliability prediction manual

据有关文献报道^[1], 在X-8飞机的可靠性设计中, 通过采纳类似型号的现场数据10 000余条来用于可靠性预计和分配, 并作为失效模式和效果分析(FMEA)的依据, 节省了大量人力物力, 取得了良好的经济效益。美国于1970年9月成立了政

府-工业界数据交换中心(GIDEP), 1974通过该中心提供的数据节省费用达到1200万美元, 1980年达到2900万美元, 1983年达到5300万美元^[2]。由此可见, 可靠性数据资源的应用有着巨大的影响和经济价值。

收稿日期: 2013-02-12

作者简介: 陈源(1986—), 男, 重庆人, 硕士, 助理工程师, 主要从事可靠性与环境适应性研究。

1 可靠性数据

1.1 可靠性数据定义

广义来讲,可靠性数据是指在产品寿命周期各阶段的可靠性工作及活动中所产生的能够反映产品可靠性水平及状态的各种数据,包括数字、图表、符号、文字和曲线等形式。按照可靠性数据分析的目的,可靠性数据指系统或产品在工作中的故障或维修信息。按照可靠性的定义,可靠性数据同时包含反映产品的规定条件和规定功能,规定条件记录产品的工作环境、负载应力等,而规定功能是进行故障判断的基本依据^[1]。

1.2 可靠性数据来源

由可靠性数据的定义,产品寿命周期各阶段的一切可靠性活动都是可靠性数据的产生源。因此,可靠性数据的来源贯穿于产品设计、制造、试验、使用、维护的整个过程,如研制阶段的可靠性试验、可靠性评审报告;生产阶段的可靠性验收试验、制造、装配、检验记录,元器件、原材料的筛选与验收记录,返修记录;使用中的故障数据、维护、修理记录及退役、报废记录等^[3]。

可靠性数据主要从两方面得到^[3],一是从实验室得到的试验数据,另一方面是从现场得到的现场数据。

2 可靠性数据资源应用体系

可靠性数据资源应用体系是指可靠性数据资源应用的载体和媒介,是将可靠性数据资源由静态资源推向实际应用的实物或虚拟载体,在可靠性数据资源应用过程中处于中间阶段。可靠性数据资源应用体系在可靠性数据资源应用过程中具有重要作用,建立好的可靠性数据资源应用体系可以提高可靠性数据资源的使用效率,使可靠性数据资源更好地为工程应用服务。可靠性数据资源应用体系的内涵包含较广,可靠性预计手册、可靠性数据资源网以及相应的可靠性分析平台都属于可靠性数据资源应用体系的范畴。具体的可靠性数据资源应用体系结

构框架如图1所示。

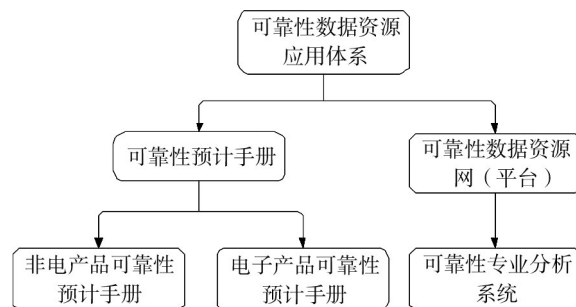


图1 可靠性数据资源应用体系结构框架

Fig. 1 Structural framework of reliability data resources application system

3 可靠性数据资源的作用

可靠性数据资源具有十分广泛的应用。可靠性数据资源可以作为产品可靠性评估的原始数据来源和类比依据,也可以用作可靠性分析,如故障树分析(FTA)、故障模式影响与危害度分析(FMECA)的数据库,还可以作为制定试验方案的参照。具体来讲,可靠性数据资源包含以下作用^[4]:

- 1) 确定质量关注重点;
- 2) 确定可靠性试验重点;
- 3) 避免重复试验;
- 4) 防止可能发生的失效;
- 5) 尽早更换不良元件;
- 6) 拟定优先选用器件清单;
- 7) 可靠性预测;
- 8) 辅助进行可靠性分析设计。

除了以上作用,通过可靠性数据资源的建设,还可以起到交流新技术、鉴定缺陷工艺和检验技术等多方面的效果。

4 可靠性数据资源应用体系建设

4.1 可靠性数据资源网络建设

网络平台的建设可以很好地整合现有资源,提高数据资源应用的信息化程度,使数据资源的应用层面得到提升。据GIDEP调查,工程师通常需要花

费研究时间的20%~30%来获得必要的可靠性数据,而且往往不成功,但利用数据交换中心,就可以方便地获得所需要的数据。有资料表明^[4],美国一个较大的企业,全面利用数据交换中心的数据,一年可以节省200万美元以上。由此可见,可靠性数据资源网络的经济效益是十分明显的。

自20世纪50年代末,美国就开始建立包含可靠性数据系统的信息交换中心;到1982年底,各种全国性的信息交换网、信息分析中心以及地区性和专业性的数据库已达1400多个^[5],其中不乏知名的可靠性数据交换网。GIDEP即美国政府工业界数据交换网,于1959年10月由美国陆、海、空三军弹道导弹部门联合创建^[4],经过数十年的发展,GIDEP的功能已经相当完善。GIDEP包含工程、可靠性与维修性、计量以及失效经验4个数据库,同时还能实现报警系统、紧急数据请求系统、计量信息服务3项特别服务。GIDEP的数据由成员提供,并且不断进行更新,能够向政府和工业界提供有深度的展望和每一种技术目前的进展。GIDEP的缺陷是不能仔细筛选进入其数据库的数据,当用户环境条件不同于表列环境时使用起来很费时^[6]。

除GIDEP外,应用较广的可靠性数据资源网还包括欧洲电子元器件验证试验数据国际交换网(EXACT)、英国系统可靠性服务系统(SRS)、法国电讯研究中心(CENT)的可靠性数据交换中心、日本电子元器件中心(RCT)等^[2,7]。

我国从20世纪80年代开始在各部门和行业建立数据管理系统,虽然尚不健全,但也在某些方面发挥了有力作用。如由电子五所牵头最早建立的全国电子元器件数据交换网和1985年后建立的原航空部、原国防科工委航空装备质量与可靠性信息网^[1]。船舶工业系统也于1988年成立了舰船产品可靠性中心、船舶总公司舰船产品可靠性信息交换网及舰船产品可靠性信息中心^[8]。这些数据资源网络的建设有力整合了现有可靠性数据资源,拓宽了数据资源的应用范围,对可靠性数据资源应用水平的发展具有重要意义。

4.2 可靠性数据手册的编制

可靠性预计是可靠性数据资源应用的一个重要方向,而可靠性预计的数据和方法主要来源于可靠

性预计手册。

4.2.1 电子元器件的可靠性预计手册

将电子元器件置于标准应力和环境条件下,经过大量试验再进行统计,可以得到元器件基本故障的故障率。对元器件的质量等级、应力水平、环境条件等因素进行修正,可以得到元器件的工作故障率,这就是广泛应用于电子元器件故障率预计的应力分析法基本原理^[9-10]。因此,对电子元器件失效率进行预计需要积累大量的试验数据。

中国电子产品可靠性信息交换网信息中心通过对电子装备现场数据、元器件试验和现场作用数据进行收集、分析与应用研究,编制完成了《电子设备可靠性预计手册》和《电子设备非工作状态可靠性预计手册》^[11],并通过几次修订,完成了GJB/Z 299C—2006的发布,有力解决了电子元器件可靠性预计数据和方法的来源问题。

国外用于电子元器件可靠性预计的手册主要有MIL-HDBK-217F《电子设备可靠性预计》,MIL-HDBK-217F及其以往若干版本发布以来,在全世界可靠性工程领域产生了深远影响,被西方工业发达国家广泛采用,甚至在非军事领域应用亦十分普遍。基于MIL-HDBK-217F开发的电子设备可靠性预计软件同样层出不穷,其中比较著名的有RELEX,PRISM,Instant MTBF等^[12]。由于忽视了软件失效和元器件更新换代等方面的原因^[20],1995年后美国国防部停止了对MIL-HDBK-217F的支持^[12]。MIL-HDBK-217F停用后,作为PRISM软件工具的升级版本,美国可靠性信息分析中心(RIAC)于2006年9月又发布了《217Plus™可靠性预计模型手册》。与此相对应,还有国际电工委员会(IEC)于2004年发布的IEC-TR-62380《电子元器件,PCB和设备可靠性预计通用模型手册》等^[13]。

近年来,失效物理分析法(POF)在可靠性工程领域得到了很好的发展,有替代传统可靠性预计方法的趋势。由于这种方法在量化产品的可靠性方面还存在着困难,因而基于数理统计的可靠性预计方法在一定时间内还将是主流的预计方法^[13]。

4.2.2 非电产品的可靠性预计手册

为解决非电产品的可靠性预计,国外也积累了一定的数据。非电子产品的可靠性预计主要采用故障率预计法,其原理与电子元器件的应力分析法基

本相同,而且对基本故障率修正更简单^[9]。

对于非电子产品的可靠性进行预计的手册有非电子零件可靠性数据-3(NPRD-3)。NPRD-3是美国罗姆航空发展中心(RADC)下属的可靠性中心(RAC)于1985年秋出版的报告,包括背景、普通数据、详细数据、失效模式、机理5个部分。NPRD-3来源于现场运行的固定状态试验数据,并且包含与运行环境有关的可靠性信息。NPRD-3提供了250种以上的主要非电子零件的可靠性信息,包含机械、机电、液压、气动和回转零件的失效率和失效模式方面的信息^[6]。

由于机械产品自身的特点,目前预计机械产品可靠性尚没有相当于电子产品那样通用、可接受的方法。然而,通过一些国家的积极研究,也取得了一定的成果,如美国海军水上作战中心于1998年9月发布的《机械设备可靠性预计程序手册》^[9,14];作为机械可靠性很好的信息来源,还有AVCO公司的《失效率手册》。《失效率手册》包含了适用于手册中失效率的环境系数,除了失效率以外,还给出了平均寿命。尽管《失效率手册》已有很久的历史,但至今仍然被广泛应用^[6]。

5 可靠性数据资源应用体系发展趋势

5.1 软件化程度进一步提高

由于电子技术发展迅速,尤其是集成电路的普遍应用,应力分析法所要求的电路内部细节,整机设计人员和可靠性工程师一般是不完全掌握的,如果没有预计软件的帮助,可靠性预计必然存在一定的困难^[15]。可靠性预计软件可以包含大量的试验数据,可以对可靠性数据进行综合分析,尤其可以进行考虑系统内部结构的分析,使得可靠性预计更加方便、准确。可靠性预计软件自身也在不断更新升级,如基于MIL-HDBK-217F的可靠性预计软件PRISM升级为同时包含方法论和软件工具的217PlusTM可靠性预计模型手册^[13,16]。

5.2 可靠性数据资源网由平台转向专业系统建设

经过数十年的发展,部分国家可靠性数据资源

网络已初具规模,工程人员进而加强了对本专业适用的可靠性数据资源系统的开发,其中部分系统已经推向应用,如航天推进技术研究院自主建立的质量与可靠性信息网^[17],航天质量与可靠性信息中心开发的航天产品质量与可靠性信息管理系统(QRMS2.1)^[18]及电子科技大学与成都飞机工业集团公司合作开发的3F可靠性分析系统等^[19]。各个行业内部适用的可靠性预计方法也有替代统一的可靠性预计方法的趋势^[20]。由此,可靠性数据资源应用将会向着专业化的方向发展。

5.3 在工程实践的应用将加强

由于失效物理分析法在可靠性工程领域的迅速发展,有着替代传统可靠性预计方法的趋势^[13],美军可靠性设计手册与之前的版本相比,去掉了电子设备可靠性预计和维修性预计的相应内容,进而加强了可靠性工程试验的内容^[21]。由于可靠性试验对可靠性数据的大量需求和工程人员对可靠性工程实践的越发重视,可靠性数据资源在工程实践中的应用也将越来越多、越来越广。

参考文献:

- [1] 赵宇. 可靠性数据分析[M]. 北京:国防工业出版社,2011:4.
- [2] 胥一民. 兵器可靠性信息管理处理的新途径[J]. 兵工自动化,1986(3):66—70.
- [3] 贺国芳. 可靠性数据的收集与分析[M]. 北京:国防工业出版社,1995:12.
- [4] 王基详. 美国政府-工业界数据交换网[J]. 国外导弹与宇航,1983(10):1—15.
- [5] 韩雨奋. 美国可靠性数据系统的形成与发展[J]. 质量与可靠性,1993(5):40—42.
- [6] 牟致忠. 机械可靠性理论方法应用[M]. 北京:机械工业出版社,2011:6.
- [7] 杨为民. 可靠性、维修性、保障性总论[M]. 北京:国防工业出版社,1995:5.
- [8] 屈景富. 舰船装备可靠性管理工作研讨会在京召开[J]. 技术经济信息,1992(6):13—14.
- [9] 曾声奎,赵廷弟,张建国,等. 系统可靠性设计分析教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001:1.
- [10] McInn J A. Reliability Predictions: More than the Sum of Parts[C]// Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Conference Symposium. New York: IEEE, 2008:

- 446—451.
- [11] 钟开云,彭成信. 中国电子产品质量与可靠性信息交换网工作回顾[J]. 电子产品可靠性与环境试验,1996(5):9—16.
- [12] 周雷,许新芳,孙军. 美国军用手册 217F 与 GJB/Z 299B 比较研究[J]. 国防技术基础,2008(8):20—22.
- [13] 张文俊,聂国健,郑丽香. 国外最新可靠性预计方法综述[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2009(2):24—28.
- [14] 周雷,许新芳,程俊. 美国军用手册 217F 以外的可靠性预计方法[J]. 电子质量,2008(8):68—70.
- [15] 张增照. 可靠性预计及其准确性[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2005,23(12):43—46.
- [16] NICHOLLS D. What is 217Plus/SupTM/and Where Did It

- Come from[C]// Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Conference Symposium. New York: IEEE, 2007:22—27.
- [17] 谭松林,施琼,马良. 质量与可靠性信息管理探析[J]. 军民两用技术与产品,2002(11):28—29.
- [18] 航天产品质量与可靠性信息管理系统(QRMS2.1)内容介绍[J]. 质量与可靠性,2005(3).(余不详)
- [19] 陈业朋,黄洪钟,王贵宝,等. 3F 体系数据库开发与应用关键技术研究[J]. 质量与可靠性,2010(1):56—59.
- [20] 韩庆田,刘梦军,贺孝涛,等. 可靠性预计及其发展趋势[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2001(5):14—18.
- [21] 张学渊. MIL-HDBK-338B 美军可靠性设计手册介绍[J]. 质量与可靠性,2006(3):54—57.

(上接第 37 页)

时的时间:

$$t'_2 = k_2 \cdot t_2, t'_2 \in [180, 208]$$

累加后获得总环境折合后的试验时间为:

$$t_{\text{总}} = t'_1 + t'_2, t_{\text{总}} \in [1080, 1108]$$

2.4 评估寿命及可靠度

利用得到的总试验时间,可对产品的 *MTBF* 进行评估。产品在经过相当于 $t_{\text{总}}$ 小时的试验后,仍未出现失效,因此在接下来的评估过程中将 $t_{\text{总}}$ 作为 0 失效定时截尾数据处理。

因为无故障, $r=0$, 只进行单侧置信下限估计。若将使用方风险 β 定为 20%, 则所得到的产品 *MTBF* 单侧置信下限为:

$$\theta_L = \frac{t_{\text{总}}}{-\ln \beta}, \theta_L \in \left[\frac{1080, 1108}{-\ln 0.2} \right] = [670.85, 688.24]$$

由此可以推断,在使用方风险为 20% 的情况下,产品的 *MTBF* 下限区间为 [670.85, 688.24]。若取区间的下限值 670.85, 可知产品 *MTBF* 的评估至少为 670.85 h。

3 结语

提出了一种基于多试验信息的可靠性综合评估方法,在长寿命、高可靠产品的样本及数据极少的情

况下,通过获取各种环境下的环境折合因子,综合不同试验信息进行寿命及可靠性评估,简化了确定环境折合因子的过程,应用起来更加简便。

由于在确定折合因子的过程中采用了标准或历史数据,且在满足一定假设的情况下开展,因此仅适用于数据及样本量极其稀缺的情况,利用多试验信息对产品的寿命及可靠性进行评估。文中方法的评估精度具有一定的局限性,还有待进一步改进。

参考文献:

- [1] MIL-HDBK-189, Reliability Growth Management[S].
- [2] 洪东跑,赵宇,马小兵. 利用变环境试验数据的可靠性综合评估[J]. 北京航空航天大学学报,2009,35(9):1152—1155.
- [3] 程志君,王小林,郭波. 变环境条件下发射场测控设备使用阶段可靠性评估模型[J]. 导弹与航天运载技术,2010(6):41—44.
- [4] 李凤,师义民,荆源. 两参数 Weibull 分布环境因子的 Bayes 估计[J]. 系统工程与电子技术,2008,30(1):186—189.
- [5] 赵宇,黄敏. 变母体变环境数据的可靠性综合评估模型[J]. 北京航空航天大学学报,2002,28(5):597—600.
- [6] 甄昕. 环境因子在电子产品可靠性评定中的应用研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2009,27(1):20—22.
- [7] 赵婉,温玉全. 可靠性评估领域中环境因子的研究进展[J]. 综述与展望,2005(2):69—72.
- [8] 曾声奎,赵廷弟,张建国,等. 系统可靠性设计分析教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001:31—35.
- [9] 章新瑞,任占勇. 可靠性试验中环境应力与产品故障机理间关系研究[J]. 环境技术,2000(5):7—11.