

文章编号: 2095-2163(2021)03-0130-04

中图分类号: TN806

文献标志码: A

# 通信设备检测标准与评估问题的探讨

徐济仁, 俞红兵, 金虎, 张进, 钱峰

(国防科技大学 电子对抗学院, 合肥 230037)

**摘要:** 本文针对通信设备的老化、检测规程、检测标准和评估问题进行了全面探讨。通过获取元器件、芯片、线缆的老化规律, 研究通信设备的指标老化模型, 建立通信设备检测时性能测试标准值的确定模型。利用实测数据, 反复修改模型和算法, 最后确定通信设备检测的评定标准, 为进一步开展实际通信设备检测工作提供可参照的理论依据和实践基础。

**关键词:** 通信设备; 检测; 老化; 检测规程; 检测标准; 评估

## Discussion on the standard and evaluation of communication equipment testing

XU Jiren, YU Hongbing, JIN Hu, ZHANG Jin, QIAN Feng

(College of Electronic Countermeasure, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China)

**[Abstract]** In this paper, the aging, testing procedures, testing standards and evaluation of communication equipment are discussed from all aspects. By obtaining the aging law of components, chips and cables, the index aging model of communication equipment is studied, and the determination model of performance test standard value during communication equipment testing is established. By using the measured data, the model and algorithm are repeatedly modified, and the evaluation standard of communication equipment testing is finally determined. For the next step to carry out the actual communication equipment detection work, the paper could provide a theoretical basis and practical basis for reference.

**[Key words]** communication equipment; testing; aging; testing procedures; testing standards; evaluation

## 0 引言

作为一种结构复杂的电子设备, 通信设备是由大量的元器件、IC 芯片、阻抗器件、各种连接线缆等构成。在使用过程中, 由于受环境因素、器件老化、使用情况等因素影响, 各项指标会慢慢衰减, 最终会因为性能下降而被淘汰。因此, 在通信设备使用过程中, 全面了解通信设备的工作状态, 开展设备的性能指标检测, 是十分必要的。

通信设备检测的标准与评估涉及到理论模型与实际测量通信设备性能指标两部分内容。总体研究思路框架如图 1 所示。对此拟做研究阐述如下。

在理论模型方面, 研究典型器件, 如: 元器件、芯片、线缆等老化规律, 建立常用器件、面板、机柜和通信设备的老化速率、老化概率曲线与公式模型, 摸清设备老化与通信设备性能指标之间的变化规律。借助数据融合处理方法, 进而掌握通信设备使用现状、典型应用环境下通信设备性能指标的变化规律。建立通信设备检测时性能测试标值的模型, 从实际情

况出发, 根据检测特点来确定设备的检测指标, 检测方法也是切实可行的, 并针对检测的特点确定结果评估标准; 解决通信设备检测的评定标准, 即“检测结果评定”问题。

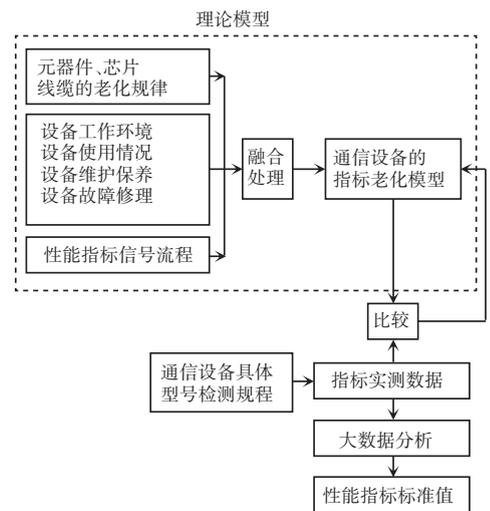


图 1 总体研究思路框图

Fig. 1 Schematic diagram of general research ideas

另一方面, 编写具体型号的通信设备检测规程。

**作者简介:** 徐济仁(1967-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 通信与通信对抗; 俞红兵(1976-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 通信与通信对抗; 金虎(1972-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 通信与通信对抗; 张进(1972-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 雷达对抗; 钱峰(1985-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 通信对抗。

**通讯作者:** 徐济仁 Email: xujiajun412032@163.com

收稿日期: 2020-10-24

每季度进行一次设备性能指标检测,并进行详细的记录。运用大数据分析实测数据,研究曲线拟合法、维纳滤波、KALMAN 滤波等方法在实测数据分析的应用,将模型与算法得到的性能测试标准,与实测得到的值进行比对,利用误差平方和最小(LMS)的准则,反复修改模型和算法。

为了获得可信度高、科学性强的通信设备的性能指标标准值,必须以通信设备实测数据为基础,通过合理分析元器件、芯片、线缆的老化规律,结合设备工作环境、设备使用情况、设备维护保养、设备故障修理等参数,理清性能指标信号流程,经过融合处理后,得到通信设备的指标老化模型,再与通信设备指标实测数据加以比对,进一步修改通信设备检测标准值的模型与算法。

## 1 关键研究技术

### 1.1 获取元器件、芯片、线缆的老化规律

对于工艺制造过程中可能存在的一系列缺陷,如表面沾污、引线焊接不良、沟道漏电、硅片裂纹、氧化层缺陷和局部发热点等,在一定的环境温度下、较长的时间内对元器件施加环境压力,其中不仅包括温度压力,还包括其它很多应力,例如温度循环、随机振动等,通过电热应力的综合作用,催化元器件内部的各种物理、化学反应过程,促使隐藏在元器件内部的各种潜在缺陷暴露出来。

研究可知,老化是元器件长期工作后表现出来的正常现象。大部分元器件的老化过程十分缓慢。小功耗的二、三极管、MOS 管一般是在十万小时以上(每天工作 6~7 h,可用 30 年),运放、数字稳压 IC,核心元器件(CPU、MCU、DSP)属多种元件混合,其中单个元件也是十万小时以上,各种金膜/氧膜/绕线等电阻、各种小功耗电感、变压器,而对此则无需考虑其使用寿命。铝电解/钽电解/陶瓷等电容与时间有关,最少也有十年。

大量的使用和试验表明,电子元器件失效与时间曲线的特征是两端高、中间低,呈浴盆状,通常称浴盆曲线。军需产品的失效曲线在其寿命期内基本上是一条平稳的直线,但也不排除存在少量低劣产品早期失效或很快进入耗损失效期。通常情况下,生产厂家是通过可靠性试验来测算元器件的可靠性指标,并分析元器件的失效原因。

常用的元器件的可靠性指标容易获得,通信设备可能会使用部分专用器件,这些专用器件的可靠性指标在获取上会较为困难。此时,就可通过查阅

随机资料,或者联系生产厂家来获取这些器件的可靠性指标。

常用元器件的可靠性指标主要有可靠度或可靠度函数、失效概率或累积失效概率、失效率与瞬时失效率、失效密度或失效密度函数、寿命等。在得到了这些可靠性指标后,就要运用数理统计工具和有关模拟仿真软件来获取元器件、芯片、线缆的老化规律。

### 1.2 研究通信设备的指标老化模型

通信设备是由大量元器件、芯片、线缆组合而成的一个有机整体,其中的每一个元器件、芯片、线缆都对通信设备的指标有着或多或少的影响。结合设备的工作环境、使用情况、维护保养、故障修理等参数,梳理性能指标信号流程,并经融合处理后,得到通信设备的指标老化模型。考虑到不同性能指标使用设备的模块不一样,频次也不同,这些均会对设备的性能指标产生影响。将这些因素综合起来,构成通信设备性能指标的老化规律。

有些元器件、芯片、线缆是串联使用的,有些是并联使用的,有些既非串联、也非并联,结合前文分析得到的元器件、芯片、线缆的老化规律,通过类似“与”、“或”、“非”的逻辑运算,即可得到模块、面板、机柜和整个通信设备的老化规律。除此之外,有些元器件、芯片、线缆的关系却既非串联、也非并联,分析起来稍微复杂些。此时可以通过类似“并集”、“或集”、“非”、“子集”的集合运算,尝试得到模块、面板、机柜和整个通信设备的老化规律。

通信设备的其它因素也会对通信设备的性能指标构成一定的影响,如设备工作环境、设备使用情况、设备维护保养、设备故障修理等参数。与此同时,性能指标信号流程也会影响通信设备的性能指标的变化规律。综合考虑上述因素,并经融合处理后,就可得到通信设备的指标老化规律模型。至此,可得通信设备的指标老化规律的设计研发流程如图 2 所示。

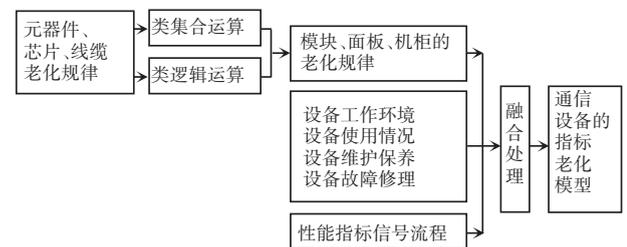


图 2 研究通信设备的指标老化规律流程图

Fig. 2 Flow chart of index aging law of communication equipment

### 1.3 编写具体型号的通信设备检测规程

初步选定通信设备 XXX 作为实测对象。目前,

XXX 大都有配备,尽可能多地利用当下的设备条件。通信设备 XXX 地域分布范围广,使用条件差别较大,制定规范的 XXX 检测规程,保证实测数据的规范性、连续性和一致性。

根据使用环境、人员和设备条件,结合相关国家标准,有针对性地制订出相应的具体型号设备检测规程,具有可操作性,细化到哪个机柜、哪个面板、哪个模块、哪个测试点,进行规范和统一编号。

设备使用一段时间后,性能就会下降,因此在不同的测试时间,测试的结果也会不一样。故而研究中尤为重点强调了通信设备的“初始状态比对”,即在接装后,调整至预定的测试条件下,对设备的性能重新进行测试,记下此时的测量结果,作为将来比对的标准,固化原来的初始状态。

在检测时,由于检测手段、检测条件和厂家的工作场景差别极大,现有厂家指标的参考标准几乎不具备参考价值,必须根据实际情况,建立与之相适应的模型和算法,再推演出合适的设备达标的性能指标值。而这些性能指标值和现有厂家、试验基地使用的设备出厂的性能指标值的差别较大。因此,研究建议:可根据检测的条件,建立相应的模型和算法,给出设备检测时性能测试达标的标准值。

检测项目包括:灵敏度、动态范围、测频误差、频率分辨率、频率搜索速度、调制方式识别、解调能力、辐射功率、干扰带宽、瞄频误差、天线驻波比。这些都是设备的主要性能指标,基本上反映了设备当前的技术状态。

## 2 主要技术方法解析

建立通信设备检测时性能测试标准值的基础模型,利用实测数据,反复修改模型和算法。每季度进行一次设备性能指标检测,并详细记录下检测结果。运用大数据分析实测数据,研究曲线拟合法、维纳滤波、KALMAN 滤波等方法在实测数据分析的应用,将模型与算法得到的性能测试标准,与实测值进行比对,再利用误差平方和最小(LMS)的准则,反复修改模型和算法。性能指标标准值与实测值进行比对流程图如图3所示。

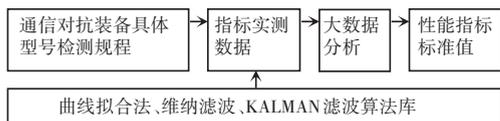


图3 性能指标标准值与实测值进行比对流程图

Fig. 3 Flow chart of comparison between the standard value of performance indicators and the measured value

### 2.1 曲线拟合法

曲线拟合法理论已然非常成熟,在建模、数据分析、信号处理等领域有着广泛的应用。其中,关于事后处理,在大学物理和化学实验中则会经常见到。

经过多年的技术积累,现已研发得出对测向站数据的最小二乘算法,而且首次提出了测向领域的递推最小二乘算法。目前,已完全可以将测向站数据的处理方法应用于通信设备 XXX 性能指标实测值的事后处理。

### 2.2 维纳滤波和 KALMAN 滤波

维纳滤波、KALMAN 滤波已是数据处理的经典算法。理论上也很成熟。前期研究中,运用维纳滤波、KALMAN 滤波,来滤除信号中噪声,效果一般。经由分析可知,主要存在以下问题:

(1) KALMAN 滤波的初值问题。KALMAN 滤波的初值选择比较重要,通常在前面若干数据进行加权处理,作为初始值。权值的选取不规范。

(2) KALMAN 滤波在迭代过程中,有时会发散。这方面的处理,目前的经验尚且不足。

(3) 按每季度一次,一年4次,2年8次计算,数据量十分有限。有些变化较为缓慢的性能指标难以体现出来。

## 3 研究通信设备检测的评定标准

从实际情况出发,根据检测特点来确定设备的检测指标,检测方法也是在现实条件下切实可行的,并针对检测的特点给出了结果评估标准;通过模型测算值与实测值的比对,综合判定设备能不能达标。采取实装实测方式,初步选定通信设备 XXX 进行效能验证,最终掌握通信设备实际效能和边界使用条件。设备实测数据每个季度输出一次。

实测 XXX 的性能指标包括:灵敏度、动态范围、测频误差、频率分辨率、频率搜索速度、调制方式识别、解调能力、辐射功率、干扰带宽、瞄频误差、天线驻波比。

根据本次研究建立的模型和算法,给出的通信设备 XXX 的性能指标标准值,与实测数据进行比对。有的性能指标可能超标,有的性能指标可能不达标。如何来界定整个设备是否达标,这个问题的解决方法也仍亟待加以完善。

常用的方法是加权处理,不同的性能指标赋予不同的权值,在此基础上进行加权处理。见表1。

接下来,研究中将用到如下公式:

$$J = \sum_{i=1}^{11} (y_i - x_i)w_i. \quad (1)$$

其中,  $x_i$  表示测试项目检测值;  $y_i$  表示测试项目检测标准值;  $w_i$  表示测试项目权值。

将计算结果  $J$  与某一阈值  $J_0$  进行比对, 大于某一阈值  $J_0$ , 判定为设备 XXX 达标。小于某一阈值  $J_0$ , 则判定为设备 XXX 不达标。

表1 测试项目的检测标准值和权值

Tab. 1 Test standard values and weights of test items

序号	测试项目	检测值	检测标准值	权值
1	灵敏度	$X_1$	$Y_1$	$W_1$
2	动态范围	$X_2$	$Y_2$	$W_2$
3	测频误差	$X_3$	$Y_3$	$W_3$
4	频率分辨率	$X_4$	$Y_4$	$W_4$
5	频率搜索速度	$X_5$	$Y_5$	$W_5$
6	调制方式识别	$X_6$	$Y_6$	$W_6$
7	解调能力	$X_7$	$Y_7$	$W_7$
8	辐射功率	$X_8$	$Y_8$	$W_8$
9	干扰带宽	$X_9$	$Y_9$	$W_9$
10	瞄频误差	$X_{10}$	$Y_{10}$	$W_{10}$
11	天线驻波比	$X_{11}$	$Y_{11}$	$W_{11}$

## 4 结束语

本文研发算法还存在如下问题:

(1) 系统开环, 没有反馈机制, 需要与某一参考值进行比对, 反向修正权值, 系统形成一个闭环。

(2) 权值的选取具有很大的随意性, 没有一个很明确的参考依据。

这些都有待后期的进一步深入解决。目前, 也正在探讨其它的解决方法。

## 参考文献

- [1] 周歌, 胡记文. 浅析美军通信网络[J]. 科技视界, 2012(27): 196-198.
- [2] 石福丽, 朱一凡, 李超, 等. 军事通信网络效能评估中的多数据源融合方法[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(7): 18-23.
- [3] 江凤九. IPv6 与军事通信网络[J]. 科技创新导报, 2007(35): 16, 18.
- [4] 石福丽, 郭晓莉. 考虑用户类型和业务关联的军事通信网络抗毁性分析[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(10): 54-60.
- [5] 刘伶平, 范海文, 冀翔林, 等. 面向网络化战术防空的通信网络构想[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(S1): 4-6.
- [6] 陈西宏, 任全, 李亚辉. 防空 C<sup>3</sup>I 通信网络的体系结构研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002(3): 16-19.
- [7] 钱游. 船舶通信网络的嵌入式无人巡视系统设计[J]. 舰船科学技术, 2018, 40(2): 166-168.
- [8] 张鸿海, 汪喜麟. 国外舰载 C<sup>3</sup>I 系统中通信网络的研究分析[J]. 舰船指挥控制系统, 1994(Z1): 49-65.
- [9] 孙永平, 刘元, 毛建舟. 舰载 C<sup>3</sup>I 系统通信网络可靠性效能分析[J]. 光电技术应用, 2004(6): 65-67.
- [10] 寿福明. 军事通信网络监测自动化[J]. 军事通信技术, 1995(1): 11-13, 67.
- [11] AI Yuewei, JIANG Ping, WANG Chunming, et al. Experimental and numerical analysis of molten pool and keyhole profile during high-power deep-penetration laser welding[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018, 126(Pt A): 779-789.
- [12] 孟祥萌. 高速 GTAW 焊缝表面成形缺陷的形成机理及其抑制措施[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [13] 巩水利, 庞盛永, 王宏, 等. 激光焊接熔池动力学行为[M]. 北京: 航空工业出版社, 2018.
- [14] CHEN Minghua, XU Jiannan, XIN Lijun, et al. Effect of keyhole characteristics on porosity formation during pulsed laser-GTA hybrid welding of AZ31B magnesium alloy[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2017, 93: 139-145.
- [15] 吴向阳, 徐剑侠, 高学松, 等. 激光-MIG 复合焊接热过程与熔池流场的数值分析[J]. 中国激光, 2019, 46(9): 0902003(1)-(12).

(上接第 129 页)

- [7] 庞盛永. 激光深熔焊接瞬态小孔和运动熔池行为及相关机理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [8] 吴向阳, 徐剑侠, 高学松, 等. 激光-MIG 复合焊接热过程与熔池流场的数值分析[J]. 中国激光, 2019, 46(9): 0902003(1)-(12).
- [9] MATSUNWA A, SEMAK V. The simulation of front keyhole wall dynamics during Laser welding[J]. Journal of physics D, 1997, 30(5): 798-809.
- [10] MENG Xiangmeng, ARTINOV M, BACHMANN M, et al. Experimental and numerical assessment of weld pool behavior and final microstructure in wire feed laser beam welding with electromagnetic stirring[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2019, 45: 408-418.
- [11] AI Yuewei, JIANG Ping, WANG Chunming, et al. Experimental