

声表器件质量管理与质量风险相关性分析

支越^{1,2},梅强¹,王之哲²,王小强²,刘焱²

(1. 江苏大学 管理学院,江苏 镇江 212013;2. 工业和信息化部 电子第五研究所,广东 广州 510610)

摘要:声表面波器件因体积小,质量小,信号处理简单,适于批量生产及可靠性高等优点,在雷达、通信、导航和电视等领域有着广阔的应用前景。目前,我国声表面波器件产品检验合格率相对偏低,质量不高,制约了整个行业的发展。该文通过分析电子元器件质量管理要素与质量风险间的相关性,提出了一种能够通过评价电子元器件质量管理水平预测其质量风险的方法,为声表器件研制企业改善产品质量风险提供了借鉴与参考。

关键词:声表面波;质量管理;质量风险;相关性;递阶偏最小二乘法

中图分类号:TN384 **文献标识码:**A

Analysis of Correlation Between Quality Management and Quality Risk of Surface Acoustic Wave Devices

ZHI Yue^{1,2}, MEI Qiang¹, WANG Zhizhe², WANG Xiaoqiang², LIU Yan²

(1. School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. The Fifth Institute of Electronics, Ministry of Industry and Information Technology, Guangzhou 510610, China)

Abstract: With the advantages of small size, light weight, ease to signal processing, potential of mass production and good reliability, surface acoustic wave devices have widely been employed in the field of radar, telecommunication, navigation, television and so on. However, the qualification rate of surface acoustic wave devices in our country has been relatively low and its quality needs to be improved, which limited the development of surface acoustic wave device industry. Thus an analysis method to evaluate quality risk of electron devices through their quality management status has been proposed by analyzing the correlation between the quality management elements and quality risk of electron devices, which is instructive for the improvement of quality risk of surface acoustic wave devices.

Key words: surface acoustic wave; quality management; quality risk; correlation; hierarchical partial least squares method

0 引言

声表面波器件(简称声表器件)是指利用声表面波对电信号进行模拟处理的器件,其频率范围约为 $10^7 \sim 10^9$ Hz,一般在压电晶体(如铌酸锂)上制备^[1]。声表面波器件因具有体积小,质量小,信号处理简单、方便,适于批量生产,重复性好及可靠性高等优点而受到人们的广泛关注。经过四十多年的发展,如今已经开发出各种功能的声表面波器件,从声表面波固定延迟线、滤波器、谐振器、振荡器、色散延迟线,到直接频率合成器、存储相关器/卷积器、声电荷转移器等。这些器件已被广泛应用于通信、导航、雷达、电子对抗、遥控遥测、广播电视等各类军用和

民用电子系统中。

1 我国声表器件行业现状分析

经过四十多年的发展,虽然我国的声表面波器件行业取得了一定的进步,但与国外相比仍存在差距。目前,国内主要以生产电视中频滤波器、谐振器及对讲机滤波器等工艺要求相对较低的产品为主,产品附加值低,我国声表器件研制企业年产值仅为(3~4)亿人民币。声表器件高端市场都被国外垄断,TDK-EPCOS和Murata两大声表巨头更是占据全球2/3的市场份额^[2]。

我国的声表器件企业与国际上的知名公司如EPCOS、Murata等相比,在封装技术、自动化程度、

工艺水平、生产规模,特别是产品质量上还存在着很大差距。例如工业和信息化部电子第五研究所“十二五”期间共承担国内主要声表器件研制单位的检测任务 247 个批次,其中 35 个批次不合格,不合格率超过 14%,不合格原因主要集中在剪切力强度不够、内部水汽含量超标和内部目检不合格。

产品的质量水平、质量风险(不合格率或返修率)与其质量管理过程密切相关。如何通过评价产品质量管理水平来预测其现有的质量风险,或者说如何明确电子元器件质量管理与质量风险间的相关关系,对指导研制企业的生产管理工作显得尤为重要。本文通过分析电子元器件质量管理要素与质量风险间的相关性,并构建回归模型,提出了一种能够通过评价电子元器件质量管理水平预测其质量风险的方法,为声表器件研制企业改善质量管理,实现声表器件的国产化替代提供了有力支撑。

2 相关性分析理论

研究因变量与自变量相关关系的常见方法有最小二乘法、偏最小二乘法(PLS)和递阶偏最小二乘法(Hi-PLS)等。最小二乘法通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配,适用于自变量间相关性较弱的情形。偏最小二乘法则是通过提取自变量和因变量主成分的方法进行回归分析,提炼能够最好解释因变量的集合变量,区分变量之间回归关系的有用信息和无用噪声,实现降低变量间多重共线性的负面影响,适用于自变量相关性较强的情形。

当自变量个数较多时,PLS 模型结构复杂,难以分析和解释,这时需要采用递阶偏最小二乘法。递阶偏最小二乘法的基本思路是先将自变量划分为若干子集,划分原则是每个子集中的变量具有相同或相近的含义;然后构建每个子集同因变量的 PLS 回归模型,计算对应的 PLS 主成分;最后将子集的 PLS 主成分视为自变量,建立其与因变量之间的回归模型^[3]。

相关性分析方法的选择与自变量间相关性的强弱及自变量个数的多少有关。因此,在开展电子元器件质量管理与质量风险的相关性分析前,需要先分析质量管理要素间的相关性来选择合适的方法。

3 质量管理与质量风险相关性分析

3.1 数据选取

本文根据 ISO9001、GJB9001B 和 GJB 中关于

可靠性、风险控制等方面的具体要求,并结合质量管理的实践活动,确定了 20 个管理要素作为质量管理指标。其分别是顾客关注程度、领导作用、全员参与、过程方法、系统方法、持续改善、基于事实的控制、与供方关系、质量管理体系文件、质量管理机构、管理评审、资源管理、设计与开发、采购、作业管理和保持、产品交付管理、质量检验测量分析、质量成本、不合格品控制、纠正和预防措施。研制企业可通过自我评价诊断确定每个管理要素得分,根据每个管理要素执行情况“极差”、“较差”、“一般”、“较好”、“极好”分别给予 20、40、60、80 和 100 分。

质量风险在定义上是指潜在的、没有发生的、具有发生可能性的影响产品完成其规定功能的事件。本文选用“返修率”作为质量风险指标,间接表征特定质量管理水平下电子元器件产品发生质量风险的可能性。

声表器件的质量管理过程及质量风险指标与广大电子元器件相类似。为了保证样本选取的合理性,本文收集国内 37 家电子元器件研制企业的质量管理要素评分和“返修率”数据,并开展二者间的相关性分析,研究结论同样适用于声表器件。

3.2 多重共线性分析

为了分析自变量间的相关性,本文使用质量管理辅助工具 Minitab,利用最小二乘法对 37 家企业产品的质量要素和“返修率”开展多元线性回归,得到回归方程为

$$y = 104 - 2.52x_1 + 0.641x_2 - 0.476x_3 - 0.8x_4 - 1.53x_5 + 0.255x_6 - 1.84x_7 - 0.161x_8 + 0.729x_9 - 2.19x_{10} - 0.36x_{11} - 2.18x_{12} - 0.144x_{13} + 0.788x_{14} + 2.35x_{15} + 1.88x_{16} - 1.22x_{17} + 0.534x_{18} - 1.81x_{19} - 2x_{20} \quad (1)$$

式中: y 为对应产品的“返修率”; $x_1 \sim x_{20}$ 分别依次对应前述的 20 个管理要素。上述多元线性回归模型的方差分析如表 1 所示。表中,SS 为离均差平方和;MS 为均方; F 为 F 统计量,用于假设检验; P 为差别由抽样误差引起的概率,对应无效假设的统计意义。

表 1 质量管理与质量风险回归方程方差分析表

来源	自由度	SS	MS	F	P
回归	20	5 021.37	251.07	51.34	0
残差误差	16	78.25	4.89		
合计	36	5 099.63			

由表 1 中的 F 值和 P 值可以判断,“返修率”同

质量管理要素之间具有显著相关性。在此基础上获得的多元线性回归估计结果如表 2 所示。由表 2 可看出,变量 $x_1 \sim x_{20}$ 的方差扩大因子 VIF 都大于 10。由于“返修率”同质量管理要素之间具有显著相关性,故可推断出这些变量同其他变量之间具有多重

共线性,最小二乘法已不能准确描述质量管理要素同“返修率”之间的关系,需要采用其他的方式对二者开展相关性分析。考虑到自变量较多(达到 20 个),因此,本文选用递阶偏最小二乘法进行回归分析。

表 2 多元线性回归估计结果表

变量 j	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
系数	-2.524	0.642	-0.477	-0.797	-1.517	0.256	-1.840	-0.161	0.729	-2.191
系统误差	0.844	0.890	0.894	1.104	0.581	0.829	0.761	0.748	0.949	0.969
t 统计量	-2.990	0.720	-0.530	-0.720	-2.610	0.310	-2.420	-0.220	0.770	-2.260
p 统计量	0.009	0.482	0.601	0.480	0.019	0.762	0.028	0.832	0.454	0.038
VIF_j	12.595	10.389	12.815	14.127	5.219	7.308	8.343	7.451	12.665	11.716
变量 j	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}
系数	-0.362	-2.178	-0.144	0.788	2.355	1.882	-1.220	0.534	-1.813	-1.997
系统误差	1.022	1.082	0.776	0.773	1.283	1.069	0.926	0.609	1.379	1.184
t 统计量	-0.350	-2.010	-0.190	1.020	1.840	1.760	-1.320	0.880	-1.310	-1.690
p 统计量	0.728	0.061	0.855	0.323	0.085	0.097	0.206	0.394	0.207	0.111
VIF_j	12.637	13.030	8.732	8.362	21.556	16.941	13.483	4.198	32.134	21.493

3.3 质量管理与质量风险回归分析

本文利用递阶偏最小二乘法开展质量管理和质量风险的相关性分析,选取全部样本中的前 34 个样本数据进行回归模型的构建,后面的 3 个样本作为回归模型有效性的测试样本。

3.3.1 底层模型的构建

根据 20 个管理要素的含义和内在关系,将其划分为 5 组,每组的命名及所包含的管理要素如表 3 所示。分组后,以“返修率”为因变量,分别建立其对人员要素、方法要素、体系要素、实践要素和资源要素的底层 PLS 回归模型。

表 3 质量管理要素变量分组

组别	组中变量
人员要素(X_{people})	顾客关注程度($X_{p,1}$)、领导作用($X_{p,2}$)、全员参与($X_{p,3}$)、与供方关系($X_{p,4}$)
方法要素(X_{method})	过程方法($X_{m,1}$)、系统方法($X_{m,2}$)、持续改善($X_{m,3}$)、基于事实的控制($X_{m,4}$)
实践要素(X_{action})	设计与开发($X_{a,1}$)、采购($X_{a,2}$)、作业管理和保持($X_{a,3}$)、产品交付管理($X_{a,4}$)、质量检验、测量、分析($X_{a,5}$)、不合格品控制($X_{a,6}$)、纠正和预防措施($X_{a,7}$)
资源要素(X_{resource})	质量成本($X_{r,1}$)、资源管理($X_{r,2}$)

根据交叉有效性原理,在以“人员要素”为自变

量的 PLS 回归模型中,提取 1 个成分 t_p ,它与原变量的回归关系为

$$t_p = 0.513X_{p,1} + 0.439X_{p,2} + 0.534X_{p,3} + 0.509X_{p,4} \quad (2)$$

式中: t_p 对返修率的解释程度达到 82.5%。

在以“方法要素”为自变量的 PLS 回归模型中,提取 2 个成分 $t_{m,1}, t_{m,2}$,它与原变量的回归关系分别为

$$t_{m,1} = 0.533X_{m,1} + 0.447X_{m,2} + 0.488X_{m,3} + 0.527X_{m,4} \quad (3)$$

$$t_{m,2} = 0.093X_{m,1} + 0.798X_{m,2} - 0.522X_{m,3} - 0.288X_{m,4} \quad (4)$$

式中 $t_{m,1}, t_{m,2}$ 对返修率的解释程度达到 91.1%。

在以“体系要素”为自变量的 PLS 回归模型中,提取 1 个成分 t_s ,它与原变量的回归关系为

$$t_s = 0.587X_{s,1} + 0.580X_{s,2} + 0.5669X_{s,3} \quad (5)$$

式中 t_s 对返修率的解释程度达到 87.3%。

在以“实践要素”为自变量的 PLS 回归模型中,提取 2 个成分 $t_{a,1}, t_{a,2}$,它与原变量的回归关系分别为

$$t_{a,1} = 0.344X_{a,1} + 0.373X_{a,2} + 0.383X_{a,3} + 0.365X_{a,4} + 0.391X_{a,5} + 0.389X_{a,6} + 0.398X_{a,7} \quad (6)$$

$$t_{a,2} = -0.684X_{a,1} + 0.351X_{a,2} + 0.445X_{a,3} - 0.432X_{a,4} + 0.037X_{a,5} + 0.138X_{a,6} +$$

$$0.060X_{a,7} \quad (7)$$

式中 $t_{a,1}$ 、 $t_{a,2}$ 对返修率的解释程度达到 87.1%。

在以“资源要素”为自变量的 PLS 回归模型中, 提取 1 个成分 t_r , 它与原变量的回归关系为

$$t_r = 0.707X_{r,1} + 0.707X_{r,2} \quad (8)$$

式中 t_r 对返修率的解释程度达到 80.6%。

3.3.2 顶层模型的构建

在底层模型的基础上, 建立 $(t_p, t_m, t_s, t_{a,1}, t_{a,2}, t_r)$ 对“返修率”的顶层模型, 得到两个 PLS 主成分分别为

$$t_{top,1} = 0.308t_p + 0.377t_{m,1} + 0.396t_{m,2} + 0.365t_s + 0.569t_{a,1} + 0.416t_{a,2} + 0.404t_r \quad (9)$$

$$t_{top,2} = -0.790t_p - 0.356t_{m,1} + 0.331t_{m,2} + 0.287t_s + 0.039t_{a,1} + 0.171t_{a,2} + 0.162t_r \quad (10)$$

两个顶层成分对“返修率”的解释程度达 94.07%。将底层回归模型代入顶层回归模型主成分表达式, 得到顶层偏最小二乘回归模型为

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 121.7294 - 0.2908X_{p,1} - 0.6841X_{p,2} - \\ & 0.8678X_{p,3} + 0.0089X_{p,4} - 0.2358X_{m,1} - \\ & 0.8926X_{m,2} - 0.3455X_{m,3} - 0.5929X_{m,4} - \\ & 0.3957X_{s,1} - 0.4400X_{s,2} - 0.1565X_{s,3} + \\ & 0.5902X_{a,1} - 0.9279X_{a,2} - 0.5512X_{a,3} - \\ & 0.4066X_{a,4} - 0.2746X_{a,5} + 0.1654X_{a,6} - \\ & 0.3846X_{a,7} - 0.9218X_{r,1} - 0.0583X_{r,2} \end{aligned} \quad (11)$$

3.3.3 模型有效性检验

为了验证回归方程的有效性, 将其他 3 家企业的样本数据代入模型进行计算验证, 预测的残差率分别为 6.52%、7.86% 和 6.04%。在复杂系统预测决策中, 残差率在 10% 以内, 说明预测模型有效^[4]。3 个测试样本的预测残差率都低于 10%, 说明构建的回归模型可行。

构建的回归模型可以有效指导声表器件研制企业的生产管理工作。声表研制企业可通过自我评价诊断确定每个管理要素的评分, 把数据代入式(11)可预测产品的返修率。如果返修率达到企业的生产目标, 则维持现有质量管理水平不变; 如果返修率与目标有一定的差距, 则可以借鉴式(11)有针对性地调整各管理要素投入, 改善质量管理水平, 并重新预测产品质量风险, 实现对声表器件质量水平的动态

持续改善。

4 结束语

声表面波器件因体积小, 质量小, 信号处理简单, 适于批量生产及可靠性高等优点而在雷达、通信、导航和电视等领域有着广阔的应用前景。我国声表面波器件与国外同类产品相比, 检验合格率相对偏低, 质量不高, 制约了整个行业的发展。为了改善声表器件的产品质量, 实现其国产化替代, 预测声表器件现有的质量风险显得尤为重要。本文采用递阶偏最小二乘法, 通过分析电子元器件质量管理要素与质量风险间的相关性, 提出了一种能够通过评价电子元器件质量管理水平预测其质量风险的方法, 为声表器件研制企业明确其产品质量风险, 评判自身技术水平提供依据和借鉴。这有利于改善我国声表器件的质量水平, 推动声表器件的国产化替代。

参考文献:

- [1] 周剑, 何兴理, 金浩, 等. 基于 ZnO 压电薄膜的柔性声表面波器件[J]. 光学精密工程, 2014, 22(2): 346-350. ZHOU Jian, HE Xingli, JIN Hao, et al. Flexible ZnO thin film SAW device on polyimide substrate[J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(2): 346-350.
- [2] 曹亮. 我国声表面波技术和产业的发展[J]. 声学技术, 2013, 32(6): 9-12. CAO Liang. The development of surface acoustic wave technology and industry in China [J]. Technical Acoustics, 2013, 32(6): 9-12.
- [3] ZHANG Y, LI S, HU Z, et al. Dynamical process monitoring using dynamical hierarchical kernel partial least squares[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2012, 118: 150-158.
- [4] 王惠文, 吴载斌, 孟洁. 偏最小二乘回归的线性与非线性方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [5] 何晓群. 应用回归分析[M]. 3 版. 北京: 中国人民大学出版社, 2011.
- [6] LEV M K. Accelerated quality and reliability solutions [M]. Boston: Elsevier, 2006.
- [7] HANS G F. Application of the continuous acquisition and lifecycle support (CALS) initiative to the evolved seasprow missile program [R]. Monterey, USA: Naval Postgraduate School, 1995.
- [8] DING Yi, ZUO Ming, LISNIANSKI A, et al. A Framework for reliability approximation of multi-state weighted k-out-of-n systems [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2010, 59(2): 297-308.