

摘要：随着高分子电容型湿度传感器的广泛应用，湿度传感器的极限工作环境是在使用过程中的重要指标。文章选取低气压低湿、高湿、高温 3 种极限环境应力，通过极限环境试验分析高分子湿敏电容型湿度传感器耐极限环境能力。结果表明：单应力条件下，135 ℃为其工作的高温应力极限， 1×10^{-5} Pa 为其低气压应力极限。因此，在实际应用中应避免传感器长期在 135 ℃高温、 1×10^{-5} Pa 低气压条件下工作。

关键词：高分子电容；湿度传感器；极限环境

中图分类号：TP212.2

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2021)02-0006-05

收稿日期：2020-11-28

高分子电容湿度传感器 耐极限环境应力研究

刘智敏 徐晓龙 王洪涛 杨丹

中国电子科技集团公司第四十九研究所，黑龙江哈尔滨 150001

0 引言

高分子电容湿度传感器由于具有良好的灵敏度、一致性、响应速度、湿滞等优点，是目前国内外研制、生产、应用最广泛的一类湿度传感器。广泛应用于气象、航空航天、船舶舰船、电力等领域^[1]，随着应用领域的增加，对传感器适应各种复杂环境的能力提出了更高的要求。航天某型号产品要求湿度传感器能够满足多次、较长时间低气压极限环境的要求，环境中的湿度接近 0% RH，为极低湿环境。同时，传感器还需满足高温低气压和高湿环境（95% RH）下长期工作的要求。因此，展开对高分子电容湿度传感器失效机制的研究，提高高分子电容湿度传感器的可靠性是目前亟待解决的问题。目前，针对湿度传感器可靠性方面开展的研究多数针对高分子电容湿度传感器及陶瓷湿度传感器^[2-3]。研究方法多为建立湿度传感器数学模型^[4]，对传感器使用寿命进行研究或通过对材料本身性质进行研究，分析传感器工作机理，针对特定工程应用背景下的极限环境传感器的可靠性及寿命方面以及极限环境下传感器工作机理的研究较少。

本文基于高分子电容湿度传感器原理选取环境应力，通过传感器耐极限应力试验研究，探索高分子电容湿度传感器耐各种极限环境的能力，以期传感器的实际应用提供科学依据。

1 传感器耐极限应力试验

1.1 应力分析

高分子电容湿度传感器的感湿机理是基于对湿度敏感的高分子聚合物含有吸水基团，吸附环境中的气态水分子，使感湿材料的介电常数发生改变，从而实现对湿度的测量。高分子湿敏电容的通常结构如图 1 所示。

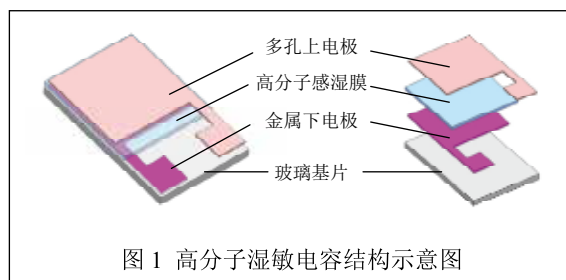


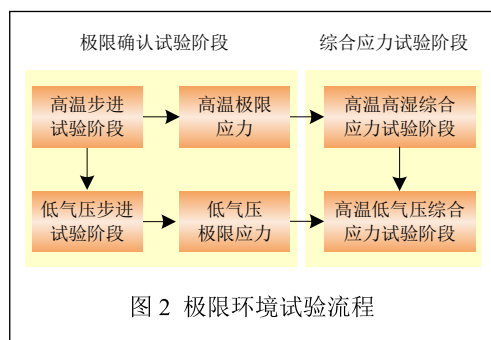
图 1 高分子湿敏电容结构示意图

从传感器结构、材料、工作原理出发,依据实际工程应用环境条件及实际应用过程中出现的失效情况及分析结果,结合传感器极限环境应力分析,初步总结造成传感器失效的极限环境应力主要有3种:低气压低湿、高湿、高温。以湿度传感器实际应用典型要求:低气压低湿($6.5 \times 10^3 \text{ Pa} \sim 1.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 、不大于5% RH)、高湿(高于95% RH)、高温(85℃)作为高分子电容湿度传感器极限环境应力试验研究的基础,开展极限环境试验。

1.2 试验剖面设计

根据可靠性强化试验方法,设计湿度传感器耐极限环境试验剖面^[5-6]。高分子电容湿度传感器极限环境试验分为极限确认试验和综合应力试验两个阶段。极限确认试验是以步进方式施加严酷的试验应力,探索传感器高温、高湿和低气压工作极限和破坏极限的试验。综合应力试验以考核受试产品耐综合极限环境能力,暴露产品设计和工艺缺陷为目的,包括高温低气压综合应力试验和高温高湿综合应力试验。

高分子电容湿度传感器极限环境试验流程如图2所示。



1.3 失效判据

- (1) 传感器的D值退化到37;
- (2) 传感器容值的漂移超过10 pF;
- (3) 传感器出现机械损伤、表面污染、破裂。

2 结果与分析

2.1 高温步进应力试验结果分析

按照1.2试验剖面进行高温步进试验。试验在恒温恒湿箱内进行,条件为环境湿度50% RH,每个点恒温24 h,样本量为每个条件5只。试验中的温度应力分别为70℃、85℃、95℃、105℃、110℃、115℃、120℃、125℃、130℃、135℃、140℃、145℃、150℃应力水平的试验,在温度应力超过100℃后恒温恒湿箱内水蒸气全部蒸发,恒温恒湿箱内湿度接近0% RH。试验结果如表1所示。

表1 高温步进应力试验结果

传感器	容值 (pF)	D 值	容值 (pF)	D 值	容值 (pF)	D 值	容值 (pF)	D 值
	70℃		85℃		95℃		105℃	
A1	187.01	21	187.04	24	186.42	27	181.84	27
A2	183.63	21	183.64	24	183.06	27	178.53	27
A3	185.52	21	185.99	22	184.86	28	180.30	27
A4	188.53	21	188.50	25	187.85	28	183.17	28
A5	187.01	21	186.99	24	186.33	28	181.69	28
-	110℃		115℃		120℃		125℃	
A1	176.81	26	176.66	28	176.71	25	176.54	31
A2	173.63	27	173.45	26	173.45	28	173.33	30
A3	175.27	27	175.17	28	175.19	24	175.03	30
A4	178.06	27	177.92	28	177.92	28	177.83	31
A5	176.63	25	176.50	28	176.50	28	176.40	30
-	130℃		135℃		140℃		145℃	
A1	176.47	33	176.38	35	176.45	37	176.35	40
A2	173.16	32	173.18	34	173.21	36	173.13	39
A3	174.81	31	174.83	33	174.84	35	174.86	37
A4	177.64	33	177.66	37	177.66	40	177.62	43
A5	176.28	35	176.22	37	176.12	40	176.13	44
-	150℃		-	-	-	-	-	-
A1	176.37	A1	-	-	-	-	-	-
A2	173.17	A2	-	-	-	-	-	-
A3	174.85	A3	-	-	-	-	-	-
A4	177.65	A4	-	-	-	-	-	-
A5	176.14	A5	-	-	-	-	-	-

根据表1可知,以D值为主要判断标准,135℃水平及以前的温度应力下,试样在高温条件以及恢复室温后均可正常工作。在高温应力下,140℃点出现2个样品失效,145℃点出现4个样品失效,150℃点出现5个样品失效,但恢复室

温后样品性能值均恢复正常水平。

2.2 低气压步进应力试验结果分析

低气压试验在室温 (25 °C) 环境下, 样本量为每个条件点 5 只。分别测量了 1×10^{-4} Pa、 1×10^{-5} Pa 两种低气压应力水平下试验前后样品的性能参数 (容值、D 值), 并测量了 1×10^{-5} Pa 应力水平下试验前后样品的线性与灵敏度。试验结果如图 3 所示。

根据图 3 可知, 低气压数据每个样品只有试验前后的性能参数 (D 值、容值以及 10^{-5} Pa 试验前后的线性度和灵敏度) 对比, 所有样品在试验应力下以及恢复正常应力条件后参数均处于正常水平, 说明单纯在低气压应力作用下传感器很难失效。

2.3 高温高湿试验结果分析

高温高湿环境应力试验的试验温度为 85 °C、95 °C, 试验湿度应力为 75% RH、85% RH、95% RH, 两种应力两两组合共 6 个试验条件点, 每个条件点保持 24 小时, 样本量为每个条件点 5 只。分别测量试验应力施加前、试验条件下及恢复室温后样品的性能参数 (容值、D 值)。试验结果如图 4~图 6 所示。其中, 横轴为测量次数, 其中第 1、3、5 次为试验中测得的数据, 2、4 次为冷却至室温后测得的数据。

由图 6 可知, 在所有应力点, 高温高湿应力下每组样品均出现了失效, 恢复室温后, 大多数样品的性能值都恢复了正常。但 85 °C, 95% RH 以及 95 °C, 95% RH 两应力点处仍有样品参数值未恢复正常水平, 发生了硬失效, 说明在高温高湿应力作用下, 85 °C, 95% RH 以及 95 °C, 95% RH 两应力水平已超过了产品的极限应力。

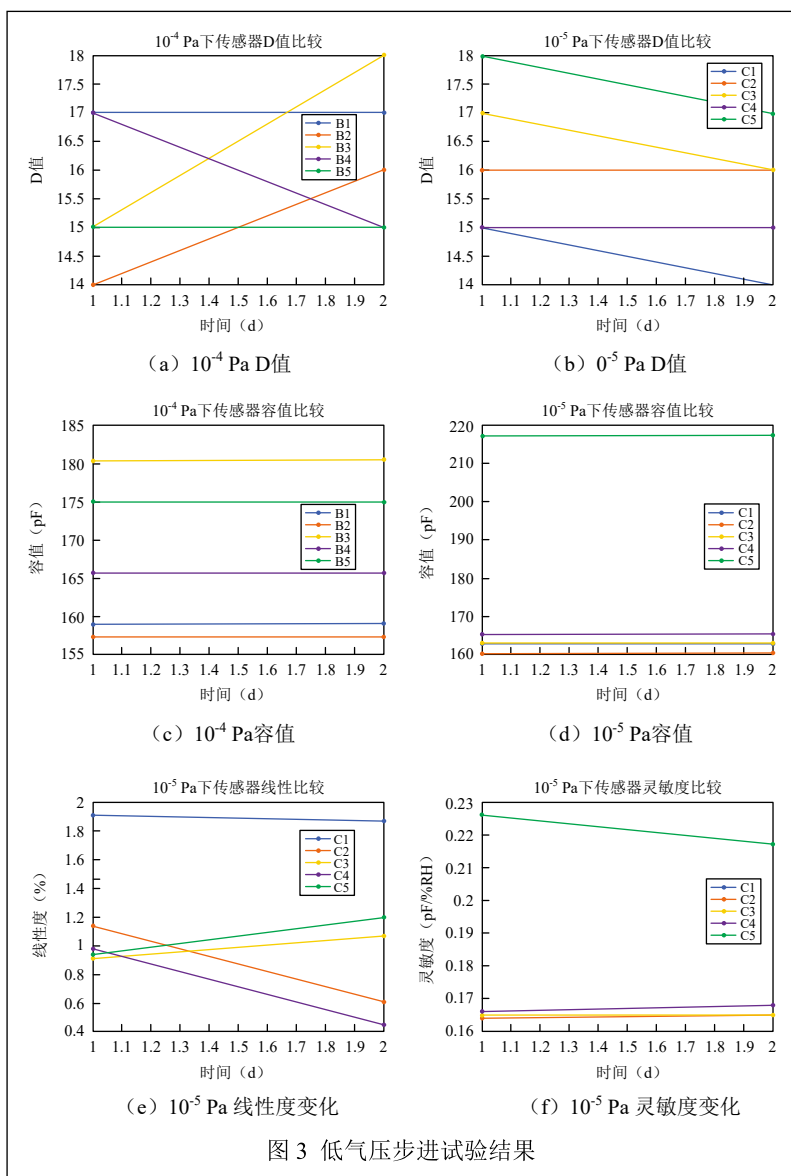


图 3 低气压步进试验结果

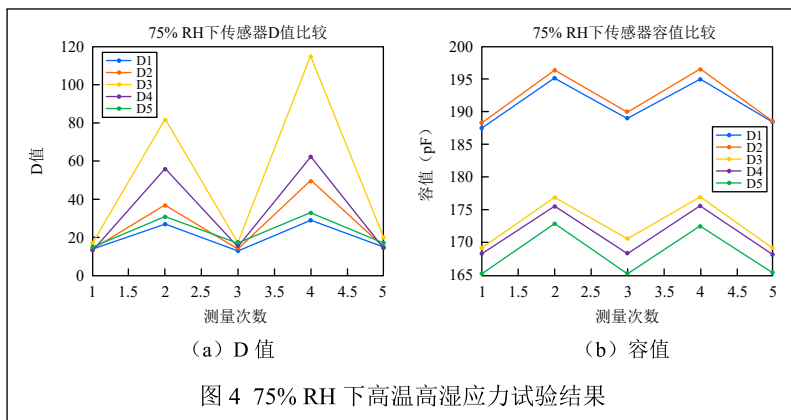
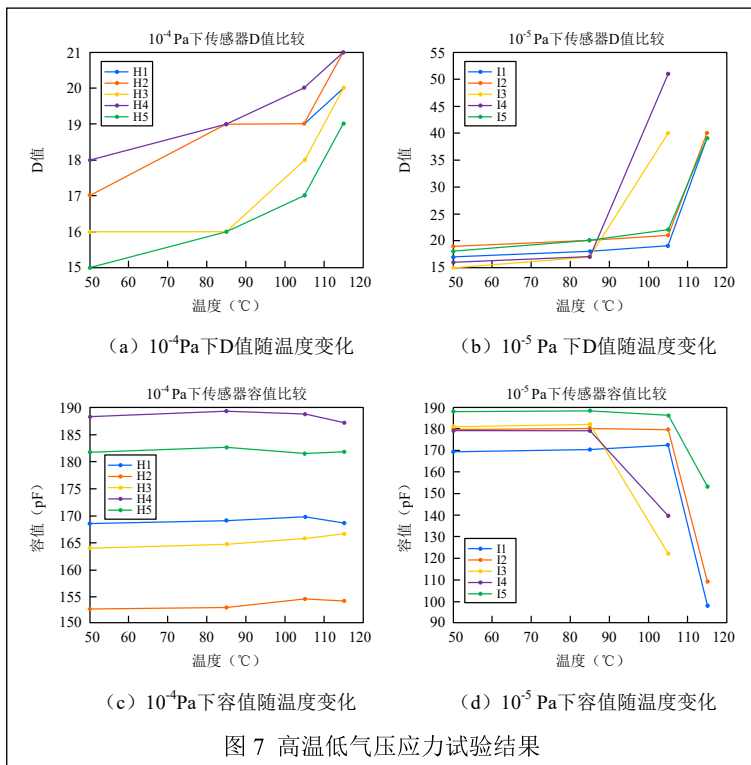
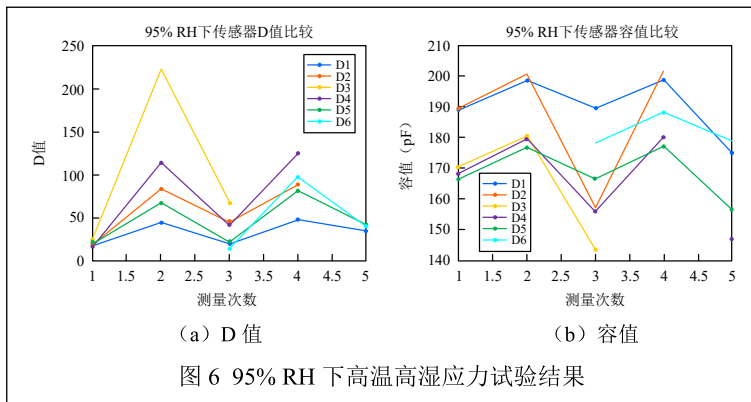
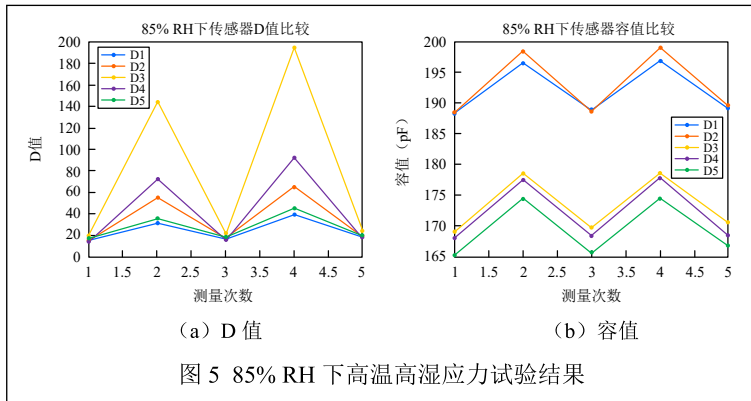


图 4 75% RH 下高温高湿应力试验结果



2.4 高温低气压试验结果分析

高温低气压环境应力试验的试验温度为 85 °C、105 °C、115 °C，环境压力为 1×10^{-4} Pa、 1×10^{-5} Pa。每个条件点保持 10 小时，样本量为每个条件点 5 只。分别在两种压力水平下进行了 3 种温度水平的步进试验，并分别测量每组试验结束恢复室温后样品的性能参数（容值、D 值），试验结果如图 7 所示。

由图 7 可知，环境压力为 1×10^{-4} Pa，环境温度为 85 ~ 115 °C 时，试验前后湿敏电容容值、D 值均无明显变化；环境压力为 1×10^{-5} Pa，环境温度为 105 °C 时，试验后有 2 只湿敏电容容值有明显降低；环境温度为 115 °C 时，5 只湿敏电容容值全部出现失效。经测试，电容灵敏度下降，湿敏电容在高真空度条件下，湿敏材料发生深度聚合脱水反应，导致产品湿敏电容容值下降，D 值变大。针对此问题，可通过对湿敏电容高分子聚合物改性，提高湿材料耐真空能力，避免湿敏材料发生深度脱水。

3 结论

本文根据高分子电容湿度传感器原理及实际应用工况，选取低气压低湿、高湿、高温作为传感器极限工作应力。根据可靠性强化试验方法，进行了极限确认试验和综合应力试验。结果表明，单应力条件下，135 °C 为其工作的高温应力极限， 1×10^{-5} Pa 为其低气压应力极限。因此，在实际应用中应避免传感器长期在 135 °C 高温、 1×10^{-5} Pa 低气压条件下工作。

参考文献

- [1] 刘海龙. 湿度测量在环境可靠性试验设备中的应用[J]. 装备环境工程, 2010, 7(06): 288-291.
- [2] 周真, 李翰斌, 齐佳, 马德仲. 基于 ADT 的电阻型湿度传感器可靠性评估[J]. 计测技术, 2017(01): 26-29.
- [3] 林晓松, 林少芬, 陈清林, 朱兆一. 温湿度监测系统可靠性仿真和设计[A]. 中国机械工程学会可靠性工程分会. 2014 年全国机械行业可靠性技术学术交流会暨可靠性工程分会第五届委员会成立大会论文集[C]. 中国机械工程学会可靠性工程分会: 中国机械工程学会, 2014: 4.
- [4] 常柏灵, 孙连霞, 马昆林, 曹波. 薄膜湿度传感器寿命特征值的估计[J]. 传感器技术, 2004(08): 25-26, 28.
- [5] 王严东, 邢淑红. 湿度传感器的可靠性研究[J]. 大学物理

实验, 2005(04): 55-57.

[6] 高翔, 禹胜林, 张弛. 电容式湿度传感器多孔上电极受力可靠性分析 [J]. 传感技术学报, 2018, 31(10): 1511-1515.

Study on Exstress Resistance of Polymer Capacitive Humidity

LIU Zhimin, XU Xiaolong, WANG Hongtao, YANG Dan

(The 49th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Harbin 150001, China)

Abstract: With wide use of polymer capacitive humidity sensors, the limit working environment of humidity sensors is an important index in the process of use. In the paper, the limit working environment stress of low pressure, low humidity and high temperature is selected, and the limit environment resistance ability of the humidity sensor with high polymer humidity sensitivity is analyzed by the limit ambient. The results show that the high temperature stress limit is 135 °C and the low pressure limit is 1×10^{-5} Pa under single condition. Therefore, in practical application should avoid long-term sensor at 135 °C high temperature, 1×10^{-5} Pa low air pressure conditions.

Key words: polymer capacitor; humidity sensor; limiting environment

作者简介

刘智敏: 中国电子科技集团公司第四十九研究所, 高级工程师, 主要从事传感器研究工作。

通信地址: 哈尔滨市松北区龙盛路 969 号

邮编: 150060 邮箱: zhimin208@163.com

徐晓龙: 中国电子科技集团公司第四十九研究所, 工程师, 主要从事湿度传感器研究工作。

王洪涛: 中国电子科技集团公司第四十九研究所, 工程师, 主要从事化学量传感器研究工作。

杨丹: 中国电子科技集团公司第四十九研究所, 工程师, 主要从事温度传感器研究工作。