



引用格式:秦浩, 尤佳, 刘智敏, 等. 常温电化学氧气传感器寿命测试分析[J]. 轻工学报, 2016, 31(1): 105 - 108.

中图分类号: TP212.2 文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2096-1553.2016.1.016

文章编号: 2096-1553(2016)01-0105-04

常温电化学氧气传感器寿命测试分析

Test analysis of the life of room temperature electrochemical oxygen sensor

秦浩^{1,2}, 尤佳¹, 刘智敏¹, 徐振忠¹, 张巍¹, 祁欣¹, 周明军¹
QIN Hao^{1,2}, YOU Jia¹, LIU Zhi-min¹, XU Zhen-zhong¹, ZHANG Wei¹,
QI Xin¹, ZHOU Ming-jun¹

1. 中国电子科技集团公司 第四十九研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工程大学 材料科学与化学工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001

1. *The 49th Research Institute, China Electronic Technology Group, Harbin 150001, China;*

2. *College of Materials Science and Chemical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China*

关键词:

电化学氧气传感器;
传感器寿命; 加速寿命
试验

Key words:

electrochemical oxygen
sensor; sensor life; ac-
celerated life test

摘要:选取温度、低气压、振动三个应力因素, 通过恒定应力加速寿命试验分析不同应力因素对常温电化学氧气传感器寿命的影响. 结果表明: 温度对传感器寿命影响较大, 当温度由 40 ℃ 上升为 50 ℃ 时, 传感器寿命便由 6 个月缩短为 3 个月; 低气压对传感器寿命的影响较温度应力弱, 当绝对压力由 50 kPa 降至 10 kPa, 传感器寿命缩短 1/3; 振动应力对传感器寿命影响极小. 因此, 研制开发耐高温及耐低气压的低挥发高稳定新型电解液材料将成为常温电化学氧气传感器发展的重要方向.

收稿日期: 2015-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51402065)

作者简介: 秦浩(1983—), 男, 江苏省徐州市人, 中国电子科技集团公司高级工程师, 哈尔滨工程大学博士研究生, 主要研究方向为化学量传感器技术.

Abstract: The influence of different stress factors such as temperature, vacuum and vibration on room temperature electrochemical sensor life was analyzed by constant stress accelerated test. The results showed that the temperature was the maximum stress, and when the temperature raised from 40 °C to 50 °C, the life of sensors shortened from 6 months to 3 months. Influence of low environment pressure on the life reliability of the sensor was weaker than the temperature stress. And when the absolute pressure decreased from 50 kPa to 10 kPa, life expectancy was shortened by 1/3. The results also showed that vibration stress had little effect on the reliability of sensor life. Research and development of new type of low volatile and high stability electrolyte material which could resist high temperature and low environment pressure was the main direction of the development of room - temperature electrochemical oxygen sensor.

0 引言

随着常温电化学氧气传感器应用越来越广泛,人们对常温电化学氧气传感器越来越重视.常温电化学氧气传感器在非正常环境条件下使用中暴露出了诸多问题,其中,以其寿命问题最为严重,对其开展寿命研究于是成为常温电化学氧气传感器应用研究的重点^[1-2].本文拟基于常温电化学氧气传感器原理,选取环境应力,通过恒定应力加速寿命试验进行考核,以期对传感器使用环境条件提出科学依据.

1 传感器加速寿命试验

1.1 应力因素分析

常温电化学氧气传感器利用电解液与氧气之间的电化学反应来实现对氧气的检测,其结构示意图如图 1 所示.根据传感器结构及工作原理,对传感器故障(失效)进行分析,绘制传感器故障树如图 2 所示.根据传感器工作原理,以及传感器在实际应用过程中出现的寿命问题,提炼出影响传感器寿命的应力因素,主要包括温度、低气压和振动^[3-4].

1.2 实验剖面设计

按照实验应力的升高应以不改变产品在正常工作条件下的失效机理为准则^[5],根据应力分析结果,选择温度、低气压、振动作为分析应力,进行恒定应力加速寿命试验.每组 6 个样本,温度选取 40 °C 和 50 °C,低气压选取绝对压

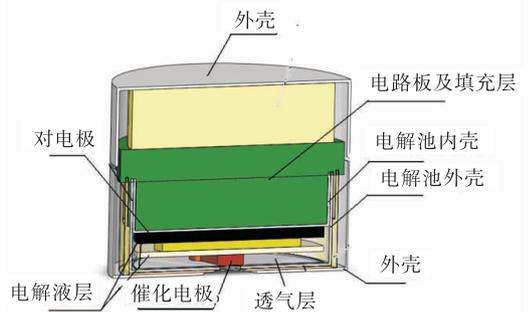


图 1 常温电化学氧气传感器结构示意图

Fig. 1 Structure of room temperature electrochemical oxygen sensor

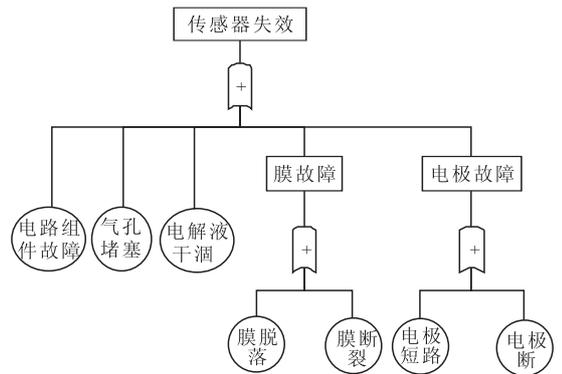


图 2 传感器故障树

Fig. 2 Fault tree of sensor

力 50 kPa 和 10 kPa, 振动条件选取 2 倍量值进行实验, 采用完全寿命试验法, 传感器失效则记录为传感器寿命.

1.3 失效判据

根据常温电化学氧气传感器工作特性, 采用最小二乘法计算传感器工作直线方程, 并计算传感器的非线性指标, 非线性指标 $\geq 2\% \text{ FS}$

(FS 为满量程输出)或响应时间 $\tau_{90} \geq 60$ s 时 (τ_{90} 为传感器输出由零点上升至 FS 值 90% 的时间),判定传感器失效. 另外,在实验过程中,传感器若出现破裂、裂纹和机械损伤也判定为传感器失效^[6].

2 结果与分析

2.1 温度实验结果

按照 1.2 的实验剖面进行常温电化学氧气传感器温度环境下寿命试验. 每实验 1 个月对传感器进行 1 次非线性指标及响应时间测试, 40 °C 条件下的实验结果见表 1.

根据传感器原理可知,温度条件对传感器电解液影响最大. 在 40 °C 条件下,电解液挥发,当电解液量降低到一定程度时,传感器非线性指标及响应时间不能满足要求. 由表 1 可知:实验进行 6 个月后,5[#]传感器响应时间不能满足要求;实验进行 7 个月后,6 只样品中仅 3[#]样品非线性指标和响应时间都能够满足要求,而其他样品响应时间均超出范围,判定传感器失效. 根据数据统计及处理原则,可以认定在 40 °C 条件下,传感器寿命为 6 个月.

在 50 °C 条件下,对传感器进行同样考核,经过对实验数据的分析判断,得出在 50 °C 条件下传感器寿命为 3 个月.

2.2 低气压实验结果

按照 1.2 的实验剖面进行常温电化学氧气

传感器低气压环境下寿命试验. 每实验 2 个月对传感器进行 1 次非线性指标及响应时间测试. 将传感器放入容积为 5 L 的真空容器中,抽气速度为 500 mL/min,利用真空表对容器压力进行监测,50 kPa 条件下的实验结果见表 2.

由表 2 可知:实验进行 12 个月后,1[#]传感器非线性指标不能满足要求;实验进行 14 个月后,6 只样品中仅 17[#]样品非线性指标和响应时间都能够满足要求,而其他样品响应时间均超出范围,判定传感器失效. 根据数据统计及处理原则,可以认定在 50 kPa 条件下,传感器寿命为 12 个月. 在 10 kPa 条件下,对传感器进行同样的考核,经过对实验数据的分析判断,得出该条件下传感器寿命为 8 个月.

2.3 随机振动实验结果

传感器随机振动实验条件见表 3,实验前后测试传感器非线性指标及响应时间,并在 50 倍显微镜下对传感器外观进行检查,共进行 10 次振动实验,结果见表 4.

由表 4 可知,传感器在经历 10 次随机振动实验后,传感器非线性指标、响应时间变化不大,仍可满足要求,且外观几乎没有变化,表明传感器没有失效. 虽然随机振动实验没有做到理想状态的全寿命周期测试,但也可以说明振动环境对传感器寿命的影响极小.

综合上述实验结果可知:温度是影响传感器寿命最大的应力因素,在 40 °C 条件下传感器

表 1 40 °C 条件下传感器寿命试验结果

Table 1 Test results with 40 °C of sensor life

样本 编号	0 个月		1 个月		2 个月		3 个月		4 个月		5 个月		6 个月		7 个月	
	非线性指 标/%FS	τ_{90}/s														
1 [#]	0.9	29	1.0	35	1.0	34	1.0	32	1.2	33	1.4	32	1.5	35	2.0	78
2 [#]	0.9	32	0.9	33	1.0	30	1.1	35	1.3	33	1.3	35	1.5	39	1.6	60
3 [#]	0.9	30	0.9	32	0.9	33	1.2	34	1.2	29	1.5	33	1.4	39	1.6	44
4 [#]	1.0	25	1.1	26	1.2	29	1.1	29	1.4	36	1.2	35	1.4	53	1.8	66
5 [#]	0.9	29	0.8	34	1.0	30	1.2	29	1.5	33	1.5	36	1.5	65	1.6	85
6 [#]	1.0	20	1.2	22	1.2	25	1.1	30	1.2	28	1.4	35	1.6	44	1.6	90

表2 50 kPa 条件下传感器寿命试验结果

Table 2 Test results with 50 kPa atmospheric pressure of sensor life

样本 编号	0个月		2个月		4个月		6个月		8个月		10个月		12个月		14个月	
	非线性指 标/%FS	τ_{90}/s														
13 [#]	1.1	30	1.2	32	1.2	32	1.4	33	1.5	38	1.7	42	2.0	55	2.1	77
14 [#]	1.2	30	1.2	30	1.1	33	1.3	35	1.6	35	1.5	44	1.6	51	1.6	69
15 [#]	1.1	29	1.0	33	1.2	34	1.1	29	1.3	33	1.5	39	1.6	44	1.5	76
16 [#]	1.0	28	1.1	29	1.3	29	1.2	30	1.3	35	1.4	49	1.8	55	2.0	88
17 [#]	1.2	30	1.1	28	1.2	25	1.3	33	1.3	40	1.5	42	1.6	44	1.6	58
18 [#]	0.9	26	1.1	33	1.3	31	1.3	38	1.5	39	1.7	44	1.6	44	1.6	90

表3 传感器随机振动实验条件

Table 3 Random vibration condition of sensor

频域/Hz	分频斜率/ (dB · oct ⁻¹)	功率谱密度/ (g ² · Hz ⁻¹)	总均方根 加速度值	实验持 续时间
10 ~ 250	6	—		
250 ~ 1 000	—	0.12	12.04 grms	120 s
1 000 ~ 2 000	-9	—		

表4 传感器随机振动实验结果

Table 4 Test results with random vibration of sensor

样本 编号	实验前		实验后	
	非线性指标/%FS	τ_{90}/s	非线性指标/%FS	τ_{90}/s
25 [#]	1.0	28	1.0	30
26 [#]	0.9	33	1.0	31
27 [#]	1.1	30	1.0	31
28 [#]	1.2	25	1.1	28
29 [#]	1.0	27	1.1	28
30 [#]	0.9	35	1.0	32

寿命为6个月,而在50℃条件下为3个月,温度增长10℃,寿命缩短1/2;低气压对传感器寿命的影响较温度应力因素弱,绝对压力由50 kPa降至10 kPa后,寿命缩短1/3;而振动实验结果表明,振动应力因素对传感器寿命影响极小。

常温电化学氧气传感器利用电解液与氧气间的电化学反应实现对环境中氧气的检测.因此电解液含量是影响传感器寿命的最直接因素,而电解液含量与环境的温度、真空度有极大的关系.因此在高温及低气压条件下受到的影响最大,寿命损耗也最大,这与上述寿命试验结

果吻合。

3 结论

本文针对常温电化学氧气传感器特性,选择温度、低气压、振动作为传感器寿命试验的应力因素,采用恒定应力加速寿命试验方法,研究了3个应力因素对传感器寿命的影响.结果表明,常温电化学氧气传感器对温度及低气压应力因素极为敏感.因此在实际使用中应避免传感器长期工作在高温或低气压环境中,针对常温电化学氧气传感器这一缺点,研制开发耐高温及耐低气压等恶劣环境的低挥发高稳定新型电解液材料将成为未来常温电化学氧气传感器发展的重要方向之一。

参考文献:

- [1] 孙青. 电子元器件可靠性工程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 10.
- [2] 张洪泉. 电化学式氧传感器寿命特征分析[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2000, 5(1): 9.
- [3] 祁欣. 电化学氧传感器空间在轨应用寿命评估方法[C]// 第二届全国载人航天环境控制与生命安全保障技术研讨会, 深圳: [出版社不详], 2014: 124 - 128.
- [4] 陆俭国. 电器可靠性理论及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995: 110.
- [5] 刘广泉. 基于LNG气体传感器的可靠性评估分析研究[D]. 太原: 中北大学, 2010.
- [6] 刘鹏飞. 气体传感器电应力可靠性试验与分析[J]. 液压与气动, 2011(1): 21.