

高分子薄膜电容式湿敏元件研制报告

丁碧君

(大气探测研究所)

提 要

高分子薄膜电容式湿敏元件是一种能在 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ 温度环境内(可扩展到 80°C),在0—100%(RH)范围中工作的湿度敏感元件。本文概括介绍这种元件的工作原理、结构、性能及其台站试用情况。

该型元件,经过实验室内标准设备的计量,在温度低至 -40°C 环境中测试,并曾多次在气象台站半年至一年的野外试用与复测,证明研制元件的性能在上述测湿范围和工作环境温度条件下,各项技术指标达到了芬兰 Vaisala 公司研制的同类湿敏元件的技术水平。

一、前 言

高分子薄膜电容式湿敏元件的特点是能在全湿度范围工作,具有工作温度范围宽、精度高、响应快、功耗小、滞差小、体积小、使用方便等优点。尤其是能在 -40°C 的低温下正常工作,测湿性能良好。

目前世界上只有少数国家生产这种元件,以芬兰 Vaisala 公司生产的为优。各国自动气象站现在普遍使用这种元件。

我国地面气象站上的测湿仪器现阶段仍然是干湿表及毛发表。干湿表在 0°C 以上测湿性能尚好,但在 -10°C 以下不宜使用;毛发表虽能在 0°C 以下工作,但它的测湿范围仅30—100%(RH)且误差很大。我国地域辽阔,有很大一部分地区如青藏高原、新疆、内蒙等地,一年之中相对湿度在30%以下时期很长,在冬季低温时期使用毛发表无法保证测湿精度。而研制的元件在 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ 范围内性能达到国外同类元件水平,如能根据我国实际情况,在低温、低湿地区开发应用这种新型湿敏元件,将可使上述地区的测湿精度大为提高。

二、结构概述

这种元件是用有机高分子膜作介质的一种小型电容器(见图1)。

湿敏电容器的上电极是一层多孔金膜,

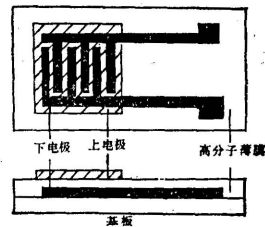


图1 湿敏元件的结构图

能透过水汽;下电极为一对梳状电极,引线由下电极引出。基板是玻璃,作为吸湿层介质的有机高分子膜的厚度为 1μ 。整个湿敏元件是由两个小电容器串联组成。

三、工作原理

当元件置于大气中时,大气中水汽透过上电极进入介电层,介电层吸收水汽后,介电常数发生变化,导致电容器电容量发生变化。元件电容量的变化正比例于相对湿度,其响应非常迅速且线性度良好。因此能快速及准确地测出空气湿度。

根据国外资料〔1〕介绍:聚合物层中吸收水份过程中水分子和聚合物形成键。这些键的结合取决于键的形式。Santala 在作某些假设后认为,聚合物中结合区的水份所占的相对数目 θ 是:

$$\theta = \frac{\frac{aRP_0}{b'(2\pi mkT)^{\frac{1}{2}}} e^{g(\theta) - g_0}}{1 + \frac{aRP_0}{b'(2\pi mkT)^{\frac{1}{2}}} e^{g(\theta) - g_0/kT}}$$

其中, R为周围相对湿度, a为结合区有效面积, P₀为饱和水蒸汽压的分压, q(θ)、q₀分别为聚合物及水中水分子结合能, b'为水分子释放机率, T为绝对温度, k为玻尔茨曼常数。

事实上吸湿是一个复杂过程。

四、研制元件的技术参数

高分子薄膜电容式湿敏元件的一般性能及技术指标如下:

1. 敏感元件: 薄膜电容器;
2. 测量湿度范围: 0—100% (RH);
3. 环境工作温度: -40℃—+40℃; (可扩展到 80℃);
4. 电容量 (RH=0 时): 45pF ± 5pF;
5. 灵敏度: 约 0.1pF/RH;

6. 反应时间: 1s;
7. 精度 (20℃ 时): ± 3% (RH);
8. 滞差: ± 2% (RH);
9. 温度系数 (RH=0 时): 0.05% (RH)/

℃;

10. 分辨率: 0.1% (RH);
11. 尺寸: 4×6×0.3mm³。

以上各项技术指标与芬兰 Vaisala 公司研制的同类型元件指标基本相同。

五、研制元件的特性

1. 元件特性曲线

(1) 常温状况

不同湿度下元件电容量 C, 感湿灵敏度

$\frac{\Delta C}{C_0}$ 和相对湿度的关系及 C-f (RH)、 $\frac{\Delta C}{C_0}$ -f (RH) 的关系曲线见表 1 及图 2、图 3。

图 2 给出研制元件和芬兰元件的电容与相对湿度关系曲线各两根。其中电容量是在工作频率 1kHz 时测定的, 相对湿度值是用

表 1 不同湿度下的元件电容量(pF)

元件号		相对湿度 (%)	0	35	55	75	100	$\frac{\Delta C}{C_0}$ %	pF/RH
研 制	1		47.00	51.40	54.56	57.47	61.75	32	0.14
	2		47.40	51.57	54.07	57.19	61.09	29	0.13
	3		45.60	49.30	52.84	56.47	58.57	28.4	0.13
	4		43.05	47.52	49.58	53.71	57.78	34	0.15
芬 兰	1		50.14	54.90	57.47	61.54	66.60	33	0.17
	2		45.33	48.83	51.10	54.11	57.70	27	0.12

注: 工作频率为 1kHz, 相对湿度值是用饱和盐法得到的。

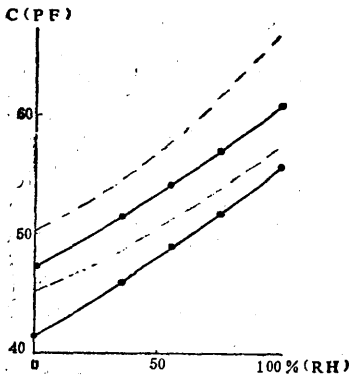


图 2 电容量和相对湿度关系曲线

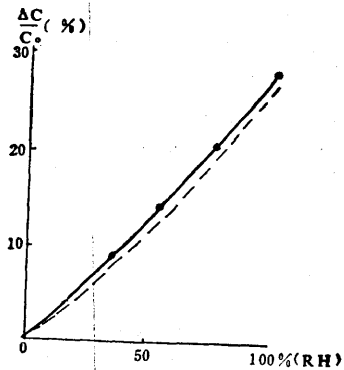


图 3 $\frac{\Delta C}{C_0}$ - f(RH) 关系曲线

通风干湿表测量的。由图 2 可见，研制元件（实线）和芬兰元件（虚线）的特性曲线是一致的。

图 3 给出研制元件（实线）和芬兰元件（虚线）的 $\frac{\Delta C}{C_0} - f(\text{RH})$ 关系曲线的对比情况。

从表 1 及图 2、3 中可见，研制元件及芬

兰元件的 C_0 从 40—50pF，感湿灵敏度为 25—35% 或者 0.12—0.15pF/RH，均符合技术指标的要求。

为了便于遥测，将元件安装在多谐振荡器上作为计时电容，组成传感器，当相对湿度从 0—100% 时，传感器输出为 0—100mV。

不同湿度下研制元件与芬兰、美国元件的传感器输出 mV 值见表 2。

表 2 不同湿度下传感器输出 mV 值

相对湿度 (%)		17	19	26	42	53	68	80	91
国别及元件号									
研 制 (中国)	1	19.2	19.9	29.1	40.6	52.2	65.8	77.8	90.8
	2	19.6	20.3	28.9	40.4	52.3	67.0	79.1	93.1
芬 兰	3	19.2	19.8	28.9	41.9	55.9	69.4	81.3	92.9
	4	19.4	20.2	28.1	39.8	54.4	65.3	79.7	94.7
美 国	5	20.3	20.8	27.7	40.3	51.0	65.7	79.3	95.1
	6	19.7	20.3	27.6	40.6	51.4	65.9	78.9	94.0

注：芬兰元件是指 Vaisala 公司的元件，美国元件指从美国天气测量公司购进的元件。

相对湿度值以通风干湿表为准，从表 2 中可见研制元件示值和标准相对湿度值不超过 3% (RH)，和芬兰元件的精度是一致的。

(2) 不同温度状况

1985 年 10 月在本局计量所双压法恒湿发生器中对元件不同温度点的特性曲线 $mV - f(\text{RH})$ 进行测试。测试温度点为 -40、-20、0 和 20°C，测试湿度范围为 13—95% (RH)。

测试时在恒湿发生器中放了 4 个研制元件及 4 个芬兰元件（元件安装在信号变换电路上组成传感器）。从测试情况看，当温度降低时元件特性曲线的斜率明显降低，温度愈低愈明显。特性曲线的基点即 $\text{RH} = 0$ 时，变化很小，符合 0.05% (RH)/°C。

图 4 是不同温度下元件特性曲线示意图，实线为研制元件，虚线为芬兰元件。

从图 4 中可见，元件在低温下使用需要作温度补偿，才有使用价值。

2. 温度对元件特性的影响

从图 4 可见，研制元件及芬兰元件受温度影响都是在湿度小时受影响小，温度越低受温度影响越大。从元件特性曲线看，温度愈低元件特性曲线的斜率愈小，曲线基点则

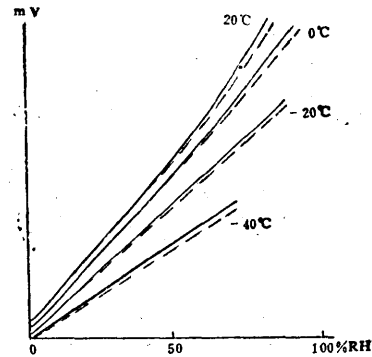


图 4 不同温度下的元件特性曲线示意图

基本不受影响。

从 1986 年 11 月至 1987 年 5 月内蒙二连气象站试用情况看：气温 -20°C 以下观测次数有 164 次，最低温度 -32.2°C，用两个芬兰传感器及两个研制传感器放在同一个百叶箱中作对比观测的资料统计，其差值的算术平均值 $\bar{x} = 0.45\%$ (RH)，均方差 $\sigma_{n-1} = 0.83\%$ (RH)，说明在该温度下两种传感器的性能也是一致的。

3. 元件稳定性试验

(1) 室内存放试验

国外资料〔2〕指出,在理论上可无限期存放。实际上存放1—2年后,使用时需重新检定。

研制元件存放1年后,在恒湿箱中以通风湿表为准,飘移量为1—2%(RH)。

(2) 外场试用

历时3年,从1985年1月至1987年5月用23个传感器分别在五个地区试用,试用时间一般为半年。随后于1987年8月开始在内蒙二连气象站继续试用至今。

从研制元件和芬兰元件对比观测结果看,五地区的两种元件示值差的算术平均值 \bar{x} 平均为0.17%(RH),差值的均方差平均为1.48%(RH)。假定研制元件及芬兰元件的偶然误差 σ_{n-1} 是十分近似的,则根据误差

合成公式

$$\sigma^2_{(n-1)总} = \sigma^2_{(n-1)研} + \sigma^2_{(n-1)芬}$$

$$\text{可得到 } \sigma_{(n-1)研} \approx \sigma_{(n-1)芬} = 0.86\%$$

(RH)。由此可见两种元件的精度可以认为是基本一致的。

从研制元件使用半年后的复测情况看,飘移量在2%(RH)以内,使用了10个月后飘移量在3%(RH)以内,可见研制元件使用前后的飘移量很小,使用半年至一年是可行的。

研制元件使用后的飘移情况还可以从逐月与芬兰元件对比测试的结果来看。对比差值的算术平均值 \bar{x} 中(见表3),最大值和最小值均小于 $\pm 2\%$ (RH)。

4. 气压对元件特性的影响

表3 研制元件和芬兰元件对比观测的差值

地区 \ 月份	月份								月平均
	11	12	1	2	3	4	5	6	
内蒙二连站	0.26	0.43	-0.79	-0.55	-0.15	1.69			0.15
青海西宁	-0.60	-1.14	-1.23	-0.21	0.02	0.52	1.02		0.24
北京石景山				0.23	-0.77	-1.68	-0.31	0.84	-0.34
内蒙朱日和	1.44	1.98	0.56	0.37	-0.97	-1.27	-1.74		0.05

不同气压下元件的工作性能,从气象角度看直接影响到高原地区的使用情况,实验结果见表4。

表4 不同气压下元件的测湿误差

气压 (hPa)	1000	750	500
湿度变量 % (RH)	0	0.05	1.9

表4说明,在气象使用范围内500hPa以下元件的测湿误差较小。

5. 元件响应特性

不带保护罩时,反应湿度变化量90%所需时间为1s;带黄铜过滤罩为70s(不同类型黄铜过滤罩的响应时间不同)。元件响应时间,当反应速度为1s时,对高空探测是有实用意义的,但对地面站来说却太快,这

个矛盾可用过滤罩来解决。选择合适的过滤罩可调整20℃时反应速度为60—70s。此外,过滤罩还可以防污染,保障元件正常工作。

6. 元件的高湿性能

元件长时间在高湿环境中放置时,元件特性曲线的斜率略有增加,温度愈高(50℃以下),这种现象愈明显。在0℃以下基本上不存在高湿飘移现象。

温度20℃时,在相对湿度95%的环境中放置6小时左右,芬兰元件及研制元件示值均增加6—8%(RH)。在高湿中放置后复检,特性曲线在80%(RH)以上斜率明显增加,而在70%(RH)以下基本不变,湿度愈低受影响愈小。但在70%(RH)以下放置4小时之后能复位。

国外现用加热等方法改善此项性能,但

在使用时尚无很好的解决方法。

六、结 语

高分子薄膜电容式湿敏元件, 通过7年的研制, 于1987年10月通过国家气象局的科研成果鉴定。会议认为我所研制的元件性能达到了预定的技术指标, 该元件的技术性能和指标达到了国外同类元件——芬兰元件的水平。在国内首先解决了低温测湿的关键问题, 填补了这一领域的空白, 这项技术在国内处于领先地位, 达到了芬兰及美国同类产品的水平。

这项研究工作, 首先可用于我国气象部门替换毛发湿度表等测湿仪器, 作为北方气象台站冬季测湿仪器, 同时为高空及地面湿

度遥测自动化方面提供了一种新型实用的湿度敏感元件及低温测湿技术。

参考文献

- [1] VAISALA, 高感度湿度計について, 計測技術《特集最近の湿度動向》, 1980, 8.
- [2] Hew thin film humidity sensor, Third symposium on meteorological observations and instrumentation, February 10-13, 1975.
- [3] Humicap stability test 1978, VAISALA News 80-1978.
- [4] New Humicap probe for high humidities, VAISALA News 87-1980.
- [5] Capacitive humidity transducers, IEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol. 16, No. 1.

Research report on polymer layer capacitor humidity sensor

Ding Bijun

(Institute of Atmospheric Sounding Techniques, AMS)

Abstract

Polymer layer capacitor humidity sensor is a sort of new humidity detecting element of thin film capacitor pattern with high accuracy and rapid response, which can be worked in all range of humidity and in the temperature range of +40°C to -40°C. This paper describes chiefly the research of this sensor that includes its operational principle, constitution, specifications and test conditions in fields.

This sensor have been measured in laboratory by using standard equipments in the range of temperature down to -40°C and tested at some weather stations for half to one years. It is proved that its specifications obtained the level of the same type of sensor made of VAISALA Company in Finland.