

国产氧化锆高温湿度仪研制分析

郭 浩

(苏州林业机械厂)

摘要 本文对新研制成功的氧化锆高温湿度仪工作原理进行了分析,并以大量试验数据进行了论证。扼要介绍了该仪器的特点、研制中解决的部分技术问题及有关试验方法,并对该仪器在提高各类干燥设备热效率、节约能源方面的作用作了简明阐述。

关键词 氧化锆;氧化锆高温湿度仪;单板干燥机

在各类干燥设备内实现高温空气介质湿度工业性在线连续检测及控制,自动排湿,对于提高干燥设备整机热效率、节约能源、改善干燥质量具有十分重要的意义。以生产胶合板的关键设备单板干燥机为例,由于以往缺少有效的检测控制手段,无法根据机内空气介质的实际湿度合理控制排湿量,以致实际运行中过量排湿。据统计,单板干燥机耗热量约占整个胶合板生产过程总耗热量的70%,而其排湿放走的热量又约占本身耗热量的30%,能源浪费十分严重。

国外自七十年代中期以来,相继出现了多种类型高温空气介质测湿装置,节能效果显著。我厂在消化吸收国外先进技术的基础上,经过近三年时间的努力,研制成功国产ZHMD—1型氧化锆高温湿度仪,并于一九九〇年四月通过了技术鉴定,填补了国内高温空气介质湿度在线连续检测仪表的空白。

一、工作原理的分析与验证

高温空气介质的湿度,国际上通常以水蒸汽百分比容量(vol%)度量。由于它是干空气和水蒸汽的二元混合物,服从理想气体定律,其分压比等于体积比,故实际上即为湿空气的水蒸汽分压力与总压力的比值。但是,要直接、准确、连续地测知湿空气的

水蒸汽分压非常困难,目前尚无有效手段,因此国外普遍采用“二次参数”法,即测定与被测空气介质湿度有关的“二次参数”,按相应的数学关系对所测得的信号进行变换处理,从而间接地获知被测空气介质湿度。

氧化锆高温湿度仪的工作原理即基于高温空气中的含氧量(氧分压)随其湿度变化而变化,两者之间存在着一定的数学关系,通过连续测定被测空气介质氧分压这一“二次参数”来获知其湿度。

根据Dalton定律,湿空气总压力等于各组份气体分压力之和。设 P_0 为被测湿空气总压力, P_w 为其所含水蒸汽分压力,则被测湿空气氧分压为

$$\begin{aligned} X &= \frac{0.206(P_0 - P_w)}{P_0} \times 100 \\ &= 20.6 \left(1 - \frac{P_w}{P_0}\right) \\ &= 20.6 (1 - Y) \quad (\%) \cdots \cdots (1) \end{aligned}$$

式中:0.206为标准空气(绝干空气)氧分压;

Y 为湿度(vol%)。

$$Y(\text{vol}\%) = 100 - \frac{100}{20.6} \cdot X(\%) \cdots \cdots (2)$$

由上可知,湿空气氧分压 X 与其湿度 Y

本文于1990年6月11日收到。

本厂徐在峰同志参加了本项目的研制工作。

之间存在着线性关系。

氧化锆传感器是一种电池型传感器，在氧化锆管封闭端两侧工作面上涂有铂电极（图1）。当氧化锆管两侧气体氧分压不同时，氧分压较高侧 P_1 的氧分子夺取铂电极上的自由电子变成氧离子， $O_2 + 4e \rightarrow 2O^{2-}$ ，形成阳极。氧离子通过“氧空穴”到达氧分压较低侧 P_2 ，经铂电极释放出多余电子，还原成氧分子， $2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e$ ，形成阴极。氧离子流产生电动势 E 。根据Nernst公式

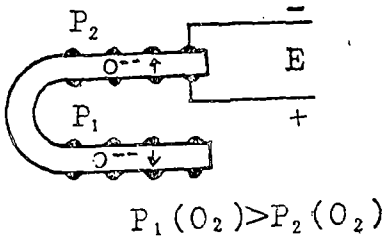


图1 氧化锆传感器工作原理图

$$E = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{P_1(O_2)}{P_2(O_2)} \quad (\text{mv}) \quad \dots\dots (3)$$

式中： R —摩尔普适气体常数(8314J/mol·K)；

T —氧化锆传感器工作温度（恒温控制）K；

n —参加反应的电子数， $n = 4$ ；

F —法拉第常数($9.648 \times 10^4 \text{C/mol}$)。

当 P_1 侧通入经干燥、过滤处理的标准参比空气，其氧分压 P_1 为恒定常数，即20.6%； P_2 侧通入被测湿空气，其氧分压 X （%）如（1）式所示 则：

$$E = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{0.206}{0.206(1-Y)}$$

$$= \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{1}{1-Y} (\text{mv}) \quad \dots\dots (4)$$

当氧化锆传感器工作温度恒定时， E 值仅与被测湿空气湿度 Y 有关。因此，经湿度变换器对传感器输出电势 E 进行变换处理，即可获知被测空气湿度。

对氧化锆湿度仪工作原理进行的反复试验表明，该原理不仅成立，而且十分精确。表1及表2是1*样机和2*样机检测数据。试验

表1 1*样机测试结果

被测基准湿空气			湿度仪实测值				误差 δ (%)
相对湿度 φ (%)	温度 t (°C)	湿度 Y (%)	上行程	下行程	平均值 Y_1 (%)	偏差 $\Delta Y = Y_1 - Y$	
30	90	13.9	13.9	14.0	13.95	+0.05	+0.11
20	90	20.8	20.5	20.5	20.50	-0.30	-0.67
40	90	27.7	27.7	27.8	27.75	+0.05	+0.11
50	90	34.6	34.5	35.0	34.75	+0.15	+0.33
60	90	41.6	41.9	42.0	41.95	+0.35	+0.78
70	90	48.5	48.5		48.5	0	0

实测值最大误差（%）：+0.78； $\delta = \Delta Y / \text{量程}$

采用日本TABAL公司制造、由微机控制的PL-2GT型温度湿度试验箱（其湿度误差 $\leq \pm 1\%$ ，温度误差 $\leq \pm 0.1\%$ ）。将被测氧化锆传感器插入并固定于箱内。箱内空气温度恒定控制在90℃，调节箱内空气相对湿度分别为20、30、40、50、60、70%，将箱内恒温恒湿空气作为测试的基准湿空气输入传感

器，同时向传感器输入经两级硅胶干燥过滤器处理的空气作为标准参比空气。试验箱提供的基准湿空气的湿度值为相对湿度 φ （%），必须与氧化锆湿度仪检测的湿度 Y （vol%）进行换算：换算公式如下：

1. 基准湿空气绝对湿度为

$$AH = \varphi \times AH_0 \quad (\text{kg/m}^3) \quad \dots\dots (5)$$

表2 2*样机测试结果

被测基准湿空气			湿度仪实测值				误差 δ (%)
相对湿度 φ (%)	温度 t (°C)	湿度 Y (%)	上行程	下行程	平均值 Y_1 (%)	偏差 $\Delta Y = Y_1 - Y$	
20	90	13.9	14.4	14.1	14.25	+0.35	+0.78
30	90	20.8	20.1	20.2	20.15	-0.65	-1.44
40	90	27.7	27.3	27.9	27.6	-0.10	-0.22
50	90	34.6	35.5	35.0	35.25	+0.65	+1.44
60	90	41.6	41.6	42.2	41.90	+0.30	+0.67
70	90	48.5	48.7		48.7	+0.20	+0.44

实测值最大误差 (%) : ± 1.44

式中: φ —温湿试验箱的相对湿度 (%)

AH_0 —90°C时空气的饱和绝对湿度 (kg/m^3), 查表可知。

2. 基准湿空气的水蒸汽分压力为

$$e = \frac{22.4 \times 101.3 \times (273 + t) AH^{(2)}}{18.0 \times 273} \quad (\text{Pa}) \dots\dots (6)$$

式中: t —基准湿空气温度(90°C)。

3. 基准湿空气水蒸汽容量百分比为

$$Y = \frac{e}{P_0} \times 100\% \quad (\text{vol}\%) \dots\dots (7)$$

式中: P_0 —大气压力, 101.325Pa。

样机的氧化锆传感器工作温度为 700°C (973K)。其中1*传感器为新品, 2*传感器已使用一年零三个月。湿度仪测量量程为 5 ~ 50vol%。

上述数据表明, 氧化锆湿度仪具有相当高的测量精度。由于PL—2GT型温度湿度试验箱内湿空气温度调节范围最高为100°C, 因此上述基准湿空气温度恒定在90°C。为了进一步考核被测空气介质温度高于100°C时的工作状况, 我们在自制的试验装置(图2)上进行了模拟试验, 把氧化锆湿度仪测量值与同一工况下干湿球温度法测量值进行对比分析。

换算干湿球温度法湿度测量值 Y_1 所采用的公式为

$$P_{q1} = P_0 - A(t - t_s)B^{(1)} \dots\dots (8)$$

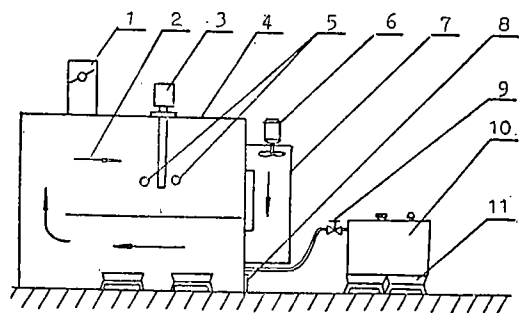


图2 试验装置示意简图

- 1—排湿管 2—循环湿热气流 3—氧化锆传感器
4—试验装置壳体 5—干湿球温度计 6—小风机
7—管道 8—冷空气进口及调节挡板 9—蒸汽阀
10—蒸汽发生器 11—电炉

式中: P_{q1} —湿空气的水蒸汽分压力 (Pa);
 t —干球温度 (°C); t_s —湿球温度 (°C);
 P_0 — t_s 对应的饱和水蒸汽分压力 (Pa), 查表知; A —风速 C 的函数, 可由图3所示曲线⁽¹⁾查知; B —大气压力 = 101, 325Pa。

$$Y_1 = P_{q1} / B \times 100(\text{vol}\%) \dots\dots (9)$$

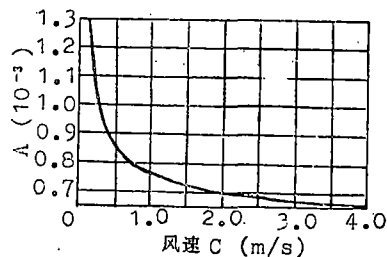


图3 A值与风速的变化关系

干、湿球温度与被测空气介质湿度 Y_1 的对应关系如图4所示⁽³⁾。试验数据见表3及

表 4。结果表明,在被测空气介质温度高于 100℃ 状况下,湿度仪测量值 Y 与同一工况下干湿球温度法测量值 Y₁ 同步变化,偏差值 ΔY 较小。据此可进一步判断,氧化锆湿度仪的工作原理依据是正确的。

由于自制试验装置不够完善,测试工况稳定性较差,风速过低,同时高温状态下干湿球温度法本身误差较大,因此模拟试验数据仅作为定量分析参考,不能作为湿度仪基本误差的正式测试依据。

从上述原理分析及试验可以得知,氧化锆高温湿度仪具有下列特点:

(1) 氧化锆传感器对被测空气的湿度变化(即氧分压的变化)反应十分灵敏,其输出电势 E 值按相应关系快速同步变化,因而只要将被测空气及标准参比空气连续输入

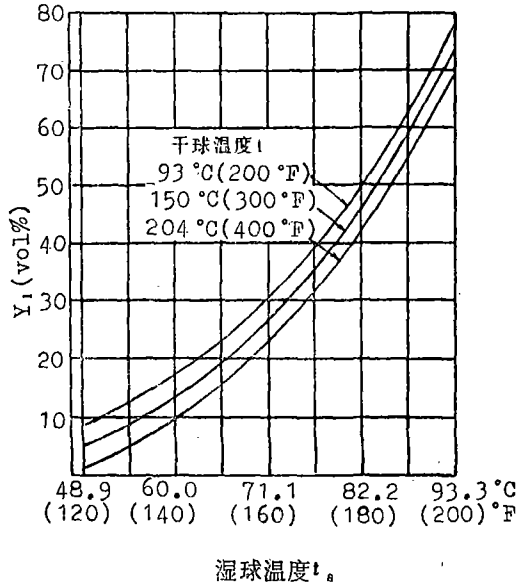


图 4 干湿球温度与被测空气介质温度的对应关系

表3 1*样机在介质温度高于100℃时的测试结果

测试点序	湿度仪测量值 Y (%)	干球温度 t (℃)	湿球温度 t _s (℃)	P _a (KPa)	水蒸汽分压力 P _{a,i} (KPa)	Y ₁ (%)	偏 差 ΔY=Y-Y ₁ (%)
1	5.4	122	50	12.33	4.31	4.3	+1.1
2	11.6	122	58	18.15	11.02	10.9	+0.7
3	17.2	130	65	25.00	17.76	17.5	-0.3
4	23.8	132	70	31.16	24.25	23.9	-0.1
5	29.7	132	74.5	37.75	31.34	30.9	-1.2
6	36.7	130	78	43.64	37.84	37.3	-0.6
7	42.7	125	81	49.29	44.39	43.8	-1.1
8	46.1	120	82	51.32	46.64	46.0	+0.1

注: A=0.0011 (C=0.2m/s)。

传感器,即可实现湿度的在线连续检测。

(2) 由于氧化锆传感器工作温度(700℃)恒定,被测空气温度的变化仅影响其本身的湿度Y值,而不影响湿度仪的测量精度。同时,传感器自身处于高温工作状态,被测空气的温度允许较高(≤500℃),而且被测空气温度越高,其抽样气体带走的传感器热量越少,传感器恒温控制特性越好。

(3) 在某些应用场合下,可方便地换算出被测湿空气对应的混合比(含湿量)γ。

$$\gamma = 0.622 \times \frac{P_w}{P_o - P_w}$$

$$= 0.622 \times \frac{X}{1 - Y} (\text{kg/kg})$$

(4) 由于传感器输出电势E 值仅与被测空气湿度Y有关,因而湿度仪工作不受外界其它因素变化的影响。

综上所述,氧化锆湿度仪实用价值较高,特别适用于工业性高温空气介质湿度的在线连续检测。

表4 2*样机在介质温度高于100℃时的测试结果

测试点序	湿度仪测量值 Y(%)	干球温度 t(℃)	湿球温度 t _s (℃)	P _s (KPa)	水蒸汽分压力 P _{q1} (KPa)	Y ₁ (%)	偏差 ΔY=Y-Y ₁ (%)
1	6.5	109	49	11.74	5.05	5.0	+1.5
2	10.4	123	55.5	16.12	8.60	8.5	+1.9
3	15.5	129	62.5	22.34	14.93	14.7	+0.8
4	20.8	126	67	27.33	20.75	20.5	+0.3
5	25.7	127	71	32.52	26.28	25.9	-0.2
6	30.4	128	74.5	37.75	31.79	31.4	-1.0
7	36.9	129	78	43.64	37.96	37.5	-0.6
8	40.6	126	79.5	46.40	41.22	40.7	-0.1
9	45.5	126	82	51.32	46.42	45.8	-0.3
10	50.0	126	84.5	56.69	52.06	51.4	-1.4

注: A=0.0011 (C=0.2m/s)。

二、氧化锆传感器工作温度及温控精度的合理确定

氧化锆传感器工作寿命长短直接影响湿度仪的实用性能,这是研制中需要解决的一个关键问题。国外同类产品一般规定不少于一年。影响氧化锆传感器工作寿命的因素很多,其中工作温度是主要因素之一。工作温度越高,氧化锆管越易老化而导致特性改变;锆管表面铂电极越易脱落,加热器电阻丝寿命越短。日本氧化锆传感器工作温度为820℃,ZHMD—1型湿度仪氧化锆传感器为700℃,比日本的低了120℃,实际使用效果很好。样机在生产现场使用一年零三个月,累计工作时间超过8000hr.,湿度仪仍保持规定的性能指标。目前还将进一步研究在保证氧化锆传感器性能的基础上,将其工作温度降至555℃,以祈工作寿命能进一步延长。但

由于受到(1)保证氧化锆管特性稳定,即其电势输出符合Nernst公式;(2)必须高于被测空气最大允许温度;(3)工作温度越低,传感器输出电势越弱,信号传送及处理的技术难度增大等因素制约,工作温度也不能无限制降低。

氧化锆传感器的温控精度直接影响湿度仪的测量精度。过分提高或放宽温控精度,势必导致成本上升或测量精度下降,因此需确定合理的指标。经测试及计算,样机传感器温控精度不超过±10℃比较合理。表5为当湿度测量值为45%时,传感器工作温度最大变化量所造成的测量误差计算值约为0.7%,实际影响要小于此值。表1及表2测试数据表明,在上述温控精度下,湿度仪的测量精度是相当高的,完全可以满足实际需要。

表5 传感器工作温度变化引起的测量误差计算值

传感器实际工作温度 (K)	被测空气氧分压 X (%)	E (mv)	湿度测量值 Y (%)	偏差 ΔY (%)	误差 δ (%)
973	11.33	12.53	45.0	/	/
983	11.33	12.66	45.3	+0.3	0.7
963	11.33	12.40	44.7	-0.3	0.7

三、氧化锆传感器的结构形式

氧化锆传感器工作寿命除与本身制造质量、工作温度等有关外，其结构形式也很有影响。ZHMD—1型湿度仪研制初期，传感器位于设备内部，依靠被测湿空气循环气流将被测抽样空气输入传感器（图5）。但试验中发现其加热器电阻丝易断，平均连续使用寿命不超过三个月。经研究后改为抽气式结构（图6），传感器安置于设备外部，通过采样管及法兰盘固定于机身，采用微型气泵将被测抽样空气抽出，经采样管及氧化锆管一侧工作面后排入大气，同时改进加热器结构，使抽气式传感器实际使用寿命超过规定指标（大于5000hr.）。

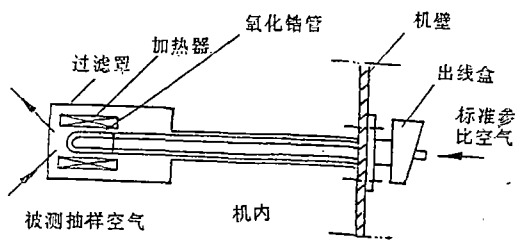


图5 传感器位于设备内部

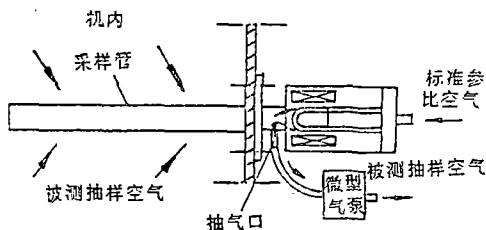


图6 传感器位于设备外部

由于湿度仪为在线连续检测，微型抽气

泵寿命有限，较易出现故障。而用压缩空气产生真空区将被测抽样空气抽出时，效果很好，提高了工作可靠性。图7为气路示意图

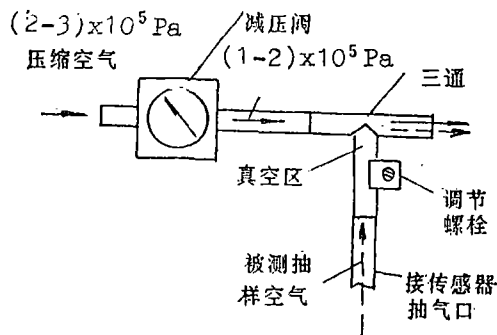


图7 气路示意图

图。压缩空气经减压阀调节，输出压力约为 $(1\sim2)\times 10^5\text{Pa}$ 。调节螺栓可调节注入的空气量，以改变压缩空气流造成的真空区的真空度，从而调节被测抽样气流的流量。

国产ZHMD—1型氧化锆高温湿度仪的研制成功，为实现各类高温干燥设备空气介质湿度及排湿量的自动控制提供了必需的手段，其节能效果显著，实用价值较高。今后要在推广应用的同时，进一步完善产品结构，提高传感器工作寿命，为提高国产干燥设备热效率作出贡献。（责任编辑 姜征）

参考文献

- [1] 马仁民，1980，空气调节，科学出版社。
- [2] 徐同举，1987，传感器基础，机械工业出版社，294。
- [3] Stanley, E.C., 1976, Energy use in an industrial veneer dryer, For Prod.J., 26 (9) .

Development and analysis on Zirconia High-temperature Humidometer used in veneer drying equipment

Guo Hao

(Shuzhou Forest Machinery Factory)

Abstract Zirconia High-temperature Humidometer is a newly-developed equip-

(下转第5页)

高木材特别是速生树种材在建筑上应用时的安全度,节约木材,具有重要的意义,该项技术将得到发展。

此外,机器人在美国六十年代已开始应用于木材锯割、旋切、刨切、装配、分等,现已在试用第三代具有智能功能的机器人。机器人在喷漆工序上的应用,既可免去人工操作,又可节省原料,在我国亦宜试用。

4. 生物技术

生物技术应用于木材工业已有较长历史,但过去主要是研究生物对木材的破坏机制与防护方法,以及对木材工业污染物的处理。目前生物技术的应用研究重点正在发生战略转移,从生物防护转移到生物建设的作用;主要的如木素的生物降解、纤维的生物分离等。从初步效果看,可使加工过程效率提高,能耗降低,因此,具有广阔的前景。

5. “无胶”技术

“无胶”技术的研究始于四十年代,到七十年代取得了突破性进展。其特点是利用木质纤维材料自身所含的化学物质,经过一定条件的预处理使其转化成为具有胶粘作用的不溶不熔的聚合物,在生产过程中实现“自身粘合”成材,因其不添加胶粘剂,故称“无胶”胶合。“无胶”技术对发展人造板有重要意义。近年来我国对“无胶”技术已有不少研究,甘蔗渣“无胶”制板技术的研究已获得初步成功,并已开始筹建第一条以甘蔗渣为原料的无胶刨花板生产线。木质纤维的“无胶”技术亦正在开展生产性的试验。“无胶”制板技术为发展人造板生产开

拓了新路。

6. 木材防腐新技术

木材防腐技术历史悠久,它可使木材使用寿命提高3—4倍。近年来水溶性固定型木材防腐剂的发展很快。由于环境污染问题很突出,寻找高效低毒或无毒害防腐剂已成为热门课题,也有一些成功的例子,如季胺盐(AAC)、有机锡盐等。此外,木材自身的某些内含物的耐腐机制正受到重视,籍以探索出“无毒”防腐的新方法。

我国迄今只有枕木普遍进行防腐处理。随着南方一些容易腐朽的树种,如橡胶木、木麻黄以及速生材如杨木产量的增加,防腐处理就更为重要。木材防腐是一项投资少、效益大的技术,应受到特别重视。

但是我们必须懂得由于木材是一种生物材料、材性变异很大的非均质材料,在引进高新技术时较钢铁、塑料、水泥等难度更大。首先,必须找出其变异性有关因素的相互规律,才能有效地采用电子计算机、激光等先进技术。因此,其实际应用时间亦较长。

结 束 语

木材工业从当前的疲软状态进入九十年代这个新的时代,自身必须振奋精神,努力适应原材料的变化,以调整产品结构为龙头,依靠科技进步,加强经营管理,在整个国民经济逐渐好转的客观环境下,迅速走出低谷,并进一步重视新、高技术的应用,为二十一世纪的腾飞做出贡献。

(上接第29页)

ment, which is characterized by high heat efficiency and energy saving used in dryer. In this paper, a great deal of test data and the principle of the equipment are analyzed, a brief description on testing methods and solution to some technical problems during developing are also presented.

Keyword Zirconia; Zirconia High-temperature Humidometer; Veneer dryer