

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.05.06

便携式渗透法湿度发生器的研制

张贺, 吕国义, 顾继承

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 介绍了一种便携式渗透法湿度发生器的工作原理及研制过程。详细阐述了该湿度发生器的恒温体设计、渗透管选择、气路的优化设计等。该便携式湿度发生器可产生 -30 , -40 , -50 , -60°C 四路定点样气, 其发生的低露点标准气体最大误差值在 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 内且总重量仅有 10kg 左右。试验证明该装置性能稳定可靠, 适合开展工业露点仪的现场校准工作。

关键词: 渗透管; 渗透法; 湿度; 湿度发生器; 校准

中图分类号: TB943

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)05-0023-04

Development of a Portable Penetration Humidity Generator

ZHANG He, LYU Guoyi, GU Jicheng

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: This paper introduces the working principle and development process of a portable humidity generator penetration. It elaborates the thermostat body design of the humidity generator, selection of the permeation tube selection, and design of the gas path optimization. This portable humidity generator can produce sample gas in four routes: -30 , -40 , -50 , -60°C . The low-dew-point standard gas has the maximum error within $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ with a total weight of only 10 kg . Through the experiment it proves that the device is stable in performance and accurate and reliable in working.

Key words: permeate tube; osmosis; humidity; humidity generator; calibration

0 引言

为了保证科研及实验工作正常可靠进行, 对低湿校准的要求越来越高, 许多单位都要求实行现场校准。因为现场校准, 既避免了运输过程中的损坏, 又避免了因为现场环境与实验室环境不同而产生的偏差。

随着现代工业的发展, 宇航、原子能、超低温等尖端科学技术的快速发展, 目前对于低湿测量需求也日益增加。比如航空航天领域, 在飞机或飞行模拟器上, 常用氧气或压缩空气供给呼吸, 这就要求气体必须干燥, 否则可能因结冰而堵塞节流膨胀阀, 出现危险, 一般要求露点温度 $\leq -55^{\circ}\text{C}$; 核工业领域, 高级气冷核反应堆(AGR)常用 CO_2 将核裂变产生的热量带到蒸汽锅炉产生蒸汽, 然而 CO_2 必须很干燥以防腐蚀损坏设备, 因此要求露点温度 $\leq -60^{\circ}\text{C}$; 航海应用领域, 船用储油罐由于容易爆炸, 油轮及油罐必须用惰

性气体清洗, 这种气体必须干燥, 以免腐蚀设备, 要求露点温度 $\leq -40^{\circ}\text{C}$; 民用设备中, 大型容器(如锅炉, 变压器, 存储箱)为了防止泄漏, 常常需做安全性实验。实验后, 容器必须干燥以防生锈, 这个过程通常是给它们通入干燥的热空气(或氮气)来完成的。在干燥结束时, 测量其湿度是很必要的。其一般要求露点温度 $\leq -35^{\circ}\text{C}$ 。鉴于上述大型军用和民用大型装备无法送往实验室进行校准, 且其露点温度值均为低湿校准需求, 因此特别需要一台超低露点值的标准湿度发生器进行定期现场校准。

目前, 低湿测量设备现场校准缺乏操作简单、快速、便于携带的标准湿度发生器, 本研究可得到露点温度范围为 $-60 \sim -30^{\circ}\text{C}$, 允许误差 $\leq \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, 适用于现场校准的标准湿度发生器。

低湿测量领域的湿度发生器基于的原理有许多, 如双温双压法、混合法、渗透法等。渗透法湿度发生器同其它方法相比, 具有结构简单、体积小、便于携带、易于量值传递、成本低、操作方便等优点, 能满足一般湿度测量仪器的检定要求, 符合现场校准的需求。

收稿日期: 2017-06-26

作者简介: 张贺(1984-), 男, 工程师, 主要从事温湿度领域的计量测试研究。

1 渗透方式的选择

根据渗透进干载气中的水气方式不同, 分成外渗式和内渗式两种形式。

外渗式渗透法湿度发生器, 由一根浸在恒温水槽中的渗透管和配气系统构成。这种发生器是在恒温水槽内置入一根具有渗透性能的渗透管, 水气由外向内渗透, 干载气由管内通过, 形成一定湿度的气体。这种发生器量程范围 $50 \sim 2000 \mu\text{L/L}$, 相对于露点值范围为 $-48 \sim -13^\circ\text{C}$, 其允许极限误差 $\leq \pm 5\%$ 。但这种发生器, 用恒温水浴控制渗透管工作环境的温度, 体积和重量相对内渗式来说大些, 湿度发生范围相对内渗式来说, 以高湿段为主。一般外渗式仅适用于实验室工作环境。

内渗式渗透法湿度发生器与外渗式渗透法湿度发生器两者的工作机理本质上完全相同, 只是形式不同。内渗式湿度发生器也是由渗透管和配气系统构成, 但其渗透管是悬挂在渗透室的。它是由在恒温的配气室内悬挂一定渗透率的渗透管, 水气由渗透管内向外渗透, 该发生器工作时, 干载气以一定流速通过该恒温室, 把渗出的水气全部载带出来, 形成一定湿度的气体。当改变温度、干气流量或更换其他渗透率的渗透管时, 就能获得不同湿度的气体。这种发生器适用于发生较低湿度值的恒湿气体, 其量程可以从 $3 \mu\text{L/L}$ 到 $370 \mu\text{L/L}$, 相对于露点值范围为 $-69 \sim -30^\circ\text{C}$, 其准确度较高。体积和重量取决于恒温装置和恒温腔体的大小, 可以根据不同的需要制作成便携式计量标准器, 适用于特殊要求的工作现场。

考虑到便携性以及低露点的使用要求, 本文着重介绍内渗式渗透法湿度发生器。

从本质上讲, 渗透管法也属于混合法的范畴。干燥气体经过恒温腔带走渗透管渗透出来的水汽(湿气), 干气与湿气经过混合后输出。渗透管湿度发生器的准确度取决于所用渗透管渗透率标定的不确定度、气源的稳定性、载气流量测定的准确度以及恒温精度。发生器的工作流程图如图 1 所示。

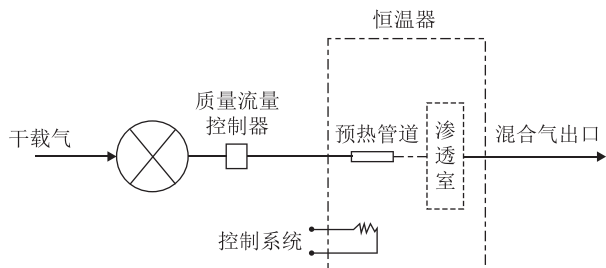


图1 渗透管湿度发生器的工作流程

载气的干燥程度及其流量会直接影响输出气体的湿度量值。因此载气必须经干燥系统充分干燥, 同时要求气源稳定和对流量进行准确的测量。

2 整机设计方案

整套装置设计方案如图 2 所示。装置的主体是恒温体, 设计均匀温场温度为 100°C , 为渗透管提供均匀温场。干燥气体产生器产生露点温度值小于 -70°C 的干燥气体, 尽可能的减小因气源不够干燥引起的误差。渗透管对应四种不同规格和长度, 含二次蒸馏水的渗透管通过不锈钢支架配备一定特殊结构的堵头将其密封, 并经过特殊的结构设计将支架固定在渗透室中, 避免其工作过程中产生移动, 用于提供标准湿气。设计控制系统包括电路控制和气路控制, 其中电路控制包括质量流量控制器、温度控制仪表、固态继电器、交流接触器、中间继电器、电磁阀、开关指示灯等, 具有产生温度、超温断电、气路调节等功能。将其载气用质量流量控制器提供 0.5 L/min 的气体流量, 改变载气流量和渗透室温度即可改变输出气体的湿度值。设计发生器内部布局及外壳, 使仪器更加小型化、拆卸方便, 满足便携性使用要求。

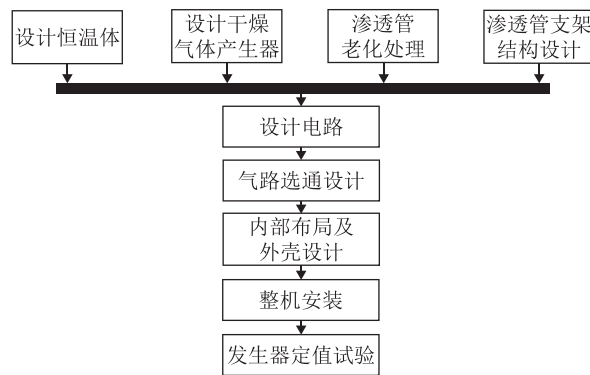


图2 设计方案

3 恒温体设计

为了实现 $-30 \sim -60^\circ\text{C}$ 四个定点露点温度的要求, 恒温器设计为四路腔室, 每路腔室通过放置不同渗透率的渗透管, 分别产生 $-30, -40, -50, -60^\circ\text{C}$ 四路定点的样气。每路腔室设计成相互隔离结构, 均有独立的进气口和出气口, 某路渗透管出现渗漏现象情况下也不影响其他通道情况。恒温器上盖设计特殊结构, 方便扳手拆卸, 保证各腔室温场的均匀性。经试验验证, 通过在每路腔室的上、中、下三个部位放置经计量过的 AA 级铂电阻测试腔室内温场均匀性, 恒

温体经保温棉包裹后水平放置,炉温升至 100°C 时每路腔室温场一致且均为 0.2°C 。

4 干燥气体产生器设计

实验室条件下一般采用高纯氮气作为干气源,考虑到现场使用时并没有高纯氮气的情况,设计了干燥气体产生器。其结构主要由三级过滤器、转换阀门、干燥筒组成。其结构示意图如图3所示。

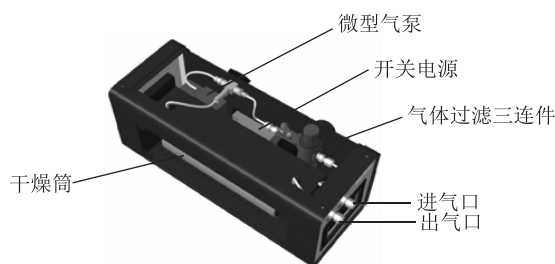


图3 干燥器外形图

装置内置微型真空气泵,气体首先进过三级过滤器过滤掉杂质,再通过干燥筒产生干燥气体。

干燥材料为分子筛,预先放置在干燥筒中,考虑到分子筛易吸湿性,在封装前须经加热预烘处理,通过温度控制仪表配备固态继电器对干燥筒设置一定温度预烘一段时间处理,待温度完全冷却后方可使用。

考虑到干燥筒加热过程中外壳传热造成对其它电路元器件的损坏,装有干燥筒的容器选用材料为聚四氟乙烯,通过特殊结构设计与外壳连接,且干燥筒用硅酸铝棉、玻璃丝包裹。

5 渗透管的处理

内渗式渗透管是水气由渗透管内向渗透管外渗透的,即水是装在管内,干气从外掠过。常用的内渗式渗透管主要有图4所示的三种结构,它一般由渗透膜和蒸馏水或再加一个盛蒸馏水的小容器组成。小容器一般由耐一定压力的惰性材料,如硬质玻璃、不锈钢、硬质塑料等做成,蒸馏水被密封在渗透管内。

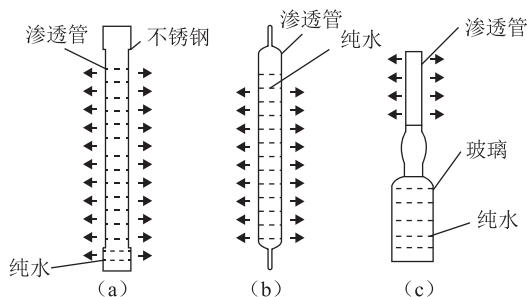


图4 内渗式渗透管型

这种方式的渗透管的渗透率,一般采用管子本身称量法测定,即采用“称重法”测量其渗透率。

因渗透管材料或多或少含有可溶于水或能被水淬取的物质,这些物质如不彻底清除将使水的渗透速率随时间而变化,从而影响渗透率的稳定性。所以在制作渗透管时需要进行老化处理。

经过老化后的渗透管采用密封结构设计将两端封堵,有效地避免了升温过程中蒸气压过大,渗透管两端开裂现象。为了防止渗透管放置腔室中接触到腔壁,渗透管经过特殊的支架结构设计,保证了渗透管始终处于腔室中心位置。

6 设计电路

本装置电路部分主要分为三个方面:其一,交流电供电给温度控制仪表、固态继电器、加热棒,通过温度控制器控制固态继电器对加热棒供电,实现温度控制的目的;其二,开关电源供电给4个开关指示灯、4个电磁阀、质量流量控制器。每个开关指示灯对应一个电磁阀,通过开关控制电磁阀的通断实现渗透室气路的选通;其三,交流电供电给交流接触器、中间继电器、温度控制仪表,实现温度的超温断路功能。电路连接示意图如图5所示。

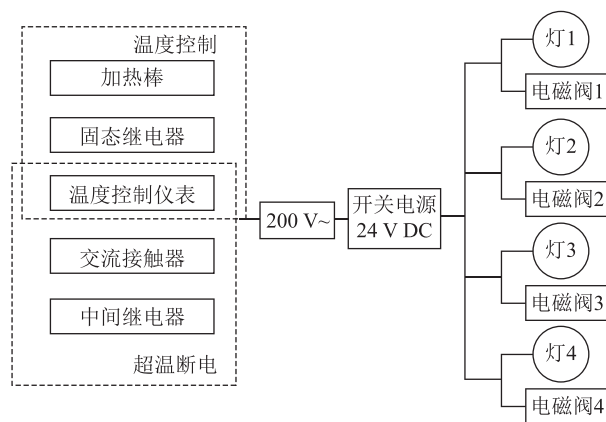


图5 电路连接示意图

7 气路选通设计

渗透管的气路选通可通过两种方式实现:其一,可使用旋转三通切换阀进行手动气阀的通路切换;其二,采用4个电磁阀的通断控制实现渗透管的气路选通切换。本项目通过4个开关指示灯分别控制电磁阀实现。气路连接示意图如图6所示。

考虑到低露点特性要求及连接的便利性,本文采用管路均为聚四氟乙烯管。

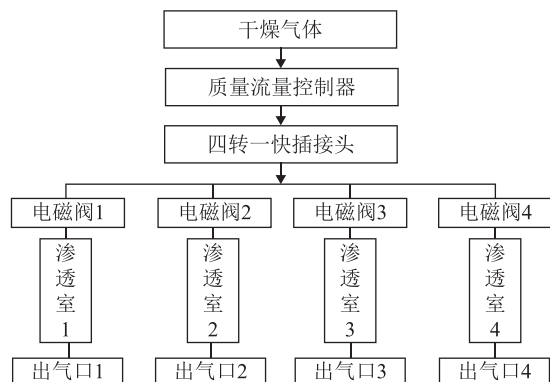


图6 气路连接示意图

通过干燥气体产生器(以下简称干燥器)上的切换阀控制气体来源。如果气体来源于干燥器,将切换阀拨到“内部供气”,连接干燥器电源线,打开电源开关按钮即可工作。如果气体来源于外部氮气或者干燥空气,将切换阀拨到“外部供气”。之后通过聚四氟乙烯管(以下简称连接管)和干燥器上的接头连接至干燥器,从干燥器出气口中引出气体,连接至标准湿度发生器的进气口(快插接头),根据预发生的气体露点温度,通过连接管引出气体至被测露点仪即可;如果采用精密露点仪作为标准器,引出气体连接一个三通,一路连接标准器,一路连接被检仪器。具体连接示意图如图7和图8所示。

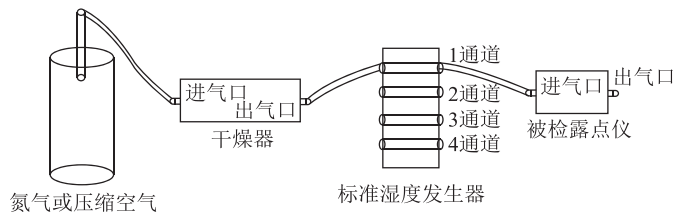


图7 采用标准湿度发生器作为标准器的气路连接图

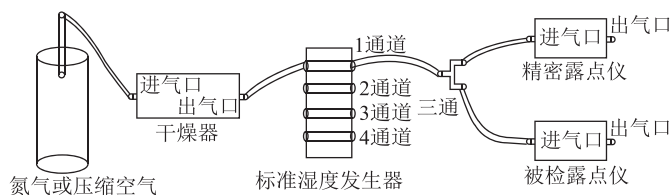


图8 采用精密露点仪作为标准器的气路连接图

8 外壳设计

进气口、出气口均设置在后面板,且后面板设计一挡板,更换渗透管时只须将挡板打开后拆卸恒温器上盖即可操作,简单快捷。后面板设计如图9所示。

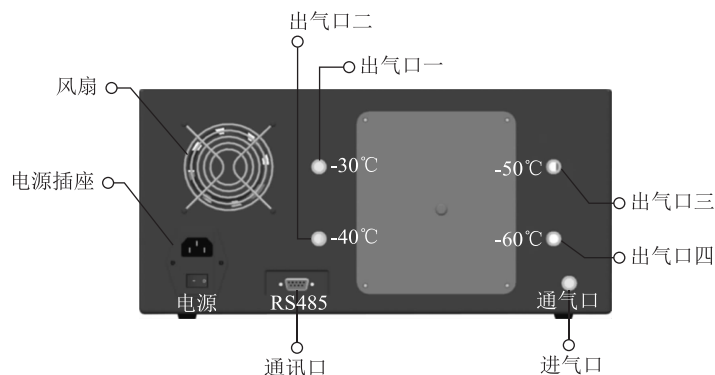


图9 发生器后面板

9 试验及结果分析

渗透法湿度发生器制作完成以后,使用型号为373LX的精密露点仪对湿度发生器进行标定,标定过程中气体流量设定为0.50 L/min,对每个固定的湿度发生点进行六次测量,测量结果如表1所示(波动度均以20 min内变化为准)。

从表1中可以看出,不同渗透率的渗透管所发生

表1 渗透法湿度发生器校准结果

重复试验 次数	样气露点值/℃							
	渗透管 1		渗透管 2		渗透管 3		渗透管 4	
	稳定值	波动	稳定值	波动	稳定值	波动	稳定值	波动
1	-30.28	0.05	-40.32	0.08	-49.78	0.42	-59.66	0.25
2	-30.16	0.01	-39.76	0.06	-50.37	0.18	-60.22	0.15
3	-30.18	0.05	-39.98	0.08	-50.28	0.18	-60.07	0.18
4	-30.15	0.03	-40.26	0.10	-49.75	0.21	-59.89	0.10
5	-30.23	0.03	-40.25	0.11	-49.71	0.12	-60.39	0.14
6	-30.25	0.02	-39.84	0.09	-49.86	0.08	-60.41	0.17

注:渗透管1尺寸为12 mm×11.5 mm;渗透管2尺寸为10 mm×9 mm;渗透管3尺寸为10 mm×8 mm;渗透管4尺寸为10 mm×6 mm。

(下转第33页)

控制点设测站，按照测回法测定 6 个地面控制点的边角网，进而计算平面坐标；按照三角高程测量法测定 6 个地面控制点的高程网，进而计算高程坐标；最终得到 6 个地面控制点的三维坐标，由于坐标系是局部坐标系，设头部的地面控制点为坐标原点，从头部的地面控制点按照逆时针方向指向下一个地面控制点为坐标系的 X 轴正方向。用 1 台激光全站仪和 1 个棱镜，

在侧边的 4 个地面控制点设测站，按照极坐标法观测浮空器侧边 12 根精密标定杆上的所有校准点的三维坐标。

测量型相机对精密标定杆进行拍照，每张影像上至少应存在 6 个以上的校准点。对校准点进行像点坐标量测，利用像点坐标和控制点三维坐标的对应关系以及事先标定好的相机内方位元素，通过校准软件自动解算测量型相机的外参数，并将校准结果记录在表 2 中。

表 2 测量相机外参数标准结果

序号	相机编号	X_s/m	Y_s/m	Z_s/m	ψ/rad	ω/rad	κ/rad
1	Camera00	6.7223	1.4948	0.8525	-0.9116	1.6551	0.9150
2	Camera41	11.1113	2.1113	0.8292	-0.1529	1.6144	0.1559
3	Camera52	11.4727	2.1450	0.8367	0.6204	1.6350	-0.6274
4	Camera56	2.5543	2.5192	0.8185	0.9979	1.6831	-0.9547
5	Camera79	2.9170	2.5363	0.8047	1.1336	1.7193	-1.1252
6	Camera90	7.0888	1.4750	0.8323	-0.7813	1.6232	0.7697
7	CameraD800-1	-7.6058	10.8752	1.5043	-3.1293	-0.0517	-1.3790
8	CameraD800-2	-8.6766	2.3733	1.5820	3.1287	-0.0827	-1.3461
9	CameraD800-3	14.8975	11.2460	1.4588	-3.1380	-0.0270	-1.4056
10	CameraD800-4	14.7516	3.5867	1.6131	3.1274	-0.0722	1.7428

3 结论

本文阐述浮空器囊体体积测量装置的校准原理、校准参考坐标系建立方法、参数校准方法。验证并校准了浮空器囊体体积测量装置的内、外参数，给出了校准结果，为浮空器囊体测量装置提供重要参数保障，解决了任意场景下浮空器囊体体积测量的应用问题和测量装置使用中需要搬动情况下的校准问题，能够为我国的浮空器研制、生产与安全运行提供有力保障，在我国浮空器领域具有良好的应用前景。



(上接第 26 页)

的样气露点值不同，20 min 内波动度均小于 0.2℃，最大误差值在 ±0.4℃ 以内。

10 结论

本文介绍了便携式渗透法湿度发生器的原理及结构设计，系统剖析了恒温器、干燥气体产生器的设计思路以及渗透管的处理，并对电路设计、气路选通设计进行了介绍。

该湿度发生器在恒温体中同时预置四支渗透管，根据发生湿度值的需要选用不同渗透率的渗透管。由

参 考 文 献

[1] 管海兵. 视觉测量系统中的图像校正技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2011.

[2] 唐志豪. 基于双目立体视觉的测量技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2006.

[3] 张春. 基于视觉测量应变分析系统的数据处理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.

[4] 刘太磊. 相机标定与三维重建相关技术研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.

[5] 谢耀华. 数字摄影测量与三维重建系统关键技术研究[D]. 国防科学技术大学, 2004.

电气开关控制，四支渗透管完全独立工作，在相同的温度和流量下，分别对应各自湿度发生值，扩展了湿度发生范围，大大提高了工作效率。

参 考 文 献

[1] 周庆福, 顾继承, 吕国义, 等. 一种多渗透室湿度发生器的研制[J]. 计测技术, 2010, 30(S1): 31-33.

[2] 李英干, 范盒鹏. 湿度测量[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 340-350.

[3] 顾继承, 李群芳, 周庆福. 渗透法标准湿度发生器中渗透管的研制[J]. 新技术新仪器, 2011, 31(1): 7-10.

[4] 顾继承, 孙志明. 一种新型渗透法标准湿度发生器[J]. 新技术新仪器, 2010, 30(5): 34-35.