

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.01.05

便携式高温露点湿度发生器的研制

吕国义, 巩娟, 何萌, 杨永军, 胡艳青

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 为了解决高温露点的溯源问题, 研制了一种便携式高温露点湿度发生器, 能够现场开展室温至 95℃ 的各种工业露点仪的校准, 配合测试腔和高温恒温环境可以开展高温温湿度的校准, 经对比表明: 该发生器在露点温度 95℃ 时, 其最大允差优于 1.0℃。该发生器体积小、重量轻, 非常适合现场开展校准工作。

关键词: 湿度; 相对湿度; 高温相对湿度; 露点温度; 高温露点; 湿度发生器

中图分类号: TB943

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2018)01-0024-04

Development of a Portable High Temperature Dew Point Humidity Generator

LV Guoyi, GONG Juan, HE Meng, YANG Yongjun, HU Yanqing

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

Abstract: In order to solve the problem of high dew point traceability, this paper developed a portable high-temperature dew point humidity generator. It can not only calibrate various industrial dew-point meters at room temperature to 95℃, but also calibrate high temperature and humidity meters with the test chamber and constant temperature environment. The maximum permissible error of the generator is better than 1℃ through contracting with a 373 high temperature dew-point meter at the dew point temperature 95℃. Because of its small size and light weight, this generator is very suitable for field calibration.

Key words: humidity; relative humidity; high temperature and relative humidity; dew point temperature; high temperature and dew point; humidity generator

0 引言

随着国防科技工业武器装备的快速发展, 对高温露点或高温条件相对湿度参数的校准溯源需求越来越多, 如在使用燃料电池作为电源的大型武器装备上, 在采用核燃料作为动力的核潜艇、大型舰船上等, 都涉及到高温露点、高温高湿的环境, 甚至测试环境温度超过 100℃; 另外在一些工业干燥行业也需要高温的温湿度测量。因此, 高露点温度或高温相对湿度的参数存在着溯源需求, 便携式高温露点温度发生器的研制对于高温露点的溯源校准提供了基础。

1 原理

湿度发生器是指在一定条件下能发生水蒸气含量恒定且可知的气流或气氛的装置, 根据用途通常可分为相对湿度发生器和露点发生器, 一般采用双压法、双温法、双温双压法和分流法居多, 本文采用单温法原理实现高温露点的发生。本项目研制的发生器主要用于某军工单位特定高温下的湿热试验, 即将高露点湿度发生器发生的高露点温度样气通入指定的恒温腔

体中, 并置换原有的气体, 得到高温下的相对湿度样气, 实现在特定的高温高湿环境下开展相关样品的性能试验工作的目的。

单温法是指湿度发生器气源在恒温条件下, 通过换热器和饱和器(可以采用多级饱和)实现设定温度条件下的饱和, 从而实现设定温度条件下的露点样气发生。高温露点样气的露点温度均在室温之上, 因此在样气的输出管路上需要进行保温甚至加热管路所处环境温度至少大于露点温度 3℃ 以上, 否则气体管路内部容易结露, 发生的露点样气温度也会产生变化, 不能达到预期的效果。

2 结构设计

高温露点发生器主体由恒温设备、换热器、饱和器、测控系统和管路加热系统组成, 具体结构原理如图 1 所示。

气体通过减压阀和流量计调节流量, 进入恒温装置的换热器中, 之后再进入饱和器进行鼓泡加湿, 气体达到饱和后, 通过出气口与连接管路进入恒温工作

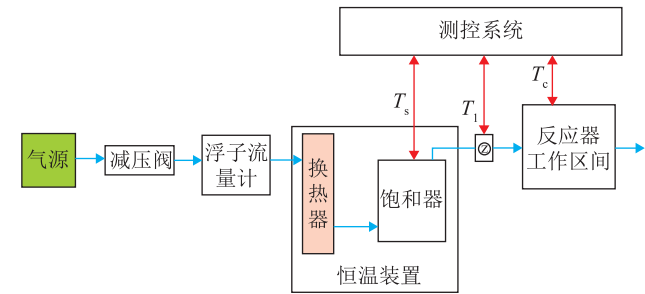


图 1 发生器工作原理图

腔(反应器工作区间)，出气口与恒温工作腔之间通过加热器包裹的连接管连接。图 1 中的 T_s 为饱和器的温度， T_l 为加热管路的温度， T_c 为工作腔的温度。通过发生器的测控系统设置恒温体欲发生的目标温度和相对湿度，通过内部程序换算得到发生器的发生露点温度值，将恒温装置的温度设定为该值，即可实现特定温度条件下的相对湿度环境产生。

2.1 换热饱和器一体式结构设计

气体进入恒温设备后，为了实现设定温度下的饱和，在进入饱和器前，尽可能的通过换热器使其温度与设定温度一致，从而达到最大程度的饱和，考虑结构紧凑的要求，将换热器与饱和器设计成一体式结构，即在饱和器的外壁上缠绕紫铜盘管，使空气流经盘管与恒温设备内的介质经过充分的换热后，进入到饱和器中。

为了增加换热效果，换热器盘管选用导热系数较好的紫铜管。具体管内气体的换热情况如图 1 所示，A 为槽液，B 为管壁，C 为管内流动气体。设槽液温度为 T_1 ，管子入口时的气体温度为 T_0 ，出口时的温度为 T ，气体自上而下流动。

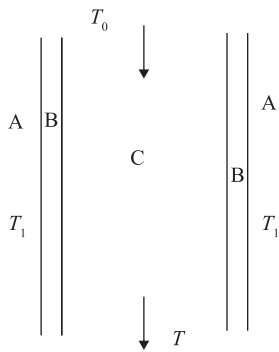


图 2 换热管内传热模型

实际的传热过程包括以下几个方面：①槽液 A 与换热管外壁进行强迫对流换热；②通过管壁的导热；③换热管内壁与管内气体的对流换热；④管内气体的内部导热；⑤系统各部分间的辐射传热。

根据换热管路内表面通过传热系数计算得到的对

流换热热量与根据气体的总流量和进出口温升计算出换热热量建立热平衡关系，进而得出换热器理论上需要的换热管路长度，为换热器的设计提供理论支撑。

饱和器是整个装置的关键核心部件，在设计时应遵循两个基本原则：一是使气体与水有充分的接触面积和接触时间；二是尽量减少气体在饱和系统内压力降。为了达到预期的饱和度设计目的，采用鼓泡法原理，饱和器由内装去离子水或蒸馏水的金属圆筒组成，气体从饱和器底部进入饱和器，并与水充分混合，在饱和器中进行传热与传质，使气体达到饱和状态。采用鼓泡的方法具有增湿效率高、体积小的优点，但同时也带来饱和气中夹带雾沫的缺点，呈现过饱和状态，因此为了防止在鼓泡式饱和器中出现过饱和状态，增加了气雾分离结构。具体结构如图 3 所示。

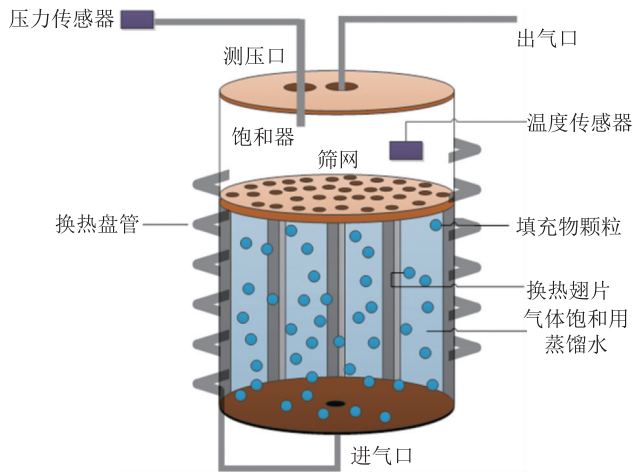


图 3 饱和器结构示意图

该饱和器的设计分为上下两层，通过增加不锈钢滤网隔开，滤网直径很小，在 1 mm 以内，饱和的湿空气经过滤网后，可以除去夹带的水滴；饱和器的下层装有蒸馏水，换热器以盘管形式盘在饱和器外壁上，气体在进入饱和器之前会先进入换热器，使其与槽体进行充分的换热，确保温度最终达到恒温设备设定的温度，再进入饱和器与水面接触，达到饱和的目的。为了增加饱和器内的换热效果和饱和效果，饱和器的下端设计有导热翅片，以增加进入饱和器内气体的换热效果；另外饱和器中有填料，使气体能够增加在水里的接触面积，达到充分饱和，通过这样的措施基本可以实现 99% 以上的饱和度。

在饱和器的上层留有测压孔，饱和气体通过盘管后降温接入压力传感器进行压力测试，同样在饱和器的上层安装有精密级温度传感器，用于测试饱和和气体的温度，以上得到的温度和压力参数对最终露点或相对湿度的发生作修正计算。

2.2 恒温体设计

恒温体采用定制的微型恒温槽，与换热饱和器结构配合，控制系统采用日本岛电公司的 SR23 型 0.1 级温度控制器，留有通讯接口，与总体控制系统结合。

微型恒温槽选用微型制冷压缩机，结合侧搅拌的设计和精密温度控制，为饱和器提供一个温度均匀且稳定的恒温环境，在保证指标满足要求的基础上，压缩设备体积，提高设备的便携性。便携式恒温设备的技术参数如表 1 所示。

表 1 便携式恒温槽技术参数

序号	参数	具体技术指标
1	温度范围	5~100 ℃
2	温度均匀度	0.01℃
3	温度波动度	0.01℃/30min
4	工作区尺寸	Φ100 mm×300 mm
5	体积	420 mm×350 mm×500 mm
6	功率	1.5 kW(AC220 V/50 Hz)
7	其他	附带 SR23 控制器，带有 232 通讯

2.3 管路加热电路

本项目研制的发生器需要将发生的高露点气体通入到客户要求得恒温腔中，因此从发生器的露点出口到恒温腔气体的入口大概有 1~2 m 的距离，对于高于室温的高温露点样气管路必须对其进行加热。

选用加热带将气体管路包覆，控温传感器选用工业 pt100 铂电阻并将其放在管路中心处紧贴管路，埋在加热带里，加热带外部再包裹保温材料，管路两端的包覆要略富裕，确保整个管路都能起到加热作用，温度控制器放在发生器内部。具体的结构见图 4。

2.4 测控系统

发生器整个系统采用触摸屏与其他硬件通讯，如高露点湿度发生器和加热管路的温度控制器分别通过 RS232 和 RS485 方式进行通讯，通过触摸屏实现集中控制，可以根据设置的温度和相对湿度自动换算对应发生的露点温度，具体的硬件连接示意图如图 5 所示。

触摸屏控制器将各硬件部分有机地结合起来、统一调度，并承担着数据采集、分析、控制和显示任务。

软件编制的流程如图 6 所示。

3 性能试验

分别开展露点温度和高温相对湿度的试验，标准器选用瑞士 MBW 公司的 373LHX 型号的精密露点仪进行比对，该露点仪既能开展露点温度测试又能开展相对湿度测试。

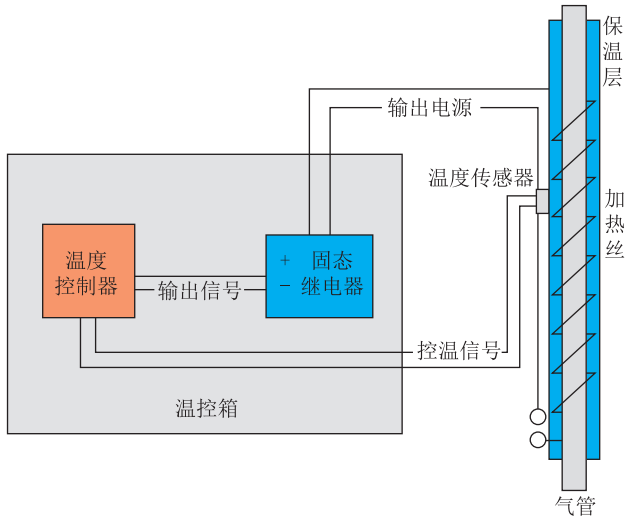


图 4 管路加热系统示意图

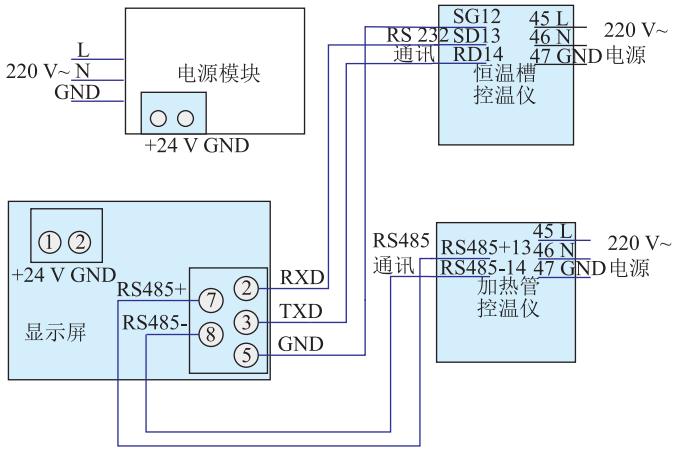


图 5 控制硬件连接示意图

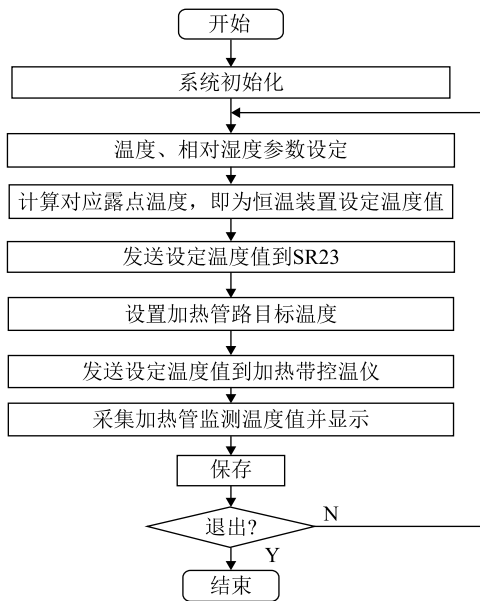


图 6 软件流程图

1)露点参数测试

将发生器发生的露点温度样气从出气口引出直接通入到露点仪中，气体流量设置小于 1 L/min，测试数据见表 2。

表 2 露点温度试验数据℃

露点设定值	精密露点仪测试值	露点温度修正值
10	10.55	0.55
20	20.62	0.62
50	50.52	0.52
70	70.66	0.66
90	90.86	0.86
95	95.94	0.94

2)相对湿度参数测试

客户要求发生器在 60℃对 10% RH，30% RH，50%RH，70%RH 和 90%RH 五个点进行测试，以此要求为依据开展相关测试工作，设计与用户所用结构、体积相同的恒温工作腔，放置到恒温槽中，设置恒温槽温度 60℃，模拟用户所用测试腔。具体试验数据如表 3。

该试验数据表明加热管路发挥了作用，在相对湿度测试过程中其露点温度的允差与直接进行露点温度允差相比的数据比较接近。

表 3 高温相对湿度试验数据

恒温腔 温度设 置值/℃	相对湿 度设定 值/%RH	计算露 点设定 值/℃	精密露点仪测试值			露点温 度修正 值/℃	相对湿 度修正 值/%RH
			温度 /℃	相对 湿度 /%RH	露点 温度 /℃		
60	10	17.45	60.2	10.2	17.91	0.5	0.2
60	30	36.11	60.2	30.6	36.64	0.5	0.6
60	50	45.75	60.2	50.8	46.24	0.5	0.8
60	70	52.49	60.2	71.0	52.97	0.5	1.0
60	95	58.89	60.2	95.9	59.30	0.4	0.9

4 结论

主要对高露点湿度发生器的原理、结构及饱和器的设计、测控系统的设计进行了描述。通过对露点温度和高温相对湿度参数的试验表明该发生器在5~95℃的露点发生内最大露点允差不超过 1℃，且在低温段露点温度的允差好于高温段，在 60℃下相对湿度参数的试验数据表明，在 10%RH~90%RH 范围相对湿度的最大允差不超过 1%RH，同样在低湿范围的数据好于高湿。总的来看该发生器可以开展工业露点仪尤其是高温露点仪的校准，同样，提供恒温环境后也可以开展高温相对湿度计的校准工作。

参 考 文 献

[1] 李英干, 范金鹏. 湿度测量[M]. 北京: 气象出版社, 1990.

[2] 国家质量技术监督局. JJG 499-2004 精密露点仪检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2004.

[3] 国家质量技术监督局. JJF 1076-2001 湿度传感器校准规范[S]. 北京: 中国计量出版社, 2001.

[4] 国防科工委科技与质量司. 热学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.

[5] 张文东, 丁逸民, 张勇. 高温精密湿度发生装置[C]//全国计量测试学术大会, 1998.

收稿日期: 2017-02-20
基金项目: 国防军工十三五技术基础科研项目



吕国义(1979-), 男, 硕士, 航空工业计量所, 热学研究室副主任, 高级工程师。全国物理化学专业委员会委员, 全国热处理标准化技术委员会委员, 全国湿度与水分专业委员会秘书长。

长期从事热学专业温湿度参数的计量、科研及产品开发工作, 先后承担过十余项技术基础课题研究, 在温湿度常规计量、热物性参数测试、湿度发生器设计和综合环境试验设备检测方面具有扎实的专业知识和丰富的经验。申请专利 4 项, 主持编写军工规范 3 项, 参与编写国家标准及规程规范 10 项, 发表文章近 20 余篇。科研成果获得国防科技工业三等奖 1 项, 航空科学技术三等奖 4 项。



福禄克新网站正式上线

2018 年 1 月 20 日, 中文福禄克过程仪器新网站正式上线。该网站将两种技术(红外非接触温度测试、炉温跟踪热分析技术)和四个品牌(福禄克过程仪器, 美国雷泰公司, 爱光和达塔派克)整合到一起, 给广大用户提供了非接触温度测量和炉温跟踪热分析整合的解决方案。

据悉, 福禄克新网站的主要特色包括: ①架构清晰, 以大行业为起始点垂直延伸到子应用, 每个应用都提供包括点温、

扫描、炉温热分析及热像等在内的系统性的产品组合, 帮助从事不同行业的用户以快速、清晰地了解适合他们独特需求的解决方案。②界面美观, 采用新一代的自适应界面进行设计, 且在笔记本电脑、平板电脑和手机端均可使用。③使用便捷, 简化搜索功能, 顶部导航下拉菜单直接链接到各个产品, 更易获取信息, 改善用户体验。

(刘倩倩)