内冷却紧凑式固体除湿器实验研究

郑 毅 袁卫星 王 海 袁修干

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

摘 要: 在叉流板翅式换热器结构基础上,研发制作了一种粘贴型内冷却紧凑式固体除湿器,并对这种新型除湿器的性能进行实验研究. 除湿器使用硅胶作为吸湿剂,通过导热胶将硅胶颗粒粘贴在除湿器主边的气流通道壁面上. 实验分为 4 组,分别在高湿度和低湿度环境工况下,测试本文研制的除湿器在有内冷却和无内冷却条件下的除湿运行效果以检验内冷却气流对除湿器性能的影响. 实验表明,内冷却紧凑式固体除湿器工作性能优良,在除湿器有内冷却的条件下,工作周期内除湿器的平均除湿量显著提高. 在高湿度条件下,硅胶在 20 min 内的动态吸湿率可达 12.4%,高于目前已知的常压下硅胶对水蒸汽的动态吸湿率.

关 键 词: 固体除湿器; 硅胶; 内冷却; 性能实验

中图分类号: TU 834.9

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)09-1100-04

Experiments on dynamic dehumidification of internally cooling compact solid dehumidifier

Zheng Yi Yuan Weixing Wang Hai Yuan Xiugan

(School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: An internally cooling compact solid dehumidifier was built and studied experimentally. Silica gel as the desiccant was coated to all the surfaces of primary process airflow channels of the dehumidifier. Experiments on performance of the dehumidifier with and without secondary cooling airflow were carried out under both humid and less humid conditions. The experimental results show that this new type of solid dehumidifier has excellent performance with secondary cooling airflow under both conditions. At humid conditions, the outlet moisture content and temperature of the primary airflow with secondary cooling are both lower than that without secondary cooling. The dynamic water vapor adsorption ratio of the silica gel within the dehumidifier reaches 12.4% after 20 minutes that is higher than currently known performance of silica gel dehumidifier.

Key words: solid dehumidifier; silica gel; internally cooling; performance experiments

在固体吸附除湿制冷系统研究的背景下,本文对其关键部件——固体吸附式除湿器进行了设计制作和实验研究. 固体除湿器是利用其中的固体吸湿剂与处理气流进行热湿交换的一种特殊换热器[1],相对于液体吸收式除湿器,固体吸附式除湿器具有无液滴夹带、无腐蚀的优点. 固体吸附式除湿器按照运行方式不同,分为可以连续运行的旋转式除湿器和只能间歇运行的固定床式除湿器. 前者如转轮除湿器,后者如堆积床式除湿器和本文研究的粘贴型内冷却紧凑式固体除湿器[2].

转轮除湿器通过自身转动可以同时进行除湿和再生两个过程,加之除湿效率高、结构紧凑以及使用方便,目前国内外相关研究很多,应用也比较广. Chuah Y K 等人研究了使用硅胶作为吸湿剂的转轮除湿器,得出平行通道的间隙越大,传质系数越小;硅胶颗粒越小,则传质系数越大[3]. 但是,由于转轮除湿器制造工艺复杂,成本较高,其应用受到了限制.

固定床式除湿器需要至少两个除湿器交替工作才能实现连续运行. 在这种除湿器的处理气流

收稿日期: 2005-12-01

作者简介: 郑 毅(1981-),男,北京人,硕士生,yuanwx@buaa.edu.cn.

流道中,吸湿剂的放置方式在早期多采用填充式,这种结构的吸湿剂侧传质阻力较大. 美国伊利诺伊工学院研制的转轮固体除湿器采用平板结构,使得传质阻力减小. 但是,平板式除湿器早期只有处理气流流道,在吸湿过程中吸湿剂吸附水分后,要产生吸附热,如本文选用的硅胶,其吸附热就比较大. 吸湿过程产生的吸附热,使吸附量明显减少,降低了吸湿剂的除湿性能. 同时,吸附热导致处理气流温度升高,这对于固体吸附除湿制冷系统是不利的. 文献[4]中提出具有惰性填充物的冷却床层除湿器,利用惰性填充物的高热容性,降低了床层的温度;同时冷却气流带走较多热量,降低了处理气流的温度,提高了系统的制冷量.

固体吸附式除湿器的结构和采用的吸湿剂是影响除湿制冷系统性能的关键因素. 本文所研究制造的粘贴型内冷却紧凑式叉流除湿器考虑到吸湿剂的吸附热和处理气流阻力,将硅胶颗粒粘贴在除湿器主边处理气流流道的翅片上,相对于填充式除湿器,主边处理气流的阻力要小. 同时考虑到硅胶较高的吸附热,除湿器次边通过气流对主边流道进行冷却,与转轮除湿器相比,次边的冷却作用是明显的.

1　除湿器结构及其参数

本文研发制作的内冷却紧凑式固体除湿器,如图 1 所示,其结构形式和换热原理与属于紧凑式换热器的叉流板翅式换热器相似,是普通固定床式除湿器的改进形式.

内冷却紧凑式固体除湿器的主边处理气流流道和次边气流流道内均是矩形铝翅片板,流道间由隔板隔开,形成相邻的主边和次边交叉的矩形流道,局部示意图见图 2. 选用硅胶作为吸湿剂. 将硅胶颗粒均匀粘贴在涂有导热胶的主边翅片板壁上,形式硅胶薄层. 翅片与隔板之间使用导热胶粘合. 除湿器在主边翅片板与隔板粘合后,使流道四壁都粘有硅胶. 除湿器的次边流道的翅片形式与主边相同,也是矩形铝翅片板. 本文研制的内冷却紧凑式固体除湿器的相关尺寸参数见表 1.

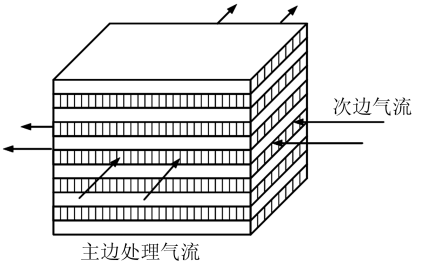

图 1　内冷却紧凑式固体除湿器结构示意图

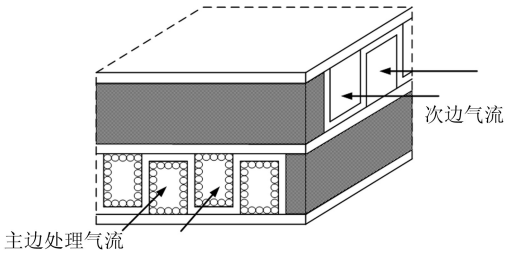

图 2　内冷却紧凑式固体除湿器局部结构示意图

表 1　内冷却紧凑式固体除湿器的尺寸参数　mm

除湿器总体	除湿器流道			
长×宽×高	主边流道翅片高度	次边流道翅片高度	主边流道翅片间距	次边流道翅片间距
300×300×200	6	6	2.5	2

表 1 中除湿器主、次边流道翅片高度即为流道高度,翅片厚度为 0.15 mm,隔板厚度为 1 mm,除湿器金属结构总质量为 18.6 kg. 实验中所用硅胶颗粒的直径为 0.5 mm,除湿器内硅胶的总质量为 1.9 kg,用于粘贴的导热胶导热系数为 1 W/(m·K).

2　实验过程及结果

本实验研究内冷却紧凑式固体除湿器在不同工况下的除湿效果,并检验除湿器次边冷却气流对除湿性能的影响. 实验分为再生过程和除湿过程两个阶段.

本实验采用先加热再通风的方式对除湿器进行再生. 除湿器除湿时,除湿器主边和次边分别与风机相连,除湿实验台如图 3 所示. 本实验使用测量仪器有:温湿度计(型号:VAISALA HMI 41,精度:±0.1℃,±2% RH);风速仪(型号:TESTO 425,精度:±0.05 m/s).

首先,将除湿器置于烘箱中加热,加热温度为 95℃,对除湿器再生 20 min 后取出和风机相连,用主边处理气流风机将流道内从干燥剂中脱附的水蒸汽带出. 当主边出口气流的露点温度与环境空气露点相同时,主边通风气流停止,然后用次边气流风机将除湿器冷却到环境温度,再生过程结束.

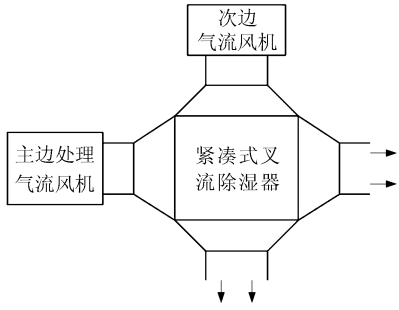

图 3　内冷却紧凑式固体除湿器实验台示意图

实验运行环境为北京夏季环境工况,按照有无次边冷却气流和环境湿度高低不同分为4组,每组实验的初始温湿度及运行方式如表2所示.

表2 内冷却紧凑式固体除湿实验初始工况

实验编号	次边冷却气流	入口温度/℃	入口露点温度/℃	入口湿度/(g·kg^{-1})
1	有	28.7	24.7(高湿)	19.9
2	无	29.1	25.1(高湿)	20.4
3	有	28.0	13.6(低湿)	9.8
4	无	26.1	14.5(低湿)	10.4

将除湿器按上文的方法再生后开始除湿器的除湿阶段.除湿时,同时打开除湿器主边和次边气流风机,进行有次边冷却的除湿,每隔2.5 min记录除湿器主边出口气流的干球温度和露点温度,取除湿器主边出口气流截面9个测点的平均值作为各时刻最终实验数据,同时测出除湿器主边处理气流质量流量为240 kg/h,次边气流质量流量为450 kg/h.

同样,将除湿器再生后开始除湿器另一次除湿阶段.除湿时,只打开除湿器主边处理气流风机,关闭次边气流风机,进行无次边冷却的除湿,每2.5 min记录除湿器主边出口气流的干球温度和露点温度.

4组除湿实验的结果分别如图4~图7所示.

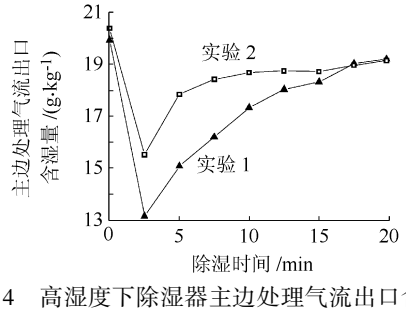

图4 高湿度下除湿器主边处理气流出口含湿量变化

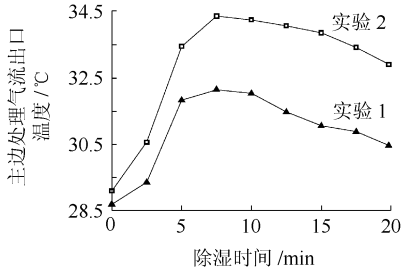

图5 高湿度下除湿器主边处理气流出口温度变化

图4和图5为高湿度工况下,内冷却紧凑式固体除湿器次边通过和不通过冷却气流时,主边出口气流含湿量和温度的变化情况.图4显示,由于除湿器中的吸湿剂在除湿之前已经冷却到环境温度,所以从图中可以看出除湿过程开始阶段,实验1和实验2的除湿器主边出口处理气流含湿量都迅速下降,达到最低值,对于有次边冷却气流的实验1,含湿量下降更为显著.之后随着除湿量的逐渐增加,吸湿剂的吸湿能力下降,出口含湿量上升.这个过程中,实验2的主边处理气流出口含湿量的上升坡度较大;而对于实验1,由于除湿器次边气流对主边处理气流流道内吸湿剂的冷却作用,使得主边处理气流出口的含湿量上升的坡度较为平缓,提高了吸湿剂的吸湿性能.在20 min的有效除湿周期内,除湿器在有次边冷却时的除湿量比没有冷却时提高50%以上.对图4实验点在除湿时间内积分可以得出:实验2条件下,除湿器在20 min内可以吸收140 g水蒸汽,硅胶的动态吸湿率为7.37%;而在相同除湿时间内,实验1条件下除湿器能够吸收236 g水蒸汽,硅胶的动态吸湿率高达12.4%.这与实验中除湿过程前后除湿器重量的变化值是一致的.

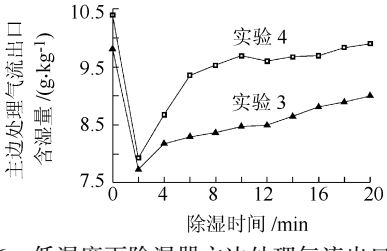

图6 低湿度下除湿器主边处理气流出口含湿量变化

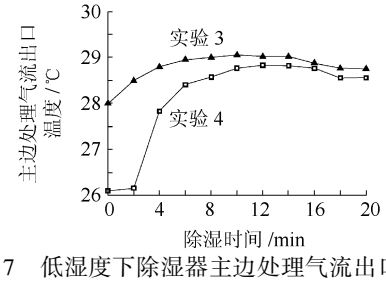

图7 低湿度下除湿器主边处理气流出口温度变化

图5为除湿器主边处理气流出口温度随除湿时间的变化.从图中可以看到,除湿开始阶段对应图4中含湿量的迅速下降,实验1和2的主边处理气流出口温度也有迅速升高的过程,但实验1上升幅度较小,而且随着除湿的进行,能够保持在相对低的温度值.由此可见,除湿器次边气流的冷却作用对主边处理气流温度有明显影响.此外还发现:除湿器主边处理气流出口温度在除湿过程中有明显的峰值出现,而且出现的时刻滞后于最大除湿量出现的时刻,这是因为除湿器本身金属热容较大,所以除湿开始阶段虽然单位时间除湿量大,但处理气流温升较小;而随着总除湿量的不断增加,吸附热对处理气流的加热效果先达到最大,之后随着单位时间除湿量的下降,吸附热逐渐减小,因而处理气流的温升又逐渐降低.

图6和图7为低湿度工况下,内冷却紧凑式

叉流除湿器的运行情况. 可以看到,在低湿度下,除湿器主边处理气流出口温度和含湿量的变化规律与高湿度下相同,实验 3 条件下除湿器主边入口处理气流相对湿度 41% 低于实验 4 的 50%,影响了开始阶段的除湿效果,但由于次边气流的冷却作用,使得实验 3 条件下除湿器的吸湿量仍明显大于实验 4. 由图 6 的实验点同样可以得到,实验 3 条件下,除湿器在 20 min 内可以吸收 60 g 水蒸汽,硅胶的动态吸湿率为 3. 15%;而相同除湿时间内,实验 4 条件下除湿器能够吸收 40 g 水蒸汽,硅胶的动态吸湿率为 2. 1%. 低湿度工况下主边出口气流温度变化如图 7 所示. 由于实验 3 对应的主边(和次边)的入口气流温度高于实验 4,所以实验 3 的出口气流温度要略高于实验 4. 但对有次边气流冷却的实验 3,主边处理气流在除湿之后出口温度的上升速度和幅度都要明显小于没有次边冷却气流通过的实验 4 的出口气流温度变化,这也进一步验证了次边冷却气流对主边除湿剂和主边处理气流的降温作用.

3　结 束 语

本文通过实验表明,新研制的内冷却紧凑式叉流除湿器,在高湿、低湿环境工况下都有较好的除湿性能,除湿器次边冷却气流可以显著提高除湿器的除湿性能,在高湿环境工况下,除湿器中硅胶的动态吸湿率高达 12. 4%,高于目前已知的硅胶动态吸湿率. 本文研制的新型除湿器对提高干燥器技术水平、提高固体除湿冷却系统性能均有重要实用价值.

参考文献(References)

[1] 袁卫星,袁修干,杨春信,等. 开式固体除湿空调关键部件及系统分析[J]. 北京航空航天大学学报,1997,23(5):596-601
Yuan Weixing, Yuan Xiugan, Yang Chunxin, et al. Analysis of open-cycle solid desiccant air conditioning system and its key component—dehumidifier[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1997,23(5):596-601(in Chinese)

[2] 刘晓茹,袁卫星,于志强. 内冷却紧凑式叉流除湿器性能数值模拟与分析[J]. 太阳能学报,2005,26 (1):110-115
Liu Xiaoru, Yuan Weixing, Yu Zhiqiang. Numerical simulation and analysis on performance of an internally cooling compact dehumidifier[J]. Acta Energiae Solaris Sinica,2005,26(1):110-115(in Chinese)

[3] Chuah Y K, Norton P, Kreith F. Transient mass transfer in parallel passage dehumidifiers with and without solid resistance[J]. Transactions of the ASME,1998, 111(12):1038-1044

[4] Waugaman D G, Kini A, Kettleborough C F. A review of desiccant cooling systems[J]. Journal of Energy Resources Technology, 1993(115):1-8

(责任编辑:彭　徽)

(上接第 1066 页)

参考文献(References)

[1] 徐冠华. 全面落实科学发展观,努力开创科技工作新局面[EB/OL]. 2004[2006-3-20]. http://www. most. gov. cn/ydtd/2004. htm

[2] 李晓明,李星. 搜索引擎与 Web 挖掘进展[M]. 北京:高等教育出版社,2003: 64-65
Li Xiaoming, Li Xing. Search engine and Web excavation progress [M]. Beijing: Higher Education Press,2003:64-65(in Chinese)

[3] 科技部,发改委,教育部,财政部. 2004-2010 年国家科技基础条件平台建设纲要[EB/OL]. 2004[2006-3-20]. http://news. xinhuanet. com/newscenter/2004-09/24/content_2016783. htm

[4] 国务院办公厅. "十一五"国家科技基础条件平台实施意见[EB/OL]. 2004[2006-3-20]. http://www. jqkj. gov. cn/doc/195_3275. doc

[5] 李国辉,汤大权,武德峰. 信息组织与检索[M]. 北京:科学出版社,2003:27-28
Li Guohui, Tang Daquan, Wu Defeng. Information organization and retrieval [M]. Beijing: Scientific Press,2003:27-28(in Chinese)

[6] Ricardo B Y, Berthier R N. Modern information retrieval[M]. Beijing: China Machine Press, 2004:430-431

(责任编辑:张　婧)