

# 溶液调湿空调冬季加湿特性实验

牛润萍,孟富强,王紫叶,王世政

(北京建筑大学环境与能源工程学院,北京 100044)

**摘要** 目的 研究溶液调湿空调冬季加湿特性,改善空调系统冬季加湿性能. 方法 搭建溶液调湿空调系统,在冬季工况下进行实验测试,分析溶液入口参数、空气入口参数对调湿式空调加湿性能的影响规律;采用加湿量和加湿效率评价指标对其加湿性能进行评价分析. 结果 加湿效率和加湿量随着溶液流量和进口空气温度含湿量的增加而增加;加湿效率和加湿量随着空气含湿量和进口溶液质量分数增加而下降;进口空气流量的增加使得加湿量增加而加湿效率减少. 结论 适当增加溶液流量和进口空气温度含湿量可以改善溶液调湿空调冬季加湿性能.

**关键词** 环保节能;加湿实验;加湿量;加湿效率;溶液调湿空调系统

中图分类号 TU831

文献标志码 A

## Analysis of Influence Factors on Humidification Characteristics of Liquid Desiccant Air-conditioning System in Winter

NIU Runping, MENG Fuqiang, WANG Ziyue, WANG Shizheng

(School of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing, China, 100044)

**Abstract:** The performance of liquid desiccant air-conditioning system was improved by studying the humidity-humidifying characteristics of the humidified air conditioner. The experimental test was carried out to reduce the performance of liquid desiccant air conditioning in winter. The effects of inlet parameters and air inlet parameters on humidification performance of air conditioners were analyzed. And then the humidification performance was evaluated by humidifying amount and humidification efficiency. The results showed that; Humidifying efficiency and Humidifying amount increased with the flow of liquid and Humidifying amount of the inlet air; they decreases with the increased of the Humidifying amount of air and the concentration of inlet liquid. The increase of inlet air flow makes the Humidifying amount increase and the Humidifying efficiency decreases. Therefore, it can be concluded that increasing the flow of liquid and the Humidifying amount of inlet air temperature can improve the performance of liquid desiccant air-conditioning system.

**Key words:** environmental protection and energy saving; humidifying experiment; Humidifying a-

收稿日期:2017-12-23

基金项目:国家自然科学基金项目(51106007)

作者简介:牛润萍(1979—),女,副教授,博士,主要从事建筑节能和空调制冷技术方面研究.

mount;humidifying efficiency;liquid desiccant air-conditioning system

随着工业水平的不断发展和人民生活水平的不断提高,人们对自己生活和工作的环境的品质要求也不断提高,优质的工作生活环境带来了更大的能源消耗,工业的发展为社会提供更多能源的同时也给生态环境带来了污染和破坏.近年来,我国大部分城市出现了严重的雾霾天气,直接威胁到了全国绝大部分人口的生活和健康,国家在治理这种恶劣天气的过程中也付出了巨大代价<sup>[1]</sup>.这主要是由于人们对居住环境要求的提高使得建筑能耗在我国社会总能耗当中占有的比例不断上升<sup>[2]</sup>,其中建筑相关的能耗将要达到社会总能耗的 46.7%<sup>[3]</sup>.据统计,在建筑能耗当中空调系统能耗又占据着建筑能耗非常大的比重,将近建筑能耗的 50% 左右,在空调系统当中大约有 40% ~ 60% 的能耗用于空调系统的加湿和除湿处理过程<sup>[4]</sup>.对空调系统节能的研究具有重要意义,而溶液调湿空调系统可以利用低品位的能源降低能源消耗,在运行机理上比传统空调更有节能优势,因此在空调节能方面溶液调湿空调系统成为研究的突破口.除此之外,我国北方地区冬季和春季是一年当中最干燥的季节,此时加上冬季采暖和空调的使用使得室内的空气更加干燥,过于干燥的室内环境容易使人生病,影响身体健康,所以冬季对室内进行加湿有利于人们的生活质量提高.溶液调湿空调系统不仅具有对室内空气除湿的功能同时还具有加湿的功能,因此对溶液调湿空调系统的加湿研究越来越受到广泛的关注<sup>[5]</sup>.在溶液除湿空调系统当中溶液和空气作为系统运行的重要组成部分,很多研究者对溶液调湿空调系统的再生器进口处的溶液和空气性能参数对空调除湿性能进行了大量研究:黄志甲等<sup>[6]</sup>对溶液除湿系统中的传热传质过程进行研究,得出了其中的耦合关系,并通过建立数学模型来进行模拟;王敏等<sup>[7]</sup>对溶液除湿

系统中的传热传质过程进行了热力学分析,构建了相关的数学和物理模型进行数值模拟,并且对进口参数对除湿效果影响规律进行了分析;Sun Jian<sup>[8]</sup>等人对逆流型降膜除湿进行了模拟,得出了三种提高空调系统除湿性能的方法;Zhang L Z,钱俊飞以及 Moon C G 等<sup>[9-11]</sup>都对叉流除湿器进行了研究,得出线管的关联式并且提出了相关的理论.

虽然对溶液调湿系统入口参数对系统性能的研究不断加深,但是目前研究的的内容大多数都是对空调系统夏季溶液除湿性能的研究,对于冬季利用溶液调湿空调系统进行加热和加湿的实验研究和相关的实验数据研究的较少.基于此,笔者对溶液调湿空调系统进行实验研究,并对实验得出的数据进行分析,得出进口溶液和进口空气参数对系统加湿性能的影响规律;可选用加湿量和加湿效率两个指标作为评价空调系统的加湿性能,笔者所得结论可以为改善相同类型的溶液除湿系统的加湿性能提供借鉴.

## 1 热泵驱动的溶液除湿空调系统

笔者使用一种热泵驱动的溶液除湿空调系统,将传统的压缩式制冷系统中的空调部件与溶液除湿空调系统中的空调部件结合起来,采用蒸发式冷凝器作为压缩式制冷系统和溶液除湿空调系统的结合部件.蒸发式冷凝器可以用于除湿溶液的再生,也可以用于传统压缩式制冷空调系统中制冷剂的放热.调湿式蒸发器是除湿溶液的除湿部件,同时也是传统压缩式制冷系统中制冷剂的吸热部件<sup>[12-13]</sup>.

传统的压缩式制冷空调系统利用蒸发式冷凝器的传热传质原理是把系统当中的除湿溶液喷淋在蒸发器的盘管上,利用除湿溶液来吸收空气当中的湿负荷,利用蒸发器上水

分蒸发生成的冷量消除空气的显热负荷,从而实现新风冷却除湿的处理过程;同样笔者采用系统中冷凝器也是利用同样的原理,利用冷凝热量对除湿溶液进行再生,这样就减少了溶液除湿系统当中用于除湿溶液再生的所需要的系统能耗.溶液调湿空调系统实现了压缩式制冷空调系统当中冷凝器排放的热量和蒸发器排放的冷量的综合利用,该空调系统的结构示意图如图1所示.

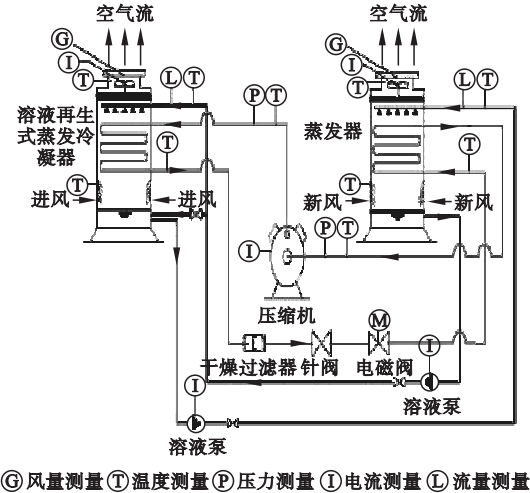


图1 溶液调湿空调系统

Fig. 1 Liquid desiccant air-conditioning system diagram

2 溶液调湿空调系统实验研究

2.1 实验目的

笔者对系统冬季工况进行实验测试,在实验室通过改变进口溶液和空气的参数,来测试影响出口溶液和空气的参数,然后对实验数据进行整理,最后总结出进口溶液和空气的参数对系统加湿性能的影响规律,实验得出的传热传质规律有助于改善相似产品的性能.

2.2 实验方法和实验参数

笔者在实验开始前用恒温槽将预先配置好的氯化锂溶液送入到再生式蒸发冷凝器和调湿式蒸发器的水箱里面,之后再打开压缩机开始对压缩机进行预热,等到系统的压力正常以后开启风机,然后再开启循环水泵进

行测试.测试数据需要在一个相对稳定的工况下测量得到,所以需要系统首先运行一段时间以后待系统稳定的时候,测量得到的数据认为是可靠有效的.同时为了得到稳定可靠的数据,需要其他辅助的设备或者人为进行调控实验.

实验具体调控的方法如下.

- (1)空气温度调节:通过调节电加热的摆放位置和调节电加热的档位数;
- (2)空气流量调节:通过调节变频器的频率和调节进风口栏栅的遮挡程度;
- (3)空气的含湿量调节:通过调节加湿器的摆放位置和调节空气加湿器的档位数;
- (4)溶液流量调节:改变球形阀的开度;
- (5)溶液的质量分数调节:向溶液中添加溶质或者溶剂;
- (6)溶液温度调节:调节恒温槽的设定温度.

每1组的实验参数如表1所示.

2.3 评价方法

在溶液除湿空调系统的除湿和再生装置中,温度差和水蒸气的分压力分别为传热和传质的驱动力.系统当中的空气和溶液之间进行传热传质的过程是一种热湿耦合的过程,传热和传质过程相互之间是存在影响的,目前用来评价溶液除湿系统的除湿装置和再生装置性能的方法主要有两个<sup>[14]</sup>.

(1)总量评价法

总量评价法指评价加湿量的大小,计算式为

$$m_w = M_a (\omega_{a,in} - \omega_{a,out}). \tag{1}$$

式中: $m_w$ 为加湿量,即水分蒸发量,  $g/s$ ;  $\omega_{a,in}$ 进口空气含湿量,  $g/kg$ ;  $\omega_{a,out}$ 出口空气的含湿量,  $g/kg$ ;  $M_a$ 为空气流量,  $m^3/s$ .

(2)传热传质效率法

一般采用加湿效率来表示溶液对空气加湿过程进行的充分程度<sup>[15-16]</sup>.加湿效率的计算式为

表 1 不同实验进口参数

Table 1 Different experimental import parameters

实验	空气流量/ (kg·s <sup>-1</sup> )	溶液流量/ (kg·s <sup>-1</sup> )	空气干球 温度/℃	空气含湿量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	溶液温 度/℃	溶液质量 分数/%
实验 1	0.251	0.333	15.2	4.082	16.25	24
	0.364	0.333	15.2	4.082	16.25	24
	0.319	0.333	15.2	4.082	16.25	24
	0.383	0.333	15.2	4.082	16.25	24
	0.409	0.333	15.2	4.082	16.25	24
实验 2	0.309	0.348	14.5	3.622	16.50	24
	0.309	0.635	14.5	3.622	16.50	24
	0.309	0.776	14.5	3.622	16.50	24
实验 3	0.308	0.364	13.8	3.879	17.05	24
	0.308	0.364	14.4	3.879	17.05	24
	0.308	0.364	15.3	3.879	17.05	24
	0.308	0.364	16.2	3.879	17.05	24
	0.308	0.364	17.3	3.879	17.05	24
	0.308	0.364	18.8	3.879	17.05	24
	0.306	0.348	15.4	3.631	16.75	24
实验 4	0.306	0.348	15.4	4.24	16.75	24
	0.306	0.348	15.4	5.002	16.75	24
	0.306	0.348	15.4	5.697	16.75	24
	0.298	0.333	14.2	3.527	15.65	24
实验 5	0.298	0.333	14.2	3.527	16.33	24
	0.298	0.333	14.2	3.527	18.57	24
	0.298	0.333	14.2	3.527	20.42	24
	0.310	0.348	14.6	3.708	17.56	24
实验 6	0.310	0.348	14.6	3.708	17.56	27
	0.310	0.348	14.6	3.708	17.56	30

$$\varepsilon_Y = \frac{w_{a,in} - w_{a,out}}{w_{a,in} - w_{s,in}}.$$

(2)

式中: $\varepsilon_Y$  为加湿效率; $w_{s,in}$ 为溶液入口等效含湿量,g/kg; $w_{a,in}$ 为进口空气含湿量,g/kg; $w_{a,out}$ 为出口空气含湿量,g/kg.

3 实验结果和分析

3.1 进口空气质量流量的影响

图 2 表示空气质量流量变化时的加湿量和加湿效率变化的趋势. 实验条件见表 1 中

的实验 1.

由图 2 可以看出,随着空气流量的增加,加湿效率减小而加湿量增大. 由此表明加湿量和加湿效率变化趋势并不是在任何情况下都相同的,所以不能只用加湿量或者加湿效率一个指标来评价一个系统的加湿性能. 出现以上情况是因为当空气流量增加时,溶液和空气之间的传热传质系数也随之增加,空气和溶液之间的进行传热传质的时间变短,交换过程不能够充分进行,所以会导致出口

的含湿量减少,进、出口的空气的含湿量差减小,加湿效率随着空气流量增加而减小<sup>[17-19]</sup>.随着进口处空气流量增加空气进出口含湿量差值变化较小,加湿量随进口空气质量流量的增加而增加.

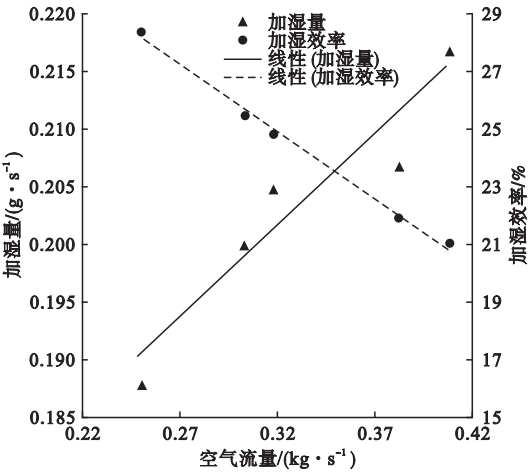


图2 加湿量和加湿效率随空气流量变化  
Fig. 2 The humidification amount and humidification efficiency when air flow rate changes

3.2 进口溶液流量的影响

图3描述了加湿量、加湿效率随着喷淋溶液流量的变化趋势.实验条件见表1中的实验2.

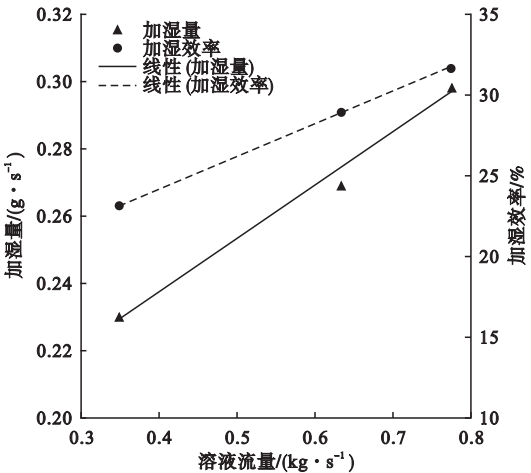


图3 加湿量和加湿效率随溶液流量变化  
Fig. 3 The humidification amount and humidification efficiency when the solution mass flow rate changes

由图3可以看出,随着溶液质量流量的增大,加湿量和加湿效率均增大.随着溶液流量增加,溶液的喷淋流量变大,溶液流量增加就会优化换热管表面的溶液膜层的分布情况,增强溶液和管内制冷机的热交换程度,管内的制冷剂和管外的溶液进行热交换的热量增大,溶液进出口温度变大;溶液的表面平均温度升高,溶液的表面压力升高,空气的水蒸气压力不变,溶液的表面压力和水蒸气的压力差变大,导致空气出口含湿量变大<sup>[20]</sup>.空气质量流量不变,溶液质量流量增加,空气的进、出口含湿量差增大,加湿量和加湿效率跟随着溶液质量流量增加而增加.

3.3 进口空气温度的影响

图4描述了加湿量、加湿效率随着进口空气温度的变化趋势.实验条件见表1中的实验3.

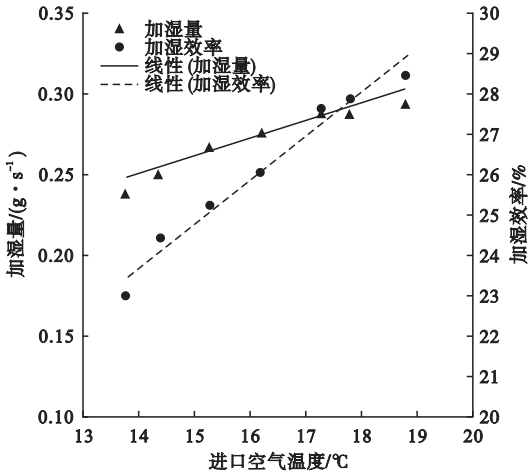


图4 加湿量和加湿效率随进口空气温度变化  
Fig. 4 The humidification amount and humidification efficiency when the inlet air temperature change

由图4可知,随着进口空气温度的升高,加湿量和加湿效率都是随之升高的.因为空气与溶液之间的温度差减小,导致溶液的平均温度升高,溶液表面温度的升高会升高溶液表面蒸汽压力,溶液表面的蒸汽压力和水蒸气压力差变大加强了溶液和空气之间的传质驱动力,导致溶液向空气进行的传质增加,



出口空气含湿量增加. 空气温度升高会使出口空气的当中的含湿量增加,空气进、出口的空气含湿量差也会随着增大,导致加湿效率变大,空气流量不变加湿量也变大.

3.4 进口空气含湿量的影响

加湿量和加湿效率随着进口空气含湿量的变化趋势如图 5 所示. 实验条件见表 1 中的实验 4.

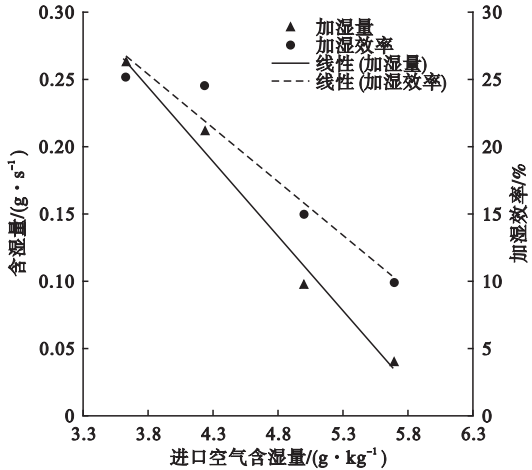


图 5 加湿量和加湿效率随进口空气含湿量变化  
Fig. 5 The humidification amount and humidification efficiency when inlet air moisture content changes

由图 5 可以看出,随着进口空气的含湿量增加,加湿量、加湿效率呈现下降趋势. 当空气入口含湿量增大时,空气当中的水蒸气分压力和溶液表面的蒸汽压力差变小,溶液和空气之间的传质驱动力变小,所以加湿效率下降<sup>[21]</sup>. 进口空气当中的含湿量增加,空气吸收水分的能力减小,但是空气当中的含湿量仍然小于溶液当中的等效含湿量,所以在交换过程中空气当中的含湿量仍然增加,空气流量不变的情况下含湿量差变小,加湿量也随之减小.

3.5 进口溶液温度的影响

图 6 描述了进口溶液温度变化时加湿量、加湿效率的变化趋势. 实验条件见表 1 中的实验 5.

由图6可知,随着进口溶液温度的不断

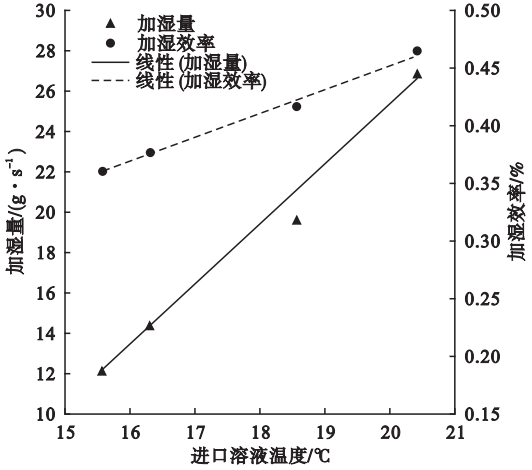


图 6 加湿量和加湿效率随进口溶液温度变化  
Fig. 6 The humidification amount and humidification efficiency when inlet solution temperature changes

变大,加湿量、加湿效率趋势都是随之升高. 进口溶液的温度升高,进口溶液表面的等效含湿量也会因为温度升高随之变大,溶液和空气之间的含湿量差值变大,传质驱动力也随之增大. 空气流量不变,溶液和空气传质程度增加,空气出口含湿量增加,进出口的含湿量差变大,出口空气的加湿量和空气的含湿量都随进口溶液的温度升高而变大. 对溶液和进口空气提高同样温度的情况下,提高溶液的温度要比升高空气温度对加湿效果更加显著. 从图中可以看出,溶液温度和空气温度同样提高 5 °C 的情况下,溶液的含湿量因为溶液温度的增加的影响而增加了 0.186 8 g/kg、加湿量增加了 0.049 8 g/s,空气的含湿量因为空气温度的增加而增加了 0.831 g/kg、加湿量增加了 0.244 8 g/s. 溶液表面等效含湿量的增加直接受到溶液的温度增加的影响,溶液温度升高增加溶液和空气之间的传质驱动力<sup>[22-23]</sup>.

加湿效率同样会随着溶液的温度升高而增大,因为溶液温度升高导致空气进、出口含湿量差值增大,相当于式(2)中的分子变大. 同时进口空气的含湿量不变,溶液表面的等效含湿量随着溶液温度升高而增大,两者之

间含湿量差值增大,相当于式(2)中的分母也变大,两种含湿量差都增大的结果是加湿效率增大.所以加湿效率会随着溶液温度的升高而变大,而且当溶液和空气提升相同的温度时,升高溶液温度更加能够影响系统的加湿性能.

3.6 进口溶液质量分数的影响

图7图描述了进口溶液质量百分比浓度升高时加湿量、加湿效率随着的变化趋势.实验条件见表1中的实验6.

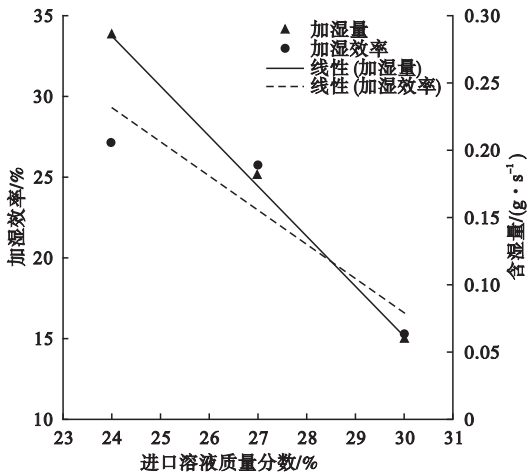


图7 加湿量和加湿效率随进口溶液质量分数变化  
Fig.7 The humidification amount and humidification efficiency when imported solution concentration changes

由图7可以看出,随着进口溶液质量分数的增大,加湿量和加湿效率都降低.溶液的溶质质量百分比不断增大的过程中,溶液的表面等效含湿量会随质量浓度增大而减少,溶液含湿量和空气的含湿量之间的差值减小,两者之间的传质驱动力也减小,溶液向空气中传递的湿量减少,空气出口含湿量就会降低;空气质量不变的情况下,进、出口空气的含湿量差变下加湿量变小.

对于加湿效率,进口处的溶液等效含湿量变大,空气含湿量不变,两者的差值变大,出口空气的含湿量降低,进、出口空气的含湿量差值变小,导致加湿效率变小.所以可以得出溶液质量分数增加会减小溶液和空气之间

的传质能力.

4 结 论

(1)当空气流量的增加时,溶液调湿空调系统的加湿量增加但是溶液调湿空调系统的加湿效率下降,两者变化的趋势相反因此不能单独用加湿量单一指标来评价系统的加湿性能,需要综合考虑两个指标.

(2)增大喷淋流量,升高进口空气温度和含湿量都会使得加湿量、加湿效率上升.

(3)进口溶液温度和进口空气温度都升高相同温度时,溶液温度相比于空气的温度对系统的加湿性能影响更大,所以增加进口溶液的温度更加有利于提高室内舒适度.

(4)进口溶液质量分数越高越不利于系统加湿性能,应适时向系统中补充水量以维持其加湿性能.

参考文献

[1] 刘浩强. 建筑施工对雾霾天气的影响及防治建议[J]. 砖瓦,2015(4):53-56.  
(LIU Haoqiang. Suggestions on the impact of construction on haze weather [J]. Brick,2015 (4):53-56.)

[2] 白英山. 节能设计对建筑能耗的影响及分析[J]. 建筑节能,2016,44(6):65-68.  
(BAI Yingshan. Effects of building energy saving design to energy consumption [J]. Building energy conservation, 2016, 44 (6): 65-68.)

[3] 丁艳. 建筑遮阳进行时[J]. 中国住宅设施, 2012(8):6-7.  
(DING Yan. Building shading [J]. Residential facilities in China,2012(8):6-7.)

[4] 刘晓华,李震,张涛. 溶液除湿[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.  
(LIU Xiaohua, LI Zhen, ZHANG Tao. Liquid desiccant dehumidification [M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2014.)

[5] 杨飞. 溶液除湿空调系统的应用研究[D]. 重庆:重庆大学,2015.  
(YANG Fei. Application research of liquid desiccant air-conditioning system [D]. Chongqing:Chongqing University,2015.)

[6] 黄志甲,姜萍,周立宁. 溶液除湿过程热质耦合的理论分析与数值模拟[J]. 流体机械, 2014(2):67-71.  
(HUANG Zhijia, JIANG Ping, ZHOU Lining.

- Theoretical analysis and numerical simulation of complex heat and mass transfer between air and desiccant in liquid desiccant dehumidification [J]. Fluid machinery, 2014(2): 67-71. )
- [7] 王敏, 邹同华, 张涛, 等. 逆流填料式溶液除湿器性能的数值模拟[J]. 制冷与空调, 2013, 13(5): 93-96.  
(WANG Min, ZOU Tonghua, ZHANG Tao, et al. Numerical simulation of packed-type counter flow liquid dehumidifier performance [J]. Refrigeration and air-conditioning, 2013, 13(5): 93-96. )
- [8] SUN Jian. Effects of the boundary condition on the performance of a falling film dehumidifier of solar liquid desiccants air conditioning system[J]. Applied mechanics & materials, 2013, 294: 172-175.
- [9] ZHANG L Z. Heat and mass transfer in a quasi-counter flow membrane-based total heat exchanger [J]. International journal of heat & mass transfer, 2010, 53(23/24): 5478-5486.
- [10] 钱俊飞, 殷勇高, 张小松. 叉流除湿器热质传递性能实验研究[J]. 制冷学报, 2014, 35(1): 46-52.  
(QIAN Junfei, YIN Yonggao, ZHANG Xiaosong. Experimental investigation the performance of heat and mass transfer of cross-flow dehumidifier [J]. Journal of refrigeration, 2014, 35(1): 46-52. )
- [11] MOON C G, BANSAL P K, JAIN S. New mass transfer performance data of across-flow liquid desiccant dehumidification system [J]. International journal of refrigeration, 2009, 32(3): 524-533.
- [12] 牛润萍. 冷凝热再生式溶液除湿空调系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.  
(NIU Runping. Study on liquid dehumidification air conditioning system with condensing heat regeneration [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008. )
- [13] 王紫叶. 热泵驱动的溶液除湿空调系统冬季加湿性能的数值模拟与实验研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2016.  
(WANG Ziyue. Numerical simulation and experimental study on the humidification performance of heat pump driven liquid desiccant air conditioning system in winter [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2016. )
- [14] 刘晓华, 张涛, 郑宇薇. 采用吸湿剂的空气湿度处理过程性能分析[J]. 化工学报, 2014, 65(增刊2): 129-139.  
(LIU Xiaohua, ZHANG Tao, ZHENG Yuwei. Performance analysis on air handling processes using desiccants [J]. CIESC journal, 2014, 65(S2): 129-139. )
- [15] KORONAKI I P, CHRISTODOULAKI R I, PAPAETHIMIOU V D, et al. Thermodynamic analysis of a counter flow adiabatic dehumidifier with different liquid desiccant materials [J]. Applied thermal engineering, 2013, 50(1): 361-373.
- [16] LI Z, HIHARA E, MATSUOKA F, et al. Experimental analysis of mass transfer in adiabatic structured packing dehumidifier regenerator with liquid desiccant [J]. International journal of heat & mass transfer, 2010, 53(13): 2856-2863.
- [17] WOREK W M. Cosorption processes of triethylene glycol in a packed-bed liquid desiccant dehumidifier [J]. HVAC & research, 2009, 15(2): 189-210.
- [18] 郑伟业. 蒸发式冷却器传热传质的试验研究及数值模拟[D]. 上海: 华东理工大学, 2013.  
(ZHENG Weiye. Experimental investigation and numerical simulation of heat and mass transfer in evaporative cooler [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2013. )
- [19] 尚莹. 溶液再生式蒸发冷凝器及其制冷系统的性能研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.  
(SHANG Ying. Research on the performance of the evaporative condenser with liquid regeneration and refrigeration system [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008. )
- [20] 路坤仑. 逆流式蒸发式冷凝器传热传质性能实验研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2014.  
(LU Kunlun. Experimental study on heat and mass transfer performance of counter flow evaporative condenser [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2014. )
- [21] MOHAMMAD A T, MAT S B, SULAIMAN M Y, et al. Artificial neural network analysis of liquid desiccant regenerator performance in a solar hybrid air-conditioning system [J]. Sustainable energy technologies & assessments, 2013, 4(1/2): 11-19.
- [22] LUO Y, WANG M, YANG H, et al. Experimental study of the film thickness in the dehumidifier of a liquid desiccant air conditioning system [J]. Energy, 2015, 84: 239-246.
- [23] 申江, 路坤仑, 刘丽, 等. 蒸发式冷凝器的性能实验研究[C]//2013年中国制冷空调工程节能减排新技术研讨会论文集. 烟台: [出版者不详], 2013: 229-234.  
(SHEN Jiang, LU Kunlun, LIU Li, et al. Experimental study on performance of evaporative condenser [C]. 2013 China seminar on energy conservation technology of refrigeration & air-conditioning engineering. Yantai: [s. n.], 2013: 229-234. )