

文章编号:0253-4339(2019)02-0148-06
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2019.02.148

CaCl₂和 LiBr 混合盐溶液除湿性能实验研究

蒋小强¹ 梁浩² 何华明³ 戴贵龙¹

(1 福建工程学院 建筑新能源与节能福建省高校重点实验室 福州 350118; 2 住房和城乡建设部科技与产业化发展中心 北京 100044; 3 澳蓝(福建)实业有限公司 福州 350000)

摘要 为降低溶液除湿系统的生产成本及运行能耗,本文针对基于新型混合盐溶液的溶液除湿设备进行实验研究,构建溶液除湿系统及测试平台,以溴化锂(LiBr)和氯化钙(CaCl₂)为混合盐溶液工作介质,对溶液除湿系统除湿模块进出口空气参数、再生模块进出口空气参数、系统功耗等进行测试,分析其除湿能力、制冷能力和除湿性能系数。根据混合盐溶液的初投资及工作性能,以溶液除湿系统全寿命周期的总费用作为衡量溶液综合性价比的指标,进行对比计算,结果表明:采用3:1的LiBr和CaCl₂混合盐溶液除湿系统的综合性价比最高,总费用最高可降低14.5%。

关键词 混合盐溶液;制冷量;除湿量;寿命周期

中图分类号:TK124; TU831.6; TU834.9

文献标识码: A

Experimental Study on Hybrid Liquid Desiccant Air Conditioning with CaCl₂ and LiBr

Jiang Xiaojiang¹ Lianghao² He Huaming³ Dai Guilong¹

(1. Key Laboratory of New Energy and Energy-saving in Building of Fujian Province University, Fujian University of Technology, Fuzhou, 350118, China; 2. Ministry of Housing and Urban-rural Development, Beijing, 100044, China; 3. AOLAN (Fujian) Industry Co., Ltd., Fuzhou, 350000, China)

Abstract To reduce the production cost and running energy consumption of a solution dehumidification system, experiments were conducted in this study on dehumidification equipment based on a mixed salt solution consisting of LiBr and CaCl₂. The temperature and humidity of inlet and outlet air as well as the energy consumption of the dehumidification device were measured. The dehumidification capacity, refrigeration capacity, and dehumidification performance coefficient of the system were analyzed. Based on the initial investment and working performance of the mixed salt solution, a comprehensive performance and cost ratio of the solution was weighed by considering the life cycle cost of the solution dehumidification system. The results showed that the mixed LiBr and CaCl₂ solution at a ratio of 3:1 can obtain a higher dehumidification efficiency and lower cost compared to other combination, and the total cost can be reduced by 14.5%.

Keywords mixed liquid desiccant; refrigerating capacity; dehumidification capacity; life cycle

溶液除湿系统作为一种新型除湿技术^[1],与其它传统干燥技术相比,具有除湿速度快、范围大(深度除湿)和品质好(低温除湿)等优势,可广泛用于木材干燥、农产品干燥和医药行业等领域,涉及农产品的生产、加工和贮存等全过程。然而,溶液除湿系统设备成本高^[2-3],限制了其推广应用。因此,研发高效、低成本的溶液除湿系统(机组)已成为当前的研究难点和热点。

当前溶液除湿系统多采用盐溶液作为工作介质。盐溶液价格昂贵,其物性参数是影响溶液除湿系统除湿性能的关键因素。如何降低盐溶液成本,提高盐溶液的除湿性能,国内同行专家已进行了大量研究。有

些学者对盐溶液的基本物性参数,如表面蒸气压、结晶线、比热容、密度和黏度等参数的变化规律及其对除湿性能的影响进行了研究。Zhao Kang等^[4-6]对溶液除湿系统再生部件及除湿部件的传热效率、气流与溶液流量的匹配进行了研究。A. T. MOHAMMAD等^[7-9]对混合盐溶液CaCl₂和LiCl的除湿和再生效率进行了研究,得到除湿效率的计算公式,认为太阳能混合盐溶液的有效再生热源温度 ≥ 70 ℃。

上述研究为溶液除湿系统的发展和應用做出了巨大贡献,但仍存在不足:1)关于混合盐溶液物性参数对系统除湿性能综合影响的研究较少。许多学者对单一盐溶液的多个物性参数进行了研究,部分学者

对混合盐溶液的表面蒸气压进行了研究。然而,溶液除湿系统的实际除湿性能受多个物性参数的综合影响^[10-13],因此有必要直接从系统除湿性能方面对混合盐溶液进行研究。2) 未深入考虑盐溶液成本问题。溶液除湿系统的推广应用,必须考虑该系统的初投资和运行成本。

基于上述研究的不足,本文同时考虑混合盐溶液的经济成本和除湿能力,探讨常见盐溶液溴化锂(Li-Br)和氯化钙(CaCl₂)混合溶液在组分比例不同情况下溶液除湿系统除湿性能的变化规律;考察混合盐溶液在全寿命周期的总费用,确定 LiBr 和 CaCl₂ 混合溶液综合性价比最高方案。

1 测试平台及实验仪器

盐溶液的工作性能主要受溶液的表面蒸气压、结

晶线、比热容、密度和黏度等参数耦合的综合影响。该种综合影响无法通过模拟或理论分析得出,且系统运行时这些参数也在不断变化。因此,本文搭建了溶液除湿测试机组和实验平台,对运行参数进行实测,研究不同比例下混合盐溶液对溶液除湿系统除湿性能的影响。

1.1 被测溶液除湿系统模型及工作原理

根据溶液除湿系统工作原理,搭建了一套溶液除湿机组用于测试。该溶液除湿机组^[14-16]由热泵系统(含压缩机、蒸发器、冷凝器和节流阀)、再生模块和除湿模块组成。溶液除湿系统主要对回风(来自工作区域)进行除湿,除湿降温后成为送风状态送至工作区域;新风直接来自环境空气,在再生模块吸收水蒸气和热量,然后排至外界。工作流程如图 1 所示。

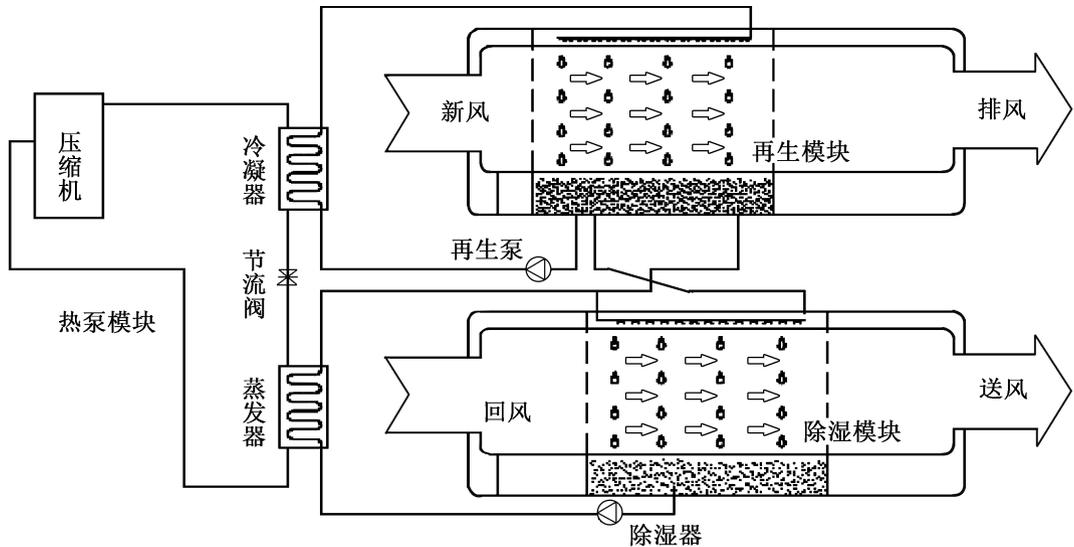


图 1 被测溶液除湿系统工作流程

Fig.1 Working flow chart of the measured solution dehumidification system

图 1 所示,压缩机为功率为 5 HP 的某品牌数码涡旋式压缩机,蒸发面积和冷凝面积均为 1.15 m²,除湿模块和再生模块均由湿帘构成,盐溶液在重力作用下由上部流至底部,与横流空气进行热质交换。工作过程:在除湿模块中,浓溶液从除湿模块顶部流下,与高温高湿的回风(来自工作区域)进行热质交换后变成稀溶液,回风经除湿模块除湿降温后达到送风状态,送入工作区域;在再生模块中,稀溶液从湿帘顶部流下与新风进行热质交换后变成浓溶液,新风经过再生模块后变成高温高湿的空气排出。浓溶液变成稀溶液时,吸收水分而放出大量热量,因而盐溶液需要进入蒸发器进行降温;同理,稀溶液变成浓溶液时,水分蒸发而需要吸收热量,此时盐溶液需要进入冷凝器

吸收热量。

配制好的混合盐溶液,将注入被测溶液机组后进行测试。测试位置主要位于再生模块和除湿模块的进出口处。溶液除湿空调机组再生模块和除湿模块之间常设置热回收交换器,用于提高工作能效。在本测试中,未设置热回收交换器,但不影响分析混合盐溶液对除湿性能的规律。

1.2 测试指标

溶液除湿系统工作时,关键参数为除湿量、除湿功耗和除湿系数。计算除湿量需要知道送风量(回风量)及进出口干湿球温度;除湿功耗需要测量压缩机、溶液泵和风机的功耗。根据除湿量和除湿功耗可得到除湿系数,即单位除湿量功耗。

1.2.1 除湿量

溶液除湿系统除湿模块除湿量的计算式为:

$$\Delta d = m_{da}(d_{in} - d_{out})/1\ 000 \quad (1)$$

式中: Δd 为除湿模块的单位时间除湿量, kg/h; m_{da} 为除湿模块的空气质量流量(即回风量或送风量), kg/h; d_{in} 和 d_{out} 分别为除湿模块进出口空气即回风和送风的含湿量, g/(kg 干空气)。

1.2.2 除湿功耗

除湿功耗(W)为压缩机、除湿(溶液)泵、再生(溶液)泵和再生侧风机功耗之和,不包括除湿侧风机功耗。除湿侧风压由外置风机提供,故不计入除湿功耗。

1.2.3 除湿性能系数

溶液除湿系统的除湿性能系数(简称除湿系数)可用式(2)计算:

$$CODP = \frac{r\Delta d}{3\ 600\ W} = 0.694 \frac{m_{da}(d_{in} - d_{out})}{W} \quad (2)$$

式中: CODP (coefficient of dehumidification performance) 为除湿系数; r 为水的汽化潜热, 2 500 kJ/kg; W 为除湿系统功耗, kW。显然, 除湿系数越高溶液除湿性能越好。

1.3 测试仪器

根据测试指标的要求, 实验需要测量温度、湿度、风量及耗电量等参数。干湿球温度探头均采用铂电阻 Pt100, 测温范围为 0~100 °C, 误差为 ± 0.2 °C。通过风洞测量流速, 其中风速测量采用热线风速仪, 测速范围为 0~10 °C, 误差为 ± 0.1 m/s。

1.4 测试实验平台

为在同一标准下对比溶液除湿系统在不同盐溶液下的工作性能, 必须控制溶液除湿系统的新风工况、回风工况和送风工况。测试实验平台示意图如图 2 所示。

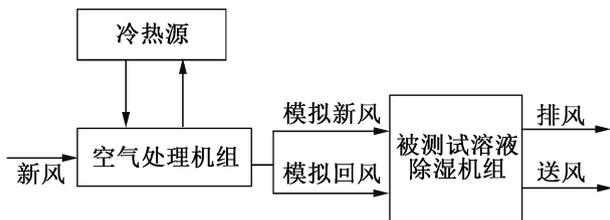


图 2 测试实验平台示意图

Fig.2 Schematic diagram of experiment platform

由图 2 可知, 测试实验平台需要模拟新风和回风工况。为便于实验室测试, 将处理后的新风分成两部分, 一部分作为模拟新风进入机组, 一部分作为模拟回风进入机组。通过设置单独的冷热源和空气处理

设备, 实现新风的温湿度参数固定或调节。被测溶液除湿机组置于室内模拟室中, 模拟回风和模拟新风分别进入被测试机组, 经过除湿或再生后变为送风或排风。为了便于对比和操作, 本项目在测试过程中, 回风和新风干球温度均保持在 (26 ± 0.5) °C、相对湿度保持在 60% \pm 5%。

1.5 混合盐溶液的配置方案

为充分对比不同盐溶液对溶液空调机组除湿性能的影响, 混合盐溶液配置方案如表 1 所示。

表 1 混合盐溶液配置方案

Tab.1 Configuration scheme of mixed salt solution

实验序号	LiBr 质量浓度/%	CaCl ₂ 质量浓度/%
1	40	0
2	30	10
3	20	20
4	10	30
5	0	40

注: 总盐浓度固定在 40%, 总质量为 80 kg。

混合盐溶液的配置, 基于两方面考虑: 1) 便于单一盐溶液的性能对比; 2) 便于两种盐在不同比例下(1:3、2:2、3:1)的对比。鉴于 LiBr 和 LiCl 的价格差别较小, 所以本文只对 CaCl₂ 和 LiBr 组成混合溶液。

2 实验结果与讨论

2.1 实验结果

根据上述实验方案和测试要求, 对盐溶液除湿系统在测试平台上进行测试。不同浓度混合盐溶液测试的实验结果如表 2 所示, 实验的送(回)风量为 1 100 m³/h, 新(排)风量为 1 200 m³/h。由于新风温度随时变化, 而实验测试有一定的时间跨度, 为便于对比, 需要固定新风工况。在测试过程中, 新风参数固定为 26 °C/63% 左右, 即室外模拟室的温湿度参数稳定在 26 °C/63%。

由表 2 可知, 在不同的盐溶液工况下, 回风湿湿度、新风温湿度、功耗基本保持不变, 因此送风湿湿度、排风湿湿度、整机功耗、制冷剂蒸发温度及冷凝温度均只受盐溶液自身物性参数的影响。结果表明, 送风相对湿度最低为 60.5%, 出现在 CaCl₂ 和 LiBr 比例为 3:1 时, 此时整机功耗、冷凝温度及蒸发温度均为最高。冷凝温度高, 则制冷效率低; 蒸发温度高, 则制冷效率高, 这对于除湿量和除湿系数的影响需要进一步分析。

表 2 LiBr 与 CaCl₂ 盐溶液除湿测试结果

Tab.2 Experiment results of LiBr and CaCl₂ solution declassification

实验序号	回风温湿度/ (°C/%)	新风温湿度/ (°C/%)	送风温湿度/ (°C/%)	排风温湿度/ (°C/%)	功耗/kW	冷凝温 度/°C	蒸发温 度/°C
1	26.3/62.7	26.0/63.0	19.1/62.8	38.0/49.0	3.35	55.6	0.87
2	26.4/61.9	26.0/62.3	18.3/62.9	36.3/50.4	3.19	54.5	0.87
3	26.4/63.3	25.9/64.0	18.5/63.9	35.7/53.3	3.20	53.5	0.87
4	26.4/63.4	25.8/64.2	19.0/60.5	37.6/47.5	3.30	56.02	2.62
5	26.3/63.8	25.8/64.1	18.0/64.8	36.0/53.0	3.20	53.50	1.44

2.2 不同盐溶液对除湿量与除湿系数的影响

不同盐溶液下的除湿量和除湿系数的变化如图 3 所示。

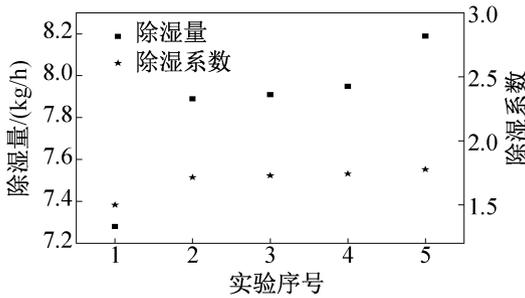


图 3 不同盐溶液对除湿量和除湿系数的影响

Fig.3 Effect of different salt solutions on dehumidification capacity and COP

由图 3 可知,随着 CaCl₂ 质量浓度的减少、LiBr 质量浓度的增加,除湿量先增大后逐渐减小。在 CaCl₂ 和 LiBr 比例为 3:1 的时除湿量最大,可达 7.26 kg/h,比纯 CaCl₂ 提高了 12.7%,比纯 LiBr 提高了 0.9%。说明两种盐溶液混合时,溶液的表面蒸气压、结晶线、比热容、密度和黏度等物性参数不是简单地物理叠加,而是会发生一定的化学作用,因而除湿量也将不是简单线性地变化。由于混合盐溶液离子的物理化学变化及物性参数的综合作用,混合盐溶液的除湿量比单一盐溶液的除湿量高。

由图 3 还可知,随着混合溶液中 LiBr 质量浓度的增加,除湿系数增大。LiBr 质量浓度从 0 升至 40% 时,除湿系数从 1.92 升至 2.25,增加了 16.9%。LiBr 质量浓度从 0 升至 10% 时,除湿系数显著增加;但 LiBr 质量浓度继续从 10% 升至 20% 或从 20% 升至 30% 时,增加幅度明显减小。由于盐溶液混合后,物理化学性质发生显著变化,导致制冷系统如压缩机、蒸发面积、冷凝面积的匹配特性(含换热特性)发生变化;同时,混合盐溶液黏度变化,导致溶液泵的工作性能发生变化,造成整机功耗的变化。因此,混合溶液除

湿性能比单一的 CaCl₂ 溶液要好,但与单一的 LiBr 盐溶液相差较小,这与文献[15]结果一致。说明采用低比例的加入部分 LiBr 的混合盐溶液,可能具备更高的性价比,需要进行进一步定量分析。

2.3 盐溶液变化对制冷量及性能系数的影响

溶液除湿系统的制冷能力直接影响除湿能力,制冷能力越强,除湿量越大。根据表 2、式(3)和式(4)可得不同盐溶液下的制冷量及性能系数 COP 的变化规律,如图 4 所示。

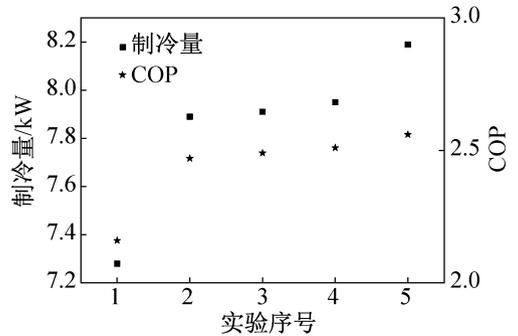


图 4 不同盐溶液对制冷量和 COP 的影响

Fig.4 Effects of different salt solutions on refrigerating capacity and COP

由图 4 可知,随着 CaCl₂ 质量浓度的减少、LiBr 质量浓度的增大,制冷量和 COP 均显著增大。当盐溶液 LiBr 的含量从 0 升至 40% 时,除湿量从 7.27 kW 增至 8.21 kW,增加了 12.93%。随着 LiBr 质量浓度的增加,COP 逐渐提高,当盐溶液 LiBr 的含量从 0 升至 40% 时,COP 从 2.16 上升到 2.56,增加了 18.52%。此外,随着 LiBr 质量浓度的增加,COP 提高的幅度越来越小,说明此后增加 LiBr 浓度已意义不大。

上述研究结果表明,在 CaCl₂ 盐溶液中加入 LiBr 可提高除湿能力和制冷能力,提高溶液除湿工作能效。由于 LiBr 较贵,加入 LiBr 过多盐溶液成本太高。因此,加入适量 LiBr 可提高溶液除湿系统运行性能,

但盐溶液成本也将显著增加。为找到最佳盐溶液方案,有必要进行进一步经济性分析。

3 混合盐溶液综合性价比分析

为便于溶液除湿机组厂家和设备采购方合理选择盐溶液的种类,有必要从除溶液湿系统的整个寿命周期,从盐溶液成本及工作性能出发,对初投资及运行费用两方面进行综合考量和选择。即选择综合性价比高的混合盐溶液,应考察溶液除湿系统在全寿命周期的总费用,包括溶液除湿系统的设备成本(仅指溶液成本)和设计寿命期间的总运行费用。总费用最低的情况即为综合性价比最高的方案。

3.1 盐溶液成本

LiBr 盐溶液的工作性能高,但成本也高;CaCl₂ 盐溶液工作性能较差,但成本低。为了在溶液成本和工作性能找到平衡点,定量进行综合分析并确定盐溶液的优化配置方案。对多家公司询价,得到 LiBr 和 CaCl₂ 的价格分别为 100 元/kg 和 1.5 元/kg。按照本实验设备配制盐溶液,若采用单一的盐溶液 40 kg,

则 LiBr 和 CaCl₂ 的成本分别为 3 200 元和 48 元,价钱差别较大。采用混合盐溶液的价格则在两者之间。不同溶液方案成本如表 3 所示。

3.2 溶液除湿系统寿命周期的运行费用

参照空调系统的设计寿命,溶液除湿系统的使用寿命为 15 年,即:

$$\text{总运行费用} = 15 \times \text{年运行费用} \quad (3)$$

年运行费用与除湿负荷及运行时间有关。设除湿负荷为 10 kg/h,工作时间为 12 h/d,工作 300 d/a (工业领域除湿),则:

$$\text{年运行费用} = \text{单位除湿量价格} \times 10 \times 12 \times 300 \quad (4)$$

单位除湿量价格与单位除湿量功耗及电价有关。单位除湿量功耗可由表 2 计算得出。

3.3 综合性价比分析

根据盐溶液的价格及运行费用的计算依据,可对不同盐溶液的性价比进行分析。对某除湿工程,采用溶液除湿设备(送风量为 1 000 m³/h),假设工程所在地全年平均新风温湿度约为 26 °C/63%,则其经济性分析如表 3 所示。

表 3 不同盐溶液方案下的综合性价比

Tab.3 Comprehensive cost under different salt solution schemes

实验序号	CaCl ₂ 质量/kg	LiBr 质量/kg	盐溶液成本/元	除湿系数	单位除湿量功耗/(kW/kg)	单位除湿量价格/(元/kg)	总费用(运行 15 年)/万元
1	32	0	48	1.92	0.520	0.520	28.09
2	24	8	836	2.15	0.465	0.465	25.18
3	16	16	1 624	2.17	0.460	0.460	25.00
4	8	24	2 412	2.20	0.455	0.455	24.00
5	0	32	3 200	2.25	0.445	0.445	24.34

注:设电价为 1 元/(kW·h)。

由表 3 可知,总费用随 LiBr 浓度的增加先减小后增大,即存在最小值。若以溶液除湿系统全寿命周期总费用为指标来判别混合盐溶液的综合性价比,实验方案 4,即 LiBr 和 CaCl₂ 溶液配比为 3:1 的方案综合性价比最高。该方案的总费用最低,相对其他方案,总费用最高可降低 14.5%。

4 结论

本文将不同浓度比例的 CaCl₂ 和 LiBr 混合盐溶液注入溶液除湿机组,分析了溶液除湿系统的除湿能力、制冷能力等参数,得到如下结论:

1) 除湿量和除湿系数并不是简单地随 LiBr 含量

(在混合盐溶液中)的增加而增大。除湿量最大值出现在 LiBr 和 CaCl₂ 比例为 3:1 时;除湿系数最大值在单一 LiBr 溶液时,但仅比 3:1 的 LiBr 和 CaCl₂ 混合盐溶液高 2.3%。可以认为,混合盐溶液的除湿性能不一定比单一 LiBr 盐溶液差。

2) 以溶液除湿系统整个生命周期的总费用作为衡量盐溶液综合性价比的指标,得出溶液综合性价比最高的方案是比例为 3:1 的 LiBr 和 CaCl₂ 混合盐溶液,该方案的总费用最低,相对其他方案,总费用最高可降低 14.5%。

3) 一定比例下的 LiBr 和 CaCl₂ 混合盐溶液,综合性价比要高于单一的 LiBr 或 CaCl₂ 盐溶液。此结

论与盐溶液的价格关系较大。

本文由福建省科技计划引导性项目(2019H0029)资助。
(The project was supported by Science and Technology of Fujian
(No. 2019H0029).)

参考文献

- [1] 曾台焯, 张小松, 陈瑶. 利用冷凝热再生低浓度除湿溶液的实验研究[J]. 制冷学报, 2018, 39(2):76-82. (ZENG Taiye, ZHANG Xiaosong, CHEN Yao. Experimental investigation for low-concentration liquid desiccant regeneration with utilization of condensation heat[J]. Journal of Refrigeration, 2018, 39(2):76-82.)
- [2] 汪行, 柳建华, 赵永杰, 等. 液体除湿空调除湿器性能研究[J]. 制冷学报, 2017, 38(2):45-50. (WANG Xing, LIU Jianhua, ZHAO Yongjie, et al. Study on the performance of dehumidifier with liquid desiccant[J]. Journal of Refrigeration, 2017, 38(2):45-50.)
- [3] ZHANG Tao, LIU Xiaohua, JIANG Yi. Performance comparison of liquid desiccant air handling processes from the perspective of matched properties[J]. Energy Conversion and Management, 2013,75(5):51-60.
- [4] ZHAO Kang, LIU Xiaohua, ZHANG Tao, et al. Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system applied in an office building[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(6):1895-1903.
- [5] KORNOAKI I P, CHRISTODOULAKI R I, PAPAETHI-MIOU 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.
- [6] ZHANG Tao, LIU Xiaohua, JIANG Jingjing, et al. Experimental analysis of an internally cooled liquid desiccant dehumidifier[J]. Building and Environment, 2013, 63:1-10.
- [7] MOHAMMAD A T, MAT S B, SULAIMAN M Y, et al. Survey of hybrid liquid desiccant air conditioning systems[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 20:186-200.
- [8] 易晓勤, 刘晓华, 江亿, 等. 两种除湿溶液的再生性能对比实验研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(2):168-173. (YI Xiaoqin, LIU Xiaohua, JIANG Yi, et al. Experimental and analytical comparison on regenerating capability of two kinds of dehumidifying solution[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2010, 31(2):168-173.)
- [9] LIU X H, YI X Q, JIANG Y. Mass transfer performance comparison of two commonly used liquid desiccants: LiBr and LiCl aqueous solutions[J]. Energy Conversion and Management, 2011, 52(1):180-190.
- [10] DING Tao, HUANG Zhidong, WANG Pingzhi, et al. Performance of mixed salt solution in solar dehumidification system[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(10):236-240.
- [11] YANG Ying, LI Xingang, LI Weiyi, et al. Experimental study on the characteristics of solar powered liquid dehumidification system[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2000, 21(8):155-159.
- [12] ERTAS A, ANDERSON E, KIRIS I. Properties of a new liquid desiccant solution—lithium chloride and calcium chloride mixture[J]. Solar Energy, 1992, 49(3):205-212.
- [13] ZHAO Xiao, LI Xiuwei, ZHANG Xiaosong. Selection of optimal mixed liquid desiccants and performance analysis of the liquid desiccant cooling system[J]. Applied Thermal Engineering, 2016,94(7):622-634.
- [14] LI Xiuwei, ZHANG Xiaosong, WANG Geng. Research on ratio selection of a mixed liquid desiccant: mixed LiCl-CaCl₂ solution[J]. Solar Energy, 2008, 82(5):1161-1171.
- [15] TSAI C Y, SORIANO A N, LI M H. Vapour pressures, densities, and viscosities of the aqueous solutions containing (triethylene glycol or propylene glycol) and (LiCl or LiBr) [J]. The Journal of Chemical Thermodynamics, 2009, 41(5):623-631.
- [16] CHEN S Y, SORIANO A N, LERON R B. Density and vapour pressure of mixed-solvent desiccant systems[J]. The Journal of Chemical Thermodynamics, 2014, 79(4):235-241.

通信作者简介

蒋小强,男,副教授,福建工程学院生态环境与城市建设学院,(0591)22863268,E-mail:jxqiang2007@163.com。研究方向:溶液除湿空调。

About the corresponding author

Jiang Xiaoqiang, male, associate professor, College of Ecological Environment and Urban Construction, Fujian University of Technology, +86 591-22863268, E-mail:jxqiang2007@163.com. Research fields: liquid desiccant air-conditioning.