

溶液调湿空气处理技术的研究进展^{*}

北京华创瑞风空调科技有限公司 陈晓阳[☆] 从琳 张婷
清华大学 刘拴强

摘要 综述了溶液调湿空气处理技术的发展历史。重点介绍了溶液调湿空气处理技术的研究现状,特别是针对各种实际应用场合的特殊需求提出了各种新的处理流程,如全空气空调环境、无排风可利用的洁净空调环境及要求极低湿度的深度除湿环境等,指出了以后的发展趋势。为研究和设计人员了解溶液调湿空气处理技术的发展历史和研究现状,以及为设计人员针对不同环境控制需求选择合适的除湿技术提供参考。

关键词 溶液调湿 温湿度独立控制 应用方式

Research progress in liquid desiccant air conditioning technology

By Chen Xiaoyang[★], Cong Lin, Zhang Ting and Liu Shuanqiang

Abstract Reviews the development history of the liquid desiccant air conditioning technology. Presents in detail the current research status. Puts forward some new air handling processes for varied practical applications, such as the all-air air conditioning system, cleaning air conditioning system without available exhaust air and deep dehumidifying system. Points out the development trend of liquid desiccant in the future. Provides reference for researchers and designers to understand the development history and research status of liquid desiccant technology, as well as to choose suitable dehumidifying technology for different control demands in practical applications.

Keywords liquid desiccant, temperature and humidity independent control, application mode

[★] Beijing Sinorefine Air-Conditioning Technology Co., Ltd., Beijing, China

①

0 引言

随着建筑能耗的逐年增加和我国能源问题的日益严重,建筑节能问题已经成为全社会关注的重要社会问题之一。各种各样的建筑节能技术被提出并应用于各个节能示范和试点建筑中,其中包括温湿度独立控制空调系统以及其核心技术——溶液调湿技术。众多学者的理论研究和实际测试表明^[1-3],这种空调系统的运行能耗比传统空调系统降低 30% 以上。

溶液调湿是指采用具有调湿(除湿与加湿两个功能统称为调湿,下同)功能的盐溶液作为介质,如氯化锂、氯化锂或氯化钙等盐溶液,对空气的湿度进行调节,其原理如图 1 所示。被处理空气的水蒸气分压力与吸湿溶液表面蒸汽压之间的压差是水分传递的驱动力。在除湿器中,水分从空气向溶液中转移,空气被除湿,溶液被稀释;加湿过程是除湿

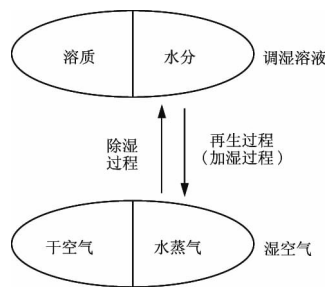


图 1 调湿溶液处理空气基本原理

的反过程,空气被加湿,溶液则被浓缩。

1 溶液调湿技术发展历史

1.1 国外溶液调湿技术发展历史

国外学者和企业对于溶液除湿技术的研究开

①[☆] 陈晓阳,男,1979 年 9 月生,硕士
100084 北京市海淀区清华科技园搜狐网络大厦 409A
(0) 13911890950
E-mail: cxy@sinorefine.com.cn
收稿日期:2010-09-19
修回日期:2010-12-06

发已经有相当长的时间。早在 1931 年, F. R. Bichowsky 在美国就取得了关于氯化锂溶液吸湿原理的专利。1934 年, 美国就有公司开始生产这种设备^[4], 大量的研究和测试工作也相继开展, 当时除了测试很多盐溶液的除湿性能外, 如氯化锂溶液、氯化钙溶液、氯化锂和氯化钙的混合溶液等, 也多次改进了设备, 主要是改进了除雾装置和溶液再生装置。干空气中氯化锂的雾滴含量也从原来的 1% 降低到 1×10^{-6} 以下, 再生器也大大简化, 使这种设备得以在各行业中普遍采用, 成为定型的系列产品。

Lof 于 1955 年提出并实验了一套采用三甘醇 (TEG) 作为除湿剂的液体除湿系统^[5], 该系统采用太阳能驱动, 先对室内回风除湿, 然后蒸发冷却降温送入室内, 但由于三甘醇会挥发到空气中, 并随空气进入室内, 对室内的人员和设备产生影响, 因而限制了该系统的应用。Sheridan 提出了类似的采用太阳能再生的液体除湿系统, 但工质更换为不挥发的氯化锂溶液^[6]。Gandhidasan 提出了一种太阳能驱动的液体除湿-蒸发冷却空调系统, 除湿过程采用冷却水冷却, 建立了一个比较简单的数学模型计算溶液除湿填料塔的除湿量, 并且和相关实验进行对比, 验证了模型具有较高的精度^[7]。Katejanekarn 等人没有对除湿后的空气采用蒸发冷却的方式降温, 而是采用冷却水来冷却除湿后的空气, 以尽可能降低送风的含湿量, 提高送风对房间的除湿能力, 经过近 9 个月的实验, 该系统送风的含湿量可低至 4.2 g/kg、相对湿度约 11%^[8]。

由于太阳能的获取受气象因素的影响较大, 具有不稳定性, Novosel 等人设计了采用燃气再生的液体除湿系统对新风除湿, 使用常规的空调系统降温, 该系统中液体除湿再生循环预测能效达到 0.71^[9]。Lowenstein 等人提出了采用燃气双效再生的溶液除湿系统, 在实例分析中, 其效率达到 1.3 以上^[10]。Albers 等人采用回风蒸发冷却得到冷量来冷却除湿过程, 使得效率提高, 采用燃气再生, 整体效率达到 1.5 以上^[11], 这是文献中效率比较高的系统, 效率提高的原因是再生器也采用了双级形式, 并且充分回收了室内排风的冷量。

近年来, 大量的研究人员开始关注利用蒸汽压缩制冷系统的冷凝器排热驱动溶液除湿的机组形式。Yadav 提出了以 R11 为制冷剂、LiBr 为除湿

溶液的热泵式除湿复合空调系统, 在高温高湿的室外条件下, 其效率优于传统空调^[12]。Lazzarin 等人介绍了一种应用于超市的热泵驱动的可以自行再生的溶液除湿系统, 通过模拟全年的室外工况得出其较常规系统节能^[13]。

目前国内外学者对于热泵驱动的绝热型溶液调湿装置研究相对较少, Lazzarin 等人提出的热泵驱动的溶液除湿机组^[13]利用冷凝器的大部分热量加热再生溶液、一部分热量预热再生空气, 而蒸发器的冷量则被直接用于冷却除湿溶液, 冷却后的溶液在对空气除湿的过程中也降低了空气的温度, 得到低温、干燥的送风, 机组原理见图 2。

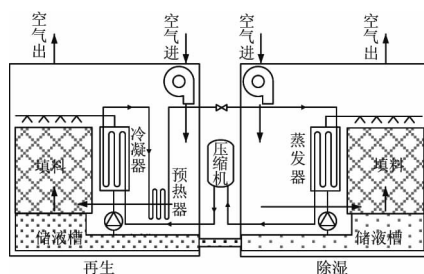


图2 Lazzarin 等人提出的热泵驱动的溶液除湿机组原理

1.2 国内溶液调湿技术发展历史

我国在上世纪 50 年代以后也陆续有文献介绍氯化锂溶液在空气除湿上的应用, 相关的研究机构也对其进行了试验研究并应用于实际工程。我国西南地区某隧洞、上海某密封胶厂以及化工部某胶片厂等工程中均应用了氯化锂溶液除湿空调系统。这些系统与当时的其他空调系统相比, 运行情况稳定, 空气处理效果较好。

到了 70 年代, 我国在三线建设中大量应用以三甘醇溶液作为除湿介质的液体除湿系统, 其原理如图 3 所示。三甘醇溶液吸湿性能好, 极限除湿能力较强, 而且在溶液喷淋过程中可以杀灭空气中的细菌并大量减少可吸入颗粒物等对人体有害的物质, 相对于其他甘醇类 (如一甘醇、二甘醇等) 物质,

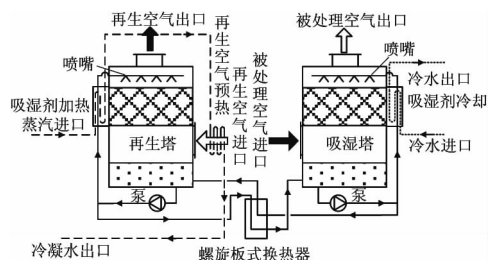


图3 三线建设中大量应用的三甘醇溶液除湿机组原理

其挥发量小,表面蒸气压低。然而,虽然三甘醇的挥发量较小,但仍然会有一部分三甘醇挥发进入空气,而且三甘醇溶液再生的驱动能源要求高。基于以上问题,以三甘醇为除湿介质的空调系统并未得到普遍的推广应用,目前仅在天然气脱水等工业场合应用。

2 溶液调湿技术发展现状

2.1 国外溶液调湿技术发展现状

2.1.1 技术发展现状

随着溶液除湿技术的日益发展,国内外越来越多的企业开始进行溶液调湿产品的研发,并在大量工程中应用了溶液调湿技术,包括日本的 Kathabar、以色列的 DuCool 和 Drykor、美国的 AiL Research 等。

其中,Kathabar 系统在工业湿度控制领域中有较高知名度,并具有较长的发展历史。其机组采用氯化锂盐溶液对空气进行除湿或加湿,通过调节溶液浓度可以使送风相对湿度达到 20%~90% 的期望值。Kathabar 机组原理如图 4 所示,在调节器(即除湿器)中空气经低温的溶液喷淋被冷却干燥,溶液吸收空气中的水分浓度降低,被输送至再生器,通过蒸汽或热水加热再生,再生后的浓溶液再次回到调节器重复使用。

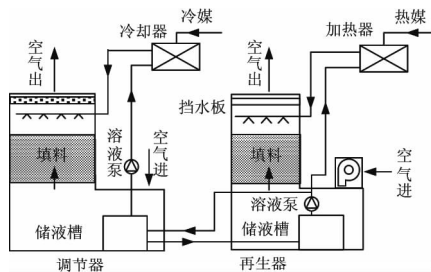


图4 Kathabar 机组原理

DuCool 公司的产品分热泵驱动和余热驱动两种,机组原理如图 5 所示。其中热泵驱动机组内置热泵系统,以蒸发器的冷量用于溶液除湿,冷凝器的排热用于溶液再生,并可回收部分冷凝器排热用于加热除湿后的空气。余热驱动的机组需要外界提供冷水和热水,分别用于溶液除湿和溶液再生,通过三通阀的切换,还可使用热水或冷水对除湿后的空气进行加热或冷却。

2.1.2 技术应用概况

目前国外溶液除湿空调设备企业的产品主要应用在办公楼、酒店、商场等舒适性空调领域,以及

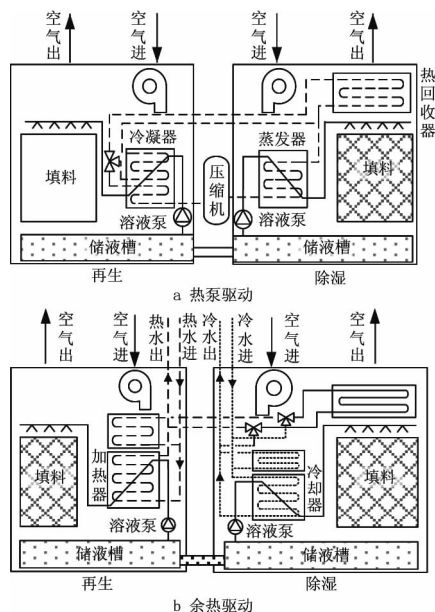


图5 DuCool 机组原理

医院、药厂、电子厂房、工业低湿厂房等恒温恒湿空调领域,如上海华维电子厂房无尘室、意大利米兰医院透析中心、包头金兴药业^[14]、加拿大 Technophar 公司制药设备生产车间、美国芝加哥 Brach & Brock 公司车间等。

2.2 国内溶液调湿技术发展现状

2.2.1 技术发展现状

近年来,国内学者对于太阳能余热驱动的方案除湿系统的研究取得了较大进展。张小松等人提出了太阳能溶液除湿与蒸发冷却技术结合的复合式系统,介绍了适用于高湿地区的太阳能集热/再生器的结构,并提出了辐射供冷与太阳能驱动的复合式溶液除湿系统,解决了房间内空气处理的热湿耦合问题^[15-16]。殷勇高等人研究了太阳能驱动的溶液除湿蒸发冷却空调系统的蓄能特性,指出利用溶液蓄能的效果远好于常规蓄能方式^[17]。

在热泵驱动的溶液调湿装置方面,代彦军等人提出了液体除湿和电压缩制冷的混合系统,并进行了实验研究,该系统回收了热泵冷凝器中的热量用于溶液再生,结果表明,该系统的制冷量比单纯蒸汽压缩制冷系统大 20%~30%^[18]。

近年来,清华大学建筑节能研究中心溶液调湿技术课题组对热泵驱动、余热驱动溶液调湿技术和装置进行了系统、深入的研究,并取得了大量的研究成果。李震等人提出了包含溶液全热回收单元、

并将溶液除湿和再生过程与一套热泵系统结合起来的复合式溶液除湿装置^[19-20]。刘晓华等人对李震等人提出的机组结构进行了改进,将机组中的全热回收单元改为上下两级直接连通,实测数据显示

改进后的全热回收单元热回收效率比之前提高 11%~16%^[21]。在以上研究的基础上,刘拴强等人提出了采用双级除湿/再生的溶液调湿新风机组^[22],其原理图见图 6。

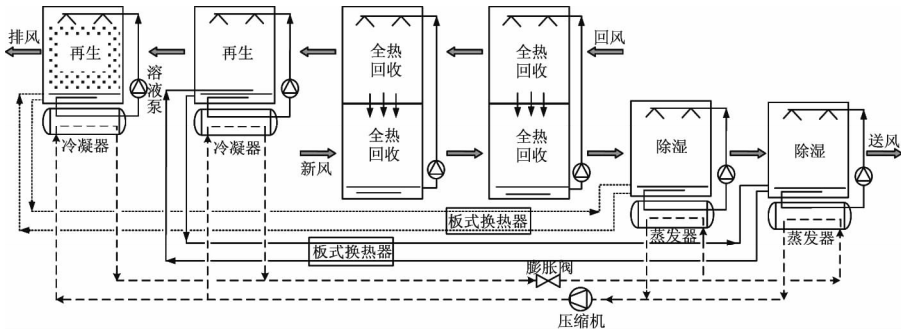


图 6 热泵驱动的双级除湿/再生溶液调湿新风机组原理

2.2.2 技术应用概况

目前,国内已有多个项目采用了基于溶液调湿技术的温湿度独立控制空调系统,如表 1 所示。其

表 1 国内温湿度独立控制空调系统应用案例

项目名称	冷源形式	系统形式
北京 北京人民医院急诊大厅	高温冷水机组	新风加风机盘管
清华大学超低能耗示范楼	高温冷水机组	新风加风机盘管、 新风加辐射末端
北京 印钞厂	高温冷水机组	全空气一次回风
解放军 301 医院	高温冷水机组	全空气一次回风
广东 招商地产总部办公楼	高温冷水机组	新风加风机盘管、 新风加辐射末端
南方报业佛山印刷基地	高温冷水机组	全空气一次回风
上海 上海虹桥科技产业园	高温冷水机组	新风加风机盘管
世博园沪上生态家	高温冷水机组	新风加风机盘管
江苏 南京锋尚国际公寓	地源热泵机组	新风加辐射末端
徐州卷烟厂	高温冷水机组	新风加风机盘管

中,北京大学人民医院急诊大厅使用的是溶液调湿新风机组,在 2003 年 SARS 期间,该机组的使用有效地缓解了急诊大厅交叉感染的问题。同时,深圳招商地产南海意库项目^[23]是华南地区最早设计采用温湿度独立控制空调技术的项目之一,也是该技术应用较为全面的工程项目,可为高温潮湿地区项目的设计提供参考和借鉴。此外,在北京印钞厂、南方报业等工业厂房采用溶液调湿空调机组,不仅能满足生产工艺的温湿度要求,而且能有效减小能耗,响应国家节能减排的号召。

3 适用于不同应用场合的溶液调湿技术

3.1 舒适性空调系统

舒适性空调以室内人员为服务对象,目的是创造舒适的空气环境,可分为风机盘管加新风系统和全空气系统,主要用于办公楼、商场、酒店、医院非

洁净区域等舒适性环境。

3.1.1 风机盘管加新风系统

风机盘管加新风系统一般应用于小型独立空调房间,如办公楼、写字楼、宾馆客房等。采用溶液调湿技术的温湿度独立控制空调系统应用形式如图 7 所示。夏季,室外新风(状态点 W)进入溶液

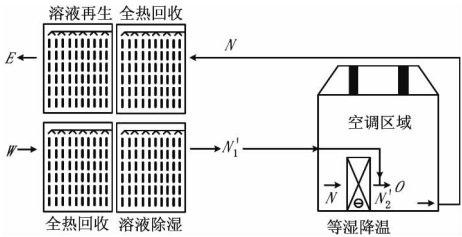


图 7 基于溶液调湿技术的风机盘管加新风系统

调湿新风机组,经过全热回收、溶液除湿处理到 N_1' 点,与经过干式风机盘管降温处理的回风(状态点 N_2')混合,送入室内。由新风机组承担全部人员负荷(包括显热和潜热),风机盘管通入高温冷水,承担其他室内显热负荷。对应的空气处理过程如图 8 所示。

3.1.2 全空气系统

全空气系统应用于高大空间,如商场、影剧院、博物馆、体育馆、火车站等。溶液调湿全空气机组应用形式和空气处理过程分别如图 9 和图 10 所示。室外新风(状态点 W)经过全热回收、溶液除湿处理到 N_1' 点,与室内回风 N 混合后,被等湿冷却处理到送风状态点 O 。

3.2 洁净空调系统

根据控制对象洁净室分为生物洁净室和工业

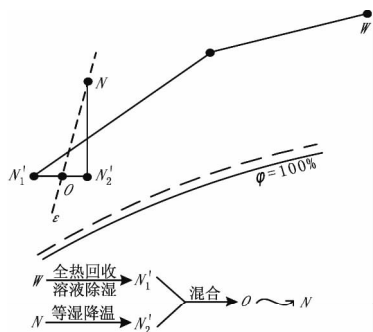


图8 基于溶液调湿技术的风机盘管加新风系统空气处理过程

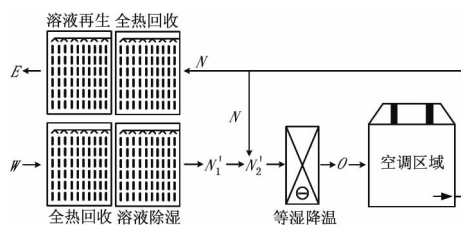


图9 基于溶液调湿技术的全空气系统应用形式

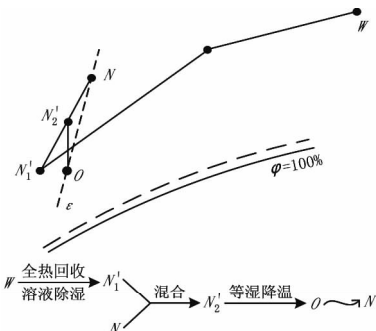


图10 基于溶液调湿技术的全空气系统空气处理过程

洁净室两大类,空调系统都以控制微粒污染为主要任务,主要功能需包括:有效阻止室外的污染物侵入室内,迅速有效地排除室内已发生的污染和控制污染源,消除污染物产生的环境。

采用基于溶液调湿技术的温湿度独立控制空调系统,有利于实现第一、第三项功能(第二项功能取决于室内换气次数)。首先,盐溶液具备杀菌净化的特性,有利于消除新风中细菌和灰尘^[24-25];其次,温湿度独立控制空调系统可使盘管在干工况下运行,盘管表面不会产生冷凝水,消除了产生微粒污染的滋生源。

3.2.1 无排风可利用的洁净空调

对于洁净手术部、医药厂房等生物洁净室,循环风量较大,室内需维持一定正压,排风无法用于热回收或溶液再生,溶液调湿技术的应用形式及空

气处理过程如图11和图12所示。新风集中处理,然后根据需要分配到各个循环机组中。夏季,室外新风(状态点W)进入溶液调湿新风机组,首先经14℃/19℃的高温冷水预冷除湿到L点(露点温度19℃),然后再经过溶液除湿处理到N₁'点,经过中效、亚高效过滤器过滤后,进入循环机组与室内回风混合到N₂'点,再由14℃/19℃的高温冷水等湿冷却到O点后送入洁净区域。

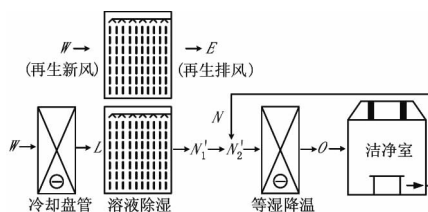


图11 无排风可利用的洁净厂房空调系统应用形式

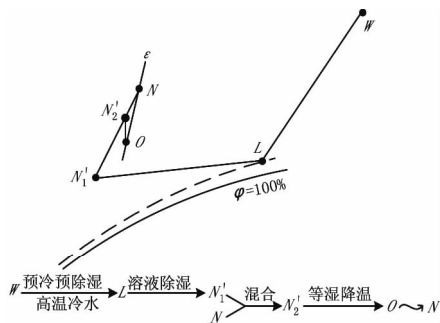


图12 无排风可利用的洁净厂房空气处理过程

现代洁净电子厂房为工业洁净厂房,其空调系统的设计已融入温湿度独立控制的理念,传统的方法为低温冷水一部分供入新风机组,对新风独立除湿,另一部分进入板式换热器换热升温后供给干式风机盘管,对回风单独降温。新回风混合后再使用高效过滤器机组(FFU)过滤后送入室内。将溶液调湿技术应用于上述系统,用于新风独立除湿,可取消低温冷水,简化冷水系统,同时提高制冷机效率,系统应用形式如图13所示。室外新风(状态点

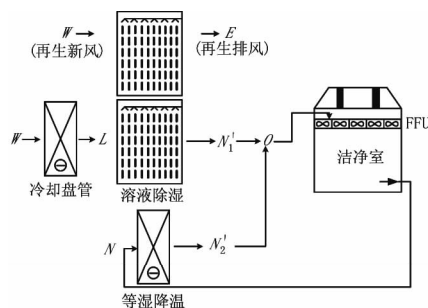


图13 溶液调湿技术在洁净电子厂房的应用形式

W) 进入溶液调湿新风机组后, 首先经 14℃/19℃ 的高温冷水预冷预除湿到 L 点, 然后再经过溶液除湿处理到 N'_1 点, 经过中效、亚高效过滤器过滤后送入洁净区域的吊顶上部, 与经干式风机盘管降温的回风 N'_2 混合, 再经高效过滤器机组 (FFU) 加压送入室内。空气处理过程如图 14 所示。

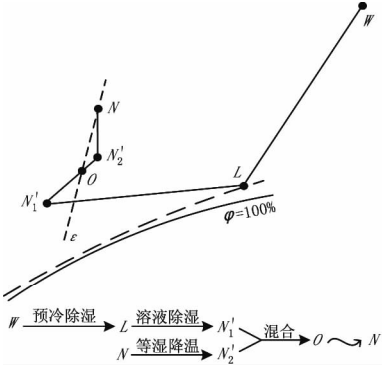


图 14 电子厂房空气处理过程

3.2.2 排风可利用的洁净空调

对于有排风可用的洁净室, 可采用含有溶液全热回收的机组, 应用形式及其空气处理过程如图 15 和图 16 所示。新风集中处理, 然后根据需要分配到各个循环机组中。夏季运行时, 室外新风 (状态点 W) 进入溶液调湿新风机组后, 先与排风进行换热, 然后再经过溶液除湿处理到 N'_1 点, 经过中效、亚高效过滤器过滤后, 进入循环机组与室内回风混合到 N'_2 点, 再由 14℃/19℃ 的高温冷水等湿

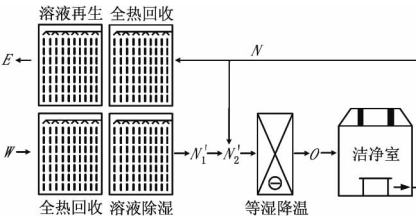


图 15 排风可利用的洁净厂房系统应用形式

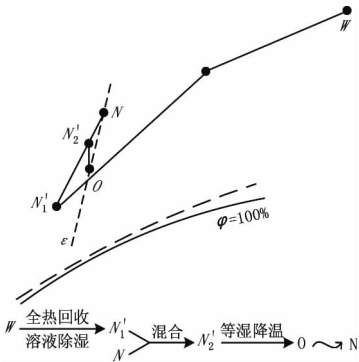


图 16 排风可利用的洁净厂房空气处理过程

冷却到 O 点后送入洁净区域。

3.3 深度除湿空调系统

许多生产工艺都必须在低湿环境中进行, 传统的处理方式冷却除湿和转轮除湿。由于冷水温度有限, 冷却除湿的除湿能力有限, 且出水温度降低后冷水机组能耗也有所提高; 转轮的除湿能力较强, 但转轮再生需要高品位的电能或蒸汽。溶液除湿方式介于两者之间, 其显著特点是除湿过程不需要低温冷源冷却空气^[1], 也不需要高品位的热源进行再生。因此, 溶液调湿技术在低湿环境领域应用潜力较大。

深度除湿系统应用形式如图 17 所示, 室内回风 (状态点 N) 进入热泵式溶液深度除湿机组后, 经过多级溶液除湿处理到低湿状态 O 点, 送入室内。

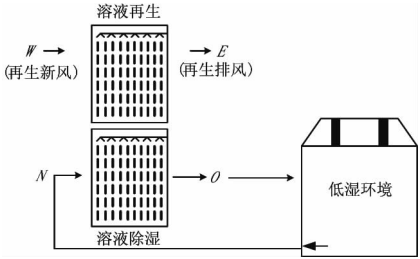


图 17 深度除湿空调系统应用形式

4 溶液调湿技术的发展趋势

现阶段, 溶液调湿技术与高温冷水机组、地源热泵、水蓄冷等节能技术的结合都已经有了工程应用, 在后续研究和工程实践中, 如何将溶液调湿技术与这些节能技术进行最佳结合, 以取得更好的节能效果, 将是今后研究的重点。此外, 随着太阳能技术的迅速发展, 如何高效利用太阳能产生的低品位热源驱动溶液再生, 构建无需外接热源的太阳能溶液调湿空调系统, 以最大程度地降低碳排放, 必将成为下一步研究的热点。

此外, 对于溶液调湿装置本身的优化, 进一步提高其传热传质效率, 提高机组的性能系数 (COP), 并研究适应于更多实际工程需求的溶液调湿空气处理机组形式, 也将是未来研究发展的趋势。

5 结论

5.1 溶液调湿技术的研究开发已经有相当长的时间, 国内外均取得大量的理论研究成果, 并有成熟产品广泛应用于各种空调系统环境。

5.2 溶液调湿技术针对各种实际应用场合均有相应的应用形式, 如舒适性空调的空气-水系统和全空

气系统、无排风和排风可利用的洁净空调环境、深度除湿环境等,具有良好的节能和空调效果,对不同环境控制需要,可相应选择合适的除湿方案。

5.3 溶液调湿技术与其他节能技术结合应用的优化设计,溶液调湿装置自身的优化设计,以及适用于不同应用环境的装置形式的开发与优化,将会是近期研究和探索的主要方向。

参考文献:

- [1] 刘晓华,江亿. 温湿度独立控制空调系统[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [2] 张桂荣,李敏霞,郝长生. 温湿度独立控制在医院建筑中的应用研究[J]. 建筑热能通风空调,2008,27(4):37-39
- [3] 陈晓阳,江亿,李震. 湿度独立控制空调系统的工程实践[J]. 暖通空调,2004,34(11):103-109
- [4] 王师俊. 氯化锂溶液除湿机[J]. 明胶科学与技术,1984,4(3):134-137
- [5] Lof G O G. Cooling with solar energy [C]// Congress on Solar Energy. Tucson, AZ, 1955:171-189
- [6] Sheridan N R. Solar air conditioning[M]. Australia: JIE, 1961:47-52
- [7] Gandhidasan P. Analysis of a solar space cooling system using liquid desiccants[J]. ASME J of Energy Resources Technology,1990,112:246-250
- [8] Katejanekarn T, Chirarattananon S, Kumar S. An experimental study of a solar-regenerated liquid desiccant ventilation pre-conditioning system [J]. Solar Energy,2009,83(6):920-933
- [9] Novosel D, Griffiths W C. Active humidity control through gas-fired desiccant humidity pump [C]// Proceedings of the Fifth Annual Symposium on Improving Building Energy Efficiency in Hot and Humid Climates. Houston, Tex, 1998:150-154
- [10] Lowenstein A I, Novosel D. The seasonal performance of a liquid-desiccant air conditioner [G]//ASHRAE Trans, 1995,101(2):679-685
- [11] Albers W F, Beckman J R, Famer R W, et al. Ambient pressure, liquid desiccant air conditioner [G]//ASHRAE Trans,1991,97(2):603-608

- [12] Yadav Y K. Vapor-compression and liquid desiccant hybrid solar space-conditioning system for energy conservation[J]. Renewable Energy,2005,7(6):719-723
- [13] Lazzarin R M, Castellotti F. A new heat pump desiccant dehumidifier for supermarket application [J]. Energy and Buildings,2007,39(1):59-65
- [14] 杨一心. 卡萨巴空气处理系统[J]. 医药工程设计,1997,18(2):9-14
- [15] 张小松,彭冬根,殷勇高. 太阳能溶液除湿制冷技术研究进展[J]. 东南大学学报:自然科学版,2008,38(6):1126-1132
- [16] 张小松,费秀峰. 溶液除湿蒸发冷却系统及其蓄能特性的初步研究[J]. 大连理工大学学报,2001,41(S1):30-33
- [17] 殷勇高,张小松,李应林,等. 蓄能型太阳能溶液除湿蒸发冷却空调系统的研究[J]. 东南大学学报:自然科学版,2005,35(1):73-76
- [18] Dai Y J, Wang R Z, Zhang H F. Use of liquid desiccant cooling to improve the performance of vapor compression air conditioning [J]. Applied Thermal Engineering,2001,21(12):1185-1202
- [19] 李震,刘晓华,江亿,等. 带有溶液热回收器的新风空调机[J]. 暖通空调,2003,33(6)(暖通空调 SARS 特集):55-57
- [20] 李震. 湿空气处理过程热力学分析方法及其在溶液除湿空调中应用[D]. 北京:清华大学,2004
- [21] 刘晓华,李震,江亿. 溶液全热回收装置与热泵系统结合的新风机组[J]. 暖通空调,2004,34(11):98-102
- [22] 刘拴强,江亿,刘晓华,等. 热泵驱动的双级溶液调湿新风机组原理及性能测试[J]. 暖通空调,2008,38(1):54-63
- [23] 刘拴强,杨海波. 招商地产三洋 3# 厂房改造温湿度独立控制空调系统应用介绍[J]. 供热制冷,2008(7):27-30
- [24] 铃木谦一郎,大矢信男. 除湿设计[M]. 李先瑞,译. 北京:中国建筑工业出版社,1983
- [25] 张伟荣,曲凯阳,刘晓华,等. 溶液除湿方式对室内空气品质的影响的初步研究[J]. 暖通空调,2004,34(11):114-117

~~~~~

#### · 简讯 ·

### 2010 年中国天津(环渤海)低碳绿色环保主题论坛年会召开

由天津制冷学会主办、天津市爱特商桥广告有限公司承办的 2010 年中国天津(环渤海)低碳绿色环保主题论坛年会于 2010 年 12 月 3 日在天津举行。天津大学由世俊教授作了《建筑能效交易与节能减排》的报告,天津工业大学何耀东教授作了《地源热泵设计工程案例与分析》的报告,

天津大学马一太教授作了《制冷空调系统节能设计关键问题》的报告,天津大学赵军教授作了《可再生能源未来与现实》的报告。相关企业也在会上进行了技术交流。约 300 余人参加了会议。

(本刊特约通讯员 吴延鹏)