

新的淡水水源——空气取水

张欣茹, 姜泽毅, 张欣欣, 柳翠翠, 杨怡菲

(北京科技大学机械工程学院, 北京 100083)

摘要 :介绍 3 种方法收集空气中的水资源 :①制冷结露法,将湿空气温度降到露点以下,使其中的水蒸气结露而获得液态水 ;②吸附法,含湿空气流过吸附剂,其中的水蒸气被吸附,然后加热吸附剂使水分脱附,从而得到淡水 ;③聚雾取水法,将雾中小水滴分离出来的取水方法。为提高空气取水技术的取水率还需探讨含湿空气在甲虫背部的凝结析水机理和开发高效吸附剂。

关键词 :空气取水 ;淡水 ;制冷结露法 ;吸附法 ;聚雾取水

中图分类号 :TV213 **文献标识码** :B **文章编号** :1004-693X(2007)03-0060-03

A new source of fresh water : Water extraction from air

ZHANG Xin-ru, JIANG Ze-yi, ZHANG Xin-xin, LIU Cui-cui, YANG Yi-fei

(Department of Mechanical Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract :Three methods of water extraction from air (WEA), i. e. water extraction from air by refrigeration (WEAR), water extraction from air by adsorption (WEAA) and fog water collection (FWC), were illustrated in this paper. WEAR is to obtain the liquid water by the dew of vapor through refrigeration of the humid air. WEAA is to obtain the fresh water by heating the adsorbent, which adsorbs the vapor of humid air. FWC is to obtain water from the little drips in fog. The coagulation and water extraction mechanisms of humid air on the back of beetle and the development of adsorbents with high adsorption efficiency are to be further studied for improving the water extraction efficiency.

Key words :water extraction from air ; fresh water ; water extraction from air by refrigeration ; water extraction from air by adsorption ; fog water collection

水是生命的源泉,是人类不可替代的宝贵自然资源。自人类文明发展以来,工业化和都市化不断加剧着对水体的污染。愈来愈严重的供水不足,已成为世界性难题。联合国不止一次发出警告:除非各国采取有力措施,否则到 2025 年世界将有约 1/3 人口得不到安全的饮用水供应^[1-4]。虽然我国的淡水资源总量并不贫乏,但由于人口众多,人均淡水量只有世界平均值的 1/3。由于我国地质、气候条件复杂,淡水分布极不平衡,南部和东部地区较丰富,而西北地区则较为匮乏。因此,我国淡水资源总体表现非常紧张,甚至在有些地区已达到了滴水贵如油的情况^[1]。

但是人类生存和社会发展需要充足的淡水资

源,目前通过传统方式,如开采地下水、抽取河流水、海水淡化等^[5]已难以满足人类的淡水需求。为解决淡水匮乏这一世纪性、全球性的挑战,除了要注意在平时生产和生活中节约用水外,还应采用先进、巧妙、灵活的技术,开辟更多、更新、更广的途径以保证人类的淡水供给。

近年来,科研人员针对这一问题展开了大量研究,探索出从空气中获取淡水资源这一新思路,简称空气取水。此技术的突出优点是应用地区不受限制,尤其可解决某些特殊环境下淡水获取困难的问题。

1 空气取水技术

空气作为自然界水循环过程中水蒸气存在的一

基金项目 :国家自然科学基金(50506005)

作者简介 :张欣茹(1982—),女,河北衡水人,硕士研究生,研究方向为空气取水中的热质传递。E-mail :zhang_xin_ru@163.com

种介质,携带水蒸气完成循环。采取一定方法收集空气中的水资源并加以利用,即为空气取水技术^[6]。根据采用方法的不同,空气取水技术可分为传统方法和非传统方法两类,如图1所示。

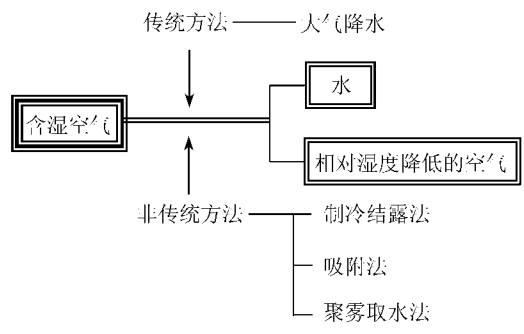


图1 空气取水类型

1.1 制冷结露法

制冷结露法是将湿空气温度降到露点以下,使其中的水蒸气结露而获得液态水。

JANNOT Y^[7]提出了一种利用制冷结露法进行空气取水的系统,并进行了实验分析,如图2(a)所示。此系统利用太阳能吸附式热泵的蒸发端对凝水表面进行冷却,使空气中水蒸气结露,水在重力下落入下方集水盘中,并汇集至存水器中贮存。但实验研究表明:由于系统能量转换环节较多,造成可用能损失较大,累积取水率较低。

为提高制冷结露法的取水率,科研人员对系统进行优化设计,并尝试采用不同的制冷形式。较有代表性的是太阳能半导体制冷结露法空气取水系统^[8],如图2(b)所示。它采用太阳能半导体制冷系统对凝水表面冷却,同时在系统中添加回热器,使从凝水室出去的温度较低的空气和进入取水器的空气充分换热,从而使湿空气在进入冷板前得到预冷,同时也回收了冷量。此方法减少了能量转换环节,并回收了凝结水后空气的冷量,取水率有一定提高,初步解决了由于中间能量转换环节导致的低取水率问题。

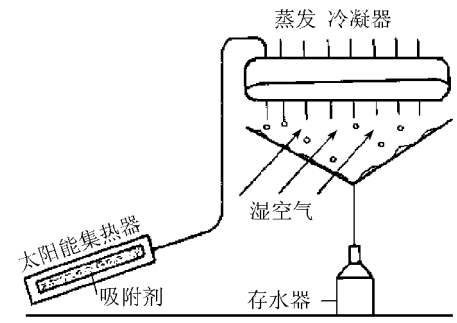
目前,美国、加拿大、新加坡等国均已研制出了采用制冷结露法的空气取水机,可初步满足所需。2004年底,由我国空军工程设计研究局所开发的“野外作业用空气取水设备”通过国家验收,并填补了国内空白。

1.2 吸附法

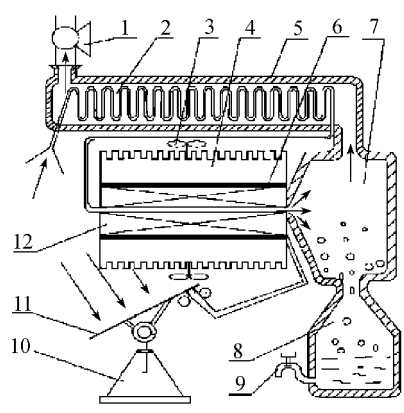
含湿空气流过吸附剂,其中的水蒸气被吸附,然后加热吸附剂使水分脱附,从而得到淡水,即为吸附法。

吸附剂有固态和液态两种,固态多采用新型复合多孔介质,液态为某些强吸湿性的浓溶液。但因大部分浓溶液对人体有危害,所以一般多采用固态吸附剂。

1992年繼乔力提出了一种高效太阳能吸附式空气取水方案,并进行了后续研究。如图3所示,夜晚吸附剂从流动的低温空气中吸附水分,白天吸附剂被密封在玻璃容器中,利用太阳光聚焦加热使其水分脱附,水蒸气在容器内表面凝结、汇集,实现空气取水^[9]。



(a) 太阳能吸附式



(b) 太阳能半导体制

- 1—风机 2—板式回热器 3—散热器 4—散热片 5—隔层 6—热电堆 7—凝水室 8—集水器 9—放水阀门 10—二维自动旋转台 11—可折叠式太阳能电池板 12—冷板

图2 制冷结露空气取水系统

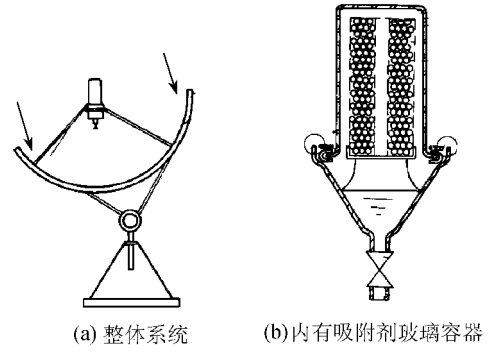


图3 太阳能吸附空气取水系统

关于吸附法,国内外研究较多^[10-15]。为提高该方法的取水率,研究重点侧重于高效吸附剂的开发,其中单位质量吸附剂获得最大循环出水量是关键问题之一。

20世纪90年代,ARISTOV^[10]等配制出了无机盐(CaCl₂、SrCl₂、Na₂SO₄等)与直径为0.25~0.5mm

的粉末状硅胶的复合材料。实验表明,每 100 g 吸附剂最大取水可达 50 g 水,但这种复合吸附剂的吸附/解吸的动力学特性分析是在闭式系统、只存在水蒸气的条件下得出的。而实际应用中吸附过程是在开式系统和湿空气中进行,因此会影响吸附剂的吸附/解吸性能。

针对吸附剂的开发,国内学者进行了诸多工作^[14-15],已研制出新型复合吸附剂 $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} \cdot y\text{CaCl}_2$,并模拟塔克拉玛干沙漠地区的气候条件(空气温度 25℃、相对湿度 40%)进行了等温等压的吸附量测试实验及解吸速度实验。结果表明,复合吸附剂的平衡吸附量和吸附速度等方面明显好于其他常用吸附剂。另外,我国已研制出最大吸附水能力达 175% 的吸附剂^[15],此吸附剂在 80℃ 脱附温度时,可脱附 90% 以上的总吸附水量,每 1000 g 吸附剂可脱附水量高达 1.6 kg,是理想的空气取水器吸附材料。

目前,由德国波莱梅化学工程研究所采用吸附蒸发法研制的空气取水系统,已在约旦安装,且运行良好,经济效益显著,并向非洲和阿拉伯沙漠地区推广使用。

1.3 聚雾取水法

将雾中小水滴分离出来的取水方法,称聚雾取水。聚雾取水一般采用巨幅尼龙屏障,吸附雾中小液滴,并使之聚合长大,这样大水珠就会沿着倾斜的尼龙线流到集水器中,如图 4 所示。

聚雾取水因成本低、效率高,在帐篷取水、建筑物取水等领域都有应用,但其受环境限制,只适宜在多雾且缺水的地方推广。



图 4 聚雾取水

在我国聚雾取水并不多见,而在南美洲西部的智利,智利北部地区基本终年无雨,严重干旱,但西风或西南风常把海上潮湿的空气源源不断送到这里,受到山脉阻挡后易形成云和雾,因此这个地区就

比较早地采用了聚雾取水。通常一台聚雾集水器,可每日供应 1.5 万 L 的水给 700 人使用^[16-21]。

2 空气取水的优势及面临的问题

空气取水为解决淡水匮乏问题提供了新思路,由于其原料为含湿空气,因此应用范围广泛,不仅可满足日常生活所需,且尤其适于水质差、水源比较缺乏或水运输不方便的地方,如部队的高山哨所、边防海岛、沼泽地、戈壁滩及其他一些干旱、半干旱地区等。解决这些恶劣环境下的供水问题,随时随地保证人们喝到安全、清洁的饮用水。若空气的相对湿度越大,产水量也越高,此外,空气取水技术还可应用在常年潮湿的地区,作为除湿机使用,甚至可应用在多雾地区,作为除雾机使用,实现一机多用。

空气取水技术存在的弊端是取水率较低。一方面,虽然空气中水资源总量很大,但单位质量的相对水含量却较少;另一方面是由于技术本身亟待完善。如现有制冷结露法空气取水系统的凝水冷表面一般为普通金属,金属的高表面能,使冷凝水易形成水膜,并造成传热恶化,因而凝水率较低;若改用低表面能的材料,虽会形成小水珠,并强化传热,但却有可能因水珠较小,而被风吹走,这样集水率也会降低。对吸附法而言,开发出具有更大出水量的吸附剂仍是关键问题。而对聚雾取水法,为保证雾滴吸附及长大过程的顺利进行,选择合适的聚雾材料也是面临的重要问题之一。

空气取水的低取水率在某种程度上限制了它的大面积推广,因此,如能研制出高效率、高性能的空气取水装置,其应用前景将会更加广阔。

3 研究趋势分析及展望

空气取水的研究趋势主要集中在采用新的技术形式以提高其取水率,并拓宽其应用范围方面。例如,国外一些研究者发现生活在纳米比亚沙漠的 *Stenocara* 甲虫可利用它特殊的背部表面自动获取空气中的水分,来满足生存所需^[22-26]。人们由此得到启发,制作相应仿生表面,作为制冷结露法中的凝水冷表面或聚雾取水法中的聚雾材料,通过探讨含湿空气在 *Stenocara* 甲虫背部的凝结析水机理,有可能提供一种提高取水率的新途径。对吸附法而言,高效吸附剂的开发是提高其取水率的主要方式。

在学科交叉蓬勃发展的今天,将相关有益技术成果引入到空气取水中来,有可能提供新的思路,并有望成为以后大型化、人工空气取水的基础。

(下转第 79 页)

的配合作用,这种配合作用影响到铝、铁离子的水解过程,从而使PAFSC有较好的稳定性。

b. PAFSC水解产物的电泳特性与pH值密切相关。与PAC相比,聚硅酸与铁的加入,影响了铝离子水解产物的Zeta电位值,尤其是聚硅酸的作用,使铝离子水解产物的Zeta达到零电位状态时的pH值降低。

c. 聚硅酸与铝、铁离子及其水解产物间发生了配合作用,提高了其吸附架桥作用,对模拟废水的除浊效果明显提高。

参考文献:

[1] 黄华林. 利用钛白副产品硫酸亚铁和废酸研制氯化聚合

(上接第62页)

参考文献:

- [1] 张宏仁. 中国的淡水资源问题[J]. 资源·产业, 2001, 3(4):5-11.
- [2] VIRJEE K, GASKIN S. Fuzzy cost recovery in planning for sustainable water supply systems in developing countries[J]. Energy, 2005, 30(8):1329-1341.
- [3] FEDLER C B. Recycling water saves future drinking supplies[J]. BioCycle, 2005, 46(2):50-55.
- [4] KIRSHEN P, MCCLUSKEY M, VOGEL R, et al. Global analysis of changes in water supply yields and costs under climate change: a case study in China[J]. Climatic Change, 2005, 68(3):303-330.
- [5] 解利昕. 海水淡化技术现状及各种淡化方法评述[J]. 化工进展, 2003, 22(10):1081-1084.
- [6] BAR E. Extraction of water from air-an alternative solution for water supply[J]. Desalination, 2004, 165(suppl):335.
- [7] JANNOT Y. Production deau par condensation de I humidite atomosph erique[J]. Revre Generale de Thermique Decembre, 1993, 6:705-709.
- [8] 叶继涛, 谢安国, 陈儿同. 太阳能半导体制冷结露法空气取水器的研究[J]. 鞍山科技大学学报, 2004, 27(4):282-285.
- [9] 缙乔力. 太阳能吸附式空气取水器的技术方案及其理论和实验研究[J]. 太阳能学报, 1994, 15(4):335-340.
- [10] ARISTOV Y I, TOKAREV M M, GORDEEVA L G, et al. New composite sorbents for solar-diventchnology of fresh water production from the atmosphere[J]. Solar Energy, 1999, 66:165-168.
- [11] FASTYN P, KORNACKI W, GIERCZAK T, et al. Adsorption of water vapour from humid air by selected carbon adsorbents[J]. Journal of Chromatography, 2005, 1078:7-12.
- [12] TORIBIO F, BELLAT J P, NGUYEN P H. Adsorption of water vapor by poly(styrene) sulfonic acid sodium salt-Isothermal and isobaric adsorption equilibria[J]. HVAC and R Research, 2005, 11(2):305-317.
- [13] AHMED S. Absorption/regeneration non-conventional system for water extraction from atmospheric air[J]. Renewable

硫酸铈[J]. 广东化工, 1998(4):41-42.

- [2] 刘长春, 余钱伟, 刘萍, 等. 硫酸法钛白粉副产品废酸的综合利用[J]. 焦作大学学报, 2002(2):12-15.
- [3] 岳钦燕, 刘玉真, 高宝玉, 等. 聚合硅酸氯化铝铁混凝剂的制备及其特性[J]. 山东大学学报, 2001, 36(4):425-428.
- [4] 高宝玉, 李翠平. 铝离子与聚硅酸的相互作用[J]. 环境化学, 1993, 14(4):270-272.
- [5] KERVEN G I. Derimental effects of sulfate on the formation of Al₁₃ tridecameric polycation in synthetic soil solutions[J]. Soil Sci Soc Am J, 1995, 59(16):7.
- [6] 朱开金. 聚硅酸铝铁与聚硅酸铝对废水混凝效果的比较[J]. 工业水处理, 2003, 23(6):26-27.

(收稿日期 2005-10-22 编辑 舒建)

Energy, 2004, 29(9):1515-1535.

- [14] 刘业凤, 范宏武, 王如竹. 新型复合吸附剂 SiO₂·xH₂O·yCaCl₂ 与常用吸附剂空气取水性能的对比实验研究[J]. 太阳能学报, 2003, 24(2):141-144.
- [15] 季建刚, 黎立新, 蒋维钢. 高效太阳能吸附式空气取水器吸附剂[J]. 化学工程, 2004, 32(3):6-8.
- [16] MARIA V, MARZOL J. Fog water collection in a rural park in the Canary Islands(Spain) [J]. Atmospheric Research, 2002, 64:239-250.
- [17] MA C J, KASAHARA M, TOHNO S, et al. A replication technique for the collection of individual fog droplets and their chemical analysis using micro-PIXE [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(33):4679-4686.
- [18] SHANVENGANA E S, SANDERSON R D, SEELY M K, et al. Testing greenhouse shade nets in collection of fog for water supply[J]. Journal of Water Supply Research and Technology, 2003, 52(3):237-241.
- [19] AL-JAYYOUSI O R, MOHSEN M S. Evaluation of fog collection in Jordan[J]. Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Management, 1999, 13(3):195-199.
- [20] LOUW C, VAN HEERDEN J, OLIVIER J. South African fog-water collection experiment meteorological features associated with water collection along the eastern escarpment of South Africa[J]. Water South Africa, 1998, 24(4):269-280.
- [21] SCHEMENAUER R S, CERECEDA P. The quality of fog water collected for domestic and agricultural use in Chile[J]. Journal of Applied Meteorology, 1992, 31(3):275-290.
- [22] ANDREW R P, CHRIS R L. Water capture by a desert beetle[J]. Nature, 2001, 414:33-34.
- [23] ADAM S. Like water off a beetle's back[J]. Natural History, 2004(2):26-27.
- [24] ANDREW R P, GEORGINA H. Water-harvesting beetle[J]. Nature Australia, 2002, 27:10.
- [25] HAMILTON II W J, HENSCHER J R, SEELY M K. Fog collection by Namib Desert beetles[J]. South African Journal of Science, 2003(4):181-182.
- [26] NAIDU S G. Water balance and osmoregulation in Stenocara gracilipes, a wax blooming tenebrionid beetle from the Namib Desert[J]. Journal of Insect Physiology, 2001, 47:1429-1440.

(收稿日期 2005-09-30 编辑 舒建)