

Engineering Application Analysis of Energy Tower Heat Pump Antifreeze Regeneration Technology

Wanfu Lin¹, Jiawei Li², Feng Liu³, Yufei Huang²

¹Air Force Wuhan Housing Administration, Wuhan Hubei

²School of Energy and Power Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

³Zhenjiang First People's Hospital of Jiangsu, Zhenjiang Jiangsu

Email: hzc5175414@sina.com

Received: Jun. 4th, 2018; accepted: Jun. 20th, 2018; published: Jun. 28th, 2018

Abstract

Energy tower heat pump (heat source tower heat pump) is a green and environment-friendly energy saving product. It has many applications in the central air conditioning systems. The regeneration of antifreeze liquid is one of the core technologies of the energy tower heat pump. Based on the analysis of the regeneration method and equipment of the antifreeze liquid of the energy tower heat pump, the working principle, the regeneration performance, the advantages and disadvantages and the development trend of the regenerative equipment of the energy tower heat pump are presented in this paper. Finally, a new technology of the new energy tower heat pump antifreeze is put forward.

Keywords

Energy Tower Heat Pump, Antifreeze Liquid, Solution Regeneration

能源塔热泵防冻液再生技术工程应用分析

蔺万富¹, 李家伟², 刘 枫³, 黄与飞²

¹空军武汉某房管处, 湖北 武汉

²江苏大学能源与动力工程学院, 江苏 镇江

³江苏省镇江市第一人民医院, 江苏 镇江

Email: hzc5175414@sina.com

收稿日期: 2018年6月4日; 录用日期: 2018年6月20日; 发布日期: 2018年6月28日

摘要

能源塔热泵(亦称热源塔热泵)是绿色环保节能产品,在中央空调系统工程中有许多应用,防冻液再生是能源塔热泵的核心技术之一。本文围绕能源塔热泵防冻液再生方法及其设备展开分析,阐述能源塔热泵防冻液再生设备工作原理、再生性能、优缺点及其发展趋势,最后提出一种新型能源塔热泵防冻液再生技术,为实际工程应用提供参考。

关键词

能源塔热泵, 防冻液, 溶液再生

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

能源塔热泵是一种以空气为冷热源,可实现供暖、制冷以及提供生活热水的高效节能设备。能源塔热泵冬天利用冰点低于零度的防冻液,高效提取低温环境下空气的热量,达到制热效果;夏季能源塔起到高效冷却塔的作用,将热量排入大气,达到制冷效果。但是,能源塔热泵冬季工作过程中,空气中水蒸气不断进入防冻液中而使防冻液浓度降低,冰点上升。为保证能源塔热泵冬季可靠运行,必须设置防冻液浓缩再生装置,使防冻液浓度升高,冰点下降。防冻液再生性能会直接影响能源塔热泵机组运行效率,防冻液再生技术也因此是能源塔热泵的核心技术之一。

本文主要围绕防冻液再生机理、防冻液常用再生方法及其优缺点、防冻液再生技术最新进展等方面进行分析,并提出一种新型能源塔热泵防冻液再生技术,为实际工程应用提供参考。

2. 除湿溶液再生研究现状

实际应用中,除湿溶液再生方式通常采用加热再生方式,溶液再生所需热量通常利用低品位热源,如太阳能,生物质能,空调机组排热等[1] [2] [3]。对除湿溶液再生技术及其再生性能,众多学者对此开展了研究。1969年,Kakabaev等[4]尝试制作了一台新型太阳能氯化锂溶液除湿制冷机,对氯化锂除湿剂溶液再生,采用太阳能集热器与氯化锂除湿剂溶液再生器集成一体,首次组建了开式太阳能集热溶液再生器。随后,Ji [5]也以氯化锂溶液为除湿剂,搭建了一套闭式集热型再生器,同时通过设置加湿器模拟了周围潮湿环境。1999年Gad等[6]则直接利用太阳照射让溶液中水分蒸发,通过测量太阳辐射量与蒸发水量得到再生器太阳能利用效率。为认识太阳能再生的主要影响因素,2003年施明恒、杜斌、赵云等[7]利用太阳能作为再生能源搭建了逆流式再生装置,实验分析了影响再生性能的主要因素,获得再生器内对流热质交换的准则方程。2011年,黄志甲等[8]则建立了叉流流量再生器的传热传质数学模型,得出空气和溶液质量、能量控制方程,并利用Matlab语言编程模拟计算,证明再生性能的可靠性。2015年,彭冬根等[9]对逆流太阳能溶液集热/再生器进行研究,证明逆流太阳能溶液集热/再生器适宜在空气较干燥、太阳辐射强度较高的工况或地区运行最佳。在没有足够的太阳能可利用时,2009年张小松[10]提出一种利用电渗析法的膜式再生器对溶液进行再生,理论分析表明再生系统具有较好的再生性能。

从上可以看出,除湿溶液再生主要采用加热再生方式,其重点研究范畴在于再生加热能量来源和形式选择,以及在选定能源前提下再生性能和再生效率的研究,同时对非加热再生方式也进行了一些有益探索。

3. 能源塔热泵防冻液再生技术分析

3.1. 基于冻结再生的能源塔防冻液再生技术

2012 年, 清华大学王宝龙等提出一种基于冻结再生的能源塔防冻液再生技术[11], 该技术的核心部分为基于冷冻法的溶液再生机组, 主要包括冷冻再生槽、压缩机、热回收冷凝器、节流阀等。能源塔机组内需要再生的稀溶液送入溶液再生机组的冷冻再生槽内, 使溶液中的一部分水结冰析出, 并通过冰-溶液分离装置进行分离, 得到浓溶液, 实现对溶液的再生。该系统具有溶液量小, 投资和占地面积小, 再生效率高, 运行稳定等特点, 为溶液再生技术提供了新的途径。

3.2. 基于空气能量回收的能源塔防冻液再生技术

传统除湿剂溶液再生技术中, 如 Elsarrag [12]对三甘醇(TEG)溶液的再生分析、X. H. Liu [13]对横流填料塔中溴化锂/水溶液的研究分析、Longo 等[14]对不规则填料中氯化锂/水溶液、溴化锂/水溶液、甲酸钾/水溶液三种溶液的再生分析中, 溶液多为吸湿性较强的溶液, 需要较高的溶液再生温度, 再生需要额外热源加热, 如利用工业余热或燃气锅炉补充提供热源[15]。

为了减少能源消耗, 同时减少再生空气直接排除室外造成的能源浪费, 文先太等[16]提出了一种基于空气能量回收的能源塔溶液再生系统。图 1 为高效热泵型溶液再生循环系统, 整个装置为闭式循环, 其基本原理为空气从再生溶液中吸收水分, 在翅片管换热器中冷凝出来, 通过风机再次循环吸湿。此装置优点在于蒸发器与冷凝器的温差不需太大, 热泵效率较高。同时空气闭式循环, 有效减少能量损失且不受外界空气干扰, 适用性较强。

3.3. 基于太阳能的溶液再生技术

太阳能是目前使用率最广的可再生能源之一, 国外学者 Alizadeh 较早开展了太阳能集热/再生器研究, 证明其是一种高效、节能的再生装置[17]。下面着重讨论集太阳能集热和溶液再生双重作用于一体的太阳能集热/再生器。

1) 太阳能集热再生复合式再生技术

图 2 为传统集热再生复合型结构[18]。此装置结构简单, 造价低廉, 但局限性太大。一方面, 当风机鼓入空气温湿度较高时, 再生能力差; 另一方面, 当环境温度低或没有太阳时, 系统无法工作。随后彭

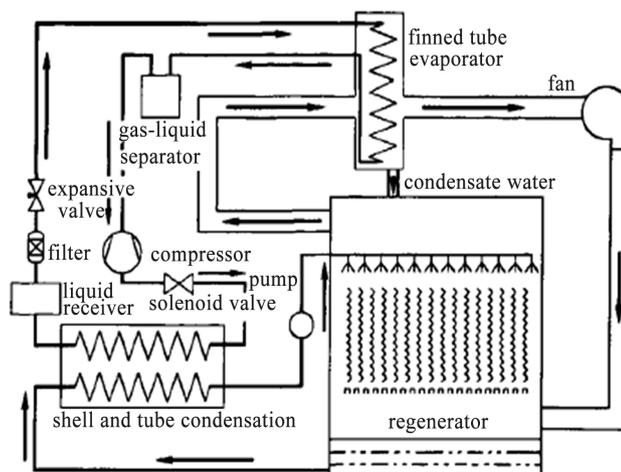


Figure 1. High efficiency heat pump type solution regeneration cycle system
图 1. 高效热泵型溶液再生循环系统

冬根等[19]对此装置进行了改进，图3为改进的太阳能空气预处理集热/再生流程图，将部分低温高浓度溶液预先送到空气预处理器中吸收室外空气中的水蒸汽，稀释后溶液与塔内稀溶液混合进入溶液热交换器；同时，室外高湿空气在空气预处理器中经过等焓去湿后进入太阳能空气集热器，在集热器中与稀溶液进行热湿传递后排入大气。此装置可有效提高再生器出口浓溶液浓度，将加热再生溶液温度、降低再生用空气湿度、提高再生用空气温度三种作用于一体的新型太阳能溶液集热/再生系统。此系统有效解决了传统装置中空气含湿量高的问题，提高再生效率，但是排入大气的高温空气中的能量并未得到有效利用。

2) 集热再生分离型溶液再生技术

集热再生分离型即在空间上将集热和再生上分离开，分别构成太阳集热器和溶液再生器。图4为典型太阳能集热/再生分离系统图，该系统工作原理为：稀溶液槽中的稀溶液流入太阳集热器并吸收热量，温度升高之后流入再生器中与来自环境中的空气接触并进行再生，再生后的浓溶液流入浓溶液槽中存储利用。

基于其基本原理，国内外学者做了不同改进。2015年程清等[20]提出一种新型光伏光热溶液再生系统，该系统利用电渗析与PV/T组件结合，控制系统浓度产量，提高系统对工况的适应能力，同时通过建立模型，指出电渗析再生器再生室进口处浓度对再生系统耗能的影响最大。2011年洪华等[21]提出采用

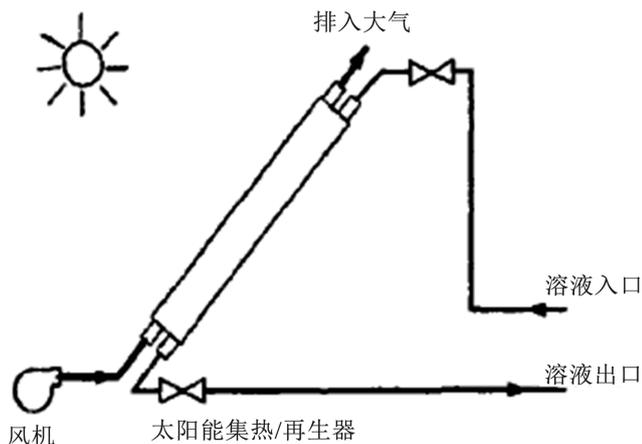


Figure 2. Structure diagram of traditional heat collector/regenerator
图2. 传统集热/再生器结构简图

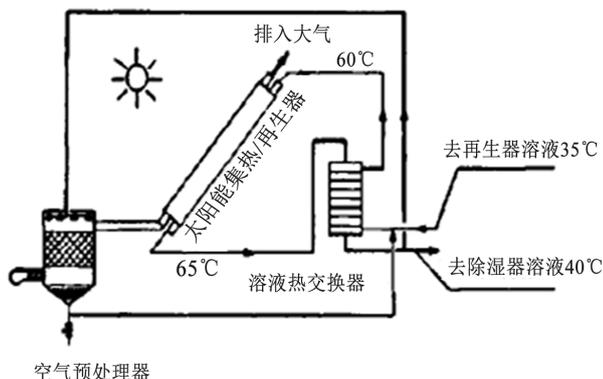


Figure 3. Heat collector/regeneration flow chart of solar air preconditioning
图3. 太阳能空气预处理集热/再生流程图

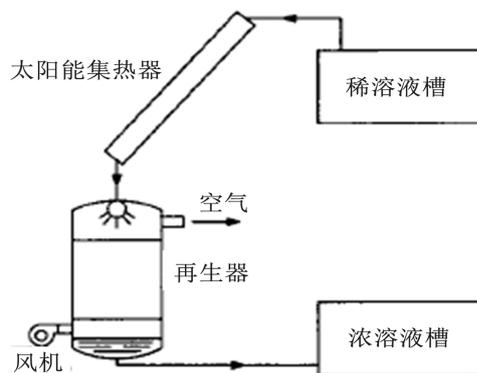


Figure 4. Typical solar collector/regenerative separation system diagram
图 4. 典型太阳能集热/再生分离系统图

混合空气作为再生空气的集热型溶液再生系统，即室内排风通过风管与室外空气混合后被送到集热再生器入口，稀溶液蒸发浓缩之后通过换热器降温并送到除湿机组喷淋新风，新风经喷淋除湿后送入室内承担室内湿负荷。

3) 沸腾蒸发式溶液再生技术

按照溶液再生时是否发生沸腾，溶液再生方式可分为非沸腾蒸发式和沸腾蒸发式两种。上述的再生技术皆为非沸腾蒸发式溶液再生技术，因其所需要热源温度低，可利用低品位能源，从而得到国内外学者的广泛关注[22] [23]。但由于热源温度偏低，沸腾蒸发溶液再生方式的溶液浓度和再生效率都不高，且南方地区高湿空气不利于溶液再生，沸腾式溶液再生方式因此受到关注。沸腾再生方式使用热源温度高，在一定技术条件下可实现热量反复回收，实现多级利用，因而可得到较高再生浓度和再生效率[24] [25]。但是，沸腾再生方式的再生流程和再生设备比非沸腾式的复杂。

图 5 所示新型太阳能槽式与平板式联合集热溶液沸腾式再生设备[26]。其工作过程为：来自塔内的稀溶液首先进入太阳能平板式集热再生器，与再生器内溶液换热换湿，实现非沸腾式再生。然后，从平板式集热再生器出来的较浓溶液在换热器中与将要去除湿器的浓溶液进行热交换，预热后的较浓溶液进入太阳能槽式集热器，进一步升温并沸腾，经气液分离器分离产生高温蒸汽与浓溶液。高温蒸汽进入平板式集热再生器的蒸汽通道中释放冷凝热，高温浓溶液进入换热器中。装置缺点在于无法克服太阳能利用过程中随机性与间歇性不足。随后该课题组又研究出槽式集热器与燃气锅炉联合驱动的再生装置[27]，克服了太阳能利用的随机性并提高能量利用效率。

4. 新型溶液再生装置设计思想的提出

基于太阳能的除湿溶液再生是一种经济节能的再生技术，但是，其再生方式严重依赖于周围环境状况，在高温或高湿气候条件下，仅使用太阳能对溶液进行再生不能满足使用需求。此外，大部分设备将除湿后的高温高湿空气直接排到室外而造成热能直接浪费。基于以上分析和考量，作者提出一种可根据室外环境温度变化调节进风比例，并回收余热的新型溶液再生装备。图 6 所示为一种新型溶液再生装备，该装置由太阳能集热/再生器，溶液再生器，冷凝器及风管道组成，虚线部分为风循环。来自塔内的稀溶液首先进入太阳能平板式集热再生器，稀溶液沿程吸收太阳辐射热，并与再生空气流之间形成降膜蒸发，稀溶液变为较浓溶液，随后较浓溶液进入溶液再生器中与来自冷凝器的气体再次进行热湿交换，较浓溶液变为浓溶液。从太阳能集热/再生器中换热后的高温高湿空气与从溶液再生器出来的空气汇合通过风管道进入冷凝器，在冷凝器中进行热质交换后再次送入再生器，送入的新风可通过阀门调节，根据空气含湿量，太阳强度，室外温度等调节新风比例，有效提高再生效率，也避免阴雨天导致再生器无法工作的

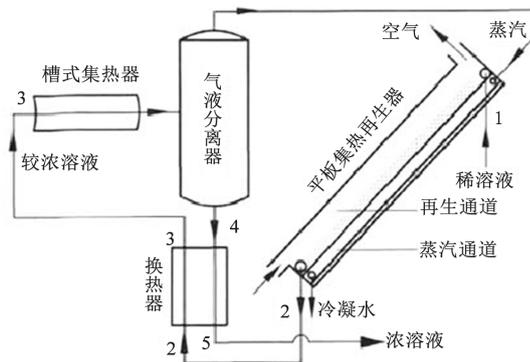


Figure 5. Boiling regenerator of combined heat collector solution
图 5. 联合集热溶液沸腾再生装置

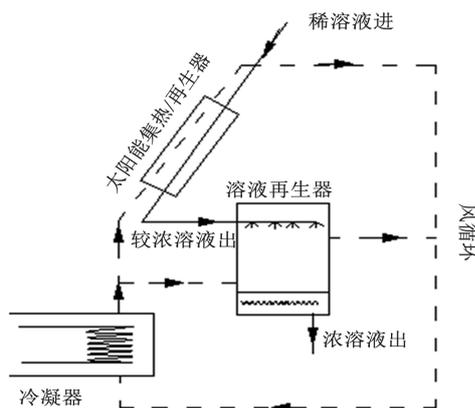


Figure 6. A new type of solution regeneration device
图 6. 新型溶液再生装置

问题，同时回风热能也得到利用，有效避免了高温高湿空气排到室外造成的能源浪费。

该装置特点在于，溶液进行两次再生浓缩过程，通过调节新风比例可有效减少太阳能集热/再生器在阴雨天的不稳定性，换热后回风混合进入冷凝器，热量多级利用，有效减少再生能耗。但由于本装置目前仅提出设计思想，有关该装置的理论分析与实验数据将在后续工作中加以完善。

5. 结语

能源塔热泵防冻液再生是能源塔热泵稳定运行的关键，目前虽提出了许多的再生及其设备制作的方法，但仍有很多难题尚须解决，主要表现在以下几个方面：

1) 防冻液种类繁多，能源塔热泵厂家所用防冻液种类不尽相同，防冻液的再生浓度、再生温度和再生性能也就不同，此外，能源塔应用的气候条件也不尽相同，其防冻液的冰点需求也就不同，因此，对不同种类和不同应用气候条件下防冻液的再生性能研究需进一步深入。

2) 溶液再生本质上是对传热传质过程的控制，而传热传质机理复杂，目前对溶液再生机理的认识尚有许多不足，进一步深入开展溶液再生过程传热传质机理认识研究最为关键。

3) 对能源塔而言，防冻液再生需求产生的原因在于防冻液溶液在能源塔热泵工作过程中会被稀释或吸收空气中水蒸气，因此，改变能源塔结构、改变能源塔传热传质工作原理，使能源塔热泵工作过程中防冻液溶液浓度保持不变或变化很小，从而彻底无需再生需求也是研究方向之一。

参考文献

- [1] 刘立宁. 溶液除湿再生性能实验的研究发展[J]. 科技创新与应用, 2014(1): 51-52.
- [2] 许为全. 热质交换过程与设备[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [3] 李海翔, 张婷, 从琳, 等. 溶液除湿空调系统溶液再生方式研究[J]. 暖通空调, 2013, 43(11): 105-109.
- [4] Kakabaev, A., Khandurdyev, A., Klyshchaeva, O. and Kurbanov, N. (1976) A Large Scale Solar Air Conditioning Pilot Plant and Its Test Results. *International Chemical Engineering*, **16**, 60-64.
- [5] Ji, L.J. and Wood, B.D. (1993) Performance Enhancement Study of Solar Collector/Regenerator for Open-Cycle Liquid Desiccant Regeneration. *Proceedings of the Annual Conference-American Solar Energy Society*.
- [6] Gad, H.E., Hamod, A.M. and El-Sharkway, I.I. (2001) Application of a Solar Desiccant/Collection System for Water Recover from Atmosphere Air. *Renewable Energy*, **4**, 541-556. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00112-9](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00112-9)
- [7] 施明恒, 杜斌, 赵云. 太阳能液体除湿空调系统再生和蓄能特性的研究[J]. 太阳能学报, 2006, 27(1): 49-54.
- [8] 黄志甲. 一种利用过冷热量实现溶液再生的能源塔热泵装置[P]. 中国 CN201320533445.7, 2013.
- [9] 彭冬根, 张小松. 逆流太阳能溶液集热/再生器再生效率实验分析[J]. 东南大学学报, 2015, 45(3): 484-490.
- [10] Li, X. and Zhang, X. (2009) Photovoltaic-Electrodialysis Regeneration Method for Liquid Desiccant Cooling System. *Solar Energy*, **83**, 2195-2204. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.09.001>
- [11] 王宝龙. 一种基于冻结的溶液再生方法和装置[P]. 中国 CN102755760A, 2012.
- [12] Elsarrag, E. (2006) Performance Study on a Structured Packed Liquid Desiccant Regenerator. *Solar Energy*, **80**, 1624-1631. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.11.005>
- [13] Liu, X.H., Jiang, Y., Chang, X.M. and Yi, X.Q. (2007) Experimental Investigation of the Heat and Mass Transfer between Air and Liquid Desiccant in a Cross-Flow Regenerator. *Renewable Energy*, **32**, 1623-1636. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.07.002>
- [14] Longo, G.A. and Gasparella, A. (2005) Experimental and Theoretical Analysis of Heat and Mass Transfer in a Packed Column Dehumidifier/Regenerator with Liquid Desiccant. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **48**, 5240-5254. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.07.011>
- [15] Jain, S. and Baasal, P.K. (2007) Performance Analysis of Liquid Desiccant Dehumidification Systems. *International Journal of Refrigeration*, **30**, 861-872. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2006.11.013>
- [16] 文先太, 梁彩华, 刘成兴, 张小松. 基于空气能量回收的能源塔溶液再生系统节能分析[J]. 化工学报, 2011, 64(11): 3243-3247.
- [17] Alizadeh, S. and Saman, W.Y. (2002) An Experimental Study of a Forced Flow Solar Collector Regenerator Using Liquid Desiccant. *Solar Energy*, **73**, 345-362. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00116-0](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00116-0)
- [18] 魏志刚, 李德英, 胡文举. 太阳能除湿溶液再生方式及装置的分析与研究[J]. 区域供热, 2014(3): 16-19.
- [19] 彭冬根, 张小松, 殷永高. 一种新型再生装置理论性能研究-太阳能空气预处理溶液集热器/再生装置[J]. 太阳能学报, 2008, 29(9): 1078-1085.
- [20] 程清, 张小松. 一种新型光伏光热溶液再生系统性能研究[J]. 太阳能学报, 2015, 36(7): 1616-1621.
- [21] 洪华, 裴清清, 梁玉红. 采用混合空气作为再生空气的集热型溶液再生过程研究[J]. 制冷, 2011, 30(4): 6-10.
- [22] 江亿, 刘晓华. 温湿度独妒控制空调系统[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [23] Daou, K., Wang, R.Z. and Xia, Z.Z. (2006) Doling Air Conditioning: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **10**, 55-77. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.010>
- [24] 熊军, 刘洋华, 寇广孝. 燃气驱动液体除湿空调系统及其节能分析[J]. 煤气与动力, 2004, 24(8): 448-450.
- [25] 丁照球. 溶液除湿空调系统研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2007.
- [26] 左志远, 杨晓西, 丁静. 新型太阳能槽式与平板式联合集热溶液双效再生系统[J]. 化工进展, 2009, 28(10): 1734-1737.
- [27] 左志远, 杨晓西, 丁静. 槽式集热器与燃气锅炉联合驱动的双效型溶液再生系统[J]. 化工进展, 2009, 28(9): 1559-1561.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2328-0514，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aepe@hanspub.org