

科技综述

污水源及地表水源热泵取水 换热技术研究应用进展*

哈尔滨工业大学 吴荣华 徐莹 孙德兴 任南琪

摘要 分析了污水源与地表水源热泵的取水换热特点,综述了国内外防阻、防腐、防藻、除垢技术及污水与地表水的换热应用状况,包括基本的原理、设备构成、换热效率、清污周期等,并指出了存在的问题及研究方向。

关键词 污水源热泵 地表水源热泵 取水换热 防阻塞

Research and utilization progress of intake water heat-exchange technique of sewage and surface-water source heat pump systems

By Wu Ronghua, Xu Ying, Sun Dexing and Ren Nanqi

Abstract Analyses the intake water characteristics, overviews the technique application of clog-proof, anti-pollution, algae-proof, scale removing and the practical status of heat exchange in domestic and some foreign countries including basic principle, equipment composition, heat exchange efficiency and period of pollution removing, and points out the existing problems and anticipation of the related research.

Keywords sewage source heat pump, surface-water source heat pump, intake water heat-exchange, clog-proof

Harbin Institute of Technology, Harbin, China

利用城市污水及地表水(江、河、湖、海水)作为热泵冷热源为建筑物供暖、供冷具有重要的节能、环保及经济价值^[1-4],近两年已成为暖通空调领域的重点研究课题和试点应用的重要方向之一,其中的关键技术是水源的取水换热^[4-8],包括防阻塞、防腐、防藻与除垢。北欧的一些供热发达国家早在上世纪 70 年代就开展了水源(包括污水与地表水)热泵的研究、应用工作^[9-13],但在系统研究方面,尤其是取水换热方面,显得非常薄弱,至今也没有一种比较可靠、成熟的技术。我国在 2000 年前后开始大规模发展、应用水源热泵,由于使用地下水受到回灌与保护的限制,污水与地表水(以下简称两水)成为主要的水源之一,但其取水与换热问题还没有妥善的解决措施。一些技术方案虽然使系统达到了应用的目的,但结果并不是很理想,不仅投资高、

占地面积大,而且效率低、稳定性差。为避免工程应用的盲目性,客观认识现有技术状况与水平具有重要的现实意义。

1 两水的取水换热特点

两水作为热源或冷源有 4 个明显的特点,即防阻塞、非清洁、小温差与防腐、防藻^[4,16-19]。其中防阻塞与非清洁主要是针对换热设备而言的,小温差指的是换热工况,防腐、防藻主要是针对海水而言的。

1.1 非清洁

污水(未处理原水)中含有大量的小尺度悬浮

吴荣华,男,1976 年 10 月生,博士研究生,工学博士,博士后 150090 哈尔滨工业大学市政环境工程学院 2651 号信箱 (0451) 86282343

E-mail: shwu122@126.com

收稿日期:2007-03-30

一次修回:2007-06-12

二次修回:2008-01-22

* 中国博士后科学基金项目(编号:20060390808)

固体、油类,以及溶解与非溶解化合物,很容易造成换热面瞬时(2~3 d)污染(在换热面上形成软垢),污染物(油膜、生物膜、颗粒等黏泥)成分极其复杂,极大地增加了热阻,影响了传热效果,同时增大了流动阻力,减小了运行流量,使换热工况严重恶化。

已处理两水与未处理原水相比,尽管相对清洁,但由于水的使用方式为开式循环,且流量达数百至上千 m^3/h ,故污垢累积迅速,易造成短时(7~10 d)污染,因此对热泵系统或换热过程来说两水是非清洁的水源。

某地表水源热泵系统在污染状况下的换热量衰减幅度如图 1 所示。

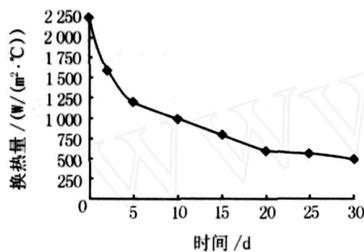


图 1 某地表水源热泵系统在污染状况下的换热量衰减

1.2 小温差

我国大部分地区冬季污水温度在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,地表水温度在 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,渤海与黄海近海域水温为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右^[20-21],提取水源的显热热能温差在 $2\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。这使得换热设备的传热温差非常小,例如污水温度由 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,载热介质温度由 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升至 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$,则平均传热温差为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;若海水温度由 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,载热介质温度由 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升至 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,则平均传热温差为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右^[22-24]。

如此小的传热温差,要求的取水量自然很大,导致非清洁引起的污染问题更为严重。而较小的传热温差,也要求增大换热面积或增加换热设备的数量,既加大了投资,又增加了清洁工作量。

1.3 防阻塞

原水、已处理两水除非清洁的特点以外,还含有大尺度悬浮物(换热设备所不能承受的),包括纤维状的发丝与纸屑类及藻类,需要采取高效防阻措施以防阻塞。由于用水量很大,大尺度悬浮物数量也很大,过滤时,滤面被阻塞的用时很短,难以及时清洗或更换滤面,系统会因缺水或无水而停运。

两水经最前端的取水口处设置的初级防护网和水泵叶轮后,大的悬浮物被隔离或被绞碎,因此

取水进水管不会出现堵塞现象,即使是使用未处理的原生污水,实践也证明了这一点。

1.4 防腐、防藻

污水(工业污水除外)和江、河、湖水的腐蚀性并不强,即使是对于原生污水,普通碳钢制成的换热设备的使用寿命周期也至少在 5 a 以上;另外,生物的生长以黏泥的形式出现,可视为生物污垢,需要定期清除。而海水的腐蚀包括电化学腐蚀、氧腐蚀与生物腐蚀,需要采用抗腐材料,而贝类等海洋生物的附着与生长则较难应对。

2 两水的取水防阻技术

从国外最早开发至今,尚处于探讨、试验中的防阻设备或技术方案有:1)自动筛滤器;2)热泵防阻机;3)自清洗过滤器;4)转刮式过滤装置;5)水源渗井;6)多级过滤网。其中第 1~5 种都有工程实例,第 6 种在工程可行性报告中出现过,但无工程案例。

2.1 自动筛滤器

据文献[25-26]记载,这是最早的专用防阻设备,于 1980 年左右在外国(包括挪威、日本等国)被使用。筛滤器由转筒滤面、毛刷、切刀及旋转与反冲洗部件构成。工作过程为:过滤、清刷、切割,每隔 $4\sim 8\text{ h}$ 用清洁水(自来水)反冲洗滤面并排污。此装置机械工艺复杂,目前我国没有生产厂家。

2.2 热泵防阻机

这是近年由哈尔滨工业大学开发的一种专用防阻设备,已在工程中广泛应用。由转筒滤面与驱动装置组成,使用已过滤并经热泵利用后的水反冲洗阻塞滤面,过滤与反冲洗同时进行。此装置结构简单,运行稳定,无排污过程^[28-29]。

2.3 自清洗过滤器

此装置是一种通用过滤设备,用转筒滤面过滤,通过设定滤面进出水压差或时间来进行反冲洗,反冲洗水为过滤后的水^[14]。其原理与普通的过滤器相同,只是滤面材料与生产工艺有很大区别。它适用于闭式循环水系统,不适用于开式系统,试验也证明了这一点。

2.4 转刮式过滤装置

此装置是在 2.1~2.3 节装置的基础上,将滤面的反冲洗过程取消,设置滤面刮刀,完全靠刮刀清污。此装置的机械精度要求高,可靠性差,需要对污水中的杂质作运输清理。

2.5 水源渗井

此方法曾被应用在地表水源热泵系统中,是在水源附近设置浅层渗水井,以渗流方式从江、河、湖、海中取水。此方法的主要问题是保证渗水流量稳定以及长时间运行后地下渗水层不被阻塞,这与浅层地质的条件有关。

2.6 多级过滤网

由网眼直径不同的多组滤面构成,例如一级网眼 50 mm、二级网眼 8 mm、三级网眼 1 mm。此方法能解决阻塞问题,但是滤网占地面积大,维护困难。

3 典型的在线除垢方法

上世纪 70 年代在线除垢技术开始在石油化工领域应用,我国学者在近几年也取得了一些研究成果。我们可以广泛地借鉴这些方式,但不能生搬硬套,需要对它们有深入的认识。

3.1 旋转螺旋线法

如图 2 所示,该方法所用设备基于管壳式换热器,在管内设置了可转动的螺旋线状装置^[30]。这是在 1974 年由原西德开发的一种专利设备,我国湘潭大学的研究者对它作了改进,取消了驱动装置,以水流压差带动纽带旋转并摆动。该设备的缺陷是结构复杂,在传热温差小、换热面积大的情况下更难实施,两水换热不宜套用。

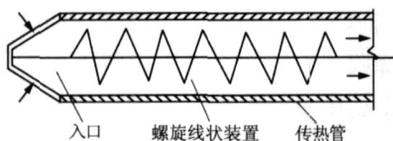


图 2 旋转螺旋线法设备结构示意图

3.2 液固流态化法

上世纪 60~70 年代,流态化技术被用来除垢,其原理如图 3 所示,液体进入换热器时携带一定尺度的固体颗粒,靠冲刷等综合作用清除壁面污垢^[31]。该方法的优点是装置的结构简单、操作容易,缺陷是可靠性差、固体颗粒的内循环降低或升

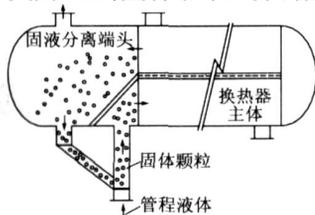


图 3 液固流态化法原理图

高了流体的温度,换热器的平均传热温差减小,传热效果变差。两水换热是否可以借鉴此方法,有待进一步研究。

3.3 海绵胶球法

此法的装置由海绵胶球泵、集球室、收球网等组成^[32],如图 4 所示。广泛应用于电力、炼油及化工行业的冷凝系统之中。缺陷是易造成管线阻塞,收球率低。文献[4]记载此法曾应用于污水换热中。

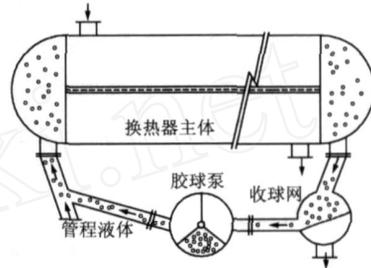


图 4 海绵胶球法装置图

3.4 弹簧振动法

法国某公司开发的弹簧振动装置的结构如图 5 所示。管内弹簧在流体动力作用下振动,按振动形式可分为振动式、旋转式与分段式^[33]。该装置结构简单,可以试验研究用于两水换热。

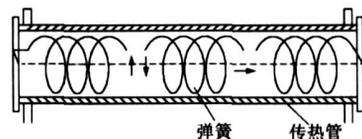


图 5 弹簧振动装置结构图

3.5 自动扰流法

在换热管内外布置螺旋弹簧,用扰流栅代替折流板,如图 6 所示。此法传热效果好,但装置结构较复杂,不能检修管外。用于两水换热的可能性不大。

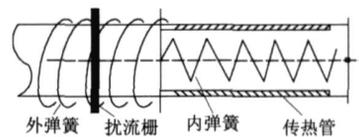


图 6 自动扰流法装置结构图

以液固流态化法为例,定期清洗与在线清洗传热系数的差异如图 7 所示。不难看出,传热系数发生了很大的变化,包括数值与随时间的稳定性。

上述 5 种方法的装置都是基于管壳式换热器

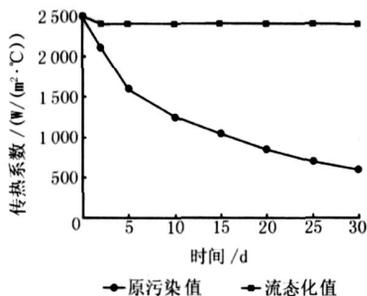


图7 利用液固流态化法处理后的传热系数

的,除垢装置的驱动分机械与水力方式两类。机械方式的结构复杂,而水力方式的可靠性较差。究竟采用哪一种方式需要根据两水的换热特点来选择,目前海绵胶球法已被尝试,液固流态化法正处于被探讨状态。

4 防垢换热应用状况

在两水热泵的换热系统中,上述5种在线除垢换热方式还没有被一一研究与尝试,究其原因是机械方面的复杂性与可靠性问题,另外还有投资及成本方面的经济原因。为清除污垢和提高效率,下列4种换热器在试验中被使用。

4.1 降膜式换热器

这是最早被采用的设备之一,用在未处理原水热泵系统之中,由板片或管束及喷淋部件构成^[25-26]。降膜的换热方式效率高,但污水中的杂质很容易挂壁。初始换热系数可达2000 W/(m²·°C)左右,但衰减速率达10%/d,一般2~3d就需要进行水力冲洗一次,要消耗一定量的清洁水。

4.2 带球刷系统的管壳式换热器

于1980年左右在日本被采用,水源为未处理的原水,也是较早的设备之一,由球刷、四通阀及收容器组成^[34-35]。四通阀改变水的流向,球刷在水压作用下来回移动。换热器被在线清洗,换热系数约为2000 W/(m²·°C),换热效率稳定。但换热管易被球刷堵塞,且球刷的漏损率很高,可高达15%。

4.3 特殊型管壳式换热器

利用管壳式换热器,通过加大管内的设计流速(大于1.5 m/s)延缓污垢的积聚^[22,24]。换热系数平均约为1000 W/(m²·°C),以0.5 a作为清洗周期,平均传热系数约为850 W/(m²·°C)。目前已在原水热泵中被采用。

4.4 板式换热器

在冬季地表水温度较低,或夏季地表水温度较高时,为尽可能地提高换热效率,减小传热温差,尝试使用板式换热器。板间距3~7 mm,板片呈波纹状。试验结果表明,运行10 d内,板内污垢厚度达1 mm以上,同时存在纤维状悬浮物,换热量衰减40%。

5 防腐与防藻措施

两水的腐蚀性不强,换热器材质通常为碳钢或不锈钢,输送管路则可采用承压铸铁管、塑料管。微生物污垢呈黏泥状、易脱落,可视作软垢来处理。

海水的腐蚀性很强,目前采用的换热器材质包括钛、铜镍合金、铝青铜、海军铜和特殊性不锈钢等。为了防腐,也可采用阴阳电极防腐法。对于海洋生物的附着与生长问题,有4种正在被研究和探讨的措施,包括采用海洋生物不易附着的管材、利用过滤设备除去海洋生物幼虫及虫卵、定期加药(次氯酸等)灭藻、电解产生次氯酸钠杀灭海洋生物等。

6 存在的问题及展望

取水换热技术是非清洁水热泵的关键技术,要求技术可靠并稳定、能耗低。所述的6种防阻技术中,热泵防阻机工艺简单,可视为无能耗运行,且能连续防阻、无清污过程,很理想地解决了设备的阻塞问题。而防垢换热技术还存在以下问题与不足。

1) 降膜式与特殊型管壳式换热方法虽然已经到了可以应用的阶段,但其平均换热系数低(500~1000 W/(m²·°C)),设备投资大(占系统投资的20%~30%),系统运行也不是很稳定。

2) 带球刷的管壳式换热系统为在线除污防垢系统,换热效率较高。但球刷会影响水流畅通,换热器流动阻力大(为无球刷时的2~3倍),水泵能耗增加。另外大量的球刷在管内来回穿梭,会随机性地堵塞管路,易出现黑匣子效应。

3) 板式换热器虽然传热系数高(可达3000 W/(m²·°C)以上),占地少,但极易被阻塞与污染(污垢厚度可达1 mm以上),换热系数的衰减速度很快,10 d内就可能出现换热量明显不够的情况,而维护又较困难,难拆易漏,不宜采用。

4) 防垢的换热问题未从根本上得到解决,即便水源热泵机组的效率很高(COP为4左右),在水泵能耗较大的情况下(20%以上),系统的制热、

制冷系数也明显减小,难以体现系统的节能性。

上述问题都是由水源的非清洁性造成的,为解决此问题,需要在换热方式方面作深入的试验研究。笔者认为预期的研究内容要注重如下几点。

1) 两水被用在热泵系统之中,都是非清洁的,若利用清洁水的一些基本工艺或方法来处理,则会付出较高的代价,还不能理想地解决问题。这需要我们对这种非清洁特点有足够的认识。

2) 换热面的污染时间短,换热系数衰减快,采用间歇性的定期除垢是不可取的,易造成换热效率低、设备投资大。应开发在线清洗防污染换热技术,从本质上解决污染问题。

3) 取水防阻及防污染换热技术除要求可靠、稳定以外,还必须保证很低的运行能耗,按目前的系统能耗水平,水泵能耗至少要控制在 5% 以内。另外设备的投资率还必须控制在 20% 之内。

4) 解决非清洁的换热问题是一个方法与技术问题,而非理论问题,研究污水的换热特性首先要基于一种可靠、稳定的防垢换热方式。因此两水热泵系统下一步的研究要从防垢换热技术开始。

5) 海水热泵系统除需要解决防垢换热问题以外,需使用昂贵的抗腐材质和海洋生物的杀灭是另外两个不易妥善解决的问题,还需要深入的试验研究。

7 结论

7.1 两水是热泵的主要水源之一,具有广阔的应用前景,但需要有效、可靠地解决水源的取水换热技术问题。

7.2 热泵系统中的两水是非清洁的,具有防阻塞、非清洁、小温差与防腐防藻的取水换热特点。阻塞时间短、换热效率衰减快是系统难以解决的关键技术难题。

7.3 6 种防阻塞技术中的热泵防阻机原理简单、机械工艺容易实现,较其他 5 种技术具有明显优势,很理想地解决了阻塞问题,有推广应用价值。

7.4 在线除垢方式分为机械与水力两种,其中机械方式可靠,但工艺复杂,而水力方式容易实现,却不可靠。

7.5 目前所研究和应用的防垢换热方式工艺复杂、换热效率低,没有从根本上解决污染问题,需要开发适宜非清洁水的换热工艺或装置。

7.6 防腐防藻与海洋生物附着问题是海水源特有的,已有一些解决措施,但尚需验证方案的可靠性

和开发新的解决途径。

参考文献:

- [1] 吴荣华,孙德兴.城市污水冷热源应用技术发展状况研究[J].暖通空调,2005,35(6):22-28
- [2] 吴荣华,孙德兴.城市污水源热泵系统节能与环保评价法[J].中国给水排水,2005,21(12):103-106
- [3] 吴荣华,孙德兴.城市原生污水与其他冷热源的比较研究[J].暖通空调,2006,36(1):49-52
- [4] 吴荣华.城市原生污水源热泵系统研究与工程应用[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2005
- [5] 吴荣华,孙德兴.城市原生污水冷热源应用的关键因素研究[J].哈尔滨商业大学学报,2004,20(6):95-97
- [6] 吴荣华,孙德兴.城市原生污水冷热源污水流动阻塞与换热特性[J].暖通空调,2005,35(2):54-56
- [7] 吴荣华,孙德兴.城市原生污水冷热源换热管软垢特性研究[J].流体机械,2005,33(12):58-61
- [8] 张承虎,吴荣华.污水源热泵系统污水干渠横向取水研究[J].哈尔滨商业大学学报,2005,21(4):76-80
- [9] Trelease W S. Water source heat pump evaluation [J]. HPAC, 1980,32(10):45-53
- [10] Leif W. Heat pump based on sewage for district heating [J]. New Energy Conference Technology, 1981,28(4):45-49
- [11] Davey T. Deep lake water cooling a matter of degrees [J]. Environmental Science & Engineering, 2003(9):121-133
- [12] Lines J R. Heat exchanger in municipal waste water treatment plants [J]. Water/Engineering and Management,1991(9):28-29
- [13] Walker S. Energy from waste in the sewage treatment process[C]. IEE Conference, 1996:73-75
- [14] 周文忠.污水源热泵空调系统在污水处理厂的应用[J].暖通空调,2005,35(1):83-86
- [15] 赵丽莹.污水源热泵在我国寒冷地区应用的模拟与分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2003
- [16] 吴荣华,孙德兴.城市原生污水冷热水参数特性与应用方法评价[J].可再生能源,2005,21(4):39-43
- [17] 吴荣华,孙德兴.城市原生污水源热泵系统运行工况与参数特性[J].流体机械,2005,33(11):88-91
- [18] 吴荣华,孙德兴.城市污水类非牛顿幂律湍流流动特性研究[J].水动力学研究与进展,2005,25(11):56-58
- [19] 张承虎,吴荣华.混合长度理论应用于城市污水流动特性研究[J].哈尔滨商业大学学报,2005,21(1):95-97
- [20] 孙德兴,吴荣华.开发水源技术解决热泵发展的瓶颈

- 问题[J]. 中国勘察设计, 2006, 21(5): 30-32
- [21] 孙德兴, 吴荣华. 利用冷水凝固热的热泵系统与装置[J]. 暖通空调, 2006, 36(7): 41-43
- [22] 吴荣华, 孙德兴. 哈尔滨滨江宾馆利用城市污水中的能源[J]. 中国给水排水, 2003, 19(12): 92-93
- [23] 吴荣华, 孙德兴. 城市原生污水冷热源系统浸泡式工艺应用实例[J]. 暖通空调, 2004, 34(11): 86-88
- [24] 马广兴, 吴荣华. 城市原生污水热能采集工艺设计应用实例[J]. 暖通空调, 2006, 36(2): 77-78
- [25] Baek N C. Study on the heat pump system using waste water as a heat source[J]. Energy R & D, 1994, 16(1): 56-63
- [26] Baek N C, Shin U C. A study on the design and analysis of a heat pump heating system using waste water as a heat source[J]. Solar Energy, 2005, 78(3): 427-440
- [27] 孙德兴, 吴荣华. 城市污水冷热源的应用方法与装置: 中国, F25B30/06[P]. 2005-01-26
- [28] 孙德兴, 吴荣华. 设置有旋转格栅滤网的城市污水冷热源应用装置: 中国, ZL200420018341.3[P]. 2005-01-05
- [29] 孙德兴, 吴荣华. 设置有滚筒格栅的城市污水水力自清装置: 中国, ZL200420019192.2[P]. 2005-01-26
- [30] 俞秀民, 俞天兰. 列管式水冷设备自转塑料纽带自动除垢防垢技术[J]. 湘潭大学学报, 1998(3): 120-123
- [31] Kollbach J, Rautenbach R. Continuous cleaning of heat transfer in heat exchanger with recirculating fluidized bed[J]. Heat Transfer Engineering, 1987, 8(4): 26-32
- [32] 时均, 汪家鼎. 化学工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996
- [33] 陈鸿斌. 换热器的结垢及其管内插入物在线清洗[J]. 医药工程设计, 1997, 17(6): 1-4
- [34] Stijemstrom B. Feeding large heating pumps from sewage water treatment plants[C]. Proceedings of the International Conference on Applications and Efficiency of Heat Pump Systems, 1991: 183-192
- [35] Funamizu N, Iisa M. Reuse of heat energy in waste water: implementation examples in Japan[J]. Water Science and Technology, 2001, 43(10): 277-286
- [36] 邢秀强. 海水热泵系统应用的问题及对策[J]. 可再生能源, 2006, 23(4): 94-97

· 简讯 ·

中国建筑设计研究院建筑节能与新能源工程中心 正式组建节能节水产品、技术资料库

中国建筑设计研究院建筑节能与新能源工程中心(下称“节能工程中心”)在建设部的支持下,于2006年6月正式成立。作为中国建筑设计研究院(集团)直属的专业建筑节能服务单位,通过在建筑节能与新能源工程及绿色建筑技术研究、工程应用与推广的各个领域开展工作,提供全方位、高质量的工程服务。

节能工程中心作为全国大型设计院中首家设置的建筑节能服务机构,汇聚一流的专家与技术,迅速成为建设部国家建筑节能产业政策技术支持及“十一五”国家科技支撑计划重大项目的研究单位,是中央国家机关指定的能源服务机构(含中直机关、国管局、中央人大、国家烟草总局等),是北京市发改委首批固定资产投资节能评估机构,是全国多个城市建筑节能及减排、可再生能源利用的技术依托单位,是大型房地产开发企业(如万科等)建筑节能技术及可再生能源利用的技术合作单位,是2007年度中国建筑节能十大影响力机构之一。

作为权威的节能服务机构,作为国家建筑节能产业政策制定的基础资料收集调研单位,节能工程中心为发掘真实有效的节能节水产品及技术,推动节能节水产品及技术在建筑节能领域中的应用,拟建立建筑节能、节水领域各类相关产品、技术的应用资料库,该资料库拟选定的节能节水产品及技术以国家相关节能节水技术规范为依据,结合产

品技术的特点,以厂商报名结合专家推荐为途径,最终经中国建筑设计研究院及节能中心专家组评定的方式进行选定。进入资料库的产品及技术将优先推广及应用于设计研究院及节能服务机构所服务各类业主的采购目录、节能咨询报告、设计项目、代建项目及项目管理工程中,未入选产品技术库的产品、技术将不被推广采用。

针对本项工作,节能工程中心将按相应产品及技术分类建立节能节水产品及技术的动态资料库,资料库保持不定期的更新。

具体办法为:1 厂商报名及专家推荐阶段(3~6月);2 资料收集整理初步评审阶段;3 专家评审及核定阶段;4 资料库组织建立阶段;5 技术资料的不定期更新及完善阶段。

推荐及报名厂家需通过邮寄、邮件、传真等方式将公司简介、产品及技术的简要特点、相关技术文件,提交至中国建筑设计研究院建筑节能与新能源工程中心技术推广部。拟入选企业及产品我部将进一步联系。

联系人:刘韞刚 吴越超

地址:北京市车公庄大街19号 邮编100044

电话:68302417 传真:88363051

邮箱:jnxtgb@163.com

注:此项工作不向厂商收取任何费用!

(节能工程中心)