

# Study on the Applicability of Air-Source Heat Pump Direct Floor Radiant Heating in Jianghuai Region

Hairong Lu, Meiqin Ni, Guangyuan Liu, Yuan Lv

College of Water Conservancy and Energy Power Engineering of Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu  
Email: 4669612892@qq.com

Received: Aug. 14<sup>th</sup>, 2017; accepted: Aug. 28<sup>th</sup>, 2017; published: Sep. 4<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

This paper briefly introduces the air source heat pump direct floor radiant heating system, according to the climate characteristics of the Jianghuai area and the extreme weather in recent years. This paper focuses on the improvement of heating demand in Jianghuai area and analyzes the applicability of air-source heat pump direct floor radiant heating system in Jianghuai area to open up a shortcut to solve the problem of heating in the south. On the other hand, we chose to run the air source heat pump directly to the floor of the best way to radiant heating systems and compare it to the economic and energy savings of several common heating system. It is found that the application of air source heat pump direct floor radiant heating system can reduce primary energy consumption and operating costs, relative to the traditional heating mode, it has obvious economic and energy saving advantages.

## Keywords

Air Source Heat Pumps, Direct Floor Radiant Heating, Economy, Energy Saving, Jianghuai Area

---

# 空气源热泵直接地板辐射供暖在江淮地区的适用性研究

陆海荣, 倪美琴, 刘光远, 吕媛

扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州  
Email: 4669612892@qq.com

收稿日期: 2017年8月14日; 录用日期: 2017年8月28日; 发布日期: 2017年9月4日

## 摘要

本文简单介绍空气源热泵直接地板辐射供暖系统,根据江淮地区气候特点及近几年出现的冬季极端天气,本文重点针对江淮地区供暖需求的提升,分析了空气源热泵直接地板辐射供暖系统在江淮地区的适用性,为解决南方供暖问题开辟了捷径;另一方面选出空气源热泵直接地板辐射供暖系统最佳运行方式,并将其与几种常见供暖系统在经济性和节能性方面进行了比较,发现应用空气源热泵直接地板辐射供暖系统可减少一次能源消耗和运行费用等,相对传统供暖方式,空气源热泵直接地板辐射供暖系统具有明显的经济与节能环保优势。

## 关键词

空气源热泵, 直接地板辐射供暖, 经济性, 节能性, 江淮地区

Copyright © 2017 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

随着我国工业化的蓬勃发展,能源问题和环境问题越加严重。近年来,据统计2015年我国能源消费总量43.0亿吨标准煤,比2014年增长0.9% [1],雾霾和温室效应对民众健康与生活造成了极大影响。空气源热泵直接地板辐射供暖系统采用空气源热泵与地板辐射相结合,用空气作热源,无污染,地板辐射供暖系统以地面为散热面进行辐射散热,避免了“头热脚冷”的热环境,舒适性好。此外,空气源热泵直接地板辐射供暖系统对改善江淮地区供暖问题和推进国家“煤改电”政策,都能发挥出重要作用[2]。

## 2. 空气源热泵直接地板辐射供暖系统在江淮地区的可行性

我国江淮地区位于亚热带向温带过渡区,夏季高温多雨,冬季温和少雨,属非供暖区,无集中供暖。随着经济发展,人们对热舒适性的追求,加上近几年南方供暖问题得到了热议[3]。并且使用地源热泵系统要考虑地质问题且有足够场地打井,水源热泵系统可能造成地下水污染,比较而言空气源热泵使用更为广泛[4]。

文献[5]证明了空气源热泵直接地板辐射供暖系统有很好稳定性,能满足室内热需求,且通过对系统各部件焓损失的分析计算,表明即使在出现除霜现象系统仍有很好的节能性。空气源低温热水辐射供暖系统能提高能源利用效率[6],而直接地板辐射供暖系统相对于低温热水辐射供暖省却了水换热,无循环水泵,且循环水泵能耗占总能耗近40% [7],所以空气源热泵直接地板辐射供暖系统效率更高。由郑州大学联合企业研究的空气源热泵直接地板辐射系统,经产品鉴定:较一般空气源热泵系统节能超过50% [8]。空气源热泵直接地板辐射供暖系统由数码涡旋空气源热泵与地板辐射供暖系统组成,冷凝器是地板辐射系统的埋管,省去制冷剂与水换热过程,且系统采用数码涡旋压缩机,可在很宽的范围内连续进行且无级的容量输出[9] [10],经研究,数码涡旋压缩机70%~100%运行系统COP最高[11] [12]。因制冷剂直接做热媒供流经地暖盘管,所以地暖盘管需使用铜管,但铜管传热效果好又耐腐蚀。此外,系统供热时热量先传给地板,再以地板为散热面进行辐射散热,营造适宜人体的热环境,室内温度随着高度的增加而降低,避免了“头热脚冷”的感觉,舒适又节能,因此空气源热泵直接地板辐射供暖系统在江淮地

区有一定适用性。

### 3. 空气源热泵直接地板辐射供暖系统的经济效益分析

现就扬州某建筑为例, 建筑面积 207.4 m<sup>2</sup>, 共两层, 建筑墙体为 240 mm 厚空心砖墙, 窗户为铝合金单层玻璃窗, 窗墙比南向 0.3, 北向 0.25, 一层起居室, 二层主卧室。利用 DEST 能耗模拟软件进行模拟, 在每个设计阶段可为相关系统设计提供参考数据, 从经济性角度选择最优供暖方式。

不同的运行方式影响系统 COP, 本文研究全天连续运行与白天运行夜间停机两种模式, 图 1, 图 2 为不同的 COP 分布柱状图, 表明某 COP 出现的频率, 这样有利于分析不同运行方式在系统性能方面的优劣。见图 1, 全天连续运行系统 COP 集中在 2.72~2.88, 见图 2, 白天运行夜晚停机的系统 COP 集中在 2.92~3.18, 两种运行模式中白天运行夜晚停机的系统 COP 最高, 更节能, 也贴近江淮地区人们用电习惯。

在此基础上设计系统运行时间为早 8 点到晚 18 点。系统设定室内温度为 20℃, 系统设定白天运行夜间停机, 是因为夜间室外温度低, 系统制热效率低。通过模拟此运行方式, 看是否满足室内热舒适性。结果见图 3, 发现白天室内温度基本达到 20℃, 夜间室内温度基本达 17℃, 能满足用户供暖需求。

考虑常见的几种供暖方式, 取方案一: 空气源热泵直接地板辐射供暖; 方案二: 壁挂炉燃气的散热器供暖; 方案三: 空气源热泵低温热水地板辐射供暖。空气源热泵直接地板辐射供暖系统作为一种新型供暖系统, 其在系统结构上与传统供暖系统有较大差异, 因此需通过经济评价方法分析该系统是否经济, 本文采用费用年值法, 其主要涉及初投资与运行费用, 下文进行具体计算。

对单一家庭供暖来说, 人们更关注初投资费用, 初投资费用一般含机组费, 盘管费, 配件费, 土建材料费, 设备安装费和施工的人工费。以壁挂炉燃气的散热器供暖初投资计算为例: 壁挂炉燃气的散热器供暖初投资主要包括壁挂炉、散热器及配件费。机组及配件按市场价格的均值取, 如一台供热面积为 100 m<sup>2</sup>, 壁挂炉价格一般 5000 元至 9000 元不等, 按照均价取 7000 元, 即设备费为 70 元/m<sup>2</sup>, 散热器及配件费约为 30 元/m<sup>2</sup>, 因此初投资 100 元/m<sup>2</sup>。按照上述计算得: 空气源热泵机组费: 57.9 元/m<sup>2</sup>; 盘管费用: 每根管铜 16 m, 取管间距 150 mm [13], 距墙 150 mm, 每根管铜铺设 2.4 m<sup>2</sup>; 施工人员费用取 10 元/m<sup>2</sup>。不同供暖方案初投资见表 1。

运行费用主要包括电费, 水费, 燃料费, 维修费, 人工费及材料费。方案一系统耗电量 33.1 kWh/d, 方案二耗电量 0.42 kWh/d, 方案三耗电量 28.5 kWh/d。扬州供暖期 87 天, 峰时电费 0.5583 元/kWh; 维修费: 本系统维修费率取 1.5%, 其余取 2.5%; 人工费: 本系统人工费取 1%; 燃料费: 壁挂炉热效率 (80%~96%), 算出单位面积燃气量 8.2 m<sup>3</sup>, 扬州天然气价格为 2.2 元/m<sup>3</sup>。几种方案运行费用见表 2。

初投资和运行费用, 两指标给出初步定量的比较, 它们反映的是各方案经济性的一个方面, 在决策

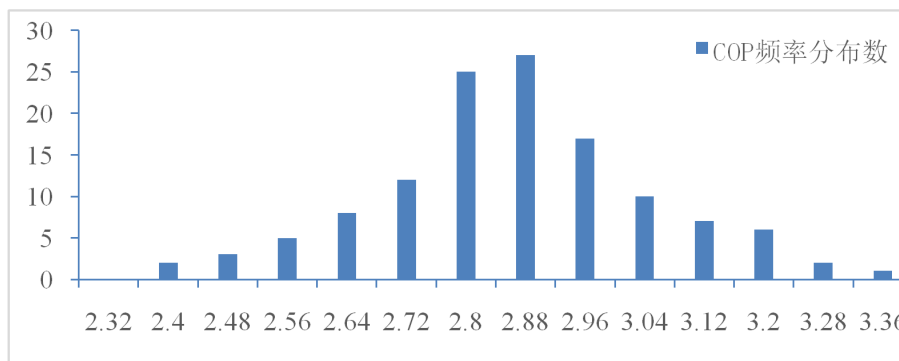
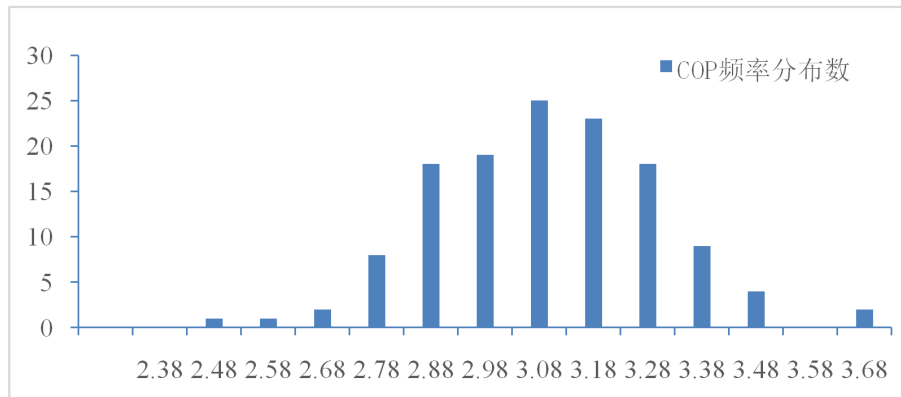
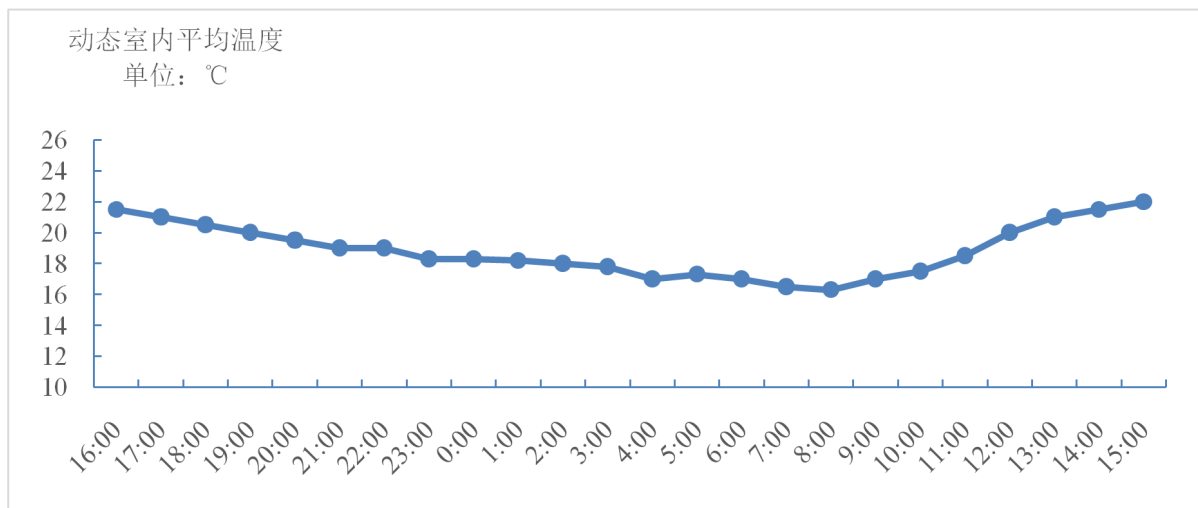


Figure 1. COP distribution of the continuous system result of standard experiment operation system throughout the day

图 1. 全天连续运行系统 COP 分布图



**Figure 2.** Daytime running night parking system COP distribution map  
**图 2.** 白天运行晚上停机系统 COP 分布图



**Figure 3.** Daytime running nighttime shutdown system dynamic room temperature chart  
**图 3.** 白天运行夜晚停机系统动态室内温度图

**Table 1.** Comparison of the initial investment of different heating methods  
**表 1.** 不同供暖方式初投资比较

方案	一	二	三
初投资(元/m <sup>2</sup> )	118.38	100	128.13

**Table 2.** Comparison of operating costs for different heating methods  
**表 2.** 不同供暖方式运行费用比较

方案	电费(元/m <sup>2</sup> )	水费(元/m <sup>2</sup> )	燃料费(元/m <sup>2</sup> )	维修费(元/m <sup>2</sup> )	人工费(元/m <sup>2</sup> )	运行费用(元/m <sup>2</sup> )
一	7.75	0	0	1.77	1.18	10.7
二	0.23	0	18.04	2.5	0	20.77
三	15.91	1.77	0	3.01	0	20.69

时就各方案的某一指标进行比较。要对各方案进行综合经济性比较时就需要一个综合经济指标。因初投资、维修费和使用寿命之间存在内在联系，这种联系是引入综合经济指标的基础，也使对系统的综合费用分析成为可能。因此采用动态费用年值对初投资和运行费用进行经济分析，计算公式为：

$$AC = C_i \cdot \left[ \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + C_k \quad (1)$$

式中：AC——费用年值，元。

$C_i$ ——初投资，元/m<sup>2</sup>。

$C_k$ ——年运行费用，元/m<sup>2</sup>。

$i$ ——标准收益率，统一取 10%。

$n$ ——设备使用年限，年。

设备使用年限根据市场经验记录如下表，由此可以算出不同供暖方式的费用年值，具体比较见表 3。

见表 1，方案一初投资费用居中，但其采用铜管使用寿命长，不易发生泄漏，方案二初投资低是因系统简单，仅需要燃气炉和散热器；见表 2，方案一省去了制冷剂与低温热水的换热过程，提升了系统的性能系数，供热效率高，运行费用最低；见表 3，方案一费用年值也最低，方案三费用年值最高，所以空气源热泵直接地板辐射供暖系统经济性很好。再结合现状，近年来，家庭供暖多采用地板辐射供暖系统，若采用空气源热泵直接地板辐射供暖系统，对于江淮地区单一家庭供暖来说，能获得良好的经济性。

#### 4. 空气源热泵直接地板辐射供暖系统的经济效益分析

仅比较不同供暖方式经济性并不能说明哪种方式最佳，接下来从节能性出发，根据折合标煤量比较耗能量，全面分析不同供暖方案。不同能源计量单位不同，为方便各运行能耗的比较，将各能源转换成等价标煤，根据文献[14]取折标煤系数，记录如下表，其中当量折标系数是按照燃料的当量热值与标准煤发热量之比，等价折标系数是指二次能源的等价热值与标准热值之比[15]。注：空气源热泵功率按常规计算，每平方 60W，取 COP 为 3.2 计算，本建筑空气源热泵需要 3889 W 功率；壁挂炉功率计算大致为建筑面积\*65%\*150 W，这里取大一点，24 kW，效率取 0.9。不同供暖方案运行能耗计算结果见表 4。

上述供暖系统中，方案一当量标煤和等价标煤最少，方案二当量标煤和等价标煤最多。此外，空气源热泵的 CO<sub>2</sub> 及 NO<sub>x</sub> 排放量最少，针对如今全球气温上升和雾霾现象，能减少温室气体和粉尘排放的空气源热泵直接地板辐射供暖系统是个很好选择。综上，空气源热泵能量转换效率高，尤其对江淮地区单一家庭供暖来说运行经济性好，且供暖过程中可实现部分热量循环使用，节能环保，是生态供暖，发展前景良好。

Table 3. Comparison of the cost of different heating methods

表 3. 不同供暖方式费用年限比较

方案	一	二	三
使用年限	25	15	25
费用年值(元/m <sup>2</sup> )	24.59	33.92	34.54

Table 4. Operating energy consumption for different heating schemes

表 4. 不同供暖方案的运行能耗

方案	能源种类	当量折标系数	等价折标系数	年运行能耗	当量标煤 kg.ce/m <sup>2</sup>	等价标煤 kg.ce/m <sup>2</sup>
一	电	0.1229 kg.ce/kWh	0.36 kg.ce/kWh	4061.2 kWh	2.41	7.05
二	天然气	1.2143 kg.ce/Nm <sup>3</sup>	1.2143 kg.ce/Nm <sup>3</sup>	2818.8 Nm <sup>3</sup>	16.5	16.5
三	电	0.1229 kg.ce/kWh	0.36 kg.ce/kWh	5910.9 kWh	3.50	10.26

## 5. 结论

1) 江淮地区温湿度适宜, 适宜空气源热泵的运行, 结合地板辐射供暖系统, 避免了传统的“头热脚冷”的热环境, 舒适性好。空气源热泵直接地板辐射供暖系统采用白天运行夜晚停机的运行模式 COP 更高, 并且能够满足用户供暖需求。

2) 使用费用年值法对空气源热泵直接地板辐射供暖系统, 与几种常见的供暖系统进行经济性比较, 就单位面积初投资、运行费用和费用年值等方面的结果, 表明空气源热泵直接地板辐射供暖系统经济性最优, 尤其对于江淮地区的单一家庭供暖来说, 运行经济性好。

3) 通过对不同供暖方案的运行能耗的比较, 空气源热泵直接地板辐射供暖系统, 能有效减少一次能源消耗, 二氧化碳排放量, 相对于传统的供暖方式, 节能环保优势明显。

## 参考文献 (References)

- [1] 中国能源研究会发布《中国能源发展报告 2016》[J]. 电力与能源, 2016(5): 640.
- [2] 李素花, 戴宝明. 空气源热泵的发展与现状分析[J]. 制冷技术, 2014, 34(1): 42-48.
- [3] 殷平. 南方供暖的现状与路径[J]. 暖通空调, 2013, 43(6): 50-57.
- [4] 乔凤杰, 徐砚. 热泵技术的发展及存在问题[J]. 信息技术, 2011(2): 119-121.
- [5] 曾传章, 吴锦京, 魏新利. 空气源热泵直接地板辐射供暖运行模式实验研究[J]. 太阳能学报, 2011, 32(8): 1151-1157.
- [6] 亢燕铭, 徐慧英. 地板辐射供暖的节能效益分析[C]. 全国暖通空调制冷 2000 年学术年会论文集, 2000: 32-35.
- [7] Thevenard, D. and Brunger, A. (2001) Typical Weather Years for International Locations. ASHRAE.
- [8] 张爱华. 空气源热泵无水地暖系统产品研发成功[EB/OL]. 中国科技网, 2014-01-02.
- [9] 叶盛, 陈汝东. 数码涡旋 VRV 空调系统的节能因素分析[J]. 应用能源技术, 2006(9): 17-20.
- [10] 王贻任. 美国谷轮公司压缩机应用技术讲座, 第九讲, 数码涡旋技术[J]. 制冷技术, 2003(1): 35-38.
- [11] 朱乐琪, 张旭, 杨杰. 数码涡旋多联机空调系统冬季运行特性实测[J]. 暖通空调, 2006, 36(12): 100-103.
- [12] Huang, H., Li, Q.H. and Yuan, D.X. (2008) An Experimental Study on Variable Air Volume Operation of Ducted Air-Conditioning with Digital Scroll Compressor and Conventional Scroll Compressor. *Applied Thermal Engineering*, **28**, 761-766.
- [13] 魏新利, 曾传章, 卢纪福. 空气源热泵直接地板辐射供暖系统实验研究[J]. 暖通空调, 2010, 40(7): 103-107.
- [14] GB/T2589-2008. 综合能耗计算通则[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [15] 陈晓红. 浅谈折标系数及对节能降耗的影响[J]. 节能技术, 2007, 25(3): 211-226.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)