

低温热水地面辐射供暖系统热源选择及能耗分析

夏 焱¹, 吴世凤², 陈 松³

(1 南京师范大学 能源与机械工程学院, 江苏 南京 210042;
2 苏州大学 物理与科学技术学院, 江苏 苏州 215021;
3 南京林业大学 木材工业学院, 江苏 南京 210037)

[摘要] 介绍了低温热水地面辐射供暖系统构成, 分析了该系统的舒适性和节能性. 对该系统的 4 种常见热源: 普通壁挂炉、冷凝式壁挂炉、空气源热泵、地源热泵进行了介绍, 并以一住宅为例, 计算分析了这 4 种热源的能耗及运行费用, 为选择地面辐射供暖系统热源提供了数据支持和选择参考.

[关键词] 地面辐射供暖, 地源热泵, 空气源热泵, 冷凝式壁挂炉, 能耗分析, 热源选择

[中图分类号] TU 834 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2010)04-0047-05

Heat Source Selection and Energy Consumption Analysis for Low Temperature Hot Water Floor Radiant Heating Systems

Xia Yi¹, Wu Shifeng², Chen Song³

(1 School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China
2 School of Physical Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215021, China
3 School of Wood Industry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract This paper introduces low temperature hot water floor radiant heating system. Energy-saving and thermal comfort features of this system are discussed. Four familiar heat source equipments are introduced, including ordinary wall-hung gas boiler, condensing wall-hung gas boiler, air source heat pump and ground source heat pump. Then the energy consumption and operation fee of those four heat source are calculated and analyzed, taking a house as example. The results of this paper could provide data support for the selection of heat source of floor radiant heating system.

Key words floor radiant heating, ground source heat pump, air source heat pump, condensing wall-hung gas boiler, energy consumption analysis, heat source selection

地面辐射供暖是利用建筑物内部地面里加装一定数量的内藏式传热元件进行采暖的系统, 它以低温热水为热媒或以发热电缆 (或电热膜) 为加热元件加热地面, 由被加热的地面通过热辐射和空气热对流对室内环境进行加热, 以达到采暖目的. 低温热水地面辐射供暖系统 (下文简称地面辐射供暖) 最为普遍, 它在 30 年代初就在西欧发达国家开始使用, 由于当时采用金属管做地埋热水盘管, 成本高、接口多、易腐蚀及横向膨胀系数大, 易引起地面龟裂等诸多问题, 没能大面积推广普及.

70 年代以来, 随着化学工业的发展, 抗老化、耐高温、热稳定性好的塑料材质取代了金属管材, 地面辐射供暖系统开始大量应用. 据 20 世纪 90 年代统计, 西欧国家住宅建筑中装设地面辐射供暖系统的占 20% ~ 50% (至 1994 年, 法国为 20%、德国为 41%、奥地利为 45%、瑞士为 48%)^[1]. 近几年, 地面辐射供暖, 因其具有经济、节能、舒适等一系列优越性, 很快被人们接受而得到了迅速的推广, 在我国也得到较快的发展.

随着地面辐射供暖的广泛普及, 研究该系统的舒适节能特性, 分析其热源适用性及经济性变得非常重要, 本文着重分析了 4 种热源的特性、能耗及运行费用, 为选择地面辐射供暖系统热源提供数据支持和选择参考.

1 低温热水地面辐射系统构成

如图 1 所示,地面辐射供暖系统由:热源、地面盘管系统(保温板、反射层、钢丝网、地暖盘管、固定卡钉、混凝土找平等)、分集水器、供回水干管、分区温控系统构成。热源提供 35℃~50℃温度范围内的低温热水,由干管送到分水器,再由分水器输送到各个房间的地面盘管系统。热水在地面盘管内循环流动,将地面加热至 28℃左右,通过热辐射和空气热对流向房间输送热量,室内温度可达到 20℃以上。

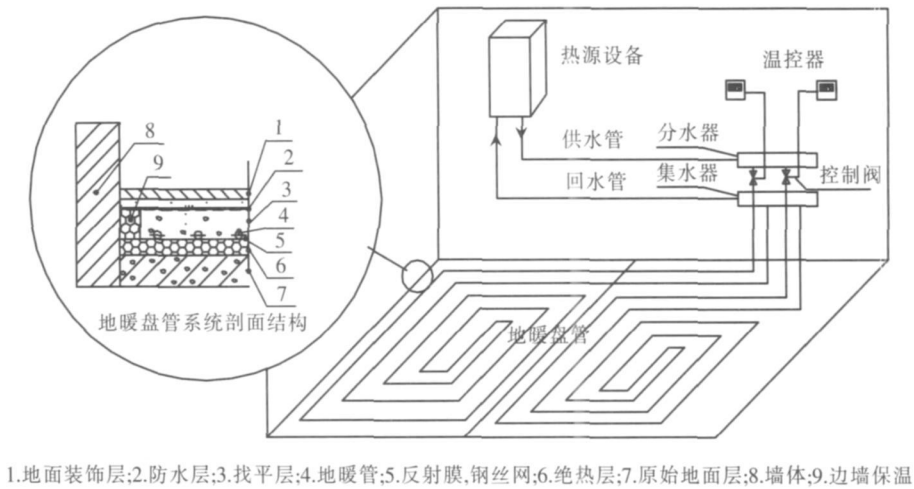


图 1 低温热水地面辐射供暖系统图
Fig.1 Low-temperature hot water floor radiant heating system diagram

分水器的每一个环路都配置了控制阀门,各个房间设有温控器,通过控制相应回路的水流量来控制室温,做到最大限度节省能源和运行费用。地暖盘管材料有 PEX(交联聚乙烯)、PERT(耐热聚乙烯)、PB(聚丁烯)、PEXAL(铝塑复合管)等材料^[2]。

2 地面辐射供暖系统的舒适性及节能性分析

2.1 地面辐射供热系统的舒适性

理想的人体温度曲线应该符合“温足而顶凉”的规律,即脚部保持温暖,头部保持凉爽,这样有利于健康。中医的经典著作《脉法》中记载:“圣人寒头而暖足,治病者取有余而补不足也”。中医认为,头为诸阳之会。倘若头部温度太高,不但对健康不利,甚至会成为致病因素。唐代名医孙思邈在《备急千金要方》中说过:“人头边勿安火炉,日久引火气头重目赤,睛及鼻干”。人的足部是距离心脏最远的器官,最易受到寒邪侵袭,因而有“寒从脚起”之说。从现代医学的角度解释:脚离心脏比较远,处于肢体末端,身体能量和养分不能及时输送,并且冬天一般地面温度比较低,脚部最容易造成热量流失,也最不容易补充热量。在某些冬季寒冷没有采暖保障的地区,冻脚非常普遍,严重的有冻疮。

地面辐射供暖,通过地面热辐射和空气热对流给房间供暖,地面温度高于空间温度,因此使人有“温足而顶凉”的舒适感。地面辐射供暖系统以红外辐射为主要传热方式,可以改善人体血液循环、促进新陈代谢。实践证明,居住在地面辐射供暖房间的人,患腰酸腿痛和慢性哮喘病的情况明显减轻,这种生活环境对于老人和小孩很有利。另外地面辐射供暖系统不需要送风,人在这样的环境下面不会因吹风而感觉干燥或不适,也不会有任何噪音,所以地面辐射供暖的热舒适性非常好^[3]。

2.2 地面辐射供热系统的节能性

住宅内人停留高度一般为离地 2 m,而平层住宅层高 2.8 m 左右,挑空住宅层高 5 m 左右。空调、暖气片等对流供暖系统,由于浮力作用热空气自然上升,这就导致了人停留区域要达到设计温度,其上部空气温度必然高于下方。2 m 以上空间为住宅内的无效供暖区域,对流供暖方式下,该区域温度比人体停留区域还高,这就增加了无效供热量。地面辐射供暖系统,热量集中在人体收益高度。一般而言,辐射供暖可比对流供暖设计温度低 2℃~3℃,却能获得同样的舒适环境,也能使人们有同样的温暖感觉^[4]。按照采暖系统平均温度每降低 1℃可节能 5%~10% 计算,地面辐射供暖比其他供暖方式节能 10%~30%。

3 3种不同热源介绍

3.1 燃气壁挂炉热水锅炉

燃气壁挂式热水锅炉(下文简称壁挂炉)是目前国内使用最多的地面辐射供暖热源,它可以为一个公寓或者一栋小型别墅提供采暖及一年四季的生活热水.壁挂炉以天然气为燃料,一般为生活热水、供暖两用型,它既可提供生活热水,又可供暖.两用型壁挂炉采用生活热水优先工作模式:即当用户使用生活热水时,壁挂炉将暂停采暖系统的工作;当用户使用完生活热水后,壁挂炉自动恢复采暖系统的运行.如需要使用大型卫浴设备(如大型冲浪浴缸),需要在原有壁挂炉系统中加装生活热水储水罐,容积从100~300 L不等.

壁挂炉供暖功率在18~36 kW范围内有多种机型供选择,其供水温度可在30℃~85℃温度范围内自由调节,既可作为暖气片热源,也可作为地面辐射供暖热源.壁挂炉内部由燃气比例调节阀、燃烧室、平衡式排风机、密闭式膨胀水箱、供暖循环泵、生活热水板式换热器等部件构成.壁挂炉采用平衡式排烟,其烟管为同轴烟管,外管用于吸入新鲜空气供天然气燃烧,内管用于排出燃烧废气.因此,壁挂炉烟管必须能与室外相连,且烟管一般不能长于3 m.壁挂炉以天然气为燃料,根据功率其耗气量从2~4 m³/h不等.

壁挂炉分普通和冷凝式两种,它们结构和性能均有所不同.普通壁挂炉在工作状态下,比例调节燃烧器自动调节燃气量与平衡式风机从室外吸入的空气混合燃烧,其排烟温度一般在120℃以上,烟气带走的热量损失偏大,其燃烧热效率在80%~93%之间.冷凝式壁挂炉燃烧方式为全预混的比例调节,它将烟气中的余热回收利用,其排烟温度最低可降到40℃左右,烟气中水蒸气潜热基本被充分吸收和利用,故其热效率可大于100%.冷凝式壁挂炉在供低温水时燃烧效率更高,最高可达108%,更适用于低温热水辐射供暖系统^[5].

3.2 空气源热泵系统

空气中存在大量热能,过去有人错误地认为0℃以上为热能,认为常温20℃左右的空气中热能有限;其实世界上的物质在绝对温度(-273℃)以上就具有热能.能够利用我们周围空气热能的热泵为空气源热泵.

我们介绍最常见的空气源热泵冷(热)水机组,它由压缩机、节流装置、风冷换热器、水冷换热器4大部件构成,它利用制冷剂的压缩和膨胀使冷媒的温度大于或小于室外大气温度,从而向空气释放或吸收热量.夏季,机组提供7℃的冷水,可由水泵通过管道送至风机盘管,由风机盘管送风换热实现房间的制冷.冬季,机组提供45℃的热水,由水泵通过管道送至风机盘管,由风机盘管送风换热实现房间的制热.

由于45℃的水温符合辐射供暖系统35℃~50℃的热源水温要求,可由水泵通过管道及分集水器送入地面盘管,实现地面辐射供暖.如果热泵机组COP为4,则1 kW的电能输入可获得4 kW的热能输出,其中3 kW的热量来自空气.而空气中的能量最终来源于太阳能,不排放CO₂和NO_x等污染气体,是用之不竭的清洁能源^[6].

空气源热泵的局限性在于,如果室外环境温度降低,其COP会降低,其出热水温度也明显会下降.当环境温度较低、湿度较大时,机组会结霜,性能会明显下降,而在化霜过程中,机组不但无法提供热量,还需要从房间吸收热量融霜,这都会影响地面辐射供暖系统的效果.

3.3 地源热泵系统

地源热泵原理与空气源热泵相同,所不同的是其热源不是空气而是地下土壤、岩石或地下水.地源热泵通过地下埋管系统形成土壤换热器,夏季向地下释放热量,冬季从地下吸收热量.由于土壤、岩石、地下水和地表水深处温度稳定,受大气环境温度影响很小,可以作为热泵的冷热源,在冬季可利用的水体温度为12℃~22℃,水体温度比环境空气温度高,所以热泵循环的蒸发温度提高,制热能效比提高,而在夏季水体为18℃~35℃,水体温度比环境空气温度低,所以冷凝温度降低,制冷能效比提高.由于以上原因地源热泵机组比空气源热泵效率大大提高,其制冷、制热系数可达3.5~6,比空气源热泵节能^[7,8].由于冬季热源温度高于零度,地源热泵不存在结霜问题,供暖稳定性及效果明显优于空气源热泵.

但地源热泵对安装条件有要求,它要求垂直井间距大于5 m,需要一定面积的室外地面.如果地质结构复杂,打井成本会非常高.地源热泵要注意夏季和冬季的热平衡的问题,如夏季释放的热量大于冬季吸

收的热量,会导致土壤温度逐年上升,夏季制冷效果会逐年下降.

本文以一小型住宅为例,该住宅为独栋别墅,位于南京市江宁区,建筑面积 280 m²,供暖负荷 30 kW. 冬季采用地面辐射供暖系统,分别选德国菲斯曼普通壁挂炉、冷凝式壁挂炉、美国特灵空气源热泵、美国特灵地源热泵为热源.这 4 种设备的技术参数如表 1^[9 10].我们对这 4 种热源的参数、投资额、能耗、运行费进行了计算和分析,具体数据如表 2^[9 10].

表 1 4 种热源的技术参数表

Table 1 Technical parameters of the four heat source

特性	热源			
	菲斯曼普通壁挂炉	菲斯曼冷凝式壁挂炉	特灵空气源热泵	特灵地源热泵
	VITO PENDING 100- 30kW	VITO DENS 100- 26kW	CGAK/R- 1005F	W PWE 1005SN
消耗能源	天然气	天然气	电能	电能
主机其他功能	生活热水	生活热水	制冷	制冷
供暖水温	30- 84℃	30- 84℃	45℃	45℃
安装条件	室内安装	室内安装	室外安装	室内安装
配套条件	便于室外吸氧	便于室外吸氧	外机需要安装机位	要有足够地面
			外机吸热/散热良好	进行室外埋管
尺寸:				
长* 宽* 高 /mm	360* 450* 725	340* 400* 725	500* 1290* 1900	706* 806* 635

表 2 4 种热源冬季供暖费用计算分析表

Table 2 Winter heating costs analysis table of the four heat source

指标参数	热源形式	普通壁挂炉	冷凝式壁挂炉	空气源热泵	地源热泵
额定工况满负荷运转参数	设备投资及打井埋管成本 /万元	1. 4	2. 8	5. 6	8. 6
	制热量 /kW	30	26	31. 2	28. 9
	天然气耗量 /(m ³ /h)	3. 37	2. 44	/	/
	压缩机输入功率 /kW	/	/	9	7. 7
	室外侧风扇输入功率 /kW	/	/	0. 6	/
	室外侧水泵输入功率 /kW	/	/	/	0. 75
	室内侧水泵输入功率 /kW	0. 136	0. 119	0. 72	0. 72
	总耗电量 /(kW h /h)	0. 136	0. 119	10. 32	9. 17
	热效率或 COP	90%	108%	3. 02	3. 15
	电费 /(元 /h)	0. 061 2	0. 053 55	4. 644	4. 126 5
	天然气费 /(元 /h)	7. 414	5. 368	/	/
	总费用 /(元 /h)	7. 475 2	5. 421 55	4. 644	4. 126 5
实际运行费用计算	环境低温导致机组效率衰减	0%	0%	20%	0%
	考虑环境影响实际费用 (元 /h)	7. 4752	5. 42155	5. 805	4. 1265
	制热天数 (d)	90	90	90	90
	日均制热时间 (h)	10	10	10	10
	供暖满负荷运转率	60%	60%	60%	60%
	供暖总费用 (元)	4 036. 608	2 927. 637	3 134. 7	2 228. 31
	月均供暖费用 (元)	1 345. 536	975. 879	1 044. 9	742. 77
	折算供热量差异后				
	运行费用相对空气源热泵比率	1. 34	1. 12	1	0. 77

注: (1) 南京峰谷电价分别为 0. 55 元 /kW h, 0. 35 元 /kW h, 取平均值 0. 45 元 /kW h.
(2) 南京天然气热值 8500 千卡 /m³, 价格按照 2. 2 元 /m³ 计算.
(3) 设备参数基于以下标准测定:
普通壁挂炉: 根据国标 GB20665- 2006 测试, 出水温度 80℃, 回水温度 60℃;
冷凝式壁挂炉: 根据德国 EN483 标准测试, 出水温度 50℃, 回水温度 30℃;
空气源热泵: 根据国标 GB/T 18430. 2- 2001 测试, 室外环境温度 7℃, 使用侧进出水温度 40℃ /45℃;
地源热泵: 根据国标 GB/T 19409- 2003 测试, 水源侧进水温度 15℃, 使用侧进水温度 40℃.
(4) 地源热泵埋管成本基于地质结构为沙土计算.

由计算发现,地源热泵运行费用最低,比空气源热泵节省 23%,夏季还可做空调冷源解决制冷问题.它缺点在于,需要有室外地面供打井埋管吸热,加上打井及埋管,其综合投资最高,如果地质结构复杂打井投入很难靠运行费用的节省来收回.

空气源热泵不需要打井埋管,只要阳台或空调隔板有合适空间即可安装,夏季可做空调冷源解决制冷问题,其设备投资额居中.它缺点在于冬季低温高湿环境下容易结霜,造成制热效果差、效率下降.

壁挂炉设备体积小便于安装,投资也最低,供热效果好且不受环境温度影响,可提供生活热水,其设备投资额最低.普通壁挂炉运行费用比空气源热泵高 34%,如采用冷凝式壁挂炉,运行费用比空气源热泵高 12%.它缺点在于,夏季需要另外安装空调系统解决制冷问题,另外对冬季限制住宅天然气使用量的城市,安装有一定的限制.

4 结论

本文介绍了低温热水地面辐射供暖系统的构成,分析发现该系统是符合人体需求的舒适并且节能的系统.本文比较分析了普通壁挂炉、冷凝式壁挂炉、空气源热泵和地源热泵 4 种热源设备的系统构成、投资成本、设备特点和工作性能.针对一栋参考住宅,选用这 4 种设备做热源,分析计算了冬季供暖费用,发现与空气源热泵相比,地源热泵节省 23%,普通壁挂炉多耗费 34%,冷凝式壁挂炉多耗费 12%.综合而言:地源热泵最节能但投资最高;空气源热泵投资居中安装灵活但供暖效果受环境影响大;普通壁挂炉投资最低但运行费用高,为了节能可多采用冷凝式壁挂炉.

在为住宅选用辐射供暖系统热源时,需综合考虑能源条件、安装条件、投资预算、运行成本、制冷和生活热水需求等因素,本文为此给出了数据分析和选择参考.我们建议有院子或具备打井埋管条件住宅,比如别墅,可选用地源热泵作为热源.夏季可兼做冷源.不具备打井埋管条件,但室外有主机安装空间的住宅,可选用空气源热泵作为热源,夏季可兼做冷源.不具备打井条件,室外又无主机安装空间的住宅,可选用壁挂炉作为热源,建议使用冷凝式壁挂炉.

[参考文献] (References)

- [1] 王子介. 低温辐射供暖与辐射制冷 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
Wang Zijie. Low-Temperature Radiant Heat and Radiation Refrigeration [M]. Beijing: China Machine Press, 2004. (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国建设部. JG J142—2004 地面辐射供暖技术规程 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. JG J142—2004 Technical specification for floor radiant heating [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2004. (in Chinese)
- [3] 高喜玲, 商利斌. 地板辐射采暖系统的热舒适性评价 [J]. 科技信息, 2009, 19: 87-88.
Gao Xiling, Shang Libin. The thermal comfort appraisal of radiant floor heating system [J]. Science and Technology Information, 2009, 19: 87-88. (in Chinese)
- [4] 乔志远, 邬宏. 用低温热水地板辐射采暖取代传统散热器采暖 [J]. 内蒙古科技与经济, 2006, 22: 115-116.
Qiao Zhiyuan, Wu Hong. With low temperature hot water floor radiant heating replace traditional radiator heating [J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2006, 22: 115-116. (in Chinese)
- [5] 隋云亮, 嵇永飞. 冷凝式壁挂炉与地板采暖系统的优势结合 [J]. 供热制冷, 2010(4): 42-43.
Sui Yunliang, Ji Yongfei. Condensing wall-hang boiler and floor heating system combining the advantage [J]. China Construction Heating and Refrigeration, 2010(4): 42-43. (in Chinese)
- [6] 佐々木, 京子, 郭廷杰. 日本大力推广热泵、蓄热系统应用情况简介 (二)——从空气中回收能源的热泵 [J]. 节能, 2009 (7): 4-5.
佐々木, 京子, Guo Tingjie. Japan promoting regenerative heat application system (2)-the heating pump who can recycling energy from the air [J]. Energy Conservation, 2009(7): 4-5. (in Chinese)
- [7] 胡颂. 浅谈地源热泵空调冷热源方案及其工程应用 [J]. 宜春学院学报, 2009, 31(6): 95-96.
Hu Song. Discuss ground source heat pump air conditioning cooling and heating source and engineering application [J]. Journal of Yichun University, 2009, 31(6): 95-96. (in Chinese)
- [8] 江章宁, 胡平放, 雷飞, 等. 地埋管地源热泵系统冬季运行测试研究 [J]. 暖通空调, 2009, 39(3): 115-118.
Jiang Zhangning, Hu Pingfang, Lei Fei et al. Measurement of operation of a GSHP system in winter [J]. HVAC, 2009, 39 (3): 115-118. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]