

某地源热泵工程案例的技术经济性分析研究

袁健灵,余跃进,曾繁博,郑丽鹏

(南京师范大学能源与机械工程学院,江苏 南京 210042)

[摘要] 通过南京地区某项目地源热泵空调系统工程,对地埋管地源热泵系统的技术合理性和经济可行性进行评估,并与水冷机组+锅炉系统进行比较,从经济学的角度研究地埋管地源热泵的技术,分别在初投资费用、经济性评价指标和能耗分析 3 个方面研究其经济效益,最后提出相关结论和建议,得出地埋管地源热泵技术系统的能源综合利用率较高,在经济性和运行费用上优于水冷机组+锅炉系统的结论。

[关键词] 地源热泵,水冷机组+锅炉系统,经济性指标,能耗分析

[中图分类号]TK519 [文献标志码]A [文章编号]1672-1292(2017)04-0066-05

The Technical and Economic Evaluation Research of Ground Source Heat Pump System in Nanjing Area as an Example

Yuan Jianling, Yu Yuejin, Zeng Fanbo, Zheng Lipeng

(School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: In this paper, the technical rationality and economic feasibility of the buried pipe ground source heat pump air conditioning system of a project in Nanjing are evaluated and compared with the chiller+boiler system. From the perspective of economics research of buried pipe ground source heat pump technology, its economic benefits respectively in the initial investment cost, economic evaluation index and energy consumption are analyzed, and in the end, relevant conclusions and suggestions are proposed that buried pipe of ground source heat pump system energy comprehensive utilization rate is higher and that it is also better than cold water units+boiler system in the initial investment and operation cost.

Key words: ground source heat pump, water cooled unit+boiler system, economic indicators, energy consumption analysis

在优化能源结构的背景下,地源热泵这个以大地为热源,从而对建筑进行空气调节的新节能技术,发挥着重要的作用。本文基于地源热泵的基本原理对南京某工程项目进行了研究,针对其地埋管式的地源热泵技术,在初投资和运行费用方面,从经济指标和能耗分析上与水冷机组+锅炉系统进行了对比,其中经济性评价指标可分为静态投资回收期、动态投资回收期、净现值以及内部收益率,通过计算这 4 个指标来比较地埋管地源热泵与水冷机组+锅炉系统的性能^[1]。虽然目前地源热泵技术依然存在着一些缺陷,但在节能利用上依然有着比较明显的优势。

1 地源热泵系统案例的能效分析

1.1 工程概况

某项目将豪华酒店式公寓、大型情景式购物中心、摩登时尚购物街、酒店以及精装豪宅五大业态融为一体。该项目需要根据现场占地面积计算打井数量。其中,新建建筑总占地面积大约为 37 123 m²,实际可以打孔的区域面积大约为 25 986.1 m²。为了更好地保证换热器的运行效率,在进行地埋管设计时,实际钻井为 ≥ 4 m。在该方案中,钻井间距为 4 m,打井数最多为 1 624 口。其中,夏季竖直管散热量约为 50 W/m,冬季竖直管散热量约为 45 W/m,单管深度按 120 m 进行设计。

对上述五体产业分别进行分析:酒店夏季冷负荷为 2 475 kW,根据机组设备型号,需要地埋管的长度

约为 57 750 m,约需 482 口井;酒店和购物中心 5-7 层冬季热负荷与热水负荷约为 3 440 kW,需要地埋管长度约为 59 822 m,约需 499 口井. 夏季向土壤放热约 2 887.5 kW,冬季向土壤取热约 2 692 kW,土壤的不平衡率约为 7%,满足热平衡的要求.

该项目供冷供热方案为地埋管地源热泵空调系统,其中选取的比较对象为水冷冷水机组+锅炉系统,本文针对这两种供冷供热系统进行经济性分析^[1].

该项目的地源热泵空调系统和水冷机组+锅炉系统的前期成本如表 1 所示.

表 1 两种系统方案前期成本对比表

Table 1 Upfront costs contrast table

类型	地源热泵系统	水冷机组+锅炉系统	差额
初投资(万元)	2 983	2 336	647

1.1.1 地埋管换热系统概况

对南京地区室外参数的计算,根据《民用建筑供暖通风空气调节设计规范》(GB50736-2012),冬季空气调节室外计算温度为-4.1℃,夏季空气调节室外计算湿球温度为 28.1℃.

对建筑室内参数的计算,根据《民用建筑供暖通风空气调节设计规范》(GB50736-2012)及《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2005),不同功能房间的室内设计参数如表 2 所示.

表 2 各功能房间设计参数

Table 2 The design parameters of each room

房间名称	夏季		冬季	
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%
客房	25	60	20	自然相对湿度
商场	26	60	18	自然相对湿度
公寓	25	60	20	自然相对湿度
门厅	27	65	18	自然相对湿度
走廊	27	60	18	自然相对湿度

根据夏季和冬季的实际情况分别分析供回水温度,夏季空调采用了地源热泵机组和螺杆式制冷机组,冬季依靠地源热泵系统供空调热负荷,全热回收型地源热泵机组提供酒店和公寓部分生活热水. 冷冻水输配系统采用两管制、一次泵系统,在机房管路上设置定压补水装置,在冷冻输配管路的分支管路配设双平衡阀以方便日后系统调试.

1.1.2 设备选型

该项目中使用的地源热泵系统首先需满足酒店的空调和生活用水系统,然后再满足公寓和其他建筑空调的冷热负荷需求. 各机组的主要设备如表 3 所示.

表 3 地源热泵换热系统的主要设备

Table 3 The main equipment of the ground source heat pump heat system

序号	机组	数量	型号及规格
1	热泵机组	5 台	制冷/耗电量:1 072.5/178.6 kWh 制热/耗电量:1 141.8/233.1 kWh
2	全热回收热泵机组	2 台	制冷/耗电量:1 072.5/178.6 kWh 制热/耗电量:1 141.8/233.1 kWh 热水流量:184.8 m ³ /h
3	螺杆式冷水机组	4 台	制冷/耗电量:2 289.0/463.3 kWh 冷冻水/冷却水流量:394.0/467.5 m ³ /h
4	热泵机组	2 台	制冷/耗电量:1 381.0/228.5 kWh 制热/耗电量:1 471.2/304.0 kWh
5	螺杆式冷水机组	4 台	制冷/耗电量:1 790.0/336.9 kWh 冷冻水/冷却水流量:308.1/364.9 m ³ /h

1.2 运行能耗分析

分别取该项目地源热泵空调系统夏季和冬季各运行 90 d,每天运行时间 10 h,由于水冷式系统的满负荷能效较高,故负荷按照满载 75%进行衡量考虑^[2],由此可根据表 3 计算出复合式地源热泵空调系统的能耗结果,如表 4 所示.

表 4 复合式地埋管地源热泵空调系统的能耗分析

Table 4 Energy consumption analysis of ground source heat pump air conditioning system

序号	类别	计算公式	地埋管地源热泵	
			夏季	冬季
1	季节	—		
2	系统额定输入功率(kW)	—	6544	2 986.2
3	系统输出功率(kW)	—	26 585.5	10 935
4	系统每年运行小时数(h)	—	900	900
5	年供热、供冷量(kWh)	(5)=(3)×(4)×0.75	14 356 170	5 904 900
6	系统耗电量(kWh)	(6)=(2)×(4)×0.75	4 417 200	2 015 730

1.3 系统能效比分析

系统的能效比计算公式为：

$EER(COP)=Q/P,$ (1)

式中,EER 为机组制热工况能效比;COP 为机组制冷工况能效比;Q 为实际测量制热量或制热量(kW);P 为机组实际输入功率(kW).

由于系统的能效比等于系统输出冷(热)量与输入有效功率的比值^[5],由表 4 可知夏季输出的冷量为 26 585.5 kW,冬季输出热量为 10 935 kW. 在制冷状态下,有效输入功率为 6 544 kW;在制热状态下,有效输入功率为 2 986.2 kW.

根据式(1)可知,在制冷状态下,地埋管式地源热泵的能效比为: $COP_c=26\ 585.5\div6\ 544=4.06$;在制热状态下,地埋管地源热泵的能效比为: $COP_h=10\ 935\div2\ 986.2=3.67$. 可以看出,地埋管系统在夏冬两季耗能最少,故可节约资源,对比冷水机组+锅炉系统,地埋管地源热泵的能源综合利用率较高^[4].

1.4 运行费用分析

针对地源热泵空调系统和水冷机组+锅炉系统两种供冷供热方案对比分析运行费用,如表 5 所示. 可知,在该项目中,地源热泵空调系统对于水冷机组+锅炉系统,每年在运行费用上减少了 121 万元,节约运行费用达 41.6%.

表 5 年运行费用表

Table 5 Chart of operating costs

类型	地源热泵空调系统	水冷机组+锅炉系统
年运行总费用(万元)	170	291

2 经济性评价

根据表 1 和表 5 所给的前期成本及后期运行费用,计算出该项目的年现金流量以及相对应的折现值,如表 6 所示.

表 6 现金流量表

Table 6 Chart of cash flow

年份	0	1	2	3	4	5	6	7
现金流量(万元)	-647	121	121	121	121	121	121	...
折现值(万元)	-647	114.22	107.82	101.78	96.08	90.70	85.62	80.83

2.1 动态投资回收期

动态投资回收期是将资金时间作为考虑的条件^[3],主要考虑 3 个方面:技术在经济寿命期内的投资;经济寿命期内的收益;资金的时间限制. 动态投资回收期也能正确地反映资金回收期.

动态投资回收期的计算公式为: $\sum_{t=1}^{P_t} NCF_t\cdot(1+i_o)^{-t}=0.$

动态投资回收期(P'_t)也可依据净现值流量表得出:

$P'_t=$ 累计折现现金流量开始出现正值的年份-1+ $\frac{\text{上年累计折现净现金流量的绝对值}}{\text{当年折现净现金流量}}.$

根据表 6 可计算得出,累计折现现金流量出现正值的年份是第 7 年,所以动态投资回收期为: $P'_t=7-1+\frac{50.78}{80.83}=6.6$ 年.

2.2 静态投资回收期

静态投资回收期是不将资金时间作为考虑的条件,通过技术方案净收益,计算回收总投资所需时间^[3].该指标计算方便,可对技术方案或短期投资方案进行粗略评估.

静态投资回收期的计算公式为: $\sum_{t=1}^{P_t} NCF_t = 0$.

静态投资回收期(P_t)也可依据净现金流量计算得出:

$$P_t = \text{累计现金流量第一次出现正值的年份} - 1 + \frac{\text{上年累计现金流量的绝对值}}{\text{当年净现金流量}}.$$

根据表6可计算得出,累计现金流量出现正值的年份正好是第6年,因此静态投资回收期为: $P_t = 6 - 1 + \frac{42}{121} = 5.35$ 年.

该项目中地源热泵系统的寿命期设定为15年,因而在5.35年的回收期后的9.65年内,可总共产生相对收益约为 $9.65 \times 121 = 1167.65$ 万元.

可见,当静态投资回收期(P_t)小于基准投资回收期(P_{ct}),则表示该项目工程可在规定的时间回收投资,且满足同行业项目的投资风险性和盈利性^[6].

2.3 净现值

净现值(NPV)是指在计算期内投资项目的财务净现金流量根据部门的基准收益率或财务的贴现率折现到基准年的现金之和^[5].NPV的计算公式为:

$$NPV = \sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1 + i_0)^{-t}.$$

根据表6可得出该项目的净现值为:

$$NPV = -647 + \frac{(1+i)^{15}-1}{i(1+i)^{15}} \times 121 = -647 + \frac{(1+5.6\%)^{15}-1}{5.6\%(1+5.6\%)^{15}} \times 121 = 557.65 \text{ 万元}.$$

2.4 内部收益率

内部收益率(IRR)是指在整个计算期内净现金流量现值累计之和为零的折现率^[5].IRR的计算公式为:

$$NPV(IRR) = \sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1 + IRR)^{-t} = 0.$$

根据表6,取 $i_1 = 15\%$, $i_2 = 17\%$, 则

$$NPV(15\%) = -647 + \frac{(1+i)^{15}-1}{i(1+i)^{15}} \times 121 = -647 + \frac{(1+15\%)^{15}-1}{15\%(1+15\%)^{15}} \times 121 = 60.57 \text{ 万元},$$

$$NPV(17\%) = -647 + \frac{(1+i)^{15}-1}{i(1+i)^{15}} \times 121 = -647 + \frac{(1+17\%)^{15}-1}{17\%(1+17\%)^{15}} \times 121 = -2.77 \text{ 万元},$$

则

$$IRR = 15\% + \frac{60.57}{60.57 + 2.77} \times (17\% - 15\%) = 16.91\%.$$

3 结语

(1)通过对南京某项目的分析研究,对比地埋管式地源热泵和水冷机组+锅炉系统的经济性及能耗性.在初投资方面地源热泵总投资多了647万元,但每年的运行费用上均减少121万元,则在地源热泵寿命期内,除去每年引起的折现,根据静态投资回收期的计算,假设寿命期为15年,在5.35年之后,地源热泵可获得9.65年的相对收益;且净现值(NPV)大于0,经经济评价指标计算,该项目采用地源热泵技术是能产生利润的.

(2)对该项目进行系统能效比,根据计算所得能效比(COP_c)可知,该项目中地源热泵技术的夏季能效比为4.06,冬季的能效比为3.67,由此可见,地源热泵较高的能效比使其能源综合利用率较高.

[参考文献](References)

- [1] 张国辉. 地源热泵系统技术经济性评价研究——以武汉地区为例[D]. 武汉:武汉理工大学,2012.
ZHANG J H. The technical and economic evaluation research of ground source heat pump system in Wuhan area as an example[D]. Wuhan:Wuhan University of Technology,2012.(in Chinese)
- [2] 杨灵艳,徐伟,朱清宇,等. 寒冷地区地源热泵能效调研与节能量分析[J]. 暖通空调,2015,45(4):8-12.
YANG L Y,XU W,ZHU Q Y,et al. Energy efficiency investigation and energy saving analysis of ground-source heat pump in cold zone[J]. Heating ventilating and air conditioning,2015,45(4):8-12.(in Chinese)
- [3] 信健. 商业地产投资回收期的影响因素研究[D]. 太原:太原理工大学,2015
XIN J. Influent factors of payback period of commercial real estate[D]. Taiyuan:Taiyuan University of Technology,2015.(in Chinese)
- [4] 马勇,李玉云,蒋修英,等. 武汉地区地源热泵系统能效及效益分析[J]. 暖通空调,2015,45(7):59-62
MA Y,LI Y Y,JIANG X Y,et al. Energy efficiency and benefit analysis of ground-source heat pump systems in Wuhan[J]. Heating ventilating and air conditioning,2015,45(7):59-62.(in Chinese)
- [5] 肖璠,杜震宇,姜振涛. 某地源热泵空调系统的经济性分析[J]. 能源与节能,2011(7):8-12.
XIAO P,DU Z Y,JIANG Z T. Economic benefit analysis of ground-source heat pump air conditioning system[J]. Energy and energy conservation,2011(7):8-12.(in Chinese)
- [6] 丁江贤. 我国风险投资问题的研究[D]. 南京:南京理工大学,2003.
DING J X. Research on the problem of venture capital in China[D]. Nanjing:Nanjing University of Science and Technology,2003.(in Chinese)

[责任编辑:严海琳]