

# 基于DeST的地源热泵系统经济性分析

汪仲亮, 余跃进, 丁 杰

(南京师范大学能源与机械工程学院, 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 本文采用DeST软件对实际工程进行能耗模拟计算, 对比分析地源热泵系统与常规能源系统的能耗区别. 分析表明地源热泵的初投资较高, 但在运行费用与投资回收年限方面具有较大优势, 且能效较高, 系统寿命较长, 应该得到大力推广和应用.

**[关键词]** 地源热泵, DeST, 经济性, 能耗对比

**[中图分类号]** TK01+8 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2016)01-0061-05

## Economic Analysis of Ground Source Heat Pump by DeST Software

Wang Zhongliang, Yu Yuejin, Ding Jie

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

**Abstract:** In this paper, a simulation based on the DeST software to the actual engineering energy consumption is used to compare the energy consumption of ground source heat pump system with the conventional energy system. It is concluded that although the ground source heat pumps with high initial investment, it has advantages in the running expense, payback period of investment, system life and high energy efficiency ratio. It should be vigorously promoted and applied.

**Key words:** ground source heat pump, DeST, conventional source of energy, comparison of energy consumption

据统计, 中国大型公共建筑总面积不足城镇建筑总面积的5%, 但总能耗却很大, 几乎占全国城镇总耗电量的20%. 给社会造成了巨大的能量浪费<sup>[1]</sup>.

地源热泵是一种利用浅层地热能源的高效节能系统. 由于土壤内部温度受外界影响小, 系统通过地下换热系统, 形成室内与地下冷热量的交换, 实现建筑物的制冷与供暖. 地源热泵为可再生能源利用技术, 经济效益高, 通常COP值可达到4以上, 正越来越多地被运用到实际建设项目中<sup>[2]</sup>.

## 1 DeST模拟

### 1.1 建筑工程概况

空调负荷的逐时计算可以适当减小空调主机的装机容量, 有利于节能. 但是计算过程繁琐, 费时费力, 在设计周期非常紧张的情况下, 设计人员缺少合适的计算软件. DeST的使用很好地弥补了这个空缺, 它是建筑环境及HVAC系统模拟的软件平台, 将现代模拟技术和独特的模拟思想运用到建筑环境的模拟和HVAC系统的模拟中去, 为建筑环境的相关研究、模拟预测、性能评估提供了实用可靠的软件工具<sup>[3]</sup>.

本工程为南京某建筑, A地块为地下3层, 地上15层, 建筑高度45.25 m的一类高层建筑, 总建筑面积70 932.76 m<sup>2</sup>, 地下一层商业部分和一至四层商业部分设中央空调. 其中总建筑面积11 013.18 m<sup>2</sup>.

### 1.2 建立模型

为了简化计算, 只画出地下一层、地上部分模型. 当一栋楼里有多个功能相近的房间时, 可将多个小房间合并成一个大房间, 方便设置空调系统同时能简化DeST计算. 该建筑的维护结构的设置见表1, 房间基本属性设置见表2, 房间室内热扰的设置见表3. 根据该项目的地理位置和气候条件, 确定空调季为138天, 供暖季为105天, 具体设置见表4.

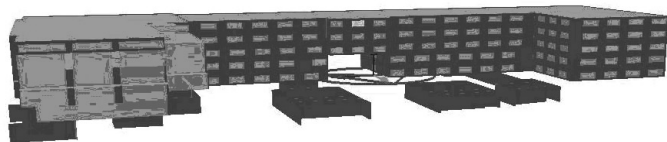


图1 DeST 建立的建筑模型

Fig.1 Architectural model established by DeST

表1 某建筑围护结构传热系数

Table 1 The heat transfer coefficient of enclosing structure

围护结构	材料说明	传热系数/(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-2</sup> )
外墙	40 mm 岩棉板+8 mm 防水砂浆+15 mm 水泥砂浆+200 mm 加气混凝土	0.5
内墙	20 mm 水泥砂浆+100 mm 烟灰加气混凝土+20 mm 水泥砂浆	1.8
楼板	20 mm 水泥砂浆+120 mm 刚劲混凝土	2.9
屋顶	20 mm 水泥砂浆+200 mm 多孔混凝土+130 mm 钢筋混凝土+15 mm 水泥砂浆	0.8
外窗	6 mm 中透+low-E+12 mm 空气+6 mm 透明断桥铝合金窗框	3.4

表2 某建筑房间基本属性设置

Table 2 The setting for the characteristic of rooms

季节	室内温度/℃	室内湿度/(% (RH))
冬季	18~2	—
夏季	24~26	50~60

表3 某建筑房间室内热扰设置

Table 3 The setting for the indoor thermal disturbance

房间类型	人员热扰/(人·m <sup>-2</sup> )	灯光热扰/(W·m <sup>-2</sup> )	设备热扰/(W·m <sup>-2</sup> )	人均新风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
商场	0.4	12	13	20

表4 空调季和供暖季的开始结束时间设置

Table 4 The starts and ends of cooling and heating season

季节设定	月份	日期	统计天数
空调季开始时间	5	15	138
空调季结束时间	10	1	
供暖季开始时间	11	15	105
供暖季结束时间	3	1	

2 结果分析

2.1 模拟数据

利用DeST模拟软件中的“系统负荷计算”功能,对该建筑进行负荷计算,模拟得该建筑总建筑空调面积为11 013.18m<sup>2</sup>,全年最大热负荷为988.45 kW,全年最大冷负荷为2 128.70 kW.

2.2 数据分析

模拟了该建筑8 760 h的逐时冷负荷、热负荷(见图2、图3).在7月份出现最大逐时冷负荷,在1月份出现最大逐时热负荷,与南京的全年温度分布相吻合.在春秋两季出现了既有冷负荷也有热负荷的情况,这是由于同一环境中每个人的冷热感觉不同,即使在舒适条件下PMV=0时,也有5%的人不满意.

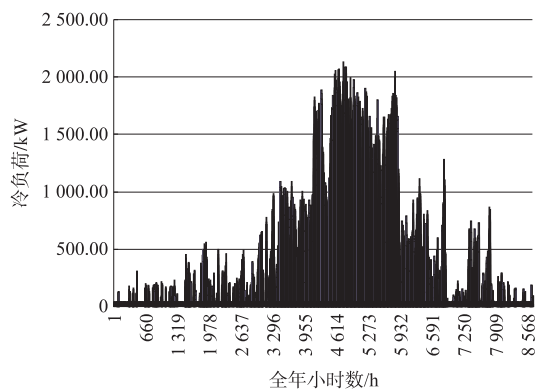


图2 某建筑全年逐时冷负荷

Fig.2 Bldg hourly cooling load

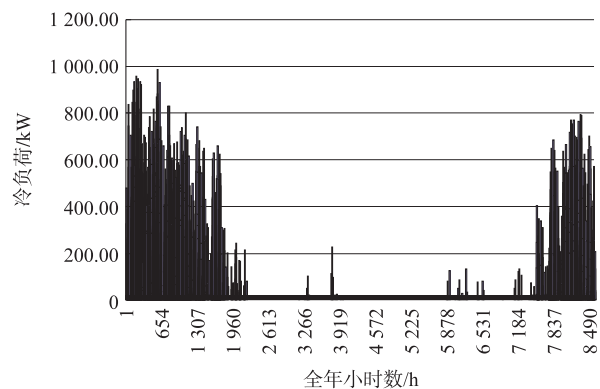


图3 某建筑全年逐时热负荷

Fig.3 Bldg hourly heating load

根据商场作息规律,8点到22点为营业时间,即空调每天运行14 h,在总空调季中共运行1 932 h.统计出建筑物空调季5月15日至10月1日的尖峰负荷分布(小时数),进行比较(见图4).

大于2 000 kW的负荷运行时长为13 h,占总运行时间的0.7%,而0~1 500 kW的负荷运行时长占比为81%,冷量需求主要集中在0~1 500 kW阶段.传统设计选型当中只是为了确保冷源可靠,选择机组装机容量较大.而全年逐时最大冷负荷是由各个房间的逐时负荷叠加后取最大值得出的,该建筑通过DeST模拟软件得出的全年最大逐时冷负荷为2 128.70 kW,低于负荷计算的3 086 kW,在选择机组时,可降低机组装机容量,减少能耗,节约成本.

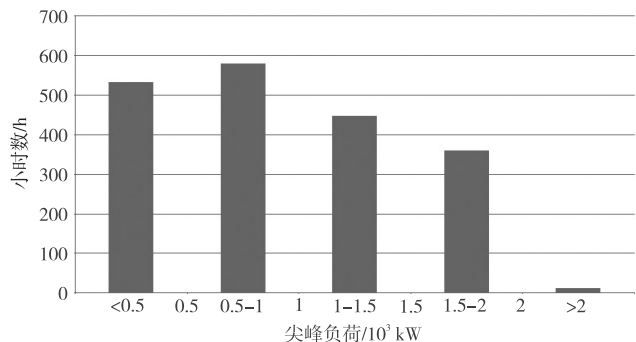


图4 某建筑空调季(5.15-10.1)冷负荷分布

Fig.4 Hourly cooling load distribution in cooling season (5.15-10.1)

### 3 冷热源方案的选择

#### 3.1 方案初定

该建筑使用地源热泵方案与水冷机组方案进行经济性对比,来确定优选方案<sup>[4]</sup>.

此建筑最大的冷量需求为2 128.70 kW,采用一次泵设计.可以初选出两个方案:

方案一:额定制冷量1 160 kW水冷螺杆式机组2台和市政管网供暖;

方案二:额定制冷量1 162 kW地源热泵机组2台.

其中方案二对该建筑所在地进行了岩土热响应测试,岩土初始平均温度17℃,夏季单孔单位延米散热量指标为61 W/m,冬季单孔单位延米散热量指标为43 W/m.综合统计,采用DN25双U管,埋深100 m,共打350口换热井.两种方案其余设备选型,见表5.

表5 两种方案主要设备选型

Table 5 Main equipments of two schemes

方案	主机	冷冻泵/室内循环泵	冷却塔	冷却泵/室外循环泵
一	水冷螺杆式机组2台 制冷量1 160 kW 城市市政供暖	离心泵2台 流量220 m <sup>3</sup> /h 扬程345 kPa	方形冷却塔2台 流量300 m <sup>3</sup> /h 扬程300 kPa	离心泵2台 流量260 m <sup>3</sup> /h 扬程345 kPa
二	螺杆式地源热泵机组2台 制冷量1 162 kW	离心泵2台 流量220 m <sup>3</sup> /h 扬程345 kPa	方形冷却塔2台 流量300 m <sup>3</sup> /h 扬程300 kPa	离心泵2台 流量260 m <sup>3</sup> /h 扬程345 kPa

在不需要满负荷运行的情况下,系统会自行调节主机运行台数来适应末端的冷量变化,因为主机的额定COP是根据额定工况计算得出,在不同工况下COP也会不同,造成能耗也会有差别,其差值与用户末端的全年逐时负荷分布有很大关系,因此要选择一种优选方案对系统经济性有很大益处.本文选取两种

方案分别是冷水机组加市政供暖方案和地源热泵方案,两种方案主机额定制冷量大致相同,都可以满足该建筑冷量需求<sup>[5]</sup>.

3.2 方案分析

主机在空调季的COP变化(见图5).空调季中,初期和末期的COP浮动程度较大,中期COP比较平稳.经分析有以下3种原因:

(1)初期与末期,室外温度变化快,供冷量波动较大,主机频繁开闭,造成工况不稳定,引起COP的浮动.在中期,室外温度高且稳定,主机运行工况较为平稳,同时土壤在经过一段时间的蓄热后,地埋管的换热效率会降低,所以COP可以保持在较为稳定的水平,但会略微下降.

(2)本文两方案为两台主机并联运行,初期与末期,大部分时间段只需运行一台主机即可满足建筑的冷量需求,此时,主机负荷率较大,可以获得较高的能效比.但在中期阶段,一台机组无法满足建筑的冷量需求,两台主机需同时开启,导致两台主机的负荷率相应降低,COP也随之降低.

(3)机组每天不是全天运行,在每次开机阶段,COP的浮动较大.待机组运行稳定后,COP曲线逐渐平稳.

3.3 初投资费用分析

对两种方案的初投资进行了统计与比较,两方案的初投资构成见表6.方案一除了已选的主要设备外,还需要新建供热站,新增供暖开口、蒸汽安装等,这些费用都计入初投资当中.方案二中地埋管系统的打井、钻井、埋管铺设等费用也计入初投资当中.

表6 两种方案初投资表

Table 6 The initial investment of two schemes

项目名称		价格(万元)	项目名称		价格(万元)
方案一	冷水机组	98	方案二	地源热泵机组	100
	水泵	0.6		水泵	0.6
	冷却塔	24		冷却塔	24
	供暖开口费	34		地埋管系统	234
	供热站	58	合计		358.6
	蒸汽初装费	75			
合计		289.6			

冷水机组加市政供暖方案比地源热泵方案的初投资要少约69万元.为了获取地下冷热量,地源热泵方案的初投资集中在地下换热系统的建设上,而冷水机组加市政供暖方案初投资集中在供热站等的建设上.

3.4 运行费用分析

方案一:空调季:水冷螺杆式机组功率203.4 kW,空调冷冻水泵功率37 kW,空调冷却水泵37 kW,冷却塔风机功率7.5 kW;供暖季:市政供暖费用为20元/m<sup>2</sup>,换热站循环泵功率45 kW.

方案二:螺杆式地源热泵机组制冷功率174.5kW、制热功率268.5kW,室内循环水泵功率37kW,室外循环水泵37 kW,冷却塔风机功率7.5 kW.

电价按0.52元/kWh计算,气候调节系数取0.65,同时使用系数取0.8,辅助设备运行时间系数取0.75.计算结果见表7.

表7 运行费用计算结果

Table 7 The running expense of two schemes

	季节	主机	冷冻泵/室外循环泵	冷却泵/室内循环泵	冷却塔	总耗电量	总运行费用(元)
方案一	夏季	439 954	119 482	120 092	46 276	725 804	377 418
	冬季		市政供暖费+换热站运行费用				286 414
方案二	夏季	377 443	95 638	90 484	40 470	604 035	314 098
	冬季	285 684	53 872	54 390	—	393 946	204 852

空调系统的能耗与机组的类型、冷热源系统的自动控制设备和现场管理等多方面因素有关.由于自控和现场管理存在很多主观因素,必须实际分析,所以仅从理论上对两方案能耗分析.从上面的计算可以看出方案一总运行费用为663 832元,方案二总运行费用为518 950元.方案二比方案一的运行费用低约22%,节能效果明显.

### 3.5 投资回收年限计算

地源热泵方案在初投资上费用较高,冷水机组加市政供暖方案运行费用较高.要综合比较两者的优劣,还需对方案的投资回收年限进行比较.可以按以下公式计算:

$$n = \text{两系统的初投资差值} / \text{两系统运行费用差值} \quad (1)$$

根据公式(1),两方案的投资回收年限为:

$$n = (358.6 - 289.6) / (66.3832 - 51.8950) = 4.7 \text{ 年}.$$

地源热泵系统在经过长期运行后,土壤的热平衡会被打破,从而影响地下换热器的换热效率,节能效果较先前有所减弱,延长了投资回收年限.考虑到一般空调系统的寿命约为20年左右,地源热泵地下部分寿命约为50年,在此寿命期内,系统的回收年限较为经济合理,4.7年后节约的费用为净收益,地源热泵方案应用可行.

## 4 结论

随着社会发展,能源危机问题不容忽视,节能环保、可持续发展的呼声日益高涨,因此新能源的运用迫在眉睫.地源热泵这一绿色能源给人们提供了良好的选择.从本文得出以下结论:

(1)DeST模拟软件可以提供建筑的冷热负荷全年统计数据 and 全年逐时数据,使设计更加符合实际情况,帮助暖通设计冷热源装机容量进行分析,本工程减少设计制冷量20%~30%.为降低设备的初投资提供支持.

(2)地源热泵系统的初投资较常规空调高约20%~25%,主要是为了获取地下的冷热量,需要在室外建设地下换热系统.对建设用地比较紧张的城市地带,推广和应用受到了限制.而且地下部分难以维修,需要在施工阶段严格把控质量.所以地源热泵的应用需要进行可行性与经济性的评估.

(3)地源热泵系统的运行费用较常规能源低约20%~30%,有较大的优势,而且其系统寿命较长,经济性较好.相比常规空调系统,大约4.7年能收回投资成本.

(4)地下土壤的温度场较为稳定,地源热泵的换热效率较高,通常COP高于4,是一种经济可靠的新型绿色技术,符合可持续发展的战略目标,值得大力发展.

### [参考文献](References)

- [1] 庄迎春. 论绿色建筑与地源热泵系统[J]. 建筑学报, 2004, 34(3): 48-50.  
ZHUANG Y C. Green building and ground source heat pump system[J]. Architectural journal, 2004, 34(3): 48-50. (in Chinese)
- [2] 张佩芳. 浅议地源热泵国内外的发展概况[J]. 通用机械, 2003, 5(5): 13-16.  
ZHANG P F. The general situation of the development of ground source heat pump at home and abroad[J]. General machinery, 2003, 5(5): 13-16. (in Chinese)
- [3] 谢晓娜, 宋芳婷, 燕达, 等. 建筑环境设计模拟分析软件DeST第2讲 建筑动态热过程模型[J]. 暖通空调, 2004, 34(8): 35-47.  
XIE X N, SONG F T, YAN D, et al. Building environment design simulation software DeST(2): dynamic thermal process of buildings[J]. Hv&Ac, 2004, 34(8): 35-47. (in Chinese)
- [4] 刘焯, 燕达, 江亿. 建筑环境设计模拟分析软件DeST第10讲 暖通空调方案的经济性分析[J]. 暖通空调, 2005, 37(5): 60-70.  
LIU Y, YAN D, JIANG Y. Building environment design simulation software DeST(10): economic analysis for HVAC systems[J]. Hv&Ac, 2005, 37(5): 60-70. (in Chinese)
- [5] 赵金亮, 刘俊杰, 朱能. 土壤耦合式热泵系统设计及经济性分析[J]. 煤气与热力, 2005, 25(3): 44-47.  
ZHAO J L, LIU J J, ZHU N. Design and economic analysis of ground-coupled heat pump system[J]. Gas and heat, 2005, 25(3): 44-47. (in Chinese)

[责任编辑: 陈 庆]