

# 基于能耗模拟的某校园供冷供热系统规划

徐哲恬<sup>1</sup>, 潘毅群<sup>2</sup>, 李玉明<sup>2</sup>, 邓小茜<sup>1</sup>

(1.同济大学机械与能源工程学院, 上海 201804; 2.同济大学中德工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 阐述了区域供冷供热在校园规划中的实施方法, 并以上海市近郊的某一个实际工程为案例, 详细分析了校园的供冷供热负荷。在此基础上, 模拟了3种供能方案: 单体建筑独立设置供冷供热系统、区域集中设置供冷供热系统、集成地源热泵的混合式区域供冷供热系统。3种方案的对比说明: 校园实行区域集中供能既可以降低投资成本, 又可以提高机组运行效率, 降低能耗。当将地源热泵系统集成到区域供冷供热系统中时, 可以进一步降低能耗。

**关键词:** 区域供冷供热系统; 区域负荷预测; 系统平均效率

**中图分类号:** TU831.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2013)03-0013-07

## District Cooling and Heating System Planning Based on Energy Modeling—Case Study: A University Campus

XU Zhe-tian<sup>1</sup>, PAN Yi-qun<sup>2</sup>, LI Yu-ming<sup>2</sup>, DENG Xiao-xi<sup>1</sup>

(1.College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2.Sino-German College of Applied Sciences, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Various heating and cooling systems on a campus are compared by an energy simulation method. The heating and cooling loads are calculated in detail. Three thermal energy system options are compared and discussed, including individual cooling and heating system (ICHS), district cooling and heating system (DCHS) and district cooling and heating integrated with ground source heat pump (DCHS&GSHP). The case study shows that the energy consumption of DCHS is lower than that of ICHS. DCHS can reduce the initial cost for central plants and improve the energy efficiency of the system. Integrating DCHS with ground source heat pump shows a great potential in energy saving.

**Key words:** district cooling and heating system (DCHS); district load forecasting; system energy efficiency

## 0 引言

从20世纪90年代至今,大学校园的规划和发展越来越趋向于区域化和集中化,例如上海的松江大学城集中了7所上海知名高校,占地约8000亩,师生总数突破了10万人,相当于一个小型城镇。由于中国南方的大学校园在上世纪建成之初普遍未考虑安装建筑暖通空调系统,而随着经济的发展和人们生活水平的提高,人们对于学习与生活环境的舒适性要求越来越高,进入了21世纪后,上海、武汉、重庆等南方城市的高校逐步开始空调改造工程,为宿舍、教室、图书馆等教学生活区安装了分体式空调,校园用电负荷大大增加。由此带来的校园绿色生态化发展和可持续化发展问题引起了多方关注,尤其在新规划的校园中,暖通空调系统的规划设计显得尤为重要。

现有校园的供冷供热系统规划根据规划尺度可分为单栋建筑独立供冷供热系统和区域供冷供热系统两种:第一种是根据校园内各栋建筑的负荷需求,单独设置空调系统冷热源,是在建筑尺度上考虑系统配置。第二种则是利用区域内的冷冻热力站集中制取

空调冷冻水和空调热水,再通过管网输送到区域内的各栋建筑,是在区域尺度上综合考虑系统配置。校园是一种典型的社区形式。校园中通常有教学、住宿、办公、实验、公共服务等功能的建筑,各功能的建筑使用情况不尽相同。在校园的各项能耗中,空调能耗约占总能耗的30%~40%,相对当前被广泛应用的单栋建筑独立的空调系统而言,采用区域集中的供冷供热系统具有更大的节能潜力。

现在,世界各地已经有了众多区域供能的成功案例<sup>[1-3]</sup>,通过区域集中供能,可以统筹规划区域内各栋建筑的能源需求,集中设置冷热源,提高区域的供能效率,减小设备冗余,降低设备的初投资<sup>[4]</sup>。文献[4]对世界主要地区的区域供冷系统应用情况进行了介绍,其指出区域供冷可以缓解区域供冷需求上升对于电力供应和能源安全的不利影响。文献[5]从运行能耗和经济性的角度探讨了区域供冷系统的适宜规模,其提出当区域供冷半径不大于1000m时,区域供冷系统的优势更显著。将区域供能应用到校园中也早有先例。美国Rochester大学1924年建立新校区时,就使用了燃煤蒸汽锅炉为校园内各栋建筑供暖提供蒸汽,1970年

收稿日期:2013-01-04; 修回日期:2013-01-20

后,又增设了区域供冷系统。校园在上个世纪内曾经历了多次扩建,新增了多栋建筑,但该区域供冷供热系统仍能较稳定地为校园提供所需能源<sup>[6]</sup>。中国的深圳大学城和广州大学城也采用了区域供冷系统<sup>[7]</sup>。

集中式空调系统的冷热源可按照能源种类划分为两种:一种采用传统的不可再生能源,如煤、天然气等,并利用市政管网形成能源输配系统,这种形式被广泛应用于城市,具有能源供给稳定和能源品味较高的优势。另一种则采用可再生能源,如风能、地热能等,在一些拥有此类特殊自然资源的地区得到了广泛应用,这种能源具有低碳环保的优点,但也存在着能源供给不稳定,品位低的缺陷<sup>[8]</sup>。现如今,还有一种将传统能源与可再生能源结合的形式,例如将电制冷冷

水机组和地源热泵相结合的供冷模式,这既保证了能源供给的稳定,同时,也充分利用了当地的可再生能源资源,并且缓解了地源热泵因冷热负荷不匹配导致的土壤不可逆温升或温降的问题<sup>[9]</sup>。

本次案例研究提出了3种校园供冷供热系统方案:单体建筑独立设置供冷供热系统、区域集中设置供冷供热系统和集成地源热泵的混合式区域供冷供热系统。按照上文所述的两种分类方式,方案一和方案二虽然都使用传统能源,但有着不同的规划尺度。方案三是对方案二的优化,两种方案虽然有着相同的规划尺度,但方案三将传统能源和可再生能源结合,以地源热泵辅助冷水机组和锅炉为校园提供冷冻水和空调热水(见表1)。

表1 方案概述

Table 1 Overview of each option

	规划尺度	能源方式
方案一	单栋建筑独立供冷供热系统	传统能源(煤、天然气)
方案二	区域集中供冷供热系统	传统能源(煤、天然气)
方案三	区域集中供冷供热系统	传统能源(煤、天然气)+ 可再生能源(地热能)

## 1 区域建筑的能耗模拟方法

许多文献[10]、[11]介绍了已建成的区域供冷供热系统案例,但未给出估算一个待建项目全年能耗和运行效率估算的方法,对于一个处于方案规划初期的实际项目而言,缺乏借鉴意义。由于校园规划面积大,建筑种类繁多且数量较大,因此,在规划设计阶段对不同冷热源方案进行比选的工作将会非常繁重。使用能耗模拟可以快速、有效地对比各设计方案,并选出最优结果。为了模拟区域能源系统,国际上的科研机构逐渐开发了一些模拟工具。1993年,北美国际新能源实验室(NREL)开发出了 HOMER 软件,它可以模拟分析混合式能源系统,包括传统的发电机、热电联产、风力发电、太阳能光伏、电池、燃料电池、水力发电和生物质能源等<sup>[12]</sup>。2000年,美国劳伦斯伯克利实验室(LBNL)开始研发 DER-CAM 软件,该软件基于一个经济学模型,可以从经济学的角度分析分布式能源系统或热电联产系统的最优方案<sup>[13]</sup>。其他也有一些如 MARKAL/TIMES<sup>[14]</sup>和 RETScreen<sup>[15]</sup>等软件都可以模拟区域能源系统。但上述这些软件的模拟重心是可再生能源或分布式能源在区域能源系统中的运行效果,对于区域本身的描述则以负荷或冷、热指标的形式概括,如果需要进行精确的区域全能耗分析还需要有能耗模拟软件的辅助。

目前国际上主流的能耗模拟软件主要有 Energy-Plus、eQuest、TRNSYS、ESP-R 等。本次案例分析主要采用 eQuest 和 TRNSYS 软件,eQuest 是以 DOE-2 为计算引擎的建筑全能耗模拟软件<sup>[16]</sup>,它有计算速度快和建模过程可视化等优势,并且可以免费使用,是目

前较为理想的能耗模拟软件。TRNSYS 是一款可以实现模块化分析的瞬时系统模拟软件,对于模拟地源热泵系统有较强的优势<sup>[17]</sup>。

2010年8月,美国绿色建筑协会(USGBC)曾给出了区域能源模拟指导方法。这份文件<sup>[18]</sup>针对 LEED-2009 建筑评级体系,给出了两种使用区域供冷供热设计方案的能耗模拟方法。

### 1.1 方法一:流线型(Streamlined Path)

单栋建筑的冷热源侧都用外购冷热源的方法进行能耗模拟,即以统计冷冻水消耗量和空调热水消耗量的方法计算区域的供冷供热能耗。这种方法没有考虑区域供能网络的运行效率,也不能体现冷冻热力站原有的设计方案,较难准确地反映区域实际能耗。

### 1.2 方法二:全局型(Full Accounting)

需要考虑区域供能网络的运行效率以及冷冻热力站内各设备的运行性能。

计算单栋建筑中的空调水侧系统时需要用虚拟的冷水机组和虚拟的锅炉替代冷冻热力站内的区域供冷供热系统。在模拟计算各单体建筑的空调水侧系统时,需要先计算冷冻热力站内各项设备和输配系统的全年运行平均效率,然后将区域供能的平均效率代入各单体建筑模型中的虚拟冷热源系统,进行单体建筑的模拟计算。

具体计算步骤如下:

(1)根据冷冻热力站的实际信息,搭建冷冻热力站和输配系统的模型。导入区域的空调冷、热负荷(可以是估计值),计算冷冻热力站的全年能耗。

(2)计算区域供能的平均效率。

$$\text{冷水机组平均效率 COP} = \frac{\text{机组供冷量} \times \text{输送损失}}{\text{机组耗电量} + \text{冷冻水泵耗电量} + \text{冷却塔耗电量} + \text{冷却水泵耗电量}} \quad (1)$$

$$\text{锅炉平均效率 EIR} = \frac{\text{锅炉供热量} \times \text{输送损失}}{\text{燃料耗量} + \text{热水泵能耗}} \quad (2)$$

(3)将区域供能平均效率代入单体建筑中进行计算。区域的平均效率反映了冷冻热力站内的各个设备全年运行下的能效情况,并非某一个机组的额定效率或最大效率。然而,单体建筑虚拟冷水机组和锅炉的效率设定值反映的是机组的额定效率,当将区域平均效率代入到单体建筑额定效率时,需要设定单体建筑内各设备的实际效率在任意冷热负荷下都等于平均效率。与此同时,为了避免重复计算冷却塔能耗和输送水泵的能耗,单体建筑的能耗结果中应扣除虚拟冷却塔能耗和虚拟输送水泵能耗。

## 2 校园概述

上海市近郊正在规划建设一个教育培训机构校园。校园内有6栋功能不一的建筑,总占地面积为19 916 m<sup>2</sup>,总建筑面积为66 577 m<sup>2</sup>,表2总结了6栋建筑的类型和面积。教学建筑和宾馆是校园的主体建筑,两者的建筑面积约占校园总建筑面积的50%。

表2 6栋建筑面积数据

Table 2 Basic specifications of each building

	占地面积/m <sup>2</sup>	功能	建筑面积/m <sup>2</sup>
1号楼	5 520	教学楼	16 559
2号楼	4 235	宾馆	16 939
3号楼	3 776	公共设施	15 105
4号楼	1 181	宿舍	2 362
5号楼	3 148	宿舍	9 445
6号楼	2 056	数据中心	6 167
校园整体	19 916		66 577

根据规划方案,校园所供应的能源为天然气和电力。天然气由校园附近的燃气公司提供,通过市政燃气管道引入校园。电力由当地供电局提供,是校园的主要能源。

## 3 校园供冷供热负荷

### 3.1 建筑空调系统形式

表3给出了各栋建筑的空调系统形式。区域的6栋建筑中的空调系统主要有定风量系统、变风量系统和风机盘管加独立新风系统3种类型。其中,定风量系统主要用于人员较多的空间,如餐厅、教室等;变风量系统主要用于健身中心、办公室等;风机盘管加独立新风系统主要用于宾馆客房、小型办公室和宿舍等空间。

### 3.2 建筑运行情景设定

依据设计规划,校园内的6栋建筑中主要有教室、办公室、会议室、宾馆客房、数据机房、餐厅、阅览室、宿舍、电气机房等功能的房间。各个房间的使用情

况各有不同,在此次模拟分析中,通过给出每种房间功能所对应的运行时间表来预测建筑运行情景,各主要房间的运行时间表见图1,房间的内部负荷时间表以图1中的规律作相应调整。

表3 6栋建筑空调系统形式

Table 3 HVAC system types in each building

	定风量系统	变风量系统	风机盘管加独立新风系统
1号楼	√	√	
2号楼	√	√	√
3号楼		√	
4号楼			√
5号楼			√
6号楼	√		

各房间中,宿舍使用的随意性较大,为了更好地模拟宿舍用能的情况,模拟中设定了两种工作日运行情景和两种周末运行情景(见图2),并将宿舍平均分成4组,分别调用两类情景的4种组合。

### 3.3 冷热负荷的预测分析

在使用eQuest软件对校园内6栋建筑进行全能耗模拟后,可以得到6栋建筑全年逐时的冷、热负荷。这6栋建筑的使用功能、建筑体量、围护结构参数各有不同,所以它们的冷、热负荷也各不相同。1号楼(教学楼)、4号楼(宿舍)和5号楼(宿舍)的逐月冷、热负荷受寒暑假等节假日影响较大,假期内只有零星的房间处于使用状态,所以在气象意义上的最热月和最冷月中,1、4、5号楼的负荷需求反而较低。2号楼(宾馆)全年运行,其冷、热负荷因室外气候条件的变化而变化,峰值冷、热负荷分别出现在8月和1月。3号楼(公共设施)和6号楼(数据中心)为保证校园的正常运行,各种电器、机械设备需要全年开启,设备发热量较大,全年总冷负荷也较大(见图3、4)。

整个校园的冷、热负荷是6栋楼逐时冷、热负荷的总和。校园冷负荷峰值出现在6月28日,为4 346 kW,校园热负荷峰值出现在2月21日,为3 179 kW。校园冷热负荷峰值出现的时间点与各栋楼峰值负荷出现的时间点错开,它反映了校园内6栋建筑整体供冷、供热需求最大的时间点(见图5、6)。

为了更准确地匹配该校园的负荷需求,对逐时负荷进行进一步分析后,可以得到各栋楼和校园整体的部分负荷出现的频率。把峰值负荷按照100%、75%、50%、25%划分为4种部分负荷率,统计各栋建筑和校园整体部分负荷出现的频率,见表4。

由表4可知,无论是单体建筑的负荷,还是校园整体的负荷,部分负荷率小于25%的出现频率都是最高的,而满负荷出现的频率都最少。制冷机在高负荷

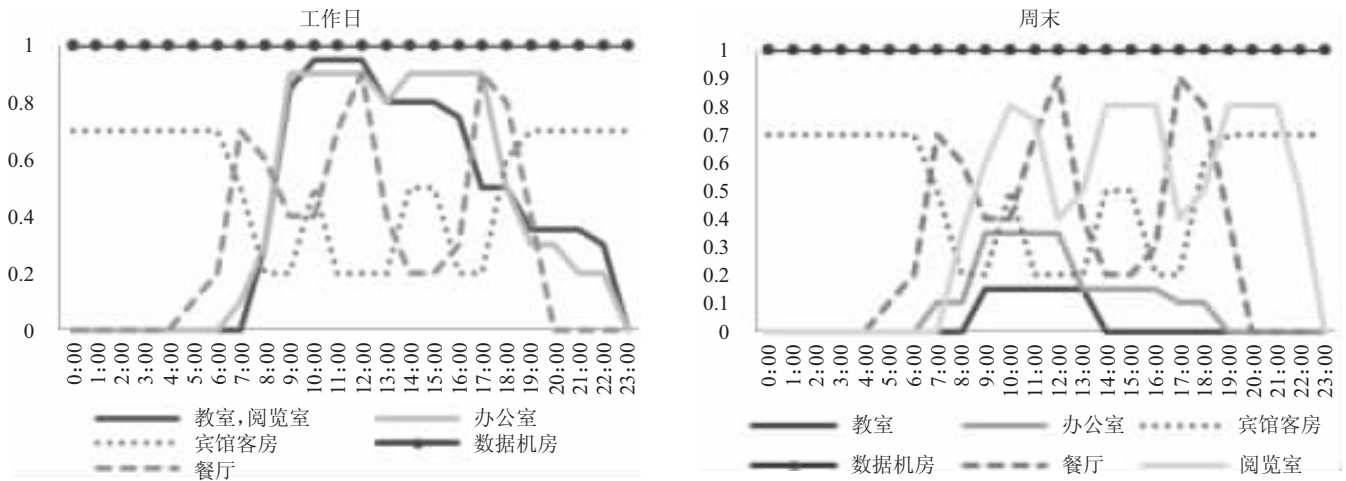


图1 主要房间工作日及周末运行时间表

Fig.1 Operation schedule of each kind of rooms

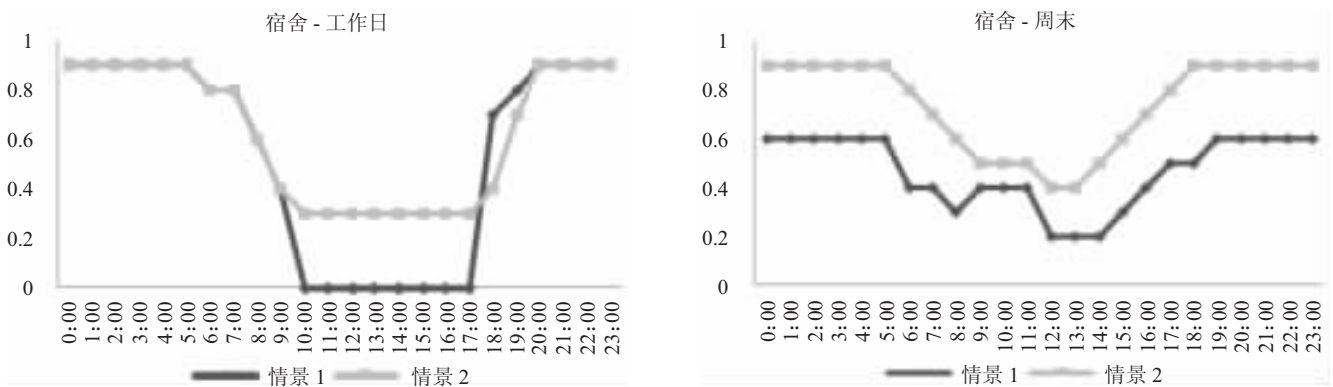


图2 宿舍运行情景时间表

Fig.2 Operation schedule of dormitory

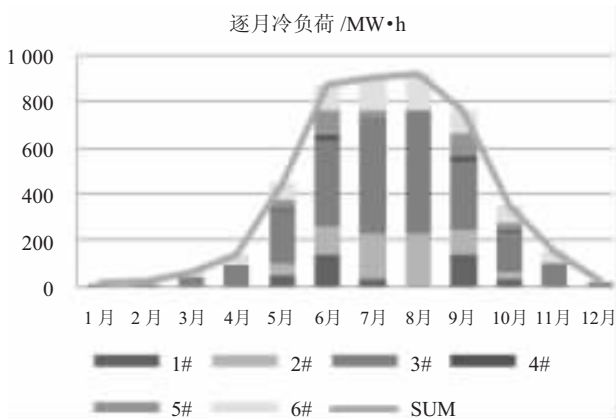


图3 6栋建筑逐月冷负荷

Fig.3 Monthly space cooling load of the six buildings

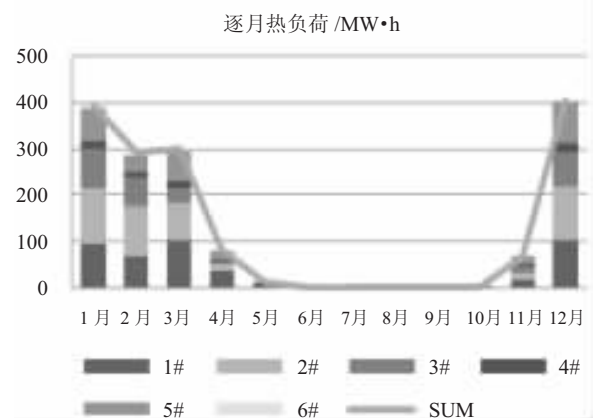


图4 6栋建筑逐月热负荷

Fig.4 Monthly space heating load of the six buildings

率工况下的运行效率较高,长期在低负荷率的工况下运行,系统效率较低,且离心机在负荷降低到20%~30%以下时,有发生喘振的危险。因此,在选择冷热源机组时,应考虑使用多台机组,匹配不同的负荷需求,以提高机组的运行效率。

#### 4 校园供冷供热系统方案

在本章节中,通过能耗模拟的方法分析了3个校园供冷供热系统方案:方案一为单栋建筑独立设置供

冷供热系统;方案二为区域集中设置供冷供热系统;方案三为集成地源热泵的混合式区域供冷供热系统。为了对比分析区域供冷供热系统的节能潜力,方案一和方案二的设备形式和能源种类都是相同的。方案三是在方案二的基础上的优化。各个方案中所涉及的设备都是根据实际设备样本选型而得。

##### 4.1 方案一:单栋建筑独立设置供冷供热系统

根据每栋建筑的冷热负荷需求,独立配置冷热源



图5 6栋建筑峰值冷负荷及出现时间

Fig.5 Peak cooling load and occurred time of the six buildings

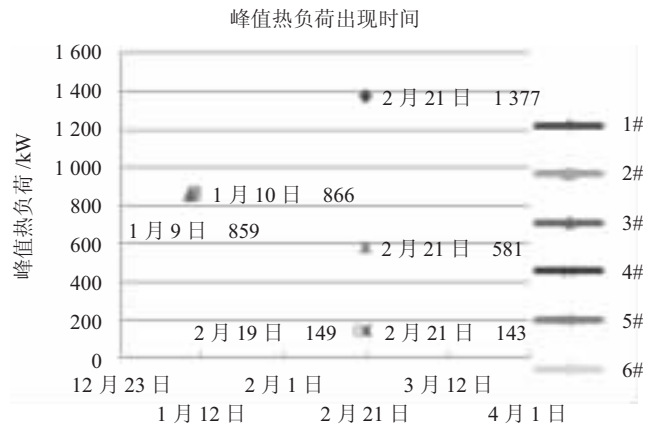


图6 6栋建筑峰值热负荷及出现时间

Fig.6 Peak heating load and occurred time of the six buildings

表4 6栋建筑和校园整体部分冷热负荷出现频率

单位: %

Table 4 The part load occurred frequency of the six buildings and the campus

部分冷负荷率	1号楼	2号楼	3号楼	4号楼	5号楼	6号楼	校园整体
<25	62.51	73.98	84.79	88.20	92.13	91.92	74.55
25~50	16.70	12.73	9.18	11.06	6.28	6.24	17.50
50~75	15.11	9.57	5.98	0.64	1.24	1.64	7.23
75~100	5.67	3.72	0.05	0.10	0.34	0.19	0.72

部分热负荷率	1号楼	2号楼	3号楼	4号楼	5号楼	6号楼	校园整体
<25	94.32	89.32	81.07	89.61	89.52	84.53	84.98
25~50	4.97	10.06	10.17	7.77	8.90	9.17	12.72
50~75	0.56	0.54	7.17	2.13	1.39	5.41	2.18
75~100	0.16	0.09	1.59	0.48	0.18	0.89	0.13

系统。冷源系统形式为电制冷式冷水机组,热源系统形式为燃气锅炉。综合各栋建筑冷热源装机容量要求和部分负荷情况,可以确定6栋建筑各自的冷热源系统,见表5。

空调冷冻水的供回水温度为6/13℃,空调热水的供回水温度为95/70℃。每台冷机配1台冷却能力相对应的冷却塔。冷却塔的进出塔水温为37/32℃。

#### 4.2 方案二:区域集中设置供冷供热系统

综合校园负荷预测的分析结果,确定校园整体使用3台电制冷式冷水机组和3台燃气锅炉,以机组的启停控制优先匹配全年负荷变化,冷热源机组参数见表6。

空调冷冻水的供回水温度为6/13℃,空调热水的供回水温度为95/70℃。冷源设有3台开式冷却塔,与3台冷水机组匹配。冷却塔的进出塔水温为37/32℃。

该校园的占地面积为25000m<sup>2</sup>,规划红线周长约为600m。冷冻热力站到各栋楼的距离不超过200m,由此可以估算出冷热水在输送过程中的能量损失约为5%<sup>[9]</sup>。在实际模拟中,进入各栋建筑的冷冻水供水温度以7.5℃进行计算,空调热水供水温度以

60℃进行计算。

#### 4.3 方案三:集成地源热泵的混合式区域供冷供热系统

地源热泵技术是利用浅层地热能进行能量交换的空调系统。地源热泵系统可以分为地表水地源热泵系统、地下水地源热泵系统和埋管地源热泵系统<sup>[7]</sup>。由于校园内未规划大面积湖体和河道,因此,第一种系统缺乏利用空间。而第二种系统直接抽取地下水进行换热,会对自然环境产生不可逆的影响。第三种系统拥有环保和使用寿命长的优点,可以用于本校园中。

校园全年运行时部分负荷率低于25%的出现频率是最高的,因此,考虑选用地源热泵系统来匹配冬夏两季中部分负荷率低于25%的工况。其余工况的负荷由电制冷冷水机组或锅炉承担。各台设备的设计参数见表7。

空调冷冻水、热水的设定温度和冷却塔的配置形式同方案二。地源热泵在制冷工况时,蒸发侧的进出水温度为13/6℃,冷凝侧的进出水温度为16/26℃;在制热工况时,蒸发侧的进出水温度为16/6℃,冷凝侧的进出水温度为45/50℃。

表5 方案一冷热源系统参数

Table 5 Basic specification of thermal plants in option 1

	冷水机组		锅炉	
	形式(数量)	制冷量(kW)/COP	形式(数量)	制热量(kW)/HIR
1号楼	螺杆机(2)	880/5	燃气热水锅炉(1)	2 250/86%
2号楼	螺杆机(2)	906/5.1	燃气热水锅炉(1)	1 510/86%
3号楼	螺杆机(1)	1 412/5	燃气热水锅炉(1)	1 510/86%
	离心机(1)	1 407/5.4		
4号楼	螺杆机(1)	265/4.8	燃气热水锅炉(1)	180/86%
5号楼	螺杆机(1)	653/5	燃气热水锅炉(1)	700/86%
6号楼	螺杆机(1)	1 029/5.1	燃气热水锅炉(1)	174/86%

表6 方案二冷热源系统参数

Table 6 Basic specification of thermal plants in option 2

冷水机组类型		制冷量/kW	COP	锅炉类型		制热量/kW	HIR
匹配 40%的冷负荷	离心机	2 110.2	5.8	匹配 33.3%的热负荷	燃气热水锅炉	1 400	86%
匹配 30%的冷负荷	离心机	1 582.7	5.5	匹配 33.3%的热负荷	燃气热水锅炉	1 400	86%
匹配 30%的冷负荷	螺杆机	1 510.6	5	匹配 33.3%的热负荷	燃气热水锅炉	1 400	86%

表7 方案三冷热源系统参数

Table 7 Basic specification of thermal plants in option 3

机组类型		制冷量/kW	COP	机组类型		制热量/kW	HIR
匹配 22%负荷	热泵(制冷工况)	1 070	5.22	匹配 30%的热负荷	热泵(制热工况)	1 204	3.96(COP)
匹配 40%负荷	离心机	2 110.2	5.8	匹配 35%的热负荷	燃气热水锅炉	1 400	86%
匹配 38%负荷	螺杆机	1 792.6	6	匹配 35%的热负荷	燃气热水锅炉	1 400	86%

## 5 方案对比

### 5.1 冷热源全年运行平均效率

校园的建筑和空调系统建模计算运用的是 eQuest 软件。在搭建出校园模型后,又分别模拟了上述 3 种冷热源系统形式,其中地源热泵系统的仿真模拟使用的是 TRNSYS 软件。3 种冷热源方案的全年运行平均效率见表 8。其中,方案一的平均效率为冷热源全年所提供的冷量(或热量)与所消耗供冷(或供热)能量的比值;方案二和方案三的模拟方法参考了文献[18]中的全局方法。

表8 3种冷热源方案的全年平均效率

Table 8 The annual energy efficiency

	制冷效率(COP)			制热效率(EIR)		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
1号楼	2.4	4.4	4.5	58%	79%	83%
2号楼	2.7	4.4	4.5	64%	79%	83%
3号楼	2.4	4.4	4.5	58%	79%	83%
4号楼	1.8	4.4	4.5	65%	79%	83%
5号楼	2.4	4.4	4.5	67%	79%	83%
6号楼	2.3	4.4	4.5	42%	79%	83%
校园整体	2.4	4.4	4.5	61%	79%	83%

冷热源的全年平均效率反应了冷热源系统在全年负荷波动情况下的系统性能,冷热源设备在高负荷率的工况下运行效率较高。方案一中,4号楼的供冷平均效率最低,这是由于4号楼的供冷部分负荷率低于 25%的出现频率最高,系统常年处于低负载的工况下运行,影响整体效率。方案二和方案三综合了区域内的各栋建筑的负荷,使整体负荷变化趋于平缓,并可以选用多台容量、能效不同的机组,通过机组的启停控制,更好地匹配校园的部分负荷,提高冷热源系统的综合能效。尤其是方案三中引入了地源热泵系统,将供热的平均效率提高了 4%。由此可知,从平均效率的角度看,方案二和方案三与方案一比较,可以有效地提高设备能效。

### 5.2 建筑全年运行能耗

表 9 给出了 6 栋建筑在 3 种供能方案下的单位建筑面积全年能耗。由表可见,6 号楼的单位建筑面积全年能耗最高,因为 6 号楼是数据中心,75%的房间为数据机房,电器设备能耗较大。并且数据机房全年都有控温控湿的要求,空调能耗较大。1 号楼的单位建筑面积全年能耗最低,因为 1 号楼是教学楼,无高耗能设备,且仅在学期内使用,建筑全年运行时间

较短。

表 9 6 栋建筑单位建筑面积全年能耗

Table 9 The annual energy consumption density of each building

kW·h/Y/m <sup>2</sup>	方案一	方案二	方案三
1 号楼	98	78	78
2 号楼	163	143	143
3 号楼	366	323	308
4 号楼	136	106	105
5 号楼	120	99	99
6 号楼	520	458	457
校园整体	205	178	174

图 7 给出了 6 栋建筑在 3 种供能方案下的全年能耗,经统计:方案一的校园全年总能耗为 11 060 MW·h,方案二的校园全年总能耗为 9 564 MW·h,方案三的校园全年总能耗为 9 356 MW·h。方案二比方案一节能 13.5%,方案三比方案一节能 15.4%。从能耗的角度看,方案三是最优的方案,由此说明,将地源热泵集成到区域供冷供热系统中,可以进一步提高节能量。

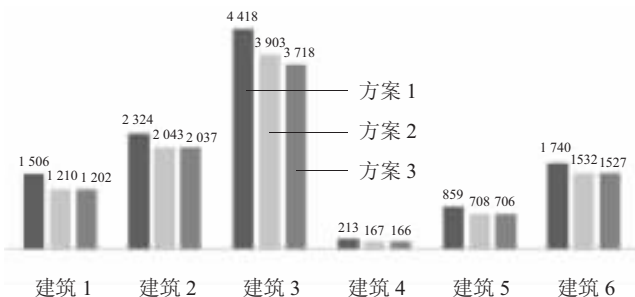


图 7 6 栋建筑全年总能耗

Fig.7 The annual energy consumption of each building

## 6 结语

通过对某大学校园能源规划方案对比可知:使用集成地源热泵的混合式区域供冷供热系统可以充分利用校园内各栋功能不一的建筑的负荷特性和区域内的可再生能源,取“长”补“短”,取“高”补“低”,平衡需求,降低冷热源系统的装机容量,提高冷热源系统的供能效率,减少对煤和天然气的依赖。综合上述 3 个优点,集成可再生能源的区域供冷供热系统在校园中运用时,节能减排的优势明显,在上海及中国南方的新建或改扩建校园中,可以借鉴以上案例的比选方案,推广使用。

## 参考文献:

- [1]欧美区域能源使用现状[J].供冷供热,2010,(8):20.
- [2]朱颖心,王刚,江亿.区域供冷系统能耗分析[J].暖通空调,2008,38(1):36-40.
- [3]龙惟定,白玮,范蕊.低碳城市的区域建筑能源规划[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [4]马宏权,龙惟定.区域供冷系统的应用现状与展望[J].暖通空调 2009,39(10):52-59
- [5]朱纪军,刘瑾.区域供冷系统及其供冷半径探讨[J].制冷,2004,(1):69-72.
- [6]Morris A Pierce. High-Temperature Hot Water District Heating: A Brief History[J]. District Energy,2012,(4):17.
- [7]惠荣娜,徐奇,李德英,等.我国区域供冷的现状及发展[J].建筑节能,2007,(3):47-50.
- [8]王培培,龙惟定,白玮.能源总线系统研究——半集中式区域供冷供热系统[J].湖南大学学报(自然科学版),2009,36(12):137-141.
- [9]Jongug Jeon, Sunil Lee, Daehie Hong, et al. Performance Evaluation and Modeling of a Hybrid Cooling System Combining a Screw Water Chiller with a Ground Source Heat Pump in a Building[J]. Energy,2010,35(5):2006-2012.
- [10]王宇刺,张建忠,黄虎.南京鼓楼软件园区域供冷供热系统优化[J].暖通空调,2009,39(7):95-98.
- [11]范存养.东京临海新都心建设与空调供能[J].暖通空调,2004,34(1):56-61.
- [12]National Renewable Energy Laboratory, HOMER-The Micropower Optimization Model [Z]. [https://analysis.nrel.gov/homer/includes/downloads/HOMERBrochure English.pdf](https://analysis.nrel.gov/homer/includes/downloads/HOMERBrochure%20English.pdf) 2004.
- [13]MICROGRIDS at Berkely Lab-DER-CAM [Z].<http://der.lbl.gov/der-cam> 2013.
- [14]MARKAL/TIMES[Z].[http://www.irg ltd.com/Our\\_Work/Ser\\_vices/MARKAL-TIMES-Overview.pdf](http://www.irg ltd.com/Our_Work/Ser_vices/MARKAL-TIMES-Overview.pdf) 2013.
- [15]RET Screen International Empowering Cleaner Energy Decisions[Z]. <http://www.retscreen.net/ang/home.php> 2013
- [16]eQUEST Overview[Z] <http://doe2.com/equest/index.html>,2013.
- [17]陆耀庆.实用供热空调设计手册(下册)[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [18]USGBC, Treatment of District of Campus Thermal Energy in LEED V2 and LEED 2009-Design&Construction[S].2010

作者简介: 徐哲恬(1988),女,上海人,动力工程专业,从事建筑节能方向的研究(xzt869@yahoo.com.cn)。

## 行业资讯

# 世行贷款 6.2 亿美元支持中国能源和环境项目

世界银行 21 日宣布,世行执董会批准给中国五笔贷款共计 6.2 亿美元,用于支持中国建设校园屋顶太阳能、低碳城区和城镇基础设施。发展绿色建筑,清洁能源供应,促进大中小城市协调发展,这将对中国和全世界都有益。

(中新网 2013-03-21)

# 基于能耗模拟的某校园供冷供热系统规划

作者: [徐哲恬](#), [潘毅群](#), [李玉明](#), [邓小茜](#)  
作者单位: [徐哲恬, 邓小茜 \(同济大学机械与能源工程学院, 上海 201804\)](#), [潘毅群, 李玉明 \(同济大学中德工程学院, 上海 201804\)](#)  
刊名: [建筑节能](#)  
英文刊名: [Building Energy EFFICIENCY](#)  
年, 卷(期): 2013(3)

## 参考文献(18条)

1. [欧美区域能源使用现状](#) 2010(08)
2. [朱颖心;王刚;江亿 区域供冷系统能耗分析](#)[期刊论文]-[\(H\)暖通空调](#) 2008(01)
3. [龙惟定;白玮;范蕊 低碳城市的区域建筑能源规划](#) 2011
4. [马宏权;龙惟定 区域供冷系统的应用现状与展望](#)[期刊论文]-[\(H\)暖通空调](#) 2009(10)
5. [朱纪军;刘瑾 区域供冷系统及其供冷半径探讨](#)[期刊论文]-[\(H\)制冷](#) 2004(01)
6. [Morris A Pierce High-Temperature Hot Water District Heating:A Brief History](#) 2012(04)
7. [惠荣娜;徐奇;李德英 我国区域供冷的现状及发展](#)[期刊论文]-[\(H\)建筑节能](#) 2007(03)
8. [王培培;龙惟定;白玮 能源总线系统研究--半集中式区域供冷供热系统](#) 2009(12)
9. [Jongug Jeon;Sunil Lee;Daehie Hong Performance Evaluation and Modeling of a Hybrid Cooling System Combining a Screw Water Chiller with a Ground Source Heat Pump in a Building](#) 2010(05)
10. [王宇剡;张建忠;黄虎 南京鼓楼软件园区域供冷供热系统优化](#)[期刊论文]-[\(H\)暖通空调](#) 2009(07)
11. [范存养 东京临海新都心建设与空调供能](#)[期刊论文]-[\(H\)暖通空调](#) 2004(01)
12. [National Renewable Energy Laboratory HOMER-The Micropower Optimization Model](#) 2004
13. [MICROGRIDS at Berkely Lab-DER-CAM](#) 2013
14. [MARKAL/TIMES](#) 2013
15. [RET Screen International Empowering Cleaner Energy Decisions](#) 2013
16. [eQUEST Overview](#) 2013
17. [陆耀庆 实用供热空调设计手册](#) 2008
18. [USGBC Treatment of District of Campus Thermal Energy in LEED V2 and LEED 2009-Design&Construction](#) 2010

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_fcyyy201303005.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_fcyyy201303005.aspx)