

分布式供能系统在上海某新建医院应用的可行性研究

同济大学 潘毅群 黄治钟 张蓓红 周辉 龙惟定 王超群 蔡浩

摘要 该新建医院拟采用分布式供能系统,通过对现有医院的实际调查和计算模拟,对该医院的热、冷、电负荷进行预测,并在测算负荷基础上对分布式供能系统的方案可行性进行分析。

关键词 分布式供能系统 负荷测算 可行性分析

Feasibility of applying distributing energy supply system
in a new hospital in Shanghai

By Pan Yiqun, Huang Zhizhong, Zhang Beihong, Zhou Hui,
Long Weiding, Wang Chaoqun and Cai Hao

Abstract The hospital plans to adopt a distributing energy supply system. Predicts the heat, cold and electric load based on an investigation of existing hospitals and a calculating simulation. Referring the results of prediction, analyses the feasibility of the system.

Keywords distributing energy supply system, load prediction, feasibility study

Tongji University, Shanghai, China

0 引言

分布式供能是相对于传统的集中式供能方式而言的,是指将热电发生系统以小规模(数 kW 至 50 MW 的小型模块式)、分散的方式布置在用户附近,可独立地输出电、热或(和)冷能的系统。分布式供能系统也称为建筑冷热电联产系统,即,建筑所需的电由位于建筑物内或附近的发电装置(如内燃机、燃气轮机、微燃机、燃料电池等)提供,发电装置所产生的废热则由余热锅炉、吸收式制冷机、转轮除湿装置等回收利用,转换出蒸汽、热水、冷水等,为建筑供冷、供热,并控制湿度。这种系统与传统的大型集中式热电站相比,避免了传输和分配的损失,能够通过回收热量使其综合效率很高(达到 80%),并且减轻了不堪重负的电网的压力。分布式供能系统(建筑冷热电联产)作为传统的大型集中式热电站的补充,为日益增长的电力需求削减峰荷、稳定电价、提高电网安全性提供了一个有效的

解决方案。同时,还有利于提高能源利用效率和降低污染物和温室气体的排放,改善城市环境质量。然而,由于存在电力并网和上网、热电(冷)负荷的精确测算、设备投资回收模式等政策、技术和管理的难点,目前,在国内还没有非常成功的建筑物采用分布式供能的例子。为了研究分布式供能系统在医院建筑中应用的可行性,本文对上海某新建医院进行了详细的负荷测算和方案分析。

1 医院概况

该新建医院目前还处于设计阶段,占地面积 23 588 m²,建筑面积 83 745 m²,其中地上面积

潘毅群,女,1970 年 12 月生,博士研究生,工学博士,副教授
200092 上海市赤峰路 67 号同济大学南校区楼宇设备工程
与管理系

(021) 65981921

E-mail: pyqbb@online.sh.cn

收稿日期:2003-09-22

修回日期:2004-01-05

75 145 m², 地下面积 8 600 m², 由门诊医技楼、病房楼、急症手术楼和科教中心 4 幢主要建筑构成, 是一所综合性的功能完备的现代化医院。其中门诊医技楼又分为门诊楼和医技楼, 门诊楼由 a, b, c, d, e 楼构成, 建筑面积 18 932 m², a, b, c, d 楼地上 4 层, e 楼是连接门诊楼和医技楼的走廊, 医技楼由 f, g, h 楼构成, 地下 1 层, 地上 1 层, 建筑面积 9 947 m²。病房楼是一幢地下 1 层、地上 10 层的建筑物, 其 3~10 层南向的立面全部为双层呼吸玻璃幕墙(外层为双层中空低辐射 low-e 玻璃幕墙, 内层为墙体和普通单层玻璃窗, 可开启; 双层幕墙之间有 2.7 m 的中间层, 室外空气经过外层幕墙底部的百叶、过滤设施进入中间层, 当内层玻璃窗开启时, 室内空气可进入中间层, 中间层的空气也可以进入室内, 中间层的空气通过外层幕墙顶部的百叶溢出), 建筑面积 32 183 m²。急症手术楼地下 1 层、地上 2 层, 建筑面积 15 397 m²。科教中心为一幢金字塔型的建筑, 地上 7 层, 建筑面积 7 250 m²。4 幢建筑物中, 门诊医技楼、病房楼、急症手术楼基本上相互连接, 而科教中心为单幢建筑, 距其他 3 幢建筑较远。

2 负荷测算

分布式供能系统可行性研究的一项主要工作就是对建筑进行冷、热、电负荷的测算, 负荷测算是否准确, 将直接影响方案的选择、机组的配置, 乃至项目建成之后的系统运行。因此, 本课题采用调查与计算相结合的方法, 对该医院建筑的负荷进行了详细的测算。

医院建筑的负荷分布与一般的建筑物(比如办公楼等)有很大的差异。为了准确测算负荷, 我们把该医院的负荷分为两部分来考虑, 即非空调设备负荷和空调系统负荷。其中非空调设备负荷包括照明、插座、电梯、大型医疗设备等电力设备负荷, 生活热水负荷, 蒸汽负荷等, 我们根据设计图纸和文本, 依照国内外相关规范, 并结合实际的调查(已建医院), 预测典型日的非空调设备的电、热负荷, 绘制负荷变化曲线。对于空调系统负荷, 采用建筑能耗分析软件 DOE-2 和 EnergyPlus 同时模拟计算空调系统的全年逐时冷、热负荷。最后, 将预测得到的非空调设备的典型日电、热负荷与计算机模拟

得到的空调系统的全年逐时负荷叠加, 得到该建筑的全年逐时总电、热、冷负荷。

考虑到科教中心将来很可能间歇运行, 负荷变化很大, 不适宜采用冷热电联产, 因此负荷测算时没有包括它。本文中“全院”即指不包括科教中心在内的其他各幢建筑。

2.1 电力负荷

我们对该医院各幢楼内的各项电力负荷及其逐时变化进行了分项的统计和预测, 表 1 所列为单位建筑面积平均最大负荷。《建筑电气设计手册》中规定插座负荷为 100 W 一个, 但因在估算负荷时, 未得到详细的电气设计图纸, 所以根据建筑各空间功能的不同, 按照 11~18 W/m² 估算插座负荷(表 1 中设备负荷)。把各幢楼的分时电力负荷相加, 可以计算出全院的典型日(4~11 月和 12~2 月工作日与休息日, 工作日为周一到周六, 休息日为周日)逐时电力负荷(不包括空调设备), 以及扣除大型医疗设备用电之外的全院用电负荷(不包括空调设备)。大型医疗设备指 X 光机、CT 机、NMR(核磁共振)、直线加速器、回旋加速器、定速器、同位素扫描等。如果包括大型医疗设备, 用电负荷峰值为 2 165 kW, 谷值为 592 kW; 不包括大型医疗设备, 用电负荷峰值为 1 775 kW, 谷值为 538 kW。

表 1 各幢建筑照明与设备(不包括大型医疗设备)平均负荷 W/m²

	W/m ²	
	照明负荷	设备负荷
急症手术楼	12.0	16.0
门诊楼	12.7	17.0
病房楼	8.25	11.0
医技楼	13.5	18.0

2.2 蒸汽负荷

医院建筑中生活用热的蒸汽负荷不同于一般建筑, 主要包括: 制备生活热水用汽; 制备饮用开水用汽; 厨房蒸煮设备和消毒设备用汽; 洗衣房洗涤、烘干等设备用汽; 医院消毒设备用汽。

测算时结合对已建医院的蒸汽用量情况的实地调研, 按照《建筑给水排水设计规范》(GBJ 15-88)中相关条文的规定进行。测算结果如图 1 所示, 最大蒸汽量为 5.91 t/h, 最小蒸汽量为 0.37 t/h。根据实地调查的结果, 工作日与休息日的蒸汽耗量差别不大, 因此仅从冬季、过渡季与夏季选取 3 个典型日。

2.3 空调负荷

采用 DOE-2 和 EnergyPlus 同时对该建筑进行模拟, 建筑模型的朝向、面

图 1 典型日蒸汽负荷

积、功能以及分区等与建筑设计图纸一致。模拟参数基本按照设计图纸设定, 见表 2。考虑到计算量很大, 病房楼的双层呼吸墙中间层的换气没有进行模拟。人员密度根据实地调查和设计图纸, 并参照相关的规范进行预测, 各幢建筑因功能不同人员密度的变化情况也不相同, 因篇幅有限, 在此不作详述。如果按总建筑面积计算, 则白天时段 (8:00 ~ 17:00) 平均人员密度为 0.026 人/m², 夜间时段 (18:00 ~ 7:00) 平均人员密度为 0.016 人/m²。照明和设备负荷按照表 1 以及相应的分时负荷确定。

表 2 模拟参数

空调面积 /m ²	围护结构传热系数/(W/(m ² ·K))					
	外墙	内墙	屋顶	楼板	单层窗	玻璃幕墙 (双层低辐射 low-e 玻璃)
60 537	1.636	1.864	1.053	1.289	5.74	1.78

注: 1) 空调面积占总建筑面积的 79%。
2) 玻璃幕墙遮阳系数为 0.65。

我们将 DOE-2 和 EnergyPlus 的模拟结果进行了仔细的比较, 发现虽然两个计算程序所采用的气象参数一致, 建筑分区和围护结构一致, 内部负荷的设定也一致, 但是计算结果却不完全吻合。其中电负荷吻合得较好, 热负荷和冷负荷吻合得比较差。这可能与两个程序所采用的计算方法不同有一定的关系。DOE-2 采用的是基于传递函数法的顺序的负荷/系统/设备模拟方法, 负荷、系统和设备模块之间没有反馈; 而 EnergyPlus 采用的是基于热平衡法的集成同步的负荷/系统/设备模拟方法, 负荷、系统和设备模块同时进行计算, 相互之间有反馈。在本文中我们采用经过校正的 EnergyPlus 的模拟结果来进行冷热电联产的方案分析。图 2 为用 EnergyPlus 计算得到的月负荷曲线。

3 方案分析

3.1 发电机选型

由于空调设备用电有明显的季节特征, 且多配备大功率电

图 2 月负荷曲线

机, 设备启动冲击电流较大; 而大型医疗设备对供电电源的内阻要求较高, 且多为反复短时工作制, 以冲击性负载为主。这些都不适宜由冷热电联产系统供电, 因此考虑冷热电联产主要为一般电力负荷供电。由于目前尚不允许用户自行发电上网, 且一般发电机在部分负荷时效率下降很快, 因此确定发电机容量时以参照谷值为宜, 即由自备发电机承担一般电力负荷中的基荷部分, 24 h 连续运行, 不足部分由电网提供。当过渡季节供热需求不足时, 也可以考虑在供热需求的低谷时段停止运行。在用电高峰时段, 自备发电机约承担总负荷的四分之一。

根据负荷测算的结果, 可以有两种发电机配置方案: a) 选用容量约 300 kVA 的发电机两台; b) 选用容量约 500 kVA 的发电机 1 台。这两种方案都存在变压器及供电线路连接时的技术问题, 需要解决。

3.2 方案选择

分布式供能系统发电设备的发电能力一般在 15 ~ 10 000 kW 范围内, 目前较常用的发电装置有内燃机、小型燃气轮机、微燃机、燃料电池以及可再生能源(如太阳能电池、风能发电)装置等。内燃机的价格比较便宜, 发电效率比较高(低热值为 25% ~ 50%), 但维护工作量比较大, 产生的废热的热值比较低。内燃机的燃料可以是柴油、汽油、煤油、天然气等, 其中柴油机被广泛用作医院、工厂和商业建筑的备用发电装置。汽油机和柴油机的污染物排放量较大(CO, NO_x, HC, 碳烟和微粒等), 尤以 NO_x 最为严重。燃气内燃机可以大大缓解污染物的排放问题, 是一种很有竞争力的技术。目前世界上燃气内燃机的技术已经非常成熟, 发电容量从

50 kW 到 5 MW 不等。小型燃气轮机和微燃机都属于燃气轮机,但两者有很大的不同。小型燃气轮机的发电容量从 500 kW 到 200 MW 不等,而微燃机的发电容量从 25 kW 到 250 kW 不等。燃气轮机的价格比内燃机贵,发电效率约为 30%,维护工作量比内燃机小,产生的废热的热值较高,比较适合用于驱动溴化锂吸收式制冷机制冷。燃料电池和可再生能源都属于清洁能源,是未来能源的发展方向,但价格非常昂贵。

我们在考虑各种发电机组的技术和经济的特点,并查询世界各国所生产的商业用发电机组之后,认为以下两种方案比较可行:

方案 1 燃气内燃机热电联产系统

方案 2 燃气轮机热电联产系统

在方案 1 中,选用 2 台发电容量为 315 kW 的燃气内燃发电机组,1 台全年满负荷运行,另 1 台在负荷低谷时段部分负荷运行或停机,承担一般电力负荷的基本负荷,剩余的电力负荷由电网承担。燃气内燃机气缸排出的废气(400~700)热量用余热锅炉回收生产高温蒸汽,气缸夹套冷却水和润滑油冷却水以高温热水和低温热水的状态排出,用以供热或提供生活热水,不足部分由尖峰锅炉提供。冷量完全由电制冷机组提供。表 3 所列为该燃气内燃机的主要技术参数,图 3 所示为燃气内燃机冷热电联产系统示意图。

表 3 燃气内燃机主要技术参数

发电量/kW	315
燃烧燃气量/(m ³ /h)	86.6(热量 879 kW)
发电效率/%	35.8
回收高温水(88)热量/kW	175
回收低温水(51)热量/kW	58
回收蒸汽热量/kW	178
燃气压力/kPa	25~600

在方案 2 中,选用 1 台发电容量为 506 kW 的燃气轮机发电机组,全年基本保持满负荷运行,承担一般电力负荷的基本负荷,剩余的电力负荷由电网承担。燃气轮机所排出的高温烟气或者由余热锅炉回收,产生高温高压蒸汽,在夏季驱动双效蒸汽吸收式制冷机组供冷,在冬季直接用来供热;或者直接驱动烟气吸收式冷温水机组,同时供冷供热。电制冷机组和尖峰锅炉分别用来补足所需冷量和热量。表 4 所列为该燃气轮机发电机组的主

图 3 燃气内燃机冷热电联产系统示意图

要技术参数。图 4 所示为燃气轮机冷热电联产系统的主要组成设备及其容量。

表 4 燃气轮机的主要技术参数

发电量/kW	506
燃烧燃气量/(kg/h)	180
发电效率/%	21.2
烟气排量/(kg/s)	3.6
烟气温度/	491
蒸汽流量/(kg/h)	2 045
蒸汽(饱和)压力/MPa	1.03
天然气压力/MPa	1.38

图 4 燃气轮机冷热电联产系统示意图
(余热锅炉+蒸汽吸收式制冷机组)

3.3 方案比较

我们在负荷测算得到的全年逐时电、冷、热负荷的基础上对以上所述的两种方案以及基本方案进行了全年能耗和运行费用的计算:

基本方案 电制冷机组+锅炉

方案 1 燃气内燃机+余热锅炉+电制冷机组+尖峰锅炉

方案 2 燃气轮机+余热锅炉+双效蒸汽吸收式制冷机组+尖峰锅炉

表 5 为全年运行能耗和费用的统计,表中电费是由基本电费和电价电费相加而得,基本电费按每 kVA 变压器容量(8 030 kVA)每月 12 元计算,而电价电费则用所耗电网电乘以每 kWh 电价。天然

气热值按 $33\ 812\ \text{kJ}/\text{m}^3$ ($8\ 076\ \text{kcal}/\text{m}^3$) 计算。表 6 为方案 1 和方案 2 相对于基本方案的简单投资回收分析,设备总价为估计值,设备折旧按设备总价的 8% 计算。

表 5 全年运行能耗及费用统计

		基本方案	方案 1	方案 2	
电	电耗/(MWh/a)	照明与插座	6 114	6 114	6 114
		大型医疗设备与电梯	2 007	2 007	2 007
		室外照明及其他	2 748	2 748	2 748
		制冷机组	1 127	1 127	396
		空调风机与水泵	2 620	2 620	2 620
		总耗电	14 616	14 616	13 885
	发电机组发电/(MWh/a)	0	5 403	4 433	
	电网电/(MWh/a)	14 616	9 213	9 452	
	电费/(万元/a)	1 041	699	714	
	热	热耗/(MWh/a)	供热	2 540	2 540
生活用热			14 729	14 729	14 729
吸收式制冷机组			0	0	4 270
总耗热		17 269	17 269	21 539	
发电机组产生热量/(MWh/a)		0	7 049	13 140	
尖峰锅炉产生热量/(MWh/a)	17 269	10 510	9 175		
天然气	燃气耗量(MWh/a)	发电机组	0	15 076	21 462
		尖峰锅炉	21 586	13 137	11 469
		总耗燃气	21 586	28 213	32 931
	天然气费(万元/a)	437	571	666	
总运行能源费/(万元/a)		1 478	1 270	1 380	

注:电价 0.633 元/(kWh),天然气价 1.9 元/ m^3 。

表 6 简单的投资回收分析结果

	方案 1	方案 2
运行能耗费减少/(万元/a)	207.9	97.3
运行维护费增加/(万元/a)	30.3	10.6
设备总价增加/(万元)	350.0	500.0
设备年折旧增加/(万元/a)	28.0	40.0
投资回收期/a	2.3	10.7

方案 1 与方案 2 相比较,方案 1 的初投资小,年运行费用低,投资回收期短。而且方案 1 选用 2 台燃气内燃机,在某一台发生故障时,另一台仍可运行,可以持续发电。在负荷很低时,也可以停开 1 台,因此这种方案比较灵活。方案 1 的另一个优点是,燃气内燃机的燃气压力小于 300 kPa,不需要增压,而燃气轮机则需要增压(燃气压力 800 ~ 3 500 kPa)。而且,燃气内燃机还具有启动时间短,部分负荷下效率高的特点,基于这些考虑,方案 1 比较可行。

但是,方案 1 的燃气内燃机需要维护工作量比较大(如每 1 600 h 需要更换润滑油)、运行管理技术要求比较高。建议采用 CEM(合同制能源管理)方式,从而降低业主的经营风险和资金压力。

4 结论

笔者采用实地调查与计算机模拟相结合的方法,详细测算了某综合性医院建筑的全年逐时电、热、冷负荷,根据“以电定热”的原则,按照一般电力负荷的基荷选用发电机组,保证发电机组在绝大部分时间满负荷运行,余下的电力负荷由电网提供。发电机组产生的废热用来制冷、供热或供生活热水,不足的部分由尖峰锅炉提供。虽然发电机组提供的电力仅占总电力负荷较小的比例,无法充分体现分布式供能系统在节约能源和保护环境方面的优越性,但是这种分布式供能方案避免了电力上网的问题,能使发电机组在最高的发电效率下运行,并能够保证发电机组产生的废热基本上得到利用,在目前剩余电力不能上网的情况下,不失为一种相对可行而且可靠的方案。

本文所研究的建筑是一所综合性医院,由门诊楼、医技楼、急诊手术楼、病房楼和科教中心组成,每一幢楼的功能、人员密度、照明与设备负荷、运行时段等都不相同,因而基本电力负荷不会很低,另外,医院建筑的生活用热水和消毒用蒸汽的需求量比较大,比较适合采用冷热电联产系统。

在进行方案分析时,我们考虑了两种方案:2 台 315kW 的燃气内燃机冷热电联产系统、1 台 506kW 的燃气轮机冷热电联产系统。经过全年运行能耗费用计算和简单的投资回收分析,认为第一个方案更为可行。

参考文献

- 1 《建筑电气设计手册》编写组. 建筑电气设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- 2 Willis H Lee, Walter G Scott. Distributed power generation: planning and evaluation. Marcel Dekker, Inc, 2000
- 3 Gard Analysis, Assessing combined cooling, heating and power systems in Northeast Wisconsin. Energy Center of Wisconsin, 2000
- 4 Crawley Drury B, Linda K Lawria, Frederick C Winkelmann, et al. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. Energy and Buildings, 2001, 33(4)
- 5 Volker Hartkopf, 潘毅群, 吴刚, 等. 固体氧化物燃料电池在建筑冷热电联产中的应用. 暖通空调, 2003, 33(1)