

既有医院系统节能 改造措施及其应用

同济大学 马晓琼[☆] 沈晋明

摘要 以上海市的一个既有医院系统改造为例,在满足医疗与卫生要求的前提下,从围护结构、供热制冷系统、可再生能源利用等方面探讨了既有医院可采取的安全、有效、可行的节能措施。

关键词 医院建筑 节能措施 冷热源系统

Energy efficiency reformation measures applied to an existing hospital building

By Ma Xiaoqiong[★] and Shen Jinming

Abstract On the conditions of meeting the requirements of medical and health care, taking the reformation of the building in Shanghai as an example, discusses the secure, effective and practicable energy saving measures from the aspects of building envelopes, heating and cooling systems, renewable energy resource utilization etc.

Keywords hospital building, energy saving measures, heating and cooling system

[★] Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

我国医院既有建筑数量庞大,据 2004 年统计,全国既有综合医院 12 902 家,专科医院 2 494 家,绝大多数医院位于市区。仅上海市目前就有 300 余家各类医疗机构,年能耗费用约占院支出的 3%。随着医疗状况的改善和医疗技术的发展,医院建设标准大大提高,医院建筑能耗一直呈增长态势。如今既有医院不断改扩建,扩大规模以适应快速增长的患者门、急诊与住院需求,上海市“十五”期间大型综合医院改扩建项目数约是新建的 6 倍,因此对医院既有建筑暖通空调系统、冷热源及其设备进行节能改造具有现实意义。

对于医院建筑,节能的前提是必须满足医疗与卫生要求,离开这个前提,任何降低造价与运行费用的技术或措施均毫无意义。这就给医院节能带来了困难。目前在建筑节能的大背景下,既有医院建筑可以对冷热源系统、输送系统、空调系统

及控制系统进行节能改造,本文主要从冷热源系统就既有医院节能改造的一些可行方案进行探讨。

1 医院住院部系统节能

1.1 工程概况

上海市某医院住院部大楼建于 1990 年,主体建筑 11 层,裙房两层,占地面积 2 160 m²。包括放射科、普外科等 18 个科室病区,外加重症监护 CCU, ICU,床位近 600 张,由于大楼涉及科室病区较多,使用时间差异大,流动和常驻人员多,为了满足医疗控制要求,能耗很大,是院内能耗最大的建筑。

原住院部大楼已使用近 20 年,不论内、外围护

①[☆] 马晓琼,女,1981 年 9 月生,博士研究生
200092 同济大学机械工程学院
(021) 69589953

E-mail: minipony@126.com

收稿日期:2007-05-30

修回日期:2007-11-05

结构的材料性能还是冷热源配置或系统设施都已不适应目前医院建设和节能的需要,必须进行改造。

1.2 外围护结构

住院大楼建造时采用钢筋混凝土框架剪力墙结构体系,改造时在保留框架结构及混凝土墙的基础上,将基层加装外保温及幕墙;采用外遮阳措施,用双层中空玻璃窗代替普通单层窗。以上措

施在旧楼改造上实施难度小,效果显著,降低了建筑热(冷)负荷,对空调系统节能具有重要作用。

以图 1 左侧的手术室和其旁边的走廊为例,改造前后围护结构最大负荷出现的时刻一般在 16:00 左右,选取日最大小时负荷绘于图 2。可以看出,改造后夏季冷负荷大幅降低;手术室位于建筑内部,不含外墙和外窗,因而冷负荷变化幅度小。

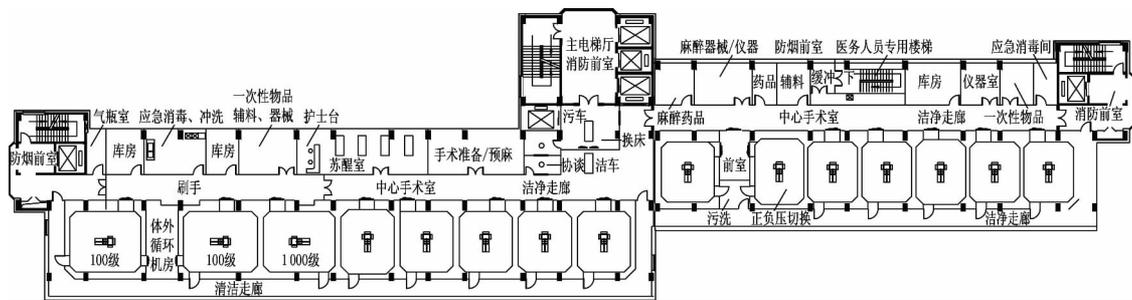


图 1 某医院住院部大楼手术部平面图

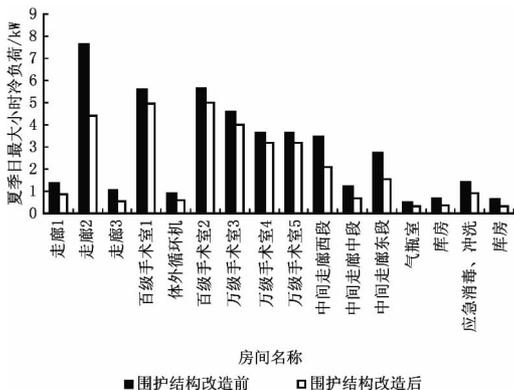


图 2 手术区域围护结构节能改造前后日最大小时负荷变化

1.3 常规供热供冷系统改造方案

冷热源的节能途径主要有:1) 使用高性能系数设备替代原有配套机组,选择适当机组容量和台数保证各个季节机组高效率运行;2) 利用自然或可再生能源(如太阳能、地下(表)水与大气等);3) 引入水(冰)蓄热(冷)技术;4) 有效利用废热(废汽、排风、冷凝水、冷却水和污水等);5) 采用吸收式制冷机组和热电冷三联供。

住院大楼的建筑面积 23 500 m²,属大型公共建筑,11 层中心手术室、辅助用房、10 层手术部供应室、ICU 及 2 层中心供应室都需要洁净空调,空调冷源原先由 1 层制冷机房的 4 台名义制冷量 930 kW 活塞式冷水机组提供,该部分空调系统负

荷改造前后不变,夏季冷负荷为 1 680 kW,冷负荷指标为 133 W/m²,热源由燃煤锅炉供给,冬季热负荷为 1 300 kW,热负荷指标为 109 W/m²。改造后病房大楼增加建筑面积 15 200 m² 的空调区域,从而实际增加冷负荷 1 150 kW、热负荷 880 kW。为此提出如下改造方案。

1.3.1 方案 1 系统单纯扩容

由于病区面积扩大,夏季在继续使用原有制冷机组基础上另选 1 台额定制冷量 696 kW 的螺杆式冷水机组,设在辅楼 2 层屋面上(原有 2 台较小容量冷却塔陈旧,予以淘汰),冬季供暖采用锅炉房原有蒸汽锅炉提供的蒸汽,设汽-水板式换热器 2 台(原有壳管式汽-水换热器陈旧,予以淘汰),每台板式换热器换热量为 200 kW,冷热水经供回水管送至各末端。

由于手术部的耗能特点与一般医疗科室不同,需要全年空调,手术部一般位于楼层内区,室内湿度控制要求严格,医疗设备和人员负荷比例大,常会出现全年供冷的情况。而冬季一般在手术部工作前要求先预热,以抵消夜间与相邻房间或屋顶之间的传热,手术进行后需要切换到供冷工况。由于这一特殊性,使得采用传统冷热源时需要采用四管制以确保能同时进行系统制热制冷。本实例中可由安装在屋顶的 2 台螺杆式空气源热泵机组作为 11 层中心手术室、辅助用房、10

层手术部供应室、重症监护室及 2 层中心供应室的洁净空调系统的冷热源,空调系统其余的冬季热负荷全部由蒸汽锅炉承担。

此方案是在原有基础上进行适当的扩容,不改变现有冷热源的供应形式,实施难度小,与一般公共建筑冷热源改造使用的方法无实质区别。

1.3.2 方案 2 使用高性能系数设备替代+热回收

原 4 台冷水机组已使用近 20 年,性能显著下降,可采用新的螺杆机、离心式冷水机组来替代,但会增加初投资。

对医院一些有较高无菌要求的关键科室,由于有洁净度与湿度控制要求,不同于一般科室,宜采用独立冷热源,可以使用带热回收的空气源热泵,通过热回收同时利用机组冷端与热端,单独或同时提供制冷/供暖/生活热水,实现冷热量的综合利用。特别是对于采用四管制空调系统的特殊科室,无需夏、冬季运行模式的转换,可代替锅炉+冷水机组模式,实现多功能,这样就能满足不同的冷热量匹配要求。

带热回收的空气源热泵的四管制与一般四管制冷热水系统有很大不同(见表 1),普通的冷热水四管制主要是针对冬季建筑内区同时供冷供暖的情况,使用不同冷源与热源来实现,其缺点在于一旦系统配置好便难以变动。带热回收的空气源热泵可以通过蒸发器和冷凝器的旁通管根据需要进

表 1 一般冷热源系统四管制与带热回收空气源热泵的比较

状 态	一般冷热源系统四管制	带热回收的空气源热泵
相同点	冬季同时供热、供冷	
不同点	水管 布置	进入末端设备有四根空调用水管,生活用水管另外布置
	水温	进入末端设备有两根空调用水管,外加两根生活用水管
	运行 模式	同时供热、供生活热水时水温相同 供冷、供热水温确定
	夏季: 主回路单独供冷	夏季: 1) 主回路单独供冷 2) 主回路供冷+副回路提供热水 3) 副回路单独供应热水
	冬季: 主回路单独供暖 主回路供暖+副回路供冷	冬季: 1) 主回路单独供暖 2) 主、副回路合用,同时供暖+供冷 3) 副回路供冷,主回路供应热水

行全年 6 种工况的相互切换。

结合本例,11 层中心手术室、辅助用房、10 层手术部供应室、重症监护室等一些有洁净无菌要求的关键科室,独立冷热源可选用 2 台带热回收的空气源热泵,配冷热水泵 2 台,以及热水用蓄热水箱。其具体运行工况如下。

夏季单独供冷时,系统按常规空气源热泵运行,冷水由蒸发器主回路提取冷量并供应至洁净空调机组(工况 1),在需要热水的情况下直接从冷凝器热端提取热量(工况 2),但这部分热量不能用于提供洁净用房的高温灭菌和消毒用热水加热,只适用于洗手、洗澡和污物清洗用水的加热。过渡季节基本不需要供冷、供暖,仅供热水,冷端与空气换热(工况 3)。

冬季单独供热时,由冷凝器提取热量给供热管(工况 4),由于高度洁净无菌区一般位于建筑内区,冬季存在部分供热和部分供冷的情况,这时冷水由蒸发器主回路提取冷量,同时供热管由冷凝器提取热量给供热管(工况 5),这时可以通过蓄热水箱供应热水(温度同供暖水温)。在不需要供热的情况下,可直接供冷,热端供热水(工况 6)。

该方案对医院一些有较高无菌要求的科室配置独立冷热源,其他一般科室可采用通用的公共建筑的节能措施,如提高冷水温度等。

1.4 方案 3 利用可再生能源和废热改造方案

1.4.1 太阳能热水系统技术

相比常规能源,太阳能热水系统经济效益大,但最大缺点是供给量不稳定,在医院这种随时可能使用大量热水的场所,太阳能热水系统只可作为辅助热源配合常规能源使用。在本例中由于医院住院大楼已有一定的使用年限,从结构上来说受建筑物承重限制,医用建筑空调风量大,加上有 15 间手术室,为稳定医院热水供应,提高太阳能集热器效率,可将贮水箱作为蓄热水箱(见图 3),利用原有的热水供应系统供给热水。

1.4.2 污水源热泵技术应用

医院污水除作分流独立处理的高致病性污水外,主要来源于医用洗涤和生活污水(洗澡用水),水量大、杂物少,是一种巨大的低温余热源,是水-水源热泵或水-空气源热泵的理想低温热源。医院若采用污水源热泵系统,节能、环保和经济意义显著。

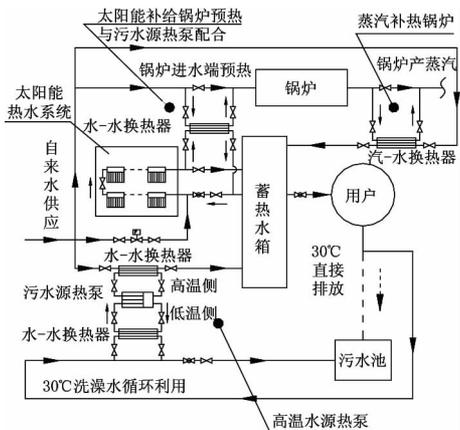


图 3 热水供应系统原理示意图

1.4.3 综合利用方案

在改造实例中,采用太阳能集热器-污水源热泵结合供热的方式全天候供给病房楼生活热水,污水源热泵系统回收生活污水中的热能,作为太阳能热水系统的辅助热源。

1) 运行工况 1 天气晴好

日最高供热负荷

$$q_d = m q_r c (t_r - t_1) \quad (1)$$

式中 m 为病床总数; q_r 为日热水用量定额, 120 L/(床·d); c 为水的比热容, 4.19 kJ/(L·°C); t_r 为热水温度, 取 60 °C; t_1 为冷水温度, 取 10 °C。

经计算, $q_d = 15.084 \times 10^6$ kJ/d。

最大小时供热负荷 q_h

$$q_h = \frac{K_h q_d}{T} \quad (2)$$

式中 K_h 为时间变化系数, 取 4.58; T 为时间, h, 取 24 h。

经计算, $q_h = 2.88 \times 10^6$ kJ/h。

根据热管式真空管太阳能集热器厂家提供的上海地区使用数据,在晴天,单位集热面积该种管的产热量(80 L 温升 50 °C)为 $Q = 4.19$ kJ/(°C·L) × 80 L/d × 50 °C = 16 760 kJ/d。

所需太阳能集热器面积(取安全系数 15%):

$$S = q_d R / Q \times 1.15 \quad (3)$$

式中 R 为病房楼入住率, 取 70%。

经计算, $S = 724.5$ m², 选择某型号单组太阳能集热器, 集热面积为 5.38 m², 太阳能板总组数 $N = 724.5$ m² / 5.38 m² = 134.7, 取 135 组, 太阳能板所占的总面积 $F = 135 \times 5.38$ m² = 726.3 m²。

主楼屋顶面积为 1 960 m², 集热器所占面积

是屋顶面积的 37%, 如果有建筑结构承重许可并且空间足够, 可采用此方案, 由于洁净空调机组和大楼用水箱位于主楼屋顶, 若空间不够可采取在设备上方搭设金属支架的办法安装太阳能集热器。

2) 运行工况 2 梅雨季节或太阳能不充足的情况

上海地区属于第四类太阳能资源地区, 太阳能不充足的情况在全年中所占比例很大, 在冬季或平时太阳辐射热较少时, 集热器内的水温只能达到 40 °C 左右, 用来洗澡温度较低, 在这种情况下, 与太阳能板相连的循环泵自屋顶生活冷水箱抽水, 经太阳能集热器加热后返回蓄热水箱, 仅供储存, 此时的生活用水由污水源热泵提供或通过水-水换热器与常温水换热仅提取热量用于锅炉预热等。由于水源热泵系统的制热量有保证, 即使在洗澡水量不充分的情况下也可通过板式换热器提取自来水中的热量, 所以作为优先考虑的供应措施。

① 方案 A 冬季太阳能直接供热水并与污水源热泵联合使用

高温水源热泵的应用(见图 3)。水源热泵机组进水取 30 °C 的洗澡用废水(洗澡排水温度高于一般污水温度), 废水经过板式换热器将热量传给水源热泵的蒸发器, 出水温度为 6 °C。本例中住院大楼每天需洗澡用 60 °C 热水 72 t, 加入冬季 6 °C 自来水可获得 50 °C 的洗澡水 90 t, 这样能回收的热量为

$$Q = 105 \text{ kW/d}$$

选用 1 台 FOCS WH 0501 型高温水源热泵机组, 将温度 10 °C 提升到 60 °C 的制热量为

$$L_1 = 43.2 \text{ t/d}$$

制出热量占 72 t 总用水量的 60%, 为满足热水在高峰期的使用需求, 需加装储热水箱。

太阳能热水系统的供给(见图 3)。在使用太阳能的情形下, 热水 40% 由太阳能供应, 所需太阳能制热量为 $L_2 = 72 \text{ t/d} \times 40\% = 28.8 \text{ t/d}$ 。

由于污水源热泵是从洗澡水中提取热量, 这部分热量有限, 必要时应加以辅助加热方式。可以用原有蒸汽锅炉产生的蒸汽送入储水箱内的加热器内, 对水进行辅助加热, 达到合适的水温, 以满足人们的用水需要。

按最不利情况计算蒸汽补热锅炉功率。当连

续多日阴雨天时,太阳能集热器处于待机状态,热负荷除由污水源热泵供给一部分外,其余由蒸汽锅炉承担。考虑到病房楼绝大多数情况下的病床使用率不会超过 70%,同时连续多日阴雨天的概率非常小,为节约投资,蒸汽锅炉的功率按病房楼入住率 70%、热水 40%由其提供计算确定,电锅炉效率取 95%,经计算,蒸汽锅炉的功率为 236 kW。

目前医院的生活污水和其他污水一起排入污水管网,在改造时应将生活污水与其他污水分流,另设单独的蓄水装置储存生活污水,以便污水源热泵使用。

② 方案 B 太阳能补给锅炉预热并与污水源热泵配合使用

由于太阳能热水系统是依靠太阳辐射制取热水的,上海地区太阳能不充足情况较多,在冬季或平时,集热器内水温不足且供应不稳定时,与太阳能板相连的循环泵自屋顶生活冷水箱抽水,经太阳能集热器加热后,为锅炉提供预热冷水。

1.5 方案 4 热电联产改造 CHP 方案

值得一提的是,从对上海市三级甲等医院的调查结果来看,90 年代后期医院冷源使用溴化锂吸收式制冷机的约占 1/3 以上,普遍存在的问题是冷量衰减情况严重,冷水水温降不下来,是继续使用原有机组、寻求冷水机组或热泵等的替代物,还是引入 CHP 理念,需进一步探讨。我国医院的热电冷三联供或热电联产应用受到投资大、运行管理力量薄弱和余电难以上网的限制,成功范例屈指可数。

本例医院的热电冷三联供是由第三方建造,实施合同能源管理,医院为用户,不存在投资与运行管理问题,是上海医院冷热源改造的一种尝试。本实例可选用在系统中配置燃气轮机+溴化锂吸收式冷水机组+余热锅炉的 CCHP 方案,选用 Ingersoll—Rand MT250 型余热锅炉,产热量 1 t/h,拟配置两套机组(2×250 kW 燃气轮机+2×1 t/h 蒸汽余热锅炉)。这样根据医院用电情况,机组年利用时间可以在 6 000 h 以上,机组产汽量为 2 t/h 的最大利用时间也可达 6 000 h。余热锅炉直接供热额定供汽量 2 t/h(蒸汽)和 1 t/h(热水),年供热总量可达 35.96 GJ,热电比 3.33,全年耗气量为 170 万 m³。

供热方面,由于医院蒸汽负荷随昼夜和季节

变化波动较大,锅炉白天常开,夜间无蒸汽供应时停机;夏季热负荷小,在医院开始使用蒸汽时启动供能,冬季则全天运行,燃气锅炉四季均用于补偿。天然气经分离、过滤和计量后,经过增压机加压进入燃气轮机燃烧室燃烧,产生高温烟气,燃气轮机排气进入余热锅炉放出热量后排向大气。调查测试表明,一般医院的用电负荷主要来自于空调、照明、冷库、医技等大功率设备,本实例目前的总体小时用电负荷约在 500~2 000 kW 之间不等,且随季节变化差异较大。图 4 为 2005—2006 年医院年用电负荷。

在初投资中不考虑燃气增容费和电力增容费以及燃气管道铺设费的情况下,粗略计算建设项目总投资约 1 千万元,全部投资内部收益率约为 10%,全部投资回收期超过 8 年。

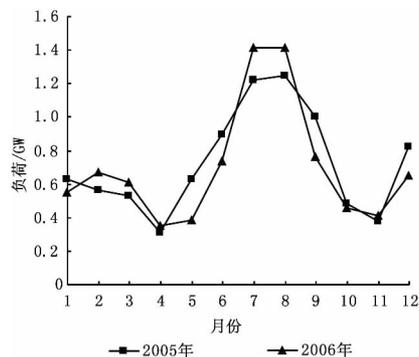


图 4 医院年用电负荷曲线

1.6 医院总体节能构想

随着科学技术的发展和医学的进步,使用的医疗设备仪器更加先进,医疗环境控制要求提高,医院的高费用和高能耗是不可避免的;同时空调和洁净设备大量使用,在就医环境不断改善的同时,客观上造成了医院的能耗合理增长。

由于医院建筑自身特点与环境控制的特殊性,我国对既有医院改建或扩建的医疗流程方案、能源规划、设备选用、系统配置等方面设计力量薄弱,经验不足。并没有充分考虑节能细则,在其建设标准与改扩建费用不断上涨的同时,能耗也在不断提高。医院中住院部(大多还包括中心供应室和手术部)作为医护人员和常住病患人员的集中场所,面积最大、涉及人员最多,相应的能源消耗量也较大,再加上室内环境有医疗、卫生和舒适要求,因此住院部节能是整个医院的建筑节能工

(下转第 77 页)