

实验楼建筑能源系统方案设计

——以安徽省疾病预防控制中心项目为例

朱沉默¹ 鲍小峰² 王颖² 姚振亚²

1. 安徽省疾病预防控制中心, 2. 中国中元国际工程有限公司安徽分公司

摘要: 本文以安徽省疾病预防控制中心项目一期实验楼为例, 分析了兼具科研和办公功能的实验楼建筑的能耗特点, 结合所在地区的气象计算参数, 对建筑能源系统进行了设计。通过对电、天然气、蒸汽三种能源形式的考虑设计了两冷两热方案, 综合对比分析两种设计方案的经济效益和社会效益后, 明确了不同能源系统方案的优劣势, 最终确定了该项目的能源系统设计方案。

关键词: 疾病预防控制中心; 能源系统; 冷热源方案

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.23.098

为加强省级疾病控制机构软硬件建设, 安徽省启动了疾病预防控制中心迁建工程项目, 以建设国内先进的高水平公共卫生机构为目标, 打造以科研为依托、以人才为根本、以疾控为中心的功能完善的现代化省级疾控中心^[1]。

目前我国公共建筑高能耗的问题仍然显著, 在国家建筑节能减排的大环境下, 在保证疾控检验检测实验室正常运转, 满足公共卫生预防需求, 提高应急突发事件处理能力的前提下, 降低实验楼建筑的能耗及运行费用成了重要课题。本文通过对安徽省疾病预防控制中心项目实验楼建筑的特点和能耗分布进行了解, 比较分析能源系统设计方案, 总结相关经验, 利于增强实验楼建筑的能耗管理。

一、项目概述

安徽省疾病预防控制中心项目位于安徽省合肥市肥西县, 总用地面积约为7.6万平方米, 拟建设实验楼、业务楼、科普及指挥楼三大部分。一期项目建设内容为实验楼, 位于夏季最小风频上风向的地块西侧, 配套建设地下停车场、污水处理站及公用辅助工程, 用地面积约为2.7万平方米。

实验楼建筑采用模块化、灵活性和全方位节能环保的设计理念, 将综合实验区、理化实验区和微生物实验区三种不同类别的实验用房独立设置。三栋楼通过架空连廊进行连接, 提高了建筑组合的集中性, 同时不影响其使用功能和安全卫生要求。项目建设总建筑面积约41937.5平方米, 其中地上建筑面积33602.07平方米, 地下建筑面积8313.13平方米。另外, 根据实验室的相关管理控制要求, 在平面功能布局上将实验室、科研等区域与办公室区域分开设置, 对污物、污水等应有严格的预防控制措施, 微生物实验区及综合实验区单独设置

污区和污梯, 污水通过污水管接入污水处理池。实验楼建筑整体要保持通风良好, 除开启扇自然通风外, 建筑立面设置横向贯通的通风百叶系统, 满足相关实验室对于机械通风的需求。

二、项目能耗特点及负荷分析

(一) 项目能耗特点和能源形势

合肥位于安徽中部, 处于中纬度地带, 该地区为亚热带湿润季风气候, 年平均气温在15~16℃之间, 年平均降水量在900~1000mm之间。全年气候变化特点是季风明显、四季分明、雨量适中。该地区建筑热工设计分区属于夏热冬冷地区, 夏季空调计算日平均温度为31.7℃, 冬季供暖室外计算温度为-1.7℃。建筑南、东、西向外窗和透光幕墙需采取遮阳措施。设计时利用建筑外立面构造达到遮阳的效果, 遮阳系数SD控制在0.60以上, 综合太阳得热系数 SHGC为0.31。

普通办公建筑使用功能单一, 使用时间稳定, 电负荷全年基本稳定, 但空调系统冷负荷则随季节和温度的变化而变化^[2]。在夏热冬冷地区, 办公建筑的能耗范围为50-150 kw·h/m², 其中暖通空调能耗约占建筑能耗的30%左右。但疾病预防控制中心实验楼兼具办公和科研功能, 能耗组成更为复杂。如理化分析实验室、微生物实验室、生物洁净室和动物实验室等特殊用房, 有明确的温度、湿度、通风和排风的要求, 并需要提供净化空调系统, 24小时全天运行。因此, 实验楼的能耗范围高于普通办公建筑, 暖通空调能耗为最主要的能耗, 占比也更高, 其次是照明、通风、污水排水等系统。

对于办公建筑而言, 其主要消耗的能源形式为电能。而实验楼在于保证人们正常办公的同时, 还要确保各类实验室的正常运转和各种科研设备的正常使用。因此, 还需要用到蒸汽、热水、燃气等其他能源形式^[4]。根据所处地域的当地能源供应特点, 也可采用市政供热管网或可再生能源作为建筑热需求的补充。但能源组成越复杂, 管理的难度也就更大。

安徽省疾病预防控制中心实验楼项目主要使用电力、燃气和蒸汽三种市政能源供应。用电由城市电引来电源, 电力价格根据安徽省发展和改革委员会发布的安徽电价阶梯式收费标准。按照工商业及其他用电类别, 两部制1-10千伏区间计价, 高峰电价为0.9706元/千瓦时, 平段电价为0.5996元/千瓦时, 低谷为0.3599元/千瓦时。天然气供应主要由肥西深燃公司承担, 项目暂无配套燃气输送管道, 未来可通过接入燃气输送管道或运输方式解决燃气供应问题。天然气价格参照《合肥市发

展改革委关于疏导我市冬季非居民天然气销售价格矛盾的通知》，淡季天然气价格为4.17元/立方米，冬季天然气价格为4.57元/立方米。蒸汽则根据合肥热电集团提供，价格为300元/吨（0.6MPa、152℃）。

（二）空调冷热负荷

本项目空调计算总冷负荷：11145kW；空调计算总热负荷：8631kW；再热负荷：1400kW。其中C1综合楼：冷负荷3620kW，热负荷2850kW；C2理化楼：冷负荷2981kW，热负荷2245kW；C3微生物楼：冷负荷4544kW，热负荷3536kW。空调加湿蒸汽估算用量：2T/H。

（三）负荷特点

（1）运行时间长

由于大量实验室房间常年发热量稳定存在，空调供冷时间较长。

（2）空调季全天运行，空调水系统需要根据24h/10h运行区划分

疾控中心实验楼项目，包括C1综合实验楼、C2理化实验楼、C3微生物实验楼三大部分，在动物房和P3全天24h运行，而其他实验区域大多只在白天运行10h。

（3）高峰低谷运行时段能耗差异较大

在夏季白天空调负荷较大，而在夜间仅有P3实验室和动物房及少部分实验室等区域需要供应空调，往往这两部分负荷差异较大，造成疾控中心实验楼项目低谷运行时负荷占高峰负荷的20%左右。

（4）净化空调特殊运行要求

疾控中心实验楼项目都有较大的净化区域，这些区域需要根据不同的空气净化等级设置净化空调系统。为了保证内部净化等级，净化区域的围护结构密闭性有严格要求，导致区域内由人员、设备、灯光等产生的大量热量无法扩散出去，需全年长时间供冷。这使得净化空调冷负荷大，加上空气降温除湿的要求高，维持空气洁净等级要求的送风量大和送风精度高，都导致了净化空调的耗电量较大。因此，在配置空调冷源时需充分考虑净化空调的要求，并结合其运行特点选择合理节能的空调形式^[5]。

（四）负荷分析

根据可研，依据《公共建筑节能设计标准》、调研情况以及以往安徽地区项目经验，利用负荷指标估算法进行计算，其中：

（1）全年55%时段按总负荷的20%计算（20%总负荷运行工况），计算运行费用时考虑同时使用系数为0.8；

（2）全年45%时段按总负荷计算（100%总负荷运行工况），计算运行费用时考虑同时使用系数为0.8。

计算得出最大日逐时冷负荷在0:00至7:00、19:00至23:00期间基本维持在2000kW，其中从2:00开始冷负荷逐渐下降，7:00时为最小值，约为1800kW；8:00时随着日常办公工作的开始，冷负荷升至9200kW，并持续上升，15:00时达到最高值11800kW，随后冷负荷逐渐下降，到18:00时降为11000kW。

三、冷热源方案对比

疫情预防控制中心实验楼能源需求的特点是有规律的间歇性需求，既有日常的10小时办公使用，又有持续的24小时运转的设备需要能源支持。其中主要为用电需求，辅助燃气、燃油等作为公共服务需要的主要能源供应。因此，项目对于能源安全要求较高，设计时考虑电、天然气、蒸汽三种能源形式。

（一）冷热源系统设计方案

（1）电制冷机组+真空燃气锅炉+蒸汽发生器

该方案由变频离心式冷水机组提供夏季冷源，其中包括1台350kW和2台630kW的变频离心式冷水机组，以及3台30kW的冷却塔。利用真空热水锅炉提供冬季热源，包括2台消耗燃气量约310Nm³/h和1台消耗燃气量约190Nm³/h的真空热水机组，2台消耗燃气量约73Nm³/h的蒸汽发生器提供空调加湿使用。另外需要3台80kW和2台60kW的变频冷水卧式泵、3台80kW和2台75kW的变频冷却卧式泵、3台35kW和2台25kW的变频热水立式泵，这些设备中均有1台为备用设备。

冷水机组加锅炉的形式是目前公共建筑的主要冷热源形式，优势在于电制冷技术应用时间较长，技术成熟度较高，机械运转简洁。电制冷机组安装容易、操作简单、维修少、寿命较长，不需要运维人员有较高技术水平。电制冷机组负荷调节范围宽，调节范围10~100%。真空燃气锅炉的使用也比较灵活。缺点则是电制冷机组耗电量大，燃气锅炉需要按规范考虑机房泄爆。

（2）市政蒸汽

该方案由蒸汽型溴化锂机组提供夏季冷源，其中包括2台7kW和1台5kW的蒸汽型溴化锂机组，以及3台45kW的冷却塔。利用市政蒸汽提供冬季热源，包括2台消耗蒸汽量2.6T/h和1台消耗蒸汽量4.2T/h的板式换热器，采用2台消耗蒸汽量1.3T/h的纯蒸汽发生器提供空调加湿使用。另外需要3台80kW和2台60kW的变频冷水卧式泵、3台110kW和2台80kW的变频冷却卧式泵、3台35kW和2台25kW的变频热水立式泵、2台4kW的冷凝水泵，这些设备中均有1台为备用设备。以及1个有效容积8000L的降温水箱。

溴化锂吸收式制冷空调的使用结合了本地蒸汽市政管网，能够获得较为廉价的热源，有利于能源的合理利用。优势在于溴化锂机组制冷调节范围大，耗电量非常小，可以缓解用电紧张。不应用氟利昂类制冷剂，溴化锂溶液无毒，对臭氧层无破坏作用，对环境无影响。缺点则是溴化锂机组尺寸大于电制冷机组，且需要考虑检修期，维修费用也较高。供冷、供热受蒸汽公司蒸汽供应的影响，存在波动。

对以上方案从建设初期投资，用电量、市政能源利用和运行费用四个方面进行定量分析，对比两种供热/制冷能源利用方案的经济性和日常运行维护的稳定性。

根据“冷热源方案、负荷分析”，结合已完成的相关工程经验，对比两种方案夏季和冬季（同时使用系

数：0.8）的用电量和市政能源消耗量，如表1所示。其中100%总负荷运行工况为高峰期4小时、平段6小时；20%总负荷运行工况为高峰期4小时、平段1小时、低谷期9小时。

表1 两种方案能源消耗对比

		方案一		方案二	
		电制冷机组+真空燃气锅炉+蒸汽发生器		市政蒸汽	
消耗能源	运行工况	夏季	冬季	夏季	冬季
用电量 (kW)	20%总负荷	401.7	27.8	153.4	21.4
	100%总负荷	1658.3	96.7	531.1	75.1
总耗气量 (Nm ³ /h)	20%总负荷	60.8	179.4	-	-
	100%总负荷	121.6	678.64	-	-
总耗蒸汽量 (T/h)	20%总负荷	-	-	2.5	2.7
	100%总负荷	-	-	10	9.9

根据“冷热源方案、负荷分析、用电量对比表、市政能源对比表”，结合已完成的相关工程经验，对比两种方案的初期建设投资和运行费用，见表2。

表2 两种方案经济性对比

	方案一	方案二
	电制冷机组+真空燃气锅炉+蒸汽发生器	市政蒸汽
主要设备初期投资(万元)	991.6	1190.5(含初期蒸汽管道敷设费用)
年运行能源费用(万元/年)	684.72	927.96
人员工资(3人)	24	24
设备维保(万元/年)	20	18
管理费(万元/年)	10	10
末端维保	3元/m ²	3元/m ²

通过以上表格汇总分析可知，方案一的能源系统初期投资较低，运行费用较低。而方案二初期投资增加约20%，运行费用增加约35.5%。

方案二初期投资较高，主要原因在于周边无其他市政蒸汽用户，蒸汽管道敷设费用较高、夏季制冷蒸汽型溴化锂系统价格较电制冷机组系统高。综合下，导致方案二初期投资较高。

方案二运行费用较高，主要原因在于夏季电制冷机组效率高，COP（制冷效率）一般大于5.3，溴化锂机组效率低，能效比（COP）约为0.8—1.2，属于节电不节能型产品，导致夏季方案二运行费用高于方案一；冬季生物实验室空调加湿不能直接采用市政蒸汽，对空调加湿有一定的要求，方案二需设置纯蒸汽发生器，纯蒸汽加湿器制得蒸汽与所需市政蒸汽的比例约0.77：1，导致冬季方案二运行费用略高于方案一，综合下，导致方案二运行费用较高。

另外从稳定性的角度来看，方案一设备技术成熟，

主机使用寿命可达20年，运行维护简便、使用灵活。方案二的设备技术也很成熟，蒸汽型溴化锂主机寿命15年、换热器寿命20年，但蒸汽的使用需根据市政蒸汽部门规定。除室内设备之外，方案一需设3台冷却塔、3根直径约450mm和1根直径约360mm的烟囱，占地面积约95m²。方案二则只需3台冷却塔，占地面积90m²，对室外景观环境影响相对较小。

综合来看，方案一与方案二各有优劣，基于本项目的现状建议采用方案一。

结语

通过对安徽省疾病预防控制中心实验楼项目进行能源系统的设计，结合实际情况全面对比分析两个方案的技术性和经济性，可以看出，实验楼建筑在设计之初需要充分考虑其特殊的能源供应需求，根据地方能源供应特色及能源价格波动，综合比选，最终才能得出方案的优劣之处并进行选择。

后续可以结合该项目实际能源的消耗情况，进一步对能耗进行分析，从综合节能效果的角度出发，通过可再生能源利用、通风设备的设置、末端设计及能耗计量等手段，研究节能策略。

参考文献

[1]常战军,常畅,李玉秦,陈君,陈益州,杜江,林家瑞.ZZCDC数字化疾控信息管理系统的研究[J].生命科学研究,2005(S2):87-90+98.
 [2]梁哲诚,陈颖,肖小清,范立莉,罗向龙.广州市3栋商业建筑冷、热、电负荷特性分析[J].建筑科学,2012,28(08):13-20.
 [3]姚希.医学类A高校科研建筑耗电统计模拟与节能研究[D].清华大学,2018.
 [4]黄凯,季柳金,杨玥,吴志敏.江苏省公共建筑能耗分布和运行特点分析[J].建筑节能,2013,41(02):48-51.
 [5]吴丹芸.大型医院综合楼空调能耗分析和冷热源选择要点[J].建筑热能通风空调,2021,40(04):41-44.