

上海某超低能耗住宅建筑机电系统设计分析

房 昆

上海隽鑫置业有限公司 上海 200335

摘要：在碳达峰、碳中和的时代背景下，超低能耗建筑具有节能环保、健康舒适的显著优势，得到积极推广。本文以上海某超低能耗住宅建筑为例，结合上海市超低能耗建筑政策，阐述了机电系统设计要求，包括空调地暖两联供系统、热回收新风系统、空气源热水系统、照明控制及节能设计、电梯设计、能耗监测系统等设计思路及要点，并进行了归纳和分析，以供借鉴。

关键词：超低能耗建筑；机电系统设计；能耗模拟分析

1 引言

随着人民生活日新月异，经济快速发展，城乡建设规模扩大使得建筑能源消耗与日俱增。建筑领域节能减排对保护生态环境、推动绿色发展、应对气候变化具有重要的经济价值和环境价值。为全面响应国家碳达峰、碳中和的战略导向，推进超低能耗建筑发展，提升建筑能效水平，建设高品质绿色建筑成为城市建设向绿色环保转型的重要举措。各地积极建立健全流程体系，对超低能耗建筑开展试点工程和推广。

2 超低能耗建筑政策

上海市为努力实现并确保在2025年前实现碳达峰，各部委陆续颁布实施各项规定及政策。结合上海市气候和资源条件，响应探索创新超低能耗建筑试点的要求，形成并建立适宜的超低能耗建筑设计、施工、材料产品支撑体系。进而为超低能耗建筑推广打下了坚实的技术和政策基础。

2.1 超低能耗建筑政策

扎实推进上海市碳达峰工作，2022年7月8日《上海市碳达峰实施方案》（沪府发〔2022〕7号）公布并明确规定，到2025年，重点区域在开展规模化超低能耗建筑示范的基础上，全面执行超低能耗建筑标准。“十五五”期间，全市新建居住建筑执行超低能耗建筑标准的比例达到50%。到2030年，全市新建民用建筑全面执行超低能耗建筑标准。

2019年3月13日上海市住房和城乡建设管理委员会发布《上海市超低能耗建筑技术导则（试行）》（沪建建材联[2019]157号）（以下简称《导则》），为深入推进本市建筑节能工作，引导建筑物不断提升节能水平，发展超低能耗建筑，明确相关技术标准及规定。

2020年10月30日上海市住房和城乡建设管理委员会、规划资源局制定《关于推进本市超低能耗建筑发展的实

施意见》（沪建建材联[2020]541号）。明确大力推广超低能耗建筑建设目标，主要任务推动项目落地，政策支持并鼓励项目采用超低能耗建筑。

2.2 容积率计算及奖励

《关于推进本市超低能耗建筑发展的实施意见》规定超低能耗建筑项目符合《导则》相关技术要求并经审核通过，同时外墙平均传热系数 $\leq 0.4W/(m \cdot k)$ 且采用外墙保温一体化，其外墙面积可不计入容积率，但其建筑面积最高不应超过总计容建筑面积的3%。

3 项目概况

本项目位于上海市青浦区。用地面积77368.9平方米，总建筑面积247496.4平方米，地上总建筑面积176889.2平方米，地下总建筑面积70607.3平方米，容积率2.2，绿化率35%，建筑限高80米（其中住宅建筑高度不低于24米）。

项目由26栋15~17层高层住宅与物业用房、社区服务站等公共服务设施组成。住宅共计1907户。绿色建筑设计为三星级。其中1号楼为保障房，不参与超低能耗建筑申报。

4 超低能耗建筑机电系统设计

4.1 空调地暖两联供系统

近年来，居民对生活品质及舒适性需求越来越高，开发商为迎合市场需求在产品配置上迭代升级，中央空调、地暖、新风系统已成为普遍接受的主流产品配置，并进入购房者的视野。

《导则》要求多联式空调（热泵）机组全年能源消耗效率（APF）应达到4.5以上，且满足一级能效要求。同时要求户式燃气热水炉，其能效等级应达到现行有关国家标准的一级能效要求。热效率不应低于表1中数值：

表1 锅炉热效率指标要求（%）

锅炉类型及燃料种类	锅炉额定蒸发量D(t/h)或者额定热功率Q(MW)	
	D \leq 2.0/Q \leq 1.4	D $>$ 2.0/Q $>$ 1.4
燃气	92	94

传统燃气壁挂炉热效率低、运行能耗高，上海市超低能耗建筑评审无法通过。经各品牌厂家、经销商多方咨询，市场上销售并满足上述要求地暖燃气壁挂炉极少，例如冷凝式壁挂炉。因其内部冷凝换热器将废气中的热量预热冷水，热效率提高显著，故满足一级能效要求。废气因热量转移，产生冷凝水，需设置冷凝水管，同时冷凝水含有较多酸性化学物质，排放前还需中和处

理。冷凝式壁挂炉价格高于普通地暖壁挂炉30%以上。故此方案具有诸多不利因素，周边超低能耗项目先例均未采用。

参考比对其它已评审或将要评审超低能耗住宅项目，地暖大部分采用中央空调和地暖两联供一体系统替代燃气壁挂炉，同时具备良好的舒适性、节能性、稳定性。主要方案为以下两种：

表2 空调地暖两联供系统方案对比

编 号	方 案 (1)	方 案 (2)
系统形式	空调室内机使用冷媒系统，地暖盘管使用水系统，即“天氟地水”两联供系统。	空调室内机、地暖盘管均使用水系统，即“天水地水”两联供系统。
漏水风险	冷媒系统采用铜管连接，无焊接点，无漏水隐患。	水系统连接点较多，存在漏水隐患。
土建开洞	冷媒管管径较小，洞口对梁、墙体的破坏性小。	水系统需设置进、回水两根水管，洞口对梁、墙体的破坏性较大。
施工难度及故障率	配件少，安装便捷，故障率较低。	配件多，品牌和采购渠道众多，安装复杂，故障率高。
体验感	夏季空调制冷更快，送风温差较大，冷风感明显，舒适度相对较低。	夏季空调送风温度与设定温度接近，风感温润舒适，体验感更加柔和。

借鉴同类项目及综合对比衡量，重点考虑避免漏水风险、管道及配件施工安装更为便捷，方案(1)成为同类型项目主流选择，故本项目采用“天氟地水”两联供系统。

本项目各户型经过详细的负荷计算，对空调机组选型配置，在额定条件下全年能源消耗效率APF值为5.34-5.53，大于4.5满足《导则》要求。制冷综合性能系数IPLV(C)值实际为6.4-6.5，大于6.0满足《导则》要求，同时满足一级能效及绿建设计三星级要求。施工验收阶段以上参数均满足超低能耗专项技术评审文本中暖通设备意向产品样本和检测报告。

因超低能耗项目具备更好的围护结构保温隔热性能和气密性能，故空调单位面积冷指标配置较普通项目降低20%以上。同时期因推广超低能耗项目规模增多，各品牌厂家更新换代主机匹数更小的新款机型，空调地暖系统不但一次性初始造价成本未增加，而且居民日后使用运行节省能耗长期受益。在同等环境条件下，利用两联供系统进行地板采暖，用电能耗与常规燃气壁挂炉燃气费粗略对比测算，冬季能耗费用节省40%以上。

为减少主机运行震动而产生的噪音影响，采用多联机产品常规减震措施，室外机基础加装橡胶减振垫。

4.2 热回收新风系统

每户设置热回收新风系统，高效空气过滤装置可以有效过滤PM2.5，大大降低室外细颗粒物的进入，营造出更加健康的室内环境。同时高效回收利用排风中冷热

量，降低空调地暖能量损失。

(1) 新风量按照不小于 $30\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 设置。

(2) 选用高交换效率热回收新风机，其交换效率不低于表3要求：

表3 热回收装置交换效率要求

类型	交换效率 (%)	
	制冷	制热
焓效率	> 65%	> 70%
温度效率	> 70%	> 75%

本项目新风机焓交换效率：制冷 > 75.9%，制热 > 77.7%；温度交换效率：制冷 > 77.2%，制热 > 80.4%。满足表2要求。

(3) 单位风量耗功率 $0.43\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ，小于 $0.45\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$ 。

(4) 具备旁通功能。在过渡季或室内外焓差(温差)较小时，新风可经旁通管直接进入室内或空气处理装置，有效降低能耗。

(5) 风量满足3档可调节要求，显著提高舒适度。

本项目新风机设置于阳台吊顶内，热回收装置交换面积增加，故设备尺寸相对较大。新风口、排风口同侧安装间距不小于5m，故采用新、排风口于阳台异侧安装，同时考虑避免气流短路。卧室、客厅、餐厅设置送风口，客厅设置回风口，其余未设回风口的房间通过门缝自然渗透回风。各出风口安装风量调节阀，调试后平衡各房间风量。风口末端连接安装消音软管。新风机安

装固定平稳，采取防松动措施及减振措施。风管与新风机采用软管连接。室内管道固定支架与管道接触处采用隔音垫。

4.3 空气源热水系统

对比同类已申请超低能耗项目可再生能源设计，生活热水系统方案主要有以下两种：

表4 生活热水系统方案对比

编号	方案(1)	方案(2)
系统形式	太阳能热水系统为主要热源，燃气热水器为辅助热源，50%住户设置。	空气源热水系统，系统自带电辅助加热功能，100%住户设置。
屋面空间	屋面设置太阳能集热器每户约2m ² 。	屋面无需设备。
设备平台	设置储热水罐一台。	设置空气源热水系统外机一台，储热水罐一台，安装空间较大。
公共区域	公共区域水管井增加热媒管道安装空间，连廊外露管道较多，影响美观。	公共区域无需管道。

结合本项目楼栋单体公共区域面积及布局，水管井面积有限，无扩大条件，故采用方案(2)，100%住户采用空气源热水系统。超低能耗咨询单位提前征询相关部门及专家，空气源热水系统满足超低能耗项目评审及验收。

热水用量指标：40L/(人·天)计算，热水温度：60℃，冷水温度：15℃。储热水罐的有效容积采用150L。COP达到4.1，高效节能，能耗费用较低。为保证不利天气条件下热水系统稳定供水，系统自带电辅助加热功能。

储热水罐具备良好的耐腐蚀性，防水性为IP4x，安全环保，需避开外窗，防止影响视线观感。空气源外机出风方向需对外无遮挡。主机下设减震垫，更加减小机组震动，可有效控制设备噪声。

在厨房橱柜内预留燃气热水器安装空间，相应冷热水点、电源插座，可供偏好燃气热水器的住户自行采购安装。空气源热水系统与燃气热水器通过三通阀进行切换。因考虑电动三通阀故障率、造价较高，空气源热水系统自带电辅热，切换频率低，故采用手动三通阀切换，敷设在橱柜隐蔽且便于操作之处，控制面板安装于厨房门旁边。

4.4 照明控制及节能设计

《导则》要求室内照明功率密度值应达到现行国家标准《建筑照明设计标准》(GB50034)规定目标值的70%以下。主要控制场所为住宅户内各房间。

更低的照明功率密度，意味灯具要求更为高效节能。本项目优先选用LED照明灯具。同时减小或取消部分装饰性照明，做了大量优化工作。各户型、房间逐一详细计算，严格控制照明功率密度均 ≤ 3.5W/m²。以本项目D户型(三房两厅两卫)为例，照明功率密度值详见表5：

表5 照度计算表

房间	照度 (lx)	灯具种类	照明功率密度 (W/m ²)	超低能耗照明功率密度限值 (W/m ²)	照明功率密度目标值 (W/m ²)
主卧	131.6	吸顶灯 (LED)	1.7	≤ 3.5	≤ 5.0
次卧	76.7	吸顶灯 (LED)	0.9	≤ 3.5	≤ 5.0
书房	99.7	吸顶灯 (LED)	1.2	≤ 3.5	≤ 5.0
起居室	280.5	吸顶灯 (LED)	3.4	≤ 3.5	≤ 5.0
主卫	280.5	防潮吸顶灯 (LED)	3.4	≤ 3.5	≤ 5.0
次卫	272.0	防潮吸顶灯 (LED)	3.3	≤ 3.5	≤ 5.0
厨房	261.5	防潮吸顶灯 (LED)	3.3	≤ 3.5	≤ 5.0
餐厅	281.4	吸顶灯 (LED)	3.4	≤ 3.5	≤ 5.0

注：设装饰性灯具场所，可将实际采用的装饰性灯具总功率的50%计入照明功率密度值的计算。

公共区域照明系统采用分区、定时、感应等节能控制。走廊、楼梯间、前室照明采用感应控制，地下车库照明间隔控制便于不同时段合理控制照度，采用建筑设备集中监控系统(BA)集中控制。

4.5 电梯设计

本项目采用带能量反馈的变频变压VVVF运行控制节能电梯。能量反馈回收电梯运行时产生的势能，有助于降低能耗成本，减少碳排放，提高运行效率和设备使用寿命，保证良好舒适感和持久运行。

4.6 能耗监测系统

本次超低能耗申报建筑为商品房住宅建筑，对公共

部位的主要用能系统进行分类分项计量,将公共照明、普通电梯、消防电梯等进行分类计量。住宅、地下车库公共部位照明、电梯、风机、水泵配电箱进线处设置智能远传电表。建筑能耗管理系统分项计量,以图形和报表结合的方式进行能耗数据对比分析,可帮助物业准确掌握能耗使用情况,采取针对性措施,改进方法,提高能源利用效率,从而降低成本。

5 能耗模拟分析

本项目按照《导则》的各项技术要求,采用《超低能耗建筑标准化配套工具应用》课题成果软件进行建筑能耗模拟分析,判定热工规定指标、模拟供冷供暖能耗、计算一次能源消耗量得出相关结论及报告。

5.1 计算边界基本参数

(1) 供暖空调系统的日运行时间表参数取值依据:起居室、餐厅、卧室、书房为空调区域。供暖期12月1日至次年2月28日,空调期6月1日至8月31日。供暖空调系统运行时间表按表6设置。

(2) 供暖空调系统的系统形式和能效与设计文件一致。

表6 供暖空调系统的日运行时间(住宅建筑)

类别		系统工作时间	
住宅建筑	卧室	工作日	22:00~7:00
		周末	0:00~24:00
	起居室、餐厅、书房	工作日	18:00~0:00
		周末	8:00~24:00

(3) 建筑人均新风量按照 $30\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{h})$ 进行设置。

(4) 住宅全年生活热水能耗的计算按照下列参数:每户按3人计算,全年平均洗澡天数频率为80%,折算292天,人均热水用量指标取 $40\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$,热水供水温度取 60°C 。

(5) 其余围护结构参数、室内各项环境参数取值均依据不同建筑、不同位置实际情况或《导则》标准进行设置。

5.2 建筑模拟结果

采用上海市现行标准要求作为基准建筑进行测算。采用超低能耗建筑方案,以6#楼为例进行负荷计算,针对年供暖空调、照明、生活热水、电梯能耗量进行模拟计算,结果见表7。

表7 模拟计算结果

指标类型	分类	设计建筑单体	限值
年供暖(冷)需求 $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	供冷需求	22.48	25.00
	供暖需求	7.60	8.00
一次能源能耗			
能耗 $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	供暖空调能耗 E_c	10.33	—
	照明能耗 E_l	6.60	—
	生活热水能耗 E_W	6.73	—
	电梯能耗 E_e	1.54	—
	耗能需求 $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	25.10	—
一次能源需求 $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$		59.27	60.00
电力的一次能源换算系数按照上海“十三五”时期非火力发电企业电力等价折标系数 $0.288\text{kgce}/\text{kWh}$ 换算确定。		结论:本项目的超低能耗居住建筑年供暖(冷)需求、一次能源需求满足《导则》要求。	

5.3 计算结果汇总

本项目负荷计算、一次能源消耗量计算结果汇总如

表8所示。

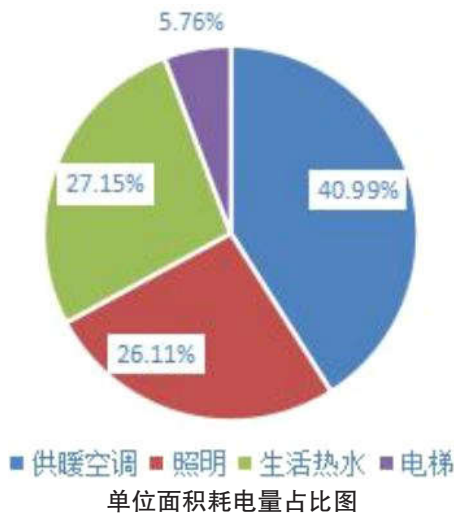
表8 计算结果汇总表

计算结果	供暖年耗热量 $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	供冷年耗冷量 $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	一次能源消耗量 $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$
限值	8	25	60
2、3、4、5#	6.93	23.34	59.74
6#	7.60	22.48	59.27
7~10、12、14~18#	7.56	24.79	59.87
11#	7.13	22.11	57.38
13、19#	7.62	24.77	59.45
20#	7.64	24.79	59.61
21、22、24~26#	7.41	24.55	59.52

续表:

计算结果	供暖年耗热量 kWh/(m ² ·a)	供冷年耗冷量 kWh/(m ² ·a)	一次能源消耗量 kWh/(m ² ·a)
23#	7.43	24.92	59.88
结论	满足	满足	满足

根据汇总结果得出,供暖年耗热量、供冷年耗冷量、一次能源消耗量均满足《导则》要求。单位面积耗电量由大到小依次为:空调能耗占比40.99%;生活热水能耗占比27.15%;照明能耗占比26.11%;电梯能耗占比5.76%。



6 经济效益及社会效益

综合分析超低能耗建筑效益是多维度的,主要为经济效益和社会效益两方面。

6.1 经济效益

本项目按超低能耗建筑项目容积率计算奖励,总计容建筑面积3%控制的不计容建筑面积为4775m²,新增销售货值远超超低能耗建筑在绿色建筑基础上增加的一次性建安成本投资,利润十分可观。居民入住长期使用,能耗费用明显减少,节能降费同时,提升生活品质和舒适度。

6.2 社会效益

超低能耗建筑对比现行节能建筑,节能效果明显,可极大缓解能源紧张。本项目25栋住宅单体按超低能耗建筑方案能耗模拟分析,一次能源消耗量 ≤ 60kWh/(m²·a)。总计能源消耗约296.4万kWh;预期每年节约用电约155.3万kWh,即节约标准煤448.2吨,每年可减少碳排放1229.6吨,有利于上海实现2025年碳达峰的目标。同时能缓解夏季用电高峰的压力和城市热岛效应。

7 结语

超低能耗建筑是建筑节能发展未来方向,是建设节约型社会,促进资源利用重要组成部分,也是对自然情怀和社会责任的体现。推动绿色节能可持续发展,引领建筑技术提升,对实现碳达峰、碳中和目标具有重要的意义。本项目前期充分调研,做足功课,在上海市超低能耗项目专项技术方案阶段、施工图阶段通过评审,实施过程严格控制各项参数指标,各个阶段积极总结积累经验,申报验收一次性顺利通过,超预期完美收官。对周边区域内类似项目起到了正面示范和参考的意义,也对后续超低能耗项目的应用发展提供了可取的宝贵经验。

参考文献

- [1]上海市住房和城乡建设管理委员会.沪建建材联[2019]157号上海市超低能耗建筑技术导则(试行)[S].2019.
- [2]上海市住房和城乡建设管理委员会,上海市规划资源局.沪建建材联[2020]541号关于推进本市超低能耗建筑发展的实施意见[S].2020.
- [3]上海市人民政府.沪府发[2022]7号上海市碳达峰实施方案[S].2022.