

寒冷地区医院超低能耗建筑设计方案研究

Research on the Design Scheme of Ultra - Low Energy Consumption Buildings for Hospitals in Cold Regions

李占文¹, 张秋玲², 王重阳³, 许立红³, 崔佳豪³

(1. 沧州市中心医院, 沧州 061000; 2. 大名县住房和城乡建设局, 大名 056900;
3. 河北建研工程技术有限公司, 石家庄 050227)

摘要: 医院作为特殊公共建筑, 其能耗因连续性强、波动性大、峰值高, 成为节能降碳的突出难点。以寒冷地区某医院为研究对象, 基于超低能耗公共建筑技术体系, 结合医院功能特性, 针对性构建了包含高效保温隔热外保温系统、高性能节能外门窗、精细化热桥处理与气密性封堵、优化空调及热回收新风系统的综合设计方案。结果表明: 采用上述技术后, 该医院建筑可实现年节约运行费用 335.63 万元, 年节约标准煤 130.36 t, 同时减少二氧化碳排放 347.02 t、二氧化硫 310 kg、氮氧化物 1 t、烟尘 1.3 t; 被动式超低能耗技术在医院建筑中的选择性应用具有可行性, 能够将能耗有效控制在合理区间, 显著降低能源消耗, 兼具工程应用价值与经济效益。这为医院建筑向超低能耗、近零能耗乃至零碳目标的规模化发展提供了技术支撑与实践参考。

关键词: 保温系统; 外窗安装; 空调和新风系统; 能耗模拟; 效益分析

中图分类号: TU246.1+1

文献标志码: A

文章编号: 1005-8249 (2025) 04-0150-07

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.04.027

LI Zhanwen¹, ZHANG Qiuling², WANG Chongyang³, XU Lihong³, CUI Jiahao³

(1. Cangzhou Central Hospital, Cangzhou 061000, China;

2. Housing and Urban - Rural Development Bureau of Daming County, Daming 056900, China;

3. Hebei Building of Research Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang 050227, China)

Abstract: As a special public building, hospitals have energy consumption that is characterized by strong continuity, large fluctuations and high peaks, making it a prominent challenge in energy conservation and carbon reduction. Taking a hospital in a cold region as the research object, based on the ultra - low energy consumption public building technology system and in combination with the functional characteristics of the hospital, a comprehensive design scheme was specifically constructed, which includes an efficient thermal insulation and heat preservation external insulation system, high - performance energy - saving exterior doors and windows, refined thermal bridge treatment and airtightness sealing, and optimized air conditioning and heat recovery fresh air systems. The results show that after adopting the above technologies, the hospital building can achieve an annual saving of 3.356 3 million yuan in operating costs, an annual saving of 130.36 tons of standard coal, and at the same time reduce carbon dioxide emissions by 347.02 tons, sulfur dioxide emissions by 310 kilograms, nitrogen oxides by 1 ton, and smoke dust by 1.3 tons. The selective application of passive ultra - low energy consumption technology in hospital buildings is feasible. It can

作者简介: 李占文 (1973—), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 基建工程建设、绿色和超低能耗建筑。

通信作者: 张秋玲 (1978—), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向: 装配式建筑技术和绿色建筑技术。

收稿日期: 2023-10-07

effectively control energy consumption within a reasonable range, significantly reduce energy consumption, and has both engineering application value and economic benefits. This provides technical support and practical reference for the large-scale development of hospital buildings towards ultra-low energy consumption, near-zero energy consumption and even zero carbon goals.

Key words: insulation system; exterior window installation; air conditioning and fresh air system; energy consumption simulation; benefit analysis

0 引言

在“双碳”目标驱动下，推动超低能耗建筑规模化发展成为建筑行业节能降碳的核心方向。国务院《2030年前碳达峰行动方案》^[1]、住房和城乡建设部《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》^[2]明确要求推动超低能耗与低碳建筑规模化发展。住房和城乡建设部和国家发展改革委联合印发《城乡建设领域碳达峰实施方案》^[3]提出推动低碳建筑规模化发展，鼓励建设零碳建筑和近零能耗建筑。医院建筑作为公共建筑中的能耗大户，其单位能耗约为普通公共建筑平均能耗的2~3倍^[4]。有数据显示，我国医院建筑能耗2860万吨标煤，占建筑能耗的2.6%，居所有大型公共建筑能耗之首^[5]。因此，积极推动医院建筑向超低能耗、近零能耗乃至零碳方向发展，对于有效降低建筑运行能耗、助力国家“双碳”目标实现具有极其重要的现实意义。

国内外学者已从多角度探索了医院建筑的节能降碳路径。在技术应用方面，Ahmadazadehtalatapeh等^[6]通过ANSYS仿真模拟，验证了医院病房排风热回收技术的显著节能效果及较短的投资回收期（仅1.6年）；Saidur等^[7]的实际监测数据表明，综合性节能改造可使医院建筑能耗降低约27%。马晓琼等^[8]研究了通过添加保温层、玻璃幕墙及采用双层中空玻璃窗优化医院围护结构。在规划与可持续性方面，徐梓淇^[9]和成彦惠^[10]等强调了在医院建设方案优化中融入可持续发展理念的重要性，涉及材料选择、节能技术和废弃物管理。高磊^[11]和余佳亮等^[12]分别从理论框架和靖江医院实际案例探讨了装配式钢结构技术在医院改扩建项目中的应用价值。在模拟分析与设计优化方面，林康^[13]利用DeST软件对医院门诊楼建模，发现增加水平遮阳板及采用风机盘管加新风系统可有效降低能耗；阮方等^[14]使用Design Builder软件模拟了建筑围护结构在外保温、内保温、不保温三种工况下对建筑空调负荷的影响，证实保

温措施可显著降低冷（热）负荷指标。

现有研究虽验证了部分节能技术的有效性，然而针对寒冷地区医院建筑，系统性地应用被动式超低能耗技术进行设计实践的研究仍相对缺乏。因此，通过对寒冷地区某医院超低能耗建筑的具体设计案例的研究，从围护结构、设备系统、能耗模拟等方面系统总结被动式超低能耗技术在医院建筑中的应用策略与方法。旨在为该气候区医院建筑实现超低能耗、近零能耗乃至零碳目标，提供可操作的设计方案参考与技术支撑。

1 项目概况

河北省某医院建筑，总建筑面积为160 908.72 m²。地下3层，地上5层（局部4层），地上建筑面积为65 336.12 m²，主要功能为医院医技住院综合楼，建筑高度为23.25 m。建筑结构形式为框架结构。外立面采用幕墙饰面，面层为石材和铝板。

作为医疗建筑，功能本身比较复杂。建筑单体应在满足功能适用的前提下，保持形体的完整性，避免过多的凹凸转折变化。该建筑体形系数为0.16，符合紧凑型设计原则。建筑在充分利用自然采光的基础上，体形系数及各朝向窗墙面积比以及室内空间布局满足自然通风和有利于冬季日照得热的设计要求。建筑体型系数和窗墙面积比见表1。

表1 建筑体形系数及各朝向窗墙面积比
Table 1 Building shape coefficient and area ratio of each direction window wall

体形系数	窗墙面积比			
	南	北	东	西
0.16	0.59	0.49	0.43	0.44

2 超低能耗建筑关键技术

2.1 高效保温隔热的外保温系统

2.1.1 外墙保温系统

针对该建筑石材、铝板干挂幕墙饰面，研究了被动式超低能耗建筑适用的现浇混凝土内置保温系

研究与应用

统或钢丝网架复合板喷涂砂浆外墙保温系统分别与干挂幕墙的结合方案，具体为：

(1) 采用现浇混凝土内置保温系统或钢丝网架复合板喷涂砂浆外墙保温系统时，幕墙锚固件与保温层交接部位的施工难度较大，且存在开裂风险。幕墙金属锚固件应与主体结构连接并采取断热桥措施，通常采用提前预埋钢板，并在背板与预埋板之间加设隔热垫块的方式，具体构造如图 1、图 2 所示。然而在实际施工中，该做法操作难度较高。幕墙单位须提前确定锚固点位，在保温系统施工时预留安装位置，后期再采用 A 级保温材料填塞。该部

位填塞施工与一体化保温系统之间的交接处理难度大，易发生开裂，可能影响建筑的整体保温效果和气密性。

(2) 外挂幕墙和石材采用龙骨内设岩棉保温体系（即粘锚薄抹灰外墙保温系统），因岩棉燃烧性能等级为 A 级，可保证符合防火要求，防范火灾蔓延；而且在设置隔热垫块和预埋件保证结构受力后，再粘贴保温，安全性能较高，且对建筑的热桥和气密性影响较小。因此建议采用传统可靠的龙骨内设岩棉保温的方式，保证外墙保温消防和结构安全耐久，如图 3 所示。

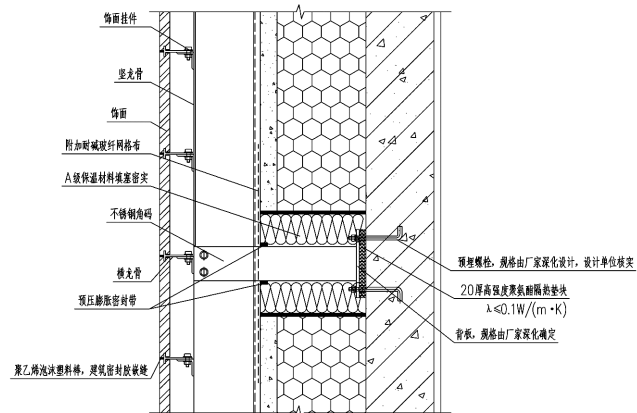


图 1 外挂幕墙与现浇混凝土内置保温系统结合部位节点详图
Fig. 1 External curtain wall and built-in insulation system of cast-in-place concrete node detail

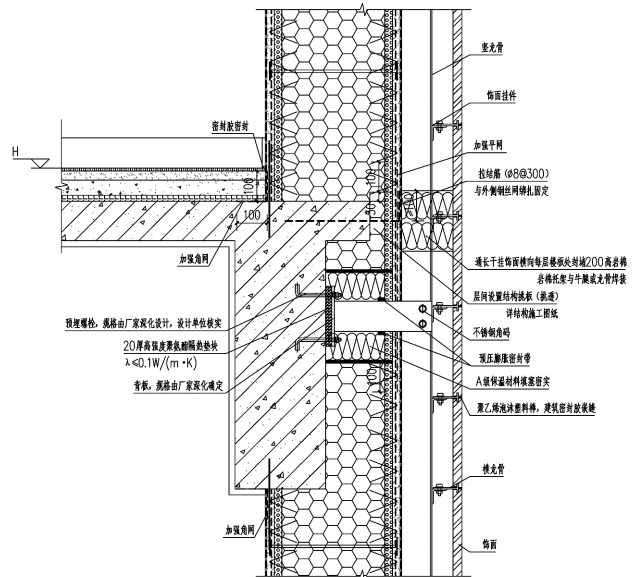
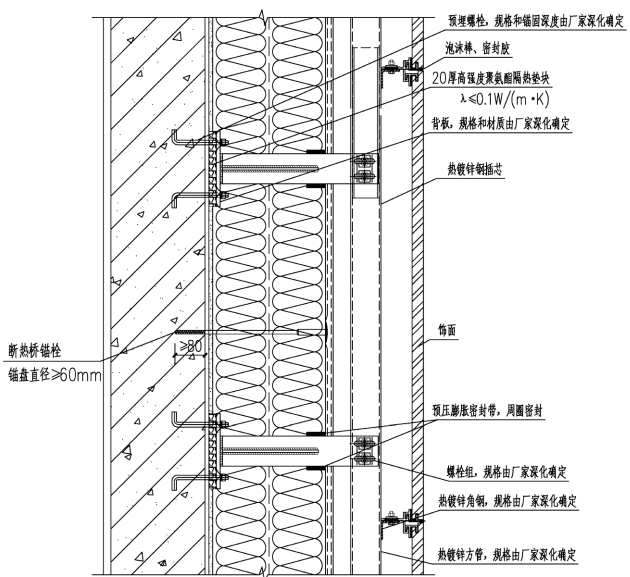
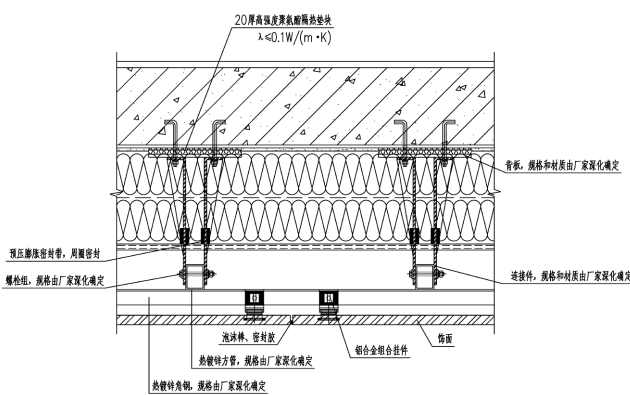


图 2 外挂幕墙与钢丝网架复合板喷涂砂浆外墙保温系统结合部位节点详图

Fig. 2 External curtain wall and external wall in sulation system of wire grids composite board spraying mortar node detail



(a) 节点剖面（一）



(a) 节点剖面（二）

图 3 外挂幕墙与粘锚薄抹灰外墙保温系统结合部位节点详图（岩棉板）

Fig. 3 External curtain wall and insulation system with stick anchor thin plastering node detail (rock wool board)

粘锚薄抹灰墙外保温系统选用 250 mm 厚岩棉板,采用双层粘贴+锚固的方式。两层岩棉板之间应错缝粘贴,避免出现通缝。岩棉板采用锚盘压网双网构造,应选用锚盘直径不小于 60 mm 的专用断热桥锚栓固定保温板。经外保温系统抗负风压安全性设计计算,基层墙体为钢筋混凝土时,大面锚栓数量每平米不少于 8 个,锚栓的有效锚固深度不小于 80 mm;基层墙体为加气混凝土砌块时,大面锚栓数量每平米不少于 10 个,锚栓的有效锚固深度不小于 100 mm;薄弱部位如墙角、窗口等部位应增加锚栓数量,要求锚栓规格及锚固深度必须满足规范要求。为保证外墙保温系统的安全性,建筑每层应设置结构挑板,出挑长度为保温厚度的 80%。

2.1.2 其余围护结构保温系统

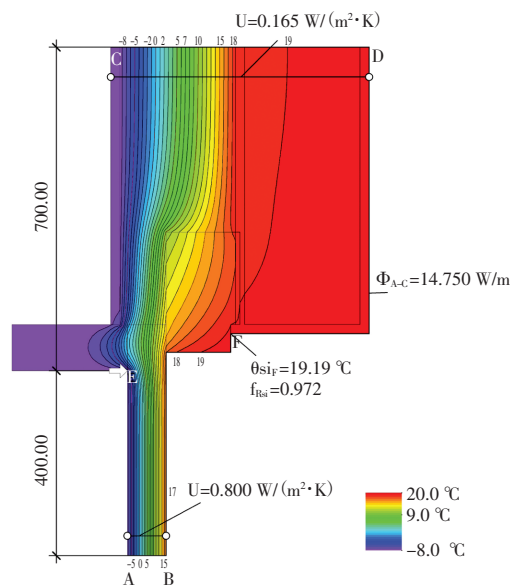
室外地坪+500 mm 以下外墙采用泡沫玻璃向下延伸至当地冻土层以下;接触室外空气的外挑楼板保温,采用在结构板上表面设置 120 mm 厚挤塑聚苯板,在结构板下表面设置 100 mm 厚岩棉板;屋面保温板采用 300 mm 厚高容重石墨聚苯板,双层错缝排放,用聚氨酯胶粘接;被动区域与不供暖供冷的非被动区域的楼板采用在结构板上表面设置 80 mm 厚挤塑聚苯板,在结构板下表面设置 100 mm 厚岩棉板;被动区域与不供暖供冷的非被动区域的隔墙采用在非被动区域侧粘贴 130 mm 厚岩棉板。

2.2 高性能节能外门窗

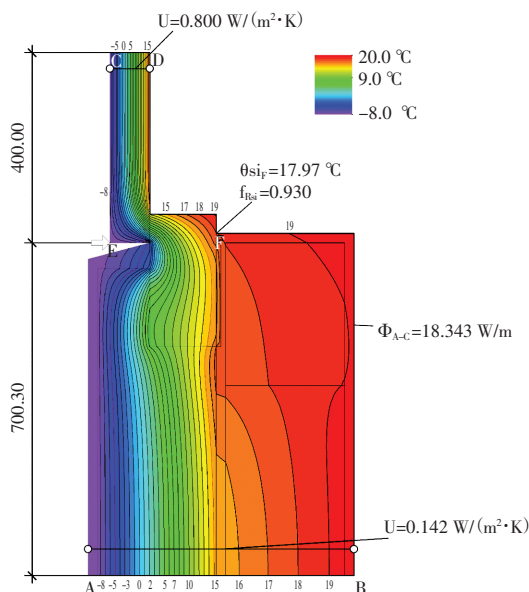
建筑外立面多为条形外门窗,外门窗绕过混凝土结构柱,间隔设置装饰扣板,经对比,最终确定该建筑外门窗采用木索和铝包木型材,型材传热系数 $K \leq 1.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;木索产品玻璃配置为 6Low-e+16Ar+6+16Ar+6Low-e,钢化,暖边;铝包木产品玻璃配置为 5Low-e+16Ar+5Low-e+16Ar+5C,暖边;玻璃的太阳能总透射比 $g=0.46$,玻璃光热比 $LSG \geq 1.25$,玻璃间隔条使用耐久性良好的暖边间隔条,并满足 $\Sigma(d \times \lambda) \leq 0.007 \text{ W/K}$ 的要求。外门的整体传热系数 $K \leq 1.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,外窗的整体传热系数 $K \leq 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,且应满足 JGJ 113—2015《建筑玻璃应用技术规程》的规定。

木索外门窗采用外挂安装,铝包木外门窗采用半内嵌安装方式。由于干挂外饰面(石材、铝板)

收到外门窗洞口,导致外墙保温系统几乎无法覆盖外门窗框,考虑外门窗安装热桥较大、外门窗洞内表面温度过低,设计采用 100 mm 高岩棉板填塞外门窗上口和侧口与干挂外饰面之间的空腔。采用 flixo 软件对该热桥部位进行模拟分析,如图 4 所示。经热桥优化处理后,该节点有效改善了室内热舒适性,并显著降低了热桥引起的热损失。木索系统上口及侧口安装部位的热桥线传热系数为 $0.076 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,



(a) 木索产品上口和侧口



(b) 木索产品下口

图 4 木索产品安装部位线性热桥值和内表面温度模拟结果
Fig. 4 Simulation results of linear thermal bridge value and inner surface temperature at the installation position of wood rope product

研究与应用

下口处为 $0.216 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。优化后构造有效避免了结露风险,且建筑围护结构热桥部位内表面均无结露风险。

2.3 热桥和气密处理措施

(1) 干挂饰面锚固件、钢结构雨棚锚固件、雨水管支架等金属构件穿外墙保温部位,要预留金属构件安装的部位,金属构件与墙体之间垫装高强度聚氨酯隔热垫块(导热系数 $\lambda \leq 0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)。

(2) 接触室外空气的外挑楼板和混凝土雨棚等外挑结构采用保温连续包裹,与主体外墙保温连续,并采用断热桥锚栓固定。

(3) 通风管道、电线套管等管线穿外墙部位,穿墙时需预留出足够的保温间隙(保温材料燃烧性能等级应为 A 级),外墙预留套管或预留洞尺寸应比管道直径大 100 mm (即管道周围设置 50 mm 厚保温),室内粘贴防水隔汽膜、室外粘贴防水透汽膜进行密封处理。

(4) 管道出屋面后设置套管,套管和管线之间填塞不小于 60 mm 厚聚氨酯发泡,管道在屋面结构板下表面粘贴防水隔汽膜进行气密处理。

(5) 屋面设备基础、出屋面井道、出屋面风道部位的保温连续不间断。

(6) 外墙、不同气密区域之间的隔墙,分隔被动区域与非被动区域隔墙的填充墙部分采用抹灰的方式(厚度大于 15 mm)进行气密性处理。

(7) 外墙、不同气密区域之间的隔墙,分隔被动区域与非被动区域隔墙的填充墙与钢筋混凝土梁、柱之间的缝隙,采用网格布或钢丝网等进行防开裂的加强措施,避免出现裂缝。

(8) 位于有气密性要求的砌筑墙体(外墙、不同气密区域之间的隔墙,分隔被动区域与非被动区域的隔墙)上的开关、插座线盒,应采用石膏灰浆封堵孔位,再将线盒底座嵌入孔位内,外侧做抹灰罩面处理。

(9) 外门窗气密性能等级应为国家标准 GB/T 31433—2015《建筑幕墙、门窗通用技术条件》^[15]中的 8 级,外门窗与结构墙之间的缝隙应采用耐久性良好的防水隔汽膜(室内侧)和防水透汽膜(室外侧)

进行密封。

2.4 空调和新风系统

2.4.1 冷热源设计

(1) 冷源设计。考虑到医疗建筑的功能特点,该建筑空调冷源采用水冷制冷机组(3 台变频水冷离心式冷水机组和 2 台变频水冷螺杆冷水机组),制冷机房设置在地下一层车库内。变频水冷离心式冷水机组在名义制冷工况和规定条件下的性能系数(COP)不低于 6.30,或综合部分负荷性能系数(IPLV)不低于 8.10;变频水冷螺杆冷水机组在名义制冷工况和规定条件下的性能系数(COP)不低于 6.00,或综合部分负荷性能系数(IPLV)不低于 7.50。

综合楼内的洁净手术部、ICU 等净化区域内部发热量大,要求供冷时间长,安全性高,在非供冷季节由变频水冷螺杆冷水机组提供空调冷源;影像科、放射科、药库、消防控制室、弱电井、放疗科等采用变冷媒流量多联式空调系统;MRI、PET/MR、PET-CT、ECT 等采用独立的双压缩机恒温恒湿机房专用空调系统;电梯机房、空压机房、负压机房、制氧机房等设置分体空调供冷。

(2) 热源设计。结合周边市政基础设施情况,该建筑热源采用市政热源,手术室、ICU(二次设计)、胃肠检查室采用空气源热泵。

2.4.2 舒适性空调系统设计

(1) 风机盘管加新风系统。医院街、各科室、病房、诊室等房间设置风机盘管加新风系统。风机盘管采用暗装风管式,气流组织为上送上回,送风口采用方形散流器或双层百叶送风,回风口为单层百叶。

(2) 全空气空调系统。一层门诊大厅区域采用一次回风定风量全空气系统,顶送顶回风,送回风管道均设消声器。空调机组采用双风机变频控制,最大新风比不低于 70%。系统根据室内外空气焓值比较工况进行切换,过渡季节采用 70% 全新风运行。

2.4.3 通风系统设计

(1) 新风系统。由于医院建筑存在交叉感染的问题,新风热回收系统应采用乙二醇显热回收装置,显热热回收效率为 60%,风机的单位风量耗功率应符合河北省 DB13(J) 81—2016《公共建筑节能设计标准》^[16]的规定。新风热回收系统应设置低阻高效空气净化装置,过滤效率不应低于高中效等级。通向室外和风井的新风管道包覆 80 mm 厚橡塑保温,

通向室外和排风井的排风管道包覆 60 mm 厚橡塑保温。新风系统与室外和新（排）风井相连的风管或者新风机组内部应设置可以自动连锁关闭且密闭性能好的电动风阀，保证建筑的气密性。室外新风口、排风口宜选用防雨百叶风口，并应设防虫网。新风机组两端风管均设置消声器、消声静压箱、消音软管等消声措施，室内通风空调设备采用安装弹性吊架、减震器等措施来减少设备震动带来的噪音。

（2）卫生间通风。公共卫生间设置独立的排风装置，排风经排风装置导入排风竖井，借助风道排出室外；排风设备与排风竖井之间的管道应设置密闭型电动风阀，并与排风设备联动，关闭时以保证房间气密性。根据 GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》^[17]，公共排风量按 10 次/时计算；补充空气则由空调区引入，保持负压，以防止异味溢出。病房卫生间卫生间设置单层排风口，由本层热回收排风机组统一通过竖井排至室外屋顶。其与排风井连接处设置电动密闭阀，与热回收排风机组联动。病房卫生间单独另设吊顶式排风扇，排风支管上设电动密闭阀与排风扇联动。

3 建筑能效指标计算

3.1 几何模型

利用 Design Builder 软件建立建筑的能耗分析模型，如图 5 所示（图中椭圆形建筑为本建筑）。

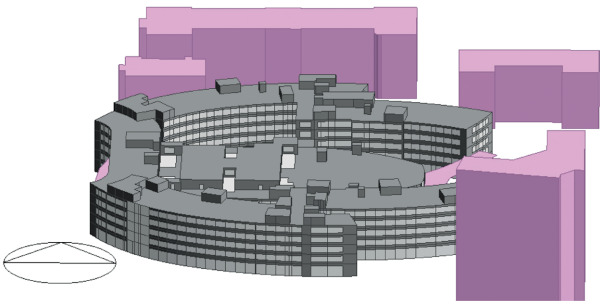


图 5 医院建筑能耗计算模型
Fig. 5 Energy consumption calculation model of Cangzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine

3.2 主要性能参数

3.2.1 围护结构性能参数

基准建筑围护结构传热系数应满足 DB 13（J）81—2016《公共建筑节能设计标准》^[16]中表 3.3.1—2 中规定的指标限值，设计建筑围护结构传热系数经

计算确定。围护结构热工性能具体详见表 2。

表 2 设计建筑和基准建筑围护结构性能参数
Table 2 Design building and reference building envelope performance parameters

热工参数	设计建筑	基准建筑
屋面传热系数 $K/[W/(m^2 \cdot K)]$	0.11	0.45
外墙传热系数 $K/[W/(m^2 \cdot K)]$	0.15	0.50
接触室外空气的外挑楼板传热系数 $K/[W/(m^2 \cdot K)]$	0.16	0.50
非供暖房间与供暖房间之间的楼板传热系数 $K/[W/(m^2 \cdot K)]$	0.19	1.0
外窗传热系数 $K/[W/(m^2 \cdot K)]$	东向	1.0
	南向	1.0
	西向	1.0
	北向	1.0
门窗缝隙渗入空气量 h^{-1}	$N_{50} = 0.6$	$N = 0.5$

3.2.2 设备性能参数

建筑模型中供热、供冷和新风系统设置见表 3。

表 3 设计建筑和基准建筑供热、供冷和新风系统性能参数
Table 3 Design building and reference building heating, cooling and fresh air system performance parameters

分类	设计建筑	基准建筑
空调系统	风机盘管、一次回风定风量全空气系统、双压缩机恒温恒湿机房专用空调系统、独立净化空调系统	二管制风机盘管
新风系统	高效热回收新风机组；住院部采用显热回收效率 60% 的乙二醇热回收系统，门诊、医技部不考虑排风热回收	新风机组；无热回收
冷源	水冷离心式冷水机组，COP = 6.30；水冷螺杆冷水机组，COP = 6.00；多联式空调（热泵）机组，制冷综合性能系数 IPLV（C）= 6.0	冷水螺杆机组，系统综合制冷性能系数 = 3.6
热源	燃煤锅炉，制热效率 90%	燃气锅炉，制热效率 90%

3.3 模拟结果

建筑能耗模拟结果显示，该建筑的年供暖、供冷和照明一次能源消耗为 126.98 kWh/（m²·a），基准建筑年供暖、供冷和照明一次能源消耗为 260.54 kWh/（m²·a），相对节能率 51.26%，满足 DB13（J）/T 8360—2020《被动式超低能耗公共建筑节能设计标准》^[18]（2021 年版）中相对节能率 $\eta \geq 50\%$ 的要求。

4 效益分析

该建筑参照 DB13（J）/T 8360—2020《被动式超低能耗公共建筑节能设计标准》（2021 年版）的

研究与应用

节能技术进行设计, 可实现每年节约运行费用 335.63 万元。

根据 GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》^[19]附录 A 表 A.1.11 能源换算系数^[16]计算, 该建筑供暖、供冷和照明能耗每年可节约标准煤 130.36 t, 相应减少二氧化碳排放 347.02 t、二氧化硫排放 310 kg、氮氧化物排放 1 t、烟尘排放 1.3 t。

5 结论

本研究通过针对寒冷地区某医院建筑应用被动式超低能耗关键技术, 并利用 Design Builder 软件进行能耗模拟与优化, 得出如下结论:

(1) 该建筑通过采用高效保温隔热外保温系统、高性能节能外门窗、精细化热桥处理与气密性封堵、优化空调及热回收新风系统的综合设计方案, 将建筑年供暖、供冷和照明一次能源消耗有效控制在 126.98 kWh/(m²·a), 相比基准建筑节能率达 51.26%, 优于 DB13(J)/T 8360—2020《被动式超低能耗公共建筑节能设计标准》(2021 年版) 相对节能率不低于 50% 的要求, 证实了超低能耗技术在寒冷地区医院建筑中应用的可行性。

(2) 该建筑预计可实现年节约运行费用 335.63 万元, 年节约标准煤 130.36 t, 并显著减少污染物排放, 经济与环境效益显著。

研究表明, 选择性应用超低能耗技术是实现寒冷地区医院建筑节能降碳目标的有效路径, 后续将关注施工建造、测试验收及实际运行效果的验证。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知: 国发〔2021〕23 号 [EB/OL]. (2021-10-26).

[2] 中华人民共和国中央人民政府. “十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划出台. (2022-03-17).

[3] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部 国家发展改革委关于印发城乡建设领域碳达峰实施方案的通知: 建标〔2022〕53 号 [EB/OL]. (2022-06-30).

[4] 朱大勇, 林玉阔, 董淑月. 节能降碳技术在医院类建筑中的应用 [J]. 山西建筑, 2024, 50 (14): 31-34.

[5] 薛立明, 宋晓冰. 浅析医院能源精细化管理 [J]. 中国医院建筑与装备, 2020, 21 (7): 80-81.

[6] AHMADZADEHTALTAPEH M, YAU Y H. The application of heat pipe heat exchangers to improve the air quality and reduce the energy consumption of the air conditioning system in a hospital ward—A full year model simulation [J]. Energy & Buildings, 2011, 43 (9): 2344-2355.

[7] SAIDUR R, HASANUZZAMAN M, YOGESWARAN S, et al. An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital [J]. Energy, 2010, 35 (12): 4780-4785.

[8] 马晓琼, 沈晋明. 既有医院系统节能改造措施及其应用 [J]. 暖通空调, 2008 (8): 47-51, 77.

[9] 徐梓淇. 凤凰医院项目技术经济分析与评价研究 [D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2019.

[10] 成彦惠. 综合医院项目建设效果预论证与前期应用研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2012.

[11] 高磊. 装配式钢结构在医院建筑改扩建工程中的应用分析 [J]. 江西建材, 2022 (8): 196-197.

[12] 余佳亮, 常明媛, 张耀林, 等. 装配式钢结构在医院建筑改扩建工程中的应用 [J]. 钢结构, 2019, 34 (3): 59-63.

[13] 林康. SJ 医院建筑能耗分析及节能策略研究 [D]. 北京: 北京建筑大学, 2020.

[14] 阮方, 钱晓倩, 钱匡亮, 等. 实际用能方式下的夏热冬冷地区居住建筑围护结构节能设计研究 [J]. 建筑科学, 2015, 31 (10): 112-116.

[15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑幕墙、门窗通用技术条件: GB/T 31433—2015 [S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2015.

[16] 河北省住房和城乡建设厅. 公共建筑节能设计标准: DB 13 (J) 81—2016 [S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2016.

[17] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB 50736—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[18] 河北省住房和城乡建设厅. 被动式超低能耗公共建筑节能设计标准: DB 13 (J) /T 8360—2020 (2021 年版) [S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2020.

[19] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 近零能耗建筑技术标准: GB/T 51350—2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019, 41.