

# 高原地区近零能耗建筑改造实践

韩武平 史君 代书洪

拉萨市设计集团有限公司 西藏 拉萨 850000

**摘要:** 本实文章主要研究高原地区城市更新中如何利用太阳能达到零能耗建筑的目标。通过对示范建筑能耗的分析,零能耗改造的多方案比选分析,检测设备的数据分析,建筑改造实施与试运行,住户居住体验反馈等信息分析,为高原地区零能耗建筑改造提供实践经验与数据;

**关键词:** 近零能耗建筑改造;分时分区供暖;光伏+蓄电+热泵+热水末端

引言:为相应国家“双碳”战略和城市更新提质政策,我单位拉萨市设计集团有限公司作为青藏高原明珠城市的建设参与者,积极投身研究高原地区城市更新与绿色发展的事业。青藏高原有着太阳能富集的天然优势。本文主要针对既有建筑更新如何利用太阳能实现低碳、近零能耗建筑的目标展开论证和探索。

## 1 改造建筑现状分析:

### 1.1 建筑基本情况

示范建筑选址于拉萨市城关区当热中路21号拉萨市设计集团生活基地6号职工周转房。6号职工周转房建成

于2016年,功能为住宅,四个单元的1梯2户楼型,无地下室,地上4层(一单元为地上二层),层高均为2.9米,建筑高度13.1米,建筑总面积为1741.28m<sup>2</sup>,屋顶为平屋顶结构,结构形式为砌体结构建筑,朝向为正南北向。本项目一次规划分期实施,一期选取一单元作进行研究。

### 1.2 建筑热工情况

6号楼周转房体型系数为0.30,北面窗墙比为0.29,南面窗墙比为0.43,根据6号楼建筑专业施工图纸和现场转孔取样核实,明确住宅建筑的围护结构情况如下:

围护结构部位	传热系数K(W/m <sup>2</sup> ·K)	围护结构构造
屋面	0.52	040mm碎石、卵石混凝土+20mm水泥砂浆+50mm膨胀珍珠岩+20mm水泥砂浆+4mmAPP改性沥青防水卷材+20mm水泥砂浆+50mm膨胀珍珠岩混凝土找坡+120mm钢筋混凝土+20mm水泥砂浆(由上到下)
内墙	1.55	20mm水泥砂浆+200mm砼实心砖+20mm水泥砂浆
外窗	2.39	断桥铝合金型材单框双玻(6+12+6)mm
外墙	0.35	20mm水泥砂浆+30mm无机保温砂浆+300mm 砼实心砖+30mm无机保温砂浆+20mm水泥砂浆(由外向内)
地面	1.90	20mm水泥砂浆+50mm 无机保温砂浆+100mm 钢筋混凝土+500mm夯实粘土(由上至下)

以上围护结构节能参数满足《西藏自治区工程建设标准》DBJ540001-2016,不满足现行地方标准,考虑到此栋建筑围护结构有一定节能作用,完全改造成本过高,且造成一定浪费,故本次围护结构节能不做改动。

### 1.3 建筑供暖能耗模拟

根据其所在地区气象条件依据《民用建筑节能技术标准》DB 54/T 0275-2023、《民用建筑热工设计规范》GB50176-2016,《西藏自治区民用建筑供暖通风设计标准》(DBJ540002-2016)等国家规范和标准计算其冬季供暖热负荷,计算得到的单位面积热负荷指标用于估算建筑冬季供暖热负荷,并通过能耗模拟软件模拟计算得到典型建筑耗热量。6号住宅楼全年供暖总能耗为54548.1kWh。

### 1.4 其他能耗情况

#### (1) 建筑热水能耗计算

根据《建筑给水排水设计标准》GB50015-2019规定,带热水设备和淋浴设备的普通住宅日平均最低用水量为20L/人,24小时供应。热水用热热量计算公式(1-1)如下:

$$Q = cm\Delta t \quad (1-1)$$

式中 $Q$ 为热量, kJ;  $c$ 为比热容, kJ/(kg·°C),  $c = 4.187$  kJ/(kg·°C);  $m$ 为物质的质量, kg;  $\Delta t$ 为温度变化, °C。通过公式(1-1)计算得到6号楼全年热水能耗为3773kWh。

#### (2) 建筑照明能耗计算

根据《近零能耗建筑技术标准》GB/T 51350-2019给

出的居住建筑照明功率密度为6W/m<sup>2</sup>，结合各类型房间照明使用情况，如表所示。计算得到6号楼照明能耗为12477kWh。

(3) 建筑设备能耗计算

根据《近零能耗建筑技术标准》GB/T 51350-2019给出的居住建筑设备功率密度为客厅、卧室5W/m<sup>2</sup>，厨卫12W/m<sup>2</sup>，结合各类型房间照明使用情况，如表2.6所示。计算得到6号楼设备功率能耗为32012kWh。

2 供暖建筑节能优化设计

2.1 分时分区供暖节能技术路径

分时分区供暖是降低建筑供暖能耗的有效手段，其

核心在于根据建筑物的不同区域和使用时间，实施精细化的供热管理。具体而言，分时指的是根据一天中不同时间段的温度变化和用户需求，灵活调整供热系统的运行模式和供热量；分区则是根据建筑物的空间布局和功能需求，将供暖区域划分为若干个独立可控的单元，以实现针对性的供热<sup>[1]</sup>。

2.2 分时分区供暖方案设计

6号楼为居住建筑，房间类型主要分为客厅、卧室、厨卫、阳台和楼梯间。综合考虑人员在不同房间内的活动时间和舒适度需求，设定分时分区供暖策略，如表所示：

非时分分区	分时分分区				
	客厅	卧室	厨卫	阳台	楼梯
0-24时：18℃	0时-6时：16℃	0时-7时：16℃	0时-6时：14℃	无供暖	无供暖
	6时-22时：18℃	7时-12时：14℃	6时-12时：18℃		
	22时-24时：16℃	12时-14时：16℃	12时-20时：16℃		
		14时-21时：14℃	20时-24时：14℃		
		21时-24时：16℃			

2.3 分时分区供暖能耗模拟分析

拉萨市设计集团6号住宅楼分时分区供暖模式下的全年供暖能耗为36249kWh，占建筑总能耗42%，分时分分区供暖下建筑能耗综合值为48kWh/m<sup>2</sup>。

3 太阳能零能耗建筑能源系统技术方案对比

目前市场上建筑主动式太阳能利用主要有太阳能光热和太阳能光电两大类。西藏地区因温差和强辐射原因，太阳能光热利用普遍稳定性差或转换效率低，围护成本高。太阳能光电技术相对稳定，耐久性好。故基于此现状，本项目选择太阳能光电技术作为基本技术支撑。同时考虑到既有建筑物屋面结构平整，承重能力强、无损伤、无渗漏，分布式光伏组件布置面积充裕，建筑屋顶周围无遮挡，发电潜力大，基于此提出以下三种方案：

方案一：光伏+蓄电+热泵风机

通过建筑光伏系统来满足建筑用电和供暖需求，源端通过光伏电池发电并使用空气源热泵热风机来供暖；照明设备及水泵等用电设施为主要用电设备；通过蓄电方式存储电量进行每日用电量补充。本方案的特点是直接使用电-热转换方式，通过空气源热泵热风机将电能转化为热能，满足室内的供暖需求。考虑建筑本身地理位置和实际情况，优先选择余电上网形式。

方案二：光伏+蓄电+热泵+热水末端

通过建筑光伏系统来满足建筑用电和供暖需求；源

端通过光伏电池发电供应空气源热泵和日常用电，光伏日常发电满足使用之外的电量将会存储蓄电设备中；通过空气源热泵提供热水供末端暖气片供热。

方案三：光伏+光热+蓄电+蓄热+热泵+热水末端

通过建筑光伏系统来满足建筑用电和供暖需求；源端通过光伏电池发电供应空气源热泵和日常用电，光伏日常发电满足使用之外的电量将会存储蓄电设备中；通过设置太阳能光热系统和蓄热装置进一步提高设备供暖能力，减少热泵运行能耗。

4 太阳能零能耗建筑能源系统选型

太阳能零能耗建筑能源系统选型原则：在考虑零能耗目标的基础上尽可能减小设备投资费用。同时考虑西藏地区光热设备使用寿命短（频繁出现爆管现场）或转换效率低下（如黑陶瓷光热板）的情况，确定满足零能耗目标的系统形式并评价零能耗建筑的环境效益。

拉萨市设计集团6号楼各系统效益和环境效益测算，示范建筑的年发电量均大于建筑年用电量，当示范建筑采用余电上网，采暖季从市电补充的全年平衡策略时可实现建筑取电与用电的动态平衡。根据2022年电网碳排放因子0.5703t CO<sub>2</sub>/MWh。

通过对光伏有效利用面积、蓄电配比时长进优化分析，按照全年综合满足零能耗需求基础上，并尽可能降低系统成本的原则，确定6号楼采用光伏+蓄电+空气源热泵+热水末端系统形式，光伏有效利用面积为294m<sup>2</sup>，光

伏安装容量为：64kW，蓄电容量为10kWh，逆变器功率分别为：95kW；空气源热泵热水机的制热功率为：127kW时既能满足零能耗需求，又能减少初投资费用<sup>[2]</sup>。

### 5 能源系统监测参数及说明

5.1 室外环境参数监测，太阳辐射、环境温度、环境湿度、风速（室外微型气象站）用于评估光伏发电性能、空气源热泵供暖性能等。

#### 5.2 光伏系统参数监测

（1）光伏组件监测，光伏发电量（电能表）用于实时监测光伏组件发电量。

（2）蓄电池监测（电能表）蓄、放电量测量。

#### 5.3 空气源热泵系统参数监测

热泵耗电量（电能表），监测热泵实时耗电量及累计耗电量，热泵回水温度（热量表）实时监测热泵供水温度和回水温度、流量及热量。

#### 5.4 建筑用能参数监测

建筑用电量（电能表），建筑的整体用电以及分项电量计量，包括热泵系统、电器、照明等用电计量，市政电网取电、光伏直供电量、蓄电池取电量需单独计量。建筑供热量（热量表）监测建筑实时供热量及累计供热量，房间温度、湿度，可监测所有房间温湿度。

## 6 项目实施

确定具体实施方案后经过施工图设计、施工招标和为期三十余日的施工，项目一期工程（6号楼一单元）于2025年7月完成施工，现场情况见下图：



## 7 首期运维与情况反馈

首期施工完成经过一个采暖季的试运行情况梳理如下：经过多次调试系统整体运行与匹配情况基本良好，初步达到冬季全天住人套型户内温度满足设计值的目标。但使用过程中仍存在部分问题亟需解决：

首先，全天室内温度变化幅度较大，白天冬季日照强烈，室内受日照辐射温度较高，同时光伏满负荷运行供电充足，供暖亦为全负荷运行，中午12点至下午16点为房间

最热时段，南向房间温度最高可达29度。但此时段居室人员停留较少，热量多为浪费。晚上光伏板不产生电能，主要靠蓄电池提供电能供热泵运行产生热水供暖暖气片供暖。由于蓄电池造价较高，故设计时为节约成本仅考虑6个小时的供电时间，夜间蓄电池电量耗尽时室内暖气片无热水循环，温度逐渐衰减，导致室内温度变化较大，最低温度仅17度，部分住户反馈经常黎明前被冻醒，不如不采暖晚上直接盖厚被子。故夜间供暖持续性和减小室内温度衰减幅度是后期建设应重点解决的问题，目前思路有增加蓄电池容量与增加蓄热水箱等方式。

其次，光伏板长时间积灰导致发电效率大幅降低，拉萨及西藏大部分地区冬季降水量少，光伏板自然清洁能力低，故需人工定期挑水，爬至屋顶进行清理，增加维护成本。故光伏自洁问题应在后期建设中予以解决。

第三，空气源热泵运行噪音对住户干扰较大，由于既有建筑周边场地限制，热泵距离住户窗户较近，且受实体院墙围合扩大噪音效果，住户多反馈其噪音影响睡眠，后虽经设置板材进行隔音处理，但睡眠质量较差的住户仍认为存在噪音干扰。噪音问题对居住品质影响巨大，后期建设应重点解决的问题。可将热泵放置于屋顶，同时增加专业隔音吸音设施等方式解决。

### 结束语

项目首期实践在指标上基本满足设计目标，但在使用效果上还有诸多问题亟需解决。目前针对首期的问题已有初步解决方案，待进行多方案的科学论证后实施。在后期的实践中不断总结经验，科学论证，提高系统利用效率和居住使用效果。相信在经过不断的实践与探索，终将摸索出适合高原地区既有建筑近零能耗改造的道路。

感谢西安建筑科技大学陈耀文博士、张睿超博士的技术支持，感谢日出东方拉萨分公司团队的现场指导和技术调试，感谢拉萨市设计集团有限公司建筑所设备团队的积极参与。

### 参考文献

- [1] 王登甲. 分时分区热环境调节理论与应用(M). 专著编号ISBN 978-7-112-23413-4. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 107-114.
- [2] 刘艳峰. 太阳能采暖设计原理与技术(M). 专著编号ISBN 978-7-112-23306-9. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016: 67-85.