

文章编号: 1671-6612 (2024) 02-242-07

高寒地区临时建筑冬季供暖系统技术经济性分析 —以青海格尔木为例

胡 浩 周小涛 骆秋良 胡家锋 徐鸿佳

(中国人民解放军 75714 部队 衡阳 421000)

【摘 要】 临时建筑因其可拆卸移动、便于运输组装的特点, 在高寒地区具有广阔的应用前景。但临时建筑本身的保温能力差, 导致建筑供暖能耗大大增加, 加之临时建筑使用寿命周期短。因此, 在选择供暖方案时应更注重经济性与技术性的结合。利用 DeST 软件对某一临时建筑在青海格尔木地区气候条件下的全年冷、热负荷进行了动态模拟。模拟结果表明, 该建筑在格尔木地区的全年累计热负荷为 60287.58kWh, 全年累计冷负荷为 134052.39kWh, 格尔木地区冷负荷约为热负荷的 2.2 倍, 绝大部分冷负荷是由厨房炊事和暖棚造成的。当地夏季凉爽, 自然通风即可改善室内热舒适而无需空调, 故仅需考虑冬季供暖。在分析该临时建筑的采暖方案时, 选取了分体式采暖、柴油取暖机、锅炉房+散热器三种采暖方案。柴油取暖机采暖方案的初始投资费用和年运行费用均为最低, 分别为 2.5 万元和 14.08 万元。结合技术性和经济性综合分析, 柴油取暖机为该临时建筑的最优采暖方案。

【关键词】 高寒地区; 临时建筑; 负荷模拟; 采暖方案

中图分类号 TK519 文献标志码 A

Technical and Economic Analysis of Heating System for Temporary Buildings in Winter in High and Cold Regions: A Case Study of Golmud, Qinghai Province

Hu Hao Zhou Xiaotao Luo Qiuliang Hu Jiafeng Xu Hongjia

(Unit 75714 of the Chinese People's Liberation Army, Hengyang, 421000)

【Abstract】 The temporary building has a wide application prospect in high and cold area because of its detachable, movable and convenient transportation and assembly. However, the poor thermal insulation capacity of temporary buildings leads to a significant increase in building heating energy consumption, coupled with short life cycle of temporary buildings. Therefore, in the choice of heating scheme should pay more attention to the combination of economy and technology. In this paper, the annual cold and heat loads of a temporary building in Golmud area of Qinghai province are simulated by DeST software. The simulation results show that the annual cumulative heat load of the building in Golmud is 60287.58 kWh, and the annual cumulative cooling load is 134052.39 kWh. The cooling load in Golmud is about 2.2 times of the heat load, most of the cooling load is caused by kitchen cooking and greenhouses. Local cool summer, natural ventilation can improve indoor thermal comfort without air conditioning, so we only consider heating in winter. When analyzing the heating scheme of the temporary building, three heating schemes of split type heating, diesel heating machine and boiler room radiator are selected. The initial investment cost and annual operation cost of the heating scheme of diesel heater are the lowest, which are 25,000 yuan and 140,800 yuan respectively. Combined with the

作者简介: 胡 浩 (1981-), 男, 本科, 工程师, E-mail: 892601280@qq.com

通讯作者: 周小涛 (1982-), 男, 本科, E-mail: H892601280@163.com

收稿日期: 2023-10-08

technical and economic analysis, the diesel heater is the optimal heating scheme for the temporary building.

【Keywords】 High-altitude and cold region; Temporary buildings; Building load simulation; Heating scheme

0 引言

“双碳”目标的提出, 将使我国碳减排迎来历史性转折, 这也是促进我国能源及相关产业升级, 实现国家社会经济可持续发展的必然选择。根据《中国建筑能耗与碳排放研究报告(2022)》显示, 2020年中国建筑全过程能耗总量占全国能源消费总量的45.5%^[1]。因此, 建筑领域的节能减排、低碳转型是我国实现“双碳”目标的重要一环。

建筑的存在给人们提供一个舒适和安全的环境, 同时, 室外气候也会对建筑环境及能耗产生显著的影响^[2]。因此, 研究气候和建筑性能及能耗之间的关系具有现实意义。已有研究人员对不同气候条件对建筑能耗的影响进行了探索研究^[3-5], 靳冉等人分析了吐鲁番乡土建筑与居民用能的关系, 并对建筑外围护结构进行了优化设计, 通过提高围护结构的保温性能降低建筑冬季采暖能耗, 为极端干热气候乡土建筑建筑节能提供了依据^[6]。高枫和朱能^[7]研究了我国寒冷地区气候差异对办公建筑能耗的影响, 发现寒冷地区局域气候差异对建筑负荷有显著影响。由于严寒和寒冷地区冬季室外气温低, 供暖时间长, 建筑能耗更高。因此, 目前的研究主要聚焦于严寒和寒冷地区的建筑节能减排工作^[8-10]。

临时建筑具有可灵活变换、可拆卸移动、便于运输组装的特点^[11], 已被运用于众多场合(高寒地

区临时生活、奥运会、冬奥会、抗震救灾临时安置等)^[12]。不同于永久性建筑, 临时性建筑具有围护结构热阻小、蓄热性差和体形系数偏大等特点^[13]。对于体形系数大的建筑, 因其围护结构与室外环境接触面积所占比例更高, 其建筑能耗更易受到当地气候的影响。

如上所述, 虽然国内外学者已开展了大量关于气候条件影响建筑性能的研究, 但是主要针对永久性建筑, 对于临时性建筑, 特别是高寒地区的临时性建筑的研究还非常少。特别是适合高寒地区临时建筑使用的热源形式, 尚缺乏研究成果支撑。因此, 本文利用DeST软件分析了某临时建筑在青海省格尔木地区气候条件下的负荷特征, 同时通过计算, 对各种热源方案在高寒地区临时建筑中应用的适用性和经济性进行了分析, 并以此为依据确定了该临时建筑的最佳采暖方案。

1 模型建立

1.1 项目概况

该临时建筑位于青海省格尔木地区。该临时建筑内房间功能齐全, 包括不同空间形态的住宿、办公、就餐、医疗和仓储等。如图1所示, 该临时建筑布局为口字形布局, 冬季为了充分利用太阳能, 建筑内部上空设有阳光棚。总高度为4.9m, 总建筑面积为3930m², 其中空调面积为1610m²。

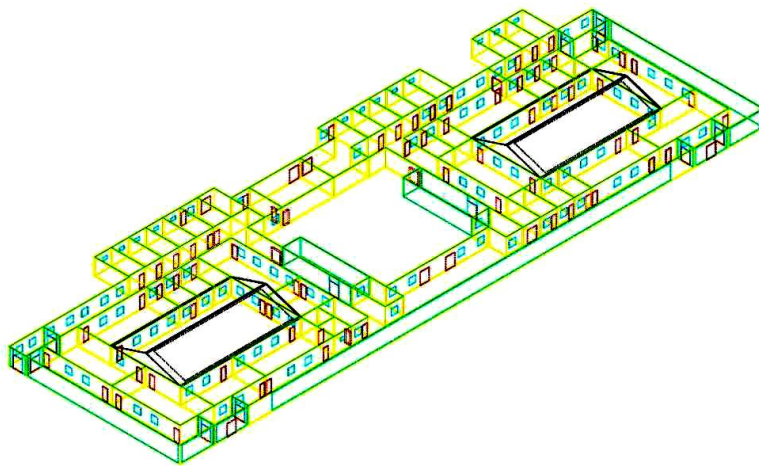


图 1 建筑模型图

Fig.1 Building model

1.2 参数设定

为了模拟该临时建筑负荷,需要对该临时建筑的围护结构参数及各不同功能类型房间的参数进行设定。房间类型可分为走廊门厅、集体宿舍、仓

库、医务室、晾衣室、洗手间、天井、设备间、通讯室、食堂、活动场地、会议室、厨房等。表 1 为各房间参数的详细设置情况。

表 1 房间参数设定

Table 1 Design parameters for different rooms

房间编号	房间名称	房间功能	房间最大人数 (人)	照明功率 (W)	设备功率 (W)	制冷设计温度 (℃)
1-N-28	走廊	走廊门厅	20	90	0	26
1-N-27	走廊	走廊门厅	20	90	0	
1-N-26	门厅	走廊门厅	20	10	0	
1-N-25	门厅	走廊门厅	20	10	0	
1-N-24	走廊	走廊门厅	20	90	0	
1-N-17	门厅	走廊门厅	20	10	0	
1-N-16	走廊	走廊门厅	20	90	0	
1-N-15	走廊	走廊门厅	20	90	0	
1-N-8	门厅	走廊门厅	20	10	0	
1-2-5	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-2-4	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-2-3	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-2-2	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-2-1	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-7-5	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-7-4	32 人集体宿舍 (女)	集体宿舍	32	30	12.7	
1-7-3	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-7-2	30 人集体宿舍 (男)	集体宿舍	30	30	12.7	
1-7-1	32 人集体宿舍 (女)	集体宿舍	32	30	12.7	
1-N-22	储藏室	仓库	5	30	0	
1-N-19	储藏室	仓库	5	30	0	
1-N-18	储藏室	仓库	5	30	0	
1-N-11	储藏室	仓库	5	30	0	
1-N-10	储藏室	仓库	5	30	0	
1-N-5	储藏室	仓库	5	30	0	
1-N-4	储藏室	仓库	5	30	0	
1-9-2	医务室	医务室	5	20	300	
1-9-1	医务室	医务室	5	20	300	
1-N-21	晾衣室	晾衣室	10	20	30	
1-N-20	晾衣室	晾衣室	10	20	30	
1-N-3	晾衣室	晾衣室	10	20	30	
1-8-4	单间/双人间	干部宿舍	2	30	12.7	
1-8-3	单间/双人间	干部宿舍	2	30	12.7	
1-8-2	单间/双人间	干部宿舍	2	30	12.7	

续表 1 房间参数设定

Table 1 Design parameters for different rooms

房间编号	房间名称	房间功能	房间最大人数 (人)	照明功率 (W)	设备功率 (W)	制冷设计温度 (°C)
1-8-1	单间/双人间	干部宿舍	2	30	12.7	
1-6-3	浴室	洗手间	10	20	0	
1-6-2	厕所	洗手间	10	20	0	
1-6-1	盥洗室	洗手间	10	20	0	
1-5-5	盥洗室	洗手间	10	20	0	
1-5-4	浴室	洗手间	10	20	0	
1-5-3	厕所	洗手间	10	20	0	
1-5-2	厕所	洗手间	10	20	0	
1-5-1	盥洗室	洗手间	10	20	0	
1-1-5	盥洗室	洗手间	10	20	0	
1-1-4	浴室	洗手间	10	20	0	
1-1-3	厕所	洗手间	10	20	0	
1-1-2	厕所	洗手间	10	20	0	
1-1-1	盥洗室	洗手间	10	20	0	26
1-N-14	天井	天井	0	0	0	
1-N-13	天井	天井	0	0	0	
1-N-12	储水间	设备间	2	0	0	
1-N-6	锅炉间	设备间	2	0	5000	
1-N-7	通讯室	通讯室	5	20	0	
1-4-1	食堂	食堂	300	90	6000	
1-3-2	活动室	活动场地	50	60	300	
1-N-2	阳光棚	活动场地	50	200	300	
1-N-1	阳光棚	活动场地	50	200	300	
1-3-1	会议室	会议室	30	60	300	
1-10-3	主食/副食库	厨房	5	50	10000	
1-10-2	厨房	厨房	5	20	10000	
1-10-1	厨房	厨房	5	50	10000	

该临时建筑围护结构参数设定应满足严寒 C 结构传热系数要求^[14]。表 2 为该临时建筑围护结构区围护结构热工性能限值和资料中所规定的围护参数设定情况。

表 2 围护结构参数表

Table 2 Design parameters of buildings envelop

构件名称	构造做法	导热系数 (W/m ² ·K)
墙体	0.5mm 镀锌板+100mm 彩钢夹芯板+0.5mm 镀锌板	0.392
窗户	落地玻璃: 6+12+6mm 中空玻璃	2.610
屋顶	0.5mm 镀锌板+200mm 玻璃丝棉毡+0.5mm 镀锌板	0.170
	阳光棚屋面: 6mm 单层玻璃	1.316
地板	2mmPVC 地板+19mm 水泥纤维板+300mm 玻璃丝棉毡+0.5mm 镀锌板	0.115

本文考虑了厨房设备产热形成的负荷。根据餐厨设备需求，结合文献[15,16]中食堂设备配置参数，可得食堂厨房设备功率如表 3 所示。可知，餐厨区域设备总功率为 35kW。

表 3 食堂厨房设备功率设置

Table 3 Equipment power settings of canteen and kitchen

设备	数量	设备功率(kW)	备注
蒸饭车	1	12	主食灶
电磁炒炉	1	15	副食灶
切菜机	1	1	---
和面机	1	2	---
排油烟机	1	5	---
总计	5	35	---

2 气候特点

格尔木市位于青海省西部，平均海拔 2780m，属大陆高原气候，冬季漫长寒冷，夏季凉爽短促，属于严寒 C 区^[17]。图 2 为格尔木室外逐时干球温度，全年干球温度在-18.6℃~32.8℃之间。虽然格尔木地区夏季高温时段气温会超过 30℃，但持续时间很短。

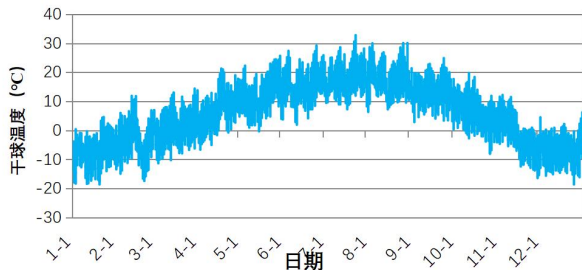


图 2 格尔木逐时干球温度

Fig.2 Hourly dry-bulb temperature of Golmud

图 3 为格尔木全年干球温度分布统计图。由图可知全年室外干球温度在 26℃ 以上的小时数仅有 110h，而出现在 18℃ 以下的小时数高达 7543h，因此该地区的建筑仅需考虑供暖问题即可。

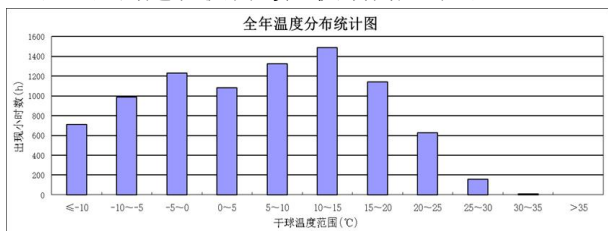


图 3 格尔木全年干球温度分布统计图

Fig.3 Annual dry-bulb temperature distribution in Golmud

3 全年负荷分析

图 4 为临时建筑全年逐时负荷。如图所示，全年累计热负荷为 60287.58kWh，累计冷负荷为 134052.39kWh，累计冷负荷约为累计热负荷的 2.2 倍。这是因为虽然当地全年室外气温较低，但是由于该临时建筑设置了透明阳光棚，并设置了外走廊，形成了相对封闭的空间，减少了功能房间的长波辐射和对流散热，导致夏季建筑冷负荷偏大。在格尔木地区，建筑冷负荷集中在 4 月至 10 月，其中最大值出现在 8 月 4 日，为 82.26kW。建筑热负荷主要集中在 1 月至 4 月、11 月、12 月，其中最大值出现在 11 月 30 日，为 76.78kW。对于格尔木地区，由于夏季室外温度较低，可通过开窗通风及在暖棚顶部设置可调节的通风口等方式来增强建筑内部空气流通，从而降低室内温度。

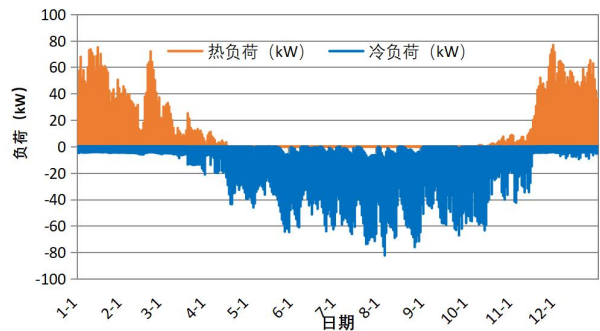


图 4 临时建筑全年逐时负荷

Fig.4 Hourly cooling and heating loads of the temporary building

4 供暖方案对比分析

4.1 分散式供暖方案对比

由于临时建筑无法像永久性建筑一样采用市政集中供暖的方式，更适宜分散式采暖方式。本文选定了三种分散式采暖方案，分别是：分体式供暖方案、柴油取暖机方案以及锅炉房+散热器方案。这里从技术性和经济性角度出发，确定临时建筑的最佳供暖方案。各供暖方案的技术对比分析如表 4 所示。从技术成熟角度分析，这三种供暖方案的技术成熟，实际工程应用效果良好。需要注意的是，对于高寒地区，供暖设备不应受周围环境的影响过大，而导致供暖效果不理想。

表 4 三种供暖方案技术性对比

Table 4 Technical comparisons of the three heating schemes

方案	运行稳定性	安装/拆卸快捷度	环境污染
分体式空调	在外界低温的环境下空调外机效率不高, 可能会造成采暖效果不佳	设备之间没有风管或者水管等管网进行连接, 便捷度高	分体式采暖是通过消耗电能进行供暖, 污染性极低
柴油取暖机	利用化石能源的热值进行采暖, 不会受到外界环境因素的影响, 稳定性较好	柴油取暖机有少量风管连接设备与房间, 便捷度适中	消耗化石能源柴油进行采暖, 会造成一定的环境污染
锅炉房+散热器	热源燃烧效率高, 热量产生稳定, 锅炉运行也比较稳定可靠, 稳定性较好	锅炉房及散热器间需要水管连接, 安装便捷度较差	燃油及燃煤锅炉会造成环境污染。燃气及电锅炉污染性较低

4.1.1 分体式空调

根据 DeST 软件模拟计算, 并考虑 1.1 的富余系数, 得到采暖设备选型的设计热负荷为 169.1kW。宿舍、通讯室、值班监控室、单间/双人间、活动室、会议室以及医务室等区域采用分体式空调。不同房间所需的空调匹数和台数汇总如表 5 所示。

表 5 房间的空调匹数和台数汇总

Table 5 Summary of the number and units of air conditioners

房间名称	房间数量	空调匹数	电源功率 (W)	空调数量
30 人宿舍 (男)	7	2.5	1840	2
22 人宿舍 (男)	1	2	1470	2
32 人宿舍 (女)	2	2.5	1840	2
通讯室	1	1.5	1100	1
值班监控室	1	1.5	1100	1
单间/双人间	8	1.5	1100	1
医务室	2	1.5	1100	1
食库	1	2.5	1840	2
活动室	2	2.5	1840	2
会议室	2	2.5	1840	2

此外, 由于厕所、浴室、盥洗室、洗消间等区域不宜采用分体空调, 所以此类房间区域采用风暖一体机设备进行采暖, 详见表 6 所示。

表 6 房间的风暖一体机汇总情况

Table 6 Summary of the air heating devices

房间名称	房间数量	热源功率 (W)	风暖一体机数量
厕所	4	2200	1
浴室	2	2200	1
盥洗室	4	2200	1
洗消室	1	2200	1

4.1.2 柴油取暖机方案

由于该临时建筑面积较大, 将其分为了几个主要模块, 模块之间和四周有走廊相连。因此, 柴油

取暖机可以放置在走廊外围。柴油取暖机将暖气直供走廊, 再通过送风机引入各功能房间。同时安装回风机, 改善暖风在走廊和房间之间的循环流通。根据热负荷, 选用 8 台某型号柴油取暖机。该取暖机的参数如表 7 所示。

表 7 柴油取暖机参数

Table 7 Parameters of the diesel heater

型号	供热量 (kW)	风量 (m ³ /h)	耗油量 (kg/h)	台数 (台)
LC-20	20	1300	3	8

4.1.3 锅炉+散热器方案

锅炉选用能够满足供暖需求的燃气锅炉, 该燃气锅炉的参数如表 8 所示。

表 8 选取的燃气锅炉参数

Table 8 Parameters of the selected gas boiler

型号	制热量 (kW)	电功率 (kW)	天然气消耗量 (m ³ /h)	台数 (台)
CWNSO.2.0	200	0.4	23.1	1

与燃气锅炉配套的散热器采用型号为椭圆四柱 660 型 SC(WS)TTZ4-5-6(8/10)(660)的散热器。该散热器的单片散热量为 116.3W, 根据公式 (1) 计算所需散热器数量。

$$n = \frac{Q_{\text{总}}}{q'} \quad (1)$$

式中: n 为散热器片数, 片; $Q_{\text{总}}$ 为建筑总热负荷, kW; q' 为单片散热器散热量, W。

经计算该临时建筑至少需要 1454 片散热片。

4.2 经济性对比分析

因为建筑热负荷集中在 1 月至 4 月、11 月、12 月, 供暖期按 5 个月考虑, 计算各供暖方案整个供暖期的运行费用。各供暖方案的投资费用和运行费用可分别通过公式 (2) 和 (3) 计算。通过查询青海省能源价格可知, 可知居民生活用电三档电

量 230 度以上电度电价为 0.6771 元/kWh，柴油价格为 7.47 元/L，燃气的价格为 2.19 元/m³。

$$S_{初} = r \times s' \quad (2)$$

$$S_{运行} = P \times r \times t \times k \quad (3)$$

式中： r 为设备台数； s' 为设备单价，万元； P 为单位设备能耗，kW、L、m³； t 为运行时间，h； k 为能源价格，元/kWh、元/L、元/m³；

将三种方案所需费用汇总，如表 9 所示。

表 9 三种采暖方案费用

Table 9 Costs of the three heating schemes

方案	初投资费用 (万元)	年运行费用 (万元)
分体式空调+风暖一体机	13.93	23.45
柴油取暖机+送风机	2.5	14.08
燃气锅炉+散热器	18.64	18.31

从经济性分析，分体式采暖方案虽然安装方便快捷，但是初投资和耗电量巨大。此外，受青海格尔木地区冬季室外条件的影响，随着室外气温的下降，空调的制热能力会下降，导致空调冬季运行不稳定。燃气锅炉其性能虽然不受室外气候影响，但其初投资和运行费用均较高。柴油取暖机的初投资明显低于其它两种方案，并且运行费用也具有明显优势。因此，对于临时建筑而言，无论是技术性还是经济性，柴油取暖机方案都是最佳的供暖方案。

5 结论

(1) 对青海格尔木地区某临时建筑进行模拟分析可知，该临时建筑的累计冷负荷为累计热负荷的 2.2 倍。绝大部分冷负荷是由厨房炊事和暖棚造成的。当地夏季凉爽，自然通风即可改善室内热舒适而无需空调，故仅需考虑冬季供暖问题。

(2) 从技术性分析，分体空调、柴油取暖机和燃气锅炉这三种供暖方案技术均成熟，但对于高寒地区而言，应考虑所选取的供暖设备是否受周围环境和海拔的影响，而导致供暖效果不理想。

(3) 从经济性分析，初投资费用最低的为柴油取暖机方案，其费用为 2.5 万元。初投资费用最高的为燃气锅炉+散热器方案，其费用为 18.64 万元，约为柴油取暖机方案的 7.5 倍。年运行费用最低的方案为柴油取暖机方案，为 14.08 万元，年运行费用最高的为分体式空调+风暖一体机方案，其费用为 23.45 万元，约为柴油取暖机方案的 1.7 倍。

参考文献:

- [1] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗与碳排放研究报告 (2022)[J]. 建筑, 2023, (2): 1-6.
- [2] 安晶晶, 刘文燕, 燕达. 气候变化对我国不同气候区办公建筑能耗影响分析[J]. 北京建筑大学学报, 2023, 39(4): 56-64.
- [3] Andric I, Le Corre O, Lacarriere B, et al. Initial approximation of the implications for architecture due to climate change[J]. Advances in Building Energy Research, 2019, 15(3): 1-31.
- [4] Campagna Ludovica Maria, Fiorito Francesco. On the impact of climate change on building energy consumptions: a meta-analysis[J]. Energies, 2022, 15(1).
- [5] 李红莲, 王赏玉, 侯立强, 等. 气候变化对中国典型气候区办公建筑能耗的影响研究[J]. 太阳能学报, 2020, 41(9): 147-154.
- [6] 靳冉, 何文芳, 杨柳. 极端干热气候乡土建筑用能模式与能耗强度[J]. 建筑节能(中英文), 2023, (7): 24-30, 54.
- [7] 高枫, 朱能. 寒冷地区办公建筑负荷敏感性差异分析及应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52(4): 180-186, 194.
- [8] 潘玉亮, 高彩凤. 严寒地区超低能耗居住建筑供暖系统对比分析[J]. 建筑节能(中英文), 2022, (5): 48-52.
- [9] 张时聪, 吕燕捷, 徐伟. 64 栋超低能耗建筑最佳案例控制指标和技术路径研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(6): 7-13.
- [10] 冯国会, 徐小龙, 吴珊, 等. 近零能耗建筑技术体系在严寒地区的实践研究[J]. 建筑科学, 2017, 33(6): 15-20.
- [11] 赵二庆. 浅谈临时性建筑的发展和改善措施[J]. 农家参谋, 2018, (2): 200.
- [12] 刘加根, 李敏, 张菁华, 等. 冬奥会张家口赛区装配式临时建筑暖通空调设计[J]. 暖通空调, 2022, 52(6): 123-126.
- [13] 王方舟, 陈国伟, 梅东升. 应用于冬奥会严寒环境的超低能耗箱式临建房的设计开发[J]. 节能与环保, 2023, (1): 42-43.
- [14] .GB 50736-2016, 民用建筑热工设计规范附条文说明[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [15] 梁兴泉. 中小学建筑食堂厨房用电设备负荷预留技术分析及其选用[J]. 低碳世界, 2022, 12(7): 88-90.
- [16] 罗冬涛, 杨智凯. 临时用电管理要点分析[J]. 建筑科技, 2022, 6(3): 183-186.
- [17] JGJ 26-2018, 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准附条文说明[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [18] GB/T 51161-2016, 民用建筑能耗标准附条文说明[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.