

文章编号: 1674—8247(2022)03—0001—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.03.001

适应高寒气候特点的铁路站房建筑节能策略

张兴艳¹ 贾怡红²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 石家庄铁道大学, 石家庄 050043)

摘要:随着我国高寒地区铁路站房的大量兴建,有必要探索适合的建筑节能技术以实现铁路站房的可持续发展。本文以林芝站为例,采用计算机模拟的方法,分析了建筑冬季防风策略以及围护结构保温和窗墙比与全年能耗的定量关系。结果发现,入口门斗设置外门斗,检票口不设门斗的方式可以有效减少冬季室内渗风,同时改善围护结构热工性能可以明显提升冬季节节能效果,权衡保温厚度与收益给出最合适的保温材料及厚度。论文提出了适应高寒气候的铁路站房最佳节能设计参数,为同类型建筑节能设计提供了理论依据和数据参考。

关键词:拉林铁路; 绿色铁路站房; 模拟计算; 高寒气候区; 建筑节能

中图分类号: U284.59 **文献标志码:** A

Energy-saving Strategies for Railway Station Buildings Suitable for High-cold Climate Conditions

ZHANG Xingyan¹ JIA Yihong²

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;
2. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: With the widespread construction of railway station buildings in China's high-cold regions, it is necessary to explore suitable building energy-saving technologies to realize the sustainable development of railway station buildings. Taking Nyingchi station as an example, this paper analyzes the windproof strategies of buildings in winter and the quantitative relationship between the thermal insulation of the enclosure structure and window-to-wall ratio and annual energy consumption by means of computer simulation. The results show that the way of provision of an outer foyer at the entrance and no foyer at the ticket gate can effectively reduce the indoor air infiltration in winter, and improving the thermal performance of the envelope structure can obviously improve the energy-saving effect in winter. Moreover, the most suitable thermal insulation material and thickness are determined by weighing the insulation thickness and benefits. This paper proposes the optimal energy-saving design parameters of railway station buildings suitable for the high-cold climate conditions, which provides theoretical basis and data reference for energy-saving design of the same type of buildings.

Key words: Lhasa-Nyingchi Railway; green railway station building; simulation calculation; high-cold climate zone; building energy saving

收稿日期: 2021-11-26

作者简介: 张兴艳(1979-), 女, 高级工程师。

引文格式: 张兴艳, 贾怡红. 适应高寒气候特点的铁路站房建筑节能策略[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(3): 1-6.

ZHANG Xingyan, JIA Yihong. Energy-saving Strategies for Railway Station Buildings Suitable for High-cold Climate Conditions[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3): 1-6.

随着我国铁路的发展,高寒地区铁路站房等配套建筑大量兴建^[1]。既有研究表明铁路站房是一类能耗较高的公共建筑,因为其空间高大、人员密集、照明系统复杂,且全年运行^[2-3]。考虑到高寒地区气候特征的特殊性,其建筑能耗问题尤为突出,节能要求更高,节能潜力也更大。

铁路站房的节能设计受到了国内学者的广泛关注,开展了详实细致的研究,涉及到不同的气候区。有学者综合运用实测、模拟等多种方法给出了既能保证热环境又满足节能要求的严寒气候区候车空间节能优化策略^[4];寒冷气候区一直以来都是研究的热点区域,研究提出了很多满足热环境以及光环境要求的铁路站房节能设计和改造方法^[5];此外,研究者们还详细探究了夏热冬冷地区火车站节能设计策略^[6]。目前,针对夏热冬暖以及温和气候区的研究相对较少,中铁第四勘察设计院集团有限公司以昆明南站站房为例,创新性地提出适用于温和地区铁路站房节能设计方法^[7],郭旭晖以新广州火车站为例,解决了如何在夏热冬暖地区进行了建筑被动技术优选以降低站房的综合能耗^[8]。

2 建筑物的室外环境是建筑能耗的先决条件,上述研究针对我国不同气候区都做了较为详尽的研究,但可以看出针对高寒地区铁路站房的节能设计研究仍然较少。因此,本文认为有必要针对高寒地区这类特殊的建筑气候条件,探讨与其相适应的铁路站房建筑节能措施,以帮助建筑师制定合理的节能措施。

1 研究对象

本文以拉林铁路新建林芝站为研究对象。林芝位于西藏东南部,年平均气温 8.6°C 。虽然林芝地区在中国建筑气候区划中属于寒冷地区,但是与其他寒冷气候区相比,林芝地区太阳辐射强度大,年均日照 $2\,022.2\text{ h}$,日照百分率为 57% 。以冬季12月为例,其水平总辐射强度峰值可达 600 W/m^2 ,平均值也大于 140 W/m^2 ,可见太阳辐射得热为其主要热量来源,属于典型的高寒气候^[9]。同时,拉林铁路站房以中小型站房为主,林芝站站房也是拉林铁路上最常见的线侧平式站房,站房总建筑面积 $14\,898\text{ m}^2$,建筑平面呈规则的长方形,面宽 172.2 m ,进深 46.2 m 。因此,林芝站可以作为典型的高寒地区中小站房,具有一定的代表性和普适性。

2 高寒地区铁路站房建筑节能策略模拟计算

2.1 冷风渗透优化

铁路站房室外场地环境的优化可以有效地改善建筑周边的微环境,从而降低建筑能耗^[10]。高寒地区太阳辐射量充足,鉴于此首先应该考虑对室外场地太阳得热的合理利用。本文首先利用Ecotect软件对站房及周边的太阳得热情况进行了模拟计算,结果发现绿化面积与植株类型及其布局形式对站房区域微环境温湿度的改善作用明显。夏季同一时段,广场平台前范围较大的乔木树林区的温湿度状况较好,而广场平台上点阵布置的、少叶植株对周围的热湿环境几乎没有改善作用。另外,下垫面材质的选择对站房区域热环境有较大影响,透水地面或低矮植被、土壤等下垫面比沥青道路和水泥地面的表面温度低,而且湿度亦有改善。如果将低矮植被换为高大树木,可以较好地改善站房区域的热环境。

其次,在高寒地区要做好建筑的防风措施,减少冬季因冷风入侵而造成的热量损失。本文采用PHOENICS软件对不同门斗形式的室内风场情况进行了模拟分析,根据林芝地区的气候条件,设置冬季主导风向为东风,平均风速为 2.3 m/s 。设置了4种不同的门斗形式,方案一为正立面门斗在室外,背立面室内检票口处不设门斗;方案二为正立面门斗在室内,背立面室内检票口处不设门斗;方案三为正立面门斗在室外,背立面室内检票口处设门斗;方案四为正立面门斗在室内,背立面室内检票口处设门斗。模拟结果如图1所示,方案一一层室内风速均小于 1.6 m/s ,检票口处的风速在 $2.2\sim 2.6\text{ m/s}$,入口门斗处风速在 $0.3\sim 1.1\text{ m/s}$;方案二一层室内风速同样均小于 1.6 m/s ,检票口处的风速在 $2.2\sim 2.6\text{ m/s}$,入口门斗处风速在 $0.2\sim 1.5\text{ m/s}$;方案三一层室内风速均小于 1.5 m/s ,检票口处的风速在 $1.8\sim 2.6\text{ m/s}$,入口门斗处风速在 $0.4\sim 1.3\text{ m/s}$;方案四一层室内风速均小于 1.5 m/s ,但检票口处的风速在 $2.4\sim 2.8\text{ m/s}$,入口门斗处风速在 $0.2\sim 1.5\text{ m/s}$ 。由此可知,方案二和方案四检票口处风速过大,说明室内设内门斗更容易形成穿堂风,造成人员吹风感,因此建议入口门斗设置外门斗,对比方案一和方案三,可知检票口处宜设置内门斗。

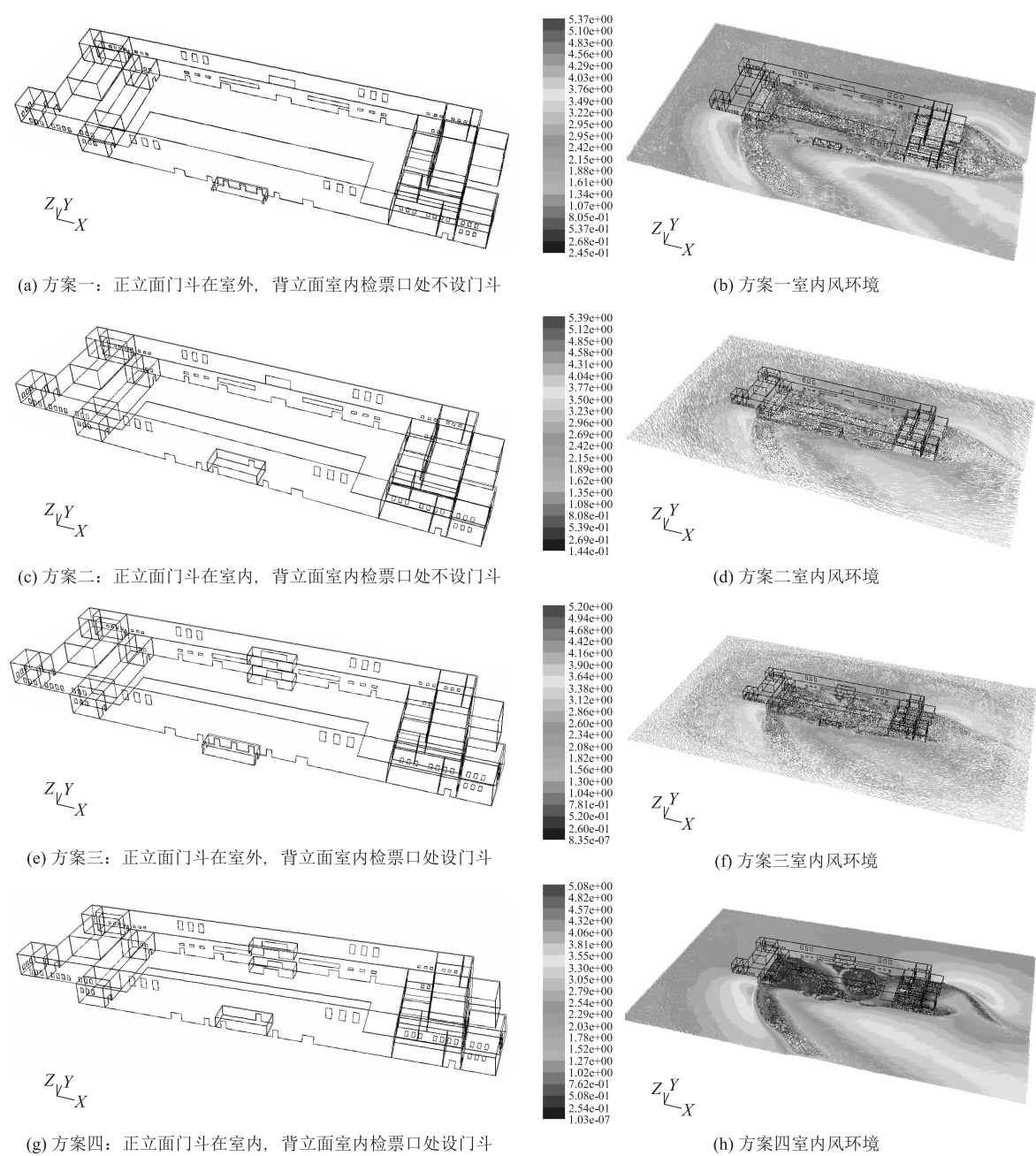


图 1 不同门斗形式对室内风场的影响图

2.2 围护结构节能设计

2.2.1 外墙保温厚度与全年能耗关系

提高围护结构的保温性能是降低建筑能耗最有效的途径^[11],本文利用 Design Builder 计算不同保温层厚度与建筑全年能耗的关系。模拟中具体热工参数设置为:夏季空调室外计算干球温度 22.9℃,夏季空调室外计算湿球温度 15.6℃,夏季通风室外计算温度 19.9℃。冬季空调室外计算温度-3.7℃,冬季空调室外计算相对湿度 49%,冬季通风室外计算温度 0.5℃。

同时,根据空气质量规范要求 and 功能分区特点,室

内空气设计参数如表 1 所示。

表 1 室内空气设计参数表

功能房间	冬季温度 /℃	湿度 /%	新风量 / (m ³ /h·p)
候车厅	16	40~60	19
VIP 候车厅	18	40~60	30
售票厅	14	40~60	—
办公室	18	40~60	30
卫生间	16	40~60	—

原始模型外墙构造基本参数如表 2 所示。

外墙保温厚度与建筑能耗关系结果如图 2 所示。整体看来,对于墙体外保温系统而言,保温性能强弱排

表 2 林芝站原始模型外墙构造基本参数表

	厚度 /mm	导热系数 /[W/(m·K)]	蓄热系数 /[W/(m ² ·K)]	热阻值 /[(m ² ·K)/W]	热惰性指标 D=RS
水泥砂浆	20.0	0.930	11.37	0.022	0.24
岩棉、玻璃棉板	80.0	0.045	0.75	1.481	1.33
页岩粉煤灰烧结承重多孔砖砌体	300.0	0.510	7.92	0.588	4.66
水泥砂浆	20.0	0.930	11.37	0.022	0.24

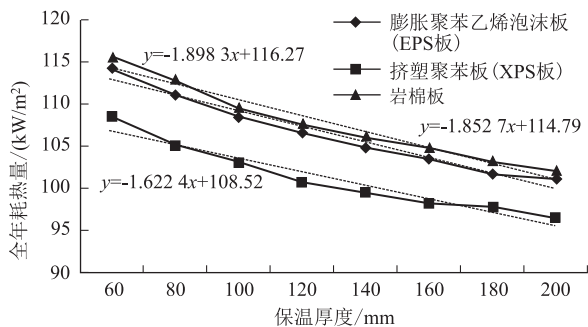


图 2 外墙保温做法与全年耗热量的关系图

序为挤塑聚苯板>膨胀聚苯乙烯泡沫板>岩棉板,并且全年耗热量随围护结构保温层厚度的变化呈线性变化,但是保温层厚度增加到一定值(即外墙传热系数降低到一定值)后,耗热量递减的幅度就降低了。

参考《公共建筑节能设计标准》^[12]和《西藏自治区民用建筑节能设计标准》^[13]的要求,西藏自治区甲类公共建筑墙体的平均传热系数应该小于等于 0.5 W/(m²·K)。根据相关资料,50 mm 厚挤塑聚苯板板、70 mm 厚的膨胀聚苯乙烯泡沫板或 80 mm 厚的岩棉板均可达到上述要求。由回归方程的斜率(如表 3 所示)可知保温材料的性能对厚度的变化敏感程度不同,岩棉保温板保温层厚度每增大10mm,全年耗热

量可以减少 19.0 kW/m²左右,膨胀聚苯乙烯泡沫板保温层厚度每增大 10 mm,全年耗热量可以减少 18.5 kW/m²;挤塑聚苯板保温层厚度每增大 10 mm,全年耗热量可以减少 15.8 kW/m²。比较可知,相同厚度下挤塑聚苯板不仅热工性能最好,而且对保温层厚度的变化更为敏感。因此,推荐挤塑聚苯板用作高寒地区铁路站房外墙外保温材料。由图 2 也可看出,在使用挤塑聚苯板做保温材料时,当保温层厚度大于 120 mm 后继续增加厚度收益并不佳,因此,推荐最佳的保温层厚度为 50 ~ 120 mm。

表 3 外墙保温厚度与全年耗热量回归方程斜率表

	岩棉板	挤塑聚苯板	膨胀聚苯乙烯泡沫板
斜率	-1.90	-1.58	-1.85

2.2.2 屋面保温厚度与全年能耗关系

除外墙保温外,屋面保温也是建筑节能设计中不可忽视的一个重要方面。不同于普通严寒或寒冷地区,高寒地区的建筑屋面接受了较大强度的太阳辐射,因此要平衡好辐射得热与屋面散热的关系。原始模型屋面构造基本参数如表 4 所示,热工参数设置同上。利用 Design Builder 软件计算了不同屋面保温做法与建筑全年能耗的关系,结果如图 3 所示。

表 4 林芝站原始模型屋面构造基本参数表

屋顶 每层材料名称	厚度 /mm	导热系数 /[W/(m·K)]	蓄热系数 [W/(m ² ·K)]	热阻值 /[(m ² ·K)/W]	热惰性指标 D=RS
碎石、卵石混凝土 1	40.0	1.5	15.36	0.026	0.41
罩面石膏网格布	-	-	-	-	-
防水卷材、聚氨酯	-	-	-	-	-
挤塑聚苯板 1	80.0	0.03	0.32	2.222	0.85
轻集料混凝土浇捣(屋面找坡)	30.0	0.89	11.10	0.034	0.37
钢筋混凝土	120.0	1.74	17.20	0.069	1.19
石灰水泥砂浆	20.0	0.87	10.75	0.023	0.25

可以看出,全年耗热量在初始阶段会跟随屋顶保温厚度的减小而显著减小,保温性能强弱依次为挤塑聚苯板>膨胀聚苯乙烯泡沫板。同时参考《公共建筑节能设计标准》和《西藏自治区民用建筑节能设计标准》,西藏自治区甲类公共建筑的屋面的平均传热系数应该小于等于 0.40 W/(m²·K)。根据相关资料,

计算可知膨胀聚苯乙烯泡沫板以及挤塑聚苯板厚度分别为 120 mm 厚、90 mm 厚时,可达到上述要求。因此,推荐节能效果较好的挤塑聚苯板高寒地区铁路站房屋顶外保温材料,并且当保温层厚度超过 120 mm 时,节能效率就降低了,因此推荐厚度为 70 ~ 120 mm。

此外,外保温若无经济条件限制,应首选挤塑聚苯

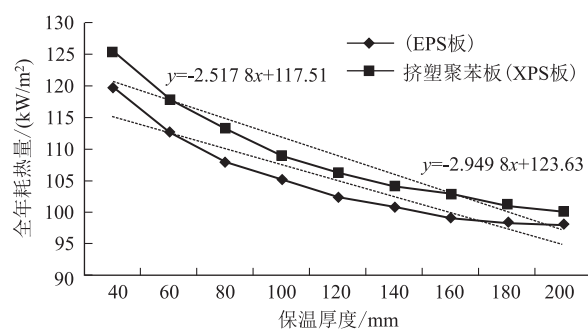


图3 屋面保温做法与全年耗热量的关系图

板(XPS板)保温材料,但是它的价格相对而言也较高;聚苯乙烯泡沫板(EPS板)的保温性能虽然比上述两个材料弱,但是性价比很高;岩棉板的保温性能是最差的,性价比也不高。同时需要注意建筑耗热量会随着体形的复杂程度而增大^[14],西藏传统民居的建筑形态一般选择方形等简单形体,通过降低筑物的体形系数以减少建筑物与周围环境产生的热交换^[15]。同理,高寒地区铁路站房也应尽量选择规则的形体,使体形不要太复杂,凹凸面不要过多,避免体形系数过大,以达到节能的目的。

另外需要说明一点,根据目前防火规范《建筑设计防火规范》^[16]规定“设置人员密集场所的建筑,其外墙外保温材料的燃烧性能应为A级”。由于铁路站房的特殊性,其外墙保温材料应采用A级耐火等级保温材料。然而,目前适合北方寒冷地区的常用的外保温材料中,只有岩棉是A级保温材料,而导热系数较小的相对节能效果比较好的外保温材料,如XPS和硬泡聚氨酯等外保温材料,都不满足A级的防火等级要求,而目前对于难燃材料如何达到A级不燃等级标准的相关研究一直在进行,并取得了初步的成效,目前市场上也出现了如FAE-A级防火蜂巢隔离保温板是在传统的模塑聚苯乙烯泡沫板的基础上进行改良,从而达到A级阻燃效果的新型保温隔热材料。因此,虽然此结论对于当前的高密度建筑不适用,但是仍可以对高寒地区的其他建筑类型提供一定的借鉴意义。

2.3 窗墙比与建筑全年能耗关系

通常窗口的传热系数会大于墙体的传热系数,室内外的传热量也会随着窗户面积的增大而增大,但同时也增加了进入室内的太阳辐射得热。目前出于美观的需求,铁路站房常采用幕墙或者大面积透明围护结构,可见有必要从降低建筑能耗的角度出发,分析窗墙比与建筑能耗的关系以确定最佳的窗墙比。

本文利用 Design Builder 软件模拟计算了建筑全

年耗热量与窗墙比之间的关系。在考虑室内参数为照明节能控制同时不采用任何遮阳设施的情况下,依次进行模拟分析研究建筑各项能耗通过软件模拟能耗变化量,由于铁路站房东西两侧为辅助用房,其窗墙比数值对能耗影响不大,因此,重点研究南北两侧的窗墙比与能耗的关系。外窗材料选择PVC塑料窗 $[K = 2.2 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$,普通中空玻璃窗(6中等透光热反射+12空气+6透明) $[K = 1.80 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 。模拟时,其他围护结构参数不做改变,分别调整南北两个主要朝向的窗墙面积比,从0.2增加至0.8,步长为0.15,计算单位建筑面积建筑的全年耗热量,结果如图4所示。可以看到,随着南向窗墙比的增加全年能耗在持续减少,但0.65是一个临界点,当窗墙比增大到0.65后,窗墙比的增大对能耗的影响作用开始减缓。因此,在保证经济性的情况下,建议南向最佳窗墙比为0.65。北向窗墙比对能耗的影响与南向结果不同,随着北向窗墙比的增大,全年能耗也在逐渐增大,建议北向窗墙比满足基本最小要求即可。这可能是对于高寒地区,建筑采暖能耗远高于制冷能耗,因此南向窗墙比增大可以有效获得太阳的辐射得热以降低采暖能耗,而北向窗墙比的增大起到了相反的作用。

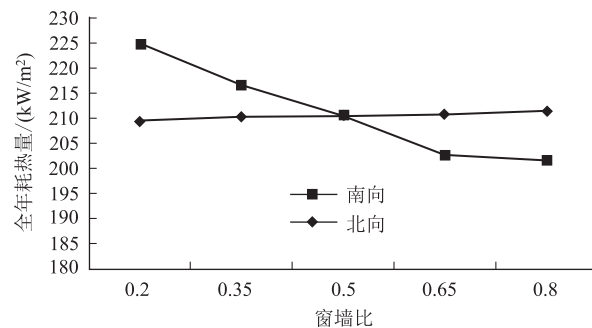


图4 建筑窗墙比与全年耗热量的关系图

3 结论

气候条件是建筑节能设计的重要依据,一切技术手段都应当围绕气候条件展开。本文以位于高寒地区的典型中小站林芝站为例,利用计算机软件模拟计算了建筑外墙保温做法、建筑屋面保温做法以及南北向窗墙比与全年耗热量的关系,最终得出了一些适用于高寒地区铁路站房建筑的节能方法和策略,为高寒地区同类铁路站房的节能设计提供参考与建议,主要结论如下:

(1)在高寒地区铁路站房的规划布局阶段应注意站房周边下垫面、景观绿化和植物类型配置,建议选择透水地面,并设置较大范围的乔木树林区,改善建筑周

围的微环境以降低能耗。关于冷风侵入,在室内设内门斗更容易形成穿堂风,造成人员吹风感,建议入口门斗设置外门斗,检票口不设门斗。

(2)若无经济要求限制,外墙保温应首选挤塑聚苯板作为保温材料,推荐厚度50~120 mm;在进行屋顶保温设计时,同样应首选保温性能比较好的挤塑聚苯板作为屋面保温材料,推荐厚度为70~120 mm。

(3)全年耗热量会随着建筑南向窗墙比的增加而减小,但变化率以0.65为拐点,在窗墙比小于0.65的情况下,全年耗热量随南向窗墙比的变化更加敏感。因此权衡经济性,推荐南向最佳窗墙比为0.65。而全年耗热量随着建筑北向窗墙比的增大而增大,因此要严格控制北向窗墙比的大小,满足规范基本要求即可。

参考文献:

- [1] 韦仁忠,朱金春. 西藏融入“一带一路”倡议的定位、认知与路径探讨[J]. 西藏大学学报(社会科学版), 2017, 32(3): 107-114.
- WEI Renzhong, ZHU Jinchun. Discussion on the Orientation, Cognition and Path of Tibet being into “The Belt and Road” Initiative [J]. Journal of Tibet University, 2017, 32(3): 107-114.
- [2] 刘昌. 铁路公共建筑应用被动式建筑技术的研究与探讨[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(S2): 14-17.
- LIU Chang. Research and Discussion on Application of Passive Buildings Technologies in Public Buildings in Railway System [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(S2): 14-17.
- [3] 徐绍玉. 绿色建筑节能技术在铁路客运站房设计中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2019(6): 63-67.
- XU Shaoyu. Application on Green Building Energy-Saving Technology for Designing Railway Station [J]. Railway Construction Technology, 2019(6): 63-67.
- [4] 樊轶男. 基于热环境模拟的严寒地区特等火车站进站厅空间研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2018: 115-116.
- FAN Yinan. Study on the Space of the Entrance of the Special Railway Station Based on Thermal Environment Simulation [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2018: 115-116.
- [5] 王光宇. 寒冷地区铁路客运站绿色建筑策略[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2018: 116-118.
- WANG Guangyu. Design Strategy of Green Building for Railway Passenger Station in Cold Zone [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2018: 116-118.
- [6] 周燕来, 刘建安, 谢晶. 基于建筑节能的夏热冬冷地区铁路客站总体规划布局及站房建筑设计方案优化研究[J]. 中外建筑, 2014(10): 79-81.
- ZHOU Yanlai, LIU Jianan, XIE Jing. Research on Overall Planning Layout of Railway Station Based on Building Energy Efficiency in Hot Summer and Cold Winter Area and Design Scheme Optimization of the Station Building [J]. Chinese & Overseas Architecture, 2014(10): 79-81.
- [7] 付维纲. 昆明南站自然通风优化研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(8): 83-88.
- FU Weigang. Research on Optimization of Natural Ventilation of Kunming South Railway Station [J]. Building Science, 2012, 28(8): 83-88.
- [8] 郭旭晖. 新广州火车站节能设计与建筑室内环境研究[J]. 铁道标准设计, 2010, 54(S2): 1-8.
- GUO Xuhui. Study on Energy Saving Design and Indoor Environment of New Guangzhou Railway Station [J]. Railway Standard Design, 2010, 54(S2): 1-8.
- [9] 索朗白姆, 常青. 拉萨市传统民居建筑气候适应性研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2020, 52(3): 416-423.
- SUO Langbaimu, CHANG Qing. Study on Climate Adaptability of Traditional Residential Buildings in Lhasa [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2020, 52(3): 416-423.
- [10] GROS A, BOZONNET E, INARD C. Cool Materials Impact at District Scale—Coupling Building Energy and Microclimate Models [J]. Sustainable Cities and Society, 2014, 13: 254-266.
- [11] 陈华, 郭娟利, 贾怡红, 等. 建筑节能参数对全年耗热量的影响研究[J]. 建筑节能, 2018, 46(1): 90-94.
- CHEN Hua, GUO Juanli, JIA Yihong, et al. Influence of Building Energy-Saving Parameters on Annual Heat Consumption [J]. Building Energy Efficiency, 2018, 46(1): 90-94.
- [12] GB 50189-2019 公共建筑节能设计标准[S].
- GB 50189-2019 Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings [S].
- [13] DBJ 540001-2016 西藏自治区民用建筑节能设计标准[S].
- DBJ 540001-2016 Design Standard for Energy Efficiency of Civil Building In Tibte [S].
- [14] 高枫, 朱能. 建筑体形对建筑负荷及其影响参数敏感度的影响[J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35(4): 67-73.
- GAO Feng, ZHU Neng. Effect of Building Shape on Building Load and the Sensitivity of Its Influential Parameters [J]. Journal of Human Settlements in West China, 2020, 35(4): 67-73.
- [15] 黄凌江, 邓传力, 兰兵. 拉萨乡村传统民居与新式民居冬季室内热环境对比分析[J]. 建筑科学, 2012, 28(12): 61-66.
- HUANG Lingjiang, DENG Chuanli, LAN Bing. Comparative Study on Indoor Thermal Environment in Winter of Modern and Traditional Rural Dwellings in Lhasa [J]. Building Science, 2012, 28(12): 61-66.
- [16] GB 50016-2014 建筑设计防火规范[S].
- GB 50016-2014 Code for Fire Protection Design of Buildings.