

拉萨地区住宅建筑群布局模式对建筑能耗影响关系研究

张 昊, 陈景衡, 武玉艳

(西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘要:通过分析拉萨城市住区四种典型布局模式下建筑群的太阳辐射得热量,得出朝向为南偏东 15° 平行行列式布局的建筑较有利于太阳能利用。因此,以平行行列式为研究对象,进一步分析了不同日照间距下建筑各层日照时间与能耗关系,研究发现:当建筑最小日照时间为2 h,2层及以上建筑能耗和建筑日照时间变化较小,当1层和2层建筑能耗占比较大(≤ 4 层)时,推荐最小日照时间为2 h;当1层和2层建筑能耗占总能耗较小(≥ 5 层)时,为节约用地面积,可采用1 h最小日照时间;并且给出了适宜的窗墙面积比,为拉萨未来发展的高密度建筑群设计提供参考依据。

关键词:日照间距;建筑能耗;太阳能利用;拉萨

中图分类号: TU 111.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2021)02-0289-06

Study on the quantitative relationship between the layout of residential buildings and building energy consumption in Lhasa

ZHANG Hao, CHEN Jingheng, WU Yuyan

(School of Architecture, Xi'an Univ. of arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: In this paper, the solar radiation heat gain of buildings in Lhasa area is analyzed under the four layout modes of parallel determinant, transverse determinant, longitudinal determinant and mixed determinant. The layout mode of buildings with parallel determinant and 15° south by east is more favorable to solar energy utilization. In parallel determinant for object, further analyzing the different architectural layers under the sunshine spacing relationship between energy consumption and time, found that when building minimum sunshine time of 2 h, 2 layer and smaller buildings energy consumption and sunshine time change, so when the layer 1 and layer 2 building energy consumption accounts for larger (≤ 4), recommended minimum sunshine time is 2 h. When the energy consumption of the first and second floors is small (≥ 5 floors), the minimum sunshine time of 1 h can be used to save the land area. In addition, the appropriate window and wall area ratio is recommended to provide a reference for the design of the rapidly developing high-density buildings in Lhasa.

Key words: sunshine distance; building energy consumption; solar energy utilization; Lhasa

拉萨地区冬季寒冷漫长、常规能源匮乏,但太阳能资源丰富,全年日照时间可达3 000 h以上,地面全年接受太阳辐射8 000~8 400 MJ/m²,为太阳能利用提供了先决条件^[1]。

但随着新型城镇化进程加快,拉萨市城区中高层住宅数量不断攀升,建筑密度持续增加,高密度建筑群带来的建筑相互遮挡、太阳能利用条件受限等问题凸显。众多研究学者针对高密度建筑群的间距做了大量研究。孟庆凯^[2]研究了山东地区高层住宅形态、平面布局对日照间距的影响并提出了相应优化策略。袁磊^[3]从居住区规划布局和

住宅单体设计两个方面概述了改善日照环境,提高住宅容积率的常用方法,并对其适用的范围和所能达到的效果进行了分析。李京津^[4]研究了城市高层建筑群日照情况并基于“日照适应性”提出了城市日照间距优化方法。

同时,研究学者关于高密度建筑群引起的日射得热影响也做了大量研究。张洁等^[5]运用eQuest能耗模拟软件对上海地区高层建筑群日射得热的模拟分析,研究了建筑群间距对日射得热的影响。Redweik等^[6]采用LIDAR获取的DSM模型和气候观测的太阳辐射模型来计算地面、屋

收稿日期: 2020-10-26

修改稿日期: 2021-03-20

基金项目: 十三五科技国家重点研发计划项目(2016YFC0700208)

第一作者: 张 昊(1995—),男,硕士生,主要研究绿色建筑设计。E-mail: 18709261121@163.com

通信作者: 陈景衡(1975—),女,博士,教授,主要研究方向为地域绿色建筑设计和城市设计,城市高层综合体。E-mail: chenjingheng@qq.com

顶和立面的间隔距离为 1 m、间隔时间为 1 h 的太阳直射与散射辐射量. Kanters 等^[7]利用 Ecotect 软件研究瑞典城市街区布局形态与年度太阳能产量之间的关系, 结果发现街道设计的形态类型对太阳能接收的影响可达到 50%, 同时指出相邻建筑之间的相互遮挡对太阳能的接收效果将会发生限制作用.

基于此, 本文以拉萨地区为例, 研究了新型城镇化快速发展下, 拉萨地区高密度建筑群最佳布局模式, 并分析在该布局模式下, 不同日照间距, 建筑太阳能有效得热量, 进而揭示日照间距与建筑能耗之间的定量影响关系, 为拉萨地区住宅建筑群布局模式、日照间距优化、太阳能利用提供依据.

1 理论分析

1.1 日照间距计算

日照间距是日照标准的一种简化表达式, 指建筑存在日照遮挡情况下满足规范建筑之间需要保持的距离. 以南北行列式住宅为例, 如图 1 所示, 其计算公式如下.

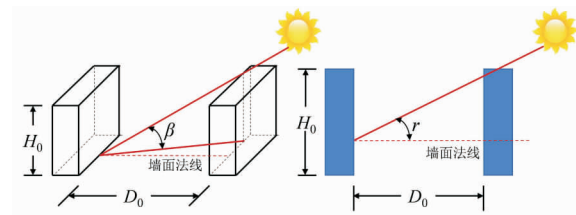


图 1 日照间距分析示意

Fig. 1 Analysis of sunshine distance

$$D_0 = H_0 \operatorname{ctg} \beta \cos \gamma \quad (1)$$

式中: D_0 为建筑间距, m; H_0 为遮挡建筑物的计算高度(一般为北侧檐口高度), m; β 为太阳高度角, °; γ 为建筑方位与太阳方位的水平夹角, °.

1.2 建筑能耗强度计算

建筑能耗即建筑耗热量, 包括外窗、非透明围护结构(墙体、门)和冷风渗透等组成.

$$Q = Q_{win} + Q_{non} + Q_{wind} \quad (2)$$

式中: Q 为建筑耗热量, W; Q_{win} 为外窗耗热量, W; Q_{non} 为非透明围护结构耗热量, W; Q_{wind} 为冷风渗透耗热量, W.

1.2.1 外窗耗热量计算

外窗即使得热部件, 也是失热部件. 得热量由昼间太阳辐射引起, 而失热量由室内外温差引起.

$$Q_{win} = Q_{win,g} - Q_{win,l} \quad (3)$$

式中: $Q_{win,g}$ 为外窗得热量, W; $Q_{win,l}$ 为失热量, W. 太阳辐射透过透明玻璃窗进入室内, 得热量可以表示为

$$Q_{win,g} = IS_c \tau F_{win} \quad (4)$$

式中: Q_g 为外窗得热量, W; I 为进入室内的平均太阳辐射强度, W/m^2 ; S_c 为遮阳系数; τ 为玻璃透过率, 单层、双层窗分别取 0.89 和 0.80^[8]; F 为窗户面积, m^2 . 通过窗户的失热量可以表示为

$$Q_{win,l} = K_{win} F_{win} (t_n - t_w) \quad (5)$$

式中: Q_l 为外窗失热量, W; K_w 为外窗传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; t_n 为室内设计温度, °C; t_w 为室外温度, °C.

1.2.2 非透明围护结构耗热量计算

$$Q_{non} = K_{non} F_{non} (t_n - t_z) \quad (6)$$

式中: K_{non} 为非透明围护结构传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; t_z 为综合温度, °C.

1.2.3 冷风渗透耗热量计算

$$Q_{wind} = LC_p \rho (t_n - t_w) \quad (7)$$

式中: L 为空气渗透率, kg/s ; C_p 为空气比热, $kJ/(kg \cdot K)$; ρ 为空气密度, kg/m^3 .

2 拉萨市典型住区布局

参考《拉萨市城市总体规划(2009-2020)》中划定的 15 个居住片区, 在各个居住片区中选取 50 个建筑类型为多层和高层的住区, 对这些住区的现状情况进行调研, 重点调研住区的建筑类型、建筑层数、布局模式、建筑间距等数据进行汇总, 图 2 是拉萨住区调研分布图.

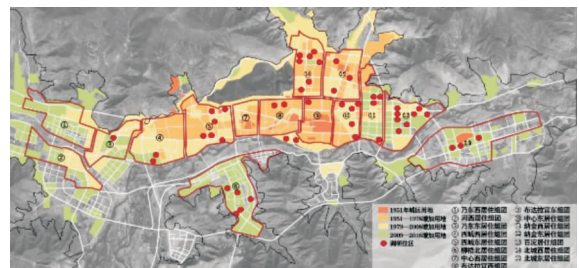


图 2 拉萨调研住区分布图

Fig. 2 Distribution map of Lhasa residential area

图 3 是拉萨市住区布局模式调研结果统计. 通过对住区布局模式的统计分析, 可以发现拉萨城市集合住区主要的布局模式有行列式布局、围合式布局和混合式布局三种, 其中行列式布局根据其布局特点又可以细分为平行行列式布局、横向

错位行列式布局、纵向错位行列式布局以及混合错位行列式布局. 由图 3 可知, 行列式布局是拉萨市最为常见的布局模式, 占调研住区总数的 88%. 这主要是因为拉萨位于寒冷地区, 冬季需要充分利用太阳辐射进行被动式采暖, 行列式布局不具备明显的遮挡效果, 相较于围合式、散点式、混合式等其他布局模式, 行列式住区能更有效的利用太阳辐射^[9], 因此本研究选取行列式布局的小区作为研究对象.

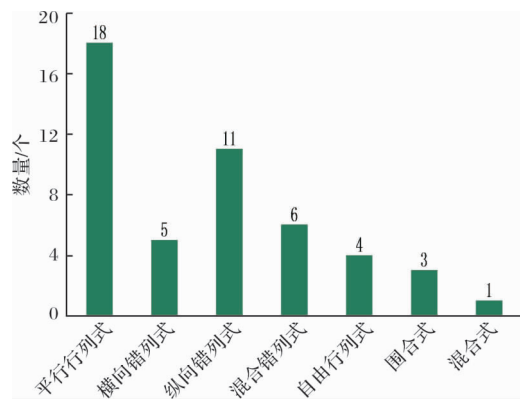


图 3 拉萨调研住区布局模式统计图

Fig. 3 Statistical chart of residential layout pattern in Lhasa
平行行列式、横向错位行列式、纵向错位行列式以及混合错位行列式布局如图 4 所示, 以四种典型行列式为研究对象, 分析拉萨市最佳建筑群布局模式及建筑日照间距对建筑能耗的定量影响关系.

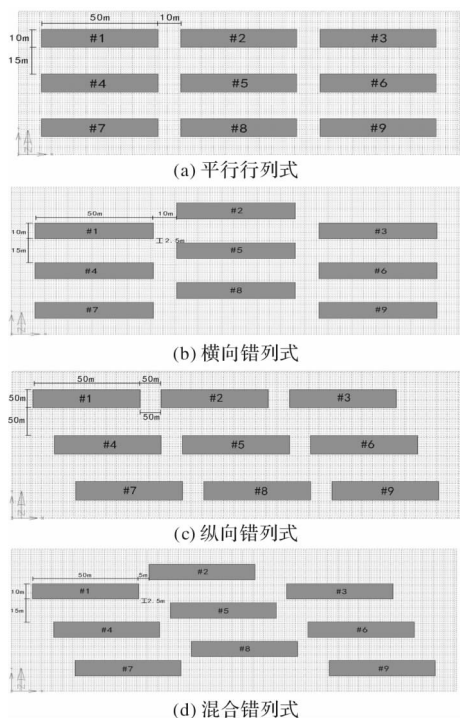


图 4 拉萨市行列式典型布局模型

Fig. 4 Typical layout model of Lhasa

建筑平面布置图如图 5. 卫生间和厨房不供暖, 供暖面积为 1 337 m². 北向房间窗墙比取 0.3, 南向房间窗墙比取 0.6, 外墙、屋面、地面传热系数分别取 0.50 W/(m² · K)、0.40 W/(m² · K)、1.10 W/(m² · K). 采用 Eco-tect 分析不同建筑群布局模式及日照间距对太阳辐射入射量及日照时间的影响规律, 采用 Energy-plus 分析日照间距对建筑能耗的影响.

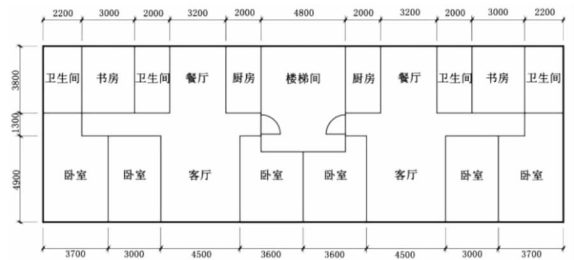


图 5 拉萨典型建筑平面布局图

Fig. 5 Layout plan of typical buildings in Lhasa

3 结果分析

3.1 建筑群最优布局分析

表 1 是不同朝向平均太阳辐射入射量. 总体来看, 混合错位行列式平均太阳辐射入射量最小, 且东立面的太阳辐射平均值要高于西立面. 这是由于混合错列式布局形式复杂, 同时存在横向错纵和纵向错纵, 建筑之间容易形成复杂的遮挡关系, 且对住宅西立面有一定影响. 纵向错列式各朝向太阳辐射入射量均在四种布局模式中呈现最大值, 主要是因为纵向错列式在横向和纵向方位都形成了间隙, 降低了建筑之间的遮挡. 横向错位行列式虽平均太阳辐射入射量高于平行行列式, 但是南北辐射量明显偏低, 说明横向错位式住宅的错纵关系不利于建筑太阳辐射利用.

表 1 不同朝向平均太阳辐射入射量

Tab. 1 Average solar radiation incidence at different orientations

朝向	太阳辐射入射量/kWh			
	平行	横向错位	纵向错位	混合错位
东	214.3	230.7	257.2	212.0
南	396.9	396.4	399.1	399.7
西	228.5	237.2	268.5	205.1
北	56.8	56.7	56.9	56.9
平均	224.1	230.3	245.4	218.4

比较不同布局模式住区太阳辐射获得量,应同时考虑住区内各住宅楼获得太阳辐射的均匀性。表 2 是四种行列式南立面太阳辐射量入射量变化幅度。虽然混合错列式太阳辐射入射量相比其他四种均匀性最好,但是其入射量偏小,不利于太阳辐射利用。而纵向错列式太阳辐射量最高,但同时不均匀性也最强,不同建筑之间太阳能利用差异较大。总体来看,平行行列式太阳辐射入射量及均匀性在四种行列式中都较高,推荐优先采用的建筑群布局模式。

表 2 南立面太阳辐射获得量变化幅度分析

Tab. 2 Analysis of variation range of solar radiation gain in South facade

布局模式	最大辐射 /kWh	最小辐射 /kWh	变化幅度/%
平行行列式	408.2	392.5	3.83
横向错列式	408.8	389.8	4.67
纵向错列式	408.8	391.4	4.27
混合错列式	408.8	394.0	3.63

3.2 建筑群最优朝向分析

以平行行列式建筑群为例,不同朝向下(正南方向为 0°)建筑群南立面采暖季平均太阳辐射入射量及相对南立面太阳辐射变化率如图 6 所示。



图 6 住区各布局朝向太阳辐射均值

Fig. 6 Average solar radiation from each layout of residential area

由图可以看出,随着偏转角度的增大,南偏东朝向的多层平行行列式住区太阳辐射获得量相较于正南朝向,分别增加(降低)1.3%、0.3%、-7.14%、-20.12%、-35.77%、-42.93%,南偏西朝向多层平行行列式住区太阳辐射获得量相较于正南朝向,分别增加(降低)-1.02%、-1.75%、-3.62%、-11.57%、-26.39%、

-40.46%。住宅朝向为 15° 时,住区太阳辐射获得量最大。因此,拉萨平行行列式多层住区最利于太阳辐射利用的布局朝向为南偏东 15° 。

3.3 建筑高度对日照时间的影响

不同最小日照时间下,不同楼层高度(每层高度为 3 m)的建筑与日照间距之间的变化规律如图 7 所示。从图中可以看出,当楼层小于 5 层(15 m),随着建筑高度的增加,日照间距增加较为平缓。楼层每增加一层,平均日照间距增加 3.5 m。而对于 5 层以上建筑,当最小日照时间在 1~3 h 时,日照间距随建筑高度增加缓慢上升,平均每增加一层,建筑间距增大 1.02 m。当最小日照时间大于 3 h,日照间距随建筑高度急剧增加,平均每增加一层,建筑间距增大 3.80 m。

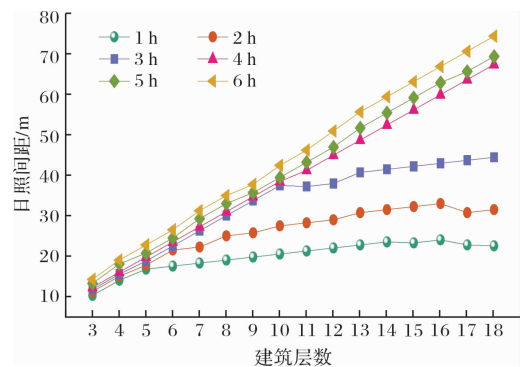


图 7 不同日照时间下建筑高度与日照间距变化

Fig. 7 Variation of building height and sunshine distance under different sunshine time

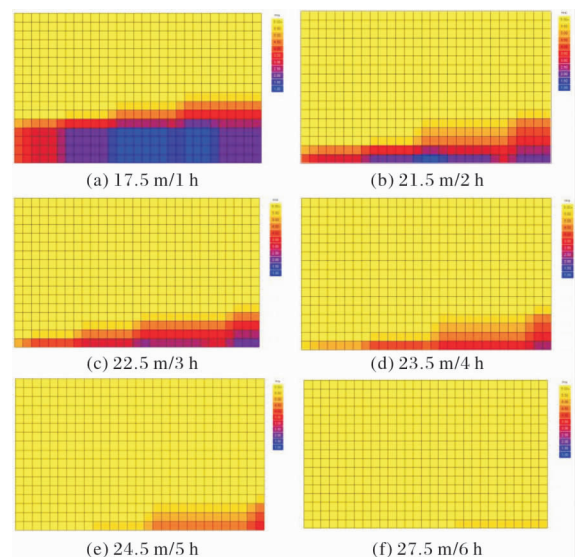


图 8 不同日照间距下日照时间分布图

Fig. 8 Sunshine duration distribution under different sunshine spacing

以六层建筑为例,不同日照间距下建筑日照

时间分布图, 分别对应最小日照时间 1 h、2 h、3 h、4 h、5 h、6 h, 如图 8 所示. 从图中可以看出, 当最小日照时间从 1 h 到 6 h 之间变化时, 一层平均日照时间分别为 1.25 h、3.00 h、3.72 h、4.43 h、5.36 h、5.66 h, 二层平均日照时间分别为 3.06 h、5.52 h、5.75 h、5.78 h、5.98 h、6.00 h, 三层及以上几乎无遮挡, 平均日照时间为 6.00 h. 可见, 日照间距对一层日照时间影响较大, 对三层及以上几乎无影响, 当最小日照时间大于 2 h, 即日照间距大于 21.5 m 时, 日照间距对于二层也几乎无影响.

3.4 日照间距对建筑能耗的影响

由上述分析可知, 三层及以上日照时间随日照间距增大不变. 因此, 以 1~3 层能耗为例分析, 图 9 是该建筑 1~3 层不同日照间距下, 各层建筑能耗变化图.

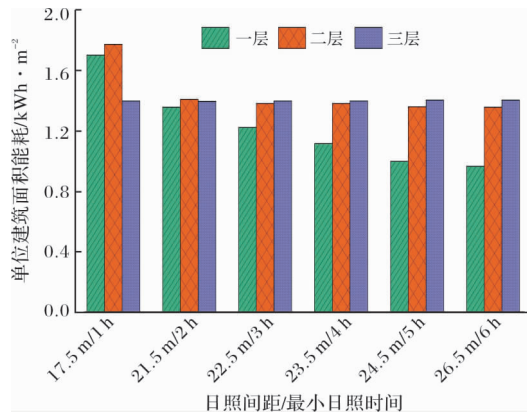


图 9 不同日照间距下建筑能耗变化

Fig. 9 Changes of building energy consumption under different sunshine spacing

由图可知, 随着日照间距增大, 一层建筑能耗急剧降低, 从 1.70 kWh/m^2 降低至 0.97 kWh/m^2 , 降低幅度达 43%, 其中当最小日照间距从 17.5 m(1 h)增大至 21.5 m(6 h), 建筑能耗降低速率最大, 降低了 20.4% (0.35 kWh/m^2). 二层建筑变化相对较小, 由 1.77 kWh/m^2 降低至 1.56 kWh/m^2 , 降低幅度达 23.5%, 其中, 当最小日照间距其中当最小日照间距从 17.5 m 增大至 21.5 m, 建筑能耗降低速率最大, 降低了 20.5% (0.36 kWh/m^2).

图 10 是不同日照间距下, 1~2 层不同窗墙面积比与建筑能耗变化图. 总体来看, 随着窗墙面积比增大, 建筑能耗持续降低, 当最小窗墙面积比从 0.3 增大到 0.9 时, 一层建筑能耗平均降低

72.6%, 二层建筑能耗平均降低 78.3%. 当窗墙面积比大于 0.6, 一层和二层建筑能耗降低趋势相对较平缓. 当最小日照间距大于 21.5 m, 一层建筑能耗降低趋势较平缓, 而二层建筑能耗几乎不再降低.

因此, 拉萨地区推荐窗墙比面积应不大于 0.6, 虽然继续增大窗墙面积比, 可降低建筑能耗, 但效果不明显. 对于一层和二层建筑能耗占比较大的低层建筑(建筑层数小于等于 4), 最小日照时间应大于等于 2 h. 当建筑层数大于等于 5 层时, 此时一层和二层建筑能耗占总建筑能耗较小, 为节约用地面积, 可采用最小日照间距, 即满足大寒日底层最小日照时间为 1 h.

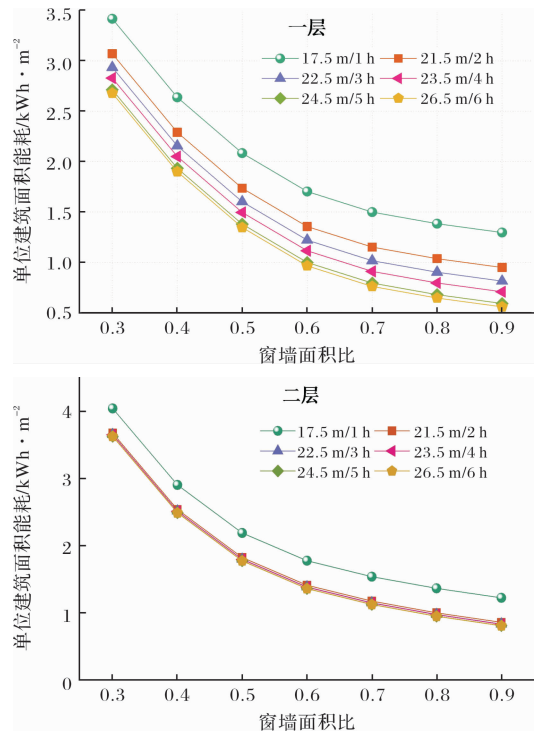


图 10 不同窗墙面积比建筑能耗变化

Fig. 10 Changes of building energy consumption with different window wall area ratio

3.5 拉萨地区建筑群最优布局

通过以上模拟分析, 研究了拉萨城市典型住区布局模式和日照间距对住区整体太阳辐射入射量和建筑能耗的定量影响关系, 得出了基于太阳能利用的最优布局模式和设计要素, 如表 3.

表 3 拉萨建筑群最优布局

Tab. 3 Optimal layout of Lhasa building complex

最优布局模式	最小日照时间	建筑群朝向	窗墙面积比
平行行列式	$1 \sim 4 \text{ F} \geq 2 \text{ h}$ $> 4 \text{ F} \geq 1 \text{ h}$	南偏东 15°	0.6

4 结论

本文以拉萨地区为例,研究了建筑日照间距与建筑能耗之间的定量影响关系,得到如下结论:

(1)综合考虑建筑群太阳辐射入射量及太阳辐射均匀性,拉萨市建筑群最佳布局模式为平行行列式、朝向为南偏东 15° 。

(2)在满足最小日照时间下,三层及以上无遮挡,其日照时间始终接近于最大日照时间;当最小日照时间大于2 h,二层日照时间也趋近于最大日照时间。

(3)当最小日照时间从1 h增大到2 h,一层建筑能耗平均降低20.4%,二层建筑能耗平均降低20.5%。当最小日照时间大于2 h,建筑能耗变化较小。因此,推荐拉萨地区建筑日照时间为2 h。但当一层和二层建筑能耗占总建筑能耗比例较小时(建筑层数大于5),为节约用地面积,可采用1 h最小日照时间。

(4)随窗墙面积比增大,建筑能耗持续降低,当窗墙面积比大于0.6,建筑能耗降低趋势相对较为平缓,因此,推荐窗墙面积比为0.6。

参考文献 References

- [1] 刘艳峰,刘加平,杨柳,等.拉萨地区被动太阳能传统民居测试研究[J].太阳能学报,2008,29(4):391-394.
LIU Yanfeng, LIU Jiaping, YANG Liu, et al. Measyreing study of passive solar house for traditional dewlling building in Lhasa area[J]. ACTA Energiae Solaris Sinica, 2008, 29(4):391-394.
- [2] 孟庆凯.山东地区高层住宅日照优化设计研究[D].济南:山东建筑大学,2016.
MENG Qingkai. Optimized design of High-rise resi-

dential sunlight in Shandong [D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2016.

- [3] 袁磊,李冰瑶.住区布局多目标自动寻优的模拟方法[J].深圳大学学报(理工版),2018,35(1):78-84.
YUAN Lei, LI Bingyao. A multi-objective auto-optimizing simulation method of residential layout design [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2018, 35(1):78-84.
- [4] 李京津.基于“日照适应性”的城市设计理论和方法[D].南京:东南大学,2018.
LI Jingjin. A theory and method of “solar adaptive” urban design[D]. Nanjing:Southeast University, 2018.
- [5] 张洁,龙惟定.区域建筑群间距对日射得热的影响研究[J].建筑科学,2010,26(12):84-87,110.
ZHANG Jie, LONG Weiding. Analysis on Influences of building interval on solar heat gain in regional buildings[J]. Building Science, 2010, 26(12):84-87,110.
- [6] REDWEIK P, CATITA C, BRITO M. Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape [J]. Solar Energy, 2013(97):332-341.
- [7] KANTERS Jouri, WALL Maria, DUBOIS Marie-Claude. Typical values for active solar energy in urban planning[J]. Energy Procedia, 2014(48):1607-1616.
- [8] 陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
LU Yaoqing. Practical heating and air conditioning design manual[M]. Beijing:China Architecture & Building Press, 2008.
- [9] 袁永东.不同建筑布局对室外热环境的影响及节能效果分析[D].上海:东华大学,2011.
YUAN Yongdong. Effects of building layout structures on the thermal environment near buildings and the analysis of building energy saving [D]. Shanghai: Donghua University, 2011.

(编辑 桂智刚)