

# 西藏高原低能耗建筑设计关键技术研究与应用

刘加平<sup>1</sup>, 杨柳<sup>1</sup>, 刘艳峰<sup>1</sup>, 田国民<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学, 西安 710055; 2. 住房和城乡建设部, 北京 100835)

[摘要] 针对西藏高原地区城乡居住建筑环境质量差、常规能源缺乏的现状,通过对城乡居住建筑的大规模实地勘察、对建筑物物理环境和能耗等指标的详细测算以及对城镇居住建筑和传统民居基本模式的综合分析,提出了适合西藏高原自然气候条件和社会经济背景的低能耗建筑设计的基本理论、方法及其关键技术问题。研发了低能耗建筑设计基本气象参数数据,创作出以太阳能综合利用为核心技术、适合当地民族文化和经济社会发展状况的城镇节能居住建筑体系和新型乡村生态民居建筑并建成示范工程,在满足基本热舒适条件下,同时保证了居住建筑的采暖和空调的超低能耗。编制了西藏地区建筑节能设计相关标准和图集,推动了当地建筑节能行业的整体进步。研究成果对于西部其他地区亦具有借鉴意义。

[关键词] 西藏高原;建筑节能;太阳能利用;居住建筑;低能耗建筑

[中图分类号] TU111 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)10-0040-07

## 1 前言

研究发展地域低能耗建筑,控制建筑能耗增长速度,是我国社会可持续发展的重大需求。建筑的低能耗属性取决于建筑物的热工特性,即建筑物在室外气候、太阳辐射和室内人为热作用下的热反应特性,其优劣决定于建筑物的形体、平面与空间模式、建筑材料和构造体系等,是由建筑师在设计创作阶段完成的。多年来国内外的建筑节能研究,关注的热点和取得的成果,主要集中在现代建筑模式下单项节能技术的提升和研发,包括高效的建筑用能技术、围护结构保温隔热技术等。而在结合地域气候、经济技术水平和建筑文化特点,综合研究地域性低能耗建筑模式及应用方面,鲜有创新性成果。

西藏高原是青藏高原的主体部分,地域广阔、人口稀少、地形复杂、层峦叠嶂,平均海拔超过4 000 m。自2004年起,西藏被划归为采暖区,但随之而来的问题是:在一个常规能源极度匮乏的地区,对于大量民用建筑,采暖系统如何选择?假如执行已有设计标准,遍地建设锅炉房,将会使得建筑成本

和污染物排放大幅度增加,对地区的环境和生态产生极其不利的影 响。而且,西藏高原常规能源极其匮乏,煤炭、石油及天然气资源的储藏量近乎为零。如果从内地转送常规能源,由于距离遥远,交通不便,其成本必定极其高昂。

西藏高原具有独特的气候和太阳辐射条件。这里常年气压低,干旱少雨,日平均温度偏低,气温日较差较大,但气温年较差则较小。这意味着冬季的采暖期很长,但每日的采暖负荷并不很高,而且夏季不需要空调。西藏高原又是我国太阳辐射能资源最富集的地区。这里空气稀薄,大气透明度高;曇天日数少,日照6 h以上的年平均天数275~300 d,年辐射总量可达7 000~8 400 MJ/m<sup>2</sup>[1]。可以说,西藏高原地区是我国发展被动式太阳能采暖最为便利的地区。

2007年以前,西藏没有适合本地区的建筑设计标准体系,城镇建筑设计、建筑热工与节能设计基本上参照原西南地区建筑设计标准,因而城镇居住建筑基本上沿袭了内地城镇的发展模式,建筑体型、单元平面、户均面积等与内地同期住宅基本相似,建筑

[收稿日期] 2011-08-15

[基金项目] 国家自然科学基金创新研究群体基金(50921005)

[作者简介] 刘加平(1956—),男,陕西大荔县人,西安建筑科技大学教授,主要从事绿色建筑研究;E-mail: liujiaping@xauat.edu.cn

外墙构造多为 240 实心砖或灰沙砖墙,外窗多为单层玻璃窗加保温窗帘。在漫长的冬季,多数城镇建筑不设常规采暖系统,在太阳辐射的直接热作用下,南向房间虽然日波动值超过 20℃,但平均温度值能接近人体可容忍的热环境区间,而北向房间普遍寒冷,无法使用。

针对西藏高原城乡居住环境质量差、常规能源短缺、区域偏远、交通不便、经济技术发展相对滞后等现状和问题,文章以西藏高原居住建筑为研究对象,利用当地太阳辐射等自然能源丰富、冬季平均气温和采暖度日值较同纬度采暖区城市偏高的独特气候特点,系统地从居住建筑形态、空间组织、构造体系、技术集成、太阳能等可再生能源利用的途径等方面提出提高该地区居住建筑热环境质量和创作该地区低能耗建筑的设计方法和关键技术,实现大幅度地减少居住建筑能耗,为提高西部边远地区建筑环境的质量和节能水平贡献力量。

## 2 低能耗建筑设计基本原理

建筑能耗源于人对建筑热环境的需求。当室外气温变化造成建筑室内热环境达不到人体热舒适的基本需求时,需要通过采暖或空调设备手段给建筑室内补充热量或冷量,建筑采暖与空调能耗由此而产生。影响建筑采暖和空调能耗高低的直接因素包括:室外气象条件、室内热环境设计标准、建筑物的热工性能和采暖、空调设备的能效指标,其中,建筑物的热工性能是决定因素。以采暖能耗为例,单位建筑面积采暖期的耗热量指标  $q_H$  可由下式确定<sup>[2]</sup>:

$$q_H = q_{HT} + q_{INF} - q_{IH} = (t_{in} - t_e) \left[ \left( \sum \varepsilon_i K_i F_i \right) / A_0 + (C_a \rho N V) / A_0 \right] - 3.8 \quad (1)$$

式(1)中,  $q_H$  为建筑物耗热量指标,  $W/m^2$ ;  $q_{HT}$  为折合到单位建筑面积上单位时间内通过围护结构的传热量,  $W/m^2$ ;  $q_{INF}$  为折合到单位建筑面积上单位时间内建筑物空气渗透耗热量,  $W/m^2$ ;  $q_{IH}$  为折合到单位建筑面积上单位时间内建筑物内部的热量,取  $3.8 W/m^2$ 。

$q_{HT} = (t_{in} - t_e) \left( \sum \varepsilon_i K_i F_i \right) / A_0$ , 其中  $t_{in}$  为室内计算温度,℃;  $t_e$  为采暖期室外平均温度,℃;  $\varepsilon_i$  为外墙传热系数的修正系数,与太阳辐射量、建筑形体、朝向和建筑表面热物理性能有关;  $K_i$  为外墙平均传热系数,  $W/m^2 \cdot K$ ;  $F_i$  为外墙的面积,  $m^2$ ;  $A_0$  为

建筑面积,  $m^2$ 。

$q_{INF} = (t_{in} - t_e) (C_a \rho N V) / A_0$ , 其中  $C_a$  为空气的比热容,  $(W \cdot h) / (kg \cdot K)$ ;  $\rho$  为空气的密度,  $kg/m^3$ ;  $N$  为换气次数,  $h^{-1}$ ;  $V$  为换气体积,  $m^3$ 。

可以看出,建筑能耗不但与围护结构的保温性能优劣有关,而且与建筑物空间组织、平面布局、立面形式和细部构造等建筑设计全过程密切相关,同时也需要准确的室内热环境和室外气候设计参数。巧妙地将建筑空间、形体和构造与地域气候有机结合,方可创作设计出低能耗建筑。研究发展与地域自然条件和社会文化背景相适应的低能耗建筑,需要建立相应的建筑节能设计理论和方法体系。为此,必须研究解决以下基础科学问题和关键技术:

- 室外气候参数和太阳辐射参数的地域分布和确定方法。
- 低能耗建筑设计热工设计原理和方法。
- 适宜的地方低能耗建筑节能设计标准与规范。
- 低能耗建筑创作和示范。

## 3 西藏低能耗建筑设计关键技术研究

### 3.1 西藏室外气象参数及太阳辐射数据

西藏高原地区的建筑节能以太阳能利用为主,准确可靠的气象数据是建筑节能设计的首要因素。因此,有必要对西藏高原主要城市和地区的气象资料和太阳辐射资料进行整编分析,建立服务于建筑节能设计的西藏高原典型地区的基础建筑气候数据库和太阳辐射数据库。文章首先利用西藏自治区 28 个气象台站年均日总辐射和日晴空指数,运用聚类分析方法建立了西藏自治区太阳辐射分区,给出了可利用太阳能资源分布状况。分区结果如图 1 和表 1 所示。另外,还利用西藏 28 个气象台站 1976—2005 年的辐射数据,通过对 30 年年均日室外气温进行分析得到了西藏 7 个地区采暖期计算温度和采暖度日数,确定了西藏各地区建筑采暖设计的室外气象计算参数,并在此基础上建立了拉萨标准气象年(TMY)数据库,为西藏节能设计标准和采暖设计标准的编制提供了数据支持。

其次,采用典型年数据,分别拟合出了采暖季阴天、多云、少云和晴天四种天气状况下室外温度和太阳辐射波动的关系式,为太阳能采暖建筑动态负荷解析分析提供了基础气象数据。室外温度和太阳辐射的拟合式分别为:



图1 西藏自治区太阳辐射分区图

Fig.1 Solar energy distribution of Tibet autonomous region

表1 部分气象台站太阳辐射总辐射和晴空指数信息

Table 1 Total solar radiation and clearness index about part of the meteorological stations

台站号	台站名	纬度	经度	30年年均 日总辐射量 /(MJ·m <sup>-2</sup> )	30年年均 日均晴空 指数
55294	安多	32.21	91.06	17.06	0.57
55299	那曲	31.29	92.04	16.64	0.55
55578	日喀则	29.15	88.53	20.49	0.66
55591	拉萨	29.43	91.02	19.60	0.63
55664	定日	28.38	87.05	21.36	0.68
55690	错那	27.59	91.57	18.10	0.58
56137	昌都	31.09	97.10	16.64	0.54
56312	林芝	29.40	94.20	14.31	0.46

$$t_w(\tau) = \bar{t}_w + A_w \sin\left(\frac{\pi(\tau - \tau_0)}{w_l}\right) \quad (2)$$

$$I(\tau) = I_0 + \frac{2A_I}{\pi} \frac{w_l}{4(\tau - \tau_c)^2 + w_l^2} \quad (3)$$

式(2)中,  $t_w(\tau)$ 、 $\bar{t}_w$  为室外瞬时温度、不同天气状况下室外平均温度, °C;  $A_w$  为平均日较差, °C;  $\tau_0$  为温度最低时对应的时刻, h;  $w_l$  为室外空气温度波的半周期, 室外空气温度以 24 h 为周期波动, 通常  $w_l = 12$  h。式(3)中,  $I(\tau)$ 、 $I_0$  为瞬时太阳辐射总辐射强度、太阳辐射拟合常数, W/m<sup>2</sup>;  $A_I$  为太阳辐射强度变化规律曲线与  $I = 0$  直线间的面积, W·h/m<sup>2</sup>;  $w_l$  为  $I_{\max}/2$  时对应的辐射波波宽, h;  $\tau_c$  为太阳辐射强度最大时对应的的时间, h。

以拟合函数为基础进行热负荷动态方法计算, 可比较真实地反映建筑的实际耗热量, 为采暖系统运行调节节能提供了依据。

### 3.2 低能耗建筑热工设计原理和方法

国内外现行规范中普遍运用建筑围护结构“等传热系数”热工设计方法, 即不同朝向墙体的传热系数取值相同。试验和模拟研究发现, 在西部太阳能富集地区, 按照等传热系数法设计的建筑物, 冬季北向热损失明显偏大, 室内辐射温度场极不均匀, 南北向墙体内表面温差最大可达 10 °C 以上。在太阳能富集地区, 南向窗户和墙体是利用太阳辐射热能的集热部件, 而北向是纯粹的失热部件, 其保温性能和蓄热性能指标应该有所不同。

为此, 文章提出了太阳能建筑围护结构“等热流”热工设计原理, 建立了以各朝向围护结构相等失热热流为依据来计算确定不同朝向围护结构热工性能指标的设计方法:

$$q_s = q_N = q_E = q_W = q = (t_i - t_{je})K_j \quad (4)$$

式(4)中,  $q_s$ 、 $q_N$ 、 $q_E$  和  $q_W$  分别为各朝向外墙传热热流强度;  $t_{je}$  为各朝向室外综合温度;  $t_i$  为室内设计计算温度。由此得到各个朝向墙体的传热系数:

$$K_j = \frac{q}{(t_i - t_{je})} \text{ 且 } K_s > K_E(K_W) > K_N \quad (5)$$

从上述关系式可以看出, 运用这种方法, 不同朝向应采用不同的传热系数, 其中北向应最小, 保温性能最好; 南向围护结构传热系数限值可适度放宽。依据相同原理, 可以进一步研究太阳能富集地区不同朝向开窗率的确定方法。这种方法解决了西部太阳能富集地区室内长波辐射场不均匀、太阳能利用率低、北向房间能耗偏高等问题, 已在西藏自治区建筑节能设计标准中应用, 并被国家标准《民用建筑热工设计规范》等所引用。

### 3.3 高海拔地区建筑表面对流换热系数

高海拔地区的低气压条件导致气流密度偏低, 会引起建筑表面对流换热系数的变化。运用对流换热相似原理和量纲分析法发现, 气压对表面对流换热系数的影响, 实乃流体密度变化的结果; 试验研究发现, 当气压变化时, 表面对流换热系数与气压的  $n$  次方成正比 ( $n = 1/2, 4/5, 2/3$ , 因对流换热的类型和边界层状况不同而取不同的值), 即:

$$\bar{h}_L \propto p^n \quad (6)$$

式(6)中,  $\bar{h}_L$  为平均对流换热系数;  $p$  为大气压力。以木村建一 (Kimura) 和克莱姆斯 (Klems) 的 MoWiTT 模型为基础, 测试了西藏高原室内静风状

态下的对流换热系数,将测试结果进行拟合分析,如图2和式(7)所示。研究表明:在4 700~3 400 m,随海拔降低(气压升高),表面对流换热系数增大,为4.5~10.5 (W/m<sup>2</sup>)·K。

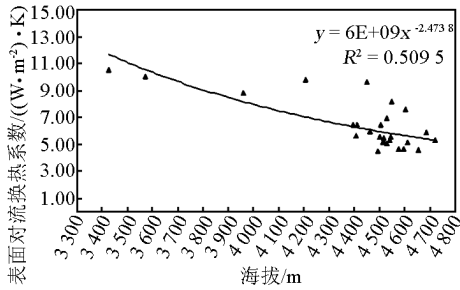


图2 海拔高度与表面对流换热系数关系图  
Fig. 2 The relationship between altitude and surface heat convection coefficient

$$\bar{h}_L = 95e^{(0.4777 \ln \frac{p}{p_0})} = 95 \left( \frac{p}{p_0} \right)^{0.4777} \quad (7)$$

式(7)中,  $p_0$  为标准大气压力,  $1.01 \times 10^5$  Pa。

#### 4 西藏自治区建筑节能设计标准体系

大力发展太阳能采暖是解决西藏地区建筑采暖问题的理想途径。文章根据西藏地区建筑设计、施工和材料等技术条件,结合地区自然地理条件和社会文化背景,通过对西藏自治区气象参数、太阳辐射资源、商品能源结构的调查研究与数据分析,以国家标准<sup>[2,3]</sup>为基础分别编制了《西藏自治区居住建筑节能设计标准》和《西藏自治区民用建筑采暖设计标准》,确定了以被动太阳能利用为主,结合主动式采暖系统改善当地建筑热环境的建筑节能思路,突出强调了太阳能在建筑中的应用。前者主要通过建筑外围护结构保温、被动太阳能利用改善室内热环境,降低采暖负荷;后者以主动太阳能热水采暖补充前者的不足部分,解决建筑夜间温度过低的问题。两部标准于2008年6月颁布实施,与之配套使用的《西藏自治区居住建筑节能设计构造图集》于2009年12月推行。

##### 4.1 西藏自治区居住建筑节能设计标准

西藏自治区地方标准《居住建筑节能设计标准(DB54/0016-2007)》<sup>[4]</sup>(以下简称《节能标准》)中,提出西藏地区适宜的采暖方式为被动式太阳能采暖与主动式采暖相结合的方式,确定了西藏自治区各地建筑的节能目标、围护结构限值以及性能评价方法等关键问题。

通过对节能率和建筑单方造价的统计发现,在西藏地区当建筑节能率达到55%时,随着造价的增加,节能率增加的趋势变缓。以此为基础,在保证室内热环境舒适健康的条件下,同时考虑到西藏各地太阳辐射及采暖期室外平均温度的差异,设定了建筑的辅助能耗量与20世纪80年代初设计建成的通用建筑相比减少55%~60%的节能目标。具体来说,对西藏的大部分地区,本标准将节能标准设定为60%,而对藏北气候异常寒冷的地区,节能率定为55%。据此原则得到的各地的辅助耗热量指标如表2所示。

表2 西藏地区典型城市住宅建筑的耗热量指标

Table 2 Energy consumption indexes of residential buildings for typical city in Tibet

城市名称	采暖期室外平均温度/℃	辐射度日比	1980年耗热量指标 /(W·m <sup>-2</sup> )	辅助耗热量指标 /(W·m <sup>-2</sup> )
拉萨	1.0	7.3	40.0	16.0
林芝	2.3	6.6	43.5	17.4
左贡	-1.4	4.2	48.3	19.3
定日	-2.4	4.7	47.8	19.1
错那	-3.5	3.3	50.2	22.6
那曲	-5.0	2.7	48.4	21.8
安多	-5.9	2.5	46.0	20.7

本标准定义了一个新的参数——辐射度日比(太阳辐射量与采暖期度日数的比值)作为评价西藏各地室外气候状况的指标。这是因为在研究过程中发现,被动式太阳能采暖建筑的辅助耗热量不仅与室内外温差密切相关,同时也与太阳能的热量有很大关系,通过拟合分析发现,相比较室外空气温度,辐射度日比与各地建筑物的耗热量之间有更好的相关性,如图3所示。也就是说,采用这个指标比单纯运用室外气温作为衡量指标更加科学合理。

设计过程中,建筑节能性能采用两种方法来评价,一种是规定性方法,另一种是性能化方法。

在规定性方法中,《节能标准》给出了3条强制性条文:a. 规定了建筑的日照间距应至少保证冬至日正午前后有2h的日照时间。这个规定是综合考虑争取太阳辐射量与当地的用地紧张情况后确定的,稍大于国家相关标准的规定<sup>[5]</sup>。b. 规定了住宅建筑的窗墙面积比系数值,如表3所示。经分析得出,在西藏大部分地区随着南向窗口面积的增大,南向太阳辐射得热大于失热量,而其他朝向窗口面积

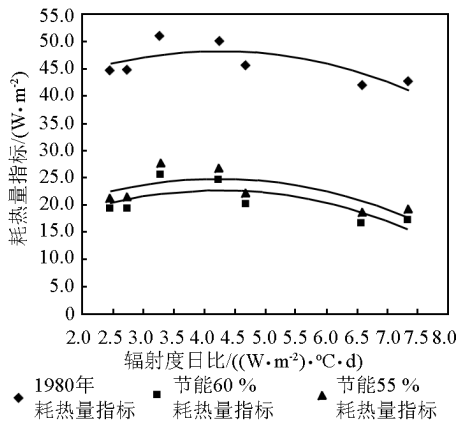


图3 耗热量指标与辐射度日比的回归关系图  
**Fig. 3 The correlation relationship between heat consumption indexes and the ratio of radiation to degree-day**

的大小与失热量成正比。因此,《节能标准》中给出的窗口限值是南向窗墙面积比应大于等于某个值(如50%),而东向、西向和北向的窗墙面积比应分别小于某些值(如25%)。c. 规定了西藏不同地区各部分围护结构传热系数限值。

表3 不同朝向窗墙面积比系数限值

**Table 3 Limited values of window to wall ratio for difference orientation**

朝向	南向	东向	西向	北向
窗墙面积比	≥0.50	≤0.25	≤0.25	≤0.20

性能化方法是在设计建筑不能完全满足规定性指标时判断建筑是否达到节能标准的一种方法,最终目标是获得设计建筑的辅助耗热量指标。《节能标准》给出了辅助耗热量指标的具体计算方法和辅助耗热量指标设计计算用表。据相关研究表明,被动式太阳能采暖节能率(solar saving factor, SSF)与建筑的负荷集热比(load collector ratios, LCR)显著相关<sup>[6]</sup>,即SSF是评判太阳能集热系统性能的参数,而通过它又可以方便快捷地求出建筑的辅助耗热量指标,所以标准制定的过程中绘制了西藏不同地区不同集热系统下太阳能采暖节能率(SSF)与建筑的负荷集热比(LCR)的关系曲线以便查用。使用时,只需先根据设计建筑及其集热系统的相关参数计算LCR,然后查找相应的LCR—SSF关系曲线就可以得到SSF值,再根据SSF经过简单计算可以求出建筑的辅助耗热量指标。这种方法过程简单,易于设计人员操作使用。

## 4.2 西藏自治区民用建筑采暖设计标准

针对西藏地区生态系统脆弱、能源短缺但太阳能资源丰富的特点,编写了侧重于主动式太阳能采暖的西藏自治区地方标准《民用建筑采暖设计标准》(DB54/0015—2007)(以下简称《采暖标准》)<sup>[7]</sup>,与侧重被动式太阳能采暖的《节能标准》相结合,形成了适合当地实际情况的建筑节能设计与采暖体系。

《采暖标准》主要针对太阳能热水采暖而制定,规定了太阳能热水系统的设计依据。主要特点是:

- 以太阳能为主要能源,以太阳能热水集热系统为采暖热源,解决西藏地区民用建筑的采暖问题。
- 在建筑保温和被动太阳能利用的基础上,设置主动太阳能热水采暖系统,形成主、被动结合的太阳能采暖形式。
- 对西藏自治区太阳能采暖室外计算参数引入了采暖期太阳辐射照度,室内最小新风量考虑了当地空气含氧量较小的因素,增大了建筑热负荷计算中南向、东南向、西南向的朝向附减修正率。
- 建筑采暖系统采用分室设置,方便分室控温,便于根据不同朝向的被动太阳能的热调节系统供热量,达到系统节能的目的。
- 提出了热负荷、集热器面积、蓄热水箱容量、辅助加热容量等参数计算方法,确定了系统运行参数。
- 规定了用于采暖的太阳能热水系统宜采用强制循环、间接换热的集中系统,并给出了系统中集热、贮热、辅助加热及控制设备的计算和设置原则。
- 根据太阳能热水系统出水温度,推荐以地面辐射采暖为配套的采暖系统,并给出了地板结构设计原则和采暖系统控制方案。

因主动式太阳能采暖热水系统管道布置灵活、输送过程热损失小、系统热量的贮存和分配相对容易,所以《采暖标准》推荐民用建筑太阳能采暖采用热水系统。考虑到各地的太阳能辐射资源以及建筑太阳能收集面积不尽相同,提出了以太阳能热水系统作为采暖主要热源或其他采暖热源的预热系统两种方案。

《采暖标准》推荐用于集中采暖的太阳能热水系统采用强制循环、间接换热的集中系统,即集热器集中放置,设置水泵强制系统热水循环,采暖回路与太阳能热水回路各自独立。因地面辐射采暖要求的设计水温低,并且散热地板具有一定的蓄热作用,推荐户内采暖系统采用地面辐射采暖。当采用其他采暖方式时,散热设备的选择计算应适应太阳能热水

系统的水温条件。

《采暖标准》规定:采暖设计时,对以上两种房间的采暖系统应设置不同的环路,并设置对应的调节阀门,以达到分别控制调节的功能。这主要是因为在一栋建筑内有些房间(主要是南向房间)可能采用被动太阳能采暖与主动式采暖系统联合采暖,而另一些房间(主要是北向房间)只采用主动式采暖系统。

#### 4.3 西藏自治区居住建筑节能设计构造图集

为配合两部地方标准的实施与推行,编制了《西藏自治区居住建筑节能设计构造图集(藏08J103)》(以下简称《构造图集》)<sup>[8]</sup>。该图集列出了各种保温系统构造基本做法、主要部位的节点详图、保温系统主要材料性能指标、节能墙体的热工计算表、设计要点及施工要求。

图集的主要特点为:a. 以当地建筑材料为基础,建筑基材包括了混凝土砌块、混凝土空心砌块、加气混凝土、烧结空心砖、烧结多孔砖、烧结实心砖、花岗岩和钢筋混凝土等。b. 保温材料包括了绝热型挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(简称 XPS)、聚苯乙烯泡沫板(简称 EPS)、憎水性膨胀珍珠岩板、岩棉或玻璃棉板、膨胀珍珠岩、沥青膨胀珍珠岩板以及胶粉聚苯颗粒浆体类保温材料等。c. 保温结构包含了外保温、夹心保温、内保温等多种构造方法,其中外保温和夹芯保温构造墙体有利于提高建筑对太阳能的蓄存和提高室内温度的热稳定性。

## 5 西藏高原低能耗建筑设计实践

运用理论研究过程中建立的西藏高原低能耗建筑设计的“等热流”热工设计原理和方法以及低能

耗建筑设计的关键技术研究成果,进行了西藏自治区可再生能源应用示范基地的设计和示范,项目总占地面积 450 亩(1 亩  $\approx 666.67 \text{ m}^2$ ),建筑面积 30 万  $\text{m}^2$ 。为进一步将关键技术成果拓展运用,在青海省刚察县藏族牧民定居点建成了超低采暖能耗民居示范工程。

### 5.1 西藏自治区可再生能源应用示范基地

该项目以 5 层以下的多层建筑为主体,采用框架结构体系。建筑除进行围护结构的保温设计以外,争取最大程度的太阳能利用。冬季采暖利用太阳能,主要包括被动式太阳能建筑采暖、主动式太阳能采暖系统和太阳能热水供应系统。设计采暖系统热效率达到 80%,太阳能采暖利用率达到 35% 以上。在满足冬季室内基本热舒适前提下,建筑被动式与主动式采暖系统最冷月份太阳能总利用率大于 85%,其他月份大于 95%;最冷月份太阳能热水利用率大于 80%,其他月份大于 95%。小区道路和景观照明系统采用太阳能光伏照明系统。项目已于 2010 年秋季全面开工。

### 5.2 藏族牧民定居点超低采暖能耗民居示范工程

运用西藏高原低能耗建筑设计关键技术成果,在青海省刚察县进行了藏族牧民定居点超低采暖能耗民居示范工程的设计实践。示范项目总计 100 户,采用建筑保温+被动太阳房+主动式太阳能热水采暖结合技术。其中建筑外围护结构保温达到了 65% 的节能要求;被动太阳房集成了直接受益窗、集热蓄热墙、附加阳光间技术;主动式太阳能热水采暖在坡屋顶设置太阳能集热器,采暖系统末端为低温地板辐射的形式。该项目的工程全貌如图 4 所示,目前工程已经竣工并交付使用。



图 4 超低采暖能耗建筑示范工程全貌

Fig. 4 A full picture of demonstration project about the super low energy consumption buildings

## 6 结语

研究发展地域低能耗建筑,控制建筑能耗增长速度,是我国社会可持续发展的重大需求。文章针

对西藏高原地区城乡居住建筑环境质量差、常规能源短缺、区域偏远、交通不便、经济技术发展相对滞后等现状和问题,通过对城乡居住建筑的大规模实地考察、对建筑环境质量和能耗等指标的详细测算

以及对城镇居住建筑 and 传统民居基本模式的综合分析,提出了适合青藏高原自然与气候条件的低能耗建筑设计基本理论和计算方法,研发了低能耗建筑设计基本气象参数数据,创作出以太阳能综合利用为核心技术,适合当地民族文化和社会经济发展状况的城镇节能居住建筑体系和新型乡村生态民居建筑体系。建成西藏自治区可再生能源应用示范基地并推广运用到青海省刚察县藏族牧民定居点示范工程中,在满足基本热舒适条件下,同时保证了居住建筑的采暖和空调的超低能耗。编制了西藏地区建筑节能设计标准、采暖设计标准以及配套图集,推动了当地建筑节能行业的整体进步。研究成果对于青藏高原其他地区亦具有借鉴意义。

#### 参考文献

[1] 王玉群,王俊乐. 西藏太阳能开发存在的问题及几点建议

[J]. 西藏科技,2007(2):26-28.

- [2] 中国建筑科学研究院. JGJ26—2010 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3] 中华人民共和国建设部. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
- [4] 西安建筑科技大学,西藏建筑勘察设计院. DB54/0016—2007 西藏自治区居住建筑节能设计标准[S]. 拉萨:西藏人民出版社,2007.
- [5] 中华人民共和国建设部. GB 50180—93 城市居住区规划设计规范(2002版)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [6] Balcomb J D. Passive Solar Buildings [M]. London: The MIT Press, 1992.
- [7] 西安建筑科技大学,西藏建筑勘察设计院. DB54/0015—2007 西藏自治区民用建筑采暖设计标准[S]. 拉萨:西藏人民出版社,2007.
- [8] 西藏建筑勘察设计院,西安建筑科技大学. 藏 08J103 西藏自治区居住建筑节能设计构造图集[S]. 拉萨:西藏人民出版社,2009.

## Key technological research and application of low energy consumption building design in Tibet

Liu Jiaping<sup>1</sup>, Yang Liu<sup>1</sup>, Liu Yanfeng<sup>1</sup>, Tian Guomin<sup>2</sup>

(1. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. Ministry of Housing and Urban-rural Development, Beijing 100835, China)

[Abstract] According to the poor environment situation of residential building in Tibetan plateau both urban and rural and the shortage of conventional energy sources, this paper presents the basic theories, methods and key technical problems for low energy consumption buildings design appropriate to the local climate natural condition and the social economic background, by the means of large-scale field investigation, detailed testing and calculation on the physical environment and energy consumption and the comprehensive analysis about the basic model of residential buildings. The basic meteorological data for low energy building design are developed. The energy saving building system for city and rural and the new rural ecological residential building model, based on the local culture and social economic development condition, are proposed and designed focusing on the utilization of solar energy. Moreover, exemplary projects are built, which not only meet basic thermal comfort level, but also guarantee the super low energy consumption for heating and cooling. Design standard and atlas reference to low energy building design for Tibetan plateau are compiled, promoting the overall progress of building energy conservation. The results of this study provide an effective reference for the entire Qinghai-Tibet plateau and for other areas of the country.

[Key words] Tibet Plateau; energy conservation; solar energy utilization; residential building; low energy consumption building