

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S1.035

# 传统民居生态设计理念与现代零能耗低成本太阳能住宅 ——以2010太阳能十项全能竞赛中国参赛作品为例

尹宝泉<sup>a</sup>, 王一平<sup>a,b</sup>, 崔勇<sup>c</sup>, 朱丽<sup>a</sup>

(天津大学 a. 建筑学院; b. 化工学院; c. 建筑设计院, 天津 300072)

**摘要:**以2010太阳能十项全能(欧洲赛区)竞赛中天津大学的参赛作品 Sunflower 与同济大学的 Bamboo 为例, 分析了中国传统民居建筑的生态设计理念在现代零能耗低成本住宅中的应用及其与其他技术的集成。通过对这两支团队竞赛作品的解析, 探讨了中国零能耗太阳能住宅建筑的发展趋势, 提出了依托传统建筑“天人合一”的理念, 设计结合能源的集成设计方法, 低成本、适宜技术为主要技术支持手段的基于中国国情的低能耗太阳能建筑。2013年, 该项赛事(亚洲赛区)竞赛将在中国大同举办, 希望本文可以为本土的参赛队伍提供借鉴。

**关键词:**传统民居; 太阳能住宅; 太阳能十项全能竞赛; 太阳花; 竹屋

**中图分类号:**TU18 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S1-0158-04

## Ecological Design Concept of Traditional Residence and Modern Low Cost and Zero Energy Solar House: Take Sunflower and Bamboo of China in Solar Decathlon Europe of 2010 as Example

Yin Baoquan<sup>a</sup>, Wang Yiping<sup>a,b</sup>, Cui Yong<sup>c</sup>, Zhu Li<sup>a</sup>

(a. School of Architecture; b. School of Chemical Engineering and Technology;

c. Architecture Design Institute of Tianjin University, Tianjin 300072, P. R. China)

**Abstract:** In this paper, the Sunflower of Tianjin University and the Bamboo of Tongji University of 2010 solar decathlon of Europe were analyzed, which applied the ecological design concept of traditional residence in the zero energy and low cost solar house. This paper through analysis the both team, discuss the solar houses development, proposed the china solar house rely on the traditional idea, design combined with the energy, using low cost, with appropriate technology. This Solar Decathlon Contest of Asia would be hold by china, in Datong city, 2013.

**Key words:** traditional residence; solar house; Solar Decathlon; Sunflower; Bamboo

中国自古以来,秉承尊崇自然、天人合一的环境观,以风水理论作为理论依托,各地方的民居尤为反应这一特点,正如 A. W. 斯皮里在《新城市主义和环境》而言,“传统建筑形式和居住模式是自然进程和人文进程对话的产物。”针对现今建筑节能遇到的问题,众多高校及科研机构对传统民居进行了广泛而深入研究。传统民居的生态气候设计策略通过数代人的积累、传承,如庭院的微气候调节,天井的采光、通风及雨水收集利用等技术在现代建筑,尤其是现代民居和新农村建设中得到了很好的应用和体现,如黄土高原居住模式在现代的转型<sup>[1]</sup>。

“太阳能十项全能竞赛”(Solar Decathlon)是由美国能源部(DOE)主办的以全球高校为参赛单位的建筑与能源科技竞赛。竞赛要求每所参赛大学设计并建造一栋面积为 74 m<sup>2</sup> 的太阳能住宅,并进行为期一周的现场竞赛。竞赛期间,太阳能住宅的所有运行能量完全由太阳能装置供给。

对中国首次参加太阳能十项全能(欧洲赛区)竞赛(SDE2010)的天津大学 Sunflower 和同济大学 Bamboo 方案进行了介绍,并对其采用的传统生态设计元素及其与其他技术的集成进行了分析,旨在推动中国太阳能建筑、低碳建筑,尤其是广大农村地区的独栋建筑的发展。

### 1 传统民居与新民居的低能耗设计理念

中国的传统民居建筑均具有鲜明的传统文化与地域性特点,有着较强的生态气候属性。而随着新农村建设及传统民居的保护,中国的部分新民居传承了传统民居的内涵与风格,符合地域的气候特点。然而,也有部分新民居建筑呈现出不顾地域,照搬照抄形式,导致传统建筑文化精髓的流失,同时也造成了较大的建筑能耗,不良的社会影响。此外,农村地区建筑城市化,也在一定程度上破坏了中国乡土的生态格局。

收稿日期:2013-01-29

基金项目:海外青年学者合作研究基金;天津大学优博论文基金

作者简介:尹宝泉(1984-),男,博士生,主要从事新能源与绿色建筑、太阳能建筑一体化研究,(E-mail)zly\_tj@163.com。

### 1.1 传统民居的生态设计理念

传统民居建筑是立足于地域性气候,有着良好的场地设计、被动式技术,融合人们的生活习惯,形成了的独特民居文化。典型的民居建筑,诉说着它们的历史,如陕西窑洞、北京四合院、福建土楼、徽州民居,可谓数不胜数。

对传统民居的生态设计进行总结,可以得到如下的原则:

1)设计结合自然。无论是从选址、朝向、风环境的营造,水环境的塑造、绿化的布置,无处不显露出设计与自然结合的宗旨,充分利用自然冷热源,最大限度的亲近自然。

2)当地材料与适应性技术融合。立足地域性气候条件及材料,如夯土墙、架空底层及夹层瓦屋面,都是当地材料与适应性技术的融合。

3)复合围护结构及空间。大多数的民居,冬季和夏季,都呈现出不同的特点,人们根据气候变化,对围护结构进行相应的改变,如冬季增加门窗的密封性等,此外,利用不同的空间,如夏季更多利用北向空间,冬季更多利用南向空间等。

4)以人为本。根据住户的自身需求搭建,符合人们的生活习惯,同时与当地的风土融为一体。

### 1.2 新民居的多元低能耗模式

随着经济发展,传统民居面临着更新,新民居应运而生,其呈现出多元复杂的局面。多种能源形式共存,是现今公认的能源局势。然而,在针对农村建筑用能这个问题上,如今很多地区在盲目的走城市模式,忽视传统民居的低能耗建筑能源系统,造成了较高能耗和较低的舒适度,又导致了较严重的环境问题。

只有立足于传统民居文化的精髓,同时结合现今的适宜技术手段,贴近人们的生活,才能创造出适宜于地域特点的新民居。合理地利用地域特点,综合利用可再生能源,可大量减少化石能源的使用,形成新的适用于现今生活的建筑形式及供能模式,适宜于中国广大农村地区的发展,最大程度的保护农村地区的环境。针对各地独特的气候条件,地域资源特点,笔者提出下述新民居低能耗的模式:

1)建筑本体节能,降低建筑能耗需求。通过提高围护结构的保温隔热性能,如外墙外保温,双层窗,减少建筑的热负荷需求。

2)被动式设计,最大化的通过被动的方式,利用自然能源。如结合地域气候特点,形成独特的建筑形式,如南方地区的被动式下向通风技术、可开合的遮阳等;北方地区则更强调被动式太阳房的利用,典型的如被动式太阳房及阳光间等。

3)可再生能源的综合利用技术。如太阳能热水系统,从最简便的闷晒式热水袋,到真空管及平板集热器,将其融入建筑,提高安全性及全年利用率,同时与建筑的设计结合,形成舒适的洗浴空间,同时在一定条件下,可以将热水与采暖结合,与北方传统的火炕等生物质利用形式结合,提高系统综合效率。此外,如光伏发电等技术,尽可能地采用集成技术,如光伏电热联用(PV/T)技术,提高光伏发电的效率,同时利用热能,降低成本。

4)高效的建筑主动供能系统,采用高效的采暖锅炉,考虑到农村或新民居建筑的特点,有针对性地进行相应设备的选取,同时考虑可再生能源利用技术的融入,提高生物质能、

太阳能、浅层地热等的使用。

新民居建筑不应单纯依靠燃煤解决采暖,住户也不能单纯通过安装分体式空调制冷。应基于良好的建筑本体节能设计,通过被动式为主,主动技术为辅,采取适宜的自然能源(可再生能源)综合利用技术,解决新民居的用能需求,保护好农村的优美环境,如图1所示。

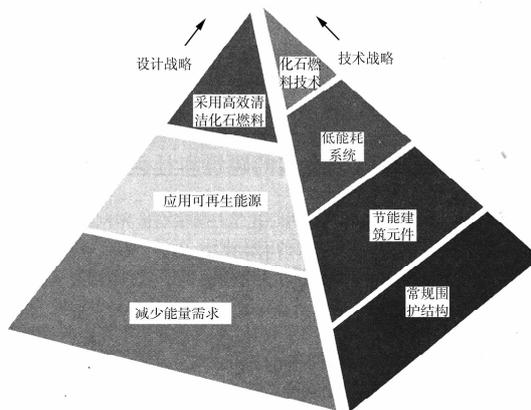


图1 高效利用能量的建筑设计措施

综合上述,建筑的能源需求,将不以牺牲周边环境为代价,同时其他工业等发展,也禁止损坏良好的自然环境,这些也将形成独特的新民居及新农村形象,在一定程度上,形成城市与农村互补共荣的格局,一种多层级的共赢模式,而非城市占领农村或农村包围城市。

### 1.3 老百姓用得起的低能耗甚至零能耗住宅

在低能耗住宅建设过程中,寻找使建筑物的建造费用和使用费用之和最小、同时又具有明显节能效益的设计与建造技术非常重要。低能耗建筑应从规划设计、施工到运行管理,充分遵循地域的自然气候规律和人们的地域气候适应性特征,采用适宜的建筑技术和材料,最大限度地利用自然能源,采用低成本高效的设备,对建筑进行全面系统的调节,最大限度地降低建筑能耗,使室内自然温度接近或保持在人体舒适的温度内。而这也在清华大学主编的《2012年中国建筑节能报告》当中有所体现,如其提出的南方“生态村”、北方“无煤村”,如图2所示<sup>[2]</sup>。

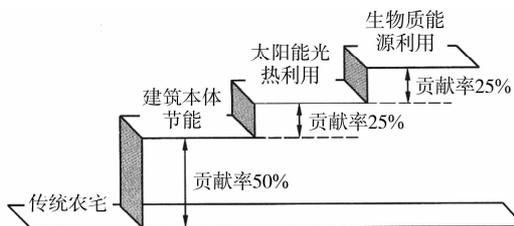


图2 北方农宅采暖“无煤化”的一种实现方法示意图

如何建立低能耗住宅,首先建筑本体的围护结构应具有有良好的保温隔热性能,以降低建筑的用能需求;其次,应采用被动式节能设计,如阳光间、太阳能墙、自然通风等方式,实现无能源供给的相对舒适性;再是采用低成本高效的主动节能技术,如生物质能耦合地源热泵+低温差辐射末端(火炕、火墙等)供暖,同时提供生活热水技术,生物质能耦合太阳能集热供暖和提供热水技术等。

天津大学绿色能源实验室提出老百姓用得起的零能耗建筑,其是基于良好的建筑本体节能,依托太阳能光伏辐射板电热冷联产技术的建筑供用能系统,通过光伏辐射板综合利用太阳能、太空辐射、地热能等自然能源,与地板辐射采暖等低温差换热技术结合,蓄能、多源热泵等技术辅助下,在小幅增加造价的情况下,可大幅提高室内的舒适度,对建筑室内进行采暖制冷同时提供生活热水,实现老百姓用得起的零能耗建筑。

## 2 天津大学 Sunflower

### 2.1 徽州民居+被动式设计

Sunflower 的设计理念融合了传统建筑的空间形式及生物气候策略,如图 3 所示<sup>[3]</sup>。Sunflower 采用了徽州民居的形式,将四合院微缩为中庭构造的空间体系,同时中庭与南向窗户,共同起到太阳房的作用。其门顶上侧的被动式通风器与屋顶及北向窗,共同构成了良好的自然通风回路。



图 3 徽州民居与 Sunflower

通过建筑设计中融合被动式设计的方法,获得品质较高的自然采光、具有较大调节性的自然通风、采用热质墙体蓄能,缓冲室内外的温差等,以最低的代价,获得最高的效益,如图 4 所示。

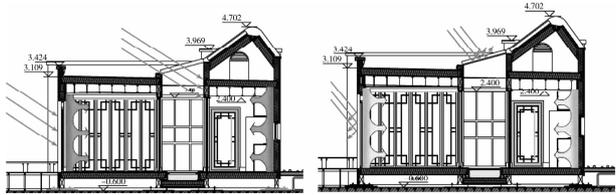


图 4 Sunflower 生物气候设计

### 2.2 开源十节流——主动式能源利用系统

开源是指最大限度地利用自然冷热源,优化能源利用的层次及渠道,实现低成本、高效益、与环境友好的供能。节流是指基于被动式节能设计,良好的建筑围护结构性能,最大程度地降低对主动式能源的需求。Sunflower 基于开源节流思想,构建了多功能能源系统,其能源流向如图 5 所示。通过开源节流,主动式能源利用系统将起到事半功倍的作用。这其中较为关键的是品位对口、梯级利用。

### 2.3 集成设计——整合式能源系统

在建筑与能源一体化的设计过程中,需要遵循整体最优的原则,最大限度地提高能源构件的能源效率,保证建筑能源系统的整体高效。整合式能源系统,是指基于被动式设计、主动式辅助,以最少的能耗,实现最大的效能。被动式设计是指传热系数较低的墙体、窗户及南向被动式太阳利用设计,实现自然采光、遮阳及自然通风;主动式能源系统是指利用光伏辐射板组件,发电的同时,回收利用余热,同时夜间通过辐射制冷方式<sup>[4]</sup>,实现电热冷联产,与室内低温差辐射末

端、蓄能水袋、新风换气机、高效多源热泵等构成的多功能建筑供能系统,如图 6 所示。

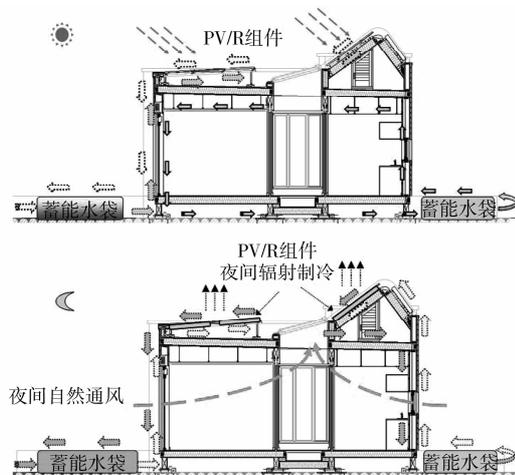


图 5 Sunflower 建筑能源流向示意图

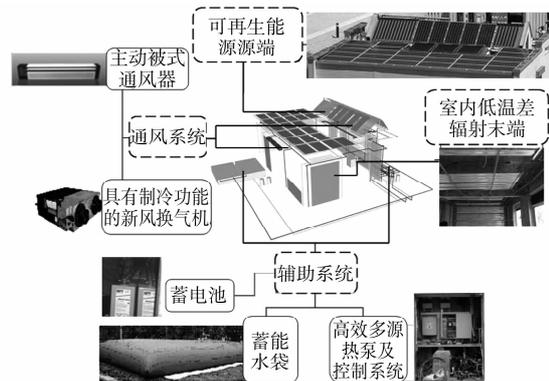


图 6 Sunflower 的多功能建筑能源系统

通过利用太阳能、空气源、太空辐射等自然能源,多源热泵可获得较高的 COP,此外,耦合蓄能技术,还可以缓和峰谷差,优化系统配置,如竞赛的微网系统<sup>[5]</sup>,既可以并网运行,也可以孤岛运行。如夜间通过辐射制冷,收集的冷量可用于昼间电池的降温及建筑的制冷;昼间收集的太阳辐射能,既可用于夜间的采暖,还可以用于预热生活热水。在工程应用中,其还可耦合跨季节蓄能,平衡不同季节的能量需求,充分利用自然能源。

## 3 同济大学 Bamboo

同济大学 Bamboo 采用了双坡屋顶的形式,搭接处利于自然采光及通风,如图 7 所示<sup>[6]</sup>。

Bamboo 利用竹子元素作为其围护结构外层,其室内装饰及整体的建筑感觉富有浓郁的中国传统建筑特色,在自然采光和通风与太阳能发电及用热方面进行了很好的整合,既降低了电池的发电效率,又提高了自然采光及通风的效果,此外,还降低了建筑的冷热负荷,如图 8 所示。

两所高校,作为首次参与太阳能十项全能竞赛的中国大学作品,都体现了浓郁的中国元素,将传统建筑的元素及生态气候设计策略融入了建筑设计,同时与主动的太阳能利用技术等进行了很好的整合,赢得了国内外的广泛关注。

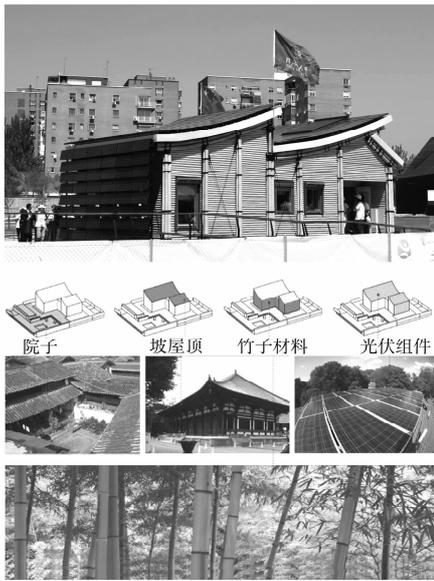


图 7 同济大学竹屋

## 4 结 语

2010 太阳能十项全能(欧洲赛区)竞赛中中国两所高校的设计方案,充分体现了传统文化,基于生态气候设计策略,结合多功能能源系统,可实现低成本的低能耗住宅甚至是零能耗建筑。而这首先需要建筑围护具有良好的性能,降低建筑本身的能源需求;其次,最大限度地依托当地的自然冷热源,进行合理的收集和利用;再次,挖掘传统建筑中低成本被动式技术的现代转型,从而形成适宜于中国国情的低成本被动技术结合的太阳能住宅。这对于新农村建筑,城市独栋

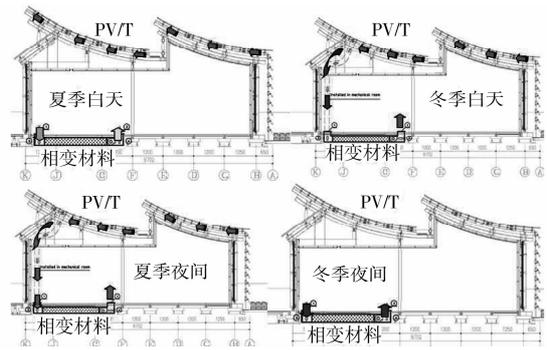


图 8 PV/T 与相变材料蓄能循环示意

建筑都具有重要的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 周若祁. 绿色建筑体系与黄土高原基本聚居模式[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] 清华大学建筑节能研究中心, 中国城市科学研究会. 中国建筑节能年度发展报告 2012 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 杨向群, 高辉. 零能耗太阳能住宅建筑设计理念与技术策略——以太阳能十项全能竞赛为例[J]. 建筑学报, 2011, 8: 97-102.
- [4] Ursula Eicker, Antoine Dalibard. Photovoltaic thermal collectors for night radiative cooling of buildings [J]. Solar Energy, 2011, 85: 1322-1335.
- [5] 王成山, 杨占刚, 武震. 一个实际小型光伏微网系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(6): 6-10.
- [6] <http://www.sdeurope.org/>

(编辑 王维朗)

(上接第 141 页)

- [7] 王永军. 铁路建设工程项目管理绩效评价系统研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [8] 祝建华, 牛俊萍, 赖友兵. 高速公路建设项目绩效评价指标体系研究[J]. 中外公路, 2008(1): 198-205.
- [9] 范道津. 公共管理视角下非经营性政府投资项目管理绩效评价研究——基于对代建制的分析[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [10] 蔡守华, 周明耀, 叶志才. 工程项目管理绩效评估方法[J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2002, 5(2): 57-60.
- [11] 白云龙. 住宅建筑施工项目管理绩效评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- [12] Alan W. 项目经理指南——项目挣值管理的应用[M]. 戚安邦, 熊琴琴, 吴秋菊, 译. 天津: 南开大学出版社, 2005.
- [13] Fleming, Koppelman. Earned Value Project Management [M]. 3rd ed. Newton Square Project Management Institute, 2005.
- [14] Stewart W E. Balanced scorecard for projects [J]. Project Management Journal, 2001, 32(1): 38-53.
- [15] 王岩, 姚立根, 牛红凯. 建筑施工项目经理绩效评价体系研究[J]. 基建优化, 2004(6): 35-36.
- [16] 单洁明. 建筑企业管理绩效评价指标体系研究[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学, 2005(3): 366-369.
- [17] 陈世进. 对工程施工项目管理总结评价的思考[J]. 石油工程建设, 2005(10): 72-73.
- [18] 冯丽霞, 陈义. 完善工程项目绩效评价指标体系的思考[J]. 长沙理工大学学报: 社会科学版, 2005, 20(1): 51-53.
- [19] 叶勇. 高速公路工程项目管理绩效[J]. 公路与汽车, 2005(1): 101-103.
- [20] 韩志国. 基于人工神经网络的石油化工工程建设项目管理绩效评价[J]. 石油学报(石油加工), 2010, 26(3): 317-323.

(编辑 胡英奎)