

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2016.02.028

寒区屋顶太阳能设备调查与集成设计分析

刘芳芳¹,展长虹¹,康 健^{1,2},武 岳³

(1.哈尔滨工业大学 建筑学院,150001 哈尔滨; 2.谢菲尔德大学 建筑学院,S10 2TN 谢菲尔德;
3.哈尔滨工业大学 土木工程学院,150090 哈尔滨)

摘 要: 为确定影响寒区太阳能技术应用的关键因素,利用问卷调查法对哈尔滨 30 多个小区 80 位太阳能设备用户进行实地访谈,统计了被访者对屋顶太阳能设备能效、运行情况、设备成本、耗电量、屋顶结构损坏、视觉污染度、安装方便性、易跌落度和防冻性 9 项指标的评价,认为成本较高的占 70%,存在视觉污染的占 82.5%,设备防冻性差的占 66.25%。这 3 项是当前影响寒区太阳能技术应用最迫切的关键因素(>50%)。针对上述问题,分析了屋顶集成设计需解决的主要技术问题和应对措施,并指出需借用多目标函数法进行数理统计达到多目标优化,从建筑学、结构工程和工业设计等跨学科领域联合进行太阳能屋顶集成设计。

关键词: 建筑屋顶;太阳能技术;寒区;可持续发展;集成设计

中图分类号: TU201.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2016)02-0163-04

Integrated design of the solar roofs in cold regions based on a questionnaire survey on problems in current devices

LIU Fangfang¹, ZHAN Changhong¹, KANG Jian^{1,2}, WU Yue³

(1.School of Architecture, Harbin Institute of Technology,150001 Harbin, China;
2.School of Architecture, University of Sheffield, Western Bank, S10 2TN Sheffield, United Kingdom;
3.School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China)

Abstract: This study aims to determine the key factors that influence the application of roof-mounted solar energy harvesting systems in cold regions. Based on a questionnaire survey involving 9 indexes including energy efficiency, performance, cost, power consumption, damage of roof structure, visual pollution, ease of installation, proneness of falling and anti-freezing from 80 interviewees in more than 30 solar equipment communities in Harbin, a city in the cold regions of China, it has been revealed that the high cost (70%), visual pollution (82.5%) and poor anti-freezing (66.25%) are major concerns to residents. As such, the above three emergent problems (>50%) were highly desired to be overcome for the application of solar equipment in cold regions. After exploring the main technical problems and their potential solutions, it is proposed that, in order to rationalize the design of the solar roofs, it would be of necessity to design the roof by optimizing factors through a multi-objective function approach. This integrated design would refer to technology of multi-disciplines involving architectonics, structural engineering, industrial design, et al.

Keywords: building roof; solar energy technology; cold region; sustainable development; integrated design

《国家应对气候变化规划(2014—2020 年)》提出 2020 年太阳能发电装机容量达到 1×10^{11} W,太阳能热利用安装面积达到 8×10^8 m²^[1]。比“十二五”规

划的 2015 年太阳能发电 2.1×10^{10} W,太阳能热利用面积 4×10^8 m²^[2],分别提高了约 4 倍和 1 倍。太阳能与建筑结合是中国能源可持续和低碳发展的重要、快速和根本途径^[3]。山东、北京、上海等地^[4]已开始强制推行在新建 12 层以下的居住和公共建筑中实行太阳能热水系统。欧盟委员会策划的 BIPV—CIS 调查,咨询了来自 7 个国家的光伏建筑一体化的 84 位建筑师和工程师,2/3 的人认为责任和外观很重要,29%的人认为光伏建筑一体化没有遵守建筑物外观建设规定^[5]。工程后期楼顶上各种型号热水器

收稿日期: 2015 -05-05.

基金项目: 中国博士后科学基金面上项目(2014M561354);中央高校基本科研业务费专项资金(HIT.NSRIF.201655)。

作者简介: 刘芳芳(1982—),女,博士,讲师;
展长虹(1973—),男,教授,博士生导师;
康 健(1964—),男,教授,博士生导师;
武 岳(1972—),男,教授,博士生导师。

通信作者: 刘芳芳,liufangfang@hit.edu.cn.

杂乱摆放所造成的建筑构造、视觉污染及管道损坏一定程度上构成了太阳能技术推广的瓶颈.尤其在寒区(严寒与寒冷地区的简称^[6])气候条件下,设备的防冻性成为值得关注的课题.本文以哈尔滨市作为寒区典型城市代表进行屋顶太阳能设备应用问题调研,通过统计数据分析确定了现存主要问题,并针对问题提出了太阳能屋顶集成设计需解决的主要技术问题和应对措施,旨在为改进寒区太阳能屋顶集成设计提供数据基础.

1 屋顶太阳能设备现存问题调研

在寒区范围内,建筑热工设计有冬季保温要求,

水管要加强防冻保护^[7].本文通过走访哈尔滨市 30 多个小区的 80 位太阳能设备用户,调查问卷针对屋顶太阳能设备的能效、运行情况、设备成本、耗电量、屋顶结构损坏、视觉污染度、安装方便性、易跌落度和防冻性 9 项指标进行评价打分,见表 1.从左侧的能效统计到右侧的防冻性统计均采用百分比的形式,便于对比发现单项指标打分占总人群的数量比例.以太阳能设备能效评价为例,评价值为 3 指的是能效最高,评价值为-3 指能效最差,以此类推.

1.1 能效问题

评价值(1~3)的数值合计为 73.75%,即73.75%的人对目前设备能效的态度是正向评价,仅有 12.5%是负向评价.

表 1 调查结果数据表 %

评价值	能效	运行情况	设备成本	耗电量	屋顶结构损坏	视觉污染度	安装方便性	易跌落度	防冻性
-3	2.50	2.50	5.00	13.75	3.75	1.25	5.00	1.25	31.25
-2	6.25	6.25	1.25	32.50	0	1.25	10.00	7.50	22.50
-1	3.75	13.75	8.75	22.50	5.00	0	11.25	1.25	12.5
0	13.75	15.00	15.00	21.25	46.25	15.00	60.00	43.75	30.00
1	27.50	23.75	23.75	8.75	30.00	6.25	8.75	18.75	1.25
2	37.50	32.50	30.00	1.25	13.75	56.25	2.50	20.00	1.25
3	8.75	6.25	16.25	0	1.25	20.00	2.50	7.50	1.25

1.2 运行情况

评价值(1~3)的数值合计为 62.5%的人对目前设备运行情况的态度是正向评价.

1.3 设备成本

评价值(1~3)的数值合计为 70%的人对目前设备成本的态度是倾向于高.

1.4 耗电量

评价值(1~3)的数值合计为 10%的人认为耗电量高.可见耗电量指标人们的满意度较高.

1.5 屋顶结构破坏

评价值(1~3)的数值合计为 45%的人认为存在屋顶结构的损坏现象.

1.6 视觉污染度

视觉污染的评价值(1~3)合计为 82.5%,应进行视觉污染的防控设计.

1.7 安装方便性

安装方便性正向评价值(1~3)合计 13.75%, 26.25%是负向评价,60%的人持中立态度.安装通常都是工人负责,检修难是业主普遍反映的问题之一,由于之前没有考虑到用户对太阳能设备的需求,未能合理设计屋顶空间,导致设备的检修费用高、难度大.

1.8 设备跌落问题

对设备的易跌落性持担忧态度的评价值(1~3)合计 46.25%,极端天气设备的跌落会加重人们对人身和车辆的安全担忧,设计时需进行风雪等极端寒地气候条件下的防跌落实验.

1.9 防冻性问题

防冻性的负向评价分别为 31.25%、22.5%和

12.5%,总计 66.25%的人认为防冻性差.

统计结果归纳如下:12.5%的人认为能效差;22.5%的人对运行情况是负向评价;70%的人认为成本较高;10%的人认为耗电量高;45%的人认为有屋顶结构损坏现象;认为存在视觉污染的评价为82.5%;安装方便性负向评价为 26.25%;对设备易跌落性持担忧态度为 46.25%;66.25%的人认为设备防冻性差.

2 屋顶太阳能设备现存问题分析

根据调查数据所对应的柱状统计图 1 所示,能效和运行情况评价均为正向评价,但也反应出设备成本较高,且存在屋顶结构损坏、视觉污染度高、设备跌落和防冻性差等问题.评价值为-3,且占评价人数最多的是防冻性问题.关于防冻技术,目前已出现的技术经验有电伴热带防冻技术和防冻液的应用等^[8].成本和视觉污染度评价值为 1~3 的人数合计均超过了 55 人(总数 80 人).上述反映出的突出问题除了成本、防冻性外,屋顶结构损坏、视觉污染问题属于建筑及土木工程领域内较难量化研究的内容,该内容将在下文重点论述.建筑及土木工程领域涉及的 3 个要素包括太阳能设备能效、屋顶结构和屋顶视觉景观.

2.1 太阳能设备能效

1984 年,“磁控溅射渐变铝—氮/铝太阳选择性吸收涂层”技术研制成功,催生了中国太阳能热利用的产业化^[9].文献[10]提出的混合 Photovoltaic-thermal (PVT)收集器技术,采用 Water-type 混合收集器与多晶光伏模块 Flat-box 的铝合金热吸收器的测试结果每

天热效率在 40%左右,节能效率高于传统系统.文献[11]认为国外机构在华太阳能专利主要集中在光伏领域,国内机构主要集中在太阳能热利用领域.无论是光伏、光热或混合 PVT 收集技术,选择能效高的太阳能技术始终是太阳能屋顶集成设计的前提条件之一.

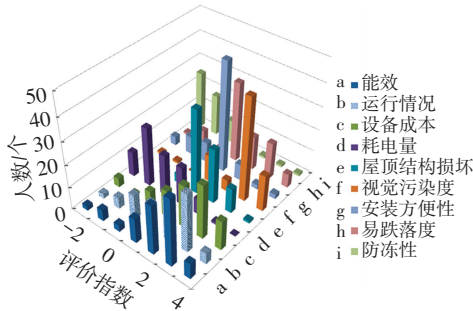


图 1 问题调查结果数据统计

2.2 屋顶结构

屋顶是房屋最上层的外围护结构,要求构造设计时注意解决防水、保温、隔热以及隔声、防火等问题,保证屋顶构件的强度、刚度和整体空间的稳定性.防止结构变形引起的防水层开裂.以坡屋面和钢结构屋面结构为例,坡屋面防水透汽膜能使保温层的水汽迅速排出.钢结构屋面中,阻隔膜铺设在下层彩钢板和保温棉中间,防水透汽膜铺设在上层彩钢板和保温层中间,有效防止外部的气相水和液相水进入围护结构.因此,屋面的太阳能设备安装的前提之一是要保证屋顶构件的防水层不开裂.

2.3 屋顶视觉景观

由欧盟资助的研究项目 PVACCEPT 在光伏领域专门为旧的文物保护对象发展创新性新产品^[12].此项目明确了视觉设计是使得光伏技术被人们所接受的重要因素.文献[13]针对太阳能系统不和谐安装造成的建筑“毁容”,提出太阳能要与建筑融合必须走太阳能装置构件化道路.中国企业汉能采用的铜钢镓硒(CIGS)组件最高转化率达 21%;砷化镓(GaAs)组件最高转化率达 30.8%.图 2 为柔性薄膜屋顶组件^[14].柔性薄膜技术更适用于屋顶曲面创作,建筑应用前景更为广阔.

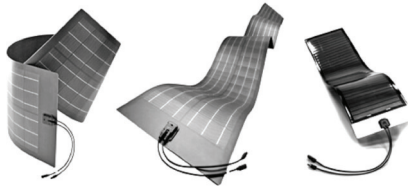


图 2 柔性薄膜屋顶组件^[14]

3 太阳能屋顶集成设计

在建筑及土木工程领域内,太阳能屋顶集成设计涉及的 3 个基本问题是能效和结构的技术耦合、视觉和结构的设计整合、视觉和能效的协同模拟.

3.1 能效和结构的技术耦合

能效与结构的矛盾,即集成设计技术路线:1)发现太阳能设备对管道和屋顶结构的损毁方式;2)进行太阳能设备分类能效测试和数据采集;3)进行屋面防水、隔热和保温数据采集与技术模拟;4)利用 Building Information Modeling(BIM)的多专业协同参数化设计功能和 PKPM 系列结构设计应用进行能效与屋面结构技术耦合,对集成设计模型(信息载体)进行设计模拟、碰撞检查和管线优化.

3.2 视觉和结构的设计整合

如何在保证屋面结构基本功能的基础上实现视觉形式多元化?以太阳能光电利用为例,太阳能光电板屋顶结构分解图(图 3)呈现了屋顶主要构件间的基本关系:柱和楼板支承屋面钢桁架,屋面钢桁架支承下层功能性屋面,下层功能性屋面支承上层屋面太阳能电池组件.通过改变上层屋面太阳能电池组件的形状(A)、屋面角度(B)、屋面弧度(C)、复合形态和复合肌理(D)和更多组合(E)等手段,使得屋面视觉景观形态多元化.但是,无论上层屋面形式如何变化,下层功能性屋面始终保持不变,因为要满足屋顶的防水、保温、隔热及隔声、防火等要求,实现屋面基本功能完整.

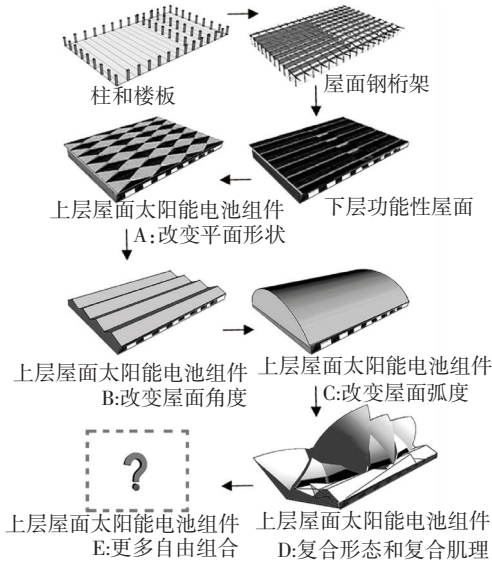


图 3 太阳能光电板屋顶结构分解示意

3.3 视觉和能效的协同模拟

研究表明太阳能集热器的倾斜角度对太阳能热水系统的集热性能有较大影响.以北京为例,5°~45°倾斜角的集热器具有较好的集热性能,60°~90°倾斜角的则逐渐减少,90°到达最低^[15].文献[16]借用地理模型信息系统对城市形式对总能耗影响计算进行了模拟.文献[17]用 ENERGYPLUS 等软件对多户住宅与住区间密度阴影进行了模拟.文献[18]提出了建筑设计对太阳能集热效率影响巨大.由此可见,设备倾斜角、街区结构、城市密度和建筑形态等均是集

成设计要考虑的要素。

上述集成设计不能兼顾诸如设备成本、防冻性等建筑相关学科领域之外的问题,更完善的设计需要跨学科领域联合进行太阳能屋顶集成设计研究^[19]。据统计,中国太阳能技术专利的合作申请量不足,“产、学、研”三者结合创新体系尚未成熟,也较缺乏相应跨机构的技术联系^[11]。寒区太阳能屋顶集成设计需要建筑师、工程师和太阳能设备师多专业人员从建筑设计、工程技术和工业设计领域进行合作研究(图4)。

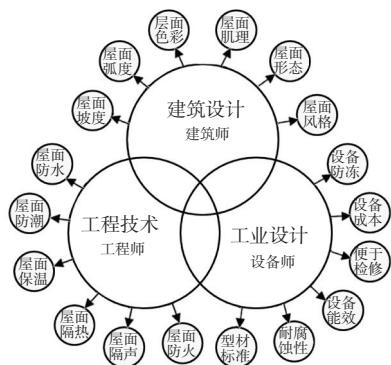


图4 跨学科研究内容及关系示意

1)建筑设计:要满足屋顶太阳能组件在形状、角度和弧度等表现方式上的创新。集成化过程是太阳能工业产品和建筑构件之间功能和形式的博弈。

2)工程技术:要实现太阳能设备屋顶的集成设计,需要工程专业的技术支持。即必须防雨水侵蚀,同时满足屋面防潮、保温、隔热、隔声、防火等需求。

3)工业设计:太阳能设备要满足防冻、防跌落和雷电等安全指标和型材标准、耐腐蚀性、设备能效、便于拆卸、管线隐藏等要求,实现系统模块化设计。

4 结 论

1)50%以上的受访者对成本、视觉污染和防冻性有负面评价(3项统计结果分别为70%、82.5%和66.25%),这是目前影响寒区太阳能技术应用最迫切的关键因素。

2)专业领域内的固化模式导致单一产品应用到建筑中会出现混乱局面,缺少跨学科合作研究;企业和建筑相关部门不是利益共同体,缺少互惠利益的驱动机制和相关产业链配置;缺乏寒区太阳能屋顶集成设计系统的量化评测体系。

3)太阳能屋顶集成设计是一个涉及工业设计、工程技术和建筑设计3个领域的多目标、多变量和多约束的优化问题。需首先对学科领域内的相关变量进行实地测试,获取成本、屋顶围护结构、寒区太阳能建筑屋顶材料类型、寒区气候导致的能耗损失等测试数据,然后,进行多学科多目标优化。

参考文献

- [1] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发国家应对气候变化规划(2014—2020年)的通知[EB/OL]. (2014-09-19). http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201411/t20141104_642612.html.
- [2] 国家能源局. 可再生能源发展“十二五”规划发布[EB/OL]. (2012-08-08). http://www.nea.gov.cn/2012-08/08/c_131767651.htm.
- [3] 陈薪, 韩爱兴. 太阳能与建筑的结合是低碳发展的根本途径[J]. 低碳世界, 2013(2): 40-43.
- [4] 王崇杰, 赵学义. 论太阳能建筑一体化设计[J]. 建筑学报, 2002(7): 28-29. DOI: 10.3969/j.issn.0529-1399.2002.07.010.
- [5] KARWEGER A. 光伏建筑一体化技术相关问题[J]. 中国能源, 2013, 35(4): 39-40. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2355.2013.04.009.
- [6] 国家技术监督局及中华人民共和国建设部. GB 50176—93 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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.
- [8] 赵玉磊, 张清哲, 李春生, 等. 太阳能热水器上下水管路防冻的四种方法[J]. 太阳能, 2007(1): 23-25. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0417.2007.01.010.
- [9] 殷志强. 全玻璃真空太阳集热管[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [10] HE Wei, CHOW T T, JI Jie, et al. Hybrid photovoltaic and thermal solar-collector designed for natural circulation of water[J]. Applied Energy, 2006, 83(3): 199-210. DOI: 10.1016/j.apenergy.2005.02.007.
- [11] 腾飞, 刘志高, 刘毅, 等. 中国太阳能产业技术创新能力与竞争态势——基于专利信息分析的视角[J]. 经济问题探索, 2013(11): 84-90. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2912.2013.11.015.
- [12] HERMANNSDÖRFER I, RüB C. 太阳能光伏建筑设计——光伏发电在老建筑、城区与风景区的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [13] 袁莹, 王国栋, 王子文. 集热器构件化——太阳能与建筑一体化设计的必由之路[J]. 太阳能学报, 2005, 26(1): 44-48. DOI: 10.3321/j.issn.0254-0096.2005.01.009.
- [14] 汉能控股集团. 汉能 BIPV 产品: 柔性组件[EB/OL]. [2015-10-07]. http://www.hanergy.com/product/center_143_12594.html.
- [15] 赵海鸥, 李旭光, 赵娟, 等. 不同倾角太阳能热水器北京地区热性能试验研究[J]. 太阳能, 2013(24): 54-60. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0417.2013.24.019.
- [16] TERECI A, OZKAN S T E, EICKER U. Energy benchmarking for residential buildings[J]. Energy and Buildings, 2013, 60: 92-99. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.12.004.
- [17] MICHAELA E, TRIPANAGNOSTOPOULOS Y. Contribution of the solar energy in the sustainable tourism development of the mediterranean islands[J]. Renewable Energy, 2010, 35(3): 667-673. DOI: 10.1016/j.renene.2009.08.016.
- [18] 张帆. 浅议计算机辅助太阳能光伏建筑一体化设计方法[J]. 建筑节能, 2013(9): 38-43. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7237.2013.09.010.
- [19] MARTINS J R R A, LAMBE A B. Multidisciplinary design optimization: a survey of architectures[J]. AIAA Journal, 2013, 51(9): 2049-2075. DOI: 10.2514/1.J051895.

(编辑 赵丽莹)