

公共建筑太阳能热水系统运行效益考察及分析

闻豪¹, 周文成²

(1. 南京邮电大学 基建处, 江苏 南京 210023;

2. 南京邮电大学 管理学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 以大型公共建筑示范项目为研究对象,通过测评、计算得出调查对象太阳能热水系统的年节约费用、静态投资回收期、环保效益和全年太阳能保证率。结果表明:太阳能热水系统的使用率在所有项目中比率最高,应用广泛,使用份额大;调查对象的年平均节约费用为 21.91 万元,平均静态投资回收期为 3.47 a,经济效益良好,且太阳能保证率平均值接近 50%,符合国标要求。相对于使用化石燃料生产热水,太阳能可大幅减少对环境的污染,环保效益显著。

关键词: 公共建筑; 太阳能; 热水系统; 运行效益

中图分类号: TU 822

文献标志码: A

太阳能具有可再生性、普遍性和清洁性等天然优点,是一种可就地开发利用的绿色优质能源。随着太阳能开发利用技术日益成熟,其环保节能的优势得到了广泛认可。现阶段我国太阳能利用的主导仍是热水利用。热水利用是通过太阳能集热系统与热水供应系统为人们提供生产生活所需的热热水。该系统主要包括太阳能集热器、导管、储水箱、辅助能源与控制系统等。目前,我国公共建筑通常采用集中式太阳能热水系统,集中式太阳能热水系统可分为开式与闭式,最常见的是开式集热太阳能热水系统。该系统的集热板、储热水箱通常放在建筑物的表面,且有与大气相通的通气管^[1-3]。将太阳能运用到建筑领域是建设绿色节能建筑的必然选择。对于太阳能热水系统的运行效益(包括经济效益、环境效益),国内外已有不少实证研究。胡轲等^[4]用综合能源价格法研究武汉地区太阳能热水工程的经济性,得出太阳能热水系统>燃气热水系统>电热水系统。这一结论在全国广大地区已得到验证。文献[5-6]分别通过计算污染物排放量、生命周期评价法(LCA)研究太阳能热水系统的环境效益,结果表明:太阳能热水系统清洁无污染,可减少大量的碳排放,对保护环境、清洁生产以及环境管理有着很好的指导作用。本文主要通过实测与调查,分析大型公建示范项目太阳能热水系统的运行效益。

1 研究调查与结果描述

1.1 调查方法

江苏省 X 市是可再生能源示范城市,2014 年开始,对其中 10 个采用太阳能热水系统的示范项目开展了能效测评工作。研究分析太阳能热水系统在该地区的运行效益。

1.2 调查对象

10 个使用太阳能热水系统的大型公共建筑示范项目:1) 市中医院;2) 体育公园游泳馆;3) 博览中心酒店;4) 某区中医院;5) 某医院急诊病房综合楼;6) 某医院病房综合楼;7) 工人文化宫重建工程;8) 某医院二期工程;9) 市高新技术创业服务中心;10) 市环境监控中心。

1.3 调查结果描述

1.3.1 太阳能系统的使用率 通过对 118 栋公共建筑可再生能源示范项目进行能效考察,将太阳能热

收稿日期: 2015-08-08

通信作者: 周文成(1968-),男,教授,博士,主要研究组织行为管理的研究。E-mail:zwc999@163.com.

基金项目: 教育部人文社会科学基金项目(12YJA790035)

水系统、地源热泵系统、楼宇自控、冷凝热回收、自然通风等节能技术与节能措施进行统计分析,可明确该市节能技术与节能措施在公共建筑中的使用概况(部分项目采用多个节能措施).结果显示:太阳能热水系统的使用率最高(64%,76 栋),超过了其他节能技术的使用率总和(地源热泵系统 30 栋、楼宇自控 9 栋、冷凝热回收 6 栋、遮阳措施 6 栋、自然通风 4 栋、自然采光 4 栋、能量回收 3 栋、其他节能措施 3 栋,共计使用率 55%).可见,太阳能作为可再生能源,在该地区公共建筑中的应用广泛,使用份额大.调查还发现:与其他节能技术相比,运用太阳能热水系统的技术相对更为成熟,在公共建筑中的增长势头较好,在政策上也得到大力扶持.

1.3.2 系统运行描述 该市太阳能资源丰富,被调查的所有项目均为示范性项目,系统总体稳定,运行良好,可解决全年 70% 以上的热水需求.所有项目在白天日光充足的时候,热水系统所需的能力均全部来自于太阳能;当阴雨天无阳光时,可启动辅助电加热系统.基本实现了电加热由太阳能热水控制系统进行自动启停,方便快捷.

1.3.3 系统年节能量 系统获得的年节约能量^[7]为

$$\Delta Q_{\text{save}} = A_c J_t (1 - \eta_c) \eta_{\text{cd}}.$$

(1)

式(1)中: ΔQ_{save} 为太阳能热水系统的年节能量(MJ); A_c 为太阳集热器面积(m^2); J_t 为太阳集热器采光面获得的年辐照量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$); η_c 为集热器的平均集热效率(%); η_{cd} 为系统的热损失率(%).据实测,计算可得示范项目的系统年节能量,如表 1 所示.

表 1 示范项目的年节能量

Tab. 1 Annual energy savings of demonstration projects

示范项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
年节能量/GJ	2 681	2 543	1 885	1 103	939	676	426	311	259	136

2 结果与分析

2.1 经济效益

经济效益是衡量太阳能热水系统运行效益的重要指标.净现值是指一项工程寿命期内总效益减去总支出所得的差值.假设考察项目的寿命为 60 a,太阳能热水系统的寿命为 15 a,则系统设备需要更换 4 次.采用动态分析法,可建立太阳能热水系统的净现值经济预估模型(N_{save})^[8]为

$$N_{\text{save}} = \sum_{m=1}^4 \varphi_m \left[\sum_{n=1}^{15} (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} - K_m + F_{m_x} \varphi_{m-15} - F_{m_y} \varphi_{m-15} \right].$$

(2)

式(2)中: m 为系统设备的更换次数; n 为系统设备的使用周期(a); φ_m 为第 m 次更换系统设备在该期初值折现值的系数; φ_{m-n} 为第 m 次更换系统设备第 n 年终值折为该期期初值的系数; C_{m-n} 为第 m 次更换系统设备第 n 年的运行费用; K_m 为第 m 次更换系统设备初始投; F_{m_x} 为第 m 次系统设备期末的残值; φ_{m-15} 为第 m 次系统设备第 15 年末终值折为该期期初值的系数; F_{m_y} 第 m 次系统设备期末的拆除等费用; W_{m-n} 为第 m 次更换系统设备第 n 年的年节约费用^[9],表示为

$$W_{m-n} = \Delta Q_{m-n} \cdot P_{m-n}.$$

(3)

式(3)中: ΔQ_{m-n} 为第 m 次更换系统设备第 n 年的节能量; P_{m-n} 为第 m 次更换系统设备第 n 年的常规能源热价.

由于部分项目在建筑寿命期太阳能热水系统的寿命可能不同,净现值经济预估模型应演变为

$$\begin{aligned} N_{\text{save}} = & \left[\sum_{n=1}^a (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} - K_m + F_{m_x} \varphi_{m-a} - F_{m_y} \varphi_{m-a} \right] + \\ & \varphi_m \left[\sum_{n=1}^b (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} - K_m + F_{m_x} \varphi_{m-b} - F_{m_y} \varphi_{m-b} \right] + \\ & \varphi_m \left[\sum_{n=1}^c (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} - K_m + F_{m_x} \varphi_{m-c} - F_{m_y} \varphi_{m-c} \right] + \cdots. \end{aligned}$$

(4)

式(4)中: a, b, c, \cdots 分别为第一、二、三、 \cdots 次更换太阳能热水系统设备的寿命周期(a); $\varphi_{m-a}, \varphi_{m-b}, \varphi_{m-c}$ 为第 m 次更换系统设备期末终值折为本期期初值的现值系数.

尽管建筑全寿命期净现值预估模型能更准确地表达项目的经济效益,但是该模型需要考虑的因素涉及许多当前难以量化因子.因此,采用最直观的计算模型,根据年节能量计算年节约费用情况,即

$$W_j = P_p \cdot \Delta Q_{\text{save}}.$$

(5)

由于X市的公共建筑大多以电力加热为主, P_p (该地区当年的常规能源热价)为 $0.2\text{元}\cdot\text{MJ}^{-1}$.由此可得项目年节约费用,如表2所示.由表2可知:10个项目年节约的费用较为可观,年平均节约费用超过了20万元,整体的运行效益良好.

表2 示范项目的年节约费用情况

Tab.2 Annual cost savings of demonstration projects

示范项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
年节能费用/万元	53.6	50.9	37.7	22.1	18.8	13.5	8.5	6.2	5.17	2.71

2.2 投资回收期

投资回收期是衡量太阳能热水系统运行效益的关键性指标.建筑全寿命期的动态回收期,即考虑系统设备的更新重置成本、不同年份的常规能源热价、系统设备拆除费用等因素,太阳能热水系统实际运行可节省的总费用与系统的总投资相等时所需要的年数.以系统设备寿命15a为例,可构建建筑全寿命期(60a)的动态回收期模型,即

$$Y = \sum_{m=1} \varphi_m \left[\sum_{n=1} (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} + F_{m_x} \varphi_{m-15} - F_{m_y} \varphi_{m-15} \right] = \sum_{m=1}^4 \varphi_m K_m.$$

(6)

因为部分项目在建筑寿命期系统的寿命可能不同,所以太阳能热水系统的动态回收期模型应为

$$\begin{aligned} Y = & \left[\sum_{n=1}^e (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} - K_m + F_{m_x} \varphi_{m-e} - F_{m_y} \varphi_{m-e} \right] + \\ & \varphi_m \left[\sum_{n=1}^f (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} - K_m + F_{m_x} \varphi_{m-f} - F_{m_y} \varphi_{m-f} \right] + \\ & \varphi_m \left[\sum_{n=1}^g (W_{m-n} - C_{m-n}) \varphi_{m-n} - K_m + F_{m_x} \varphi_{m-g} - F_{m_y} \varphi_{m-g} \right] + \dots \end{aligned}$$

(7)

式(7)中: e, f, g, \dots 分别为第一、二、三、 \dots 次建筑整体系统的寿命周期(年); $\varphi_{m-e}, \varphi_{m-f}, \varphi_{m-g}$ 为第 m 次更换系统设备期末终值折为本期期初值的现值系数.虽然该模型全面、准确,但存在许多当前难以量化的因子,所以也只能作为预评价的方法.

系统全寿命期的静态投资回收期是不考虑不同年份的常规能源热价、系统设备拆除等因素影响,以单一系统全寿命期(15a)为一周期,投资项目收回初始投资现金流量所需要的时间,一定程度上反映了项目的资金回收能力.静态投资回收期的计算式表示为

$$Y_t = \frac{W_z}{W_j}.$$

(8)

式(8)中: W_z 为初投资.

示范项目的静态投资回收期,如表3所示.由表3可知:被考察的10个项目的平均静态投资回收期为3.5a,项目9回收期最短(1.93a),项目2回收期最长(4.97a);所考察的10个项目的太阳能热水系统静态回收期均在5a内,可见效益相当可观.

表3 示范项目的静态投资回收期

Tab.3 Static payback time of demonstration projects

示范项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
静态回收期/a	2.7	4.97	3.1	3.63	4.8	2.22	4.11	3.22	1.93	4.01

2.3 环保效益

环保效益是太阳能热水系统的不能忽视的重要社会效益.太阳能热水系统因减少了对常规能源的使用,大大的减少了二氧化碳的排放,单一系统寿命期 CO_2 减排量^[10]为

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{\Delta Q_{\text{save}}}{W} \cdot E \cdot n F_{\text{CO}_2} \cdot \frac{44}{12}.$$

(9)

式(9)中: n 为系统寿命,取15a;标准煤热值 $W=29.308\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$; E 为加热装置的效率值,取0.95;

电能的碳排放因子 $F_{\text{CO}_2}=0.866\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 碳标煤.

通过计算,可得公共建筑示范项目全寿命期(60 a)的 CO_2 减排量,如表 4 所示.由表 4 可知:相对于使用化石燃料生产热水,用太阳能可大幅减少对环境的污染(主要是二氧化碳的排放),环保效益显著.

表 4 示范项目寿命期 CO_2 减排量

Tab. 4 CO_2 emission reductions during the demonstration projects' life period										
示范项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
寿命期 CO_2 减排量/t	18 384	17 440	12 928	7 564	6 760	4 632	2 920	2 128	1 772	928

2.4 太阳能保证率

太阳能保证率也是影响太阳能供热系统经济性能的重要指标.如果太阳能热水系统的太阳能保证率高,那么该项目的常规能源替代量就较少,项目的整体节能、环保和社会效益也就可能较高.

示范项目的实测太阳能保证率,如表 5 所示.由表 5 可知:示范项目太阳能保证率平均值接近 50%,所有示范项目均满足国标要求(GB/T 50801—2013《可再生能源建筑应用工程评价标准》,不应小于 40%).

表 5 实测太阳能保证率

Tab. 5 Measured solar assurance rate										
示范项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
太阳能保证率/%	40.86	42.65	60.25	40.13	46.16	59.52	46.92	41.05	42.72	48.26

3 结论

综合分析可得出以下 4 点结论.1) 太阳能热水系统的使用率在所有项目中比率最高,超过了其他节能技术的使用率总和,应用广泛,使用份额大.这与政策的扶植力度、太阳能的能源优势等因素有一定关系.2) 10 个项目年平均节约费用为 21.91 万元,平均静态投资回收期为 3.47 a,经济效益良好.3) 相对于使用化石燃料来生产热水,用太阳能可大幅减少对环境的污染(主要是二氧化碳的排放),环保效益显著.4) 示范项目的太阳能保证率平均值接近 50%,且均符合 GB/T 50801—2013《可再生能源建筑应用工程评价标准》中不应小于 40%的规定.太阳能保证率高,常规能源替代量就少,节能、环保和社会效益就高.

可见,在公共建筑中应用太阳能热水系统有着良好的经济效益、环保效益,值得推广.不过,仍有诸多需改进之处,发展空间巨大.

第一,在现有技术的基础上,应进一步加强系统管理,实现节能减耗.1) 针对部分项目系统控制上存在的问题,如反复启停、供热时段不集中等问题.建议控制工艺尽可能的根据实际情况制定,比如酒店、宾馆主要是晚上用热水,游泳馆、服务中心则主要是白天用热水.因而可根据不同建筑的具体需要,调整热水产量,以实现节能减耗的目的.2) 调查发现,目前多数项目输送的热水温度较高,需要勾兑冷水降温到 40℃左右才能使用,而高水温在储存和输送过程中热量散失较多.若能适温输送,则可节约一定的能源.3) 测评中还发现,直接系统比间接系统耗能要低很多,因而在保证水质的情况下,应根据具体情况尽量选择采用直接系统.

第二,推进技术革新是太阳能热水系统安全、高效与规模化发展的关键.1) 尽管我国家用太阳能热水系统的技术较为成熟,产业化发展较快,但是在将太阳能热水系统与公共建筑一体化发展的进程中,仍存在技术瓶颈.为公共建筑提供更高效、便利、安全的太阳能热水系统,是各领域有待努力推进创新的重要课题.2) 调查发现,一些项目的太阳能热水系统是后期安装的,存在与建筑结合度不好,有安全隐患,不美观等一系列问题.杜绝这类现象,需要地产商、设计院在建筑设计前期就考虑好这些问题,让太阳能热水系统与建筑完美结合,切实做到规划、设计、安装、管理一体化,推进太阳能热水系统的高效化与规模化^[11].3) 要获得国际竞争力,就必须加快技术创新,加快国际化步伐.相关企业要多与国内外科研机构、高等院校合作,多参加国际交流会,多引进先进技术,以提升我国太阳能利用技术的整体水平.

第三,要加大太阳能热利用的宣传力度,并提供政策支持.1) 太阳能热水系统节能、环保,因而有关部门或行业协会要努力向社会各领域推介太阳能热水系统.2) 各地方政府要结合实际,结合国家相关

政策研究制定区域性太阳能热利用的激励措施. 比如对安装有太阳能热水系统的公共建筑实施补贴、税收优惠等,对相关科研机构给予经费支持等^[12]. 3) 要特别对酒店、宾馆、医院、游泳馆等公共建筑推广、应用太阳能热水系统. 这些单位原有热水系统尚未使用太阳能热水系统的,在更新改造时应优先采用太阳能热水系统;新建的酒店、宾馆、医院、游泳馆等公共建筑则应尽可能的采用太阳能热水系统^[13].

参考文献:

[1] 黄飞,陶进庆. 太阳能热水器节能效益和环境效益浅析[J]. 新能源,2000,11(2):12-14.

[2] 高甫生. 雾霾天气,环境与能源: 暖通空调行业的对策[J]. 暖通空调,2013,16(9):33-47.

[3] CHYNG J P,LEE C P,HUANG B J. Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater[J]. Sol Energy,2003,74(1):33-44.

[4] 胡韞频,万晶,汤金才,等. 武汉地区太阳能热水工程经济性评价[J]. 太阳能学报,2012,33(6):916-921.

[5] 于国清,李玉洁. 家用太阳热水系统的节能与环境效益分析[J]. 节能技术,2007,25(143):211-212.

[6] 黄海耀. LCA 法比较太阳能热水器和燃煤锅炉系统的环境效益[D]. 天津:天津大学,2004:32.

[7] 张丽娜,张义智,田瑞,等. 太阳能热水系统的节能效益分析[J]. 能源技术,2007,28(4):232-236.

[8] 胡钢锋,谢建,段良飞,等. 太阳能集中供热水系统的经济评价[J]. 可再生能源,2013,31(4):24-26.

[9] 顾亮杰. 太阳能热水系统在住宅建筑中应用的经济效果评价及政策建议[J]. 西安:西安建筑科技大学,2014:41.

[10] 黄超,马秀琴,何思齐,等. 天津市某住宅小区太阳能热水系统工程的减排量研究[J]. 智能建筑与城市信息,2013,67(7):64-67.

[11] 冯萃敏,付婉霞. 集中热水系统中无效冷水的实测分析与节水改造[J]. 给水排水,2002,28(1):73-76.

[12] 韦雪松. 太阳能集中热水系统在酒店式公寓中的应用[J]. 住宅科技. 2008,33(3):20-22.

[13] 郑志. 闽南地区集中式光热技术与住宅一体化方案[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2008,29(2):299-301.

Effectiveness Analysis of Solar Water Heating Systems
for Public Buildings

WEN Hao¹, ZHOU Wen-cheng²

(1. Department of Infrastructure, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China;
2. School of Management, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: Taking the ten large public building demonstration projects as the studying object, static payback time, environmental protection benefits and the annual assurance rate of the solar water heating system were discussed through evaluation and calculation. The result shows that among all the items, the usage rate of the solar water heating system is the highest with wide application and big share. The annual cost savings of the projects is 219 100 Yuan, the average static payback time is 3.47 years, indicating good economic benefit. The average solar assurance rate is close to 50%, in accordance with the national standards. Compared with heating water using fossil fuels, the solar energy application can sharply reduce the environment pollution, also can benefit greatly the environmental protection.

Keywords: public buildings; solar energy; water heating system; effectiveness

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 方德平)