

An Applied Research and Demonstration Project  
of Solar Water Heating Systems in High-rise Residential Building

# 高层住宅 太阳能热水系统 应用研究与工程示范

---

崔新明 等著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

An Applied Research and Demonstration Project  
of Solar Water Heating Systems in High-rise Residential Building

# 高层住宅 太阳能热水系统 应用研究与工程示范

崔新明 等著

## 图书在版编目(CIP)数据

高层住宅太阳能热水系统应用研究与工程示范/崔新明等著. —杭州: 浙江大学出版社, 2011. 5

ISBN 978-7-308-08607-3

I. ①高… II. ①崔… III. ①住宅—高层建筑—太阳能水加热器—热水供应系统—研究 IV. ①TU822

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 067339 号

## 高层住宅太阳能热水系统应用研究与工程示范

崔新明 等著

---

责任编辑 朱 玲

封面设计 联合视务

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 11

字 数 280 千

版 印 次 2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-08607-3

定 价 28.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

## 序

太阳能作为一种可再生的绿色能源,其利用技术受到各界的高度重视。近年来,我国太阳能热水器产业快速发展,太阳能热水器在住宅工程中已有较大规模的应用,其推广和普及不仅取得了良好的节能减排效益,同时也为推广住宅太阳能热水系统奠定了基础。浙江是经济大省,同时又是能源匮乏和能源消耗大省,能源、资源短缺问题非常突出。浙江省对太阳能利用予以充分重视。《浙江省建筑节能管理办法》已于2007年10月1日起施行,其中第七条明确规定:“新建、改建、扩建建筑工程的节能设计和既有建筑的节能改造工程,应当尽可能利用太阳能、地热能等可再生能源。其中,新建12层以下的建筑,应当将太阳能利用与建筑进行一体化设计。”目前,杭州地区太阳能光热建筑一体化研究工作已具备一定基础,但太阳能热水多应用于低(多)层和小高层住宅,且往往不能均衡供热和充分利用太阳能。因此,如何实现太阳能热水系统与高层住宅建筑一体化,真正为消费者提供舒适、经济、高品质的生活热水,已成为当前太阳能热水系统在城市规模化应用中亟须解决的问题。

在此背景下,为较好地解决这一问题,浙江世贸建筑科技研究院有限公司承担了杭州市节能减排及可持续发展专项《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究与工程示范》(计划编号20081533F07),结合杭州市的具体情况和特点,对高层住宅太阳能热水系统与建筑一体化技术进行理论研究和应用研究。以期通过理论研究,形成基于均衡热供和集成智控的适合杭州地区高层住宅建筑的集中式太阳能热水系统,实现该系统与高层住宅建筑的一体化设计;通过示范工程的建设实践,验证该系统的可行性和科学性,从而为政府决策和政策制定提供参考,对太阳能热水系统生产企业的发展在适应市场方面予以引导,为建设单位实施太阳能建筑一体化工程提供技术指导。该项目还分别被浙江省建设厅和杭州市建委列入2008年度省建设科技科研和推广项目(编号08Z026)和市重点城建科研项目(编号200807)。

项目负责人为崔新明。项目自2008年1月开始研究,至2010年10月完成所有研究内容。在两年多时间里,项目课题组在大量调查研究和实地测试基础上,对杭州地区高层住宅太阳能热水系统展开了深入研究,自主研发的智能化太阳能热水总控制系统和户式控制系统,能实现均衡供热,并达成太阳能与辅助能源的优化配置,较好地解决了太阳能热水系统在高层住宅应用的技术瓶颈。同时还进行了研究成果的工程应用,建设完成高层住宅太阳能热水系统示范工程一项。项目先后完成3项研究报告:主报告《基于均衡热供和集成智

控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究与工程示范研究报告》，子报告一《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究报告》，子报告二《“上郡公寓8号楼”太阳能热水系统示范工程总结报告》。此外，项目授权实用新型专利2项，申请专利4项，获得计算机软件著作权1项，还开发了太阳能热水分户控制器样机。

在项目研究过程中，得到了浙江省住房和城乡建设厅、杭州市科技局、杭州市建委、杭州市拱墅区科技局相关部门的大力支持和指导，得到了浙江世贸房产集团公司同仁和集团客户的支持和配合，此外还得到了山东力诺瑞特新能源有限公司和杭州普阳能源科技有限公司的支持，在此表示真挚的感谢。项目研究完成后，浙江大学出版社朱玲编辑十分重视学术著作出版，为研究成果付梓成书给予了极大帮助，在此一并表示衷心感谢。

本书的主要内容取材于上述《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究与工程示范》课题的研究报告。由于著者学识有限，书中肯定还存在许多需要进一步探讨和论证的问题，也难免存在不足甚至错误之处，恳请读者朋友批评指正。

太阳能热利用技术在住宅建筑中的应用方兴未艾。可以相信，随着太阳能光热建筑一体化技术的不断发展，住宅太阳能热水系统将逐渐成为建设领域的常用技术，著者希望通过大家的共同努力，对该领域进行更为深入的研究，为可再生能源利用工作做出更多努力。

本书由崔新明、王挺、廖春波、李敏妃、倪宏演和范伟等共同完成。全书由崔新明统稿。

崔新明

2010年12月28日

# 前 言

浙江作为经济大省,同时又是能源和资源消耗大省,能源、资源短缺问题非常突出。太阳能作为一种可再生的绿色能源,其利用技术已受到各界的高度重视,尤其是在建筑行业。目前,杭州地区太阳能热水系统与建筑一体化的研究和应用工作已具备一定基础,但如何实现太阳能热水系统与建筑设计、外形与功能的良好结合,又通过对太阳能热水系统的整合优化设计,真正为消费者提供稳定、舒适、经济、高品质的生活热水供应,依然是当前太阳能热水系统在高层住宅建筑应用中急需解决的问题。在此背景下,为较好地解决这一问题,浙江世贸建筑科技研究院有限公司承担了杭州市科学技术局节能减排及可持续发展专项《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究与工程示范》(计划编号 20081533F07)研究,结合杭州市的具体情况和特点,对高层住宅太阳能热水系统建筑一体化技术进行了系统理论研究和工程示范应用研究。以期通过理论研究,形成基于均衡热供和集成智控的适合杭州地区高层住宅建筑的集中式太阳能热水系统,实现该系统与高层住宅建筑的一体化设计;通过示范工程的建设实践,验证该系统的可行性和科学性,从而为政府决策和政策制定提供参考,对太阳能热水系统生产企业的发展在适应市场方面予以引导,为建设单位实施太阳能热水系统建筑一体化工程提供技术指导。该项目(《基于优化设计和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究与工程示范》)还分别于 2008 年 5 月和 7 月,被浙江省住房和城乡建设厅和杭州市建委列入 2008 年度省建设科技科研和推广项目(自筹)(编号 08Z026)和市重点城建科研项目(自筹)(编号 200807)。

本项目研究根据国家、浙江省和杭州市关于住宅建筑太阳能热水系统的法律法规、规范和标准等要求,广泛了解了国内外太阳能热利用技术现状,以提高消费者生活热水品质、技术先进、成本合理且易于市场化推广为出发点,着重进行了基于均衡热供和集成智控的适合杭州地区高层住宅建筑的太阳能热水系统的应用研究和工程示范。

## 1. 项目研究预期目标

### (1) 主要技术、经济指标

① 通过本项目的研究,探索基于均衡热供和集成智控的适合杭州地区高层住宅建筑的集中式太阳能热水系统,优先、充分利用太阳能为消费者提供具有良好舒适度和节能性能的生活热水,同时实现太阳能热水系统与高层住宅建筑的一体化设计。

② 建设一个高层住宅建筑太阳能热水系统示范工程(“上郡公寓 8 号楼”)。

③ 对示范工程太阳能热水系统的初期方案设计和后期运行管理进行综合评价,并根据评估结果进一步调整系统设计和智能化控制参数,从而实现系统设计和智能化控制的最佳匹配。

④ 在太阳能热水系统的工作寿命期内,可通过节约常规能源的费用偿还安装太阳能热水系统所增加的投资,示范工程的预计投资回收期为 5~7 年。

(2)形成以下研究成果

形成 2 项研究报告：《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究》和《“上郡公寓 8 号楼”太阳能热水系统示范工程总结报告》；发表论文 2 篇。

2. 项目研究技术路线

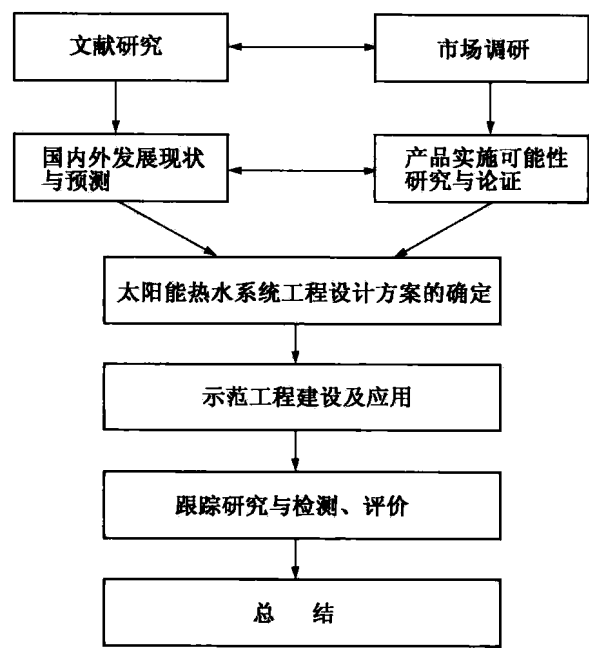


图 1 项目研究技术路线

3. 项目研究进度

表 1 项目研究进度表

| 起止年月              | 进 度 安 排                                                                                                                      |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2008. 1—2008. 6   | 按照合同计划进度,开展相关文献研究、市场调研,深入调查国内外太阳能热水系统的研究现状,开展太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究                                                            |
| 2008. 7—2008. 12  | 按照合同计划进度,开展太阳能热水系统工程方案的相关设计工作                                                                                                |
| 2009. 1—2009. 12  | 按照合同计划进度,进行示范工程建设,并开展相关的试验与评价工作。其中还进行了两次关于杭州地区居民热水使用行为的问卷调查工作                                                                |
| 2010. 1—2010. 4   | 按照合同计划进度,开展集中集热、分户储热式太阳能热水系统示范工程的运行跟踪检测研究,主要针对冬季及春秋过渡季节工况进行系统运行检测,包括系统得热量、储热水箱热损系数、热水供应量等重要指标参数。同时,开始智能化控制系统的研发工作            |
| 2010. 5—2010. 9   | 完成项目所有的研究内容。根据合同计划进度,完成了对太阳能热水系统的技术与经济性指标评价,完成了项目研究报告,完成了 2 篇论文的发表,完成了科技查新工作,完成了智能控制系统的实用新型专利申请(2 项)、分户控制器的实体开发以及计算机软件著作权的申请 |
| 2010. 10—2010. 11 | 项目验收准备                                                                                                                       |

#### 4. 项目实际完成的主要研究成果

项目于2008年1月正式被列为杭州市科技发展计划,自2008年1月开始研究,至2010年9月提前完成项目所有研究内容并达成主要技术、经济指标。根据研究的进度安排,项目课题组对基于均衡热供和集成智控的适合杭州地区高层住宅建筑的集中式太阳能热水系统展开研究,同时进行了研究成果的工程应用,完成高层住宅建筑太阳能热水系统示范工程一项。

(1) 项目先后完成3项研究报告,分别为:主报告《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究与工程示范研究报告》,子报告一《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究报告》,子报告二《“上郡公寓8号楼”太阳能热水系统示范工程总结报告》。

(2) 在国家级刊物发表论文2篇,分别为:“杭州地区分体式太阳能热水系统热性能实测研究”(《建筑节能》,2010年第4期),“高层住宅太阳能热水系统集热面积调查与研究”(《建筑技术》,2011年第1期)。

(3) 项目已获得实用新型专利2项,分别为:《集中集热及分户储热式太阳能热水的智能化总控制系统》(专利号:201020247686.1),《分户储热式太阳能热水的户式微电脑控制系统》(专利号:201020265539.7)。

(4) 项目已申请实用新型专利3项和发明专利1项,分别为:《一种承压式双水箱循环的太阳能热水控制系统》,《太阳能集热器自动清洗装置》,《自动调节热量分配的太阳能热水循环控制系统》,《强制循环和间接换热式太阳能热水系统及其控制方法》。

(5) 项目已取得计算机软件著作权1项:《嵌入式太阳能热水控制器软件》(登记号:2010SR047066)。

(6) 项目开发了太阳能热水智能化分户控制器样机。

以下为两项子报告的主要内容和结论:

(1) 基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究报告

① 提出了一种适合杭州地区气候条件、高层住宅建筑类型的“集中集热、分户储热”式的太阳能热水系统。该系统通过优化太阳能热水系统结构,使太阳能热水系统水压与自来水系统水压平衡,确保热水使用的舒适性与稳定性。通过智能软件控制管道中热水循环方式,在保证使用效果的同时,尽可能降低热量损耗,避免资源浪费。并根据气象条件研究了最佳的集热器安装位置与方式。以集中集热、分户储热系统为主要系统模式,对系统进行整合设计以及最佳集热面积、储热水箱容积配比、集热系统流量等设计参数的优化。

② 课题组通过实际调研认为,不同地区、不同气候条件和不同季节居民的热水使用行为具有差异性,日热水用水量的取值宜因地制宜予以确定。基于实际的问卷调查结果分析,综合考虑经济性和实际节能效果,分季节探讨得出了杭州地区高层住宅太阳能热水系统设计中的关键参数——居民生活日均热水用水量的基本取值建议,即冬季35L/人,春秋季过渡季29L/人,夏季19L/人(热水温度以60℃计);当然随着居民对品质生活要求的进一步提高,可根据实际工程情况适当放大上述取值。

③ 集热面积的合理配置是关系太阳能热水系统与建筑一体化推广应用的关键技术因素,尤其是在住宅建筑形态逐渐以高层为主发展的城市中。示范工程通过优化设计,得到人

均最佳集热面积配置为  $0.63\text{m}^2$ , 比常规配置减少约 27% 的面积。根据调查分析所得结果可以在很大程度上缓解高层住宅屋面集热器布置空间局促的矛盾, 从而为太阳能热水系统在城市高层住宅建筑中推广应用提供一定的技术依据。

④ 调查显示, 杭州地区居民热水使用高峰集中在 19—23 时, 与太阳能热水系统的集热时段恰好错开, 因此在太阳能热水系统设计时, 应以考虑储存一天的热水用量来确定储热水箱的容积, 且对储热水箱的保温性能应有较高要求, 以求提高系统的热利用效率。同时由于杭州地区经常出现连续阴雨天气的气象特征, 为保证不利工况下的用水需求, 必须配备辅助加热装置。在全年运行过程中, 建议利用太阳能进行建筑整体性和基础性调温, 利用高品质能源进行局部和精细化的调温。

⑤ 研究了太阳能热水系统智能控制技术的科学性和可靠性。通过开发先进可靠的集电电控系统和微电脑全智能监控等智能控制技术, 达成太阳能光热利用技术与辅助能源的优化配置, 可优先、充分利用太阳能为住户提供生活热水。

⑥ 目前太阳能热水器在杭州地区仍有很大的推广空间。由于以前自发安装太阳能热水器对建筑外观和房屋相关使用功能造成的影响和破坏, 直接导致许多小区物管部门出台不允许安装太阳能热水器的规定, 严重制约了太阳能热水器的普及。当前迫切需提高太阳能热水系统与建筑的一体化程度, 这也与省市政府高度重视太阳能热水系统与建筑一体化设计、施工及验收的要求完全符合。此外, 还需进一步深入研究适合高层住宅建筑类型的先进太阳能热水系统, 并通过工程示范不断总结经验, 优化和完善系统设计。

#### (2) “上郡公寓 8 号楼”太阳能热水系统示范工程总结报告

在上郡公寓 8 号楼太阳能热水系统项目实施过程中, 示范工程针对太阳能热水系统的整合设计、系统供应商的选择和采购、系统工程施工建设和系统试运行阶段的现场实际检测等不同阶段, 对所选择的太阳能热水系统进行了系统研究和工程示范实践。

① 示范工程实施完成后经现场实际测试验证, 基本符合设计阶段的系统要求, 达到了预期目标; 当然通过实际运行也发现, 个别参数还需进一步优化。此外在智能化控制系统方面因沿用了厂家产品, 也还有待于进一步改进; 同时通过经济分析得出, 基于用户每日均使用热水以满足其使用舒适性的情况下, 在太阳能热水系统的工作寿命期内通过节约常规能源的费用偿还采用太阳能热水系统所增加的投资, 示范工程的投资回收期约为 6.3 年; 而随着技术和市场的不断发展成熟, 系统成本总体上还将不断下降, 可见该系统的性价比将更高。

② 目前示范工程所选择的集中集热、分户储热式太阳能热水系统, 承继了集中式太阳能热水系统管线相对较少的特点, 太阳能热源部分与室内热水系统完全独立, 互不干扰和依存, 基本避免了今后使用过程中收取热水费的管理难度, 且不受室内给水系统的压力分区影响。该系统因具有与建筑一体化、集热面积要求相对较少、使用效率高且分户计量等显著优势, 正越来越受到开发企业和住户的青睐, 是当前高层住宅建筑中值得推广应用的一种太阳能热水系统。这也为在城市中真正实现可再生能源的大规模应用提供了可行性方案, 为节能减排贡献了力量。

③ 通过对示范工程实施过程中存在的问题进行总结, 我们可以发现, 在高层住宅建筑中, 太阳能热水系统的集热器布置及系统工程得以良好实施是实现太阳能与建筑一体化和系统稳定运行的重要因素。对于太阳能集热器构架而言, 无论是预置混凝土形式或钢构架

形式,都须考虑安装强度及遮光性对系统的影响,同时还应兼顾与建筑的美观协调;对于管道系统布置,应尽可能利用建筑空间以减少管线长度,避免不利的管路布置形式对系统正常运行的影响。此外,由于目前的太阳能热水系统市场还处于起步阶段,规范性较差,除了产品(系统)选择余地小,配套的工程安装能力也很弱,因此在系统设计中未预见的问题,往往会在实际施工中暴露出来,这也需要引起重视。

④ 通过对示范工程实际运行状况的现场测试,来验证和评价太阳能热水系统是发现问题的重要途径。此次试验中系统的平均日有用得热量约占太阳辐照量的 31%(不包括管道及水箱热损),按照春秋季的热水使用,热量基本能满足用户对热水的需求,以此推断,只需在冬季加以适当的辅助电加热即可满足用户的热水需求,节能效果明显。同时也验证了设计阶段集热面积、太阳能保证率等相关参数的设置基本合理。

⑤ 根据目前示范工程试运行情况来看,高层住宅建筑的太阳能热水系统在热量传输上仍然存在局部分配不均的现象。若在原有基础上能进一步优化管道保温性能、减少管路长度和控制管道流量的不平衡,同时在系统控制上尽可能减少热水在管道内的无效运行时间以降低热量散失,采取相应的技术措施对于太阳能热水系统获得更高效的有用热量,以及缩小楼层间在获取热量上的不平衡性具有积极作用。

## 5. 项目主要结论

### (1) 项目研究的主要创新点

项目通过国家一级科技查新单位浙江省科技信息研究院的科技查新,结论如下:

经分析比较,在所检文献中集中供热、分户储热太阳能热水系统的研究开发及应用已有文献报道。但委托项目针对杭州地区高层住宅及气候条件的集中集热、分户储热式太阳能热水系统,分冬季、春秋季和夏季三种工况分析了杭州地区居民平均日热水用量,提出了一种用户可根据不同季节与人数,进行灵活选择从而获取所需热水量的控制系统,并通过采集处理循环主管道温度与各分户储热水箱温度,判断低于标定温度差值的户数,实现换热循环装置的联动控制,委托项目还对热转换效率、热供应均衡度及热水实际供应量等参数指标进行了研究,以上特点在上述所检文献中未见具体述及。

### (2) 项目研究结论

项目结合理论与示范工程的建设以及应用实践,通过系统研究得出如下结论:

① 探索了一种基于均衡热供和集成智控的适合杭州地区高层住宅建筑的集中式太阳能热水系统,该系统能充分利用太阳能为住户提供具有良好舒适度和节能性能的生活热水,同时实现了太阳能热水系统和高层住宅建筑的一体化设计。

② 建成“上郡公寓 8 号楼”太阳能热水系统示范工程一项。

③ 通过对太阳能热水系统示范工程的初期方案设计和后期运行管理进行综合评价,并根据评估结果提出了优化系统设计和智能化控制的建议,从而研究实现系统设计和智能化控制的最佳匹配。

④ 在太阳能热水系统的工作寿命期内,可通过节约常规能源的费用偿还安装太阳能热水系统所增加的投资,示范工程的投资回收期约为 6.3 年。

项目研究完成了预期目标,成果达到了国内领先水平。

由于目前的太阳能热水系统研究开发主要由能源研究机构及太阳能生产企业承担,

而建筑设计单位和相关单位参与很少,整合设计研究尚处于起步试验和示范工程阶段,尤其是太阳能热水系统在高层住宅中的应用研究还存在大量技术及管理问题,需要进一步加大产学研合作,及时制定完善的规范和标准体系,大力开发新技术、新系统和新产品,同时辅以积极的政策引导,并配套激励措施。此外,通过系统的技术应用和工程示范,形成适合杭州地区推广应用的太阳能热水系统研究开发基地,从而为杭州市太阳能建筑一体化项目的顺利开展提供有力的技术支持,进一步推动杭州市居住建筑节能工作的可持续发展。

# CONTENTS 目录

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪 论 .....                                  | 1  |
| 1.1 项目研究背景和意义 .....                              | 1  |
| 1.2 国内外研究现状和发展趋势 .....                           | 2  |
| 1.2.1 国外相关研究与发展 .....                            | 2  |
| 1.2.2 国内相关研究与发展 .....                            | 6  |
| 1.3 项目主要研究内容和关键技术 .....                          | 11 |
| 1.3.1 基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的<br>应用研究 ..... | 11 |
| 1.3.2 “上郡公寓 8 号楼”太阳能热水系统工程示范与应用 .....            | 12 |
| 1.4 项目预期目标 .....                                 | 12 |
| 1.4.1 项目合同规定的主要技术与经济指标 .....                     | 12 |
| 1.4.2 项目预期研究成果 .....                             | 13 |
| 第 2 章 太阳能热水应用的调查研究 .....                         | 14 |
| 2.1 家用热水器市场的调查研究 .....                           | 14 |
| 2.1.1 三类家用热水器的比较分析 .....                         | 14 |
| 2.1.2 国内主流品牌的太阳能产品形式 .....                       | 16 |
| 2.1.3 部分太阳能生产企业的调查 .....                         | 17 |
| 2.2 杭州地区住宅建筑太阳能热水应用情况 .....                      | 21 |
| 2.2.1 杭州江南春城·竹海水韵南区 .....                        | 21 |
| 2.2.2 杭州政苑小区 .....                               | 22 |
| 2.2.3 杭州金都雅苑小区 .....                             | 23 |
| 2.3 杭州地区居民热水使用情况调研 .....                         | 24 |
| 2.3.1 调研目的 .....                                 | 24 |
| 2.3.2 调研内容 .....                                 | 25 |
| 2.3.3 住宅生活热水用水调研分析 .....                         | 25 |

|       |                            |    |
|-------|----------------------------|----|
| 2.3.4 | 合理配置集热器总面积的初步探讨 .....      | 35 |
| 2.3.5 | 小结 .....                   | 36 |
| 第3章   | 太阳能热水系统的组成与分类 .....        | 37 |
| 3.1   | 太阳能热水系统的组成 .....           | 37 |
| 3.1.1 | 太阳能集热器分类 .....             | 37 |
| 3.1.2 | 循环系统形式 .....               | 39 |
| 3.1.3 | 控制系统 .....                 | 40 |
| 3.1.4 | 辅助能源系统 .....               | 40 |
| 3.1.5 | 储热系统 .....                 | 40 |
| 3.2   | 太阳能热水系统的分类 .....           | 40 |
| 3.3   | 太阳能热水系统的结构特点与系统分析 .....    | 42 |
| 3.3.1 | 自然循环太阳能热水系统 .....          | 42 |
| 3.3.2 | 强制循环太阳能热水系统 .....          | 43 |
| 3.3.3 | 直流式太阳能热水系统 .....           | 45 |
| 3.4   | 常用集中式太阳能热水系统比较 .....       | 45 |
| 第4章   | 太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究 ..... | 50 |
| 4.1   | 太阳能热水系统与建筑一体化 .....        | 50 |
| 4.2   | 太阳能热水系统设计的软件应用介绍 .....     | 51 |
| 4.2.1 | TRNSYS 软件 .....            | 52 |
| 4.2.2 | Polysun 软件 .....           | 53 |
| 4.2.3 | F-chart 法 .....            | 54 |
| 4.2.4 | RETScreen 软件 .....         | 55 |
| 4.3   | 高层住宅太阳能热水系统设计 .....        | 56 |
| 4.3.1 | 杭州地区太阳能资源分布概况 .....        | 56 |
| 4.3.2 | 示范工程太阳能热水系统设计概况 .....      | 57 |
| 4.3.3 | 太阳能热水系统选择 .....            | 58 |
| 4.3.4 | 热水负荷计算 .....               | 64 |
| 4.3.5 | 太阳能集热系统设计 .....            | 65 |
| 4.3.6 | 热水供应系统设计 .....             | 73 |
| 4.3.7 | 循环水泵选型 .....               | 74 |
| 4.3.8 | 膨胀罐容量计算 .....              | 74 |
| 4.3.9 | 系统控制方式 .....               | 76 |
| 4.4   | 太阳能热水系统节能效益和经济效益评价 .....   | 77 |
| 4.4.1 | 节能效益评价 .....               | 77 |
| 4.4.2 | 经济效益评价 .....               | 78 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第 5 章 “集中集热、分户储热”式太阳能热水控制系统的研发 ..... | 80  |
| 5.1 控制系统研发的背景 .....                  | 80  |
| 5.2 太阳能热水总控制系统的研发 .....              | 81  |
| 5.2.1 控制系统研发的目的 .....                | 81  |
| 5.2.2 控制系统的构架原理 .....                | 82  |
| 5.2.3 控制系统的研发内容 .....                | 83  |
| 5.2.4 控制系统具体操作流程 .....               | 83  |
| 5.2.5 控制系统可实现的功能效果 .....             | 84  |
| 5.3 承压式双水箱循环的太阳能热水控制系统研发 .....       | 85  |
| 5.3.1 控制系统研发的目的 .....                | 85  |
| 5.3.2 控制系统的构架原理 .....                | 85  |
| 5.3.3 控制系统的研发内容 .....                | 86  |
| 5.3.4 控制系统具体操作流程 .....               | 87  |
| 5.3.5 控制系统可实现的功能效果 .....             | 89  |
| 5.4 自动调节流量分配的太阳能热水循环控制系统研发 .....     | 89  |
| 5.4.1 控制系统研发的目的 .....                | 89  |
| 5.4.2 控制系统的构架原理 .....                | 89  |
| 5.4.3 控制系统的研发内容 .....                | 90  |
| 5.4.4 控制系统具体操作流程 .....               | 91  |
| 5.4.5 控制系统可实现的功能效果 .....             | 92  |
| 5.5 太阳能真空管集热器自动清洗装置研发 .....          | 92  |
| 5.5.1 控制系统研发的目的 .....                | 92  |
| 5.5.2 控制系统的构架原理 .....                | 92  |
| 5.5.3 控制系统的研发内容 .....                | 93  |
| 5.5.4 控制系统具体操作流程 .....               | 94  |
| 5.5.5 控制系统可实现的功能效果 .....             | 94  |
| 5.6 太阳能热水户式控制系统研发 .....              | 94  |
| 5.6.1 控制系统研发的目的 .....                | 94  |
| 5.6.2 控制系统的构架原理 .....                | 95  |
| 5.6.3 控制系统的研发内容 .....                | 96  |
| 5.6.4 控制系统具体操作流程 .....               | 99  |
| 5.6.5 控制系统可实现的功能效果 .....             | 101 |
| 第 6 章 太阳能热水系统示范工程的设计与实施 .....        | 103 |
| 6.1 示范工程概况 .....                     | 103 |
| 6.2 太阳能热水系统供应商的选择 .....              | 105 |

|            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|
| 6.2.1      | 调研山东力诺瑞特新能源有限公司 .....      | 105        |
| 6.2.2      | 调研北京天普集团(浙江分公司) .....      | 111        |
| 6.2.3      | 系统供应商选择的原则和流程 .....        | 112        |
| 6.3        | 太阳能热水系统的选择 .....           | 112        |
| 6.4        | 太阳能热水系统示范工程的设计 .....       | 114        |
| 6.4.1      | 设计基本原则 .....               | 114        |
| 6.4.2      | 示范工程太阳能热水系统与建筑一体化设计 .....  | 115        |
| 6.5        | 太阳能热水系统的施工原则 .....         | 116        |
| 6.5.1      | 不规范的施工案例 .....             | 116        |
| 6.5.2      | 规范化的施工工艺 .....             | 118        |
| 6.5.3      | 示范工程的现场施工管理 .....          | 120        |
| 6.6        | 太阳能热水系统安装的前期准备 .....       | 120        |
| 6.7        | 太阳能集热器安装 .....             | 121        |
| 6.8        | 屋面及室内设备安装 .....            | 123        |
| 6.9        | 管道、附件安装及保温防腐 .....         | 124        |
| 6.10       | 太阳能热水系统调试与验收 .....         | 125        |
| 6.11       | 太阳能热水系统运行管理与维护 .....       | 126        |
| 6.11.1     | 集热系统的运行管理与维护 .....         | 126        |
| 6.11.2     | 管道及相关设备附件的维护 .....         | 127        |
| 6.11.3     | 控制系统的运行管理与维护 .....         | 127        |
| 6.12       | 示范工程在施工中存在的问题 .....        | 127        |
| 6.13       | 示范工程的优化设计和调整建议 .....       | 128        |
| <b>第7章</b> | <b>太阳能热水系统的测试与评价 .....</b> | <b>130</b> |
| 7.1        | 实测目的 .....                 | 130        |
| 7.2        | 测评的内容及要求 .....             | 130        |
| 7.2.1      | 测试设备仪器及其要求 .....           | 131        |
| 7.2.2      | 日有用得热量和系统升温性能测试 .....      | 133        |
| 7.2.3      | 储热水箱保温性能测试 .....           | 133        |
| 7.3        | 太阳能热水系统日有用得热量的实际测试 .....   | 134        |
| 7.3.1      | 检测方式及过程 .....              | 134        |
| 7.3.2      | 检测结果初步分析 .....             | 137        |
| 7.4        | 热水供应量的实际测试 .....           | 138        |
| 7.4.1      | 检测方式及过程 .....              | 139        |
| 7.4.2      | 检测结果初步分析 .....             | 140        |
| 7.5        | 分户储热水箱热损系数的实际测试 .....      | 141        |
| 7.5.1      | 检测方式及过程 .....              | 141        |

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| 7.5.2 检测结果初步分析 .....                        | 142        |
| 7.6 太阳能热水系统应用的综合评价 .....                    | 142        |
| 7.6.1 系统运行测试过程中出现的问题总结 .....                | 142        |
| 7.6.2 太阳能热水系统经济效益分析 .....                   | 145        |
| 7.6.3 太阳能热水系统环境效益分析 .....                   | 149        |
| <b>第8章 结论与建议 .....</b>                      | <b>150</b> |
| 8.1 示范工程总结 .....                            | 150        |
| 8.2 项目创新点 .....                             | 151        |
| 8.3 研究结论 .....                              | 152        |
| 8.4 研究展望 .....                              | 154        |
| <b>附录1 浙江省各区域主要地市与太阳能热水系统相关的气象数据表 .....</b> | <b>155</b> |
| <b>附录2 浙江省年太阳辐射总量分区图 .....</b>              | <b>156</b> |
| <b>附录3 住宅热水使用情况调查表 .....</b>                | <b>157</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                           | <b>160</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 项目研究背景和意义

浙江省作为经济大省,同时又是能源资源消耗大省,对于能源、资源的短缺问题更加突出。根据浙江省相关统计资料显示,浙江省建筑用电量约占总用电的 23%。而居住建筑能耗中,18%的电力消耗在热水制备上。随着近年来我国太阳能热水器行业的快速发展,太阳能热水器在住宅建筑中已有较大规模的应用,其推广和普及不仅取得了良好的节能效益,同时也为推广住宅太阳能热水系统奠定了坚实的产品基础。

目前,杭州地区太阳能热水系统与建筑一体化的研究、应用工作已具备一定基础,并已有部分形式多样的太阳能与建筑一体化示范工程。但如何既实现太阳能热水系统与建筑设计、外形与功能的良好结合,又通过对太阳能热水系统的整合优化设计,真正为消费者提供舒适、经济、高品质的热水供应,依然是当前太阳能热水系统在住宅建筑应用中亟须解决的问题。现阶段,12 层以下的中低层住宅建筑太阳能热水系统与建筑一体化已能较好地实现,但是高层住宅建筑太阳能热水系统的应用仍存在不少困难。从实际应用情况来看,12 层以下的居住建筑较有利于太阳能热水系统集热器的布置,管线及其他设备的布置也较为简单,因此更易实现太阳能的高效利用;而对于 12 层以上的高层住宅,从技术角度分析,由于存在建筑高度高、屋面空间少、消防要求以及使用功能的特殊性等特点,导致集热器、太阳能热水系统的管道及相关配套设备等的设计相对较为复杂,同时这也会对系统的热效率和运行稳定性产生影响(尤其是对其中层数较低的住户)。在高层住宅建筑屋面集热面积有限的情况下,如何提高系统热效率、降低热损,并确保系统热供应均衡和稳定运行,已成为影响太阳能热水系统在高层住宅中推广应用的主要技术因素。尤其是面对像杭州这样城市化发展迅速的城市,高层建筑类型势必将成为今后主要的发展趋势。如果不能有效解决太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用问题,太阳能热水系统在城市的推广应用就难以真正实现。

为此,杭州市科技局立项《基于均衡热供和集成智控的太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用研究与工程示范》课题,结合杭州地区具体情况和特点,对太阳能热水系统在高层住宅建筑中的应用进行理论研究与工程示范。项目研究意义主要体现在以下两方面。

### (1) 理论意义

通过对当前高层住宅太阳能热水系统与建筑的整合研究和技术的应用性研究,结合工程示范的实践,形成具有推广价值的基于均衡热供和集成智控的适合杭州地区高层住宅建筑的太阳能热水系统技术。