

烟台市太阳能与建筑一体化节能技术应用研究

Research on Application of Solar Energy and Building Integrated Energy-saving Technology in Yantai

撰文 宋修晶 邵迎旭 烟台市建筑设计研究院

摘要 通过对现有的太阳能与建筑一体化相关专业的理论进行梳理,并对烟台市已完工的第一批太阳能示范工程(约300多万 m^2)及山东省、北京几大太阳能主要厂家进行实地调研,提出适合烟台地区的太阳能与建筑一体化的道路,编写研究报告并编制相应的太阳能与建筑一体化应用图集。

关键词 烟台 太阳能与建筑一体化 真空管太阳能集热器 平板太阳能集热器 集中集热分户储热 分散式集热储热

太阳能是节能减排的关键技术之一。中国计划到2020年,太阳能发电达到180万kW,太阳能热水器总面积达到3亿 m^2 。为探索一条适合烟台市太阳能与建筑一体化应用的道路,自2011年10月20日起,烟台市建筑设计研究院接受烟台市住建局的委托,开始了为期10个月的太阳能与建筑一体化应用的研究任务。

1 调研目的

1.1 利用太阳能制备热水达到节能的需要

《民用建筑太阳能热水系统应用技术规范》规定,日照时数大于1400h/年、年太阳辐射量大于4200MJ/ m^2 及年极端最低气温不高于 $-45^{\circ}C$ 的地区,宜优先采用太阳能作为热水供应热源。

烟台年平均温度 $12^{\circ}C$ 左右,平均日照时间2551.9h,太阳能辐射总量年平均值5049.09MJ/ m^2 ,全年日照百分率58%,是太阳能资源较丰富地区,完全可以优先采用太阳能作为热水供应热源。晴天时,太阳能热水器可以达到4h以上的光照;阴雨天时,水温也能升高 $20^{\circ}C\sim 30^{\circ}C$,和电热水器相比,全年可节省80%~90%的电能。

1.2 贯彻有关节能的方针政策需要

根据规定,烟台全市县级以上城市规划区内新(改、扩)建的12层及以下住宅建筑,必须采用太阳能热水器,新建12层以上的高层住宅建筑,太阳能热水器应用比例要达到总户数的50%,鼓励太阳能与建筑一体化设计、施工。

1.3 示范工程积累的经验教训

到2011年末,烟台市区已经完成500多万 m^2 太阳能集热面积,其中太阳能示范工程已竣工300多万 m^2 。5年的太阳能示范工程积累了一

定的经验,也发现了许多问题。针对出现问题,烟台市住房和城乡建设局于2011年7月7日出台文件明确规定了太阳能热水系统要实行同步设计、同步施工、同步交付使用。

2 研究方法

对烟台市已完工的第一批太阳能示范工程(约300多万 m^2)及山东省、北京几大太阳能主要厂家进行调研,深入工程第一现场,搜集资料,发现及研究问题,同时与使用单位及太阳能施工企业座谈讨论,并参观太阳能厂家生产车间、观摩产品展示及相关工程,记录和拍照搜集材料。

3 调查数据统计及分析

3.1 太阳能品牌使用情况

本次调研的工程为烟台市五区第一批太阳能示范工程,总集热面积约310万 m^2 。参加示范工程的多数是信誉较好的地产商,以力诺瑞特、桑乐、皇明等山东省品牌产品为主,另有北京海林、四季沐歌、昌日及史密斯等。多层普遍采用直插式太阳能,因为准入门槛较低,涉及的太阳能厂家很多,本地企业产品较多。

3.2 调研项目采用的太阳能系统汇总

(1)多层:90%运用屋顶直插式太阳能系统(图1),其中80%是有序排列,10%~20%为无序排列或屋面暴露管线较多影响美观或后期安装存在漏水现象,部分项目存在没有专用管井、管线走墙体或挤占其他位置的情况。也有个别重视品质的建筑选用阳台壁挂分散式太阳能热水系统(图2)。

(2)小高层:9~11层采用屋面与阳台壁挂相结合分散式太阳能热水系统(图3),颜色、形式与外立面和谐统一。



图1 烟台福山某多层小区屋顶直插式太阳能热水器整体造型与建筑和谐一体,美观经济



图2 烟台莱山某小区多层真空管太阳能集热器外挂



图3 力诺太阳能集热器与阳台相结合



图4 中高层太阳能集热器与栏杆结合



图5 分体太阳能集热器固定在窗槛墙上



图6 高层屋顶集中集热、分户储热

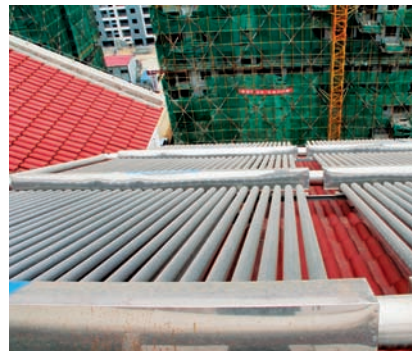


图7 高层住宅集中集热、集中储热



图8 集热器真空管的破坏现状

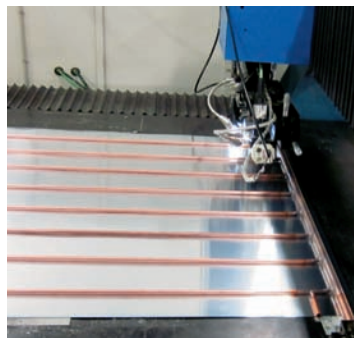


图9 激光焊接, 集热器外框采用无铆钉结构



图10 平板太阳能流水线生产车间

(3) 中高层: 12~18层采用阳台分体壁挂分散式太阳能热水系统(图4)。

(4) 大高层: 18层以上80%~90%使用太阳能分体壁挂的分散式太阳能热水系统, 集热器安装部位为阳台、栏杆; 约占10%的住宅采用屋顶集中集热、分户储热或屋顶集中集热、集中储热两种系统(图5~7), 前者投资小, 运行费用低, 用户免费使用, 后者用户反映问题较多。

(5) 公共浴室都采用屋顶集中集热、集中储热太阳能热水系统。

纵观住宅建筑中的太阳能运用, 尚处于初级阶段, 大多数为一家一户的分散热水供应及事后安装。

4 调研项目所采用的集热器

示范工程中, 集热器以真空管为主, 占70%, 平板占30%。

4.1 集热器的种类及发展趋势

4.1.1 分体集热器的种类

集热器主要包括全玻真空管太阳能、U形真空管太阳能、热管太阳能、平板太阳能等。目前国外集热器市场以平板太阳能为主, 而我国却相反, 以真空管为主。在两种系统中, 基于安全方面的原因, 壁挂系统优先采用平板太阳能, 可考虑逐步减少真空管太阳能在高层建筑外墙外挂的形式(有挑板保护的除外)。

4.1.2 平板集热器的优点

(1) 轮廓面积相同时, 有效集热面积大。在 1m^2 轮廓的集热器条件下, 真空管集热器有效采光面积约 0.55m^2 , 而平板集热器有效采光面积达到 0.92m^2 。

(2) 系统得热量高。国标热性能要求: 在 $17\text{MJ}/\text{m}^2$ 光照条件下, “日

有用得热量”要达到 $7\text{MJ}/\text{m}^2$ 。U形真空管集热器的产品很难达标。

(3) 夏季可防止过热损害。在夏季, 由于平板集热器表面不是真空, 所以 70°C 以上散热加剧, 空晒最高温度很难达到 80°C 以上, 即使住户外出数日, 平板集热器也不会产生过热损害。

(4) 安全性好, 适合与建筑结合。平板集热器可以实现紧凑型或无间隙安装, 形成建筑模块, 是太阳能系统与建筑一体化的理想构件。同时集热器还可以兼备保温、隔热、遮光、防水的功能; 可取代部分或全部屋面, 为立面建筑构件提供基础, 并且集热器的尺寸可灵活设计适应需要, 容易与建筑结构达到较好的相容性。

(5) 平板集热器是船用级镀锌铝锌板整体冲压成型, 盖板是低铁专用太阳能玻璃, 寿命大于25年。

4.2 平板太阳能集热器与真空管的比较

真空管易损坏, 碎片呈锐角易伤人, 虽然有些品牌厂家有一定保护措施, 但在大高层外挂, 还是有一定的风险(图8)。

高级平板太阳能集热器具有以下优良性能: 1) 采用激光焊接技术, 太阳能集热器外框采用无铆钉结构, 整洁美观; 2) 整板吸热涂层焊接工艺, 采用德国Tinox涂层(高吸收率, 低发射率), 而国内最普遍的工艺还集中在铜铝复合或镀黑铬涂层; 3) 色彩有蓝色、金色, 从不同方向观测, 色彩会有丰富的变化; 4) 瞬时集热效率为86%; 5) 不存在真空管爆裂问题; 6) 可以直接当做建筑外墙材料使用, 有非常广阔的发展前景。调研中参观了北京海林的机械化洁净平板太阳能生产流水线(图9, 10)。



图11 卧式水箱



图12 立式水箱



图13 无水水箱太阳能热水器

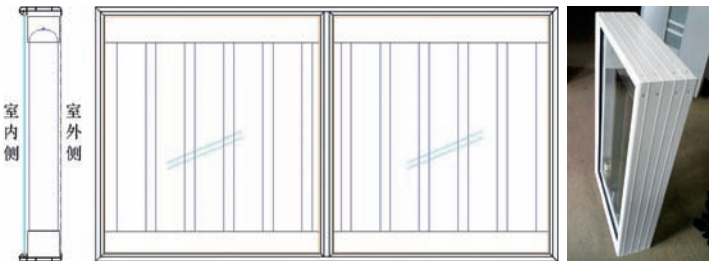


图14 无水水箱太阳能保温窗

5 调研项目所采用的太阳能水箱

5.1 太阳能水箱的分类

按材料,分体水箱一般有不锈钢和搪瓷内胆材料;按换热结构,分为换热盘管和换热套水箱;按太阳能工作方式,分为自然循环和强制循环。容量有80L、90L,主流100L、120L。分体式太阳能水箱多半安装在阳台或卫生间内部,对建筑外立面影响不大,且不存在安全隐患。

5.1.1 不锈钢内胆与搪瓷内胆的比较

(1) 不锈钢水箱:致命缺点是在高温和压力环境下,不锈钢耐腐蚀能力急剧下降,寿命短;搪瓷水箱:主流电热水器都采用搪瓷水箱,分体太阳能热水器分体水箱的工作环境比电热水器要求还高,所以必须用搪瓷水箱。

(2) 搪瓷内胆水箱以其突出的抗冲击性、抗腐蚀性、抗热变性,实现了热水器内胆的历史突破,要采用整体特殊拉伸与无缝焊接工艺,才能保证内胆不易漏水与吸瘪。搪瓷内胆主要由瓷层及专用搪瓷钢板两种原材料组成,搪瓷钢板的选择非常挑剔,其膨胀系数与搪瓷的膨胀系数必须相吻合。

5.2 安装形式

5.2.1 卧式水箱

需要定制。优点是阳台内高置不影响其他设备;缺点是影响太阳能循环,使用时混水层多(图11)。

5.2.2 立式水箱

主流产品,由电热水器工艺转变而来。优点是太阳能循环好,使用时混水少;缺点是阳台占用使用空间(图12)。

5.3 无水水箱太阳能热水器

无水水箱太阳能热水器由全玻璃真空集热管、金属流道(不锈钢水管)、框架、智能控制系统、电辅助加热系统等组成。类型有无水箱太阳能阳台栏板、无水水箱太阳能保温窗、无水水箱太阳能围栏。优点是不占建筑面积,与建筑变成一体;缺点是因为冷媒和水为一体,断面较厚,外形粗大,不精致,且重量大。因内胆为不锈钢,存在不锈钢内胆的缺点。作为建筑构件,要满足门窗的气密性、水密性要求,还有待于继续改进探索。目前主要是一些小厂家生产,没有形成大的规模(图13,14)。

6 太阳能价格统计汇总

太阳能热水系统每户安装的太阳能集热面积为 $2\sim 3\text{m}^2$,集热器的系统增投资 $1\ 200\sim 3\ 000\text{元}/\text{m}^2$,每户的太阳能热水系统增投资为 $2\ 400\sim 10\ 000\text{元}$ 不等。按烟台市住宅每户平均建筑面积为 $100\sim 120\text{m}^2$ 计算,折合到每平方米建筑面积太阳能热水系统的增投资为 $30\sim 40\text{元}/\text{m}^2$ 。

一般屋顶直插式太阳能价格 $1\ 800\sim 2\ 500\text{元}/\text{户}$ (100升)。示范工程中的壁挂式真空管、平板太阳能价位绝大多数在 $5\ 000\sim 7\ 000\text{元}/\text{户}$ (水箱100L),真空管中的铜管循环系统和进口蓝膜平板太阳能略贵。不过示范工程中少有突破7000元的。

每平方米热水器在适当的管理下每年可节约的能量相当于标准煤 $60\sim 100\text{kg}$,可减少二氧化碳 $180\sim 300\text{kg}$ 。太阳能与建筑一体化用1%的建筑成本弥补了10%的建筑能耗,既节能减排,又实现了能源自给。

7 调研发现的问题

7.1 集热器的安装问题

在公共建筑中,太阳能应用多为集体浴室集中太阳能热水系统,因为集热器放在屋顶,集中管理,没有发现安全及其他隐患;在住宅建筑中,太阳能集热器多以角铁支架安装形式为主,特别是外挂系统,基本都是角铁支架配合螺栓或扁铁固定,现在看来问题不大,随着时间推进,支架、螺栓、连接扁铁是否会疲劳破坏以及使用寿命多少都是未知数,现场看部分铁件有生锈迹象(图15~17)。



图15 集热器固定在栏杆上



图16 集热器固定在外墙上



图17 集热器固定在阳台栏板上



图18 高层太阳能与水箱一体安装在阳台栏板上

7.2 太阳能集热器的寿命

信誉好的企业承诺 15 年，大多数只承诺 3~5 年。有的住户刚入住太阳能就不能使用，而通常开发商与施工企业及用户签的是双向合同，损坏后找不到人来维修。太阳能产品的检测标准亟待解决，保修期及合理使用年限亟待确定。

山东潍坊规定太阳能产品使用年限 15 年以上，既然好的产品能够达到 15 年的使用年限，我们就应该明确规定采用的产品使用年限应为 15 年以上。太阳能热水器产品应在政府、企业、设计、施工等各部门的通力配合下，使其产品更规范化、标准化。

7.3 水箱和集热器整合挂外墙

《居住建筑太阳能热水系统一体化应用技术规程》(J11859-2011)中只提到，储热水箱可设置在设备间、建筑屋面、平台、阳台、厨房、地下室，没有规定不能采用水箱和集热器整合挂外墙。此种方式对外墙、锚固件等的受力要求都不利，安全隐患尤其大(图 18)。

7.4 太阳能产品出现问题以后的维修及更换问题

这是涉及到太阳能能否长期普及使用的问题。调研中发现没有条件维修和维修困难的情况较多，特别是在高层建筑中，室外集热器安装在窗台下部，窗户的底部是固定扇的大玻璃，从窗口处操作，基本够不到集热器，每个集热器重量在 50kg 左右，水箱加集热器重量在 150kg 左右，正常维修较困难。

7.5 从规划阶段考虑太阳能设计的建筑数量微乎其微

绝大多数是从扩初、施工图阶段开始考虑太阳能设计的(特别是外地设计单位做方案设计的项目)，因为不能破坏建筑外立面效果，只能选择固定在栏杆上。其次，因为太阳能设计增加了责任和工作量，设计费用并没有增加，设计师主观上参与方案设计的积极性不高；加上一些开发商对选择太阳能厂家不及时、不积极，所以绝大多数项目是施工图都结束了，也没有确定生产厂商，不能做到太阳能与建筑完全一体化。

7.6 用户反映的集中式太阳能系统的优劣

对于大高层，集中集热、分户储热系统很好，因为每家分配的热量是一定的，一家的热水用完了不会影响其他用户。造价每户只比分体式多 1 000 元，运行费用很低，用户基本不用交钱，设在大高层屋顶也很安全。

集中集热、集中储热的形式因为用户之间相互影响，且水温不稳定，还有物业收水费困难等因素，难以维持下去。这种形式比较适用于公共浴

室，对住宅则不太适合。

7.7 太阳能设计不能因地制宜

如有些大高层的壁挂集热器，其下几层每天的光照为 1~2h，达不到 4h 的要求。因此这些集热器的设置不够合理，仅靠辅助电加热或另外安装电热水器，势必造成浪费。

多层住宅存在屋面管线过长、后期人为改造痕迹突出、影响美观的问题，这是因为管井和上面的集热器位置不对应。

7.8 规范产品

需要取得技术认证的产品，固定支架的使用年限、集热器、水箱等的使用年限确认，这样产品安全性才能有保障，烟台市住建局已出台相关文件。

7.9 安装凭经验较多，缺乏理论计算数据

通过对栏杆上固定集热器进行测算，发现集热器固定在栏杆的不同部位以及固定点的数量变化都会引起栏杆的壁厚及截面变化，所以从安全角度出发，甲方或厂家在确定栏杆尺寸及节点后，应交给设计院对栏杆的荷载受力情况及安全性进行复核。

8 结论及建议

8.1 提倡同步规划、同步设计、同步施工、同步验收、同步管理的“五同”太阳能与建筑一体化的应用思路

8.1.1 同步规划

太阳能与建筑一体化都是绿色建筑的内容，如果能从规划入手是最理想的选择，可以综合考虑所在地区的地理纬度、气候状况、场地条件及周围环境，确定群体建筑太阳能热水系统的规模及形式，确定相应的单体建筑布局、朝向、间距、群体组合，以满足太阳能热水系统设计和安装的技术要求，避免其他障碍物对投射到太阳能集热器上的阳光造成遮挡，为接收较多的太阳能创造条件。

8.1.2 同步设计

把建筑、技术和美学融为一体，太阳能热水器与住宅建筑设计有机结合，改变传统太阳能的结构对建筑外观形象造成的影响，并使施工安装方便、用户使用方便及管理维修方便。在结构上，妥善安装，确保建筑物的承载；在管线布置上，安全、隐蔽且相对集中、合理有序、美观，减少热损耗，考虑好太阳能管道的保温和冬季正常运行问题；还可以使太阳能与其他能源加热设备的匹配合理，尽可能实现系统的智能化和自动控制。



图19 集热器作为栏杆构件



图20 集热器与栏杆、平台一体化



图21 集热器放在挑板上



图22 集热器放于南立面采光口



图23 德州蔚莱城将飘板作为太阳能集热器的一体化设计



图24 德州皇明太阳能谷太阳能与建筑一体化设计

8.1.3 同步施工

安装不规范，客观上会影响工程效果的发挥，同时影响美观。太阳能一体化同步施工，可以考虑施工步骤的优化，并且由多方同步施工，不但可以使两者有机结合，更能减少重复施工的现象，从而节省人力、物力，在保证质量的同时降低成本。

8.1.4 同步验收

从规划、设计、施工阶段就同步验收，保证质量，可以保证太阳能系统合理、稳定、安全，达到系统运行效率高，易于安装、检修、维护、管理。

8.1.5 同步管理

太阳能建筑一体验收完成之后，后期维护管理的服务是必不可少的，针对设备损坏的维修、物业沟通的缺失等有必要实行同步管理。从设备上来说，可以引进逐级承诺制度。开发商要向业主承诺，太阳能企业要向开发商承诺……比如，要承诺热水供应的时间，热度和吨水成本，并且还要承诺太阳能产品的使用寿命是20年，还是30年或者更久。若达不到承诺标准要有一个什么样的补偿。这都是互相制约的必要条件。如果有这样的利害关系，用户才会用着放心，开发商装着安心，太阳能建筑一体化才会发展壮大。

8.2 建议

8.2.1 集热器安装位置建议

建议如下：1) 紧贴斜屋面安装；2) 紧贴阳台围栏安装或用太阳能

装置直接代替阳台、围栏（图19，20）；3) 紧贴南墙立面安装，附近能检修、下有托板（图21）；4) 紧贴南墙立面采光槽开口处安装（图22）；5) 做成建筑物构件在屋顶上安装，如德州蔚莱城项目，把屋顶飘板做成皇明太阳能集热器，既满足了集热器的采光需要，又形成了建筑优美的造型元素（图23，24）；6) 把平板太阳能集热器作为外墙，如北京海林办公楼外墙设计（图25）；7) 在建筑物南墙外挑飘板或者在另设型钢立柱的立面上安装。

8.2.2 太阳能的系统选择

在不同的居住建筑中，应根据不同的供水要求和条件选用合理的太阳能热水系统：1) 在别墅及排屋住宅中，宜采用分离承压式强制循环的分户式系统（图26，27）；2) 低层及多层住宅中，宜优先选用分离承压式强制循环太阳能热水系统，在建筑造型允许的前提下，可采用自然循环的整体式太阳能热水系统；3) 当太阳能热水系统中的用水点设有冷热水混合器或混合龙头时，冷热水供应系统在配水点处应有相近的水压；4) 低层及多层住宅的太阳能热水系统中应视具体条件选择分户式、半集中式或集中式系统；5) 分户式太阳能热水系统各户管道独立，管线数量较多，管线的布置应考虑检修的可行性，并且要求任何一组（根）管线检修或更换时不影响其他管线的正常使用；6) 集中集热、分户储热的半集中式太阳能热水系统，为便于热水的计量和循环加热，宜采用间接式加热系统，但应有可靠的技术措施保证户内的热量（水）不外流至管网；7) 集中集热、

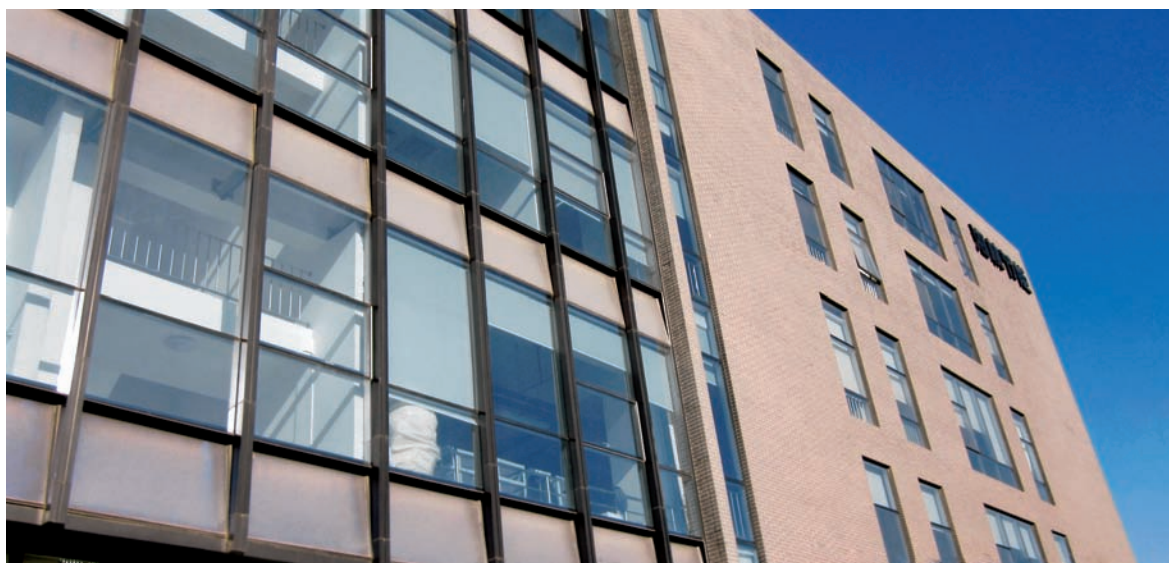


图25 平板太阳能集热器做成窗槛墙



图26 桑乐平板太阳能别墅屋面



图27 水箱、控制器放置在屋面下面的閣楼里

集中储热的集中式太阳能热水系统应当适当控制系统规模，避免管线过长，热损失量过大；8) 高层建筑在屋面资源不能满足集热器布置要求的前提下，可以采用分段供应热水的方法部分满足上部建筑的太阳能热水系统的集热要求，或采用栏板式、阳台式集热器制取生活热水，但应保证集热器全年能充分地采集阳光，保证冬至日热水器采光面上的累积日照时数不少于4h。

8.2.3 安全设计要求

安全设计要求如下：1) 建筑的主体结构或结构构件应能够承受太阳能集热系统传递的荷载和作用；2) 应对集热器安装形式的重力荷载、风荷载和地震作用效应进行校核，确保集热器安装的安全；3) 当集热器作为建筑围护结构的一部分时，应对其强度进行复核，确保其能实现相关建筑性能；4) 应根据集热系统设计单位提供的集热器运行重量和储水水箱重量，对安装位置进行结构荷载校核；5) 集热器安装所需钢构件所使用的钢材、连接材料和涂料材料应具有质量合格证书，并应符合设计文件的要求和国家现行有关规范、标准的规定；6) 新建建筑安装集热器前，应在混凝土结构构件内预埋支座，不可后打膨胀螺栓固定，不可安装固定于非结构构件（如窗台填充墙等）之上；7) 集热器支架安装所有钢材表面

的原始腐蚀等级不得低于B级，其除锈等级应满足《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》（GB8923-88）相关要求；8) 集热器埋入混凝土的钢埋件表面、现场焊接处及构件剖口焊接部位均不许涂刷油漆或有油污，待现场安装完毕后，再按设计要求补防锈漆或防火涂料。

8.2.4 其他建议

除上述外，还有如下建议：1) 对安装在栏杆上的集热器，一定要有计算依据和必要的限定条件，最好下面有承台，栏杆的固定措施要准确、到位；2) 外挂式集热器要考虑维修方便，建议和空调室外机整合考虑；3) 建议规定太阳能使用年限不小于15年；4) 对于水箱和集热器一体的太阳能外挂形式，原则上不允许，但如果是放置在钢筋混凝土挑板上，或者是有理论计算依据，锚固措施得当，能有组织排水，允许使用；5) 在一些以高层建筑为主的小区，低层的住户每日阳光照射在2h左右，达不到4h的要求，建议不采用单一一体壁挂形式，而是采用部分屋顶集中集热和部分一体壁挂两种系统相结合的形式；6) 平板太阳能无论是从安全性还是从市场前景来看，更适合于高层和小高层的壁挂系统，因而提倡高层分体壁挂优先使用平板集热器。■