

对青藏高原地区建筑太阳能热水供暖的几点看法

中国建筑设计研究院 潘云钢[☆]

摘要 分析了青藏高原的气候和供暖热负荷的特点,认为青藏高原地区建筑供暖应充分利用太阳辐射热。对太阳能光热集热器的实时即热效率进行了分析,指出集热水温只有达到供暖温度要求,太阳能集热量才能作为太阳能贡献率的评价依据。对太阳能集热、蓄热、取热及辅助热源系统和室内供暖系统的参数优化组合进行了分析,提出了设计应用的方法。

关键词 高海拔地区供暖 太阳能集热系统 集热器 效率 室内供暖系统 设计

Some opinions on solar energy hot water heating for buildings in Qinghai-Tibetan Plateau

By Pan Yungang[★]

Abstract By analysing characteristics of the local climate and heating load, thinks that solar radiation heat should be fully used in this region. Analyses the real time instant heat efficiency of solar heat collectors. Points out that only when the water temperature in heat collectors meets the requirement of heating can the solar heat collected be used as the basis for evaluating solar energy contribution rate. Discusses heat collecting, storing and taking of solar energy, and optimizing and combining of parameters of the auxiliary heat source system and indoor heating system. Puts forward the methods of design and application.

Keywords heating in high altitude zone, solar heat collecting system, heat collector, efficiency, indoor heating system, design

★ China Architectural Design Group, Beijing, China

①

在我国社会经济不断发展的今天,建筑(尤其是居住建筑)的冬季供暖问题显得越来越突出。青藏高原地处我国的西南部,尽管其气候分区属于寒冷地区,但与传统的北方寒冷地区相比,高原气候具有特殊性,因此其建筑供暖方式完全按照北方寒冷地区的模式是否合理是一个需要从技术经济、节能环保、运行管理以及当地人员的生活习惯等方面进行深入研究的问题。

1 高原地区的供暖负荷及其特点

从实际情况来看,对于夜间时段使用很少的部分公共建筑(如商场、餐饮场所、办公建筑等),如果完全按照文献[1]规定的供暖室外计算温度(实际出现频率并不高)计算供暖热负荷,通常会导致供暖设备的装机容量略微偏大,如果没有很好的室内温度控制与调节措施,将导致白天的室内温度偏高。在设计状态下,如果按照目前的设计计算方

法,这些地区的供暖设计计算与北方寒冷地区没有多大区别,就同一建筑而言,其热负荷及其指标与室外温度相同的北方寒冷地区差不多。但是,一个值得重视的问题是,青藏高原太阳辐照度远大于北方寒冷地区,尤其是冬季。在白天,由于太阳辐射的作用,房间的实际瞬时热负荷小于室外温度相同的北方寒冷地区,而传统的供暖负荷朝向修正方法和常用的修正值并不完全针对青藏高原地区。即使两者设计状态下的基本热负荷相同,其全天的逐时热负荷曲线也存在相当大的差别,可以证明,室外温度相同时,太阳辐照度越大的地

①☆ 潘云钢,男,1962年8月生,大学,教授级高级工程师,副总工程师

100044 北京西直门外车公庄大街19号中国建筑设计研究院
(010) 68343882

E-mail: panyg@cadg.cn

收稿日期:2013-03-26

区,建筑全天供暖总需热量越小。由于目前供暖负荷的逐时计算没有广泛采用,相关规范和标准也没有明确提出要求,一些实际工程没有对此予以足够的重视。

青藏高原太阳辐射热较大,冬季白天室内蓄热较多,夜间这部分蓄热会逐渐释放出来,弥补了建筑围护结构的温差传热,夜间实时供暖热负荷会减小。

因此,对于青藏高原地区,仅白天使用的建筑和昼夜使用的建筑,其供暖设计与北方地区应该有明显的区别。其核心思想是充分利用太阳能,可采取以下措施:1) 坚持“被动优先,主动优化”的原则,应用好被动式太阳能技术,尽可能降低供暖热负荷;2) 通过实时温度控制技术充分利用自由热,这在大部分公共建筑项目中是能够做到的,对于居住建筑则宜提倡在经济条件许可下采用;3) 优化系统参数设计计算;4) 在可能条件下,采用逐时热负荷计算方法。青藏高原的另一个特点是气候干燥。从人体舒适性的角度来看,随着空气相对湿度的降低,感到同样舒适度时的室内温度也可以随之降低,室温较高人反而可能感到燥热。我国的绝大部分以供暖为主的建筑(包括很多公共建筑),实际上并没有合理地设计和应用室内空气加湿系统,供暖居住建筑中通常也不设室内空气加湿系统。因此,笔者认为,青藏高原的大部分建筑在设计供暖系统时,适当降低室内的设计温度对于提高舒适性是有一定好处的。

2 利用太阳能的热水供暖系统特点

2.1 时间特性

太阳能尽管辐照总量很大,但单位面积的辐照量是有限的,并且在连续集热过程中,太阳能集热的水温相对较低。因此,当以太阳能作为供暖热水的热源时,需要一定的集热面积作为基本保障(集热面积过小时,不能满足供暖热水的水温要求)。另外,一个明显的特点是,太阳能辐照量的峰值与供暖负荷的峰值在时间上错峰出现——白天辐照量高、供暖负荷低,早晚则相反。因此如果白天的集热量有富余,应考虑设置蓄热装置蓄热供夜间使用。除了典型设计日之外,蓄热方式对于非典型设计日(甚至跨季节蓄热)的太阳能利用更为突出,必将极大地提高太阳能对整个供暖季节的热源贡献率。当然,这涉及到整体系统的设计与优化问题,

包括可设置的太阳能集热面积和集热量、集热水温、蓄热材料、蓄热容量及蓄热温度,以及系统的运行方式等。

2.2 随机特性

即使是拉萨这样的太阳能Ⅰ类地区,冬季日照率可达 77%,冬季还有 20% 以上没有太阳直接照射的阴、雨、雪天。尽管采取蓄热措施可能解决部分问题,但不能完全依赖太阳能对建筑全年供暖提供实时的保障。因此,太阳能利用的重要原则是:在可能条件下充分利用,但必须有辅助的措施来应对太阳辐射不足时的情况。

对于拉萨来说,即使是阴、雪天情况下,天空的散射辐射值有时也是非常强的,系统设计合理时(散射辐射值能够提供满足要求的热热水温度时),有可能利用一部分散射辐射作为集热水的热源。因此,辅助热源装机容量一般可比按照常规设计参数下的计算结果略小来选择,尤其对于仅仅白天使用的建筑更是如此。

2.3 低温特性

供暖系统是一个连续运行的系统,太阳能集热水也要求连续供应,因而必须考虑太阳能集热系统实时的集热能力,这一特点与太阳能在生活热水中的应用是完全不同的。太阳能集热器实时的光热效率受辐照量、大气环境温度、管内水流速、进水参数等多方面的影响。以下是几种集热器瞬时效率 η 的计算公式或方法。

1) 公式(1)^[2]

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_i - a_2 G T_i^2 \quad (1)$$

式中 η_0 为 $T_i=0$ 时的效率,有资料又称光学效率; a_1, a_2 分别为以 T_i 为参考的常数; T_i 为归一化温差, $T_i = (t_i - t_a)/G$, 其中 t_i 为集热器进口工质温度,℃, t_a 为环境温度,℃; G 为太阳辐照度, W/m^2 。

2) 公式(2)^①

$$\eta = \eta_0 - \frac{K_1 \Delta T}{G} - \frac{K_2 \Delta T^2}{G} \quad (2)$$

式中 K_1, K_2 为热量损失系数,单位分别为 $W/(m^2 \cdot K)$, $W/(m^2 \cdot K^2)$; ΔT 为集热器与环境温差, K 。

公式(2)中的一些参数见表 1。

① 来源于相关企业样本。——作者注

表 1 基于式(2)的相关参数

集热器形式	光学效率 $\eta_0/\%$	热量损失系数	
		$K_1/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	$K_2/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2))$
1.7 m ² 平板式	81.1	3.78	0.013
2.5 m ² 平板式	82.6	3.68	0.011
真空管	83.7	1.75	0.008

3) 公式(3)(针对 $\varnothing 47 \text{ mm} \times 1\,500 \text{ mm}$ 真空管(横置))^①

$$\eta = C_0 - C_1 X - C_2 X^2 \quad (3)$$

式中 $X = (T_m - T_a)/G$, 其中 T_m 为贮水温度, K ; C_0 为集热器瞬时效率截距, 取 0.476; C_1 为与集热器热损有关的系数, 取 $1.084 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; C_2 为集热器中高温瞬时效率非线性系数, 取 $0.003 \text{ W}^2/(\text{m}^4 \cdot \text{K}^2)$ 。

4) 方法 4——以图示方式给出瞬时效率计算方法^①

文献[2]建议, 太阳能集热器设计水流量取 $0.021 \sim 0.072 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。从传热学角度看, 水流量越大, 集热量越大, 得到同样热量所需要的集热器面积越小(有利于与建筑的协调), 但集热器的出水温度越低; 反之, 水流量减少, 可使集热器的出水温度得以提升(集热器内的水温升高), 但集热量减少, 需要布置更多的集热器, 与建筑的协调难度加大。根据集热器效率计算公式和图 1, 通过计算可以发现, 在上述设计水流量范围内, 对于典型辐照度工况 ($800 \text{ W}/\text{m}^2$), 如果要求集热器出水温度在 $50 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右时, 实际集热效率约为 $30\% \sim 40\%$ 。在集热量和集热面积相同的条件下, 如果想提高集热效率, 必然以降低集热器出水温度为代价。

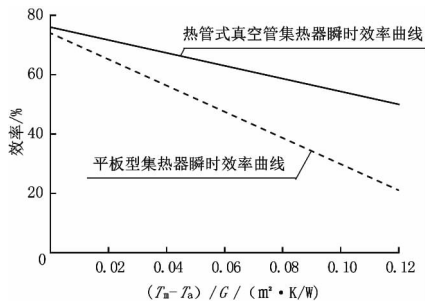


图 1 集热器瞬时效率曲线图

因此, 在满足使用要求的集热器出水温度(在集热水直接供暖系统中, 至少不应低于供暖系统的

设计回水温度; 在通过换热器的间接供暖系统中, 还应考虑换热器的换热温差)前提下, 集热器的设计水流量与集热器总面积的优化非常重要, 在热水品质与集热效率之间, 设计人必须进行权衡。

3 太阳能热水供暖系统的设计与应用

3.1 室内供暖系统与末端的设计原则与方法

热水品质需求不是凭空想出来的, 而是来自于实际供暖末端的需求。因此为了提高太阳能的贡献率, 室内供暖系统的主要设计原则是尽可能降低供暖系统的供水温度。

传统的先确定供回水温度的设计方法对于太阳能应用来说并不适宜。为了降低对供水温度的要求: 1) 应提高建筑围护结构的热工性能, 以减小热负荷(这也和被动太阳能利用技术的很多方面是一致的)。2) 必须采用换热效率更高或者换热面积更大的末端系统, 以面积换品质需求(这也是所有低品位能源应用中的一个可考虑的主要原则), 才能得到更高的效率。

室内供暖系统的设计方法如下。

1) 计算确定各房间热负荷。

2) 确定各房间的末端形式。

对于供暖系统来说, 常见的末端形式主要有: 散热器、辐射供暖(包括地板辐射和毛细管顶部及侧墙辐射)和强制对流设备(如风机盘管等)。

从低温应用的角度看, 地板辐射供暖或者毛细管辐射供暖对供水温度的要求是最低的, 因此适合在太阳能系统中应用。但是要注意的是, 由于地板辐射供暖会产生延迟现象, 如果设计与应用不合理或者建筑的热特性与之不相协调, 尤其对于居住建筑, 有可能造成: ① 白天太阳能通过玻璃窗进入房间的辐射得热反而减少的情况(因为地面温度偏高所致), 文献[3]对此进行了较为深入的分析; ② 白天的室温随着辐射得热而变化, 实时调控难度加大。顶部安装毛细管辐射末端的建筑或房间相对能够缓解这种现象(与太阳不发生直接的辐射换热, 反应速度也相对提高)。对于一些公共建筑而言, 由于其热指标大于居住建筑且夜间使用要求降低, 采用辐射末端有一定的优点。

常规散热器的散热机理一般是“自然对流+辐射”, 对水温的要求比辐射末端高, 否则需要较多的换热面积, 导致散热器尺寸和占用室内空间加大。因此散热器对于热指标较大的公共建筑, 其适应性

① 来源于相关企业样本。——作者注

降低;而对于低热负荷指标的居住建筑,有一定的实用性。风机盘管由于采用了强制对流换热的方式,其单位体积的换热量比常规散热器高得多,适用范围得以扩大。

3) 按照最大可能的布置位置,尽可能加大各房间末端供暖设备的规格(初选择)。

4) 根据各房间的设计热负荷需求和末端布置情况,计算各房间末端设备所需要的供回水平均温度,并结合供暖水系统的能耗合理确定供回水温差,由此可确定供水温度 $t_i (i=1 \sim n)$ (假定 n 个房间)。

5) 从 t_i 中选择最大值,作为该建筑的供暖系统供水设计温度。

上述过程中求出的各房间的 t_i 并不同。由于实际建筑情况千差万别,有可能个别房间(例如西北向房间、可设置的末端设备规格很小或者辐射地板面积很小的房间)会出现供水温度要求极高的情况。这时设计师需要进行权衡:为了降低整个建筑对供水温度的要求,这些个别房间可以采用其他辅助供热手段(例如空气源热泵等)。

6) 根据以上步骤,并考虑间接式系统所需要的换热温差以及蓄热系统的热损失情况,即可确定所需求的太阳能集热器的设计出水温度。

7) 按照最终确定的系统供水温度和供回水温差,重新选择和配置最合适的房间末端设备(绝大部分房间末端设备的容量将比初选时减小)。

3.2 集热、蓄热、取热与辅助热源系统

3.1 节介绍的方法,从原则上讲适合于所有采用低品位热源的供暖系统。从这一方法可以看出,在一幢建筑中,如果房间越多,则不同的供水温度需求就越多,也就可能出现所要求的水温不断升高的情况(特殊房间出现的可能性很大),需要提高供暖系统的供水温度;同样的理由,对于区域性热网也是同样成立的,不同建筑的系统和供水温度可能是不同的。

举例来说,当一幢建筑内各房间(或者各住户)的供水温度要求不同时,如果全楼统一设置太阳能热水系统,那么要求的热水系统供水温度必然较高;如果各自按照不同的要求来配置太阳能集热系统,则供水温度要求低的系统的太阳能集热器效率将提高,对于整栋楼来说,太阳能的贡献率必然提高。

采用区域热网方式供热时,因为要顾及的范围

比较大,因此热网供水温度通常都是较高的,甚至其设计回水温度都有可能比按照 3.1 节计算出的建筑所需要的供水温度高。如果将太阳能集热作为热网的部分热源,由于要求较高的集热水温,集热效率必然低于每幢建筑分别设置太阳能系统的效率。如果集热水温低于热网设计回水温度,那么此太阳能系统的设置就成为“摆设”了。

因此,太阳能热水系统设计的总体原则是:采用太阳能热水作为供暖热媒时,太阳能集热水系统越分散,对太阳能的总体利用效率越高。无论如何,都不应用其作为区域级热网的热源来使用。

当然,每个房间或者每户设置独立的太阳能系统在实际工程中不易实施,在公共建筑中,与建筑外立面不易协调;在住宅中,每个住户不易做好太阳能集热系统与辅助热源的协调运行管理。因此,结合当前的建筑类型、辅助供暖热源等实际情况,笔者认为在利用太阳能热水供暖时,太阳能热水系统的设置可作如下考虑:

1) 对于公共建筑,太阳能热水系统可按楼栋集中设置,也可分功能区域分散设置,并通过间接式换热,为室内供暖系统提供热源(或部分热源);或根据可布置的集热器面积,合理确定其作用范围。

2) 对于设置了集中热水供暖系统的居住建筑,则分为两种情况:① 低层建筑,因为有较强的屋面面积,与公共建筑的方式相同;② 多层及高层建筑,宜采用每户独立设置集热系统和间接换热方式。

3) 对于独立分户设置供暖热源(如燃气壁挂炉)的居住建筑,应分散设置太阳能集热系统。

集热水系统形式也是一个非常重要的问题,通常有开式和闭式两种。采用开式系统的特点是,有利于夜间将系统的水排空而防止结冻;对集热器的承压没有严格的要求;也有利于采用开式水箱进行蓄热。但是开式系统高度不宜过高,否则集热水泵的能耗将过大,因此笔者认为这种系统适合用于一些建筑高度不高的公共建筑。

闭式集热系统运行比较稳定,因不需要考虑高度问题,集热水泵扬程可相对减小,系统内充注防冻液可不需要夜间排空。但防冻液的换热能力通常比水低,且需要考虑防冻液的热膨胀问题,因此一般来说系统不宜太大。笔者认为这种系统适合

用于分户设置的住宅太阳能热水供暖系统。

蓄热水箱(或者蓄热溶液罐)的容量设计也是一个值得重视的问题。蓄热设计的条件是:足够的集热面积,能使白天集热量(特别要明确指出的是,这是能够达到设计集热水温要求的集热量)有一定富余,并转移到夜间使用。如果白天的集热量无法满足白天的供暖需求,那么蓄热水箱的设置就没有意义,反而会导致整个系统对太阳能的利用率降低(蓄热水箱本身会在夜间散热)。同理,蓄热水容量过大,也会出现同样的问题。当然,是否设置蓄热水箱以及其容量的确定,应根据整个供暖期而不仅仅是冬季典型设计日的计算结果。就工程实践而言,在典型设计日白天能够达到集热与供暖负荷平衡的情况下,设置一定容量的蓄热水箱是有益的,它能在非典型设计日为太阳能的利用作出更大的贡献。

为了更充分地利用太阳能热水,笔者认为太阳能热水的取热系统与辅助热源系统宜采用串联方式,即:室内供暖热水应首先以太阳能热水为热源,在太阳能热水不足以将供暖热水加热到所需要的供水温度时,再通过辅助热源加热器对供暖供水进行加热;太阳能若足够,则辅助热源关闭(通过控制供暖系统的供水温度来实现)。因此,需要设置合理的自动控制系统。

4 太阳能集热器的类型及特点

用于热水供暖系统的太阳能集热器,最常见的有平板式和真空管式两种形式。

平板式的板芯材料和结构从最早的板管式、扁盒式到铝翼式,再到铜铝复合式、全铜式;表面吸收涂层从非选择性涂层黑板漆,发展到各种选择性涂层,如铝阳极氧化、镀黑镍、镀黑铬等;透明盖板从普通玻璃发展到钢化玻璃,从玻璃钢到高分子透明材料。目前使用的平板式太阳能集热器主要是全铜板芯和铜铝板芯的集热器。平板式的结构简单,安装方便,使用管理维护的工作量很少,工作性能稳定,是应用较多的一种集热器。

为了降低集热器的热损失,提高集热温度,真空太阳能集热管也得到了较广泛的应用。吸热体被封闭在玻璃真空管内,从而大大提高了其热性能。为了增加集热量,有的真空管太阳能集热器还在其背部加装了反光板。内置 U 形金属流道的 U 形管真空管集热器和内置热管的真空管集热器丰富了全玻璃真空管集热器的种类,后者还解决了全

玻璃真空管集热器存在的玻璃管易破碎漏水和不能承受太高工作压力的问题。

但真空管式也存在一些问题:1) 由于相互遮挡,太阳高度角较低(对于水平排管)或方位角较小(对于竖直排管)时,有效辐照面小于平板式;2) 长时间“空晒”对其寿命有一定影响;3) 有些产品的管内选择性涂层随使用时间延长性能下降;4) 一些产品在真空管连接处出现密封橡胶圈老化、破损等问题。

因此,设计应用过程中应扬长避短,结合实际情况合理选择类型。

5 拉萨火车站太阳能热水供暖系统应用情况介绍^[4]

拉萨火车站位于西藏自治区首府拉萨市,总建筑面积 19 504 m²,地上共 2 层,建筑总高度 21.4 m,2007 年正式投入使用。

5.1 室内供暖设计参数与热负荷

除了母婴候车室、贵宾候车室之外,大多数房间的室内设计温度为 12~14℃。建筑供暖设计热负荷约为 700 kW,经过对典型设计日的供暖负荷逐时计算得出典型设计日要求的总供热量为 14 763 kW·h/d。

5.2 供暖系统

本工程供暖系统分为:太阳能热水集热系统(水在集热器与蓄热水箱中循环)、蓄热系统(开式蓄热水池)、取热系统(热水在蓄热水池与取热换热器之间循环)、辅助热源系统(来自集中站区锅炉房)和室内地板辐射供暖系统(设计供暖系统的供/回水温度为 41℃/36℃)几个主要部分。系统如图 2 所示。

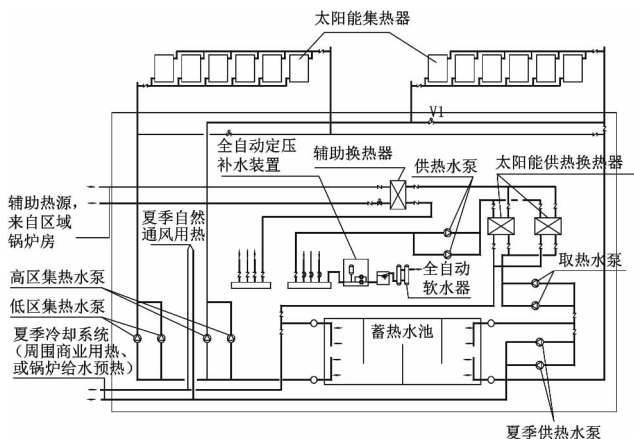


图 2 供暖热源系统图

5.3 现场实测(2006 年 12 月 12 日)情况介绍^[5]

2) 太阳能利用的实测结果与计算分析

1) 问卷调查结果(见表 2)

集热量及其相关参数的实测与计算见表 3。

表 2 问卷调查结果

		人员所处位置		
		值班员办公室	安全技术科	计划室
总体情况	热舒适感	适中	热	适中
	满意度	不满意(候车区温度较低)	满意	满意
温度	满意度	不满意(室内偏热)	满意	
	希望温度/℃	22~24		22~24
相对湿度	满意度	基本满意(实测 16%)	不满意(实测 23%)	没回答(实测 15%)
	希望相对湿度/%	50~60		50~60
空气新鲜度	夏季	基本满意	不满意(通风不好)	满意
	冬季	基本满意	不满意(通风不好)	基本满意
	洁净度	基本满意	满意	基本满意
使用经济性		基本满意	满意	
使用可靠性		基本满意	满意	
使用灵活性		基本满意	基本满意	
备注		实测当时温度 18.5℃	实测当时温度 20℃	实测当时温度 18℃

表 3 相关参数的实测与计算结果

时刻	以集热系统侧计算(集热器总面积 3 916 m ²)					按照公式计算的 瞬时集热效率/%	以取热侧计算 取热量/kW	以供暖侧计算	
	集热量/kW			总辐照量/ kW	按照实测数据计 算的集热效率/%			供热量/kW	热损失/kW
	高区	低区	热量合计						
11:00	283.78	108.17	391.95	1 948.21	20.1	41.6	258.26	172.44	85.82
11:30	397.29	162.25	559.54	2 421.65	23.1	42.7	191.30	158.46	32.85
12:00	709.45	302.23	1 011.68	1 822.90	55.5	41.7	229.56	191.08	38.48
12:30	586.48	178.16	764.63	2 045.72	37.4	41.9	239.13	209.72	29.41
13:00	435.13	159.07	594.20	1 000.54	59.4	36.5	229.56	223.70	5.86
13:30	416.21	139.98	556.19	3 966.91	14.0	45.1	248.69	237.68	11.01
14:00	690.53	286.33	976.85	1 056.15	92.5	37.8	286.95	247.00	39.95
14:30	548.64	174.98	723.62	638.31	113.4	30.7	334.78	247.00	87.77
15:00	368.91	108.17	477.08	66.96	712.4	−131.5	277.39	242.34	35.04
15:30	264.86	57.27	322.13	53.26	604.8	−184.8	200.87	219.04	−18.17
16:00	236.48	38.18	274.66	568.60	48.3	26.7	229.56	219.04	10.52
16:30	217.56	44.54	262.10	108.86	240.8	−70.7	210.43	223.70	−13.27
17:00							200.87	214.38	−13.51
17:30							220.00	186.42	33.58
全天合计/ (kW·h)	2 577.66	879.66	3 457.32	7 849.03	全天平均集热 效率:44%		1 678.68	1 496.01	182.67

注:17:00 之后,现场实测集热系统的集热温差(集热回水温度—集热供水温度)在 0.5(低区)~2.0℃(高区)左右,但由于太阳辐照度已经很小(测不出来),故未计算 17:00—17:30 时段的集热量。

从表 3 可以看出:

① 瞬时辐照量远远大于集热量,说明在拉萨采用太阳能作为供暖热水的能源,具有良好的天然优势,应该积极鼓励和提倡。

② 由于水具有一定的热惰性以及集热水循环的原因,使得瞬时集热量在时间上比瞬时辐照量有所延迟;即使辐照量偏低时,集热量和水温也没有随之快速降低。这就是根据公式计算与根据实测结果计算的瞬时集热效率有差距的原因,也是表中

计算出的在某些时刻集热效率超过 100%的原因。从全天来看,以实测值计算的全天平均集热效率(44%)比较可信。

③ 全天共有 3 457.32 kW·h—1 678.68 kW·h=1 778.64 kW·h 的有效集热量被蓄存在水箱之中,并转移到非集热时间供给供暖系统,实现了利用水箱蓄热的设计思想。

④ 太阳能贡献率的评估。典型设计日的逐时热负荷计算结果见表 4^[5]。

表 4 典型设计日供暖热负荷计算结果 kW

时刻	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00
热负荷	762	806	839	861	880	884	880	847
时刻	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
热负荷	788	707	618	534	461	418	399	392
时刻	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
热负荷	396	403	421	439	465	494	520	549

由于条件所限,夜间无法实测,因此采用对比方法来估算当日的太阳能贡献率。典型设计日的全天供热量为 14 673 kW·h,11:00—17:30 时段的供热量为 3 213.5 kW·h,由此计算出所占全天供热量的比例为:3 213.15 kW·h÷14 673 kW·h=21.9%。测试日当天 11:00—17:30 时段的供热量为 1 678.68 kW·h,根据上述比例,算出测试日当天的总供热量应为:1 678.68 kW·h÷0.219=7 665.77 kW·h。

因此测试日当天太阳能系统的贡献率为:3 457.32 kW·h÷7 665.77 kW·h=45.1%。

5.4 现场调研(2012 年 3 月)情况介绍

2012 年 3 月,清华大学邓杰等人对该工程进行了 3 天的调研,调查结果不很理想。下面介绍这次调研中发现的一些问题,并分析其原因。

5.4.1 调研中发现的问题

2012 年 2 月初至 3 月上旬,一半以上时间蓄热水箱的热量换不出来,集热系统对供暖末端几乎没有提供热量,而这段时间的太阳辐照较强。实际运行工况下,太阳能集热对供暖末端热需求的贡献率远低于设计典型日太阳能对末端供暖的贡献率(40%)。

根据实际调研的部分监测温度参数,对该供暖系统实际运行的两种典型工况(有利运行工况和不利运行工况)进行了计算分析。在有利运行工况下,太阳能集热通过板式换热器有效换热量为 2.33 MW·h,末端热需求 6.67 MW·h,太阳能集热板式换热器有效换热对末端供暖的贡献率为 34.9%。在不利运行工况下,太阳能集热板式换热器非但没有向末端供暖管路提供热量,反而从末端回水管路吸取 0.9 MW·h 的热量,这种工况下集热板式换热器换热侧对末端的贡献率出现负值。

以上为调研者的计算分析值而非现场实测值。

5.4.2 调研者对此的原因分析

1) 太阳能集热系统与供暖系统之间缺乏控

制,运行控制模式不合理。原设计要求当水箱水温低于设计供暖回水温度时,取热系统不运行。但实际上运行控制模式没有实施。

2) 水箱设计不合理以及水箱的保温措施没有做好,导致太阳能供暖系统在调研期间一半以上的运行时间里工作温度参数低于供暖供回水温度,从而导致热量换不出来,太阳能对供暖的贡献率远低于设计值。

5.4.3 笔者对上述问题产生原因的分析

1) 施工是一个非常重要的环节。尤其是在这种可再生能源技术的应用初期,应该重视施工,否则,有可能将一个非常好的技术演变成一种“不可靠技术”而失去了它应有的价值和生命力,这样也会失去发展机遇。原设计的运行控制模式未能在工程中合理实施,对太阳能的利用产生了较大的影响。此问题在 2006 年的现场实测中就已经发现(当时在辅助热源上设置的电动阀只能手动操作,并没有完成自动控制环节),但至今没有解决。

2) 蓄热水箱热量无法利用的主要原因是水箱内的水温比较低,表面上看是水箱内水容量过大造成的,实际上是因为集热器面积减少的结果,导致水箱中的蓄水在夜间因散热冷却后,白天加热需要很长的时间,降低了太阳能的利用。产生这一结果的主要原因有以下两个:

① 原设计时,可安装的太阳能集热器面积为 6 720 m²,但施工时,由于各种原因,实际可安装的集热器面积为 3 916 m²,此时蓄水池及相关设计参数均已施工完成,无法更改,实际上从安装完成之日起,蓄热水池的容量就已经相对偏大了。

② 从 2006 年实测日和 2012 年调研日的资料对比中可以看出,在 2006 年 12 月 12 日,实测的全天太阳辐照度的实时最大值为 600 W/m² 左右(仅 13:30 瞬时达到了 1 013 W/m²),但当天的集热水最大温差约为 7℃;2012 年 3 月调研日当天的最大太阳辐照度高达 900 W/m² 以上,而集

热水最大温差也仅仅在 $7.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。如果按照 2006 年集热系统的性能并采用相应的公式推算,调研日的集热水温差理应达到 $9\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 才是正常的,调研时的情况说明,集热系统的性能比 2006 年实测时有了大幅的下降。2012 年 11 月通过向当地主管人员询问了解,目前该工程大约有一半的集热管(真空管)由于“爆裂”而损坏,即至少有一半的集热器组停用。这就更进一步凸显了集热器面积的不足,使得蓄热水池容量过大的问题更为突出。进一步了解的情况是:普通真空管在夏季不使用时,长时间的“空晒”后出现较多的“爆管”案例。尽管设计时曾经对此有所考虑——要求集热器配置遮阳装置,在夏季不用时加以覆盖,但由于没有明确的技术要求,实际中也没有得到相关厂商或施工方很好的配合实施。因此,仅冬季使用的场所,普通真空管的爆管、橡胶密封圈的老化和使用寿命问题值得设计师关注。

3) 在调研者的分析中,太阳能的贡献率是依据供暖设计供水温度($41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右)和理论计算热负荷得到的,而实测日的供暖系统供水温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,房间温度也大都达到了原设计的要求。因此如果调研者降低供暖系统的供水温度计算值,太阳能的贡献率计算结果会有所提高。

5.5 关于运行管理

从上述情况中可以看出,太阳能热水供暖系统在实际应用中还需要特别强调系统的合理运行。由于整个系统由集热、蓄热、取热、供热及辅助热源几大子系统组成,各系统之间互相关联,任何一个子系统的运行都会影响其他子系统的参数。例如,集热系统应在太阳能辐照量确保(集热水温能够满足设计要求)的条件下运行,蓄热系统的主要运行条件是具有富余的集热量,取热、供热及辅助热源系统的运行则应综合考虑。应尽可能缩短辅助热源的运行时间,只要集热温度足够,即关闭辅助热源,集热水温度低于供暖回水温度时不应从太阳能集热水中“取热”(实际上也无法取出,只能是浪费辅助热源的热量)。

合理设置自动控制的相关环节是完全能够实现上述运行方式的。考虑到我国不同地区、不同使用性质的建筑以及经济发展的差别,笔者建议,对于公共建筑,应以设置完善的自动控制系统为主;

对于居住建筑,则可以采用手动控制或者手动/自动一体化的小型整体式系统装置,在充分发挥使用者自主调控能力的情况下,辅以自控系统实现优化运行。

同时,系统的日常维护管理也非常重要。结合上述情况以及笔者对其他工程的调研发现,利用太阳能的工程项目中,设计、建设与运行管理脱节的情况经常发生,尤其是太阳能装置的日常维护,没有得到足够的重视。这也导致一些项目刚开始效果不错,随着时间的延长和维护管理的缺失,系统功能慢慢衰减,最终弃用。因此,笔者一直呼吁,在要求使用管理单位不断提升自身管理水平的时候,设计单位也应该将设计图纸视为一种提供给用户的产品,从设计角度提出系统和建筑的使用说明,以指导使用单位更为合理和优化地应用。

6 结语

在青藏高原地区,无论是公共建筑还是居住建筑,太阳能都应该作为建筑供暖(无论是被动式还是主动式)的主要应用能源之一,理应得到政府管理部门、甲方、设计人员和建设方等的高度重视,这不仅是为了给中国和世界保留一片净土,而且是为了促进我国的能源结构优化和生态友好社会的建设。作为设计师,我们不但应知道如何在方案设计中实现太阳能应用,更应该努力将设计精细化,使得设计蓝图更具备可实施性,在实际工程中全力去解决所遇到的每一个实际问题。

7 致谢

感谢清华大学邓杰同学提供的现场调研资料和相关分析。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012
- [2] 郑瑞澄. 民用建筑太阳能热水系统工程技术手册[M]. 北京:化学工业出版社,2006
- [3] 戎向阳,王磊,冯雅,等. 太阳辐射照度对供暖热过程影响研究[J]. 暖通空调,2008,38(1):19-23
- [4] 潘云钢,金健. 太阳能在拉萨火车站供暖系统中的应用[J]. 暖通空调,2007,37(6):53-58
- [5] 潘云钢. 拉萨火车站太阳能热水供暖系统实测与分析[J]. 暖通空调,2009,39(7):121-127