



ALBUM OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS

# 太阳能热水工程 实例汇编

何 涛 张昕宇 王 敏 李博佳 主编

中国建筑工业出版社

# 太阳能热水工程实例汇编

何 涛 张昕宇 王 敏 李博佳 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能热水工程实例汇编/何涛等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-112-22727-3

I. ①太… II. ①何… III. ①太阳能水加热器-热水供应系统-案例-汇编 IV. ①TK515

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 218723 号

责任编辑: 张文胜 杜洁 刘江

责任设计: 李志立

责任校对: 芦欣甜

太阳能热水工程实例汇编

何涛 张昕宇 王敏 李博佳 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

天津安泰印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 $\frac{3}{4}$  字数: 317 千字

2019 年 1 月第一版 2019 年 1 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-22727-3

(32826)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 本书指导委员会

主任：韩爱兴

副主任：汪又兰 徐伟 邹瑜 路宾

委员：胥小龙 郑瑞澄 何梓年 郝斌 张磊

朱敦智 王伟 高岩

## 本书编写委员会

主编：何涛 张昕宇 王敏 李博佳

编写委员：黄祝连 张磊 王聪辉 邓昱 王博渊 孙峙峰

张金艳 张晟耀 朱晓松 刘永正 方凯 李仁星

马光柏 邹怀松 宋坤峰 王智会 李博峰 杨远程

边萌萌

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

参编单位：（按章节排序）

北京四季沐歌太阳能技术集团有限公司

北京海林节能科技股份有限公司

芜湖贝斯特新能源开发有限公司

天普新能源科技有限公司

山东力诺瑞特新能源有限公司

北京创意博能源科技有限公司

北京索乐阳光能源科技有限公司

蓝色海洋（北京）太阳能系统设备有限公司

# 前 言

我国太阳能热利用是世界上技术相对成熟、产业发展兴旺、应用范围广泛的重要领域。太阳能热利用在我国有一个比较特殊的发展历程。由于早期城乡居民生活能源供给严重短缺，为太阳能热利用提供了天然的发展空间。生活热水的使用作为衡量社会文明程度和生活水平的重要标志，改革开放以来，随着人民生活水平的不断提高，对生活热水的需求日益强烈，太阳能热利用产业大量兴起。20世纪90年代中期，随着建筑节能工作的逐步开展，太阳能等可再生能源作为建筑用能的重要组成部分也得到快速发展，特别是2006年我国《可再生能源法》实施以来，在国家一系列支持太阳能利用的专项资金和政策的引导下，全国太阳能热利用突飞猛进。“十二五”期间，我国有许多省份都出台了新建建筑强制安装太阳能热水系统的政策。我国已成为安装量占世界第一位的太阳能热水系统使用国，在降低建筑能耗的同时，也为应对全球气候变暖做出了积极的贡献。

国家发展改革委2013年7月批准启动了“煤炭、电力、建筑、建材行业低碳技术创新及产业化示范工程项目”，其中涉及了一些太阳能热利用在建筑上的应用项目。在组织和实施这些项目过程中，发现国内有一大批企业和科研单位在太阳能与建筑结合方面做了大量探索和实践，开发、生产、应用了建筑构件式的太阳能热利用设备，并结合我国高层建筑多的实际，解决了多年太阳能与建筑结合得不够好的问题，取得了不错的效果。

为了进一步总结和宣传推广这些好成果、好经验，住房城乡建设部建筑节能与科技司委托中国建筑科学研究院有限公司开展了“太阳能热水工程典型工程实例集”课题研究。中国建筑科学研究院有限公司依据课题成果，编制了这本《太阳能热水工程实例汇编》。通过对典型太阳能热水系统工程亮点和运行效果的说明和分析，推荐了太阳能热水系统的成功应用经验。本书可作为开展技术交易的培训资料，也可为房地产开发商、用户和太阳能热利用企业等参考使用。希望本书的出版能够更好地促进我国太阳能热水应用，乃至整个可再生能源产业的进一步持续健康发展。

本书的编写得到“十三五”国家重点研发计划项目“藏区、西北及高原地区可再生能源采暖空调新技术”（2016YFC0700400）和中国建筑科学研究院有限公司应用技术研究课题20170109330730011的支持，在此一并表示感谢。

# 目 录

## 第1部分 太阳能热水系统优化设计及效益评价

第1章 概论	3
1.1 总则	3
1.2 太阳能集热器	3
1.3 依据的标准规范	12
1.4 太阳能资源分布与设计用气象资料	13
1.5 热水系统设计用资料	16
第2章 太阳能热水系统设计	22
2.1 优化设计要点	22
2.2 太阳能热水系统的分类、特点及适用性	22
2.3 热水负荷计算	27
2.4 太阳能集热系统设计	29
2.5 常规水加热设备(辅助热源)选型	38
2.6 供热水系统设计	41
2.7 保温设计	41
2.8 控制设计	42
第3章 太阳能热水系统的调试、验收与评价	49
3.1 基本原则	49
3.2 评价指标及性能判定与分级	50
3.3 设计方案评价	51
3.4 工程验收性能评价	53
3.5 系统长期运行性能评价	55

## 第2部分 太阳能热水系统工程实例

第4章 引言	59
第5章 山东东营农业高新技术产业示范区职工保障性住房太阳能热水系统	62
5.1 系统概况	62
5.2 系统设计	62
5.3 设备选型	65
5.4 项目图纸	67
5.5 系统实际使用效果检测	67
5.6 系统节能环保效益分析	68

<b>第 6 章</b>	<b>北京西北旺镇六里屯定向安置房太阳能热水系统</b>	69
6.1	系统概况	69
6.2	系统设计	69
6.3	项目图纸及照片	70
6.4	系统实际使用效果检测	72
6.5	系统节能环保效益分析	72
<b>第 7 章</b>	<b>安徽芜湖峨桥安置小区阳台壁挂太阳能热水系统</b>	73
7.1	系统概况	73
7.2	系统设计	75
7.3	项目图纸	76
<b>第 8 章</b>	<b>北京苏家坨镇前沙涧定向安置房太阳能热水系统</b>	79
8.1	系统概况	79
8.2	系统设计	80
8.3	设备选型	81
8.4	项目图纸	82
<b>第 9 章</b>	<b>安徽合肥中海岭湖墅太阳能热水系统</b>	83
9.1	系统概况	83
9.2	系统设计	84
9.3	设备选型	85
9.4	项目图纸	86
<b>第 10 章</b>	<b>浙江宁波东方丽都太阳能热水系统</b>	89
10.1	系统概况	89
10.2	系统设计	90
10.3	设备选型	92
10.4	项目图纸	94
<b>第 11 章</b>	<b>北京永顺镇居住项目住宅楼太阳能热水系统</b>	98
11.1	系统概况	98
11.2	系统设计	98
11.3	设备选型	101
11.4	项目图纸	101
11.5	系统实际使用效果检测	102
11.6	系统节能环保效益分析	103
<b>第 12 章</b>	<b>安徽芜湖中央城 Cb 号楼太阳能热水系统</b>	104
12.1	系统概况	104
12.2	系统设计	105
12.3	设备选型	106
12.4	项目图纸	106
<b>第 13 章</b>	<b>北京金融街融汇太阳能热水系统</b>	109
13.1	系统概况	109

13.2	系统设计	110
13.3	设备选型	113
13.4	项目图纸	113
<b>第 14 章</b>	<b>北京万年基业太阳能热水系统</b>	<b>116</b>
14.1	系统概况	116
14.2	系统设计	117
14.3	设备选型	118
14.4	项目图纸	119
14.5	系统实际使用效果检测	124
14.6	系统节能环保效益分析	124
<b>第 15 章</b>	<b>宁夏银川中房·东城人家二、三期住宅太阳能热水系统</b>	<b>125</b>
15.1	系统概况及特点	125
15.2	系统设计	125
15.3	设备选型	128
15.4	项目图纸及图片	129
15.5	系统实际使用效果检测	129
15.6	系统节能环保效益分析	130
<b>第 16 章</b>	<b>海南三亚国光酒店太阳能热水系统</b>	<b>131</b>
16.1	系统概况	131
16.2	系统设计	132
16.3	设备选型	133
16.4	项目图纸	133
<b>第 17 章</b>	<b>无锡太湖国际博览中心君来世尊酒店太阳能热水系统</b>	<b>138</b>
17.1	工程概况	138
17.2	系统设计	139
17.3	设备选型	142
17.4	项目图纸	142
17.5	系统实际使用效果检测	146
17.6	系统节能环保效益分析	146
<b>第 18 章</b>	<b>北京中粮营养健康研究院行政中心楼太阳能热水系统</b>	<b>147</b>
18.1	系统概况	147
18.2	系统设计	147
18.3	设备选型	149
18.4	项目图纸	150
18.5	系统实际使用效果检测	150
18.6	系统节能环保效益分析	154
<b>第 19 章</b>	<b>北京邮电大学沙河校区一期太阳能热水系统</b>	<b>155</b>
19.1	系统概况	155
19.2	系统设计	155



19.3	设备选型	158
19.4	项目图纸	159
19.5	系统实际使用效果检测	159
19.6	系统节能环保效益分析	162
<b>第 20 章</b>	<b>新疆雪峰科技(集团)股份有限公司办公楼太阳能热水系统</b>	<b>163</b>
20.1	系统概况	163
20.2	系统设计	163
20.3	设备选型	166
20.4	项目图纸	168
<b>第 21 章</b>	<b>北京水文地质系统地质大队地质大厦太阳能热水系统</b>	<b>170</b>
21.1	系统概况	170
21.2	系统设计	170
21.3	设备选型	173
21.4	项目图纸	174
21.5	系统实际使用效果检测	176
21.6	系统节能环保效益分析	176
<b>第 22 章</b>	<b>河北益民股份太阳能季节蓄热供热系统</b>	<b>177</b>
22.1	工程概况	177
22.2	系统设计	178
22.3	设备选型	181
22.4	项目图纸	182
22.5	系统实际使用效果检测	184
22.6	系统节能环保效益分析	184
<b>第 3 部分 总结与展望</b>		
<b>第 23 章</b>	<b>太阳能热水系统工程实例分析</b>	<b>187</b>
23.1	太阳能热水系统工程实例地域分布	187
23.2	建筑类型分布	189
23.3	系统形式	189
23.4	太阳能集热器类型	190
23.5	系统设计特点及亮点	190
23.6	太阳能热水系统工程实例实际应用效果分析	191
<b>第 24 章</b>	<b>展望</b>	<b>193</b>
24.1	太阳能热水系统建筑应用发展现状	193
24.2	太阳能热水系统建筑应用未来发展	194
参考文献		195

## 第 1 部分

# 太阳能热水系统优化设计及效益评价



# 第 1 章 概 论

## 1.1 总则

太阳能热水工程涉及建筑行业 and 太阳能热利用企业，其规划、设计与建设包括了建筑、结构、给水排水和电气等各个专业，是一个综合性的系统工程，必须纳入建筑工程管理体系，对太阳能热水系统的优化设计、施工安装、系统调试、工程验收、运行维护与性能监测的全过程严格质量控制，才能真正实现预期的节能、环保效益，并获得良好的经济性。

应根据当地的太阳能资源、气候条件、消费水平、建筑类型、用户使用要求和运行维护能力等综合影响因素，进行技术经济比较，做到因地制宜、优化设计；使太阳能热水系统能够全年使用，供热功能（水量、水压）和热水品质（水温、水质）符合相关国家标准（《建筑给水排水设计规范》GB 50015、《民用建筑太阳能热水系统应用技术规范》GB 50364）的规定。

对新建建筑，应将太阳能热水系统的设计作为建筑给排水热水供应设计的一部分，纳入建筑规划与建筑设计范围，在建筑规划和建筑设计阶段统筹考虑，统一规划、同步设计、同步施工、统一验收、同时投入使用。对改建建筑，应在编制改建设计方案时统一考虑、同步设计、同步施工、统一验收。

太阳能热水系统的施工安装应实现规范性操作，纳入建筑工程监理、验收的管理体系。在既有建筑上增设或改造已安装的太阳能热水系统，必须经建筑结构安全复核，并应满足建筑结构及其他相应的安全性要求。在建筑物上安装的太阳能热水系统，不得降低相邻建筑的日照标准。

## 1.2 太阳能集热器

太阳能集热器是太阳能热水系统中的关键部件，目前我国普遍应用的为两类：平板型太阳能集热器（见图 1-1）和真空管型太阳能集热器（见图 1-2）。

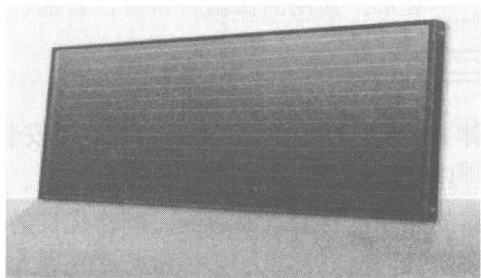


图 1-1 平板型太阳能集热器

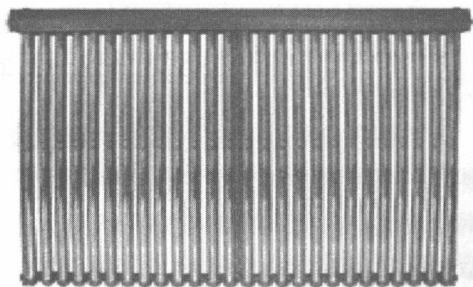


图 1-2 真空管型太阳能集热器

### 1.2.1 平板型太阳能集热器

平板型太阳能集热器一般由吸热板、盖板、保温层和外壳 4 部分组成，其基本结构如图 1-3 所示。

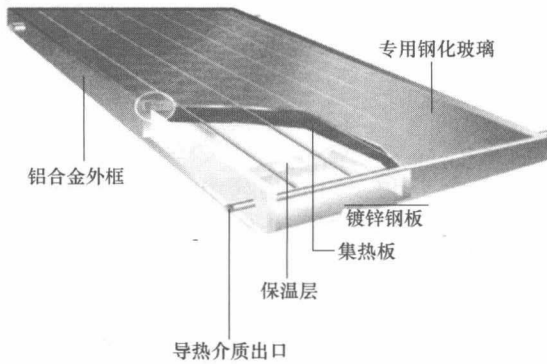


图 1-3 平板型太阳能集热器的基本结构

#### (1) 吸热板（或吸热板芯）

吸热板是吸收太阳辐射能量并向集热器工作介质传递热量的部件，大多采用铜或铝做基材，要增强吸热板对太阳辐射的吸收能力，同时减小热损失，降低吸热板的热辐射，就需要采用选择性涂层。选择性涂层具有对太阳短波辐射的较高吸收率  $\alpha$  和较低的长波热辐射发射率  $\epsilon$ ，目前多数选择性涂层的性能指标可达到：吸收率  $\alpha=0.93\sim 0.95$ ，发射率  $\epsilon=0.12\sim 0.04$ 。

#### (2) 盖板

盖板的作用是减小热损失。集热器的吸热板将接收到的太阳辐射能转变成热能传输给工作介质时，也向周围环境散失热量；在吸热板上表面加设能透过可见光而不透过红外热射线的透明盖板，就可有效地减少这部分能量的损失。

盖板应满足如下技术要求：高全光透过率、高耐冲击强度、良好的耐候性、良好的绝热性能和易加工成型。

#### (3) 保温层

保温层的作用是减少集热器向周围环境的散热，以提高集热器的热效率。

要求保温层材料的保温性能良好、热导率小、不吸水。常用的保温材料有：岩棉、矿棉、聚氨酯等。

#### (4) 外壳

为了将吸热板、盖板、保温材料组成一个整体并保持一定的刚度和强度，便于安装，需要有一个美观的外壳，一般用钢材、彩色钢板、压花铝板、铝板、不锈钢板、塑料、玻璃钢等制成，外壳的密封性对平板型太阳能集热器的热性能有着重要影响，制作优良的平板型太阳能集热器应能排出集热器内的水汽，同时又可避免外部大气中的水蒸气进入集热器。

### 1.2.2 真空管型太阳能集热器

按照所使用真空太阳集热管的类型,真空管型太阳能集热器可分为全玻璃真空管型、U形管式玻璃-金属结构真空管型和热管式真空管型三大类。真空管型太阳能集热器由多根真空太阳集热管插入联箱组成,根据集热管的安装方向可分为竖排(见图 1-4)和横排(见图 1-5)两种方式。

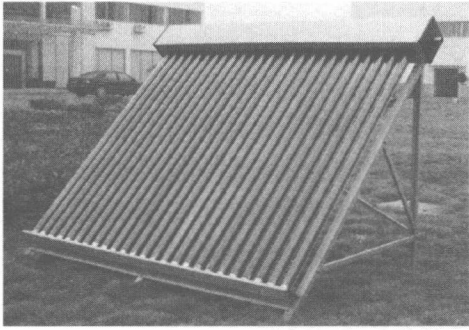


图 1-4 竖排真空管型太阳能集热器

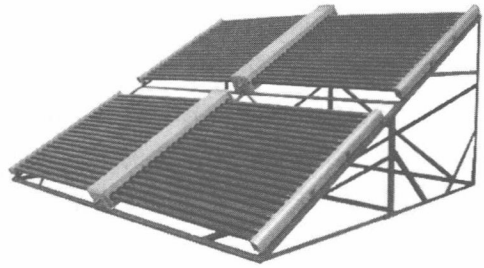


图 1-5 横排真空管型太阳能集热器

联箱根据承压和非承压要求进行设计和制造,承压联箱一般达到的运行压力为 0.6MPa,非承压联箱由于运行和系统的需要,也有一定的承压要求,一般按 0.05MPa 设计。

真空太阳集热管是真空管型太阳能集热器的关键部件,承压型真空管型太阳能集热器(常用于机械循环热水系统)需使用 U 形管式玻璃-金属结构真空管或热管式真空管,非承压型真空管型太阳能集热器(常用于自然循环热水系统)则可使用全玻璃真空太阳集热管。三种真空管的构造特点如下:

#### (1) 全玻璃真空集热管

全玻璃真空集热管由内、外两根同心圆玻璃管构成,具有高吸收率和低发射率的选择性吸收膜沉积在内管外表面上构成吸热体,内外管夹层之间抽成高真空,其形状像一个细长的暖水瓶胆(见图 1-6)。它采用单端开口,将内、外管口予以环形熔封,另一端是密闭半球形圆头,由弹簧卡支撑,可以自由伸缩,以缓冲内管热胀冷缩引起的应力。弹簧卡上装有消气剂,当其蒸散后能吸收真空运行时产生的气体,保持管内真空度。

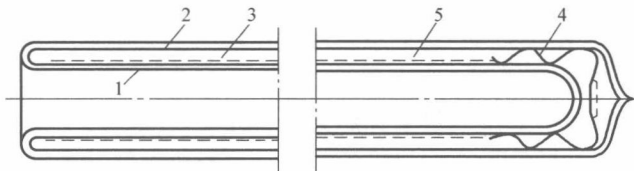


图 1-6 全玻璃真空集热管

1—外玻璃管; 2—内玻璃管; 3—真空; 4—有支架的消气剂; 5—选择性吸收表面

其工作原理是太阳光能透过外玻璃管照射到内管外表面吸热体上转换为热能,然后加热内玻璃管内的传热流体,由于夹层之间被抽真空,有效降低了向周围环境的热损失,使

集热效率得以提高。全玻璃真空太阳集热管的产品质量与选用的玻璃材料、真空性能和选择性吸收膜有重要关系。

### (2) U 形管式金属-玻璃结构真空集热管

U 形管式真空集热管如图 1-7 所示。按插入管内的吸热板形状不同,有平板翼片和圆柱形翼片两种。金属翼片与 U 形管焊接在一起,吸热翼片表面沉积选择性涂料,管内抽真空。管子(一般是铜管)与玻璃熔封或 U 形管采用与保温堵盖的结合方式引出集热管外,作为传热工质(一般为水)的入、出口端。

### (3) 热管式真空太阳集热管

热管式真空集热管如图 1-8 所示。根据吸热板的不同,热管式真空集热管分为:热管、平板翼片结构及热管、圆筒翼片结构。热管式真空集热管主要由热管、吸热板、真空玻璃管三部分组成。其工作原理是:太阳光透过玻璃照射到吸热板上,吸热板吸收的热量使热管内的工质汽化,被汽化的工质升到热管冷凝端,放出汽化潜热后冷凝成液体,同时加热水箱或联箱中的水,工质又在重力作用下流回热管的下端,如此重复工作,不断地将吸收的辐射能传递给需要加热的介质(水)。这种单方向传热的特点是由热管性能所决定的,为了确保热管的正常工作,热管真空管与地面倾角应大于  $10^{\circ}$ 。

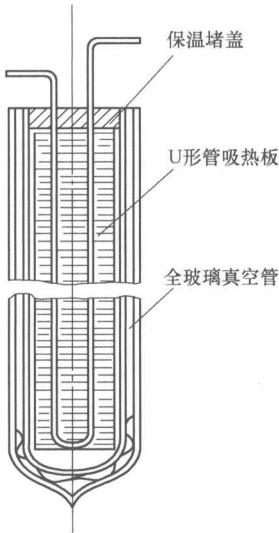


图 1-7 U 形管式真空集热管

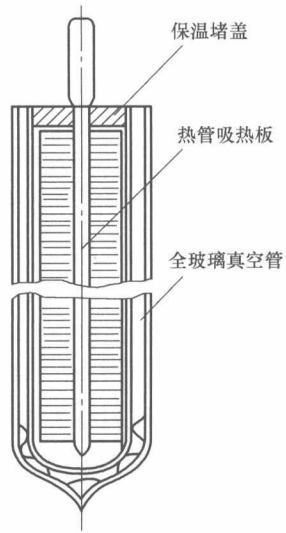


图 1-8 热管式真空集热管

## 1.2.3 太阳能集热器的性能参数

太阳能集热器的性能参数主要包括:热性能、光学性能和力学性能,分别表征太阳能集热器收集太阳能并将其转换为有用热量的能力,以及集热器的承压能力、安全性和耐久性。本节将介绍相关国家标准对各类太阳能集热器性能参数提出的合格性指标。

### (1) 太阳能集热器的热性能

太阳能集热器的热性能主要用集热器的瞬时效率方程和效率曲线表征。

集热器瞬时效率是指在稳态(或准稳态)条件下,集热器传热工质在规定时段内从规定的集热器面积(总面积、采光面积或吸热体面积)上输出的能量与同一时段内、入射在

同一面积上的太阳辐照量的比。

瞬时效率方程和效率曲线根据现行国家标准《太阳能集热器热性能试验方法》GB/T 4271 的规定检测得出。根据检测结果,按最小二乘法拟合的紧密程度选择一次或二次曲线,得出的集热器瞬时效率方程和曲线的形式如下:

$$\eta = \eta_0 - UT_i \quad (1-1)$$

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

$$T_i^* = (t_i - t_a) / G \quad (1-3)$$

式中  $\eta_0$ ——瞬时效率截距,  $T_i^* = 0$  时的  $\eta$ ;

$U$ ——以  $T_i^*$  为参考的集热器总热损系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$a_1$ 、 $a_2$ ——以  $T_i^*$  为参考的常数;

$G$ ——太阳总辐射辐照度,  $W/m^2$ ;

$T_i^*$ ——归一化温差,  $(m^2 \cdot K)/W$ ;

$t_i$ ——集热器进口工质温度;

$t_a$ ——环境温度。

判定太阳能集热器热性能是否合格的指标有两个:基于采光面积的稳态、准稳态瞬时效率截距  $\eta_0$  和总热损系数  $U$ 。

瞬时效率截距是在归一化温差  $T_i$  为零时的瞬时效率值,该值是集热器可以获得的最大效率,反映了该集热器在基本无热损失情况下的效率。

1) 液体工质平板型太阳能集热器的瞬时效率截距  $\eta_0$  应不低于 0.72。

2) 液体工质无反射器的真空管型太阳能集热器的瞬时效率截距  $\eta_0$  应不低于 0.62,有反射器的真空管型太阳能集热器的瞬时效率截距  $\eta_0$  应不低于 0.52。

太阳能集热器的总热损系数反映了集热器热损失的大小,总热损系数大、集热器产生的热损失大;总热损系数小,集热器的热损失小。所以,总热损系数越小,集热器的热性能越好。

1) 液体工质平板型太阳能集热器的总热损系数  $U$  应不大于  $6.0 W/(m^2 \cdot K)$ 。

2) 液体工质无反射器的真空管型太阳能集热器的总热损系数  $U$  应不大于  $3.0 W/(m^2 \cdot K)$ ,有反射器的真空管型太阳能集热器的总热损系数  $U$  应不大于  $2.5 W/(m^2 \cdot K)$ 。

## (2) 太阳能集热器的光学性能

太阳能集热器的光学性能参数包括平板型太阳能集热器透明盖板和真空管型集热器玻璃管的太阳透射比  $\tau$ ,以及集热器吸热体涂层的太阳吸收率  $\alpha$  和半球发射比  $\epsilon$ 。

透射是辐射在无波长或频率变化的条件下,对介质(材料层)的穿透;透射比可用于单一波长或一定波长范围。太阳透射比是指面元透射的与入射的太阳辐射通量之比。

目前实施的国家标准对平板型太阳能集热器透明盖板的透射比未提出合格性指标,只要求应给出透明盖板的透射比。全玻璃、玻璃-金属结构和热管式真空太阳集热管的玻璃管材料应采用硼硅玻璃 3.3,玻璃管太阳透射比  $\tau \geq 0.89$  (大气质量 1.5,即 AM1.5)。

吸收是辐射能由于与物质的相互作用,转换为其他能量形式的过程;吸收比可用于单一波长或一定波长范围。太阳吸收比是指面元吸收的与入射的太阳辐射通量之比。平板型太阳能集热器涂层的太阳吸收比应不低于 0.92。全玻璃真空太阳集热管选择性吸收涂层的太阳吸收率  $\alpha \geq 0.86$  (AM1.5)。太阳能空气集热器吸热体涂层的太阳吸收比应不低于



0.86 (AM1.5)。

发射是物质辐射能的释放；发射比可用于单一波长或一定波长范围。半球发射比是指在  $2\pi$  立体角内，相同温度下辐射体的辐射出射度与全辐射体（黑体）的辐射出射度之比。全玻璃真空太阳集热管选择性吸收涂层的半球发射比  $\epsilon_{\text{h}} \leq 0.08$  ( $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )。

### (3) 太阳能集热器的力学性能

#### 1) 耐压与压降

##### ① 耐压

太阳能集热器的耐压指标反映太阳能集热器在工作条件下承受压力的能力。太阳能集热器应有足够的承压能力，其耐压性能应满足系统最高工作压力的要求；一般情况下，承压系统应达到的工作压力范围是  $0.3 \sim 1.0\text{MPa}$ 。

太阳能集热器应通过国家标准规定的压力试验，并提供由国家质量监督检验机构出具的耐压性能检测报告。

太阳能热水系统的设计人员应对太阳能集热器的工作压力提出要求，应选择符合要求的太阳能集热器。

全玻璃真空太阳集热管内应能承受  $0.6\text{MPa}$  的压力。

##### ② 压力降落（压降）

太阳能集热器的压力降落（压降）特性表示工作介质流经太阳能集热器时，因集热器本身结构形成和引起的阻力而在太阳能集热器进、出口管段之间产生的压力差。

太阳能集热器的压力降落（压降）特性是进行太阳能供暖系统水力计算时需要使用的重要参数。

太阳能集热器的压力降落（压降）参数使用国家标准《太阳能集热器热性能试验方法》GB/T 4271—2007 中规定的试验装置检测得出，试验结果是压力降落  $\Delta P$  (kPa) 随工质流量  $m$  (kg/s) 变化的特性曲线。

#### 2) 安全性

##### ① 强度、刚度

太阳能集热器应通过国家标准规定的强度和刚度试验，试验后，太阳能集热器应无损坏和明显变形。

##### ② 空晒

太阳能集热器应通过国家标准规定的空晒试验，试验后，太阳能集热器应无开裂、破损、变形和其他损坏。

##### ③ 闷晒

太阳能集热器应通过国家标准规定的闷晒试验，试验后，太阳能集热器应无泄露、开裂、破损、变形或其他损坏。

##### ④ 抗机械冲击

全玻璃真空太阳集热管应能承受直径为  $30\text{mm}$  的钢球，于高度  $450\text{mm}$  处自由落下，垂直撞击集热器中部而无损坏。平板型太阳能集热器在通过国家标准规定的防雹（耐冲击）试验后，应无划痕、翘曲、裂纹、破裂、断裂或穿孔。

##### ⑤ 内热冲击

太阳能集热器应通过国家标准规定的内热冲击试验，试验后，太阳能集热器不允许