

太阳能热水系统手册



TAIYANGNENG
RESHUI XITONG
SHOUCE

袁家普 主编

张广顺 张进峰 副主编



化学工业出版社

太阳能热水系统手册

TAIYANGNENG
RESHUI XITONG
SHOUCE

袁家普 主编

张广顺 张进峰 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了太阳能热水系统的基本知识和设计应用,内容包括传热的基本知识,太阳能热水系统的基本知识、设计计算和分析,太阳能热水系统的智能化控制,各类太阳能与建筑的结合方案,太阳能热水系统的招投标操作、组织计划和验收规范,以及太阳能热水系统中常用的设备、配件和设计资料等。书中列举了大量太阳能热水系统的实际工程案例。

本书可供从事太阳能热利用的工程技术人员阅读,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能热水系统手册/袁家普主编. —北京:化学工业出版社, 2008.12

ISBN 978-7-122-03798-5

I. 太… II. 袁… III. 太阳能水加热器-手册
IV. TK515-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 150995 号

责任编辑:左晨燕

责任校对:郑捷

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张16 $\frac{3}{4}$ 字数319千字 2009年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:45.00 元

版权所有 违者必究

前 言

能源是人类社会发展的重要物质基础，在某种意义上讲，人类社会得以发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的利用。目前，随着现代社会的不断发展，能源需求量不断加大，常规能源日渐短缺，环境污染日益严重，从资源、环境、社会发展的需求来看，开发和利用新能源和可再生能源是必然的趋势。

太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源，生物质能、风能、海洋能、水能等都来自太阳能，从广义上说太阳能包含以上各种可再生能源。作为新能源和可再生能源重要组成部分的太阳能，是对环境不产生污染的洁净能源，它的开发和利用是解决未来能源的重要技术手段，是世界能源供应战略的重要组成部分，也是保护人类生态环境的重要举措，因而越来越受到各国政府的重视，成为大多数发达国家和部分发展中国家 21 世纪能源发展战略的基本选择。

本书结合企业在实际工作中的应用情况，详细介绍了太阳能与建筑结合，各种类型的太阳能热水系统设计，太阳能热水系统的智能化控制以及常用设备的选型，方便初学者快速掌握太阳能热水系统的应用技术，也是从事太阳能光热利用工程技术人员的工具书。

本书的主要编写人员有：袁家普、张广顺、张进峰、曹静、梁笃荣、元明霞、王振杰。本书在编写过程中采用了 WILO 水泵及意大利卡莱菲公司的产品和众多技术资料，同时参考了许多国内外文献资料，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，本书难免有不足或不妥之处，恳请广大专家、学者批评指正。

编者

2008 年 10 月

目 录

第 1 章 热量传递	1
1.1 热传导.....	1
1.2 对流.....	1
1.3 辐射.....	2
第 2 章 太阳能热水系统概述	3
2.1 自然循环式太阳能热水系统.....	3
2.2 直流式太阳能热水系统.....	4
2.3 主动循环式太阳能热水系统.....	6
第 3 章 系统设计	7
3.1 家用太阳能热水器串并联系统.....	7
3.2 联集管集热器太阳能热水系统.....	16
3.3 工程设计、使用禁忌.....	29
第 4 章 系统设计计算分析	31
4.1 集热面积计算.....	31
4.2 系统水泵选型计算.....	33
4.3 系统管路保温的计算分析.....	39
4.4 热水系统防雷设计.....	46
4.5 太阳高度角、方位角计算及遮挡距离的确定.....	50
4.6 经济效益分析计算 (F-Chart).....	51
4.7 换热器的计算.....	54
第 5 章 特殊类型的系统方案设计或分析	58
5.1 游泳池太阳能加热系统方案.....	58
5.2 游泳池循环水净化处理方案.....	67
5.3 石油储罐太阳能加温系统.....	72
5.4 高层建筑集体供水太阳能系统.....	77
5.5 高层建筑单户供水太阳能系统.....	80
5.6 太阳能地板辐射采暖.....	86
5.7 太阳能转轮除湿式空调.....	89

5.8	太阳能在砂疗中的应用研究	94
5.9	太阳能温室加热的应用分析	97
第6章	太阳能热水系统智能化控制	100
6.1	远程监控系统产品介绍	100
6.2	磁卡取水系统	110
第7章	太阳能与建筑结合	120
7.1	分体热水系统	120
7.2	整体式系统	126
7.3	太阳能在彩钢瓦屋面上的应用	134
7.4	特殊选型的太阳能热水系统	137
第8章	管路布置及安装方案	138
8.1	单台热水器管路布置	138
8.2	单台热水器管路安装及屋面防水	140
8.3	太阳能集热系统的管路布置	143
第9章	太阳能热水系统招投标操作	147
9.1	太阳能热水系统招投标操作	147
9.2	太阳能热水系统投标书设计要求	149
第10章	太阳能热水系统的施工组织计划	152
10.1	工程概况	152
10.2	施工部署	152
10.3	采用规范及标准	153
10.4	施工进度计划控制	153
10.5	施工准备计划	153
10.6	技术组织措施	154
10.7	文明施工管理	155
10.8	材料设备的管理	156
10.9	技术经济指标	157
附件一	主要施工管理人员表	158
附件二	太阳能热水系统安装质量保证体系图	158
附件三	工程进度计划表	159
第11章	热水系统安装及验收规范	160
11.1	适用范围	160
11.2	检验项目	160

第 12 章 设备及配件	165
12.1 水泵	165
12.2 变频供水	185
12.3 锅炉	192
12.4 电磁阀	197
12.5 恒温阀	202
12.6 不锈钢水管的应用	216
12.7 电子水处理器	223
附录	228
附录 1 2001 年全年各月份平均日辐射量及年总辐射量	228
附录 2 给排水图例	231
附录 3 热水用水定额	234
附录 4 冷水计算温度	236
附录 5 我国主要城市日照时数及日照百分率	236
附录 6 目测风向风力	238
附录 7 生活饮用水水质标准 (GB 5749—2006)	240
附录 8 饮水开水量及小时变化系数	242
附录 9 能源当量热值及平均折算热值	243
附录 10 低压流体输送用焊接钢管 (GB/T 3091—2001)	243
附录 11 给水塑料管水力计算表	244
附录 12 (钢管) 热水管计算内径 d_j 值	245
附录 13 热水管水力计算	245
附录 14 热水管局部水头损失计算	258
参考文献	259

第1章 热量传递

热量传递有三种基本方式：热传导、对流和辐射。

1.1 热 传 导

热传导（又称导热）是指热量从物体中温度较高的部分传递到温度较低部分，或者从温度较高的物体传递到与之接触的温度较低的另一物体的过程。在导热过程中，物体各部分之间不发生相对的位移。

导热过程在固体、液体和气体中均可以发生。

在导热过程中，热量从物体的高温端传导到低温端。单位时间内通过单位横断面积的热量叫做“热流密度”，用 q 表示，单位是 W/m^2 。热流密度的大小与导热两端的温度差成正比，与热量经过的路程长短（两端间的距离，也就是物体的厚度）成反比，即

$$q = \lambda \Delta t / \delta$$

式中 Δt ——高温端温度 t_1 与低温端温度 t_2 之差，即 $\Delta t = t_1 - t_2$ ， $^{\circ}C$ ；

δ ——物体厚度， m ；

λ ——比例系数，与物体材料的性质有关，称为热导率（导热系数）， $W/(m \cdot ^{\circ}C)$

1.2 对 流

对流是指流体各部分之间发生相对位移时所引起的热量传递过程。对流仅能在流体（气体、液体）中发生，而且必然伴随有导热现象。

液体的运动可以靠风机、水泵等机具驱动，也可以由流体各部分冷热不同、密度不同所引起。前一种情况叫做强制流动；后一种情况称为自然对流，流体中温度高的部分密度小，温度低的部分密度大，轻者上浮、重者下沉，就发生流体内部各部分的相对位移。如果上浮的高温部分受到冷却，就会下降；而若下沉的低温部分得到加热，则要上升。这样就会持续地发生循环流动，也就是自然对流。

工程技术上大量遇到的是流体流过另一物体（通常是固体）的表面时发生的两者之间热量传递过程，称为“对流换热”过程。对流换热是流体的对流与导热

联合作用的结果。

对流换热时，单位时间内单位面积（固体表面积）传递的热量 q （即热流密度）与温差成正比：

$$q = \mu_d \Delta t = \Delta t / R_d$$

式中 Δt ——换热的温差，即流体温度与固体表面温度之差， $^{\circ}\text{C}$ ；

μ_d ——比例系数，即对流换热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；

R_d ——对流换热的热阻， $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，它是对流换热系数的倒数。

单位时间内的对流换热量为

$$Q = Fq = F\Delta t / R_d = F\mu_d \Delta t$$

式中 F ——换热表面的面积， m^2 。

1.3 辐 射

物体通过电磁波来传递热量的过程称为辐射。辐射能可以在真空中传播，而导热和对流则只能在存在着气体、液体或固体介质时才能进行。

自然界中所有物体都在不停地向四周发出热辐射能，同时又不断地吸收着其他物体发出的热辐射能。辐射与吸收的综合结果是以辐射方式实现了物体之间的热量转移，即发生了“辐射换热”。当物体与周围环境处于热平衡时，辐射换热量为零，但辐射与吸收过程仍在不停地进行，只是辐射量与吸收量相抵消而已。进行辐射换热时，不仅发生热量传递，而且伴随着能量形式的转换，即热能转换成辐射能发出去和吸收到的辐射能转换成热能。

第 2 章 太阳能热水系统概述

太阳能热水系统是利用太阳辐射能加热水的装置，它由集热器、贮水箱、管道、控制设备四部分组成。作为利用太阳能的一个设备整体，也称为太阳能热水装置。目前，在市场上广为销售的家用太阳能热水器，同样由上述的集热器等四个部分组成。所以家用太阳能热水器，实质上是一个最小的太阳能热水系统，和采光面积几千平方米的大型太阳能热水系统原则上是一样的。在本书中所提到的热水系统，不包括家用单台太阳能热水器。

太阳能热水系统按运行方式可分为三种：自然循环系统、直流式系统和主动循环系统。

太阳能热水系统按有无换热器可分为：直接系统和间接系统。直接系统在集热器中直接加热供水，间接系统是利用换热器间接加热供水，间接系统同时也是主动循环系统。

2.1 自然循环式太阳能热水系统

自然循环系统是利用传热工质内部的温度梯度产生的密度差所形成的自然对流进行循环的热水系统。这种系统结构简单不需要附加动力，在自然循环中，为了保证必要的热虹吸压头，贮水箱应置于集热器上方，如图 2-1 所示。

运行过程是水在集热器中受太阳辐射能加热，温度升高，加热后的水从集热器的上循环管进入贮水箱的上部，与此同时，贮水箱底部的冷水由下循环管流入集热器，经过一段时间后，水箱中的水形成明显的温度分层，上层水达到可使用

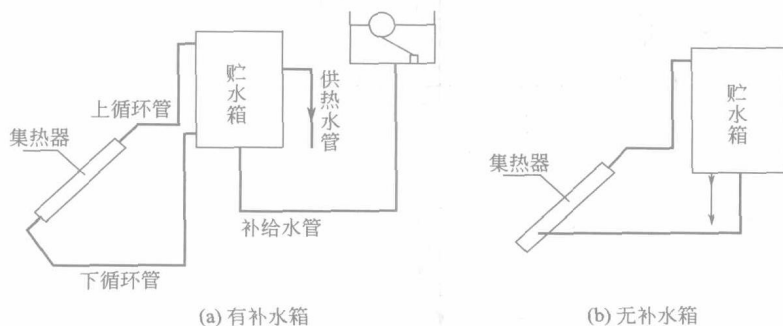


图 2-1 自然循环式热水系统

温度。用热水时，由补给水箱向贮水箱底部补充冷水，将贮水箱上层热水顶出使用，其水位由补给水箱内的浮球阀控制。

这是国内最早采用的一种太阳能热水系统。其优点是系统结构简单，运行安全可靠，不需要辅助能源，管理方便。其缺点是为了维持必要的热虹吸压头，并防止系统在夜间产生倒流现象，贮水箱必须置于集热器的上方。这正是我国目前大量推广应用的热水系统设计。大型太阳能热水系统，不适宜采用这种自然循环方式。因为大型系统的贮水箱很大，要将贮水箱置于集热器上方，在建筑布置和荷重设计上都会带来很多问题。

2.2 直流式太阳能热水系统

直流式太阳能热水系统是传热工质一次流过集热器加热后便进入储水箱或用水点的非循环热水系统，储水箱的作用仅为储存集热器所排出的热水，直流式系统有热虹吸型和定温放水型两种。

(1) 热虹吸型

热虹吸型直流式太阳能热水系统由集热器、贮水箱、补给水箱和连接管道组成，如图 2-2 所示。

补给水箱的水位由箱中的浮球阀控制，使之与集热器出口（上升管）的最高位置一致。根据连通管的原理，在集热器无阳光照射时，集热器、上升管和下降管均充满水，但不流动。当集热器受到阳光照射后，其内部的水温升高，在系统中形成热虹吸压力，从而使热水由上升管流入贮水箱，同时补给水箱的冷水则自

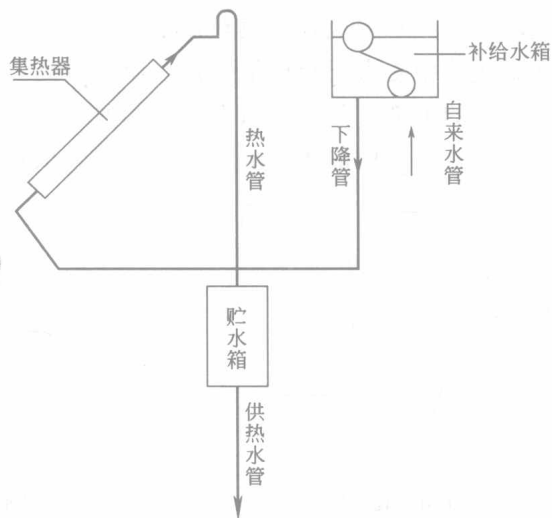


图 2-2 热虹吸型直流式热水系统

动经下降管进入集热器。太阳辐射愈强，则所得的热水温度愈高，量也愈多。早晨太阳升起一段时间以后，在储水箱中便开始收集到热水。这种虹吸型直流式太阳能热水系统的流量具有自动调节功能，但供水温度不能按用户要求自行调节。这种系统目前应用得较少。

(2) 定温放水型

为了得到温度符合于用户要求的热水，通常采用定温放水型直流式太阳能热水系统，如图 2-3 所示。该系统在集热器出口处安装测温元件，通过温度控制器，控制安装在集热器入口管道上的开度，根据温度调节水流量，使出口水温始终保持恒定。这种系统不用补给水箱，补给水管直接与自来水管连接。系统运行的可靠性同样决定于电动阀和控制器的的工作质量。

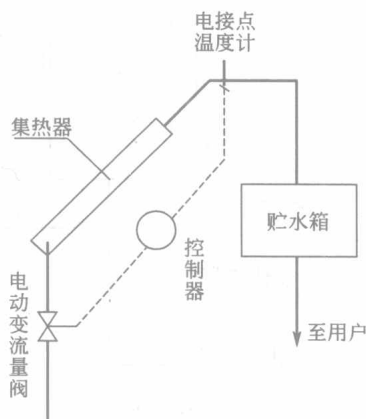


图 2-3 定温放水型直流式热水系统

直流式太阳能热水系统具有很多优点：

- ① 由于系统的补冷水由自来水直接供给，自来水具有一定的压头，保证了系统的水循环动力，因此系统中不需设置水泵；
- ② 储水箱可以因地制宜地放在室内，既减轻了屋顶载荷，也有利于储水箱保温，减少热损失；
- ③ 完全避免了热水与集热器入口冷水的掺混；
- ④ 可以取消补给水箱；
- ⑤ 系统管理得到大大简化；
- ⑥ 阴天，只要有一段见晴的时刻，就可以得到一定量的适用热水。

所以，定温放水型直流式太阳能热水系统特别适合于大型太阳能热水装置，布置也较为灵活。缺点是要求性能可靠的电磁阀和控制器，从而使系统较为复杂。但由于它具有很多优点，在能够得到性能可靠的电磁阀的条件下，应是一种结构合理、值得推广的太阳能热水系统。目前国内有一定的应用。

2.3 主动循环式太阳能热水系统

主动循环式太阳能热水系统（又称强制循环太阳能热水系统）是利用机械设备等外部动力迫使传热工质通过集热器或换热器进行循环的热水系统。图 2-4 为主动循环式太阳能热水系统。这种系统在集热器和贮水箱之间的管路上设置水泵，作为系统中的水循环动力。系统中设有控制装置，根据集热器出口与贮水箱之间的温差控制水泵运转。在水泵入口处装止回阀，防止夜间系统中发生水倒流而引起热损失。

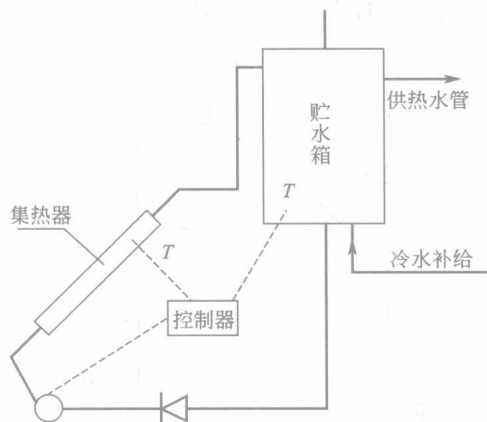


图 2-4 主动循环式热水系统

主动循环式太阳能热水系统使循环动力大大增加，有利于提高热效率，实现热水系统的多种功能及控制，是目前应用较广泛的一种热水系统形式。目前在大型太阳能热水工程中，可以用普通太阳能热水器串并联组成上述的各种系统，但更常用的是联集管集热器组成各种形式的热水系统。在后面的章节中将根据所用的集热装置的不同分别叙述。

第3章 系统设计

3.1 家用太阳能热水器串并联系统

3.1.1 系统原理

普通太阳能热水器串并联系统，即通过普通家用太阳能热水器串并联的组合加以控制器组成的系统。目前，皇明公司这种热水系统应用得比较普遍，实践证明这种热水系统的运行可靠，故障率低，效果良好，值得推广。其典型的原理图如图 3-1 所示。

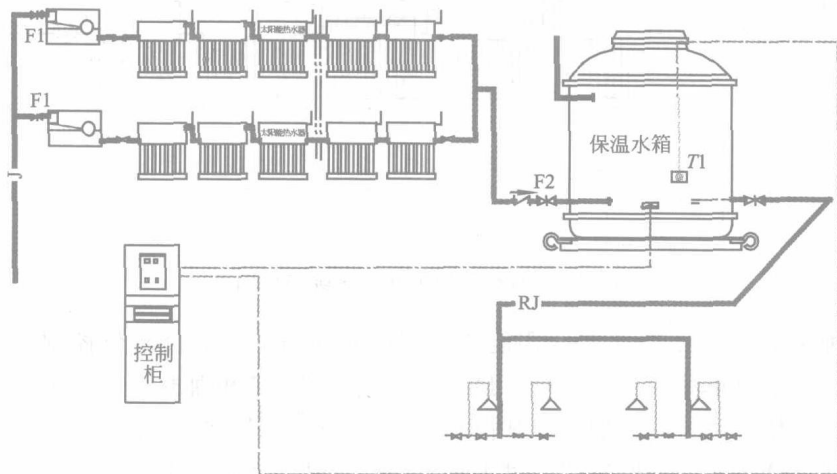


图 3-1 普通太阳能热水器串并联系统

系统运行过程如下。

① 第一次上水时，手动将浮球箱前的阀门 F1 打开，冷水进入浮球箱，然后进入太阳能热水器中，由于太阳能热水器和水位控制箱是连通的，故太阳能热水器水满之后，浮球箱中的浮球阀会自动关闭，停止进水。

② 当经过一天的阳光照射后，打开水箱前的阀门 F2，太阳能热水器中的热水会进入到工程保温水箱中，冷水再补充到太阳能热水器中，这样第二天晚上即可以使用热水，阀门 F2 以后将永远打开，这样就形成良性循环。即晚上将保温水箱中

的热水使用后太阳能热水器中的热水补充进水箱，冷水再补充进太阳能热水器，到了第二天晚上太阳能热水器中的冷水又成了热水，周而复始，实现了热水的供应。

③ 工程水箱具有很好的保温效果，保证了热水长期存放而不致使热量散失很多，因而温度不会下降过多。同时工程水箱装有电加热装置，可以通过控制器来控制电加热的工作与停止，保证阴雨天也能供应热水，控制器还有显示水位、水温的功能，便于对热水情况进行了解。

通过对以上典型系统的介绍可以看出，该太阳能热水器串并联系统包含有自然循环系统和直流式系统，只不过该直流式系统不是温度控制型的，而是水量控制型的，即保证工程水箱的水常满，下面将对太阳能热水器串并联系统的应用形式作详细的介绍。

3.1.2 太阳能热水器串并联系统常用形式

太阳能热水器串并联系统根据使用的具体情况的不同而有所不同。

(1) 简单小型串并联系统（如图 3-2 所示）

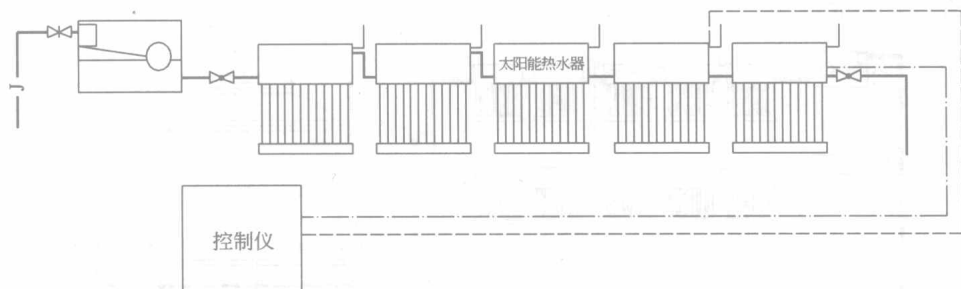


图 3-2 简易小型串并联系统原理图

此种系统一般由 3~5 台太阳能热水器串并联组成，通过水位控制箱控制上水，往往可带有单独的工程水箱，最后一台热水器带有电加热装置，通过控制仪控制水温水位，并控制电加热。其控制上水也可以由控制仪和电磁阀通过设定水位来实现。这种系统一般应用于供水量少，热水使用不严格的场合。

(2) 一般太阳能热水器串并联系统（如图 3-1 所示）

其详细组成及运行见图 3-1 的运行介绍，目前这种形式的太阳能热水系统应用较普遍，故障率低，使用可靠。

(3) 具有多种功能的串并联太阳能热水系统（如图 3-3、图 3-4 所示）

这种热水系统的集热部分与前两种相同，不同的是控制系统中增加了许多功能，主要有：

- ① 水温水位显示；
- ② 水位控制箱自动上水控制系统；

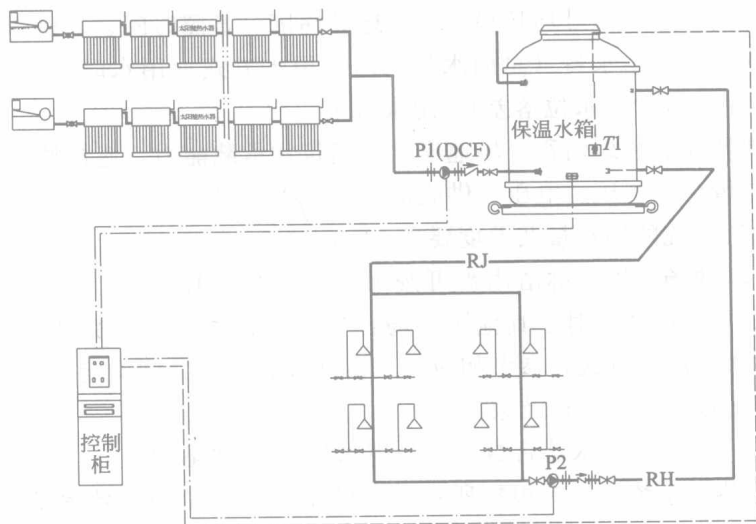


图 3-3 定时太阳能热水系统图

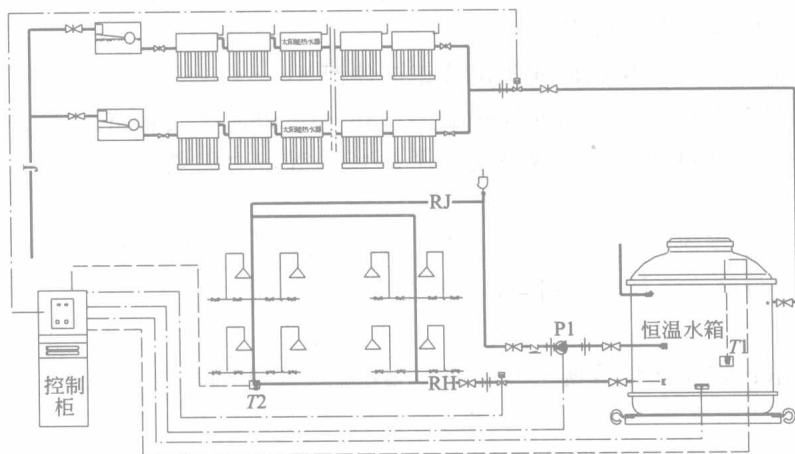


图 3-4 全日太阳能热水系统

- ③ 自动电加热；
- ④ 出水断电；
- ⑤ 出水增压（自由落水压不足时，可增加增压泵进行自动控制）；
- ⑥ 辅助能源换热（可采用除电以外的油、气等辅助能源）；
- ⑦ 管道定温循环或定时循环（保证一开即有热水）。

3.1.3 串并联式太阳能热水系统设计原则

在进行串并联式太阳能热水系统设计时，一般遵循下面的设计思路和原则。

- (1) 调查用户基本情况

① 环境条件 包括月均日辐照量、地处纬度、日照时间、环境温度等。

② 用水条件 用水量（总用水量/天）、用水方式（用水时间、用水次数）、用水温度、用水位置（水位落差）、用水流量。

③ 场地情况 场地面积、场地形状、建筑物承载能力，遮挡情况。

④ 水电情况 水压、电压、供应情况、冷水水温。

(2) 确定系统的用水量及温度要求（见附录 3）

住宅及其他场合用户淋浴用水可按每天每人每次 40L（40℃）、盆浴用水每人每次 100L（40℃）选择。对于其他用水场合如学校、宾馆、医院等集体用水，可根据用水频次、用水方式，参考相应的规范标准和用户共同确定。

(3) 确定热水器的规格及数量

热水器台数 = 每日用水量 / 热水器容量

① 设计热水系统时，应根据所选产品的型号、容量和热效率情况而适当地调整；

② 在能保证安装、摆放的前提下，优先选择大容量的热水器。

(4) 热水器的摆放和陈列

① 方向：集热器摆放面向正南或正南偏西 5°。

② 集热器东西方向之间间隔一般为 200mm，以便连接管路。

③ 热水器通过串并联组成系统，考虑到水流阻力因素，串联的热水器一般不超过 4 台。

④ 同程：集热器组应按同程方式布置成并联，即应使每个集热器的传热介质流入路径与回流路径长度相同，以使流量平均分配。

⑤ 辅助阀门。

⑥ 防水：在屋面作混凝土基础或在热水器支腿下面垫 1.5mm 橡胶板，以免破坏防水。

(5) 工程水箱选择及摆放

① 工程水箱容量根据系统总水量确定，当系统总水量较少时（5t 以下），其水箱容量建议与总用水需求量一致；当系统总水量较大时（5t 以上），水箱容量可适当小一些，约在总水量的 50%~70% 之间，这样在保证使用效果的前提下有利于降低成本。

② 工程水箱主要储存热水，其应摆放在承重梁或承重墙上，一般要制作水箱基础，以便于承重和防水。

③ 当需要水箱有特殊功能，如辅助热源、盘管换热、水嘴位置、大小调整、出水增压、管路循环等，需要在设计中注明。

(6) 管路设计

① 管路应尽量短，少拐弯，为了达到流量平衡和减少热损，绕行的管路应