

中温太阳能空调系统设计规范

Design specification for medium temperature solar air conditioning system

2024 - 11 - 28 发布

2024 - 12 - 28 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统分类和构成 2

 4.1 系统分类 2

 4.2 系统构成 2

5 总体要求 3

6 系统设计 3

 6.1 中温太阳能集热系统 3

 6.2 蓄热系统 6

 6.3 辅助热源系统 6

 6.4 换热调节系统 6

 6.5 热驱动制冷系统 6

 6.6 蓄冷系统 7

 6.7 辅助冷源系统 7

 6.8 电气与控制系统 7

 6.9 其他设备 8

7 系统性能评估方法 8

附录 A（资料性） 导热油特性参数表 9

附录 B（规范性） 中温太阳能空调系统安装、调试及维护 12

 B.1 安装 12

 B.2 调试 12

 B.3 维护 12

附录 C（资料性） 山东地区日太阳辐照量分段天数统计表 13

附录 D（规范性） 中温太阳能空调系统试验要求及参数计算方法 14

 D.1 计量设备类型及准确度 14

 D.2 试验条件 14

 D.3 试验方法 15

参考文献 21

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省能源局提出并组织实施。

本文件由山东省能源标准化技术委员会归口。

中温太阳能空调系统设计规范

1 范围

本文件规定了中温太阳能空调系统的分类和构成、总体要求和系统设计等要求。

本文件适用于建筑或工农业生产领域利用太阳能集热系统产生的100℃～250℃范围的热水、蒸汽、导热油为驱动热源提供空调制冷的太阳能空调系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 151 热交换器
GB/T 3797 电气控制设备
GB/T 12936 太阳能热利用术语
GB 18361 溴化锂吸收式冷（温）水机组安全要求
GB/T 18431 蒸汽和热水型溴化锂吸收式冷水机组
GB/T 18713 太阳热水系统设计、安装及工程验收技术规范
GB/T 22070 氨水吸收式制冷机组
GB/T 25859 蓄冷系统用蓄冰槽 型式与基本参数
GB/T 29724 太阳能热水系统能量监测
GB/T 40517 太阳能中低温蓄热装置
GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
GB 50495 太阳能供热采暖工程技术标准
GB/T 50736 民用建筑采暖通风与空气调节设计规范
SB/T 10343 蓄冷设备的性能标定
ISO 9488 太阳能词汇（Solar energy-Vocabulary）

3 术语和定义

GB/T 12936、GB/T 18713和ISO 9488界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

中温太阳能空调系统 medium temperature solar air conditioning system
由太阳能集热提供温度在100℃～250℃之间热源，供建筑、工农业生产用空调制冷的系统。

3.2

换热调节系统 heat exchange regulation system
为了调节因太阳辐照变化引起的太阳能集热系统热力输出参数变化而设置的调节系统。

3.3

中温太阳能空调系统负荷率 load rate of medium temperature solar air conditioning system

中温太阳能空调系统所提供的设计制冷量与该区域设计冷负荷之比。

[来源：GB/T 50801—2013，2.0.11，有修改]

4 系统分类和构成

4.1 系统分类

4.1.1 按集热系统类型

中温太阳能空调系统按集热系统类型划分为真空管型和平板型：

- a) 真空管型中温太阳能空调系统为采用真空管型集热器系统，真空管型集热器又可划分为聚光型和非聚光型；
- b) 平板型中温太阳能空调系统为采用平板型集热器系统。

4.1.2 按加热介质

中温太阳能空调系统按加热介质划分为热水型、蒸汽型和导热油型（导热油特性参数见附录A）：

- a) 热水型中温太阳能空调系统为采用水作为介质的系统；
- b) 蒸汽型中温太阳能空调系统为采用水蒸汽作为介质的系统；
- c) 导热油型中温太阳能空调系统为采用导热油作为介质的系统。

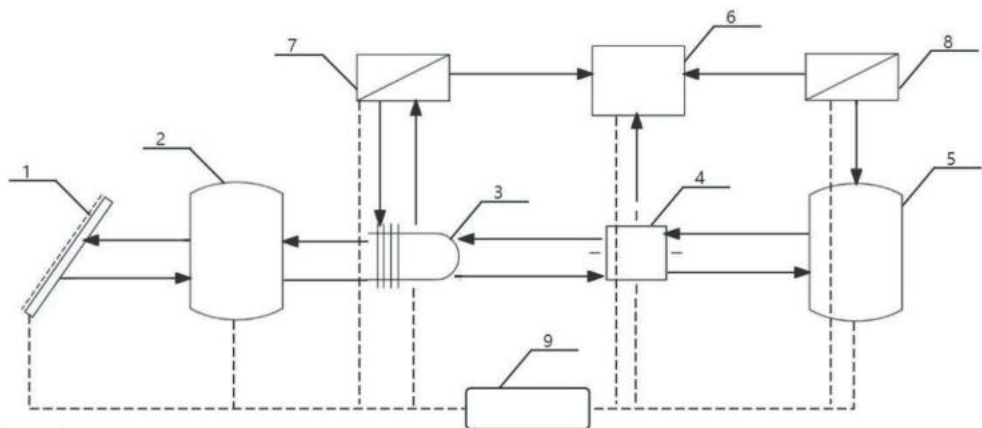
4.1.3 按制冷设备

中温太阳能空调系统按制冷设备划分为吸附型、吸收型和除湿型：

- a) 吸附型中温太阳能空调系统为采用吸附式机组的系统；
- b) 吸收型中温太阳能空调系统为采用吸收式机组的系统；
- c) 除湿型中温太阳能空调系统为采用除湿式机组的系统。

4.2 系统构成

中温太阳能空调系统主要由中温太阳能集热系统、热驱动制冷系统、蓄热系统、蓄冷系统、换热调节系统、辅助热源系统、辅助冷源系统和电气与控制系统构成，如图1所示。



- 标引序号说明：
- 1——中温太阳能集热系统；
 - 2——蓄热系统；
 - 3——换热调节系统；
 - 4——热驱动制冷系统；
 - 5——蓄冷系统；
 - 6——用户；
 - 7——辅助热源系统；
 - 8——辅助冷源系统；
 - 9——电气与控制系统。

图1 中温太阳能空调系统构成示意图

5 总体要求

- 5.1 系统宜按全年综合利用情况进行设计，夏季制冷，其他季节热量可用于生产生活用热水或采暖，设计寿命不应低于 15 年。
- 5.2 系统设计应根据所处地区太阳能资源、气候特点、安装场所、使用功能、冷负荷需求和投资规模等综合因素，选择适宜的太阳能集热系统、热驱动制冷系统类型及规格。
- 5.3 系统设计应采用满足机组运行温度要求的太阳能热源，宜配置燃气加热、电加热、工业余热等辅助热源系统，在太阳能热量不足或无太阳能时提供满足制冷需求所需的热量。
- 5.4 系统应设计适宜的优化运行策略，在满足制冷需求的前提下实现最小常规能源消耗。
- 5.5 中温太阳能空调系统应采取防过热、防冻、防结垢、防雷、防雹、抗风、抗震和保证电气安全等技术措施。
- 5.6 在既有建筑物上新建或改造中温太阳能空调系统，建筑应具有建筑结构安全复核通过的相关文件，系统安装、调试及维护方法按附录 B 进行。
- 5.7 选择场地时，应对安装集热器场地周围受烟气、粉尘污染和建筑物的遮挡的情况进行分析。

6 系统设计

6.1 中温太阳能集热系统

6.1.1 气候资源评估

系统设计用气象参数应选用当地近10年的太阳总辐照量、太阳直射辐照量、环境温度、风速、风向等气象数据为计算依据，如当地气象数据缺失，可取临近站点的气象数据。山东地区日太阳辐照量分段天数统计见附录C。

- a) 系统设计应对系统所在区域的太阳能资源及相关的地理条件、气候特征和基本气象要素进行适应性分析。
- b) 用于气候资源评估的数据应为连续测试记录，太阳能资源评估数据不宜少于一个完整年。

6.1.2 太阳能集热器选型

太阳能集热器的选型应在满足系统设计驱动温度的基础上，考虑系统投资、节能效果、运行费用和使用寿命等因素，并应能保证系统运行的安全可靠。选型可参考表1。

表1 不同集热器类型输出温度及其耐候特性

条件参数	集热器类型			
	非跟踪式		跟踪式	
	平板型	真空管型/热管型	线性菲涅尔	槽式
安装方式	固定	固定	单轴跟踪	单轴跟踪
输出温度（℃）	≤120℃	≤150℃	≤250℃	≤250℃
循环工质	水/防冻液 ^a	水/防冻液/导热油	水/防冻液/导热油	水/防冻液/导热油
防冻方式	防冻液 ^a	导热油/防冻循环	防冻液 ^a /导热油/防冻循环	防冻液 ^a /导热油/防冻循环
防过热方式	闷晒/蓄热/风冷散热	蓄热/风冷散热	自动控制	自动控制
抗风等级	10级	10级	10级	10级
^a 防冻液应选择满足当地历史最低温度的冰点；防冻液应选择耐温能够满足集热器最高闷晒温度的产品；菲涅尔式和槽式系统使用防冻液时宜通过自动控制方式避免防冻液超过其最高耐受温度以防变质；选用防冻液的系统应为闭式系统。				

6.1.3 热负荷计算

中温太阳能集热系统热负荷按公式（1）计算：

$$Q = \frac{P \cdot t \cdot 3.6}{COP} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- Q ——中温太阳能空调系统日均用热量，单位为兆焦（MJ）；
 P ——中温太阳能空调系统制冷功率，单位为千瓦（kW）；
 t ——制冷机组日均工作时间，单位为小时（h）；
 COP ——中温太阳能空调系统制冷机组性能系数。

6.1.4 集热系统面积计算

应根据太阳能集热系统跟踪方式、换热方式的不同，分别计算集热系统面积。

- a) 非跟踪式直接系统集热器总面积，根据用户的日均用热量确定，按公式（2）估算：

$$A_c = \frac{Q \cdot f}{J_c \cdot \eta_{cd} \cdot (1 - \eta_L)} \quad (2)$$

式中：

A_c ——直接式系统集热器总面积，单位为平方米（ m^2 ）；

f ——太阳能保证率，无量纲，根据系统使用期内的太阳辐照、系统经济性及用户要求等因素综合考虑后确定，一般取0.30~0.80；山东地区日太阳辐照量分段天数统计见表C.1所示。

J_c ——当地集热器安装倾斜角表面上的月均日太阳总辐照量，单位为兆焦每平方米（ MJ/m^2 ）；

η_{cd} ——集热器年或月平均集热效率，无量纲，具体取值可根据集热器产品的实际测试结果取值；

η_L ——管路及蓄热装置热损失率，无量纲，根据经验值取0.20~0.30。

b) 间接系统集热器总面积，按公式（3）估算：

$$A_{IN} = A_c \left(1 + \frac{U_L \cdot A_c}{U_{hx} \cdot A_{hx}} \right) \quad (3)$$

式中：

A_{IN} ——非跟踪式间接系统集热器总面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A_c ——非跟踪直接系统集热器总面积，单位为平方米（ m^2 ）；

U_L ——集热器总热损系数，单位为瓦每平方米摄氏度 [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]；

U_{hx} ——换热器传热系数，可根据换热器类型查询样本得出，单位为瓦每平方米摄氏度 [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]；

A_{hx} ——换热器换热面积，单位为平方米（ m^2 ）。

c) 跟踪式系统集热器总面积，按公式（4）、公式（5）估算：

$$A_z = \frac{Q \cdot f}{I_{IN} \cdot \eta_{cd} \cdot (1 - \eta_L)} \quad (4)$$

$$I_{IN} = \frac{\sum (\xi \cdot J_{IN})}{n} \quad (5)$$

式中：

A_z ——直接式系统集热器总面积，单位为平方米（ m^2 ）；

I_{IN} ——跟踪式系统运行期间的月平均日平均直射辐照量，单位为兆焦每平方米（ MJ/m^2 ）；

η_{cd} ——集热器年或月平均集热效率，无量纲，具体取值可根据集热器产品的实际测试结果取值；

ξ ——集热器追踪修正系数，通过专用软件计算，或查表；

J_{IN} ——当地集热器安装倾斜角表面上的月平均日太阳直射辐照量，单位为兆焦每平方米（ MJ/m^2 ）；

n ——计算周期，单位为月（month）。

6.1.5 系统布置

在考虑占地位置、占地面积和光照情况外，系统布置应兼顾布局紧凑、合理，管线连接短捷、整齐。

a) 集热系统中各集热器可通过并联、串联和串并联等方式连接成集热器阵列，集热器阵列间的互连接宜按同程原则进行设计。集热系统的设计流量应根据太阳能集热器生产企业给出的数值确定。

b) 对于非跟踪式集热系统，集热器的主要朝向宜为南向。全年使用的集热器安装倾角宜等于当地纬度；夏季使用，其安装倾角宜等于当地纬度减 10° ；冬季使用，其安装倾角宜等于当地

纬度加 10° 。对于跟踪式集热系统，全年使用或夏季使用的集热器宜平行于经度方向安装；冬季使用集热器宜平行于纬度方向安装。

6.2 蓄热系统

6.2.1 应根据系统性能、蓄热量、蓄热周期、蓄热温度、太阳能保证率和系统投资等进行经济分析，选取合适的蓄热系统。

6.2.2 宜考虑蓄热系统周边的地质情况、基础承重能力和保温防水等，应设绝热保温、防凝设施，应进行基础结构加固、防潮隔热等辅助设计。

6.2.3 蓄热介质和蓄热装置应具有相容性，流体蓄热介质应有防漏防渗措施和疏放系统，宜尽量减小蓄热材料暴露面积。

6.2.4 蓄热系统应符合 GB/T 40517 的规定。

6.3 辅助热源系统

6.3.1 应根据系统供热制冷的需要与技术规格等资料，经技术经济分析后选取适宜的热源类型。

6.3.2 优先选择可再生能源，也可根据地域条件和经济分析选择燃气、电加热等常规能源。

6.3.3 应按太阳能系统最不利的供热能力设计符合用热需求的容量。

6.3.4 可采用并联或串联等合理高效的供热方式组合，可采用手动、自动等控制方案。

6.4 换热调节系统

6.4.1 应能实现换热调节系统与蓄热系统、辅助热源系统、热驱动制冷系统的热量交互。

6.4.2 由于太阳辐照变化引起太阳能集热系统热力输出参数变化时，换热调节系统可调节热力输出保持平稳状态。

6.4.3 换热器应根据换热负荷参照有关设计规范或厂商说明进行选型，满足系统耐温、耐压和防腐的规定。

6.4.4 宜采用结构简单、维修清洗方便的板式换热器或管式换热器。

6.4.5 换热器与传热工质应有较好的相容性，不会对水产生二次污染，宜考虑防垢、清垢措施。

6.5 热驱动制冷系统

6.5.1 制冷负荷

按照 GB 50736、GB 50019 等标准的规定计算空调制冷负荷，按照工作时间段、冷媒形式（液体、气体）、冷媒温度和冷媒流量等要求进行制冷系统选型。

6.5.2 系统选型

应能满足制冷负荷要求，并与中温太阳能集热系统、辅助热源系统温度、流量等热力参数匹配。具体参数匹配情况如下：

- a) 吸收式、吸附式和除湿式机组的性能参数应符合 GB 18361、GB/T 18431、GB/T 22070 等相应标准的规定或设计要求；
- b) 当热源温度比较高时，宜采用双效、三效或多效机组；
- c) 应根据不同驱动温度下制冷系统的 COP 特性，综合考虑集热系统安装面积、经济性，确定系统设计驱动温度。可参考表 2、表 3 进行。

表2 中温太阳能空调系统选型表

冷量特点	中温太阳能空调系统类型		
	吸收型	吸附型	除湿型
冷媒形式	液体	液体	气体
冷媒温度（℃）	-20~20	7~20	12~15
驱动温度（℃）	80~250	80~250	55~85
适用类型	大中型	中小型	中小型

表3 不同驱动温度下的制冷系统 COP 特性

冷量特点	驱动温度 ℃				
	60~80	80~100	100~130	130~180	180~250
	COP特性				
吸收型	—	0.6~0.8（单效）	0.9~1.2（双效）	1.2~1.6（三效）	≥1.6（多效）
吸附型	0.4~0.6	0.6~1.0		—	—
除湿型	0.4~0.6	0.6~1.0		—	—

6.6 蓄冷系统

- 6.6.1 设计时，应计算一个蓄冷—释冷周期的逐时冷负荷，并根据蓄冷—释冷周期内冷负荷曲线、制冷系统能力等因素，经综合比较后确定采用全负荷蓄冷或分负荷蓄冷。
- 6.6.2 蓄冷量应保证在设计蓄冷时段内完成全部预定的冷量蓄存，同时兼顾经济性。
- 6.6.3 蓄冷和释冷特性应满足蓄冷末端的需求。
- 6.6.4 对于日温差较大的地区，宜采用冷却水蓄冷。
- 6.6.5 系统应符合 GB/T 25859、SB/T 10343 的要求。

6.7 辅助冷源系统

- 6.7.1 宜根据系统制冷负荷要求，配备机械压缩式制冷等辅助冷源系统，以实现太阳辐照资源不足时单独供冷，机组参数经技术经济分析后确定。
- 6.7.2 可按太阳能系统最不利的制冷能力，设计符合用冷需求的容量。
- 6.7.3 可向用户独立供冷，也可在电价较低时向蓄冷系统储冷。

6.8 电气与控制系统

6.8.1 基本规定

应根据系统运行要求、控制原理及系统操控执行部件设计或选择控制系统，满足系统运行控制要求、安全保护要求及自动化运行控制要求，具体要求如下：

- a) 应能实现集热系统、热驱动制冷系统、蓄热系统、蓄冷系统、辅助热源系统、辅助冷源系统、换热调节系统等组成部分的控制协调及运行参数监测；
- b) 应具备防过热、防冻、抗风、故障报警等必要的监测和保护动作等基本功能；
- c) 应满足系统运行控制、安全防护，辅助热源、辅助冷源、储热系统、储冷系统切换、循环泵启停、系统故障报警、停电应急控制等要求，并应具有手动和自动模式；
- d) 宜采用集中控制，宜预留通信接口，远程控制时，应有就地控制和解除远程控制的措施；

- e) 电气控制设备应符合 GB/T 3797 的有关规定，应设置备用电源。

6.8.2 控制性能

控制系统应保证系统的稳定运行，控制方式应简便、可靠、易于操作，具体要求如下：

- a) 当太阳能集热量富余时，宜优先选择进行蓄冷；
- b) 系统宜采用智能控制，应包含太阳辐照度较差不满足需求、太阳辐照度充足大于需求及太阳辐照频繁波动等典型工况下应采取的控制方式；
- c) 控制方式宜考虑系统经济性，根据冷热需求选择蓄热或蓄冷；
- d) 系统运行遇到故障时，应及时响应并发出警报，并采取相应的保护措施。

6.8.3 监测系统

监测系统可通过现场监控和远程监控两种方式实现，数据采集、数据传输和远程监测应符合GB/T 29724的规定。设置运行监测系统，记录各设备单元、仪器仪表等运行情况，至少应包括下列内容：

- a) 室外环境温度、辐照度和风速；
- b) 集热器进出口、换热器进出口、蓄热装置、蓄冷装置的温度；
- c) 供热温度；
- d) 传热工质循环流量和供热量；
- e) 系统耗电量；
- f) 储水箱、储油箱、膨胀箱的液位；
- g) 系统中太阳能集热器、泵、辅助热源等设备运行状态、故障状态和运动状态参数；
- h) 辅助热源系统运行参数；
- i) 电气系统的运行参数；
- j) 报警防护。

6.9 其他设备

换热器、循环泵、管路和阀门等通用设备设计和选型，应符合GB/T 151、GB 50495的规定。

7 系统性能评估方法

中温太阳能制冷空调系统性能测试试验方法按附录 D 进行。

附 录 A
(资料性)
导热油特性参数表

导热油特性参数见表A. 1。

表 A. 1 导热油特性参数表

DY-300					
温度t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 υ 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m • h • °C	比热c _p kJ/kg • °C	普朗特准则数Pr /
20	1005	15.60	0.4417	1.8091	229.54
50	990	5.54	0.4363	1.9008	86.90
100	953	1.95	0.4224	2.0846	34.66
150	916	1.01	0.4024	2.2592	20.00
200	889	0.66	0.3986	2.4338	14.58
250	855	0.50	0.3864	2.6080	12.15
300	822	0.45	0.3743	2.7825	12.04
340	797	0.40	0.3647	2.9220	11.51
DY-325					
温度t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 υ 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m • h • °C	比热c _p kJ/kg • °C	普朗特准则数Pr /
20	1022	20.00	0.4342	1.7889	296.82
50	1007	6.60	0.4271	1.8841	73.06
100	972	2.10	0.4153	2.0666	37.62
150	936	1.08	0.4032	2.2395	21.60
200	910	0.67	0.3915	2.4124	14.86
250	874	0.50	0.3797	2.5853	12.25
300	845	0.45	0.368	2.7583	12.14
340	821	0.40	0.3584	2.8964	11.64
DY-340					
温度t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 υ 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m • h • °C	比热c _p kJ/kg • °C	普朗特准则数Pr /
20	962	5.80	0.4643	1.8514	83.26
50	949	2.70	0.4564	1.9510	41.56
100	912	1.27	0.4442	2.1378	22.00
150	878	0.73	0.4317	2.3166	14.10
200	848	0.50	0.4191	2.4985	10.72
250	812	0.45	0.4061	2.6741	10.67
300	783	0.40	0.3936	2.8533	10.43
340	760	0.35	0.3834	2.9965	9.85

表 A.1 导热油特性参数表（续）

JD-300					
温度 t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 ν 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m · h · °C	比热 c_p kJ/kg · °C	普朗特准则数 Pr /
130	807	3.72	0.425	2.386	60.6737
170	788	2.07	0.403	2.604	37.9433
210	765	1.48	0.385	2.881	30.5006
250	744	1.25	0.367	3.220	29.3748
290	723	1.01	0.346	3.680	27.9598
JD-310					
温度 t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 ν 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m · h · °C	比热 c_p kJ/kg · °C	普朗特准则数 Pr /
130	811	3.21	0.428	2.42	52.9907
170	791	2.04	0.414	2.575	36.1315
210	770	1.40	0.403	2.755	26.5300
250	749	1.21	0.389	2.998	25.1450
290	729	0.96	0.374	3.354	22.5940
JD-330					
温度 t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 ν 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m · h · °C	比热 c_p kJ/kg · °C	普朗特准则数 Pr /
130	797	2.72	0.472	2.525	41.7493
170	776	1.82	0.461	2.738	30.1973
210	755	1.39	0.446	2.943	24.9298
250	734	1.18	0.436	3.136	22.4269
290	714	1.12	0.425	4.061	27.5082
JD-350					
温度 t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 ν 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m · h · °C	比热 c_p kJ/kg · °C	普朗特准则数 Pr /
170	944	1.75	0.446	2.106	28.0825
210	921	1.25	0.436	2.307	21.9297
250	890	1.08	0.425	2.571	20.9329
290	864	0.86	0.414	2.927	18.9120
330	837	0.84	0.403	3.400	21.3541
YD-131					
温度 t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 ν 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m · h · °C	比热 c_p kJ/kg · °C	普朗特准则数 Pr /
90	825	6.25	0.464	2.198	87.9318
130	804	3.32	0.446	2.416	52.0546
170	782	2.09	0.425	2.633	36.4517
210	761	1.50	0.407	2.843	28.7052
250	739	1.28	0.389	3.044	26.6472

表 A.1 导热油特性参数表（续）

YD-132					
温度t ℃	密度 ρ kg/m ³	运动粘度 υ 10 ⁻⁶ m ² /s	导热系数 λ kJ/m·h·℃	比热c _p kJ/kg·℃	普朗特准则数Pr /
130	804	3.81	0.439	2.412	60.5894
170	784	2.46	0.432	2.571	41.3211
210	763	1.77	0.425	2.751	31.4704
250	743	1.43	0.414	2.998	27.6987
290	723	1.10	0.407	3.540	24.9025

附录 B

(规范性)

中温太阳能空调系统安装、调试及维护

B.1 安装

B.1.1 应选择具备相应安装资质的工程建设方进行系统施工安装。

B.1.2 安装前应编制施工组织方案，并通过批准，包括但不限于主体施工、设备安装、装修装饰等工种的协调配合方案和安全措施等内容。

B.1.3 安装前应确认设计文件齐备、现场水、电、路、基础预留内容、设施条件、场地等都具备并符合施工要求。

B.1.4 安装进场的所有人员、设备、材料、部品、环境安全设施都应具有相应的合格证明资料，并符合施工要求的质量、数量、性能指标。

B.1.5 安装过程中对涉及的人员、设备、材料、部品、环境安全设施、周围设施都具有必要的安全防护措施。

B.1.6 安装在建筑物屋顶的中温太阳能集热系统，系统施工安装时，不应破坏建筑物的结构、不应削弱建筑物在寿命期内承受任何荷载的能力、不应破坏建筑物的附属设施，建筑防水层遭到破坏的应修复。

B.1.7 对环境有特殊要求的设备，应配备相应的措施。

B.2 调试

B.2.1 系统安装完毕投入使用前，应进行系统调试，应由施工单位负责，监理单位监督，设计、建设单位与设备厂家共同参与。

B.2.2 系统调试包括设备单机和系统联动的调试，系统联动调试需在设备单机试运行合格后进行。

B.2.3 调试前应将集热器、换热装置、储热装置、辅助热源等设备与管路内部清理干净。

B.2.4 设备单机调试主要内容：检查安装、数量、防护措施、阀门密封、仪表灵敏度、设备热性能等。

B.2.5 系统联动调试主要内容：集热场流量平衡、太阳能与辅助能源的匹配、系统热性能等。

B.2.6 调试运行过程中出现的故障应及时排除，当出现的故障必须停止系统运行后才能排除，则试运行时间重新开始计算。

B.2.7 连续稳定试运行时间达到一周、制冷性能达到设计要求，则系统调试完成。

B.2.8 应建立维护保养制度，并定期实施。

B.3 维护

B.3.1 应对系统中的传感器进行年检，发现问题应及时更换。

B.3.2 太阳能集热器应每年进行全面检查，定期清洗集热器表面。

B.3.3 应定期检查水泵、管路以及阀门等附件。

B.3.4 夏季空调系统停止运行时，应采取有效措施防止太阳能集热系统过热。

附 录 C
(资料性)

山东地区日太阳辐照量分段天数统计表

山东地区日太阳辐照量分段天数统计见表C. 1。

表 C. 1 山东地区日太阳辐照量分段天数统计表

单位为天

序号	城市	天数			
		X_1	X_2	X_3	X_4
1	鲁北	68	113	89	95
2	鲁东	109	82	59	117
3	鲁西	89	107	75	94
4	鲁中	78	112	111	64
5	鲁南	76	112	101	76
注：X_1——全年中当地日太阳辐照量小于8 MJ/m²的天数，单位为天（d）； X_2——全年中当地日太阳辐照量小于13 MJ/m²且大于等于8 MJ/m²的天数，单位为天（d）； X_3——全年中当地日太阳辐照量小于18 MJ/m²且大于等于13 MJ/m²的天数，单位为天（d）； X_4——全年中当地日太阳辐照量大于等于18 MJ/m²的天数，单位为天（d）。					

附录 D
(规范性)

中温太阳能空调系统试验要求及参数计算方法

D.1 计量设备类型及准确度

D.1.1 太阳辐照

使用二级总辐射表测量太阳总辐照度，二级直辐射表测量太阳直射辐照度。

D.1.2 温度

温度计量设备的准确度和最小分辨率应符合表D.1的规定，响应时间应小于5 s。

环境空气温度应使用遮阳且通风的采样器件，在高于地面1 m处及离太阳能集热系统1.5 m~10 m处的百叶箱内测试。在系统附近不应有烟囱、冷却塔或热气排风扇等。

表D.1 温度计量设备的准确度和分辨率

参数	准确度	分辨率
环境空气温度	$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.2 $^{\circ}\text{C}$
热源温度	$\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$

D.1.3 流量

液体流量的测量准确度应为 $\pm 1.0\%$ 。

D.1.4 风速

在每个试验期，使用风速测量仪测量周围空气的速率，准确度应为0.5 m/s。风速传感器安装位置同环境温度。

D.1.5 湿度

湿度测量设备的准确度应为 $\pm 2.0\%\text{RH}$ 。

D.1.6 压力

压力测量设备的准确度应为 $\pm 1.0\%$ 。

D.1.7 电气参数

电气参数测量设备的准确度应为 $\pm 1.0\%$ 。

D.1.8 时间

时间测量设备的准确度应为 $\pm 0.2\%$ 。

D.2 试验条件

试验时应满足的工况条件如下：

- a) 电源，额定频率 $\pm 1\text{ Hz}$ ，额定电压 $\pm 10\%$ ；

- b) 环境温度，0℃~39℃；
 - c) 风速，试验期间平均速率不大于4 m/s；
 - d) 当驱动热源为蒸汽时，进口压力为额定值±20 kPa；
 - e) 当驱动热源为热水时，进口温度为额定值±1.0℃，流量为额定值±5%；
 - f) 当驱动热源为导热油时，进口温度为额定值±2.0℃，流量为额定值±5%；
 - g) 测试工况：每一典型太阳辐照区间测试天数不应少于1 d，太阳辐照量测试时间范围为：8:00~16:00，太阳辐照区间划分应符合下列规定：
 - 1) $H < 8 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；
 - 2) $8 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \leq H < 13 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；
 - 3) $13 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \leq H < 18 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；
 - 4) $H \geq 18 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。
- 注：我国大部分地区，阴雨天气的太阳辐照量为 $H < 8 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；阴间多云时的太阳辐照量为 $8 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \leq H < 13 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；晴间多云时的太阳辐照量为 $13 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \leq H < 18 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；天气晴朗时的太阳辐照量为 $H \geq 18 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。太阳辐照不同，太阳能集热器的转换效率也会有所不同。
- h) 驱动制冷机组的工况试验条件按表 D. 2~表 D. 4 的规定执行。

表D. 2 吸附式中温太阳能制冷机组制冷工况试验条件

吸附式制冷工质	热源驱动温度	流量
活性炭体系	70℃~120℃	固定（额定值±5%）
沸石体系	150℃~250℃	固定（额定值±5%）
硅胶体系	75℃~120℃	固定（额定值±5%）
氯化钙体系	95℃~120℃	固定（额定值±5%）

表D. 3 吸收式中温太阳能制冷机组制冷工况试验条件

吸收式制冷循环类型	热源驱动温度	流量
单效	80℃~100℃	固定（额定值±5%）
双效	100℃~130℃	固定（额定值±5%）
三效	130℃~180℃	固定（额定值±5%）
多效	$\geq 180^\circ\text{C}$	固定（额定值±5%）

表D. 4 除湿式中温太阳能制冷机组制冷工况试验条件

除湿式太阳能制冷类型	再生温度	气体流量
太阳能转轮除湿	55℃~85℃	固定（额定值±5%）

D. 3 试验方法

D. 3.1 试验原理

通过集热系统的工质进出口温度（焓）、流量、风速等数据，计算总集热量。采用水侧热计法进行制冷量试验。通过测定机组的冷量载体进出口温度和流量，计算制冷量。测定集热量时，太阳能集热及蓄热系统出口温度应高于太阳能制冷机组热源正常工作温度范围。

D. 3.2 试验装置

采用非聚光型集热器时，需要采用总辐射表测试总辐照度（Gg）；采用非聚光型真空管型集热器/平板型集热器时，需要采用直射辐射表测试直射辐照度Gb；中温太阳能空调系统试验装置图如图D. 1所示。

- a) 试验装置能连续获得稳定的流量、流体温度、风速和相对湿度。
- b) 试验设备应满足 D.1 的规定。

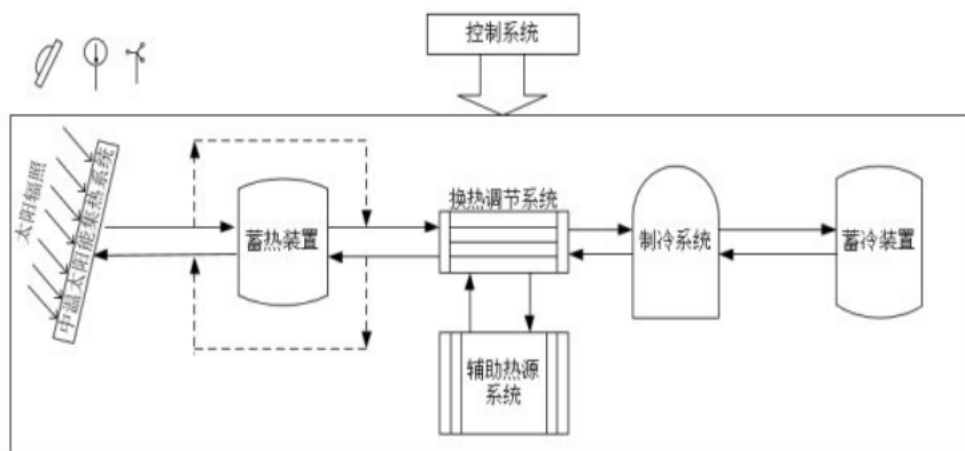


图 D.1 中温太阳能空调系统的试验装置图

D.3.3 试验准备

在试验前，需要进行如下准备工作：

- a) 待测集热系统、蓄热系统、制冷机组已安装运转必需的附属装置；
- b) 排尽系统内的空气，并确认已灌满工质；
- c) 待测集热系统、蓄热系统、制冷机组填装规定量的工质、添加剂；
- d) 真空系统抽气达到运行真空度要求；
- e) 中温太阳能空调系统在平均负荷率不低于设计值 50%条件下至少稳定运行 1 h 后再进行测试。

D.3.4 试验步骤

按照以下步骤进行性能测试：

- a) 中温太阳能空调系统从上午 8 时开始测试。测试前，首先开启中温太阳能空调系统，使系统至少稳定运行 1 h，当系统热源出口温度达到或高于中温太阳能空调系统热源正常工作温度范围，并稳定在试验条件的状态后开始测试；
- b) 太阳能集热量测试自每日测试的时间从上午 8 时开始至达到所需要的太阳辐照量为止，当达到所需辐照量后，将集热器用隔离罩罩住，继续保持设备稳定运行至次日上午 8 时，完成一组太阳辐照区间的测试；
- c) 测试过程应保证中温太阳能空调系统不间断连续运行；
- d) 试验时试验条件应满足 B.2 的规定；
- e) 同次各数据测试同时进行，以减少试验条件波动的影响；
- f) 每次测试的数据应用热平衡法校核，其偏差应在 ±5% 以内。

D.3.5 太阳能集热器集热能力的计算方法

使用蒸汽作为驱动热源时，按公式 (D.1) 计算：

$$Q_j = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{ji} (h_{dji} - h_{bji}) \Delta t_{ji} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

Q_j ——太阳能集热器集热量，单位为千焦（kJ）；

$\dot{m}_{ji}$ ——第*i*次记录的蒸汽质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；

h_{dji} ——第*i*次记录的蒸汽比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

h_{bji} ——第*i*次记录的凝结水比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

Δt_{ji} ——第*i*次记录的时间间隔（每日测试的时间从上午8时开始至达到所需要的太阳辐照量为止， ΔT_{ji} 不应大于600 s），单位为秒（s）。

使用热水/导热油作为驱动热源时，按公式（D.2）计算：

$$Q_j = \sum_{i=1}^n V'_{ji} c_j \rho_j (T'_{dji} - T'_{bji}) \Delta t_{ji} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

Q_j ——太阳能集热器集热量，单位为千焦（kJ）；

V'_{ji} ——第*i*次记录的热水/导热油体积流量，单位为立方米每秒（m³/s）；

c_j ——热水/导热油平均比热，单位为千焦每千克每摄氏度（kJ/（kg·℃））；

ρ_j ——热水/导热油平均密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；

T'_{dji} ——第*i*次记录的热水/导热油进口温度，单位为摄氏度（℃）；

T'_{bji} ——第*i*次记录的热水/导热油出口温度，单位为摄氏度（℃）；

Δt_{ji} ——第*i*次记录的时间间隔（每日测试的时间从上午8时开始至达到所需要的太阳辐照量为止， ΔT_{ji} 应不大于600 s），单位为秒（s）。

D.3.6 太阳能集热系统制热效率的计算方法

采用非聚光型真空管型集热器/平板型集热器时，按公式（D.3）计算：

$$\eta_j = \frac{Q_j}{A \sum_{i=1}^n G_{gi} \Delta t_i} \dots\dots\dots (D.3)$$

采用聚光型真空管型集热器时，按公式（D.4）计算：

$$\eta_j = \frac{Q_j}{A \Delta t_i \sum_{i=1}^n [G_{bi} + (G_{gi} - G_{bi}) / C]} \dots\dots\dots (D.4)$$

式中：

η_j ——太阳能集热系统制热效率，无量纲；

Q_j ——太阳能集热器集热量，单位为千焦（kJ）；

A ——集热器采光面积，单位为平方米（m²）；

G_{gi} ——第*i*次记录的总辐照度，单位为千瓦每平方米（kW/m²）；

Δt_i ——第*i*次记录的时间间隔，单位为秒（s）；

G_{bi} ——第*i*次记录的直射辐照度，单位为千瓦每平方米（kW/m²）；

C ——聚光比。

D.3.7 制冷能力的计算方法

使用载冷剂作为冷量载体，按公式（D.5）计算：

$$Q_c = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{ci} c_c \rho_c (T_{cli} - T_{c2i}) \Delta t_{ci} \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

Q_c ——制冷量, 单位为千焦 (kJ);

$\dot{m}_{ci}$ ——第*i*次记录的载冷剂质量流量, 单位为千克每秒 (kg/s);

c_c ——载冷剂比热, 单位为千焦每千克每摄氏度 (kJ/(kg·℃));

ρ_c ——载冷剂密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³);

T_{cli} ——第*i*次记录的载冷剂进口温度, 单位为摄氏度 (℃);

T_{c2i} ——第*i*次记录的载冷剂出口温度, 单位为摄氏度 (℃);

Δt_{ci} ——第*i*次记录的时间间隔 (每日测试的时间从上午8时开始至次日上午8时, Δt_{ci} 应不大于600 s), 单位为秒 (s)。

使用空气作为冷量载体, 按公式 (D.6) 计算:

$$Q_c = \sum_{i=1}^n V_{pro,i} \rho_a (h_{pro,in,i} - h_{pro,out,i}) \Delta t_{ci} \dots\dots\dots (D.6)$$

式中:

Q_c ——制冷量, 单位为千焦 (kJ);

$V_{pro,i}$ ——第*i*次记录的处理空气的体积流量, 单位为立方米每秒 (m³/s);

ρ_a ——处理空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³);

$h_{pro,in,i}$ ——第*i*次记录的处理空气进口的比焓, 单位为千焦每千克 (kJ/kg);

$h_{pro,out,i}$ ——第*i*次记录的处理空气出口的比焓, 单位为千焦每千克 (kJ/kg);

Δt_{ci} ——第*i*次记录的时间间隔 (每日测试的时间从上午8时开始至次日上午8时, Δt_{ci} 应不大于600 s), 单位为秒 (s)。

设计中温太阳能空调系统负荷率, 按公式 (D.7) 计算:

$$\varepsilon_c = \frac{Q_c}{86400 \times Q_w} \dots\dots\dots (D.7)$$

式中:

ε_c ——设计中温太阳能空调系统负荷率, 无量纲;

Q_c ——单日制冷量, 单位为千焦 (kJ);

Q_w ——区域冷负荷 (查询中温太阳能空调系统配套建筑设计资料), 单位为千瓦 (kW)。

D.3.8 制冷能力的计算方法

D.3.8.1 单日太阳能保证率

单日太阳能保证率计算公式按公式 (D.8) 计算:

$$f_j = \frac{Q_j}{E + Q_j} \dots\dots\dots (D.8)$$

式中:

f_j ——单日太阳能保证率, 无量纲;

Q_j ——太阳能集热器集热量, 单位为千焦 (kJ);

E ——中温太阳能空调系统所有设备消耗电量, 单位为千焦 (kJ)。

D.3.8.2 全年太阳能保证率

全年太阳能保证率按公式 (D.9) 计算：

$$f = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3 + f_4 x_4}{x_1 + x_2 + x_3 + x_4} \dots\dots\dots (D.9)$$

式中：

f ——全年太阳能保证率，无量纲；

f_1 ——当日太阳辐照量小于8 MJ/m²的太阳能保证率，无量纲；

f_2 ——当日太阳辐照量小于13 MJ/m²且大于等于8 MJ/m²的太阳能保证率，无量纲；

f_3 ——当日太阳辐照量小于18 MJ/m²且大于等于13 MJ/m²的太阳能保证率，无量纲；

f_4 ——当日太阳辐照量大于等于18 MJ/m²的太阳能保证率，无量纲；

x_1 ——全年中当地日太阳辐照量小于8 MJ/m²的天数，见表C.1，单位为天（d）；

x_2 ——全年中当地日太阳辐照量小于13 MJ/m²且大于等于8 MJ/m²的天数，见表C.1，单位为天（d）；

x_3 ——全年中当地日太阳辐照量小于18 MJ/m²且大于等于13 MJ/m²的天数，见表C.1，单位为天（d）；

x_4 ——全年中当地日太阳辐照量大于等于18 MJ/m²的天数，见表C.1，单位为天（d）。

D.3.9 中温太阳能空调系统制冷系数

针对不同太阳辐照区间，中温太阳能空调系统的制冷量测试应保持与集热器集热量测试为同一日，按公式 (D.10) 计算：

$$COP_c = \frac{Q_c}{Q_j} \times \eta_j \dots\dots\dots (D.10)$$

式中：

COP_c ——中温太阳能空调系统制冷系数，无量纲；

Q_c ——制冷量，单位为千焦（kJ）；

Q_j ——太阳能集热器集热量，单位为千焦（kJ）；

η_j ——太阳能集热系统集热效率，无量纲。

D.3.10 系统综合性能系数的计算方法

针对不同太阳辐照区间，中温太阳能空调系统的制冷量测试应保持与集热器集热量测试、消耗电量测试为同一日，按公式 (D.11) 计算：

$$COP_s = \frac{Q_c}{\frac{Q_j}{\eta_j} + E} \dots\dots\dots (D.11)$$

式中：

COP_s ——综合性能系数，无量纲；

Q_c ——制冷量，单位为千焦（kJ）；

Q_j ——太阳能集热器集热量，单位为千焦（kJ）；

η_j ——太阳能集热系统集热效率，无量纲；

E ——中温太阳能空调系统所有设备消耗电量，单位为千焦（kJ）。

D.3.11 实验记录与参数

D.3.11.1 太阳能集热系统

不同导热介质下的测试参数:

- a) 使用蒸汽作为集热工质时:
 - 1) 蒸汽流量, kg/h;
 - 2) 进口温度, °C;
 - 3) 出口蒸汽温度, °C;
 - 4) 蒸汽压力, kPa。
- b) 使用热水作为集热工质时:
 - 1) 热水流量, m³/h;
 - 2) 热水进口温度, °C;
 - 3) 热水出口温度, °C;
 - 4) 热水的比热容, kJ/kg·°C;
 - 5) 热水的密度, kg/m³。
- c) 使用导热油作为集热工质时:
 - 1) 导热油流量, m³/h;
 - 2) 导热油进口温度, °C;
 - 3) 导热油出口温度, °C;
 - 4) 导热油特性参数见附录A。

D.3.11.2 制冷机组蒸发器

不同载冷介质下的测试参数:

- a) 使用载冷剂作为冷量载体时:
 - 1) 载冷剂进口温度, °C;
 - 2) 载冷剂出口温度, °C;
 - 3) 载冷剂流量, m³/h。
- b) 使用处理空气作为冷量载体时:
 - 1) 空气流速, m/s;
 - 2) 相对湿度, %RH。

D.3.11.3 其他记录

太阳能集热器、制冷设备标牌记录的项目以及试验环境温度、气压, 试验地点, 试验日期和试验人员。

参 考 文 献

- [1] GB/T 50801 可再生能源建筑应用工程评价标准
-