

# 陕西省工程建设标准

## 聚光型太阳能高温储热系统应用技术规程

Technical specification for application of concentrated  
solar high temperature thermal storage system

(征求意见稿)

《聚光型太阳能高温储热系统应用技术规程》编制组

2026 年 1 月

## 前言

根据陕西省住房和城乡建设厅、陕西省市场监督管理局《关于下达 2025 年度工程建设标准制定计划的通知》（陕建标发〔2025〕6 号）的要求，编制组经过调查研究，参考国内相关标准，结合陕西省实际，在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 集热系统设计；5 热传输系统设计；6 储热系统设计；7 配电、监测与控制系统设计；8 安装施工；9 调试与验收等。

本规程由陕西省住房和城乡建设厅归口管理，陕西省建设标准设计站负责日常管理，中国建筑西北设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请反馈给中国建筑西北设计研究院有限公司（地址：西安市文景路中段 98 号，邮编 710018，电话 029-68519191，邮箱 1543840662@qq.com）。

本规程主编单位：中国建筑西北设计研究院有限公司

西安添景环能信息科技有限公司

本规程参编单位：陕西省建筑设计研究院（集团）有限公司

陕西省土木建筑学会暖通空调专业委员会

西安市绿色建筑科学技术研究会

西安城区供热有限公司

陕西省现代建筑设计研究院有限公司

中联西北工程设计研究院有限公司

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

陕西财经职业技术学院

本规程主要起草人：季 伟 田 丰 徐博荣 陈晓辉 姚 力 王存义

田 阳 季超然 崔 敏 荀 平 柏从立 李 攀

王 嘉 丁 峰 张嘉林 陆逸晟 刘潇然

本规程主要审查人：



# 目 次

1 总则 .....	1
2 术语 .....	3
3 基本规定 .....	7
4 集热系统设计 .....	9
4.1 一般规定 .....	9
4.2 集热场地 .....	10
4.3 集热器 .....	12
4.4 驱动与跟踪系统 .....	18
4.5 集热系统辅助设施 .....	19
4.6 集热系统消防与安全防护要求 .....	21
5 热传输系统设计 .....	22
5.1 一般规定 .....	22
5.2 导热油热传输系统 .....	25
5.3 熔盐热传输系统 .....	28
5.4 导热油热传输介质储存 .....	30
5.5 熔盐热传输介质储存 .....	32
5.6 导热油净化、再生及注油系统 .....	33
5.7 熔盐初始熔化系统 .....	34
5.8 防凝系统 .....	35
5.9 疏放系统 .....	36
6 储热系统设计 .....	37
6.1 一般规定 .....	37
6.2 熔盐储热介质储存 .....	43
6.3 熔盐储热介质换热系统 .....	46
6.4 储热介质系统事故应急及消防安全措施 .....	48
6.5 储热设备基础及隔热 .....	49
7 配电、检测与控制系统设计 .....	51
7.1 一般规定 .....	51
7.2 配电装置 .....	51

7.3 电气检测与控制 .....	52
7.4 信息系统 .....	55
7.5 安全防范系统 .....	55
8 施工安装 .....	56
8.1 一般规定 .....	56
8.2 土建工程施工 .....	57
8.3 设备安装 .....	58
8.4 监测与控制系统安装 .....	61
8.5 设备管道系统保温及防腐 .....	61
9 调试与验收 .....	63
9.1 一般规定 .....	63
9.2 调试 .....	64
9.3 验收 .....	66
本规程用词说明 .....	68
引用标准名录 .....	69

## Contents

1 General Provisions.....	1
2 Terms .....	3
3 General Requirements.....	7
4 Collector System Design .....	9
4.1 General Requirements.....	9
4.2 Collector Field .....	10
4.3 Collector .....	12
4.4 Drive and Tracking System .....	18
4.5 Collector System Ancillary Facilities .....	19
4.6 Collector System Fire and Security Requirements .....	21
5 Heat Transmission System Design .....	22
5.1 General Requirements.....	22
5.2 Heat Transfer Oil Transmission System .....	25
5.3 Molten Salt Heat Transmission System.....	28
5.4 Thermal Transfer Medium Storage of Heat Transfer Oil .....	30
5.5 Thermal Transfer Medium Storage of Molten Salt.....	32
5.6 The Purification, Generation and Injection System of Heat Transfer Oil.....	33
5.7 The Initial Melting System of Molten Salt .....	34
5.8 Anti-coagulation System.....	35
5.9 Drain and Blowdown System .....	36
6 Thermal Storage System Design .....	37
6.1 General Requirements.....	37
6.2 Storage of Molten Salt Thermal Storage Medium .....	43
6.3 Heat Exchange System of Molten Salt Thermal Storage Medium .....	46
6.4 Accident Emergency and Fire Safety Measures of Thermal Storage Medium System .....	48
6.5 Foundation and Thermal Insulation of Heat Storage Equipments .....	49
7 Distribution, Inspection and Control System Design .....	51
7.1 General Requirements.....	51
7.2 Power Distribution Device.....	51
7.3 Inspection and Control of Electircity .....	52
7.4 Information System.....	55
7.5 Security Protection.....	55
8 Construction and Installation .....	56
8.1 General Requirements.....	56
8.2 Civil Engineering Construction .....	57

8.3 Equipment Installation.....	58
8.4 Monitoring and Control System Installation.....	61
8.5 Insulation and Anticorrosion Protection of Equipment Piping .....	61
9 Adjustment and Acceptance.....	63
9.1 General Requirements.....	63
9.2 Adjustment.....	64
9.3 Acceptance.....	66
Explanation of Wording in This Standard.....	68
List of Quoted Standards .....	69

# 1 总则

**1.0.1** 为规范陕西省聚光型太阳能高温储热系统的设计、安装及调试与验收，做到安全可靠、技术先进、经济合理，制定本规程。

**【条文说明】** 能源的发展和利用是全世界、全人类共同关心的问题，也是社会经济发展的重要问题。我国的能源结构正在经历前所未有的深刻调整，清洁能源尤其是可再生能源发展势头迅猛，在 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的时代背景下，我国可再生能源在能源消费中的占比将不断提高。

目前在许多能源利用系统中都存在供应和需求不匹配的矛盾，造成了使用不合理和大量浪费的现象。太阳能高温储热技术作为一项可再生能源利用技术，是解决能源供求不匹配，提高能源综合利用效率的重要手段。

近年来，我国先后在太阳能光热技术领域、工业节能领域、弃风风电消纳以及电网调峰领域开展了储热技术的示范应用研究工作，尤其是在可再生能源利用技术领域，储热技术的应用研发工作取得了明显的进展，建立起了针对太阳能光热利用的高温储热系统，以及应用于风能等可再生能源消纳的大容量热电储热供热系统装置，提高了可再生能源的整体利用效率。

**1.0.2** 本规程适用于陕西省民用和工业建筑采用聚光型太阳能集热器，以熔融盐为储热介质，以导热油或熔融盐为传热介质，以间接或直接储热方式进行高温显热储热工程的设计、施工安装及调试与验收。

**【条文说明】** 光热应用按照集热温度的高低可分为槽式系统、蝶式系统和塔式系统等基本类型。其中槽式系统储热介质温度范围为 160°C~350°C，蝶式系统储热介质温度可达 700°C，塔式系统介质温度最高，储热介质可被加热到 1100°C。

太阳能利用受到光照、气候、季节、地域等因素的影响，制约了太阳能利用的连续性和稳定性。采取高温储热技术是保障太阳能利用持续可控的有效手段。太阳能利用技术主要包括：

- 1.直接产生水蒸气；
- 2.导热油集热—熔融盐储热；
- 3.熔融盐集热储热等。

储热技术的主要型式包括：

- 1.水蒸气储热；
- 2.混凝土储热；
- 3.熔融盐储热等。

其中熔融盐（硝酸钠-硝酸钾二元盐）双罐储热是最成熟、应用最多的储热方式，该技术在我国和国外已有很多的应用实例。

对于导热油集热-熔融盐储热和熔融盐集热储热这两种方式来说，其储热系统的储热介质温度范围有所不同，其换热系统也不同。冷热双罐储热方式是太阳能利用最成熟的储热系统，与其他储热技术相比，双罐储热系统的建造和运维经验也最为丰富。

储热系统和技术路线的选择确定，应综合考虑多方面因素，经过不同方案的技术经济比较确定。

本规程主要适宜于中小型储热系统，经过换热器输出的热媒温度和压力应满足各类民用建筑和工业建筑的供暖、生活热水及蒸汽等需求。

**1.0.3** 聚光型太阳能高温储热系统的设计、安装及调试与验收等，除应符合本规程的规定外，尚应符合现行国家及行业有关标准的规定。

## 2 术语

### 2.0.1 太阳能集热器 solar thermal collector

吸收太阳辐射热（聚光型或非聚光型），并将产生的热能传递给传热介质的装置。

【条文说明】聚光型太阳能集热器的主要部件包括聚光器、吸热器和支撑结构。

### 2.0.2 抛物面槽式集热器 parabolic-trough collector

通过具有抛物线横截面的反射器来收集太阳辐射的线聚焦太阳能集热器。

【条文说明】多个单元组成的集热器可独立整体跟踪太阳。

### 2.0.3 传热介质 heat transfer medium

太阳能集热储热系统中各个部件之间用于传输热量的流体。

### 2.0.4 导热油 heat transfer oil

用于间接传输热量且热稳定性较好的专用热载体。

【条文说明】导热油分为矿物油型和合成型有机热载体，包括苯基芳烃类合成导热油和硅氧烷类导热油等。

### 2.0.5 熔融盐 molten salt

一种不含水的无机盐熔融体，其固态大部分为离子晶体，在高温下融化后形成离子熔体。通常由碱金属或碱土金属与卤化物、硝酸盐、碳酸盐、硫酸盐及磷酸盐组成。工程中一般简称熔盐。

【条文说明】在工作温度范围内，熔融盐的导热系数宜 $>0.2\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，比热容宜 $>0.8\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，密度宜 $>700\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

在传热介质为导热油而储热介质为熔融盐的间接系统中，受导热油最高温度不超过400°C的限值，熔融盐储热系统最高工作温度一般为350°C左右。

在传热介质和储热介质均为熔融盐的直接系统中，运行最高温度可达550°C左右。

### 2.0.6 显热储热 sensible heat thermal storage

储放热过程中，储热介质只发生温度变化的储热系统。

### 2.0.7 直接储热系统 direct thermal energy storage system

集热系统吸热介质与储热系统储热介质相同的高温储热系统。

**【条文说明】**直接储热系统的范围包括：流体介质从集热器出口流出、经储热罐等工艺设备后返回集热器入口所涉及的工艺系统和设备。

### 2.0.8 间接储热系统 indirect thermal energy storage system

集热系统吸热介质与储热系统储热介质不同的高温储热系统。

**【条文说明】**间接储热系统的范围包括：集热器流体介质出口经储热换热器后与集热器流体介质的入口之间所有涉及的工艺系统和设备，同时包括通过储热换热器与集热系统流体介质换热的储热系统流体介质、以及储热罐等储热循环回路所有涉及的工艺系统及设备。

### 2.0.9 设计储热容量 rated storage capacity

在设计工况下储热系统可以提供的全部释热量。

**【条文说明】**根据《太阳能热发电站储热系统性能评价导则》GB/T41038，储热系统的设计储热容量采用有效储热介质用量和设计工况高温及低温状态下温度对应的比焓，按下式计算：

$$Q = \frac{m_{TES} \times (h_h - h_c)}{3.6 \times 10^3} \quad (2.0.9-1)$$

式中：

Q—设计储热容量 (MWh)；

$m_{TES}$ —有效储热介质用量 (kg)；

$h_h$ —储热介质在设计高温状态下对应的比焓 (kJ/kg)；

$h_c$ —储热介质在设计低温状态下对应的比焓 (kJ/kg)。

当储热介质的定压比热容随温度线性变化时，上式可简化为：

$$Q = \frac{m_{TES} \times \bar{c}_p \times (t_h - t_c)}{3.6 \times 10^6} \quad (2.0.9-2)$$

式中：

Q—设计储热容量 (MWh)；

$m_{TES}$ —有效储热介质用量 (kg)；

$t_h$ —储热介质在设计高温状态时的温度 (°C)；

$t_c$ —储热介质在设计低温状态时的温度 (°C)；

$\bar{c}_p$ —对应于  $t_h$  及  $t_c$  温度区间的储热介质平均定压比热容 (kJ/kg°C)。

## 2.0.10 有效储热介质用量 effective amount of heat storage medium

参与充热和释热过程的储热介质的总质量。

**【条文说明】**根据《太阳能热发电站储热系统性能评价导则》GB/T41038，有效储热介质用量采用进入系统的储热介质总质量，减去以下各项得出：

1. 储热罐内满足泵吸入最小液位以下的储热介质质量；
2. 充热过程中储热介质流经的工艺管道和设备内充满所需储热介质的质量；
3. 释热过程中储热介质流经的工艺管道和设备内充满所需储热介质的质量。

注：储热介质总量由储热介质总体积，根据对应的熔化温度及储热介质密度计算得出。

## 2.0.11 额定充热功率 rated charge power

在额定流量和温度条件下进入储热系统的热功率。

**【条文说明】**根据《太阳能热发电站储热系统性能评价导则》GB/T41038，储热系统额定充热功率通过储热系统充热过程中进入系统的介质流量、比焓，按下式计算：

$$\Phi_{ch} = (\rho_{in} \cdot q_{in} \cdot h_{in} - \rho_{out} \cdot q_{out} \cdot h_{out}) \times \frac{1}{3.6 \times 10^6} \quad (2.0.11)$$

式中：

$\Phi_{ch}$ —储热系统额定充热功率 (MW)；

$\rho_{in}$ 、 $\rho_{out}$ —介质进、出储热系统边界时的密度 (kg/m<sup>3</sup>)；

$q_{in}$ 、 $q_{out}$ —介质进、出储热系统边界时的体积流量 (m<sup>3</sup>/h)；

$h_{in}$ 、 $h_{out}$ —介质进、出储热系统边界时的比焓 (kJ/kg)。

## 2.0.12 额定释热功率 rated discharge power

在额定流量和温度条件下储热系统能够提供的热功率。

**【条文说明】**根据《太阳能热发电站储热系统性能评价导则》GB/T41038-，储热系统额定释热功率通过储热系统释热过程中出、进系统的介质流量、比焓，按下式计算：

$$\Phi_{disch} = (\rho_{out} \cdot q_{out} \cdot h_{out} - \rho_{in} \cdot q_{in} \cdot h_{in}) \times \frac{1}{3.6 \times 10^6} \quad (2.0.12)$$

式中：

$\Phi_{disch}$ —储热系统额定释热功率 (MW)；

$\rho_{in}$ 、 $\rho_{out}$ —介质进、出储热系统边界时的密度 (kg/m<sup>3</sup>)；

$q_{in}$ 、 $q_{out}$ -介质进、出储热系统边界时的体积流量 ( $m^3/h$ ) ；

$h_{in}$ 、 $h_{out}$ -介质进、出储热系统边界时的比焓 (kJ/kg) 。

### 2.0.13 储热系统热效率 thermal storage efficiency

一个完整的充放热周期内，充热放热过程接续进行，储热系统通过传热流体释放的能量与通过传热流体接收的能量的比值。

### 2.0.14 换热系统 heat exchange system

由传热介质与做功工质或储热介质进行热交换的系列设备及其附属部件组成的系统。

**【条文说明】**换热系统主要包括蒸汽发生系统和油盐换热系统。

### 2.0.15 油盐换热器 oil-salt heat exchanger

熔融盐介质与导热油介质进行热交换的装置。

### 2.0.16 蒸汽发生系统 steam generation system

利用熔融盐或导热油加热给水并产生蒸汽的系统。

### 2.0.17 太阳辐照度 Solar Irradiance

太阳辐照度是指太阳辐射经过大气层的吸收、散射、反射等作用后到达地球表面上单位面积、单位时间内的辐射能量，其单位为：  $W/m^2$ 。

### 2.0.18 太阳辐照量 Solar irradiation

在给定时间段内太阳辐照度的积分总量，其单位为：  $J/m^2$ 。

### 3 基本规定

**3.0.1** 采用聚光型太阳能高温储热系统时应对工程所在区域的太阳能资源进行分析，工程地点应位于太阳能资源较丰富及以上区域。

**【条文说明】** 我国地域广阔，各地的气象条件、太阳能资源禀赋不同，经济发展水平和对能源的需求也有较大差别，因此，采用何种太阳能利用技术，需要在设计时充分考虑当地条件和业主需求，因地制宜，综合考虑各种制约因素，达到最大化的节能、环保和经济效益目标。

**3.0.2** 集热器设置场地的选择应综合考虑集热工艺要求、地质条件、运输便利等因素，集热器及储热系统设置位置及运行时不应对周边建筑产生光污染、噪声等影响。

**【条文说明】** 集热和储热分区应以工艺系统合理为原则，边界应清晰明确，分区间宜采用道路分隔，并应满足防火、防爆、消防、职业安全和职业卫生等要求。各类设备安装位置选择及分区内建筑布置应结合工艺、地形、地质条件等确定。各类建（构）筑物应避免对集热器的遮挡，不应影响周边建筑物的正常使用。

**3.0.3** 集热器等室外安装的设备应具备满足当地 50 年一遇最大风速下不发生破坏、应能够承受当地 50 年一遇基本雪压荷载等条件。

**【条文说明】** 本条参考《槽式太阳能光热发电站设计标准》GB/T51396-2019 第 8.1.3 条的要求。

**3.0.4** 聚光型太阳能高温储热系统使用寿命应按 25 年进行设计。

**【条文说明】** 本条参考《槽式太阳能光热发电站设计标准》GB/T51396-2019 第 3.0.9 条的要求。

**3.0.5** 本规程中聚光型太阳能高温储热系统各种工作介质设计参数如下：

**1** 导热油工作温度：250°C~350°C，防凝温度：≥60°C；

**2** 熔融盐工作温度：

（1）间接储热系统 160°C~340°C，防凝温度≥150°C；

（2）直接储热系统 160°C~400°C，防凝温度≥150°C；

**3** 输出热媒温度、压力：

（1）热水≤100°C；

(2) 蒸汽≤0.8 MPa。

**【条文说明】** 1.采用导热油的间接式储热系统时，导热油的工作温度应高于储热介质的温度；

2.按照《太阳能熔盐（硝基型）》GB/T36376-2018 的规定，熔盐分为两类，第I类的使用温度为 250°C~530°C，第II类的使用温度为 160°C~400°C。本规程采用第II类熔盐，第II类熔盐又分为I型和II型，I型为硝酸钾和硝酸钠二元组分，II型为硝酸钾、硝酸钠和亚硝酸钠三元组分，组成百分比和各项具体性能参数详见该标准表 2。

**3.0.6** 聚光型太阳能高温储热系统应符合现行国家标准《建筑防火通用规范》GB55037、《消防设施通用规范》GB55036 和《建筑设计防火规范》GB50016 等规范的有关规定。

## 4 集热系统设计

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 太阳能集热系统应根据不同地区气候条件、使用环境和集热系统类型的不同，采取防冻、防结露、防过热、防渗漏、防雷、防雹、抗风、抗震和保证电气安全等技术措施。

**【条文说明】**本条规定了太阳能热利用系统在安全性能和可靠性能方面的技术要求。

**4.1.2** 集热器周围应采取防止对集热器结构和周边设备造成损坏的防护措施。

**【条文说明】**集热器周边防护措施应综合考虑热能防护、结构加固、防火防爆及电气安全措施。

**4.1.3** 集热系统规模应根据年利用小时数、直接辐射条件、储热系统容量及集热器性能指标等进行技术经济比较后确定。

**【条文说明】**集热系统规模受多种因素影响，年利用小时数、直接辐射条件、储热系统容量及集热器性能指标均影响集热系统的规模。

最不利月份集热器供热量按下式计算：

$$Q_J = A_C J_T \eta_{cd} (1 - \eta_L) / (24 \times 3600) \quad (4.1.3)$$

式中：  $Q_J$ ——最不利月份集热器供热量（W）；

$A_C$ ——集热器采光面积（ $m^2$ ）；

$J_T$ ——当地集热器采光面上的最不利月份平均日太阳辐照量 [ $J/(m^2 \cdot d)$ ]；

$\eta_{cd}$ ——集热器平均集热效率，双轴槽式太阳能集热器一般在 80% 左右，具体数值根据产品参数确定；

$\eta_L$ ——管路及储热装置热损失率（%），取 10%~20%。

由于每个月太阳辐照量不同，上述集热器供热量是按最不利月份（通常为 12 月）的平均日太阳辐照量计算的，目标是保证最不利月份集热器的供热量，如果使用时间是其他月份，可以按对应月份的平均日太阳辐照量计算。

集热器产出的热量（W）与热用户需要的热量（W）的比值，通常用“太阳倍数（solar multiple, SM）”表示。SM 反映了集热系统对太阳能的收集能力，表征集热器的输出热功率的能力。在一些典型的光热电站中，太阳倍数在 2.4 至 3.6 之间，具体数值取决于集热器类型、传热介质、储能配置等因素。以储热时长表征储热系统的容

量，同样的热用户规模如果配不同的储热时长，会有不同的集热场的规模，不同的储热容量。需要对 SM 及储热时长进行匹配并寻求最优方案，按照投资成本及投资回收期年限最优来进行系统的优化和匹配。详细计算时，可通过 8760 小时（一年）系统仿真，建立模型进行模拟计算，对不同规模的集热场和储热容量的组合进行技术经济性分析，找到最佳配比。常用的模拟分析软件有 System Advisory Model (SAM) 和 Thermoflex。

**4.1.4** 集热器包括抛物面反射镜、集热管、支架、驱动与跟踪装置等，各设备规格应满足相互匹配的要求。

**【条文说明】**集热器支架承载抛物面反射镜、真空集热管组成一个标准集热模块，一定数量的标准集热模块组成一个集热器单元，一个集热器单元配置一套驱动跟踪系统，标准集热模块通过支架与土建基础连接。集热器回路由多个集热器组合串联而成。

**4.1.5** 集热器宜具有双轴自动跟踪太阳的功能，使集热器的接收面在工作时能正对太阳。

**【条文说明】**根据跟踪轴的数量不同，太阳能集热器的太阳跟踪方式可分为双轴跟踪方式和单轴跟踪方式。其中，双轴跟踪方式需要对太阳高度角和太阳方位角同时进行跟踪，以保持太阳入射光线和主光轴方向一致。具有双轴跟踪系统的集热器可以围绕两个旋转轴运动，从而使集热器的接收面能正对太阳。

这两条轴分别是：

太阳高度角轴：用于跟踪太阳在一天中高度角的变化（从日出到日落，太阳从低到高再到低）。

太阳方位角轴：用于跟踪太阳在一天中方位角的变化（从东到南再到西）。

集热器通过围绕这两个轴的转动，可以使太阳光始终以最佳角度入射到集热器上。

## 4.2 集热场地

**4.2.1** 集热场地规划应符合下列规定：

1 集热场应根据地形条件、设备特点、施工要求等合理布置，集热器宜采用模块化布置方式；

- 2 集热器安装高度应考虑当地设计洪水位与积雪厚度；
- 3 对风沙较大的场地，可根据风向及集热器布置方向设置防风抑尘设施；
- 4 集热场内各种管线路径及走廊应做统一规划，传热介质管路及电缆宜沿场内道路敷设。

**【条文说明】**集热器的模块化布置是一种通过将集热系统划分为多个标准功能单元（模块），再按需组合安装的设计策略。该方式显著提升了系统的灵活性、可维护性及场地适应性。模块可自由拼接，适应不规则或受限空间，减少场地平整成本；标准化模块可以根据热负荷需求增减模块数量，避免系统冗余或不足；标准化模块批量生产可降低制造成本，现场拼装可减少人工与缩短工期；局部故障仅需维修单个模块，不影响系统整体运行。

**4.2.2** 使用熔融盐为传热介质的集热器不应布置在建筑屋面；使用导热油为传热介质的集热器不应布置在民用建筑屋面，布置在厂房和仓库屋面时，应符合下列规定：

- 1 不应布置在甲、乙类厂房和仓库屋面；
- 2 建筑外墙外保温系统和屋面保温系统均应采用燃烧性能为A级的保温材料或制品；
- 3 应满足结构、电气及防火安全的要求；
- 4 安装太阳能集热系统的建筑，应设置安装和运行维护的安全防护设施，以及防止太阳能集热器损坏后部件坠落伤人的安全防护设施。
- 5 建筑物上安装的太阳能系统不得降低相邻建筑的日照标准。

**【条文说明】**熔融盐通常采用硝酸钠及硝酸钾等硝酸盐，硝酸钾及硝酸钠是《危险货物品名表》GB12268-2025中列明的危险化学品，联合国编号1486、1498，危险货物类别为5.1氧化性物质，建议包装类别III。硝酸钾及硝酸钠具有强氧化性，与有机物、还原剂、易燃物等接触或混合时有引起燃烧爆炸的危险。硝酸钾及硝酸钠属于危险化学品，一旦泄漏易造成严重后果，因此不应布置在建筑屋面。

导热油常温状态为丙类可燃液体，集热系统运行过程中温度较高，为防止甲、乙类厂房的可燃气体、可燃液体泄漏、扩散至导热油处引起火灾爆炸事故，特别规定不应布置在甲、乙类厂房和仓库屋面。

集热器设在屋面时应满足结构安全要求，包括结构设计应为太阳能系统安装埋设预埋件或其他连接件；连接件与主体结构的锚固承载力设计值应大于连接件本身的承载力设计值。太阳能集热器的支撑结构应满足太阳能集热器运行状态的最大荷载。

此外，与电气及防火安全相关的内容应满足电气和防火工程建设强制性规范的要求。

建筑物之间的距离应符合屋面集热器有效吸收太阳辐射的要求，并降低二次辐射对周边环境的影响；系统组件的安装不应影响建筑通风换气的要求。

#### 4.2.3 集热场地平面布置应符合下列规定：

- 1 集热场地宜采用矩形布置，边长比宜接近 1；
- 2 集热场地应根据整体地形、集热器朝向、管线数量及型式分区布置；
- 3 集热场地宜采用平坡式布置，场地坡度应符合集热器回路的布置要求，当自然地形坡度较大时，可采用阶梯式布置。

**【条文说明】**集热场地采用矩形布置且边长比接近 1（即接近方形），是基于光学效率、土地利用率、抗风性能等多种因素综合优化的考虑。

#### 4.2.4 集热场地竖向布置应综合考虑集热工艺要求、工程地质水文条件、气象条件、土石方量及地基处理等因素，并应符合下列规定：

- 1 应使集热场地土石方工程量、地基处理、场地整理等投资最少；
- 2 集热场地最大坡度及坡向应满足集热器管路的布置要求；
- 3 集热场地最小坡度及坡向应与道路及场地排水设施相适应，并按当地降雨量和场地土质特性等因素确定；
- 4 位于高处的集热场地的边坡应根据地质条件采取稳定措施。

**【条文说明】**集热场地坡度设计需同时满足集热器布置效率与排水安全要求。

#### 4.2.5 集热场地应采取下列安全防护设施：

- 1 集热场地外边缘应设置高度不低于 1.8m 的防护栅栏；
- 2 集热场地防风沙措施应根据集热器布置和当地气象条件经过技术经济比较后确定；
- 3 防护栅栏与集热器的间距，当集热器启动和退出跟踪时，应使所产生的阴影面积小于 50%。

**【条文说明】**集热场地外边缘设置防护栅栏是保障人员安全及避免设备损坏的重要措施。

### 4.3 集热器

#### 4.3.1 集热器选择应符合下列规定：

- 1 集热器选型应根据传热介质、场地条件、资源条件等确定；
- 2 集热器的设计运行风速、保护风速、极限风速应结合当地气象条件，通过技术经济比较确定；
- 3 处于保护状态时，在极限风速情况下集热器不发生破坏。

**【条文说明】**根据已有项目的设计和运行经验，集热器设计主要规定三个风速：一是设计运行风速，即集热器能够正常运行所允许的最大风速，一般为 14m/s；二是保护风速，即集热器从运行状态转到停止运行的保护状态（集热器处于水平避风状态）所允许的最大风速，一般为 20m/s；三是极限风速，即集热器处于停止运行的保护状态下不被破坏的最大允许风速，一般为 30m/s。具体的设计运行风速、保护风速、极限风速的选取，需要结合当地的风速情况等条件，以及权衡提高设计风速所带来的利弊来综合确定。

#### 4.3.2 抛物面反射镜应符合下列规定：

- 1 抛物面反射镜可采用热弯镜、钢化镜或复合镜等型式，也可采用金属和高分子反射材料制成的镜面；
- 2 抛物面反射镜应根据当地气象条件，在保护状态下应满足抗风沙和抗冰雹冲击等性能要求；
- 3 抛物面反射镜背面应设有支撑构件与集热器支架相连接，支撑构件与反射镜连接所能承受的拉伸强度应满足在保护状态风速下抛物面反射镜与支撑构件不脱落；
- 4 抛物面反射镜反射比应满足集热器性能要求；
- 5 抛物面反射镜应设置保护涂层，涂层应满足抗磨蚀、抗老化等要求。

**【条文说明】**如采用基材为玻璃的反射镜，其基材应为超白浮法钢化玻璃。为保证集热器的效率，要求反射镜具有较高的反射率与面型精度，一般 4mm 厚度反射镜反射率不应低于 93.5%，5mm 厚度反射镜反射率不应低于 92.5%，其他型式反射镜反射率不应低于 93.5%。抛物面反射镜反射率的测量系根据 ISO 9050 标准，当室外空气质量 AM1.5，辐射波长 300um~2500um 范围测量得出。空气质量 AM1.5 代表太阳光穿过大气层时的特定条件，其中“AM”是大气质量（Air Mass）的缩写，而“1.5”则是一个经验值，表示太阳光通过大气层的路径长度与太阳光垂直照射到地球表面时的路径长度之比约为 1.5，这通常对应于地面中午晴空时的太阳光条件。如果设定太阳光入射到地球的天顶角（即太阳光入射光线与地面法线之间的夹角）为  $\theta$ ，则大气质量与  $\theta$  的关系可表示为：AM=1/cosθ。

对于面型精度，要求反射镜对于 80mm 直径集热管的阳光拦截率应不低于 97%。面型精度指反射镜实际曲面与理想抛物面的偏差程度，高精度的面型能够确保反射镜将太阳光准确聚焦到集热管上，减少光能损失。面型精度通常通过专业的检测设备（如 3D 坐标测量系统）进行测量，以微米或毫弧度为单位衡量。阳光拦截率是指槽式集热器能够有效拦截并聚焦到集热管（此处为直径 80mm）上的太阳光占入射太阳光的百分比。

阳光拦截率和面型精度相互关联，面型精度的提高有助于提升阳光拦截率。精确的面型能够使反射镜更准确地反射和聚焦太阳光，从而增加集热管有效吸收的光能，进而提高拦截率。因此，在槽式集热器的设计和制造过程中，需要通过优化反射镜的制造工艺、安装精度以及集热管的位置调整等措施，来同时提升面型精度和阳光拦截率，以实现更高的光热转换效率。

#### 4.3.3 集热管的各项性能应符合下列规定：

- 1 集热管材质应满足传热介质的特性要求；
- 2 集热管设计温度和设计压力应与系统内传热介质工作温度和工作压力相匹配；
- 3 集热管的透射比、吸收比、发射比、热损率、有效工作长度、真空度等参数应满足集热管性能要求；
- 4 集热管的膜层应能承受集热器聚焦下的热流密度，并满足温升速率要求；
- 5 集热管应设有长效真空维持装置及真空度指示标识；
- 6 集热管玻璃外管应满足抗腐蚀、抗老化、抗风沙等要求。

**【条文说明】**集热管将反射镜聚焦后的太阳辐射转化为热能。集热管包括不锈钢金属内管、玻璃外套管，以及两侧用以连接金属内管和玻璃外套管的金属波纹管组成。金属内管外敷的选择性涂层，可最大化聚焦后太阳辐射的吸收率，并最小化红外波段的辐射热损失。玻璃外套管两端通过玻璃一金属对接与波纹管相连，保持运行温度下密封空间的真空度。波纹管另一侧焊接到内侧吸热管，在集热管升温与冷却期间，波纹管可对金属内管与玻璃外套管之间的热膨胀量进行补偿。套管结构的波纹管可以保护玻璃一金属对接处避免因太阳辐射过热而引起的损坏。对集热管的具体要求如下：

1. 为保证集热器效率，要求集热管应具有较高的透过率、吸收率、开口有效利用长度比例、真空度以及较低的发射比；
2. 真空集热管玻璃套管应采用减反射镀膜技术，镀膜长度不小于玻璃套管整体长度的 95%，太阳能辐射平均透过率（根据 ASTM G173-03 标准，AM1.5，辐射波长

280μm~2500μm 范围) 不低于 96%;

3. 真空集热管钢管应镀有选择性吸收涂层, 太阳能辐射平均吸收率(根据ASTMG173-03 标准, AM1.5, 辐射波长 280μm~2500μm 范围) 不低于 95%;

4. 真空集热管在 25°C 时, 集热管有效工作长度比例不低于 96%;

5. 真空集热管真空度应不低于  $10^{-2}$ Pa;

6. 真空集热管在 400°C 时平均发射比应不高于 10%。

#### 4.3.4 集热器支架设计应满足当地气象条件要求, 并符合下列规定:

1 支架结构计算荷载应包含永久荷载和可变荷载, 永久荷载包括: 反射镜、集热管、连接接头、集热管支架、集热器支架自重等; 可变荷载包括: 机械驱动带来的荷载、传热介质重量、风荷载、冰荷载、雪荷载、地震作用、集热管高温热膨胀作用及安装检修等产生的附加荷载, 并应进行最不利工况条件的荷载组合计算;

2 支架结构设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017, 满足各类运行工况下集热器的性能要求, 应考虑集热管热膨胀影响, 必要时应进行风洞试验;

3 支架结构材质的选择应根据工艺要求、结构形式、连接方式、场地气象条件等确定, 钢材机械性能指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 和《低合金高强度结构钢》GB/T1591 等的规定; 应根据当地的室外环境确定支架的防腐设计标准。

**【条文说明】** 本条主要基于国内集热器厂家的经验和资料。当前集热器支架设计主要基于《建筑结构荷载规范》GB50009 来计算风荷载, 但是在实际应用过程中出现了较多不适用的问题, 如该荷载规范中关于风振系数明确指出只适用于高层建筑和超高层建筑, 显然集热器与高层建筑有较大差异; 该荷载规范中关于地面粗糙度定义有 A、B、C、D 四个等级, 实际针对具体项目的计算难以根据定义选择合适的地面粗糙度等级, 而不同的粗糙度等级造成的风荷载计算差异甚至可达 30%, 对项目经济性影响较大, 由此种种造成实际计算的诸多困难, 且各设计方对该荷载规范不同的解读也造成较多争议, 给集热器支架的可靠性也带来诸多不确定性。为了实现安全经济的集热器支架结构设计, 结合以前的项目设计经验, 提出集热器支架结构风荷载计算方法如下:

槽式集热器支架结构设计风荷载标准值, 按下式计算:

$$W=q(3s\text{-gust}, z=10m) \cdot DAF \cdot C_P(z=10m) \quad (1)$$

式中: W—无安全系数风荷载设计标准值 (kN/m<sup>2</sup>) ;

q(3s-gust, z=10m)—10m 高度、3s 阵风风压 (kN/m<sup>2</sup>) ;

$C_p(z=10m)$ —风荷载体型系数（10m 高度、3s 阵风）；

DAF—风振系数。

(1) 阵风风压  $q$  (3s-gust,  $z=10m$ ) 的确定, 按下列方法:

方法一: 根据项目地气象数据进行极限风荷载分析和评估, 考虑当地空气密度和地面粗糙度, 给出阵风风压  $q$ (3s-gust,  $z=10m$ );

方法二: 给出 10m 高度、10min 平均风速  $V$  (10min-mean,  $z=10m$ ), 通过测量或计算得出 (考虑海拔) 空气密度  $\rho$ , 通过地面粗糙度类别 (通过测量或者附近地貌研判), 确定 10m 高度、10min 平均风速到 10m 高度、3s 阵风风速的换算关系, 通常的换算公式为:

$$V(3s\text{-gust}, z=10m) = 1.42 \cdot V(10\text{min-mean}, z=10m) \quad (2)$$

由公式 (3) 计算得出 10m 高度、3s 的阵风风压:

$$q(3s\text{-gust}, z=10m) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2(3s\text{-gust}, z=10m) \quad (3)$$

(2) 风荷载体型系数 (10m 高度、3s 阵风)  $C_p$  ( $z=10m, 3s\text{-gust}$ ) 的确定, 按下列方法:

根据槽式集热器的比例模型进行风洞试验, 基于相同的地面粗糙度, 考虑风向、道路、台阶等对集热器的影响, 根据风洞试验结果得出 10m 高度、3s 阵风的局部风压 ( $z=10m$  高度, 3s-gust), 给出水平、横向和扭转力的体型系数  $C_p$  ( $z=10m, 3s\text{-gust}$ )。

(3) 风振系数 DAF 的确定, 按下列方法:

1) 给出集热器的自振模型和频率以及接近风频率的风敏感模型的阻尼 (应由阻尼试验得出);

2) 给出集热器的不同构件 (如镜面支撑翼、扭力框、驱动、地基) 的风振系数图, DAF 取决于下列因素:自振模型和频率, 模型阻尼比, 风压, 集热器在镜场中所处的位置。

**4.3.5 单块太阳能集热器工质的设计流量应按下式计算:**

$$G_s = A \cdot v \quad (4.3.5)$$

式中:  $G_s$ —单块太阳能集热器设计流量 ( $m^3/s$ ) ;

$A$ —单块太阳能集热器工质的流通管路总面积 ( $m^2$ ) ;

$v$ —太阳能集热器工质的推荐流速 ( $m/s$ ), 应根据太阳能集热器产品技术参数确定, 常用流速范围  $1 \sim 4 m/s$ 。

**【条文说明】**本条规定了太阳能集热器工质设计流量的计算方法。

在太阳能集热器工质设计流量的计算公式中，计算参数  $A$  是太阳能集热器工质的流通管路总面积，而优化系统设计流量的关键是要合理确定太阳能集热器的流速  $v$ 。

太阳能集热器工质的流速  $v$  与太阳能集热器的特性和用途有关，对应集热器本身的热性能和不同的用途，流速  $v$  的取值是不同的。国外企业的普遍做法是根据其产品不同用途委托相关的权威性检测机构给出与产品热性能相对应、在不同用途运行工况下流速的合理选值，并列入企业产品样本，供用户使用。

《槽式太阳能热发电厂集热系统设计规范》DL/T5621-2021 中 4.3.9 条及 4.4.6 条推荐的导热油管道流速为  $1\sim3\text{m/s}$ ，熔融盐管道流速为  $2\sim4\text{m/s}$ 。本规程依据上述条文给出推荐流速范围。

**4.3.6** 太阳能集热系统的设计流量应根据太阳能集热器阵列的串并联方式和每一阵列所包含的太阳能集热器数量、面积及太阳能集热器的热性能计算确定。在当地太阳辐照、大气压力等气象条件下，太阳能集热系统的设计流量应满足出口工质温度符合设计要求且不致造成过热安全隐患。

**【条文说明】**太阳能集热系统的设计流量是影响系统热性能和安全性的重要参数，也是系统循环泵选型的基础数据。集热系统是由单块太阳能集热器通过串联和并联方式连接形成的若干阵列组成，而连接方式和每一阵列所包含的太阳能集热器数量、面积，太阳能集热器产品本身的热性能——以瞬时效率方程、曲线表征，以及当地的太阳辐照和气象条件，则是合理选择设计流量的关键影响因素。流量过大会增加循环泵功耗，不利于节能；流量过小可能导致系统过热、液体工质汽化，造成安全隐患。因此，系统设计流量应综合考虑上述因素，建立系统的热平衡方程，以太阳能集热系统的出口工质温度既符合设计要求，又不会造成液体工质过热、汽化为目标，通过计算确定。在有逐时太阳辐照和气象数据的条件下，可采用 TRNSYS 等软件进行动态模拟计算，以提高计算准确度。

**4.3.7** 太阳能集热器的初始安装朝向宜为正南向。

**【条文说明】**平板或槽式单轴集热器需确定集热器的最佳安装倾角及集热器轴线方向，本规程适用的集热器类型为槽式双轴集热器，只需确定初始安装朝向即可实现自动追踪太阳的功能。

**4.3.8** 某一时刻太阳能集热器不被前方障碍物遮挡阳光的日照间距应按下式计算：

$$D=H \cdot \cot h \cdot \cos y \quad (4.3.8)$$

式中: D——日照间距 (m);

H——前方障碍物的高度 (m);

h——计算时刻的太阳高度角 (°)。

y——计算时刻太阳光线在水平面上的投影线与集热器表面法线在水平面上的投影线之间的夹角 (°)。

**【条文说明】**本条给出了某一时刻太阳能集热器不被前方障碍物遮挡阳光的日照间距计算公式。公式中的计算时刻应选冬至日（此时赤纬角=-23°57'）的 10:00 或 14:00。有关集热器前后排的间距，本条给出了较为通用的计算公式，它不仅适用于朝向为正南的集热器，而且也适用于朝向为南偏东或南偏西的集热器。

**4.3.9** 防止太阳能集热系统过热的安全阀应安装在泄压时排出的高温传热介质不会危及周围人员的安全位置上，并应配备相应的设施。

**【条文说明】**当发生系统过热安全阀须开启时，系统中的高温介质会通过安全阀外泄，安全阀的设置位置不当，或没有配备相应设施，有可能会危及周围人员的人身安全，须在设计时着重考虑。

## 4.4 驱动与跟踪系统

**4.4.1** 集热器的驱动与跟踪系统的跟踪精度要求应根据集热器的整体性能进行技术经济比较确定。

**【条文说明】**聚光型集热器的能量收集效率与入射光线的角度密切相关。当太阳光线与集热器接收面法线存在夹角  $\theta$  时，有效接收的能量会因余弦效应衰减（能量损失约为  $\cos\theta$ ）。若跟踪存在误差，能量损失进一步增加。跟踪精度是针对聚光型集热器的关键指标，其目的是通过角度误差控制，最大化能量收集效率并保障系统长期稳定运行。这一要求需在传感器、执行机构、控制算法和机械结构等多环节协同优化下实现。

**4.4.2** 集热器的驱动装置宜采用机械驱动方式。户外布置的设备应满足相应的防护要求。

**【条文说明】**驱动装置的选择应综合考虑集热器规模、负载需求和环境条件：液压驱动在大扭矩、无级调速和复杂动作控制方面优势明显，但结构复杂、维护要求高；机械驱动则以结构简单、成本低、传动比准确为特点，适用于中小功率和对精度要求高

的场景；本规程主要适宜于中小型储热系统，因此推荐机械驱动方式。户外布置的核心是通过防护设计、结构强化和适应性优化，确保系统在户外环境下长期稳定运行。

**4.4.3** 驱动装置应满足集热器转动角度范围内连续转动、不发生卡死及在设计规定的时间内将集热器转至保护位置的要求。

**【条文说明】** 驱动与跟踪系统中液压系统工作温度应考虑系统在环境较寒冷的场合时能顺利启动。

驱动与跟踪系统应有手动和自动两种运行方式。运行控制人员可对单个或者一组集热器以手动方式来控制跟踪系统，并可指定跟踪运行的角度。运行控制人员可对单个或者一组集热器以自动方式来控制跟踪系统，自动运行可以在每天跟踪开始时自动从起始位置开始跟踪，也可以在暂停或者手动运行方式结束后根据当时的实际时间来继续自动跟踪。

运行控制人员可以根据不同外部情况手动运行到达保护位置。

## 4.5 集热系统辅助设施

**4.5.1** 集热器对外接口应采用柔性连接，柔性连接部件应符合下列规定：

1 柔性连接部件可采用旋转接头组合或波纹管（金属软管）组合旋转接头形式，连接部件的选型应与所采用传热介质的特性相适应；

2 柔性连接部件的设计温度和设计压力应与传热介质的设计温度和设计压力相匹配；

3 柔性连接部件应满足集热器旋转范围及集热管热膨胀的要求，并应进行不同旋转角度下的连接管段热位移计算。

**【条文说明】** 集热器在运行过程中易出现产的两个问题包括：

- 1.热位移：系统从冷态（停机）到热态（运行），传热介质温度可达 200°C 以上，金属管道会发生显著的热胀冷缩；
- 2.机械运动：槽式集热器需要不断旋转以跟踪太阳，其设备上的管道接口位置和角度持续变化。

如果采用刚性连接，巨大的热应力和机械应力会导致管道、支架或集热管本身的损坏和泄漏。因此，必须使用柔性连接来吸收这些位移和应力。

**4.5.2** 集热系统的阀门应符合下列规定：

- 1 阀门的选型及配置应满足传热介质特性、工作温度及工作压力要求；
- 2 阀门连接宜采用焊接连接；
- 3 每个集热器回路进、出口处应安装隔离阀；
- 4 每个集热器回路应安装泄压阀；
- 5 在每个集热场上连接集热器分区的高温母管上宜装设调节阀组。

**【条文说明】**阀门的连接方式，推荐使用焊接连接，而非法兰连接。焊接的缺点是安装和后期更换时需要切割和重新焊接，不如法兰更换方便，但鉴于集热系统对可靠性的极高要求，放弃一部分便利性来换取更高的安全性是值得的。

**4.5.3** 集热系统中所设置的位置传感器、温度传感器和压力传感器，应根据工艺系统要求进行配置。

**【条文说明】**在高温、动态的集热场中，必须实时监测关键参数，并将数据传送至控制系统，才能实现精确的自动化运行和安全联锁保护。

**4.5.4** 集热系统保温应符合下列规定：

- 1 保温设计应按照现行国家标准《设备及管道绝热技术通则》GB / T 4272 和《设备及管道绝热设计导则》GB / T 8175 执行；
- 2 集热管之间连接部位应采取保温措施；
- 3 保温结构不应影响柔性连接部件转动。

**【条文说明】**集热器需要通过旋转接头或金属软管等柔性连接部件来补偿热位移和实现旋转跟踪。这些部件是需要活动的，如果用坚硬的保温材料将整个连接部位紧紧包围，会阻碍其自由转动或伸缩，导致部件损坏或应力无法释放。

**4.5.5** 采用熔融盐作为传热介质的集热器、集热回路、换热器应采取事故排盐措施。

**【条文说明】**熔融盐（通常是硝酸盐混合物）作为传热介质，虽然具有工作温度高、热容量大等优点，但也带来两个主要风险：

1. 高温风险：本规程适用的熔融盐工作温度在 160°C~400°C 之间，一旦泄漏，会引发火灾、烫伤，并严重损坏设备；
2. 凝固风险：熔融盐的凝固点较高（约 145°C），一旦系统因故障停运，温度下降，熔融盐会在管道和设备内凝固，导致整个系统堵塞。

“事故排盐”就是为了在遇到上述风险时，主动、快速地将系统内的熔融盐排放到熔融盐储罐或疏盐罐中，从而化解风险。

## 4.6 集热系统消防与安全防护要求

**4.6.1** 集热系统消防设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016、《石油库设计规范》GB 50074、《槽式太阳能光热发电站设计标准》GB/T 51396 的规定。

**4.6.2** 在事故易发处应设置安全标志，其设置应符合现行国家标准《安全标志及其使用导则》GB 2894 的规定，安全标志的色带颜色应符合现行国家标准《安全色》GB 2893 的规定。

**4.6.3** 集热场区职业病危害警示标识设置应符合现行国家职业卫生标准《工作场所职业病危害警示标识》GBZ 158 的规定。

**4.6.4** 导热油集热系统应符合下列规定：

1 有毒物质的防护设施设计应符合现行国家职业卫生标准《工业企业设计卫生标准》GBZ 1 的规定；

2 集热场区的最高醒目处应安装逃生风向标。

**【条文说明】**在导热油集热系统的集热场区中，应在最显眼的高处安装“风向标”，目的是为紧急情况下（如火灾、泄漏等）提供风向指示，便于人员判断逃生方向，避免向有毒气体、火焰蔓延方向逃生。

**4.6.5** 集热系统设备区个人防护用品的配备应符合现行国家标准《个体防护装备选用规范》GB/T 11651 和《个体防护装备配备基本要求》GB/T 29510 的规定。

## 5 热传输系统设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 集热器与储热罐之间的热传输系统设计负荷应采用集热系统设计热负荷，储热罐与热用户之间的热传输系统应按照热用户用热系统设计热负荷。

**【条文说明】**热传输系统包含集热器与储热罐之间及储热罐与热用户换热器（或蒸汽发生器）之间的热量输送设备、管道及配套设备。

储热罐与热用户换热器（或蒸汽发生器）热量传递的任务就是满足热用户的用热负荷，这部分热传输系统的设计负荷即为热用户的用热负荷。而储热罐与集热器之间的热传输系统应传输在当地年平均每日的日照小时数内的集热量，其热负荷与热用户的用热负荷是不一致的，储热罐与集热系统系统之间的热传输系统负荷应与集热系统负荷一致。

热用户的用热负荷可按下列公式计算：

$$Q = \sum Q_i \quad (5.1.1-1)$$

Q-热用户用热负荷（kW）；

Q<sub>i</sub>-热用户的各类热负荷（kW）。

集热器与储热罐之间的热传输系统可按热用户平均日供热量进行计算，计算过程如下：

$$Q_s = Q \times 24 \times 3600 \quad (5.1.1-2)$$

Q<sub>s</sub>-热用户用热系统平均日供热量（kJ）。

Q-热用户用热负荷（kW）；

对于集热系统的集热量计算按下式计算；

$$Q_{jr} = kfQ_s/(3600S_y) \quad (5.1.1-3)$$

Q<sub>jr</sub>-集热系统集热量（kW）

k-太阳辐射照度时变系数，取 1.5~1.8；

f-太阳能保证率（%），参照《太阳能供热采暖工程技术标准》GB50495-2019 附录 A 选取；

$Q_s$ -热用户用热系统平均日供热量 (kJ) ;

$S_y$ -当地的年平均每日的日照小时数 (h) 。

### 5.1.2 传热介质的选择应符合下列规定:

- 1 热容量大、热膨胀系数小;
- 2 热稳定性和化学稳定性好;
- 3 比热容高、导热系数大、运动黏度低;
- 4 使用温度高、凝点温度低;
- 5 闪点高、自燃点高于运行温度;
- 6 无腐蚀性或低腐蚀性。

**【条文说明】**应采用成熟的传热介质，对于无大规模应用经验的导热油及熔盐，应对其实行性能及安全评估后方可采用。

导热油介质的性能应符合现行国家标准《有机热载体》GB23971 及《有机热载体安全技术条件》GB/T24747 的相关规定，主要要求如下：

1. 导热油的自燃点不应低于其最高允许使用温度；
2. 导热油的最高允许使用温度应高于热传输系统最高温度 20°C；
3. 热传输系统任何一处导热油的温度均不应超过其最高允许温度。

本规程规定了热传输系统导热油的最高工作温度不超过 350°C,在选择导热油产品型号时应根据现行国家标准《有机热载体》GB23971 的规定合理选择油品型号，宜采用 L-QB 型或 L-QC<sup>a</sup> 型导热油。

熔盐介质的性能应符合现行国家标准《太阳能光热发电站储热/传热用工作介质技术要求 熔融盐》GB/T44800 的相关规定，主要要求如下：

1. 熔盐的最高工作温度宜比其分解温度低 30°C 以上，最低工作温度宜比其熔点温度高 50°C 以上；
2. 熔盐的动力黏度应满足熔盐泵、熔盐换热器等设备的技术要求。

熔盐型号的选择应符合现行国家标准《太阳能熔盐（硝基型）》GB/T36376 的规定，宜采用该标准II类产品熔盐，其使用温度在 160°C~400°C，可以满足目前非发电类储热的工艺需求。

### 5.1.3 热传输系统传热介质宜采用导热油，经技术经济比较后，也可采用熔盐。

**【条文说明】**由于导热油具备的良好特性，目前槽式太阳能集热系统几乎均采用导热油为传热介质，基于理化特性、价格以及成熟性考虑，建议传热介质采用导热油。

虽然解决熔盐系统的防凝、疏放有一定的难度，系统也较为复杂，但随着技术的不断进步，目前也有熔盐直接进入集热系统及直接与用户端换热器（蒸汽发生器）相连的直接式系统投运，在处理好相关技术问题，且经过技术经济比较合理时，也可采用熔盐作为传热介质。

**5.1.4** 热传输系统内导热油及熔盐系统的设备宜按户外安装和使用条件设计，寒冷地区导热油循环泵及熔盐泵等设备宜室内布置。

**【条文说明】**太阳能高温储热系统不同于常规采用平板型太阳能集热器及真空管型太阳能集热器的太阳能光热系统，包括了跟踪性槽式太阳能集热系统、熔盐显热储热系统、导热油热传输系统及熔盐热传输系统、换热及蒸汽发生系统等配套辅助系统及热工控制系统，一般供热能力较大，并能同时满足末端热用户对热水和蒸汽热媒的需求。由于整个系统较为复杂，从整个系统的技术经济合理性上考虑，许多设备宜设置在室外，但对于寒冷地区的小型系统，为了保证整个系统的安全性及可靠性，宜将导热油循环泵、换热器等设备设置在室内。

**5.1.5** 热传输系统的管道及附件应根据热传输介质的特性、工作温度及系统要求设计，并符合下列规定：

- 1 管道的介质流速宜为2m/s~4m/s，熔盐管道的管径不宜小于DN100；
- 2 热传输系统管道应进行应力及水力计算；
- 3 管道的直管壁厚计算可按照现行国家标准《电厂动力管道设计规范》GB50764中相关规定执行，腐蚀和磨损要求的附加厚度取值可根据传热介质的特性确定；
- 4 管道及附件的选择应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道》GB/T20801及现行行业标准《压力管道安全技术监察规程-工业管道》TSG D0001的相关规定。

**【条文说明】**无论热传输系统采用导热油或熔盐，均属于压力管道，应满足现行国家及行业、地方标准的要求。

热传输管道宜采用焊接连接，法兰连接时应采用内外双面焊接连接。

## 5.2 导热油热传输系统

**5.2.1** 导热油热传输系统主要管道的设计温度应取用各运行工况下各计算管段输热介质最高工作温度与最大温度偏差值之和，最大温度偏差值宜取5°C。

**【条文说明】**导热油热传输系统主要管道设计温度的依据是热传输系统导热油的设计温度，但由于整个系统工况易受集热系统或储热系统的影响，导热油温度会产生波动，所以管道系统及其配件的设计温度应能满足输热系统运行时导热油最高温度的要求，同时再附加5°C作为裕量。

**5.2.2** 导热油热传输系统管道设计压力应结合所有可能出现工况的水力计算确定，并应符合下列规定：

- 1 设计压力取用导热油最高工作压力加安全阀整定压力与工作压力的差值；
- 2 最高工作压力取集热场来油管道和释热工况油盐换热器来油管道的较大值；
- 3 较高位置布置的设备，其内部液柱产生的静压。

**【条文说明】**本条对导热油循环系统管道及附件的选型做出了规定，导热油系统流程越长，阻力越大，因此管路系统总阻力需严格控制。

优化导热油系统总阻力时，可尽量降低导热油管道的设计流速，最低流速可取到1.0m/s。

**5.2.3** 导热油热传输系统膨胀罐、溢流罐的配置应符合下列规定：

- 1 膨胀罐、溢流罐宜采用卧式钢制储罐；
- 2 膨胀罐、溢流管的台数和容积应根据工艺流程、导热油特性、环境条件、大件运输要求等，通过技术经济比较确定；
- 3 导热油膨胀量应根据导热油总量在注油温度与集热及热传输系统设计温度之间产生的热膨胀体积差的1.3倍选取；
- 4 膨胀罐应设置氮气定压系统；
- 5 膨胀罐事故疏放接口应设置两道关断阀。

**【条文说明】**根据国内外的工程经验，本条对导热油膨胀罐及溢流罐的配置做出了规定。

膨胀罐的容积不宜超过整个导热油膨胀量的10%~15%，单个膨胀罐的容积不宜

超过  $100\text{m}^3$ ，剩余导热油的膨胀量由溢流罐承担。膨胀罐和溢流罐的下方应设置油池及围堰，油池容积应满足在扣除油池内所以油罐占地后，单个最大容积油罐内的导热油排空，并考虑 10% 的容积裕量。

导热油的热膨胀量计算时，导热油总量按全场导热油总量的 90%~95% 计算。热膨胀的低温、高温值的选取要求为，低温值以注油温度为准；高温值有两种选取方法，一种是集热系统平均温度（集热场高温侧与低温侧设计温度的平均值），另一种是取集热系统设计温度最高温度，二者都有工程应用，国外专家推荐后一种。

设置膨胀罐时宜将其最低液位高于导热油系统的最高点，导热油膨胀罐及溢流罐的调节容积应大于系统内导热油在工作温度下膨胀增加的容积。膨胀罐的工作压力应能满足整个系统任意点不发生气化的要求，并留有  $30\text{kPa}\sim 50\text{kPa}$  的压力裕量。

导热油溢流罐可根据系统大小设置多个，其容积宜大于维护时系统中隔离空间的最大体积，以便分区检修。

#### 5.2.4 导热油热传输系统循环泵的台数及容量应符合下列规定：

- 1 导热油循环泵数量不应少于 2 台，其中至少 1 台备用；
- 2 导热油循环泵的总流量应满足集热场热负荷对应流量的 110%；
- 3 导热油循环泵应设置调速装置；
- 4 热传输系统循环泵的扬程应按下列各项之和计算：
  - 1) 设计流量时循环系统各环路管道的沿程阻力及设备、管件局部阻力之和的最大值，另加 10% 裕量；
  - 2) 设计流量时热传输介质返回容器时返回管最大高度与容器内热传输介质最低液位的差值。

**【条文说明】** 确定导热油热传输系统循环泵扬程时，对导热油系统各管段的压降计算原则规定如下：

1. 导热油管路总压降包括集热场管路压降及换热系统（含蒸汽发生系统）的压降。
2. 为防止导热油在失去压力条件下的快速气化，要求管道系统的压力大于导热油工作温度对应的饱和压力，并留有一定的裕量。
3. 集热场的导热油管路阻力按下式计算：

$$\Delta P_{sf} = \Delta P_{loop} + \Delta P_{hdr,hot} + \Delta P_{hdr,cold} + \Delta P_{run,hot} + \Delta P_{run,cold} + \Delta P_{Iocop} +$$

式中：

$\Delta P_{sf}$ —集热场导热油系统总阻力 (Pa)；

$\Delta P_{loop}$ —集热回路阻力 (Pa)；

$\Delta P_{hdr,hot}$ —分区热油母管的阻力 (Pa)；

$\Delta P_{hdr,cold}$ —分区冷油母管的阻力 (Pa)；

$\Delta P_{run,hot}$ —热油总母管的阻力 (Pa)；

$\Delta P_{run,cold}$ —冷油总母管的阻力 (Pa)；

$\Delta P_{Iocop}$ —出入口、跨接管阻力 (Pa)。

4. 换热系统(含蒸汽发生系统)导热油管路阻力按下式计算：

$$\Delta P_{PB} = \sum_{i=1} \Delta P_{Line,i} + \Delta P_{HEX}$$

式中：

$\Delta P_{PB}$ —换热区导热油管路阻力；

$\sum_{i=1} \Delta P_{Line,i}$ —换热区导热油管路阻力；

$\Delta P_{HEX}$ —换热设备或蒸汽发生器导热油侧管路阻力。

5. 多个设备并联时，导热油系统总阻力取各回路种阻力的最大值。

### 5.2.5 导热油热传输系统的设计应符合下列规定：

1 导热油宜采用 73.5%联苯醚和 26.5%联苯组成的共熔混合物，其性能要求应符合现行国家标准《有机热载体》GB23971 的规定；

2 每台导热油循环泵入口应设置过滤器，泵入口过滤器宜设置自下游旁路过滤器至过滤器器上游的闭式排放安全阀；

3 每台导热油循环泵出口应设置再循环管道及调节装置，再循环管道应接至膨胀罐；

4 导热油循环泵的入口和出口母管之间宜设置带止回阀的旁通管，流量宜与单台导热油循环泵设计流量一致；

5 导热油循环泵入口母管与膨胀罐之间的连接管道上应设置带动力操作的关断阀；

- 6 每个集热场分区入口导热油母管上应设置流量测量装置及流量调节阀组；
- 7 每个集热器回路入口管道上应设置两道关断阀，其中一个宜带调节功能，每个集热器回路出口管道上应设置两道关断阀和泄压阀；
- 8 导热油循环泵出口母管、膨胀罐、导热油再生装置出入口等位置宜设置导热油取样点。

**【条文说明】**本条参考国家现行行业标准《槽式太阳能热发电厂集热系统设计规范》DL/T5621-2021 的规定。

**5.2.6** 导热油热传输系统溢流回油泵配置数量不应少于 2 台，其中 1 台备用，宜采用调速泵，溢流回油泵出口流量应满足容器内导热油体积变化的要求。

**【条文说明】**导热油溢流回油泵应在昼夜变化或太阳直接辐射波动大时能够启动，满足维持膨胀邮箱液位的要求。

### 5.3 熔盐热传输系统

**5.3.1** 熔盐热传输系统管道的设计温度取运行工况下各计算管段熔盐的最高工作温度与最大温度偏差值之和，最大温度偏差值宜取 5℃。

**【条文说明】**熔盐热传输系统主要管道设计温度的依据是热传输系统熔盐的设计温度，但由于熔盐的温度在不同工况存在实际工作温度的波动，所以管道系统及其配件的设计温度应能满足输热系统运行时熔盐的最高温度的要求，同时再附加 5℃作为裕量。

**5.3.2** 熔盐热传输系统管道的设计压力应符合下列规定：

- 1 熔盐系统管道设计压力应根据直接式储热系统或间接式储热系统、单罐储热或双罐储热系统的不同工况确定；
- 2 从低温熔盐泵出口第一个关断阀后管道的设计压力，取值为熔盐泵在额定转速及设计流量下熔盐泵提升压力的 1.1 倍与进盐侧压力之和，进盐侧压力以熔盐最高液位减去泵轴高度的差值计算；
- 3 熔盐管道设计压力应计入熔盐泵进盐温度对压力的修正。

**【条文说明】**熔盐热传输系统的工作压力与系统类型采用间接式或直接式有密切的关

系，在确定系统设计压力时，还应综合考虑系统竖向最高点与最低点的静压差等因素，原理与常规热水供热系统基本一致。

### 5.3.3 熔盐热传输系统循环泵的台数及容量应符合下列规定：

- 1 熔盐循环泵数量不应少于 2 台，其中至少 1 台备用；
- 2 熔盐循环泵的总流量应满足集热场设计热负荷对应流量的 110%；
- 3 熔盐循环泵应设置调速装置；
- 4 热传输系统循环泵的扬程应按下列各项之和计算：
  - 1) 设计流量时循环系统各环路管道的沿程阻力及设备、管件局部阻力之和的最大值，另加 10%裕量；
  - 2) 设计流量时热传输介质返回容器时返回管最大高度与容器内热传输介质最低液位的差值。

**【条文说明】**本条文对熔盐泵的流量及扬程计算及台数给出基本原则，熔盐泵的可靠性要求非常高，为了保证系统的安全性，常采用 2 台或多台并联的方式，并考虑设置备用泵。

熔盐泵的扬程要留有裕量，一般采用不小于计算扬程的 1.1 倍，参照《电厂动力管道设计规范》GB50764 的相关规定进行管路沿程阻力和局部阻力计算，同时应考虑管路布置、管径、介质流速及熔盐泵吸入管口和泵体出口高度差引起的静压差等因素。

### 5.3.4 熔盐泵应选用立式悬吊泵，材质的选择应考虑熔盐的工作参数、物性参数及腐蚀性等因素。

**【条文说明】**目前同类型工程中大多数选用悬吊式泵，安装在熔盐储热罐顶部的平台上。

### 5.3.5 熔盐热传输系统设计应能满足集热工况、储热工况、释热工况及防凝工况的运行要求，并应符合下列规定：

- 1 熔盐宜采用硝酸钠和硝酸钾、亚硝酸钠的二元或三元盐，应符合现行国家标准《太阳能熔盐（硝基型）》GB/T36376 的规定；
- 2 每个集热场分区入口熔盐母管上应设置流量调节阀组；
- 3 每个集热器回路入口管道上应设两道关断阀，其中宜带调节功能，每个集热器回路出口管道上应设置两道关断阀；

#### 4 管道应进行保温、并设置防凝和疏放设施。

**【条文说明】**熔盐热传输系统设计必须同时满足集热工况、储热工况、释热工况、防凝工况及各工况运行要求。

根据《太阳能熔盐（硝基型）》GB/T36376 规定的分类，太阳能熔盐（硝基型）分为两个类别：I类产品熔盐（二元盐）及II类产品（二元或三元盐）熔盐，考虑到本标准的储热系统服务的热用户为工业、民用建筑供暖供热、生产或工艺用蒸汽（非发电）的特性，所以推荐使用《太阳能熔盐（硝基型）》GB/T36376 中的II类产品熔盐，其使用温度在 160°C~400°C，可以满足目前非发电类储热的工艺需求。

#### 5.3.6 采用熔盐作为热传输介质时，应采用相同组分的熔盐进行补充。

**【条文说明】**熔盐介质的物性参数对储热及热传输系统的性能有较大的影响，系统初次充盐或运行过程中需要补充熔盐时，应与设计要求的熔盐组组份保持一致。

#### 5.3.7 在工作温度范围内，熔盐的比热容宜大于 0.8kJ/(kg·K)，密度宜大于 1700kg/m<sup>3</sup>，熔盐对碳钢、低合金钢、不锈钢和镍基合金的腐蚀速率应符合表 5.3.7 的规定。

**表 5.3.7 熔盐腐蚀性能指标**

序号	腐蚀钢种	使用温度范围 (°C)	腐蚀速率 (mm/a)
1	碳钢	≤425	≤0.06
2	低合金钢	≤500	≤0.06
3	不锈钢	≤600	≤0.03
4	镍基合金	≤700	≤0.02

**【条文说明】**本条文参照《太阳能光热发电站储热/传热用工作介质技术要求 熔融盐》GB/T44800 对热传输储热系统熔盐的主要物化特性作了规定。

### 5.4 导热油热传输介质储存

#### 5.4.1 导热油热传输系统应设置膨胀罐、氮气覆盖系统，宜设置溢流油罐、溢流回油泵等设施。

#### 5.4.2 膨胀罐的最低液位应位于导热油系统的最高点，导热油管道排气应引至扩容冷却器。

#### 5.4.3 膨胀罐和溢流油罐的调节容积应大于系统内导热油在工作温度下膨胀增加的容

积，在条件允许时，膨胀罐可兼做溢流油罐。

**5.4.4** 膨胀罐的工作压力应满足在热传输系统循环泵停运时，系统内任意一点不发生汽化的要求，并有  $30\text{kPa}\sim 50\text{kPa}$  的压力裕量。

**5.4.5** 溢流油罐可设置多个，其容积宜大于维护时系统中隔离空间的最大体积。

**【条文说明】**在有条件时，溢流油罐的容积应考虑接收整个系统中最大隔离空间的导热油，以便分区检修。

**5.4.6** 溢流油罐的工作压力应与膨胀罐相同。

**5.4.7** 在寒冷地区，溢流油罐宜设置伴热装置。

**5.4.8** 溢流油罐应设置 2 台溢流回油泵，其中 1 台备用。

**5.4.9** 导热油系统应设置氮气覆盖系统，氮气覆盖系统应与膨胀罐及溢流油罐连通，维持罐内压力在设定范围。

**【条文说明】**氮气覆盖系统也称氮封系统，其功能是防止热传输介质的氧化，并兼具阻燃作用。导热油系统中的氮气覆盖系统设计可参照现行行业标准《导热油加热炉系统规范》SY/T0524 的相关规定。

氮气覆盖系统的氮气品质应满足以下要求：

1. 氮气纯度（体积分数）高于 99.9%；

2. 气体含尘颗粒直径  $\leq 3\mu\text{m}$ ；

3. 含尘量  $\leq 1\text{mg/m}^3$

4. 含油量  $\leq 0.0001\%$ ；

5. 排气压力下露点  $\leq -40^\circ\text{C}$ 。

**5.4.10** 膨胀罐和溢流油罐的气相空间应采用氮气覆盖。

**【条文说明】**为了避免导热油与空气接触，膨胀溢流系统、耗散系统、油盐换热、熔盐储热系统均需设置氮封系统，系统充油或充盐前均需先充氮气以排除热传输系统及储热系统的空气。

**5.4.11** 膨胀罐的防爆门宜排放到净化系统的回收扩容器。

## 5.5 熔盐热传输介质储存

**5.5.1** 固态熔盐采用硝酸盐时，储存场所应根据总平面布局合理规划，并应符合现行国家标准《常用化学危险品贮存通则》GB15603 及《危险化学品储存管理规定》的有关规定。

**【条文说明】**由于大多数硝酸盐具有较强的氧化性，在一定条件下（如受热、与可燃物接触等）可能发生剧烈反应，存在火灾、爆炸风险，这类硝酸盐通常被列为危险品。固体熔盐产品应按规格分批存放于通风、阴凉干燥的场所，属于危化品类的熔盐产品储存应按《常用化学危险品贮存通则》GB15603 的规定执行。

**5.5.2** 固态硝酸盐的采购、运输等应符合现行国家标准《危险货物品名表》GB12268 及《危险货物分类和品名编号》GB6944 的有关规定，并满足下列要求：

- 1 宜分批次以颗粒状形式运送至现场；
- 2 应采用满足环保和硝酸盐特性要求的专用包装袋；
- 3 包装袋上应有产品相关信息标签。

**【条文说明】**熔盐的运输过程应有遮盖物，防止雨淋、受潮，不应与导致产品污染的货物混装。

包装中应附有质量证明书、主要成分含量与杂质含量说明书、性能指标说明书。包装袋上应有牢固清晰的标志，包括但不限于生产厂名、厂址、产品名称、类型、等级、净含量、批号及生产日期、怕晒怕雨等标志。

**5.5.3** 熔盐热传输及储热系统可不设氮气覆盖系统，若设置氮气覆盖系统时，高温熔盐储罐与低温熔盐储罐之间应设置氮气平衡管，接至熔盐储罐的氮气管道上应设置氮气流量测量装置。

**【条文说明】**高温的硝酸熔盐与有机物（如油脂、木材、燃料）、还原剂（如碳、硫、金属粉末）等可燃物接触时，会发生剧烈氧化还原反应，释放大量热量及气体，可能引发爆炸等事故。所以要求根据具体工程的实际情况，建议设置氮气覆盖系统，防止熔盐被氧化。对于一些密封性较好的高、低温储盐罐，根据国家现行行业标准《太阳能热发电厂储热系统设计规范》DL/T5622-2021 的规定可不设置氮气覆盖系统。

**5.5.4** 当需要设置氮气覆盖系统时，宜设置超压泄放装置。当氮气覆盖系统的超压泄放

装置不能完全避免因氮气的注入而引起超压情况发生时，应在熔盐储罐上设置超压泄放装置。

**【条文说明】**若设置氮气覆盖系统时，氮气工作压力范围应控制在 0Pa (g) ~2000 Pa (g) 。

## 5.6 导热油净化、再生及注油系统

**5.6.1** 导热油热传输系统应设置 1 套在线式导热油净化和再生系统，其容量不宜小于整个系统中导热油总量的 2%。

**5.6.2** 导热油经再生系统处理后，pH 值应处于 6~8 之间，洁净度应符合导热油的使用性能要求。

**【条文说明】**根据导热油生产厂家的经验及数据，导热油残炭率不能超过 1.5%，导热油再生处理的方法一般采用减压蒸馏，去除高沸物和低沸物，通过精制、脱色获得再生导热油，我国导热油洁净度（颗粒度或污染度）的指标一直引用国外标准，尚未建立自有标准。

**5.6.3** 净化系统的低沸物处理系统应设置 2 级回收容器，第 1 级循环冷却器宜采用空冷，第 2 级回收容器应设置污油罐储存低沸物。

**5.6.4** 低沸物处理系统宜设置 2 台导热油回油泵，其中 1 台备用。回油泵流量按 1 级回收容器回收导热油量的 110%设置。

**5.6.5** 导热油回油泵的扬程应按照下列各项之和计算：

- 1 一级回收容器到膨胀罐管道的沿程阻力及管件局部阻力，另加 20%裕量；
- 2 膨胀罐最大工作压力；
- 3 一级回收容器到膨胀罐液位静压差。

**5.6.6** 净化系统的高沸物处理系统应设置 1 台回收闪蒸扩容器，且净化系统应设置污油罐。

**5.6.7** 导热油低沸物和高沸物的脱除率应满足原产品导热油的性能要求，低沸物外排和处理应符合现行国家标准《石油炼制工业污染物排放标准》GB31570 及《石油化学工业污染物排放标准》GB31571 的规定。

**5.6.8** 导热油注油系统应设置 1~2 台具有自吸能力的注油泵，注油泵入口应设置过滤

器，并应定期清理。

**5.6.9** 导热油注油系统应具备预热功能，导热油采用罐车运送时，宜采用导热油运送罐车的自带加热装置进行预热。

**【条文说明】** 导热油供应一般采用专用油罐车，油罐车配备有卸油泵、加热装置等，初始注油可依靠导热油供应商的运输设备完成。

**5.6.10** 热传输系统首次注油时，宜采取全厂一次性的注油方式，日常注油宜与导热油再生净化系统的设计统筹考虑。

**【条文说明】** 净化后的导热油需要设置回收油罐和送回主系统的回油泵，上述回油系统可同时用于日常注油。

## 5.7 熔盐初始熔化系统

**5.7.1** 熔盐初始熔化设备容量及数量应根据系统工艺要求及运行时间、熔盐总量、设备化盐能力等因素合理确定。

**【条文说明】** 熔盐的初始熔化加热炉等设备应考虑熔盐加注时间和加注过程不间断问题。

**5.7.2** 熔盐初始熔化可选用燃料加热方式或电加热方式，当采用燃料加热时，宜采用天然气。

**5.7.3** 熔盐初始熔化设备宜布置在熔盐储罐附近，预留足够场地，确保配套化盐燃料和供电条件。

**5.7.4** 熔盐炉应符合现行行业标准《熔盐炉技术规范》HG/T20658 的相关规定，污染物排放应满足现行国家标准《大气污染物综合排放标准》GB16297 二级标准及当地环保标准。

**5.7.5** 熔盐初始熔化进入储罐的液态熔盐温度应结合储罐预热温度、固体熔盐品质、化盐工艺流程等合理确定。

**5.7.6** 注盐前，应对储盐罐预热，宜采用空气加热方式进行预热，并应保证罐体在预热过程中均匀受热、满足罐体工艺及结构要求。

**【条文说明】** 预热系统应能将熔盐储罐罐体加热至比熔盐凝固点温度高 50℃以上，预热系统的加热气体应能在罐内均匀分布，满足储罐均匀升温的要求，储罐罐体最大温

差不宜超过 56°C。

**5.7.7** 罐体预热之前应做好罐内清洁，预热过程宜监测罐体底板及基础温度且能满足注盐条件。

## 5.8 防凝系统

**5.8.1** 当环境历史极端最低温度低于热传输系统及储热系统传热介质凝点时，应设置防凝系统。防凝系统防凝热功率应大于历史极端最低温度条件下全系统传热介质的热损失。

**【条文说明】**对于导热油循环系统，防凝系统一般设置防凝加热炉，局部管道采用电伴热方式，防止管道死角凝固；对于熔盐循环系统，防凝一般采用电伴热，也可同时设置加热炉和电伴热设施。

防凝装置的额定功率不宜低于 30 年一遇极端低温下的设备表面散热功率的 1.5 倍，当采用电伴热作为防凝装置时，其配置功率不宜低于额定功率的 150%。

**5.8.2** 热传输及储热系统中的测点温度低于设定的低温值时，防凝系统应启动。对于导热油热传输系统，低温值的设定不宜低于 60°C；对于熔盐系统，低温值的设定不宜低于 160°C。

**【条文说明】**根据导热油及熔盐的设计温度和凝结温度，确定防凝系统的工作启动温度的设定值，防凝最低温度设定值与系统采用的导热油特性、熔盐特性及系统工艺要求相关，可以根据工程实际情况做适当调整。

熔盐系统防凝温度设定值越高，防凝系统需要的热量就越高，应根据系统安全性及尽量降低防凝能耗的角度进行技术经济分析确定，可以适当降低，但应大于或等于熔盐析晶温度值 30°C。

**5.8.3** 管道、阀门防凝系统宜采用电伴热方式，对于导热油系统宜采用介质循环实现防凝。防凝电伴热的功率应综合设计要求时间内预热空载熔盐管道至设计温度，维持熔盐管道温度且满足熔化时间要求。

**5.8.4** 防凝电伴热系统的设计宜符合下列要求：

- 1 伴热电缆宜按不低于 100%冗余设置；
- 2 伴热电缆宜采用矿物绝缘电缆；
- 3 伴热启动温度设定值宜高于熔盐析晶温度值 30°C 或以上。

**5.8.5** 熔盐系统储罐防凝宜采用浸没式电加热器，也可采用其他防凝方式。加热器的总容量应根据罐体保温后的散热量来确定，电加热器的数量应根据保温后罐体总的散热功率和单只电加热器最大容量确定。

**5.8.6** 防凝装置设置数量不应少于 2 套，其中 1 套停用时，其余防凝装置应能满足系统防凝热功率要求。

**5.8.7** 防凝泵可单独设置，也可分别与导热油循环泵或熔盐泵合并设置，当防凝泵单独设置时，宜设置 1 台备用防凝泵。

**5.8.8** 熔盐管道上阀门的阀体及阀杆均宜设置单独的防凝装置。

## 5.9 疏放系统

**5.9.1** 对于导热油热传输及换热系统，其疏放系统应符合下列规定：

1 导热油管道及导热油-熔盐换热器导热油侧高位点应设置放气系统，低点应设置放油系统；

2 导热油系统的放气管和放油管道应接至导热油冷凝器进行冷却回收。

**5.9.2** 对于熔盐热传输及储热系统，其疏放系统应符合下列规定：

1 熔盐管道高点宜设置放气系统，低点应设置疏盐系统，放气及疏盐管道可接至熔盐储罐或疏盐罐；

2 当蒸汽发生系统布置在高、低温熔盐罐之间时，储热系统宜与蒸汽发生系统合并设置熔盐疏放系统。

**【条文说明】** 熔盐疏放系统应包括疏盐罐、疏盐泵和配套的阀门、管道和仪表等。疏盐系统应具有将储热系统除熔盐储罐外的设备、管道、阀门中的熔盐排放并输送返回至低温熔盐储罐和高温熔盐储罐的功能。

**5.9.3** 熔盐热传输及储热系统应设置事故疏放系统。

**5.9.4** 疏放系统管道及阀门、仪表应设置伴热系统防凝，事故熔盐排放槽或排放池可不设置伴热系统。

**5.9.5** 热传输及储热系统的安全阀排气应排至安全区域。

## 6 储热系统设计

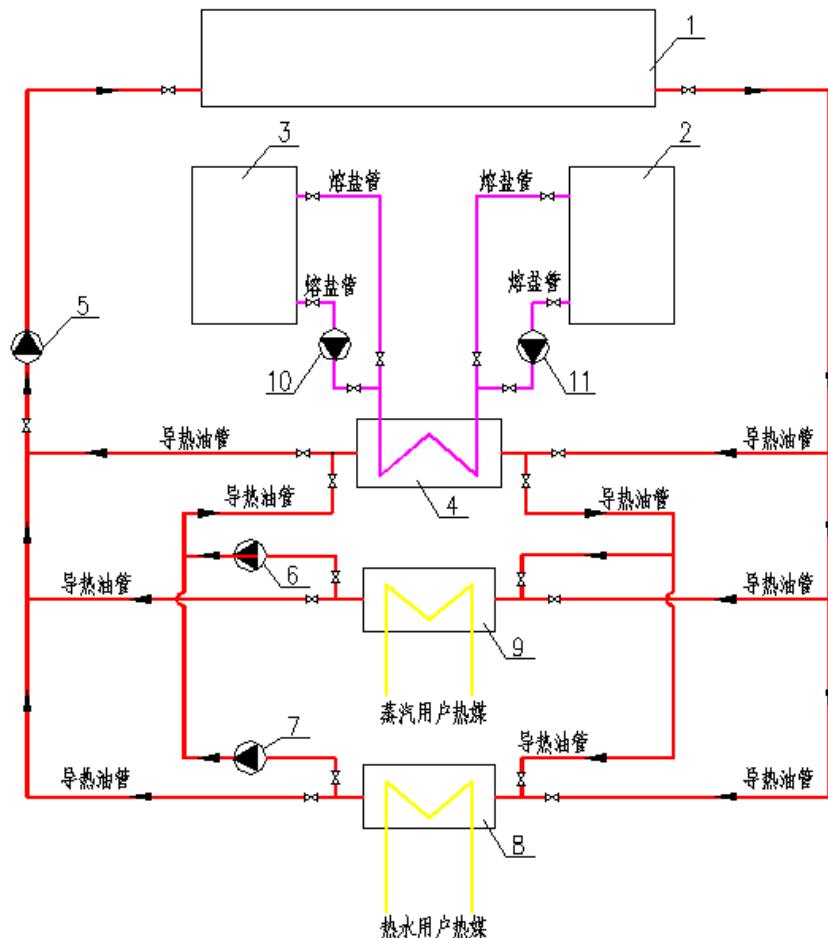
### 6.1 一般规定

**6.1.1** 储热系统的选择应根据末端热用户热负荷、传热介质、储热介质、集热系统、热传输系统、末端用热系统要求等因素，经技术经济比较后确定。

**【条文说明】**本条文阐明了高温储热系统的选择、技术路线确定的主要考虑因素。

本规程所定义的高温储热系统为双罐或单罐熔盐显热间接或直接式储热系统，冷热双罐的显热储热是槽式太阳能高温储热最成熟的系统，与其他储热技术路线相比，双罐储热系统的建造和运维经验最为丰富，储热系统宜采用双罐储热系统。

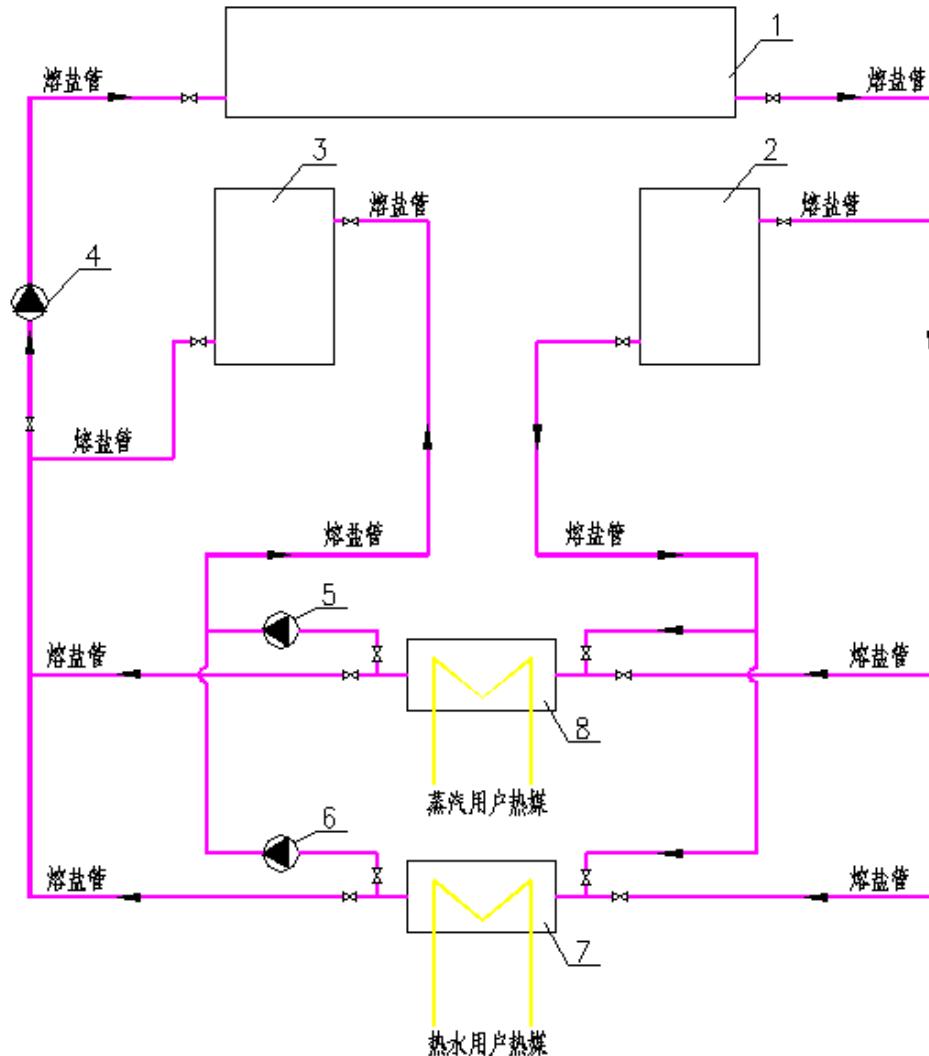
双罐熔盐显热直接储热系统，可设置单列、双列或多列熔盐储罐，单列指由一个低温熔盐储罐和一个高温熔盐储罐组成的系统，双列指由两个低温熔盐储罐和两个高温熔盐储罐组成的系统，依次类推。图1为双罐间接熔盐显热储热系统示意图。



1—集热器 2—热盐罐 3—冷盐罐 4—油盐换热器 5—储热导热油泵 6—蒸汽用户导热油泵 7—热水用户导热油泵  
8—热水用户换热器 9—蒸汽用户蒸汽发生器 10—熔盐泵(储热) 11—熔盐泵(放热)

图 1 双罐间接熔盐显热储热系统示意图

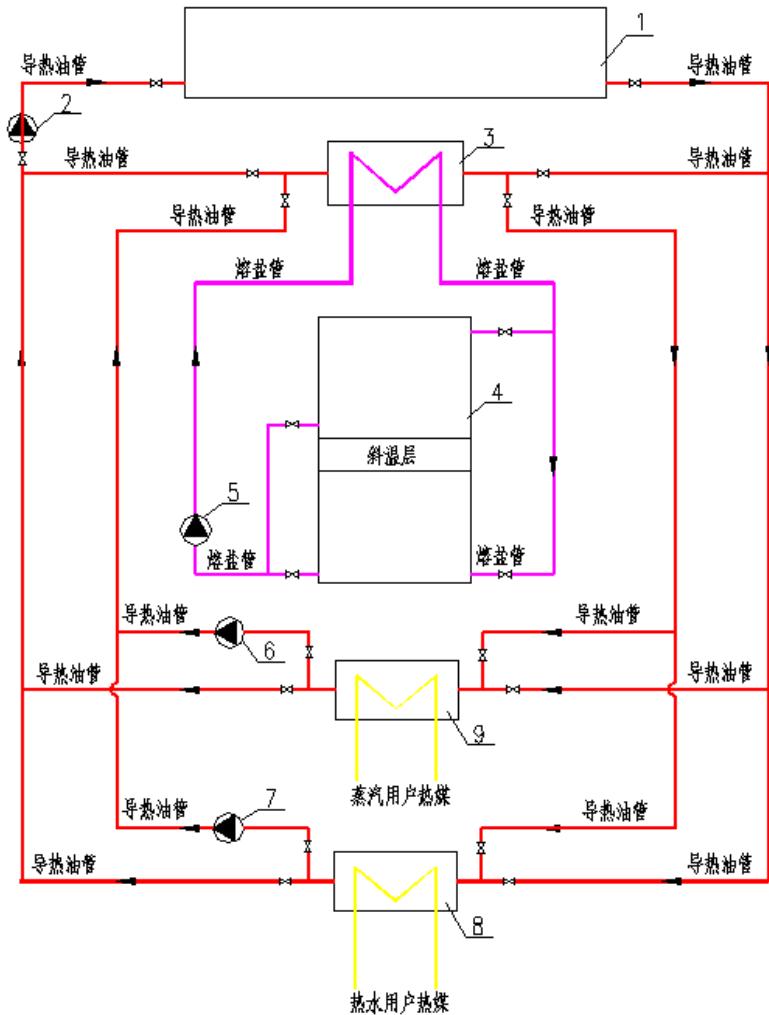
双罐直接式储热系统与双罐间接式储热系统相比，直接采用熔盐作为热传输和储热介质，系统无油-盐换热器。但由于熔盐系统在热传输系统，特别是集热系统不工作时需要泄空熔盐或者设置不间断的防凝措施，这种储热系统在工程实际中的应用较少，图 2 为双罐直接熔盐显热储热系统示意图。



1-集热器 2-热盐罐 3-冷盐罐 4-熔盐泵(储热) 5-熔盐泵(蒸汽用户) 6-熔盐泵(热水用户)  
 7-热水用户换热器 8-蒸汽用户蒸汽发生器

图 2 双罐直接熔盐显热储热系统示意图

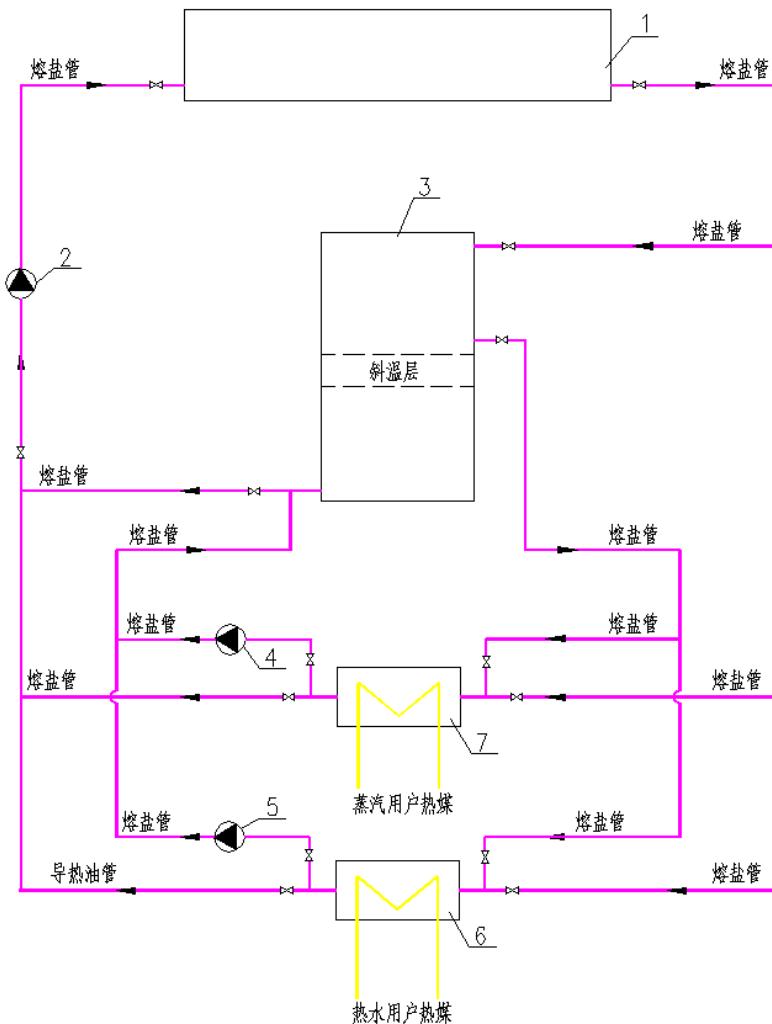
单罐熔盐间接式显热储热系统的工作原理为，利用单罐熔盐的斜温层分隔上部高温熔盐和下部低温熔盐，斜温层根据储热和释热工况的不同会上下移动，单罐熔盐显热储热系统是一个罐同时储存高低温熔盐。虽然仅有一个储热罐，但是为了维持罐内的斜温层就必须严格控制熔盐进、出储热罐的流动过程，而且对熔盐布液系统的精准性要求更高，必须实现罐体内熔盐温度梯度的设计要求，这些特点决定了单罐熔盐显热储热系统在实际工程应用中控制系统复杂，较难实现理论上所要求的斜温层控制要求，工程实际中很少使用这种系统。图 3 为单罐熔盐间接式显热储热系统示意图。



1—集热器 2—导热油泵 3—油盐换热器 4—熔盐储热罐 5—熔盐泵(储放热) 6—熔盐泵(蒸汽用户) 7—熔盐泵(热水用户)  
8—热水用户换热器 9—蒸汽用户蒸汽发生器

图 3 单罐熔盐间接式显热储热系统示意图

单罐熔盐直接式显热储热系统与单罐熔盐间接式储热系统原理基本相同，主要区别为直接采用熔盐作为热传输和储热介质，但由于熔盐在热传输系统，特别是集热系统不工作时需要泄空熔盐或者设置不间断的防凝措施，这种储热系统在工程实际中的应用较少。图 4 为单罐直接熔盐显热储热系统示意图。



1—集热器 2—熔盐泵(储热) 3—熔盐储热罐 4—熔盐泵(蒸汽用户) 5—熔盐泵(热水用户)  
6—热水用户换热器 7—蒸汽用户蒸汽发生器

图 4 单罐熔盐直接式显热储热系统示意图

**6.1.2** 储热系统的有效储热容量在额定释热功率的情况下，应满足在集热系统不工作时热用户对用热保证时长的需求。

**【条文说明】**正常工作时，集热系统既可以单独进行储热工况运行，也可同时兼顾为热用户提供部分或全部热负荷，集热系统不能产热时储热系统承担热用户的用热负荷，在集热系统故障或检修不能产热时，储热系统的有效储热容量在额定释热功率的情况下，应满足热用户的用热安全保证时间，用热安全保证时间可根据用热系统工艺要求经技术经济比较后确定。

**6.1.3** 储热系统应满足下列要求：

- 1 储热系统储热容量应满足热用户供热负荷及用热时长需求；
- 2 储热系统储热容量应与集热系统集热量相匹配；

- 3 储热系统宜采用双罐熔盐显热储热系统；
- 4 储热系统布置应符合现行国家标准《建筑防火通用规范》GB55037、《消防设施通用规范》GB55036 和《建筑设计防火规范》GB50016 等规范的有关规定。

**【条文说明】**本条对储热系统储热容量做出了规定，要求其储热容量应满足热用户供热负荷及用热时长的需求，当集热系统不能正常运行时，储热量应能保证热用户的设计保证时长要求。

储热系统有多种型式，具体采用单罐、双罐或者直接式、间接式应根据工程实际情况经技术经济比较后合理确定。建议采用目前工程实际中技术应用较为成熟的双罐储热系统。

**6.1.4** 储热介质的总质量应根据介质的热物性参数、储热容量、介质的工作温度范围等因素确定。

**【条文说明】**熔盐储热介质的总量与储热系统的储热容量、介质工作温度及储热效率、放热效率有关。

储热系统在 1 天的供热时间段内，所应提供的供热热量按下式计算：

$$W = \sum(Q_i \times t_i) \quad (1)$$

W—储热系统在 1 天 (24h) 的供热时间段内，应提供的供热热量 (kWh)；

Q<sub>i</sub>—热用户的各类热负荷 (kW)；

T<sub>i</sub>—储热装置各类热负荷对应的供热时间。

在计算出系统在 1 天 (24h) 的供热时间段内必须提供的供热热量后，再根据储热系统须保证热用户的连续用热保证天数(集热系统因天气等原因不能产热)，计算储热系统的设计储热容量，储热系统的设计储热容量按下式计算：

$$Q = n \times W \quad (2)$$

Q—储热系统设计储热量 (kWh)；

n—集热系统不运行时，储热系统保证用户热负荷需求连续工作天数 (d)

W—储热系统在 1 天 (24h) 的供热时间段内，应提供的供热热量 (kWh)。

计算出设计储热量后，再根据本标准第 2.0.10 条可计算储热系统的有效储热介质用量。

根据设计储热容量计算集热系统集热器面积等参数的规定，详见本标准第 5.1.1

条。

#### 6.1.5 储热系统的储热效率不应低于 95%。

**【条文说明】**一个完整的充放周期内，充热放热过程连续进行，储热系统通过传热流体释放的能量与通过传热流体接收的能量的比值，是评价储热系统能量传递的重要指标。

储热系统效率可按下式进行计算。

$$\eta = \left( 1 - \frac{q}{Q_{ch}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\eta$ —储热效率（%）；

$q$ —所有储热设备外表面及基础的散热量之和，对于设计有和大气直接或间接相通的系统，尚应包括此部分散热量（kJ）；

$Q_{ch}$ —充热过程中总的充热量，可计算充热过程前后储热量的差值，也可由流量、温度对时间的积分计算得出（kJ）。

#### 6.1.6 高温储热系统应设绝热保温、防凝设施、储热介质泄漏保护设施及储热介质疏放系统。

**【条文说明】**储热系统的防凝设施、绝热保温、介质泄漏保护、疏放系统均应与热传输系统统一考虑。

## 6.2 熔盐储热介质储存

#### 6.2.1 储热介质应满足下列要求：

- 1 比热容大；
- 2 热稳定性和化学稳定性高；
- 3 导热系数大；
- 4 使用温度范围适当；
- 5 对流换热系数大，能快速储存和释放热能；
- 6 不同状态间转化时，体积变化率小；
- 7 液态时黏度低；
- 8 热膨胀系数小。

## 6.2.2 储热介质宜采用硝酸钠、硝酸钾组成的二元盐或三元盐。

**【条文说明】**《太阳能熔盐（硝基型）》GB/T36376 将太阳能熔盐（硝基型）分为I类产品熔盐（二元盐）及II类产品（二元或三元盐）熔盐,在实际工程中，可根据两类熔盐的不同特性进行选择。随着材料技术的不断发展，新型组份的熔盐介质也在不断地被推向工程应用，在技术经济合理、安全可靠的前提下，这些新型组份的熔盐介质也可以在工程中得到应用。

## 6.2.3 储热罐选型应满足下列要求：

- 1 罐体有效容积应为熔盐总体积的 1.15 倍~1.20 倍；
- 2 储罐材料应满足储热介质特性和使用温度等要求；
- 3 罐体壁厚应根据设计压力、设计温度、设计寿命和腐蚀速率等确定；
- 4 罐体内宜设置温度均衡装置；
- 5 罐体应设置熔盐疏放口和保温式安全阀。

**【条文说明】**本条文主要针对熔盐储热双罐系统，明确了熔盐储罐设计选型时的基本原则：

- 1.考虑熔盐储罐顶部需留有一定的安全空间，并考虑疏盐系统的要求，熔盐储罐容积应不小于整个系统熔盐最大体积的 1.15 倍~1.20 倍；
- 2.储罐材料的选择应根据储热介质的特性和温度确定；
- 3.储罐壁厚度应根据设计压力、设计温度、使用年限和腐蚀速率等因素，经过计算确定；
- 4.储罐内应设置熔盐均布装置，使罐内熔盐温度场达到均匀分布，避免罐内熔盐出现温度分布不均引起熔盐局部凝结和较高的温度应力集中，保证熔盐储罐的运行安全；
- 5.提出熔盐储罐安全阀和疏放口的设置要求，是为了保证熔盐储罐的运行安全。

在设计储罐或者对定型储罐进行配管设计时，应尽量利用储罐的有效空间增大有效储热容量，最大程度减小储罐的不可用盐比率，对储罐的不可用盐比率应满足《太阳能光热发电站熔融盐储热系统技术要求》GB/T45313 的要求。

## 6.2.4 熔盐储罐宜采用优质碳素钢立式圆筒型储罐，设计应符合现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341 的有关规定。

**【条文说明】**目前高温熔盐储罐主要选用圆筒形双壁夹套熔盐储热罐，熔盐盛装在内罐内，内罐承受高温和熔盐的静压力，外罐不接触熔盐不受高温影响，外罐内侧衬保温隔热材料。内外罐壁间有一定的距离，除外罐内侧安装的隔热材料外，还留有一定间隙的空气层，内罐壁可自由向外膨胀。这种罐体结构相对稳定，熔盐不易泄漏，缺点是结构复杂、施工周期长、造价高。

由于本规程确定的熔盐储热设计温度不大于 400°C，与《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341 的罐体设计上限温度一致，罐体等附件可采用优质碳素钢制作。

储热熔盐罐的保温构造应满足所在地年平均温度和平均风速条件下最大温降限值的要求，详见《太阳能光热发电站熔融盐储热系统技术要求》GB/T45313 的相关规定。

**6.2.5** 熔盐储热罐体设计温度，取储罐中熔盐介质最高温度和储罐预部温度的较大值，并加 20°C~30°C 的温度裕量。

**【条文说明】**本规程确定了熔盐储热设计温度不大于 400°C，是基于本规程主要是利用太阳能高温储热系统进行建筑供热或一般工业用热，但若储热的设计温度超过 400°C，这时应参考《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB50341、美国石油学会标准 API650《焊接石油储罐》、美国机械工程师协会标准 ASME 第八章第一部分、第二部分及 ASME B31.1 中的有关规定，并建议对罐体进行流场模拟及有限元分析，进行稳态应力分析、疲劳分析及材料高温蠕变影响分析等。

**6.2.6** 熔盐储罐各部件应符合下列规定：

**1** 储罐内分配管及浸没式加热器等部件所承受的最高温度和压力应能满足储罐工作温度和压力的要求；

**2** 采用惰性气体覆盖的储热罐内气侧空间，应设置气侧压力平衡接口；

**3** 储热罐应设置超压保护、预热接口、注盐口、人孔，宜设储热罐罐内爬梯、预热辅助系统及罐底熔盐放空辅助系统；

**4** 储热罐体内应设置带分配孔或喷嘴的熔盐分配管及其支架等配件；

**5** 应设置熔盐防凝电加热装置，并考虑冗余；

**6** 熔盐储罐顶部应设置平台、扶梯、步道等设施。

**【条文说明】**本条文对熔盐储罐附件提出了基本要求，工艺系统及运维管理有其他特

殊需求时，设计时应同时满足。

### 6.3 熔盐储热介质换热系统

**6.3.1** 熔盐显热储热系统的换热系统由油-盐换热系统、油-水换热系统、盐-水换热系统组成，油-盐换热器、油-水换热器、盐-水换热器、蒸汽发生器等设备容量的计算、选型应与储热系统及集热系统相匹配。

**【条文说明】**换热系统应能可靠安全的运行工作，满足储热、释热及热用户的用热需求。换热器设备除与热用户及集热系统相配套外，其工作温度、工作压力等参数必须进行合理确定。

由于储热系统换热器的热媒不同于常规的水-水和汽-水换热器，选择换热器时，应充分考虑对换热器加热侧与被加热侧压降的控制，对换热系统总压降宜按表-4 的规定进行控制。

表-4 换热系统总压降

单位：MPa

油-盐换热系统		蒸汽发生系统 (导热油)		蒸汽发生系统 (熔盐)	
导热油侧	熔盐侧	导热油侧	汽水侧	熔盐侧	汽水侧
储热≤0.7 放热≤0.5	储热≤0.6 放热≤0.35	≤0.7	主蒸汽≤0.5 再热蒸汽≤0.2	≤0.7	主蒸汽≤0.5 再热蒸汽≤0.2

**6.3.2** 油-盐换热系统换热器的选型应满足以下要求：

- 1 应满足储热和放热两种工况的换热要求，换热器内介质均可正、反两方向流动，实现双向换热；
- 2 油-盐换热器的各回路设计温度应满足各自回路最高工作温度要求，导热油侧设计温度及压力应分别满足本规程第 5.2.1 条及 5.2.2 条要求，熔盐侧的设计温度及压力应分别满足本规程第 5.3.1 条及 5.3.2 条要求；
- 3 油-盐换热器宜选用管壳式热交换器，管程介质应为导热油，壳程介质应为熔盐；
- 4 油-盐换热器可不设备用，其换热面积应按储热及释热工况分别计算并取较大值，且留有 20%的裕量

**【条文说明】**本条提出了熔盐-导热油换热器选择的基本原则，熔盐-导热油换热器的主要任务是对熔盐罐取热或者从熔盐罐释热，换热器选型时应考虑换热面积的裕量。

### 6.3.3 油-水换热器及盐-水换热器的设备选型应满足以下要求:

- 1 应满足热用户用热负荷及水温的要求;
- 2 盐-水换热器宜选用管壳式换热器, 管程介质应为导热油, 壳程介质应为熔盐;
- 3 换热器的台数及备用情况可根据热用户用热类型, 根据现行标准确定。

**【条文说明】**油-水换热器是供给有热水热媒需求所必须设置的换热设备, 可以制备空调、供暖、卫生热水、工业工艺用热水等热媒, 设备承压要求除考虑导热油系统工作压力外, 尚应考虑热用户水系统工作压力。同时换热器的台数及换热面积裕量等应满足现行国家及地方标准的要求。

### 6.3.4 蒸汽发生系统的设备选型应满足下列要求:

- 1 蒸汽发生系统的蒸汽压力应满足本标准第 3.0.5 条的规定;
- 2 蒸汽发生系统的蒸汽流量及压力应满足热用户的负荷需求;
- 3 蒸汽发生器的管程应为汽水介质, 壳程应为导热油或熔盐;
- 4 蒸汽发生器的选型及汽水侧设备、安全附件、仪表等应符合现行国家标准《锅炉安全技术监察规程》TSG G0001、《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21、《压力容器》GB150 等的规定;
- 5 蒸汽发生系统传热介质侧出口设有关断阀时, 应设置相应的泄压旁路装置, 泄压排放介质应回收处理。

**【条文说明】**蒸汽发生系统指的是利用高温导热油通过蒸汽发生器加热水产生蒸汽的热力系统, 本规程界定了产生蒸汽的压力在 0.8MPa (表压), 针对的非发电用途的民用或工业热用户。该系统应属于压力容器及管道范畴, 设备选型及热力系统应满足现行国家及地方标准的要求外, 尚应满足现行国家关于压力容器及管道等相关规程、标准的要求。

蒸汽系统设备及管道设计可参照现行国家标准《锅炉房设计标准》GB50041 等相关标准。

### 6.3.5 熔盐热交换器宜采用卧式, 同时应确保重力作用下熔盐介质的完全排空, 不得存在排盐死区。

### 6.3.6 导热油侧管道及附件应满足下列要求:

- 1 导热油系统应设置管道及设备的排污、排气设施;

- 2 导热油系统应配备完整的疏放油系统；
- 3 导热油官网应采用闭式系统，油品的自燃点不应低于该油品的最高允许使用温度，闭口闪点不应低于100℃；油品中的硫含量、氧含量、酸值、水分、水溶性酸碱、残碳、低沸物等质量指标和要求应符合国家现行标准《有机热载体》GB23971及《有机热载体安全技术条件》GB/T24747的规定。

#### 6.3.7 熔盐侧管道及附件应满足下列要求：

- 1 熔盐系统应设置管道及设备的排污、排气设施；
- 2 熔盐系统应配备完整的疏放油系统；
- 3 熔盐系统设备及管道宜设置一定的自流排空倾斜角度；
- 4 熔盐系统换热器之间宜设置一定的高度差。

6.3.8 储热系统介质流速宜为2m/s~4m/s，当设计温度不高于425℃时，宜选用优质碳素钢，熔盐系统管径不宜小于DN100。

6.3.9 储热系统的导热油管道各个工况下的坡度不应小于0.003，熔盐管道各个工况下的坡度不应小于0.03，均应坡向管路最低点或介质泄放装置。

6.3.10 储热系统管道壁厚计算可按现行国家标准《电厂动力管道设计规范》GB50764中的相关规定执行，其中腐蚀和磨损要求的附加厚度取值可根据介质特性确定。

6.3.11 储热系统管道及附件的选择应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道》GB/T20801及现行行业标准《压力管道安全技术规程—工业管道》TSG D0001中的相关规定，并应满足下列要求：

- 1 采用锻钢或铸钢阀门，不得采用铸铁阀门；
- 2 管道宜采用优质碳素钢，法兰垫片应采用耐热耐油垫片。

### 6.4 储热介质系统事故应急及消防安全措施

#### 6.4.1 导热油系统泄漏事故应急设施配置应符合下列规定：

- 1 集热场各分区之间应设分区阀门；
- 2 集热回路两端应设置隔离阀，且在回路发生火灾时，隔离阀应能够安全操作并关闭；
- 3 导热油膨胀罐和溢流油罐罐体下方应设置不小于储罐容积的事故油池。

【条文说明】由于导热油系统油罐储量较大，导致导热油泄漏风险高，本条文参照了

现行国家标准《石油化工企业设计防火规范》GB50160 的相关规定。

**6.4.2** 熔盐系统应设置事故应急处理设施，保证在紧急故障下能够通过疏放系统将熔盐安全疏放至疏盐罐。

**6.4.3** 熔盐事故疏盐系统的设置应符合现行行业标准《太阳能热发电厂储热系统设计规范》DL/T5622-2021 的相关规定。

**6.4.4** 储热及集热系统消防设计应符合现行国家标准《建筑防火通用规范》GB55037、《消防设施通用规范》GB55036、《建筑设计防火规范》GB50016、《槽式太阳能光热发电站设计标准》GB/T51396 等相关规范及标准的规定。

## 6.5 储热设备基础及隔热

**6.5.1** 熔盐储热罐的结构、抗震等设计应符合现行行业标准《太阳能热发电厂储热系统设计规范》DL/T5622 的相关规定。

**6.5.2** 熔盐储热罐应设置防止泄漏时熔盐扩散的设施，宜采用下沉式布置或周边设置围堤，围堤宜采用黏土耐火砖砌体等耐高温材料。

**6.5.3** 熔盐储热罐基础与罐体之间应设置隔热层，基础中应设置通风管等通风散热措施，通风管上表面温度应不高于 90℃及当地 50 年一遇极端最高温度加 30℃温度值两者之最低值。

**【条文说明】**本条参照现行行业标准《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》SH/T3068 的相关规定，当储罐内储存介质最高温度高于 90℃时，与罐底接触的储罐基础表面应采取隔热措施。基础设施中的钢材及焊缝强度设计值、钢材的弹性模量、钢筋的强度标准值及弹性模量在不大于 100℃时均不低于 20℃的 75%。

对于部分采用天然地基、不设置混凝土承台的设计方案，隔热层下地基土壤的温度可以略高。

隔热层厚度应根据计算温度差、工艺要求的热损失速率、隔热材料的导热系数等参数确定，可参照现行行业标准《太阳能热发电厂储热系统设计规范》DL/T5622 的相关规定执行。

**6.5.4** 熔盐储热罐宜在储罐底部与基础隔热层之间设置砂垫层，以满足储罐底部对变形的要求。

**【条文说明】**隔热材料应采用隔热性能好、导热系数小、线膨胀系数小并具有足够抗

压强度且耐久性好的无机材料。

设置砂垫层是为了保证吸收罐体热胀冷缩出现的变形及位移，一般砂垫层的厚度可取 75mm~100mm。

**6.5.5** 储热罐基础隔热材料应采用隔热性能好、导热系数小、线膨胀系数小并具有足够抗压强度、耐久性能好的无机不燃 A 级材料。

**【条文说明】** 隔热材料宜选用整体性好、不宜破损的憎水性预制成品。非憎水材料应考虑湿度对导热性能的影响，对于部分需要长期检修的部位，宜采用预制成型隔热材料。

隔热材料的密度、导热系数、线膨胀系数、吸水率等，应按照实际实验资料确定。

隔热材料的热工计算数值离散性较大，应按所选用的材料实际实验资料确定，当生产厂家无法提供产品性能指标实验资料时，可参考表 5。

表 5 常用材料在干燥状态下的热工计算指标

材料种类	最高使用温度 [°C]	重力密度 [kN/m <sup>3</sup> ]	导热系数 [W/(m·K)]
高温陶粒	1450~1550	6~7.4 (堆积密度)	0.18
隔热泡沫玻璃	450	1.6~5.0	0.058+0.00026T
黏土耐火砖砌体	1400	19	0.93+0.0006T
耐热混凝土	1200	19	0.82+0.0006T

注：T 为工作温度（绝对温度）。

**6.5.6** 储热及集热系统设备及管道保温应符合下列规定：

- 1 熔盐管道、导热油管道、换热器等设备保温层外表面温度不应超过 45°C；
- 2 除对空排放管道及疏放管道外，其它管道的保温层厚度应按允许散热损失法进行计算；
- 3 熔盐管道、导热油管道的保温，可在保温层内或保温层与保护层间设置反射膜；
- 4 储热、集热系统设备管道保温设计除应符合本规程外，尚应符合现行行业标准《发电厂保温油漆设计规程》DL/T5072 的相关规定。

## 7 配电、检测与控制系统设计

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 聚光型槽式太阳能高温储热系统的配电系统设计应满足工艺需求及安全保障要求，并应符合现行国家标准《供配电系统设计规范》GB 50052 和《低压配电设计规范》GB 50054 的规定。

**7.1.2** 聚光型槽式太阳能高温储热系统检测仪表的设置应能准确检测、显示工艺系统各设备的运行参数和运行状态，控制策略应符合工艺流程规定并应能保障人员安全。

**7.1.3** 集热场地、热传输系统、热存储系统的设备区及机房应设置完备的通信系统及安全防范系统，并应符合现行国家标准《信息安全技术 网络安全等级保护实施指南》GB/T 25058 和《安全防范工程技术标准》GB 50348 的规定。

### 7.2 配电装置

**7.2.1** 聚光型槽式太阳能高温储热系统的用电负荷应按二级负荷确定，并应配置应急电源。

**【条文说明】** 电源中断将导致较大的经济损失或安全事故。本条参考《槽式太阳能光热发电站设计标准》GB/T51396-2019 第 8.3.4 条的要求。

**7.2.2** 低压配电系统应设配电室，由配电室引至集热场、传热系统、储热系统、电气检测与控制系统（集中控制室）、通信及安防系统的电源应以放射式配电至各区配电柜。

**7.2.3** 集热系统的驱动与跟踪系统应符合下列规定：

1 驱动装置的驱动方式宜为电动驱动，驱动与跟踪系统设备应满足户外布置要求；  
2 驱动装置应满足集热器转动角度范围内连续转动、不发生卡死及在规定时间内将集热器转至保护位置的要求。

**7.2.4** 驱动装置电气及控制设备应满足下列要求：

1 结构防护级别应不低于 IP65；  
2 就地控制器宜布置在驱动立柱上，且应能与驱动立柱相匹配，满足人员操作及检修需要；  
3 就地控制器应具有自动和手动控制模式，在自动控制模式下应满足系统正常运行工况及紧急保护工况的要求，手动控制模式应能满足调试、检修、清洗等需要；

**4** 驱动装置应配备可靠的应急电源，应急电源应满足驱动装置失电时集热器旋转至保护位置的供电要求。

**7.2.5** 储热介质传热系统应满足下列要求：

- 1** 熔融盐泵应采用变频调速型式；
- 2** 熔融盐管路、疏放口和阀门应设电伴热和绝热保温。

**7.2.6** 储热系统的防凝系统应采用电加热方式。

**7.2.7** 传热与储热系统中的设备、阀门及管道宜采用分段电伴热系统，每个电伴热分支回路应设置剩余电流动作保护，剩余电流动作阈值应不大于 30mA,各分支回路应设接地保护，接地电阻不应大于  $30\Omega$ 。

**7.2.8** 电伴热产品应符合现行国家标准《工业和商业用电阻式伴热系统》GB/T 32348 (所有部分) 和《爆炸性环境 电阻式伴热器第 1 部分：通用和试验要求》GB/T 19518 (所有部分) 的规定。

**7.2.9** 熔融盐罐内应设电加热装置，电加热器功率配置应满足管道及设备内温升要求。

**7.2.10** 电加热器、电伴热设计宜采用分组和自动温控的形式。

**7.2.11** 室外配电设备结构防护级别应不低于 IP65，落地安装时安装基础应高出地面 200CM 以上。

**7.2.12** 配电电缆选择与敷设应符合现行国家标准《电力工程电缆设计标准》GB 50217 的规定。

**7.2.13** 集热场内应设置接地网，接地网除利用人工接地极外，还应充分利用金属支架及基础内的金属构件，接地电阻不应大于  $30\Omega$ 。

**7.2.14** 配电设备及线路的接地设计应符合相关规定。

### 7.3 电气检测与控制

**7.3.1** 聚光型槽式太阳能高温储热系统应设置电气检测与控制系统，并应设置集中控制室。集中控制室可作为信息系统设备、安全防范系统设备的共用机房。

**7.3.2** 集热场、集热系统、储热系统及辅助设备的自动化水平应协调一致，各系统应能在就地人员的巡回检查和少量操作的配合下，在集中控制室内通过操作员工作站实现整套系统机组启停、运行工况监视和调整、事故处理等。

**7.3.3** 检测仪表的设置应满足系统安全、经济运行的要求，并能准确检测、显示工艺系

统各设备的运行参数和运行状态。

**7.3.4** 运行中需要进行监视和控制的参数应设远传仪表，供现场检查和就地操作的所必须的参数应设置就地仪表。

**7.3.5** 驱动装置、集热系统及储热系统所需保护系统的检测仪表应双重化设置。

**【条文说明】**部分重要参数或状态信息对于保障聚光型槽式太阳能高温储热系统及设备的安全有重要的作用，应设置双重化检测仪表。如集热器旋转至保护位置时位置信号、集热器工质温度、输送泵停泵信号、输送管失压信号等检测对保障系统及设备安全具有重要意义。

**7.3.6** 用于贸易结算的电度表及热量表等检测仪表应符合有关检定规定。

**7.3.7** 集中控制室的空调、照明、隔热、防火、防尘、防震及噪声抑制等措施应满足控制系统、控制设备对机房环境的要求，并应符合现行国家标准《数据中心设计规范》GB 50174 的规定。

**7.3.8** 电气检测与控制系统应检测以下参量或信息：

**7.3.9** 主供电源及应急电源工作及故障信息、电力参数等。

**【条文说明】**检测参量或信息应包括聚光型槽式太阳能高温储热系统集中电源，集热系统、储热系统、信息系统设备、安全防范系统的主供电源及应急电源工作及故障信息、电力参数。

**7.3.10** 电气设备（或系统）的测量和计量设计应符合现行国家标准《电力装置电测量仪表装置设计规范》GB/T 50036 的规定。

**7.3.11** 控制室电气参数测量宜采用计算机监控系统，就地测量参数可采用常规仪表或综合电力仪表。

**7.3.12** 集热系统宜检测下列运行参数：

- 1** 集热器就地控制器运行参数；
- 2** 集热器执行机构位置及状态参数；
- 3** 导热油温度；
- 4** 导热油压力；
- 5** 导热油循环泵运行参数；
- 6** 导热油膨胀罐、储油罐温度及液位。

**7.3.13** 储热系统宜检测下列运行参数:

- 1** 储热罐压力、温度、液位;
- 2** 储热介质温度、压力、流量;
- 3** 储热介质泵运行参数。

**7.3.14** 检测仪表的选择应符合下列规定:

- 1** 仪表准确度等级应根据仪表用途、形式和重要性选择;
- 2** 仪表结构防护等级应根据所在区域确定;
- 3** 仪表应满足所在环境的防腐、防潮、防爆等要求;
- 4** 测量腐蚀性介质或粘性介质时, 应选用具有防腐性能的仪表、隔离仪表或采用适当的隔离措施。

**7.3.15** 检测仪表的取源部件应设置在能真实反映被测介质参数的工艺设备或管道上。

**7.3.16** 仪表信号及控制线缆宜敷设在电缆桥架或线槽中。

**7.3.17** 检测及仪表系统应具备下列报警功能:

- 1** 工艺系统参数偏离正常运行范围;
- 2** 保护动作及主要辅助设备故障;
- 3** 电源故障;
- 4** 电气设备故障。

**7.3.18** 报警系统应具有自动闪光、音响和人工确认功能, 报警功能范围内的全部报警项目应能在控制室操作员站显示器上显示和打印。

**7.3.19** 聚光型槽式太阳能高温储热系统应对集热场设置下列保护功能:

- 1** 真空集热管超温保护;
- 2** 导热油断流保护;
- 3** 集热器设备要求的其他保护;
- 4** 超最大风速时集热器的安全位置保护。

**7.3.20** 集热器就地控制装置宜采用可编程序控制 (PLC), 控制装置应与集热场控制系统通信。集热器就地控制装置应满足集热场的整体性能要求;

**7.3.21** 聚光型槽式太阳能高温储热系统应设置下列模拟量控制:

- 1 集热场导热油温度调节；
- 2 储热介质流量调节。

## 7.4 信息系统

**7.4.1** 聚光型太阳能高温储热系统应设置管理信息系统，信息系统的  
设计应符合信息安全防护要求。

**7.4.2** 信息系统应保障数据的准确性、一致性和唯一性。

**7.4.3** 信息系统应通过安全的网络接口和数据库设置，实现聚光型槽式太  
阳能高温储热系统全系统的信息收集与管理。

**7.4.4** 信息系统布线设计应符合现行国家标准《综合布线系统工程设计  
规范》GB 50311 的规定。

## 7.5 安全防范系统

**7.5.1** 聚光型槽式太阳能高温储热系统的安全防范系统宜包括入侵报警系  
统、出入口控制系统及视频监控系统。

**7.5.2** 入侵报警系统设防范围宜包括场界围墙（围栏）及重要机房或区域。

**7.5.3** 入侵报警系统设计应符合现行国家标准《入侵报警系统工程设计  
规范》GB 50394 的规定。

**7.5.4** 出入口控制系统的设置范围应包括集热器安装场地及储热系统安装  
场地的出入口、集中控制室、配电室及重要库房（储存间）。

**7.5.5** 出入口控制系统的  
设计应符合现行国家标准《出入口控制系统工程设计规范》  
GB 50396 的规定。

**7.5.6** 视频监控系统应实现场区出入口、熔融盐及导热油储存间及设备区全  
覆盖。

**7.5.7** 视频监控系统设计应符合现行国家标准《视频安防监控系统工程设计  
规范》GB 50395 的规定。

## 8 施工安装

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 聚光型槽式太阳能高温储热系统施工安装应满足下列条件:

- 1 建设单位取得相关的施工许可;
- 2 施工现场具备通电、通水、通路及场地平整等条件;
- 3 施工单位资质、施工人员资格、施工机械、施工材料、计量器具等报送监理单位或建设单位审查完毕;
- 4 施工图经过图审并完成交底, 施工组织方案经过审批。

**【条文说明】**本条规定了太阳能储热系统开工前应具备的一些基本条件。

- 1.建设单位在开工前应办理完毕的必备手续, 包括: 土地规划许可、建筑规划许可、环境影响评价报告、安全性评价、职业健康评价、施工图消防审批、施工许可证等;
- 2.“四通一平”是基本建设项目开工的前提条件;
- 3.只有选择具有相应从业资质的施工单位和工作人员及合格的机械、材料、器具, 才能在工程中控制好施工安全和质量;
- 4.通过图纸会审和设计交底可以熟悉设计图纸、领会并传达设计意图、掌握工程特点, 找出需要解决的技术难点并拟定解决方案, 从而将设计中存在的问题消灭在施工之前。只要认真做好此项工作, 图纸中存在的问题一般都可以在图纸会审时被发现并尽早得到处理, 从而可以提高施工质量、节约施工成本、缩短施工工期、提高效益。施工方案是施工组织设计的重要组成部分, 是指导专项工程施工的纲领性文件, 对确保工程质量、进度和安全, 实现预期经济效益起着重要作用。项目开工前明确质量划分及评定标准, 能够提高工程的质量管理, 规范和统一表格, 促进工程质量的提高, 以满足检查、验收和质量评定的需要。因此, 规定在工程开工前, 以上工作应准备就绪。

**8.1.2** 进入施工现场的设备和材料的规格和性能应符合设计要求, 应提供相应的合格证、说明书、性能检测报告, 附件和备件等应齐全。

**【条文说明】**随设备装箱的技术文件(图纸、说明书、合格证、测试记录等)是系统投运以后设备运行和检修时的重要依据, 应统一收集保管并最终移交给建设单位。

**8.1.3** 隐蔽工程应符合下列规定:

**1** 隐蔽工程隐蔽前，施工单位应进行自验，并填写隐蔽验收记录，自验合格后向监理方提出验收申请；

**2** 经监理工程师验收合格后方可进行隐蔽。

**【条文说明】**为有效控制隐蔽工程的施工质量，杜绝隐蔽工程质量隐患，隐蔽工程在隐蔽前，应会同有关单位做好中间检验及验收记录。

#### **8.1.4** 施工过程记录、相关检测和试验记录应齐全。

**【条文说明】**原始施工记录和检测记录一方面是工程过程的取证，另一方面又是工程验收时的重要依据，同时将作为竣工资料的组成部分，由施工方进行整理和移交，要求资料应完整、齐全。

## **8.2 土建工程施工**

### **8.2.1** 土建工程施工应按照现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300的相关规定执行。

**【条文说明】**现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300 规定了建筑工程各专业工程施工验收规范编制的统一准则和单位工程验收的质量标准、内容和程序等。建筑工程各专业工程施工质量验收规范应该与该标准配合使用。

### **8.2.2** 土建工程施工中使用的主要原材料进场时，应进行下列检测：

**1** 应对原材料品种、规格和外观进行验收，包装应完好，说明书等应齐全；

**2** 钢筋进场时，应按现行国家标准《钢筋混凝土用钢》GB1499。等的规定，抽取试件进行力学性能检验。

**3** 水泥进场时应对其品种、级别和出厂日期等进行检查，并对其强度等性能进行复验，其质量应符合现行国家标准《通用碳酸盐水泥》GB175 的规定。

**【条文说明】**本条参考相应国家标准，要求对一些进场的原材料进行相应的检查验收，以防止不合格材料混入工程建设中。

### **8.2.3** 原材料进场后应分类进行保管，对钢筋、水泥等材料应存放在避雨、雹的干燥场所，并采取各项防护措施。

**【条文说明】**为了防止已经验收合格的建筑材料在仓储过程中发生性能改变，需要根据不同的建筑材料性质来采取防雨淋、防潮甚至密封等不同的措施。

**8.2.4** 混凝土冬季施工应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T104 的相关规定。

**8.2.5** 隐蔽工程包括：混凝土浇筑前的钢筋检查、混凝土基础基槽回填前的质量检查等。隐蔽工程验收应满足本规程第 8.1.3 条的要求。

**【条文说明】**本条说明了隐蔽工程的一些基本项目，其中混凝土浇筑前钢筋工程隐蔽验收包括钢筋的型号、材质、尺寸等；基槽隐蔽验收的项目包括基槽开挖尺寸、土层等；回填土之前的基础隐蔽验收包括混凝土强度等级以及外观质量等。

## 8.3 设备安装

**8.3.1** 太阳能集热器、储热罐及换热设备等运输与保管应符合下列规定：

1 在吊运过程中应采取防倾覆、防震动等安全措施，必要时应将聚光装置等设备和易损元件拆下单独包装运输；

2 设备到场后应进行下列检查：

- 1) 包装及密封应完好；
- 2) 开箱检查，型号、规格等应符合设计要求，附件、备件应齐全；
- 3) 设备的技术文件应齐全；
- 4) 外观检查应完好无损。

3 设备宜存放在室内或能避雨、雪的干燥场所，并采取防护措施。

**【条文说明】**本条规定了设备在运输和保管中的一些基本要求：

1. 在吊、运设备过程中，应采取相应的安全措施，防止设备在运输过程中受损。精密仪表和元件必要时可拆下单独包装运输，以免损坏或变形；

2. 设备到场后应开箱检查，设备型号、规格应符合设计要求，设备无损伤，附件、备件的供应范围和数量符合合同要求；技术文件齐全，技术文件份数可按各厂家规定或合同协议要求配备；

3. 设备保管是安装前的一个重要前期工作，保管过程应有利于以后的施工；应定期对保管的设备进行检查，做好防护工作。

**8.3.2** 设备支架安装前应进行下列准备工作：

1 采用现浇混凝土支撑基础时，应在混凝土强度达到设计强度的 70% 后进行设备

支架安装；

**2** 设备支架到场后应进行下列检查：

- 1) 外观及防腐涂（镀）层应完好无损；
- 2) 型号、规格及材质应符合设计要求，附件、备件应齐全；
- 3) 设备支架安装前应按相关要求对基础及预埋件（预埋螺栓）的水平偏差和定位轴线偏差进行查验和验收。

**【条文说明】**本条规定了支架安装前的准备工作，主要是对支架安装前混凝土强度提出要求。因支架的重量较轻，荷载较小，没有规定支架混凝土强度必须达到 100% 才允许安装支架。同时，针对支架的进场检查及保管提出要求，尤其在西北地区和土壤盐碱含量比较高的地方，如不采取保护措施，极易腐蚀支架的镀锌层。本条还规定了应在支架安装前对土建专业完成的支架基础进行中间交接验收。

**8.3.3 固定支架的安装和紧固应符合下列规定：**

- 1 采用型钢结构的支架时，其紧固度应满足设计要求并符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的相关规定；
- 2 支架安装过程中不应强行敲打，不应气割扩孔；对于热镀锌材质的支架，现场不宜打孔；
- 3 支架安装过程中不应破坏支架防腐层；
- 4 支架倾斜角度偏差不应大于 $\pm 1^\circ$ 。

**【条文说明】**本条对支架的安装提出了要求：

- 1.支架安装和验收主要从紧固度和偏差度两方面考虑，紧固度直接影响组件安装好后的抗风能力，故应严格控制；支架大多采用镀锌件，若破坏了镀锌层，会降低支架的使用寿命，在施工过程中不应对支架气焊扩孔；
- 2.支架的倾斜角度直接影响设备的安装角度，应严格控制在 $\pm 1^\circ$ 范围内；
- 3.支架的安装质量主要取决于基础的安装质量，在前期土建施工过程中应严把质量关，为后续支架安装创造条件。

**8.3.4 补偿器的安装应符合下列规定：**

- 1 补偿量和安装位置应满足设计要求，并应根据设计文件规定的补偿量进行预拉伸或预压缩；

**2** 补偿器一端的管道应设置固定支架, 补偿器形式及具体固定位置应满足设计要求, 并应在补偿器预拉伸或预压缩之前固定;

**3** 设置滑动导向支架的位置应满足设计文件和产品技术文件的要求, 管道滑动轴心应与补偿器轴心保持一致。

### **8.3.5** 太阳能集热器聚光装置安装完成后, 应采取相应防护措施。

**【条文说明】**本条对跟踪式聚光装置的安装提出具体要求。跟踪式聚光装置体积较大, 在安装时一定要将其与基础之间固定牢固, 可以采用焊接方式或者是螺栓连接方式。跟踪式聚光装置采用旋转或推动的方式进行动态跟踪, 其传动、转动部分的灵活性至关重要, 电缆在经过转动部位时应充分考虑预留并固定牢固。对于分散式安装的聚光式跟踪系统, 为了尽量避免损坏聚光镜, 应考虑好安装顺序, 并采取相应保护措施。

**8.3.6** 太阳能集热器、储热罐、换热设备及各类循环泵等安装时除应满足相关设备生产企业的安装要求外, 尚应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300 的规定。

**8.3.7** 集热系统及储热系统中所用的导热油及熔融盐等介质, 其组成成份应满足设计文件要求, 灌注及储存方式应符合产品说明书的规定。

**8.3.8** 高压电器设备安装应符合现行国家标准《电器装置安装 高压电器施工及验收规范》GB50147 的相关规定。

**8.3.9** 电力变压器和互感器的安装, 应符合现行国家标准《电气装置安装工程 电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范》GB50148 的相关规定。

**8.3.10** 电力母线装置的施工应符合现行国家标准《电气装置安装工程 母线装置施工及验收规范》GB50149 的相关规定。电缆线路的施工应符合现行国家标准《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》GB50168 的相关规定。

**8.3.11** 低压电器设备的安装应符合现行国家标准《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》GB50254 的相关规定。

**【条文说明】**对于聚光型太阳能高温储热系统中的许多新型设备, 目前我国尚无施工和验收标准, 但很多常规电气设备的施工及验收, 国家已经有现行的规范、标准, 施工过程中应遵照执行。同时还应按照设计文件及生产企业的要求施工。

## 8.4 监测与控制系统安装

**8.4.1** 控制系统、综合自动化、计量等装置的安装除应满足设计要求和相关产品的技术要求外，尚应符合现行国家标准《电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》GB50171 等相关标准的规定。

**【条文说明】**控制系统、自动化及计量装置的安装及接线在现行国家标准《电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》GB50171 中已有很详细的规定，在施工中应遵照执行。若生产企业针对自己的产品有特殊要求，应符合其要求。

**8.4.2** 安防监控设备的安装应符合现行国家标准《安全防范工程技术规范》GB50348 的相关规定。

**8.4.3** 防雷及接地系统的施工应满足设计文件的要求。

**8.4.4** 环境参数监测设备的安装应符合设计文件要求及产品的技术要求。

## 8.5 设备管道系统保温及防腐

**8.5.1** 集热、储热及换热系统的设备及管道应按设计文件要求进行保温，保温层厚度应满足设计要求。

**8.5.2** 保温材料、防潮层材料及保护层材料等应采用不燃或难燃材料，材质、密度及规格等应满足设计文件要求。

**【条文说明】**本条规定了除绝热材料本身必须是不燃或难燃材料外，其外包的防潮层和保护层也必须是不燃或难燃材料，不得采用牛皮纸铝膜等可燃材料。

**8.5.3** 保温材料进场时，应对其导热系数或热阻、密度、吸水率等性能进行复验，复验应为见证取样检验。同材质的材料，复验次数不得少于 2 次。

**8.5.4** 保温层应满铺，表面应整齐，不得有裂缝、空隙等缺陷。

**【条文说明】**本条对绝热层施工的基本质量要求做了规定。绝热层应满铺无遗漏，其厚度应保证在允许公差范围之内。

**8.5.5** 各类管道表面及支吊架应进行防腐处理，明装部位应刷面漆。

**【条文说明】**油漆可分为底漆和面漆。底漆以附着和防锈蚀的性能为主，面漆以保护底漆、增加抗老化性能和调节表面色泽为主。非隐蔽明装部分的支、吊架，如不刷面漆会使防腐底漆很快老化失效，且不美观。

**8.5.6** 防腐涂料的性能及涂层数应符合设计文件要求，涂料底漆和面漆应配套。

**【条文说明】**本条除规定防腐涂料的性能与涂层层数必须符合设计要求外，还规定涂料的底漆和面漆应能相互兼容，涂料底漆和面漆尽量采用同一生产厂家的产品，以保证防腐工程质量。

**8.5.7** 防腐涂料涂层的涂抹应均匀，不应有堆积、漏涂、皱纹、气泡、掺杂及混色等缺陷。

**【条文说明】**本条对工程中防腐涂料、油漆涂层施工的基本质量要求做了规定。

**8.5.8** 设备、部件及阀门的保温层和防腐涂层不得遮盖铭牌标识和影响部件、阀门的操控功能，经常操作的部位应采用能够单独拆卸的保温结构。

**【条文说明】**油漆或涂刷施工操作中应注意对设备标志的保护与对需要转动部件的防护，以免造成标志无法辨认或转动部件粘连影响正常使用等问题。本条还提出对管道系统中的法兰、阀门等部位的绝热施工应采用单独可拆卸的结构。

## 9 调试与验收

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 聚光型槽式太阳能高温储热系统的调试，应由施工单位负责、监理单位监督、设计单位及建设单位参与配合。系统调试的具体工作也可由施工单位委托具有调试功能的其他单位进行。

**【条文说明】**本条明确规定聚光型高温太阳能储热系统的调试应以施工企业为主，由监理单位监督，设计单位、建设单位参与配合。这个规定符合建筑工程项目管理的基本准则，施工企业应将通过调试，符合设计使用功能的系统交付给业主或业主委托的管理单位。系统调试必须有设计单位的参与，因为工程系统调试是实现设计功能的必要过程和手段，除应提供工程设计的性能参数外，还应对调试过程中出现的问题提供明确的处理和整改意见。至于监理、建设单位参加调试是职责所在，既可起到工程的协调作用，又有助于工程的管理和质量的验收。

当施工企业本身不具备工程系统调试的能力时，也可以将此项工作委托给具有相应调试能力的其他单位或企业。

**9.1.2** 调试前应编制调试方案，并报送监理工程师审核批准。系统调试应由专业施工和技术人员实施。调试结束后，应提供完整的调试报告。

**【条文说明】**本条对系统调试工作做了应编制调试方案的规定。

系统调试是一项技术性很强的工作，调试工作的质量会直接影响到工程系统功能的实现。因此本条规定调试前应编制调试方案，并经监理审核通过后施行。调试方案可指导调试人员按规定的程序、正确的方法与进度实施调试，同时也有利于监理人员对调试过程的监督。

调试方案一般应包括编制依据、系统概况、进度计划、调试准备与资源配置计划、调试方法及工艺流程、调试施工安排、其他专业配合要求、安全操作和环境保护措施等主要内容。

**9.1.3** 调试所使用的仪器仪表应在使用合格检定或校准合格有效期内，精度等级应满足工程要求。

**【条文说明】**本条对调试工作中所使用的仪器、仪表性能和精度做了规定。调试用仪器仪表的性能应满足设计要求并符合规定。

#### 9.1.4 设备和系统调试前应完成所有安装工程。

**【条文说明】**在设备和系统调试前，安装工作应完成并通过验收是最基本的要求。

#### 9.1.5 导热油或熔融盐系统安装结束后，所有设备、管道、阀门应进行严密性试验。

## 9.2 调试

#### 9.2.1 设备和系统工程安装完毕后所进行的系统调试应包括下列内容：

- 1 聚光型集热器等设备单机试运转及调试；
- 2 集热及储热系统非满负荷条件下的联合试运转及调试。

**【条文说明】**系统安装完工后，为了使工程达到预期的目标，按照规定应进行系统的测定和调整(简称调试)。它包括设备的单机试运转和调试及非设计满负荷条件下的联合试运转及调试两大内容。这是必须进行的工艺过程，其中，系统非设计满负荷条件下的联合试运转及调试，还可分为单个或多个子系统(如集热系统、储热系统及换热系统等)的联合试运转与调试，及整个工程系统的联合试运转与平衡调整。

#### 9.2.2 调试前应具备下列条件：

- 1 设备基础应固定牢固，并有可靠的接地；
- 2 与跟踪或转动部位连接的电线电缆应固定牢固并留有适当的长度余量；
- 3 转动部件在转动范围内不应有障碍物。

**【条文说明】**本条对跟踪系统调试的条件提出了具体要求。

1. 跟踪系统部件一般体积较大、高度较高，要求有一定的抗风强度，在调试前应检查跟踪系统固定是否牢固可靠。同时为防止雷击时过电压或电缆线路绝缘受损而使支架带有电位，对人身和设备造成伤害，跟踪系统一定要可靠接地；
2. 跟踪系统上的电缆在经过转动部位时，为防止被卷入或挣断，要固定牢固并充分考虑转动距离，留足余量；
3. 在跟踪系统调试前，应检查转动范围内是否有临时设施阻碍跟踪系统转动，以防止出现设备损坏事故。

#### 9.2.3 设备单机试运转及调试应满足下列要求：

- 1 水泵等设备叶轮旋转方向应正确，应无异常振动和声响，紧固连接部位应无松动，电机运行功率应与设备技术文件要求一致；

- 2 电动调节阀等应操作灵活可靠，信号输出应正确；
- 3 集热装置、储热罐、热交换设备应按设计要求正常运行。

**【条文说明】**本条列举了系统中几种八类设备的单机试运转应达到的技术要求。

#### 9.2.4 储热系统调试应满足下列要求：

- 1 储热介质的种类及性能应与设计文件要求一致；
- 2 在各种运行模式下系统运行应正常、平稳；
- 3 系统各处保护措施应反应灵敏，动作应可靠；
- 4 系统正常运转不少于一个完整的储热—放热循环。

**【条文说明】**本条规定了储热系统联动试运转及调试应达到的要求。

1. 储热介质的性能参数是保证储热系统正常运行的重要环节，应严格按照设计文件及厂家技术文件的要求进行储热介质的选用及充注；
2. 储热系统的运行模式应满足设计文件的要求、各种模式之间应能够正常切换，并按设计文件要求对各运行模式单独进行调试，系统运行应正常、平稳；
3. 各运行模式转换时，系统控制方式应符合设计要求，系统中各种设备(储热装置、泵、阀门等)转换动作应正确，运行应无异常。系统正常运行的合格条件是在最大负荷条件下运行不少于一个储热-放热循环周期。

#### 9.2.5 在手动模式下，通过人机界面等方式，对跟踪系统发出指令，跟踪系统的动作应满足下列要求：

- 1 动作方向应正确，转动装置、转动机构应灵活可靠，无卡滞现象；
- 2 跟踪系统跟踪转动的最大角度和精度应满足设计要求；
- 3 极限位置保护应动作可靠。

**【条文说明】**本条规定了跟踪系统在手动模式下的调试应达到的要求。不同的产品有各自不同的结构和运行方式，但转动灵活、动作可靠、保护准确及满足技术文件要求是必须要达到的。跟踪系统转动时的最大方位角及高度角应满足设计文件要求。为保证跟踪系统在允许范围内转动时不会因超行程对设备造成损坏，要求对极限位置保护进行测试，以保证设备运行的可靠。

#### 9.2.6 跟踪系统在自动模式下，应满足下列要求：

- 1 跟踪精度应与设计文件要求及设备要求一致；

- 2 在风速超过正常工作范围时，跟踪系统应启动避风功能；
- 3 设有避雪功能的跟踪系统，在雪压超出正常工作范围时，应启动闭雪功能；
- 4 跟踪结束后应能够自动返回到跟踪初始设定位置。

**【条文说明】**本条规定自动模式调试前，手动模式的调试应已完成。对于采用主动控制方式的跟踪系统，应在自动模式调试前将参数准确设置完毕。

#### 9.2.7 聚光型太阳能高温储热系统联合试运转及调试应符合下列规定：

- 1 单机设备及主要部件联动应符合设计要求，动作应协调，不应有异常；
- 2 系统运行时，集热、储热、放热等过程应满足相应工况的设计要求；
- 3 自控、计量、检测元件及执行机构工作应正常，系统各项参数的反馈及动作应及时准确。

**【条文说明】**本条对储热系统非设计满负荷条件下的联动试运转及调试的基本质量要求做了规定。

#### 9.2.8 系统调试后，监控设备与系统中检测元件和执行机构应能够正常联通，应能够正确显示系统运行的状态，并完成系统中各设备间的联锁、自动调节和保护等。

### 9.3 验收

#### 9.3.1 聚光型太阳能高温储热系统的工程验收应由建设单位组织，施工、设计、监理等单位参加，验收合格后应提供验收报告。

**【条文说明】**本条规定聚光型太阳能高温储热系统竣工验收应由建设单位负责，组织施工、监理单位项目负责人和设计单位专业负责人，以及施工单位的技术、质量部门人员、监理工程师共同参加，合格后即应办理验收手续。

#### 9.3.2 系统验收前，应完成系统非设计满负荷条件下的联合试运转及调试；验收时，各设备及系统应能够正常运行。

**【条文说明】**本条强调设备及系统应完成调试，设备处于开启运行状态，可以随时进行工程的验收。

#### 9.3.3 验收时间选择应避开雨、雪、风沙等极端天气，应在太阳能集热系统正常运转后进行验收。

#### 9.3.4 验收资料应包括下列内容：

- 1 设计文件会审记录、设计变更通知（如果有）和竣工图；
- 2 主要设备、材料、仪表的出厂合格证明及进场检验（根据需要）报告；
- 3 隐蔽工程验收记录；
- 4 各种设备、管道系统安装及检验合格记录；
- 5 管道系统试压记录；
- 6 设备单机试运转记录；
- 7 系统非设计满负荷联合试运转与调试记录；
- 8 集热、储热及换热系统质量验收记录；
- 9 观感质量综合检查记录；
- 10 消防、安全防范、环保工程检验及验收记录等。

**【条文说明】**本条规定了竣工验收应提供的文件和资料。

#### **9.3.5 整个系统观感质量应符合下列规定：**

- 1 管道保温及防腐系统表面应平整、无破损，连接应合理；
- 2 各类阀门安装位置应正确、牢固、调节灵活、操作方便；
- 3 集热装置、储热罐、换热设备等安装位置应准确。

**【条文说明】**本条规定了聚光型太阳能高温储热系统工程整体观感质量检查项目和合格标准，不同工程应进行针对性的选取。

## 本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 本规程中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为：

“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1** 《安全标志及其使用导则》 GB 2894
- 2** 《常用化学危险品贮存通则》 GB 15603
- 3** 《有机热载体》 GB 23971
- 4** 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 5** 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 6** 《锅炉房设计标准》 GB 50041
- 7** 《供配电系统设计规范》 GB 50052
- 8** 《低压配电设计规范》 GB 50054
- 9** 《数据中心设计规范》 GB 50174
- 10** 《电力工程电缆设计标准》 GB 50217
- 11** 《综合布线系统工程设计规范》 GB 50311
- 12** 《安全防范工程技术标准》 GB 50348
- 13** 《入侵报警系统工程设计规范》 GB 50394
- 14** 《视频安防监控系统工程设计规范》 GB 50395
- 15** 《太阳能供热采暖工程技术标准》 GB 50495
- 16** 《电厂动力管道设计规范》 GB 50764
- 17** 《消防给水及消火栓系统技术标准》 GB 50974
- 18** 《消防设施通用规范》 GB 55036
- 19** 《建筑防火通用规范》 GB 55037
- 20** 《设备及管道绝热技术通则》 GB/T 4272
- 21** 《设备及管道绝热设计导则》 GB/T 8175
- 22** 《压力管道规范 工业管道》 GB/T 20801
- 23** 《有机热载体安全技术条件》 GB/T 24747
- 24** 《信息安全技术网络安全等级保护实施指南》 GB/T 25058
- 25** 《工业和商业用电阻式伴热系统》 GB/T 32348
- 26** 《太阳能熔盐（硝基型）》 GB/T 36376
- 27** 《太阳能热发电站储热系统性能评价导则》 GB/T 41038

- 28** 《太阳能光热发电站储热/传热用工作介质技术要求 熔融盐》 GB/T 44800
- 29** 《电力装置电测量仪表装置设计规范》 GB/T 50036
- 30** 《槽式太阳能光热发电站设计标准》 GB/T 51396
- 31** 《工业企业设计卫生标准》 GBZ 1
- 32** 《导热油加热炉系统规范》 SY/T 0524
- 33** 《熔盐炉技术规范》 HG/T 20658
- 34** 《太阳能热发电厂储热系统设计规范》 DL/T 5622