

ICS 27 160

CCS F12

团 体 标 准

T/CI 111-2022

工业级分布式太阳能蒸汽系统技术 规程

Technical specification for Distributed solar steam system for
industrial applications

2022-11-17 发布

2022-11-17 实施

中国国际科技促进会 发布

目 次

工业级分布式太阳能蒸汽系统技术规程.....	1
目 次.....	1
前 言.....	1
工业级分布式太阳能蒸汽系统技术规程.....	4
1. 适用范围.....	4
2. 规范性引用文件.....	4
3. 术语和定义.....	5
4. 产品形式.....	6
5. 用热需求分析及系统选型.....	7
6. 系统设计.....	8
7. 安装与调试.....	13

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。

本文件由西藏尚阳能源股份有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：西藏尚阳能源股份有限公司、西藏钰邑实业有限公司、北京尚阳能源有限公司、尚阳储能（北京）科技有限公司、柳梧新区库阳环保科技有限公司、中国科学院海洋研究所。

本文件主要起草人：符逸锋、赵国华、江松涛、赵明军、符义民、刘威、李钧、王云峰。

本文件是首次发布。

工业级分布式太阳能蒸汽系统技术规程

1. 适用范围

本文件规定了工业级分布式太阳能蒸汽系统的术语和符号、产品形式、用热需求分析、系统选型、系统设计以及安装与调试。

本文件适用于以液体（导热油或水等）为集热工质，供热温度 110℃ 以上、400℃ 以下，为工业生产提供蒸汽形式热能的太阳能系统的设计与安装。

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 150 压力容器
- GB 50093 自动化仪表工程施工及质量验收规范
- GB 50126 工业设备及管道绝热工程施工规范
- GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
- GB 50171 电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范
- GB 50235 工业金属管道施工规范
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 51348 民用建筑电气设计标准
- GB/T 151 热交换器
- GB/T 1576 工业锅炉水质
- GB/T 3797 电气控制设备
- GB/T 12936 太阳能热利用术语
- GB/T 30724 工业应用的太阳能热水系统技术规范
- GB/T 31163 《太阳能资源术语》
- GB/T 40703 太阳能中温工业热利用系统设计规范
- TSG D0001 压力管道安全技术监察规程-工业管道

TSG G0001 锅炉安全技术监察规程

TSG R0004 固定式压力容器安全技术监察规程

3. 术语和定义

3.1 术语

GB/T12936 《太阳能热利用术语》及GB/T31163 《太阳能资源术语》及以下术语和定义适用于本文件。

3.1.1 工业级太阳能蒸汽系统

solar steam system for industrial applications

应用太阳能集热器阵列、输配系统、供热系统和控制系统等集成技术及设备，为工业生产过程提供蒸汽等形式热能的系统装置。

3.1.2 聚光型太阳能蒸汽系统

Solar steam system with concentrated collector

采用聚光型太阳能集热器作为集热热源的太阳能蒸汽系统。聚光型太阳能集热器主要为槽式太阳能及菲涅尔太阳能集热器。

3.1.3 非聚光型太阳能蒸汽系统

Solar steam system with non-condensing collector

采用非聚光型太阳能集热器作为集热热源的太阳能蒸汽系统。

3.1.4 跟踪型太阳能蒸汽系统

Solar steam system with tracking collector

集热设备以绕单轴或双轴旋转的方式全天跟踪太阳运动的太阳能蒸汽系统。

3.1.5 非跟踪型太阳能蒸汽系统

Solar steam system with non-tracking collector

集热设备全天都不跟踪太阳运动的太阳能蒸汽系统。

3.2 符号

Q —日均用热量，kJ；

m_{vi} —第 i 个用热时间段的蒸汽耗量，kg；

h_v —蒸汽焓值，kJ/kg；

h_w —蒸汽发生器进口水焓值, kJ/kg;
 A_c —直接系统集热器采光面积, m^2 ;
 J_T —当地集热器安装表面上的月均日太阳辐照量, $kJ/(m^2 \cdot d)$;
 f —太阳能保证率;
 η_{cd} —集热器基于采光面积的年或月平均集热效率;
 η_L —管路及系统热损失率;
 A_{IN} —间接系统集热器采光面积, m^2 ;
 U_L —集热器总热损系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;
 U_{hx} —换热器传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;
 A_{hx} —换热器换热面积, m^2 ;
 S —集热器前后排间距, m;
 H —前方集热器的高度, m;
 h —计算时刻的太阳高度角;
 γ_0 —计算时刻太阳能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间的夹角;
 V_e —膨胀罐总容积, m^3 ;
 ρ_1 —加热前集热工质密度, kg/m^3 ;
 ρ_2 —加热后集热工质密度, kg/m^3 ;
 P_1 —膨胀罐管内绝对压力, MPa;
 P_2 —膨胀罐最大允许压力, MPa;
 V_s —系统内工质总容积, m^3 。

4. 产品形式

4.1 系统结构

工业级太阳能蒸汽系统由太阳能集热器阵列、输配系统、供热系统、电气与控制系统组成。

4.2 系统分类

4.2.1 太阳能蒸汽系统按进入集热器采光口的太阳辐射是否改变方向聚集到接收器上可以分为：

- 1 非聚光型太阳能蒸汽系统；
- 2 聚光型太阳能蒸汽系统；

4.2.2 太阳能蒸汽系统按是否跟踪太阳可以分为：

- 1 跟踪型太阳能蒸汽系统；
- 2 非跟踪型太阳能蒸汽系统；

5. 用热需求分析及系统选型

5.1 用热需求分析

5.1.1 工业用热的能量需求设计参数主要包括用热形式、用热量、用热温度、压力、流量等。

5.1.2 系统的蒸汽日用热负荷按公式（5-1）计算。

$$Q = \sum_{i=1}^n [m_{vi} \times (h_v - h_w)] \quad (5-1)$$

式中：

Q —日均用热量，kJ；

m_{vi} —第 i 个用热时间段的蒸汽耗量，kg；

h_v —蒸汽焓值，kJ/kg；

h_w —蒸汽发生器进口水焓值，kJ/kg；

5.2 形式选用

5.2.1 应根据用热工艺过程的特点及工艺技术要求，确定合理的太阳能蒸汽系统形式及控制方案。

5.2.2 工业用热温度大于等于200℃的，应采用聚光集热型太阳能蒸汽系统；用热温度小于200℃的，宜采用非聚光集热型太阳能蒸汽系统。

5.2.3 工业生产终端以水或空气为用热介质时，应采用导热油工质间接式太阳能蒸汽系统；工业生产终端用热介质为导热油时，可采用直接或间接式太阳能蒸汽系统。

6. 系统设计

6.1 基本要素

6.1.1 系统的建设应综合考虑太阳能资源、地理条件、能源价格、工生产用热的工艺需求等多种因素。

6.1.2 系统的分布规模宜按满足方便使用、太阳能充分利用、减少管网热损等原则进行。

6.1.3 太阳能蒸汽系统的设计应满足终端用热的形式、温度、压力以及流量等要求。

6.1.4 太阳能蒸汽系统与辅助能源系统应高效结合，智能控制，且可以单独运行；太阳能系统与辅助能源系统的切换，应在满足用热需求的前提下，实现常规能源的最小消耗。

6.1.5 工业级分布式太阳能蒸汽系统的运行控制，应满足工业用热连续性、稳定性的要求，优先充分利用太阳能。

6.1.6 系统抗风、抗震、防火、防雷以及电气安全使用性能，应满足国家相关标准的要求，并应具有防冻、防过热保护功能。

6.1.7 系统的设计寿命应不低于20年。

6.2 集热器采光面积计算

6.2.1 根据用热量、温度等用热需求，按太阳能集热器采光面积进行系统需求配置计算。

6.2.2 直接系统太阳能集热器采光面积按式（6-1）计算。

$$A_c = \frac{Q \times f}{J_T \times \eta_{cd} \times (1 - \eta_L)} \quad (6-1)$$

式中：

A_c —直接系统集热器采光面积， m^2 ；

Q —日均用热量, kJ;

J_T —当地集热器安装表面上的月均日太阳辐照量, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; 非跟踪式太阳能系统取太阳能总辐照量, 跟踪式太阳能系统取太阳能直射辐照量;

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 & 用户要求等因素综合考虑后确定;

η_{cd} —集热器基于采光面积的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 —管路及系统热损失率, 无量纲, 根据经验值取 0.15~0.25。

6.2.3 间接系统太阳能集热器采光面积按式 (6-2) 计算。

$$A_{IN} = A_c \cdot \left(1 + \frac{U_L \cdot A_c}{U_{hx} \cdot A_{hx}}\right) \quad (6-2)$$

式中:

A_{IN} —间接系统集热器采光面积, m^2 ;

A_c —直接系统集热器采光面积, m^2 ;

U_L —集热器总热损系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 根据测试得出;

U_{hx} —换热器传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 可根据换热器类型查询样本得出;

A_{hx} —换热器换热面积, m^2 。

6.3 集热阵列

6.3.1 太阳能蒸汽系统安装场所的选择应避免集热场受到建筑物或其他障碍物的遮挡; 集热场及设备间的规划与布置应兼顾做到布局紧凑、合理, 集热、供热管网散热损失最小化。

6.3.2 集热器之间的连接采用并联、串联等方式, 集热器阵列间的互相连接应按同程原则进行。

6.3.3 对于非跟踪式太阳能蒸汽系统, 集热器的主要朝向宜为南向。对于全年应用的系统, 集热器的安装倾角宜等于当地纬度; 侧重于夏季使用时, 安装倾角宜等于当地纬度减 10° ; 侧重于冬季使用, 安装倾角宜等于当地纬度加 10° 。对于东西向布置的非跟踪型真空管类集热器, 可以水平安装。

6.3.4 对于跟踪式太阳能蒸汽系统，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。

6.3.5 非跟踪式集热器阵列，集热器前后排间距，按系统侧重全年使用、冬季使用、夏季使用等条件，确定最不利的遮挡日期，由式（6-3）计算。

$$S = H \times \text{ctgh} \times \cos \gamma_0 \quad (6-3)$$

式中：

S —集热器前后排间距，m；

H —前方集热器的高度，m；

h —计算时刻的太阳高度角；

γ_0 —计算时刻太阳能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间的夹角。

6.4 输配系统

6.4.1 太阳能蒸汽系统宜采用导热油作为集热工质。

6.4.2 以导热油作为集热工质时，应满足如下要求：

- 1 导热油的工作温度应满足系统最高集热温度要求；
- 2 应设置导热油膨胀、储存系统。

6.4.3 集热系统宜采用温差循环方式收集太阳能。集热系统的循环温差宜控制在 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 范围内。

6.4.4 导热油作为集热工质时，系统集热循环流量宜按集热器每平方米采光面积 $48\text{kg/h} \sim 70\text{kg/h}$ 取值，循环泵的压力应根据集热系统阻力损失计算结果确定。

6.4.5 集热循环泵的材质应与工作介质相容，工作温度满足集热系统设计最高工作温度需求。

6.4.6 集热循环系统中导热油的流速不应小于 2m/s 。

6.4.7 集热系统膨胀罐应满足工作温度、压力要求，应与工作介质相容；开式系统膨胀罐的容积应不小于系统集热工质在太阳能工作温度下因受热膨胀所增加容积的1.3倍；闭式系统的膨胀罐容积应按式（6-4）进行计算。

$$V_e = \frac{(\rho_1 - \rho_2) \times P_2}{(P_2 - P_1) \times \rho_2} \times V_s \quad (6-4)$$

式中：

V_e ——膨胀罐总容积， m^3 ；

ρ_1 ——加热前集热工质密度， kg/m^3 ；

ρ_2 ——加热后集热工质密度， kg/m^3 ；

P_1 ——膨胀罐管内绝对压力，MPa；取值为管内工作压力加 0.1MPa；

P_2 ——膨胀罐最大允许压力，MPa；

V_s ——系统内工质总容积， m^3 。

6.4.8 集热系统采用导热油作为集热工质，其管路设计应符合以下规定：

- 1 系统管路最高处应设有排气阀，最低处应设有排污阀；
- 2 管路应考虑热补偿设计。为防止导热油泄漏，应选用自然补偿形式；
- 3 设备、仪表和阀门等连接应采用榫槽面法兰，且公称压力不低于 1.6MPa；对于温度高于 300℃的导热油系统，法兰公称压力应不低于 2.5 MPa；法兰宜选用对焊型式；
- 4 系统管路应采用焊接；
- 5 法兰垫片应选用金属缠绕垫或膨胀石墨复合垫；
- 6 阀门应选用不泄漏的波纹管密封阀门；
- 7 与导热油接触的管材均不宜选用铸铁或有色金属材料；
- 8 系统应设有安全阀，安全阀宜选用不泄漏的波纹管密封安全阀；
- 9 采用导热油工质的太阳能集热系统应设置油气分离器；
- 10 导热油系统应设有火灾报警装置。

6.4.9 系统内压力管道的设计应符合TSG D0001《压力管道安全技术监察规程—工业管道》的要求。

6.4.10 系统绝热材料的选用应符合GB 50264《工业设备及管道绝热工程设计规范》的规定。

6.5 供热系统

6.5.1 太阳能蒸汽系统应设置蒸汽发生器。蒸汽发生器的设计应符合下列规定：

- 1 蒸汽发生器的额定蒸发量应与太阳能蒸汽系统的集热量应匹配，根据太阳能系统集热工质的工作压力、工作温度和换热温差特性进行设计；蒸汽发生器的

容量应根据实际用热量、用热时间及太阳能集热量、集热时间的差异进行设计计算；

2 蒸汽发生器按照 GB150《压力容器》、GB/T151《热交换器》进行设计制造，应符合 TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》、TSG R0004《固定式压力容器安全技术监察规程》，并经过压力容器设备备案；

3 蒸汽发生器应配置安全阀，安全阀应与蒸汽发生器的工作温度、压力相匹配，安全阀出口应连接至安全的位置，不应有对人体、设备和环境有安全隐患；

4 蒸汽发生器应选用耐久可靠的液位传感器；

5 蒸汽发生器的蒸汽出口管道设有断阀的，应设置相应的泄压旁路装置；

6 蒸汽发生器宜靠近集热器阵列和用热点布置。

6.5.2 外置换热器应根据太阳能系统单位时间集热量进行设计选型；宜采用结构简单、便于维护清理的管壳式或板式换热器；换热器应符合GB/T 151《热交换器》的要求。

6.5.3 太阳能蒸汽系统给水品质应符合GB/T 1576《工业锅炉水质》的要求。

6.5.4 供热系统与辅助能源结合时，应满足辅助设备的运行要求，且不影响整个系统的供热品质。

6.6 电气与控制

6.6.1 电气系统的配电、线路布置等设计应符合GB 51348《民用建筑电气设计标准》的规定。

6.6.2 电器设备安全应符合GB/T3797《电气控制设备》的规定。

6.6.3 电气控制系统应具备自动控制功能；自动控制系统主要包括集热场的运行控制、安全防护、太阳能系统与辅助热源的切换等，并具备故障报警、停电应急控制等功能。

6.6.4 系统宜采用集中控制，预留远程通信接口。

6.6.5 电气与控制系统的设计应满足使用环境的温度与湿度要求。

7. 安装与调试

7.1 一般要求

- 7.1.1 应选择具备相应安装资质的工程建设单位进行系统施工安装。
- 7.1.2 安装前应编制安装施工组织方案，并通过批准。
- 7.1.3 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。
- 7.1.4 安装进场的所有人员、设备、材料、设施应具有合格证明资料，并符合施工要求的质量、数量、性能指标。
- 7.1.5 安装在建筑物屋顶的太阳能蒸汽系统装置时，不应削弱建筑物承受荷载能力，不应破坏建筑物的防水、结构及相关附属设施。

7.2 安装

7.2.1 集热阵列的安装应符合下列规定：

- 1 在屋顶安装的集热器，应做好防水处理；
- 2 集热器应具备可靠的抗风、防雷等安全使用措施。
- 3 太阳能集热器的连接应符合 GB/T30724 《工业应用的太阳能热水系统技术规范》及 GB/T40703 《太阳能中温工业热利用系统设计规范》的要求。

7.2.2 输配系统的安装应符合下列规定：

- 1 泵应按制造厂家的要求安装，做好接地保护，并做减震处理；
- 2 泵的安装应注意防雨、防潮，在室外安装时应采用全封闭型或设有保护罩；
- 3 膨胀罐、油气分离器等安装应符合设计规定，集热工质为导热油的系统应满足 TSG G001 《锅炉安全技术监察规程》的相关规定；
- 4 管道的安装应符合 GB50235 《工业金属管道施工规范》的规定，焊接施工应符合 GB50236 《现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范》的规定；
- 5 管道保温施工应符合 GB 50126 《工业设备及管道绝热工程施工规范》的规定；
- 6 管道的保温应在系统试运行完毕后进行。

7.2.3 供热系统安装应符合下列规定：

- 1 供热装置、换热装置的安装应符合制造厂家的要求且满足设计文件要求；

- 2 与设备相连的平台、支架应进行防腐处理；
- 3 蒸汽发生器应根据 GB 50126《工业设备及管道绝热工程施工规范》的规定进行保温。

7.2.4 控制系统安装应符合下列规定：

- 1 仪表安装前应进行校准，确认符合设计要求；
- 2 仪表安装施工应符合 GB 50093《自动化仪表工程施工及质量验收规范》的规定；
- 3 电气设施安装应符合 GB 50171《电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》规定的要求；
- 4 电缆线路施工应符合 GB 50168《电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》规定的要求；
- 5 安装在室外的仪表、控制设备等应有防护、抗老化等措施。

7.3 调试

7.3.1 一般规定

- 1 系统安装完毕投入使用前，应进行系统调试；
- 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；
- 3 调试前应将集热器、换热装置、辅助热源等设备及管路内部清理干净；
- 4 设备单机调试主要内容包括：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；
- 5 系统联动调试主要内容包括集热场流量平衡、太阳能与辅助能源的匹配与切换、系统热性能等。

7.3.2 调试运行应符合下列规定：

- 1 集热场应在无阳光照射的条件下注入集热工质；
- 2 以导热油作为集热工质的系统，应进行导热油排气处理；
- 3 调试运行期间应对温度、流量、压力、液位等系统参数进行记录；
- 4 记录各单元设备、控制系统、仪器仪表等运行情况；
- 5 调试运行过程中出现的故障应及时排除，当出现故障造成系统停止运行

时，系统正常后应重新进行试运行；

6 连续试运行时间为 3 天，运行结果应符合设计要求。

全国团体标准信息平台