

T/CIEP

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP XXXX—2024

光热发电熔盐储能系统技术规范

Technical specification of molten salt energy storage system for photothermal power generation

（征求意见稿）

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

中国工业环保促进会 发布

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 工作条件 2

5 总体要求 2

6 技术要求 2

 6.1 熔盐罐 2

 6.2 熔盐泵 2

 6.3 油盐换热器 3

 6.4 仪表和控制 3

 6.5 管道及阀门 4

 6.6 辅助系统 4

7 试验方法 5

 7.1 储能系统整体性能检测 5

 7.2 熔盐罐的检测 5

 7.3 熔盐泵的检测 5

 7.4 油盐换热器的检测 5

 7.5 仪表和控制的检测 5

 7.6 管道及阀门的检测 6

 7.7 辅助系统的检测 6

8 技术文件 6

参考文献 7

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。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

光热发电熔盐储能系统技术规范

1 范围

本文件规定了光热发电熔盐储能系统（以下简称“储能系统”）的总体要求、系统要求、性能要求、安全要求、施工安装、调试验收、操作维护。

本文件适用于光热发电站利用熔盐作为储能介质进行储热的储能系统。

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 3215 石油、石化和天然气工业用离心泵

GB/T 6075.7—2015 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动 第7部分：工业应用的旋转动力泵（包括旋转轴测量）

GB/T 19518 爆炸性环境 电阻式伴热器

GB/T 29529—2013 泵的噪声测量与评价方法

GB/T 32348 工业和商业用电阻式伴热系统

GB/T 40104 太阳能光热发电站 术语

GB/T 40821 太阳能光热发电站换热系统检测规范

GB/T 41087 太阳能光热发电站换热系统技术要求

GB 50235 工业金属管道工程施工规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

熔盐泵 molten salt pump

在熔盐储能系统中，用于循环熔盐的泵。

3.2

熔盐储能系统 molten salt energy storage system

利用熔盐的热物理性质来存储和释放热能的系统。

3.3

熔盐罐 molten salt tank

在熔盐储能系统中用于储存熔盐的密封容器，包括高温熔融盐储罐（简称“热盐罐”）和低温熔融盐储罐（简称“冷盐罐”），热盐罐应具有储存被集热系统加热后的熔融盐的功能，冷盐罐应具有储存经换热器转换冷却后的熔融盐的功能。

3.4

熔盐防凝电加热器 molten salt anti-freeze electric heater

安装在熔盐罐或管道上，用于防止熔盐在低温下凝固的电加热设备。

3.5

蒸汽发生器 steam generator

将熔盐储存的热能转换为蒸汽的热交换设备。

3.6

熔盐泵 molten salt pump

在高温和腐蚀性环境下循环熔盐，保证系统内熔盐的连续流动和热能的有效传输的泵。

3.7

熔盐管道 molten salt pipeline

输送熔盐的耐高温、耐腐蚀管道系统，连接熔盐罐、蒸汽发生器、熔盐泵等设备形成闭合循环。

4 工作条件

储能系统应在以下条件工作：

- 环境温度： $-50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 相对湿度不宜高于 95%。
- 海拔按 1000 m、2000 m、3000 m、4000 m、5000 m 分级。
- 最大风速不宜高于 30 m/s。

5 总体要求

- 5.1 熔盐储能系统包括熔盐罐、熔盐泵、油盐换热器、控制系统、辅助系统。
- 5.2 储能系统应具有存储热能，并向外界提供连续、稳定热能的功能。
- 5.3 储能系统的最大温变速率应满足储罐及油盐换热器等设备疲劳性能的要求。
- 5.4 储能系统应具备在充热过程中将储热介质压力调整至储热系统安全水平的功能。
- 5.5 储能系统有效储热容量应在全年平均气温、平均风速下进行计算。
 - 额定工况下，储热系统热效率应符合以下要求：
 - 当单个储罐容积小于 2000 m^3 时，不应低于 95%；
 - 当单个储罐容积大于等于 2000 m^3 且小于 5000 m^3 时，不应低于 98%；
 - 单个储罐容积大于等于 5000 m^3 时，不应低于 98.5%。
- 5.6 储能系统的充热额定热功率应满足系统前端充热功率的需求，储热系统的放热功率应满足系统后端用热功率的需求。
- 5.7 储能系统及设备寿命不应低于 25 年，全寿命周期内允许完全充放热次数不应低于 15000 次。
- 5.8 在设计工况下，储罐应能长期稳定运行；不同工况切换时，储罐应能安全稳定运行。
- 5.9 储能系统设计压力和温度不应低于正常运行时的最高工作压力和温度。

6 技术要求

6.1 熔盐罐

- 6.1.1 储罐应采用立式圆筒形钢制焊接罐，应能承受 25 年使用年限内正常运行条件下传热工质的腐蚀，冷盐罐材料的腐蚀裕量不应小于 2 mm，热盐罐材料的腐蚀裕量不应小于 1.5 mm。
- 6.1.2 储罐内应具有进盐均布装置，储罐内部的各向盐温应分布均匀，进盐过程中，同一罐体内最高盐温与最低盐温差值不宜超过 $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.1.3 储罐底部对应侧壁位置环墙应设置避免作用于隔热基础顶部集中荷载过大的措施。
- 6.1.4 储罐本体与外部管道宜采用波纹管过渡连接结构。
- 6.1.5 保温材料应采用导热系数小、线膨胀系数小、具有足够抗压强度且耐久性好的材料。宜选用整体性好、不易破损的憎水性制成品；非憎水性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，宜采用预制成型的保温材料。
- 6.1.6 储罐应设置防止熔融盐泄漏扩散的设施，宜采用储罐下沉式布置或储罐周边设置围堤。
- 6.1.7 储罐基础选型应根据储罐的形式、荷载、地基条件、经济合理性等因素综合考虑，宜采用外环墙式基础。
- 6.1.8 储罐基础与罐体之间应设置隔热层等隔热保温措施，并设置通风管等通风散热措施。
- 6.1.9 储罐基础宜在储罐底部与基础隔热层之间设置砂垫层，砂垫层宜采用质地坚硬的中、粗砂。
- 6.1.10 储罐基础应设置泄漏检测装置。

6.2 熔盐泵

- 6.2.1 储热系统的熔融盐泵应包括冷盐泵、热盐泵、调温泵等。

- 6.2.2 冷盐泵应具有向集热系统泵入低温熔融盐的功能，热盐泵应具有向换热系统泵入高温熔融盐的功能，调温泵应具有调节换热系统入口熔融盐温度的功能。
- 6.2.3 熔盐泵宜采用立式悬吊式泵，并应具有在重力作用下完全排空熔融盐介质的功能。
- 6.2.4 熔盐泵电机应采用变频电机，泵应采用调速泵。
- 6.2.5 熔盐泵的流量、扬程、效率、汽蚀余量等技术要求应符合 GB/T 3215 中对于立式悬吊泵的技术要求规定。
- 6.2.6 熔盐泵的振动烈度应符合 GB/T 6075.7—2015 的 1 组要求。
- 6.2.7 熔盐泵的噪声限值应符合 GB/T 29529—2013 中 C 级的规定。
- 6.2.8 熔盐泵的全寿命周期启停次数不应少于 30000 次，并应满足电站每日启动和停止的需求。

6.3 油盐换热器

以导热油作为传热介质的间接储热系统中油盐换热器的型式、性能应符合 GB/T 41087 的要求。

6.4 仪表和控制

- 6.4.1 储热系统的控制应纳入电站主控制系统。
- 6.4.2 储热系统仪表与控制系统应能监测以下内容：
 - a) 温度：储罐内熔融盐、储罐罐壁、储罐罐顶、储罐罐底、熔融盐泵出口母管熔融盐温度、熔融盐泵轴承、电机绕组温度、热盐罐入口温度、冷盐罐入口温度、储热系统除熔盐罐外的设备出入口温度及本体温度、管道、阀门温度、基础通风管温度等；
 - b) 冷盐罐和热盐罐液位；
 - c) 熔融盐泵出口母管流量和压力；
 - d) 熔融盐泵振动烈度；
 - e) 熔融盐泵转速。
- 6.4.3 储热系统应设置以下报警：
 - a) 储罐内液位、温度高低限报警；
 - b) 储罐基础通风管以及基础温度高限报警；
 - c) 储热系统设备、管道、阀门和仪表防凝温度低限报警；
 - d) 熔盐泵监测温度、振动高限报警；
 - e) 熔盐泵超转速和反转报警；
 - f) 电伴热装置、防凝电加热器（如有）超温高限警报和过电流报警。
- 6.4.4 储热系统应具有以下联锁保护功能：
 - a) 熔融盐泵的轴温超限或振动超限时，能自动停机；
 - b) 储罐液位低限时，泵能自动停机；
 - c) 储罐内熔融盐温度及罐体温度与电加热器装置的启停联锁；
 - d) 储热系统内熔融盐温度与电伴热装置的启停联锁。
- 6.4.5 每个储罐应至少配置 3 台液位计且至少 2 台为雷达液位计，液位计应安装在远离泵入口、储罐进盐口等干扰测量的位置，雷达液位计应满足以下要求：
 - a) 防护等级不应低于 IP65 的要求；
 - b) 输出响应时间不应大于 200 ms；
 - c) 测量精度应优于 1 级。
- 6.4.6 罐内熔融盐温度、罐壁温度、罐顶温度、罐底温度、储罐基础、基础通风管、防凝电加热器壳体内部应采用热电偶监测，热电偶应满足以下要求：
 - a) 热电偶精度等级应为 1 级；
 - b) 热电偶应采用焊接插入式保护管。
- 6.4.7 储罐及基础的热电偶布置应符合以下要求：
 - a) 储罐内应至少配置 3 组多点式热电偶测量罐内熔融盐温度，每组热电偶从储罐底部至直筒段最顶部均匀分布，间距不宜大于 2 m，且每组中有 2 个测点与底部接触，即罐底有 6 个测点。
 - b) 储罐罐壁应配置至少 3 层热电偶测量壁温，每层应沿圆周方向均匀分布，且不宜少于 4 个。
 - c) 储罐罐顶应至少配置 8 个热电偶测量罐顶温度。

- d) 通风管外壁面和混凝土上表面应均匀布置热电偶, 相邻热电偶的间距不应大于 5 m, 且总数不应少于 12 个;
- e) 储罐保温基础上表面均匀配置热电偶, 相邻热电偶的间距不应大于 4 m。
- 6.4.8 熔融盐泵出口母管流量应采用流量计进行监测, 流量计应符合以下要求:
 - a) 流量计宜选用超声波流量计;
 - b) 流量计的测量精度应优于 1 级。
- 6.4.9 熔融盐泵出口母管压力应采用压力表、压力变送器等压力监测装置进行监测, 至少配置 1 台, 压力表和压力变送器应满足以下要求:
 - a) 测量精度应优于 1 级;
 - b) 宜选用隔膜式;
 - c) 压力变送器输出响应时间不应大于 200 ms。
- 6.4.10 熔融盐泵的振动烈度应采用振动烈度测量仪进行监测, 每台泵须供振动监测点不少于 3 个, 分别位于泵 X、Y 和 Z 三个方向。
- 6.4.11 熔融盐泵的轴承、电机绕组温度宜采用铂热电阻进行监测, 其精度允差等级应优于 A 级, 每台泵轴承温度测点不少于 2 个, 电机绕组温度测点不少于 3 个。
- 6.4.12 储罐膨胀量应采用位移监控装置进行监测, 其精度应优于 1mm。

6.5 管道及阀门

- 6.5.1 熔盐管道的最小尺寸不宜小于 DN 50。
- 6.5.2 公称直径不大于 DN 80 的熔盐管道坡度不宜小于 3%。
- 6.5.3 熔盐管道内熔融盐介质流速宜为 2 m/s~4 m/s。
- 6.5.4 阀门的选型和布置应避免熔融盐在管道和阀门低点产生积盐。
- 6.5.5 阀门宜设置单独的伴热装置。
- 6.5.6 阀门的设置应满足熔融盐储罐运行与启停, 检修、维护和应急处置等工况变化的要求。
- 6.5.7 阀门应避免采用法兰连接, 宜采用对焊连接。
- 6.5.8 阀门的选型应满足介质温度、压力、流量、流向、严密性的要求。
- 6.5.9 熔盐阀门宜采用耐高温耐熔盐腐蚀的材质。
- 6.5.10 在任何工况下, 阀门填料的最高温度不应超过 400 °C。

6.6 辅助系统

6.6.1 疏放系统

- 6.6.1.1 疏放系统应包括疏盐罐、疏盐泵和配套阀门、管道和仪表等。
- 6.6.1.2 疏放系统应具有将储热系统除储罐外的设备、管道、阀门和仪表中熔融盐介质排放并输送返回至冷/热盐罐的功能。

6.6.2 氮封系统

- 6.6.2.1 冷盐罐、热盐罐、排盐系统、换热器等应根据防爆、抗氧化需求设置氮封系统; 氮封系统应能够避免因氮气的注入而引起的储罐超压, 当氮封系统的设计不能避免因氮气的注入而引起的超压问题时, 应在储罐上设置合理的泄压装置。
- 6.6.2.2 氮封系统中的氮气品质应满足以下要求:
 - 气体含尘颗粒直径 $\leq 3\ \mu\text{m}$;
 - 含尘量 $\leq 1\ \text{mg}/\text{m}^3$;
 - 含油量(压缩空气制氮时) $\leq 1\ \text{ppm}$;
 - 排气压力下露点 $\leq -40\ ^\circ\text{C}$ 。
- 6.6.2.3 氮封系统中的氮气纯度在 99.9% 以上;
- 6.6.2.4 盐罐、换热器氮气压力应稳定在 -400 Pa (g) 至 2000 Pa (g) 之间。

6.6.3 防凝系统

6.6.3.1 防凝系统应具有保证在各种运行工况下,防止熔融盐在储热系统设备、管道、阀门和仪表中发生凝固的能力。

6.6.3.2 所有与熔融盐介质接触的设备、管道、阀门和仪表均应设置防凝装置,防凝装置可采用矿物绝缘(MI)电伴热或其他电加热装置。

6.6.3.3 防凝装置的工作功率不宜小于1.5倍的管道或设备在当地平均风速和平均温度下的表面散热功率,冗余配置功率不宜小于50%工作功率。

6.6.4 预热系统

6.6.4.1 预热系统应具有在熔融盐注入前加热冷盐罐和热盐罐,以保护其免受高温熔融盐损坏的功能。

6.6.4.2 预热设备应采用空气加热方式并应能提供稳定热源,同时能够调节空气温度。

6.6.4.3 预热时,储罐温变温速度不宜超过 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 且不宜超过 $56\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$,整个罐体最高温与最低温相差不宜超过 $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.6.5 电气系统

6.6.5.1 储热系统额定功率200 kW及以上的电动机宜采用中压6 kV(或10 kV)电压等级,200 kW以下电动机采用低压380/220 V电压等级。

6.6.5.2 额定功率2000 kW及以上的电动机、2500 kVA及以上的配电变压器应设置差动保护。

6.6.5.3 储罐区应设置闭合的接地网,与全厂主接地网连接成一个整体。每个储罐本体应至少有两点和接地网可靠连接。

7 试验方法

7.1 储能系统整体性能检测

应按XXX的规定进行。

7.2 熔盐罐的检测

每间隔1 h,记录各测点的温度,当测试过程中液位变化大于50 mm时停止记录,重复3次测量。

7.3 熔盐泵的检测

7.3.1 流量、扬程、效率、汽蚀余量的检测应按GB/T 3215规定的方法进行。

7.3.2 振动烈度检测应按GB/T 6075.7规定的方法进行。

7.3.3 噪声检测应按GB/T 29529规定的方法进行。

7.4 油盐换热器的检测

应按GB/T 40821规定的方法进行。

7.5 仪表和控制的检测

7.5.1 报警检测

7.5.1.1 检测超温报警时,下发降低最高温限值至当前温度以下的指令,观察储热系统是否出现正确报警。

7.5.1.2 检测低温报警时,下发升高最低温限值至当前温度以上的指令,观察储热系统是否出现正确报警。

7.5.1.3 检测过电流报警时,下发增大最大电流限制至当前电流以上的指令,观察储热系统是否出现正确报警。

7.5.2 联锁检测

7.5.2.1 熔融盐泵轴温超限联锁保护检测时,下发降低最高轴温限值至当前轴温以下的指令,观察泵是否停机。

7.5.2.2 熔融盐泵振动超限联锁保护检测时，下发降低泵振动限制至泵当前振动烈度以下的指令，观察泵是否停机。

7.5.2.3 启动电加热器及防凝装置的启停联锁检测按以下步骤进行：

- 当电加热器或防凝装置处于运行状态时，下发降低相应最高温限制至当前相应温度以下的指令，观察电加热器或防凝装置是否停机。
- 在其停机后，下发升高相应最低温限制至当前相应温度以上的指令，观察电加热器或防凝装置是否重新启动。

7.6 管道及阀门的检测

应按GB 50235的规定进行。

7.7 辅助系统的检测

应按XXX的规定进行。

8 技术文件

储能系统技术文件和图纸应至少包括以下内容：

- 管理资料文件；
- 质量文件；
- 安装、运行、维护、检修所需的图纸和技术文件；
- 设计、安装、运行、维护、检修说明书；
- 其他相关的技术文件。

参 考 文 献