

团 体 标 准

T/JSE 3-2025

火电机组高温熔盐储热系统 运行导则 电加热法

Guidelines for the Operation of High-Temperature Molten Salt Thermal
Storage Systems in Fossil-Fired Power Units: Electric Heating Method

2025-4-25 发布

2025-7-1 实施

江苏省能源行业协会发 布

目 次

前 言I

引 言 1

1 范围 2

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 工作原理及系统组成 3

6 运行方式 4

7 系统启动 5

8 系统运行 6

9 系统停运 8

10 事故预防及处理 8

附录 A （资料性）熔盐储热系统工作流程图 10

附录 B （资料性）熔盐储热系统水、汽、盐管道着色规定 11

附录 C （资料性）熔盐储热系统主要参数控制要求 12

附录 D （资料性）典型事故预防及处理 13

前 言

本文件按照GB/T1.1—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。

本文件由江苏省能源行业协会提出。

本文件由江苏省能源行业协会归口。

本文件主要起草单位：江苏国信靖江发电有限公司、江苏省国信研究院有限公司。

本文件主要起草人：李正欣、钱勇武、郑世津、陈宏伟、周飞、丁宏、曹文凯、李存磊、强均、胡高斌、汪涛、蔡西忠、汤若鑫、刘洲、张金国、沈挺、卞仁杰、俞佳俊、蒋柯、张骁尉。

本文件为首次发布。

引 言

目前，火电机组高温熔盐储热技术发展迅速，但火电机组熔盐储热系统的运行没有相关标准。本文件的编制将为火电企业在高温熔盐储热系统的运行指标控制、维护要求、操作注意事项和事故处理原则等方面提供综合技术指导。

火电机组高温熔盐储热系统

运行导则 电加热法

1 范围

本文件规定了火电机组高温熔盐储热系统的工作原理、系统组成、总体要求、运行方式和系统启动、运行、停运的操作流程。

本文件适用于火电机组采用电加热法的高温熔盐储热系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

DL/T 956《火力发电厂停（备）用热力设备防锈蚀导则》

DL/T 5714《火力发电厂热力设备及管道保温防腐施工技术规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

熔盐 molten salt

由一种或多种无机盐在高温下熔融形成的离子化液体，通常指温度高于其熔点的熔融态盐类混合物。

3.2

调峰模式 deep peak regulation

发电机组在电网负荷峰谷差较大时，大幅降低负荷的一种运行方式。

3.3

调频模式 frequency modulation

发电机组通过调整有功出力使电力系统频率恢复到目标频率的一种控制方式。

3.4

熔盐储热系统 molten salt heat-storage system

利用高温熔盐作为储存介质，通过熔盐的蓄热和放热特性，实现能量的存储和释放的系统。

3.5

应急水系统 emergency water supply system

一种的代替熔盐给水系统向预热蒸发器提供水源的系统。

4 工作原理及系统组成

4.1 工作原理

熔盐储热通过显热形式储存热能，利用熔盐的高比热容、宽工作温区（通常 $150^{\circ}\text{C}\sim 565^{\circ}\text{C}$ ）及热稳定性实现能量存储与释放。电加热法是熔盐能量储存以电加热传递的形式完成。电加热器控制装置通过与机组同步接收偏差信号来提高机组的调节性能。熔盐储热系统通过改变电加热功率来改变所耦合机组的上网功率，从而实现与机组的耦合运行。

储热过程：低温熔盐经电加热器加热后温度升高，存入高温熔盐罐。

放热过程：高温熔盐流经过热器、预热蒸发器，释放热量后温度降低，返回低温熔盐罐。

4.2 系统组成

火电机组高温熔盐储热系统工作流程参见附录A。

主要设备包括：高温熔盐罐、低温熔盐罐、高温熔盐泵、低温熔盐泵、电加热器、预热蒸发器、过热器、疏盐罐等。

- a) 高、低温熔盐罐：储存熔盐的罐体。罐内设置浸入式电加热器，防凝固。
- b) 高、低温熔盐泵：用于输送熔盐的设备，能在高温环境下稳定运行。
- c) 电加热器：加热熔盐的设备，采用电加热元件，将低温熔盐加热至所需要的温度。
- d) 预热蒸发器、过热器：将高温熔盐的热能传递给水或蒸汽的换热设备。
- e) 疏盐罐：用于收集电加热器、预热蒸发器、过热器及其相连管道中的熔盐。疏盐罐内安装立式泵，

可将疏盐罐中的熔盐输送至低温熔盐罐中。

5 总体要求

5.1 熔盐储热系统与火电机组耦合运行期间，应优先保证火电机组的安全、稳定运行。

5.2 熔盐储热系统运行时，对应机组高厂变应不超过额定功率运行。

5.3 熔盐储热系统设备保温应满足 DL/T 5714《火力发电厂热力设备及管道保温防腐施工技术规范》要求。

5.4 熔盐储热系统水、汽、盐系统管道应按照规定着色，着色规定参见附录B。

5.5 高温熔盐罐、低温熔盐罐应装设必要的液位、温度的测量监视、温度保护装置和各种自动、联锁装置，并应有参数越限的声光报警显示。

5.6 预热蒸发器、过热器应装设必要的液位、温度、压力、盐侧进出口差压的测量监视、保护装置和各种自动、联锁装置，并应有参数越限的声光报警显示。

5.7 电加热器应装设必要的功率、温度的测量监视、保护装置和各种自动、联锁装置,并应有参数越限的声光报警显示。

6 运行方式

6.1 储热环节运行方式

6.1.1 电加热器负荷控制单元的功率输出方式分为调频模式和调峰模式，应根据火电机组需求切换模式。

6.1.2 调频模式

a) 根据火电机组调频性能的需要，设定电加热器负荷控制单元初始功率。

b) 电加热器功率应跟随火电机组在自动发电控制（AGC）方式下精准调节。

6.1.3 调峰模式

a) 根据火电机组调峰负荷缺口和电加热器负荷，设定调峰负荷。

b) 电加热器应能实现在0~100%额定功率之间稳定运行。

6.2 放热环节运行方式

6.2.1 通过改变高温熔盐流量调节热量释放的速率。

6.2.2 进入换热器的换热介质温度低于熔盐的凝固点温度时，放热环节应退出运行或者切换至应急水系统。

7 系统启动

7.1 系统启动应具备的条件

7.1.1 系统及其设备完好，阀门位置正确，传动正常。

7.1.2 热控装置的仪表、声光报警、设备状态及参数显示正常，保护正常投运。

7.1.3 控制系统工作正常。

7.1.4 与熔盐储热系统耦合的火电机组运行正常。

7.1.5 应急启动系统功能正常。

7.1.5 高温、低温熔盐罐储存的盐量应满足系统运行要求。

7.1.6 遇下列情况之一时，禁止熔盐储热系统启动：

- a) 设备重大缺陷未消除或影响熔盐储热系统启动的检修工作票未终结。
- b) 有热工或电气保护未投入。
- c) 疏盐系统无法正常工作。
- d) 熔盐电伴热系统无法正常投入。
- e) 主要设备、管道保温不满足技术要求。

7.2 系统启动前准备

7.2.1 系统符合7.1要求。

7.2.2 火电机组与储热系统相连的输水系统满足投运条件，各阀门状态正确。

7.2.3 选择火电机组与储热系统相连的输电回路，对应系统联锁保护正常投入。

7.2.4 熔盐给水系统、盐水（汽）换热系统、熔盐储热供电系统、熔盐加热系统、电伴热系统、疏盐系统、充氮系统等系统启动前应进行全面检查。

7.2.5 投入熔盐电伴热系统，监视温升符合系统设计要求。

7.2.6 预热熔盐电加热器。

7.2.7 火电机组热力系统引出水源，进入预热蒸发器系统，进行系统预热；预热温升不高于设备制造厂规定的温升。

7.3 系统启动

7.3.1 启动低温熔盐泵前，电加热器本体温度应高于熔盐凝固点 20℃。

7.3.2 低温熔盐泵宜不低于 20%额定流量或制造厂规定的最低流量运行。

7.3.3 确认系统内的空气排尽后，逐渐增加电加热器电功率，同步缓慢增加低温熔盐流量，增加过程中确保电加热器温升不高于制造厂规定值。

7.3.4 电加热器出口熔盐温度达到自动控制范围时，投入自动。

7.3.5 投入熔盐储热系统火储联合控制模式。

7.3.6 预热蒸发器系统温度高于熔盐凝固点 20℃时，启动高温熔盐泵。

7.3.7 高温熔盐泵宜不低于 20%额定流量或制造厂规定的最低流量运行。

7.3.8 过热器出口蒸汽温度应通过调整过热器进盐量及蒸汽减温水流量控制。

8 系统运行

8.1 正常运行

8.1.1 运行期间，应对设备进行定期巡回检查，重点检查熔盐泵、给水升压泵、电加热器、承压部件、阀门、连接法兰的运行情况。当发现不正常情况时应查明原因，及时消除缺陷。对暂时不能消除的缺陷，应立即通知检修，采取必要措施，防止事故发生。

8.1.2 熔盐储热系统主要参数控制要求参见附录 C。

8.1.3 定期进行有关设备的试验及轮换。

8.1.4 按以下原则进行熔盐储热电负荷调整：

- a) 对应机组的高厂变功率在其额定容量的90%以下时，熔盐储热电负荷变化率，由系统适应能力决定。对应机组的高厂变功率在其额定容量的90%-95%区间，熔盐储热电负荷变化率不超过0.05%机组额定负荷。对应机组的高厂变功率在其额定容量大于95%，熔盐储热电负荷切除。
- b) 熔盐储热电加热系统功率在0~100%额定功率之间变化。
- c) 电加热器出口熔盐温度由电加热器功率模块控制，当电加热器表面温度低于熔盐的分解温度10℃时，电加热器以预热方式运行。
- d) 放热环节的放热量是由外部需求决定。通过高温盐流量控制放热介质的温度，使其满足用户需求。
- e) 升压给水升压泵根据放热介质流量的需求进行控制，一般控制在额定流量的20%~100%。

8.1.5 熔盐罐、预热蒸发器和过热器温升或温降的控制应满足表 1 要求：

表 1：熔盐罐、预热蒸发器和过热器温升或温降的控制要求

项目	参考值
高温熔盐罐温升/降	<5℃/h
低温熔盐罐温升/降	<5℃/h
预热蒸发器温升/降	<3℃/min
过热器温升/降	<3℃/min

8.2 运行中的定期轮换

熔盐储热系统运行中的定期轮换项目见表 2。

表 2：运行中定期轮换项目

项目	轮换周期
备用低温熔盐泵启停	每周
备用高温熔盐泵启停	每周
备用低温熔盐泵切换	每两周
备用高温熔盐泵切换	每两周
备用给水升压泵切换	每两周

8.3 特殊运行

8.3.1 对应机组不能提供合格温度的水源时，停止熔盐储热系统的放热环节运行；或者水源切换至

应急水系统（设计有应急水系统），其他参数控制要求不变。

9 系统停运

9.1 停运

9.1.1 熔盐储热系统停运过程应符合以下要求：

- a) 退出熔盐储热系统火储联合控制模式。
- b) 将高温熔盐罐液位调整至 $50\pm 5\%$ 液位。
- c) 同步降低电加热器功率和低温熔盐流量，并控制电加热器出口温度在正常运行范围。
- d) 依次停运电加热器和低温熔盐泵。开启低温熔盐泵母管再循环阀，排尽管内的存盐。
- e) 同步降低预热蒸发器进水量和高温熔盐流量，停运给水升压泵、高温熔盐泵。开启高温熔盐泵母管再循环阀，排尽管内的存盐。

9.1.2 停运过程中应加强监视储盐罐液位、预热蒸发器液位、熔盐温度等关键参数。

9.1.3 停运过程中确保熔盐电伴热系统正常，避免熔盐凝固。

9.2 疏盐

9.2.1 熔盐储热系统停运后，立即进行疏盐操作。

9.2.2 相应各系统、管道疏盐阀开启，将设备、管道里面的熔盐利用重力自流疏至疏盐罐。

9.2.3 启动疏盐泵，将疏盐罐里的存盐输送至低温熔盐罐。

9.3 停运后保养

9.3.1 熔盐储热设备停（备）用期间，应按照 DL/T 956《火力发电厂停（备）用热力设备防锈蚀导则》的要求进行养护。

9.3.2 对滨海盐雾地区和有腐蚀性的环境，应采取防止设备腐蚀的措施。

9.3.3 对于自然环境温度达到发生冰冻的区域，应预先对停运设备采取有效的防冻措施。盛有液体的容器、管道，要排尽其中的液体。

10 事故预防及处理

10.1 事故处理的基本要求

10.1.1 熔盐储热系统运行期间，优先保证机组的运行安全性；当系统无法有效控制时，首先退出熔盐储热系统与机组耦合状态。

10.1.2 根据仪表显示及设备异常现象判断事故发生的部位。

10.1.3 迅速处理事故，首先解除对人身、设备的威胁，防止事故蔓延。

10.1.4 迅速查清原因，消除事故隐患。

10.1.5 事故处理完毕后，应详细记录事故现象、过程及采取的处理措施等，收集事故发生及处理过程中的有关数据资料，进行故障分析并存档。

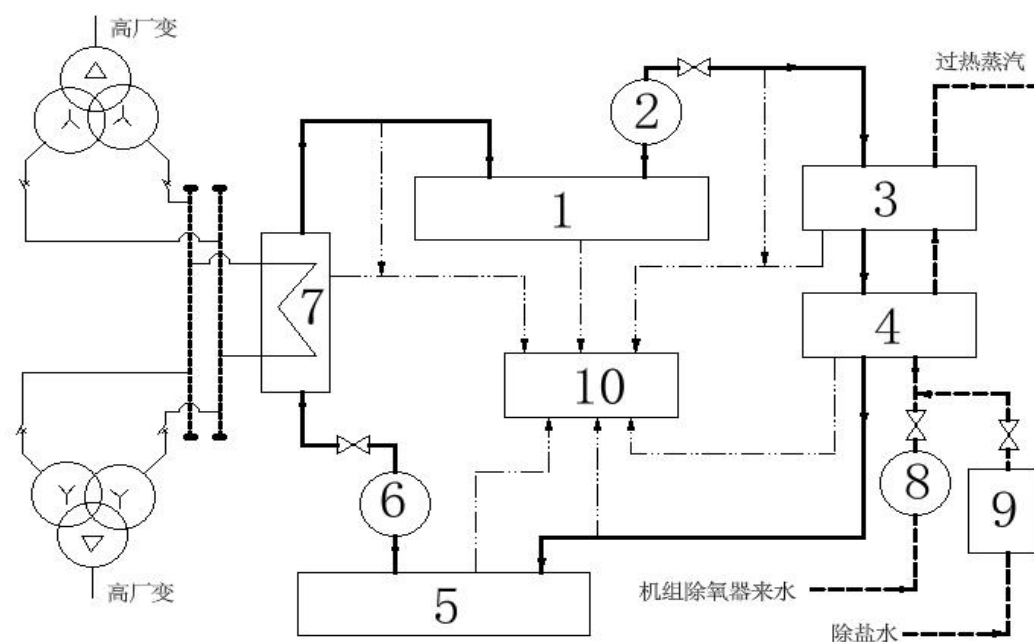
10.2 典型事故预防及处理参见附录 D

附录 A

(资料性) 熔盐储热系统工作流程图

图 A.1 给出了熔盐储热系统工作流程。

图 A.1 熔盐储热系统工作流程



1—高温熔盐罐；2—高温熔盐泵；3—过热器；4—预热蒸发器；

5—低温熔盐罐；6—低温熔盐泵；7—电加热器；8—熔盐给水泵；

9—应急水系统；10—疏盐罐

-----► 水(蒸汽)管路 —————► 熔盐管路 -·-·-·-·-·► 疏盐管路

----- 熔盐电加热小母线

附录 B
(资料性)
熔盐储热系统水、汽、盐管道着色规定

表 B.1 给出了水、汽、盐系统管道的着色规定。

表 B.1 熔盐储热系统水、汽、盐管道着色规定

管道类别	颜色
泵的冷却水管	黑色
熔盐给水管道	红色
熔盐蒸汽管道	红色
熔盐管道	红色
氮气管道	浅灰色

附录 C
(资料性)
熔盐储热系统主要参数控制要求

表 C.1 给出了熔盐储热系统主要参数控制要求。

表 C.1 熔盐储热系统主要参数控制要求

参数名称		限值
低温熔盐罐液位	低报警	$\leq 0.7\text{m}$
	低温熔盐泵停止运行	$\leq 0.5\text{m}$
	高报警	$\geq$ 设计高度的 90%
高温熔盐罐液位	低报警	$\leq 0.7\text{m}$
	高温熔盐泵停止运行	$\leq 0.5\text{m}$
	高报警	$\geq$ 设计高度的 90%
电加热器 热管表面温度	表面温度达到温度 t_1 ，触发高温报警，停止增加功率	$t_1 = \text{熔盐的分解温度} - 20^\circ\text{C}$
	表面温度达到温度 t_2 ，加热器功率减少至预热功率	$t_2 = \text{熔盐的分解温度} - 10^\circ\text{C}$
	表面温度达到温度 t_3 ，停止加热器加热	$t_3 = \text{熔盐的分解温度}$
电伴热温度	电伴热管路检测温度低于 t_4 ，电伴热自动投入	$t_4 = \text{熔盐凝固点温度} + 20^\circ\text{C}$
	电伴热管路检测温度高于 t_5 ，电伴热自动退出	$t_5 = \text{熔盐凝固点温度} + 30^\circ\text{C}$

附录 D
(资料性)
典型事故预防及处理

表 D.1 给出了典型事故预防及处理。

表 D.1 典型事故预防及处理

项目	主要危害	主要现象	主要原因	处理要点	防范措施
机组高厂变分支过流	高厂变分支跳闸, 机组运行工况恶化, 甚至停机。	高厂变分支电流高报警	1) 机组和熔盐电加热器功率均在高负荷阶段。 2) 电加热器功率突增。	1) 高厂变分支电流达到其额定电流的 90%, 控制电加热器负荷变化率不高于机组的 0.05%。 2) 高厂变分支电流达到其额定电流的 95%, 快速降低电加热器功率, 待机组高厂分支电流恢复正常水平后重新投入自动。	1) 高厂变分支电流过流优先切除电加热器功率。 2) 机组负荷超过 90% 额定负荷阶段, 控制电加热器初始负荷不高于其额定功率的 10%。
机组熔盐温度超限	熔盐不稳定成分分解, 配比发生变化, 熔盐凝固点升高。	熔盐温度高报警	电加热器温度控制失常	1) 降低电加热器功率。 2) 增加低温熔盐流量。	电加热器出口熔盐温度达到熔盐分解温度时, 停止熔盐加热。