

ICS 25.180.10  
CCS K 61

# 团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—2023

## 高电压感应加热熔盐装置

High voltage induction heating molten salt installations

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会

发布

СЛЕДСТВИЕ

## 目 次

前 言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 组成部分.....	2
5 技术要求.....	3
6 试验方法.....	6
7 标志、包装、运输和贮存.....	7

CIECCPA

## 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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：西安慧金科技有限公司、中冶赛迪电气有限公司、西安电炉研究所有限公司、西安交通大学、湖南中核热盐有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、中冶陕压重工设备有限公司、北京国镁储能科技有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、北京首航新能源有限公司、胜利油田胜利发电厂、浙江物产环保能源股份有限公司、潍坊昌盛硝盐有限公司。

本文件主要起草人：余维江、李小杰、王卫刚、张琦、毛海、杨斌、干永革、郝亚川、李琨、张永武、王跃社、肖国春、赵晓辉、黎建锋、陈鹏飞、齐志鹏、颜泽、周治、朱超、权琛、管洪军、李廉明、牟邦志。

本文件为首次发布。

# 高电压感应加热熔盐装置

## 1 范围

本文件规定了可直接接入高电压电网运行的,利用电磁感应加热原理对熔盐快速加热的装置(称为高电压感应加热熔盐装置,以下简称感应加热熔盐装置)的组成部分、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于接入电压6kV及以上、加热功率500kW及以上的适用于熔盐储热储能领域的高效、稳定的感应加热熔盐装置。

本文件不适用于通过降压变压器或者感应加热电源,将电网电压降低后再输出到感应加热体的感应加热熔盐装置。

## 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 156 标准电压
- GB/T 311.1-2012 绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则
- GB/T 3906 3.6kV~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备
- GB/T 4879 防锈包装
- GB/T 5048 防潮包装
- GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
- GB/T 5465.2 电气设备用图形符号 第2部分:图形符号
- GB/T 5959.1-2019 电热和电磁处理装置的安全 第1部分:通用要求
- GB 5959.3-2008 电热装置的安全 第3部分:对感应和导电加热装置以及感应熔炼装置的特殊要求
- GB/T 7251.1-2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分:总则
- GB/T 10066.1-2019 电热和电磁处理装置的试验方法 第1部分:通用部分
- GB/T 10067.1 电热和电磁处理装置基本技术条件 第1部分:通用部分
- GB/T 11022-2011 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求
- GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 12668.3-2003 调速电气传动系统 第3部分:电磁兼容性要求及其特定的试验方法
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差
- GB/T 20626.1 特殊环境条件 高原电工电子产品 第1部分:通用技术要求
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波

GB/T 30839.1 工业电热装置能耗分等 第1部分：通用要求

GB 50060-2008 3~110kV 高压配电装置设计规范

GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范

JB/T 4159 热带电工产品通用技术要求

### 3 术语和定义

GB/T 10067.1和GB/T 30839.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**熔盐电储热** molten salt electric thermal storage

利用电加热装置将电能转化为熔盐热能，一定时间后熔盐热能可再次转化利用的技术。

**感应加热熔盐设备（以下简称感应加热设备）** induction heating molten salt equipment

由一个或多个感应加热器及其支撑（柜）以及水电连接等组成对熔盐进行感应加热的设备。

#### 3.2

**感应加热熔盐装置** induction heating molten salt installation

由感应加热设备及在操作和使用中所必须的电气和机械附属设备所组成的成套装置。

#### 3.3

**感应加热熔盐装置效率** efficiency of induction heating molten salt installation

感应加热熔盐装置在额定工况运行时，某一时间段内被加热熔盐的有用焓增量与该装置的有功电耗之比。

#### 3.4

**感应加热熔盐装置能耗** energy consumption of induction heating molten salt installation

感应加热熔盐装置在额定工况运行下进入稳态运行时，将约定种类的单位质量熔盐加热额定温升所需要的总能量，单位为千瓦时每吨（kW h/t）。

注：感应加热熔盐装置能耗为装置供电主电路输入设计的电能消耗，其中包括：高压感应电源、主电路输电线路和感应加热设备的电耗，装置机电附属设备的电耗，如自身配套的风冷系统、水冷系统、电气操作控制和测量系统的电耗。熔盐循环系统的电耗不计入装置能耗。

### 4 组成部分

感应加热熔盐装置由高压配电设备、高压感应电源、感应加热设备、冷却系统和控制系统组成。

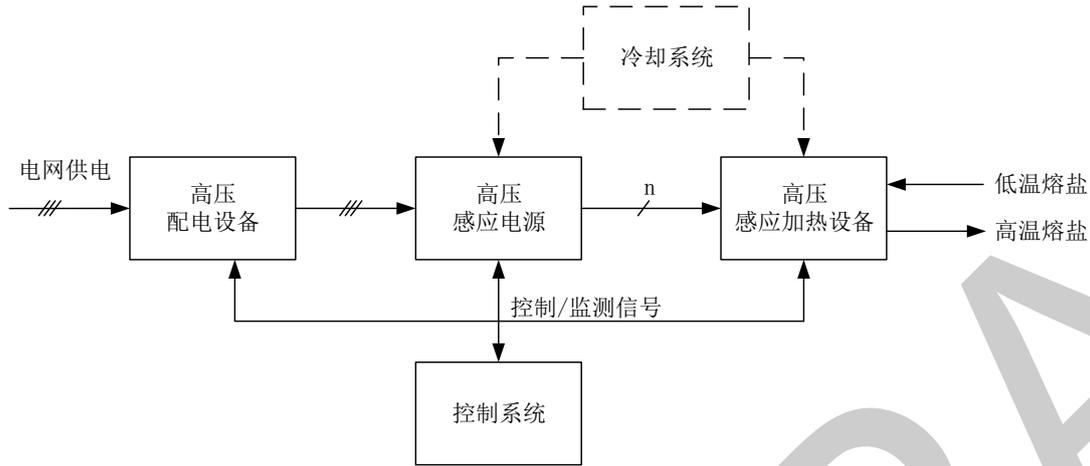


图1 感应加热熔盐装置组成

## 5 技术要求

### 5.1 总体要求

感应加热熔盐装置的设计应遵循“高压小电流可降低损耗、减小线路尺寸、精简配电系统”的原则，利用电磁感应原理实现高电压部件和高温发热部件的电气隔离，提高整个系统的可靠性、安全性、耐用性和使用寿命。设计过程应符合标准化、模块化、简化的原则，器件、配件、线缆应采用技术成熟稳定的产品，电磁感应部件、换热部件及其它结构件的设计应采用标准化的成熟设计。

### 5.2 环境条件

感应加热熔盐装置应按以下环境条件进行设计：

- 海拔不超过 1000m；
- 环境温度在 5℃~40℃范围内；
- 使用地区最湿月最大相对湿度的月平均值不大于 90%，且该月每日最低温度的月平均值不高于 25℃；
- 周围没有导电尘埃、爆炸性气体及可能严重损坏金属和绝缘的腐蚀性气体；
- 没有明显的振动和颠簸；
- 使用场合在热带和高原时，应符合 GB/T 20626.1 和 JB/T 4159 的规定。

### 5.3 系统供电条件

电网条件应满足如下要求：

- 电压偏差应不超过 GB/T 12325 规定的限值；
- 频率偏差应不超过 GB/T 15945 规定的限值；
- 三相电压不平衡度应不超过 GB/T 15543 规定的限值；
- 谐波电压应不超过 GB/T 14549 规定的限值。

### 5.4 温升要求

高压配电设备、高压感应电源、感应加热器的温度应符合GB/T 11022-2011中4.5.2的规定。此外，感应加热器内与熔盐接触的管路温度不应超过熔盐最高使用温度，保温材料温度不应超过该材料长时间使用的最高温度。

### 5.5 接地要求

高压配电设备、高压感应电源、感应加热设备的接地应符合GB/T 50065中的规定。高压感应电源、感应加热设备应设置可靠的适用于规定故障条件的接地端子，该端子有一紧固螺钉或螺栓用来连结接地导体。紧固螺钉和螺栓的直径不应小于12mm。接地连结点应标GB/T 5465.2中规定的“保护接地”符号。与接地系统连结的金属部件和外壳应与接地端子连结。

高压感应电源、感应加热设备应有防止触电的保护设施，金属结构体的架、门和盖等应可靠接地。与接地点相连的保护导体截面积应符合表1的规定。

表1 主接地点的导线截面积

给高压感应电源馈电主导线截面积	主接地点的导线截面积
$S \leq 16\text{mm}^2$	S
$S > 16\text{mm}^2$	$S/2$ ，且不小于 $16\text{mm}^2$

此外，设备运行过程中的接地阻抗，除了与电源、载流导体和接地系统所组成的回路阻抗有关，也与设备运行频率有关。

### 5.6 主回路的电气间隙和爬电距离要求

高压感应电源和感应加热设备中高电压回路的电气间隙应符合GB 50060-2008中5.1.4的规定，爬电距离应符合GB/T 11022-2011中5.14的规定。

低压控制回路的电气间隙和爬电距离应符合GB/T 7251.1-2013中8.3的规定。

### 5.7 高压配电设备要求

高压配电设备的设计应符合GB/T 3906的规定。

高压配电设备至少应包含高电压隔离开关、高电压断路器、接地开关等部件。

为了防护和便于操作，设备内不同元件间应装设联锁。在设计时，应优先考虑机械联锁，任何相应开关装置不正确的试操作不应损坏联锁。

### 5.8 高压感应电源要求

高压感应电源应满足GB 5959.3-2008中第7章的要求。

- 设备功能：可将电网三相电能转换为感应加热设备所需的相数、频率和电压的电能，并通过调整频率或电压实现输出功率的变化，进而控制熔盐的温升；
- 为保证系统稳定可靠运行，应监测以下信号：输入电压、输入电流、输出电压、输出电流、输出频率、柜内关键点温度、控制电源状态；
- 电源应具备以下基本保护功能：输入瞬态过电压保护、输入工频过电压保护、欠电压保护、输入过电流保护、输出瞬态过电压保护、输出过电流保护、输出短路保护、柜内关键点过温保护、冷却系统故障、控制系统故障；
- 谐波要求：高压感应电源的谐波发生量应符合GB/T 14549的规定，间谐波发生量应符合GB/T 24337的规定；
- 外壳防护：电源设备的外壳防护视现场情况而定，一般不低于IP20；
- 效率：满功率运行时效率应不低于97%，在输出功率不低于额定功率的20%时，电源效率应不低于95%；

- g) 功率因数：满功率运行时，电源进线处功率因数应不低于 0.95；输出电压：应符合 GB/T 156 中电气设备的最高电压值的规定；
- h) 电磁兼容：高压感应电源的抗扰度应符合 GB/T 12668.3-2003 中第 5 章的规定，发射应符合 GB/T 12668.3-2003 中第 6 章的规定；
- i) 显示功能：电源应具有显示输出电压、输出电流、输出频率、关键点温度和电源内部整定参数的功能；
- j) 功能接地：电源应设置屏蔽功能（如抗干扰等）的接地，可与安全接地点共用；
- k) 应有防止误操作的功能；
- l) 应设有关键点超温、冷却系统故障、控制系统故障、过流、过载、过热、短路、缺相等保护功能。各种保护动作后，能实现故障自动记录、事故记忆，失电时不丢失数据；故障记录能自动记录各种保护的動作类型、動作时间，如有条件，可实现故障定位。各种故障记录数据能调出并在显示屏显示。

## 5.9 感应加热设备要求

感应加热设备可配置磁轭，用来引导感应线圈外的磁通以减少漏磁通可能对周围金属结构件的加热。磁轭设计应避免被涡流过度加热的风险。

### 5.9.1 可用熔盐要求

设备能满足储能领域常用熔盐的加热需求，如二元硝酸盐（60%NaNO<sub>3</sub>+40%KNO<sub>3</sub>）、三元硝酸盐（53%KNO<sub>3</sub>+40%NaNO<sub>2</sub>+7%NaNO<sub>3</sub>）等，其余特殊盐类的加热可根据用户需求另行设计。

### 5.9.2 熔盐最高加热温度要求

根据不同组分熔盐的理化特性，在熔盐不分解的前提下，可将熔盐加热至上限使用温度。

### 5.9.3 与熔盐接触部件材质的要求

应充分考虑熔盐对感应加热设备内部管路、发热器件腐蚀造成寿命降低的情况。

### 5.9.4 保温材料要求

感应加热设备中应使用保温材料将高温发热体进行保温，保温材料除应具有必要的耐火度和保温性能外，还应具备较高的机械强度、较好的热冲击性能、良好的电气绝缘性能、较小的热膨胀系数、足够的化学稳定性和良好的施工性能。在条件适宜时，应尽量使用低热导率和蓄热量的耐火纤维、纳米孔硅质材料制品。

### 5.9.5 熔盐过热风险

为了防止熔盐在加热过程中发生过热分解，应控制与熔盐直接接触的发热体的温度，直接接触熔盐的发热体的最高温度应低于熔盐最高使用温度，具体安全限值可视具体情况设计。

### 5.9.6 额定流量

感应加热设备的额定流量应和感应加热熔盐装置的额定功率及熔盐的额定温升相匹配。具体关系如式（1）所示：

$$\dot{m} = \frac{P \cdot \eta}{C \cdot \Delta T} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$m$ ——感应加热设备额定质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；

$P$ ——熔盐加热装置额定功率，单位为千瓦（kW）；

$\eta$ ——熔盐加热装置效率；

$\Delta T$ ——熔盐额定温升，单位为摄氏度（℃）；

$C$ ——熔盐在温升范围内的比热容，单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg K)]。

感应加热设备进出口压降应不大于200kPa。

当感应加热设备停用时，内部熔盐介质应能全部排空。

### 5.9.7 保护与监控

应对总进出口熔盐温度、各加热支路出口熔盐温度、熔盐进出口压力、各加热支路发热体关键点温度、线圈温度、绝缘体温度、冷却介质温度等关键参数进行实时监控，保障设备安全运行。

若因感应加热设备的冷却效果不足而对工作人员或对设备的主要部件有损害时，应发出报警信号并自动切断加热电源。

在感应加热设备停止加热后，感应加热设备的强制冷却系统应继续运行，直至感应加热设备内部高温部件冷却至安全温度。

### 5.10 冷却系统要求

高压感应电源和感应加热设备可采用自然冷却、强迫风冷冷却、水冷冷却或其他介质冷却，在额定工况运行时，各部件温升应不超过温升限值。若高压感应电源和感应加热设备均采用水冷，且对水冷系统水质、进出口水温、压力等有不同要求时，它们应分为两个独立的水冷系统。

### 5.11 控制系统要求

应至少提供以下控制接口：

——数字量输入（DI）：电源启动，电源停止；

——数字量输出（DO）：电源运行状态，电源启动就绪，电源报警信号；

——模拟量输入（AI）：将设定功率转换为对应的模拟量输入（0~20mA/4~20mA）；

——模拟量输出（AO）：将实时运行功率转换为对应的模拟量输出（0~20mA/4~20mA）。

同时应提供数字通讯标准接口：

## 6 试验方法

### 6.1 一般要求

感应加热熔盐装置的试验涉及电气、机械、安全、能效和环保等方面。试验类型分为冷态和热态两大类。

### 6.2 冷态试验项目

#### 6.2.1 外观检查

- a) 高压配电设备、高压感应电源的外观检查按照GB/T 11022-2011中7.6的规定进行；
- b) 感应加热设备的外观检查按照GB/T 5959.1-2019中18.5的规定进行。

## 6.2.2 绝缘电阻的测量

感应加热设备需使用2500V兆欧表对所有主回路带电体对地电阻进行测量，测试方式按照GB/T 10066.1-2019中9.3的规定进行。

## 6.2.3 绝缘耐压试验

高压配电装置、高压感应电源、感应加热设备的短时工频耐受电压应符合GB/T 311.1-2012中6.10.4.2的规定，绝缘试验按照GB/T 311.1-2012中的7.2进行。

## 6.2.4 控制电路试验

控制电路试验应按照GB 5226.1的规定进行。

## 6.2.5 冷却系统试验

- a) 首先将冷却液的压力调节到其规定的最低值，冷却液在所有冷却回路内均应畅通；
- b) 然后关闭各冷却回路的出口，把冷却液的压力调节到最高规定值的1.5倍并至少保持5min，过程中应无冷却液渗漏或冷却液压力降低等现象。

对不能承受该试验压力的某些部件或电气元件，应被旁路或拆除。这些部件和装置应按其设计规定，在其制造过程中汇总并单独进行试验。

试验期间应避免较大的压力波动。

## 6.3 热态试验项目

- a) 冷却介质入口与出口处温度的测量；
- b) 感应加热熔盐设备的输入电流、功率和功率因数的测量；
- c) 感应加热设备关键温度点的温度测量；
- d) 熔盐进出口压差测量；
- e) 热态试验后的外观检查。

## 7 标志、包装、运输和贮存

### 7.1 标志

7.1.1 每套感应熔盐装置都应有铭牌，铭牌应固定在设备明显易见的位置上。

7.1.2 铭牌上标示的内容应符合GB/T 5959.1-2019中19.4.1的规定。

7.1.3 电热装置的指示、控制、操作等部分应有必要的表示其名称、位置和状态（方向）、接地等的标志。各种标牌（包括铭牌）应符合GB/T 13306的规定。

### 7.2 包装

7.2.1 产品的包装应符合其运输条件。

7.2.2 产品的包装应符合GB/T 13384中第3章的规定，配套件的包装应符合相应专业包装标准的规定。防锈、防潮包装应分别符合GB/T 4879和GB/T 5048的规定。

### 7.3 运输、贮存和吊装

7.3.1 感应加热熔盐装置的设计应满足GB/T 5959.1-2019中6.8和6.9对于运输、贮存和吊装的要求。超大件的运输在设计过程中应与有关部门事先协商解决。

7.3.2 感应加热熔盐装置的运输应考虑途经隧道、涵洞和桥孔等的尺寸，必要时可拆解成单独的小件、配套件。仪器仪表和电气设备等的运输应按其各自的规定进行。

7.3.3 感应加热熔盐装置经包装后，应妥善存放在相对湿度不超过 90%和通风良好的场所，不得颠倒、侧放。对临时露天存放的包装箱应采取防雨、防潮和防碰撞等措施。

CIECCPA