

## 电加热熔盐储能热力站技术标准

Technical standard for electrically heated molten salt energy storage thermal station

(征求意见稿)

2019-××-××发布

2019-××-××实施

---

中国城镇供热协会 发布

## 前 言

根据中国城镇供热协会标准化委员会《2019年第一批团体标准制订计划的通知》（中热协标委会[2019]1号）的要求，标准编制组在深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准的主要技术内容：1.总则；2.术语；3.设计；4.施工；5.清洗和压力试验；6.工程验收；7.运行维护。

本标准由中国城镇供热协会负责管理，由冀中能源井陘矿业集团有限公司和北京工业大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送冀中能源井陘矿业集团有限公司（地址：河北省石家庄市井陘矿区井阳路10号，邮编：050100，电话：15027760124，邮箱：xiouaytou@163.com）。

本标准主编单位：冀中能源井陘矿业集团有限公司  
北京工业大学

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：本标准主要审查人员：

# 目次

1	总 则	6
2	术语	7
3	设 计	8
3.1	站址选择	8
3.2	系统布置	8
3.3	有效放热量与熔盐量计算	9
3.4	熔盐材料	10
3.5	熔盐罐	10
3.6	熔盐罐基础	12
3.7	熔盐电加热炉	12
3.8	熔盐泵	14
3.9	蒸汽发生器	15
3.10	汽水换热器	15
3.11	管道	16
3.12	电气系统、监测系统及控制	16
4	施工	19
4.1	一般规定	19
4.2	施工安全	19
4.3	熔盐罐及熔盐罐基础的制造与安装	20
4.4	熔盐电加热炉安装	20
4.5	熔盐泵安装	20
4.6	蒸汽发生器、汽水换热器的安装	21
4.7	管道的安装	21
4.8	电气系统、监测系统及控制系统的安装	21
5	清扫和压力试验	22
5.1	一般规定	22
5.2	压力试验	22
5.3	清扫	22
6	工程验收	23
6.1	一般规定	23
6.2	熔盐罐及熔盐罐基础验收	23
6.3	熔盐电加热炉验收	23
6.4	熔盐泵验收	23
6.5	蒸汽发生器与汽水换热器验收	24
6.6	管道验收	24
7	系统（试）运行与维护	25
7.1	一般规定	25
7.2	熔盐初熔	25
7.3	预热	25

7.4 (试) 运行 .....	25
7.5 维护 .....	26
本标准用词说明 .....	27
引用标准名录 .....	28
条文说明 .....	30

# Contents

1	General provisions .....	6
2	Terms .....	7
3	Design .....	8
3.1	Site selection .....	8
3.2	System arrangement .....	8
3.3	Calculation of effective heat discharge capacity and molten salt quantity .....	9
3.4	Molten salt material .....	10
3.5	Molten salt tank .....	10
3.6	Molten salt tank foundation .....	12
3.7	Molten salt electric heating furnace .....	12
3.8	Molten salt pump .....	14
3.9	steam generator .....	15
3.10	Steam water heat exchanger .....	15
3.11	Pipes .....	16
3.12	Systems of Electrical, Monitoring and Controls .....	16
4	Construction .....	19
4.1	General rule .....	19
4.2	Construction safety .....	19
4.3	Manufacture and installation of Molten Salt Tank and Foundation .....	20
4.4	Installation of molten salt electric heating furnace .....	20
4.5	Installation of molten salt pump .....	20
4.6	Installation of Steam generator and steam water heat exchangers .....	21
4.7	Installation of Pipes .....	21
4.8	Installation of Electrical Systems and Monitoring and Controls .....	21
5	Pressure test; cleaning .....	22
5.1	General rule .....	22
5.2	Pressure test .....	22
5.3	cleaning .....	22
6	Project acceptance .....	23
6.1	General rule .....	23
6.2	Acceptance of molten salt tank and Foundation .....	23
6.3	Acceptance of molten salt electric heating furnace .....	23
6.4	Acceptance of molten salt pump .....	23
6.5	Acceptance of Steam generator and steam water heat exchangers .....	24
6.6	Acceptance of Pipes .....	24
7	Commissioning, Operation and Maintenance .....	25
7.1	General rule .....	25
7.2	Initial melting of molten salt .....	25
7.3	Preheat .....	25
7.4	Commissioning and Operation .....	25
7.5	Maintenance .....	26
	Explanation of wording in this standard .....	27
	List of quoted standards .....	28
	Addition: Explanation of provisions .....	30



# 1 总 则

**1.0.1** 为规范电加热熔盐储能热力站的设计、施工和验收工作，做到技术先进、功能完善、经济合理和保证工程质量，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于工业供热、建筑供暖和供生活热水的电加热熔盐储能热力站的设计、施工及验收、运行管理。

**1.0.3** 电加热熔盐储能热力站的设计、施工及验收，除应执行本标准外，还应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语

### 2.0.1 熔盐 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，在高温下熔化后形成离子熔体，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。

### 2.0.2 有效放热量 effective heat release

熔盐储能系统在放热阶段释放的可有效利用的热量总和。

### 2.0.3 熔盐罐 molten salt tank

用于存放熔盐的容器，存放加热升温后的高温熔盐的熔盐储罐为高温熔盐罐，存放换热降温后的低温熔盐的熔盐储罐为低温熔盐罐。

### 2.0.4 熔盐电加热炉 molten salt electric heating furnace

用于加热熔盐流的电加热装置，可将特定流量的低温熔盐加热至指定温度。

### 2.0.5 蒸汽发生器 steam generator

熔盐、空气、导热油、液态金属、固体球等非水传热介质与水进行热交换产生蒸汽的装置。

### 2.0.6 谷电 valley electricity

电力系统根据电网负荷曲线的变化将一天分为峰、谷或峰、平、谷段，对不同时间段的负荷或电量，按不同价格计费电价制度叫峰谷分时电价。价格计费最低时间段内的电能为谷电。

### 2.0.7 电加热熔盐储能热力站 Electric heating station with molten salt thermal energy storage

通过电加热炉将低温熔盐加热为高温熔盐，储存在高温熔盐罐中，在其它时段将储存的热能释放出来，用于工业供热、建筑供暖和供生活热水。



## 3 设计

### 3.1 站址选择

3.1.1 电加热熔盐储能热力站的站址选择应根据城区供热规划、供电规划、土地利用规划、城镇总体规划，结合合理的供电和供热半径、站址的自然环境条件、建设条件和社会条件等因素，经技术经济综合评价后确定。

3.1.2 站址位置应避免自然地形复杂、自然坡度较大的地段，并应避免让重点保护的文化遗产和风景区。站址应充分考虑节约集约用地，并按规划容量确定用地范围。

3.1.3 电加热熔盐储能热力站为所在区域独立热源时，尽可能靠近热负荷中心；当电加热熔盐储能热力站与其它热源并联运行时，应靠近其它热源厂或其对外供热的管网。

3.1.4 当电加热熔盐储能热力站必须设在居民区内，则应通过安全评估后确定。

3.1.5 站址附近应有生产和生活用水的可靠水源，水源宜采用城市自来水。当采用地下水为水源时，应取得当地水资源主管部门的批准。当电加热熔盐储能热力站与城区其它热源并网运行且距离较近时，其水源宜从附近热源厂引接。

3.1.6 电加热熔盐储能热力站应有可靠的防洪措施或与地区（工业企业）的防洪标准相一致，并应高于内涝水位。

3.1.7 站址周边应有满足热力站运行及施工的可靠站用外接电源。

3.1.8 站址选择时应充分利用就近城镇的公共设施。

3.1.9 站址选择应考虑热力站达到规划容量时接入城镇热力管网的出线走廊。

### 3.2 系统布置

3.2.1 电加热熔盐储能热力站系统包括高温熔盐罐、低温熔盐罐、电加热炉、蒸汽发生器、高温熔盐泵、低温熔盐泵、控制系统、供电系统、配套管路及管路附件等（图3.2.1）。

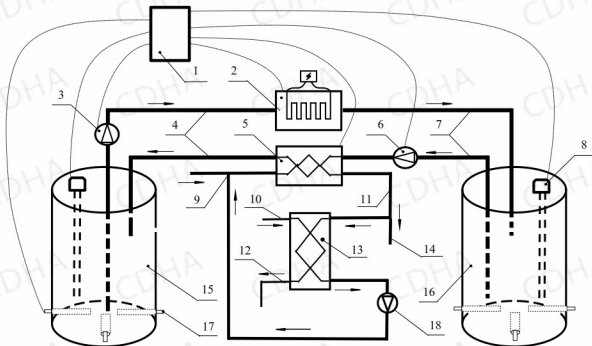


图3.2.1 电加热熔盐储能热力站系统流程示意

- 1—电气、监测、控制系统；2—电加热炉；3—低温熔盐泵；4—低温熔盐管道；  
5—蒸汽发生器；6—高温熔盐泵；7—高温熔盐管道；8—仪表（液位计、温度计）；  
9—蒸汽冷却水及补水管路；10—循环水进水管路；11—蒸汽管路；12—循环水出水管路；  
13—汽水换热器；14—供蒸汽出口；15—低温熔盐罐；16—高温熔盐罐；17—电加热器；18—水泵。

- 3.2.2 熔盐罐储热区应独立布置。熔盐罐宜露天布置，当布置在室内时宜布置在一层或地下。
- 3.2.3 熔盐罐区四周应设置不燃性实体防护堤。防护堤高度不应小于1m，防护堤内有效空余容积不应小于堤内最大单罐容积。
- 3.2.4 变配电设备宜靠近熔盐罐储热区布置，但离高温储热罐和电加热炉的距离不应小于5m。
- 3.2.5 蒸汽发生器和电加热炉应布置于熔盐罐上方。
- 3.2.6 熔盐循环泵组布置区域、蒸汽发生器区域、熔盐加热器区域应留有设备维护检修空间，检修空间大小应根据设备尺寸参数确定。
- 3.2.7 灭火器材、消防栓等消防设备、安全标识、应急灯、消防通道等设施的设计应符合国家有关规定。

### 3.3 有效放热量与熔盐量计算

3.3.1 蓄热设备有效放热量、电加热功率的计算应符合下列规定：

- 1 蓄热设备有效放热量应满足1天（或用户要求时段）的非谷电或非弃风弃光电阶段内的工业供蒸汽、工业建筑供暖、民用建筑供暖和供生活热水的热量总需求；
- 2 当蓄热时段需要供热时，电加热器的功率应同时满足该时段内蓄热和供热负荷的需要；
- 3 蓄热设备的蓄热和放热特性应满足末端系统的需求。蓄热时段内应能完成设计有效放热量的存储。放热时，取出的热量应满足用热需求，放热速率应满足供热需求，且供热温度与压力应稳定；
- 4 系统的有效放热量、电加热额定功率，应根据用热量需求、谷电时长、设备热效率、管网热损失及用热特点进行计算。

3.3.2 供暖热负荷应按现行国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736和《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019的有关规定确定。

3.3.3 当无建筑物设计热负荷资料时，民用建筑的供暖热负荷估算可按现行行业标准《城镇供热管网设计规范》CJJ 34第3.1节的有关规定确定。

3.3.4 当无工业建筑供暖、通风、空调、生活及生产工艺热负荷的原始设计资料时，对现有企业，应采用生产建筑和生产工艺的实际热负荷，并应考虑今后可能的变化；对规划建设的工业企业，可按不同行业项目估算指标中典型生产规模进行估算，也可按同类型、同地区企业的设计资料或实际耗热定额计算。对于改造工程，热负荷宜采用实测和计算相结合的方法确定。

3.3.5 一个蓄放热循环周期内的蓄热量应根据有效放热量确定，按下式计算：

$$Q_s = \frac{Q_d}{\eta} \quad (3.3.5)$$

式中： $Q_s$ ——蓄热量（kJ）；

$Q_d$ ——有效放热量（kJ）；

$\eta$ ——系统的热效率(%)，可取95%。

3.3.6 电加热熔盐储能热力站系统中所需的熔盐量应按下式计算：

$$M_x = \frac{(1+k)Q_s}{c_{p,s} \times \Delta t} \quad (3.3.6)$$

式中： $M_x$ ——熔盐量(kg)；

$Q_s$ ——熔盐蓄热量(kJ)；

$c_{p,s}$ ——熔盐的比热容[kJ/(kg·K)]；

$\Delta t$ ——熔盐高低温蓄热罐的温差(℃)；

$k$ ——熔盐的附加裕量，可取0.2。

### 3.4 熔盐材料

3.4.1 熔盐的熔点应小于 150℃，分解点应大于 550℃。熔盐应为无毒、无放射性、不燃材料。

3.4.2 熔盐应具有物理化学稳定性，分别经过 1000 次 500℃~200℃ 交变试验和 1000h 恒定高温试验(500℃)后，熔盐熔点、分解温度、比热容、导热系数、粘度系数等热物性变化应小于 10%。

3.4.3 熔盐应具有较低的腐蚀性，碳钢试样在 300℃ 低熔点混合熔盐中浸泡的腐蚀率应小于 100μm/a；不锈钢试样在 500℃ 低熔点混合熔盐浸泡的腐蚀速率应小于 100μm/a。

3.4.4 混合熔盐中各组分熔盐的重量浓度应符合表 3.4.4 的规定。

表 3.4.4 各组分熔盐重量浓度

组分	重量浓度(%)		
	优等品	一等品	合格
硝酸盐(硝酸钠, 硝酸钾, 四水硝酸钙, 亚硝酸钠等)	≥99.6	≥99	≥98
氟离子	≤0.03	≤0.10	≤0.60
硝酸镁	≤0.02	≤0.03	≤0.05
硫酸根离子	≤0.01	≤0.10	≤0.75
碳酸根离子	≤0.02	≤0.03	≤0.10
氢氧根离子	≤0.02	≤0.05	≤0.20
不溶物	≤0.01	≤0.03	≤0.05

### 3.5 熔盐罐

3.5.1 熔盐罐容积应符合下列规定：

- 1 低温熔盐罐与高温熔盐罐的容积应相同；
- 2 熔盐罐体积应按下式计算：

$$V = a \times \frac{M_x}{\rho} \quad (3.5.1)$$

式中： $V$ ——熔盐罐体积(m<sup>3</sup>)；

$a$ ——系数， $a \geq 1.2$ ；

$M_x$ ——熔盐量(kg)；

$\rho$ ——最高使用温度下的熔盐密度(kg/m<sup>3</sup>)。

3.5.2 熔盐罐罐体设计应符合下列规定：

- 1 熔盐罐罐体设计使用寿命应大于 30 年；
- 2 熔盐罐罐体采用立式圆筒形结构时，高径比应考虑降低高温熔盐带来的应力集中，应具有较小的面容比；
- 3 高温和低温熔盐罐可采用不同的材料。当熔盐温度小于等于 350℃时，熔盐罐体材质宜采用 Q345R 碳钢，当熔盐温度大于 350℃时，熔盐罐体材质宜采用 321 或 347 不锈钢；
- 4 熔盐罐顶部应有加强结构，并应满足设备安装和检修的要求；
- 5 熔盐罐壁厚应根据设计压力、设计温度确定，并应考虑使用年限和腐蚀速率；
- 6 熔盐罐顶部应设置熔盐泵安装的支撑结构，熔盐罐壁与熔盐罐底连接部位应用加强筋；
- 7 熔盐罐与周围物体的距离应考虑熔盐罐的热膨胀间隙；
- 8 熔盐罐筒体应采用圈焊接，钢板厚度应自下而上依次减薄。

### 3.5.3 熔盐罐底部应均匀布置浸没式加热器，并应符合下列规定：

- 1 浸没式电加热器功率应可将低温熔盐罐内熔盐加热到 300℃，高温熔盐罐内熔盐加热到 500℃；
- 2 浸没式加热器应为套管结构，放射性安装在罐壁上沿径向深入到熔盐罐中心，套管应焊接在离罐底 1m 以下的熔盐罐侧壁，套管应永久浸没在熔盐中；
- 3 套管的壁厚不应小于 4mm，套管材料应兼顾熔盐罐和电加热元件。低温熔盐罐套管应选用 Q295B 合金钢，高温熔盐罐套管应选用 321 或 347 不锈钢。加热器套管应从底部支撑，减少壁面结合处的热弯曲应力；
- 4 在套管的熔盐罐壁外一侧应安装法兰来固定和支撑电加热元件，电加热元件应从套管中抽出进行更换；
- 5 浸没式电加热器应在熔盐罐壁保温系统中配备电源和控制接口。加热器的外伸部分应配备可替换的电绝缘护套。护套壁厚与熔盐罐保温层厚度相匹配；
- 6 浸没式电加热元件表面热流负荷应保证高温熔盐罐套管表面温度不超过 590℃，低温熔盐罐套管表面温度不超过 400℃；
- 7 浸没式电加热器内部的测温元件应按三冗余配置。

### 3.5.4 熔盐罐应设置通风与泄压装置，并应符合下列规定：

- 1 熔盐罐罐顶的最高部位处应设置直径不小于 DN20mm 的通气孔，且在罐项下部沿圆周向应均匀布置环向通气孔，环向通气孔不得少于 4 个。通气孔的总面积应大于或等于 0.06D。通气孔和环向通气孔应设置防雨/雪罩和 3 目~4 目粗钢丝网。
- 2 熔盐罐项应设置公称直径不小于 DN500mm 的人孔，罐壁人孔的公称压力不应小于 Pn6.0，人孔应设有法兰盖。
- 3 人孔法兰盖上应设有真空压力释放阀。真空压力释放阀应有电伴热措施，不得因盐雾凝结堵塞阀门。

3.5.5 每个熔盐罐内应设置熔盐罐入口分布环，并应位于距熔盐罐根部 1m 以下的范围。分布环上的喷口应上喷盐，熔盐应充分混合，不得产生热分层。

3.5.6 熔盐罐之间应设置尾管将低温熔盐泵、高温熔盐泵连接起来，在熔盐罐发生泄漏等紧急情况下应能将低温熔盐罐底部盐直接抽到高温熔盐罐，或将高温熔盐罐根部盐抽到低温熔盐罐。

### 3.5.7 熔盐罐应配备空气加热系统，并应符合下列规定：

- 1 在低温熔盐罐和高温熔盐罐初始充盐时，应对熔盐罐进行预热。在液态熔盐充注

前，熔盐罐内部应被预热到 370℃ 以上，并应维持到液态盐液位高于浸没式加热器为止；

2 在高温熔盐罐长期停运后，再启用时应对应高温熔盐罐进行预热，低液位时不得造成大的热梯度；

3 空气加热系统可采用电或天然气等燃料燃烧加热；

4 在初始充盐时，热空气必须能供给底部，熔盐罐底部、根部和连接处应能被预热；

5 热空气在熔盐罐的进出口应设置在熔盐罐顶部；

6 当空气加热系统停用时，应采用蝶阀或盲板进行密封。

3.5.8 高温熔盐罐应配备电机驱动的浆轮式机械搅拌器，在高温熔盐罐长时间放置时进行搅拌以减少热分层。

3.5.9 熔盐罐应设置温度监测点及温度传感器，并应符合下列规定：

1 应监测熔盐温度和罐内空气温度；

2 温度监测点应靠近罐壁附近沿轴向设置；

3 熔盐温度监测点距罐底应小于 300mm。

3.5.10 熔盐罐整体应进行绝热，并应符合下列规定：

1 绝热应依据当地风速、冬季严寒时期环境温度确定。熔盐罐应按每日温降不大于 3℃~5℃ 进行保温计算，绝热层厚度不宜大于 500mm；

2 熔盐罐顶保温层的强度应满足检修要求。

## 3.6 熔盐罐基础

3.6.1 熔盐罐基础应按国家现行标准《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473 和《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》SH/T 3068 的有关规定，确定熔盐罐基础结构及材料使用。

3.6.2 罐体基础结构应包括基土垫层、钢筋混凝土垫层、被动冷却管、环墙基础、泡沫玻璃和耐火砖绝缘层等。

3.6.3 熔盐罐基座应采用混凝土，底部设计保温层以及承重层应满足罐体和储存熔盐承重、耐热、保温以及膨胀要求。

3.6.4 钢筋混凝土层应为耐火水泥层。

3.6.5 耐火水泥层上应为保温承重外圈和内部保温两部分组成。

3.6.6 保温承重外圈分为上层和下层，下层应为轻质隔热砖，上层应为耐火砖。

3.6.7 内部保温中下层应为泡沫玻璃，上层应为轻质隔热砖。

3.6.8 基础内应设置被动冷却系统。正常运行时，基础温度应小于 90℃。在距离钢筋混凝土顶面 100mm 处布置用于散热的无缝钢管与周围空气连通，无缝钢管间距应为 0.5m~1.0m。

3.6.9 熔盐罐基础底板保温绝热层应安装在被动冷却系统顶部。保温绝热层应由绝热和耐压材料组成。绝热层厚度应根据散热要求和承压能力计算确定，保温绝热层周边表面温度与该处冬季严寒条件下的环境温度差应小于 10℃。

## 3.7 熔盐电加热炉

3.7.1 熔盐电加热炉的布置应满足系统工艺流程、熔盐疏放及运行检修要求。

3.7.2 熔盐电加热炉系统安全性应符合下列规定：

1 当设备安装在室内，应配备足够的通风设施；

2 各类防护罩、盖、栏、护板等安全设施应完备可靠；

- 3 工艺设备标识、仪表、阀门、开关等应处于醒目位置，且应方便人员巡检操作；
  - 4 高温管路及设备应设置高温警示标；
  - 5 保温材料均应为阻燃材料；
  - 6 电加热器及其它用电设施应符合有关安全规范。
- 3.7.3 熔盐电加热炉应由壳体、电加热器、温度控制及液位控制装置组成。
- 3.7.4 熔盐电加热炉的壳体设计应按现行国家标准《压力容器 第3部分：设计》GB 150.3的有关规定执行。
- 3.7.5 熔盐电加热炉的金属电热管应符合现行行业标准《金属管状电热元件》JB/T 2379的有关规定。
- 3.7.6 温度控制柜设计应符合现行国家标准《3.6kV~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》GB 3906和《低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则》GB/T 7251.1的有关规定。
- 3.7.7 炉体设接地保护应符合现行行业标准《立式圆筒钢制焊接储罐防雷规范》Q/SY GD 0222的规定。
- 3.7.8 熔盐电加热炉宜采用直通式熔盐电加热炉。熔盐经过电加热管表面时应能被加热至高温熔盐工作温度设计值，熔盐电加热炉功率按下式计算：

$$P = \frac{Q_t}{3600 \times \tau_g \times \eta} \quad (3.7.8)$$

式中：P——加热功率（kW）；

$\tau_g$ ——谷段时长或弃风弃光时长（h）；

$Q_r$ ——供热总负荷（kJ）。

- 3.7.9 炉体结构形式应为圆筒结构，低温熔盐入口应设置在炉体底部，高温熔盐出口应设置在炉体侧面。
- 3.7.10 炉体内部应设置导流板装置，当熔盐从加热炉内部流过时，应能被充分加热。
- 3.7.11 熔盐加热炉入口和出口之间的压降应小于或等于 50kPa。
- 3.7.12 炉体内胆与外壳直径之间应填充硅酸铝保温层，保温层厚度应大于或等于 400mm。
- 3.7.13 炉体进盐管道、出盐管道均应设置管道伴热装置。
- 3.7.14 首次启动前，管道伴热装置应能将管道预热到高于熔盐熔点温度 40℃以上方可开启低温熔盐泵运行，熔盐不应因遇冷降温凝固堵管。
- 3.7.15 熔盐泵停止运行后，熔盐从炉体下面进液口依靠重力自流回到低温熔盐罐内。
- 3.7.16 炉体材料的材质应符合表 3.7.16 的规定。

表 3.7.16 炉体材料的材质

使用温度 T (°C)	$T \leq 400$	$400 < T \leq 500$	$500 < T \leq 600$
炉体材质	碳钢 (Q345)	304 或 316	347

- 3.7.17 电加热器管应垂直安装在熔盐电加热炉内，加热段最高点应低于熔盐液面 50mm 以下。电热元件应符合下列规定：
- 1 电热元件接线盒的防护等级应大于或等于 IP65；
  - 2 在不拆卸固定板的情况下，电热元件应能独立更换；
  - 3 电热元件换热管壳材质应符合表 3.7.17-1 的规定；

表 3.7.17-1 电热元件换热管壳材质

使用温度 T (°C)	T ≤ 400	400 < T ≤ 600
炉体材料	304	316、310、347

- 4 电热元件电阻丝应采用镍铬合金;
- 5 电热元件绝缘材料的纯度,氧化镁粉应大于或等于 99.5%;氧化铝应大于或等于 95%;
- 6 电热元件表面负荷应小于或等于 2W/cm<sup>2</sup>
- 7 电热元件的功率偏差应为+4%;
- 8 电热元件冷态耐压测试值应按表 3.7.17-2 进行选择;

表 3.7.17-2 电热元件冷态耐压测试值

使用电压 V <sub>b</sub> (V)	0~250	251~600	601~15000
耐压测试要求	1000+V <sub>b</sub>	1000+3V <sub>b</sub>	2000+2.25V <sub>b</sub>

- 9 电热元件冷态绝缘电阻测试值应符合表 3.7.17-3 的规定。

表 3.7.17-3 电热元件冷态绝缘电阻测试值

使用电压 V <sub>b</sub> (V)	V <sub>b</sub> ≤ 500	500 < V <sub>b</sub> ≤ 1000	V <sub>b</sub> > 1000
绝缘电阻表电压等级	500	1000	2500
绝缘电阻值 (MΩ)	≥ 1000	≥ 1000	≥ 1000

3.7.18 熔盐电加热炉温度控制系统宜采用可控硅调功控制。

3.7.19 电加热炉升压时间应符合表 3.7.19 的规定。

表 3.7.19 电加热炉升压时间

使用电压 V <sub>b</sub> (V)	V <sub>b</sub> ≤ 600	600V < V <sub>b</sub> ≤ 15000
升压时间 (s)	≥ 10	≥ 45

3.7.20 温度控制系统宜具备减小对电网冲击的功能。

3.7.21 温度控制系统宜具备单支电热元件的故障检测功能,并应具备就地和远程显示。

3.7.22 电加热炉内温度传感器信号应按三冗余配置。

### 3.8 熔盐泵

3.8.1 熔盐泵组宜选用立式泵,并应符合现行国家标准《石油、石化和天然气工业用离心泵》GB/T 3215 的规定,熔盐泵宜采用立式液下泵,并应采用变频调速。

3.8.2 高、低温熔盐泵数量不应少于 2 台,其中备用不应少于 1 台,一(多)用一备熔盐泵之间应方便切换。

3.8.3 熔盐泵上方应留有足够的空间,并应配备吊装装置。

3.8.4 熔盐泵应配备冷却系统。

3.8.5 熔盐泵吸入口处应加装过滤装置,滤网孔径不应大于叶轮与泵壳间隙的 1/2。

3.8.6 熔盐泵的扬程应根据装置情况确定,并应考虑管道的沿程和局部阻力压力损失、熔盐泵吸入管管口与泵体出口的高度的静压差。扬程应留有余量,可按计算扬程的 1.05 倍~1.1 倍取值。熔盐管道的沿程阻力应按下列公式计算:

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \times \frac{\rho \times v^2}{2} \quad (3.8.6-1)$$

$$\lambda = 0.13 \text{Re}^{-0.028} \quad (3.8.6-2)$$

式中： $h_f$ ——熔盐管内流动的沿程阻力 (Pa)；

$\lambda$ ——摩擦阻力系数；

$l$ ——管道的长度 (m)；

$d$ ——管道的内径 (m)；

$\rho$ ——熔盐的密度 ( $\text{kg/m}^3$ )；

$v$ ——熔盐的流速 (m/s)；

$Re$ ——熔盐的雷诺数。

局部阻力可按沿程阻力损失的 20%取值。

**3.8.7** 熔盐泵的液下深度应根据熔盐罐的高度确定。

**3.8.8** 熔盐泵的功率应根据使用可靠性，选择高效节能的熔盐泵。

**3.8.9** 熔盐泵流量应按下列公式计算：

高温熔盐泵流量：

$$F_h = \frac{\beta \times Q_t}{24 \times c_{p,s} \times \eta \times \Delta t} \quad (3.8.9-1)$$

低温熔盐泵流量：

$$F_l = \frac{\beta \times Q_s}{c_{p,s} \times \eta \times \Delta t \times \tau_g} + F_h \quad (3.8.9-2)$$

式中： $F_h$ ——高温熔盐泵流量 (kg/h)；

$F_l$ ——低温熔盐泵流量 (kg/h)；

$\beta$ ——富余系数。

### 3.9 蒸汽发生器

**3.9.1** 蒸汽发生器的设计应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21 的有关规定。

**3.9.2** 蒸汽发生器宜选用管壳式换热器。

**3.9.3** 蒸汽发生器的液位应具有稳定可调性，蒸汽发生器宜采用中央循环管式的蒸汽发生器，大型系统应设置预热器。

**3.9.4** 介质流程设计应根据实际需要确定熔盐走壳程或管程。

**3.9.5** 蒸汽发生器应安装安全阀、压力表、液位计等附件。

**3.9.6** 蒸汽发生器补水应为软化水，并应符合现行国家标准《工业锅炉水质》GB/T 1576 的有关规定。

**3.9.7** 蒸汽发生器的功率应按熔盐进出口温度、供热负荷、进水温度、蒸汽等参数确定。

**3.9.8** 蒸汽发生器熔盐侧最大设计压力不应低于循环泵的最大水头。熔盐侧最大设计压力应设置过压保护。

**3.9.9** 蒸汽发生器使用寿命不应低于 15 年。

**3.9.10** 蒸汽发生器停止使用时应能全部排空。

**3.9.11** 蒸汽发生器宜采用不锈钢材料，外部应进行保温。

### 3.10 汽水换热器

**3.10.1** 汽水换热器宜采用管壳式换热器或板式换热器。

**3.10.2** 热交换器的设计压力应按相关标准确定。



**3.10.3** 钢制容器的允许使用温度范围应符合现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB 150.2 的有关规定。

**3.10.4** 管壳式热交换器耐压试验方法和试验压力应符合国家现行标准《压力容器 第 1 部分：通用要求》150.1 中的 4.6 的规定，其它结构型式热交换器耐压试验方法和试验压力应符合有关标准的规定。

**3.10.5** 耐压试验的种类和要求应在图样上注明。

**3.10.6** 按压差设计的热交换器，应在图样上提出压力试验升、降压的具体要求。

**3.10.7** 对于管程设计压力高于壳程设计压力的管壳式热交换器，应在图样上提出管头的试验方法和压力。

**3.10.8** 设备法兰应符合现行国家标准《压力容器 第 3 部分：设计》GB 150.3 的有关规定。设备法兰宜选用符合标准《压力容器法兰、垫片、紧固件》NB/T 47020-47027、《浮头式热交换器用外头盖侧法兰》GB/T 29465 有关规定的法兰。接管法兰宜选用符合标准《钢管制法兰（PN 系列）》HG/T 20592、《钢管制法兰（Class 系列）》HG/T 20615 有关规定的法兰。非标设计时宜采用有关标准中的法兰连接尺寸。

### 3.11 管道

**3.11.1** 熔盐管道材料选用及设计应按国家现行标准《熔盐炉技术规范》HG/T 20658 有关规定执行。

**3.11.2** 根据熔盐流量设计选用适宜的管径，流速宜选择 1.0~2.0m/s。

**3.11.3** 为对熔盐温度进行实时监控，设计时应考虑熔盐管道安装温度传感器，可根据用户实际需要安装温度检测点。

**3.11.4** 熔盐管道应采用伴热保温形式。伴热保温宜采用蒸汽夹套伴热或电伴热方式。

**3.11.5** 熔盐管道电伴热带的选用应符合现行行业标准《铠装加热电缆》JB/T 12234 的有关规定。

**3.11.6** 熔盐管道蒸汽夹套伴热的设计应符合现行行业标准《石油化工管道伴管和夹套管设计规范》SH/T 3040、《石油化工全厂性工艺及热力管道设计规范》SH/T 3108 的有关规定。

**3.11.7** 熔盐管道保温层宜采用耐高温的绝热材料，保温材料的耐热温度应在管道最高运行温度+50℃以上，保温材料在运行温度下的导热系数小于 0.12 (W/m.k)，在各设备连接处、法兰和阀门等凸出处的保温层厚度应额外增加。

**3.11.8** 水管道设计及保温的设计应按现行行业标准《城镇供热管网设计规范》CJJ 34 有关规定执行。

### 3.12 电气系统、监测系统及控制

**3.12.1** 电加热熔盐储能热力站系统控制装置宜采用 PLC 控制系统。

**3.12.2** 用电系统应按下列原则确定：

- 1 高压用电系统应采用一段母线接线，每台熔盐电加热器宜采用单母线供电；
- 2 低压用电系统应采用单母线接线，每台低压配电柜宜设置一段母线供电。

**3.12.3** 当功率因数低于 0.90 时，应设无功功率补偿装置。

**3.12.4** 热力站的供电负荷级别和供电方式，应根据工艺要求、系统容量、热负荷的重要性和环境特征等因素，按现行国家标准《供配电系统设计规范》GB 50052 的有关规定确定。

- 3.12.5** 热力站高、低压配电系统宜采用单母线接线，放射式为主的配电方式。
- 3.12.6** 控制屏或控制箱应采用与热力系统成套的设备，并应安装在便于观察和操作的地方。
- 3.12.7** 热力站采用集中控制时，在远离操作屏的电动机旁，宜设置事故停机按钮。当需要在不能观察电动机或机械的地点进行控制时，应在控制点安装指示电动机工作状态的灯光信号或仪表。电动机的测量仪表应符合现行国家标准《电力装置电气测量仪表装置设计规范》GB/T 50063 的有关规定。
- 3.12.8** 自动控制或联锁的电动机，应有手动控制和解除自动控制或联锁控制的措施；远程控制控制的电动机，应有就地控制和解除远程控制的措施；当突然启动可能危及周围人员的安全时，应在机械旁设置启动预告信号和应急断电开关或自锁按钮。
- 3.12.9** 电气线路宜采用穿金属管或电缆布线，并不宜沿熔盐罐、熔盐管道或其它载热体表面敷设。当需要沿载热体表面敷设时，应采取隔热措施。
- 3.12.10** 控制室、变压器室和高、低压配电室，不应设在潮湿的生产房间、淋浴室、卫生间、用热水加热空气的通风室和输送有腐蚀性介质管道的下面。
- 3.12.11** 热力站各房间及构筑物地面上人工照明标准照度值、显色指数及功率密度值，应符合现行国家标准《建筑照明设计标准》GB 50034 的有关规定。
- 3.12.12** 熔盐储罐及熔盐管道应有静电接地装置，当其管道为金属材料，且与防雷或电气系统接地保护线相连时，可不设静电接地装置。
- 3.12.13** 配电装置的选型应符合下列规定：
- 1** 配电装置宜采用金属封闭式开关设备；
  - 2** 高压配电装置应符合国家标准《3~110kV 高压配电装置设计规范》GB 50060 的有关规定；
  - 3** 在海拔超过 1000m 的地区，配电装置的电器及绝缘产品应符合国家标准《特殊环境条件 高原用高压电器的技术要求》GB/T 20635 的有关规定。
- 3.12.14** 热力站的继电保护和安全自动装置的设计应符合现行国家标准《继电保护和安全自动装置技术规程》GB/T 14285 的有关规定。
- 3.12.15** 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 的有关规定。
- 3.12.16** 过电压保护及接地系统应符合下列规定：
- 1** 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合应符合现行国家标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB 50064 的有关规定；
  - 2** 建（构）筑物防雷设计应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的有关规定；
  - 3** 交流电气装置的接地设计应符合现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065 的有关规定。
- 3.12.17** 热力站应实现自动控制，实现对液位、温度、流量、压力等关键参数进行实时监测。
- 3.12.18** 熔盐罐应设有罐内液位监测、温度监测、超温报警保护等传感器，参与联锁控制；罐内浸没式加热装置应具有手动、自动投入功能，参与联锁控制。
- 3.12.19** 熔盐电加热炉应设有液位监测、温度监测、超温报警保护等传感器，参与联锁控制。
- 3.12.20** 熔盐泵应设有变频调节器、运行温度监测及保护传感器与冷却装置联锁，参与系统联锁控制。
- 3.12.21** 蒸汽发生器应设有蒸汽压力、温度、水位传感器，具有超温、超压报警保护传感器，

参与联锁控制，实现自动补水功能。

**3.12.22** 汽水换热器应设有温度、液位传感器，具有压力报警保护传感器，参与联锁控制。

**3.12.23** 熔盐管路应设有温度传感器、防凝蒸汽或电伴热装置。

**3.12.24** 供回水管路，应有温度、压力、阀门开度等传感器，具备远程控制功能，参与联锁控制。

**3.12.25** 系统应具备手动、自动、远程、就地控制功能。

**3.12.26** 系统应有通讯接口。

**3.12.27** 系统应有一组及以上独立的且与温控系统并行的高温极限值断电保护系统。

## 4 施工

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 工程开工前应根据工程规模、特点和施工环境条件，确定项目组织机构及管理体系。
- 4.1.2 工程开工前应编制施工组织设计，并应经有关单位审批后方可组织施工。
- 4.1.3 对危险性较大的分部分项工程应编制专项方案，并应经专家论证。
- 4.1.4 压力管道施工前，施工单位应向管道安装工程所在地的质量技术监督部门办理书面告知，并应接受监督检验单位的监督检验。
- 4.1.5 工程开工前，应根据国家环境保护法律法规和工程项目情况，制定保护环境、减少污染和其它环境公害的措施。
- 4.1.6 工程开工前应进行设计交底。
- 4.1.7 工程开工前应取得设计文件、工程地质和水文地质等资料，并应进行图纸会审和设计交底会。施工单位应熟悉和审查施工图纸，掌握设计意图和要求，发现施工图有疑问、差错时，应及时提出意见和建议；如需变更设计，应按照相应程序报审，经相关单位签证认定后实施。
- 4.1.8 工程开工前应组织施工管理人员踏勘现场，了解工程用地、现场地形、道路交通以及邻近的地上、地下建（构）筑物和各类管线等情况。
- 4.1.9 工程开工前应结合工程情况对施工人员进行技术培训。

### 4.2 施工安全

- 4.2.1 施工前应编制安全技术措施方案和应急预案，并应经有关单位审批通过后方可进行施工。
- 4.2.2 施工现场应根据作业对象及其特点和环境状况，设置安全防护设施。安全防护设施应可靠、完整，警示标志应醒目。
- 4.2.3 施工现场夜间必须设置照明、警示灯和具有反光功能的警示标志。
- 4.2.4 施工现场宜采用封闭施工，并应符合下列规定：
- 1 围挡高度不得小于 1.8m；
  - 2 护栏高度不得小于 1.2m。
- 4.2.5 高空作业应有可靠的防护设施，作业人员应佩戴安全带（绳）。
- 4.2.6 施工中设置的临时攀登设施应符合下列规定：
- 1 直梯高度不宜大于 5m，直梯踏步高度宜为 300mm，梯子净宽不宜小于 400mm。当直梯高度大于 2m 时应加设护笼；当直梯高度大于 5m 时应加设休息平台，休息平台面积不宜小于 1.5m<sup>2</sup>。
  - 2 斜梯的垂直高度不宜大于 5m，宽度不宜小于 700mm，坡度不宜大于 60°。踏步高度不宜大于 250mm，宽度不宜小于 250mm。梯道临边一侧应设护栏，高度应为 1.2m，立柱水平距离不宜大于 2m，横杆间距应为 500mm~600mm，并应设置护网。
  - 3 梯子上端及梯脚应安置牢固，梯子上端应设置高度为 1.0m~1.2m 的扶手。

### 4.3 熔盐罐及熔盐罐基础的制造与安装

4.3.1 熔盐罐分为高温熔盐罐与低温熔盐罐，其罐底、罐壁、固定顶及附件的制作、焊接、组装及修补应按照国家现行标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定执行。

4.3.2 熔盐罐基础施工应按国家现行标准《石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528、《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》SH/T 3068、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

### 4.4 熔盐电加热炉安装

4.4.1 熔盐电加热炉按照本标准第 3.7 节相关要求进行安装定位。

4.4.2 安装电加热炉体支撑体放置的安装面必须坚实、平整，地脚螺栓紧固牢靠，防止炉体的移动和倾覆，用螺栓可靠固定。

4.4.3 安装加热器时，加热器下端与槽底应留出 60mm~120mm 距离以便清除槽内脏物并作为元件的膨胀间隙。

4.4.4 加热器与熔盐电加热炉孔的间隙应用石棉绳填实，熔盐最高液面不应低于元件加热的有效高度，元件有效高度要有红线标志。

4.4.5 断电状态下进行接线，接入电加热器的电缆线均应为耐高温阻燃外套防护软管。

4.4.6 电加热炉按系统要求，进口、出口分别接上相应管道，接口方式宜采法兰连接；安装并接入液位、温度、超温保护等传感器。

4.4.7 线路接线盒内外接地应可靠有效。

4.4.8 检查电源线、输出连线、传感器线等连接是否正确；控制柜元器件、紧固件是否有松动；检查电源有无短路；以上检查全部通过后方可通电。

4.4.9 检查接线无误后，用兆欧表测量电加热器的对地绝缘电阻是否良好（ $\geq 5M\Omega$ ），用万用表测量加热器三相电阻是否平衡准确，完成检测后密封接线盒。

4.4.10 设备接线及接地保护应按现行国家标准《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》GB 50169 的有关规定执行。

### 4.5 熔盐泵安装

4.5.1 熔盐泵的安装应符合国家现行标准《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB 50275 的有关规定。

4.5.2 泵的吸入口到容器底部之间距离为吸入口径的 2 倍~3 倍。泵体与器壁距离应大于吸入口径的 2.5 倍。

4.5.3 检查泵轴和电机轴的同心度，上下联轴器外圆左右差数不得超过 0.1mm，联轴器端面间隙保持 1mm~2.5mm。

4.5.4 泵的出液管道，应另设支架支撑，其重量不应支撑在泵上。

4.5.5 完成接线后，点启动电机，检测电机的旋转方向，使泵的旋转方向符合指示方向。

4.5.6 熔盐泵接入通冷却系统，接入相关温度监测及保护传感器。

4.5.7 检查泵和电机的情况，确保轴承温升不超过 75℃，轴承盒内应加足够润滑脂。

## 4.6 蒸汽发生器、汽水换热器的安装

4.6.1 换热器设备安装应按国家现行标准《石油化工换热设备施工及验收规范》SH/T 3532 和《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236 的有关规定执行。

4.6.2 整体换热器安装：根据现场条件采用叉车、滚杠等将热交换器运到安装位置，采用汽车吊、悬吊式滑轮组等设备机具将换热器吊到支架或支座上，同时进行设备的定位复核。

4.6.3 组装式换热器安装：组装的顺序一般是由下向上，先主件后附件。先将主部件放到支架上，按安装尺寸调整好位置和方向，再吊装附件进行连接。组装换热器的各部件间大多是法兰连接，法兰连接工艺同法兰阀门安装，根据介质的温度和压力确定密封件。组对部件时要同时关注几个法兰的对口情况，以保证全部接口的正确和严密，同时也要保证换热器整体的水平度和垂直度。

## 4.7 管道的安装

4.7.1 熔盐管道的安装应按国家现行标准《熔盐炉技术规范》HG/T 20658 的规定执行。

4.7.2 按设计要求在熔盐管道上温度检测点安装温度传感器。

4.7.3 水管道安装应按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 有关规定执行。

## 4.8 电气系统、监测系统及控制系统的安装

4.7.1 电气系统的安装应按国家现行标准《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》GB 50254 的有关规定执行。

4.7.2 监测系统仪表传感器的安装应按国家现行标准《自动化仪表工程施工及质量验收规范》GB 50093 的有关规定执行。

4.7.3 控制系统的安装应按国家现行标准《石油化工仪表工程施工质量验收规范》SH/T 3551 有关规定执行。

## 5 清扫和压力试验

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 电加热熔盐储能热力站各设备及管路在安装完成后应进行清扫和压力试验。
- 5.1.2 热力站各设备及管路的清扫和压力试验，如无特殊要求时应按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 的有关规定执行。
- 5.1.3 开展清扫及压力试验时应设安全区域及巡视人员，无关人员不得进入试验区。人员与试验管道的防护警戒距离应符合现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ28 的有关规定。
- 5.1.4 电加热熔盐储能热力站各设备清扫和压力试验应在单项验收前进行。
- 5.1.5 所有设备及管路的清扫和压力试验完成后应留有清扫记录和试验检测记录。

### 5.2 压力试验

- 5.2.1 熔盐罐应进行严密性试验，检查无泄漏为合格，当设计无要求时应按现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定执行。
- 5.2.2 熔盐电加热炉、蒸汽发生器及汽水换热器的购置资料应含有严密性试验或压力试验测试报告；如有必要，可在安装完成后再次进行严密性试验或压力试验，试验方式宜按设备厂家提供检测方案执行。
- 5.2.3 管道应分段进行压力试验。试验管道分段最大长度应符合现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ28 的有关规定执行。

### 5.3 清扫

- 5.3.1 各设备、管道清扫应单独分别进行。
- 5.3.2 熔盐罐在焊接、安装过程中或完成后，应对焊渣及杂物及时清理；在充盐之前应保证熔盐罐罐底洁净无杂物。
- 5.3.3 熔盐电加热炉、蒸汽发生器及汽水换热器在到达现场前应保证无杂物进入设备管道及内部；设备存放过程中及安装前应保持封口，安装过程中应防止杂物的进入。
- 5.3.4 管道清扫方式应符合设计要求，当设计无要求时，应按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 的有关规定执行。

## 6 工程验收

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 电加热熔盐储能热力站的整体竣工验收应在工程单项验收合格后进行。
- 6.1.2 电加热熔盐储能热力站的整体竣工验收，应按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 的有关规定执行。
- 6.1.3 站内采暖、给水、排水、卫生设备的施工及验收，应按现行国家标准《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242 的有关规定执行。
- 6.1.4 动力配电、等电位联结及照明等电气设备的施工及验收，应按现行国家标准《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》GB 50254 和《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303 的有关规定执行。
- 6.1.5 自动化仪表的施工及验收应按现行国家标准《自动化仪表工程施工及质量验收规范》GB 50093 的有关规定执行。
- 6.1.6 站内制冷管道和风道的施工及验收应按现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的有关规定执行。
- 6.1.7 站内制冷设备的施工及验收应按现行国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB 50274 的有关规定执行。
- 6.1.8 所以设备单项验收完成应留有相关验收合格记录。

### 6.2 熔盐罐及熔盐罐基础验收

- 6.2.1 熔盐罐的验收应按照国家现行标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定执行。
- 6.2.2 熔盐罐基础的验收应按照国家现行标准《石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行。

### 6.3 熔盐电加热炉验收

- 6.3.1 熔盐加热炉罐体应有产品合格证，质量检测单和严密性试验合格记录。
- 6.3.2 检验电加热器的功率应保证三相平衡，内部接线桩头是应紧固且布线合理。
- 6.3.3 检验炉体的材质和规格应符合图纸设计要求。
- 6.3.4 接线盒的任何可视辨的变形，损坏，都应重新确定其防护等级是否下降，对防爆型接线盒应检查确定其隔爆性能是否降低，不满足要求应重新更换安装。
- 6.3.5 检测电加热器的冷态绝缘电阻值应大于  $5M\Omega$ 。
- 6.3.6 检测电加热器所有进出口管道的法兰规格和等级应与设计图纸一致。

### 6.4 熔盐泵验收

- 6.4.1 熔盐泵的验收应符合现行国家标准《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB50275 的有关规定。
- 6.4.2 润滑与加油：检查油的油杯并加油，盘动联轴器，泵盘车应灵活，无异常现象。
- 6.4.3 单机试运转：点动液泵，检查有无异常、电动机的转向是否符合泵的转向要求。



6.4.4 泵就位前的基础盖板和螺栓孔位置必须符合设计规定。

6.4.5 液泵试运转的轴承温升必须符合设备说明书的规定。

6.4.6 立式液泵的减振装置不应采用弹簧减振器。

## 6.5 蒸汽发生器与汽水换热器验收

6.5.1 换热器设备的验收应按现行行业标准《石油化工换热设备施工及验收规范》SH/T 3532 的有关规定执行。

6.5.2 熔盐循环、高温水循环系统中，循环泵和热交换器的相对安装位置按照设计文件进行检查。

## 6.6 管道验收

6.6.1 熔盐管道的验收应按国家现行标准《熔盐炉技术规范》HG/T 20658 的有关规定执行。

6.6.2 水管道的验收应按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 有关规定执行。

## 7 系统（试）运行与维护

### 7.1 一般规定

7.1.1 电加热熔盐储能热力站在完成单项验收后整体竣工验收完成之前，开展系统整体试运行。

7.1.2 做好试运行组织实施方案，安排人员有序进行准备工作。

7.1.3 运行前应根据设计要求制定详细操作规程。

7.1.4 热力站联合试运行前应符合下列规定：

- 1 供热管网与热用户系统应已具备试运行条件；
- 2 热力站内所有系统和设备应已单项验收合格；
- 3 热力站内的管道和设备的水压试验及冲洗应已合格；
- 4 软化水系统经调试应已合格后，并向补给水箱中注入软化水

### 7.2 熔盐初熔

7.2.1 熔盐初熔工作应在熔盐罐及基础验收完成后，热力站整体试运行前实施初熔工作。

7.2.2 熔盐初熔不应直接使用熔盐罐进行。

7.2.3 熔盐初熔应使用专业初熔设备开展，由初熔设备将熔盐固体全部熔融为液体后充注入低温熔盐罐内保温备用。

7.2.4 充注前初熔设备中熔盐温度应高于熔盐凝固点 100℃以上，低温熔盐罐需要预热，温度应达到熔盐凝固点以上，注入熔盐后应开启熔盐罐底部电加热连锁装置，进入保温状态。

### 7.3 预热

7.3.1 热力站熔盐循环系统运行前应进行系统预热。

7.3.2 预热方式可根据系统设计方案，采取蒸汽预热或者电伴热预热。

7.3.3 系统运行前首先应对低温熔盐罐至电加热炉至高温熔盐罐之间管路及装置系统进行预热。

7.3.4 系统运行中，待高温熔盐罐内熔盐液位达到一定高度时，开始对高温熔盐罐至蒸汽发生器至低温熔盐罐之间管路及装置系统进行预热。

7.3.5 熔盐循环系统开启前预热的温度应达到熔盐凝固点以上，才可开启相应熔盐泵。

7.3.6 熔盐循环系统停止前应提前开始对管道预热，保证管道温度在设备停止时能达到熔盐熔点温度以上。

7.3.7 系统正常开始运行后及系统停止运行熔盐回盐完成后可关闭伴热系统。

### 7.4 （试）运行

7.4.1 启动系统前准备：

- 1 熔盐泵、水泵进行检查盘车并加油保证运作正常；
- 2 检查确认各个法兰连接处密封情况；
- 3 检查各个电气设备连接部分正常可靠，检查各控制系统试运行情况正常；
- 4 划定安全距离，熔盐管道及设备下方严禁有人员进出。

#### 7.4.2 系统启动流程:

- 1 按本标准 7.3.3 规定开始进行预热。
- 2 上述设备达到预热温度后,变频启动低温熔盐泵,当熔盐进入电加热炉内时,逐步启动电加热器,保持炉内熔盐温度随液位升高稳定上升至预定温度,然后从高处出口流入高温熔盐罐内。
- 3 按本标准 7.3.4 规定开始进行预热。
- 4 当高温熔盐罐内熔盐液位达到达到设计要求液位(或全部熔盐进入高温熔盐罐内)后,最大功率启动高温熔盐泵。
- 5 熔盐到达蒸汽发生器后,换热发生蒸汽,根据蒸汽压力调整高温熔盐泵频率,使压力保持在设计要求范围内,同时换热后的熔盐温度应不低于设计要求。同时注意进行补水。
- 6 换热后的熔盐进入低温熔盐罐,等待进行下一步循环。
- 7 换热后的蒸汽直接进入蒸汽应用系统或汽水换热器中与供热循环水系统进行换热循环。水蒸气冷却后可循环进入蒸汽发生器进行蒸发。

7.4.3 供热运行中时,高温熔盐罐中熔盐应保持在设计最低液位之上,当液位不足时应提前开启低温熔盐加热流程,补充高温熔盐。

#### 7.4.4 系统停止流程:

- 1 准备停止前应按本标准 7.3.6 规定开启管道伴热。
- 2 当低温熔盐罐内熔盐到达最低液位时,停止熔盐泵,同时关闭电加热炉,等待回盐。
- 3 当停止供热时,宜保证熔盐尽可能多的进入低温熔盐罐内,同时熔盐不多时,停止蒸汽发生器内补水,达到熔盐最低液位时,停止高温熔盐泵,等待回盐。
- 4 回盐完成后应按本标准 7.3.7 规定关闭管道伴热。

7.4.5 系统首次运行即为试运行,试运行过程中如无熔盐泄露、设备故障等情况发生,可连续运行开展供热工作,运行过程中如发生上述情况或其他影响运行情况,则停止系统运行。

7.4.6 系统全部运行一个循环或停止后,应对所有设备及法兰等螺栓进行再次紧固,紧固过程中应注意人身安全。

7.4.7 热力站试运行一段时间,且无其它问题,应开展工程整体竣工验收,按本标准 6.1.2 规定开展验收工作。

## 7.5 维护

7.5.1 非供热期间,熔盐宜尽可能储存于低温熔盐罐内,开启罐底电加热装置进行保温。

7.5.2 保温宜利用谷电进行加热熔盐,也可以根据实际情况,开展连锁控制保温。

7.5.3 当熔盐罐内电加热装置故障或功率不足且不能及时更换时,可在低谷电时期,利用熔盐电加热炉加热熔盐,使两罐内熔盐高于保护温度。

7.5.4 电加热炉、熔盐泵、蒸汽发生器、汽水换热器应按各设备相应说明书及厂家指导,进行设备维护保养。

7.5.5 对熔盐罐、熔盐罐基础应定期进行检查,防止发生熔盐泄露或罐体下沉等事故发生不及时、处理不及时,造成安全事故。

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准时区别对待，对要求严格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这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的采用“可”。

2 条文中指明应按其它有关标准执行的，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 3 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 4 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019
- 5 《建筑照明设计标准》GB 50034
- 6 《供配电系统设计规范》GB 50052
- 7 《建筑物防雷设计规范》GB 50057
- 8 《3~110kV 高压配电装置设计规范》GB 50060
- 9 《电力装置电测量仪表装置设计规范》GB/T 50063
- 10 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB 50064
- 11 《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065
- 12 《自动化仪表工程施工及质量验收规范》GB 50093
- 13 《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128
- 14 《电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范》GB 50169
- 15 《电力工程电缆设计标准》GB 50217
- 16 《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236
- 17 《建筑给排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
- 18 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243
- 19 《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》GB 50254
- 20 《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB 50274
- 21 《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB 50275
- 22 《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303
- 23 《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473
- 24 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736
- 25 《压力容器 第1部分：通用要求》GB 150.1
- 26 《压力容器 第2部分：材料》GB 150.2
- 27 《压力容器 第3部分：设计》GB 150.3
- 28 《工业锅炉水质》GB/T 1576
- 29 《石油、石化和天然气工业用离心泵》GB/T 3215
- 30 《3.6kV~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》GB 3906
- 31 《低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则》GB/T 7251.1
- 32 《继电保护和安全自动装置技术规程》GB/T 14285
- 33 《特殊环境条件 高原用高压电器的技术要求》GB/T 20635
- 34 《聚光型太阳能热发电术语》GB/T 26972
- 35 《浮头式热交换器用外头盖侧法兰》GB/T 29465
- 36 《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28
- 37 《城镇供热管网设计规范》CJJ 34
- 38 《金属管状电热元件》JB/T 2379
- 39 《铠装加热电缆》JB/T 12234

- 40 《压力容器法兰、垫片、紧固件》NB/T 47020-47027
- 41 《立式圆筒形钢制焊接储罐防雷规范》Q/SY GD 0222
- 42 《石油化工管道伴管和夹套管设计规范》SH/T 3040
- 43 《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》SH/T 3068
- 44 《石油化工全厂性工艺及热力管道设计规范》SH/T 3108
- 45 《石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528
- 46 《石油化工换热设备施工及验收规范》SH 3532
- 47 《石油化工仪表工程施工质量验收规范》SH/T 3551
- 48 《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21
- 49 《钢管制法兰（PN 系列）》HG/T 20592
- 50 《钢管制法兰（Class 系列）》HG/T 20615
- 51 《熔盐炉技术规范》HG/T 20658

# 电加热熔盐储能热力站技术标准

T/CDHA ×××××-201×

## 条文说明

## 制定说明

《电加热熔盐储能热力站技术标准》T/CDHA ×××××-201×经中国城镇供热协会 201×年××月××日以第××号公告批准、发布。

为便于广大设计、施工、运行管理、科研、院校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《电加热熔盐储能热力站技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。



# 目次

1	总则	34
3	设计	35
3.1	站址选择	35
3.2	系统布置	35
3.3	有效放热量与熔盐量计算	35
3.4	熔盐材料	36
3.5	熔盐罐	36
3.6	熔盐罐基础	37
3.7	熔盐电加热炉	37
3.8	熔盐泵	37
3.9	蒸汽发生器	38
3.10	汽水换热器	38
3.11	管道	38
3.12	电气系统、监测系统及控制	39
4	施工	40
4.1	一般规定	40
4.2	施工安全	40
4.3	熔盐罐及熔盐罐基础的制造与安装	40
4.4	熔盐电加热炉安装	41
4.5	熔盐泵安装	41
4.6	蒸汽发生器、汽水换热器的安装	41
4.7	管道的安装	41
4.8	电气系统、监测系统及控制系统的安装	42
5	清扫和压力试验	43
5.1	一般规定	43
5.2	压力试验	43
5.3	清扫	43
6	工程验收	44
6.1	一般规定	44
6.2	熔盐罐及熔盐罐基础验收	44
6.3	熔盐电加热炉验收	44
6.4	熔盐泵验收	44
6.5	蒸汽发生器与汽水换热器验收	45
6.6	管道验收	45
7	系统(试)运行与维护	45
7.1	一般规定	45
7.2	熔盐初熔	45
7.3	预热	46

7.4 (试) 运行 .....	46
7.5 维护 .....	47

# 1 总 则

**1.0.1** 电加热熔盐储能热力站供暖系统，利用熔盐凝固点低、化学性质稳定、成本低、蓄热密度高的优势，实现熔盐电蓄热，实现循环供暖。本系统目前尚无国家和行业标准，为了保证工程质量、人身财产安全、能源节约利用和安装运行方便，在系统设计、施工、验收和运行维护等方面制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于工业供蒸汽、工业建筑供暖、民用建筑供暖和供热水的电加热熔盐储能热力站系统建设，它主要包括了对熔盐罐、熔盐蒸汽发生器、熔盐泵、电加热炉、管道、保温、基础及电力系统的设计、结构、性能、安装和调试、施工及验收、运行管理等方面的技术要求，并参考应用相关设备的相应标准，参照制定。

**1.0.3** 电加热熔盐储能热力站的设计、施工及验收，除应执行本标准外，还应符合国家现行有关标准的规定，特别是强制性标准也要遵守。另一方面，本标准针对系统的设计，设备的施工安装，但工程涉及包括土建、结构、消防、电气、仪表等其它专业，当工程有具体要求而本标准又无规定时，应执行相应的国家现行有关标准的规定。

## 3 设计

### 3.1 站址选择

3.1.2 站址位置应避免自然地形复杂、自然坡度较大的地段，减少成本投入，同时避免施工过程中出现安全、质量隐患，避免返工、怠工甚至安全质量事故。

3.1.3 电加热熔盐储能热力站站址选择尽可能靠近热负荷中心或其它热源，其目的为减少热量传递过程中的热损与运行风险，同时降低成本。

3.1.4 当电加热熔盐储能热力站必须设在居民区内，则应通过安全评估后确定，因熔盐储热具有运行风险，充分进行安全评估可有效降低安全隐患形成。

3.1.5 电加热熔盐储能热力站需要有水源提供冷却水、补充水和循环水，稳定的水源供应可保证系统的稳定运行。

3.1.7 电加热熔盐储能热力站需要有稳定电源提供设备动力及加热熔盐，电源容量要高于系统设计容量。

3.1.8 站址选择时应充分利用就近城镇的公共设施，包括电源、水源、热力管网等，减少建设成本。

### 3.2 系统布置

3.2.1 电加热熔盐储能热力站系统包括高温熔盐罐、低温熔盐罐、电加热炉、蒸汽发生器、高温熔盐泵、低温熔盐泵、控制系统、供电系统、配套管路及管路附件等（图3.2.1），其中水源补水泵、冷却水泵及其相关管路阀门等未在图上标出，设计时应充分考虑。蓄热过程中，低温熔盐罐15中温度较低的熔盐经低温熔盐泵3抽出，送入熔盐电加热炉2中加热为高温熔盐，储存在高温熔盐罐16中；放热过程中，高温熔盐罐中的熔盐经高温熔盐泵6抽出，送入熔盐蒸汽发生器5中，将水加热为高温水蒸汽送入汽水换热器13中，与水换热后进入供热系统，而释热后的熔盐被储存到低温熔盐罐15中，完成一个储放热循环过程。

3.2.2 熔盐罐应布置在一层或地下，熔盐罐具有重量大、温度高等特点，其地基基础需要耐高温、可排热等设计，同时为保证其使用安全，放置独立区域可减少安全隐患及事故后减少损失。

3.2.3 设置防护堤可防止熔盐泄露后造成外流，保证堤外人员设备安全，同时方便事后处理清理回收。

3.2.4 变配电设备宜靠近熔盐罐储热区布置，减少线缆桥架使用数量，降低成本。高温储热罐和电加热炉为高温危险区域，具有泄露风险，为减少安全隐患，直线距离不应小于5m，或采用其它有效隔离措施。

3.2.5 熔盐蒸汽发生器、熔盐电加热炉应布置于熔盐罐上方，可以有效增加熔盐回流，防止熔盐冷却冻结管路，同时减少伴热消耗。

3.2.6 熔盐循环泵、蒸汽发生器、熔盐加热器等设备发生损坏，维修更换时，要有充分的设备维护检修空间，检修空间大小应根据设备尺寸参数确定，以保证设备更换时方便取出安装。

### 3.3 有效放热量与熔盐量计算

3.3.1 蓄热设备的有效放热量首先要满足需热负荷在非加热时间段内的热量总需求，然后在

加热时间段的加热功率应该满足当时时间段内需热负荷的热量总需求以及有效放热量。如在谷电8小时内电加热功率要满足的加热量为16小时的有效放热量和8小时的供热量，即是要满足24小时的供热总负荷。

同时一切的设计应围绕满足蓄热时段能过蓄足热量，放热时段能够满足要求。实际设计过程中要参考用户需求及参数来确定。

**3.3.4** 对工业建筑进行供暖、供蒸汽、供热水，要充分结合企业实际情况，是否有余热利用等相关因素，充分考虑发展规划来设计计算蓄热量。

**3.3.7** 熔盐附加裕量是充分考虑到熔盐罐底部熔盐不能全部抽出以及其它可能发生因素导致熔盐减少的情况发生而增加。

### 3.4 熔盐材料

**3.4.1** 熔盐蓄热介质宜采用低熔点混合硝酸盐，混合熔盐熔点低于 150℃，分解点高于 550℃。通常应用温度为 200-500℃。低熔点混合熔盐应有较低的腐蚀性，可使设备使用寿命延长。无毒、无放射性、不燃烧，增加使用过程的安全性。

**3.4.2** 混合熔盐应具有物理化学稳定性，可保证熔盐使用年限的增加和蓄热效率的保持。

**3.4.3** 混合熔盐应有较低的腐蚀性，对管路及设备造成腐蚀具有可控制性，减少设备损坏或更换的概率。

**3.4.4** 混合熔盐杂质含量的多少直接影响其应用的稳定性及设备的可靠性，选择熔盐应尽量选择杂质含量低的熔盐。

### 3.5 熔盐罐

**3.5.1** 熔盐罐体积大于熔盐量，保证所有熔盐可都集中在一个罐内，便于非运行过程中的减少保温耗能以及在检修罐体时可以排空事故罐体进行维修。

**3.5.2** 熔盐罐罐体设计要保证熔盐罐使用寿命，使用安全，使用方便，成本控制等因素。

2 熔盐罐罐体采用立式圆筒形结构时，高径比应考虑降低高温熔盐带来的应力集中，应具有较小的面容比；保证熔盐罐的使用年限及使用安全。

3 高温和低温熔盐罐可采用不同的材料，满足设计使用前提下，减少投资成本。

8 即可在满足设计使用前提下，减少投资成本，也可降低熔盐罐重量，减轻基座负担。

**3.5.3** 熔盐罐底部应均匀布置浸没式加热器，蓄热系统停止运行期间不得发生凝固，以满足加热功率，使用寿命，方便维修更换，使用安全等方面的要求为前提减少成本投入。

**3.5.4** 熔盐罐应设置通风与泄压装置，并应符合下列规定：

1 通气孔作用为保证罐内压力常压，且不能散热过多。

2 人孔作用为清理罐内焊渣等杂物，或后期检修维护时使用。

3 设置真空压力释放阀可防止罐内压力过大，造成安全隐患。

**3.5.5** 分布环上的喷口应上喷盐，熔盐应充分混合，不得产生热分层，保证熔盐温度的稳定均匀，可防止罐体由于受热不均产生的热应力变形。

**3.5.7** 熔盐罐的加热系统，宜为空气加热系统，作用为对其进行预热处理，防止高温熔盐突然进入常温设备造成设备受损。

**3.5.8** 减少热分层防止熔盐凝固，造成堵塞。

**3.5.9** 熔盐罐应设置温度监检点及温度传感器，一般设置 1 支即可；也可根据实际情况，适当增加设置 2 支温度传感器，一高一低检测高处与低处熔盐温度是否均匀。

**3.5.10** 熔盐罐顶保温层的强度应满足检修要求，保温层要有支撑，可以满足检修维护时人脚踩踏的力度。

### **3.6 熔盐罐基础**

**3.6.4** 钢筋混凝土层应为耐火水泥层，耐高温，增加使用寿命，减少安全隐患。

**3.6.5** 耐火水泥层上应为保温承重外圈和内部保温两部分组成，内部保温层作用为减少热量传递到钢筋混凝土层，导致混凝土超温后变质造成安全隐患，同时减少熔盐温度散失。

**3.6.8** 基础内应设置被动冷却系统，空气经过无缝钢管把混凝土热量带出，减少混凝土热量累计后导致的超出温度。

**3.6.9** 保温绝热层应由绝热和耐压材料组成，如泡沫玻璃和耐火砖，如有更高性能绝热材料和耐压材料，可根据实际情况综合考虑选择。

### **3.7 熔盐电加热炉**

**3.7.1** 熔盐电加热炉的布置应满足系统工艺流程，安排在熔盐罐高处便于熔盐排盐回流；熔盐疏放，检修空间大小要求可以便于加热管更换。

**3.7.3** 熔盐电加热炉应由壳体、电加热器、温度控制及液位控制装置组成，液位控制作用为观察熔盐在电加热炉内的量，控制熔盐流速，保证出盐口温度达到设计要求。温度控制系统可以根据熔盐温度变化，控制熔盐流速。

**3.7.8** 电加热功率为在加热时间(如谷电 8 小时)内完成对全天供暖热热量加热的最大功率。

**3.7.9** 炉体结构形式应为圆筒结构，低温熔盐入口应设置在炉体底部，高温熔盐出口应设置在炉体侧面。侧面的出口应斜向下有一定倾斜角度，便于排盐时回流。

**3.7.13** 管道伴热装置作用为运行前为管道预热，减低熔盐冻堵风险，也可用于冻堵发生后疏通堵塞使用。

**3.7.15** 熔盐泵停止运行后，熔盐从炉体下面进液口依靠重力自流回到低温熔盐罐内，因此电加热炉安装位置应高于熔盐罐顶部位置之上。

**3.7.17** 电加热器管应垂直安装在熔盐电加热炉内，便于维护更换。加热段最高点应低于熔盐液面 50mm 以下，便于熔盐充分加热，且达到温度的熔盐待排出过程中不会超出使用温度，造成熔盐分解等现象发生。

**3.7.18** 熔盐电加热炉温度控制系统宜采用可控硅调功控制，若为成本考虑可降低要求，但要保证实现精确控制。

**3.7.20** 温度控制系统应具备减小对电网冲击的功能，保证系统用电安全稳定。

**3.7.22** 电加热炉内温度传感器信号应按三冗余配置，保障传感器始终工作，保证系统的稳定安全运行。

### **3.8 熔盐泵**

**3.8.1** 熔盐泵宜采用立式液下泵，并应采用变频调速来控制熔盐流量，使用熔盐流量控制熔盐升温速率和换热量大小。

**3.8.2** 高、低温熔盐泵数量不应少于 2 台，其中备用不应少 1 台，保证系统稳定运行。一(多)

用一备熔盐泵之间应方便切换，保证系统稳定运行。

**3.8.3** 熔盐泵上方应留有足够的空间，并应配备吊装装置，方便泵体检修维护更换等操作。

**3.8.4** 熔盐泵冷却系统有水冷却和风冷却方式，水冷却宜选用软化水，冷却水腔室应采用耐腐蚀材料减少管路结垢降低流速，造成泵体过热冷却缓慢而损坏。风冷却应保证环境通风流畅。

**3.8.5** 熔盐泵吸入口处应加装过滤装置，滤网孔径不应大于叶轮与泵壳间隙的 1/2，防止过大的杂质吸入造成泵体损坏。

### 3.9 蒸汽发生器

**3.9.3** 蒸汽发生器的液位应具有稳定可调性，大型系统应设置预热器，防止熔盐通入后温度骤降造成冻堵。

**3.9.4** 介质流程设计应根据实际需要确定熔盐走壳程或管程，熔盐走壳程时熔盐流量高，蒸汽发生快，管内压力大，应用条件高。熔盐走管程时，管道冻堵风险高，蒸汽压力易控制。根据实际情况要求设计，并采取相关措施解决风险。

**3.9.8** 蒸汽发生器熔盐侧最大设计压力不应低于循环泵的最大水头。熔盐侧最大设计压力应设置过压保护，管子不得因超压破裂，保证设备安全温度使用。

**3.9.10** 蒸汽发生器停止使用时应能全部排空，防止凝固堵塞。

**3.9.11** 蒸汽发生器宜采用不锈钢材料，增加耐腐蚀性；换热器外部应进行保温，减少热损。保温材料性能和厚度的选择可根据用户场地实际情况测算确定。

### 3.10 汽水换热器

**3.10.1** 汽水换热器宜采用管壳式换热器或板式换热器，要求具有高换热效率，安全性能保障，运行可靠稳定等特点。对于汽水换热器的选型，应根据用户实际情况，按相应标准选用。

### 3.11 管道

**3.11.1** 熔盐管道材料应根据设计压力、设计温度及熔盐特性选择，保证安全可靠稳定。《熔盐炉技术规范》中对熔盐管道的设计要求选材等进行了详细规定，可参考相关规定进行设计与要求。

**3.11.2** 管道管径的选择要保证熔盐的设计流速。

**3.11.3** 管道安装温度检测点，一般在蒸发器进出口前后和熔盐电加热炉进出口前后安装，观察熔盐温度的变化。

**3.11.4** 熔盐管道应采用伴热保温形式，防止流通熔盐时温差过高产生热应力。伴热保温宜采用蒸汽夹套伴热或电伴热方式，或者其他有效预热方式。

**3.11.7** 管道保温可以有效降低熔盐流经管道的热损失，防止熔盐在管道中凝固，耐高温是要求保温材料不会再熔盐流通过程中受高温后性能降低，导致温度散失严重。在各设备连接处、法兰和阀门等凸出处的保温层厚度应额外增加，或者当保温层不能满足保温要求时，可增加独立的电伴热。

### 3.12 电气系统、监测系统及控制

**3.12.1** 控制装置宜采用 PLC 控制系统，或选用其它符合条件的控制系统，但要保证系统安全可靠高效能运行。

**3.12.5** 热力站高、低压配电系统宜采用单母线接线，满足设计要求的同时降低成本。

**3.12.6** 控制屏或控制箱应采用与热力系统成套的设备，并应装设在便于观察和操作的地方，位置不宜离系统过远。

**3.12.9** 隔热措施防止线路过热积热造成燃烧发生火灾风险。

**3.12.17** 电加热熔盐储能热力站应实现自动控制，对液位、温度、流量、压力等关键参数进行实时监测与自动化控制，可根据温度实现自动调节液位流量压力等参数，实现自动补水，补水关停等，减少操作人员干预。



## 4 施工

### 4.1 一般规定

4.1.1 热力站工程施工，需要确保达到安全施工和保证工程质量的目标，具备相应的管理体系是达到目标的重要手段，也是一个合格的工程施工单位应具备的基本条件。各施工单位的管理体系有所不同，但要具备保证施工安全、控制施工质量的相关内容。

4.1.2 施工组织设计是以施工项目为对象编制的，用以指导施工的技术、经济和管理性的综合性文件。工程规模大小决定了工程项目的划分，规模较小的工程通常不划分检验批。大型储罐一般指不能整体运输、现场组装焊接的储罐，实际施工中，整体安装的储罐由于进场时间、功能、型号各不相同，可按进场批次、型号、区位划分一个或若干个检验批，这样有利于及时进行质量验收。

4.1.3 对危险性较大的分部分项工程应编制专项方案，并应经专家论证，采取必要的施工安全措施，降低安全风险，保证工程安全质量，是必要的。

4.1.5 工程开工前，应根据国家环境保护法律法规和工程项目情况，制定保护环境、减少污染和其它环境公害的措施。

4.1.11 工程开工前应进行设计交底，施工人员充分理解项目设计细节，能有效提高施工质量，保证施工安全。

4.1.14 工程开工前应结合工程情况对施工人员进行技术培训，能有效提高施工质量，保证施工安全。

### 4.2 施工安全

4.2.1 安全施工、文明施工、劳动保护、防火、防爆、环境保护和文物保护等有国家相关法律法规或标准，施工单位要熟悉并按规定执行，安全风险较高的分项工程和特种作业的，需要制定专项施工方案，以确保施工安全。

4.2.3 施工单位可根据施工现场情况设置警示标志及照明和警示灯，能够起到警示车辆和行人的作用。

4.2.4 施工现场应根据作业对象及其特点和环境状况，设置围挡，特殊情况不能进行围挡的，要设置安全警示标志，并在工程险要处采取隔离措施。

4.2.5 高空作业人员应佩戴安全带（绳），高挂低用，保证人身安全。

### 4.3 熔盐罐及熔盐罐基础的制造与安装

4.3.1 高温熔盐罐与低温熔盐罐除材质不同外，其它结构参数全部一致。本标准对储罐的罐底、罐壁、固定顶及附件的制作、焊接、组装及修补没有涉及到的要求，按照国家现行标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定执行。

4.3.2 本标准对熔盐罐基础施工无涉及到的要求，按国家现行标准《石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528、《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》SH/T 3068、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

## 4.4 熔盐电加热炉安装

4.4.1 熔盐电加热炉安装定位，要保证熔盐能排盐回流干净，同时采取防泄漏保护措施，安装在高处，要在下方一定范围内设置安全区域，工作时禁止人员进入。

4.4.3 安装加热器时，清除槽内脏物，能保证熔盐质量，降低设备损坏风险，具有重要意义。

4.4.4 熔盐加热过程中产生蒸汽可透过安装孔扩散到汇流排周围而引起导电起弧，发生安全隐患。熔盐最高液面不能低于元件加热的有效高度，元件有效高度要有红线标志，防止干烧造成元件损坏。

4.4.5 接入电加热器的电缆线均应为耐高温阻燃外套防护软管，能保证使用过程中的用电安全，减少安全隐患。

4.4.6 接口方式宜采法兰连接，方便清扫和压力试验以及后续过程中的维护检修。

4.4.8 在开启前应确认各项检查无问题，做到仔细认真，才能保证施工安全。

## 4.5 熔盐泵安装

4.5.1 本标准对熔盐泵的安装没有涉及的要求，按照国家现行标准《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB 50275 的有关规定执行。

4.5.2 保持泵的吸入口与罐壁和罐底的距离，能保证熔盐充分吸入量，同时能防止液底重量大的杂质吸入泵体，保证熔盐流量稳定和泵体安全。

4.5.4 泵的出液管道，应另设支架支撑，其重量不应支撑在泵上，防止泵受高温后变形或损坏断裂。

4.5.5 完成接线后，点启动电机后马上停止，只查看转向是否正确，不能使熔盐流出造成管道冻堵。

4.5.6 熔盐泵接入通冷却系统，水冷或者风冷，冷却可有效降低熔盐泵温度，防止过热损坏；可根据用户实际需求，接入相关温度监测及保护传感器。

## 4.6 蒸汽发生器、汽水换热器的安装

4.6.1 本标准对换热器设备的安装没有涉及到的要求，按国家现行标准《石油化工换热设备施工及验收规范》SH/T 3532 和《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236 的有关规定执行。

4.6.2 安全把换热器蒸发器安装到指定位置，保证设备质量，防止碰撞出现损坏或安全事故。

4.6.3 按照设备的安装工序进行安装，可在厂家指导下进行，检查法兰的对口情况，设备的严密情况，确保设备的安全可靠投用。

## 4.7 管道的安装

4.7.1 本标准对熔盐管道的安装没有涉及到的要求，按国家现行标准《熔盐炉技术规范》HG/T 20658 的规定执行。

4.7.2 在管道安装过程中应按设计要求预留温度传感器等仪表的接入口。

## 4.8 电气系统、监测系统及控制系统的安装

4.7.1 电气系统的安装在本标准中没有涉及到的要求，按国家现行标准《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB 50254 的有关规定执行。

4.7.2 监测系统仪表传感器的安装在本标准中没有涉及到的要求，按国家现行标准《自动化仪表工程施工及质量验收规范》GB 50093 的有关规定执行。

4.7.3 控制系统的安装在本标准中没有涉及到的要求，按国家现行标准《石油化工仪表工程施工质量验收规范》SH/T 3551 有关规定执行。

## 5 清扫和压力试验

### 5.1 一般规定

5.1.1 管道的吹扫、强度试验和严密性试验的工序、介质、压力和升压方法不同，需要依次进行，否则可能损伤管道和设备。

5.1.2 热力站各设备及管路的清扫和压力试验，应分开进行，过程可根据用户实际要求开展，如无特殊要求，按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 的有关规定执行。

5.1.3 开展清扫及压力试验时应保证人员安全。人员与试验管道的防护警戒距离要符合现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ28 的有关规定。

5.1.4 电加热熔盐储能热力站各设备清扫和压力试验应在单项验收前进行，单项验收应将设备或管道是否有清扫和压力试验记录作为验收要求之一。

5.1.5 所有设备及管路的清扫和压力试验完成后应留有清扫记录和试验检测记录，用于单项验收和工程竣工验收。

### 5.2 压力试验

5.2.1 熔盐罐应进行严密性试验，是极其重要的，当设计无要求时按现行国家标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定执行。

5.2.3 管道很长时或者弯曲较多时，应分段进行压力试验。试验管道分段最大长度应符合现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ28 的有关规定执行。

### 5.3 清扫

5.3.1 各设备、管道清扫应单独分别进行，防止杂物等吹出后进入另一系统或设备中。

5.3.2 熔盐罐在焊接、安装过程中需要多次进行清理，保证在充盐之前熔盐罐罐底洁净无杂物。

## 6 工程验收

### 6.1 一般规定

- 6.1.2** 电加热熔盐储能热力站的整体竣工验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 的有关规定执行。
- 6.1.3** 站内采暖、给水、排水、卫生设备的施工及验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行国家标准《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242 的有关规定执行。
- 6.1.4** 动力配电、等电位联结及照明等电气设备的施工及验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行国家标准《电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范》GB 50254 和《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303 的有关规定执行。
- 6.1.5** 自动化仪表的施工及验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行国家标准《自动化仪表工程施工及质量验收规范》GB 50093 的有关规定执行。
- 6.1.6** 站内制冷管道和风道的施工及验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的有关规定执行。
- 6.1.7** 站内制冷设备的施工及验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB 50274 的有关规定执行。
- 6.1.8** 所以设备单项验收完成应留有相关验收合格记录，验收记录必须妥善保存，最后工程竣工验收整理成册。

### 6.2 熔盐罐及熔盐罐基础验收

- 6.2.1** 熔盐罐的验收在本标准中没有涉及到的要求，按照国家现行标准《立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》GB 50128 的有关规定执行。
- 6.2.2** 熔盐罐基础的验收在本标准中没有涉及到的要求，按照国家现行标准《石油化工钢制储罐地基与基础施工及验收规范》SH/T 3528、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行。

### 6.3 熔盐电加热炉验收

- 6.3.1** 熔盐加热炉罐体应有产品合格证，质量检测单和严密性试验合格记录作为验收凭证。
- 6.3.2** 检验电加热器的功率应保证三相平衡，如果三相不平衡超过了配电网可以承受的范围，那么整体的电力系统的安全运行就会受到影响，内部接线桩头是应紧致且布线合理。
- 6.3.3** 检验炉体的材质和规格应符合图纸设计要求，以防出现差错导致无法使用。
- 6.3.5** 检测电加热器的冷态绝缘电阻值应大于  $5M\Omega$ 。在进行冷态绝缘电阻测量时应在不通电的情况下，将被测元件置于恒温恒湿环境下稳定 24h。然后针对其额定电压，选择合适的兆欧表档位(一般使用 500V 档位)进行测量。

### 6.4 熔盐泵验收

- 6.4.1** 熔盐泵的验收在本标准中没有涉及到的要求应符合现行国家标准《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB50275 的有关规定。
- 6.4.2** 润滑与加油：检查泵的油杯并加油，用手盘动联轴器使转子转数圈，看机组转动是否

灵活，是否有响声和轻重不匀的感觉，以判断泵内有否异物或轴是否弯曲，密封件安装是否正常。若有须找出原因，待消除后再运转。

**6.4.3** 点动液泵，是由于熔盐不能在未正常运行时抽出罐体进入管道，否则会出现管道冻堵。系统开始正常运行后，泵在设计负荷下连续运转 2 小时后，检查压力、流量、温度符合设备技术文件的规定，无不正常的声音；各静密封部位无泄漏；电动机的电流不超过额定值；在试运行过程中围堰出现不正常现象。

**6.4.6** 立式水泵的减振装置不应采用弹簧减振器，当弹簧受到水泵的震动压力时，同时会向受力体产生一个反向的弹力，那样水泵会越来越震动的更加厉害了。立式水泵的减振装置，通常使用橡胶减震垫。那是因为橡胶减震垫会吸收来自水泵的震动压力，不会像弹簧那样反向作用回去。

## 6.5 蒸汽发生器与汽水换热器验收

**6.5.1** 换热器设备的验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行行业标准《石油化工换热设备施工及验收规范》SH/T 3532 的有关规定执行。

## 6.6 管道验收

**6.6.1** 熔盐管道的验收在本标准中没有涉及到的要求，按国家现行标准《熔盐炉技术规范》HG/T 20658 的有关规定执行。

**6.6.2** 水管道的验收在本标准中没有涉及到的要求，按现行行业标准《城镇供热管网工程施工及验收规范》CJJ 28 有关规定执行。

# 7 系统（试）运行与维护

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 系统的要整体试运行开展调试才能达到设计要求，因此要求完成设备等的单项验收后开始整体调试运行，运行过程中调试达到设计效果且无特殊意外，如漏盐，设备故障等，则持续运行一段时间，再无问题则开展竣工验收。

**7.1.2** 整体试运行前要做好整体的方案规划，考虑一切可能发生的问题，做好应急预案，因此要有详细的试运行组织实施方案。安排足够人员有序进行准备工作。

**7.1.3** 运行前应根据设计要求制定详细操作规程，经各方审核论证确认，试运行时操作人员要根据操作规程进行调试开启关闭。

## 7.2 熔盐初熔

**7.2.1** 熔盐初熔工作应在熔盐罐及基础验收完成后，热力站整体试运行前实施初熔工作，试运行前保证熔盐量及温度等以达到设计要求。

**7.2.2** 熔盐初熔不应直接使用熔盐罐进行，因为熔盐罐中电加热装置功率低，加热慢，温度分层严重，可能会导致金属热应力变形，降低罐体使用寿命。

**7.2.3** 专业初熔设备功率大，效率高，由初熔设备将熔盐固体全部熔融为液体，再导入熔盐

罐中，降低了熔盐罐的损坏风险，节约了工程时间。

**7.3.4** 充注前初熔设备中熔盐温度应高于熔盐凝固点 100℃以上，防止熔盐进入低温熔盐罐的过程中凝固。罐体预热，可以防止熔盐突然进入造成局部金属热应力过大，降低使用寿命。

### 7.3 预热

**7.3.1** 热力站熔盐循环系统运行前应进行系统预热，防止熔盐凝固的同时降低金属管道的损坏风险。

**7.3.3** 系统运行开始时熔盐要从低温熔盐罐通过管道进入电加热炉，加热后进入高温熔盐罐，因此先预热这条线路，特别是高温熔盐罐也要做本阶段预热。

**7.3.4** 需要熔盐积累到一定液位高度时进行换热放热，因此对高温熔盐罐至蒸汽发生器至低温熔盐罐之间管路及装置系统进行预热的时间要根据实际预热需要的时间掌握。

**7.3.5** 所有需要预热的设备温度都应达到熔盐凝固点以上，才能算完成预热。

**7.3.6** 除运行开始前进行预热，运行结束前也要开始预热，保证熔盐排盐过程中不发生凝固冻堵。

### 7.4 (试)运行

**7.4.1** 特别强调在运行前保证熔盐设备下方不能有人，以防熔盐泄露造成烫伤事故。

**7.4.2** 系统启动流程：

1 按本标准 7.3.3 规定开始进行预热。

2 上述设备达到预热温度后，变频启动低温熔盐泵，当熔盐进入电加热炉内时，逐步启动电加热器，保持炉内熔盐温度随液位升高稳定上升至预定温度，然后从高处出口流入高温熔盐罐内。

3 按本标准 7.3.4 规定开始进行预热。

4 当高温熔盐罐内熔盐液位达到达到设计要求液位（或全部熔盐进入高温熔盐罐内）后，最大功率启动高温熔盐泵。

5 熔盐到达蒸汽发生器后，换热发生蒸汽，根据蒸汽压力调整高温熔盐泵频率，使压力保持在设计要求范围内，同时换热后的熔盐温度应不低于设计要求。同时注意进行补水。

6 换热后的熔盐进入低温熔盐罐，等待进行下一步循环。

7 换热后的蒸汽直接进入蒸汽应用系统或汽水换热器中与供热循环水系统进行换热循环。水蒸气冷却后可循环进入蒸汽发生器进行蒸发。

**7.4.3** 供热运行中时，高温熔盐罐中熔盐应保持在设计最低液位之上，因特殊情况下或当液位不足时，不管是谷电时间段，都应提前开启低温熔盐加热流程，补充高温熔盐。

**7.4.4** 熔盐回盐过程基本都是靠熔盐自己的重力回流，因此比较缓慢，如若降温速率过快会发生冻堵，因此需要再回盐时保证预热系统开启且达到相应温度。

**7.4.5** 系统首次运行即为试运行，试运行过程中如无熔盐泄露、设备故障等情况发生，可连续运行开展供热工作，运行过程中如发生上述情况或其他影响运行情况，则停止系统运行，找到系统出现问题的原因及解决办法，解决问题后，再次运行，直至系统可连续运行开展供热工作。

**7.4.6** 系统全部运行一个循环或停止后，所有设备及法兰等螺栓受热膨胀间隙会变大，因此需要进行再次紧固，紧固过程中应注意人身安全，防止发生飞溅烫伤事故。

## 7.5 维护

7.5.1 非供热期间，熔盐宜尽可能储存于低温熔盐罐内保温，比在两个熔盐罐保温节能降支，如有特殊情况可在两个罐内进行保温。

7.5.2 保温宜利用谷电进行加热熔盐，也可以根据实际情况，开展连锁控制保温，需要根据当地熔盐散热规律来确定。

7.5.3 特殊情况发生时，当熔盐罐内电加热装置故障或功率不足且不能及时更换时，可在低谷电时期，利用熔盐电加热炉加热熔盐。

7.5.4 电加热炉、熔盐泵、蒸汽发生器、汽水换热器应按各设备相应说明书及厂家指导，进行设备维护保养，减少突发故障的机会，使设备处于良好的运行状态，减轻维修工作量、降低维修费用。

7.5.5 对熔盐罐、熔盐罐基础应定期进行检查，及时发现事故隐患