

团 体 标 准

T/ACEF XXX-XXXX

高温熔盐储能技术导则

Guidelines for High-Temperature Molten Salt Energy Storage Technology

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中 华 环 保 联 合 会 发 布

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 总体要求 2

5 储热介质 2

6 储能系统布置 2

7 热力系统 3

8 熔盐系统仪表配置 10

9 保温及防腐 11

附录 A （资料性） 储罐用熔盐泵技术要求..... 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。

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。

本文件由中华环保联合会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件参编单位：

本文件主要起草人：

高温熔盐储能技术导则

1 范围

本文件规定了高温熔盐储能的总体要求、储能介质、储能系统布置、热力系统、熔盐系统仪表配置、保温及防腐等。

本文件适用于采用 $\text{NaNO}_3\text{-NaNO}_2\text{-KNO}_3$ 共晶三元盐和采用 $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$ 共晶二元盐作为储热介质，工作温度不高于 565°C 的固定容器储热装置的设计和选型。

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 15603	危险化学品储存通则
GB/T 20801	压力管道规范 工业管道
GB 50093	自动化仪表工程施工及质量验收规范
GB 50128	立式圆筒形钢制焊接储罐施工及验收规范
GB 50229	火力发电厂与变电站设计防火规范
GB 50341	立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范
GB 50764	电厂动力管道设计规范
GB/T 51307	塔式太阳能光热发电站设计标准
AQ 3053	立式圆筒形钢制焊接储罐安全技术规范
DL/T 5044	电力工程直流电源系统设计规程
DL 5053	火力发电厂劳动安全和工业卫生设计规程
DL/T 5072	发电厂保温油漆设计规程
DL/T 5136	火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程
DL/T 5153	火力发电厂厂用电设计技术规定
DL/T 5182	火力发电厂热工自动化就地设备安装、管路及电缆设计技术规定
DL/T 5394	电力工程地下金属构筑物防腐技术导则
DL/T 5605	太阳能热发电厂蒸汽发生系统设计规范
DL/T 5622	太阳能热发电厂储热系统设计规范

NB/T 10972	塔式太阳能热发电集热系统设计规范
SH/T 3026	钢制常压立式圆筒形储罐抗震鉴定标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

热力系统 thermal system

本标准热力系统特指熔盐加热、储热、放热、熔盐调温及疏放盐等与熔盐换热热力系统。

3.2

氮封系统 nitrogen seal system

储罐、管道及容器氮气的密封，使熔盐系统与空气隔绝的系统。

3.3

储罐基础保温 insulation of the foundation for storage tanks

储罐底部采用基础与散料保温结构相结合的保温形式

4 总体要求

- 4.1 熔盐储热介质应按 GB/T 36367 的规定执行。
- 4.2 供配电设计应按 GB/T 51307 和 DL/T 5153 的规定执行。
- 4.3 储热系统仪表控制应纳入机组监控系统。
- 4.4 储能系统设计寿命不宜低于 25 年。
- 4.5 储能系统宜采用全厂统一的标识系统。

5 储热介质

- 5.1 储热介质最高工作温度在 420℃ 及以下时，宜采用三元熔盐或二元熔盐；最高工作温度在 420℃ 以上时，采用二元熔盐；
- 5.2 储热介质最高工作温度宜低于分解温度 30℃，最低工作温度宜高于熔点温度 30℃~50℃；
- 5.3 储热介质最高工作温度与最低工作温度之间的温度差宜大于 200℃。

6 储能系统布置

- 6.1 储能系统区域布置应适应电力生产工艺流程的要求，并应符合安装、运行、检修的需要，宜做到设备布置和空间利用紧凑、合理；管线及电缆连接应短捷、整齐；巡回检查通道应畅通。
- 6.2 熔盐储能系统区域周围应设置围堰，围堰内容积应按一台熔盐罐熔盐全容积的 1.05~1.1 倍确定，可采取下沉式或地面围堰布置方式。

- 6.3 储能区域布置应根据设备和系统功能要求，集中、合并布置，并应做到功能分区明确、系统连接简洁。工艺要求和环境条件许可时，辅助设备宜采用露天布置。
- 6.4 储能区域布置应符合国家现行有关劳动保护标准 DL5053 的规定；设备布置应符合 GB 50229 防火要求、防爆设计应符合 GB 50016 规定；
- 6.5 储能区域设施、仪表、管道及平台扶梯等的色调应协调。平台扶梯及栏杆规格宜统一。
- 6.6 储能区域柱距宜采用等柱距；满足主要设备布置要求时，也可采用不等柱距。
- 6.7 储热、放热换热器宜按工艺流程集中分层布置，可根据当地气候条件采用露天或封闭措施。
- 6.8 熔盐储罐熔盐泵宜采用罐顶布置，熔盐泵基础应与储罐及储罐基础及其它结构脱开，泵基础应抗机械震动；
- 6.9 疏盐罐最高液位应低于熔盐疏放盐管道系统最低点。
- 6.10 熔盐储热系统熔盐管道坡度不应小于 0.01。
- 6.11 熔盐储能系统设备及管道均应采取防凝及疏放盐措施。

7 热力系统

7.1 一般规定

熔盐储能系统可分为熔盐加热系统、熔盐储热系统、熔盐放热系统、熔盐调温系统、疏放盐系统、氮封系统、防凝系统、熔盐储罐预热系统、化盐系统等。

7.2 熔盐加热系统设计

7.2.1 电加热熔盐系统

7.2.1.1 熔盐电加热器应符合下列要求：

- a) 熔盐电加热器结构形式可采用电阻式、电极式、电磁式；
- b) 熔盐电加热器壳体设计温度，宜采用电加热器中介质最高工作温度，并加 15℃～20℃温度裕量。电加热器内部电加热元件，其设计温度应按介质换热效果及介质最高工作温度确定；
- c) 熔盐电加热器设备壳体材质应根据设备设计温度选择，当设计温度低于 425℃，宜选用碳钢材质；当设计温度为 425℃～500℃时，宜选用低合金钢材质；当设计温度高于 500℃，宜选用高合金钢材质；
- d) 熔盐电加热器设计压力，不应低于电加热器最高工作压力；
- e) 电阻式电加热元件应采用符合国家现行产品标准的金属管状电热元件；
- f) 电极式熔盐加热器绝缘结构性能应符合国家现行标准。

7.2.2 蒸汽加热熔盐系统

7.2.2.1 系统拟定应符合下列要求：

a) 熔盐蒸汽加热系统应实现蒸汽与熔盐之间的热交换；

b) 熔盐蒸汽加热系统设计应包括工质进口隔离阀至出口工质隔离阀范围内的换热器，管道，阀门和附件及其辅助系统；

c) 熔盐蒸汽加热系统构成应根据系统工艺配置确定，可包括高压蒸汽显热换热器，高压蒸汽凝结换热器，高压蒸汽过冷换热器，低压蒸汽显热换热器；

d) 单台换热器容量应根据系统储热需求，设备制造能力及运输条件等因素确定。

7.2.2.2 系统设计应符合下列要求：

a) 熔盐蒸汽加热系统熔盐侧流程应根据系统工艺设置，应分别接至高压蒸汽过冷换热器和低压蒸汽显热换热器入口。接至高压蒸汽过冷换热器的熔盐应依次流经高压蒸汽过冷换热器、高压蒸汽凝结换热器、高压蒸汽显热换热器，与低压蒸汽显热换热器出口的熔盐汇合；

b) 高压蒸汽过冷换热器和低压蒸汽显热换热器入口熔盐管道宜设置动力操作调节阀；

c) 换热器系统熔盐侧应设置安全泄放装置。超压泄放装置排放能力宜按热交换器事故漏入熔盐侧的蒸汽体积扩容后的流量计算确定。蒸汽流量应取下列两项较大值，并加 10%裕度：

1) 最大流量下流经换热器蒸汽流量 10% ；

2) 一根换热器管断裂的蒸汽流量。

e) 熔盐蒸汽加热系统汽水侧流程应根据系统工艺设置，高压蒸汽应接至高压蒸汽过冷换热器和低压蒸汽显热换热器入口。接至高压蒸汽过冷换热器的蒸汽应依次流经高压蒸汽显热换热器、高压蒸汽凝结换热器、高压蒸汽过冷换热器。低压蒸汽应接至低压蒸汽显热换热器入口；

f) 换热器系统汽水侧应设置安全阀。超压泄放装置排放能力宜大于换热器最大设计蒸汽流量；

g) 熔盐蒸汽加热系统熔盐侧应设置电伴热实现熔盐侧预热，汽水侧应设置小流量蒸汽预热管路；

h) 熔盐蒸汽加热系统应设置有蒸汽或熔盐调温、排气、疏盐、疏水排污等系统。

7.2.2.3 主要设计参数

7.2.2.3.1 熔盐蒸汽加热系统熔盐侧设备及管道设计压力不应小于下列各项之和：

a) 熔盐蒸汽加热系统熔盐入口最高工作压力；

b) 设计附加压力，取安全阀或动力泄放阀实际整定压力与工作压力差；

c) 液柱静压力，当计算元件底部液柱静压力不大于以上两项之和的 3%时，可不计及液柱静压力。

d) 熔盐泵出口至第一个关断阀之间的管道，设计压力不应低于泵流量扬程曲线最高点对应的压力和进盐侧压力之和；熔盐泵出口第一个关断阀后设备和管道设计压力，不应低于泵在额定转速和设计流量下熔盐泵提升压力的 1.1 倍和熔盐泵进口侧压力之和。

7.2.2.3.2 熔盐管道设计温度宜取下列两项的较小值：

a) 计算段熔盐最高工作温度与温度偏差之和，温度偏差可取 5℃；

b) 计算段蒸汽入口最高工作温度。

7.2.2.3.3 熔盐蒸汽加热系统汽水侧设备及管道设计压力不应小于下列各项之和：

a) 熔盐蒸汽加热系统蒸汽入口最高工作压力；

- b) 设计附加压力，取安全阀或动力泄放阀实际整定压力与工作压力差；
- c) 液柱静压力，当计算元件底部液柱静压力不大于以上两项之和的 3% 时，可不计及液柱静压力。

7.2.2.3.4 熔盐蒸汽加热系统汽水侧设备及管道设计温度应符合下列规定：

- a) 蒸汽显热换热器进口管道设计温度应取入口最高蒸汽温度与 5℃ 温度偏差之和；
- b) 蒸汽显热换热器出口管道设计温度应取其设计压力对应的饱和温度与 5℃ 温度偏差之和；
- c) 蒸汽冷凝换热器出口管道设计温度应取其设计压力对应饱和温度与 5℃ 温度偏差之和；
- d) 蒸汽过冷换热器出口管道设计温度应取最高工作温度与 5℃ 温度偏差之和与熔盐入口最高工作温度的较小值。

7.2.2.3.5 熔盐蒸汽加热系统换热器设计温度应符合下列规定：

- a) 设计温度不应低于元件金属在工作状态下可能达到的最高温度；
- b) 换热器各段设计温度应按各自最大工作工况分别确定，各段在工作状态下的金属温度不同时，设计温度可分别设定；
- c) 对于同时受两侧介质温度作用的金属元件，设计温度宜取各运行工况下设备入口蒸汽可能达到的最高温度。

7.2.2.3.6 蒸汽加热熔盐换热系统压损应符合系统工艺要求。

7.2.2.4 主要设备选型及配置应符合下列规定：

- a) 不同压力等级的蒸汽加热熔盐换热器宜设置不同的换热器；蒸汽加热换热器显热、冷凝器、过冷换热器的配置应根据工艺需求设置；
- b) 换热器面积宜按最大工况确定，并预留 5% 裕量，并应满足其他工况运行要求；
- c) 换热器宜采用管壳式换热器，熔盐宜在壳侧流动，汽水宜在管侧流动；
- d) 蒸汽显热换热器宜采用发夹式结构；蒸汽冷凝及过冷换热器可根据实际换热器要求采用一体式或独立式结构。

7.2.2.5 管道及附件选择

管道及附件设计应符合 DL/T 5605 的规定。

7.2.2.6 运行工况应符合下列规定：

- a) 蒸汽加热熔盐系统应符合工艺系统运行要求，应具备冷态预热、升负荷、负荷调整、防凝备用工况运行能力；
- b) 蒸汽加热熔盐系统冷态启动前，应对熔盐系统和汽水系统管道及设备预热。熔盐系统应通过电伴热系统预热，汽水系统应通过小流量蒸汽预热，预热升温速率不宜大于 6℃/min，管壳侧温差不宜大于 50℃；壳侧热冲击不宜超过 50℃，管侧热冲击不宜超过 10℃；
- c) 当蒸汽加热熔盐系统冷态预热完成后，应通过蒸汽调温管路实现蒸汽侧温度按换热器温升速率要求提升蒸汽温度，同时向蒸汽加热熔盐系统输送低温熔盐，出口熔盐温度低于设计温度时应通过旁路系统返回；
- d) 当蒸汽加热熔盐系统负荷发生变化时，应调整进入系统熔盐流量，系统出口汽水及熔盐温度应达

到设计值；

e) 蒸汽加热熔盐系统停运时间段，蒸汽加热熔盐系统可根据工艺系统运行策略，维持在保温防凝，汽水或熔盐工质停止流动，在温度低于设计维持温度后开启汽水和熔盐小流量循环，管道电伴热自动投入运行；

f) 当蒸汽加热熔盐系统事故停机或长时间停机时，应将设备及管道中熔盐及汽水工质排空。

7.2.3 压缩气体加热熔盐系统

7.2.3.1 压缩气体储能系统换热器宜采用管壳式换热器，换热器安全和技术要求应符合 TSG 21、GB/T 150（所有部分）、GB/T 151 的规定。采用绕管式换热器，应符合 NB/T 10938 的规定。

7.2.3.2 换热器的换热能力应根据压缩气体储能系统的温度、压力、流量等要求进行设计，并符合各工况条件下的性能要求。

7.2.3.3 换热器级间压力损失宜小于 0.15MPa。

7.2.3.4 换热器换热端差宜小于 15℃。

7.2.3.5 换热器应具备耐热冲击能力。

7.2.3.6 换热器设计应分析频繁起停、变工况等不利条件的影响。

7.2.3.7 换热器在额定工况下的换热面积裕量不应小于 10%。

7.2.3.8 换热器的换热效率不宜低于 98%。

7.2.3.9 管壳式换热器的壳程介质宜为熔盐，管程介质宜为气体工质。

7.2.3.10 换热器应分析水蒸气冷凝的可能性，可能出现冷凝水的部位宜采用奥氏体不锈钢。

7.3 熔盐储热系统设计

7.3.1 熔盐储热系统

7.3.1.1 大型熔盐储热系统宜采用冷、热双罐。熔盐储热系统包括：熔盐储罐、储罐基础和辅助系统。

宜包括下列内容：

a) 熔盐储罐宜包括储罐本体、管道内件、保温、平台扶梯、阀门、仪表；

b) 储罐基础宜包括承载基础、保温基础和附属结构；

c) 辅助系统宜包括防凝系统、氮封系统、泄露检测、沉降检测、基础超温检测、防雷接地、阴极保护以及预热化盐服务。

7.3.1.2 高温熔盐储罐系统宜包括高温熔盐罐，高温熔盐泵及管道，附件，阀门。

7.3.1.3 低温熔盐储罐系统宜包括低温熔盐罐，低温熔盐泵及管道，附件，阀门。

7.3.2 熔盐储罐

7.3.2.1 大型熔盐储罐宜采用立式圆筒形储罐，设计应符合 GB 50341 的规定，应分析储罐在启动和运行过程中的机械载荷与温度载荷的双重影响，并宜结合有限元分析对储罐整体进行应力分析。罐体设计温

度、设计压力和选材可参照 DL/T5622 执行。

7.3.2.2 熔盐储罐罐体设计温度，碳钢储罐的设计温度不宜大于 425℃，不锈钢储罐的设计温度不宜大于 585℃。

7.3.2.3 熔盐储罐设计负压不应大于 0.25 kPa，正压产生的举升力不应超过罐顶板及其支撑附件的总质量。

7.3.2.4 储罐壁厚设计应计及腐蚀余量，碳钢腐蚀余量不宜低于 3mm，不锈钢腐蚀余量不宜低于 1.5mm。

7.3.2.5 熔盐储罐附件应符合下列规定：

- a) 热管路应确保储罐在工艺要求的时间内均匀加热至预热温度，并确保各区域温差符合设计要求；
- b) 进盐管路应计及热膨胀及外接管路的应力，进盐管路应设置环管喷嘴且均匀布置；
- c) 保温结构应符合储罐运行的热胀冷缩要求；
- d) 罐顶平台与拱顶连接应具有隔热装置，隔热装置应计及储罐的受热膨胀。

7.3.2.6 储罐基础设计应满足承载力、不均匀沉降、稳定性、耐久性、抗震、散热损失、防腐蚀、防水等使用要求。承载基础可采用天然地基和人工地基，当天然地基的承载力、变形或稳定不满足设计要求时，应采用人工地基。储罐基础设计可参照 DL/T5622 执行。

7.3.2.7 储罐基础保温材料应选用隔热性能好，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。当地下水位高时，应分析地下水对基础保温和承载力的影响。

7.3.2.8 储罐应设有筏板基础温度检测和通风系统。

7.3.2.9 储罐充盐前应预热，储罐预热温度应由化盐温度确定。罐体预热应控制升温速率避免储罐产生较大热应力。罐体预热到指定温度后，化盐系统的盐方可进入储罐。

7.3.2.10 储罐有效容量

a) 储罐有效容量应根据储热系统容量，储热介质工作参数，运行工况下罐壁受热膨胀后熔盐泵最低液位要求，运行工况下设备及管道充满度，基础及泵支撑的沉降或变形等因素计算确定。

b) 储罐有效容量应为有效储热介质用量与熔盐密度比值，有效储热介质用量可按储热容量和在设计高温和低温状态下的温度对应的储热介质比焓或比热，按下式计算：

$$m_{TES} = (Q \times 3.6 \times 10^6) / (h_h - h_c)$$

式中：

m_{TES} ——有效储热介质用量，单位为千克（kg）；

Q ——储热容量，由系统需求确定，单位为兆瓦时（MWh）；

h_h ——储热介质在设计高温温度对应的比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

h_c ——储热介质在设计低温温度对应的比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

$$V_{TES} = m_{TES} / \rho$$

V_{TES} ——储罐的有效容量；

ρ ——工作温度下的熔盐密度。

7.3.2.11 储罐液位

- a) 储罐最低液位应符合熔盐泵最低入口标高要求。
- b) 储罐最高液位应符合立式熔盐泵液位要求。
- c) 在地震作用下罐内运行最高液面晃动波高不得超过直壁最高点。晃动波高计算可参照 GB50341 执行。

7.3.3 熔盐泵

7.3.3.1 熔盐泵应选用立式悬吊式泵。宜采用独立基础结构。熔盐泵安装应与储罐接口的膨胀位移预偏置。

7.3.3.2 熔盐泵材质选择应按熔盐工作参数、物性参数及腐蚀性等确定。

7.3.3.3 熔盐泵应根据轴承密封、冷却、防凝等要求，设置三元熔盐介质氮气密封、冷却系统、电伴热等。

7.3.3.4 熔盐泵设计温度宜与对应储罐设计温度相同。

7.3.3.5 熔盐泵宜至少设置两台，一台运行，一台备用。

7.3.3.6 熔盐泵宜采用变频调速控制系统。

7.4 熔盐放热系统设计

蒸汽发生器热盐放热系统应符合 DL/T 5602 的规定。

7.5 熔盐调温系统设计

7.5.1 用于熔盐温度调节的低温熔盐应来自低温熔盐储罐，通过安装在低温熔盐储罐上的调温熔盐泵输送。

7.5.2 调温熔盐泵应至少为 1 用 1 备。

7.5.3 调温熔盐泵应设置出口旁路，旁路流量宜为熔盐泵额定流量的 30%。

7.5.4 调温熔盐泵出口管路应设置温度、流量测量装置。

7.5.5 调温熔盐泵出口管路宜设置调节阀和关断阀，旁路宜设置关断阀。

7.5.6 用于熔盐温度调节的低温熔盐流量宜为系统运行时额定熔盐流量的 15%。

7.5.7 调温熔盐泵可根据系统运行工况和参数匹配情况，采用低温熔盐泵代替，此时低温熔盐泵选型应同时计及调温工况的影响。

7.5.8 引入调温熔盐时宜设置混温装置，混温装置应计及温差应力及足够的混合长度，应保证装置安全及高低温熔盐充分混合。

7.5.9 调温熔盐主管路关断阀应按系统高温熔盐温度、压力参数确定。

7.5.10 调温熔盐主管路关断阀后的熔盐管道应按系统高温熔盐温度、压力参数确定。

7.6 疏放盐系统设计

- 7.6.1 熔盐管道及换热设备高位点应设置放气系统，放气管道直接至疏盐罐。
- 7.6.2 熔盐管道及换热设备低位点应设置疏盐系统，疏盐管道直接至疏盐罐。
- 7.6.3 熔盐放热系统宜设置一台疏盐罐，疏盐罐有效容积宜按系统熔盐管道及换热设备所容纳的总盐量考虑。
- 7.6.4 疏盐罐宜设置 $2 \times 100\%$ 容量疏盐泵，疏盐泵出口管道直接入高温熔盐储罐。
- 7.6.5 疏盐罐宜设置防凝电加热器或电伴热带，选型功率应根据散热量确定。
- 7.6.6 疏盐罐应设置温度、压力、液位测量装置。
- 7.6.7 系统安全阀排盐管道直接至单独的紧急疏盐区或疏盐罐。
- 7.6.8 公称压力不小于 PN40 的疏放系统应串联装设两个关断阀。

7.7 氮封系统设计

- 7.7.1 储热介质采用三元硝酸盐的储能系统，设置氮气密封系统。氮气源宜根据应用场景及耗氮量，选择制氮机系统或采用氮气瓶加汇流排供气方式。
- 7.7.2 储罐氮封系统氮气耗量，应按氮气储热前后冷热罐流通过程中的体积变化量确定。
- 7.7.3 储罐内氮封运行压力宜为 $0.5\text{kPa} \sim 1.5\text{kPa}$ 。
- 7.7.4 单套储热系统制氮机宜按一台运行一台备用设置，也可按两台运行，一台备用设置；压缩机及后处理与制氮机台数保持一致。
- 7.7.5 氮封管道进罐系统阀门宜采用氮封阀组，并采取并关节流孔板等备用措施，储罐宜设置自动排气、呼吸阀等安全设施。冷热熔盐罐应采用平衡管道连通。

7.8 防凝系统设计

- 7.8.1 与熔盐介质接触的设备、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）电伴热器或电加热元件。电伴热器应符合 GB/T 32348.1 和 GB/T 19518.1 的规定。电加热元件应符合 JB/T 2379 的规定。
- 7.8.2 熔盐电加热器应配置防凝系统，防凝系统宜采用电伴热型式，防凝系统功率设计预热时间不宜大于 24 小时，电伴热宜配置不少于 25% 的冗余。

7.9 熔盐储罐预热系统设计

- 7.9.1 熔盐进入储罐前，罐体应均匀预热。
- 7.9.2 预热系统应布置于储罐区附近，预热完成后可拆除，按临建设施设置。
- 7.9.3 预热温度应与初始进盐温度相匹配。
- 7.9.4 预热燃料宜采用与化盐燃料同一种燃料，燃料储存宜与化盐燃料储存合并。

7.9.5 预热系统及布置宜与化盐系统及布置统筹确定。

7.9.6 预热宜采用热风炉。

7.9.7 储罐热风进口宜与其它接口合并，并在罐内形成倾角。

7.9.8 储罐罐顶排风口宜与其它接口合并，排风口下端宜靠近罐底，上端排出口高度应计及安全排放距离。

7.9.9 预热升温速率应满足储罐承受的温度变化要求。

7.9.10 预热过程宜采用阶梯升温法，预热气温与金属壁温应计及一定的温差，并监察储罐热胀效果。

7.10 化盐系统设计

7.10.1 化盐系统应布置于储罐区附近，化盐完成后可拆除，按临建设施设置。

7.10.2 固体硝酸盐临时储存应符合 GB 15603 的有关规定。

7.10.3 化盐燃料宜采用天然气，现场应设置临时储气设施。化盐方式宜采用天然气熔盐炉或电加热器加热方式。

7.10.4 送料设施宜采用皮带输送机，送料设备台数应按熔盐组分确定，并经大块粉碎混合后送入化盐设备。

7.10.5 熔盐炉宜选用成熟产品，并满足污染物排放及地方环保要求。

7.10.6 初始化盐温度宜在多元熔盐凝固点温度的基础上增加 50℃，进盐速率应满足储罐承受的温度变化要求。

7.11 熔盐管道及附件设计

7.11.1 熔盐管道及附件设计应根据熔盐介质特性、温度、熔盐系统确定。

7.11.2 熔盐管道介质流速宜为 2m/s~4m/s，熔盐管道管径不宜小于 DN100。

7.11.3 熔盐管道直管壁厚计算可按 GB 50764 的规定执行。腐蚀和磨损要求的附加厚度可根据介质的特性确定。

7.11.4 熔盐管道及附件的选择应符合 GB/T 20801 相关规定，应采用锻钢或铸钢阀门，不得采用铸铁阀门。

7.11.5 熔盐管道材料选择应符合下列规定：

a) 当设计温度不高于 425℃时，宜选用优质碳素钢；

b) 当设计温度高于 425℃时，宜选用奥氏体不锈钢。

7.11.6 熔盐管道检验和试验应符合 GB/T 20801 的规定。

8 熔盐系统仪表配置

8.1 仪表选型

8.1.1 熔盐介质管道及管道阀门及仪表，应满足耐蚀、耐高温要求；

8.1.2 熔盐液位、流量测量等装置宜采用非接触类仪表；

8.1.3 熔盐接触类压力变送器应采用隔膜密封，填充液体应与熔盐介质化学相容；

8.2 熔盐储罐仪表系统

8.2.1 液位测量：储罐罐顶宜设置 3 套雷达液位计，呈 120° 等径圆周布置；

8.2.2 压力测量：储罐罐顶宜设置 2 套压力变送器；

8.2.3 介质测温：宜设置 3 套熔盐介质温度测量装置，每套多点分层测量，罐顶宜呈 120° 等径圆周布置；

8.2.4 罐壁测温：宜设置 3 套温度测量装置，每套多点分层测量，罐顶宜呈 120° 等径圆周布置；

8.2.5 储罐隔热保温基础测温：宜设置 3 层多点测温装置，监测罐底熔盐泄漏，底层温度测量，控制隔热层温度不应超过设定温度 90℃。

8.3 熔盐电加热器仪表

8.3.1 熔盐电加热器控制系统宜纳入全厂主控制系统。

8.3.2 检测与仪表设置应符合下列规定：

a) 在爆炸危险气体或有毒气体可能释放的区域，应根据危险场所分类设置爆炸危险气体报警仪或有毒气体检测报警仪；

b) 保护系统检测仪表应双重设置，熔盐电加热器出口温度等重要模拟量控制回路检测仪表宜双重冗余设置。

8.3.3 每列熔盐电加热器宜设下列热工检测项目：

a) 熔盐电加热器入口、出口传热流体温度；

b) 熔盐电加热器入口传热流体压力；

c) 熔盐电加热器壳体温度。

8.3.4 当熔盐电加热器出口温度过高时，熔盐电加热器应实现跳闸保护。

8.3.5 检测仪表选型与安装应符合 DL/T 5182、GB 50093 的规定。

8.3.6 熔盐电加热器系统仪表选型及安装应按介质特性确定。

8.3.7 熔盐电加热器系统电气设备或元件宜纳入机组 DCS 系统监控，与 DCS 系统宜采用硬接线连接。

9 保温及防腐

9.1 保温

9.1.1 保温油漆设计应做到技术先进、经济合理、安全可靠、标识清晰、整洁美观，且便于施工和维护。

9.1.2 储热系统设备及管道保温设计应符合 DL/T 5072 的规定。

9.1.3 环境温度不高于 27℃时，设备和管道保温结构外表面温度不应超过 45℃；环境温度高于 27℃时，

保温结构外表面温度可比环境温度高 25℃。

9.1.4 设备保温材料应符合下列规定：

- a) 保温材料性能应符合国家现行产品标准的规定；
- b) 介质温度大于 350℃，应选用耐高温保温材料，或经技术经济比较合理时，也可选择复合保温结构；介质温度小于 350℃可选用岩棉等制品；
- c) 阀门、弯头等异形件的保温层材料可选择软质保温材料或保温涂料；
- d) 外径小于 38mm 管道的保温层材料宜选择普通硅酸铝纤维绳。

9.1.5 熔盐储罐基础保温应满足下列要求：

- a) 保温基础应采用筏板式结构；
- b) 基础设计应进行强度计算，且基础耐久性分析时应计及温度作用和影响；
- c) 筏板式高温基础保温材料宜采用陶粒型保温基础；
- d) 保温基础散料材料宜采用钢或混凝土约束环墙；
- e) 保温基础底面宜采用空气对流冷却方式，温度控制不宜超过 90℃。

9.2 防腐

9.2.1 储热系统地下管道防腐应符合 DL/T 5394 的有关规定。

9.2.2 储罐埋地冷却风管道外壁防腐宜采取表面镀锌措施；也可根据土壤腐蚀性，采取阴极保护联合防腐措施。

附录 A (资料性) 储罐用熔盐泵技术要求

A.1 熔盐泵的结构型式宜选用 API610 规定的 VS1~VS5 结构湿坑型立式悬吊泵。

A.2 轴承冷却可采用水冷或风冷，可根据用户现场工况条件或设计方指定。

A.3 安装方式

A.3.1 熔盐泵可安装在熔盐储罐的安装法兰上。

A.3.2 熔盐泵安装在基础支架之上，安装底板与储罐法兰之间采用膨胀节密封，并且由膨胀节弥补泵与罐体随着介质温度的变化而产生的相对位置的变化量。

A.3.3 泵设备配置的独立底板安装后的水平高差要求应满足小于 0.042mm/m。

A.4 熔盐伴热系统

A.4.1 泵出口段伴热；

A.4.2 安装底板与储罐法兰之间膨胀节伴热；

A.4.3 伴热方式可采用电伴热或蒸汽伴热。

A.5 轴封系统

A.5.1 根据熔盐泵的结构型式不同，可以采用填料密封、迷宫密封、组合密封(减压衬套节流+泄压回流管放空+填料密封氮气阻封)等。

A.5.2 当采用组合密封时，密封系统若需要氮气或压缩空气，熔盐泵供应商提供气体流量、温度和压力的要求。

A.6 熔盐泵的控制及仪表

熔盐泵应根据产品特点随泵配供下列项目检测仪表：

A.6.1 温度监测；

- 1) 泵轴承温度（不少于两点）；
- 2) 电机轴承及绕组温度（如果电机采用高压电机时应用）；
- 3) 泵出口温度就地显示；

A.6.2 压力监测

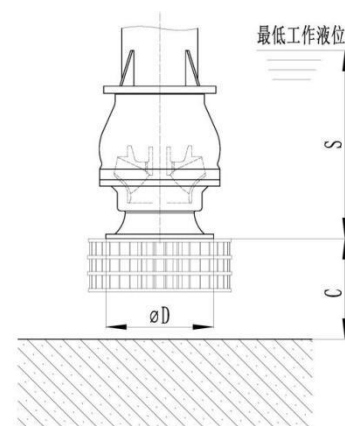
- 1) 泵出口压力就地显示；
- 2) 氮气阻封系统(如果配置密封系统时)压力就地显示；

A.6.3 密封气体流量监测(如果配置密封系统时)

- 1) 氮气阻封系统气体流量就地显示或远传；

A.6.4 泵振动及转速检测；

- 1) 振动监测（如果有）：每台泵轴承箱中安装 X/Y 向两个振动测点；
- 2) 转速监测（如果有）：每台泵设置一个转速及反转监测；



3) 电机根据要求配置振动监测;

可配置功能就地显示及报警指示灯功能。

A.7 储罐最低液位

在充分考虑涡流对熔盐泵性能可能产生的不利影响，提高储罐熔盐的利用率，通常可通过以下方式确定熔盐泵的最低工作液位(如图所示)。

最低工作液位 $H=S+C$ ， S -最小淹没深度； C -入口喇叭口至罐底距离。

最小淹没深度 S 的确定：

$$S = D + Q / D^{1.5} / 1069 \quad (\text{见注})$$

其中：

S —— 淹没深度 m ； D —— 入口喇叭口直径 m ； Q —— 流量 l/s

注：

最小淹没深度 S 计算引用标准 HI 1998；

如果需要大于计算的最小淹没深度来为泵提供所需的 NPSH，则必须使用更大的淹没深度；

泵厂也可通过试验结果推荐最小淹没深度数值。

入口喇叭口至罐底距离 C 的确定：

根据泵入口结构型式及与罐体的线胀差计算而确认的最小距离。
