

电化学储能液冷系统设计技术要求

Technical requirements for the design of liquid cooling systems for electrochemical
energy storage

2025 - 01 - 24 发布

2025 - 02 - 24 实施

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。

本文件由合肥国轩高科动力能源有限公司提出。

本文件由安徽省能源局归口。

本文件起草单位：合肥国轩高科动力能源有限公司、中国科学技术大学、合肥工业大学、中国能源建设集团安徽省电力设计院有限公司、安徽省建筑设计总院股份有限公司。

本文件主要起草人：李中学、李世明、杨舒生、张翔、张东升、胡文宝、张勤才、童邦、王青松、褚可为、张悦洋、黄海宏、刘波、朱丹丹、王莹春、吴林、蔡建壮、刘伟、朱杲、程军。

电化学储能液冷系统设计技术要求

1 范围

本文件规定了电化学储能液冷系统（以下简称“液冷系统”）的设计准则、系统设计、系统验证等内容。

本文件适用于以液体传热介质的电化学储能液冷系统设计。

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 4208 外壳防护等级(IP代码)
- GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3-2023 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB 17799.4-2022 电磁兼容 通用标准 第4部分：工业环境中的发射
- GB/T 29743.2 机动车冷却液 第2部分：电动汽车冷却液
- GB/T 30790.5-2014 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护 第5部分：防护涂料体系
- GB/T 36276-2023 电力储能用锂离子电池

3 术语和定义

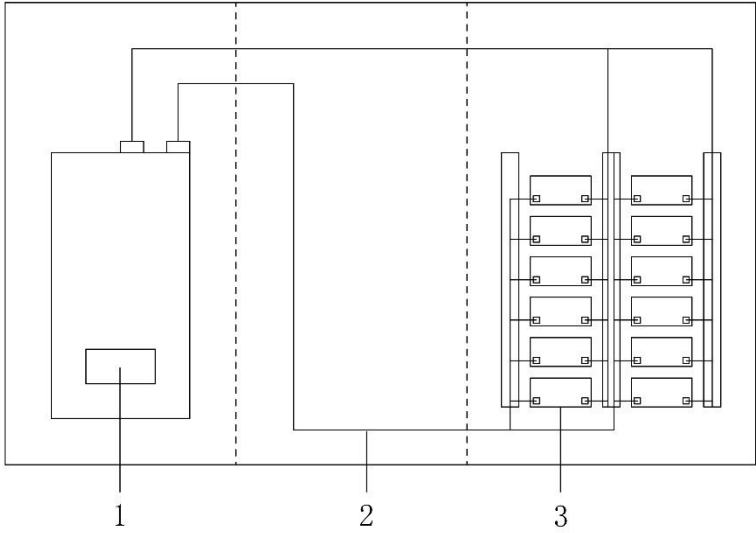
本文件没有需要界定的术语和定义。

4 组成与功能

4.1 组成

液冷系统通常是由液冷板、液冷机组、液冷管路、冷却液及控制系统等组成，如图1所示。各组成零部件的相关情况如下：

- a) 液冷板：冷却液通过液冷板与电池进行热量交换，控制电池在工作温度范围内；
- b) 液冷机组：控制冷却液在工作温度范围内；
- c) 液冷管路：冷却液流经液冷机组与液冷板间的通道；
- d) 冷却液：液体传热介质；
- e) 控制系统：控制液冷系统的工作运行状态。



标引序号说明：
1——液冷机组及控制系统；
2——液冷管路；
3——液冷板。

图1 液冷系统组成示意图

4.2 功能

- 4.2.1 温度控制功能：控制电化学储能系统的工作温度范围，所有电池之间的温差不应超出规定值。
- 4.2.2 信息交互功能：与电化学储能系统实现数据的接收、发送及共享等信息交互。
- 4.2.3 联动保护功能：当电化学储能系统发生温度、消防安全等告警时，执行告警联动保护动作。

5 一般要求

- 5.1 设计应考虑用户需求、使用环境、场地规划、政策法规等因素。
- 5.2 设计前应根据使用环境、电池产热数据、液冷机组能耗等进行技术可行性及经济适用性分析。
- 5.3 应满足在储能电站及工商业储能等要求的前提下实现最低的能源消耗。
- 5.4 设计应满足可靠性、安全性、维修性、实时性，设计寿命不应低于 10 年。

6 系统设计

6.1 设计输入

设计前应进行设计输入分析。

- a) 使用性能参数：电化学储能系统的充放电倍率、循环次数、工作温度、温差等。
- b) 使用环境参数：
 - 1) 海拔高度、相对湿度、极端温度、最大积雪厚度等；

- 2) 年平均温度、年平均风速、年平均沙尘暴日数、年平均降水量等;
- 3) 与道路、住宅区及工业区的距离等。

6.2 方案设计

液冷系统的方案设计如图2 所示，具体步骤如下：

- a) 系统设计：根据系统设计输入，确定运行工况、空间布局、技术要求等；
- b) 零部件设计：零部件的选型、材料选用、结构设计及验证等；
- c) 系统验证：通过试验验证系统设计的符合性。

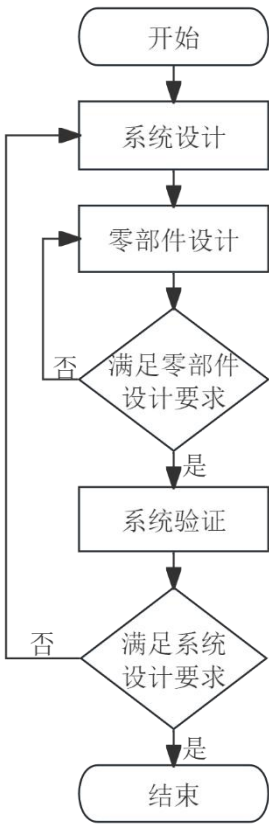


图2 液冷系统方案设计流程图

7 零部件设计

7.1 液冷板

7.1.1 选型

应根据液冷板与电池箱体的安装形式确定液冷板型式。通常布置于电池箱体内部的为分体式液冷板，与箱体集成作为箱体底板的为一体式液冷板。

7.1.2 材料选用

应考虑材料的导热性能、温度适用性、耐腐蚀性能等，满足换热要求、不应出现结构及性能缺陷等异常现象。液冷板的常用材料参见表1。

表1 液冷板常用材料

属性	平板类液冷板			口琴管类液冷板	
	铝挤板	气胀钎焊板	冲压钎焊板	液冷扁管/扁带	宽面口琴管
牌号	6061/6063	3003	3003	3003	3003
屈服强度	>180 MPa	>45 MPa			
抗拉强度	>230 MPa	140 MPa~180 MPa			

7.1.3 结构设计及验证

液冷板的结构设计应包括但不限于以下性能要求。

- a) 密封性能：
 - 1) 内部流道密封性：按照制造商规定的方法进行密封性试验，试验后液冷板不应发生变形及泄漏等异常现象；
 - 2) 电池包密封性（适用一体式液冷板设计）：按照制造商规定的方法进行密封性试验，试验后电池包的密封性应满足设计要求。
- b) 耐压性能：
 - 1) 耐压力交变：按照制造商规定的方法进行压力交变试验，试验后液冷板应无破损、无外观变形且气密性满足设计要求；
 - 2) 耐真空度：按照制造商规定的方法进行抽真空试验，试验后液冷板应无破损、无外观变形且气密性满足设计要求；
 - 3) 爆破压力：按照制造商规定的方法进行加压爆破试验，记录液冷板的爆破压力值及失效位置。
- c) 压降：按照制造商规定的方法进行压降试验，记录冷却液在不同温度和流量时的液冷板压降值，压降值应满足设计要求。
- d) 耐高温性能：按照制造商规定的方法进行耐高温试验，试验后液冷板应无破损、无外观变形且气密性满足设计要求。
- e) 耐低温性能：按照制造商规定的方法进行耐低温试验，试验后液冷板应无破损、无外观变形且气密性满足设计要求。
- f) 耐腐蚀性能：按照制造商规定的方法进行液冷板腐蚀试验，试验后液冷板应满足 a) 密封性和 b) 耐压性要求。
- g) 绝缘耐压性能：按照制造商规定的方法进行绝缘耐压试验，绝缘耐压性能应满足设计要求。

7.2 液冷机组

液冷机组选型应包括但不限于以下要求。

- a) 电气安全：
 - 1) 绝缘电阻：不应小于 2 MΩ；
 - 2) 泄漏电流：泄漏电流不应超过 5 mA/kW（按明示的名义制冷消耗功率计），最大值不应超过 30 mA；

- 3) 电气强度：在电气强度试验过程中，应无击穿和闪络现象发生；
- 4) 电磁兼容：静电放电抗扰度宜按照 GB/T 17626.2—2018 抗扰度等级 3 的要求测试，应符合 GB/T 17626.2—2018 第 9 章中 b 类要求；射频电磁场辐射抗扰度按照 GB/T 17626.3—2023 试验等级 3 的要求测试，应符合 GB/T 17626.3—2023 中第 9 章 a 类要求；电磁发射试验按照 GB 17799.4—2022 要求测试，应符合 GB 17799.4—2022 中第 9 章规定的发射限值要求；
- 5) 接地保护：应具有永久可靠的保护接地装置，易触及的金属部件应与接地装置可靠连接。接地端子及其夹紧装置除做保护接地用途外，不应兼做其他用途。
- b) 通讯功能：应具有独立的通讯端口，用于接收来至外部的控制指令，且该通讯端口应能上报机组的关键运行参数及故障信息；应与储能系统相匹配，宜为 RS485、CAN、以太网通讯。
- c) 热管理性能：按照式 (1) ~ (3) 分别计算额定工况下液冷机组的流量、制冷量和制热量。

$$Q = k_1 \times \frac{P'_1}{c\rho\Delta T} \times n \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q ——液冷机组额定流量，单位为立方米每秒 (m^3/s)；
 k_1 ——系统流量安全系数，取值范围通常为 1.1~1.5；
 P'_1 ——单个电池包额定工况下的发热量，单位为瓦特 (W)；
 c ——冷却液比热容，单位为焦耳每千克开尔文 ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)；
 ρ ——冷却液密度，单位为千克每立方米 (kg/m^3)；
 ΔT ——冷却液进出口温差，单位为开尔文 (K)；
 n ——系统电池包数量。

$$P_1 = k_2 \times P'_1 \times n \dots\dots\dots (2)$$

式中：

P_1 ——液冷机组额定制冷量，单位为瓦特 (W)；
 k_2 ——系统制冷量安全系数，取值范围通常为 1.1~1.5；
 P'_1 ——单个电池包额定工况下的发热量，单位为瓦特 (W)；
 n ——系统电池包数量。

$$P_2 = k_3 \times c_1 \times m_1 \times \Delta T_1 \times n/t \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P_2 ——液冷机组额定制热量，单位为瓦特 (W)；
 k_3 ——系统制冷量安全系数，取值范围通常为 1.1~1.5；
 c_1 ——单个电池包的复合比热容，单位为焦耳每千克开尔文 ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)；
 m_1 ——单个电池包的质量，单位为千克 (kg)；
 ΔT_1 ——单个电池包加热前后的温差，可取环境最低温度和电池正常工作的最低温度之间的温差，单位为开尔文 (K)；
 n ——系统电池包数量；
 t ——设定的加热时间，单位为秒 (s)。

d) 环境适应性：

- 1) 应具备耐高温、低温、湿度、盐雾、粉尘、高海拔的环境适应性要求，且在上述单一或复杂的工况下（不限于上述工况）能稳定运行；

- 2) 安装于户外或半户外的液冷机组,电气控制部分防护等级不应低于 GB/T 4208 规定的 IP54 要求,防腐漆膜厚度不应低于 GB/T 30790.5—2014 中 5.4 规定的 C4 等级要求;安装于户内的液冷机组,电气控制部分防护等级不应低于 GB/T 4208 规定的 IP20 要求,防腐漆膜厚度不应低于 GB/T 30790.5—2014 中 5.4 规定的 C3 等级要求;

注:户外安装指液冷机组的六个外表面均与外界直接接触;半户外安装指液冷机组的六个外表面中,至少有一面与外界直接接触。

e) 噪声:最大噪声应符合使用地的噪声排放要求。

7.3 液冷管路

7.3.1 选型

应考虑液冷管路的温度适用性、耐腐蚀性、保温性能等,不应出现结构及性能缺陷等异常现象。液冷管路的常用选型参见表2。

表2 液冷管路常用选型

类型	尼龙管道	金属管道	橡胶管道
材质	PA12/PA66	SUS304	EPDM
管径规格 (ϕ)	6 mm~40 mm	6 mm~104mm	10 mm~60 mm
管路壁厚 (t)	1 mm~2 mm	1 mm~3mm	3 mm~5 mm
连接方式	快插接头	法兰/卡箍	管夹/弹性夹箍/喉箍
选型特点	支持自由定制	按常用规格选型	按常用规格选型

7.3.2 结构设计及验证

液冷管路的结构设计应包括但不限于以下要求。

a) 性能:

- 1) 耐压性能:按照制 GB/T 36276—2023 中 6.7.2.4 规定的方法进行耐压性能试验,试验后液冷管路应符合 GB/T 36276—2023 中 5.6.2.3 规定的要求;
- 2) 耐腐蚀性能:按照制造商规定的方法进行试验,试验后液冷管路应无破损、无外观变形且气密性满足设计要求;
- 3) 耐真空度性能:按照制造商规定的方法进行抽真空试验,试验后液冷管路应无破损、无外观变形且气密性满足设计要求;
- 4) 压降性能:按照制造商规定的方法进行压降试验,压降值应满足设计要求。

b) 功能:

- 1) 排气泄空功能:采用闭式液冷系统的储能舱液冷管路,单套管路至少应设置 1 处自动排气阀和却液泄空阀,排气阀一般布置于整个液冷系统的最顶端;采用开式液冷系统的储能舱液冷管路,自动排气阀宜按需设计;
- 2) 保温功能:在冷却工况下,供给侧冷却液温度范围宜 (18~25) °C,液冷管路应进行保温包覆;
- 3) 便捷性:液冷管路的设计应考虑实际组装、拆卸、检修、维护、售后等功能,宜增加双向截止接头等。

7.4 冷却液

冷却液的选用应包括但不限于以下要求：

- a) 冰点：应低于产品使用地区年最低温度；
- b) pH 值：取值范围宜为 7~10；
- c) 导热系数（20℃）： $\geq 0.3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ ；
- d) 电导率、运动粘度、氯含量等宜参照 GB/T 29743.2 的有关要求。

7.5 控制系统

7.5.1 控制逻辑

控制系统主要通过电池管理系统（BMS）与液冷机组共同完成，其控制逻辑可分为以下三种形式：

- a) 液冷机组控制：冷却液在液冷系统中循环流动后温度变化，若液冷机组进水口检测冷却液温度过高时，液冷机组进行制冷工作，反之系统加热或停止制冷；
- b) BMS 控制：电化学储能系统内电池温度过高或过低时，BMS 下发指令即液冷机组执行制冷或制热；
- c) 液冷机组与 BMS 协同控制：电化学储能系统内电池温度过高或过低时，BMS 将信息输入给液冷机组，由液冷机组判定需进行制冷或制热。

7.5.2 温控逻辑验证

温控逻辑控制程序验证方法如下：

- a) 针对 7.5.1a) 所述策略，按照通讯协议，将启停、自循环、制冷、制热等指令下发至液冷机组，检查液冷机组是否能及时响应动作；
- b) 针对 7.5.1b) 所述策略，模拟电池各种温度（包括高温、常温、低温），通过 BMS 判断液冷机工作状态，并将指令下发至液冷机组，检查液冷机组是否能及时响应动作；
- c) 针对 7.5.1c) 所述策略，模拟电池各种温度（包括高温、常温、低温），通过 BMS 将各种工况信号输出至液冷机组，检查液冷机组是否能及时判断并响应动作。

8 设计验证

8.1 试验条件

8.1.1 试验环境

除另有规定，试验应在下列环境条件下进行：

- a) 环境温度： $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：10%~80%；
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

8.1.2 试验设备

测量仪器主要技术指标应满足以下要求。

- a) 电化学储能系统内部传感器准确度不应低于以下要求：
 - 1) 温度测量装置： $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；

- 2) 电压测量装置: $\pm 0.5\%$ FS。
- b) 试验过程中, 充放电装置、温控箱等控制仪器的控制精度不应低于以下要求:
 - 1) 时间: $\pm 1\%$ FS (1 min 以上), $\pm 5\%$ FS (1 min 以下);
 - 2) 电压: $\pm 1\%$;
 - 3) 电流: $\pm 1\%$;
 - 4) 温度: $\pm 2^\circ\text{C}$ 。
- c) 环境适应: 测试目标环境温度改变时, 在进行试验前测试样品应完成环境适应过程, 如果在 1 h 内液冷系统不工作且电池温度与目标温度之间的差值不超过 2°C , 且电池模块温差小于 2°C 或电化学储能系统温差小于 3°C , 则完成环境适应。

8.2 试验准备

8.2.1 电化学储能系统的准备:

- a) 电化学储能系统的高压、低压、液冷系统装置及电池控制单元 (BCU) 要和测试平台设备相连, 开启电化学储能系统的主动和被动保护。除另有规定, 否则由 BCU 控制液冷系统装置的工作, 必要时 BCU 的程序可以由电化学储能系统制造商根据测试规程进行更改;
- b) 测试平台和 BCU 之间实现正常通讯, 测试平台保证测试参数、条件与测试规程的要求一致, 并保证电化学储能系统工作在合理的限值之内, 这些限值由 BCU 通过总线传输至测试平台;
- c) 主动保护应由测试设备平台保证, 必要时可通过断开电化学储能系统的主接触器实现;
- d) 测试过程中, 由测试平台根据电池状态和工作限值控制测试过程。制造商应提供液冷系统的控制策略;
- e) 测试平台检测储能系统的电流、电压、容量、温度等参数, 并将这些数据作为检测结果或计算依据。

8.2.2 预处理: 正式测试开始前, 电化学储能系统需进行预处理循环。预处理开始前需进行容量标定, 热管理试验容量标定应采用试验过程的工作电压进行标定。预处理循环在室温 25°C 下进行, 其步骤如下:

- a) 设置环境模拟装置温度为 25°C , 将电化学储能系统静置 5 h;
- b) 以额定充电倍率恒功率充电至电化学储能系统充电截止条件, 静置 10 min, 记录功率、时间、电压、温度、充电能量;
- c) 以额定放电倍率恒功率放电至储能系统放电截止条件, 静置 10 min, 记录功率、时间、电压、温度、放电能量;
- d) 重复步骤 a) ~ c) 5 次。

如果试验对象连续两次的放电容量变化不高于额定容量的 3%, 则认为样品完成了预处理, 预处理循环可以中止, 以放电容量的平均值为电池模块或系统的实际可用容量。

8.3 外观和尺寸检验

外观和尺寸检验如下:

- a) 在良好的光线条件下, 目测检验液冷系统的外观, 记录检验结果, 包括变形及破损、结构、铭牌和标识等;
- b) 用量具测量液冷系统投影对应部分的最大尺寸, 记录测量结果。

8.4 冷却性能试验

- 8.4.1 试验对象为电化学储能系统，分别在 25℃ 和 40℃ 或制造商规定的更高温度环境下进行试验。
- 8.4.2 试验开始前，按照 8.2.2 对试验对象进行预处理，并将 SOC 调整至制造商规定值，进行环境适应。
- 8.4.3 冷却性能试验步骤如下：
- 以额定充电倍率恒功率充电至电化学储能系统的充电截止条件；
 - 关闭液冷系统，静置 10 min；
 - 以额定放电倍率恒功率放电至电化学储能系统的放电截止条件；
 - 关闭液冷系统，静置 10 min；
 - 重复 a)～d) 3 次，停止试验。
- 8.4.4 记录试验过程中电化学储能系统的最高温度、最低温度、温差以及试验开始和结束时间。

8.5 加热性能试验

- 8.5.1 试验对象为电化学储能系统，在 -20℃ 或制造商规定的更低温度环境下进行试验。
- 8.5.2 试验开始前，按照 8.2.2 对试验对象进行预处理，并将 SOC 调整至制造商规定值，进行环境适应。
- 8.5.3 低温加热性能试验步骤如下：
- 加热系统以制造商规定的控制策略工作（冷却液温度和流量），该过程中电池不进行充放电；
 - 当电池最低温度达到 0℃ 时，关闭加热系统，停止试验。
- 8.5.4 记录试验过程中电化学储能系统的最高温度、最低温度、温差以及试验开始和结束时间。
- 8.5.5 按照公式（4）计算温升速率。

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 3600 \times \frac{T_{min}^{end} - T_{min}^{start}}{t_{end} - t_{start}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ ——温升速率，单位为摄氏度每小时（℃/h）；
- T ——温度，单位为摄氏度（℃）；
- t ——时间，单位为秒（s）；
- t_{start} ——试验开始时间，单位为秒（s）；
- t_{end} ——试验结束时间，单位为秒（s）；
- T_{min}^{start} ——试验开始时间采集到的所有电池温度的最小值，单位为摄氏度（℃）；
- T_{min}^{end} ——试验结束时间采集到的所有电池温度的最小值，单位为摄氏度（℃）。

8.6 流阻性能试验

液冷系统的流阻性能试验按照下列步骤进行：

- 将完成了预处理放电的电化学储能系统与压力测量装置连接；
- 分别设置液冷机出液口的温度和流量；
- 待温度（变化不超过 1℃/min）、流量（变化不超过 0.1 L/min）稳定，记录不同温度、流量状态下的流阻；
- 计算流阻时应排除液冷机与液冷系统连接管路流阻的影响，压力测量装置宜安装在距离电池液冷系统进出口小于 15 cm 的位置。

8.7 密封性能试验

液冷系统的密封性能试验按照下列步骤进行：

- a) 将完成了预处理放电的液冷系统与气体增压试验装置连接；
 - b) 向液冷管路增压至压强达到最大工作压强，稳压 2 min 后停止充气，记录气压值，静置 1 min 再次记录气压值，按照两次记录值计算气压降，并记录试验现象；
 - c) 恢复至正常大气压，断开与气体增压试验装置的连接。
-