ICS ××.×××.××

× ×××

|  |
| --- |
| 备案号： |

T/CQEPA

XXXXX标准

T/CQEPA XX—202×

|  |
| --- |
|  |

电化学储能直冷系统设计技术要求

   （征求意见稿）

|  |
| --- |
|  |
|       |

202×-××-××发布

202××-××-××实施

XXXXXXXX发布

目  录

[前  言 II](#_Toc3589)

[1 范围 1](#_Toc25453)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc6678)

[3 术语和定义 1](#_Toc17517)

[4 直冷系统功能与组成 2](#_Toc16808)

[5 设计准则 3](#_Toc24487)

[6 系统设计 3](#_Toc25927)

[7 直冷系统设计验证 6](#_Toc4987)

前  言

本文件按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本文件由××××××××提出。

本文件由××××××××归口。

本文件起草单位：×××、×××、×××。

本文件主要起草人员：×××、×××、×××、×××、×××。

电化学储能直冷系统设计技术要求

1. 范围

本文件规定了电化学储能直冷系统(以下简称直冷系统）的设计准则、系统设计、设计验证等内容。

本文件适用于以制冷剂为传热介质，通过冷板中循环制冷剂材料对电池进行温度管理的电化学储能直冷系统设计。

1. 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 1527-2017 拉制铜及铜合金无缝管

GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

GB 4706.1-2005 家用和类似用途电器的安全 第1部分：通用要求

GB 4706.32-2012 家用和类似用途电器的安全 热泵、空调器和除湿机的特殊要求

GB/T 6882-2008 声学 噪声源声功率级测定 消声室和半消声室精密法

GB/T 7725-2022 房间空气调节器

GB/T 7778-2017 制冷剂编号方法和安全性分类

GB 8624-2012 建筑材料及制品燃烧性能分级

GB/T 9237-2017 制冷系统及热泵 安全与环境要求

GB/T 10125-2021 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 11618.1-2008 铜合金管路附件

GB/T 17626（所有部分） 电磁兼容 试验和测量技术

GB/T 17758—2023 元式空气调节机

GB/T 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 18430.1-2024 蒸汽压缩循环冷水(热泵)机组 第1部分：工业或商业用及类似用途的冷水(热泵)机组

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 44026-2024 预制舱式锂离子电池储能技术规范

GB 50243-2016 通风与空调工程施工质量验收规范

GB 50738-2011 通风与空调工程施工规范

GB 51048-2014 电化学储能电站设计规范

ASTM E1461 Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method

1. 术语和定义

GB/T 7725-2022、GB/T 9237-2017中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

直冷系统 Direct Cooling System

以制冷剂作为换热媒介，通过压缩机驱动在封闭回路中循环，利用其相变（蒸发/冷凝）过程，直接与电池热源进行热交换，用以保证电池工作在设计温度范围内的系统。

3.2

臭氧消耗潜能值 Ozone Depletion Potential（ODP）

衡量制冷剂对臭氧层破坏能力的相对指标，以R11（CFC-11）的ODP值设定为1.0作为参照标准。

3.3

全球变暖潜能值 Global Warming Potential（GWP）

衡量制冷剂温室效应强度的相对指标，以相同质量下对比CO₂的辐射强迫效应，以CO₂的GWP值设定为1.0作为参照标准。

3.4

直冷板 Direct Cooling Plate

作为制冷系统的蒸发器，直接与电池模块接触，内部具有制冷剂流道，通过制冷剂相变实现高效换热的金属板状部件。

3.5

直冷机组 Direct Cooling Unit

包含压缩机、冷凝器、节流阀、四通阀等部件，为直冷系统提供制冷剂循环动力的集成设备。

3.6

性能系数 Coefficient of Performance(COP)

在指定工况下，直冷系统制冷量与输入功率的比值，无量纲。

1. 电化学储能直冷系统功能与组成
	1. 直冷系统功能

直冷系统是电化学储能系统的关键智能温控单元，需具有以下功能：

1. 温度控制：直冷系统能够保证电化学储能电池系统在额定工作温度范围内工作，储能系统内电池温差不应超出系统设定阈值。
2. 信息交互：直冷系统与电化学储能系统（如BMS、EMS）可以实现信息交互，能够发送和接收储能系统的信息。
3. 联动保护：在储能系统出现故障告警时，直冷系统能执行与告警联动的保护功能。
4. 系统提效：直冷系统在整个电化学储能热管理系统中只有一次换热循环，以实现更高效率的制冷/加热。
	1. 直冷系统组成

直冷系统通常由直冷机组（含压缩机、冷凝器、节流装置、四通换向阀等）、直冷板（蒸发器）、制冷剂、分液器、气液分离器、制冷剂管道及控制系统等组成，其组成和安全要求应符合GB/T 9237-2017的规定，如图1所示。



图1　直冷系统组成示意图

1. 电化学储能直冷系统系统设计准则

5.1 直冷系统设计前应根据使用环境、电池产热数据、系统能耗、全生命周期成本等进行技术可行性及经济适用性分析。

5.2 直冷系统设计应综合考虑用户需求、使用环境、场地规划、国家标准、政策法规、环境保护等因素。在低温热泵加热工况下，需要考虑室外换热器结霜对电池加热性能的影响，并应具备高效的除霜功能。

5.3 直冷系统设计应在满足储能系统热管理需求的前提下，实现极低的常规能源消耗。额定工况下，系统制冷COP不应低于3.5（环境温度25℃，制冷温度18℃）。性能测试方法可参照GB/T 7725-2022或GB/T 18430.1-2024执行。

5.4 直冷系统设计应具备高可靠性、高安全性、高实时性。系统的设计寿命不应低于10年。系统承压部件的设计应充分考虑系统在各种工况及故障条件下可能达到的最高工作压力，并留有足够的安全裕量。

5.5 直冷系统的设计应便于检查且维护需求低。系统应趋向于全生命周期免维护设计，制冷剂回路应具有极高的密封性。管路连接宜采用快插接头或易于现场安装的连接方式，并确保连接的可靠性，安装工艺应符合GB 50243-2016相关要求。

5.6 针对多簇并联系统，应进行详细的油路平衡和制冷剂分配设计，保证压缩机在全工况范围内润滑可靠，避免因回油不畅导致润滑失效。同时，应确保制冷剂在各并联环路中分配均匀，加热工况下需有效防止制冷剂在压缩机等关键部件内发生液击或液封。

1. 系统设计
	1. 总体设计
		1. 设计对象

直冷系统为电化学储能系统电池侧提供高效温控管理，保证电池能够在设定的工作温度范围内（通常为15℃～35℃）高效、安全运行，并具有快速的冷热响应能力。设计对象包括方案总体设计、零部件设计、控制系统设计及系统集成设计。

* + 1. 设计输入

直冷系统设计前应明确以下需求：

1. 用户需求：系统额定制冷/制热量、能效比（COP）、充放电倍率、循环寿命、安全认证等；
2. 环境参数：应选用当地近10年的气象数据，包括海拔高度、年平均温度、极端最高/最低温度、年平均风速、湿度、盐雾等级、粉尘等级、降雨量、最大积雪厚度等；
3. 电池参数：电池类型、额定容量、充放电倍率、内阻、工作温度范围、最大/平均产热功率等。
	1. 零部件设计
		1. 直冷冷板
			1. 概述

直冷板作为系统的蒸发器，是制冷剂与电池进行热量交换的核心部件。其性能直接决定了系统的换热效率、温度均匀性和安全性。

* + - 1. 性能要求

直冷板设计应满足表1规定的性能要求，实验可在材料供应商处按照规定试验方法完成。

1. 直冷板性能要求

| **序号** | **性能** | **技术要求** | **试验方法** |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 导热性 | 板体材料导热系数 ≥ 150 W/(m·K) | 按ASTM E1461检测 |
| 2 | 耐压性 | 爆破压力 ≥ 3倍最大工作压力；耐压测试：1.5倍最大工作压力下保压5 min，无泄漏或永久变形 | 按GB/T 9237-2017规定方法进行水压或气压试验 |
| 3 | 密封性 | 在最大工作压力下进行氦质谱检漏，单块直冷板年泄漏率 ≤ 3.0 g/a | 按照氦质谱检漏法进行测量 |
| 4 | 内部流道压降 | 在额定流量下，单块直冷板的制冷剂侧压降应 ≤ 30 kPa | 搭建测试台架并在额定流量下测试冷板压降 |
| 5 | 温度均匀性 | 在额定制冷工况下，直冷板表面温差应 ≤ 3 ℃ | 按照热成像仪或多点热电偶法规定测试方法测量 |
| 6 | 洁净度 | 内部残留物 ≤ 50 mg/m² | 按照制造商规定方法测试 |
| 7 | 绝缘耐压 | 与电池接触面绝缘电阻 ≥ 500 MΩ (2500 VDC)；漏电流 ≤ 3 mA (4380 VDC, 60s) | 按照耐压测试仪规定测试方法进行测试 |
| 8 | 耐腐蚀性 | 中性盐雾试验后，直冷板表面无明显腐蚀点，性能无显著下降。试验时间 ≥ 480 h | 按GB/T 10125规定方法进行测试 |

* + 1. 直冷机组
			1. 概述

直冷机组是直冷系统的核心组件，为制冷剂循环提供动力。其设计和安全应符合GB 4706.1-2005和GB 4706.32-2012的要求。其包含的压缩机、换热器、风机、四通阀等部件应符合GB/T 9237-2017的要求。

* + - 1. 选型要求

直冷机组选型应满足以下功能要求：

1. 电气与通讯：用电制式应满足项目地要求。通讯接口应支持RS485或CAN，协议应与储能EMS兼容。电磁兼容性应满足GB/T 17799.4-2022的发射限值要求，及GB/T 17626（所有部分）中规定的工业环境抗扰度要求。
2. 制热/制冷性能：根据系统总发热量、环境温度和目标温控范围进行机组热管理性能要求计算，并留有不低于20%的余量。额定工况下，制冷COP应≥3.5。
3. 环境适应性：机组应能在-30℃～+55℃的环境温度下稳定运行。户外安装的机组防护等级应不低于GB/T 4208—2017规定的IP55要求，防腐等级应不低于GB/T 30790.5-2014规定的C4等级；户内安装的机组防护等级应不低于GB/T 4208—2017规定的IP20要求，防腐等级应不低于GB/T 30790.5-2014规定的C3等级。
4. 噪音：满负荷运行时，距离机组1m处的噪音值应符合项目所在地环保要求，一般不高于75 dB(A)。测量方法应参照GB/T 44026-2024执行。
	* 1. 直冷管路
			1. 概述

直冷管路是连接直冷机组与各直冷板的输送通道，负责输送制冷剂。其设计和安全应该符合对应系统集成要求的密封性、耐压性、低流阻、均流分配性，工艺可控性以及安装便利性。

* + - 1. 结构与材料

管路材料宜选用符合 GB/T 1527-2017规定的 TP2 紫铜管或具有同等耐压耐腐蚀性能的金属管材，以保障其具备良好的耐压和耐腐蚀特性。

管路连接优先采用钎焊，对于需现场拆装的部位宜采用符合 GB/T 11618.1-2008要求且经充分验证的耐高压快插接头或密封接头，确保接头满足相应的性能指标。

所有管路应有可靠的固定和减振措施，安装工艺应符合 GB 50738-2011中关于制冷系统管道与附件安装的要求，同时需符合 GB 50243-2016中管道安装质量验收的相关规定。

管道安装的各个环节如材料要求、连接工艺、固定与减振等应符合GB 50738-2011的要求。

管道安装后应符合GB 50243-2016的各项质量要求。

* + - 1. 流阻与流量分配

管路系统（不含压缩机、冷凝器、直冷板）在额定流量工况下，总压降应符合以下要求：

——采用低压氟代烃类制冷剂（如R32、R410A 等）时，总压降不应超过 50kPa；

——采用高压自然制冷剂（如CO₂/R744）时，总压降不应超过 30kPa。

对于并联管路，应通过主管路与支路管径的优化设计，或配置符合相关标准的分液器，确保各支路间的流量偏差不大于 ±10%。

* + - 1. 低温与冷凝保护

低温管路（如压缩机吸气管）必须进行保温处理，保温材料应为闭孔、难燃材料，其燃烧性能等级不应低于GB 8624-2012规定的B1级，厚度应能有效防止表面凝露。室外管路还应加装抗紫外线的保护层。

* + - 1. 系统气密性

整个制冷系统组装完成后，应进行整体气密性试验。试验方法可参照GB/T 9237-2017，采用干燥氮气加压至1.2倍最大工作压力，保压24h，经温度校正后的压力降不应超过0.5%。

* + 1. 制冷剂

制冷剂的选择应遵循以下原则：

1. 环保性：ODP值为0，GWP值应尽可能低，制冷剂的环保应符合当地国家及地区现行环保法规要求。
2. 安全性：安全等级应符合GB/T 7778-2017的规定，优选A1类（无毒、不燃）。若选用A2L或A3类制冷剂，整个储能系统必须按GB 51048-2014及相关防爆标准进行设计和认证。
3. 性能与兼容性：所选制冷剂的热力学性能应与系统工作温区匹配，并与压缩机润滑油、管路材料、密封件等具有良好的兼容性。
	* 1. 控制系统

控制系统应实现对直冷系统的精确控制和状态监控。控制逻辑可采用EMS独立控制或EMS与直冷机组协同控制两种模式。控制系统应能根据电池温度、环境温度、SOC等信息，自动调节压缩机频率、电子膨胀阀开度等，实现制冷/制热量的按需输出和能效最优化。

1. 直冷系统设计验证
	1. 概述

直冷系统的关键零部件及整机设计完成后，应对整个系统进行全面的设计验证，确保其满足所有技术要求后方可批量应用。

* 1. 系统验证项目及方法
		1. 系统控制逻辑验证

通过模拟平台或实际系统，输入不同的电池温度和环境工况信号，验证：

1. 系统是否能根据预设逻辑正确启动、停止、切换制冷/制热模式；
2. 压缩机转速、电子膨胀阀开度等调节部件的响应是否及时、准确；
3. 各项保护功能（高压、低压、过流、过热等）是否能在触发条件下被正确执行。
	* 1. 系统性能验证

在环境模拟实验室内，对搭载直冷系统的完整储能系统进行试验，验证以下性能指标：

1. 系统工作压力：在各种极限工况下，实测系统高、低压侧压力，确认其在设计安全范围内。
2. 响应速度：从接收到制冷/加热指令到系统达到稳定运行状态的时间，制冷/加热模式切换响应时间应 ≤ 30s。
3. 电池最高温度：在额定工况（如45℃环温、0.5P持续放电）下，电池簇内任意电芯的最高温度应 ≤ 40℃。
4. 电池最低温度：在低温工况（如-25℃、0.5P充电）下，电池簇内任意电芯的最低温度应 ≥ 15℃。
5. 电池温差：在任意工况下，电池簇内电芯的最大温差应 ≤ 5℃。
6. 能效比（COP）：应按GB/T 18430.1-2024规定的方法测试，工况可参考GB/T 7725-2022，最终结果应满足5.3条的要求。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_