

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA xx—2026

AI 算力用高功率超级电容器通用技术要求

General Technical Requirements for High-Power Supercapacitors for AI Computing
Power

(征求意见稿)

2026 - xx - xx 发布

2026 - xx - xx 实施

中国西部开发促进会 发 布

目次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 技术要求 1

 4.1 单体 1

 4.2 模组 3

5 试验方法 5

 5.1 试验条件 5

 5.2 单体 6

 5.3 模组 10

6 检验规则 12

 6.1 检验分类 12

 6.2 出厂检验 13

 6.3 型式检验 13

7 标志、包装、运输和储存 14

 7.1 标志 14

 7.2 包装 14

 7.3 运输 14

 7.4 储存 14

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xxx提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

AI 算力用高功率超级电容器通用技术要求

1 范围

本文件规定了AI算力用高功率超级电容器的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存的内容。

本文件适用于AI算力场景配套高功率超级电容器单体、集成模组的设计、生产、出厂检验与工程选型。

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 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db 交变湿热（12h+12h循环）

GB/T 2423.5 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击

GB/T 2423.18-2021 环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）

GB/T 2423.102 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验：温度（低温、高温）/低气压/振动（正弦）综合

GB/T 2900.41 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 34870.1 超级电容器 第1部分：总则

IEC 61373:2010 Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests

3 术语和定义

GB/T 2900.41-2008和GB/T 34870.1-2017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超级电容器 supercapacitors

一种电化学储能器件，至少有一个电极主要是通过电极/电解液界面形成的双电层电容或电极表面快速氧化还原反应形成的赝电容实现储能，在恒流充电或放电过程中的时间与电压的关系曲线通常近似于线性。

注：超级电容器的性能介于物理电容器和蓄电池之间。

3.2

高功率型超级电容器 high power density supercapacitor

以高功率密度为特点的超级电容器。

注：主要用于瞬间高功率输入、输出的电容器。

4 技术要求

4.1 单体

4.1.1 外观

电容器单体表面应清洁、无锈蚀、无变形、无机械损伤及无电解液泄漏：热缩膜（如有）无破损、无明显色差，干净整洁；产品外观尺寸及安装尺寸满足设计图纸要求。端子极性应准确无误，且应有正负极的清晰标识。

4.1.2 电容量

电容器单体按5.2.2检验时，容量应为额定值的100%至120%之间。

4.1.3 直流内阻

电容器单体按5.2.3检验时，直流内阻应不高于额定值。

4.1.4 等效串联电阻

电容器单体的等效串联电阻(ESR)应满足制造商技术规范要求，并在规定测试条件下不应大于标称值，并应满足制造商规定的允许偏差范围。

4.1.5 瞬态功率密度

电容器单体瞬态功率密度不应低于其标称值。

4.1.6 储存能量

电容器单体按5.2.6检验时，储存能量应为额定值的100%至120%之间。

4.1.7 最大质量功率密度

电容器单体按5.2.7检验时，最大质量功率密度应不小于额定值。

4.1.8 充放电效率

电容器单体按5.2.8检验时，充放电效率应不低于90%。

4.1.9 漏电流

电容器恒压充电至额定电压并保持2 h后的稳态漏电流，不得超过制造商规格书标称限值；漏电流反映单体绝缘性能与自放电水平。

4.1.10 电压保持率

电容器单体按5.2.10检验后，测试电压值应不低于额定电压的80%。

4.1.11 高温特性

电容器单体按5.2.11检验后，性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的 80%；
- b) 内阻小于初始值的 2 倍。

4.1.12 低温特性

电容器单体按5.2.12检验后，性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的 80%；
- b) 内阻小于初始值的 2 倍。

4.1.13 恒定湿热

电容器单体按5.2.13检验后，性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于额定值的 80%；
- b) 内阻小于初始值的 2 倍。
- c) 试验时和试验后，样品应不爆炸、不起火、不漏液。

4.1.14 低气压

电容器单体按5.2.14检验后，应不爆炸、不起火、不漏液。

4.1.15 加热

电容器单体按5.2.15检验后，应不爆炸、不起火。

4.1.16 穿刺

电容器单体按5.2.16检验后，应不爆炸、不起火。

4.1.17 挤压

电容器单体按5.2.17检验后，应不爆炸、不起火。

4.1.18 跌落

电容器单体按5.2.18检验后，应不爆炸、不起火、不漏液。

4.1.19 短路

电容器单体按5.2.19检验后，应不爆炸、不起火。

4.1.20 过充电

电容器单体按5.2.20检验后，应不爆炸、不起火。

4.1.21 海水浸泡

电容器单体按5.2.21检验后，应不爆炸、不起火。

4.1.22 温度循环

电容器单体按5.2.22检验后，应不爆炸、不起火、不漏液。

4.1.23 阻燃

电容器单体按5.2.23检验后，应不爆炸、不起火、不漏液。

4.1.24 寿命

4.1.24.1 高温老化寿命

电容器单体按5.2.24.1进行高温老化寿命试验后，其性能应符合下列要求：

- a) 电容量不低于初始值的 70%；
- b) 内阻小于初始值的 400%；
- c) 无电解液泄漏。

4.1.24.2 循环寿命

电容器单体按5.2.24.2进行循环寿命试验后，其性能应符合下列要求：

- a) 电容量不低于初始值的 90%；
- b) 内阻小于初始值的 150%；
- c) 无电解液泄漏。

4.2 模组

4.2.1 外观

电容器模组按5.3.1检验后时，外壳不得有变形及裂纹，表面干燥。

4.2.2 极性标识

电容器模组按5.3.2检验时，端子极性标识应清晰完整、准确无误。

4.2.3 尺寸及质量

电容器模组按5.3.3检验时，安装尺寸、外形尺寸及质量符合制造商提供的技术参数。

4.2.4 电容量

电容器模组按5.3.4检验时，容量应为额定容量的100%至120%。

4.2.5 直流内阻

电容器模组按5.3.5检验时，直流内阻应不大于其额定值，多串并联单体压差 ≤ 50 mV，防止算力脉冲放电时单体不均压。

4.2.6 储存能量

电容器模组按5.3.6检验时，储存能量应为额定值的100%~120%之间。

4.2.7 绝缘电阻

电容器模组按5.3.7检验时，绝缘电阻应大于100 Q/V。

4.2.8 漏电流

模组整机稳态漏电流满足制造商算力配套技术规范限值。

4.2.9 电压保持率

电容器模组按5.3.9检验后，电压应不低于额定电压的85%。

4.2.10 高温贮存

电容器模组按5.3.10检验后，性能应满足下列条件要求

- a) 容量不低于初始值的 80%；
- b) 内阻小于初始值的 2 倍。

4.2.11 低温贮存

电容器模组按5.3.11检验后，性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的 80%；
- b) 内阻小于初始值的 2 倍。

4.2.12 振动

电容器模组按5.3.12检验后，应满足下列条件要求：

- a) 壳体应无变形、开裂，单体应无漏液，并保持连接可靠、结构完好，无起火、爆炸等现象；
- b) 绝缘电阻应满足 4.2.7 要求。

4.2.13 冲击

电容器模组按5.3.13检验后，应满足下列条件要求：

- a) 壳体应无变形、开裂，单体应无漏液，并保持连接可靠、结构完好，无起火、爆炸等现象；
- b) 绝缘电阻满足 4.2.7 要求。

4.2.14 交变湿热

电容器模组按5.3.14检测后，各部件应可正常工作，绝缘电阻应满足4.2.7要求。

4.2.15 盐雾

电容器模组按5.3.15检验后，外壳无破裂，内部单体应无漏液，无起火、爆炸等现象。

4.2.16 高海拔

电容器模组按5.3.16检验后，各部件应可正常工作，且不爆炸、不起火、不破裂、不泄放。

4.2.17 加热

电容器模组按5.3.17检测后，应不爆炸、不起火。

4.2.18 挤压

电容器模组按5.3.18检验后，应不爆炸、不起火。

4.2.19 跌落

电容器模组按5.3.19检验后，应不爆炸、不起火、不漏液。

4.2.20 短路

电容器模组按5.3.20检验后，应不爆炸、不起火。

4.2.21 过充电

电容器模组按5.3.21检验后，应不爆炸、不起火。

4.2.22 海水浸泡

电容器模组按5.3.22检验后，应不爆炸不起火。

4.2.23 温度循环

电容器模组按5.3.23检验后，应不爆炸、不起火、不漏液。

4.2.24 外部火烧

电容器模组按5.3.24检验后，应不起火、爆炸、无碎片飞溅。

5 试验方法

5.1 试验条件

5.1.1 试验环境

除另有规定外，一切测试、试验和恢复均在下列环境中进行：

- a) 温度：25° C±2° C；
- b) 相对湿度：25%~85%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa；
- d) 如未特别指明的，在测试前应将待测的电容器产品用恒定电流充电至额定电压，并保持 30min，再用恒定电流放电至最低工作电压，在上述环境条件下开路存放不少于 12h。
- e) 如无特殊要求，单体恒定充放电电流应为 I_C 或供应商给出的不小于 I_C 的电流，模组恒定充放电
- f) 电电流应根据模组内单体并联数 n 来确定，具体为单体充电电流的 n 倍。

$$I_C = 40 \times \frac{C \times (U_R - U_{min})}{3600} \times n \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- I_C ——充放电电流，单位为安培（A）；
- C ——容量，单位为法拉（F）；
- U_R ——额定电压，单位是伏特（V）；
- U_{min} ——最低工作电压，单位是伏特（V）；
- n ——模组中单体并联数。

5.1.2 测试仪器、仪表

测试仪器仪表的准确度应满足以下要求：

- a) 电压测试装置：准确度不低于 0.5 级，电压分辨率达到 5mV 或更低，输入阻抗不小于 1k/V；
- b) 电流测试装置：准确度不低于 0.5 级；
- c) 温度测试装置：分度值不大于 1° C，标定准确度不低于 0.5° %；
- d) 计时器：准确度±0.1%；
- e) 恒流源输出电流精度±1‰；
- f) 恒压源输出电压精度±1‰；

- g) 检测数据最小采样间隔应低于 10ms;
- h) 尺寸测量装置: 精确度不低于 1mm。

5.2 单体

5.2.1 外观及标志检查

在光线良好的条件下, 按照如下步骤检查电容器单体的外观:

- a) 用目测法检查电容器单体的外观和标志;
- b) 用量具和衡器检查电容器单体的外形尺寸和质量。

5.2.2 电容量

按照如下步骤测试电容器单体的容量:

- a) 测试前, 将电容器单体按 5.1.1 的要求进行处理;
- b) 电容器单体用恒定电流 I_C 充电到额定电压 U_R ;
- c) 电容器单体用恒定电流 I_C 放电到最低工作电压 U_{min} ;
- d) 重复步骤 b) ~ d) 3 次; 记录电容器电压从 $0.8U_R$ 至 $0.5U_R$ 的放电时间 t ;
- e) 按式 (2) 计算每次循环电容器单体的容量值, 取平均值。

$$C = \frac{I_C \times t}{0.8U_R - 0.5U_R} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

C ——容量, 单位为法拉 (F);
 I_C ——充放电电流, 单位为安培 (A);
 U_R ——额定电压, 单位是伏特 (V);
 t ——充电时间, 单位为秒 (s)。

5.2.3 直流内阻

按照如下步骤测试电容器单体的直流内阻:

- a) 将电容器单体按 5.1.1 的要求进行处理;
- b) 电容器单体用恒定电流 I_C 充电到额定电压 U_R , 记录该时刻 t_0 ;
- c) 电容器单体用恒定电流 I_C 放电到最低工作电压 U_{min} ; 记录从开始放电起 30 ms 内电压降 ΔU ;
- d) 重复步骤 b) ~ d) 3 次;
- e) 按式 (3) 计算每次循环电容器单体的内阻值, 取平均值。

$$R = \frac{\Delta U}{I_C} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

R ——直流内阻, 单位为欧姆 (Ω);
 I_C ——充放电电流, 单位为安培 (A);
 ΔU ——电压降, 单位为伏特 (V)。

5.2.4 等效串联电阻 (ESR)

采用交流内阻测试仪, 在规定频率 (通常为 1kHz) 及标准试验条件下对电容器单体进行测量, 取稳定读数的平均值作为 ESR 测试结果。

5.2.5 瞬态功率密度试验方法

按照如下步骤测量电容器单体的瞬态功率密度:

- a) 电容器单体以恒定电流 I 充电至额定电压 U_R , 并在标准试验条件下静置稳定;
- b) 将电容器单体接入瞬态脉冲放电测试回路, 采用可编程电子负载或脉冲放电装置进行放电;
- c) 在规定时间范围内 (100ms ~ 1s), 对电容器单体施加脉冲负载, 使其从规定电压状态下进行快速放电, 并记录输出电压、电流及功率变化过程;
- d) 根据测得的瞬态放电功率及电容器单体质量或体积, 按公式 (4) 或公式 (5) 计算瞬态功率密度;
- e) 重复试验 3 次, 取其平均值作为测试结果。

$$P_{dm} = U_R \times I_{peak} / m \dots\dots\dots (4)$$

$$P_{dm} = U_R \times I_{peak} / V \dots\dots\dots(5)$$

式中:

P_{dm} ——瞬态功率密度, 单位为W/kg或W/L;

U_R ——额定电压, 单位为伏(V);

I_{peak} ——瞬态放电过程中的最大输出电流, 单位为A;

m ——电容器单体质量, 单位为kg;

V ——电容器单体体积, 单位为L。

5.2.6 储存能量

按照如下步骤测试电容器单体的储存能量:

- 电容器单体按 5.1.1 进行预处理;
- 电容器单体用恒定电流 I_C 充电到额定电压 U_R ;
- 电容器单体以额定电压恒压充电 30min;
- 用恒定电流 I_C 将电容器单体放电到最低工作电压 U_{min} ;
- 重复步骤 b)~d) 3 次, 实时记录电压 U 和时间 t ;
- 分别按式 (6) 计算每次循环电容器单体的放电能量 E , 取其平均值;
- 按式 (7) 计算电容器单体的储存能量 W 。

$$E = I_C \int_{t_1}^{t_2} U dt \dots\dots\dots(6)$$

$$W = \frac{E}{3600} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

E ——放电能量, 单位为焦耳 (J);

I_C ——放电电流, 单位为安培 (A);

t_1 ——电容器单体放电起始时间, 单位为秒 (s);

t_2 ——电容器单体放电至最低工作电压所用的时间, 单位为秒 (s);

W ——储存能量, 单位为瓦时 (W·h)。

5.2.7 最大质量功率密度

在按照5.2.3中的方法测量出电容器单体的内阻值后, 按式 (8) 计算电容器单体的最大质量功率密度。

$$P_m = \frac{U_R^2}{4RM} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

P_m ——电容器单体最大质量功率密度, 单位为瓦每千克 (W/kg);

R ——电容器单体内阻, 单位为欧姆 (Ω);

M ——电容器单体质量, 单位为千克 (kg)。

5.2.8 充放电效率

5.2.8.1 按照如下步骤测试电容器单体的充放电效率 (图 1 所示):

- 按 5.1.1 的方法对电容器单体进行预处理;
- 电容器单体用恒定电流 I_C 从 0V 充电到 $0.5U_R$ 后保压 T_{CV11} 时间, 其中 $T_{CV11}=300$ s;
- 用恒定电流 I_C 将电容器单体继续充电至 U_R , 保压 T_{CV12} 时间, 其中 $T_{CV12}=10$ s;
- 电容器单体用恒定电流 I_C 放电到 $0.5U_R$;
- 对比 T_{CC12} 和 T_{CV12} 之和与 T_{CC13} 的比值。

5.2.8.2 充放电效率可通过式 (9) 以及 $0.5U_R$ - U_R 间的电压、电流-时间特性曲线计算。

$$E_f = \frac{W_d}{W_c} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$

$$W_d = I_C \int_{t_1}^{t_2} U dt \dots\dots\dots(10)$$

$$W_c = I_c \int_{t_0}^{t_1} U dt \dots\dots\dots(11)$$

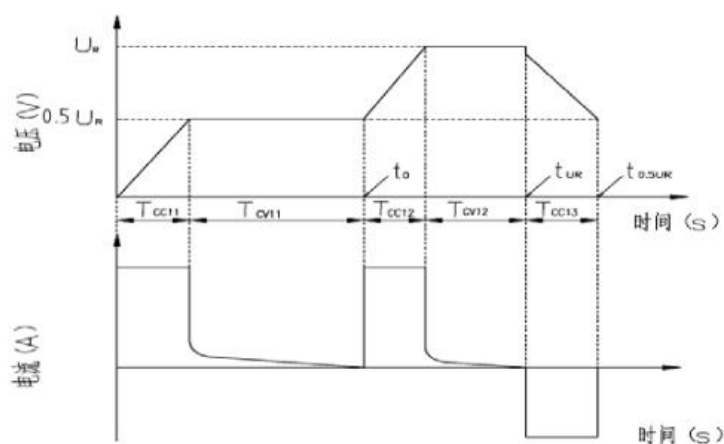


图 1

图示说明：

U_R ——额定电压，单位是伏特(V)；

T_{CC11} ——单体恒流充电至 $0.5U_R$ 的时间，单位为秒(s)；

T_{CV11} ——单体恒压保持 $0.5U_R$ 的时间，单位为秒(s)；

T_{CC12} ——单体恒流充电至 U_R 的时间，单位为秒(s)；

T_{CV12} ——单体恒压保持 U_R 的时间，单位为秒(s)；

T_{CC13} ——单体恒流放电至 $0.5U_R$ 的时间，单位为秒(s)；

t_0 ——单体从 $0.5U_R$ 开始充电的起始时间，单位为秒(s)；

t_1 ——单体开始放电的起始时间，单位为秒(s)；

t_2 ——单体放电至 $0.5U_R$ 的时间，单位为秒(s)。

5.2.9 漏电流测试

样品恒流充电至额定电压，切换恒压模式保持 2 h，采集末端稳态微小电流，与规格书标称限值对比判定。

5.2.10 电压保持率

按照如下步骤测试电容器单体的电压保持率：

- 按 5.1.1 的方法对电容器单体进行预处理；
- 电容器单体用恒定电流 I_C 充电到额定电压 U_R ；
- 电容器单体以额定电压恒压充电 30min；
- 在室温下开路静置 72h 后测量电容器单体的端电压，计算该端电压与额定电压的比值。

5.2.11 高温特性

按照如下步骤测试电容器单体的高温特性：

- 测试前按 5.1.1 的方法对电容器单体进行预处理；
- 按 5.2.2 和 5.2.3 测初始容量、内阻值；
- 将电容器单体放置于 65°C 环境中，保持 6h，在此环境中按 5.2.2 和 5.2.3 的方法测量其容量、内阻值，并计算其与初始值的变化。

5.2.12 低温特性

按照如下步骤测试电容器单体的低温特性：

- 按 5.1.1 的方法对电容器单体进行预处理；

- b) 按 5.2.2 和 5.2.3 测初始容量、内阻值;
- c) 将电容器单体放置于 -40°C 环境中, 保持 16h, 在此环境中按 5.2.2 和 5.2.3 的方法测量其容量、内阻值, 并计算其与初始值的变化。

5.2.13 恒定湿热

按照如下步骤进行电容器单体的恒定湿热试验:

- a) 电容器单体按 5.1.1 进行预处理;
- b) 将电容器单体放置在 $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、90%~95%RH 的温湿度箱中 240h;
- c) 电容器单体在室温环境下放置 24h;
- d) 按 5.2.2 和 5.2.3 检测电容器单体容量和内阻。

5.2.14 低气压

按照如下步骤进行电容器单体的低气压试验:

- a) 电容器单体用恒定电流 I_C 充电到额定电压 U_R , 并稳压 5min;
- b) 电容器单体放入低气压箱中, 调节试验箱中气压为 11.6kPa, 温度为室温, 静置 6h;
- c) 观察 1h。

5.2.15 加热

电容器单体温度循环试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.18方法执行。

5.2.16 穿刺

电容器单体温度循环试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.16方法执行。

5.2.17 挤压

电容器单体温度循环试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.17方法执行。

5.2.18 跌落

电容器单体温度循环试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.15方法执行。

5.2.19 短路

按照如下步骤进行电容器单体的短路试验:

- a) 电容器单体用恒定电流 I_C 充电到额定电压 U_R , 并稳压 5min;
- b) 将电容器单体经外部短路 10 min, 外部线路电阻应小于 $2\text{ m}\Omega$;
- c) 观察 1h。

5.2.20 过充电

电容器单体温度循环试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.14方法执行。

5.2.21 海水浸泡

电容器单体海水浸泡试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.19方法执行。

5.2.22 温度循环

电容器单体温度循环试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.20方法执行。

5.2.23 阻燃

电容器单体阻燃试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.1.21方法执行。

5.2.24 寿命

5.2.24.1 高温老化寿命

按如下步骤对电容器单体进行检验:

- a) 按 6.5 和 6.6 测量电容器单体的电容量和直流内阻;
- b) 试验条件: 试验温度为上限类别温度 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 试验电压为直流电压, 幅值等于额定电压 U_R 试验持续时间为 1500 h;
- c) 在室温下放置 24 h 后, 检查电容器单体是否电解液泄漏, 按 6.5 和 6.6 测量电容器单体的最终电容量和直流内阻。

5.2.24.2 循环寿命

按如下步骤对电容器单体进行检验:

- a) 按 6.5 和 6.6 初始测量电容器单体的电容量和直流内阻;
- b) 用恒定电流 I 对电容器单体充电到额定电压 U_R 静置 5 s;
- c) 以恒定电流 I 对电容器单体放电到 $0.5U_R$; 静置 5 s;
- d) 重复步骤 b) ~c) 2000 次;
- e) 静置 12 h;
- f) 检查电容器单体是否电解液泄漏, 按 6.5 和 6.6 测量电容器单体电容量和直流内阻; 若满足 5.12.2 则跳转下一步, 否则结束试验;
- g) 重复步骤 b) ~f) 10 次。

5.3 模组

5.3.1 外观

用目测法检测电容器模组的外观。

5.3.2 极性标识

用目测法检测电容器模组的极性标识。

5.3.3 尺寸及质量

用量具和衡器检查电容器模组的外形尺寸、安装尺寸与质量。

5.3.4 容量

按 5.2.2 的方法检测电容器模组的容量。

5.3.5 直流内阻

按 5.2.3 的方法检测电容器模组的直流内阻。

5.3.6 储存能量

按 5.2.4 的方法检测电容器模组的储存能量。

5.3.7 绝缘电阻

按照如下步骤进行电容器模组的绝缘电阻试验:

- a) 将绝缘电阻检测仪正极分别接电容器模组正极和负极, 检测仪负极接电容器模组的外壳;
- b) 启动检测仪, 待检测仪显示屏上数值稳定后, 直接读数。

5.3.8 漏电流测试

样品恒流充电至额定电压, 切换恒压模式保持 2 h, 采集末端稳态微小电流, 与规格书标称限值对比判定。

5.3.9 电压保持率

按照如下步骤进行电容器模组的电压保持率试验:

- a) 测试前按 5.1.1 的方法对电容器模组进行预处理;
- b) 用恒定电流 I_C , 对电容器模组充电到额定电压, 再改为恒压充电 30min, 在室温下开路静置 72h 后测量电容器模组的端电压, 并计算该电压与额定电压的比值。

5.3.10 高温贮存

按照如下步骤进行电容器模组的高温贮存试验：

- a) 将模组放电至0V后进行短路处理；
- b) 将模组放置在试验箱中，试验箱以3° C/min升温速率进行升温，待温度达到70° C后，持续96h；
- c) 将模组从试验箱中取出后放置在室温环境下16h；
- d) 按5.3.4和5.3.5检测电容器模组容量和内阻。

5.3.11 低温贮存

按照如下步骤进行电容器模组的低温贮存试验：

- a) 将模组放电至0V后进行短路处理；
- b) 将模组放置在试验箱中，试验箱以3° C/min降温速率进行降温，待温度达到-40° C后，持续16h；
- c) 将模组从试验箱中取出后放置在室温环境下16h；
- d) 按5.3.4和5.3.5检测电容器模组容量和内阻。

5.3.12 振动

除另有要求，电容器模组按照应用行业相应标准进行振动试验，具体如下：

- a) 用于道路交通的电容器模组，试验按照GB/T 31486—2015方法执行；
- b) 用于轨道交通的电容器模组，试验按照IEC 61373：2010方法执行；
- c) 用于其他应用的电容器模组，试验按照GB/T 2423.102—2008方法求执行。

5.3.13 冲击

除另有要求，按照电容器模组应用行业相应标准进行冲击试验，具体如下：

- a) 用于道路交通的电容器模组，试验按照GB/T 31467.3—2015中的7.2方法执行；
- b) 用于轨道交通的电容器模组，试验按照IEC 61373：2010方法执行；
- c) 用于其他应用的电容器模组，试验按照GB/T 2423.5—2019方法执行。

5.3.14 交变湿热

按照如下步骤进行电容器模组的交变湿热试验

- a) 对电容器模组用恒定电流 I_C 充电至额定电压；
- b) 按照GB/T 2423.4—2008中方法2的要求执行，其温度选择为55° C，试验循环次数为6次。

5.3.15 盐雾

按照如下步骤进行电容器模组的盐雾试验：

- a) 对电容器模组用恒定电流 I_C 充电至额定电压；
- b) 按照GB/T 2423.18—2012中严酷等级（3）的方法执行，试验循环次数为4次。

5.3.16 高海拔

按照如下步骤进行电容器模组的高海拔试验：

- a) 对电容器模组用恒定电流 I_C 充电至额定电压；
- b) 将电容器模组放置在海拔高度为4000m或等同高度的气压条件，温度为25° C±5° C的环境下5h；并用恒定电流 I_C 在模组工作电压范围内进行充放电。
- c) 观察2h。

5.3.17 加热

电容器模组加热试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.2.15方法执行。

5.3.18 挤压

电容器模组挤压试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.2.13方法执行。

5.3.19 跌落

按照如下步骤进行电容器模组的跌落试验：

- a) 用恒定电流 I_C 对电容器模组充电至额定电压，并稳压5min；
- b) 电容器模组端子向下从1.5m高度处自由跌落到水泥地面上；
- c) 观察1h。

5.3.20 短路

电容器模组短路试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.2.7方法执行。

5.3.21 过充电

电容器模组过充电试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.2.11方法执行。

5.3.22 海水浸泡

按电容器模组加热试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.2.16方法执行。

5.3.23 温度循环

按电容器模组加热试验应按照GB/T 34870.1—2017中的6.4.2.17方法执行。

5.3.24 外部火烧

按照如下步骤进行电容器模组的外部火烧试验：

- a) 用恒定电流 I_C 对电容器模组充电至额定电压，并稳压5 min；
- b) 准备一盛放汽油的平盘，其尺寸应超过电容器模组水平尺寸20cm，不超过50cm。平盘高度不高于汽油表面8cm。汽油液面与模组的距离设定为50cm，或者为模组安装状态下地面的离地高度，或者供需双方商定；
- c) 在离电容器模组至少3m远的地方点燃汽油，经过60s的预热后，将油盘放置于模组下方。如油盘尺寸太大无法移动，可以移动模组和支架的方式；
- d) 电容器模组直接暴露在火焰下70s；
- e) 将盖板盖在油盘上，电容器模组在该状态下静置70s。或经供需双方协商后，继续直接暴露在火焰中60s；
- f) 将油盘移走，观察2h。

6 检验规则

6.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。电容器单体检验项目见表1，电容器模组检验项目见表2。

表1 电容器单体

序号	检验项目	出厂检验	型式检验
1.	外观	√	√
2.	容量	√	√
3.	直流内阻	√	√
4.	等效串联电阻(ESR)	√	√
5.	瞬态功率密度试验方法	√	√
6.	储存能量	√	√
7.	质量功率密度	--	√
8.	充放电效率	--	√
9.	漏电流	--	√
10.	电压保持率	√	√
11.	高温特性	--	√
12.	低温特性	--	√
13.	恒定湿热	--	√
14.	低气压	--	√

15.	加热	--	√
16.	穿刺	--	√
17.	挤压	--	√
18.	跌落	--	√
19.	短路	--	√
20.	过充电	--	√
21.	海水浸泡	--	√
22.	温度循环	--	√
23.	阻燃	--	√
24.	寿命	--	√
注1：“--”为不检项目；“√”为必检项目。			
注2：型式试验共需26支电容器单体，建议电容器单体为3个月以内的同一批次新电容器单体。			

表 2 电容器模组

序号	检验项目	出厂检验	型式检验
1.	外观	√	√
2.	极性标识	√	√
3.	尺寸及质量	√	√
4.	容量	√	√
5.	直流内阻	√	√
6.	储存能量	√	√
7.	绝缘电阻	√	√
8.	漏电流	--	√
9.	电压保持率	√	√
10.	高温贮存	--	√
11.	低温贮存	--	√
12.	振动	--	√
13.	冲击	--	√
14.	交变湿热	--	√
15.	盐雾	--	√
16.	高海拔	--	√
17.	加热	--	√
18.	挤压	--	√
19.	跌落	--	√
20.	短路	--	√
21.	过充电	--	√
22.	海水浸泡		
23.	温度循环		
24.	外部火烧		
注1：“--”为不检项目；“√”为必检项目。			
注2：型式试验共需26支电容器单体，建议电容器单体为3个月以内的同一批次新电容器单体。			

6.2 出厂检验

6.2.1 所有产品应由制造商进行出厂检验，检验合格方可出厂。

6.2.2 在出厂检验中，如出现有一项或一项以上不合格时，应将该产品退回生产部门返工，然后再次提交检验。若再次检验仍有一项或一项以上不合格，则判定该产品为不合格产品。

6.3 型式检验

6.3.1 有下列情况之一时进行型式检验：

- 新产品的试制定型、鉴定时；
- 原材料、工艺、结构有重大改变，对产品性能有较大影响时；
- 产品停产半年以上恢复生产时；
- 同型号产品每两年送检一次；

- e) 转厂；
- f) 当质量监督管理部门提出要求时。

6.3.2 在型式检验中，若有一项检验不合格时，应判定为不合格。

7 标志、包装、运输和储存

7.1 标志

每个产品上应在适当的明显位置标志，且包含下列标志：

- a) 制造商名称。
- b) 产品代码、产品编码。
- c) 产品标识。
- d) 制造日期。
- e) 商标。
- f) 极性符号标志。

7.2 包装

7.2.1 包装应具有防潮、防雨性能。

7.2.2 产品及附件应在包装箱内牢固定位，产品包装应坚固并易于运输。

7.2.3 包装箱内应装入随同产品提供的文件：

- a) 装箱单（指多支包装）；
- b) 产品合格证；
- c) 产品使用说明书；
- d) 出厂检验报告。

7.2.4 包装箱外应标明电容器名称、型号、数量、地址、邮编、执行标准编号、净重和毛重、公司名称、出厂日期，应有“易碎物品”、“怕湿”、“向上”等必要标志，其包装储运图示应符合 GB/T 191 的规定

7.3 运输

产品运输时应符合下列要求：

- a) 产品包装成箱后再运输，运输过程中超级电容器的荷电状态宜低于 50%G 或符合指定要求。
- b) 运输过程中防止剧烈振动、冲击、挤压，防止日晒雨淋，不得倒置。
- c) 在装卸过程中，轻搬轻放，防止摔掷、翻滚、重压。

7.4 储存

产品的存储应符合下列要求：

- a) 产品宜以低于 50%或符合指定要求的荷电状态，储存温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 95% 的清洁、干燥及通风良好的室内。
- b) 产品储存时不受阳光直射，远离火源且距离热源不得少于 2m。
- c) 避免与腐蚀性介质接触，避免掉入杂物。
- d) 不得倒置及卧放，避免受机械冲击或重压。