

T/CITSA 08.3-2021

ICS45.060.20

S50

# 团 体 标 准

T/CITSA 08.3-2021

---

## 轨道交通用超级电容器单体和模组要求 与测试规范

Requirement and test standards for super-capacitor cell and module of railway  
transportation equipment

2021-04-19 发布

2021-04-19 实施

---

中国智能交通协会 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 符号 .....	3
5 技术要求 .....	4
6 检验方法 .....	7
7 检验规则 .....	22

## 前 言

本部分按照GB/T1.1-2009给出的规则起草。

本部分由中国智能交通协会提出并归口。

本部分起草单位：中车工业研究院有限公司、北京交通大学、中车株洲电力机车有限公司、中车青岛四方车辆研究所有限公司、宁波中车新能源科技有限公司。

本部分主要起草人：李明高、闫一凡、周高伟、梁瑜、黄戩、肖博文、刘陆洲、乔志军。

# 轨道交通用超级电容器单体和模组要求与测试规范

## 1 范围

本标准规定了轨道交通用超级电容器的术语和定义、技术要求、检验方法、检验规则。

本标准适用于轨道交通用超级电容器单体和模组（本标准涉及的超级电容器单体和模组分为双电层、混合型和电池型三种）。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 21563—2018 轨道交通机车车辆设备冲击和振动试验

GB/T 34870.1—2017 超级电容器 第1部分：总则

T/CSCI 003—2018 电池型超级电容器总规范

## 3 术语和定义

GB/T 31870.1—2017 和 T/CSCI 003—2018 中界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1 超级电容器 supercapacitors

一种电化学储能器件，介于普通电容器和蓄电池之间，其至少有一个电极利用双电层实现储能，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。

[GB/T 34870.1—2017，定义 3.3]

### 3.2 双电层超级电容器 electric double-layer supercapacitors

电极采用高比表面积材料作为主要材料的超级电容器，通过极化电解液形成双电层来储能，无法拉第反应，在恒流充放电过程中的时间与电压的关系曲线近似于线性，最低工作电压为 0V。

[GB/T 34870.1—2017，定义 3.4]

### 3.3 混合型超级电容器 hybrid supercapacitors

两极分别利用双电层电容和法拉第准电容过程实现储能的超级电容器，在恒流充放电过程中的时间与电压的关系曲线近似于线性。

注：改写 GB/T 34870.1—2017，定义 3.5

### 3.4 电池型超级电容器 battery-type supercapacitors

正极和（或）负极中兼有双电层和氧化还原反应实现储能的超级电容器。

[T/CSCI 003—2018，定义 3.2]

### 3.5 单体 cell

电容器的基本单元，由电极、隔膜、电解质/液、引出端子和外包装构成的组装体。

[GB/T 34870.1—2017, 定义 3.8]

### 3.6 模组 module

由两个或两个以上电容器单体及其附件（如必要的均衡、管理系统，紧固件等）构成的组合体。

[GB/T 34870.1—2017, 定义 3.9]

### 3.7 额定电压 rated voltage

在最低工作温度和最高工作温度之间，电容器能够持续工作，并能表现出额定特性的最高电压。

[GB/T 34870.1—2017, 定义 3.10]

### 3.8 充放电电流 charging and discharging current

电容器充电或放电时的电流值。

[GB/T 34870.1—2017, 定义 3.23]

### 3.9 容量 capacity

电容器储存电荷的能力。

注 1：对于双电层和混合型电容器，其单位为法拉（F），对于电池型超级电容器，其单位为（Ah）。

注 2：改写 GB/T 34870.1—2017, 定义 3.1

### 3.10 额定容量 rated capacity

在规定条件下测得的，由企业/制造商给定的电容器应该放出的容量。

注：对于双电层和混合型电容器，其单位为法拉（F），对于电池型超级电容器，其单位为（Ah）。

[T/CSCI 003—2018, 定义 3.6]

### 3.11 标称能量 nominal energy

在规定条件下测得的，由企业/制造商提供的电容器储存电能，单位为瓦时（Wh）。

[T/CSCI 003—2018, 定义 3.7]

### 3.12 储存能量 stored energy

在电容器中存储的电能。

[T/CSCI 003—2018, 定义 3.8]

### 3.13 电压保持能力 voltage holding characteristics

电容器充电至额定电压后，在开路状态下维持电压的能力。

[GB/T 34870.1—2017, 定义 3.18]

### 3.14 循环寿命 cycle life

在指定的充放电终止条件下，以特定的充放电制度进行充放电，超级电容在不能满足寿命终止标准前所能进行的循环数。

### 3.15 下限温度 lower category temperature

电容器设计时所规定的最低环境温度，单位为摄氏度（℃）。  
[GB/T 34870.1—2017，定义 3.26]

### 3.16 上限温度 upper category temperature

电容器设计时所规定的最高环境温度，单位为摄氏度（℃）。  
[GB/T 34870.1—2017，定义 3.25]

### 3.17 内阻 internal resistance

电容器中的电解质、正负极、隔膜等电阻的总和，单位为欧姆(Ω)。

### 3.18 标称内阻 nominal resistance

在规定条件下测得的，由企业/制造商提供的电容器直流内阻，单位为欧姆(Ω)。  
注：改写 GB/T 34870.1—2017，定义 3.17。

### 3.19 直流内阻 internal D.C. resistance

采用直流方法测得的电容器内阻，单位为欧姆（Ω）。

### 3.20 最大功率密度 maximum power density

充满电的电容器单位质量所能输出的最大功率，单位为瓦每千克（W/kg）。  
[GB/T 34870.1—2017，定义 3.20]

### 3.21 能量密度 energy density

从电容器的单位质量所获取的电能，单位为瓦时每千克（Wh/kg）。  
注：改写自 GB/T 34870.1—2017，定义 3.14。

### 3.22 开路电压 open current voltage

电容器在开路状态下的端电压，单位为伏特（V）。

### 3.23 最低工作电压 minimum operated voltage

设计时所规定的电容器的最低使用电压。  
[GB/T 34870.1—2017，定义 3.11]

## 4 符号

下列符号适用于本标准。

- A——电压保持能力，单位为百分比（%）；
- C——容量，单位为法拉（F）；
- E——储存能量，单位为瓦时（Wh）；
- M——质量，单位为千克（kg）；
- C<sub>N</sub>——标称容量，单位为法拉（F）；
- E<sub>dm</sub>——能量密度，单位为瓦时每千克（Wh/kg）；
- I——恒流充放电电流，单位为安培（A）；
- P<sub>dm</sub>——功率密度，单位为瓦每千克（W/kg）；

$R_{DC}$ ——直流内阻，单位为欧姆（ $\Omega$ ）；

$U_R$ ——额定电压，单位为伏特（V）；

$U_{min}$ ——最低工作电压，单位为伏特（V）；

$U_{CV}$ ——开路电压，单位为伏特（V）；

$I_1$ ——1倍率充放电电流，单位为安培（A），其数值等于 $C_N \times (U_R - U_{min}) / 3600$ ；

全文若已经规定了符号，建议后文全部采用符号考虑读者阅读和理解方便，建议保留符号对应文字，避免阅读时前后查找符号对应的含义。

## 5 技术要求

### 5.1 单体

#### 5.1.1 外观

电容器按6.2.1试验时，外壳不应有变形及裂纹，表面无毛刺、干燥、无外伤、无电解液溢痕，且标志清晰、正确。

#### 5.1.2 极性标识

电容器按6.2.2试验时，端子极性标识应清晰完整、准确无误。

#### 5.1.3 外形尺寸及质量

电容器按6.2.3试验时，其外形尺寸及质量符合型号产品标准的规定。

#### 5.1.4 直流内阻

电容器按6.2.4试验时，直流内阻不应大于其标称内阻。

#### 5.1.5 储存能量

##### 5.1.5.1 双电层超级电容器

电容器按6.2.5.1试验时，单体储存能量应为标称能量的90%~120%。

##### 5.1.5.2 混合型超级电容器

电容器按6.2.5.2试验时，单体储存能量应为标称能量的80%~120%。

##### 5.1.5.3 电池型超级电容器

电容器按6.2.5.3试验时，单体储存能量应为标称能量的90%~120%。

#### 5.1.6 容量

##### 5.1.6.1 双电层超级电容器

电容器按6.2.6.1试验时，单体的容量应为标称容量的90%~120%。同时所有测试对象初始容量极差不大于初始容量平均值的5%。

注：极差是所有样本的最大值和最小值之差。

##### 5.1.6.2 混合型超级电容器

电容器按6.2.6.2试验时，单体的容量应为标称容量的80%~120%。同时所有测试对象初始容量极差不大于初始容量平均值的5%。

##### 5.1.6.3 电池型超级电容器

电容器按6.2.6.3试验时，单体的容量应为标称容量的100%~120%。同时所有测试对象初始容量极差不大于初始容量平均值的5%。

#### 5.1.7 功率密度

电容器按6.2.7试验时，功率密度不应小于其标称值。

双电层超级电容器功率密度 $>8\text{kW/kg}$ 。

混合型超级电容器功率密度 $>4\text{kW/kg}$ 。

电池型超级电容器功率密度 $>1\text{kW/kg}$ 。

## 5.1.8 电压保持能力

### 5.1.8.1 双电层超级电容器

电容器按6.2.8.1试验后，电容器两端电压不应低于额定电压的80%。

### 5.1.8.2 混合型超级电容器

电容器按6.2.8.2试验后，电容器两端电压不应低于额定电压的95%。

### 5.1.8.3 电池型超级电容器

电容器按6.2.8.3试验后，电容器两端电压不应低于额定电压的95%。

## 5.1.9 高温性能

### 5.1.9.1 双电层超级电容器

电容器按6.2.9.1试验时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的85%；
- b) 储存能量不低于初始值的85%。

### 5.1.9.2 混合型超级电容器

电容器按6.2.9.2试验时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的80%；
- b) 储存能量不低于初始值的80%。

### 5.1.9.3 电池型超级电容器

电容器按6.2.9.3试验时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的85%；
- b) 储存能量不低于初始值的85%。

## 5.1.10 低温性能

### 5.1.10.1 双电层超级电容器

电容器按6.2.10.1试验时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的65%；
- b) 储存能量不低于初始值的50%。

### 5.1.10.2 混合型超级电容器

电容器按6.2.10.2试验时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 容量大于初始值的60%；
- b) 储存能量不低于初始值的50%。

### 5.1.10.3 电池型超级电容器

电容器按6.2.10.3试验时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 容量不低于初始值的65%；
- b) 储存能量不低于初始值的50%。

## 5.1.11 寿命测试

### 5.1.11.1 高温负荷寿命

电容器按6.2.11.1试验时，其性能应满足下列要求：

- a) 容量大于初始值的80%，其内阻小于初始值的2倍；

b) 无电解液泄露。

#### 5.1.11.2 循环寿命

a) 双电层和混合型超级电容器按6.2.11.2试验时,其性能应满足下列要求:

- 1) 容量大于初始值的80%,其内阻小于初始值的2倍;
- 2) 无电解液泄露。

b) 电池型超级电容器按6.2.11.2试验时,其性能应满足下列要求:

- 1) 储存能量大于初始值的80%;
- 2) 无电解液泄露。

#### 5.1.12 安全性能

5.1.12.1 电容器单体经 6.2.12.1 过放电试验后,不应爆炸、起火、漏液。

5.1.12.2 电容器单体经 6.2.12.2 过充电试验后,不应爆炸、起火、漏液。

5.1.12.3 电容器单体经 6.2.12.3 短路试验后,不应爆炸、起火。

5.1.12.4 电容器单体经 6.2.12.4 跌落试验后,水基体系的电容器不应爆炸、起火,有机体系的电容器不应爆炸、起火、漏液。

5.1.12.5 电容器单体经 6.2.12.5 加热试验时,不应爆炸、起火。

5.1.12.6 电容器单体经 6.2.12.6 挤压试验后,不应爆炸、起火。

5.1.12.7 电容器单体经 6.2.12.7 针刺试验后,不应爆炸、起火。

5.1.12.8 电容器单体经 6.2.12.8 海水浸泡试验后,不应爆炸、起火。

5.1.12.9 电容器单体经 6.2.12.9 温度循环试验后,不应爆炸、起火、漏液。

5.1.12.10 电容器单体经 6.2.12.10 低气压试验后,不应爆炸、起火、漏液。

### 5.2 模组

#### 5.2.1 外观

电容器模组按6.3.1试验时,外壳不应有变形及裂纹,表面无毛刺、干燥、无外伤、无电解液溢痕,且排列整齐、标志清晰、正确。

#### 5.2.2 极性标识

电容器模组按6.3.2试验时,端子极性标识应清晰完整、准确无误。

#### 5.2.3 外形尺寸及重量

电容器模组按6.3.3试验时,其外形尺寸及重量符合型号产品标准的规定。

#### 5.2.4 直流内阻

电容器模组按6.3.4试验时,直流内阻不应大于其标称直流内阻。

#### 5.2.5 储存能量

##### 5.2.5.1 双电层超级电容器模组

电容器模组按6.3.5.1试验时,模组储存能量应为标称容量的90%~120%。

##### 5.2.5.2 混合型超级电容器模组

电容器模组按6.3.5.2试验时,模组储存能量应为标称容量的80%~120%。

##### 5.2.5.3 电池型超级电容器模组

电容器模组按6.3.5.3试验时,模组储存能量应为标称容量的90%~120%。

#### 5.2.6 容量

#### 5.2.6.1 双电层超级电容器模组

电容器模组按6.3.6.1试验时，模组储存能量应为标称容量的100%~120%。同时所有测试对象初始容量极差不大于初始容量平均值的7%。

注：极差是所有样本的最大值和最小值之差。

#### 5.2.6.2 混合型超级电容器模组

电容器模组按6.3.6.2试验时，模组储存能量应为标称容量的80%~120%。同时所有测试对象初始容量极差不大于初始容量平均值的7%。

#### 5.2.6.3 电池型超级电容器模组

电容器模组按6.3.6.3试验时，模组储存能量应为标称能量的100%~120%。同时所有测试对象初始容量极差不大于初始容量平均值的7%。

#### 5.2.7 功率密度

电容器模组按6.3.7试验时，功率密度不应小于其标称值。

#### 5.2.8 电压保持能力

##### 5.2.8.1 双电层超级电容器模组

电容器模组按6.3.8.1试验后，模组两端电压不应低于额定电压的80%。

##### 5.2.8.2 混合型超级电容器模组

电容器模组按6.3.8.2试验后，模组两端电压不应低于额定电压的95%。

##### 5.2.8.3 电池型超级电容器模组

电容器模组按6.3.8.3试验后，模组两端电压不应低于额定电压的95%。

#### 5.2.9 安全性能

5.2.9.1 电容器模组经 6.3.9.1 过放电试验后，不应爆炸、起火、漏液。

5.2.9.2 电容器模组经 6.3.9.2 过充电试验后，不应爆炸、起火、漏液。

5.2.9.3 电容器模组经 6.3.9.3 短路试验后，不应爆炸、起火。

5.2.9.4 电容器模组经 6.3.9.4 跌落试验后，水基体系的电容器不应爆炸、起火，有机体系的电容器不应爆炸、起火、漏液。

5.2.9.5 电容器模组经 6.3.9.5 加热试验后，不应爆炸、起火。

5.2.9.6 电容器模组经 6.3.9.6 挤压试验后，不应爆炸、起火。

5.2.9.7 电容器模组经 6.3.9.7 针刺试验后，不应爆炸、起火。

5.2.9.8 电容器模组经 6.3.9.8 海水浸泡试验后，不应爆炸、起火。

5.2.9.9 电容器模组经 6.3.9.9 温度循环试验后，不应爆炸、起火、漏液。

#### 5.2.10 耐振动性

电容器模组按6.3.10试验时，不应出现放电电流锐变、电压异常、电容器壳变形、电解液溢出等现象，并保持连接可靠、结构完好，不应装机松动，振动后模组内阻不应大于其标称值。

## 6 检验方法

### 6.1 试验条件

#### 6.1.1 环境条件

除另有规定外，一切测量、试验和恢复均在下列环境中进行：

——温度：25℃±5℃；

——相对湿度：15%~90%；

——气压：86kPa~106kPa。

### 6.1.2 测量仪器、仪表准确度

主要测量仪器和设备应经计量部门检定合格，并在检定有效期内使用。测量仪器、仪表准确度应满足以下要求：

- a) 电压测量装置：准确度不低于0.2级，电压分辨率达到5mV或更低，
- b) 输入阻抗不小于1kΩ/V；
- c) 电流测量装置：准确度不低于0.2级；
- d) 温度测量装置：具有适当的量程，其分度值不大于1℃，标定准确度不低于0.5℃；
- e) 计时器：按时、分、秒分度，准确度为±0.1%；
- f) 恒流源输出电流精度为±1‰；
- g) 恒压源输出电压精度为±1‰；
- h) 检测数据最小采样间隔应低于100ms；
- i) 测量尺寸的量具：分度值不大于1mm；
- j) 称量重量的衡器：准确度为±0.05%以上。

## 6.2 单体

### 6.2.1 外观

在良好的光线条件下，用目测法检查电容器单体的外观。

### 6.2.2 极性标识

用电压表检测电容器单体的极性，并用目测法检查电容器单体的极性标识。

### 6.2.3 外形尺寸和重量

用量具和衡器测量电容器单体的外形尺寸和重量。

### 6.2.4 直流内阻

#### 6.2.4.1 双电层超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的直流内阻：

- a) 电容器单体以恒定电流 $I$ 充电到额定电压；
- b) 电容器单体以额定电压恒压充电5min；
- c) 以恒定电流 $I_d$ 放电到最低工作电压 $U_{\min}$ ；
- d) 分别记录 $U_1=0.8U_R$ 和 $U_2=0.4U_R$ 的电压值，用最小二乘法拟合直线和初始放电时刻的交点得出电压降 $\Delta U_3$ ，电容器单体的直流内阻值可由公式 $R_{DC}=\Delta U_3/I_d$ 计算得到，参见图1；
- e) 重复a)~d) 3次，取其平均值。

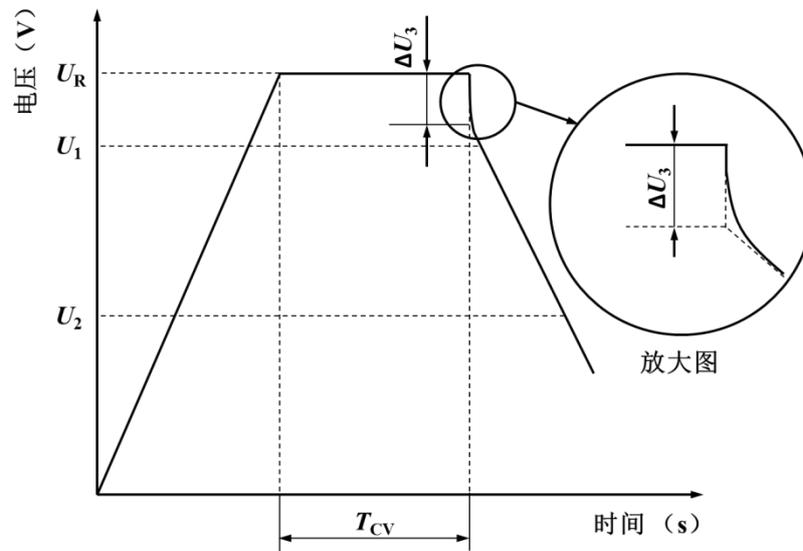


图1 双电层单体直流内阻及容量计算示意图

说明:

$U_R$ ——额定电压, 单位为V;

$U_1$ ——起始电压,  $U_1=0.8U_R$ , 单位为V;

$U_2$ ——终止电压,  $U_2=0.4U_R$ , 单位为V;

$\Delta U_3$ ——电压降, 单位为V;

$T_{CV}$ ——恒压持续时间, 单位为s。

根据双电层超级电容器的分类的不同, 按照以下不同的测试条件进行测试, 见表1。

表 1 双电层电容器测试条件

恒流充电电流 (mA)	$I (\geq U_R/38 R_N)^a$
恒压充电时间 (min)	5
恒流放电电流 (mA)	$I_d (\geq U_R/40R_N)^a$
$U_1$	$0.8 \times U_R$
$U_2$	$0.4 \times U_R$
<sup>a</sup> $R_N$ 和 $C_N$ 分别代表标称内阻和标称容量	
注：若 $\Delta U_3 > 0.05 \times U_R$ ，放电电流值应相应减小原有值的1/2、1/5和1/10； 若 $\Delta U_3 > 0.2 \times U_R$ ，放电电流值应相应减小原有值的1/2、1/5和1/10。	

6.2.4.2 混合型超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的直流内阻：

- a) 如未特别指明，一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压；（全文描述方法应统一，6.2.7.2、6.2.6.2等有四种描述方式）
- b) 在6.1.1规定的环境中静置16h，采用此方法测量电容器的性能，作为对比依据（无特别规定外，测量三次取平均值）；
- c) 将单体以恒定电流 $I$ 充电至最高电压 $U_1$ ，恒压2min；
- d) 将单体以恒定电流 $I$ 放电，记录10ms内电压降为 $\Delta U$ ；
- e) 将单体以恒定电流 $I$ 放电至最低电压 $U_2$ ，记录全电压放电时间 $t$ ，记录从 $0.9U_1$ 至 $0.7U_1$ 放电时间 $\Delta t$ ；内阻 $R_{DC}=\Delta U/I$ 。

6.2.4.3 电池型超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的直流内阻：

- a) 将单体以电流 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压，恒压2min；
- b) 将单体以恒定电流 $I$ 放电至最低工作电压，记录从开始放电开始，10ms内电压降为 $\Delta U$ ；
- c) 重复以上过程三次，记录第三次的直流内阻：内阻 $R_{DC}=\Delta U/I$ 。

6.2.5 储存能量

6.2.5.1 双电层超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的储存能量：

- a) 电容器单体以电流 $I (\geq U_R/38R_N)$ 恒流充电至额定电压 $U_R$ ；
- b) 电容器单体以额定电压恒压充电5min；
- c) 以恒定电流 $I_d (\geq U_R/40R_N)$ 放电到最低工作电压 $U_{min}$ ；
- d) 重复步骤a)~c) 3次，实时记录电压 $U$ 和时间 $t$ ；
- e) 分别记录电容器单体的3次放电能量，计算方法见公式（1），取平均值；
- f) 能量密度计算方法见公式（2）。

$$E = I \int_{t(U_R)}^{t(U_{min})} U(t)dt/3600 \dots \dots \dots (1)$$

$$E_{dm}=E/M \dots \dots \dots (2)$$

### 6.2.5.2 混合型超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的储存能量：

- 如未特别指明，一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压；
- 在6.1.1规定的环境中静置24h，采用此方法测量电容器的性能，作为对比依据（无特别规定外，测量三次取平均值）；
- 将单体以恒定电流 $I$ 充电至最高工作电压 $U_R$ ，恒压2min；
- 将单体以恒定电流 $I$ 放电，记录10ms内电压降为 $\Delta U$ ；
- 将单体以恒定电流 $I$ 放电至最低电压 $U_{\min}$ ，记录全电压放电时间 $t$ ，实时记录电压 $U$ 和时间 $t$ ；放电总能量计算方法见公式（1），比能量计算方法见公式（2）。

### 6.2.5.3 电池型超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的储存能量：

- 电容器单体先以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压 $U_R$ ；
- 电容器单体以额定电压恒压充电2min；
- 以恒定电流 $I$ 放电到最低工作电压 $U_{\min}$ ；
- 重复步骤a)～c) 3次，实时记录电压 $U$ 和时间 $t$ ；
- 放电总能量根据公式（1）积分计算得出，分别记录电容器单体的3次放电能量，取平均值，比能量计算方法见公式（2）。

## 6.2.6 容量

### 6.2.6.1 双电层超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的容量：

- 电容器单体以电流 $I (\geq U_R/38R_N)$ 恒流充电至额定电压；
- 电容器单体以额定电压恒压充电5min；
- 以恒定电流 $I_d (\geq U_R/40R_N)$ 放电到最低工作电压 $U_{\min}$ ；
- 分别记录 $U_1=0.8U_R$ 和 $U_2=0.4U_R$ 的电压值，和对应的时刻 $t_1$ 、 $t_2$ ；
- 根据下列公式计算电容器单体的容量：

$$C = \frac{I_d \times (t_1 - t_2)}{U_1 - U_2} \dots\dots\dots (3)$$

- 重复a)～d) 3次，取其平均值。

### 6.2.6.2 混合型超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的容量：

- 如未特别指明，一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压；
- 在6.1.1规定的环境中静置24h，采用此方法测量电容器的性能，作为对比依据（无特别规定外，测量三次取平均值）；
- 将单体以恒定电流 $I$ 充电至最高电压 $U_1$ ，恒压2min；
- 将单体以恒定电流 $I$ 放电至最低电压 $U_2$ ，记录从 $0.9U_1$ 至 $0.7U_1$ 放电时间 $\Delta t$ ；静电容量 $C=I\Delta t/(0.9U_1-0.7U_1)$ 。

### 6.2.6.3 电池型超级电容器

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的容量：

- 电容器单体以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压；
- 电容器单体以额定电压恒压充电2min；
- 以恒定电流 $I$ 放电到最低工作电压 $U_2=U_{\min}$ ；
- 重复步骤a)～c) 3次，记录开始放电时刻 $t_1$ 和放电终止时刻 $t_2$ ；

- e) 放电总能量根据公式(4)积分计算得出,分别记录电容器单体的3次放电能量,取平均值,单位为Ah。

$$C = I \int_{t_1}^{t_2} dt / 3600 \dots \dots \dots (4)$$

6.2.7 功率密度

6.2.7.1 室温下,按照如下步骤测试电容器单体的功率密度

双电层超级电容器和混合型超级电容器在按照 6.2.4.1 和 6.2.4.2 的方法测试得出电容器单体的内阻后,按照如下公式计算电容器单体的功率密度。

$$P_{dm} = \frac{0.25U_R^2}{RM} \dots \dots \dots (5)$$

6.2.7.2 室温下,电池型超级电容器的功率密度测试步骤

- a) 电容器单体以  $I=5I_1$  恒流充电至额定电压;
- b) 电容器单体以制造商规定的最大放电电流  $I_{dmax}$  从额定电压开始放电,记录10s后的电压  $U_d$ ;
- c) 重复以上步骤3次,计算功率密度,取平均值。

$$P_{dm} = \frac{U_d \times I_{dmax}}{M} \dots \dots \dots (6)$$

注:在以  $I_{dmax}$  充电 10s 后的电压应小于最高充电电压,在以  $I_{dmax}$  放电 10s 后的电压应大于最低工作电压。

6.2.8 电压保持能力

6.2.8.1 双电层超级电容器

室温下,按照如下步骤测试电容器单体的电压保持能力:

- a) 电容器单体以电流  $I (\geq U_R / 38R_N)$  恒流充电到额定电压  $U_R$ ;
- b) 电容器单体以额定电压恒压充电30min;
- c) 在实验温度条件下开路静置72h后,测量电容器单体的开路电压  $U_{CV}$ 。

$$A = \frac{U_{CV}}{U_R} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

6.2.8.2 混合型超级电容器

室温下,按照如下步骤测试电容器单体的电压保持能力:

- a) 电容器单体以  $I=5I_1$  恒流充电至额定电压  $U_R$ ;
- b) 电容器单体以额定电压恒压充电30min;
- c) 在试验温度条件下开路静置72h后,测量电容器单体的端电压,计算出端电压与额定电压之间的比值为其电压保持能力。

6.2.8.3 电池型超级电容器

按照如下步骤测试电容器单体的电压保持率:

- a) 电容器单体以  $I=5I_1$  恒流充电至额定电压  $U_R$ ;
- b) 电容器单体以额定电压恒压充电30min;
- c) 在试验温度条件下开路静置72h后,测量电容器单体的端电压,计算出端电压与额定电压之间的比值为其电压保持能力。

6.2.9 高温性能

6.2.9.1 双电层超级电容器

按照如下步骤测试电容器的高温特性:

- a) 将恒温箱温度设定为55°C或者企业规定的不低于55°C的最高工作温度；
- b) 将电容器置于此温度下的恒温箱中6h（或厂家规定不低于6h时间）；
- c) 在此环境下按6.2.5.1和6.2.6.1对电容器进行检测。

#### 6.2.9.2 混合型超级电容器

按照如下步骤测试电容器的高温特性：

- a) 一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至最高工作电压；
- b) 将电容器放置于55°C环境中，保持6h（或厂家规定不低于6h时间）；
- c) 在此环境下按6.2.5.2和6.2.6.2对电容器进行检测。

#### 6.2.9.3 电池型超级电容器

按照如下步骤测试电容器的高温特性：

- a) 一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至最高工作电压；
- b) 将电容器放置于55°C环境中，保持6h（或厂家规定不低于6h时间）；
- c) 在此环境下按6.2.5.3和6.2.6.3对电容器进行检测。

### 6.2.10 低温性能

#### 6.2.10.1 双电层超级电容器

按照如下步骤测试电容器的低温特性：

- a) 将恒温箱温度设定为-20°C或者企业规定的不高于-20°C的最低工作温度；
- b) 将电容器置于此温度下的恒温箱中16h；
- c) 在此环境下按6.2.5.1和6.2.6.1对电容器进行检测。

#### 6.2.10.2 混合型超级电容器

按照如下步骤测试电容器的低温特性：

- a) 一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至最高工作电压；
- b) 将电容器放置于-20°C环境中，或者企业规定的不高于-20°C的最低工作温度，保持16h；
- c) 在此环境下按6.2.5.2和6.2.6.2对电容器进行检测

注： $I=I_1$ 。

#### 6.2.10.3 电池型超级电容器

按照如下步骤测试电容器的低温特性：

- a) 将恒温箱温度设定为-20°C或者企业规定的不高于-20°C的最低工作温度；
- b) 将电容器置于此温度下的恒温箱中16h；
- c) 在此环境下按6.2.5.3和6.2.6.3的方法，测试电流为 $I_1$ ，对电容器进行检测。

### 6.2.11 寿命测试

#### 6.2.11.1 高温负荷寿命

高温负荷前按 6.2.4 和 6.2.6 检测直流内阻和电容器容量。按如下步骤进行试验：

- a) 将电容器放入55°C或者企业规定的不低于55°C的最高工作温度的恒温箱内，对电容器保持在 $0.95U_R$ 下进行浮充充电；
- b) 当浮充时间达到250h时，将电容器从恒温箱中取出，在常温搁置24h；
- c) 按6.2.4和6.2.6检测检测直流内阻和电容器容量；若满足5.1.11.1则跳转下一步，否则结束试验；
- d) 重复步骤 a) ~c) 4次。

#### 6.2.11.2 循环寿命

室温下，按照如下步骤测试电容器单体的循环寿命：

- a) 双电层超级电容器按如下步骤进行试验：

- 1) 用恒定电流 $I = 40 I_T$ 或厂家规定的不低于 $40 I_T$ 的电流对电容器单体充电到额定电压 $U_R$ ，静置10s；
  - 2) 以恒定电流 $I = 40 I_T$ 或厂家规定的不低于 $40 I_T$ 的电流对电容器单体放电到最低工作电压 $U_{\min}$ ；静置10s；
  - 3) 重复步骤 a) ~b) 2000次；
  - 4) 静置12h；
  - 5) 按6.2.4.1和6.2.6.1检测电容器单体直流内阻和容量；若满足5.1.11.2则跳转下一步，否则结束试验；
  - 6) 重复步骤 1) ~5) 10次。
- b) 混合型超级电容器按如下步骤进行试验：
- 1) 一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至最高工作电压；
  - 2) 用恒定电流 $I=5I_1$ ，对单体在额定电压和最低电压内进行循环充放电测试；
  - 3) 每循环2000次按6.2.4.2和6.2.6.2的方法对待测单体进行容量内阻测试；
  - 4) 计算容量、内阻保持率，循环10000次后，按5.1.11.2判断是否达到寿命终结。
- c) 电池型超级电容器按如下步骤进行试验：
- 1) 用 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压 $U_R$ ，静置10s；
  - 2) 以恒定电流 $I=5I_1$ 对电容器单体放电到最低工作电压 $U_{\min}$ ；静置10s；
  - 3) 重复步骤1) ~2) 2000次；
  - 4) 静置12h；
  - 5) 按6.2.5.3检测电容器储存能量；按5.1.11.2判断是否达到寿命终结，若无，则跳转下一步，否则结束试验；
  - 6) 重复步骤1) ~5) 10次。

## 6.2.12 安全性能

### 6.2.12.1 过放电

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 放电为0V后继续强制放电，（至0V后的）过放量达到标称容量的50%；
- c) 观察1h。

### 6.2.12.2 过充电

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 对电容器单体充电至其电压达到额定电压的1.5倍或者过充量达到标称容量的100%停止充电；
- c) 观察1h。

### 6.2.12.3 短路

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 将电容器单体正、负极经外部短路10min，外部线路电阻应小于5m $\Omega$ 。

### 6.2.12.4 跌落

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；

- b) 电容器单体端子向下从1.5m高处自由跌落到水泥地面上；
- c) 观察1h。

#### 6.2.12.5 加热

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 将电容器单体置于温度箱内，温度箱按照 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 $130^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，并保持此温度30min停止加热；
- c) 观察1h。

#### 6.2.12.6 挤压

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 按以下条件进行试验：
  - 1) 挤压方向：垂直于极板方向施压，参见图2；
  - 2) 挤压板形式：半径75mm的半圆柱体，半圆柱体的长度(L)大于被挤压单体的尺寸；
  - 3) 挤压程度：电池达到0V或壳体破裂后停止挤压。
- c) 观察1h。

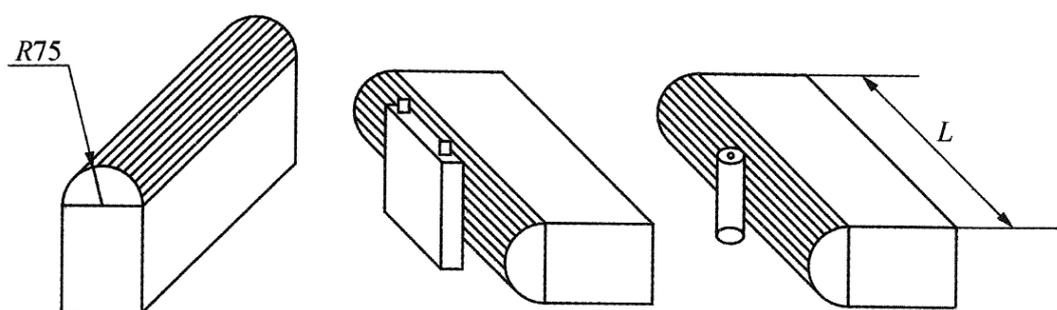


图2 电容器单体挤压板和挤压示意图

#### 6.2.12.7 针刺

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 用 $\phi 5\text{mm}\sim\phi 8\text{mm}$ 的耐高温钢针（针尖的角度 $60^{\circ}$ ，针的表面光洁、无锈蚀、氧化层及油污）、以 $(25\pm 5)\text{mm}/\text{s}$ 的速度，从垂直于电容器极板的方向贯穿（钢针停留在电容器单体中），贯穿位置宜靠近电容器单体的几何中心；
- c) 观察1h。

#### 6.2.12.8 海水浸泡

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 将电容器单体浸入3.5%NaCl溶液（质量百分比，模拟常温下的海水成分）中2h，或直到所有可见的反应停止。水深应完全没过电容器单体。

#### 6.2.12.9 温度循环

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 将电容器单体放入一个自然或循环空气对流的温度箱中。温度箱试验温度按照表2进行调节，温度冲击循环次数5次；

c) 观察1h。

表2 温度循环试验一个循环的温度和时间

温度/°C	时间增量/min	累计时间/min	温度变化率/°C/min
25	0	0	0
-40	60	60	13/12
-40	90	150	0
25	60	210	13/12
85	90	300	2/3
85	110	410	0
25	70	480	6/7

#### 6.2.12.10 低气压

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器单体以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 将电容器单体放入低气压箱中，调节试验箱内气压为11.6kPa，温度为室温，静置6h；
- c) 观察1h。

### 6.3 模组

#### 6.3.1 外观

在良好的光线条件下，用目测法检查电容器模组的外观。

#### 6.3.2 极性标识

用电压表检测电容器模组的极性，并用目测法检查电容器模组的极性标识。

#### 6.3.3 外形尺寸和重量

用量具和衡器测量电容器模组的外形尺寸和重量。

#### 6.3.4 直流内阻

##### 6.3.4.1 双电层超级电容器模组

室温下，按照如下步骤测试电容器模组的直流内阻：

- a) 电容器模组以恒定电流 $I(\geq U_R/38R_N)$ 充电到额定电压；
- b) 电容器模组以额定电压恒压充电5min；
- c) 以恒定电流 $I_d(\geq U_R/40R_N)$ 放电到最低工作电压 $U_{\min}$ ；
- d) 分别记录 $U_1=0.8U_R$ 和 $U_2=0.4U_R$ 的电压值，用最小二乘法拟合直线和初始放电时刻的交点得出电压降 $\Delta U_3$ ，电容器模组的直流内阻值可由公式（1）计算得到，参见图3；
- e) 重复a)～d)至少1次。

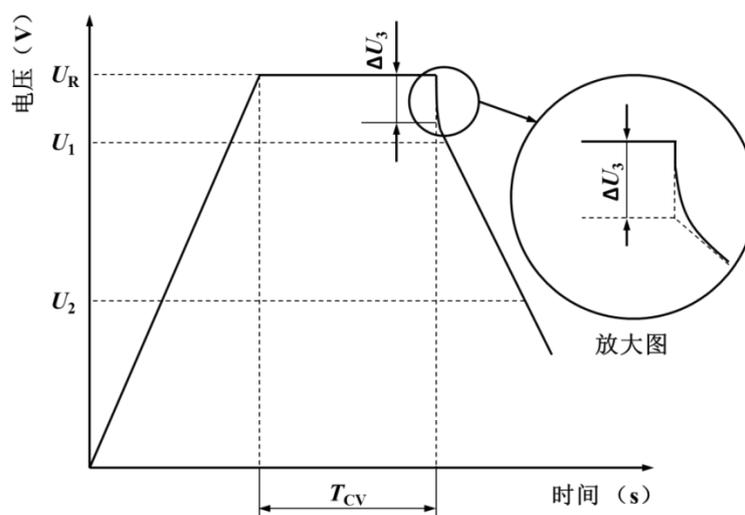


图3 模组直流内阻及容量计算示意图

说明:

$U_R$ ——额定电压, 单位为V;

$U_1$ ——起始电压,  $U_1=0.8U_R$ , 单位为V;

$U_2$ ——终止电压,  $U_2=0.4U_R$ , 单位为V;

$\Delta U_3$ ——电压降, 单位为V;

$T_{CV}$ ——恒压持续时间, 单位为s。

#### 6.3.4.2 混合型超级电容器模组

室温下, 按照如下步骤测试电容器模组的直流内阻:

- 如未特别指明, 一般应先以  $I=5I_1$  恒流充电至额定电压;
- 在6.1.1规定的环境中静置24h, 采用此方法测量电容器模组的性能, 作为对比依据 (无特别规定外, 测量三次取平均值);
- 将模组以恒定电流  $I$  充电至最高电压  $U_1$ , 稳压2min;
- 将模组以恒定电流  $I_0$  放电, 记录10ms内电压降为  $\Delta U$ ;
- 将模组以恒定电流  $I_0$  放电至最低电压  $U_2$ , 记录全电压放电时间  $t$ , 记录从  $0.9U_1$  至  $0.7U_1$  放电时间  $\Delta t$ ; 内阻  $R=\Delta U/I$ 。

#### 6.3.4.3 电池型超级电容器模组

室温下, 按照如下步骤测试电容器模组的直流内阻:

- 将模组以  $I=5I_1$  恒流充电至最高电压, 恒压2min;
- 将模组以恒定电流  $I$  放电至最低工作电压, 记录从开始放电开始, 10ms内电压降为  $\Delta U$ ;
- 重复以上过程三次, 记录第三次的直流内阻: 内阻  $R_{DC}=\Delta U/I$ 。

### 6.3.5 储存能量

#### 6.3.5.1 双电层超级电容器模组

室温下, 按照如下步骤测试电容器模组的储存能量:

- 电容器模组以恒定电流  $I$  充电到额定电压  $U_R$ ;
- 电容器模组以额定电压恒压充电5min;
- 以恒定电流  $I$  放电到最低工作电压  $U_{min}$ ;
- 重复步骤 a) ~c) 至少1次, 实时记录电压  $U$  和时间  $t$ ;

e) 储存能量的计算见公式(1)。

#### 6.3.5.2 混合型超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的储存能量:

- a) 如未特别指明,一般应先以 $I=5I_1$ 电流恒流充电至额定电压;
- b) 在6.1.1规定的环境中静置24h,采用此方法测量电容器模组的性能,作为对比依据(无特别规定外,测量三次取平均值);
- c) 将模组以恒定电流 $I$ 充电至最高工作电压 $U_1$ ,稳压2min;
- d) 将模组以恒定电流 $I$ 放电,记录10ms内电压降为 $\Delta U$ ;
- e) 将模组以恒定电流 $I$ 放电至最低电压 $U_2$ ,实时记录 $U$ 和 $t$ ,放电总能量 $E = \int IUdt/3600$ ,其中 $U$ 从 $U_1$ 积分至 $U_2$ 。

#### 6.3.5.3 电池型超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的储存能量:

- a) 电容器模组以恒定电流 $I$ 充电到额定电压 $U_1=U_R$ ;
- b) 电容器模组以额定电压恒压充电2min;
- c) 以恒定电流 $I$ 放电到最低工作电压 $U_2=U_{\min}$ ;
- d) 重复步骤a)~c)至少1次,实时记录电压 $U$ 和时间 $t$ ;
- e) 放电总能量根据公式(1)积分计算得出。

### 6.3.6 容量

#### 6.3.6.1 双电层超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的容量:

- a) 电容器模组以恒定电流 $I$ 充电到额定电压;
- b) 电容器模组以额定电压恒压充电5min;
- c) 以恒定电流 $I_d (\geq U_R/40R_N)$ 放电到最低工作电压 $U_{\min}$ ;
- d) 分别记录 $U_1=0.8U_R$ 和 $U_2=0.4U_R$ 的电压值,和对应的时刻 $t_1$ 、 $t_2$ ;
- e) 根据公式(3)计算电容器模组的容量;
- f) 重复a)~e)至少1次。

#### 6.3.6.2 混合型超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的容量:

- a) 如未特别指明,一般应先以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压;
- b) 在6.1.1规定的环境中静置24h,采用此方法测量电容器模组的性能;
- c) 将模组以恒定电流 $I$ 充电至最高电压 $U_1$ ,稳压2min;
- d) 将模组以恒定电流 $I$ 放电,记录10ms内电压降为 $\Delta U$ ;
- e) 将模组以恒定电流 $I$ 放电至最低电压 $U_2$ ,记录全电压放电时间 $t$ ,记录从 $0.9U_1$ 至 $0.7U_1$ 放电时间 $\Delta t$ ; 静电容量 $C=I\Delta t / (0.9U_1-0.7U_1)$ ;
- f) 重复a)~e)至少1次。

#### 6.3.6.3 电池型超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的容量:

- a) 电容器模组以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压 $U_1=U_R$ ;
- b) 电容器模组以额定电压恒压充电2min;
- c) 以恒定电流 $I$ 放电到最低工作电压 $U_2=U_{\min}$ ;
- d) 重复步骤a)~c) 3次,记录开始放电时刻 $t_1$ 和放电终止时刻 $t_2$ ;

- e) 放电总能量根据公式(4)积分计算得出,分别记录电容器模组的3次放电能量,取平均值,单位为Ah。

### 6.3.7 功率密度

#### 6.3.7.1 室温下,按照如下步骤测试电容器模组的功率密度

双电层超级电容器模组和混合型超级电容器模组在按照 6.3.4 中的方法测试得出电容器模组的内阻后,按照公式(5)计算电容器模组的功率密度。

#### 6.3.7.2 室温下,电池型超级电容器模组的功率密度测试步骤

- 电容器模组以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压 $U_1=U_R$ ;
- 电容器模组以制造商规定的最大放电电流 $I_{max}$ 从额定电压开始放电,记录10s后的电压 $U_d$ ;
- 重复以上步骤3次,按照公式(6)计算功率密度,取平均值。

### 6.3.8 电压保持能力

#### 6.3.8.1 双电层超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的电压保持能力:

- 电容器模组以恒定电流 $I$ 充电到额定电压 $U_R$ ;
- 电容器模组以额定电压恒压充电30min;
- 在实验温度条件下开路静置72h后,测量电容器模组的端电压 $U_{CV}$ ,按照公式(7)计算电压保持能力。

#### 6.3.8.2 混合型超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的电压保持能力:

- 电容器模组以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压 $U_R$ ;
- 电容器模组以额定电压恒压充电30min;
- 在实验温度条件下开路静置72h后,测量电容器模组的端电压,计算出端电压与额定电压之间的比值为其电压保持能力。

#### 6.3.8.3 电池型超级电容器模组

室温下,按照如下步骤测试电容器模组的电压保持能力:

- 电容器模组以 $I=5I_1$ 恒流充电至额定电压 $U_R$ ;
- 电容器模组以额定电压恒压充电30min;
- 在试验温度条件下开路静置72h后,测量电容器模组的端电压,计算出端电压与额定电压之间的比值为其电压保持能力。

### 6.3.9 安全性能

#### 6.3.9.1 过放电

按如下步骤进行试验:

- 用恒定电流 $I$ 对电容器模组充电到额定电压;
- 用恒定电流 $I$ 对电容器模组放电直至某一单体电压达到0V继续强制放电,至(0V后的)过放量达到额定容量的50%;
- 观察1h。

#### 6.3.9.2 过充电

按如下步骤进行试验:

- 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压;
- 对电容器模组充电至其电压达到额定电压的1.5倍或者过充量达到标称容量的100%停止充电;

c) 观察1h。

#### 6.3.9.3 短路

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 将电容器模组正、负极经外部短路10min，外部线路电阻应小于 $5m\Omega$ 。

#### 6.3.9.4 跌落

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 电容器模组端子向下从1.5m高处自由跌落到水泥地面上；
- c) 观察1h。

#### 6.3.9.5 加热

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 将电容器模组置于温度箱内，温度箱按照 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 $130^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，并保持此温度30min停止加热；
- c) 观察1h。

#### 6.3.9.6 挤压

按如下步骤进行试验：

- a) 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- b) 按以下条件进行试验：
  - 1) 挤压方向：与电容器模组在整车布局上最容易受到挤压的方向相同。如果最容易受到挤压的方向不可获得，则垂直于电容器单体排列方向施压，参见图4；
  - 2) 挤压板形式：半径75mm的半圆柱体，半圆柱体的长度 $L$ 大于被挤压模组的尺寸，但不超过1m；
  - 3) 挤压程度：电容器模组变形量达到30%或挤压力达到电容器模块质量的1000倍和表3所列数值中的较大值；
  - 4) 保持10min。

表 3 挤压力选取表

挤压面接触单体数 $n$ /个	挤压力/kN
1	200
2~5	$100 \times n$
>5	500

c) 观察1h。

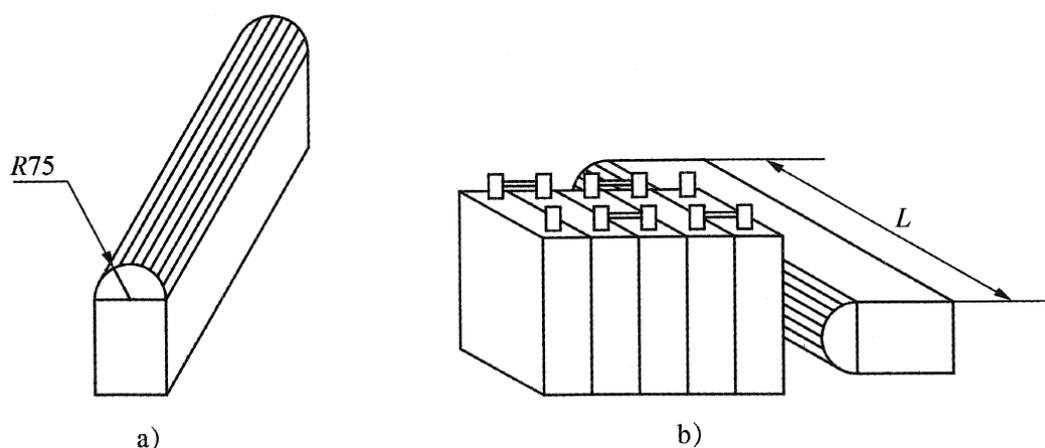


图4 电容器模组挤压板和挤压示意图

#### 6.3.9.7 针刺

按如下步骤进行试验：

- 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- 用 $\phi 6\text{mm} \sim \phi 10\text{mm}$ 的耐高温钢针、以 $(25 \pm 5) \text{mm/s}$ 的速度，从垂直于电容器极板的方向贯穿3个电容器单体（钢针停留在电容器单体中）（如图5所示）；
- 观察1h。

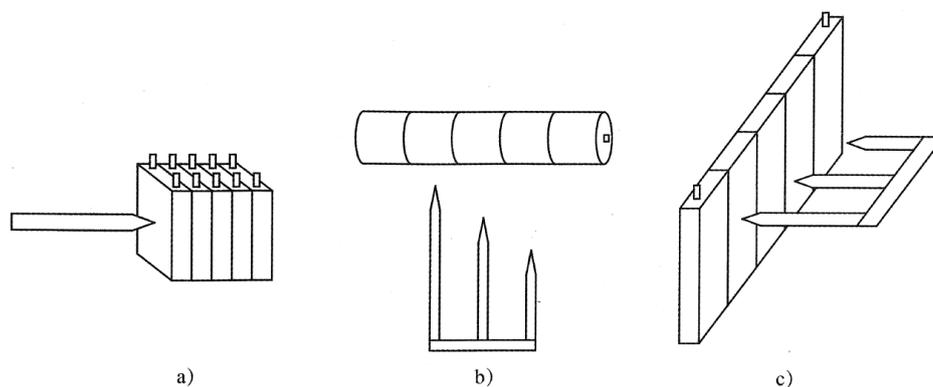


图5 针刺示意图

#### 6.3.9.8 海水浸泡

按如下步骤进行试验：

- 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- 将电容器模组浸入3.5%NaCl溶液（质量百分比，模拟常温下的海水成分）中2h，或直到所有可见的反应停止。水深应完全没过电容器模组。

#### 6.3.9.9 温度循环

按如下步骤进行试验：

- 对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压；
- 将电容器模组放入一个自然或循环空气对流的温度箱中。温度箱试验温度按照表5进行调节，温度冲击循环次数5次；
- 观察1h。

#### 6.3.10 耐振动性

对电容器模组以恒定电流 $I$ 充电至额定电压后进行耐振动试验，试验方法按照GB/T 21563—2018中5-9章进行试验。

## 7 检验规则

### 7.1 出厂检验

每批产品出厂前应在该批产品中随机抽样进行出厂检验。并按表4和表5的规定进行。

在出厂检验中，若有一项或一项以上不合格时，应将该批产品退回生产部门返修普检，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，则判定该批产品为不合格。

### 7.2 型式试验

#### 7.2.1 适用情况

适用情况如下：

- a) 新产品投产和老产品转产；
- b) 结构、材料、工艺有较大变动时；
- c) 产品停产半年后再进行生产时；
- d) 转厂；
- e) 合同规定。

#### 7.2.2 判定规则

在型式检验中，若有一项不合格时，应判定为不合格。

表 4 单体检验

序号	检验项目	出厂检验	型式检验	单体编号	技术要求 对应条款	检验方法 对应条款	样品数量
1	外观	√	√	1号~18号	5.1.1	6.2.1	100%
2	极性标识	√	√		5.1.2	6.2.2	100%
3	外形尺寸及重量	√	√		5.1.3	6.2.3	2%
4	直流内阻	√	√		5.1.4	6.2.4	100%
5	储存能量	√	√		5.1.5	6.2.5	100%
6	容量	√	√		5.1.6	6.2.6	100%
7	功率密度	√	√		5.1.7	6.2.7	100%
8	电压保持能力	—	√		5.1.8	6.2.8	每项2 只，安全 性检验每 项1只。
9	高温特性	—	√	1号, 2号	5.1.9	6.2.9	
10	低温特性	—	√	3号, 4号	5.1.10	6.2.10	
11	高温负荷寿命	—	√	5号, 6号	5.1.11.1	6.2.11.1	
12	循环寿命	—	√	7号, 8号	5.1.11.2	6.2.11.2	
13	安全性能	—	√	9号~18号	5.1.12	6.2.12	

表 5 模组检验

序号	检验项目	出厂检验	型式检验	模组编号	技术要求 对应条款	检验方法 对应条款	样品数量
1	外观	√	√	1号~18号	5.2.1	6.3.1	100%
2	极性标识	√	√		5.2.2	6.3.2	100%
3	外形尺寸及重量	√	√		5.2.3	6.3.3	2%
4	直流内阻	√	√		5.2.4	6.3.4	100%
5	储存能量	√	√		5.2.5	6.3.5	100%
6	容量	√	√		5.2.6	6.3.6	100%
7	功率密度	—	√		5.2.7	6.3.7	100%
8	电压保持能力	—	√		5.2.8	6.3.8	100%
9	安全性能	—	√	1号~9号	5.2.9	6.3.9	每项2只, 安全性检验每项1只
10	耐振动性	—	√	10号	5.2.10	6.3.10	