

# 中国超级电容产业联盟团体标准

T/CSCI XXX—XXX

## 超级电容器安全技术规范

### 第2部分：测试方法

Supercapacitor safety specification-Part 2:Test method

(征求意见稿)

[在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上]

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国超级电容产业联盟  
中国电子工业标准化技术协会 发布

目 次

前 言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

5 试验方法..... 2

6 试验程序..... 90

# 前 言

《超级电容器安全技术规范》分为以下2个部分：

——第1部分：通用要求；

——第2部分：测试方法。

本部分是《超级电容器安全技术规范》的第2部分。

本部分按照GB/T1.1—2009和GB/T20001.4—2015给出的规则起草。

本部分由XXXXXX提出。

本部分由中国超级电容产业联盟归口。

本部分主要起草单位：XXX

本部分主要起草人：XX

# 超级电容器安全技术规范 第2部分：测试方法

## 1 范围

T/CSCI 004.2-2018规定了超级电容器（以下简称为电容器）单体、模组安全试验的术语和定义、方法、试验程序。

本部分适用于各型电容器单体、模组。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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文件。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：湿热，交变（12h+12h循环）

GB/T 2423.5 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc和导则：振动（正弦）

GB/T 2423.18 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）

GB/T 2900.41 电工术语 原电池和蓄电池

GB/T 31467.3-2015 电动汽车用锂离子动力蓄电池和系统 第3部分：安全性要求与测试方法

QC/T 741 车用超级电容器

IEC 61373 铁路应用 机车车辆设备 冲击和振动试验（Railway applications-Rolling stock equipment-Shock and vibration tests）

IEC 61881-3:2013 铁路应用-机车车辆设备-电力电子设备用电容器-第3部分：双电层电容器（Railway applications-Rolling stock equipment-Capacitors for power electronics-Part3: Electric double-layer capacitors）

IEC 62391-1 电子及电气设备用固定式双层电容器 第1部分：总则（Fixed electric double-layer capacitors for use in electric and electronic equipment-Part 1: Generic specification）

## 3 术语和定义

GB/T 2900.41界定的及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**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）组合而成的组合体。

### 3.2

#### 泄放 bleed

电容器通过专门设计的功能部件泄出气体以释放内部过大的压力。气体中可能裹挟着各种物质。

### 3.3

#### 着火 fire

电容器任何部位发生持续燃烧（持续时间长于1s）。

注：火花及拉弧不属于燃烧。

### 3.4

#### 破裂 fracture

电容器外壳发生机械损伤导致气体排出或液体溢出，但无固体喷出。

### 3.5

#### 爆炸 explosion

电容器外壳猛烈破裂，伴随剧烈响声，且有主要成份（固体物质）抛射出来（安全阀正常开启不包括在此内）。

### 3.6

#### 过热 overheating

电容器温度超过其最高工作温度。

## 4 试验方法

### 4.1 试验条件

#### 4.1.1 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℃±5℃；
- 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  $I_c$  充电至额定电压，并保持 30min，再用恒定电流  $I_c$  放电至最低工作电压，在上述环境条件下开路存放不少于 24h。

#### 4.1.2 充放电电流

如无特殊要求，本部分充放电电流按恒定电流  $I_c$  选取，方式如下：

- a) 混合型电容器： $I_c=5I_l$ （或制造方提供的不低于  $5I_l$  的电流），取其中较大者；
- b) 双电层电容器： $I_c=40I_l$ （或制造方提供的不低于  $40I_l$  的电流），取其中较大者；
- c) 电池型电容器： $I_c=3I_l$ （或制造方提供的不低于  $3I_l$  的电流），取其中较大者。

注 1：模组的测试电流可根据单体的并联数进行倍乘。

注 2： $I_1$  表示电容器 1 倍率充放电电流， $I_1 = C_R \times (U_R - U_{min}) / 3600$ 。

#### 4.1.3 测试仪器、仪表

主要测试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；
- 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℃，标定准确度不低于 0.5℃；
- d) 计时器：按时、分、秒分度，准确度±1%。

#### 4.2 单体

##### 4.2.1 耐压试验

电容器单体耐压试验应按照 IEC 61881-3:2013 的 5.5 中规定进行。

观察是否发生击穿或闪络。

电容器单体验检后，应未发生击穿或闪络。

##### 4.2.2 过充电试验

按照如下步骤进行电容器单体的过充电试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按 4.1.1 进行预处理；
- b) 电容器单体用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- c) 用恒定电流  $I_c$  对电容器单体充电至其电压达到额定电压的 1.5 倍或者过充量达到额定容量的 100% 停止充电；
- d) 观察 1h。

电容器单体验检后，应不爆炸、不着火。

##### 4.2.3 过放电试验

按照如下步骤进行电容器单体的过放电试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按 4.1.1 进行预处理；
- b) 电容器单体用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- c) 用恒定电流  $I_c$  对电容器单体放电到最低工作电压  $U_{min}$  后继续强制放电，至（最低工作电压  $U_{min}$  后的）过放量达到额定容量的 50%；
- d) 观察 1h。

电容器单体验检后，应不爆炸、不着火、不漏液。

##### 4.2.4 短路试验

按照如下步骤进行电容器单体的短路试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按 4.1.1 进行预处理；
- b) 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；
- c) 将电容器单体经外部短路 10min，外部线路电阻应不高于 2mΩ；
- d) 观察 1h。

电容器单体验检后，应不爆炸、不着火。

##### 4.2.5 低气压试验

按照如下步骤进行电容器单体的低气压试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
  - b) 在  $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  温度下，将电容器单体放置在不大于 11.6KPa 的压力下至少 6h。
- 电容器单体检验后，应不爆炸、不着火、不破裂、不泄放。

#### 4.2.6 自由跌落试验

按照如下步骤进行电容器单体的跌落试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
- b) 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；
- c) 电容器单体端子向下从 1.5m 高度处自由跌落到水泥地面上；
- d) 观察 1h。

电容器单体检验后，应不爆炸、不着火、不漏液。

#### 4.2.7 重物撞击试验

按照如下步骤进行电容器单体的重物撞击试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
- b) 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；
- c) 将电容器单体放在一平板上，在电容器单体中央横放一根直径为15.8mm的钢棒，使一9.1kg的重物从  $61\text{cm} \pm 2.5\text{cm}$  的高度落在此钢棒上；
- d) 观察6h。

电容器单体检验后，应不爆炸、不着火、不过热。

注1：圆柱形或方形电容器单体在经受重物撞击时，其纵轴应平行于平板，同时又垂直于放在电容器单体上中央位置的钢棒的纵轴。方形电容器单体还应绕其纵轴旋转  $90^{\circ}$ ，以保证其宽、窄两面均经受重物撞击。扣式电容器单体在经受重物撞击时，其扁平面应平行于平板，钢棒横放在电容器单体的中心。

注2：每个电容器单体只经受一次重物撞击。

#### 4.2.8 针刺试验

按照如下步骤进行电容器单体的穿刺试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
- b) 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；
- c) 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  $20\text{mm/s} \sim 30\text{mm/s}$  的速度，从垂直于电容器单体极板的方向贯穿（钢针停留在电容器单体中）；
- d) 观察 1h。

电容器单体检验后，应不爆炸、不着火。

#### 4.2.9 挤压试验

按照如下步骤进行电容器单体的挤压试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
- b) 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；
- c) 按以下条件进行试验：
  - 1) 挤压方向：垂直于电容器单体极板方向施压（图 1 所示）；
  - 2) 挤压版形式：半径 75mm 的半圆柱体，半圆柱体的长度（L）大于被挤压电容器单体

的尺寸；

3) 挤压程度：电压 0V 或挤压力达到 100kN（以最先达到为准，保持 10min）；

d) 观察 1h。

电容器单体验验后，应不爆炸、不着火。

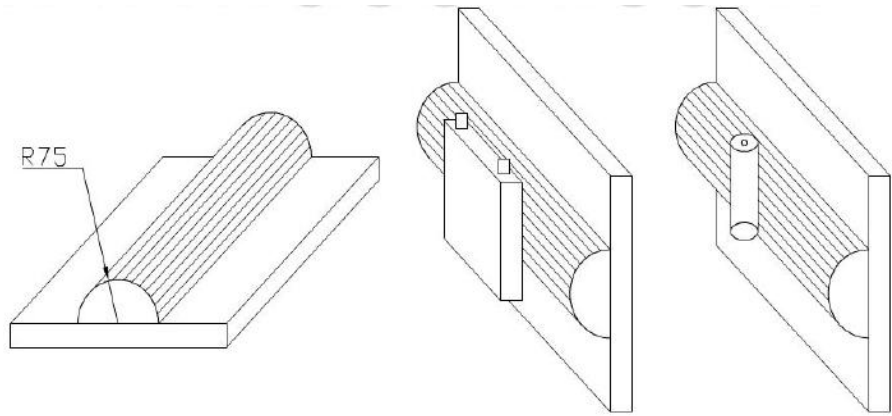


图 1 电容器单体挤压板和挤压示意图

4.2.10 温度循环试验

按照如下步骤进行电容器单体的温度循环试验：

- a) 电容器单体用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- b) 将电容器单体放置于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1 进行调节，温度循环次数5次；
- c) 观察1h。

电容器单体验验后，应不爆炸、不着火、不漏液。

表1 温度循环试验一个循环的温度和时间

温度 ℃	时间增量 min	累积时间 min	温度变化率 ℃/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

4.2.11 加热试验

按照如下步骤进行电容器单体的加热试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
- b) 电容器单体用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；



- c) 将电容器单体置于烘箱内，烘箱按照  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度升温至  $130^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，并保持此温度 30min；
  - d) 观察 1h。
- 电容器单体检验后，应不爆炸、不着火。

#### 4.2.12 恒定湿热试验

按照如下步骤进行电容器单体的恒定湿热试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
  - b) 将电容器单体放置于一个自然或循环空气对流的温湿度箱中。试验严酷等级（见表2）按照供需双方商定。试验过程中不应出现冷凝现象；
  - c) 在4.1.1规定环境下放置24h；
  - d) 按4.2.1的方法进行耐压试验。
- 电容器单体检验后，应不爆炸、不着火、不漏液，耐压满足 4.2.1 的要求。

表2 恒定湿热试验

项目	温度 $^{\circ}\text{C}$	相对湿度 %	持续时间 d
试验Cab	$40 \pm 2$	$93 \pm 3$	56
试验Cab	$40 \pm 2$	$93 \pm 3$	21

#### 4.2.13 海水浸泡试验

按照如下步骤进行电容器单体的海水浸泡试验：

- a) 除非另有规定，电容器单体按4.1.1进行预处理；
  - b) 电容器单体用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
  - c) 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。
- 电容器单体检验后，应不爆炸、不着火。

#### 4.2.14 阻燃试验

电容器单体阻燃试验应按照 IEC 62391-1 的 5.20 中规定进行。

电容器单体应保持在火焰中最佳促进燃烧的位置。每一个电容器应仅只暴露于火焰一次。试验的严酷等级（火焰暴露时间）应由制造方给出。任何电容器单体的最大燃烧时间不应超过 30s。

电容器单体检验后，应不爆炸、不着火、不漏液。

### 4.3 模组

#### 4.3.1 绝缘电阻试验

按照如下步骤进行电容器模组的绝缘电阻试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- b) 将绝缘电阻测试仪调节至2500V的档位；
- c) 分别测试正负极与外壳之间的绝缘电阻。

电容器模组检验时，其绝缘电阻应大于  $100 \Omega / \text{V}$ 。

#### 4.3.2 振动试验

除另有要求，电容器模组按照应用行业进行振动试验,具体如下：

- a) 汽车用电容器模组按照QC/T 741-2014的6.3.10进行；
- b) 机车用电容器模组按照IEC 61373进行，电容器模组所属类别根据实际安装位置且供需双方协商确认；
- c) 其他应用行业电容器模组按照GB/T 2423.10进行。

电容器模组检验后，各部件可正常工作，外壳无破裂、无装机松动，内部单体应保持连接可靠、结构完好、无泄漏、着火、爆炸等现象，其绝缘电阻满足4.3.1要求。

#### 4.3.3 机械冲击试验

除另有要求，按照电容器模组应用行业进行冲击试验,具体如下：

- a) 汽车用电容器模组按照GB/T 31467.3-2015的7.2进行；
- b) 机车用电容器模组按照IEC 61373进行，电容器模组所属类别根据实际安装位置且供需双方协商确认；
- c) 其他应用行业电容器模组按照GB/T 2423.5进行。

电容器模组检验后，各部件可正常工作，外壳无破裂、无装机松动，内部单体应保持连接可靠、结构完好、无泄漏、着火、爆炸等现象，其绝缘电阻满足4.3.1要求。

#### 4.3.4 过充电试验

按照如下步骤进行电容器模组的过充电试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- b) 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- c) 用恒定电流  $I_c$  对电容器模组充电至其电压达到额定电压的 1.5 倍或者过充量达到额定容量的 100%停止充电；
- d) 观察 1h。

电容器模组检验后，应不爆炸、不着火。

#### 4.3.5 过放电试验

按照如下步骤进行电容器模组的过放电试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- b) 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- c) 用恒定电流  $I_c$  对电容器模组放电到最低工作电压  $U_{min}$  后继续强制放电，至（最低工作电压  $U_{min}$  后的）过放量达到额定容量的50%；
- d) 观察 1h。

电容器模组检验后，应不爆炸、不着火、不漏液。

#### 4.3.6 短路试验

按照如下步骤进行电容器模组的短路试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- b) 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ，并稳压 5min；
- c) 将电容器模组经外部短路 10min，外部线路电阻应小于  $5m\Omega$ ；
- d) 观察 1h。

电容器模组检验后，应不爆炸、不着火。

#### 4.3.7 高海拔试验

按照如下步骤进行电容器模组的高海拔试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- 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 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 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。

电容器模组检验后，各部件可正常工作，且不爆炸、不着火、不破裂、不泄放。

#### 4.3.8 自由跌落试验

按照如下步骤进行电容器模组的跌落试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- b) 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ，并稳压 5min；
- c) 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；
- d) 观察 1h。

电容器模组检验后，应不爆炸、不着火、不漏液。

#### 4.3.9 挤压试验

按照如下步骤进行电容器模组的挤压试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- b) 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ，并稳压 5min；
- c) 按以下条件进行试验：
  - 1) 挤压方向：与电容器模组在使用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，则垂直于模组内单体排列方向施压；
  - 2) 挤压版形式：半径 75mm 的半圆柱体，半圆柱体的长度（L）大于被挤压电容器模组的尺寸，但不超过 1m；
  - 3) 挤压程度：挤压力达到下列情况之一，保持 10min；电容器模组变形量达到 30%，或挤压力达到电容器模组质量的 1000 倍，或达到 500kN 中较大值。
- d) 观察 1h。

电容器模组检验后，应不爆炸、不着火。

#### 4.3.10 温度循环试验

按照如下步骤进行电容器模组的温度循环试验：

- a) 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- b) 将电容器模组放置于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1进行调节，温度循环次数5次；
- c) 观察1h。

电容器模组检验后，各部件可正常工作，且不爆炸、不着火、不漏液。

#### 4.3.11 加热试验

按照如下步骤进行电容器模组的加热试验：

- a) 除非另有规定，电容器模组按4.1.1进行预处理；
- b) 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- c) 将电容器模组置于烘箱内，烘箱按照  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度升温至  $130^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，并保持此温度 30min；

d) 观察 1h。

电容器模组检验后，各部件可正常工作，且不爆炸、不着火。

#### 4.3.12 交变湿热试验

电容器模组交变盐雾试验应按照 GB/T 2423.4 中方法 2 进行，其温度选择为 55℃，试验循环次数为 6 次。

电容器模组检测后，各部件可正常工作，绝缘电阻满足 4.3.1 要求。

#### 4.3.13 交变盐雾试验

电容器模组交变盐雾试验应按照 GB/T 2423.18 中严酷等级（3）的方法进行，试验循环次数为 4 次。

电容器模组检测后，外壳无破裂，内部单体应无泄漏、着火、爆炸等现象。

#### 4.3.14 海水浸泡试验

按照如下步骤进行电容器模组的海水浸泡试验：

- 除非另有规定，电容器模组按 4.1.1 进行预处理；
  - 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
  - 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。
- 电容器模组检验后，应不爆炸、不着火。

#### 4.3.15 外部火烧试验

按照如下步骤进行电容器模组的外部火烧试验：

- 除非另有规定，电容器模组按 5.1.1 进行预处理；
- 电容器模组用恒定电流  $I_c$  充电到额定电压  $U_R$ ；
- 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；
- 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；
- 电容器模组直接暴露在火焰下 70s；
- 将盖板盖在油盘上，电容器模组在该状态下静置 60s。或经供需双方协商后，继续直接暴露在火焰中 60s；
- 将油盘移走，观察 2h。

电容器模组检验后，应不爆炸、无碎片飞溅，若有火苗，应在火源移开后 2min 内熄灭。

## 5 试验程序

### 5.1 单体：

电容器单体试验程序见表 3。

表 3 电容器单体试验程序

序号	试验项点	试验方法章条号	单体编号
1	耐压	4.2.1	1#, 2#
2	过充电	4.2.2	3#, 4#

表 3（续）

序号	试验项点	试验方法章条号	单体编号
3	过放电	4. 2. 3	5#, 6#
4	短路	4. 2. 4	7#, 8#
5	低气压	4. 2. 5	9#, 10#
6	自由跌落	4. 2. 6	11#, 12#
7	重物撞击	4. 2. 7	13#, 14#
8	针刺	4. 2. 8	15#, 16#
9	挤压	4. 2. 9	17#, 18#
10	温度循环	4. 2. 10	19#, 20#
11	加热	4. 2. 11	21#, 22#
12	恒定湿热	4. 2. 12	23#, 24#
13	海水浸泡	4. 2. 13	25#, 26#
14	阻燃	4. 2. 14	27#, 28#

## 5.2 模组

电容器模组试验程序见表4。

表4 电容器模组试验程序

序号	试验项点	试验方法章条号	单体编号
1	绝缘电阻	4. 3. 1	1#
2	振动	4. 3. 2	2#
3	机械冲击	4. 3. 3	3#
4	过充电	4. 3. 4	4#
5	过放电	4. 3. 5	5#
6	短路	4. 3. 6	6#
7	高海拔	4. 3. 7	7#
8	自由跌落	4. 3. 8	8#
9	挤压	4. 3. 9	9#
10	温度循环	4. 3. 10	10#
11	加热	4. 3. 11	11#
12	交变湿热	4. 3. 12	12#
13	交变盐雾	4. 3. 13	13#
14	海水浸泡	4. 3. 14	14#
15	外部火烧	4. 3. 15	15#

## 参考文献

- [1] GB 8897.4 原电池 第4部分：锂电池的安全要求
  - [2] GB 21966 锂原电池和蓄电池在运输中的安全要求
  - [3] QC/T 741 车用超级电容器
  - [4] T/CIAPS0002 锂离子电池企业安全生产规范
  - [5] IEC 62576 混合动力电动汽车用双层电容器-电特性的试验方法 (Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles-Test methods for electrical characteristics)
  - [6] UL1642 锂电池安全标准 (UL Standard for Safety for Lithium Batteries)
  - [7] UN38.3 联合国危险物品运输试验和标准手册第3部分-38.3款：金属锂和锂离子电池 (Recommendations on the Transport of dangerous goods manual of tests and criteria Part 3-38.3:Lithium metal and lithium ion batteries)
-