

T/CITSA 08.2-2021

ICS45.060.20

S50

团 体 标 准

T/CITSA 08.2-2021

轨道交通车载储能系统测试方法 第 2 部分：超级电容器储能系统

Test methods for onboard energy storage system of railway transportation
equipment —Part 2: Storage system with super capacitor

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	3
6 检验方法	6
7 检验规则	13

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、中车唐山机车车辆有限公司。

本部分主要起草人：王轶欧、梁瑜、闫一凡、任坤华、吴健、张伟先、杨宇、袁峻、李辉。

轨道交通车载储能系统 第2部分：超级电容器储能系统

1 范围

本部分规定了轨道交通车载超级电容器储能系统的术语和定义、符号、技术要求、检验方法及检验规则。

本部分适用于轨道交通车辆上牵引动力的超级电容器储能系统（以下简称储能系统），该系统的基本储能元件采用双电层超级电容器、混合型及电池型超级电容器。

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 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温（IEC 60068-2-1：2007, IDT）

GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温（IEC 60068-2-2：2007, IDT）

GB/T 2423.4—2008 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）（IEC 60068-2-30：2005, IDT）

GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾（IEC 60068-2-11：1981, IDT）

GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）（IEC 60529：2013 IDT）

GB/T 21563—2018 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验（IEC 61373：2010, MOD）

GB/T 24338.4—2018 轨道交通 电磁兼容 第3-2部分：机车车辆 设备（IEC 62236-3-2:2008, MOD）

GB/T 32350.1—2015 轨道交通绝缘配合 第1部分：基本要求电工电子设备的电气间隙和爬电距离（IEC 62497-1:2010, MOD）

GB/T 34870.1—2017 超级电容器 第1部分：总则

ISO 3095:2013 声学 铁路应用 轨道机车车辆发射噪声测量

IEC 62576:2018 混合电动车辆用双层电容器 电气特性的试验方法

IEC 61881—3:2013 铁路应用 机车车辆设备 电力电子电容器 第3部分：双电层电容器

Q/CRRC J 37.1 轨道交通车载储能系统测试方法 第1部分：动力电池系统

Q/CRRC J 38 轨道交通用超级电容器单体和模组

3 术语和定义

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 超级电容器储能系统 energy storage system with super capacitor

由一个或多个超级电容器模组通过串并联组合而成的，具有电容管理系统和电压均衡单元的储能装置，并具有分断隔离设备，如：接触器，断路器、熔断器等。在本标准中，简称为“储能系统”。

3.2 额定电压 rated voltage, U_r

设计时所规定的储能系统的最高工作电压。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.10。

3.3 最低工作电压 minimum operated voltage

设计时所规定的储能系统的最低工作电压。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.11。

3.4 电容管理系统 capacitor management system

以下简称“CMS”，储能系统的控制管理单元，主要负责超级电容性能监控管理（含SOC动态监测，单体均衡，对外通信等功能）。

3.5 电压均衡单元 voltage balanced unit

以下简称“VBU”，与电容器模组配套使用，进行单体内、模组间的电压检测/均衡，以及对外通信的功能单元。

3.6 超级电容包 super capacitor pack

由两个或两个以上的模组通过导线或连接片连接组合而成的储能装置。

注1：应包含防护用外壳，并提供正负极接线终端或其它接线方式；

注2：应至少包含监控回路，用于监控超级电容器的电压和温度等；

注3：可能包含保护装置和控制回路。

3.7 标称内阻 nominal internal resistance

设计时所规定的储能系统内阻标称值。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.17。

3.8 内阻 internal resistance

在规定的条件下，测量得到的储能系统各单体内阻，接触电阻以及导线连接电阻的组合。

注：通过本部分6.3.2.1的测量方法与公式（1）计算得到。

3.9 电压保持能力 voltage maintenance rate

储能系统充电至额定电压后，在开路状态下维持电压的能力。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.18。

3.10 质量功率密度 mass power density

储能系统单位质量所能输出的功率。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.19。

3.11 最大质量功率密度 maximum mass power density

储能系统在额定电压下单位质量所能输出的最大功率。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.20。

3.12 体积功率密度 volume power density

储能系统单位体积所能输出的最大功率。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.21。

3.13 最大体积功率密度 maximum volume power density

储能系统在额定电压时单位体积所能输出的最大功率。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.22。

3.14 充放电电流 charging and discharging current

储能系统充电或放电时的电流值。

注：改写GB/T 34870.1—2017，定义3.23。

3.15 工作温度 operating temperature

储能系统工作时，电容单体外壳所允许的最高稳态温度。

注：改写IEC 61881—3:2012，定义3.15。

3.16 最高工作温度 maximum operating temperature

储能系统工作时，所有电容单体外壳最高温度。

注：改写IEC 61881—3:2012，定义3.20。

3.17 静电容量 electrostatic capacity

储能系统进行恒流放电时，放电电量与电位变化值的比值，单位为F。

注：通过本部分6.3.2.2的测量方法与公式（2）计算得到。

3.18 储存能量 stored energy

储能系统自额定电压起至最低工作电压所储存的能量。

注：通过本部分6.3.2.3的测量方法与公式（3）计算得到。

3.19 能量效率 energy efficiency

在规定的充电和放电条件之下放电累积能量与充电累积能量的比率。

注：计算公式见公式（6）、公式（7）和公式（8）。

4 符号

下列符号适用于本文件：

E_{dmm} ——最大质量密度，单位：瓦时每千克（Wh/kg）；

E_{dvm} ——最大体积密度，单位：瓦时每立方米（Wh/m³）；

I_c ——恒流充电电流，单位为安培（A）；

I_d ——恒流放电电流，单位为安培（A）；

R_N ——标称内阻，单位为毫欧（mΩ）；

C_N ——标称容量，单位为法拉（F）。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 外观

按 6.3.1.1 检测时，储能系统表面应平整、干燥、无外伤、无污物，无腐蚀等，外壳不得有变形及裂纹。

5.1.2 标识

按 6.3.1.2 检测时, 储能系统的正负极标识应正确的标注在接线端子附近, 清晰可见; 警告标识及铭牌标识应清晰可见。

5.1.3 外形尺寸及重量

按6.3.1.3检测时, 储能系统的外形尺寸及重量应符合企业提供的产品技术条件。

5.2 性能要求

5.2.1 绝缘性能

5.2.1.1 绝缘电阻

储能系统按6.3.2.6.1检测时, 主电路对地绝缘电阻不应低于 $5M\Omega$ 。

5.2.1.2 介电强度

储能系统按 6.3.2.6.2 检测时, 应符合 GB/T 32350.1—2008 的要求, 施加工频耐受电压 1min 后, 应无绝缘击穿、表面闪络等现象发生。

5.2.2 内阻

储能系统按6.3.2.1检测时, 内阻不应大于其标称内阻值。

5.2.3 静电容量

5.2.3.1 双电层超级电容器

储能系统按6.3.2.2检测时, 容量应为标称电容的100%~120%。

5.2.3.2 混合型及电池型超级电容器

储能系统按6.3.2.2检测时, 容量应为标称电容的80%~120%。

5.2.4 储存能量

5.2.4.1 双电层超级电容器

储能系统按6.3.2.3检测时, 储存能量应为标称能量的90%~120%。

5.2.4.2 混合型及电池型超级电容器

储能系统按6.3.2.3检测时, 储存能量应为标称能量的80%~120%。

5.2.5 能量效率

5.2.5.1 双电层超级电容器

储能系统按6.3.2.4检测时, 能量效率不应低于93%。

5.2.5.2 混合型及电池型超级电容器

储能系统按6.3.2.4检测时, 能量效率不应低于90%。

5.2.6 电压(能量)保持能力

5.2.6.1 双电层超级电容器

储能系统按6.3.2.5检测时, 端电压不应低于额定电压的80%。

5.2.6.2 混合型及电池型超级电容器

储能系统按6.3.2.5检测时, 所放出的能量不应低于初始状态的95%。

5.2.7 电磁兼容

储能系统按6.3.5.1检测时, 应符合GB/T 24338.4—2018的规定。

5.2.8 噪声

储能系统按6.3.5.2检测时, 在距离为1m产生的噪声不应大于70dB(A)。

5.2.9 温升散热

储能系统按6.3.5.3检测时, 工作过程中储能系统最高工作温度不应大于 $55^{\circ}C$ 。

5.2.10 振动和冲击

储能系统按6.3.1.4检测时，应满足GB/T 21563—2018规定的振动和冲击要求。

5.2.11 防护等级

储能系统按6.3.1.5检测时，应满足GB/T 4208—2017中规定的IP54的要求。

5.2.12 高温性能

5.2.12.1 双电层超级电容器

储能系统按6.3.4.1检测时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 静电容量不低于初始值的85%；
- b) 储存能量不低于初始值的85%；
- c) 内阻小于或等于初始值的200%。

5.2.12.2 混合型及电池型超级电容器

储能系统按6.3.4.1检测时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 静电容量不低于初始值的80%；
- b) 储存能量不低于初始值的80%；
- c) 内阻小于或等于初始值的200%。

5.2.13 低温性能

5.2.13.1 双电层超级电容器

储能系统按6.3.4.2检测时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 静电容量不低于初始值的65%；
- b) 储存能量不低于初始值的50%；
- c) 内阻小于或等于初始值的200%。

5.2.13.2 混合型超级电容器

储能系统按6.3.4.2检测时，其性能应满足下列条件要求：

- a) 静电容量不低于初始值的70%；
- b) 储存能量不低于初始值的60%。
- c) 内阻小于或等于初始值的200%。

5.2.14 耐湿热性能

储能系统按6.3.4.3检测时，应满足GB/T 2423.4—2008的规定。

5.2.15 耐盐雾性能

储能系统按6.3.4.4检测时，应满足GB/T 2423.17—2008的规定。

5.3 安全要求

5.3.1 产品安全性能

储能系统所采用单体和模组的安全性能应符合Q/CRRC J 38中的规定。

5.3.2 过温保护

测试对象按6.3.3.2检测时，CMS起作用，超级电容包或储能系统不应爆炸、不起火。

5.3.3 过流保护

测试对象按6.3.3.3检测时，CMS起作用，超级电容包或储能系统不应爆炸、不起火。

5.3.4 过压保护

测试对象按6.3.3.4检测时，CMS起作用，超级电容包或储能系统不应爆炸、不起火。

5.3.5 短路保护

测试对象按6.3.3.5检测时，熔断器断开，超级电容包或储能系统不应爆炸、不起火。

5.3.6 热失控保护

测试对象按6.3.3.6检测时，CMS起作用，超级电容包或储能系统不应爆炸、不起火。

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：

- a) 温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度 $15\% \sim 90\%$ ；
- c) 大气压力为 $86\text{kPa} \sim 106\text{kPa}$ 。

6.1.2 测量条件

除另有规定外，测量条件指室温： $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.3 充放电电流

除另有规定外，本部分充放电电流按恒定电流 I 选取，方式如下：

- a) 混合型及电池型电容器： $I=5I_1$ 或 $8C$ （或制造商提供的不低于 $5I_1$ 的电流），取其中较大者；
- b) 双电层电容器： $I=40I_1$ 或 $66C$ （或制造商提供的不低于 $40I_1$ 的电流），取其中较大者。

注1： I_1 指1倍率充放电电流，其数值等于 $C_N \times (U_R - U_{\min}) / 3600$ ；

注2：储能系统的测试电流可根据并联数进行倍乘。

6.1.4 热量的处理方案

储能系统应在 6.1.2 规定的测量条件下搁置 1h(或制造商提供的不高于 1h 的搁置时间)，达到热平衡状态。

6.2 准确度要求

6.2.1 测量仪器、仪表

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 $\pm 0.5\%$ ；
- b) 电流测量装置：准确度不低于 $\pm 0.5\%$ ；
- c) 温度测量装置：具有适当的量程，其分度值不大于 1°C ，标定准确度不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 计时器：按时、分、秒分度，准确度不低于 $\pm 0.1\%$ ；
- e) 测量尺寸的量具：分度值不大于 1mm ；
- f) 称量质量的衡器：准确度为 $\pm 0.1\%$ ；
- g) 声音测量装置：准确度为 1 级。

6.2.2 控制值/实际值

测试过程中，控制值/实际值和目标值之间的误差应满足以下要求：

- a) 电压： $\pm 1\%$ ；
- b) 电流： $\pm 1\%$ ；
- c) 温度： $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 试验方法

6.3.1 机械试验

6.3.1.1 外观

在良好的光线条件下，用目测法检查储能系统的外观。

6.3.1.2 标识

在良好的光线条件下，用目测法检查储能系统的警告标识、铭牌标识和极性标识，用电压表测量储能系统的端电压，并检查其极性标识是否正确。

6.3.1.3 外形尺寸及重量

使用量具测量储能系统箱体以及外部接口（如端口、端子排）的外形尺寸；

使用衡器称量储能系统（包含供应商提供在内的所有附件）的重量。对于不能跟随整体进行称量的附件，应单独进行称量，称量结果计入总重量结果。

6.3.1.4 振动和冲击

按 GB/T 21563—2018 规定的方法和要求进行试验。

6.3.1.5 防护等级

按 GB/T 4208—2017 规定的 IP54 检查箱体防护等级。

6.3.2 电试验

6.3.2.1 内阻

室温下，按照如下步骤测试储能系统的内阻：

- a) 除非另有规定，充电装置输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R 后，继续保持恒压充电 5min；
- b) 除非另有规定，储能系统以 6.1.3 规定的直流电流 I 进行放电，放电至最低工作电压 U_{\min} ；
- c) 储能系统的内阻按照 IEC 62576:2009 的 4.1.1~4.1.4 中的规定进行测量，按照 IEC 62576: 2018 的 4.1.6 中的规定进行计算，计算公式见式 (1)；

在内阻测量过程中，储能系统引出正负极端子间电压—时间特性如图 1 所示。

$$R = \frac{\Delta U_3}{I_d} \times 1000 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R ——储能系统的内阻，单位：毫欧（mΩ）；

I_d ——恒流放电电流，单位：安培（A）；

ΔU_3 ——通过使用最小二乘法从计算起始电压（ $0.9U_R$ ）到计算结束电压（ $0.7U_R$ ）给电压降特性曲线应用直线近似。在放电起始时间处获得该直线的截取（电压值）。 ΔU_3 是截取电压值与恒压充电设定值之间的电压差，单位：伏特（V）。

d) 若 ΔU_3 超过额定电压的 20%（ $0.20 \times U_R$ ），则放电电流 I_d 可降 50%，20% 或 10%；

e) 重复步骤 a) ~d) 至少一次。

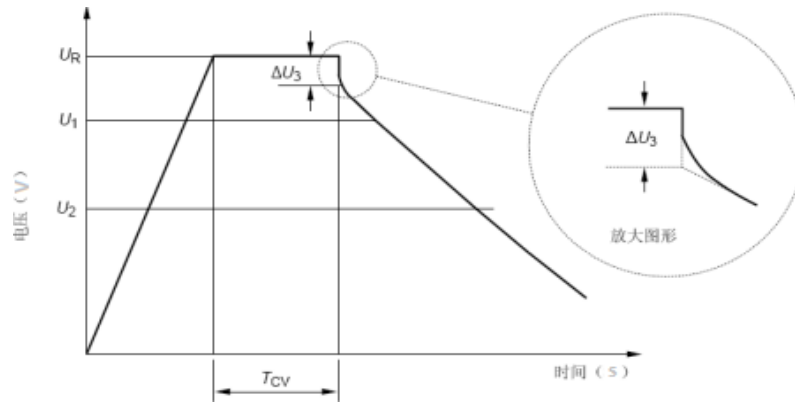


图1 内阻测量过程中，储能系统引出正负极端子间电压—时间特性

说明：

U_R ——额定电压，单位：伏特（V）；

U_1 ——计算起始电压，单位：伏特（V）；

U_2 ——计算结束电压，单位：伏特（V）；

TCV——恒压充电持续时间，单位：秒（s）。

6.3.2.2 静电容量

室温下，按照如下步骤测试储能系统的静电容量：

- 除非另有规定，充电装置输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R 后，继续保持恒压充电 5min；
- 除非另有规定，储能系统以 6.3.2.1 中序号 d) 规定的直流电流 I_d 进行放电，放电至最低工作电压 U_{\min} ；
- 重复步骤 a) ~b) 至少一次，记录储能系统电压从额定电压的 90% 放电至最低工作电压 U_{\min} 的放电时间 t ；
- 按公式 (2) 来计算储能系统的静电容量 C 。

$$C = I \cdot \frac{t}{0.9U_R - U_{\min}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

C ——储能系统的静电容量，单位：法拉（F）；

I ——放电电流，单位：安培（A）；

t ——放电时间，单位：秒（s）；

U_R ——额定电压，单位：伏特（V）；

U_{\min} ——最低工作电压，单位：伏特（V）。

6.3.2.3 储存能量及密度

室温下，按照如下步骤测试储能系统的储存能量及密度：

- 除非另有规定，充电装置输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R 后，继续保持恒压充电 5min；
- 除非另有规定，储能系统以 6.3.2.1 中序号 d) 规定的直流电流 I_d 进行放电，放电至最低工作电压 U_{\min} ；
- 重复步骤 a) ~b) 至少一次，记录电压 U 、放电电流 I_d 与时间 t 的波形；
- 分别按公式 (3)、公式 (4) 和公式 (5) 来计算储能系统的储存能量、质量能量密度及体积能量密度。

$$W = \frac{I \cdot \int u(t) dt}{3600} \dots\dots\dots (3)$$

$$E_{dm} = \frac{W}{M} \dots\dots\dots (4)$$

$$E_{dv} = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

W ——储存能量, 单位瓦时(Wh);

I ——放电电流, 单位: 安培 (A);

$u(t)$ ——放电过程中, 储能系统输出端电压, 单位: 伏特 (V);

E_{dm} ——质量能量密度, 单位: 瓦时每千克 (Wh/kg);

E_{dv} ——体积能量密度, 单位: 瓦时每立方米 (Wh/m³);

M ——储能电源箱的质量, 单位: 千克 (kg);

V ——储能电源箱的体积, 单位: 立方米 (m³)。

6.3.2.4 能量效率

室温下, 按照如下步骤测试储能系统的能量效率:

- 除非另有规定, 充电装置输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电, 充电至 $0.5U_R$ (或最低工作电压 U_{min} 、或制造商提供的电压), 继续保持恒压充电 5min;
- 除非另有规定, 充电装置输出 6.1.3 规定的直流电流 I 继续对储能系统进行充电, 充电至额定电压 U_R 后, 继续保持恒压充电 10s;
- 除非另有规定, 储能系统以 6.3.2.1 中序号 d) 规定的直流电流 I_d 进行放电, 放电至 $0.5U_R$ (或最低工作电压 U_{min} 、或制造商提供的电压);
- 重复步骤 b) ~c) 至少一次, 记录电压 U 、电流 I 与时间 t 的波形。

试验过程中, 对储能系统对外输出的正负端子间的电流和电压进行连续测量。电压(电流)一时间的特性曲线见图 2。

- 分别按公式 (6)、公式 (7) 和公式 (8) 来计算储能系统的能量效率、放电能量及充电能量。

$$E_f = \frac{W_d}{W_c} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

$$W_d = \int_{t_{UR}}^{t_{0.5UR}} I_d U(t) dt \dots\dots\dots (7)$$

$$W_c = \int_{t_0}^{t_{UR}} I_c U(t) dt \dots\dots\dots (8)$$

式中:

E_f ——能量效率 (%);

W_d ——在 T_{CC13} 期间放电的电能;

W_c —— T_{CC12} 加上 T_{CV12} 期间充电的电能。

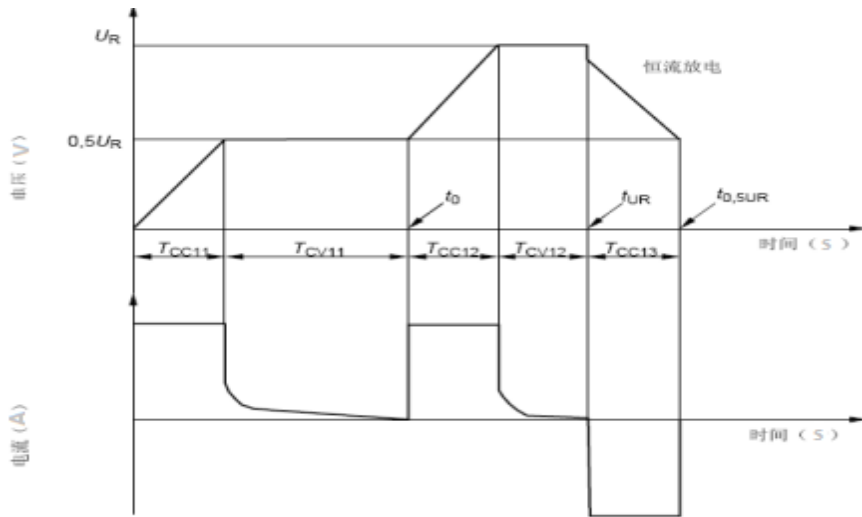


图2 在能量效率试验中电容器端子之间的电压（电流）—时间特性曲线

说明：

U_R ——额定电压，单位：伏特（V）；

$0.5U_R$ ——0.5 倍额定电压(或最低工作电压 U_{min} 、或制造商提供的电压)，单位：伏特（V）。

6.3.2.5 电压（能量）保持能力

6.3.2.5.1 双电层超级电容器

室温下，按照如下步骤测试储能系统的电压保持能力：

- a) 除非另有规定，充电装置输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R ，继续保持恒压充电 30min；
- b) 开路静置 72h 后，再次测量储能系统的端电压 U_{OCV} ；
- c) 按公式（9）来计算储能系统的电压保持率 A。

$$A = \frac{U_{OCV}}{U_R} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

6.3.2.5.2 混合型及电池型超级电容器

室温下，按照如下步骤测试储能系统的计算能量保持率：

- a) 除非另有规定，充电装置输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R 后，继续保持恒压充电 30min；
- b) 开路静置 72h；
- c) 除非另有规定，储能系统以 6.3.2.1 中序号 d) 规定的直流电流 I_d 进行放电，放电至最低工作电压 U_{min} ；
- d) 按公式（3）计算储能系统的储存能量 W_1 ；
- e) 按公式（10）来计算储能系统的能量保持率 B。

$$B = \frac{W_1}{W} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中：

W_1 ——经过 72h 开路静置后，储能系统按 6.3.2.3 试验步骤和方法计算得到的储能能量；

W ——开路静置前，储能系统按 6.3.2.3 试验步骤和方法计算得到的储能能量；

B——能量保持率。

6.3.2.6 绝缘耐压

6.3.2.6.1 绝缘电阻

使用兆欧表测量主回路和控制回路的绝缘电阻。

6.3.2.6.2 介电强度

按 GB/T 21413.1—2008 进行试验。

6.3.3 安全性试验

6.3.3.1 过温保护

测试对象为储能系统，试验在 6.1.2 规定的温度下进行。在试验开始前，影响试验对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态，冷却系统除外。

- a) 通过外部充放电设备对测试对象进行持续充电和放电，使测试对象的工作温度尽可能快的升高。
- b) 温度升高至储能系统制造商定义的过热保护措施的工作温度阈值或规定的最高工作温度，保持工作温度等于或高于温度阈值或最高工作温度，直到试验结束。
- c) 当符合以下任一条件时，结束试验：
 - 1) 测试对象自动终止或限制充电或放电；
 - 2) 测试对象发出终止或限制充电或放电的信号；
 - 3) 测试对象的温度稳定，温度变化在 2h 内小于 4℃。

注：为保护试验操作安全，制造商应提供试验上限参数，采用此上限参数强制终止的试验判定为失败。

- d) 试验结束后，在 6.1.2 规定的温度下观察 1h。

6.3.3.2 过流保护

测试对象为储能系统，试验在 6.1.2 规定的温度下进行。在试验开始前，影响测试对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态。

- a) 通过外部充放电设备对测试对象进行放电，放电至最低工作电压 U_{min} ；
- b) 与储能系统制造商协商确定可以施加的过电流和最大电压（在正常范围内）；
- c) 连接外部充电设备，改变或禁用充电控制通信，以允许通过与储能系统制造商协商确定的过电流水平；
- d) 启动外部充电设备，对储能系统进行充电，以达到储能系统制造商规定的最高正常充电电流。然后，将电流在 5s 内从最高正常充电电流增加到 b) 所述的过电流水平，并继续进行充电；
- e) 当符合以下任一条件时，结束试验：
 - 1) 测试对象自动终止充电电流；
 - 2) 测试对象发出终止充电电流的信号。

注：为保护试验操作安全，制造商应提供试验上限参数，采用此上限参数强制终止的试验判定为失败。

- f) 试验结束后，在 6.1.2 规定的温度下观察 1h。

6.3.3.3 过压保护

测试对象为储能系统，试验在 6.1.2 规定的温度下进行。在试验开始前，影响测试对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态。

- a) 通过外部充放电设备对测试对象进行放电，放电至最低工作电压 U_{min} ；
- b) 与储能系统制造商协商确定可以施加的过电压；
- c) 连接外部充电设备，改变或禁用充电控制通信，以允许通过与储能系统制造商协商确定的过电压水平；
- d) 启动外部充电设备，对储能系统进行充电，以达到储能系统制造商规定的最高正常充电电压，继续充电，达到 b) 所述的过电压水平；
- e) 当符合以下任一条件时，结束试验：
 - 1) 测试对象自动终止充电电压；
 - 2) 测试对象发出终止充电电压的信号。

注：为保护试验操作安全，制造商应提供试验上限参数，采用此上限参数强制终止的试验判定为失败。

- f) 试验结束后，在 6.1.2 规定的温度下观察 1h。

6.3.3.4 短路保护

测试对象为超级电容包或储能系统，试验在 6.1.2 规定的温度下进行。在试验开始前，影响测试对象功能并与试验结果相关的所有保护设备都应处于正常运行状态。

- a) 在开始试验时，用于充电和放电的相关主要接触器都应闭合，来表示可行车模式以及允许外部充电的模式。如果这不能在单次试验中完成，则应进行两次或更多次试验；
- b) 将测试对象的正极端子和负极端子相互连接来产生短路。短路电阻不超过储能系统或超级电容包的内阻；
- c) 保持短路状态，直至试验对象的保护功能起作用，并终止短路电流时，结束试验；
- d) 试验结束后，在 6.1.2 规定的温度下观察 1h。

6.3.3.5 热失控保护

按 Q/CRRC J 37.1 的规定以及如下步骤进行试验：

测试对象为超级电容包或储能系统，可使用测试用箱体及其他附件，但需证明测试用箱体或其他附件的材料与储能系统箱体或其他附件的材料相同且结构类同，且热失控触发对象周围的设备布置情况与实际系统相同。

试验条件：

- a) 在 6.1.1 规定的环境条件下进行试验；
- b) 测试对象按 6.1.3 规定的方式充电；
- c) 试验开始前，所有的试验装置应都必须正常运行，若选择过充作为热失控触发方法，需关闭过充保护功能；
- d) 试验应尽可能少地对测试样品进行改动，制造商需提交所做改动的清单；
- e) 试验应在室内环境或者风速不大于 2.5km/h 的环境下进行。

6.3.4 环境相关试验

6.3.4.1 高温

按 GB/T 2423.2—2008 的规定以及如下步骤进行试验：

- a) 试验前，输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R 后，继续保持恒压充电 5min；
- b) 搁置在 6.1.4 规定的环境条件；
- c) 除非另有规定，将储能系统所在的箱温逐渐升高至 $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，待温度稳定后保温 16h；
- d) 放置在 6.1.2 规定的测量条件下进行恢复，恢复时间应足够使温度达到稳定，至少 1h 后，按 6.3.2.1，6.3.2.2 和 6.3.2.3 的方法再次测量储能系统的内阻、静电容量、储存能量。

6.3.4.2 低温

按 GB/T 2423.1—2008 的规定以及如下步骤进行试验：

- a) 试验前，输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R 后，继续保持恒压充电 5min；
- b) 搁置在 6.1.4 规定的环境条件；
- c) 除非另有规定，将由双电层电容器构成的储能系统所在箱温逐渐降低至 $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，由混合型及电池型电容器构成的储能系统所在箱温逐渐降低至 $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，待温度稳定后保温 16h；
- d) 放置在 6.1.2 规定的测量条件下进行恢复，恢复时间应足够使温度达到稳定，至少 1h 后，按 6.3.2.1，6.3.2.2 和 6.3.2.3 的方法再次测量储能系统的内阻、静电容量、储存能量。

6.3.4.3 交变湿热

按 GB/T 2423.4—2008 的规定以及如下步骤进行试验：

- a) 试验前，输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电，充电至额定电压 U_R 后，继续保持恒压充电 5min；
- b) 搁置在 6.1.4 规定的环境条件；
- c) 除非另有规定，温度的严酷程度选择 55°C ，循环次数选择二次；

- d) 放置在 6.1.2 规定的测量条件下进行恢复, 恢复时间应足够使温度达到稳定, 至少 1h 后, 按 6.3.2.1, 6.3.2.2 和 6.3.2.3 的方法再次测量储能系统的内阻、静电容量、储存能量。

6.3.4.4 盐雾

按 GB/T 2423.17—2008 的规定以及如下步骤进行试验:

- a) 试验前, 输出 6.1.3 规定的直流电流 I 对储能系统进行充电, 充电至额定电压 U_R 后, 继续保持恒压充电 5min;
- b) 搁置在 6.1.4 规定的环境条件;
- c) 除非另有规定, 持续时间可选择 48h, 或制造方与购买方商定的时间;
- d) 放置在 6.1.2 规定的测量条件下进行恢复, 恢复时间应足够使温度达到稳定, 至少 1h 后, 按 6.3.2.1, 6.3.2.2 和 6.3.2.3 的方法再次测量储能系统的内阻、静电容量、储存能量。

注: 针对较大试验样品还应规定清洗和干燥方法。

6.3.5 其它试验

6.3.5.1 电磁兼容

按 GB/T 24338.4—2018 的规定进行试验。

6.3.5.2 噪声

按 ISO 3095:2013 中第 5 章的规定进行试验。

6.3.5.3 温升散热

储能系统在整车技术条件中规定的最高环境温度下搁置以适应环境温度。模拟车辆实际运行工况, 循环充放电, 达到规定的持续时间后停止试验, 检测储能系统的工作温度。充放电电流、持续时间可由供需双方协商确定。

注 1: 储能系统在装车前和装车后的通风散热条件不一样时 (如: 利用车上空调回风散热、自然风冷等), 需在装车后的整车上进行试验;

注 2: 同步记录环境的温湿度情况。

6.3.5.4 分断保护

由供需双方协商确定分断保护的工况, 进行分断保护功能验证。

注 1: 储能系统本身具有分断保护功能的, 在储能系统上进行功能验证;

注 2: 系统本身不具备分断保护功能的, 系统装车后的整车必须具有该功能, 在整车上进行功能验证。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 出厂检验

所有产品均应进行出厂检验, 合格后方可出厂。

7.1.2 型式检验

凡具有下列情况之一时, 应进行型式检验:

- a) 新产品试制完成时;
- b) 产品的结构、工艺或材料的变更影响到产品的某些特性或参数变化时;
- c) 转场生产或停产 2 年以上重新生产时;
- d) 出厂检验结果与上次型式检验结果发生不允许的偏差时;
- e) 合同要求。

7.1.3 研究性检验

可由制造商主动进行, 也可由制造商与用户协商确定。

7.2 产品判定原则

应对每个产品进行出厂检验，若有一项或一项以上不合格，则判定该产品为不合格。
型式检验全部项目应在同一次抽样的样品上进行，若发现任意一项不合格，则该产品不合格。

7.3 检验项目

检验项目见表 1。

表 1 检验项目

序号	检验项目	检验分类			技术要求对应 条款	检验方法对应 条款
		出厂检验	型式检验	研究性试验		
1	外观	√	√	—	5.1.1	6.3.1.1
2	标识	√	√	—	5.1.2	6.3.1.2
3	外形尺寸和质量	√	√	—	5.1.3	6.3.1.3
4	振动和冲击	—	√	—	5.2.10	6.3.1.4
5	防护等级	—	√	—	5.2.11	6.3.1.5
6	内阻	√	√	—	5.2.2	6.3.2.1
7	静电容量	√	√	—	5.2.3	6.3.2.2
8	储存能量及密度	√	√	—	5.2.4	6.3.2.3
9	能量效率	√	√	—	5.2.5	6.3.2.4
10	电压（能量）保持能力	√	√	—	5.2.6	6.3.2.5
11	绝缘电阻	√	√	—	5.2.1.1	6.3.2.6.1
12	介电强度	√	√	—	5.2.1.2	6.3.2.6.2
13	过温保护	—	√	—	5.3.2	6.3.3.1
14	过流保护	—	√	—	5.3.3	6.3.3.2
15	过压保护	—	√	—	5.3.4	6.3.3.3
16	短路保护	—	√	—	5.3.5	6.3.3.4
17	热失控保护	—	—	√	5.3.6	6.3.3.5
18	高温	—	√	—	5.2.12	6.3.4.1
19	低温	—	√	—	5.2.13	6.3.4.2
20	交变湿热	—	√	—	5.2.14	6.3.4.3
21	盐雾	—	√	—	5.2.15	6.3.4.4
22	电磁兼容	—	√	—	5.2.7	6.3.5.1
23	噪声	—	√	—	5.2.8	6.3.5.2
24	温升散热	—	√	—	5.2.9	6.3.5.3
25	分断保护	—	√	—	—	6.3.5.4

注：“√”为应做的检验项目；“—”为不需做的检验项目。