

# 团 体 标 准

T/GDCKCJH 056—2022

## 特种驱动用锂离子动力电池技术性能及测试方法

Technical performance and test method of high temperature ternary polymer lithium-ion power battery for special vehicle

2022-01-18 发布

2022-02-01 实施



## 目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义、符号和缩略语.....	1
4 性能要求.....	7
5 测试方法.....	13

## 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。

本文件由广东省测量控制技术与装备应用促进会提出并归口。

本文件起草单位：东莞市钜大电子有限公司、东莞理工学院、广东斯泰克电子科技有限公司、华南理工大学。

本文件主要起草人：周钢、薛家祥、朱云、马金虎、刘桂雄、欧宁、朱亮华、于文庆、袁伟、晋刚、万珍平、刘旺玉、曾敏。

本文件为首次发布。

## 引 言

本文件针对通适用于装载在特种车辆、机器人、AGV、无人机、潜航器、游艇、两轮车等设备中电机驱动用的储能装置，制定三元锂电池单体、电池组的性能要求及试验方法。

全国团体标准信息平台



# 特种驱动用锂离子动力电池技术性能及测试方法

## 1 范围

本文件规定特种驱动用锂离子动力电池的术语、定义、符号和缩略语、性能要求、测试方法。

本文件适用于装载在特种车辆、机器人、AGV、无人机、潜航器、游艇、两轮车等设施中电机驱动用锂离子动力电池单体和电池组的技术性能测试，其它类型电动装置用锂离子动力电池可参照执行。

## 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 31467.1-2015 电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第1部分：高功率应用测试规程

GB/T 31467.2-2015 电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第2部分：高能量应用测试规程

GB/T 36276-2018 电力储能用锂离子电池

GB/T 40559-2021 平衡车用锂离子电池和电池组 安全要求

## 3 术语、定义、符号和缩略语

### 3.1 术语和定义

GB/T 31467.1-2015、GB/T 31467.2-2015、GB/T 36276-2018、GB/T 40559-2021 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**三元锂离子动力电池单体** ternary lithium ion power battery cell

采用镍钴锰三元材料作正极、液态电解质和碳材料负极制造的锂离子动力电池单体，实现化学能与电能互相转换的基本单元装置，通常包括电极、隔膜、电解质、壳体和端子等部件，并被设计成可充电、放电的装置，也被称为电芯。

#### 3.1.2

**电池模块** battery module

由一个以上电池单体按照串联、并联或串并联方式组合构成，可含有保护装置及监控电路。

#### 3.1.3

**电池组 battery pack**

由一个以上电池单体按照串联、并联或串并联方式组合构成，且只有一对正负极输出端子，作为电源使用的组合体，可含有为电池提供信息的保护、监控和通讯装置。

3.1.4

**电池保护板 protection circuit board**

带有对电池起保护作用的集成电路的印制电路板，一般用于防止电池出现过充、过放、过流、短路及超高温充放电等。

3.1.5

**电池管理系统 battery management system; BMS**

连接电池组和设备的电池管理系统，主要功能包括电池物理参数实时监测、电池状态估计、在线诊断与预警、充放电与预充控制、均衡管理和热管理等。

3.1.6

**电池系统 battery system**

将一个以上电池单体、电池模块或电池组按照串联、并联或串并联方式组合，且与配套供电设备或者储能变流器连接后实现独立运行的系统。除组合电池单体外，一般还含电池管理系统、监测和保护电路、电气和通讯接口等部件。

3.1.7

**方形锂离子电池 prismatic li-ion battery**

各面成直角的平行六面体形状的特种驱动用锂离子动力电池。

3.1.8

**圆柱形锂电池 cylindrical li-ion battery**

总高度等于或大于直径的圆柱形状的特种驱动用锂离子动力电池。

3.1.9

**软包锂电池 soft pack li-ion battery**

采用铝塑膜软包装材料作为电池外包装，可根据产品需求改变形状结构的特种驱动用锂离子动力电池。

3.1.10

**能量型电池 high energy battery**

室温下，根据能量型应用需求设计，以大于 1 h 率额定功率工作的特种驱动用锂离子动力电池。

3.1.11

**功率型电池 high power battery**

室温下，根据功率型应用需求设计，以小于或等于 1 h 率额定功率工作的特种驱动用锂离子动力电池。

3.1.12

**充电上限电压** upper limited charging voltage

制造商规定的电池或者电池组能承受的最高安全充电电压。

3.1.13

**放电截止电压** discharge cut-off voltage

制造商规定的电池或者电池组放电终止时的负载电压。

3.1.14

**额定容量** rated capacity

以制造商规定的条件测得的并由制造商标明的电池单体、电池模块、电池组和电池系统的容量值。

注：容量通常用安时(Ah)或毫安时(mAh)来表示。

3.1.15

**额定能量** rated energy

以制造商规定的条件测得的并由制造商标明的电池单体、电池模块、电池组或电池系统的能量值。

注：能量通常用瓦时(Wh)来表示。

3.1.16

**初始容量** initial capacity

电池单体、电池模块、电池组和电池系统，出厂时在室温下完全充电后，以恒定电流 1I(A) 放电至制造商规定的放电终止条件时所放出的容量(Ah)。

3.1.17

**初始能量** initial energy

电池单体、电池模块、电池组和电池系统，出厂时在室温下完全充电后，以恒定电路 1I(A) 放电至制造商规定的放电终止条件时所放出的能量(Wh)。

3.1.18

**额定充电功率** rated charging power

在规定试验条件和试验方法下，电池可持续工作一定时间的充电功率。

3.1.19

**额定放电功率** rated discharging power

在规定试验条件和试验方法下，电池可持续工作一定时间的放电功率。

3.1.20

**额定功率** rated power

在规定试验条件和试验方法下，电池可持续工作一定时间的功率，包括额定充电功率、额定放电功率。

3.1.21

**初始化充电 initial charge**

在规定试验条件和试验方法下，使电池的充电状态初始化的过程。

3.1.22

**初始化放电 initial discharge**

在规定试验条件和试验方法下，使电池的放电状态初始化的过程。

3.1.23

**额定充电能量 rated charging energy**

在规定试验条件和试验方法下，初始化放电的电池以额定充电功率充电至充电上限电压时的充电能量。

3.1.24

**额定放电能量 rated discharging energy**

在规定试验条件和试验方法下，初始化充电的电池以额定放电功率放电至放电终止电压时的放电能量。

3.1.25

**额定充电容量 rated charging capacity**

在规定试验条件和试验方法下，初始化放电的电池以额定充电功率充电至充电上限电压时的充电容量。

3.1.26

**额定放电容量 rated discharging capacity**

在规定试验条件和试验方法下，初始化充电的电池以额定放电功率放电至放电终止电压时的放电容量。

3.1.27

**初始充电能量 initial charging energy**

在初始化充电规定的试验条件和试验方法下，测得电池的充电能量。

3.1.28

**初始放电能量 initial discharging energy**

在初始化放电规定的试验条件和试验方法下，测得电池的放电能量。

3.1.29

**初始充电容量 initial charging capacity**

在初始化充电规定的试验条件和试验方法下，测得电池的充电容量。

3.1.30

**初始放电容量 initial discharging capacity**

在初始化放电规定的试验条件和试验方法下，测得电池的放电容量。

3.1.31

**充放电容量保持率** charge discharge capacity retention

在规定试验条件和试验方法下，电池的充电容量、放电容量分别与初始充电容量、初始放电容量的比值，用百分数表示。

## 3.1.32

**充放电容量恢复率** recovery rate of charging/discharging capacity

在规定试验条件和试验方法下，电池储存后测得的充电能量、放电能量分别与初始充电能量、初始放电能量的比值，用百分数表示。

## 3.1.33

**倍率充放电** rate charging/discharging

在规定试验条件和试验方法下，以额定功率的倍数对电池进行充放电的方式。

## 3.1.34

**充放电效率** charging and discharging efficiency

在同一电流倍率下，电池完全放电的容量和完全充电容量的比值。

## 3.1.35

**质量能量密度** gravimetric energy density

在规定试验条件和试验方法下，电池的初始放电能量与电池质量的比值。质量一般以千克(kg)为单位，能量一般以瓦时(Wh)为单位。

## 3.1.36

**体积能量密度** volumetric energy density

在规定试验条件和试验方法下，电池的初始放电能量与电池体积的比值。体积一般以升(L)为单位，能量一般以瓦时(Wh)为单位。

## 3.1.37

**1小时率额定容量** 1 hour rated capacity;  $C_1$ 

充满电的电池在1 h完全放电时放电的容量，其数值等于  $C_1$ (Ah)。

## 3.1.38

**1小时率放电电流** 1 hour rate discharge current;  $I_1$ 

充满电的电池在1 h完全放电时放电的电流，其数值等于(A)。

## 3.1.39

**荷电状态** state of charge; SOC

电池当前可用电荷量与充满状态下可用电荷量的比值。

## 3.1.40

**健康状态** stage of health; SOH

电池使用一段时间后最大可用容量与其所对应的标称容量的比值，该比值反映电池的寿命状况。

## 3.1.41

**放电深度** depth of discharge; DOD

电池已放出的容量占其额定容量的比值。

### 3.1.42

**循环寿命** cycle life

电池在达到电池寿命终止条件前能够完成的深度放电次数。当电池的容量衰减到电池标称容量的70%时，即可认为达到了电池的寿命终止条件。

### 3.1.43

**荷电保持能力** charge retention

电池的荷电保持能力，是指开路条件下，电池内所储存电能的保持能力。

### 3.1.44

**绝热温升** adiabatic temperature rise

电池单体处于绝热环境中，由其内部产生或从外部吸收的热量使电池单体温度升高的现象。

### 3.1.45

**热失控** thermal runaway

电池单体内部放热反应或者外部电路短路引起不可控温升的现象。

### 3.1.46

**热失控扩散** thermal runaway diffusion

电池组内的电池单体或电池组发生热失控后，触发与其相邻或其它部位的电池单体或者电池组、电池系统等发生热失控的现象。

### 3.1.47

**起火** fire

电池出现可见的断续或持续性火焰燃烧，不包括短暂火花、火星和电池受热发红。

### 3.1.48

**爆炸** explosion

电池在周围介质中瞬间形成高压的化学反应或状态变化，电池壳体破裂，伴有物质快速飞溅和强烈的放热、发光及声响。

## 3.2 符号和缩略语

### 3.2.1 符号

下列符号适用于本文件。

$I_C$ : 电池 1 h 完全充放电时的电流强度(单位 A)

$C_{idn}$ : nh 率初始充电容量，单位为 A\*h

$C_{idn'}$ : n' h 率初始放电容量，单位为 A\*h

$C_{rcn}$ : nh 率额定充电容量，单位为 A\*h

$C_{rdn}$ :  $n'$  h 率额定放电容量, 单位为 A\*h

$C_1$ : 1 h 率额定容量 (Ah)

$E_{icn}$ :  $n$ h 率初始充电能量, 特种驱动用锂离子动力电池单体的单位为 W\*h, 电池组的单位为 kW\*h, 电池系统的单位为 kW\*h 或 MW\*h

$E_{icn}'$ :  $n'$  h 率初始放电能量, 特种驱动用锂离子动力电池单体的单位为 W\*h, 电池组的单位为 kW\*h, 电池系统的单位为 kW\*h 或 MW\*h

$E_{rcn}$ :  $n$ h 率额定充电能量, 特种驱动用锂离子动力电池单体的单位为 W\*h, 电池组的单位为 kW\*h, 电池系统的单位为 kW\*h 或 MW\*h

$E_{rdn}$ :  $n'$  h 率额定放电能量, 特种驱动用锂离子动力电池单体的单位为 W\*h, 电池组的单位为 kW\*h, 电池系统的单位为 kW\*h 或 MW\*h

$I_1$ : 1 h 率放电电流, 数值为  $C_1$  (A)

$m$ : 电池的质量, 单位一般为千克 (kg)

$n$ : 电池的额定充电小时率, 其数值等于电池的额定充电能量/额定充电功率, 应从下列数值中选取: 8、4、2、1、0.5、0.25

$n'$ : 电池的额定放电小时率, 其数值等于电池的额定放电能量/额定放电功率, 应从下列数值中选取: 8、4、2、1、0.5、0.25

$nC$ : 等于 1 h 完全充放电时的电流强度的  $n$  倍 (单位 A)

$V$ : 电池的体积, 单位一般为升 (L)

$\omega_{gc}$ : 基于初始充电能量的质量能量密度, 单位为 W\*h/kg

$\omega_{gd}$ : 基于初始放电能量的质量能量密度, 单位为 W\*h/kg

$\omega_{vc}$ : 基于初始充电能量的体积能量密度, 单位为 W\*h/L

$\omega_{vd}$ : 基于初始放电能量的体积能量密度, 单位为 W\*h/L

### 3.2.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BCU: 电池控制单元 (battery control unit)

DUT: 试验装置 (device of test)

RMS: 均方根 (root mean square)

SC: 标准循环 (standard cycle)

SCH: 标准充电 (standard charge)

SDCH: 标准放电 (standard discharge)

## 4 性能要求

### 4.1 基本性能

在特种驱动用锂离子动力电池单体和电池组生产过程中，需要对电池单体和电池组成品的尺寸及质量、极性、开路电压等性能进行检验，并按照规定的标准加以控制。

#### 4.1.1 电池单体

##### 4.1.1.1 极性、结构尺寸及质量

电池单体端子极性标识应正确、清晰；结构尺寸及质量应符合制造商规定的产品技术要求。

##### 4.1.1.2 开路电压

要求如下：

- a) 开路电压范围符合制造商要求；
- b) 电压单位为V，小数点后两位四舍五入取整(以下同)。

注：标称电压可根据被检电池内部使用材料进行修正；开路电压范围应在放电终止电压和充电截止电压之间；放电终止电压不小于开路电压指标范围的最低值，充电截止电压不大于开路电压指标范围的最高值。

##### 4.1.1.3 质量能量密度与体积能量密度

质量能量密度推荐不低于 180 Wh/kg；体积能量密度推荐不低于 500 Wh/L。

#### 4.1.2 电池组

##### 4.1.2.1 极性、结构尺寸及质量

电池组端子极性标识应正确、清晰；结构尺寸及质量应符合制造商规定的产品技术要求。

##### 4.1.2.2 开路电压

电池组正负极端子处于开路状态时，测量正负极两端的电压数值，应符合制造商规定的开路电压范围。

#### 4.2 充放电性能

##### 4.2.1 电池单体

##### 4.2.1.1 室温初始化充放电能量

要求如下：

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量，并且不超过额定能量的 120%；
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量，并且不超过额定能量的 120%；
- c) 初始充放电效率不小于 99%；
- d) 电池单体试验样品的初始充电能量的极差平均值不大于初始充电能量平均值的 5%；
- e) 电池单体试验样品的初始放电能量的极差平均值不大于初始放电能量平均值的 5%。

注：极差是所有样本的最大值和最小值之差。

#### 4.2.1.2 室温倍率充放电性能

进行室温倍率充放电能量试验时，满足以下性能要求：

- a) 高能量型应用：
  - 1) 在  $0.2I_1(A)$ ， $0.5I_1(A)$  和  $1I_1(A)$  条件下充电时，其充电能量分别应不低于初始能量的 98%、97% 和 95%；
  - 2) 在  $0.2I_1(A)$ ， $0.5I_1(A)$  和  $1I_1(A)$  条件下放电时，其放电能量分别应不低于初始能量的 98%、97% 和 95%。
- b) 高功率型应用：
  - 1) 在  $0.5I_1(A)$ ， $1I_1(A)$  和  $1.5I_1(A)$  条件下充电时，其充电能量分别应不低于初始能量的 98%、97% 和 95%；
  - 2) 在  $0.5I_1(A)$ ， $1I_1(A)$  和  $2I_1(A)$  条件下放电时，其放电能量分别应不低于初始能量的 98%、97% 和 95%。

#### 4.2.1.3 低温放电性能

在  $-40^{\circ}\text{C}$  进行低温放电能量试验，应满足以下性能要求：

- a) 能量型电池单体低温放电容量不小于初始放电容量的 60%；
- b) 功率型电池单体低温放电容量不小于初始放电容量的 60%。

#### 4.2.1.4 高温充放电性能

进行高温充放电能量试验时，应满足以下性能要求：

- a) 充电能量不小于初始充电能量的 95%；
- b) 放电能量不小于初始放电能量的 95%；
- c) 充放电效率不小于 99%。

#### 4.2.1.5 室温及高温能量保持与恢复能力

进行室温及高温能量保持与恢复能力试验，应满足以下性能要求：

- a) 剩余能量保持率不小于 90%；
- b) 充电能量恢复率不小于 95%；
- c) 放电能量恢复率不小于 95%。

#### 4.2.1.6 标准循环寿命

进行标准循环寿命测试，应满足以下性能要求：

- a) 循环次数达到 500 次时，放电能量应不小于初始能量的 80%；

- b) 循环次数达到 800 次时, 放电能量应不小于初始能量的 70%。

#### 4.2.2 电池组

##### 4.2.2.1 室温初始化充放电能量

进行室温初始化充电能量试验, 应满足以下性能要求:

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量, 并且不超过额定能量的 120%;
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量, 并且不超过额定能量的 120%;
- c) 初始充放电效率不小于 99%;
- d) 电池组试验样品的初始充电能量的极差平均值不大于初始充电能量平均值的 10%;
- e) 电池组试验样品的初始放电能量的极差平均值不大于初始放电能量平均值的 10%。

##### 4.2.2.2 室温倍率充放电性能

进行室温倍率充放电能量试验, 应满足以下性能要求:

- a) 高能量型应用:
  - 1) 电池单体分别在  $0.2I_1(A)$ ,  $0.5I_1(A)$  和  $1I_1(A)$  条件下充电时, 其充电能量分别应不低于初始能量的 98%、97%和 95%;
  - 2) 电池单体分别在  $0.5I_1(A)$ ,  $1I_1(A)$  和  $2I_1(A)$  条件下放电时, 其放电能量分别应不低于初始能量的 97%、95%和 87%。
- b) 高功率型应用:
  - 1) 电池单体分别在  $0.5I_1(A)$ ,  $1I_1(A)$  和  $1.5I_1(A)$  条件下充电时, 其充电能量分别应不低于初始能量的 97%、95%;
  - 2) 电池单体分别在  $1I_1(A)$ ,  $2I_1(A)$  和  $3I_1(A)$  条件下放电时, 其放电能量分别应不低于初始能量的 97%、95%和 93%。

##### 4.2.2.3 低温放电性能

在  $-40^{\circ}\text{C}$  进行低温充放电能量试验, 应满足以下性能要求:

- a) 能量型电池组: 放电容量不小于初始放电容量的 60%;
- b) 功率型电池组: 放电容量不小于初始放电容量的 60%。

##### 4.2.2.4 高温充放电性能

进行高温充放电能量试验, 应满足以下性能要求:

- a) 充电能量不小于初始充电能量的 95%;
- b) 放电能量不小于初始放电能量的 95%;
- c) 充放电效率不小于 99%。

#### 4.2.2.5 室温及高温能量保持与恢复能力

进行室温及高温能量保持与恢复能力试验，应满足以下性能要求：

- a) 能量保持率不小于 90%；
- b) 充电能量恢复率不小于 92%；
- c) 放电能量恢复率不小于 92%。

#### 4.2.2.6 标准循环寿命

- a) 循环次数达到 400 次时，放电能量应不低于初始能量的 85%；
- b) 循环次数达到 600 次时，放电能量应不低于初始能量的 80%。

#### 4.2.2.7 工况循环寿命

进行工况循环寿命测试，应满足以下性能要求：

——总放电能量与电池初始能量的比值达 500 时，测量放电能量，应不小于初始放电能量的 70%。

#### 4.2.2.8 储存性能

在制造商规定的储存条件下进行储存试验，应满足以下性能要求：

- a) 充电能量恢复率不小于初始能量的 85%；
- b) 放电能量恢复率不小于初始能量的 85%。

### 4.3 安全性能

#### 4.3.1 电池单体

##### 4.3.1.1 短路、过充电、过放电

进行短路试验或过充电试验，或过放电试验，在测试中以及观察期内，应不起火、不爆炸，允许泄气、漏液。

##### 4.3.1.2 重物撞击、挤压

进行重物撞击试验或针刺试验，或挤压试验，在测试中以及观察期内，应不起火、不爆炸。

##### 4.3.1.3 热滥用

电池单体进行热滥用试验后，应不起火、不爆炸。

##### 4.3.1.4 温度冲击

电池单体进行温度冲击试验后，应不起火、不爆炸、不漏液，且电池放电容量不小于常温容量的 85%。

#### 4.3.2 电池组

##### 4.3.2.1 短路、过充电、过放电

进行短路试验或过充电试验，或过放电试验，在测试中以及观察期内，应不变形、不漏液、不破裂、不起火、不爆炸，外观良好，满足相关要求，试验结束后测量电池组开路电压输出正常。

##### 4.3.2.2 挤压

电池组进行挤压试验后，应不起火、不爆炸。

##### 4.3.2.3 热失控扩散

电池组进行热失控扩散试验，在电池组特定位置的电池单体触发达到热失控的判定条件，应不起火、不爆炸，不发生热失控扩散。

##### 4.3.2.4 大电流放电

电池组进行大电流放电测试后，极柱、汇流排不熔化或熔断，槽、盖不熔化或变形。

#### 4.4 环境适应性能

##### 4.4.1 机械冲击、跌落、模拟碰撞、翻转

电池组进行机械冲击或跌落试验，或模拟碰撞试验，或翻转试验后，应不漏液、不起火、不爆炸。

##### 4.4.2 振动

电池组进行振动试验后，应不漏液、不起火、不爆炸，其结构尺寸应符合 4.1.2.1 的规定，电池组放电应不发生放电电流或电压锐变、池露、起火、爆炸的现象。

##### 4.4.3 高低温冲击

电池组进行高低温冲击试验后，应不变形、不开裂、不漏液，电压应符合制造商对电池组电压的规定，并能正常工作，且电池放电容量不小于常温容量的 85%。

##### 4.4.4 低气压

电池组进行低气压试验后，应不变形、不开裂、不漏液，电压应符合制造商对电池组电压的规定，并能正常工作，且电池放电容量不小于常温容量的 85%。

##### 4.4.5 盐雾

在海洋性气候条件下应用的电池组进行盐雾试验后，应满足盐雾性能要求，在喷雾贮存循环条件下，应不起火、不爆炸、不漏液，外壳应无破裂现象。

#### 4.4.6 高温高湿

在非海洋性气候条件下应用的电池组进行高温高湿试验后，应满足高温高湿性能要求，在高温高湿贮存条件下，应不起火、不爆炸、不漏液，外壳应无破裂现象。

#### 4.4.7 海水浸泡

电池组进行海水浸泡试验后，应不起火、不爆炸。

### 5 测试方法

#### 5.1 试验条件

##### 5.1.1 环境条件

环境条件如下：

- a) 除有特殊规定外，试验应在温度为 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为15%~90%，大气压力为86 kPa~106 kPa 的环境中进行；
- b) 试验场地应配备完善的灭火、防爆等消防和应急设施；
- c) 试验人员应配备个人防护用具。

##### 5.1.2 测试仪器、仪表准确度

###### 5.1.2.1 基本性能(含充放电)测试仪器、仪表

要求如下：

- a) 电压测量：不低于0.5级；
- b) 电流测量：不低于0.5级；
- c) 温度测量：分度值不大于 $1^\circ\text{C}$ ，标定准确度不低于 $0.5^\circ\text{C}$ ；
- d) 时间测量：准确度 $\pm 0.1\%$ ；
- e) 尺寸测量：准确度 $\pm 1\text{ mm}$ ；
- f) 质量测量：准确度 $0.1\%FS$ ，样品测量误差 $< 0.5\%$ 。

###### 5.1.2.2 专用性能(安全、环境适应)测试仪器、仪表

要求如下：

- a) 充放电装置测量：电压、电流、功率的准确度 $0.1\%FS$ ；
- b) 电池管理系统测量：电压、电流准确度 $0.5\%FS$ ，温度准确度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ；
- c) 环境模拟装置测量：温度准确度 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度准确度 $\pm 3\%$ ，温度波动度 $\leq 2^\circ\text{C}$ ，湿度波动度 $\leq 5\%RH$ ；

- d) 振动测量：振动频率准确度 0.1 Hz；
- e) 高低温试验装置测量：温度准确度  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；
- f) 温湿度试验装置测量：湿度准确度  $>75\%RH(+2, -3\%RH)$ ， $<75\%RH(\pm 2\%RH)$ 。

## 5.2 试验准备

### 5.2.1 试验样品准备

准备如下：

- a) 电池单体和电池组在进行基本性能或循环性能试验时，应将试验装置与电池的高压、低压装置连接，开启电池的被动保护功能，电、热管理装置可根据需要工作；
- b) 电池组在进行安全性能和环境适应性能试验时，附加的主动保护线路或装置应在试验前断开或除去；
- c) 试验装置应检测和控制电池单体和电池组的工作状态和电压、电流等工作参数。

### 5.2.2 初始化充电

#### 5.2.2.1 电池单体

步骤如下：

- a) 在室温  $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  下，静置 5 h；
- b) 以恒定电流  $0.2I_1(\text{A})$  放电至 2.5 V 或者制造商规定的放电终止电压，静置 30 min；
- c) 以恒定电流  $0.2I_1(\text{A})$  充电至 4.2 V 或者制造商规定的充电终止电压，转恒压充电至截止电流  $0.05I_1(\text{A})$ ，静置 30 min。

#### 5.2.2.2 电池组

步骤如下：

- a) 在室温  $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  下，静置 5 h；
- b) 以恒定电流  $0.2I_1(\text{A})$  放电至电池组中任一单体或电池组达到制造商规定的放电终止电压，静置 30 min；
- c) 以恒定电流  $0.2I_1(\text{A})$  充电至电池组中任一电池单体或电池组达到制造商规定的电池组充电终止电压，转恒压充电至截止电流  $0.05I_1(\text{A})$ ，静置 30 min。

### 5.2.3 初始化放电

#### 5.2.3.1 电池单体

步骤如下：

- a) 在室温  $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  下，静置 5 h；
- b) 以恒定电流  $0.2I_1(\text{A})$  充电至 4.2 V 或者制造商规定的充电终止电压，转恒压充电至截止电

流  $0.05I_1$  (A), 静置 30 min;

- c) 以恒定电流  $0.2I_1$  (A) 放电至 2.5 V 或者制造商规定的电池单体的放电终止电压, 静置 30 min。

### 5.2.3.2 电池组

步骤如下:

- a) 在室温 ( $25 \pm 2$ ) °C 下, 静置 5 h;
- b) 以恒定电流  $0.2I_1$  (A) 充电至电池组中任一电池单体或电池组达到制造商规定的充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$  (A), 静置 30 min;
- c) 以恒定电流  $0.2I_1$  (A) 放电至电池组中任一电池单体或电池组达到制造商规定的放电终止电压, 静置 30 min。

### 5.2.4 标准化充电

#### 5.2.4.1 电池单体

步骤如下:

- a) 以恒定电流  $0.5I_1$  (A) 将电池单体放电至 2.5 V 或者制造商技术条件中规定的放电终止电压;
- b) 静置 1 h 或制造商规定的不大于 1 h 的静置时间;
- c) 以恒定电流  $0.5I_1$  (A) 充电至 4.2 V 或者制造商技术条件中规定的充电截止电压时转恒压充电;
- d) 至充电电流降至充电终止电流  $0.05I_1$  (A) 时停止充电;
- e) 充电后静置 1 h 或制造商规定的不高于 1 h 的静置时间。

#### 5.2.4.2 电池组

步骤如下:

- a) 以恒定电流  $0.2I_1$  (A) 将电池组中任一电池单体或电池组放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压;
- b) 静置 1h 或制造商规定的不大于 1 h 的静置时间;
- c) 以恒定电流  $0.2I_1$  (A) 将电池组中任一电池单体或电池组充电至制造商技术条件中规定的充电截止电压时转恒压充电;
- d) 至充电电流降至  $0.05I_1$  (A) 时停止充电;
- e) 充电后静置 1 h 或制造商规定的不高于 1 h 的静置时间。

### 5.2.5 标准化放电

#### 5.2.5.1 电池单体

步骤如下：

- a) 电池单体标准化充电；
- b) 以恒定电流  $0.5I_1$  (A) 将电池单体放电至 2.5 V 或者制造商技术条件中规定的放电终止电压；
- c) 静置 1 h 或制造商规定的不大于 1 h 的静置时间。

### 5.2.5.2 电池组

步骤如下：

- a) 电池组标准化充电；
- b) 以恒定电流  $0.5I_1$  (A) 将电池组中任一电池单体或电池组放电至制造商技术条件中规定的放电终止电压；
- c) 静置 1 h 或制造商规定的不大于 1 h 的静置时间。

### 5.2.6 电压和温度限值设定

除另有特殊规定外，试验过程中电池单体和电池组的充电终止电压、放电终止电压、充电报警电压、放电报警电压、充电保护电压、放电保护电压及电池单体的报警温度、保护温度的设定值应唯一，且应与电池正常使用时的设定值一致。

### 5.2.7 能量密度测试方法

步骤如下：

- a) 在室温  $(25 \pm 2)$  °C 下，按标准化放电方式且不小于  $0.5I_1$  (A) 的电流放电至制造商规定的放电终止条件，静置不小于 30 min；
- b) 按标准化充电方式充电至制造商规定的充电截止条件 (充电时间不大于 8 h)，静置不小于 30 min；
- c) 重复步骤 a)，计量放电能量  $E$  (以 Wh 计)；
- d) 重复步骤 c)~d) 2 次，取 3 次放电能量的平均值；
- e) 用衡器测量电池单体的质量  $m$  (以 kg 计)；
- f) 用尺寸测量工具测量电池单体的体积  $V$  (以 L 计)。

在测试得到电池单体放电能量、体积和重量后，按照以下的计算方法来计算质量能量密度和体积能量密度：

- a) 质量能量密度计算：按照式 (1)~(2) 计算电池单体的质量能量密度：

——初始充电体积能量密度：

$$\omega_{gc} = \frac{E_{icn}}{m} \dots\dots\dots (1)$$

——初始放电体积能量密度：

$$\omega_{gd} = \frac{E_{icn}'}{m} \dots\dots\dots (2)$$

b) 体积能量密度计算：按照式(3)~(4)计算电池单体的体积能量密度：

——初始充电体积能量密度：

$$\omega_{vc} = \frac{E_{icn}}{V} \dots\dots\dots (3)$$

——初始放电体积能量密度：

$$\omega_{vd} = \frac{E_{icn'}}{V} \dots\dots\dots (4)$$

### 5.2.8 电池容量和能量测试方法

步骤如下：

- a) 以  $0.5I_1$ (A) 放电至电池单体的放电终止电压 2.5 V 或制造商规定的放电终止条件；
- b) 静置不低于 30 min 或制造商规定的静置时间(不高于 60 min)；
- c) 按照 5.2.2 进行初始化充电；
- d) 静置不低于 30 min 或制造商规定的静置时间(不高于 60 min)；
- e) 以  $0.5I_1$ (A) 放电至电池单体的放电终止电压或制造商规定的放电终止条件；
- f) 计算步骤 e) 放电容量(以 Ah 计)和放电能量(以 Wh 计)。

### 5.2.9 电池单体调整 SOC 至试验目标值 n% 的方法

调整 SOC 至试验目标值 n%(80%、65%、50%、35%、20%) 的步骤：

- a) 电池单体按照 5.2.2 进行初始化充电；
- b) 静置不低于 30 min 或制造商规定的静置时间(不高于 60 min)；
- c) 以  $1I_1$ (A) 恒流放电至  $(100-n)/100h$ 。

### 5.2.10 最大放电功率测试方法

步骤如下：

- a) 在室温  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  下，电池单体按照 5.2.9 方法调整测试样品 SOC 至 50%；
- b) 静置 30 min；
- c) 以制造商规定的最大电流放电 5 s，试验后以  $1I_1$ (A) 放电至制造商规定的放电终止条件；
- d) 计算步骤 c) 最后一个数据点的功率(W)。

### 5.2.11 电池单体配组

特种驱动用锂离子动力电池组其中的电池单体配组要求：成组电池单体的标准放电容量之间的偏差范围不大于 1.5%；欧姆阻抗偏差范围不大于 1.5%，开路电压偏差范围不大于 5 mV，自放电率偏差范围不大于 0.03 mV/h，标准充电中恒流充电时间偏差范围不大于 5 min。功率型电池组中，应增加  $1I_1$ (A) 放电中值电压偏差范围不大于 10 mV。

## 5.2.12 试验数据记录

要求如下：

- a) 试验开始前，应记录特种驱动用锂离子动力电池试验样品的技术规格数据信息；
- b) 试验过程中，除另有特殊规定外，试验装置设定的特种驱动用锂离子动力电池数据采样周期应不大于预估的每个试验步骤的充电或放电时间的 1%；
- c) 试验结束时，应记录特种驱动用锂离子动力电池试验的过程数据和结果数据。

## 5.3 基本性能检测方法

### 5.3.1 电池单体

#### 5.3.1.1 外观

步骤如下：

- a) 在良好的光线条件下，用目测法检查特种驱动用锂离子动力电池单体的外观质量；
- b) 记录检测结果。

#### 5.3.1.2 尺寸及质量

步骤如下：

- a) 用尺寸测量装置和称量质量的衡器分别测量特种驱动用锂离子动力电池单体的结构尺寸及质量；
- b) 记录检测结果。

#### 5.3.1.3 极性

步骤如下：

- a) 用电压表检测特种驱动用锂离子动力电池单体的极性；
- b) 记录检测结果。

#### 5.3.1.4 开路电压

步骤如下：

- a) 特种驱动用锂离子动力电池单体按 5.2.4 方法进行标准化充电；
- b) 采用电压表测量电池单体的开路电压；
- c) 记录检测结果。

### 5.3.2 电池组

#### 5.3.2.1 外观

步骤如下：

- a) 在良好的光线条件下，用目测法检查特种驱动用锂离子动力电池组的外观；
- b) 记录检测结果。

#### 5.3.2.2 尺寸及质量

步骤如下：

- a) 用尺寸测量装置和称量质量的衡器分别测量特种驱动用锂离子动力电池组的外形尺寸及质量；
- b) 记录检测结果。

#### 5.3.2.3 极性

步骤如下：

- a) 用电压表检测特种驱动用锂离子动力电池组的极性；
- b) 记录检测结果。

#### 5.3.2.4 开路电压

步骤如下：

- a) 特种驱动用锂离子动力电池组按 5.2.4 标准化充电方法进行充电；
- b) 采用电压表测量电池组的开路电压；
- c) 记录检测结果。

### 5.4 充放电性能试验方法

#### 5.4.1 电池单体

##### 5.4.1.1 室温初始化充放电能量试验

步骤如下：

- a) 在室温 ( $25 \pm 2$ ) °C 下，按 5.2.3 初始化放电；
- b) 以  $0.5I_1$  (A) 恒流充电至其充电终止电压，转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$  (A)，静置 10 min；
- c) 以  $0.5I_1$  (A) 恒流放电至其放电终止电压，静置 10 min；
- d) 重复步骤 a)~c) 5 次，当连续 3 次试验结果的极差小于额定能量的 3%，可提前结束试验，取最后 3 次试验结果平均值作为结果。

记录试验步骤的初始放电能量、初始充电能量、放电时间、充电时间、所有测试样本初始放电能量的极差、所有测试样本初始充电能量的极差、初始放电容量、初始充电容量；计算质量能量密度、体积能量密度、充放电效率、初始放电能量的极差平均值占所有测试样本初始放电能量平均值的百分比、初始充电能量的极差平均值占所有测试样本初始充电能量平均值的百分比；放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量 (以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电

池单体室温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.1.2 室温倍率充放电性能试验

##### 5.4.1.2.1 能量型电池单体试验

步骤如下:

- a) 按 5.2.3 初始化放电;
- b) 以  $0.2I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- c) 以  $0.5I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min;
- d) 以  $0.5I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- e) 以  $1I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min;
- f) 以  $1I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- g) 以  $2I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min。

##### 5.4.1.2.2 功率型电池能量型电池单体试验

步骤如下:

- a) 按 5.2.3 初始化放电;
- b) 以  $0.5I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- c) 以  $1I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min;
- d) 以  $1.5I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- e) 以  $2I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min;
- f) 以  $1.5I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- g) 以  $3I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min。

记录试验步骤的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间、充电容量、放电容量; 能量型电池单体根据步骤 b)、d)、f) 的数据, 分别计算在  $0.2I_1$ (A)、 $0.5I_1$ (A)、 $1I_1$ (A) 条件下的充电能量分别相对于初始化充电条件下的充电能量和能量保持率; 能量型电池单体根据步骤 c)、e)、g) 的数据, 分别计算在  $0.5I_1$ (A)、 $1I_1$ (A)、 $2I_1$ (A) 条件下的放电能量和能量保持率; 功率型电池单体根据步骤 b)、d)、f) 的数据, 分别计算在  $0.5I_1$ (A)、 $1I_1$ (A) 和  $1.5I_1$ (A) 条件下的充电能量分别相对于初始化充电条件下的充电能量和能量保持率; 功率型电池单体根据步骤 c)、e)、g) 的数据, 分别计算在  $1I_1$ (A)、 $2I_1$ (A)、 $3I_1$ (A) 条件下的放电能量和能量保持率; 放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量(以 Ah 计), 放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池单体室温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.1.3 低温放电性能试验

##### 5.4.1.3.1 能量型电池单体

步骤如下:

- a) 按 5.2.2 初始化充电;
- b) 在  $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 静置 8 h;
- c) 在  $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 电池单体以  $0.2I_1$  (A) 恒流放电至其放电终止电压;
- d) 记录步骤 c) 的放电时间、放电容量; 计算放电容量相对于初始放电容量的容量保持率; 放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量 (以 Ah 计)。

#### 5.4.1.3.2 功率型电池单体

步骤如下:

- a) 按 5.2.2 初始化充电;
- b) 在  $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 静置 8 h;
- c) 在  $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 电池单体以  $1I_1$  (A) 恒流放电至其放电终止电压。

记录步骤 c) 的放电时间、放电容量; 计算放电容量相对于初始放电容量的容量保持率; 放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量 (以 Ah 计)。

#### 5.4.1.4 高温充放电性能试验

步骤如下:

- a) 按 5.2.3 初始化放电;
- b) 在  $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 静置 5 h;
- c) 在  $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 电池单体以  $0.5I_1$  (A) 恒流充电至 4.2 V 或者制造商规定的充电终止电压, 然后转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$  (A), 静置 30 min;
- d) 在  $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 电池单体以  $0.5I_1$  (A) 恒流放电至 2.5V 或者制造商规定的放电终止电压。

记录步骤 c)、d) 的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间、充电容量、放电容量; 计算能量效率; 计算充电能量、放电能量分别相对于初始充电能量、初始放电能量的能量保持率; 放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量 (以 Ah 计), 放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池单体室温放电能量 (以 Wh 计)。

#### 5.4.1.5 室温及高温保持与能量恢复能力

##### 5.4.1.5.1 室温荷电保持与能量恢复能力

步骤如下:

- a) 按 5.2.2 初始化充电;
- b) 在室温  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 储存 28 d;
- c) 在室温  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 按 5.2.5 标准化放电, 静置 30 min;
- d) 在室温  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 按 5.2.4 标准化充电, 静置 30 min;
- e) 在室温  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 按 5.2.5 标准化放电。

记录步骤 c) 的保持能量和步骤 d)、e) 的充电恢复能量、放电恢复能量；计算保持能量相对于初始放电能量的能量保持率；计算充电恢复能量、放电恢复能量分别相对于初始充电能量、初始放电能量的能量恢复率；放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池单体室温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.1.5.2 高温荷电保持与能量恢复能力

步骤如下：

- a) 按 5.2.2 初始化充电；
- b) 在  $(55\pm 3)$  °C 下，储存 7 d；
- c) 在  $(25\pm 2)$  °C 下，静置 5 h；
- d) 在室温  $(25\pm 2)$  °C 下，按 5.2.5 标准化放电，静置 30 min；
- e) 在室温  $(25\pm 2)$  °C 下，按 5.2.4 标准化充电，静置 30 min；
- f) 在室温  $(25\pm 2)$  °C 下，按 5.2.5 标准化放电。

记录步骤 d) 的保持能量和步骤 e)、f) 的充电恢复能量、放电恢复能量；计算保持能量相对于初始放电能量的能量保持率；计算充电恢复能量、放电恢复能量分别相对于初始充电能量、初始放电能量的能量恢复率；放电电流对放电时间的积分为电池单体高温放电容量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池单体高温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.1.6 标准循环寿命

##### 5.4.1.6.1 能量型电池单体标准循环寿命试验

在室温  $(25\pm 2)$  °C 下，进行能量型电池单体标准循环性能试验：

- a) 按 5.2.3 初始化放电；
- b) 按 5.2.4 进行标准化充电，静置 30 min；
- c) 按 5.2.5 进行标准化放电，静置 30 min；
- d) 按步骤 b)~c) 连续循环 800 次。

记录首次及每循环 50 次时步骤 b)、c) 的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间；计算每 50 次循环结束时的充电能量、放电能量相对于首次循环结束时的充电能量、放电能量的能量保持率及对应的能量效率；根据试验数据作充电能量保持率、放电能量保持率及能量效率随循环次数变化的曲线图；循环 500 次时出具标准循环寿命试验中期测试报告；放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池单体室温放电能量(以 Wh 计)。

##### 5.4.1.6.2 功率型电池单体标准循环寿命试验

在室温  $(25\pm 2)$  °C 下，进行功率型电池单体标准循环性能试验：

- a) 按 5.2.3 初始化放电；
- b) 以  $1I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压，转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A)，静置 30 min；
- c) 以  $1I_1$ (A) 恒流放电至其电池单体的放电终止电压，静置 30 min；
- d) 按照 b)~c) 连续循环 500 次，若放电能量高于初始能量的 80%，则终止试验；若放电能量低于初始能量的 80%，则继续循环至 800 次。

记录首次及每循环 50 次时步骤 b)、c) 的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间；计算每 50 次循环结束时的充电能量、放电能量相对于首次循环结束时的充电能量、放电能量的能量保持率及对应的能量效率；根据试验数据作充电能量保持率、放电能量保持率及能量效率随循环次数变化的曲线图；循环 500 次时出具标准循环寿命试验中期测试报告；放电电流对放电时间的积分为电池单体室温放电容量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池单体室温放电能量(以 Wh 计)。

## 5.4.2 电池组

### 5.4.2.1 室温初始化充放电能量试验

步骤如下：

- a) 在室温( $25\pm 2$ )℃下，按 5.2.3 初始化放电；
- b) 按 5.2.4 标准化充电，静置 30 min；
- c) 按照 5.2.5 标准化放电，静置 30 min；
- d) 重复步骤 a)~c) 5 次，当连续 3 次试验结果的极差小于额定能量的 3%，可提前结束试验，取最后 3 次试验结果平均值，以 3 次试验的均值作为结果。

记录步骤 a)、c) 的初始充电能量、初始放电能量、充电时间、放电时间、所有测试样本初始充电能量的极差、所有测试样本初始放电能量的极差、初始充电容量、初始放电容量；计算质最能量密度、体积能量密度、能量效率、初始充电能量的极差平均值占所有测试样本初始充电能量平均值的百分比、初始放电能量的极差平均值占所有测试样本初始放电能量平均值的百分比；放电电流对放电时间的积分为电池组的室温放电容量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池组的室温放电能量(以 Wh 计)。

### 5.4.2.2 室温倍率充放电性能试验

#### 5.4.2.2.1 能量型电池组

步骤如下：

- a) 在室温( $25\pm 2$ )℃下，按 5.2.3 初始化放电；
- b) 以  $0.2I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压，转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A)，静置 30 min；
- c) 以  $0.5I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压，静置 30 min；
- d) 以  $0.5I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压，转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A)，静置 30 min；

- e) 以  $1I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min;
- f) 以  $1I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- g) 以  $2I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min。

#### 5.4.2.2.2 功率型电池组

步骤如下:

- a) 在室温  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 按 5.2.3 初始化放电;
- b) 以  $0.5I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- c) 以  $1I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min;
- d) 以  $1I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- e) 以  $2I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min;
- f) 以  $1.5I_1$ (A) 恒流充电至其充电终止电压, 转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$ (A), 静置 30 min;
- g) 以  $3I_1$ (A) 恒流放电至其放电终止电压, 静置 30 min。

记录试验步骤的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间、充电容量、放电容量; 能量型电池组根据步骤 b)、d)、f) 的数据, 分别计算在  $0.2I_1$ (A)、 $0.5I_1$ (A)、 $1I_1$ (A) 条件下的充电能量相对于初始化充电条件下的充电能量和能量保持率; 能量型电池组根据步骤 c)、e)、g) 的数据, 分别计算在  $0.5I_1$ (A)、 $1I_1$ (A)、 $2I_1$ (A) 条件下的放电能量和能量保持率; 功率型电池组根据步骤 b)、d)、f) 的数据, 分别计算在  $0.5I_1$ (A)、 $1I_1$ (A)、 $1.5I_1$ (A) 条件下的充电能量相对于初始化充电条件下的充电能量和能量保持率; 根据步骤 c)、e)、g) 的数据分别计算功率型电池组在  $1I_1$ (A)、 $2I_1$ (A)、 $3I_1$ (A) 条件下的放电能量和能量保持率; 放电电流对放电时间的积分为电池组室温放电容量(以 Ah 计), 放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池组室温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.2.3 低温放电性能试验

##### 5.4.2.3.1 能量型电池组

步骤如下:

- a) 按 5.2.2 初始化充电;
- b) 电池组在  $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 静置 8 h;
- c) 在  $(-40 \pm 2)^\circ\text{C}$  下, 以  $0.2I_1$ (A) 恒流放电至任一电池单体或电池组的放电终止电压。

记录步骤 c) 的放电时间、放电容量; 计算放电容量分别相对于初始放电容量的容量保持率; 放电电流对放电时间的积分为电池组低温放电容量(以 Ah 计)。

##### 5.4.2.3.2 功率型电池组

步骤如下:

- a) 按 5.2.3 初始化放电;

- b) 在 $(-40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，静置 8 h；
- c) 在 $(-40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，以  $1I_1$  (A) 恒流放电至任一电池单体或电池组的放电终止电压。

记录步骤 c) 的放电时间、放电容量；计算放电容量分别相对于初始放电容量的容量保持率；放电电流对放电时间的积分为电池组低温放电容量(以 Ah 计)。

#### 5.4.2.4 高温充放电性能试验

步骤如下：

- a) 按 5.2.3 初始化放电；
- b) 在 $(60\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，静置 5 h；
- c) 在 $(60\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，以  $0.5I_1$  (A) 恒流充电至任一单体或电池组达到制造商规定的充电终止电压，然后转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$  (A)，静置 30 min；
- d) 在 $(60\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，以  $0.5I_1$  (A) 恒流放电至任一单体或电池组达到制造商规定的放电终止电压。

记录步骤 c)、d) 的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间、充电容量、放电容量；计算能量效率；计算充电能量、放电能量分别相对于初始充电能量、初始放电能量的能量保持率；放电电流对放电时间的积分为电池组高温放电能量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池组高温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.2.5 室温及高温保持与能量恢复能力

##### 5.4.2.5.1 室温荷电保持与能量恢复能力

步骤如下：

- a) 按 5.2.2 初始化充电；
- b) 在室温 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，储存 28 d；
- c) 在室温 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，按 5.2.5 标准化放电，静置 30 min；
- d) 在室温 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，按 5.2.4 标准化充电，静置 30 min；
- e) 在室温 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下，按 5.2.5 标准化放电。

记录步骤 c) 的保持能量和步骤 d)、e) 的充电恢复能量、放电恢复能量；计算保持能量相对于初始放电能量的能量保持率；计算充电恢复能量、放电恢复能量分别相对于初始充电能量、初始放电能量的能量恢复率；放电电流对放电时间的积分为电池组室温放电容量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池组室温放电能量(以 Wh 计)。

##### 5.4.2.5.2 高温荷电保持与能量恢复能力

步骤如下：

- a) 按 5.2.2 初始化充电；
- b) 在 $(55\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 温度下，储存 7 d；

- c) 在室温(25±2)℃下, 静置 5 h;
- d) 在室温(25±2)℃下, 按 5.2.5 标准化放电, 静置 30 min;
- e) 在室温(25±2)℃下, 按 5.2.4 标准化充电, 静置 30 min;
- f) 在室温(25±2)℃下, 电池组按照 5.2.5 进行标准化放电。

记录步骤 d) 的保持能量和步骤 e)、f) 的充电恢复能量、放电恢复能量; 计算保持能量相对于初始放电能量的能量保持率; 计算充电恢复能量、放电恢复能量分别相对于初始充电能量、初始放电能量的能量恢复率; 放电电流对放电时间的积分为电池组高温放电容量(以 Ah 计), 放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池组高温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.2.6 标准循环寿命

##### 5.4.2.6.1 概述

在室温(25±2)℃下, 电池组按照能量型和功率型分别进行标准循环寿命试验。

##### 5.4.2.6.2 能量型电池组

步骤如下:

- a) 在室温(25±2)℃下, 按 5.2.3 初始化放电;
- b) 按 5.2.4 标准化充电, 静置 30 min;
- c) 按 5.2.5 标准化放电, 静置 30 min;
- d) 按照 b)~c) 连续循环 600 次。

记录首次及每循环 50 次时步骤 b)、c) 的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间; 计算每 50 次循环结束时的充电能量、放电能量相对于首次循环结束时的充电能量、放电能量的能量保持率及对应的能量效率; 根据试验数据作充电能量保持率、放电能量保持率及能量效率随循环次数变化的曲线图; 循环 400 次时出具标准循环寿命试验中期测试报告; 放电电流对放电时间的积分为电池组室温放电容量(以 Ah 计), 放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池组室温放电能量(以 Wh 计)。

##### 5.4.2.6.3 功率型电池组

步骤如下:

- a) 在室温(25±2)℃下, 按 5.2.3 初始化放电;
- b) 以  $0.5I_1$  (A) 恒流充电至任一单体或电池组达到制造商规定的充电终止电压, 然后转恒压充电至截止电流  $0.05I_1$  (A), 静置 30 min;
- c) 以  $0.5I_1$  (A) 恒流放电至任一单体或电池组达到制造商规定的放电终止电压, 静置 30 min;
- d) 按照 b)~c) 连续循环 400 次, 若放电能量高于初始能量的 80%, 则终止试验; 若放电能量低于初始能量的 80%, 则继续循环至 600 次;

记录首次及每循环 50 次时步骤 b)、c) 的充电能量、放电能量、充电时间、放电时间；计算每 50 次循环结束时的充电能量、放电能量相对于首次循环结束时的充电能量、放电能量的能量保持率及对应的能量效率；根据试验数据作充电能量保持率、放电能量保持率及能量效率随循环次数变化的曲线图；循环 400 次时出具标准循环寿命试验中期测试报告；放电电流对放电时间的积分为电池组室温放电容量(以 Ah 计)，放电电流和电压的乘积对放电时间的积分为电池组室温放电能量(以 Wh 计)。

#### 5.4.2.7 工况循环寿命试验

电池组工况循环寿命试验由两部分组成，一个是“主充电工况”，其充电量略多于放电量，如图 1 和表 1 所示；另一个是“主放电工况”，其放电量略多于充电量，如图 2 和表 2 所示。试验步骤如表 3 所示，由主充电工况和主放电工况组成的大循环 SOC 波动示意图如图 3 所示。

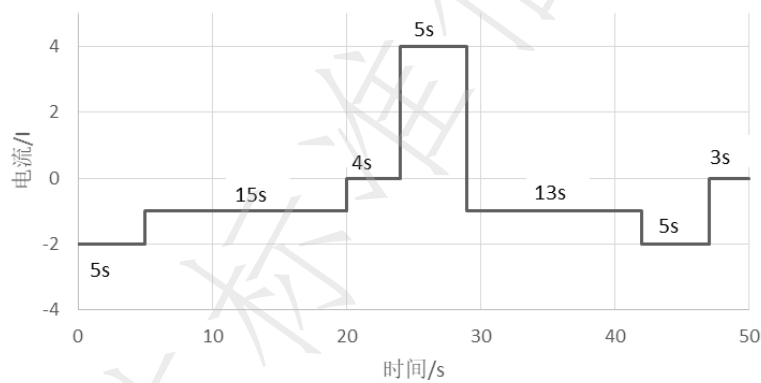


图 1 功率型储能电池主充电工况

表 1 功率型储能电池主充电工况

时间增量 s	累计时间 s	电流 A	$\Delta$ SOC %
5	5	$-2I_1$	0.278
15	20	$-0.75I_1$	0.590
4	24	0	0.590
5	29	$4I_1$	0.035
13	42	$-0.75I_1$	0.306
5	47	$-2I_1$	0.583
3	50	0	0.583

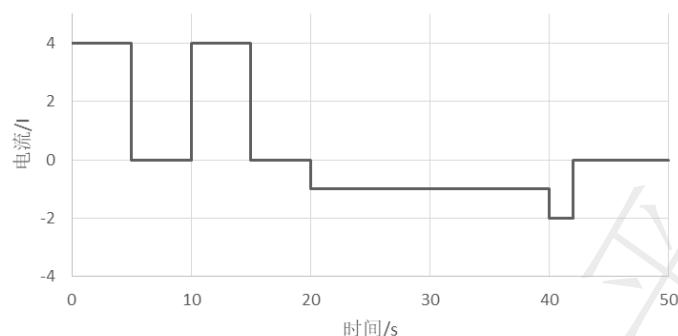


图2 功率型储能电池主放电工况

表2 功率型储能电池主放电工况

时间增量 s	累计时间 s	电流 A	$\Delta$ SOC %
5	5	$4I_1$	-0.556
5	10	0	-0.556
5	15	$4I_1$	-1.111
5	20	0	-1.111
13	42	$-0.75I_1$	-0.694
5	44	$-2I_1$	-0.583
3	50	0	-0.583

试验步骤:

- a) 按 5.2.3 初始化放电;
- b) 在室温 ( $25 \pm 2$ ) °C 条件下, 按图 1 和表 1 循环进行“主充电工况”试验, 直至电池任一单体或电池组电压达到充电终止电压, 静置 30 min; 按照图 2 和表 2 循环进行“主放电工况”试验, 直至电池任一单体或电池组电压达到放电终止电压。上述一个主充电工况和若干个主放电工况以及静置定义为 1 个工况循环;
- c) 按照 a)~b) 连续循环 x h (x 约为 20 且循环次数为如图 1 所示大循环的整数倍);
- d) 静置 2 h;
- e) 按照 a)~d) 连续循环 6 次, 循环后按 5.2.8 方法测量电池组室温放电容量和放电能量;
- f) 重复步骤 a)~e), 直至总放电能量与电池初始能量的比值达 500;
- g) 按 5.2.8 方法测量电池组室温放电容量和放电能量。

注: 如果步骤 e) 中测试的放电能量低于初始能量的 90%, 允许维护一次 (不更换电池), 然后再重复步骤 e), 如仍不满足条件, 则提前终止试验。

表 3 功率型储能电池组工况循环寿命测试步骤

步骤	试验内容
1	按照 5.2.9 方法调整 SOC 至 80%或者制造商规定的最高 SOC
2	静置 30 min
3	运行“主放电工况”直到： ——30%SOC 或者制造商规定的最低 SOC，或 ——制造商规定的终止条件
4	运行“主放电工况”直到： ——80%SOC 或者制造商规定的最高 SOC，或 ——制造商规定的终止条件
5	重复步骤 3~4 共 x h(x 约为 22 且循环次数为如图 6-3 所示大循环的整数倍)
6	静置 2 h
7	重复步骤 1~6 共 6 次
8	按照 5.2.8 方法测试容量和能量
9	按照 5.2.10 方法测试功率
10	重复步骤 1~9，直至总放电能量与储能电池初始能量的比值达 500
11	按照 5.2.8 方法测试容量
12	按照 5.2.10 方法测试功率

注：如果步骤 8 中测试的放电容量低于初始容量的 90%，或步骤 9 中测试的放电功率低于初始的 85%，允许维护一次(不更换电池)，然后再重复步骤 8 和 9，如仍不满足条件，则提前终止试验。

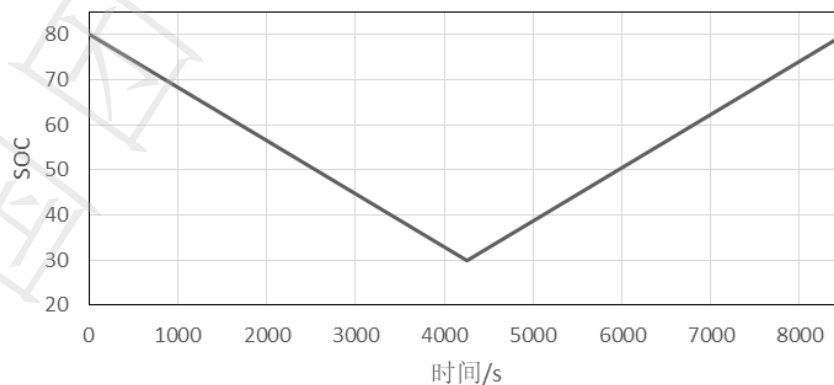


图 3 电池组工况循环 SOC 波动示意图

#### 5.4.2.8 储存性能

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电;
- b) 室温下, 以恒定电流  $1I_1$  (A) 放电 30 min;
- c) 在  $(45\pm 2)$  °C 下储存 28 d;
- d) 室温下静置 5 h;
- e) 按 5.2.4 标准化充电;
- f) 室温下, 以恒定电流  $1I_1$  (A) 放电至任一电池单体电压达到放电终止电压;
- g) 放电电流对放电时间的积分为电池组储存能量 (以 Ah 计)。

## 5.5 安全性能试验方法

### 5.5.1 电池单体

#### 5.5.1.1 短路

步骤如下:

- a) 按 5.2.4 标准化充电;
- b) 将电池单体正、负极经外部短路 10 min. 外部线路电阻应小于  $5\text{ m}\Omega$ ;
- c) 观察 1 h;
- d) 记录电池单体是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.1.2 过充电

步骤如下:

- a) 按 5.2.4 标准化充电;
- b) 以恒流方式充电至电压达到电池单体充电终止电压的 1.5 倍或时间达到 1 h 时停止充电, 充电电流取  $1C$  与产品的最大持续充电电流中的较小值;
- c) 观察 1 h;
- d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.1.3 过放电

步骤如下:

- a) 按 5.2.4 标准化充电;
- b) 以恒流方式放电至时间达到 90 min 或电压达到 0 V 时停止放电, 放电电流取  $1C$  与产品的最大持续放电电流中的较小值;
- c) 观察 1 h;
- d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.1.4 重物撞击

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 在常温环境条件下，将满荷电态电池放置在一平板上，电池纵轴应平行于平板，同时又垂直于放在样品上中央位置的钢棒纵轴，在电池中央横放一根直径为  $15.8\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$  的钢棒，平板和钢棒表面进行绝缘处理，钢棒纵轴平行于平面，使一个  $9.1\text{ kg}\pm 0.1\text{ kg}$  的重物从  $610\text{ mm}\pm 25\text{ mm}$  的高度自由落到电池中心上方的钢棒上；
- c) 每个被检电池单体只能做一次重物撞击试验，重物撞击后继续观察被检电池 6 h；
- d) 记录是否有冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.1.5 挤压

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 按下列条件试验：
  - 1) 挤压方向：垂直于电池单体极板方向施压，见图 4；
  - 2) 挤压板形式：半径为 75 mm 的半圆柱体，半圆柱体的长度(L)大于被挤压电池的尺寸；
  - 3) 挤压速度： $(5\pm 1)\text{ mm/s}$ ；
  - 4) 挤压程度：电压达到 0 V 或变形量达到 30%或挤压力达到  $(13\pm 0.78)\text{ kN}$  时停止挤压；
  - 5) 保持 10 min。
- c) 观察 1 h；
- d) 记录电是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

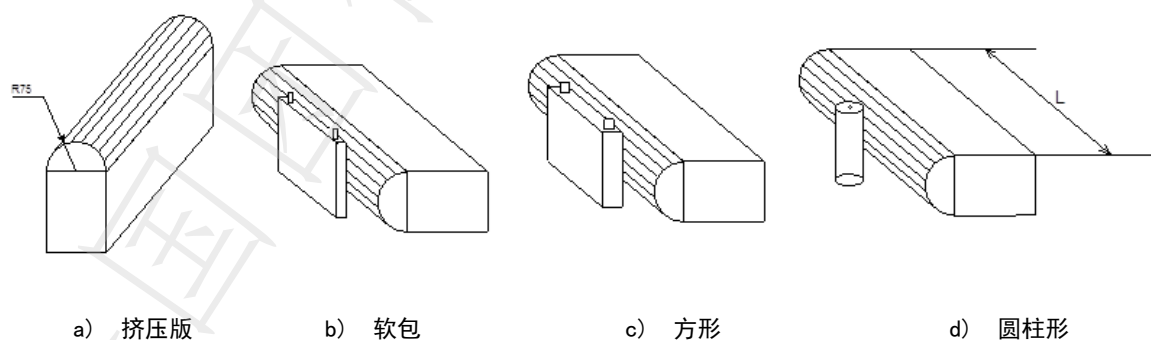


图 4 电池单体挤压板和挤压方向示意图

#### 5.5.1.6 热滥用

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 将电池单体放入高温箱中，高温箱以  $(5\pm 2)\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  的升温速率进行升温，当箱内温度达到

150℃±2℃后恒温；

- c) 持续观察 30 min；
- d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.1.7 温度冲击

在标准化充电后，将其放置于温度可控的箱体中进行高低温冲击试验：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 对电池单体放入温度为(75±2)℃的实验箱中，保温 6 h；
- c) 30 min 内将温度降到(-50±2)℃，保温 6 h；
- d) 30 min 内将温度升至(75±2)℃，保温 2 h；
- e) 重复 b)~d)循环，共 10 次；
- f) 记录电池单体应不起火、不爆炸、不漏液，且电池单体放电容量不小于常温容量的 85%。

### 5.5.2 电池组

#### 5.5.2.1 短路

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 将电池组正、负极经外部短路 10 min，外部线路电阻应小于 5 mΩ；
- c) 观察 1 h；
- d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.2.2 过充电

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 以恒流方式充电至电压达到任一电池单体充电终止电压的 1.5 倍或时间达到 1 h 时停止充电，充电电流取 1C 与产品的最大持续充电电流中的较小值；
- c) 观察 1 h；
- d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.2.3 过放电

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 以恒流方式放电至时间达到 90 min 或任一电池单体电压达到 0 V 时停止放电，放电电流取 1C 与产品的最大持续放电电流中的较小值；
- c) 观察 1 h；

d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.5.2.4 挤压

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 按下列条件进行挤压试验：
  - 1) 挤压方向：垂直于电池单体极板方向施压，见图 5；
  - 2) 挤压板形式：半径为 75 mm 的半圆柱体，半圆柱体的长度(L)大于被挤压电池的尺寸；
  - 3) 挤压速度： $(5 \pm 1)$  mm/s；
  - 4) 挤压程度：电压达到 0 V 或变形量达到 30%或挤压力达到 $(13 \pm 0.78)$  kN 时停止挤压；
  - 5) 保持 10 min。
- c) 观察 1 h；
- d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

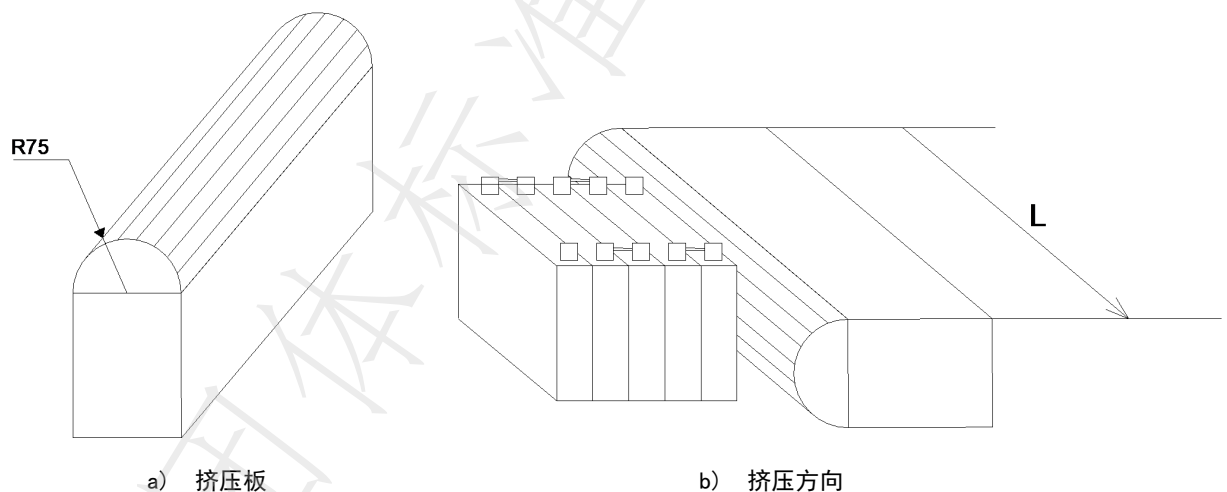


图 5 电池组挤压板和挤压方向示意图

#### 5.5.2.5 热失控扩散

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 按下列条件试验：
  - 1) 以过充热失控触发方式；
  - 2) 热失控触发对象：选择实现热失控触发的电池单体作为热失控触发对象，其热失控产生的热量应非常容易传递至相邻电池单体，如电池组内最靠近中心位置的电池单体。
- c) 过充触发热失控：以最小  $1/3C_{rcn}$ 、最大不大于产品能持续工作的最大电流对触发对象进

行恒流充电，直至其发生热失控或触发对象的荷电状态达到 200% SOC；过充触发要求在触发对象上连接额外的导线以实现过充，电池组中的其它电池单体应不过充；如果未发生热失控，继续观察 1 h；

d) 电压及温度的监测应符合下列要求：

- 1) 监测触发对象及与其相邻最近的两只电池单体的电压和温度以判定触发对象及相邻电池单体是否发生热失控，从而判断电池组是否发生热失控扩散；监测电压时，应不改动原始的电路；温度数据的采样间隔应不大于 1 s，准确度应为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，温度传感器尖端的直径应小于 1 mm；
- 2) 过充触发时，温度传感器应布置在电池单体表面与正负极柱等距且离正负极柱最近的位置。

e) 记录试验结果。

#### 5.5.2.6 大电流放电

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 将电池组放入  $35^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  的恒温箱内，并以  $30 I_1$  (A) 的电流放电 3 min；
- c) 观察 1 h；
- d) 记录是否有极柱、汇流排熔化或熔断，槽、盖熔化或变形现象。

### 5.6 环境适应性能试验方法

#### 5.6.1 机械冲击

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 给电池组施加 25 g、15 ms 的半正弦冲击波形，Z 轴方向冲击 3 次；
- c) 观察电池组 2 h；
- d) 机械冲击试验后，电池组应无泄漏、外壳破裂、着火、或爆炸等现象。试验后的直流电阻值不小于 100  $\Omega$ /V。

#### 5.6.2 跌落

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 将电池组的正极或负极端子朝下从 1.5 m 高度处自由跌落到水泥地面上 1 次；
- c) 观察 1 h；
- d) 记录电池组是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

### 5.6.3 模拟碰撞

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 电池组水平安装在带有支架的台车上，根据测试对象的使用环境给台车施加表 4 和图 6 中规定的脉冲(汽车行驶方向为 x 轴，另一垂直于行驶方向的水平方向为 y 轴)，或根据制造商规定的具体试验脉冲参数进行；
- c) 观察 2 小时；
- d) 电池组模拟碰撞试验后，应不起火、不爆炸。

表 4 模拟碰撞试验脉冲参数表

	脉宽 (ms)	$\leq 3.5t$		$3.5t \sim 7.5t$		$\geq 7.5t$	
		X 方向加速度 (g)	y 方向加速度 (g)	X 方向加速度 (g)	y 方向加速度 (g)	X 方向加速度 (g)	y 方向加速度 (g)
A	20	0	0	0	0	0	0
B	50	20	8	10	5	6.6	5
C	65	20	8	10	5	6.6	5
D	100	0	0	0	0	0	0
E	0	10	4.5	5	2.5	4	2.5
F	50	28	15	17	10	12	10
G	80	28	15	17	10	12	10
H	120	0	0	0	0	0	0

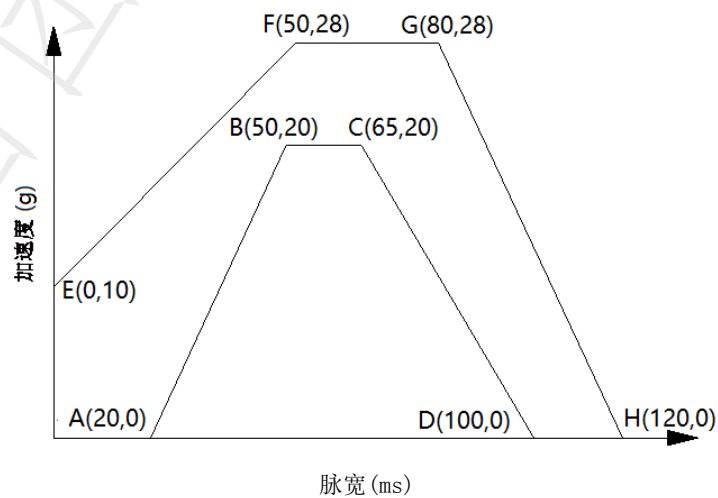


图 6 加速度脉冲曲线示意图

#### 5.6.4 翻转

步骤如下：

- a) 电池组按照 5.2.4 标准化充电；
- b) 电池组绕 X 轴先以  $90^\circ/15$  秒速度转动  $360^\circ$ ，然后以  $90^\circ$  增量旋转，每隔  $90^\circ$  增量保持 1 小时，旋转  $360^\circ$  停止；
- c) 电池组绕 Y 轴先以  $90^\circ/15$  秒速度转动  $360^\circ$ ，然后以  $90^\circ$  增量旋转，每隔  $90^\circ$  增量保持 1 小时，旋转  $360^\circ$  停止；
- d) 观察 2 h。

电池组翻转试验后，应不泄漏、不起火、不爆炸，并保持连接可靠、结构完好，试验后的直流电阻值不小于  $100\text{ Q/V}$ 。

#### 5.6.5 振动

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 振动测试在三个方向上进行，测试顺序为：Z 轴→Y 轴→X 轴。如果电池组或系统设计安装在车辆的客箱下面，则水平横向 Y 方向的功率谱密度 (PSD) 值将按安装位置的上、下分别选用，各方向、位置的 PSD 值见表 5、表 6、表 7 和表 8；
- c) 将电池组紧固在振动试验台上，按下述条件进行线性扫频振动实验：
  - 1) 振动方向：上下振动；
  - 2) 振动频率：7 Hz~200 Hz；最大加速度： $78\text{ m/s}^2$ ；
  - 3) 扫频循环：12 次；
  - 4) 振动时间：2 h。
- d) 振动试验过程中，监控电池组内部最小监控单元的状态，如电压和温度等；
- e) 振动试验后，观察 2 h；
- f) 电池组按 5.2.5 标准化放电，结果应不漏液、不起火、不爆炸。

表5 Z轴 PSD 值

频率 Hz	功率谱密度 (PSD) $g^2/Hz$	功率谱密度 (PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.05	4.81
10	0.06	5.77
20	0.06	5.77
200	0.0008	0.08
RMS	1.44 g	14.13 $m/s^2$

表6 Y轴 PSD 值(电池组或系统安装在车身上面)

频率 Hz	功率谱密度 (PSD) $g^2/Hz$	功率谱密度 (PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.04	3.85
20	0.04	3.85
200	0.0008	0.08
RMS	1.23 g	12.07 $m/s^2$

表7 Y轴 PSD 值(电池组或系统安装在车身下面)

频率 Hz	功率谱密度 (PSD) $g^2/Hz$	功率谱密度 (PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.01	0.96
10	0.015	1.44
20	0.015	1.44
50	0.01	0.96
200	0.0001	0.01
RMS	0.95 g	9.32 $m/s^2$

表 8 X 轴 PSD 值

频率 Hz	功率谱密度(PSD) $g^2/Hz$	功率谱密度(PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.0125	1.20
10	0.03	2.89
20	0.03	2.89
200	0.00025	0.02
RMS	0.96 g	9.42 $m/s^2$

### 5.6.6 高低温冲击

步骤如下:

- 按 5.2.4 标准化充电;
- 对电池组放入高低温试验箱中, 保温 6 h;
- 30 min 内将温度降到  $(75 \pm 2)^\circ C$ , 保温 6 h;
- 30 min 内将温度升至  $(-50 \pm 2)^\circ C$ , 保温 2 h;
- 重复 b)~d) 循环, 共 10 次;
- 观察结果: 电池组不变形、不开裂、不起火、不爆炸、不漏液, 同时应符合制造商对电池单体、电池组电压的规定, 且能正常工作。

### 5.6.7 高温高湿

电池组高温高湿试验适用于海洋性气候条件下的应用场合, 比如海洋和深海探测场合等。步骤如下:

- 按 5.2.4 标准化充电;
- 将电池组放入湿热箱中. 在温度为  $(45 \pm 2)^\circ C$ 、相对湿度为  $(93 \pm 3)\%$  的条件下贮存 3 d;
- 观察电池组 1 h;
- 记录电池组是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

注: 此试验也适用于非海洋性气候条件下的应用场合。

### 5.6.8 低气压

步骤如下:

- 按 5.2.4 标准化充电;
- 将电池组放入低气压箱中, 气压调节至 11.6 kPa、温度为  $(25 \pm 5)^\circ C$ , 静置 6 h;
- 观察 1 h;

- d) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.6.9 盐雾

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
- b) 采用氯化钠(化学纯或分析纯)和蒸馏水(或去离子水)配置盐溶液，浓度为 $(5 \pm 0.1)\%$ (质量分数)，温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 时，溶液的 pH 值应为 6.5~7.2；
- c) 将电池组放入盐雾箱在  $15^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$  下喷盐雾 2 h；
- d) 喷雾结束后，将电池组转移到湿热箱中贮存 20 h~22 h, 完成 1 次喷雾贮存循环，箱温度设定为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度设定为 $(93 \pm 3)\%$ ；
- e) 将步骤 c)~d) 共循环 4 次；
- f) 将电池组在温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 45%~55%的条件下贮存 3 d；
- g) 将步骤 c)~f) 共循环 4 次；
- h) 观察 1 h；
- i) 记录是否有膨胀、漏液、冒烟、起火、爆炸现象。

#### 5.6.10 海水浸泡

步骤如下：

- a) 按 5.2.4 标准化充电；
  - b) 室温下，将电池组以实车装配状态与整车线束相连，然后以实车装配方向置于 3.5% NaCl 盐水中 2 小时，水深要足以淹没被测电池组保护系统；
  - c) 观察 2 小时；
  - d) 记录是否起火、爆炸。
-