

《电动汽车用锂离子动力电池包和系统电性能试验方法》

征求意见稿 编制说明

一、工作简况

1、任务来源

动力电池是新能源汽车的核心零部件，为新能源汽车的行驶提供电能。容量、能量、内阻、能量效率等电性能是动力电池的关键性能指标。GB/T 31467.1—2015《电动汽车用锂离子动力电池包和系统 第1部分：高功率应用测试规程》和 GB/T 31467.2—2015《电动汽车用锂离子动力电池包和系统 第2部分：高能量应用测试规程》两项标准分别提供了高功率型和高能量型电动汽车用锂离子动力电池包和系统电性能的测试规程。

以上两项标准发布以来，有效统一、规范了动力电池电性能测试方法。然而，近年来我国新能源汽车和动力电池产业快速发展，而 GB/T 31467.1 和 GB/T 31467.2 两项标准已发布 6 年，部分内容已不能适应产业发展需要，并且两项标准制定时参考的 ISO 12405-1 和 ISO 12405-2 均已被 ISO 12405-4:2018 替代。

因此，应当充分参考对应国际标准 ISO 12405-4:2018，面向当前我国新能源汽车和动力电池的使用场景需求，结合我国动力电池电性能测试经验，对 GB/T 31467.1 和 GB/T 31467.2 两项标准开展修订工作。

本项目计划将 GB/T 31467.1—2015《电动汽车用锂离子动力电池包和系统 第1部分：高功率应用测试规程》和 GB/T 31467.2—2015《电动汽车用锂离子动力电池包和系统 第2部分：高能量应用测试规程》合并修订为 GB/T 31467《电动汽车用锂离子动力电池包和系统电性能测试规程》。

标准制定计划已于 2021 年 8 月划由国家标准化管理委员会下达正式下达，计划编号：20213561-T-339。

2、主要工作过程

本标准由全国汽车标准化技术委员会电动车辆分技术委员会归口，并由电动车辆分标委动力电池标准工作组负责组织开展修订工作。修订工作于 2020 年 4 月正式启动，标准起草组由电动汽车整车、动力电池生产企业、检测机构等单位组成。标准起草组经过多次专题研讨会议，进行了关键测试项的验证试验，完成了标准修订草案撰写，并在动力电池工作组层面进行了多次意见征集和讨论，于 2021 年 10 月形成标准征求意见稿，主要技术会议及研究活动情况如下：

(1) 2020 年 4 月~2020 年 8 月，起草组完成了 ISO 12405-4:2018 标准的翻译和国内外标准对比工作，经讨论确定了 GB/T 31467.1/2 的修订方案；

(2) 2020 年 9 月 17 日，动力电池标准工作组在浙江省杭州市召开了 2020 年第 2 次

会议。会上，起草组介绍了 GB/T 31467.1/2 的修订方案。会议经讨论明确了 GB/T 31467.1 和 31467.2 在修订时进行合并，并参照 ISO 12405-4:2018 进行起草。与之前版本相比，修订版本将在保留原有测试项目的基础上，增加脉冲功率、充电性能、工况放电等项目，并调整部分试验方法，例如 SOC 调整方法、容量能量测试方法、功率内阻测试方法等；

(3) 2020 年 9 月~2021 年 2 月，标准起草组在前期研究和讨论的基础上，结合 2020 年 9 月份工作组会议结论，完成了本标准的修订草案；

(4) 2021 年 2 月 26 日，标准起草组召开了网络会议，进一步讨论了标准的修订计划，规划了调整 SOC、容量和能量、能量效率等测试项目的修订验证情况，确定了后续研究方向。

(5) 2021 年 3 月 25 日，以网络会议的形式召开了标准起草组会议，会议介绍了标准的制修订进展情况，提出从产品研发角度增加技术要求或试验，从整车需求角度出发，明确各项参数来源和出处的要求，并对下一步工作计划展开讨论。

(6) 2021 年 4 月 26 日，在合肥举行的标准起草组会议上，起草组对标准内容进行详细讨论，对各项试验要求、试验方法及试验验证数据进行系统梳理，进一步完善了标准修订内容，形成第二版标准修订草案。

(7) 2021 年 5 月 11 日，在动力电池标准工作组 2021 年第一次会议上，起草组逐条介绍了修订草案文本，对标准修改和增加的测试内容做了重点介绍，记录并解答了工作组各单位提出的问题和建议。

(8) 2021 年 5 月~2021 年 7 月，标准工作组陆续收到中航锂电、蜂巢能源等企业的标准修订意见，标准起草组分别与以上单位开展线上一对一标准讨论，针对测试环境条件、质量是否包含冷却液等内容形成统一意见。

(9) 2021 年 8 月，起草组依据意见反馈情况和前期会议讨论结果对标准内容进行调整与完善，同时对比了国内外相关测试标准环境测试条件的差异，并开展环境适应、能量效率等相关试验验证，并修改形成第三版标准草案。

(10) 2021 年 8 月 20 日，在动力蓄电池工作组专项研讨会上，起草组汇报了能量效率等试验的验证进展及结果，并介绍了开展标准修订工作以来收到的行业意见的整理汇总与处理情况

(11) 2021 年 9 月 22 日，通过网络会议形式召开起草组会议，会上进一步详细讨论了第三版标准草案，对试验中热管理的开启与否、冷却液是否计算为电池包质量、数据记录间隔等内容展开讨论，并形成行业共识。

(12) 2021 年 9 月 28 日，起草组召开会议，确定了无负载容量损失、存储中容量损失和能量效率的测试方法，起草组根据本次及前期会议结论完善标准草案，形成标准征求意见稿。

二、标准编制原则和主要内容

1 编制原则

- 1) 本文件编写符合 GB/T 1.1《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；
- 2) 本文件制定过程中，在工作组及行业内进行多次意见征求，并在会上充分讨论；
- 3) 起草过程参考了 ISO 12405-4，并充分考虑国内外现有相关标准的统一和协调，同时结合了我国道路、交通、电动汽车及动力电池发展的情况。

2 主要内容

本文件规定了电动汽车用锂离子动力电池包和系统的电性能测试方法。

本文件适用于装载在电动汽车上的锂离子动力电池包和系统。

本文件中规定的电动汽车用高功率型和高能量型锂离子动力电池包和系统的测试项目分别如表 1 和表 2 所示：

表 1 高功率型锂离子动力电池包和系统需要进行的测试项目

试验项目		适用范围	试验方法章条号	
基本性能试验	外观	电池包、电池系统	7.1	
	极性		7.2	
	质量和外形尺寸		7.3	
	容量和能量测试		室温 (25 ℃)	7.4.2
			高温 (40 ℃)	7.4.3
			低温 (0 ℃、-20 ℃)	7.4.4
	功率和内阻	7.5.2.1		
	无负载容量损失(室温和45 ℃)	电池系统	7.6	
	存储中容量损失(45 ℃)		7.7	
	高低温启动功率	电池系统	7.8	
	能量效率		7.9.1	
	能量密度	电池包、电池系统	7.10	
充电性能	电池包、电池系统	7.11		
工况放电		7.12		

表 2 高能量型锂离子动力电池包和系统需要进行的测试项目

试验项目		适用范围	试验方法章条号	
基本性能试验	外观	电池包、电池系统	7.1	
	极性		7.2	
	质量和外形尺寸		7.3	
	容量和能量测试		室温 (25 ℃)	7.4.2
			高温 (40 ℃)	7.4.3
			低温 (0 ℃、-20 ℃)	7.4.4

	功率和内阻	电池系统	7.5.2.2
	无负载容量损失(室温和45℃)		7.6
	存储中容量损失(45℃)		7.7
	能量效率		7.9.2
	能量密度	电池包、电池系统	7.10
	充电性能	电池包、电池系统	7.11
	工况放电		7.12

1) 修改通用测试

① 测试环境

主要变更点：原标准相对湿度范围为15%~90%改为10%~90%，增加大气压力86 kPa~106 kPa的要求。

修改原因：根据动力电池包或系统实际使用场景，放宽湿度范围，增加大气压力要求，湿度和大气压力整体协调与GB 38031-2020标准保持一致。

② 环境适应

主要变更点：删除原标准中低温下静置不少于24 h，在高温下静置不少于16 h的时间要求，仅以单体电池温度与目标环境温度差值不超过2℃且单体电池温度变化率<1℃/h作为到达环境适应的条件。

修改原因：由于部分电池包或系统内部的结构布局复杂，在低温下静置24 h或高温下静置16 h，存在环境适应不到位的可能性。部分电池包或系统无需低温静置24 h或高温静置16 h就能实现热平衡，根据24 h或16 h的时间作为环境适应到位的条件，会造成测试资源的浪费。所以以单体电池温度与目标环境温度差值不超过2℃作为环境适应到位的条件，同时，考虑到电池包或系统刚到临界范围温度时，环境适应存在不充分的可能性，增加温度变化率<1℃/h的判断条件。

③ 预处理循环

主要变更点：原标准6.1.1步骤d)中静置30 min修改为在RT下进行环境适应。见草案6.1.2步骤d)和6.1.3步骤d)。

修改原因：原方法中多次循环热量累计，导致5次循环的容量差别较大，且大部分样品会在循环中到达温度上限，从而实验被迫中止。因此通过单次循环后进行环境适应消除温度累计。

④ 标准循环

主要变更点：高能量型电池系统，1I₁充放电修改为1I₃；步骤中静置30 min，修改为30 min或制造商规定的时间。

修改原因：对于高能量型的电池系统， $1I_3$ 更符合动力电池在车辆的应用场景。静置30 min对于发热量不同的电池系统不能消除热量累计影响，因此修改为30 min或制造商规定的时间。

⑤ SOC 调整方法

主要变更点：

- a. 高功率和高能量型采用不同SOC调整方法；
- b. 调整方法中，若上一次SOC调整状态在24 h以内，SOC调整起始点可以是任意点，不再强制从SOC=100%开始。
- c. 高能量电池包或系统调整SOC，如果测试温度 $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，且 $\text{SOC} < 20\%$ ，则放电电流为 $1I_{10}$ 或制造商规定的电流。

修改原因：在实验状态允许前提下，简化步骤中反复充满电调整SOC状态。低温低SOC状态下仍然使用 $1I_3$ 或 $1I_1$ 电流放电进行SOC状态调整，可能因输出功率不足导致快速到达电压下限调整SOC状态失败。

⑥ 数据记录

主要变更点：最大数据间隔由1%充放电时间，修改为不大于100 ms。

修改原因：各测试项需输出电压、电流、容量、能量、温度等参数的变化曲线，用于电池包或系统进行完整的性能分析，因此需增加记录间隔。在标准讨论会上，多位行业专家提出如果数据记录间隔修改为不大于1 s，记录数据太多，在PV等验证中不需要，建议放宽记录间隔，经过讨论最终标准起草组采纳行业意见，修订为“测试数据的记录间隔应不大于100 s”。

⑦ 增加热管理系统是否开启说明

主要变更点：热管理系统根据制造商的规定或BCU的指令工作，充电性能（7.11）、工况放电（7.12）测试宜开启热管理系统。

修改原因：充电性能和工况放电测试紧密关联整车端，从整车应用角度建议开启热管理系统。其余试验热管理的开启不做强制规定，由制造商规定或按照BCU指令工作。

2) 修改检测项目

① 质量和外形尺寸

调整原标准中质量和体积放在试验准备中的说明方式，放在基本性能当中做测试项单独检查。由于测试样品的外形尺寸往往不规则，用普通量具体积不能准确测量，同时电性能对体积的评价要求较少（仅有体积能量密度），其测量的必要性有限，起草组未将体积检测纳入此次标准修订稿中。对于质量计算范围，经讨论，起草组认为冷却液不应纳入称重的质量当中，因此修改为：如果热管理系统使用液冷方式，则冷却液的重量不计算在

内，其他冷却方式参照执行。

② 容量和能量（高功率型和高能量型）

室温下容量和能量测试步骤修改为：在标准循环前增加一步标准充电，标准循环结束后进行 25 °C 环境适应，再进行 $1I_1$ 放电（高功率）、 $1I_3$ 放电（高能量）或 $I_{\max}(T)$ 放电。

修改原因：保持与其他温度点下容量和能量测试方法的一致性和消除连续测试热量积累导致超温的不可执行性的影响，

增加内容：

记录电池包或系统总电压、最高单体电压与时间的曲线，记录环境温度、样品最高最低监控温度与充放电电流的曲线。

增加原因：用于进行完整的电池系统或包性能分析，测试过程输出变化曲线。

③ 功率和内阻（高功率型和高能量型）

主要变更点如下：

- a) 增加采样时间要求：功率和内阻测试工况的采样时间应不大于 100 ms。
- b) 增加功率和内阻验证时提前触发电压限值时降电流方法：
 - 1) 如果原电流充/放电时，持续时间小于 $1/2t$ 时，调整到原电流值的 50%；
 - 2) 如果原电流充/放电时，持续时间在 $1/2t-2/3t$ 之间时，调整到原电流值的 75%；
 - 3) 如果原电流充/放电时，持续时间大于 $2/3t$ 时，调整到原电流值的 90%。
- c) 增加试验温度低于电池包或系统可以充电的最低温度，电池包或系统不允许进行充电过程的要求。
- d) 修改高能量应用全过程充电内阻的公式：
$$R_{\text{cha}} = \frac{U_{16} - U_{17}}{I_{16}}$$
- e) 修改功率和内阻测试步骤：在原标准测试步骤 6 或步骤 12 功率和内阻测试工况完成后接着环境适应，再直接调整 SOC 到下一目标 SOC，不再以满电态调整 SOC。

变更原因：测试涉及脉冲和瞬时数据采集，采样时间需求提高到 100 ms。

按照设定的功率验证时提前触发电压限值，需提供明确降电流方法。

④ 无负载容量损失（高功率型和高能量型）

主要变更点如下：

- a) 修改室温和高温无负载容量损失测试步骤：在原标准测试步骤 2 标准充电和步骤 3 标准循环之间增加 25 °C 环境适应步骤，在两次标准循环之间增加 25 °C 环境适应步骤。

原因：以保持搁置前后放电条件一致和消除温度升高引起的恢复容量偏高的影响。
- b) 修改高温无负载存储容量损失的高温搁置温度点，由 40 °C 变更为 45 °C 或供应商与用户协商的更高温度。

修改原因：1、夏季酷热天气下车辆长期搁置时会面临极高温的考验，现有 40 °C 环境条件不足以充分验证电池端在极端天气下的性能；2、协调与存储中容量损失测试温度点 45 °C 保持一致。

c) 增加计算公式:

$$\text{常温搁置 168h (7 天) 后容量保持率} \quad \eta_1 = \frac{Q_1}{Q_0} \times 100\%$$

$$\text{常温搁置 168h (7 天) 后容量恢复率} \quad \eta'_1 = \frac{Q_2}{Q_0} \times 100\%$$

$$\text{常温搁置 720h (30 天) 后容量保持率} \quad \eta_2 = \frac{Q_3}{Q_2} \times 100\%$$

$$\text{常温搁置 720h (30 天) 后容量恢复率} \quad \eta'_2 = \frac{Q_4}{Q_2} \times 100\%$$

$$\text{高温搁置 168h (7 天) 后容量保持率} \quad \eta_3 = \frac{Q_6}{Q_5} \times 100\%$$

$$\text{高温搁置 168h (7 天) 后容量恢复率} \quad \eta'_3 = \frac{Q_7}{Q_5} \times 100\%$$

$$\text{高温搁置 720h (30 天) 后容量保持率} \quad \eta_4 = \frac{Q_8}{Q_7} \times 100\%$$

$$\text{高温搁置 720h (30 天) 后容量恢复率} \quad \eta'_4 = \frac{Q_9}{Q_7} \times 100\%$$

Q_0 为样品常温搁置前实际容量, Q_1 为常温搁置 168 h 后的保持容量, Q_2 为常温搁置 168 h 后的恢复容量, Q_3 为常温搁置 720 h 后的保持容量, Q_4 为常温搁置 720 h 后的恢复容量;

Q_5 为样品高温搁置前实际容量, Q_6 为高温搁置 168h 后的保持容量, Q_7 为高温搁置 168 h 后的恢复容量, Q_8 为高温搁置 720 h 后的保持容量, Q_9 为高温搁置 720 h 后的恢复容量。

⑤ 存储中容量损失 (高功率型和高能量型)

修改点同无负载容量损失, 具体如下:

- a) 修改室温和高温无负载容量损失测试步骤: 在原标准测试步骤 2 标准充电和步骤 3 标准循环之间增加 25℃ 环境适应步骤, 在两次标准循环之间增加 25℃ 环境适应步骤。

原因: 保持搁置前后放电条件一致和消除温度升高引起的恢复容量偏高的影响。

- b) 增加计算公式:

$$\text{存储 720h (30 天) 后容量保持率} \quad \eta_5 = \frac{Q'_2}{(Q'_0 - Q'_1)} \times 100\%$$

$$\text{存储 720h (30 天) 后容量恢复率} \quad \eta'_5 = \frac{Q'_3}{Q'_0} \times 100\%$$

Q'_0 测试对象搁置前实际容量; Q'_1 测试对象搁置 720h (30 天) 后的保持容量; Q'_2 为测试对象搁置 720h (30 天) 后的恢复容量。

⑥ 能量效率 (高功率型)

起草组对能量效率测试工况进行了溯源, ISO 12405-4:2018 中解释为模拟在高速上加速或超车时, 驾驶员要求的最大动力 12 s, 然后电池停止工作 40 s, 然后再生制动给电池充电 16 s。了解到工况的由来和测试目的, 能量效率主要变更点如下:

- a) 修改测试步骤: 协调于 ISO 12405-4:2018 保持一致, 在上一个 SOC 能量效率测试工况完成之后, 接着目标温度下环境适应再调整 SOC 到下一个 SOC 点, 依据 6.3 调

整 SOC 至试验目标值 n%的方法。

- b) 根据行业调研数据,当前高功率型电池系统 25°C@10s 峰值放电倍率不一,50%以上集中在 4C~8C。与原标准要求的 20C 或 $I'_{\max}(\text{SOC},T,t)$ 恒流放电(两者取大),15C 或 $0.75I'_{\max}(\text{SOC},T,t)$ 恒流充电(两者取大)相差较大,故修改能量效率测试工况,删除了 20C 或 $I'_{\max}(\text{SOC},T,t)$ 恒流放电(两者取大)和 15C 或 $0.75I'_{\max}(\text{SOC},T,t)$ 恒流充电(两者取大)的要求。修改后的能量效率测试工况为:

表 3 能量效率测试工况

时间增加量 s	累计时间 s	电流 A
0	0	0
12	12	$I'_{\max}(\text{SOC},T,t)$
40	52	0
16	68	$-0.75I'_{\max}(\text{SOC},T,t)$
40	108	0

⑦ 能量效率(高能量型)

修改点:

对原测试方法和步骤进行修改,关键修改内容包括:1)保持充放电倍率和充放电方式一致性,即前一次的充放电处理与后面用于计算的 E 充和 E 放的倍率、充放电方式保持一致。2)充电和放电间增加热平衡。详细步骤见表 4。

修改原因:依据原标准里能量效率测试方法出现的能量效率 >1 的案例进行了分析,造成能量效率 >1 主要有两方面原因:1、标准充电采用多步阶梯充电;2、充电倍率 $>$ 放电倍率。更新能量效率测试方法,并加公式应用明确能量效率计算方法。

表 4 高能量型电池系统能量效率测试步骤

序号	电池系统状态	试验方法章条号	环境温度	充电/放电能量
1.1	环境适应	5.1.3	RT	
1.2	标准充电	6.2.3 b)	RT	
1.3	标准放电	6.2.3 a)	RT	
1.4	$1I_i$ 快充	-	RT	
1.5	环境适应	5.1.3	RT	
1.6	标准 放电	6.2.3 a)	RT	E_1
1.7	环境适应	5.1.3	RT	
1.8	$1I_i$ 快充	-	RT	E_2
2.1	环境适应	5.1.3	RT	
2.2	标准 放电	6.2.3 a)	RT	
2.3	$I_{\max}(T)$ 快充	-	RT	
2.4	环境适应	5.1.3	RT	
2.5	标准 放电	6.2.3 a)	RT	E_3

2.6	环境适应	5.1.3	RT	
2.7	$I_{\max}(T)$ 快充	-	RT	E_4
3.1	环境适应	5.1.3	RT	
3.2	标准放电	6.2.3 a)	RT	
3.3	$1I_L$ 快充	6.2.3 b)	RT	
3.4	环境适应	5.1.3	0 °C	
3.5	标准放电	6.2.3 a)	0 °C	E_5
3.6	$1I_L$ 快充	-	0 °C	E_6
4.1	环境适应	5.1.3	RT	
4.2	标准放电	6.2.3 a)	RT	
4.3	$I_{\max}(T)$ 快充	-	RT	
4.4	环境适应	5.1.3	0 °C	
4.5	标准放电	6.2.3 a)	0 °C	E_7
4.6	$I_{\max}(T)$ 快充	-	0 °C	E_8
5.1	环境适应	5.1.3	RT	
5.2	标准放电	6.2.3 a)	RT	
5.3	标准充电	6.2.3 b)	RT	

增加能量效率计算公式，依据标准文本 7.9.2.6。便于计算结果的理解。

⑧ 高低温启动功率（高功率型）

主要变更点：测试温度更改为 40 °C 或 T_{\max} 、-20 °C 或 T_{\min} 。

对比 ISO 12405-4:2018 的标准要求，测试方法一致，温度点不同。

修改原因：考虑测试目的为验证启动时低温低 SOC 下的输出能力，因此考虑产品运行的地域不同，最高和最低温度有所不同。增加 T_{\max} 、 T_{\min} 作为制造商和客户的协商测试点。

表 5 高低温启动功率标准对比

标准	温度	SOC	工况
GB/T 31467.1-2015	40°C、-20°C	20%SOC（或制造商允许最低）	恒压放电 5s，静置 10s（共 3 次）
ISO 12405-4: 2018	-18°C、-30°C（协商）、50°C 或 T_{\max}	20%SOC（或制造商允许最低）	恒压放电 5s，静置 10s（共 3 次）

3) 新增项目

① 外观

起草组考虑到各厂家均将外观视作一项检查项且实际上有必要性检查，故增加外观检测：在良好的光线条件下，用目测法检查电池包或系统的外观。

② 极性

同外观检测，增加极性检测：用电压测量装置检测电池包或系统的极性。

③ 能量密度

新能源汽车发展初期，电池系统能量密度作为一项重要指标。目前现行的能量密度测试方法参照 2017 年中机车辆技术服务中心发布的《关于调整〈新能源汽车推广应用推荐车型目录〉申报工作的通知》（中机函[2017]2 号）附件 4 动力电池、燃料电池相关技术指标测试方法(试行)，方法未纳入进标准中。因此完善能量密度测试方法，并纳入电性能标准。结合当前各厂家在能量密度测试实际过程中的一些常规做法，补充说明关于能量密度称重质量的界定范围：称重时仅以电池包自身重量为准，不包含电池包外高低压线束、外置电池控制单元、可拆卸金属挂耳、冷却液等。

④ 充电性能

增加充电性能测试进行性能评估，以满足整车端的基础性能评估需求。充电性能试验在四种不同温度下进行，温度点依次为 RT、40 °C、0 °C 和 T_{min} (T_{min} 由制造商和客户商定)。充电策略由制造商提供（或由制造商与客户共同商定）。

⑤ 工况放电

增加工况放电测试进行性能评估，以满足终端产品的性能评估需求。同样的，工况放电测试在四种不同温度下进行，依次为 RT、40 °C、0 °C 和 T_{min} (T_{min} 由制造商和客户商定)。工况放电谱不做统一限定要求，可由制造商与客户共同商定。

三、主要试验（或验证）情况分析

1 高能量型应用充放电电流倍率变更数据统计

根据某车型 3243 个样本 24 h 内运行的数据，统计发现 90%的放电倍率在[0C, 0.3C]之间，90%的反馈倍率在[0C, 0.3C]之间。

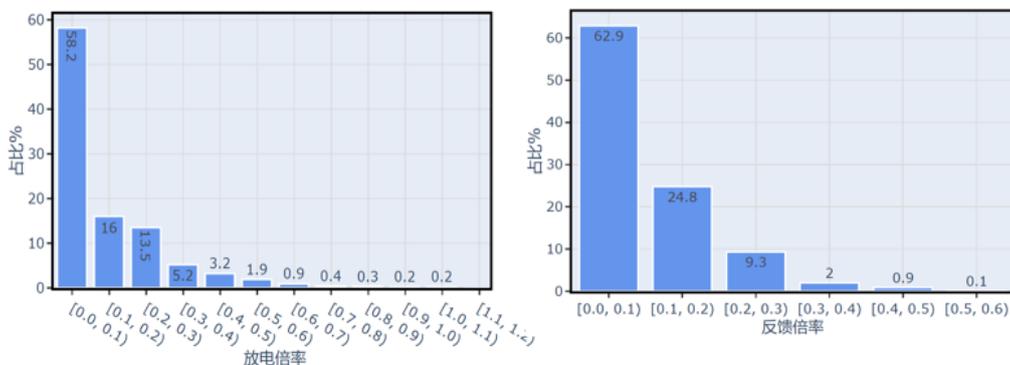


图 1 某车型 3243 个样本 24 h 内运行的数据

根据集到 10 种不同车型日常运行数据，统计发现放电平均倍率在[0.09C, 0.22C]之间。

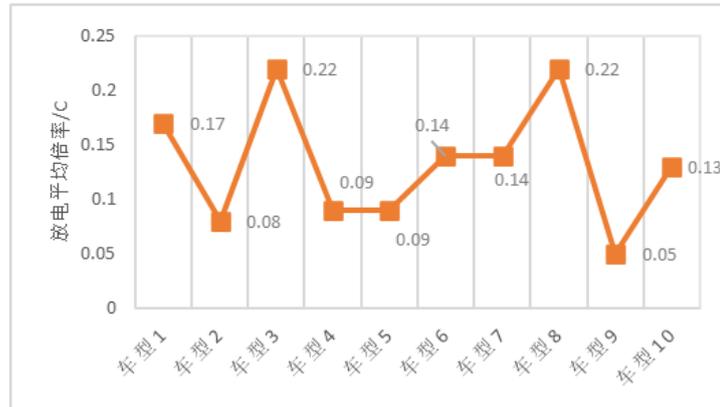


图 2 10 种不同车型日常运行数据放电平均倍率

基于实际使用情况和协调国际标准 ISO 12405-4-2018 保持一致考虑，高能量型应用在预处理循环、标准循环中的标准充电倍率、放电倍率均由 $1I_1$ 变更为 $1I_3$ 。

2 高能量型应用能量效率

采用 GB/T 31467.2—2015 能量效率方法，验证能量效率测试结果出现大于 1 的情况：

进行了 25 °C、0 °C 下标准循环里充电方式分别为阶梯充电和单步恒流充电、目标倍率为 1C 和 2C 的对比试验。

表 6 GB/T 31467.2-2015 中能量效率测试方法

25 °C 能量效率		0 °C 能量效率		备注
序号	步骤	序号	步骤	
1	25 °C 环境适应	1	25 °C 环境适应	
2	标准循环	2	标准循环	标准循环里的标准充电区分阶梯充电和单步恒流充电
3	25 °C 环境适应	3	0 °C 环境适应	
4	标准放电	4	标准放电	
5	目标倍率充电	5	目标倍率充电	$1C/2C$ 、能量效率 $\eta = \text{步骤 4 放电能量} / \text{步骤 5 充电能量}$

试验测试结果如图 3 所示，呈现的规律为：1、采用多步阶梯充电的能量效率值均大于 1，且温度越低，能量效率值越大于 1；2、充电倍率大于放电倍率的能量效率值均大于 1，且温度越低，能量效率值越大于 1；3、充电倍率大于放电倍率的比采用多步阶梯充电导致能量效率值大于 1 的贡献度大。

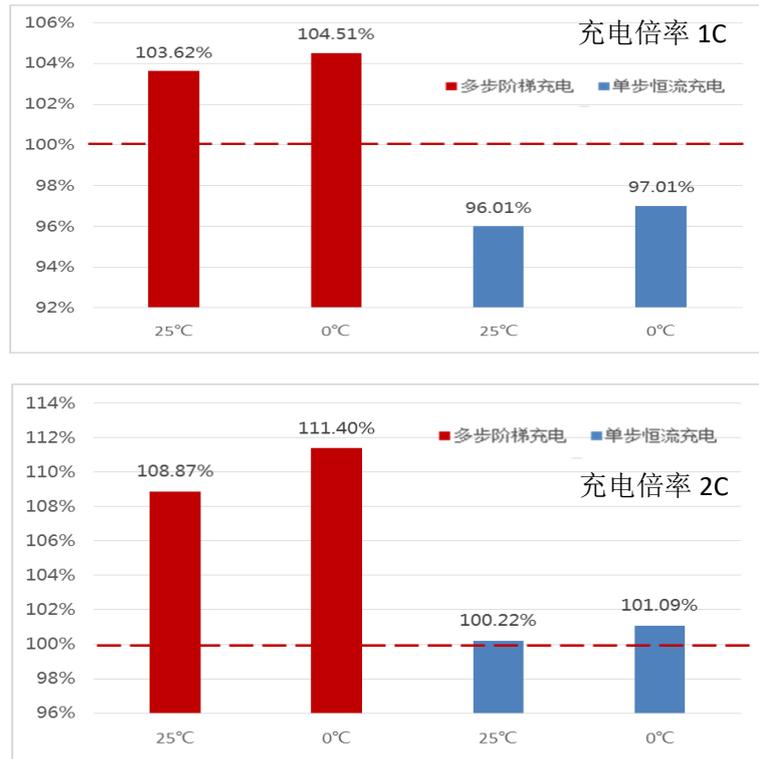


图 3 能量效率测试结果

采用以下如表 7 所示的能量效率测试方法，得出的 25°C 能量效率值均小于 1。

表 7 方案 1 能量效率测试方法

序号	测试步骤	测试步骤
1	25°C 环境适应	25°C 环境适应
2	1I ₃ 放电	1I ₁ 放电
3	1I ₃ 充电	1I ₁ 充电
4	25°C 环境适应	25°C 环境适应
5	1I ₁ 放电	1I ₃ 放电
6	1I ₃ 充电	1I ₁ 充电
测试结果	96.21%	96.55%
注：能量效率 η = 步骤 5 放电能量 / 步骤 6 充电能量		

经专家组讨论，以上方法中充电方式作了限定，与实车应用时存在差异，不便于各种不同电池系统样品的评测。因此提出进一步修改实验方法。

结合测试关键影响因素：充电倍率、温度、充放电方式。修改测试方法如下：

a) 保持充放电倍率和充放电方式一致性，即前一次的充放电处理与后面用于计算能量效率的充电和放放的倍率、充放电方式保持一致。

b) 在充电和放电间增加热平衡。

据此制定了新的能量效率测试方法,详细见标准草案 7.9.2。根据新修订方法进行第一组实验,测试结果能量效率 94.46%,方法可执行。后续制定具体对照实验方案,进行后续结论更新。

表 8 方案 2 25 °C 能量效率测试方法

序号	测试步骤	备注
1	25 °C 环境适应	
2	标准充电	
3	标准放电	
4	1I ₁ 快充	1I ₁ 快充策略
5	25 °C 环境适应	
6	标准放电	
7	25 °C 环境适应	
8	1I ₁ 快充	

3 预处理循环

预处理循环中的静置时间修改方案与原方案对比试验,对比测试方案见表 9:

方案 A: 为原标准;

方案 B: 为每一次充放中间等待热稳定。

方案 C: 为一次循环充放后,进行环境适应达到热稳定。

实验结果:

方案 A,在实验进行到第三次循环放电时到达温度上限无法继续。如图 4 所示曲线。

方案 B,最高温度 ≤ 40 °C,热量累计可消除,单次循环的时间达到 25 h。如图 5 所示曲线。

方案 C,最高温度 ≤ 40 °C,热量累计可消除,单次循环的时间约 17 h。如图 6 所示曲线。

综上选择方案 C,作为变更新方案内容。

表 9 预处理循环测试方案

方案 A		方案 B		方案 C	
序号	步骤	序号	步骤	序号	步骤
1	1I ₃ 放电	1	1I ₃ 放电	1	1I ₃ 放电
2	静置 30 min	2	热稳定	2	静置 30 min
3	1I ₃ 充电	3	1I ₃ 充电	3	1I ₃ 充电
4	静置 30min	4	热稳定	4	环境适应
5	工步 1~4 循环 5 次	5	工步 2~5 循环 5 次	5	工步 1~4 循环 5 次

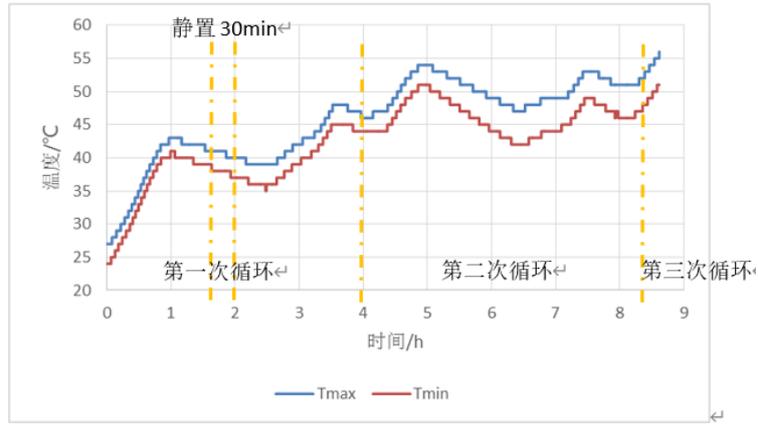


图 4 预处理方案 A 测试曲线

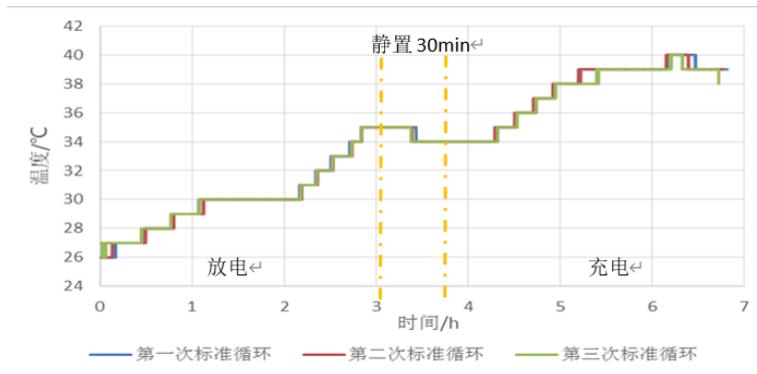


图 5 预处理方案 B 测试曲线

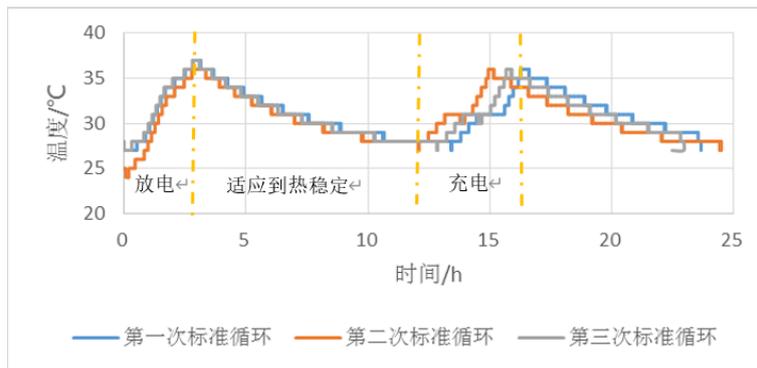


图 6 预处理方案 C 测试曲线

4 SOC 调整方法

实验 1: 对比以容量截止和时间截止的方法差异性

表 10 容量截止和时间截止测试结果

参数	时间 min	电流 A	放电容量 Ah	实际 SOC
----	-----------	---------	------------	--------

方案 1	30	210	105	47.37%
方案 2	28.5	210	99.75	505
注：方案 1 为额定容量放电 30 min；方案 2 为额定容量放电至 50%放电容量。				

方案 1 和方案 2 比较：方案 1 的放电时间多了 1.5 min，放电容量也多了 5.25 Ah，SOC 偏离目标值 2.63%。随着 SOC 值降低，偏差会增加到 5%以上。

实验 2：RT 调整 SOC 与目标温度下调整 SOC

表 11 常温与-25 °C下调整 SOC 差异性

30%SOC, 10 s 脉冲		电压 V	DCR (30%SOC) mΩ
常温下调整 SOC 脉冲放电温度：-25 °C 放电电流：105 A	脉冲放电前	157.742	305.5
	脉冲放电 10 s 末	125.669	
-25 °C调整 SOC 脉冲放电温度：-25 °C 放电电流：105 A	脉冲放电前	157.663	298.7
	脉冲放电 10 s 末	126.301	

实验结论：

两种不同条件下调整 SOC，脉冲前后电压和 DCR 几乎无差异。

直接在-25 °C下调整 SOC，无需回到常温执行调整，简化测试步骤，缩短测试周期。

另外，参考 IS012405-4 2018 第 7.8 条能量效率测试 table8 中，SOC 调整方法也同样采用目标温度下执行。

实验 3：低温低 SOC 下 SOC 调整

表 12 -20 °C从 20%SOC 调整 10%SOC 方法结果差异性

放电电流倍率	放电时间 min	触发放电截止条件	判定
$1 I_3$	10	单体下限电压截止	调整 SOC 失败
$1 I_{10}$	60	放电时间截止	调整 SOC 通过

实验结论：

低温低 SOC 下 SOC 调整需要基于电池特性，降低放电电流倍率，才能调整 SOC 到预定。

5 高温无负载容量损失

开展实验进行40 °C和45 °C高温无负载容量损失结果比对：

实验目的：高温无负载存储环境温度为40 °C，存储中容量损失存储环境温度为45 °C，两者存储环境温度相差不大，所以验证40 °C以及45 °C下无负载存储的差异情况。

实验方法：选用同一型号的两个样包分别进行40 °C、45 °C存储30天实验。

实验结果：如图7所示。

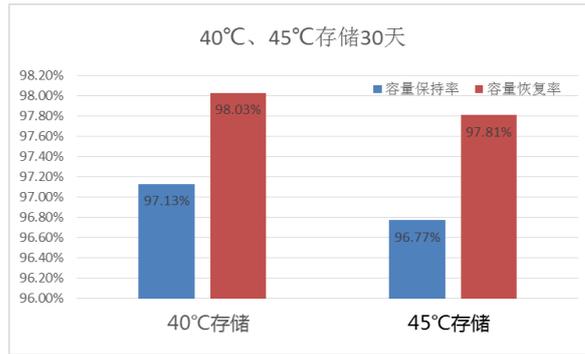


图 7 不同高温下存储差异

实验结论：40 °C和45 °C的高温无负载测试结果相近，规律呈现为存储温度越高保持率和恢复率越低。两种温度下容量保持率相差0.36%、容量恢复率相差0.23%，存储环境5 °C的差别对存储搁置的影响较小。据此，标准起草组调整高温无负载与存储中容量损失存储温度协调统一为45 °C。

6 室温范围及温度测量装置的精度

表 13 相关标准室温范围及温度测量装置精度统计

标准	对象	室温	温度测量装置准确度
GB/T 31467.1 GB/T 31467.2	电池包或系统	25 °C ±2 °C	±0.5 °C
GB 38031-2020	单体、电池包或系统	22 °C ±5 °C	±0.5 °C
ISO 12405-4:2018	电池包或系统	25 °C ±2 °C	±1 K
IEC 62660.1:2018	电池	25 °C ±2 °C	±2 K（控制精度）
GB/T 38661-2020	动力蓄电池管理系统	工作温度-20 °C~60 °C	/
Freedom CAR	功率辅助型混合电动车电池	默认环境温度为 30 °C	/

四、明确标准中涉及专利的情况

本文件的主要技术内容及相关测试方法均不涉及专利。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

电动汽车具有无（低）污染物排放、能源利用率高、噪声低、运行成本低等优点，大力推广和普及电动汽车是缓解大气环境污染能源紧缺的最有效方式之一。近年来，电动汽车得到了各国政府及企业的高度重视，也取得了快速发展，我国已超过美国和日本成为世界第一大新能源汽车产销国和保有国，动力蓄电池作为汽车的关键部件之一，得到了广泛应用。

目前电动汽车正处于产业发展关键时期，而动力蓄电池是动汽车的关键部件之一，制定电动汽车用动力电池的电性能测试标准，对产业发展的作用主要有以下几方面：

1) 建立电动汽车用动力电池包及系统测试规程。本标准作为测试方法标准，为动力电池包和系统提供统一测试方法。

2) 优化动力电池系统电性能测试方法,解决随着产业发展原标准中部分不能完全契合新测试样品的内容。另一方面,以产品实际应用场景和需求出发,增加充电性能和工况放电评测方法,为动力电池包和系统在直接应用层面的电性能指标增加评测方法和内容。

3) 有助于提升我国电动汽车产业的竞争力,本标准引导企业设计更加符合整车性能需求的动力蓄电池,不仅可以提升我国动力蓄电池的电性能测试水平,同时也能促进产品设计研发水平,提升市场竞争力。

4) 有助于培育良好的产业发展环境。统一动力电池性能测试方法有助于增加市场用户对电动汽车的认可度和信任,有助于产业良性循环,形成良好的发展环境。

六、采用国际标准和国外先进标准情况,与国际、国外同类标准水平的对比情况,国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

本标准制定过程中梳理了高功率型应用和高能量型应用动力电池包和系统国内外电性能试验方法标准,与 GB/T 31467.1, GB/T 31467.2, ISO 12405-4 等最新的标准进行对比。对标情况见表 14, 表 15。新增测试项也与相关标准进行了对比,见表 16。

表 14 标准测试项目对比

序号	测试项目	GB/T 31467.1	GB/T 31467.2	ISO 12405-4		本标准	
				高功率型	高能量型	高功率型	高能量型
1	预处理循环	√	√	√	√	√	√
2	标准循环	√	√	√	√	√	√
3	容量和能量	√	√	√	√	√	√
4	功率和内阻	√	√	√	√	√	√
5	无负载容量损失	√	√	√	√	√	√
6	存储中容量损失	√	√	√	√	√	√
7	能量效率	√	√	√	√	√	√
8	高低温启动	√	—	√	—	√	—
9	能量密度	—	—	—	—	√	√
10	充电性能	—	—	—	—	√	√
11	工况放电	—	—	—	—	√	√
12	循环寿命	—	—	√	—	—	—

表 15 本标准与相关标准对比

序号	项目	技术条件	GBT 31467.1	GB/T 31467.2	ISO 12405-4:2018		本标准	
测试对象			高功率型	高能量型	高功率型	高能量型	高功率型	高能量型
1	预处理循环	环境条件	室温	室温	室温	室温	室温	室温
		充电截止条件	制造商规定	制造商规定	制造商规定	制造商规定	制造商规定	制造商规定
		放电截止条件	制造商规定	制造商规定	电池包或系统电压不应低于电池制造商要求的最小电压	电池包或系统电压不应低于电池制造商要求的最小电压	制造商规定	制造商规定
		方法程序	1C 或制造商规定充、静置 30min、2C 或制造商要求放、30min、	1C 或制造商充电机制充、静置 30min, 1C 或制造商放充电机制放、静置 30min	2C 或制造商放电机机制放、制造商充电机制充	1/3C 或制造商放电机机制放、制造商充电机制充	1I ₁ 或制造商充电机制充, 静置 30min, 1I ₁ 或制造商放电机机制放, RT 环境适应	1I ₃ 或制造商充电机制充, 静置 30min, 1I ₃ 或制造商放电机机制放, RT 环境适应
		循环次数	5 次	5 次	5 次或协商减少次数	3 次或协商为 2 次	5 次	5 次
		预处理完成要求	连续两次放电容量不高于 3%额定容量, 则完成可中止	连续两次放电容量不高于 3%额定容量, 则完成可中止	连续两次放电容量变化不高于 3%额定容量停止	连续两次放电容量变化不高于 3%额定容量停止	连续两次放电容量变化不高于 3%额定容量停止	连续两次放电容量变化不高于 3%额定容量停止
2	标准循环	测试条件	室温	室温	室温	室温	室温	室温
		标准放电	1C 或制造商要求放电至截止条件, 静置 30min	1C 或制造商要求放电至截止条件, 静置 30min	1C 或制造商放电机机制放、静置 30min	1/3C 或制造商放电机机制放、静置 30min	1I ₁ 或制造商放电机机制放, 静置 30min	1I ₃ 或制造商放电机机制放, 静置 30min
		标准充电	1C 或制造商要求充电至截止条件, 静置 30min	1C 或制造商要求充电至截止条件, 静置 30min	制造商规定充电, 静置 30min	1/3C 或制造商规定充电, 静置 60min, 应 8h 内完成	1I ₁ 或制造商充电机制充, 静置 30min	1I ₃ 或制造商充电机制充, 静置 30min
		重新测试时间间隔	长于 24h 需进行标准充电	长于 24h 需进行标准充电	长于 3h 需进行标准循环	长于 3h 需进行标准循环	长于 24h 需进行标准充电	长于 24h 需进行标准充电

表 15 本标准与相关标准对比（续）

序号	项目	技术条件	GBT 31467.1	GB/T 31467.2	ISO 12405-4:2018		本标准	
	测试对象		高功率型	高能量型	高功率型	高能量型	高功率型	高能量型
3	容量和能量	室温下容量和能量	室温: 1C、 $I_{max}(T)$	室温: 1C、 $I_{max}(T)$	室温: 1C, 10C, $I_{d,max}$	室温: 1/3C, 1C, 2C ($< I_{d,max}$), $I_{d,max}$	室温: 1I、 $I_{max}(T)$	室温: 1I ₃ 、 $I_{max}(T)$
		高温(其他温度)下容量和能量	40℃: 1C、 $I_{max}(T)$	40℃: 1C、 $I_{max}(T)$	40℃: 1C, 10C, $I_{d,max}$	40℃: 1/3C、1C, 2C, $I_{d,max}$; 0℃: 1/3C、1C, 2C, $I_{d,max}$; -10℃: 1/3C、1C, 2C, $I_{d,max}$	40℃: 1I、 $I_{max}(T)$	40℃: 1I ₃ 、 $I_{max}(T)$
		低温下容量和能量	0℃、-20℃: 1C、 I_{max}	0℃、-20℃: 1/3C、1C、 I_{max}	0℃: 1C, 10C, $I_{d,max}$; -18℃: 1C, 10C, $I_{d,max}$	-18℃: 1/3C、1C, 2C, $I_{d,max}$; T_{min} : 1/3C、1C, 2C, $I_{d,max}$ (非必选, $-40℃ \leq T_{min} \leq -20℃$)	0℃、-20℃: 1I、 $I_{max}(T)$	0℃、-20℃: 1I ₃ 、 $I_{max}(T)$
4	功率和内阻	测试温度	40℃、室温、0℃、-20℃	40℃、室温、0℃、-20℃;	40℃、室温、0℃、-10℃、-18℃	40℃、室温、0℃、-10℃、-18℃、-25℃	40℃、室温、0℃、-20℃	40℃、室温、0℃、-20℃
		测试 SOC	80%或制造商最高要求、50%、20%或最低要求	90%或制造商最高要求、50%、20%或制造商最低要求	85%、65%、50%、35%、20% 20%SOC 仅电池包或电池系统最大放电电流 $\leq 10C$ 时执行	90%、70%、50%、35%、20% 20%SOC 仅电池包或电池系统最大放电电流 $\leq 5C$ 时执行	80%或制造商规定的最高允许状态、50%、20%或制造商规定的最低允许状态	90%或制造商规定的最高允许状态、50%、20%或制造商规定的最低允许状态
		脉冲电流	工况: 18s $I'_{max}(SOC, T, t)$ 充、10s 0.75 $I'_{max}(SOC, T, t)$ 放、40s 间隔	工况: 0s、18s $I'_{max}(SOC, T, t)$ 充、102s 0.75 $I'_{max}(SOC, T, t)$ 充、40s 间隔、20s 0.75 $I'_{max}(SOC, T, t)$ 放、40s 间隔	工况: 18s $I_{dp,max}$ 充、10s 0.75 $I_{dp,max}$ 放、40s 间隔	工况: 0s、18s $I_{dp,max}$ 充、102s 0.75 $I_{dp,max}$ 充、40s 间隔、20s 0.75 $I_{dp,max}$ 放、40s 间隔	工况: 18s $I'_{max}(SOC, T, t)$ 充、10s 0.75 $I'_{max}(SOC, T, t)$ 放、40s 间隔	工况: 0s、18s $I'_{max}(SOC, T, t)$ 充、102s 0.75 $I'_{max}(SOC, T, t)$ 充、40s 间隔、20s 0.75 $I'_{max}(SOC, T, t)$ 放、40s 间隔

表 15 本标准与相关标准对比 (续)

序号	项目	技术条件	GBT 31467.1	GB/T 31467.2	ISO 12405-4:2018		本标准	
测试对象			高功率型	高能量型	高功率型	高能量型	高功率型	高能量型
7	能量效率	测试温度	40℃、室温、0℃、-20℃	室温、0℃、 T_{min}	室温、40℃、0℃	室温、0℃、 T_{min}	40℃、室温、0℃、-20℃	室温、0℃、 T_{min}
		SOC	65%、50%、35%	--	65%、50%、35%	--	65%、50%、35%	--
		能量效率工况	20C/ I_{max} (两者取大) 放电 12s、静置 40s、15C/0.75 I_{max} (两者取大) 充电 16s, 计算公式: $\eta = \text{放电能量} / \text{充电能量} * 100\%$	1C 放电, 1C、2C, $I_{c,max}$ 充电, 计算能量效率 $\eta = \text{放电能量} / \text{充电能量} * 100\%$	20C 或 $I_{dp,max}$ 放电 12s、静置 40s、15C 或 $I_{dp,max}$ 充电 16s, 计算公式: $\eta = \text{放电能量} / \text{充电能量} * 100\%$	1C 放电, 1C、2C, $I_{c,max}$ 充电, 计算能量效率 $\eta = \text{放电能量} / \text{充电能量} * 100\%$	$I'_{max}(SOC, T, t)$ 放电 12s、静置 40s、0.75 $I'_{max}(SOC, T, t)$ 充电 16s 计算公式: $\eta = \text{放电能量} / \text{充电能量} * 100\%$	$1I_3 / I_{max}(T)$ 放电, $1I_3 / I_{max}(T)$ 充电, 计算能量效率 $\eta = \text{放电能量} / \text{充电能量} * 100\%$
8	高低温启动功率	测试温度	40℃、-20℃	--	低温: -18℃、-30℃, 高温: 50℃	--	40℃或 T_{max} 、-20℃或 T_{min}	--
		测试条件	20%SOC 或制造商允许最低、恒压放电 5s	--	20%SOC 或制造商允许最低、恒压放电 5s	--	20%SOC 或制造商允许最低、恒压放电 5s	--

表 16 新增测试项与相关标准对比情况

序号	测试项目	相关标准对比
1	能量密度	2017 年中机车辆技术服务中心发布的《关于调整<新能源汽车推广应用推荐车型目录>申报工作的通知》（中机函[2017]2 号）附件 4 方法一致，增加样品称重范围及方法
2	充电性能	测试目的：测试电池包或系统在不同温度下，制造商与整车协定的充电策略模式下的充电性能。 测试温度点：RT、40 °C、0 °C 和 T_{min} ； 充电策略：由制造商商定
3	工况放电	测试目的：测试电池包或系统在不同温度不同策略下的充电性能。 测试温度点：RT、40 °C、0 °C 和 T_{min} ； 放电工况：采用典型工况或企业推荐的企业商定的工况路谱

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及标准，特别是强制性标准的协调性

本文件与现行相关法律、法规、规章及相关标准均协调一致。制定过程中，与 ISO 12405-4, Freedom Car 测试手册等国际标准法规，GB/T 19596、GB 38031 等国内标准，《电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法》《电动汽车用动力电池热管理系统》等国内正在修订的标准进行了充分协调。

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准没有冲突或矛盾。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准性质的建议说明

作为电动汽车关键零部件的国家推荐性标准，本文件可规范电动汽车用锂离子动力电池包和系统的电性能试验的检测。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本文件颁布实施后，代替 GB/T 31467.1—2015 和 GB/T 31467.2—2015, 作为行业内参照执行的标准。

十一、 废止现行相关标准的建议

本文件颁布实施后，建议废止现行标准 GB/T 31467.1—2015 《电动汽车用锂离子动力电池包和系统 第 1 部分：高功率应用测试规程》和 GB/T 31467.2—2015 《电动汽车用锂离子动力电池包和系统 第 1 部分：高能量应用测试规程》。

十二、 其他应予说明的事项

无。