

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

储能系统高压连接组件可靠性试验与评价 方法

Reliability test and evaluation methods for high-voltage connection components in
energy storage systems

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 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 总体要求 2

 4.1 试验原则 2

 4.1.1 试验应模拟储能系统实际运行工况，考虑电气、热、机械及环境等多应力耦合作用。 2

 4.1.2 试验过程应可追溯，试验结果应具有可重复性和可比性。 2

 4.1.3 试验顺序应合理安排，避免前序试验对后序试验结果产生非预期影响。 2

 4.1.4 试验项目及严酷等级应以暴露潜在失效模式为目标进行设计。 2

 4.2 试验条件 2

 4.3 试验样品 2

 4.4 试验设备 2

5 评价指标 2

 5.1 电气性能指标 2

 5.2 环境适应性指标 3

 5.3 机械可靠性指标 3

 5.4 安全性能指标 3

6 试验方法 3

 6.1 电气性能试验 4

 6.2 环境适应性试验 4

 6.3 机械可靠性试验 5

 6.4 安全性能试验 5

7 评价方法 5

 7.1 合格判定 5

 7.2 严重失效判定 5

8 评价报告 6

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

储能系统高压连接组件可靠性试验与评价方法

1 范围

本文件规定了储能系统高压连接组件的总体要求、评价指标、试验方法、评价方法及评价报告的内容。
本文件适用于电化学储能系统中高压连接组件的设计验证、型式试验及可靠性评价。

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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- 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：振动（正弦）
- GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
- GB/T 2423.22 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化
- GB/T 2423.56 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fh：宽带随机振动和导则
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 5095.2 电子设备用机电元件 基本试验规程及测量方法 第2部分：一般检查、电连续性和接触电阻测试、绝缘试验和电压应力试验
- GB/T 5169.11 电工电子产品着火危险试验 第11部分：灼热丝/热丝基本试验方法 成品的灼热丝可燃性试验方法（GWEPT）
- IEC 60512-5-1 电子设备连接器-测试与测量-第5-1部分：载流能力测试-测试5a：温度上升（Connectors for electronic equipment - Tests and measurements - Part 5-1: Current-carrying capacity tests - Test 5a: Temperature rise）
- IEC 60512-7-2 电子设备连接器-测试与测量-第7-2部分：冲击测试（自由组件）-测试7b：机械强度冲击（Connectors for electronic equipment - Tests and measurements - Part 7-2: Impact tests (free connectors) - Test 7b: Mechanical strength impact）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高压连接组件 high-voltage connection component

用于储能系统中承载高电压、大电流传输功能的连接装置，包括连接器、插头插座、接线端子及其附属结构。

3.2

接触电阻变化率 contact resistance change rate

试验后接触电阻与初始接触电阻的差值占初始接触电阻的百分比。

3.3

温升 temperature rise

在规定试验条件下，试样某测量点温度与环境温度之差。

4 总体要求

4.1 试验原则

- 4.1.1 试验应模拟储能系统实际运行工况，考虑电气、热、机械及环境等多应力耦合作用。
- 4.1.2 试验过程应可追溯，试验结果应具有可重复性和可比性。
- 4.1.3 试验顺序应合理安排，避免前序试验对后序试验结果产生非预期影响。
- 4.1.4 试验项目及严酷等级应以暴露潜在失效模式为目标进行设计。

4.2 试验条件

- 4.2.1 除相关试验方法另有规定外，试验应在以下标准环境条件下进行：
 - 环境温度：23℃±5℃；
 - 相对湿度：25%~75%；
 - 大气压力：86 kPa~106 kPa。
- 4.2.2 当试验对环境条件有特殊要求时，应按相应试验方法规定执行。

4.3 试验样品

4.3.1 抽样规则

样品应从经出厂检验合格的批次中随机抽取，每组可靠性试验样品数量不应少于5件，必要时应根据统计分析要求增加样本量。

4.3.2 样品制备

样品应配备制造商标称的最大规格电缆，采用规定的压接工具和工艺进行制作，并进行唯一性编号标识；应按制造商规定的安装方式进行装配，确保与实际应用状态一致。

4.3.3 初始检测

试验前应对所有样品进行外观检查和初始接触电阻测量，并记录初始值。初始值不符合产品标准要求的样品不得用于后续试验。

4.4 试验设备

- 4.4.1 试验设备应满足相应试验方法的精度和量程要求，并应经计量检定或校准合格且在有效期内。
- 4.4.2 试验所需主要设备包括但不限于：
 - 直流电源及负载系统（应具备恒流或恒功率输出能力）；
 - 微欧计或毫欧计（测量不确定度不宜大于±1%）；
 - 温度采集系统（包括热电偶或温度传感器，测量误差不宜大于±1℃）；
 - 环境试验箱（温度偏差不宜超过±2℃）；
 - 振动试验台；
 - 机械冲击试验装置；
 - 盐雾试验箱；
 - 绝缘电阻测试仪及耐压测试仪。

5 评价指标

5.1 电气性能指标

5.1.1 接触电阻

5.1.1.1 初始接触电阻应满足：

- 额定电流≤200 A的产品，初始接触电阻≤0.5 mΩ；
- 额定电流大于200 A且小于等于630 A的产品，初始接触电阻≤0.3 mΩ；
- 额定电流大于630 A的产品，初始接触电阻≤0.2 mΩ。

5.1.1.2 各项试验后，接触电阻变化率不应大于30%，且绝对值不应超过初始规定值的1.5倍。

5.1.2 绝缘电阻

5.1.2.1 初始绝缘电阻应满足：

- 额定电压 $\geq 500\text{V}$ DC 的产品，初始绝缘电阻 $\geq 1000\text{M}\Omega$ ；
- 额定电压 $< 500\text{V}$ DC 的产品，初始绝缘电阻 $\geq 500\text{M}\Omega$ 。

5.1.2.2 各项试验后，高压连接组件的绝缘电阻不应低于初始值的 50%。

5.1.3 介电耐压

高压连接组件应能承受对应额定电压的试验电压，持续施加 1min，试验过程中无介电击穿、无闪络现象，泄漏电流不应大于 1mA，试验电压应满足：

- 额定电压 $\leq 500\text{V}$ 的产品，试验电压为 1500V；
- 额定电压 $> 500\text{V}$ 的产品，试验电压为 $2U+1000\text{V}$ （U 为额定电压）。

5.1.4 电流循环性能

经规定电流循环试验后，产品应满足：

- 接触电阻变化率不大于 30%；
- 绝缘电阻和介电耐压性能符合 5.1.2 和 5.1.3 的要求；
- 无异常温升、绝缘劣化、结构损伤等现象。

5.2 环境适应性指标

经各项环境试验后，产品应满足：

- a) 外观无开裂、变形、腐蚀及密封失效；
- b) 电气性能满足 5.1 的相关要求；
- c) 温度试验（高温、低温、温度循环）后，接触电阻变化率不大于 30%；
- d) 湿热试验后，绝缘电阻不小于 $100\text{M}\Omega$ ，且无击穿或闪络现象；
- e) 盐雾试验后，镀层无起泡、脱落，基体无明显腐蚀，电气性能满足要求；
- f) 防护等级试验后，满足标称 IP 等级要求。

5.3 机械可靠性指标

5.3.1 插拔寿命（适用于可插拔式连接组件）

产品的无载插拔次数不宜低于 500 次（可根据产品类型分级规定），试验后接触电阻应满足 5.1.1 要求，且无机械损坏、接触失效现象。

5.3.2 耐振动性能

经振动试验后，产品不应出现松动、脱落或结构损坏，接触电阻变化率不应大于 20%。

5.3.3 耐冲击性能

经机械冲击试验后，产品结构应完好，防护功能不受影响，电气性能应符合 5.1 的规定。

5.3.4 线缆连接强度（适用于带电缆连接结构）

经规定的拉力和扭矩试验后，线缆不应松脱或断裂，位移量不应超过 2 mm，且不影响导通性能。

5.4 安全性能指标

5.4.1 温升性能

在 1.1 倍额定电流条件下达到热平衡后，产品接触端子及导电部位温升不应超过 55 K，可触及外壳表面温升不应超过 60 K，且不会造成绝缘老化、熔化、冒烟等安全隐患。

5.4.2 阻燃性能

产品外壳及绝缘部件应通过 GB/T 5169.11 规定的灼热丝试验，试验温度不宜低于 650℃（或按产品材料等级确定），且不应引起持续火焰。

5.4.3 防误插性能

具备防误插结构要求的产品，应能有效阻止不同规格、不同极性连接器的误插合操作。

6 试验方法

6.1 电气性能试验

6.1.1 接触电阻试验

应按照GB/T 5095.2的规定执行，采用四端开尔文法进行测量，测量时应避免接触压力变化对测量结果的影响。测试电流应为直流，不小于100 mA，且不超过被试样品额定电流的10%，在样品主接触回路两端进行测量。每个样品应连续测量3次，每次间隔10 s，取算术平均值作为接触电阻值。接触电阻变化率按公式(1)计算：

$$R_{CP} = \frac{R_1 - R_0}{R_0} \times 100\% \cdots \cdots (1)$$

式中：

R_{CP} ——接触电阻变化率(%)；

R_0 ——试验前初始接触电阻平均值(mΩ)；

R_1 ——试验后最终接触电阻平均值(mΩ)。

6.1.2 绝缘电阻试验

试验电压按5.1.2的规定施加于带电部件与不带电金属部件及外壳之间。施加试验电压，持续60 s ± 5 s，在60 s时读取绝缘电阻值。

6.1.3 介电耐压试验

试验电压按5.1.3的规定施加于带电部件与不带电金属部件及外壳之间。以不超过500 V/s的速率将电压升至规定值，维持60 s ± 5 s，观察有无击穿、闪络现象，并记录泄漏电流。试验结束后，以不超过500 V/s的速率将电压降至零，试验结果应符合5.1.3的规定。

6.1.4 电流循环试验

样品应按实际使用工况安装并进行电流循环试验，配套与实际应用一致规格的导线或铜排。试验程序应按以下进行：

- 对样品施加额定直流工作电流，每个循环按以下顺序进行：通电30 min，断电静置10 min，再通电30 min，断电静置10 min；
- 循环次数应符合5.1.4的规定；
- 试验过程中应实时监测样品温升；每完成100次循环后，应断电并恢复至环境温度，按6.1.1测量接触电阻

试验结束后，应将样品在4.2规定的环境条件下恢复不少于2 h，并按6.1规定的方法进行电气性能测量，结果应符合5.1要求。

6.2 环境适应性试验

6.2.1 高温试验

应按照GB/T 2423.2的规定执行，样品在不包装、不通电的状态下放入试验箱，将箱温升至产品最高工作温度，保持168 h。试验结束后，将样品在4.2规定的环境条件下恢复不少于2 h，然后按6.1.1测量接触电阻，计算变化率，并按5.2的要求进行外观检查。

6.2.2 低温试验

应按照GB/T 2423.1的规定执行，将样品在最低工作温度下放置168 h。试验后恢复至室温，测量接触电阻，计算变化率。

6.2.3 热循环试验

应按照GB/T 2423.22的规定执行，采用试验方法Nb进行，温度变化范围取产品宣称的上下限工作温度（如-40℃～+125℃），循环次数为200次。每次循环中的停留时间应足以使样品达到温度稳定。试验结束后，将样品在4.2规定的环境条件下恢复不少于2 h，然后按6.1.1测量接触电阻，计算变化率，并按5.2的要求进行外观检查。

6.2.4 盐雾试验

应按照GB/T 2423.17的规定执行，对于有防腐要求的户外型连接组件进行试验，试验周期为48 h。试验结束后，用清水清洗样品，去除盐沉积物，然后在4.2规定的环境条件下干燥不少于1 h。检查关键金属部位的腐蚀情况，并按6.1.1测量接触电阻，计算变化率，结果应符合5.2的要求。

6.2.5 防护等级试验

应按照GB/T 4208的规定执行，对样品进行防尘和防水试验，防护等级按产品标称值确定。试验后，打开样品外壳，检查内部不应有灰尘沉积或水分侵入，并按5.1的要求进行电气性能测量。

6.3 机械可靠性试验

6.3.1 插拔寿命试验

适用于可插拔式连接组件。样品在无载状态下，以产品技术文件规定的速率（通常为每分钟5次～10次）进行插拔循环，循环次数应符合5.3.1的规定。试验过程中不应有影响正常使用的机械损坏。试验结束后，按6.1.1测量接触电阻，计算变化率，结果应符合5.3.1的要求。

6.3.2 振动试验

可按照GB/T 2423.10、GB/T 2423.56的规定执行，具体方法可由产品技术文件规定。样品应安装在振动台上，在三个互相垂直的轴向上进行试验。试验严酷等级（频率范围、加速度等）应按产品技术文件或相关规定要求。试验过程中应监测接触对的电压降，不应出现超过规定时间的电气中断。试验结束后，检查样品有无松动、脱落或结构损坏，并按6.1.1测量接触电阻，计算变化率，结果应符合5.3.2的要求。

6.3.3 机械冲击试验

可按照IEC 60512-7-2的规定执行，样品安装在冲击台上，承受峰值加速度50 g、脉冲持续时间11 ms的半正弦脉冲，每个轴向冲击3次。试验结束后，检查样品有无影响防触电保护的结构损坏，并按6.1.1测量接触电阻，结果应符合5.3.3的要求。

6.3.4 线缆连接强度试验

适用于带电缆连接结构的产品。按产品技术文件规定的拉力值，对线缆沿轴线方向施加拉力，每次持续1 s，共100次。然后按产品技术文件规定的扭矩值，对线缆施加扭转力矩，持续1 min。试验后，检查线缆有无松脱、断裂，测量线缆护套相对于连接器本体的位移量，并验证导通性能，结果应符合5.3.4的要求。

6.4 安全性能试验

6.4.1 温升试验

可按照IEC 60512-5-1的规定执行，样品应置于接近无对流的自然通风环境中，按实际使用方式安装。接通1.1倍额定直流电流，每隔10 min记录一次各测试点温度，当温度变化不超过1 K/h时，认为达到热平衡，记录此时各点温度及环境温度，温升为测量点温度与环境温度之差。结果应符合5.4.1的要求。

6.4.2 灼热丝试验

应按照GB/T 5169.11的规定执行，对产品外壳及绝缘部件进行试验，试验温度为650 °C（或按产品技术文件规定的更高温度），施加时间30 s。试验过程中不应引起持续火焰，试验后移开灼热丝后30 s内火焰应熄灭，且滴落物不应引燃铺底层。

6.4.3 防误插性能检查

手动操作，尝试将不同规格或不同极性的连接器进行插合，应无法插入或明显受阻。

7 评价方法

7.1 合格判定

各项试验完成后，应依据第5章规定的评价指标，对按第6章完成试验的样品进行单项性能判定。所有单项试验结果均合格的样品，判定为合格；任意一项单项试验不合格，则判定为不合格。

7.2 严重失效判定

当出现以下任一情况时，应直接判定为不合格：

- a) 试验过程中发生击穿、闪络或短路；
- b) 绝缘失效或绝缘电阻低于规定限值；
- c) 出现壳体破裂、锁扣失效、插合失效、线缆脱落等影响安全使用的结构损坏；
- d) 温升超过规定限值；

- e) 出现冒烟、熔化或燃烧等现象。

8 评价报告

报告应至少包括以下内容：

- a) 试验项目名称；
 - b) 试验依据标准（包括标准编号及名称）；
 - c) 样品名称、型号、规格及数量；
 - d) 试验设备及环境条件；
 - e) 试验方法与试验过程；
 - f) 试验数据及结果分析；
 - g) 评价依据及判定结论；
 - h) 试验过程中异常情况说明（如有）；
 - i) 试验日期、试验人员（签名）及审核人员（签名）。
-