

ICS XX. XXX

N XX

团 体 标 准

T/ZSEIA XXXX-YYYY

电力系统五自由度磁悬浮飞轮储能系统 通用技术条件

General technical requirements for 5-DOF magnetic levitation flywheel
energy storage system in power system

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中关村智慧环境产业联盟 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 检测条件.....	3
5 总则.....	3
6 系统技术要求.....	3
6.1 额定功率能量转换效率.....	3
6.2 功率控制能力.....	3
6.3 充/放电响应时间.....	3
6.4 充/放电调节时间.....	4
6.5 充/放电转换时间.....	4
6.6 故障穿越.....	4
6.7 直流分量.....	5
7 设备技术要求.....	5
7.1 飞轮储能单元.....	5
7.2 飞轮系统控制器.....	6
7.3 储能变流器.....	7
7.4 保护.....	9
7.5 监控.....	9
7.6 通信.....	10
7.7 计量.....	10

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本文件由中关村智慧环境产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：华驰动能（北京）科技有限公司、北京华驰万汇科技中心、北京华驰纵横科技中心、国网蒙东电力综合能源服务公司、国网蒙东电力科学研究院、山东大学、内蒙古工业大学、集宁师范学院、安徽华驰动能科技有限公司、华北电力大学、东北大学。

本文件主要起草人：王志强、王方胜、齐四清、高春辉、徐衍亮、刘广忱、荆丽丽、苏森、彭龙、孟德超、韩坤、陈胜林、孙秋野、杨东升。

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这些专利的责任。

电力系统五自由度磁悬浮飞轮储能系统通用技术条件

1 范围

本文件规定了电力系统五自由度磁悬浮飞轮储能系统、储能设备的技术要求。

本文件适用于电力系统以飞轮储能单元作为储能载体、五自由度全悬浮、额定功率不小于500kW且储能量不小于100kWh的储能系统。

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 4793.1-2007 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求

GB/T 5226.1-2019 机械电气安全机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 7251.1-2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：型式试验和部分型式试验成套设备

GB/T 12325-2008 电能质量 供电电压偏差

GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15543-2008 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 15945-2008 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 34133-2017 储能变流器检测技术规程

《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通过技术条件》

《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网技术规定》

3 术语和定义

《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通过技术条件》和《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网技术规定》界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

飞轮储能阵列系统 flywheel energy storage array system

由若干个飞轮储能系统和飞轮储能阵列系统控制器按一定方式组合在一起而构成的储能系统。框架结构如图1所示。

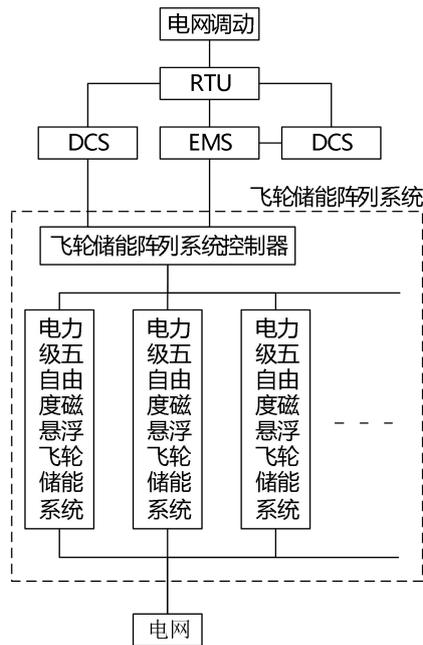


图 1 飞轮储能阵列系统框架结构示意图

3.2

飞轮储能阵列系统控制器 flywheel energy storage array system controller

飞轮储能阵列系统控制器是指由若干电子电路器件组合，用于实现对飞轮储能系统的阵列控制，并网运行，保障系统安全、可靠地运行。

3.3

充电过程 charging process

飞轮储能系统作为电力负荷，从外接电源吸收能量，以电动机方式运行且转速逐渐升高，将电能转化为动能储存在飞轮储能单元内的过程。

3.4

放电过程 discharge process

飞轮储能系统作为电源以发电机方式运行且转速下降，将存储的动能以电能的方式释放出来，通过充/放电变流器（和/或）储能变流器输出到电网或负载且转速逐渐下降的过程。

3.5

充电效率 charging efficiency

飞轮储能系统在放电过程中，所增加的动能与吸收的电能的比值。

3.6

放电效率 discharge efficiency

飞轮储能系统在放电过程中，所释放出电能与减少的动能的比值。

3.7

热备待机功耗 hot standby power consumption

飞轮储能系统处于热备状态时所需功率。

3.8

充放电循环效率 charge-discharge cycle efficiency

飞轮储能系统额定功率放电时输出能量与同循环过程中额定功率充电时输入能量的比值,用百分数表示。

4 检测条件

飞轮储能系统在以下环境条件应能正常使用:

- a) 环境温度: $-20^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: $\leq 90\%$;
- c) 海拔高度: $\leq 2000\text{m}$ 。

5 总则

- 5.1 飞轮储能系统应用于电力系统宜具备但不限于系统调频、平滑发电功率输出、跟踪计划发电、削峰填谷、紧急功率支撑等应用功能。
- 5.2 飞轮储能设备在满足应用功能的情况下,应选择安全、可靠、环保、高效、少维护、经济型设备。
- 5.3 飞轮储能系统并网点应安装可闭锁、具有明显开断点、可实现可靠接地功能的开断设备,可就地或远程操作。
- 5.4 飞轮储能系统并网点处的保护应与所接入电网的保护协调配合。
- 5.5 飞轮储能系统中性点接地方式应与其所接入电网的接地方式相匹配。
- 5.6 飞轮储能设备应满足相应电压等级的电气设备绝缘耐压规定。
- 5.7 飞轮储能系统接入公共连接点的谐波电压应满足 GB/T 14549 的要求,间谐波电压应满足 GB/T 24337 的要求,电压偏差应满足 GB/T 12325 的要求,电压波动和闪变值应满足 GB/T 12326 的要求,电压不平衡度应满足 GB/T 15543 的要求。
- 5.8 飞轮储能系统应具有安全防护功能。

6 系统技术要求

6.1 额定功率能量转换效率

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.12的试验方法,飞轮储能系统能量转换效率不应低于92%。

6.2 功率控制能力

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.2的试验方法,飞轮储能系统应具备有功功率控制、无功功率调节以及功率因数调节能力并满足系统功能要求。

6.3 充/放电响应时间

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.8的试验方法，飞轮储能系统的充/放电响应时间应不大于2 ms。

6.4 充/放电调节时间

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.9的试验方法，飞轮储能系统的充/放电调节时间应不大于3 ms。

6.5 充/放电转换时间

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.10的试验方法，飞轮储能系统的充电到放电转换时间、放电到充电转换时间应不大于2 s。

6.6 故障穿越

6.6.1 按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.4的试验方法，通过10(6)kV及以上电压等级接入公用电网的飞轮储能系统应具备如图2所示的低电压穿越能力：

- a) 并网点电压在图2中曲线1轮廓线及以上区域时，飞轮储能系统应不脱网连续运行；否则，允许飞轮储能系统脱网；

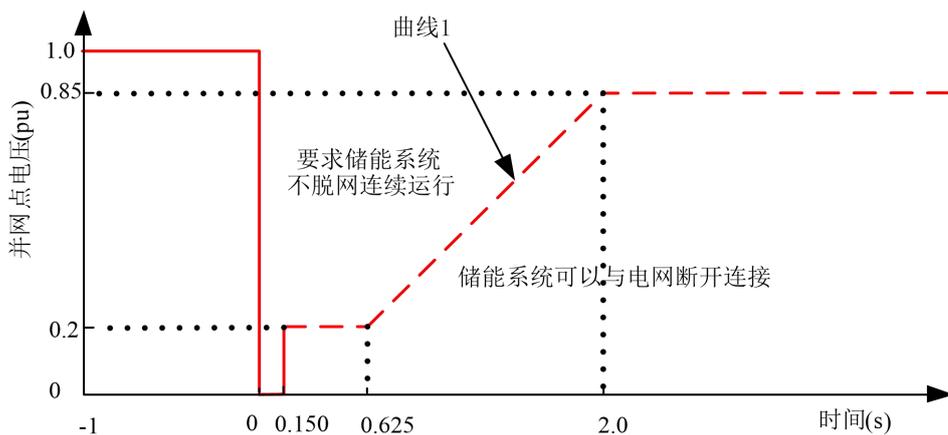


图2 飞轮储能系统低电压穿越要求

- b) 各种故障类型下的并网点考核电压如表1所示；

表1 飞轮储能系统低电压穿越考核电压

故障类型	考核电压
三相对称短路故障	并网点线/相电压
两相相间短路故障	并网点线电压
两相接的短路故障	并网点线/相电压
单相接地短路故障	并网点相电压

6.6.2 按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.5的试验方法，通过10(6)kV及以上电压等级接入公用电网的飞轮储能系统应具备如图3所示的高电压穿越能力；并网点电压在

图3中曲线2轮廓线及以下区域时，飞轮储能系统应不脱网连续运行；并网点电压在图3中曲线2轮廓线以上区域时，允许飞轮储能系统与电网断开连接。

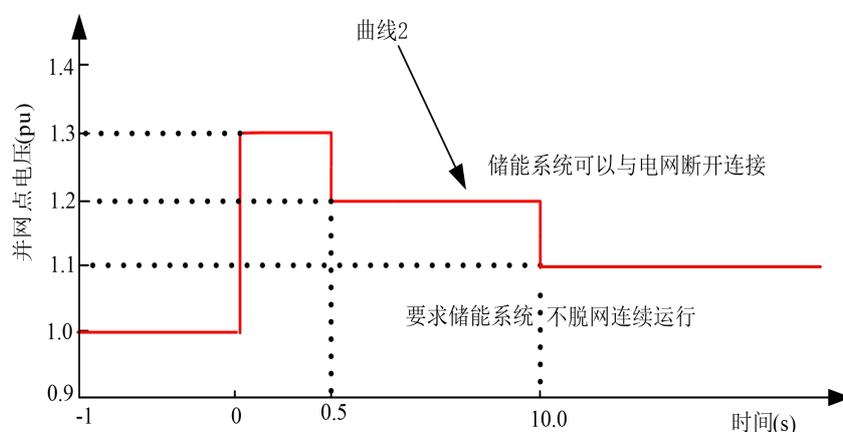


图3 飞轮储能系统高电压穿越要求

6.7 直流分量

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能系统接入电网测试规范》中7.6.3的试验方法，飞轮储能系统接入公共连接点的直流电流分量不应超过其交流额定值的0.5%。

7 设备技术要求

7.1 飞轮储能单元

7.1.1 飞轮转子探伤

每台飞轮转子都应进行无损探伤检测，确保飞轮转子表面及内部无任何缺陷。按JB/T 5000.15-2007标准中的规定进行检测。

7.1.2 力学性能检测

每一批次制造的飞轮转子都应对飞轮转子材料取样，并进行力学性能检测。材料的屈服强度至少为飞轮转子仿真计算出的最大应力值的1.3倍以上。按GB/T 228.1-2010标准中的规定进行检测。

7.1.3 转速测试

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通用技术条件》的6.3试验方法进行测试，飞轮储能单元测试转速应不小于额定转速。

7.1.4 功率测试

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通用技术条件》的6.4试验方法进行测试，飞轮储能单元测试功率应不小于额定功率。

7.1.5 储能量

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通用技术条件》的6.5试验方法进行测试，飞轮储能单元储能量应不小于额定储能量。

7.1.6 自由降速测试

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通用技术条件》的6.6试验方法进行测试，飞轮储能单元自由降速损耗均值应不大于额定功率的0.3%。

7.1.7 失稳测试

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通用技术条件》的6.7试验方法进行测试，测试结果应至少满足下列条件之一：

- a) 磁悬浮控制系统在1min内使之恢复正常状态，并且备用轴承应在飞轮转子恢复正常状态前，保证飞轮储能单元不发生损坏；
- b) 飞轮转子发生失稳状态后，备用轴承能够保证在30min内飞轮储能单元的安全运行。

7.1.8 耐电压测试

按照GB/T 755-2019中9.2的测试方法进行。测试结果应满足GB/T 755-2019中9.2的要求。

7.1.9 温升测试

按照GB/T 755-2019中8的测试方法进行，飞轮储能单元的温升应满足GB/T 755-2019中8.10的要求。

7.1.10 密封性测试

按照《电力级五自由度磁悬浮飞轮储能单元通用技术条件》的6.10试验方法进行测试，飞轮储能单元工作时腔体内的真空度应不大于100Pa。

7.2 飞轮系统控制器

7.2.1 一般要求

7.2.1.1 飞轮系统控制器应能对飞轮储能单元和充/放电变流器进行协调控制，对飞轮储能单元的储能量和运行状态进行全面优化管理。

7.2.1.2 飞轮系统控制器除应具备7.2.2功能外，还应具备对时、时间记录、存储、故障记录、显示等功能。

7.2.2 功能要求

7.2.2.1 测量功能

飞轮系统控制器应能实时测量飞轮储能系统的相关数据，应包括转速、直流母线电压、温度、电流、绝缘电阻等参数。各状态参数测量精度符合下列规定：

- a) 飞轮转子的转速测量误差应不大于 $\pm 0.1\%$ ，采样周期应不大于100ms；
- b) 电流采样分辨率宜结合储能量和充放电电流确定，测量误差应不大于 $\pm 0.2\%$ ，采样周期应不大于50ms；
- c) 电压测量误差应不大于 $\pm 0.3\%$ ，采样周期应不大于200ms；
- d) 温度采样分辨率应不大于 1°C ，测量误差不大于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，采样周期不大于5s。

7.2.2.2 计算功能

飞轮系统控制器应能够计算充放电能量（ $W \cdot h$ ），计算飞轮储能单元的能量状态。能量计算误差不应大于 $\pm 0.2\%$ ，计算更新周期不应大于100ms。

7.2.2.3 信息交互功能

飞轮系统控制器应具备内部信息收集和交互功能，能将飞轮储能系统信息上传监控系统。

7.2.2.4 故障诊断功能

飞轮系统控制器应能够监测飞轮储能系统的运行状态，诊断飞轮储能单元或飞轮系统控制器本体的异常运行状态，上送相关告警信号至监控系统。

7.2.2.5 保护功能

飞轮系统控制器应能就地和远程对飞轮储能系统运行参数、报警、保护定值进行设置，并应具备保护功能，能发出告警信号或跳闸指令，实施就地故障隔离。

7.3 储能变流器

7.3.1 功能要求

储能变流器应具有充放电功能、有功功率控制功能、无功功率调节功能和并离网切换功能。

注：并离网切换功能只针对具备并网和离网两种运行模式的储能变流器。

7.3.2 性能要求

7.3.2.1 效率

按照GB/T 34133-2017中6.3.2、6.3.3试验方法，在额定运行条件下，储能变流器的整流效率和逆变效率均应不低于94%。

注：计算以上效率时，不含隔离变压器损耗。

7.3.2.2 损耗

按照GB/T 34133-2017中6.3.4试验方法，储能变流器的待机损和应不超过额定功率的0.5%，空载损耗应不超过额定功率的0.8%。

注：计算以上效率时，不含隔离变压器损耗。

7.3.2.3 过载能力

按照GB/T 34133-2017中6.4试验方法，储能变流器交流侧电流在110%额定电流下，持续运行时间应不少于10 min；储能变流器交流侧电流在120%额定电流下，持续运行时间应不少于1 min。

7.3.2.4 功率控制精度

按照GB/T 34133-2017中6.6.1、6.6.2试验方法，储能变流器输出大于其额定功率的20%时，功率控制精度应不超过5%。

7.3.2.5 功率因数

按照GB/T 34133-2017中6.6.3试验方法，并网运行模式下，不参与系统无功调节时，储能变流器输出大于其额定输出的50%时，平均功率因数应不小于0.98（超前或滞后）。

7.3.2.6 绝缘耐压

7.3.2.6.1 绝缘电阻

在正常试验大气条件下，储能变流器各独立电路与外露的可导电部分之间，以及与各独立电路之间的绝缘电阻应不小于1 MΩ。试验电压按表2的规定进行。

表 2 绝缘电阻试验电压等级

额定绝缘电压 U_k V	绝缘电阻表电压 V
$U_k \leq 60$	250
$60 < U_k \leq 250$	500
$250 < U_k \leq 1000$	1000
$1000 < U_k \leq 1500$	1500

7.3.2.6.2 介质强度

在正常试验大气条件下，储能变流器应能承受频率为50Hz，历时1 min的工频交流电压或等效直流电压，试验过程中要保证不击穿，不飞弧，漏电流<20 mA；试验电压的均方根值见表3，试验过程中，任一被试电路施加电压时，其余电路等电位互联接地。

表 3 介质强度试验电压等级

额定电压 U_k V	试验电压 V
$U_k \leq 60$	1000
$60 < U_k \leq 300$	2000
$300 < U_k \leq 690$	2500
$690 < U_k \leq 800$	3000
$800 < U_k \leq 1000$	3500
$1000 < U_k \leq 1500$	3500

注：整机介质强度按上述指标只能实验一次。用户验收产品时如需要进行器质强度试验，将上列试验电压降低 25%进行。

7.3.2.7 电气间隙和爬电距离

储能变流器各带电电路之间以及带电部件、导电部件、接地部件之间的电气间隙和爬电距离应符合GB/T 7251.1的相关规定。

7.3.2.8 噪声

在距离设备水平位置1 m处，用声级计测量满载时的噪声，噪声应不大于80 dB。

7.3.2.9 外壳防护等级

应符合GB/T 4208的规定。防护等级应不低于IP 20。

7.4 保护

7.4.1 基本要求

- 7.4.1.1 继电保护及安全自动装置功能应满足可靠性、选择性、灵敏性、速动性的要求。
- 7.4.1.2 继电保护及安全门动装置功能应满足电力网络结构、飞轮储能系统电气主接线的要求，并考虑电力系统和飞轮储能系统运行方式的灵活性。
- 7.4.1.3 继电保护和安全自动装置功能，应符合 GB/T 14285 的有关规定。

7.4.2 飞轮系统控制器保护

- 7.4.2.1 飞轮系统控制器应具备过充电/过放电保护、短路保护、过流保护、温度保护、漏电保护。
- 7.4.2.2 飞轮系统控制器宜配置软/硬出口节点，当保护动作时，发出报警和/或跳闸信号。

7.4.3 储能变流器保护

- 7.4.3.1 直流侧保护应包括过/欠压保护、过流保护、输入反接保护、短路保护、接地保护等。
- 7.4.3.2 交流侧保护应包括过/欠压保护、过/欠频保护、交流相序反接保护、过流保护、过载保护、过温保护、相位保护、直流分量超标保护、三相不平衡保护等。
- 7.4.3.3 变流器应具备防孤岛保护功能，孤岛检测时间应不超过 2 s。

7.4.4 涉网保护

- 7.4.4.1 储能系统涉网保护的配置及整定应与电网侧保护相适应，与电网侧重合闸策略协调。
- 7.4.4.2 通过 380 V 电压等级接入且功率小于 500kW 的储能系统，应具备低电压和过电流保护功能。
- 7.4.4.3 通过 10(6)kV~35kV 电压等级专线方式接入的储能系统宜配置光纤电流差动保护或方向保护作为主保护，配置电流电压保护作为后备保护。
- 7.4.4.4 通过 10(6)kV~35kV 电压等级采用线变组方式接入的储能系统，应按照电压等级配置相应的变压器保护装置。
- 7.4.4.5 储能系统应配置防孤岛保护，非计划孤岛情况下，应在 2 s 内动作，将储能系统与电网断开。

7.4.5 故障录波

7.4.5.1 一般要求

接入10（6）kV及以上电压等级功率为500 kW及以上的储能系统，应配备故障录波设备，且应记录故障前10 s到故障后60 s的情况。

7.4.5.2 频率响应要求

接入公共电网的飞轮储能系统的应满足表4的频率运行要求。

表 4 接入公共电网的飞轮储能系统的频率运行要求

频率范围	运行要求
$f < 49.5\text{Hz}$	不应处于充电状态
$49.5\text{Hz} \leq f \leq 50.2\text{Hz}$	连续运行
$f > 50.2\text{Hz}$	不应处于放电状态

注：f为飞轮储能系统并网点的电压频率。

7.5 监控

7.5.1 一般要求

7.5.1.1 监控系统应具备对储能系统内各种设备进行监视和控制的能力，以及接受远方调度的能力，且应符合电力系统二次系统安全防护规定。

7.5.1.2 监控系统应根据储能系统的规模和应用需求等情况选择和配置软硬件，具备可靠性、可用性、扩展性、开放性和安全性。

7.5.1.3 监控系统应能接收并显示飞轮储能单元、辅助设备和飞轮系统控制器上传的转速、温度、真空度、电压、电流、功率及异常告警等信息。

7.5.1.4 监控系统应能接收并显示变流器上传的交直流侧电压、交直流侧电流、有功功率、无功功率、异常告警及故障等信息。

7.5.2 功能要求

7.5.2.1 基本功能

监控系统应具备对储能系统并网点的模拟量、状态量及相关数据进行采集、处理、显示、储存等功能，满足DL/T 5149要求。

7.5.2.2 控制操作

监控系统应具备对储能系统并网点、各单元储能系统连接点处开关以及对储能变流器的工作状态进行控制的功能，支持选择控制和直接控制两种模式，符合DL/T 634.5104的规定。

7.5.2.3 数据统计分析

监控系统宜具备对储能系统内的关键部件（如飞轮储能单元、充/放电变流器，储能变流器等）的运行数据进行统计分析功能。

7.5.2.4 与外部系统互联

监控系统宜具备与配电管理系统、调度自动化系统、营销自动化系统等互联功能，实现储能系统充放电功率、电量、运行状态等数据与信息的交互。

7.5.2.5 能量管理功能

监控系统宜具备削峰填谷、调频、调压等能量管理功能。

7.6 通信

7.6.1 储能系统监控系统应具备与电网调度机构之间数据通信的能力，能够采集储能系统的运行数据并实时上传至电网调度机构，同时具备接收电网调度机构控制调节指令的能力，且符合电力二次系统安全防护规定。

7.6.2 储能系统内部通信可采用以太网、串行口等接口，通信规约可采用基于CAN 2.0、Modbus-TCP、DL/T634.5104、DL/T 634.5101或DL/T 860（所有部分）的通信协议。

7.6.3 储能系统与电网调度自动化系统的通信规约宜采用基于DL/T 634.5104通信协议。

7.6.4 储能变流器宜具备CAN/RS 485、以太网通讯接口。其中，储能变流器与监控站级通信宜采用以太网通讯接口，宜支持MODBUS-TCP、DL/T 860、PROFIBUS-DP通信协议；与电池管理系统通信宜采用CAN/RS 485，宜支持CAN 2.0B、MODBUS-TCP通讯协议。

7.7 计量

- 7.7.1 电量计量系统应符合 DL/T 5202 的规定。
 - 7.7.2 电量计量表计应具街四象限功率计量功能、事件记录功能。
 - 7.7.3 交流电量计量表计通信规约应符合 DL/T 645 的规定。
-