

电动汽车充电互联互通安全要求研究

张 萱^{1,2,3}, 李旭玲^{1,2,3}, 张 伟^{1,2,3}, 何雪枫^{1,2,3}

(1. 南瑞集团有限公司, 江苏 南京 211100; 2. 国网电力科学研究院有限公司, 江苏 南京 211100;
3. 国网电科院检测认证技术有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 为满足电动汽车与充电机之间互连互通要求, 保证安全可靠充电, 基于现行的电动汽车充电系统和接口国家标准, 提出充电安全机制, 从物理连接安全、电气连接安全、高压防护措施、充电交互保护和功能失效防护的角度分析充电安全要求, 构建安全性测试用例集, 实现对充电机和电动汽车在连接确认阶段、自检阶段、充电准备就绪阶段、充电阶段以及充电结束阶段的综合性测试和安全性评估。通过实验室测试及现场测试, 结果表明通过合理措施将危险降至最低, 从而提高充电过程的安全性风险防御能力。

关键词: 互操作性; 充电; 安全性; 测试

Research on safety requirements for electric vehicle charging interoperability

ZHANG Xuan^{1,2,3}, LI Xuling^{1,2,3}, ZHANG Wei^{1,2,3}, HE Xuefeng^{1,2,3}

(1. NARI Group Corporation, Nanjing 211100, China; 2. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211100, China; 3. SGEPRI Test Certification Technology Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to meet the interoperability requirements between the charger and the electric vehicle, to ensure safely and reliably charging, based on the current national standards for electric vehicle charging systems and interfaces, a charging safety mechanism is proposed, the charging safety requirements are analyzed from the perspective of physical connection safety, electrical connection safety, high voltage protection measures, charging interaction protection and functional failure protection, a set of safety test cases is built, and the charging comprehensive testing and safety assessment are realized during the connection confirmation phase, self-test phase, charge ready phase, charging phase, and charging end phase. Through interoperability safety test in the laboratory and the field, the results show that the risk is minimized by reasonable measures, thereby improving the safety risk prevention capability of the charging process.

Key words: interoperability; charging; safety; test

0 引言

随着石油与环保问题的日益突出, 全球电动汽车产业发展迅速, 发展新能源汽车, 以减

少交通领域对石油的依赖, 是势在必行的举措。随着禁售燃油车计划和各国新能源汽车推广计划的逐步实施, 全球新能源汽车迎来了快速发展阶段。

国家电网科技项目(电动汽车充放电故障智能诊断与安全预警关键技术及运维服务体系研究); 国家电网科技项目(电动汽车无线充电系统通信及磁耦合结构的互操作性研究)

根据中国充电联盟发布的全国电动汽车充电基础设施运行情况, 2018年全年充电基础设施保有量为80.8万台, 其中公共桩33万个, 私桩48万

个,保有量相比2017年增加35万个,车桩比略有提高,为3.7:1。大规模车辆和充电设施投入市场,对充电互操作性、安全性提出更高要求。2015年发布实施GB/T 18487.1-2015^[1]、GB/T 27930-2015^[2]、GB/T 20234.1-2015^[3]、GB/T 20234.2-2015^[4]和GB/T 20234.3-2015^[5]5项国家标准,电动汽车传导充电系统、充电接口和通信协议已经建立完善的国家标准体系。但从新国标落地实施的效果以及市场反馈的情况来看,充电互联互通问题中,特别是安全性隐患仍然是电动汽车和充电设施发展面临的重要问题。相关检测机构开展了充电指标验证技术研究工作^[6-7],但尚没有对互操作安全性的系统研究和验证。本文针对实际充电过程中影响互联互通安全性问题,结合国家标准GB/T 34657.1-2017^[8]、GB/T 34657.2-2017^[9]和GB/T 34658-2017^[10]系列电动汽车传导充电互操作性测试标准规范实际应用情况,提出相应的安全性解决方案。

1 充电安全机制

充电设施是电动汽车不可或缺的电能补充设施,电动汽车是电能载体也是消耗者,对整个充电安全需从全生命周期关注其安全性,建立如图1所示的充电安全机制。

充电设施安全目标应以预防为主,以保证人员不受伤害为前提,实现电动汽车充电过程安全、可靠。主要包括以下内容。

1) 人员安全。在各种环境工况下,充电设备、电动汽车及辅助设施的使用过程中,应首先确保使用人员的人身安全。

2) 充电设备安全。充电设备本体应满足相关标准中电气安全防护能力要求,同时应保证对电动汽车充电过程在各种失效模式下具备相应的保护措施。

3) 供电安全。充电设备的负荷约束、过载保护、谐波参数和短路保护应不影响供电电源的正常工作。

4) 控制与保护。电动汽车在充电过程中应

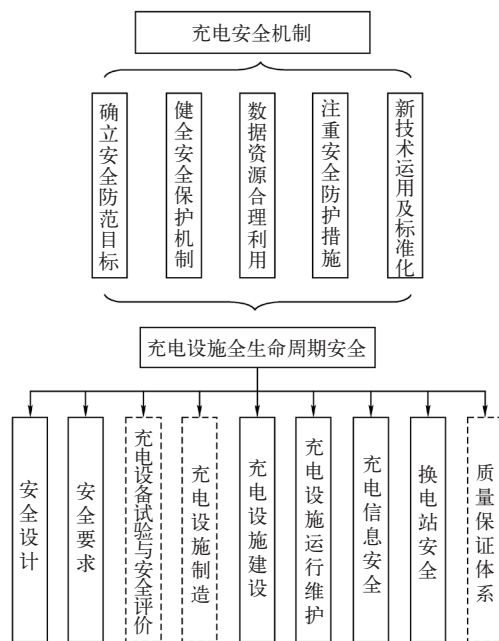


图1 充电安全机制

Fig. 1 Charging safety mechanism

建立故障风险监测及相应保护控制措施,在故障模式下应具备安全事故不扩散的控制能力。

5) 运营安全。充电环境、场站操作和运行管理应满足以充电服务安全运行为基本要求的目的。

6) 安全防控。建立全过程的安全防控机制,设计阶段应重视充电设备对安全相关标准的技术要求,运用功能保护设计有效降低系统功能失效安全风险;制造阶段应重视产品生产制造质量水平提升和产品检验、认证检测和入网管理;建设阶段应严格执行充电设施建设竣工质量要求,运营阶段应提高运行维护保障能力和安全管理水平。

目前,充电产业总体上对安全性认识不足,特别是在产品设计的安全性要求、充电控制的保障机制方面不足,导致近一段时间新能源汽车安全事故频发,对产业发展和用户体验造成负面影响。下面主要就充电互联互通过程中的安全性及相关测试要求进行分析。

2 充电安全要求

充电互操作性是相同或不同型号、版本的供电设备与电动汽车通过信息交换和过程控制,实

现充电互联互通的能力。充电过程是车辆与充电系统协同配合并实现的电能传递过程，充电失控易引发动力电池的安全事故。因此，在充电互联互通过程中，应注重充电过程的安全性能风险防御，并通过合理措施将危险降至最低。

2.1 物理连接安全

充电接口是保证电动汽车充电安全性、互换性的基础。在车辆插头与车辆插座进行插合过程中，充电机和电动汽车通过监测连接确认信号的电压，确认充电接口连接状态，充电机还应监控电子锁锁止装置。当未可靠锁止时，充电机应停止充电或不起动充电，以避免用户误动拔枪导致触电的人身伤害。

2.2 电气连接安全

绝缘电阻是电气设备和电气线路最基本的绝缘指标，有助于系统平稳安全地长期运行。充电过程中对高压直流供电回路的绝缘电阻应能持续监测。在充电机端和车辆端均设置绝缘检测电路，绝缘检测主要测量充电直流回路DC+、PE之间的绝缘电阻，与DC-、PE之间的绝缘电阻。当绝缘电压小于 $100\ \Omega/V$ 视为绝缘故障，应停止充电。

2.3 高压防护措施

由于充电机和车辆（电池）都属于高压功率电源，除了在元器件选型时应注意容量要求，在充电过程中通过必要的防护措施也可以提高使用寿命、避免危险事故。在直流接触器闭合的瞬间，应避免接触器内外电压差太大，从车辆到充电机、充电机到车辆产生冲击电流，造成接触器烧坏，将充电机/车辆高压回路击穿。在充电正常结束时，充电机具备对剩余电荷的泄放功能。

2.4 充电交互保护

电动汽车充电过程，充电机应具备对蓄电池二重保护功能，通过校验BMS通信数据，对电池的关键参数，如电池总电压、单体电压、温度值、SOC和SOH等信息进行实时监测，对

充电模式与充电状态进行可行性校验，对异常状况进行实时监测、诊断、差错辨识、故障预测和预警控制。同时，车辆也应根据充电机发送的最大输出能力与车辆自身需求进行校验，并根据实时监测到的电池状态及时调整充电策略，保证可靠充电。当出现可能导致超出安全风险严重等级时，充电机和车辆都应主动停止充电，并启动维护措施。

2.5 功能失效防护

在充电过程中，当出现接口线路故障（如通信线短路/断路/接地、保护接地连续性丢失以及控制导引线短路/断路/接地）、通信超时以及其他不能继续充电的故障（如内部过温/故障、紧急停机和开门）等功能失效的情况时，充电机和车辆应能检测出故障并按照规定停止充电，断开接触器，并通过通信报文告知中止充电原因。

3 实验结果与分析

3.1 测试系统及用例

整个直流充电流程分为连接确认阶段、自检阶段、充电准备就绪阶段、充电阶段以及正常充电结束阶段。构建如图2所示的测试系统，主要包括交流供电电源、直流充电测试模拟盒、通信协议模拟软件、车辆电池模拟器或直流负载、直流电源和电流测量仪器等。



(a) 充电机测试 (b) 车辆测试

图2 互操作性测试系统

Fig. 2 Interoperability testing system

根据实验室牵头编制的GB/T 34657.1—2017《电动汽车传导充电互操作性测试规范 第1部分：供电设备》、GB/T 34657.2—2017《电动汽车传导充电互操作性测试规范 第2部分：车辆》，提出测试用例集及测试步骤，如表1所示，并开展实验验证。

利用测试系统分别模拟充电机和车辆控制

表1 安全测试用例
Tab. 1 Security test case

阶段	测试用例	步骤及要求	对象
连接确认阶段	连接确认测试	充电前模拟正确车辆端控制导引电路, 测量检测点1电压值是否为4 V, 检查充电机是否允许充电, 是否周期性发送通信握手报文; 充电前模拟正确的充电机端控制导引电路, 测量车辆检测点2电压值是否为6 V时, 检查车辆是否允许充电, 是否开始周期发送通信握手报文	充电机/车辆
	控制导引电压限值测试	充电前模拟检测点1电压超过正常充电范围, 检查充电机是否不允许充电, 是否周期性发送通信握手报文; 充电前模拟检测点2电压超过正常充电范围, 检查车辆是否不允许充电, 是否周期性发送通信握手报文	充电机/车辆
自检阶段	接触器粘连测试	在绝缘检测前, 模拟充电机外侧电压大于10 V, 检查充电机是否允许充电; 在绝缘检测前, 模拟充电机接触器粘连, 检查充电机是否允许充电	充电机
	锁止功能检查	当充电机开始输出绝缘电压时, 检查车辆插头电子锁是否能正确锁止	充电机
	充电参数匹配性测试	模拟车辆通信握手报文内的最高允许充电总电压低于充电机输出电压范围下限值, 检查充电机是否允许充电	充电机
	绝缘故障异常测试	在绝缘自检前, 模拟充电直流回路DC+、PE之间的绝缘电阻和/或DC-、PE之间的绝缘电阻(两者取小值 R), $R \leq 100 \Omega/V$, 检查充电机是否停止充电、是否有绝缘故障告警	充电机
	泄放投切检查	绝缘检测结束时, 检查充电机是否能对绝缘输出电压进行泄放, 泄放投切时是否能在1 s内将电压降至DC 60 V以下, 再断开接触器 K_1 和 K_2	充电机
充电准备就绪阶段	电池电压匹配性测试	模拟充电机接触器外端电压与通信报文电池电压误差范围 $> \pm 5\%$ 和/或电池电压不在充电机正常输出电压范围内, 检查充电机是否允许充电	充电机
	冲击电流检查	检查充电机输出电压是否比接触器外端电压低(1~V)时闭合接触器 K_1 和 K_2 , 以避免因接触器内外侧电压差太大闭合接触器造成冲击电流	充电机
充电阶段	通信超时测试	模拟通信超时, 检查充电机是否停止充电, 是否能在10 s内断开 K_1 、 K_2 , 车辆是否能断开 K_5 、 K_6 ; 通信恢复后, 检查充电机是否能重新发送握手辨识报文, 检查车辆是否能重新建立握手连接	充电机/车辆
	充电需求超BMS参数限值测试	模拟充电需求电压值大于BMS最高允许充电总电压, 检查充电机是否停止充电; 模拟充电需求电流值大于BMS最高允许充电电流, 检查充电机是否停止充电	充电机
	充电需求超供电设备参数限值测试	模拟BMS充电需求电压值大于供电设备额定电压, 检查充电机是否停止充电; 模拟BMS充电需求电流大于设备最大输出电流, 检查充电机是否按照最大输出能力输出	充电机
	充电需求为0值需求测试	模拟BMS充电需求电流为0, 检查充电机是否按最小输出能力输出	充电机
	输出大于最高电压测试	模拟BMS采集的电压超过BMS最高允许充电总电压时, 检查充电机是否停止充电	充电机
	实际输出值与测量数据超限测试	模拟充电机实际输出电压/电流与充电机CCS报文中测量值之间误差超过规定值时, 检查车辆是否停止充电	充电机
	输出过电压测试	模拟充电机输出电压大于车辆最高允许充电总电压, 检查充电机是否在1 s内停止充电	充电机
	绝缘故障异常测试	模拟充电直流回路DC+、PE之间的绝缘电阻和/或DC-、PE之间的绝缘电阻(两者取小值 R), $R \leq 100 \Omega/V$ 或 $100 \Omega/V < R \leq 500 \Omega/V$, 检查车辆是否将蓄电池状态对应位置为绝缘故障/异常、是否停止充电	车辆
充电结束阶段	正常充电结束测试	模拟发送“电池管理系统中止充电报文”后, 检查充电机是否周期发送“充电机中止充电报文”并交互充电统计报文, 是否能控制充电机停止充电以不小于100 A/s的速率减小充电电流, 是否在充电电流小于等于5 A时, 断开 K_1 和 K_2 , 并再次投入泄放回路; 是否能在接口断开后1 s内将供电接口电压降到DC 60 V以下。达到解锁条件, 车辆插头电子锁是否能正确解锁; 模拟发送“充电机中止充电报文”, 检查车辆是否周期发送“电池管理系统中止充电报文”并交互充电统计报文, 是否在确认充电电流变为小于5 A后断开 K_5 、 K_6	充电机/车辆
	保护接地连续性丢失测试	在充电过程中, 充电机应能对从本体内部到车辆插头处PE线的保护接地性检测, 模拟发生保护接地性丢失, 检查充电机是否能在100 ms内切断电源; 在充电过程中, 模拟发生PE断针, 对使用上拉电压 U_1 大于15.2 V、小于31 V, 且准确度不大于1%, 或 U_1 大于22 V、小于30 V, 且准确度不大于5%的车辆检查其是否能发送BMS中止充电报文	充电机/车辆
	控制导引信号异常测试	在充电过程中, 充电机通过对检测点1的电压进行检测, 模拟开关S由闭合变为断开或车辆接口由完全连接变为断开, 检查充电机是否在50 ms内将输出电流降至5 A或以下, 是否在100 ms内断开 K_1 、 K_2 , 是否在统计报文交互完毕后断开 K_3 和 K_4 ; 在充电过程中, 车辆通过对检测点2的电压进行检测, 模拟车辆接口断开, 检查车辆是否能停止充电	充电机/车辆
	其他不能继续充电故障测试	在充电过程中, 模拟充电机出现不能继续充电的故障(如按下急停按钮等), 检查充电机是否能发送“充电机中止充电报文”, 是否在100 ms内断开 K_1 、 K_2 , 是否在统计报文交互完毕后断开 K_3 、 K_4 ; 在充电过程中, 模拟车辆出现不能继续充电的故障, 检查车辆是否发送“车辆中止充电报文”, 是否在300 ms内断开 K_5 、 K_6	充电机/车辆

导引电路、充电功能,预置正确的充电流程、异常或不正确的参数或状态,检测被测对象的响应能力。同时对充电机和车辆之间充电连接的关键部位设置测试点,便于衡量评判所给测试用例实现的预期结果是否满足安全要求,测试点要求如下。

1) 检测点的电压值及其变化过程,包括车辆接口CC1与PE之间的电压值(检测点1)、车辆接口CC2与PE之间的电压值(检测点2);

2) 接触器 K_1 和 K_2 状态:检查车辆插头DC+与DC-之间电压的变化或接触器反馈信号变化。

3) 接触器 K_3 和 K_4 状态:检查车辆插头A+与A-之间电压的变化或接触器反馈信号变化。

4) 接触器 K_5 和 K_6 状态:检查车辆插座外侧电压的变化或接触器反馈信号变化。

5) 充电状态:充电机/车辆是否正常充电。

6) 通信状态:通信报文是否符合标准规定。

7) 锁止状态:检查机械锁止装置的有效性和电子锁止装置对机械锁止装置的联锁效果。

8) 解锁条件:充电接口电压在DC 60 V以下,才可进行解锁。

9) 故障计时起点:故障发生时刻起同步计时。

3.2 测试结果

结合给出的安全测试用例,在实验室对被测充电机和车辆分别开展测试。部分测试结果如下。

3.2.1 正常充电过程测试

模拟正常的充电机或车辆的通信协议,与测试系统进行数据交互,利用测试系统,模拟正确的参数信号,对车辆或充电机进行充电过程控制测试。测试结果如图3所示。

3.2.2 异常充电过程测试

在充电过程中模拟不正常条件,检查充电机或车辆是否能正确响应。对车辆进行导引电路断路测试,结果如图4所示。对充电机进行紧急停机测试,结果如图5所示。

3.2.3 现场实车实桩测试

对完成实验室测试并整改的28台充电机和10辆电动汽车进行实车实桩匹配性测试,

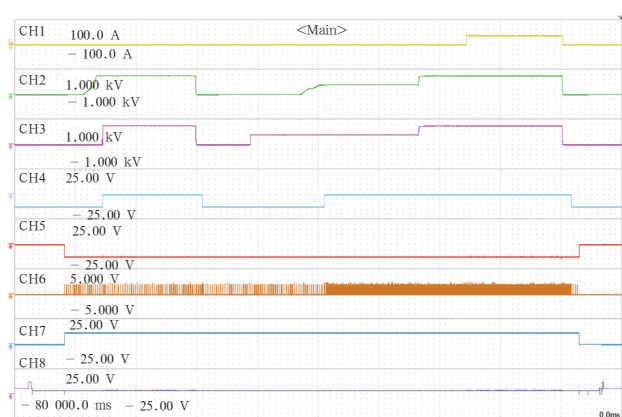


图3 充电过程控制结果

Fig. 3 Charging process control results

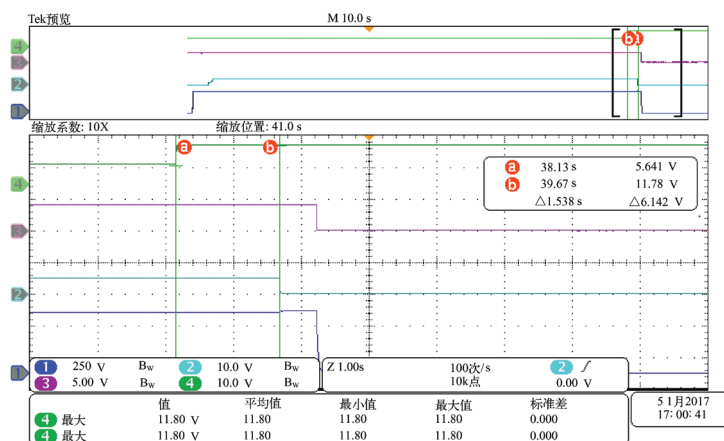


图4 车辆控制导引信号异常结果

Fig. 4 Abnormal result of vehicle control guidance signal

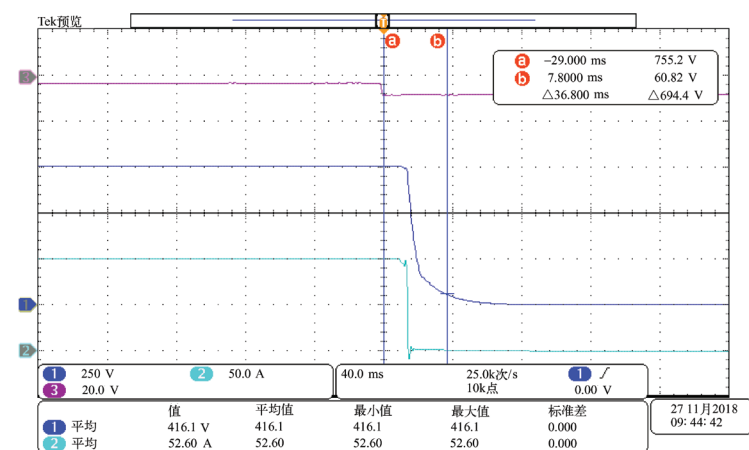


图5 充电机紧急停机结果

Fig. 5 Charger emergency stop result

构建如图6所示的测试系统。利用现场监测设备,实时监测实际充电电压值和电流值,解析充电交互通信参数信息,记录充电状态、控制

导引电压的状态曲线，对控制导引电路（CC1和CC2）、通信线和辅助电源线等进行通断控制，实现充电过程中异常状态模拟。



图6 实车实桩匹配性测试

Fig. 6 Matching test of electric vehicle and charging post

测试过程中，每次匹配充电时间为10 min，测试结果如表2所示。充电过程中出现故障异常时能够停止充电，则认为合格。直流充电配对组合68对，匹配成功正常充电的为61对，合格率为89.7%。

表2 直流充电故障测试结果

Tab. 2 DC charging fault test results

样品类别	测试项目数量	合格项目数量	合格率 (%)
CC1异常	28	28	100.0
CC2异常	10	9	90.0
通信中断	68	50	73.5
辅助电源中断	10	10	100.0

4 结束语

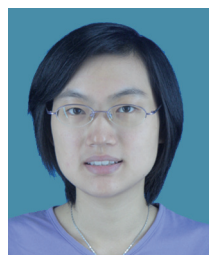
本文深入分析了电动汽车与充电机之间充电互联互通过程的充电安全目标，提出物理连接、电气连接、高压防御、充电交互和功能失效等方面的安全要求，通过构建互操作性测试系统，在实验室和充电站现场实现对充电机和车辆之间充电互联互通安全性综合测试和评估。测试结果发现，在实验室进行安全性相关测试后，车桩在现场充电匹配程度大大提高。

安全充电是保证电动汽车产业持续发展的基础要求，必须结合技术发展，以实际数据为基础、科学分析为手段。本文推荐采用的测试方法已经部分纳入国家标准中，今后还将继续完善相关测试方法，实施更科学的测试手段，分析解决实际充电过程中的疑难杂症，为我国电动汽车安全可靠充电提供理论和实践的支撑。

参考文献

- [1] 电动汽车传导充电系统第1部分：通用要求：GB/T 18487.1—2015[S]. 北京：中国标准出版社，2015.
- [2] 电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议：GB/T 27930—2015[S]. 北京：中国标准出版社，2015.
- [3] 电动汽车传导充电用连接装置 第1部分：通用要求：GB/T 20234.1—2015[S]. 北京：中国标准出版社，2015.
- [4] 电动汽车传导充电用连接装置第2部分：交流充电接口：GB/T 20234.2—2015[S]. 北京：中国标准出版社，2015.
- [5] 电动汽车传导充电用连接装置第3部分：直流充电接口：GB/T 20234.3—2015[S]. 北京：中国标准出版社，2015.
- [6] 张萱，董晨，盛立健，等. 电动汽车充换电站安全防护测试模型研究[J]. 电器与能效管理技术，2017(20)：63-66.
- [7] 朱彬，侯兴哲，孙洪亮，等. 电动汽车充电设施互操作性测试方法研究[J]. 电测与仪表，2017，54(20)：71-76.
- [8] 电动汽车传导充电互操作性测试规范 第1部分：供电设备：GB/T 34657.1—2017[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
- [9] 电动汽车传导充电互操作性测试规范 第2部分：车辆：GB/T 34657.2—2017[S]. 北京：中国标准出版社，2017.
- [10] 电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议一致性测试：GB/T 34658—2017[S]. 北京：中国标准出版社，2017.

作者简介



张萱

张萱（1984—），女，高级工程师，从事电动汽车充电设施标准及检测技术研究。

（收稿日期：2019—03—22）EA