

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200044

电动汽车直流充电桩自动化测试平台的设计与应用

胡韵华¹, 冯瑾涛², 邓清闯³, 胡晓静¹

(1. 许昌开普电气研究院有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 许昌开普检测研究院股份有限公司, 河南 许昌 461000; 3. 许昌许继风电科技有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 为了保障充电桩的安全、可靠运行, 依据国家相关技术标准, 研发并建立了一个多通道的自动化充电设施测试平台。该测试平台改善原来测试平台单线程、人工测试效率低, 质量不能保障的问题, 以保障快速发展的充电设施能够安全、可靠地投放市场。从需求分析、系统架构、硬件选型、软件设计等方面对充电桩自动化测试平台做了介绍。通过实验验证, 测试平台实现了对充电设施基本功能、电气性能、通信规约、互操作性等指标的四通道并行自动化测试。

关键词: 电动汽车; 充电设施; 电气性能; 闭环测试; 互操作性; 自动检测

Development and application of automated test platform for DC charging piles of electric vehicles

HU Yunhua¹, FENG Jintao², DENG Qingchuang³, HU Xiaojing¹

(1. Xuchang KETOP Electrical Research Institute Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Xuchang KETOP Testing Research Institute Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 3. Xuchang Xuji Wind Power Technology Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: In order to ensure the safe and reliable operation of charging piles, a multi-channel automated charging facility test platform is developed and established in accordance with relevant national technical standards. This test platform improves the single-threaded, manual test efficiency of the original test platform, and solves the problem that the quality cannot be guaranteed such that it can guarantee that the fast-developing charging facilities can remain safe and reliable on the market. This paper introduces the automated testing platform of charging piles from the aspects of requirement analysis, system architecture, hardware selection and software design. Through experimental verification, the test platform has achieved four-channel parallel automated testing of indicators such as basic functions, electrical performance, communication protocols and interoperability of charging facilities.

This work is supported by the Key Support Project of NSFC-Henan Joint Foundation (No. U1804252).

Key words: electric vehicle; charging facility; electrical performance; closed-loop testing; interoperability; automatic detection

0 引言

我国电动汽车的制造技术已日益成熟, 但其充电设施建设不完善导致电动汽车不能广泛应用^[1-3]。快速健康地发展电动汽车充换电系统的需求迫在眉睫。电动汽车充电系统是电网和汽车储能电池的接口, 作为电动汽车运行的重要保障系统, 如何保障其智能、安全、可靠尤为重要。

目前国内大多的充换电测试平台是单一的模块化的人工操作, 测试通道是单线程, 手动操作配置,

测试人员对充电设施的性能及互操作性的测试主要依靠人工逐项地进行检测, 手动读取仪器仪表采集的数据, 然后作出判断, 测试精度不高。完成一个测试任务后, 由测试人员再重新配置选择进入下一个测试任务, 测试周期长, 测试效率低, 工作量繁重, 易出现人为测试误差, 且对检测人员要求很高。测试标准也不能根据国标的更新及时调整, 易用性和可扩展性差。

电动汽车充电设施的测试项目繁多, 手工测试在大量重复的操作下易出现疏漏, 急切需要建立一个高效的自动检测平台, 提高测试效率、准确度, 并能及时调整适应新国标的要求。开发一个多通道

基金项目: NSFC-河南联合基金重点支持项目资助(U1804252)

的自动化测试平台, 提高测试效率和测试质量, 防范产品在生命周期内可能发生的各种危险^[2-5], 提高电动汽车充电的安全性、兼容性和可靠性, 保证产品智能、安全、可靠运行, 促进电动汽车充电系统发展乃至整个电动汽车行业的规模化发展意义重大^[6]。

1 自动化测试平台的需求分析

充电设置主要分为交流充电桩和直流充电桩两种类型, 交流充电桩型式检验项目涉及基本的电气性能、绝缘性能, 保护功能、安全防护、环境、电磁兼容等 30 多个检验项目^[7]。直流充电桩型式检验项目涉及基本的电气性能、绝缘性能, 保护功能、防护等级、环境、电磁兼容、通信规约等 47 个检验项目^[8-14], 基本上包含了交流充电桩型式检验项目。众多的测试项目, 如果按原来单线程测试, 测试周期长, 测试质量和准确率低, 且无法测试设备的并发性及协调性, 需要开发一个电动汽车充电系统测试平台兼容这两种充电桩的自动测试需求。

1.1 充电桩与电动汽车的工作过程及原理

充电桩与电动汽车在启动充电前、充电中和充电结束过程中需要兼顾充电连接的安全可靠以及稳定运行^[11]。电动汽车整个充电过程包括六个阶段。在每个阶段直流充电桩与电动汽车 BMS(Battery Manage System)都需要完成相应的任务, 才会进入下一个阶段。若在某个阶段出现通信或电路异常情况, 电动汽车或充电桩直接进入对应处理机制, 发出异常报警。电动汽车的充电流程图见图 1。

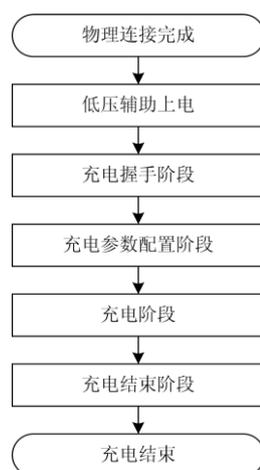


图 1 充电总体流程图

Fig. 1 Overall flowchart of charging

在充电过程中若出现以下故障情况, 则电动汽车和非车载充电机应根据要求停止充电。

1) 电动汽车或非车载充电机出现任何不安全

充电的警告;

2) 电动汽车 BMS 和非车载充电机通信超时;

3) 非车载充电机检测点的电压值状态发生变化;

4) 非车载充电机输出的电压大于电动汽车电池最高允许充电电压^[15]。

1.2 测试依据

电动汽车充电所产生的用电负荷具有随机性、脉动性、大功率的特点, 特别是以后的大功率快充充电站, 这方面的影响会更大。这种负载特性会给电网的稳定和安全带来很大挑战。充电站建设的问题最终会成为对充换电系统是否智能、可靠的考验。充电站将成为智能电网的一部分, 要求其安装的产品应满足智能电网的要求, 符合国家、行业、地方标准^[16]。

新国标发布实施以后, 给电动汽车传导充电及接口方面提供了更加全面、更加详细的技术依据, 充电设备的部分检验项目也相应发生变化, 其中涉及了操作和检修人员安全、充电设备和电动汽车充电安全、基本功能及电气性能等方面。测试主要依据是 7 项国家标准 GB/T 18487.1-2015、GB/T 20234.1-2015、GB/T 20234.2-2015、GB/T 20234.3-2015、GB/T 27930-2015、GB/T 34657-2017、GB/T 33341-2016 等; 3 项行业标准 NB/T 33001-2010、NB/T 33008.1-2013、NB/T 33008.2-2013 等; 4 项国网标准 Q/GDW 1592-2014、Q/GDW 1233-2015、Q/GDW 1235-2015、Q/GDW 1236-2015^[17]等。

1.3 测试平台的功能及非功能需求

测试电动汽车充换电设施, 不仅要考虑功能性的需求, 还要考虑非功能性的需求。其中非功能性的需求不仅决定产品的质量, 还影响产品的功能性需求^[18-20]。非功能性需求, 主要是指系统的性能、可靠性、可维护性、可扩充性和对技术及业务的适应性等^[21]。

基于 1.1 节对充电桩与电动汽车的工作原理的分析, 电动汽车充换电系统测试平台主要实现以下测试功能: 1) 电气性能及安全测试; 2) 充电桩的通信规约测试; 3) 充电桩互操作测试; 4) 多通道并行测试。

测试平台对非功能性需求的实现, 主要在功能性需求的基础上, 提供设置异常测试用例的接口, 通过过压、过充等环境, 验证充电桩的健壮可靠和安全。

以上技术指标主要涉及充电桩电气特性测试、互操作测试、通信协议一致性测试等。为提高测试效率, 本测试系统设计规划了实现 4 个并行检测通

道，每个检测项目有相互独立的界面，并能生成检测报告；检测项目可灵活地管理，设备参数配置方便等要求。

本文设计的自动测试平台的测试对象为非车载直流充电桩，根据用户的测试需求和 1.2 节相关产品的标准要求设计。

1.4 测试平台技术指标和环境要求

自动化测试平台的主要技术指标如表 1。

表 1 自动测试平台的主要技术指标

Table 1 Main technical indicators of the automatic test platform

指标	单位	参数值
功率测量范围	kW	0~60
直流电流测量范围	A	0~120
输入交流电压频率	Hz	50±0.5
直流电压测量范围	V	0~750
三相交流相电压输入范围	V	220±25%
功率测量范围	kW	0~60

环境条件：在本测试系统设计中，除产品特定要求的环境试验条件外，正常试验均在测量和试验用标准大气条件下进行，即：环境温度：15~35℃；相对湿度：45%~75%；大气压力：86~106 kPa。

电源条件：试验时供电电源频率：50 Hz ±0.5 Hz；直流电源电压：0~750 V，允许偏差±5%；交流电源为正弦波，畸变因数不大于 5%；交流电源系统的不平衡度不大于 5%。

试验仪器要求：除另有规定外，试验中所使用的仪器仪表准确度应根据被测量的误差按国标要求进行选择：测量温度仪表的误差不超过±1℃；测量时间用仪表，当测量时间大于 1 s 时，相对误差不大于 0.5%；测量时间不大于 1 s 时，相对误差不大于 0.1%^[22]；所用仪器仪表的量程和准确度应根据测量的实际情况选择。

2 测试平台设计

测试平台设计为软件平台和硬件平台两部分，两个部分通过数据交互形成闭环，从而满足自动测试，逻辑关系如图 2。

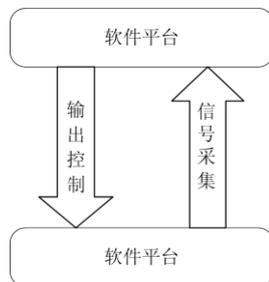


图 2 自动测试流程简图

Fig. 2 Flowchart of automatic test

硬件平台主要分为两个部分：

1) 提供充电桩正常运行的工况环境，主要包括充电电源和充电的对象(电动汽车电池管理系统)，该硬件环境基本满足对充电桩进行人工测试的需求。

2) 提供软件平台需要的运行环境，主要工控机硬件和软件需要的通信卡及采集卡等设备。

软件平台也主要分为两个部分：

1) 接口部分，提供对硬件平台的驱动信号，采集从硬件平台反馈的各种运行中间值。

2) 业务部分，进行测试管理工作，包括测试用例、测试序列配置，测试结果采集、结果校验并生成测试报告。

测试过程如下：

1) 软件平台进行测试用例配置，生成预期结果，并下达测试指令；

2) 硬件平台执行软件测试指令，提供测试过程及结果信息；

3) 软件平台采集到测试结果信息，与预期结果形成闭环逻辑，研判结果并形成测试报告。

2.1 测试系统的硬件设计

硬件平台设计为试验台格局，在满足功能要求的基础上，采用模块化的设计思想，将产品或系统划分为若干个功能、结构独立的模板，通过选择组合不同的模块，实现完成测试不同的产品和系统。系统由程控交流源、测量接口及插拔力采集装置、接口适配器、程控负载、主控平台及测量仪表组成。其架构见图 3，主要组成如下。

试验台的布置依据国标 GB/T 50303-2015、GB/T 32146.2-2015 的相关技术要求，采用的是半岛式的边实验台和中央实验台，强电和弱电分离，布线规范化，操作台集中控制，确保安全，为了提高测试效率，设计为可支持 4 通道的并行检测。

充电桩供电电源，依据国家标准中对充电桩的检测过程的要求^[23]，配置模拟调节交流电源，输入过欠电压保护检验，输出过压保护检验，软启动检验，急停功能检验等功能。

充电桩输出部分，基于充电桩与电动汽车之间的工作原理，分析电动汽车的内部结构，工作过程中参与充电过程的模块包含电动汽车 BMS 和充电线路两部分^[24-25]。设计电动汽车控制线路模拟器及电动汽车 BMS 模拟器，模拟电动汽车充电过程的各种正常及故障的状态^[26]。

另外选择适合的仪器，对充电机的输入电压、输出电压、输出电流、非车载充电机检测点电压及其波形、监控充电机与 BMS 的通信及运行情况并

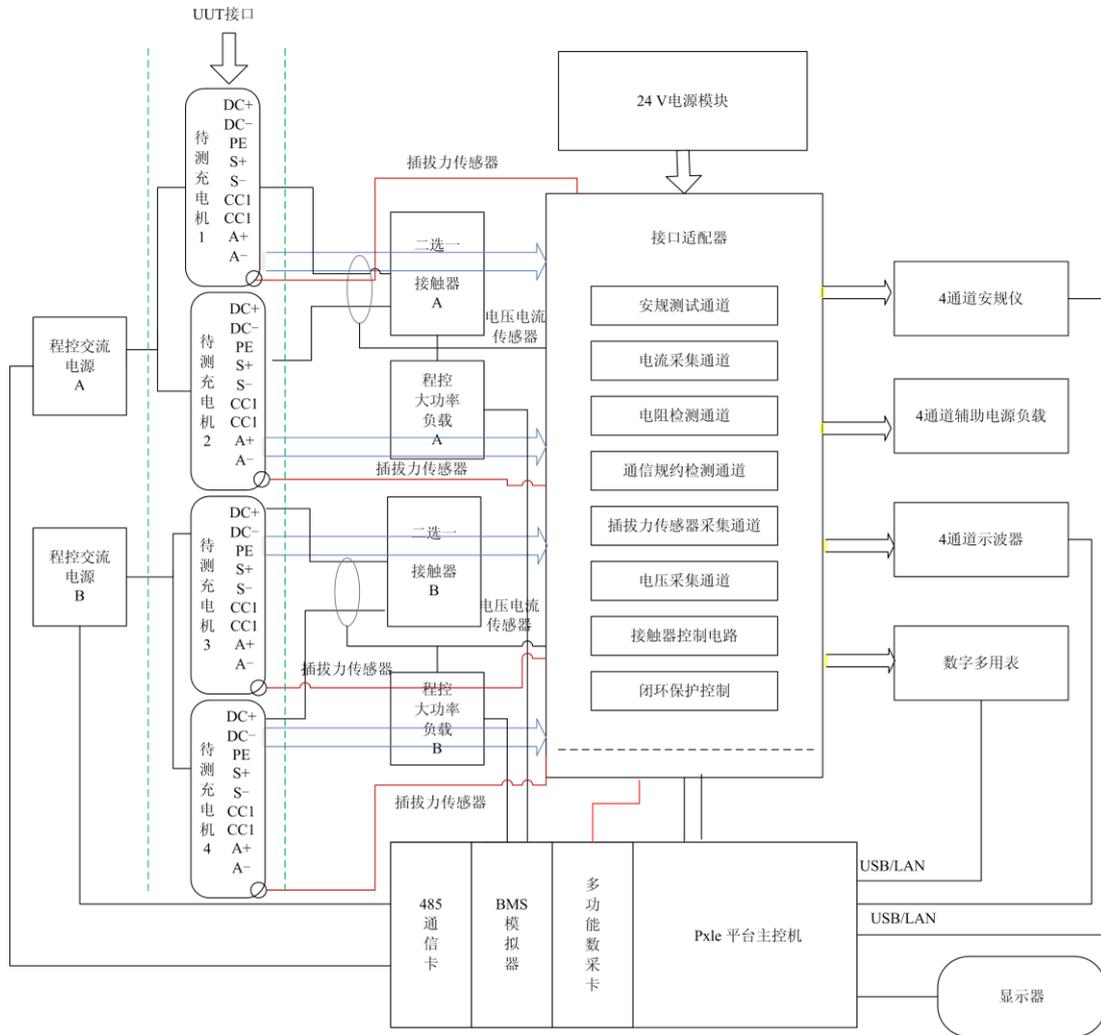


图 3 系统框架图

Fig. 3 System framework

提供运行数据上送接口, 对 4 通道并行检测结果进行归纳分析, 并输出检验报告。

2.2 硬件平台关键模块设计

2.2.1 充电线路模拟器设计

充电线路模拟器的程序流程图见图 4 所示, 工控机通过 RS485 通信卡与电动汽车直流控制线路模拟器进行通信, 由工控机发送指令给电动汽车直流控制线路模拟器的主控, 电动汽车直流充电线路模拟器的主控对进行的指令进行解析后, 从而切换相对应的继电器。电动汽车直流充电线路模拟器设计的目的是模拟电动汽车测试平台连接枢纽, 也就是电动汽车充电的电气线路。

1) 设计要求

(1) 实现并行 4 通道的测试项目, 模拟的各种输入、输出及功能实现, 重点是故障模拟。

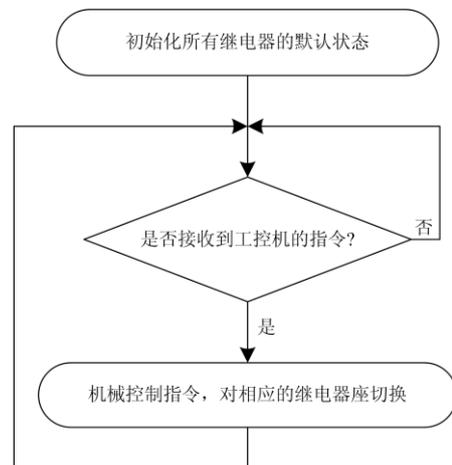


图 4 充电线路模拟器软件实现流程图

Fig. 4 Flow chart of charging circuit simulator software implementation

(2) 工控机通过 RS485 通信卡接口与直流充电线路模拟器通信控制继电器的切换。

(3) 兼容电动汽车测试系统的直流充电线路模拟器，模拟充电桩的各种电气状态。

(4) 将被测对象与测试设备连接，设计测试平台设备仪器的连接枢纽。

2) 实现功能

直流充电线路模拟器在具体线路仿真器的设计中，主要实现模拟电动汽车测试项目的各种电气状态。需要使其具有两个功能。

(1) 模拟非车载充电机充电线路的各种状态，测试电动汽车的各种通信、电气性能及安全等；

(2) 模拟电动汽车充电线路的各种状态，测试非车载充电桩的各种通信、电气性能及安全等。

在实际设计中，主要解决多通道并行测试过程中，在实际测试项目中，直流充电线路模拟器在电动汽车模拟模式下，如何实现各个测试项目的测试需求。

2.2.2 硬件平台电动汽车 BMS 模拟器的设计

电动汽车在充电过程中，电池管理系统 BMS 与充电桩进行低压辅助上电及充电握手阶段、充电参数配置阶段、充电阶段和充电结束四个阶段报文和充电机通信 CAN(Controller Area Network)接口进行连接，工控机与 BMS 模拟器通过 LAN 网口连接。主要实现如下功能：

1) 模拟电动汽车的电池管理系统 BMS，实现 BMS 与充电桩 CAN 通信，模拟正常通信与故障通信，测试充电桩充充电过程。

2) 工控机通过相关的通信协议，控制 BMS 模拟器并设置相应的报文参数，记录 BMS 模拟器与充电桩通信过程，同时实现测试项目所需要的故障报文测试。

BMS 模拟器软件执行过程如图 5 所示。BMS 模拟器软件两部分设计如下。

1) 通信软件设计：工控机配置通信报文的内容，并发送指令给 BMS 模拟器，BMS 模拟器接收到充电桩的对应指令报文并发送给控制器；

2) 根据 BMS 与充电机的通信标准要求设计 BMS 模拟器与充电桩通信软件。

2.2.3 电动汽车 BMS 与充电机通信过程设计

在充电桩的插头完全与电动汽车的插座连接后，充电桩的控制器检测到对应检测点电压为 4V 后，充电桩控制器接触器 K3/K4 接通，低压辅助电路导通，充电机与电动汽车的 BMS 开始进行通信。整个通信过程会分为物理层链接、数据链路层检验、应用层功能检验、充电流程通信检验、充电阶段检

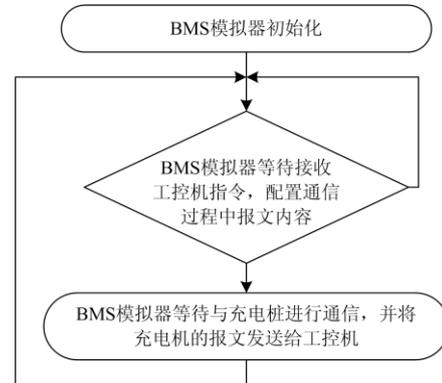


图 5 BMS 模拟器

Fig. 5 BMS simulator

验、数据及行为正确性检验。

1) 物理层检验：主要包括通信接口检验、通信波特率检验、电压幅值检验等。

2) 数据链路层检验：数据链路层的检验主要包括帧、格式检验、协议数据单元格式检验、参数组编号值检验、传输协议功能检验、地址检验。通过获取总线上 CAN 通信报文，分析报文内容，完成数据链路层的检验要求。

3) 应用层功能检验：应用层命令定义形式、请求功能、报文周期发送和事件驱动发送方式、参数组定义和扩充功能、故障诊断、报文信息单元发送等检验。

4) 充电流程检验：低压辅助上电及充电握手阶段检验和充电参数配置阶段检验、充电阶段和充电结束阶段等。

5) 充电阶段检验：主要对充电机充电状态报文 CCS 发送、接收 BMV、BMT、BSP 报文处理、中止充电报文 CST 发送、最小电流输出、中止充电报文 CST 发送、充电机最大输出、输入能力等检验。

6) 数据及行为正确性检验：主要针对充电机通信协议版本数据正确性、充电机握手辨识结果数据正确性、充电机时间同步报文数据正确性检验。

2.3 软件平台设计

自动测试软件平台基于 windows 系统开发，采用模块化的开发方法，各业务模块之间采用高内聚、低耦合的设计理念，整合各测试资源，管理各测试设备，确保整个测试过程可控、测试资源可控、测试数据可控；确保测试的完整和安全。

如图 6 系统软件架构所示，测试平台主要分为业务逻辑处理的应用层和硬件测试平台的接口层(包括驱动层和通信接口)两部分。

2.3.1 应用层功能设计

应用层实现系统参数配置、测试项目管理、数

据处理及存储、测试报告管理四大模块。

系统参数配置模块主要提供测试的全局参数配置接口, 如测试人员、日期、设备厂家及型号、硬件平台开入开出端口、通信端口及通信属性等信息。对配置好的系统参数提供分类存储, 可在实际测试中通过检索直接载入使用。

测试用例管理模块提供测试用例管理和测试用例序列管理两部分功能, 使测试用例一次设计、重复使用成为现实, 在自动测试的基础上, 极大提高了测试效率。测试用例就是针对不同型号被测对象

的不同, 测试项目设计特定的测试场景, 主要包括测试输入、预期结果和测试输出三个方面, 在实际测试中形成闭环, 从而完成单个项目的自动测试。根据被测产品的特性, 把多个不同的测试用例依据实际测试需求序列化地组合起来, 从而完成对被测产品的全面自动测试, 这一系列测试用例的组合, 称为测试用例序列。测试用例管理模块结构化的存储测试用例和用例序列, 提供检索功能并采用树状的管理结构提供给测试使用。

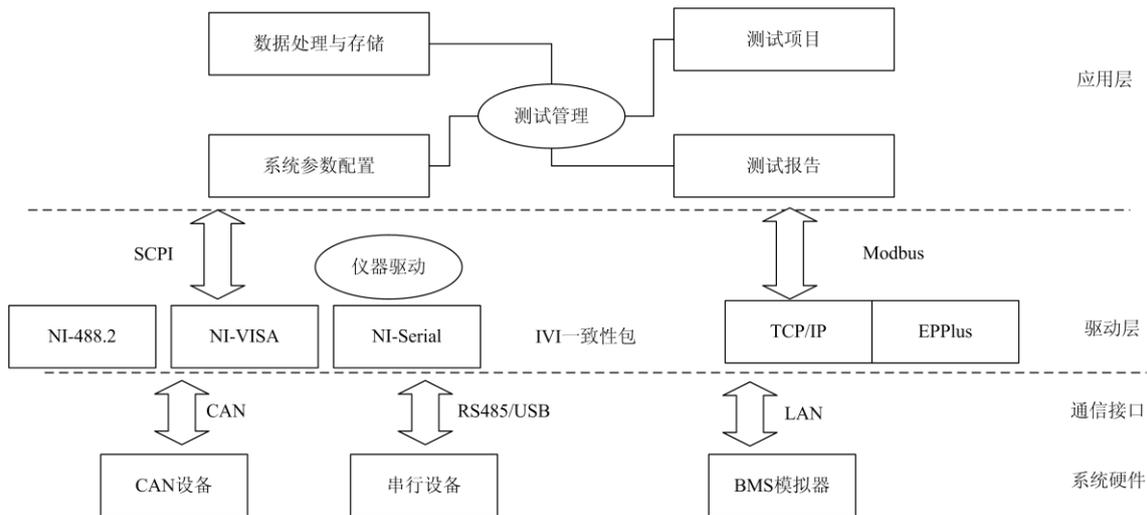


图6 自动测试系统软件结构

Fig. 6 Software structure of the automatic test system

数据处理及存储, 这里指测试过程及结果的数据处理及存储, 每次测试过程的中间数据都会结构化地存储于关系数据库中。可以根据测试的时间、测试人员、被测设备厂家、型号或者项目等, 通过模糊匹配算法, 从庞大的关系库中快速检索出某一次历史测试的数据, 便于后续问题的追溯, 增补测试报告。

测试报告管理主要提供报告生成及检索功能。通过组合并执行测试用例或者测试用例序列完成一次自动测试后, 测试报告模块会根据测试用例预期结果和测试实际采集到的结果比对, 通过定值校验, 结合系统参数中的配置, 生成测试结果并形成测试报告。

2.3.2 接口层功能设计

接口层为软件平台和硬件平台的交互服务, 业务层通过 SCPI 命令基于接口层对硬件平台交互。接口层分为驱动层和通信接口两部分。

驱动层整合了驱动软件 NI device driver, 负责设备接口管理。将设备抽象化, 可根据需要定义和

实现各种虚拟仪器并提供与业务层交互接口, 虚拟仪器的操作会通过设备接口驱动映射到实际的测试设备上, 从而实现了“与设备无关”的硬件操作接口, 实现工控机对整个自动测试设备的交互。当硬件发生变化时只需改变设备接口配置和参数即可, 增强了其易扩展性。

2.4 测试平台的实现

本文根据试验台的系统架构要求, 介绍了关键模块的设备选型和软件设计要求, 搭建一个四通道的电动汽车非车载充电机自动化检测系统。搭建完成的测试平台见图7。

测试系统的核心是 PXI 系统, 主要由程控交流源、测量接口及插拔力采集装置、接口适配器、程控负载、主控平台及测量仪表组成。PXI 系统内部通过 PXI 总线进行数据传输。控制器通过显示器、鼠标、键盘实现人机交互。

选择测试端口来测试对应端口的充电机, 配置成功后对应端口指示灯会点亮。自动测试平台使用非常便捷, 设置好测试参数及测试用例后, 点“启

动”测试按钮、测试平台就可以在无人值守的情况下，采用最大遍历算法，高质量高效率地执行测试并生成测试报告。执行步骤分为 7 个阶段，如图 8 所示。

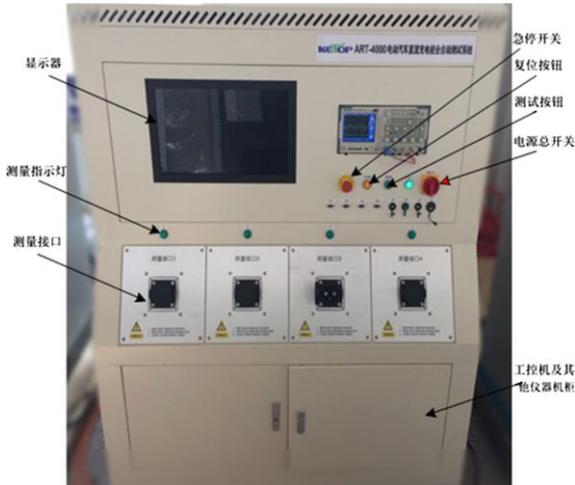


图 7 直流充电桩自动化测试平台
Fig. 7 DC charging pile automated test platform

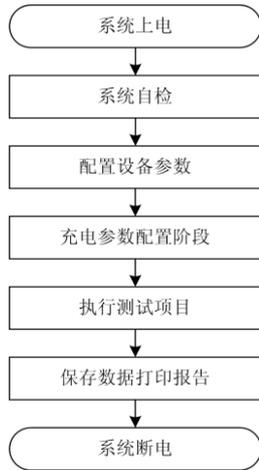


图 8 自动测试系统执行流程图
Fig. 8 Flow chart of automatic test system execution

- 1) 系统按照顺序依次将各设备的电源上电。
- 2) 系统自检，主要检测所有的设备是否正常连接。
- 3) 配置测试参数、测试用例或者测试序列，并自动验证配置是否可执行。
- 4) 第四阶段完成用户要求的系统参数配置，根据测试用例执行测试项目。根据 1)—4)的参数配置，执行过程中，会显示当前选择需要测试的测试项、所执行的序列步骤、测试通道等信息，测试过程中的报文内容会实时显示在界面右侧，如图 9 红色虚线框中所示。处于测试执行状态的界面如图 9。

- 5) 执行测试项目及数据的采集、记录、处理、存储和管理。
- 6) 根据测试结果，生成测试报告。
- 7) 系统断电。

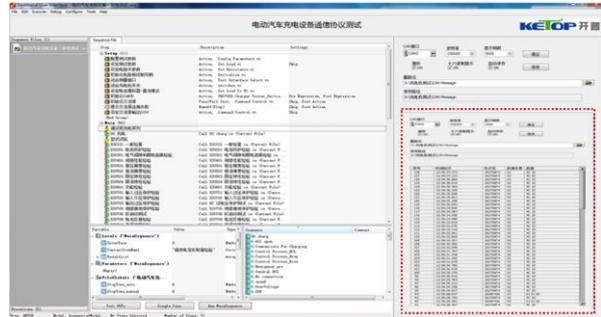


图 9 测试过程中的自动化测试平台界面
Fig. 9 Automated test platform interface during testing

3 试验平台的应用

试验平台能够准确、及时地反馈设备的运行状态，系统能够在设定的电压、电流要求内，对电机、控制系统等设备的状态进行监控、记录和波形绘制，可以捕捉到输入参数变化，对系统的动态变化情况进行波形的绘制，帮助试验过程的分析，能够完成对电动汽车的充电设备、电动汽车充电基本功能及电气及安全性能、电磁兼容、可靠性和通信规约等性能指标的试验。

1) 电气性能及安全测试功能实现

所有的电气特性的测试项目都是在充电阶段进行测试。试验点是指充电桩的工作条件，包括充电桩的输入电压及充电桩的输出电压电流。根据需要，试验时可增加其他试验点。整个的工作过程具体步骤的实现如下。

- (1) 系统上电。
- (2) 系统自检。
- (3) 设备参数配置初始化(具体包括 BMS 模拟器、直流供电电源、电子负载、示波器、直流充电线路模拟器、负载、输出电压等设备参数的配置)。
- (4) BMS 模拟器等待接收 CHM 报文，开始与充电机进行通信。
- (5) 在充电阶段时，BMS 模拟器发送试验点 BCL 报文，请求充电桩的工作状态为恒压。
- (6) 当 BMS 接收到 CCS 报文后，解析充电机充电总状态报文，判断当前充电机的输出电压是否为请求的状态。
- (7) 配置 BMS 模拟器不同的电压需求、电流需求参数，改变输出电压电流，测试并记录试验点数据。

(8) 工控机接受到输出电压电流改变的 CCS 报文, 发出指令控制负载、拉载, 然后发出指令控制功率及读取输出电压, 保存数据。

(9) 同样的过程配置对试验点进行测量。

(10) 记录工控机至少三个试验点的测量到的数据, 计算出误差, 在界面上显示。

(11) 工控机发出指令控制 BMS 发出充电结束报文, 测试结束。

在电气特性及安全的实验过程中, 充电桩先需要在 CV 模式下, 依次跑完所有试验点, 在每个试验点, 记录每个测试项目的测试数据并处理数据, 在最后一个试验点测试结束后, 需要重新启动。

2) 通信规约测试功能实现

在 2.2.3 节电动汽车 BMS 模拟器的设计中详细介绍了充电桩和电动汽车通信的过程。整个充电过程包括四个阶段: 低压辅助上电及充电握手阶段、充电参数配置阶段、充电阶段和充电结束阶段。在各个阶段, 充电机和 BMS 如果在规定的时间内没有收到对方报文或没有收到正确报文, 即判定为超时(对于多帧报文, 超时指在规定时间内没有收到对方的完整数据包或正确数据包), 超时时间除特殊规定外, 均为 5 s。当出现超时时, BMS 或充电机发送错误报文, 并进入错误处理状态。

3) 互操作性检验测试功能实现

在互操作性测试中, 需要分别对充电桩的各个阶段单独进行测试, 在每个阶段要在正常情况和模拟故障情况测试充电桩的响应是否符合国家标准。在连接阶段测试时, 绝缘自检检验、控制导引检验, 记录相关通道的波形, 并有游标表示测试充电过程。用户需要根据操作规范, 在插入测试系统时, 能够记录插拔力, 做插拔力检验。在物理连接阶段中, 工控机需要控制给示波器发送触发指令读取四个状态下的电压测量值, 记录充电配置阶段 K1K2 闭合时刻的电流冲击最大值。工控机可以通过发指令控制主板上的任意继电器的切换, 改变电气的状态, 从而模拟线路故障。

4 结论

本文介绍的电动汽车充电桩测试平台在开发、设计、建设过程中最大限度地贯彻我国各级现行标准, 搭建一个满足试验室的建设规范、功能完善的电动汽车充电系统测试平台^[27-28]。测试平台实现了自动化测试, 极大地提高了测试质量和效率, 改良原来单线程手工操作, 实现多通道并行测试, 并实现了自动完成配置的所有测试项目, 其自动测试能力大幅提高了测试效率, 避免传统人工长时间机械

重复操作引起麻痹而带来的疏漏, 程序控制下其测试的深度和广度是人力所不能及的, 四通道的并行测试, 直接把单台充电桩实验周期由原来的一周到半个月的测试周期缩短在一天之内完成。试验平台建成一年多, 测试充电桩 1 000 多台, 测试项目累计万余项, 测试平台对推动电动汽车充电设施的大规模建设起到推动和促进作用。

目前试验数据只做了出厂投运前的性能指标测试, 没有跟踪后期运行维护过程中的测试问题^[29-30]。建议将来考虑大数据分析, 每个试验产品生命周期内的测试数据都建立完整的档案, 对多厂家试验参数及试验问题记录的数据整理和分析, 建设基于大数据的产品检测试验方法是未来的方向, 这对改进和提升产品质量意义重大, 也是今后要考虑和研究的方向。

参考文献

- [1] 王潼, 李平. 中国新能源汽车充电基础设施产业建设研究[J]. 汽车工业研究, 2017(1): 4-9.
WANG Tong, LI Ping. Research on China's new energy vehicle charging infrastructure industry construction[J]. Auto Industry Research, 2017(1): 4-9.
- [2] 中国电力企业联合会. 电动汽车充电站设计规范: GB50966—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
China Electricity Council. Design specification for electric vehicle charging station: GB50966—2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [3] 宋辉, 徐永海. 规模化电动汽车充电对配电网电压质量的影响及其对策[J]. 现代电力, 2017, 34(3): 30-35.
SONG Hui, XU Yonghai. Impact of large-scale electric vehicle charging on voltage quality of distribution networks and countermeasures[J]. Modern Electric Power, 2017, 34(3): 30-35.
- [4] 国家电网公司. 电动汽车传导充电系统第 1 部分: 通用要求: GB/T18487.1—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
State Grid Corporation of China. Electric vehicle conductive charging system part 1: general requirements: GB/T 18487.1—2015[S]. Beijing: China Standards Press, 2015.
- [5] 彭红霞, 文艳, 王磊, 等. 基于两层知识架构的电力设备差异化运维技术[J]. 高压电器, 2019, 55(7): 221-226.
PENG Hongxia, WEN Yan, WANG Lei, et al. Differential operating maintenance technology of power equipment based on two-layer knowledge architecture[J]. High Voltage Apparatus, 2019, 55(7): 221-226.
- [6] 李洪涛. 电动汽车充电桩的分析与设计[J]. 精品,

- 2016(7): 120-120.
- LI Hongtao. Analysis and design of electric vehicle charging piles[J]. Excellent, 2016(7): 120-120.
- [7] 国家电网公司. 电动汽车充电设备检验试验规范 第 1 部分: 非车载充电机: NB/T 33008.1—2018[S]. 北京: 中国电力出版社, 2018.
- State Grid Corporation of China. Electric vehicle charging equipment inspection and test specification part 1: off-board charger: NB/T33008.1—2018[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2018.
- [8] 程杉, 吴思源, 孙伟斌. 考虑电压稳定性和充电服务质量的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(7): 12-21.
- CHENG Shan, WU Siyuan, SUN Weibin. Optimal planning of charging stations for electric vehicles considering voltage stability of distribution system and the quality of service[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(7): 12-21.
- [9] 中国电力企业联合会. 电动汽车电池更换站设计规范: GB/T51077—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- China Electricity Council. Electric vehicle battery replacement station design code: GB/T51077—2015[S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [10] 侯慧, 徐焘, 柯贤彬, 等. 电动汽车快充对配电网的风险研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 87-93.
- HOU Hui, XU Tao, KE Xianbin, et al. Research on risks of electric vehicle charging to distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(16): 87-93.
- [11] 广东产品质量监督检验研究院. 检验检测实验室设计与建设技术要求 第 2 部分: 电气实验室: GB/T 32146.2—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- Guangdong Product Quality Supervision and Inspection Institute. Technical requirements for the design and construction of inspection and testing laboratories part 2: electrical laboratories: GB/T 32146.2—2015[S]. Beijing: China Standards Press, 2015.
- [12] 国家电网公司. 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.
- State Grid Corporation of China. Electric vehicle conductive charging interoperability test specification part 1: power supply equipment: GB/T 34657.1—2017[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [13] 中国汽车技术研究中心. 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.
- China Automotive Technology Research Center. Electric vehicle conductive charging interoperability test specification part 2: vehicle: GB/T 34657.2—2017[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [14] 国家电网公司. 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/T34658—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- State Grid Corporation of China. Communication protocol conformance test between electric vehicle off-board conductive charger and battery management system: GB/T34658—2017[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [15] 胡胜, 卢铃, 罗勇, 等. 电池储能变电站噪声特性及控制技术[J]. 高压电器, 2019, 55(11): 283-289.
- HU Sheng, LU Ling, LUO Yong, et al. Research on noise characteristics and control technology of battery energy storage substation[J]. High Voltage Apparatus, 2019, 55(11): 283-289.
- [16] 程杉, 吴思源, 孙伟斌. 考虑电压稳定性和充电服务质量的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(7): 12-21.
- CHENG Shan, WU Siyuan, SUN Weibin. Optimal planning of charging stations for electric vehicles considering voltage stability of distribution system and the quality of service[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(7): 12-21.
- [17] 国家电网公司营销部. 电动汽车充电设施建设标准及相关文件[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [18] 冯义, 刘子文, 孙堃, 等. 专利分析法在国内新能源汽车技术创新研究中的应用[J]. 智慧电力, 2019, 47(11): 35-40, 47.
- FENG Yi, LIU Ziwen, SUN Kun, et al. Application of patent analysis method in domestic new energy vehicle technology innovation research[J]. Smart Power, 2019, 47(11): 35-40, 47.
- [19] 雷兴列, 潘巍巍, 胡礼军, 等. 电容型验电器影响因素研究[J]. 高压电器, 2019, 55(1): 203-208, 214.
- LEI Xinglie, PAN Weiwei, HU Lijun, et al. Study on the influence factors of capacitive electro-scope[J]. High Voltage Apparatus, 2019, 55(1): 203-208, 214.
- [20] 罗玲童, 杨明玉, 孟航. 微电网线路保护方案优化研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(2): 47-51.
- LUO Lingtong, YANG Mingyu, MENG Hang. Research on optimization of microgrid line protection scheme[J].

- Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(2): 47-51.
- [21] 周天沛, 孙伟. 电动汽车充电路径不确定优化调度[J]. 电测与仪表, 2019, 56(12): 79-84.
ZHOU Tianpei, SUN Wei. Optimal scheduling of electric vehicles for charging route under uncertainty[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(12): 79-84.
- [22] 颜湘武, 赵帅帅, 董清, 等. 电动汽车充电机性能综合评估[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(1): 164-171.
YAN Xiangwu, ZHAO Shuaishuai, DONG Qing, et al. Comprehensive evaluation of electric vehicle charger performance[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(1): 164-171.
- [23] 罗文雲, 周浩, 于乐淘, 等. 国内外电动汽车发展现状及优化建议[J]. 中国集体经济, 2018(5): 15-17.
LUO Wenyun, ZHOU Hao, YU Letao, et al. Development status and optimization suggestions of electric vehicles at home and abroad[J]. China's Collective Economy, 2018(5): 15-17.
- [24] 赵书强, 李志伟, 党磊. 基于城市交通网络信息的电动汽车充电站最优选址和定容[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(10): 8-15.
ZHAO Shuqiang, LI Zhiwei, DANG Lei. Optimal location and fixed capacity of electric vehicle charging station based on urban transportation network information[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(10): 8-15.
- [25] 张祿, 李国昌, 陈艳霞, 等. 基于数据挖掘的电动汽车用户细分及价值评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(22): 124-130.
ZHANG Lu, LI Guochang, CHEN Yanxia, et al. Customer segmentation and value evaluation method based on data mining for electric vehicles[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(22): 124-130.
- [26] 陶显峰. 电动汽车直流充电桩自动测试平台的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
TAO Xianfeng. Design and implementation of automatic test platform for electric vehicle DC charging pile[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018.
- [27] 周晓俊. 电动汽车交流充电导引电路的设计与实践[J]. 汽车实用技术, 2015(2): 84-87.
ZHOU Xiaojun. Design and practice of AC charging guidance circuit for electric vehicles[J]. Automotive Practical Technology, 2015(2): 84-87.
- [28] 高俊祥, 高孝亮. 电动汽车充电技术及应用探讨[J]. 电子制作, 2016(11): 14-15.
GAO Junxiang, GAO Xiaoliang. Discussion on electric vehicle charging technology and application[J]. Electronic Production, 2016(11): 14-15.
- [29] 中华人民共和国公安部. 建筑设计防火规范: GB 50016—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Code for fire protection of building design: GB 50016—2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [30] 常小强, 宋政湘, 王建华. 基于蒙特卡罗算法的电动汽车充电负荷预测及系统开发[J]. 高压电器, 2020, 56(8): 1-5.
CHANG Xiaoqiang, SONG Zhengxiang, WANG Jianhua. Electric vehicle charging load prediction and system development based on monte carlo algorithm[J]. High Voltage Apparatus, 2020, 56(8): 1-5.

收稿日期: 2020-01-10; 修回日期: 2020-12-14

作者简介:

胡韵华(1981—), 女, 工程硕士, 高级工程师, 从事自动化及保护设备行业发展分析工作; E-mail: yunhuah@dlwg.net

冯瑾涛(1980—), 男, 本科, 工程师, 从事光伏发电设备、储能设备及电动汽车充换电设备的产品检验及标准研究工作;

邓清闯(1980—), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力监控系统、智能诊断相关技术、继电保护及自动化产品的研究工作。

(编辑 周金梅)