

充电桩群控操作管理单元的设计与实现

胡道栋¹, 杨校辉¹, 克潇¹, 尹新涛¹, 徐石明²

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 利用两个充电桩同时对一辆电动汽车充电的技术, 设计了充电桩群控操作管理单元对多个充电桩控制管理, 既可对小功率的车单充, 又可对大功率的车双充。结合“互联网+”技术提出了手机 APP、在线卡和离线卡三种支付方式兼容的充电方法。在软件实现上采用模块化设计, 规范充电流程, 数据流通过消息总线机制在各模块间传输。在双充操作上, 充电桩群中任意两个充电桩都可以组合, 组合后在其中任一充电桩上可以启动和终止充电, 将充电中双桩设置主桩和辅桩进行管理。通过厦门多个公交站的运营情况表明, 该充电桩群控操作管理单元使用是稳定可靠的。与传统的充电装置相比, 使用充电桩群控操作管理单元使充电功率选择更多元化, 充电站设计成本更低。

关键词: 充电桩群; 快速充电; 双充; 充电流程; 充电支付方式

Design and implementation of charging pile group operation management unit

HU Daodong¹, YANG Xiaohui¹, KE Xiao¹, YIN Xintao¹, XU Shiming²

(1. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China; 2. NARI Group Co., Ltd, Nanjing 210000, China)

Abstract: By using the technology for charging an electric vehicle at the same time with two charging piles, a charging pile group operation management unit is designed to control and manage multiple charging piles, which can be used for both small power single charging electric vehicle and high power double charging electric vehicle. Combined with the "Internet plus" technology, it puts forward mobile phone APP, online and offline card charging method, the three modes of payment is used at the same time. In software, modular design is used to standardize charging process, and data stream is transmitted between modules through message bus mechanism; in the double charging operation, any two of the charging piles can be combined in charging pile group, charging can be started and terminated on any pile after the combination, and the main piles and auxiliary piles are installed in the charging of double piles for management. The operation of a number of Xiamen bus station shows that the charging pile group operation management unit is stable and reliable. Compared with the traditional charging device, charging pile group operation management unit makes the charging power choices more diversified and lowers cost for the charging station design.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFB0101800).

Key words: charging pile group; fast charging; double charging; charging process; charging payment mode

0 引言

环境污染和能源紧缺问题变得日益严峻, 汽车作为交通工具使用率日渐频繁, 而传统汽车能源不可再生, 面对消耗大、对环境污染严重的问题, 其发展受到越来越多的限制^[1], 使用电动汽车是一种环保、清洁、节能的可持续发展道路, 经近几年的发展, 电动汽车已突破各种技术难题, 电动汽车市

场的增长使得近年来充电站的研究和建设上也取得了显著的进步^[2-3]。为满足电动汽车的运营需求和使用效率, 电池也采用了不同的充电方式, 有采用换电方式的也有采用直接对车充电方式的^[4-5]; 充电站也在不停的演变, 从单纯的充电系统转变为复杂的充电、放电和储能等多功能的电网体系^[6], 使之成为电网的一部分, 进而参与能量管理^[7-9]。在充电技术发展方面, 电动汽车充电逐渐向“互联网+”和快速充电的方向发展^[10-12], 使用户充电的体验越来越人性化、安全和简单。

如何建立快速有效的充电站也是左右消费者选择电动汽车的关键因素^[13-14]，规划合适的充电站满足各种消费群体^[15]。随着电动汽车的发展，快速充电已越来越成为消费者关注的问题，而充电速度主要受充电桩最大输出功率和电池最佳充电时段两方面的制约^[16]，为解决这种问题，目前采用的技术手段是在充电站建立大功率快速充电桩，每个充电桩配备足够大的功率输出模块以及优化配电设备^[17-20]，另一方面，电动汽车也实现了电池双充的技术，具备两个充电桩对同一辆车充电的能力。

本文提出一种充电桩群控方法，使两个充电桩可以联合为一辆电动汽车充电，小功率充电桩充电功率叠加变成大功率对双充电动汽车快速充电，也可以单桩对小功率电动汽车充电，既满足了快速充电的要求，又降低了充电桩建设成本。

1 现状分析

目前充电站系统主要有两种模式，模式 1(如图 1)由监控系统、集中器和充电桩组成，多个充电桩通过一个集中器与监控系统通信；模式 2(如图 2)由监控系统、充电结算单元和充电桩组成，每个充电桩都通过各自的充电结算单元与监控系统通信。这两种模式有各自优缺点。

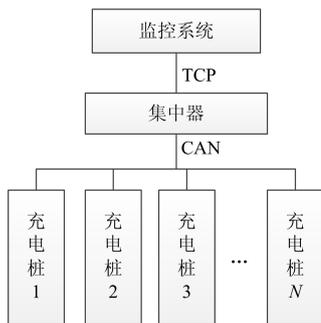


图 1 充电站模式 1
Fig. 1 Charging station mode 1

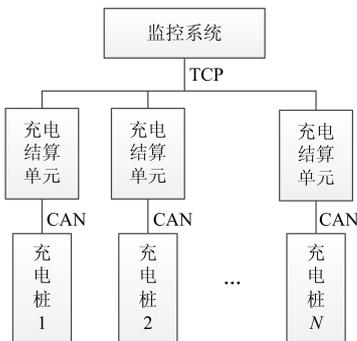


图 2 充电站模式 2
Fig. 2 Charging station mode 2

模式 1 的优点是充电结构简单，每个充电桩自带计费结算和交易记录存储功能，只需要利用集中器进行协议转换将充电桩 CAN 协议的数据转化为监控系统可以识别的 TCP 协议数据，一个集中器可以接多个充电桩，因此还具有成本低的优点。但缺点也很明显，因为充电桩一般采用的单片机控制板，系统简单，存储空间小，无法保存更多的数据导致出现交易记录丢失和无法获取历史数据进行故障分析，此外单片机不能提供较好的人机交互功能，不能满足互联网智能化的要求。基于此缺点模式 1 逐渐被模式 2 所代替。

与模式 1 相比，模式 2 的每个充电桩有个独立的充电机结算单元，充电结算单元采用 Linux 操作系统，简化了充电桩的功能，具有充电控制和结算功能，提供了可视界面让用户可以简单直观地操作充电流程，大的存储空间可以保存至少一年的充电数据，确保了交易记录的完整，对充电桩问题跟踪更简单。

此外，以上两种充电模式只能满足一个充电桩对一辆电动汽车充电，单个充电桩的输出功率有限，无法满足大功率电动车的快速充电需求，也无法实现多桩给一个电动汽车充电的要求；而市场上有各种功率的电动车，若将充电桩设计成大功率输出设备，面对小功率的电动车则是一种资源浪费。

针对以上模式的优缺点，本文设计了一种充电桩群控操作管理单元，实现两个充电桩可同时给一个电动车充电的功能，满足了大功率快速充电需求，也能服务小功率的电动汽车群体；一个群控操作管理单元管理多个充电桩，既满足了友好的人机交互和交易记录完整等功能，也降低了充电桩的运营成本。

2 方案设计

充电桩群控充电站系统框架如图 3 所示，该系统对充电桩启停控制和计费结算等逻辑处理都由充电桩群控操作管理单元完成，群控操作管理单元有以下基本功能。

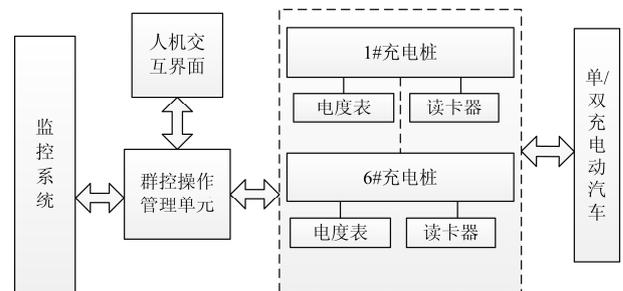


图 3 充电桩群控系统框架
Fig. 3 System framework of charging pile group control

- 1) 同时监控多个充电桩;
- 2) 支持手机 APP 扫码、刷卡充电, 其中刷卡兼容在线卡和离线卡两种卡模式;
- 3) 支持单桩和双桩充电, 即一个充电桩给电动汽车充电和两个充电桩同时给一辆电动汽车充电;
- 4) 能显示告警、充电信息、电池信息和结账信息;
- 5) 能查询卡片信息、历史警告和历史充电记录;
- 6) 能查询和设置削峰平谷各个时段和单价;
- 7) 支持辅电选择, 根据车辆辅电要求, 用户可以自己切换 12 V 和 24 V 辅电;
- 8) 掉电保护。

本文设计的充电桩群控操作管理单元主要功能是满足不同功率的电动汽车的充电需求, 尤其是两个充电桩对一辆电动汽车充电的操作, 充电桩群控操作管理单元通过对多个充电桩的合理管理控制, 使用户在选择双桩充一车的双充的充电模式后, 在任何一个充电桩上刷卡就可以启动和停止充电, 操作简单可靠。单充与双充的随机选择, 满足了大功率快速充电的要求, 提高了充电桩的使用效率, 也降低了充电桩成本。

3 系统整体框架

3.1 硬件选型

根据设备功能和系统要求, 本文采用的是主频 800 MHz 的 TI AM3354 Sitara ARM Cortex-A8 处理器, 内存为 512 M 的 DDR2 和 1 GB 的 Nand Flash。主要的外接设备口有 1 路液晶显示屏的 LVDS 接口, 三路 RS232, 除了一路备用, 其他两路分别是用于调试的 Console 口和用于接定位的 GPS 模块, 1 路 10/100 M 的 RJ45 接口用于与上级系统的有线通信, 1 路 CAN 用于与充电桩通信, 以及外插式安装的 4 G 通信 SIM 卡插槽和 4 G 信号天线接口。

用于人机交互的显示屏选用最大亮度为 700 cm/m², 分辨率为 800×600 的 7 寸真彩色电阻触摸屏, 屏量度分为 0 到 100 级, 0 级是屏保状态, 为了省电本文设计了屏保功能, 在无人操作的情况下, 1 min 后屏亮度由 100 级变为 50 级, 再过 1 min 后转为屏保模式, 通过调用接口函数实现对屏亮度和变化时间随意设置。

本装置还具有掉电保护功能, 对充电中突然掉电的情况, 装置会提供 30 s 的供电时间用于处理充电结算处理和数据储存, 保障了交易记录的完整性。实现方法是掉电瞬间, 掉电检测器会触发掉电处理的软件函数接口。

3.2 系统软件设计

系统软件框架如图 4 所示, 系统软件是基于 C/C++语言和 Visual Studio 2008 工具, 借助 ACE 6.0.5, QT 4.8.2, Log4cxx 10.0.0 和 SQLite 等第三方库的环境开发的, 通过 gcc 4.5.3 环境编译, 运行于 Linux 3.14 操作系统。

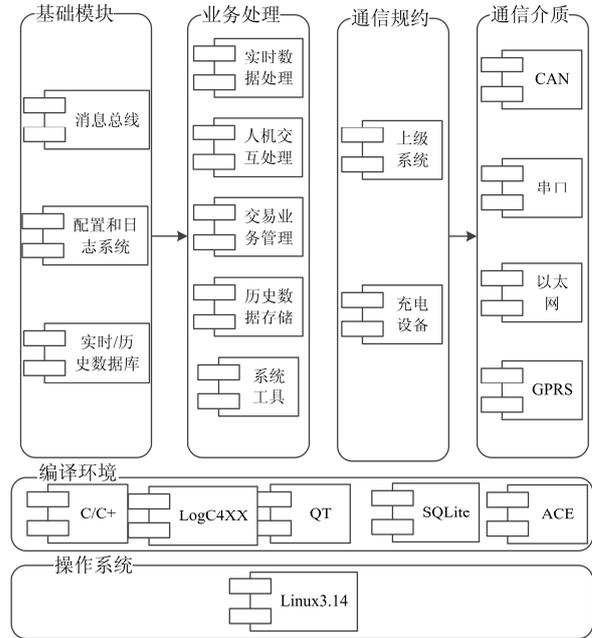


图 4 系统软件框架图

Fig. 4 Framework of the software system

软件开发采用模块化设计, 各模块之间相互独立, 通过消息机制进行数据交互, 如图 4 所示。软件代码部分主要分为三块, 基础模块、业务处理块和通信规约块, 各自功能如下。

1) 基础模块主要包括消息总线、配置和日志系统以及实时/历史数据库。消息总线功能是传递各模块之间的数据, 并为各个模块提供定时器, 每个模块在初始化时都注册一个消息主体名, 在向其他模块发送数据时, 只需要将数据和接受数据的消息主体名投送给消息总线即可, 同时消息总线提供了定时器, 模块将自身消息主体名、定时器 ID 和定时周期发给消息总线, 就可以触发定时器; 通信协议和装置参数在配置文件里配置, 程序运行时每个模块将各自的日志保存在日志系统里, 调试过程中可以随时下载进行数据分析和故障排查; 实时/历史数据库作为数据池用于各模块对数据的存储和获取。

2) 业务处理块主要包括实时数据处理、人机交互处理、交易业务处理、历史数据存储和系统工具。该块是针对充电过程的处理, 从用户通过人机交互界面操作开启充电, 到充电中的实时数据处理和电

量、金额以及充电时间等交易业务的计算，最后充电结束后形成交易记录存储在历史库；该块的系统工具主要是文件下载、数据分析和程序调试等工具，用于对装置运行的本地监视和调试。

3) 通信规约块负责与外部设备数据交互，交互对象主要是 CAN 通信协议的充电桩和 TCP 通信的上级系统。

4 充电流程功能实现

本文设计的充电桩群控操作管理单元可以同时控制 6 个充电桩，充电模式有单桩充一车的单充模式和双桩充一车的双充模式，两种充电模式并存，相对于单充模式，双充模式控制更复杂，交易业务处理逻辑更繁琐，本文以双充模式介绍整个充电流程。

充电支付方式有三种，分别为手机 APP、在线卡和离线卡。手机 APP 和在线卡属于在线充电，使用这两种方式启动充电的前提是充电桩群控操作管理单元处于在线状态，属于电子账户保存在上级系统平台里，在线卡可以与手机 APP 关联，共用一个账户，关联后，对在线卡启动的充电可以通过手机 APP 查看充电过程数据和停止充电操作；离线卡充电对充电桩群控操作管理单元是否在线没有要求，离线卡的账户资金存储在卡里。充电启动时将先在卡或手机 APP 账户里预扣充电金额，账户金额小于设定预扣金额时，预扣金额为账户余额，充电结束后将未消费的预扣返还到账户，采用预扣机制的特点是可以允许同一个账户同时启动多次充电业务。本文以卡支付方式介绍整个充电流程的实现。

充电桩群控操作管理单元的软件程序是采用模块化设计的，因而，充电流程是负责与上级系统交互的 M104 模块，负责与充电设备交互的 CAN 模块，交易业务处理的 Trade 模块和人机交互的 Xiew 模块之间数据流的交互过程，数据流在各程序模块之间传递由消息总线完成，消息总线负责接收数据和发送数据。

4.1 启动充电流程

充电桩群控操作管理单元的人机界面显示 6 个充电桩的信息，包括充电桩的状态(待机、故障、充电)、车辆连接状态、充电过程信息以及交易记录信息。双充电动汽车随机选择两个空闲充电桩连接后在人机界面选择双充模式，在所选择的两个充电桩上刷卡或使用手机 APP 扫码后即可启动充电，若用户不在人机界面选择双充模式，则默认为单充，在哪个充电桩启动充电则只有该充电桩给电动汽车输出充电功率。

双桩同时对一个电动汽车充电，充电的启停操作只需在其中一个充电桩上完成，为了提高充电控制可靠性，充电桩群控操作管理单元将这两个充电桩分为主从桩，用户在哪个桩上启动充电，该桩则被判定为主桩，充电桩群控操作管理单元只对主桩下发启动和停止充电，从桩的充电命令由主桩控制，除了充电控制命令，充电桩的遥测遥信等数据收发不受桩的主从身份的影响。

双充模式下的刷卡充电启动流程如图 5 所示，具体流程如下：

1) 用户将电动汽车与任意两个空闲充电桩连接后，在人机界面选择双充模式以及双充的两个充电桩，人机界面将双充的桩信息发送给 CAN 模块。

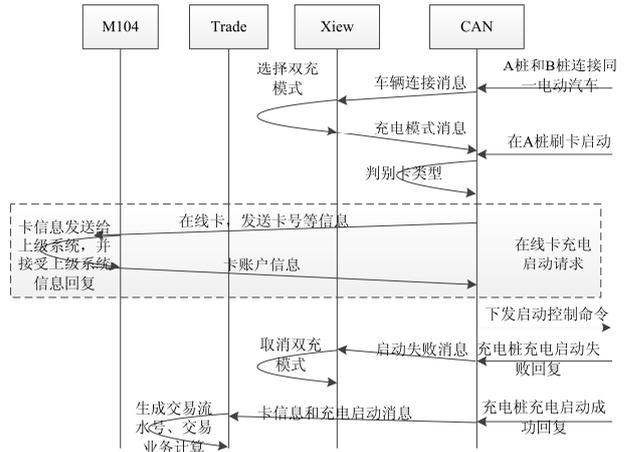


图 5 刷卡充电启动流程

Fig. 5 Swiping card charging start process

2) 用户在其中一个充电桩上刷卡，CAN 模块收到卡信息后判别卡类型并将该充电桩设置为主桩，若为离线卡，CAN 模块直接向充电桩发送充电启动命令，若为在线卡，则将卡信息通过 M104 模块发给上级系统查询该在线卡账户是否存在且可用，并回复给 CAN 模块，CAN 模块向主桩发送充电启动命令。

3) 启动命令包含充电模式，辅桩编号，卡合法性等信息，对于判断不合法的卡，主桩直接回复充电启动失败，通知人机界面取消双充模式，对于判断合法的卡，主桩收到充电启动命令后向辅桩发送充电启动命令，两个充电桩与车辆 BMS 通信，将 BMS 信息对比，判断 BMS 是否属于同一个 BMS，若属于同一个 BMS 则两个充电桩启动充电，否则主桩回复充电启动失败，通知人机界面取消双充模式。

4) CAN 模块收到充电启动成功后，将开始充电信息发送给 Trade 模块，开始充电信息包含卡信息、

预充金额、充电模式及双充的两个充电桩号等, Trade 模块生成交易流水号并开始对充电业务进行计费计算。

手机 APP 扫码启动充电流程是用户选择好充电方法后, 在充电桩上扫描二维码, 后上级系统给 M104 模块发启动命令, 再发给 CAN 模块, CAN 模块设置主桩信息并下发充电启动命令, 充电启动成功后, 手机 APP 会生成一个验证码, 在人机界面可以输入验证码停止充电, 此功能用于在充电过程中充电桩群控操作管理单元与上级系统通信异常时无法使用手机 APP 操作的情况; 若在线卡与手机 APP 关联, 充电启动成功后, 手机 APP 也会生成一个验证码。

4.2 充电中流程

充电桩实时给充电桩群控操作管理单元发送电表的读数, 包括削峰平谷和总电能读数, 充电桩群控操作管理单元的 CAN 模块将电表信息实时更新到实时库。充电启动后, Trade 模块从实时库获取电表读数作为充电起始数据保存, 充电过程中, Trade 模块周期从实时库获取电表读数与充电起始数据做逻辑差运算, 计算出充电电量, 再根据费率计算出充电金额, 当充电金额到达预扣金额时, 充电桩群控操作管理单元向主桩下发充电停机命令。

4.3 停止充电流程

充电业务停止分三种情况, 用户人为终止充电、预扣金额消费完终止充电和电动汽车充满终止充电, 这三种情况下的流程都不一样。

4.3.1 用户人为终止充电流程

双充模式下的刷离线卡终止充电流程如图 6 所示, 具体流程如下。

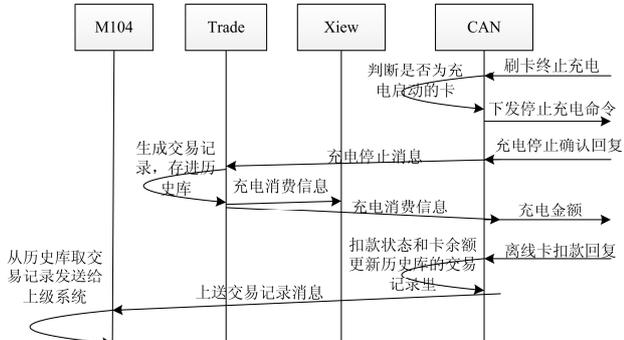


图 6 刷离线卡终止充电流程

Fig. 6 Swiping off-line card to terminate the charging process

1) 用户在主桩或辅桩上刷卡, 充电桩群控操作管理单元的 CAN 模块接收到充电桩发送的卡信息后, 与充电启动时的卡号对比, 若卡号正确则向主桩下发停机命令, 同时向刷卡的桩回复卡信息, 若

卡不正确则只给刷卡的桩回复卡信息。

2) 主桩收到停止充电命令后终止充电并向辅桩发送停止充电命令, 充电停止成功后通知充电桩群控操作管理单元, Trade 模块进行充电结算, 将交易记录存进历史库, 并将消费信息通知人机交互模块和 CAN 模块。

3) 人机交互模块收到充电消费信息后将会在人机界面一直显示, 直到充电车与充电桩连接断开; CAN 模块收到消费信息后将充电金额发给刷卡的桩, 充电桩上的读卡器对离线卡账户进行结算。

4) 充电桩将扣款信息反馈给充电桩群控操作管理单元的 CAN 模块, 由 CAN 模块更新到历史库的交易记录里并通知 M104 模块发送到上级系统, 扣款信息包含卡是否结算成功和卡余额, 若卡结算失败, 卡则会又一次灰锁记录, 需要在上级系统解灰。

相比离线卡, 在线卡刷卡停止充电后, Trade 模块生成交易记录存储到历史库后直接通知 M104 模块发送到上级系统, 在上级系统进行账户结算, 到此充电流程结束。若在线卡与手机 APP 关联, 用户可以使用手机 APP 停止充电和在人机界面输入验证码方式停止充电。手机 APP 停止流程是, 手机 APP 控制指令通过上级系统发送给充电桩群控操作管理单元的 M104 模块, 再转发到 CAN 模块后给主桩下发停机命令, 停止充电后, Trade 模块生成交易记录存储到历史库后直接通知 M104 模块发送到上级系统, 在上级系统进行账户结算; 在人机界面输入验证码方式停止充电与手机 APP 类似, 不同之处是停机命令由人机界面模块发给 CAN 模块的。

4.3.2 电动汽车充满终止充电流程

双充模式下的离线卡充电时电动汽车充满终止充电流程如图 7 所示, 具体流程如下。

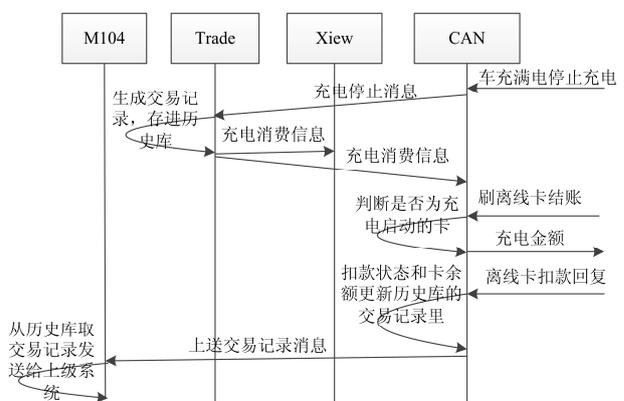


图 7 电动汽车充满终止充电流程

Fig. 7 Electric vehicle terminating charging processes after full

1) 电动汽车充满后，两个充电桩停止充电并由主桩向充电桩群控操作管理单元的 CAN 模块通知充电已停止信息，CAN 模块将充电停止信息发送给 Trade 模块充电结算，将交易记录存进历史库，并将消费信息通知人机交互模块和 CAN 模块。

2) 若使用的是离线卡，还需要刷卡结账，刷卡后充电桩群控操作管理单元的 CAN 模块判别卡的正确性，若正确则向充电桩回复充电消费金额，充电桩上的读卡器对离线卡账户进行结算。

3) 充电桩将扣款信息反馈给充电桩群控操作管理单元的 CAN 模块，由 CAN 模块更新到历史库的交易记录里并通知 M104 模块发送到上级系统，扣款信息包含卡是否结算成功和卡余额，若卡结算失败，卡则会又一次灰锁记录，需要在上级系统解灰。

对于手机 APP 和在线卡启动的充电，电动汽车充满终止充电流程相比于离线卡，没有刷卡结账过程，Trade 模块生成交易记录存储到历史库后直接通知 M104 模块发送到上级系统，在上级系统进行账户结算。

4.3.3 预扣金额消费完终止充电流程

双充模式下的离线卡充电时如图 8 所示，预扣金额消费完后，Trade 模块通知 CAN 模块对主桩下发停止命令，其刷卡结账部分与电动汽车充满终止充电流程相同。手机 APP 和在线预扣金额消费完终止充电流程卡启动的充电，预扣金额消费完后，Trade 模块通知 CAN 模块对主桩下发停止命令，同时通知 M104 模块发送到上级系统，在上级系统进行账户结算。

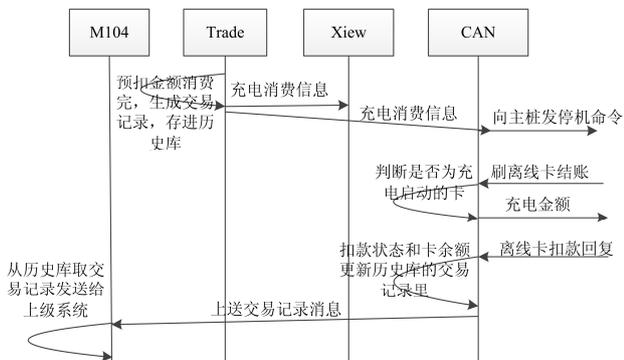


图 8 预扣金额消费完终止充电流程

Fig. 8 Terminating charging processes after money running out

5 结语

本文设计的充电桩群控操作管理单元对充电桩群进行控制管理，可以使单个充电桩给低功率的电动汽车充电，也可以使一个充电桩与桩群中任一空闲的桩一起给大功率的双充电动汽车充电，实现

了慢充和快充的结合，满足多种用户的需求，而无需建立大功率输出的充电桩，从而降低了建设成本。利用“互联网+”技术，使用电子账户，实现了手机 APP、在线卡和离线卡三种支付方式同时使用，既增加了支付方式的多样性，又能使充电桩在离线和在线情况下都能使用。充电桩群控操作管理单元的设计满足充电功率越来越大，充电时间越来越快，支付方式越来越简单方便的需求。目前，该产品已在市场上得到应用，例如厦门公交充电站、广东官窑充电站、浙江湖州公交塘口充电站等十多个充电站、从市场反馈情况，该充电桩的模式越来越受欢迎，市场规模在进一步扩大。

参考文献

- [1] 王璟, 王利利, 郭勇, 等. 计及电动汽车的微电网经济调度方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(17): 111-117.
WANG Jing, WANG Lili, GUO Yong, et al. Microgrid economic dispatch method considering electric vehicles[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(17): 111-117.
- [2] 汪春, 吴可, 张祥文, 等. 规模化电动汽车和风电协同调度的机组组合问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 41-48.
WANG Chun, WU Ke, ZHANG Xiangwen, et al. Unit commitment considering coordinated dispatch of large scale electric vehicles and wind power generation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 41-48.
- [3] 段庆, 孙云莲, 张笑迪, 等. 电动汽车充电桩选址定容方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(12): 88-93.
DUAN Qing, SUN Yunlian, ZHANG Xiaodi, et al. Location and capacity planning of electric vehicles charging piles[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(12): 88-93.
- [4] 徐鹏, 陈祺伟, 连湛伟, 等. 一种电动公交车充换电站动力电池全自动更换技术方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 150-154.
XU Peng, CHEN Qiwei, LIAN Zhanwei, et al. An EV charging/swap station automatic battery replacement technology[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 150-154.
- [5] 胡道栋, 张娟, 克满, 等. 电动汽车充换电站换电操作管理单元的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 136-140.
HU Daodong, ZHANG Juan, KE Xiao, et al. Design and implementation of the battery-swapping operation control unit at the EV charging/swap station[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 136-140.
- [6] 周念成, 蒲松林, 王强钢, 等. 电动汽车快速充电站的储能缓冲系统控制策略[J]. 电力系统保护与控制,

- 2013, 41(17): 127-134.
 ZHOU Niancheng, PU Songlin, WANG Qianggang, et al. Control strategy of energy storage buffer system for fast charging electric vehicle station[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(17): 127-134.
- [7] ZHENG Dehua, ESEYE A T, ZHANG Jianhua, et al. Short-term wind power forecasting using a double-stage hierarchical ANFIS approach for energy management in microgrids[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 136-145. DOI: 10.1186/s41601-017-0041-5.
- [8] LI Han, ESEYE A T, ZHANG Jianhua, et al. Optimal energy management for industrial microgrids with high-penetration renewables[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 122-135. DOI: 10.1186/s41601-017-0040-6.
- [9] 王建, 吴奎华, 刘志珍, 等. 电动汽车充电对配电网负荷的影响及有序控制研究[J]. 电力自动化设备, 2103, 33(8): 47-52.
 WANG Jian, WU Kuihua, LIU Zhizhen, et al. Impact of electric vehicle charging on distribution network load and coordinated control[J]. Electric Power Automation Equipment, 2103, 33(8): 47-52.
- [10] 杨茜, 邓建慎, 李洪峰, 等. 电动汽车公共服务与互动平台设计研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 137-144.
 YANG Xi, DENG Jianshen, LI Hongfeng, et al. Design and research on public service and interactive platform in electric vehicle[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 137-144.
- [11] 刘闯, 李伟, 孙佳俊. 一种应用于电动汽车快速充电站的高频隔离双级功率变换器[J]. 电网技术, 2017, 41(5): 1636-1643.
 LIU Chuang, LI Wei, SUN Jiajun. A high-frequency-isolation two-power-stage converter applied in electric vehicle fast charging station[J]. Power System Technology, 2017, 41(5): 1636-1643.
- [12] 李洪峰, 李红霞, 陈志刚, 等. 一种新型电动汽车充电桩技术方案探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 142-147.
 LI Hongfeng, LI Hongxia, CHEN Zhigang, et al. Discussion on technology scheme of a new EV charging pile[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6): 142-147.
- [13] 王辉, 王贵斌, 赵俊华, 等. 考虑交通网络流量的电动汽车充电站规划[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(13): 63-69.
 WANG Hui, WANG Guibin, ZHAO Junhua, et al. Optimal planning for electric vehicle charging stations considering traffic network flows[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(13): 63-69.
- [14] 郭春林, 肖湘宁. 电动汽车充电基础设施规划方法与模型[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(13): 70-75.
 GUO Chunlin, XIAO Xiangning. Planning method and model of electric vehicle charging infrastructure[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(13): 70-75.
- [15] 贾龙, 胡泽春, 宋永华. 考虑不同类型充电需求的城市内电动汽车充电设施综合规划[J]. 电网技术, 2016, 40(9): 2579-2587.
 JIA Long, HU Zechun, SONG Yonghua. An integrated planning of electric vehicle charging facilities for urban area considering different types of charging demands[J]. Power System Technology, 2016, 40(9): 2579-2587.
- [16] BAE S, KWASINSKI A. Spatial and temporal model of electric vehicle charging demand[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(1): 394-403.
- [17] 李志伟, 赵书强, 刘应梅. 电动汽车分布式储能控制策略及应用[J]. 电网技术, 2016, 40(2): 442-450.
 LI Zhiwei, ZHAO Shuqiang, LIU Yingmei. Control strategy and application of distributed electric vehicle energy storage[J]. Power System Technology, 2016, 40(2): 442-450.
- [18] 颜湘武, 恩日, 海日, 等. 典型住宅小区接入电动汽车的供电方式研究[J]. 电网技术, 2014, 38(4): 910-917.
 YAN Xiangwu, EN Ri, HAI Ri, et al. Research on power supply modes for typical residential communities integrated with charging station for electric vehicles[J]. Power System Technology, 2014, 38(4): 910-917.
- [19] 李斌, 刘畅, 陈慧妙, 等. 基于混合整数规划的电动公交车快速充电站有序充电策略[J]. 电网技术, 2016, 40(9): 2623-2629.
 LI Bin, LIU Chang, CHEN Huimiao, et al. Coordinated charging of plug-in electric buses in fast charging stations based on mixed-integer programming[J]. Power System Technology, 2016, 40(9): 2623-2629.
- [20] 董晓红, 穆云飞, 于力, 等. 考虑配网潮流约束的高速公路快速充电站校正规划方法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(6): 124-131.
 DONG Xiaohong, MU Yunfei, YU Li, et al. Freeway FCS planning and correction considering power-flow constraints of distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(6): 124-131.

收稿日期: 2017-09-26; 修回日期: 2018-05-02

作者简介:

胡道栋(1985—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电动汽车充换电站系统设计; E-mail: hudaodong@163.com

杨校辉(1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电动汽车充换电站系统设计;

克 潇(1982—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电动汽车充换电站系统设计。

(编辑 周金梅)