

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2017.02.018

基于无线通讯的电动汽车与智能配电网的互动模式研究

万成江, 邱晓燕, 邱高, 闫天泽, 刘廷博, 唐可

(四川大学电气信息学院四川省智能电网重点实验室, 成都 610065)

摘要: 智能车载终端的无线通讯技术为电动汽车与电网的互动提供了通讯基础。构造了电动汽车、充电站以及智能配电网三者之间的无线通讯网络;阐述了该无线通讯网络的功能结构和运营模式;实现了电动汽车与配电网之间实时信息互动。在此基础上,建立了电动汽车、充电站以及智能配电网之间信息和能量的交互模式。在考虑用户侧需求的基础上,建立了电动汽车充放电控制模型;并分析了电动汽车无线通讯网络的可行性,以及电动汽车和电网互动的经济效益。

关键词: 智能车载终端;无线通信网络;电动汽车;智能配电网;互动

Interaction Model Between Electric Vehicle and Intelligent Distribution Network Based on Wireless Communication Technology

WAN Chengjiang, QIU Xiaoyan, QIU Gao, YAN Tianze, LIU Yanbo, TANG Ke

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Key Laboratory of Sichuan Province of Smart Grid, Chengdu 610065, China)

Abstract: Based on the wireless communication technology of Intelligent vehicle terminal (IVT), a wireless communication network among electric vehicles, charging stations and intelligent distribution network, and the structure and operation mode of the wireless communication network is discussed. The real-time information interaction between intelligent distribution network and electric vehicles is realized. In the communication network, an information and energy interaction model among electric vehicles, charging stations and intelligent distribution network is established, and a management model of charging and discharging for electric vehicles is built considering the needs of user side. Moreover, the feasibility of the wireless communication network for electric vehicles, as well as the economic benefits of the interaction between electric vehicles and intelligent distribution network, is analyzed.

Key words: intelligent vehicle terminal (IVT); wireless communication network; electric vehicles; intelligent distribution network; interaction

0 引言

EVs (electric vehicles) 与智能配电网的互动具有巨大潜力, EVs 作为分布式储能单元, 可以为电网提供削峰填谷、运行备用、事故备用、调频调压等辅助服务^[1], 合理规划 EVs 充电设备的建设, 可以提高智能配电网对清洁能源的利用率^[2], 还可以提高电能质量以及电能传输效率^[3-4], 减少电网一次设备投资^[5], 对

电网的安全、稳定、可靠、经济运行具有重要意义^[6]。

EVs 的充放电行为具有很大的随机性, 且对于电网而言, 单辆电动汽车的电池容量不具有可调度性^[7], 要实现电网直接对所有 EVs 的控制几乎不可能。充电站能够聚合大量 EVs, 是能量和信息的聚散中心, 可作为智能配电网监控 EVs 的窗口。

文[8]建立了 EVs 充电站监控系统, 包括系统模型、信息模型以及通信模型。充电站具备一定的通信和控制功能, 但不足以使 EVs、充电站以及智能电

收稿日期: 2016-08-24; 修回日期: 2016-10-07

基金项目: 四川省科技支撑项目(2014JY0191)。

Project Supported by Science and Technology Support Project of Sichuan Province(2014JY0191).

网形成一个系统的网络。文[9]构造了充放储一体化电站,实现对 EVs 信息监视、处理和控制,使 EVs 与电网的互动转变为 EVs 与充电站的互动。然而这种互动模式,不利于智能配电网优化资源配置。EVs 通信具有移动性和多样性等特点,文[10]构造了 EVs 智能网络控制系统,实现 EVs 与电网双向信息交互,以及对 EVs 充放电的控制,但是 EVs 充放电控制过程没有充分考虑 EVs 用户侧需求。文[11]提出了将网络化的服务系统与电网调度运行相结合的互动模式。文[12]对电动汽车充电站运营模式的探讨,在充分考虑用户侧需求的基础上,对比分析了“整车充电”和“电池更换”两种运营模式。文[11-12]都没能解决 EVs、充电站以及电网之间通信的问题。

EVs 与智能配电网互动的实质是以能量和信息的互动为基础,搭建各级能量管理平台、建立 EVs 市场服务机制、以及平衡各个参与者之间的利益。其关键是要实现对 EVs 的有效监控。无线通讯方式中新兴的通用分组无线业务技术(general packet radio service, GPRS)为建立 EVs 监测系统提供了技术条件。无线通讯具有覆盖范围广、响应速度快、安全性高和经济性好等特点^[13],适应了 EVs 移动性和多样性的要求,而融合无线通讯技术的车载智能终端(intelligent vehicle terminal, IVT)^[14]为 EVs 和智能配电网提供了通信载体。在此基础上,构建各级优化服务软件系统、信息和能量管理系统,实现电网对 EVs 的有效监测。

建立更加完善的 EVs 能量和信息管理机制,以及 EVs 实时监测通信系统,是 EVs 参与电网互动的重要部分。文中以 IVT 为 EVs 无线通信终端,构造了 EVs、充电站、智能配电网三方无线通信网络,应用 IVT 无线通讯技术实现 EVs 与配电网之间能量和信息的双向互动。在此基础上,提出了 EVs 信息和能量的管理模式;在考虑用户侧和电网侧需求的基础上,构建了 EVs 充放电控制模型。

1 EVs 无线监测网络

EVs 无线监测网络是在无线通讯技术的基础上,利用 GPRS 移动通信网络、GPS 卫星定位系统、CAN 通信技术等,以 IVT、充电站 GPRS 无线终端、智能配电网 Internet 为通讯载体,以各级能量管理系统为优化服务平台,搭建 EVs、充电站、智能配电网三者之间的实时通信网络。

1.1 GPRS

GPRS 是一种基于包的无线通讯服务,主要是在移动用户和远端的数据网络之间提供一种连接,

具有以下特点。

1)传输速率高,可达 114 kbps,支持计算机和移动用户的持续连接,有较高的数据吞吐能力。

2)GPRS 通讯的花费将比电路交换服务所花的费用要少,信道是共享使用的,比专用的连接要节省很多资源。同时,也减少了有线通讯过程中的缓冲中间设备。

3)可为用户提供更加简单、丰富的应用服务。

4)GPRS 采用分组交换技术,可设定 GPRS 专用信道,如虚拟专用网络(VPN),免受公共网络的攻击,具有很高的安全性。

1.2 IVT

IVT 融合无线通信、CAN 技术、传感技术及 GPS 定位技术,实现对 EVs 运行过程中的数据实时监测记录、紧急事故处理及电池运行状态监测等多项功能^[14]。

IVT 主要组成包括:信息采集模块、控制单元(MCU)、电源管理模块、通信模块、人机接口模块、卫星定位模块、车辆控制接口等,见图 1。

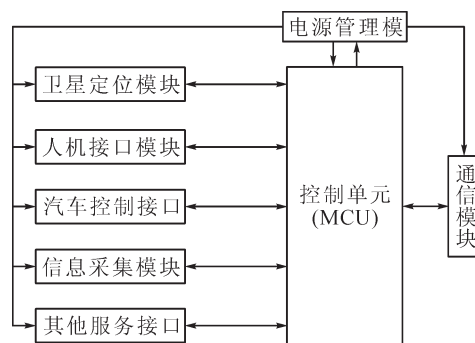


图 1 IVT 系统结构

Fig. 1 System structure diagram of IVT

控制单元:IVT 的核心模块,包括 CPU、外部存储器、I/O 接口以及逻辑控制电路等,主要功能是控制其他各个模块使其正常运行,完成各个模块的数据交换和数据处理。

通信模块:为用户提供高速、稳定可靠的数据传输通道,管理 IVT 与电网通信协议和通信地址,完成和电网的信息交互。卫星定位模块为车载无线终端提供所在位置。

信息采集模块:采集 EVs 状态参数,故障告警信息等,包括 EVs 的运行工况和电池的运行状态,如电池荷电状态、续航能力、电池电压等。

其他服务接口:由第三方提供的服务,如生活服务、安全驾驶服务、智能充电导航服务^[15]以及其他数据服务。

1.3 无线监测网络

EVs 监测网络由 IVT、充电站 Internet、配电网

Internet 3 部分组成,实行分层分区管理。

分层管理:监测网络实现对 EVs 和充电站的数据采集、处理、分析等工作,系统结构见图 2。

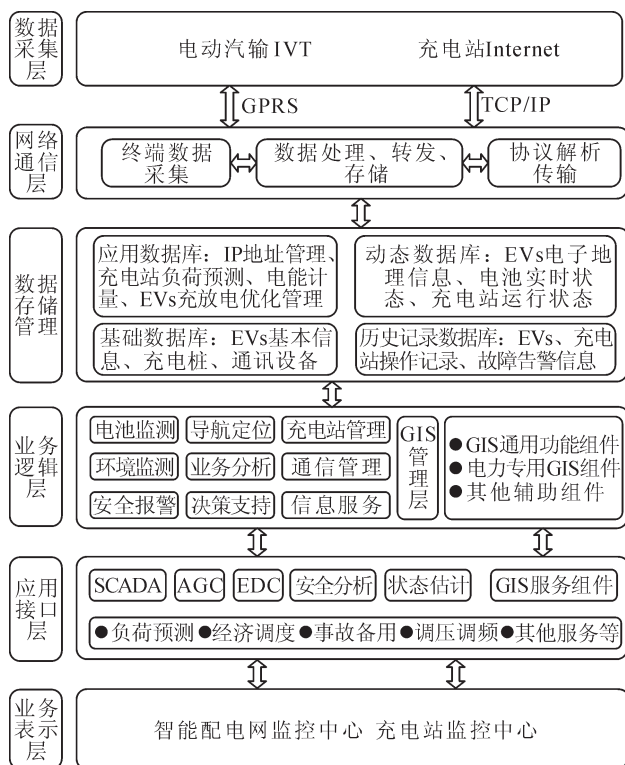


图 2 系统结构

Fig. 2 System structure diagram

1)数据采集层:监控中心对 IVT 和充电站运行工况数据进行采集,包括 EVs 和充电站运行状态信息,设备故障告警信息, EVs 充放电信息等。

2)网络通信层:在网络通信协议下进行信息交互处理,确保通信链路的可靠性和稳定性。

3)数据存储管理层:建立与业务相关的数据模型结构和数据库。

4)业务逻辑层:根据采集的数据信息,进行实时业务应用整合、计算、决策等操作。

5)应用接口层:向各类管理系统提供网络接口、GIS 接口、数据接口和系统接口,使各类信息得到充分共享。

6)业务表示层:对接各级能量管理系统,提供用户操作接口,满足不同终端、应用的需求。

分区管理:电网为每辆入网的 EVs 以及各个充电站分配一个固定 IP 地址, IVT 自动寻址充电站 Internet 终端,为避免寻址冲突,各个充电站 GPRS 覆盖区域不重叠。通讯网络结构见图 3。

1.4 能量管理系统

充电站能量管理系统对 EVs 与智能配电网之间能量与信息的双向管理,包括电池管理系统^[16]、充

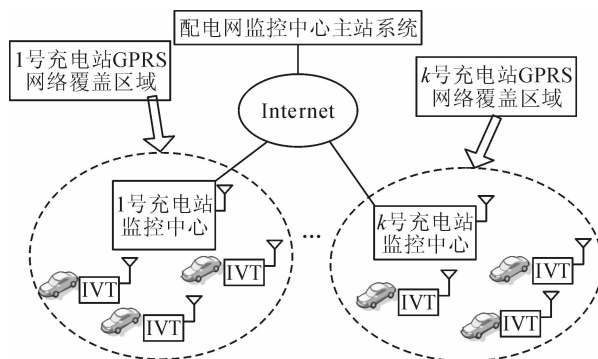


图 3 EVs 无线监测网络结构

Fig. 3 The wireless network structure of EVs

放电控制系统^[17]、费用结算系统。充电站能量管理系统的主要工作包括:①电压、电流、温度检测;②电池荷电量(state of charge, SOC)估计;③充放电控制;④均衡控制;⑤费用管理;⑥电池故障诊断和报警;⑦CAN 通信等^[18]。

监控中心能量管理系统实现对全网各个充电站信息监测、处理和控制在,根据当前 EVs 车辆运行信息、各充电站运行状态结合配电网运行情况、电网调度需求以及分时电价机制等市场信息进行判断、决策和指挥,以实现全网资源统一优化配置^[7]。

2 EVs 与智能配电网的互动模式

2.1 EVs 入网协议

EVs 与电网的互动,首先是建立在用户自愿参与的情况下,并通过相关协议来保障电网和用户的权利和利益。该协议应具有以下特点:①互利性,电网和用户都能在协议下获得相应收益;②灵活性,满足用户的基本出行需求;③可控性,电网在一定程度上可控制 EVs 的充放电行为。

在 EVs 用户分散的实际情况下,电网应该从建立完善的基础设施和制定相关策略出发,积极主动引导 EVs 用户参与电网互动。

2.2 信息和能量的互动

建立以下通信节点: IVT、充电桩、独立的电能计量仪表、监控中心。

IVT 采集和重组 EVs 实时数据,并定时发送给移动运营商 GPRS 网络的收发信机终端,按照数据帧的网络地址, GPRS 网络将数据通过网关传送到相应的充电站 Internet 网络,充电站数据接收端根据数据帧中的端口号将数据交给充电站能量管理系统相应的应用程序,对数据进行处理,再转发给智能配电网监控中心,监控中心将信息交给相应的应用程序对数据进行处理。配电网根据安全运行和

经济调度的需要,向区域内各个充电站发送电能调度指令,充电站电池能量管理系统根据调度指令管理站内 EVs 的充放电行为。

充电站电池能量管理系统为 EVs 提供多种互动模式,包括:“在线”或“离线”的接入方式、EVs 最小荷电量设定以及快充或慢充的充电方式。“在线”的 EVs 参与电网服务,电网可以根据 EVs 入网协议对 EVs 的充放电电量和时刻进行控制,此类 EVs 既是储能单元,也是可控负荷。“离线”模式下, EVs 只进行充电,作为电网调度的冷备用。

2.3 费用结算模式

EVs 参与电网互动,电网支付其服务费用,电池充放电过程中产生的电能损耗和电池损耗由电网承担,电池和 IVT 的运行维护费用由用户承担,通过充电站费用结算系统管理 EVs 与电网的费用结算。

$$M=R_s+R_d-C_c \quad (1)$$

式(1)中: R_s 表示 EVs 参与电网服务费用,包括参与电网服务的额外收益以及电池损耗费用; R_d 表示 EVs 向电网侧售电收益; C_c 表示 EVs 充电费用。

3 EVs 充放电管理模型

3.1 用户侧约束条件

EVs 作为行驶工具,首先应满足用户的行驶需求,用户通过设定 IVT 参数来实现对 EVs 的控制。

对于“在线”模式的 EVs,当电池实时荷电量 $soc(t)$ 低于最小荷电量 soc_{min} 时,电池充电;当 $soc(t)>soc_{min}$ 时, EVs 参与电网互动。而“离线”的 EVs 只进行充电。设定 $DJ=1$ 为“在线”模式, $DJ=0$ 为“离线”; $CD=0$ 为慢充模式, $CD=1$ 为快充。

EVs 参与电网服务的约束条件为

$$s.t. \begin{cases} DJ=1 \\ soc(t)>soc_{min} \end{cases} \quad (2)$$

3.2 EVs 充放电控制策略

充电站能量管理系统控制 EVs 的充放电行为,分为以下两种情况。

$$1) \text{ 当 } \begin{cases} DJ=1 \\ soc(t) \leq soc_{min} \end{cases} \text{ 或 } DJ=0 \text{ 时, 放电功率 } P_d(t)=0,$$

充电功率 $P_c(t)=P_{c,CD}$, 且电池只进行充电;

$$2) \text{ 当 } \begin{cases} DJ=1 \\ soc(t) > soc_{min} \end{cases} \text{ 时, 电池的充电功率为用户设定值, 放电功率为电池额定放电功率, 且充放电时刻由智能配电网调度决定。}$$

在充放电过程中,满足电池运行约束条件

$$s.t. \begin{cases} w_{min} < w(t) < w_{max} \\ v_{min} < v(t) < v_{max} \\ L_c(t) < L_{c,max} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中: $w(t)$ 和 $v(t)$ 分别为电池在 t 时刻的温度和电压; w_{max} 、 w_{min} 、 v_{max} 、 v_{min} 分别为电池温度上下限和电压上下限; $L_c(t)$ 为电池当前充放电循环次数; $L_{c,max}$ 为电池充放电循环寿命,次。

电池能量约束条件

$$s.t. \begin{cases} \int P_{c,CD}(t)dt < E_{en}[1-soc(t)] \\ \int P_d(t)dt < E_{en}[soc(t)-soc_{min}] \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, E_{en} 为电池的额定电量。

在互动模式下, EVs 成了储能单元,充电站成了分布式储能系统。某时刻含有 k 辆“在线”EVs的充电站储能为(单位:kWh)

$$S_d(t) = \sum_{i=1}^k E_{en,i} [soc_i(t) - soc_{min,i}] \eta_d \quad (5)$$

可控负荷为(单位:kWh)

$$S_c(t) = \sum_{i=1}^k E_{en,i} [1 - soc_i(t)] / \eta_c \quad (6)$$

式(5)、(6)中, η_c 、 η_d 分别为充电效率和放电效率。

为了避免充电站对电池频繁充放电控制,加剧电池损耗,充电站以单次调度指令下,所有参与电网互动的 EVs 充放电次数之和最小为目标函数

$$\min F(t) = \sum_{k=1}^n f(k) \quad (7)$$

满足电网侧约束条件

$$s.t. \begin{cases} P_{d,dr}(t) = \sum_{k=1}^n P_{d,k}(t) \\ P_{c,dr}(t) = \sum_{k=1}^n P_{c,k}(t) \end{cases} \quad (8)$$

式(7)、(8)中: $f(k)$ 为第 k 辆 EVs 的放电状态,有放电行为时 $f(k)=1$,相反为0; $P_{d,k}(t)$ 、 $P_{c,k}(t)$ 分别为 t 时刻第 k 辆 EVs 的放电功率和充电功率; $P_{d,dr}(t)$ 和 $P_{c,dr}(t)$ 分别为智能配电网监控中心对充电站的总放电功率和总充电功率调度指令。

EVs 充放电流程见图4。

3.3 EVs 充放电控制模型

EVs 充放电管理由 EVs、充电站、智能配电网监控中心三方完成,分为以下4步。

第1步: EVs 用户选择接入模式、充电方式以及最小荷电量设定。

第2步: 充电站电池能量管理系统对接入的 EVs 进行状态检测和故障监测(设定 $GZ=1$ 为故障, $GZ=0$

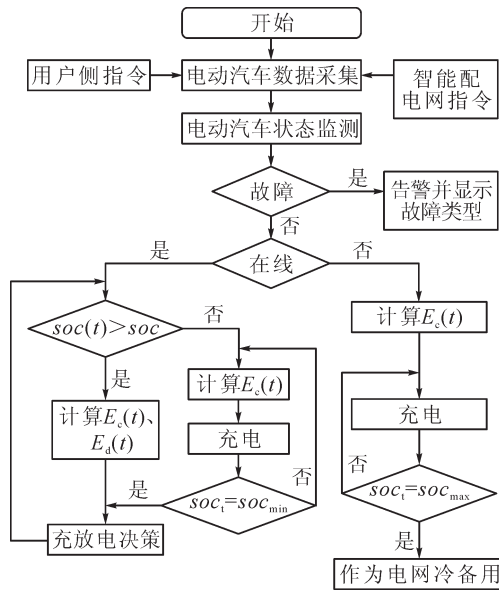


图4 EVs充放电流程

Fig. 4 The process of charging and discharging for EVs

为正常),统计充电站 EVs 总数 $N_d(t)$ 、充电站总负荷 $S_d(t)$ 、可控负荷以及总放电能量等信息,并将这些信息发送给配网监控中心。

第3步:监控中心根据电网经济、安全运行的要求向各个充电站发送调度指令,包括充电站充电时间段 t_c 和放电时间段 t_d 以及相应的充放电功率。

第4步:充电站根据第1步中的车主指令和第3步监控中心指令对 EVs 进行充放电管理。

EVs 充放电控制模型见图5。

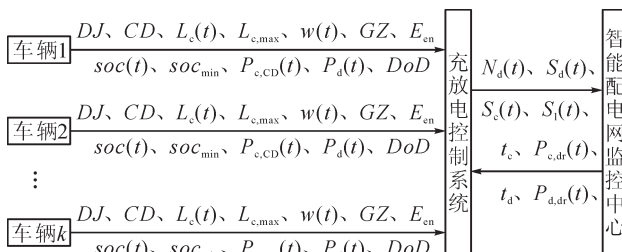


图5 EVs充放电控制模型

Fig. 5 The control model of charging and discharging EVs

4 EVs 无线通讯网络的可靠性分析

基于 GPRS 的 EVs 无线通讯网络应满足 EVs 通信的实时性、安全性、稳定性、可靠性以及满足 EVs 的移动性等要求。

1)实时性。GPRS 理论带宽可达 171.2 kbps, 实际应用带宽在 40~100 kbps, GPRS 的每个用户可同时占用多个无线信道,同一无线信道又可由多个用户共享。在不考虑图像和音影数据时,IVT 一个数据包在 1 000 字节以内,根据目前移动 GPRS 网络

状况,整个传输时长大约要 3~5 s,因此带宽和延时上可以满足电力系统通信的需要。

2)安全性。除了 GPRS 网络本身的安全保障外,系统还有以下安全措施:首先给每一个数据包都加上了系统特有的包头和包尾,可以有效地避免数据被监测和破解;其次,GPRS 网络接入采用专用 APN 连接,从 IVT 到充电站整个网络层形成用户的虚拟专用网络,与其他网络隔离,不会受到 Internet 的各种攻击,可以大大提高数据传输的安全性。此外无线网络还支持空中软件升级和远程维护;自诊断与告警输出;防潮、防雷设计等。

3)可靠性。IVT 发送的数据通过移动的空中信道传输,而充电站接收端数据则走专线方式,这种方式下表现的结果非常稳定和可靠。此外,系统组网简单、迅速、灵活,移动数据通信系统可以不依赖于运营商交换中心的数据接口设备,通过 Internet 网络随时随地地构建覆盖全中国的虚拟移动数据通信专用网络。

此外,EVs 无线通讯网络还具有经济性、可拓展性、灵活性等特点,还能够很好地解决 EVs 分布零散造成的通信运行和维护困难等问题。

5 EVs 参与电网互动的经济性分析

5.1 EVs 用户经济分析

1)EVs 参与电网互动的收益分为两部分:①参与电网服务的补偿收益;②向电网侧售电收益。

一方面,EVs 作为储能单元,参与电网各项服务,电网支付 EVs 用户服务费用,用来补偿电池损耗和维护费用。另一方面,电网对 EVs 的调度需求与分时电价机制相符合^[7]。因此,在峰谷分时电价下,EVs 用户还能获得差价利润。

EVs 参与电网服务的年收益为

$$R = \sum_{i=1}^n p_{\text{cap}} E_d(t) t_{\text{in},i} A + \sum_{i=1}^n p_{\text{en}}(t) t_{\text{d},i} P_d(t) \eta_d \quad (9)$$

式(9)中: p_{cap} 表示电池为电网提供每 kWh 的电能容量价格,其值由电网运营商提供,可以参照《并网发电厂辅助服务管理暂行办法》; $t_{\text{in},i}$ 和 $t_{\text{d},i}$ 为电池第 i 次“在线”的时间和放电时间;设定把关值 A 来判定电池是否有调度空间,当 $\text{soc}_{\text{min}} < \text{soc}(t) < 1$ 时 $A = 1$,当 $\text{soc}(t) < \text{soc}_{\text{min}}$ 时 $A = 0$; $E_d(t)$ 为电池在保障 EVs 基本行车需求下给电网提供的储备容量,根据电池最小荷电量和放电深度(DoD)求得。

$$E_d(t) = E_{\text{en}}(\text{DoD} - \text{soc}_{\text{min}}) \quad (10)$$

2)EVs 参与电网互动的成本主要有电池损耗成本和充电成本。

$$C=C_1+C_0 \quad (11)$$

用电池的吞吐量来计算电池损耗成本。

$$c_b = \frac{p_b E_{en}}{L_{c,max} E_{en} DoD} = \frac{p_b}{L_{c,max} DoD} \quad (12)$$

式(12)中: c_b 为电池损耗成本,元/kWh; p_b 为电池单位容量的成本价格,元/kWh。

电池放电年损耗成本为

$$C_1 = \sum_{i=1}^n t_{d,i} P_d(t) c_{b,0} \quad (13)$$

根据实时电价计算充电年费用。

$$C_c = \sum_{i=1}^n P_{en}(t) t_{c,i} P_{c,i} \eta_{c,0} \quad (14)$$

式(14)中: $t_{c,i}$ 和 $p_{c,i}$ 分别为EVs第*i*次充电时间和充电功率; $p_{en}(t)$ 为实时电价。

由式(10)、(13)、(14)可得车主的年经济效益计算模型。

$$M_1 = \sum_{i=1}^n [p_{en}(t) \eta_d - c_b] t_{d,i} P_d(t) + \sum_{i=1}^n p_{cap} E_d(t) t_{in,i} A - \sum_{i=1}^n p_{en}(t) t_{c,i} P_{c,i} \eta_{c,0} \quad (15)$$

5.2 电网经济性分析

在互动模式下,充电站既有消纳电网多余负荷的功能,也有发电的功能,为智能配电网优化配置资源提供了调整工具。充电站可参与电网削峰填谷、调频调压、应急电源和平抑新能源等服务。

充电站参与电网服务具有以下优势:

1)响应速度快。V2G的响应时间取决于变流器的响应时间,响应速度远远大于电力系统现行的调频机组。

2)紧急事故备用,降低备用容量成本和提高电网安全性。

3)响应功率储备裕度小。传统调峰、调频对AGC信号的不准确响应,要求电网调度有更大的响应功率储备裕度,而V2G对调峰、调频命令响应快速准确,可以减少功率储备裕度。

4)综合效率高。电池的充放电效率比一般的抽水蓄能电站运行的平均综合能源效率要高。

此外,还有其他的社会效益和经济效益。

6 结语

EVs与电网的互动程度将直接影响EVs巨大潜力的发挥,文中以无线通讯为基础,建立EVs无线监测网络,在此基础上构造了EVs、充电站以及智能配电网之间信息和能量的互动模型。EVs作为可控储能单元参与电网服务,用户能获得相应的收

益,电网也能充分发挥EVs的巨大潜力。

参考文献:

- [1] WHITE C D,ZHANG K M.Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction[J]. Journal of Power Sources,2010,196(8): 3972-3980.
- [2] 姚伟锋,赵俊华,文福拴,等. 基于双层优化的电动汽车充放电调度策略[J]. 电力系统自动化,2012,36(11): 30-37.
YAO Weifeng,ZHAO Junhua,WEN Fushuan,et al.A charging and discharging dispatching strategy for electric vehicles based on bi-level optimization[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(11):30-37.
- [3] KEMPTON W,TOMIC J.Vehicle to grid power implementation:Form stabilizing the grid to supporting large scale renewable energy[J]. Journal of Power Sources,2005,144(1):280-294.
- [4] 于大洋,宋曙光,张波,等. 区域电网电动汽车充电与风电协同调度的分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(14): 24-29.
YU Dayang,SONG Shuguang,ZHANG Bo,et al. Synergistic dispatch of PEVs charging and wind power in Chinese regional power grids[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(14):24-29.
- [5] 孙波,廖强强,谢品杰,等. 车电互联削峰填谷的经济成本效益分析[J]. 电网技术,2012,36(10):30-34.
SUN Bo,LIAO Qiangqiang,XIE Pinjie,et al.A cost-benefit analysis model of vehicle-to-grid for peak shaving[J]. Power System Echnology,2012,36(10):30-34.
- [6] 胡泽春,宋永华,徐智威,等. 电动汽车接入电网的影响与利用[J]. 中国电机工程学报,2012,32(4):1-10.
HU Zechun,SONG Yonghua,XU Zhiwei,et al.Impacts and utilization of electric vehicles integration into power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(4):1-10.
- [7] PELZER D,CIECHANOWICZ D,AYDT H,et al.A price-responsive dispatching strategy for vehicle-to-grid: An economic evaluation applied to the case of Singapore[J]. Journal of Power Sources,2014(256):345-353.
- [8] 胡勇,郭子健,刘奇峰,等. 基于IEC 61970/61850的电动汽车充电站监控系统建模方案[J]. 电力系统自动化,2013,37(2):91-96.
HU Yong,GUO Zijian,LIU Jifeng,et al.Modeling scheme of supervisory control system for electric vehicle charging station based on IEC 61970/61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(2):91-96.
- [9] 冯俊淇,解大,贾玉健,等. 电动汽车充放储一体化电站调度参数分析[J]. 电网技术,2013,37(12):3325-3330.
FENG Junqi,XIE Da,JIA Yujian,et al.Dispatch parameters analysis of charging/discharging and storage

- integrated station for electric vehicles[J]. Power System Technology, 2013, 37(12):3325-3330.
- [10] 陆凌蓉, 文福拴. 电动汽车智能网络控制系统及其通信机制设计[J]. 电力系统自动化, 2012(20):44-49.
- LU Lingrong, WEN Fushuan. An intelligent network control system for plug-in electric vehicles and the associate communication mechanism[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012(20):44-49.
- [11] 薛飞, 雷宪章, 张野飏, 等. 电动汽车与智能电网从 V2G 到 B2G 的全新结合模式[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 29-34.
- XUE Fei, LEI Xianzhang, ZHANG Yebiao, et al. A brand-new approach of connecting electrical vehicles with smart grid from vehicle-to-grid mode to battery to grid mode[J]. Power System Technology, 2012, 36(2):29-34.
- [12] 周逢权, 连湛伟, 王晓雷, 等. 电动汽车充电站运营模式探析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21):63-66.
- ZHOU Fengquan, LIAN Zhanwei, WANG Xiaolei, et al. Discussion on operation mode to the electric vehicle charging station[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21):63-66.
- [13] 韩伟. GPRS 无线通讯在电力系统监控中的应用[J]. 电网技术, 2007, 31(s2):276-279.
- HAN Wei. The GPRS wireless communication system applied to the field of operational monitoring of electric power system[J]. Power System Technology, 2007, 31(s2): 276-279.
- [14] 李磊, 贺家胜, 卢欣, 等. 新一代电动汽车智能车载终端设计[J]. 电力信息化, 2013, 11(6):31-35.
- LI Lei, HE Jiasheng, LU Xin, et al. Design of next generation intelligent electric vehicle terminal[J]. Electric Power IT, 2013, 11(6):31-35.
- [15] 苏舒, 孙近文, 林湘宁, 等. 电动汽车智能充电导航[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(s1):59-67.
- SU Shu, SUN Jinwen, LIN Xiangning, et al. Electric vehicle smart charging navigation[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(s1):59-67.
- [16] 刘保杰, 王艳, 殷天明. 电动汽车电池管理系统[J]. 电气自动化, 2010, 32(1):60-63.
- LIU Baojie, WANG Yan, YIN Tianming. EV battery management system[J]. Power Supply Control Technology, 2010, 32(1):60-63.
- [17] 鲍谚, 姜久春, 张维戈, 等. 电动汽车移动储能系统模型及控制策略[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(22):36-43.
- BAO Yan, JIANG Jiuchun, ZHANG Weige, et al. Model and control strategy of electric vehicle mobile energy storage system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(22):36-43.
- [18] 符晓玲, 商云龙, 崔纳新. 电动汽车电池管理系统研究现状及发展趋势[J]. 电力电子技术, 2011, 45(12):27-31.
- FU Xiaoling, SHANG Yunlong, CUI Naxin. Research and development trend on battery management system for EV[J]. Power Electronics, 2011, 45(12):27-31.

万成江(1988—), 男, 硕士, 主要从事电力系统分析计算等。

(上接第 112 页)

- in Neural Information Processing Systems, 2001(12): 652-658.
- [17] TIPPING M E. Sparse bayesian learning and the relevance vector machine[J]. Journal of Machine Learning Research, 2001, 1(3):211-244.
- [18] EBERHART R, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science. Nagoya: [s.n.], 1995:39-43.
- [19] 尹金良, 朱永利, 俞国勤. 基于多分类相关向量机的变压器故障诊断新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(5):77-82.
- YIN Jinliang, ZHU Yongli, YU Guoqin. New transformer fault diagnosis method based on multi-class relevance vector machine[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(5):77-82.
- 袁海满(1989—), 男, 硕士研究生, 主要从事变压器状态评估与绝缘监测方面的研究。
- 雷帆(1990—), 男, 硕士研究生, 从事变压器状态评估与绝缘监测方面的研究。
- 陈宇(1990—), 男, 硕士研究生, 从事变压器状态评估与绝缘监测方面的研究。
- 陈明星(1991—), 男, 硕士研究生, 从事变压器状态评估与绝缘监测方面的研究。
- 江丹宇(1991—), 男, 硕士研究生, 从事变压器状态评估与绝缘监测方面的研究。