



新能源汽车充换电及车网互动

华光辉 夏俊荣 廖家齐 王会超 周磊 刘瑜俊

New Energy Vehicle Charging and Vehicle to Grid Interaction

HUA Guanghui, XIA Junrong, LIAO Jiaqi, WANG Huichao, ZHOU Lei, LIU Yujun

引用本文:

华光辉, 夏俊荣, 廖家齐, 等. 新能源汽车充换电及车网互动[J]. 现代电力, 2023, 40(5): 779–787. DOI: 10.19725/j.cnki.1007–2322.2022.0067

HUA Guanghui, XIA Junrong, LIAO Jiaqi, et al. New Energy Vehicle Charging and Vehicle to Grid Interaction[J]. *Modern Electric Power*, 2023, 40(5): 779–787. DOI: 10.19725/j.cnki.1007–2322.2022.0067

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2022.0067>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

风电全消纳下虚拟电厂内部资源鲁棒调度策略

Robust Scheduling Strategy of the Internal Resources in VPP Based on Wind Power Completely Consumed

现代电力. 2019, 36(3): 80–87 <http://xddl.ncepujournal.com/article/Y2019/I3/80>

基于交互能源机制的电动汽车充电站日前能量优化管理

A Day-ahead Energy Optimization Management Method for Electric Vehicle Charging Station Based on Interactive Energy Mechanism

现代电力. 2022, 39(5): 570–578 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2021.0188>

“车站路网”系统中时空分布充电电价的优化

Optimization of Spatial–Temporal Charging Price in the System Composed of Electric Vehicle, Charging Station, Traffic Network and Power Network

现代电力. 2021, 38(6): 628–635 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2020.0427>

基于动态能耗模型与用户心理的电动汽车充电负荷预测

Electric Vehicle Charging Load Prediction Based on Dynamic Energy Consumption Model and User Psychology

现代电力. 2022, 39(6): 710–719 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2021.0196>

考虑高比例新能源消纳的微能源网日前经济调度

Day-ahead Economic Dispatch of Micro-energy Grid Considering High Proportion of Renewable Energy Consumption

现代电力. 2022, 39(2): 236–245 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2021.0050>

需求响应下的电动汽车充电设施配置模型

Configuration Model of Electric Vehicle Charging Facilities Considering Demand Response

现代电力. 2022, 39(4): 469–477 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2021.0144>

新能源汽车充换电及车网互动

华光辉, 夏俊荣, 廖家齐, 王会超, 周磊, 刘瑜俊

(新能源与储能运行控制国家重点实验室(中国电力科学研究院有限公司), 江苏省南京市210003)

New Energy Vehicle Charging and Vehicle to Grid Interaction

HUA Guanghui, XIA Junrong, LIAO Jiaqi, WANG Huichao, ZHOU Lei, LIU Yujun

(State Key Laboratory of Operation and Control of Renewable Energy & Storage Systems(China Electric Power Research Institute), Nanjing 210003, Jiangsu Province, China)

摘要: “碳达峰、碳中和”使命正在倒逼我国能源行业向可持续发展转型, 同时新能源汽车技术不断升级, 充换电服务相关配套设施逐步完善, 共同推动了我国新能源汽车行业的高速发展。介绍了新能源汽车及其充换电技术的发展现状和趋势, 针对大规模新能源汽车接入对配电网运行的影响, 提出通过聚合方式让新能源汽车作为柔性负荷参与车网互动的运行控制模式及应用情况, 阐述了我国新能源汽车充换电标准体系建设进度情况, 最后为行业发展的重点工作提出了建议。

关键词: 新能源汽车; 充换电服务; 车网互动; 柔性负荷; 标准体系

Abstract: The mission of "carbon peaking and carbon neutralization" is forcing China's energy industry transform to sustainable development. At the same time, the technology of new energy vehicles has been continuously upgraded, and the supporting facilities related to EV charging and battery swapping services have been gradually improved, which has jointly promoted the rapid development of new energy vehicle industry of China. The current situation and development tendency of new energy vehicles and their charging and battery swapping technology were presented, and in allusion to the impact of grid connection of large scale new energy vehicles on the operation of distribution network it was proposed that through the way of aggregation the new energy vehicles was taken as the flexible load participating the operation control mode of interaction of vehicle and grid and the situation of application was presented.

基金项目: 国家重点研发计划“新能源汽车”重点专项, (高效协同充换电关键技术及装备(2021YFB2501600))
Project Supported by Key Projects of the National Key R & D Plan "New Energy Vehicles" in 2021, Key Technologies and Equipment for Efficient Collaborative Charging and Battery Swapping (2021YFB2501600)

The construction progress of standard system of charging and charging and battery swapping services of China's new energy vehicles was expounded. Finally, some suggestions were put forward for the key work of industry development.

Keywords: new energy vehicles; vehicle charging and battery swapping services; vehicle to grid interaction; flexible load; standard system

DOI: 10.19725/j.cnki.1007-2322.2022.0067

0 引言

新能源汽车作为一种发展前景广阔的绿色交通工具, 是开展电能替代、挖掘交通减碳潜力、提升交通电气化水平的重要手段, 能够有效降低我国对进口原油的依赖程度, 也是兑现“碳达峰、碳中和”承诺的重要途径, 新能源汽车已经成为一个重要的国家级发展战略产业^[1-2]。2020年我国发布《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》, 为未来15年的发展指明了方向。截至2021年底, 我国新能源汽车保有量为784万辆, 占汽车总量的2.6%, 其中纯电动汽车640万辆, 占新能源汽车总量的81.6%, 连续5年呈高速增长态势。

随着新能源汽车及其充电用电量占比的提高, 大规模新能源汽车的充电将给电网运行产生较大影响^[3]。一方面, 新能源汽车的无序充电将大幅增加电网调峰难度, 影响电网调度运行; 另一方面, 新能源汽车作为柔性负荷, 若能够有效利用, 将有助于减小负荷峰谷差、降低供电设施建设成本、消纳分布式可再生能源。因此, 亟需开展新能源汽车与配电网的互动运行等工作, 而充电设施就是汽车和电网之间信息和能量互动的桥梁。

1 新能源汽车分类及行业发展趋势

1.1 新能源汽车分类

区别于传统燃油汽车,新能源汽车是指采用新型动力系统,完全或者主要依靠新型能源驱动的汽车,目前泛指电动汽车。根据动力来源主要分为纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车3种^[4]。纯电动汽车是完全由电机驱动的车辆,其能量完全来自车载动力电池。目前我国新能源汽车以纯电动汽车为主,电池容量一般在20~100 kW·h之间,续航里程一般在150~500 km,个别超长续航版汽车续航里程可达上千公里。

混合动力电动汽车是能够通过燃油和动力电池等至少两种方式获取动力的汽车,一般可以分为插电式混合动力汽车和增程式混合动力汽车^[5]。插电式混合动力汽车将燃油动力和纯电动动力系统相结合,燃油和电力均可提供动力,在纯电动状态下行驶里程约50~200 km不等。增程式混合动力汽车发动机无法为汽车直接提供动力,需要发动机消耗燃油发电拖动电机,再由电机驱动汽车,配置的动力电池一般容量较小,能够起到减少综合油耗的效果,另外在汽车启动或加减速的时候能够提升操控性能。

燃料电池电动汽车以燃料电池为动力源,最常见的燃料电池为氢燃料电池。由于氢气制作、运输、存储、加氢、催化等一系列技术环节不够成熟,且成本居高不下,所以氢燃料汽车发展比较缓慢,尚停留在概念车的阶段,到目前为止还没有量产的车型,可谓路长且阻,但是不可否认氢燃料电池将是新能源汽车的重要发展方向之一,在前期发展阶段采用混合动力方式是一个不错的选择。

1.2 新能源汽车行业发展趋势

1) 动力电池技术路线选择。

动力电池技术路线的选择,最重要的是电池正极材料的选择。正极材料决定了电池的能量密度和安全性,能够影响电池的综合性能。由于正极材料在动力电池成本中所占的比例达三成之多,因此其成本也直接决定了电池整体成本的高低。动力电池一般按照正极材料体系划分为磷酸铁锂、三元锂(包括镍钴锰酸锂和镍钴铝酸锂)、钴酸锂、锰酸锂、钛酸锂等多种技术路线。根据市场装机量情况,目前最常见的是磷酸铁锂和三元锂^[6]。

对比几种正极材料,磷酸铁锂的安全性较高。

自2009年开始,随着新能源汽车市场逐渐壮大,磷酸铁锂电池曾得到快速发展,尤其是成为专用车与客车的首选动力电池。但是从2016年至今,我国新能源乘用车的补贴政策,将电池包的能量密度以及续航里程作为主要指标,相关企业为追求高额补贴,在乘用车领域逐步转向以能量密度较高的三元锂作为动力电池。

伴随新能源汽车补贴不断减少,再加上动力电池新技术的不断涌现,磷酸铁锂电池的成本优势逐渐显现。近年来,磷酸铁锂电池能量密度持续提升,目前国内主流磷酸铁锂电池企业电芯能量密度在170~190 Wh/kg之间,而宁德时代的高集成动力电池开发平台和比亚迪的刀片电池等新技术能进一步提升磷酸铁锂电池的能量密度。这类新技术取消了模组,将电芯直接集成到电池包,从而省去了电池模组组装的环节,在大幅降低动力电池的制造成本的同时还能够提升续航里程。

我国作为全球新能源汽车的最大市场,伴随补贴的陆续退出,补贴政策对技术路线影响会越来越小,在市场机制下,最终还是要靠性能和成本来支撑技术路线的竞争。同时,随着动力电池头部企业研发的新技术的加持,包括磷酸铁锂、三元锂在内的不同动力电池性能都将会逐渐提升,技术路线的选择并不是非此即彼,不同用途的车辆以及不同的生产企业会有不同的选择。

2) 动力电池回收及梯次利用。

动力电池中含有锂、钴、锰等多种金属元素,大量退役后未经妥善处置的电池将成为固体废弃物,并占用大量土地存放,甚至造成难以逆转的环境污染以及金属资源浪费。动力电池的使用寿命约为5~8年,根据目前新能源汽车保有量预估,到2025年我国动力电池累计退役量将达到80万t以上。

动力电池的回收及循环利用主要可以分为电池回收、梯次利用和再生利用这3个阶段。动力电池的回收是前提和基础,回收之后,出于节约资源和增加动力电池全生命周期价值的考虑,退役动力电池需根据实际情况依次进入梯次利用和再生利用环节。

梯次利用是指将从新能源汽车上退役的动力电池重新检测筛选,重新配对成组后用于运行工况相对良好、对电池性能要求相对较低的领域^[7-8]。梯次利用是对电池的再利用,具有很高的安全要

求和技术壁垒。经过检测，只有那些余能水平、循环寿命及健康状况等指标能够满足次一级应用需求的电池，才可以进入到梯次利用环节。退役动力电池的分类、筛选和重组是梯次利用的关键，目前国内还处于产业发展的初期，电网和通信基站等相关企业相继规划、建设了梯次利用示范工程，对这一技术进行了积极部署和有益尝试。从梯次电池应用的场景来看，通信基站备用电源、电力储能和低速车辆这3个应用场景最为广泛^[9]。再生利用则是将废旧电池进行拆解后，通过各种物理及化学方法，将其中的有价金属（如锂、钴、镍等）和其他物质（如石墨等）进行提取并循环利用的环节，有利于产业可持续发展，是动力电池的终极归宿。

我国新能源汽车动力电池回收利用还面临着体系不完善、产业协同差、盈利能力弱、监管力度不足等问题，尚未形成产业合力，尽管如此这项工作无疑非常必要而且非常紧迫。

3) 汽车智能化。

汽车在走向电动化的进程中，也同时在走向智能化。自动驾驶就是智能化的一个重要标志，目前大部分中高端新能源汽车都配置了一定的辅助驾驶功能，比如车道保持、辅助刹车、自动泊车、主动安全预警、自适应巡航、交通信号识别、远程控制等等，基本能达到L2级的自动驾驶级别，随着不断有企业获得自动驾驶路试许可以及生产许可，L3级甚至更高级别自动驾驶车辆落地已经指日可待。

汽车的智能化有利于构建一个智慧的交通体系，促进汽车和交通服务的新模式新业态发展，对提高交通效率、节省资源、减少污染、降低事故发生率、改善交通管理具有重要意义。智能化将是新能源汽车的重要发展趋势^[10]。

2 新能源汽车充换电技术

2.1 常规交直流充电技术

充电桩用来为新能源汽车补充电量，安装于高速公路服务区、公共建筑、企事业单位及居民小区停车场或专用充电站内。充电桩输入端与交流电网直接连接，输出端都装有充电插头用于为汽车充电^[11]。常规充电桩一般分为交流慢充和直流快充两种充电方式，交流慢充采用单相交流电源供电，充电功率一般不超过7 kW，充电桩不

带有电力电子变换模块，仅仅为汽车车载充电机提供交流充电电源以及必要的保护、计量、结算等辅助功能，一般用在居民小区等需要长时间停车的场合。直流快充一般采用三相交流供电，带有电力电子变换模块，为汽车提供电压和电流可控的直流充电电源，单枪功率15~200 kW不等，可为汽车快速充电，一般用在公共充电站、公交停放场等需要大功率充电的场合。根据充电机和充电枪的对应关系，直流快充又分为一机一枪和一机多枪（一般2~8不等）两种形式，其中一机多枪布置方式，可以采用群充群控技术，根据在充车辆的多少，调整开关阵列的组合，为充电车辆提供不同数量的充电模块，动态分配各充电枪功率，做到同时充电车辆少时单枪充电功率大，充电车辆多时可用充电枪数量多，从而能够提升充电设施资源利用率。

目前被国际上广泛接受的新能源汽车充电接口一共有3种，分别为中国GB/T充电系统、日本CHAdeMO充电系统以及欧美CCS充电系统（包括适用于美国的Type1和适用于欧洲的Type2两种接口）。这些接口体系均在2010—2015年期间完成设计定型，截止目前已经被国内外的主流汽车制造企业以及充电设施运营企业广泛地使用了约10年的时间。在这10年里，这些接口体系支撑了世界上不同经济体的新能源汽车产业的迅猛发展，而这些接口体系也不同程度的存在着结构设计、电气连接、系统安全以及兼容性等方面的问题或缺陷，随着新能源汽车的快速增加，接口融合或改进的难度也在不断增大。

2.2 有序充电技术

新能源汽车用户的充电地点、时间、功率、电量等具有很大的随机性和不确定性，若任由大量的新能源汽车用户进行无序充电，尤其是在用电高峰时充电，可能会导致一些配电变压器超负荷，对电力系统的安全稳定运行产生负面影响，亟需制定相应的有序充电策略。

新能源汽车有序充电是指在满足汽车充电需求的前提下，运用经济或技术措施引导、控制新能源汽车进行充电^[12-13]，一定条件下，新能源汽车还可通过带有双向充放电功能的充电桩向电网放电^[14-15]，对电网负荷曲线进行削峰填谷，缩小负荷曲线峰谷差，减少配电设施容量建设，保证

新能源汽车与电网的协调互动发展。2020年,国网华北分部在国内首次将车网互动充电桩资源正式纳入华北电力调峰辅助服务市场并正式结算。

有序充电技术的研究热点主要分布在潜力评估、控制策略、装置开发、商业模式以及示范工程等方面。以下两个案例是有序充电技术的典型应用:2018年7月,郑州某小区的50个有序充电桩建成投运,成为规模化新能源汽车有序充电项目。项目结合供电台区实时运行工况,在电网不扩容、不改造、不影响小区居民正常用电的情况下,充分挖掘现有电网资源,用户通过手机预约充电,主站控制调整充电桩输出功率,合理引导用户有序充电、低谷充电。2020年6月,基于边缘网关的有序充电技术研究,在深圳碧新路成功示范智能“有序充电”场站。该项目通过实时采集电网变压器负荷和充电桩充电负荷信息,利用“车-桩-网”互联互通,可按照“功率均分”、“先到先充”、“分时分功率”等动态均衡配置原则制定有序充电策略,避免变压器在用电高峰期间过载,保障用电安全。

2.3 大功率充电技术

大功率充电技术能够较好解决用户充电等待时间长的问题,因此越来越受到行业重视^[16-17]。传导式直流大功率充电,可满足未来长续航里程汽车充电时长在10~15 min以内的要求,充电电压可达到1000V(远期目标1500V),不带冷却工况下充电电流达120A,充电功率大于120kW;带冷却工况下充电电流400~500A(远期目标600A),充电功率超过350kW。

对于私人用户而言,大功率充电可大幅缩短充电时间,快速增加续航里程,充电体验较好。对于无法安装自用充电桩的用户,大功率充电可作为日常充电解决方案,从而拓展新能源汽车的消费群体。对于公共运营企业而言,大功率充电设备的应用,可大幅缩短电动公交、出租、网约、物流等运营车辆的充电等待时间,提高运营效率和竞争力。对于充电设施建设运营商而言,大功率充电设备的应用可大幅降低单次充电时间,吸引消费者使用,提升单位时间内的充电服务次数,从而提高充电桩利用率和充电服务收益。大功率充电的缺点主要体现在技术难度较高、成本提升较大、车桩网协同推进困难等方面。

国外大功率充电设施的建设应用,多由大型

车企及相关充电运营商主导推动,以建立大功率充电使用环境,推动新能源汽车销售。除保时捷和特斯拉外,欧美主流车企推广车型充电功率普遍在150~160kW,距离350kW大功率充电还有一定距离,正在探索推动350kW等级的大功率车型应用。此外,日本计划在2025年后应用350kW大功率充电。2019年特斯拉初发布了第三代超充Supercharger V3技术,最大充电功率能达到250kW,并于2021年其最大输出功率提升至300kW。2018年,由宝马、戴姆勒、福特、大众等汽车制造商成立的合资公司Iionity建成的首个超快速充电站开始启用,其充电桩采用CCS接口液冷充电枪进行充电,充电功率高达350kW,截至2021年底已建成1500多个超快充站,公司目标为到2025年将350kW大功率充电点的数量由现有的1500多个增加到7000个。

国内部分整车和充电设备生产企业进行了大功率充电产品的研发和技术储备。高电压大电流车辆平台技术难度较高,部分核心零部件技术尚未掌握,国内车企整体技术路线较为保守,目前乘用车测试车辆最高充电功率在120~200kW之间;大功率充电设备技术难度相对较低,部分桩企已完成样品开发和生产,产品输出功率普遍可达到350kW以上。

大功率充电是未来新能源汽车充电的必然发展趋势,已成为业内共识。现阶段,中国大功率充电标准的制定由中国电力企业联合会与中国汽车技术研究中心联合牵头,整车企业、关键零部件生产企业、充电设备生产企业参与,成立了大功率充电技术与标准预研工作组和大功率充电示范工作组,开展标准的研究制定、设备的研发测试、车辆的充电试点等工作。标准组成员单位已共同建成几个大功率充电示范项目,用于验证新技术方案的可行性及安全性。2019年召开的第一届新型充电接口项目国际会议正式将我国提出的新一代充电接口技术方案命名为“ChaoJi”,获得美、欧、日等国家和地区专家的广泛认可。基于ChaoJi充电接口技术方案的国际标准,已于2022年7月获得IEC SC23H投票通过,所对应的国家标准GB/T 20234.4也即将进入送审阶段,该方案吸取了当前国际三大直流充电接口系统的优点,改进了原有系统的缺陷,兼容各种区域性充电接口标准,更加满足未来产业发展需求,有望

成为下一代直流充电技术的全球唯一方案。

2.4 换电技术

用户在车辆所剩电量不多的时候，将车辆开到指定的换电站，由工作人员操作机器设备将车辆底部的电池取下，换上一块已经充满电的电池上去，整个过程只需要几分钟^[18]。上述换电模式的采用，使得新能源汽车充满电的时间和油车加满油相差无几。由于电池被设计成可拆卸式，随着电池技术的发展，可以升级成能量密度更高的新款，于是这些车主就有条件使用到更新、行驶距离更远的电池，不再担心电池损耗的问题。由于电池可采用租赁的形式，所以可换电车辆的购置价格可以比涵盖电池包的车辆低很多，同时由于采用统一接口的电池包，更换速度也大大提高，远比直接采用充电桩充电来补充电能快捷，且换下来的电池包可在谷电时进行充电，降低了充电成本。当然换电模式的缺点也相当明显，由于需要统一电池包的尺寸，兼容性较差，该项技术在不同车企间推广难度较大，往往是车企各自独立开展，造成资源浪费。

2021 年 4 月，行业首个换电模式的标准批准发布：GB/T 40032—2021《电动汽车换电安全要求》；同年 5 月，国家发改委、国家能源局发布《关于进一步提升充换电基础设施服务保障能力的实施意见（征求意见稿）》，其中提出将加快换电模式推广应用。可以看出，在国家大力发展新能源汽车产业的背景下，预计随着行业标准的出台、国家政策的支持和市场的创新驱动，新能源汽车换电行业或将踏上快速发展的道路。

市场上已布局新能源汽车换电业务的企业都在不断加大研发投入，以技术驱动换电产品的更新换代，进而推动全国换电模式的推广。2021 年，蔚来汽车的第二代换电站投入运营，全面深化视觉识别技术应用，用户无需下车，在车内即可一键启动自助换电；换电站每天可提供 300 多次换电服务，有效提升换电效率；同年，奥动新能源汽车发布了奥动 4.0 版本，换电总用时不到 2 min。

目前国内从事换电产业链的企业不足 20 家，且基本参与方主要分为 3 类，分别是以车企为代表的北汽、上汽、蔚来、吉利等，以能源企业为代表的中石化、中石油等，以第三方服务商为代表的国家电网、南方电网和奥动新能源等。

2021 年末，我国换电站数量约 1300 座，考

虑到“十四五”期间换电站行业将迎来发展高潮，参考全国公共充电桩的在“十三五”期间的年均增速，预计至 2025 年末，全国换电站数量将突破 5000 座，到 2035 年，中国换电站的数量有望达到 2 万座。

2.5 无线充电技术

新能源汽车无线充电主要有磁感应和磁共振两种方式^[19]。在车辆底盘安装接收模块，地面安装和电网连接的发射模块，在两个模块接近后，电磁场近场相互耦合或谐振，实现电能传输。根据充电时汽车的状态，又分为静态无线充电和动态无线充电两种；静态无线充电，是指汽车停在相应充电车位才能够开启充电；动态无线充电通过在道路下面铺设的无线充电系统实现车辆边行驶边充电。无线充电省掉了人手动插拔充电插头的动作，方便了用户的充电行为，提升了充电体验，降低了人和车或者充电桩触碰的安全风险，也减少了导线的磨损，规避了雨天漏电的隐患。

经过全球范围内的高校、科研院所和相关企业的不断努力，现阶段无线充电技术的电能转换效率、充电功率、系统性能已经达到了较高水准。在转化率方面，无线充电已经能达到 90% 以上水平。在充电功率方面，已经达到约 20 kW 水平^[19]。车辆停放的位置和车底盘距离地面高度的限制也进一步放宽，能够覆盖各类车型，包括底盘较高的 SUV 车型。控制技术不断优化，当有异物（尤其是具有金属部分）出现在充电系统的线圈之间时，会采取适当措施以防止过热事件的发生。

我国针对新能源汽车移动式无线充电技术进行了多方面的研究，哈尔滨工业大学、重庆大学、清华大学、东南大学以及中科院、中国电科院等高校和科研院所开展了无线充电的研究工作，多集中在无线充电原理和样机研制方面。先后在广西南宁、江苏苏州、河北张家口等地开展了示范工程建设，对相关技术和设备开展了实验验证，在电磁耦合结构设计与实现、大功率电能变换、电磁安全防护、系统能效测试、安装施工方法等方面取得了初步成效。

2.6 充电设施网络建设

我国已建成全球最大规模充电设施网络。截止 2021 年底，全国充电基础设施保有量超过 260 万台，新能源汽车与充电桩的车桩比约为 3:1，广东、上海、江苏、北京和浙江位居装机数量前

五。全国充电运营企业所运营公共充电桩数量超过1万台的共有13家,前3位分别为:星星充电、特来电和国家电网,各运营商都有自己的充电服务APP,从寻桩到结算各自互相独立,充电漫游还是行业发展的一个痛点。

另一方面,新能源汽车的快速发展与充电桩建设速度不不同步,“充电难、充电慢、充电不方便”的现象还广泛存在。因为没有固定停车位、供电容量不足、物业不配合等因素,导致大量新能源汽车用户不能自建充电桩,尤其是老旧小区更是陷入困境^[20-21]。由于车位占用、位置不合理、运营管理水平跟不上等原因造成的充电设备利用率偏低,导致充电设施投资存在成本高收益低的现象。

3 车网互动技术

3.1 技术需求

由于新能源汽车的大规模发展,大量新能源汽车的充电行为对电网、充电设施和用户都会造成一定影响。对电网的影响方面主要有:对电网负荷水平的影响、对电网节点电压的影响^[22]和对电网网络损耗的影响;对充电设施的影响方面主要有:对充电设施时间利用率的影响、对充电设施利用率的影响和对充电设施运行成本的影响;对用户的影响方面主要有:对用户充电成本和等待时间的影响。

建设车网互动服务平台,通过充电桩采集充电数据,并对充电功率进行控制,从而聚合大量新能源汽车参与车网互动,是解决新能源汽车发展问题的一条重要技术路线。

3.2 充电桩聚合控制方法

电动汽车充电桩聚合控制由电网层、平台层、网络层和设备层4个层级构成,如图1所示。其中车网互动服务平台与电网调度控制系统互联,上传充电信息及互动响应情况,获取电网运行信息并接收调度指令,能够直接调控所接入的电动汽车充电桩,间接调控其他参与车网互动的充电服务运营商所接入的充电桩,控制电动汽车充(放)电功率^[23]。

服务平台提供充电功率预测、能量交易、订单管理、清分结算等服务,使得服务平台在聚合大量电动汽车充电用户后,能够参与电力市场交易,为电网提供辅助服务,并获得相应收益。用

户在插上充电枪之后,通过手机APP授权汽车参与车网互动,充电桩接收来自服务平台的控制指令,根据电网需求自动调整充电时间和充电功率,一般是以电动汽车BMS所发充电需求电流为参考,进行限电流充电,并根据相应的价格政策获得充电费用减免。若电动汽车能够对电网放电,还将获得更多收益。

服务平台通过撮合用户和运营商与电网的友好互动,使得汽车充电与电网运行协同,优化能量控制,减少电网峰谷差,保障电网安全稳定运行,同时也有利于降低用户用车成本,提升运营商的盈利能力。

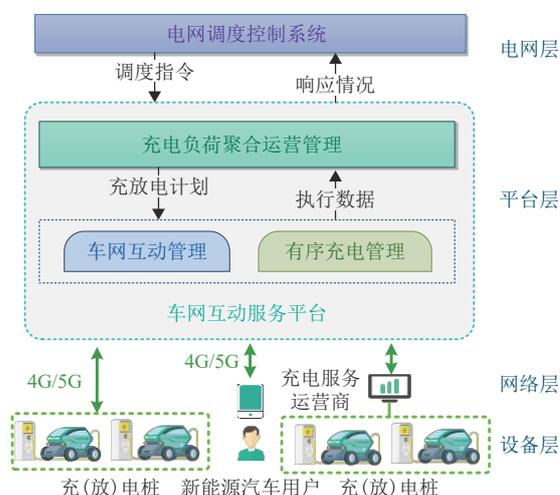


图1 新能源汽车聚合控制架构
Fig. 1 Aggregation control framework of new energy vehicle

3.3 大规模新能源汽车聚合后参与辅助服务案例

2019年以来,国网公司基于智慧车联网开发的新能源汽车车网互动服务平台,以各地新能源汽车保有量和电力市场政策为分配和选址原则,开展示范运行,业务覆盖范围包括北京、天津、冀北、河北、江苏、浙江等10多个省(市),以京津唐电网和河北南网参与量为主。主要参与的负荷有两个重要来源:一是车联网已接入资源;二是第三方平台所拥有的资源。截至2021年底共有2500多万辆次汽车参与了电网互动,包括公共充电站、智能园区、工商业楼宇等典型应用场景,交互服务业务包括:一般售电业务、绿电交易、电力辅助服务和需求响应等4种。

在交易日前,基于人工智能分析预测电力市场需求,以优惠红包的形式引导用户在市场时段

充电；将高价时段信息发送至公交、物流、私人桩等负荷聚合商和车主，引导不同平台和主体响应电网需求。在交易日中，平台通过实时感知车辆充电状况、电网需求变化和计划执行情况等信息，综合用户行为习惯和充电需求将计划分解至每个充电桩、储能设备和换电站执行，让用户无忧充电。在交易日后，进行交易结算并与用户分享市场红利，激励用户更加主动地与风光等新能源发电协调互动，按电网需求进行充放电，促进清洁能源消纳^[24]。

4 充换电设施标准体系建设

我国新能源汽车充电设施标准体系建设起步于 2001 年，由全国汽车标准化技术委员会（NTCSA）和中国电力企业联合会（CEC）牵头，通过等同采用、参考修改、制修订等多种方式，已建成了相对完善的标准体系^[25]，覆盖了传导式交直流充电、对外放电、电池更换、无线充电、信息交互等各个方面。截至 2021 年底，发布充电设施相关国（行、团）标准 50 余项，20 余项正在编制过程中，另有电网公司、车企、电池厂商以及相关联盟在编制数量众多的企业标准和团体标准。新能源汽车标准体系推动我国新能源汽车技术达到国际先进水平，并伴随着新能源汽车

的出口走向国际化。充电设施标准体系如图 2 所示，部分已发布核心国家标准如表 1 所列。

计划制定的标准主要分布在大功率充电、互联互通、充电漫游、接口互操作、电网互动、信息安全防护等方向。在完善国内标准体系的同时，我国积极主导或参与国际标准建设，为新能源汽车产业健康快速发展保驾护航。

5 结语

新能源汽车的发展符合“碳达峰、碳中和”战略目标，且随着技术逐渐升级，配套设施逐步完善，越来越被大众认可并广泛接受，故以环保和智能为特色的新能源汽车快速增长必将持续。

应不断健全动力电池回收利用体系，加快设立动力电池回收服务网点，培育梯次和再生利用骨干企业，提升回收比例和利用效率，解决动力电池发展后顾之忧。

应进一步加大充换电基础设施建设、运营和管理力度，破解老旧小区、高速公路等场所“充电难”问题，提升公共领域车辆电动化水平，打通充电服务商之间的壁垒，鼓励私人充电桩参与共享利用，提高充换电设施利用率和服务保障水平，推进技术、产品、服务和标准化建设协同发展。

持续探索新能源汽车在新型电力系统建设中

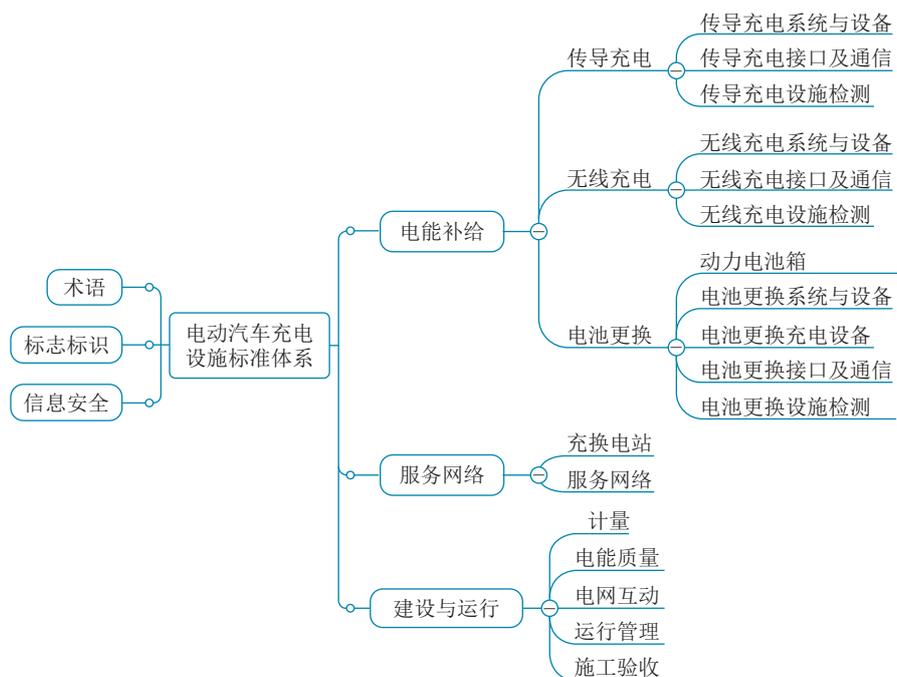


图 2 充电设施标准体系

Fig. 2 Standard system of charging facilities

表1 部分充换电相关已发布核心国家标准
Table 1 Some having been published core national standards related to charging and battery swapping

序号	标准编号	标准名称	发布年份
1	GB/T18487.1	电动汽车传导充电系统 第1部分:通用要求	2015
2	GB/T18487.2	电动汽车传导充电系统 第2部分:非车载传导供电设备电磁兼容要求	2017
3	GB/T18487.3	电动车辆传导充电系统 电动车辆交流 直流充电机(站)	2001
4	GB/T18487.4	电动汽车传导充电系统 第4部分:车辆对外放电要求	2021
5	GB/T 20234.1	电动汽车传导充电用连接装置 第1部分 通用要求	2015
6	GB/T 20234.2	电动汽车传导充电用连接装置 第2部分 交流充电接口	2015
7	GB/T 20234.3	电动汽车传导充电用连接装置 第3部分 直流充电接口	2015
8	GB/T 27930	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	2015
9	GB/T34657.1	电动汽车传导充电互操作性测试规范 第1部分:供电设备	2017
10	GB/T34657.2	电动汽车传导充电互操作性测试规范 第2部分:车辆	2017
11	GB/T 29781	电动汽车充电站通用要求	2013
12	GB/T 29772	电动汽车电池更换站通用技术要求	2013
13	GB/T 51077	电动汽车电池更换站设计规范	2015
14	GB/T 37293	城市公共设施 电动汽车充换电设施运营管理服务规范	2019
15	GB/T 38775.1	电动汽车无线充电系统 第1部分:通用要求	2020
16	GB/T 38775.2	电动汽车无线充电系统 第2部分:车载充电机与充电设备之间的通信协议	2020
17	GB/T 38775.3	电动汽车无线充电系统第3部分:特殊要求	2020
18	GB/T 38775.4	电动汽车无线充电系统第4部分:电磁环境限值与测试方法	2020

的移动储能价值和辅助服务商业模式,推动开展多种层次的车网互动运行,建立电网、交通、车辆三者协同的绿色交通网络运行体系。

参考文献

- [1] 张长令. 推动新能源汽车大规模应用与发展,助力中国实现碳中和[J]. 可持续发展经济导刊, 2021(6): 28-30.
- [2] 孙俊杰, 特锐德. 充电网+新能源汽车是实现碳中和的有效路径[J]. 中国工业和信息化, 2021(4): 66-69.
- [3] 冯乾隆, 王军雷, 康凯, 等. 新能源汽车充电对电网影响分析[J]. 汽车工业研究, 2021(3): 34-39.
- [4] GB/T 19596—2017 电动汽车术语[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [5] 徐继勇. 电动汽车技术原理及发展展望[J]. 内燃机与配件, 2021, 22: 174-175.
XU Jiyong. Technical principles and development prospects of electric vehicles[J]. *Internal Combustion Engine & Parts*, 2021, 22: 174-175(in Chinese).
- [6] 任海. 中国新能源汽车用锂电池产业现状及发展趋势[J]. 当代化工研究, 2021(6): 14-15.
REN Hai. Current status and development trend of lithium battery industry for new energy vehicles in China[J]. *Modern Chemical Research*, 2021(6): 14-15(in Chinese).
- [7] 李建林, 李雅欣, 吕超, 等. 退役动力电池梯次利用关键技术及现状分析[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(13): 172-183.
LI Jianlin, LI Yaxin, LÜ Chao, *et al.* Key technology and research status of cascaded utilization in decommissioned power battery[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2020, 44(13): 172-183(in Chinese).
- [8] 李建林, 王哲, 许德智, 等. 退役动力电池梯次利用相关政策对比分析[J]. 现代电力, 2020, 44(13): 172-183.
LI Jianlin, WANG Zhe, XU Dezhi, *et al.* A comparative analysis of relevant policies is made on retired power batteries[J]. *Modern Electric Power*, 2020, 44(13): 172-183(in Chinese).
- [9] 吴威, 唐雨晨, 叶荣, 等. 不同场景下基于AHP-TOPSIS退役电池梯次利用综合评价[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(4): 115-122.
WU Wei, TANG Yuchen, YE Rong, *et al.* Comprehensive evaluation of AHP-TOPSIS decommissioned battery secondary utilization in different scenarios[J]. *Power System and Clean Energy*, 2020, 36(4): 115-122(in Chinese).
- [10] 牛康廷, 张伟燕, 王若禹, 等. 浅谈新能源汽车智能化发展的机遇与挑战[J]. 内燃机与配件, 2021(16): 189-190.
- [11] 赵世佳, 赵福全, 郝瀚, 等. 中国新能源汽车充电基础设施发展现状与应对策略[J]. 中国科技论坛, 2017(10): 97-104.
ZHAI Shijia, ZHAO Fuquan, HAO Han, *et al.* The current

- situation and countermeasures in Chinese charging infrastructure of new energy vehicles[J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2017(10): 97–104(in Chinese).
- [12] 董龙昌, 陈民铀, 李哲, 等. 基于V2G的电动汽车有序充放电控制策略[J]. *重庆大学学报*, 2019, 42(1): 1–15.
DONG Longchang, CHEN Minyou, LI Zhe, *et al.* Ordered charging and discharging control strategy of EVs based on V2G[J]. *Journal of Chongqing University*, 2019, 42(1): 1–15(in Chinese).
- [13] 李红岩, 刘苗苗, 贾甜, 等. 基于蒙特卡洛算法的电动汽车有序充电控制策略研究[J]. *电器与能效管理技术*, 2021(5): 59–64.
LI Hongyan, LIU Miaomiao, JIA Tian, *et al.* Research on control strategy of electric vehicle orderly charging based on Monte Carlo algorithm[J]. *Low Voltage Apparatus*, 2021(5): 59–64(in Chinese).
- [14] 吴凯, 程启明, 李明, 等. 具有V2G功能的电动汽车快速充放电方法[J]. *电力自动化设备*, 2014, 34(2): 30–34.
WU Kai, CHENG Qiming, LI Ming, *et al.* Fast charging and discharging method for electric vehicle with V2G function[J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2014, 34(2): 30–34(in Chinese).
- [15] 朱心月, 李炳华, 王成, 等. 电动汽车V2G关键技术的研究[J]. *电气应用*, 2021, 28(7): 35–36,50.
ZHU Xinyue, LI Binghua, WANG Cheng, *et al.* Research on the key technology of V2G for electric vehicles[J]. *Electrotechnical Application*, 2021, 28(7): 35–36,50(in Chinese).
- [16] 杜青林. 大功率液冷充电枪的发展现状[J]. *电子产品世界*, 2021, 28(7): 35–36.
DU Qinglin. Development status of high power liquid-cooled charging connector[J]. *Outlook of Electronic Technology*, 2021, 28(7): 35–36(in Chinese).
- [17] 张海艳, 吕志伟, 左延婷, 等. 电动汽车大功率充电技术研究与应用[J]. *北京汽车*, 2020(1): 31–34.
- [18] 吴婧, 刘霞. 电动汽车充电技术与换电技术浅析[J]. *汽车实用技术*, 2021, 46(12): 8–10.
WU Jing, LIU Xia. Analysis on the charging technology and the battery swap technology of energy vehicle[J]. *Automobile Technology*, 2021, 46(12): 8–10(in Chinese).
- [19] 刘超群, 魏斌, 吴晓康, 等. 电动汽车移动式无线充电技术工程化应用研究[J]. *电网技术*, 2019, 43(6): 2211–2218.
LIU Chaoqun, WEI Bin, WU Xiaokang, *et al.* Engineering application of dynamic wireless charging technology for electric vehicles[J]. *Power System Technology*, 2019, 43(6): 2211–2218(in Chinese).
- [20] 章小平. 充电设施进居民区存在的问题分析[J]. *时代汽车*, 2021(8): 78–79.
ZHANG Xiaoping. Analysis of problems existing in charging pile facilities entering residential areas[J]. *Auto Time*, 2021(8): 78–79(in Chinese).
- [21] 陈永强. 充电设施行业面临的挑战和发展任务[J]. *汽车零部件*, 2021(11): 96–99.
CHEN Yongqiang. Challenges and development tasks of charging facilities industry[J]. *Automobile Parts*, 2021(11): 96–99(in Chinese).
- [22] 孟宪珍, 张艳, 安琪, 等. 电动汽车接入充电对配电网电压波动的影响[J]. *电网与清洁能源*, 2021, 37(2): 91–98.
MENG Xianzhen, ZHANG Yan, AN Qi, *et al.* Influence of electric vehicle access charging on voltage fluctuation of distribution network[J]. *Power System and Clean Energy*, 2021, 37(2): 91–98(in Chinese).
- [23] 王高红. 电动汽车技术的现状分析与发展趋势研究[J]. *电网与清洁能源*, 2017, 33(11): 97–100.
WANG Gaohong. Study on the current situation and development trend of electric vehicle technology[J]. *Power System and Clean Energy*, 2017, 33(11): 97–100(in Chinese).
- [24] 项顶, 胡泽春, 宋永华, 等. 通过电动汽车与电网互动减少弃风的商业模式与日前优化调度策略[J]. *中国电机工程学报*, 2015, 35(24): 6293–6303.
XIANG Ding, HU Zechun, SONG Yonghua, *et al.* Business model and day-ahead dispatch strategy to reduce wind power curtailment through vehicle-to-grid[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2015, 35(24): 6293–6303(in Chinese).
- [25] 乐文海, 何春林, 郑正仙, 等. 国内电动汽车充换电设施标准体系[J]. *浙江电力*, 2017, 36(3): 5–8.
LE Wenhai, HE Chunlin, ZHENG Zhengxian, *et al.* Domestic standard system for electric vehicle charging and battery-swapping facilities[J]. *Zhejiang Electric Power*, 2017, 36(3): 5–8(in Chinese).

收稿日期：2022-03-03

作者简介：

华光辉(1983), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为分布式发电与储能应用、电动汽车有序充电与车网互动、综合能源协调控制技术等, E-mail: huaguanghui@epri.sgcc.com.cn;

夏俊荣(1985), 男, 高级工程师, 研究方向为分布式发电及需求侧响应技术;

廖家齐(1996), 男, 工程师, 研究方向为电动汽车充电协同控制技术;

王会超(1993), 男, 工程师, 研究方向为配电网承载力评估技术;

周磊(1994), 男, 工程师, 研究方向为分布式新能源集群控制技术;

刘瑜俊(1988), 男, 工程师, 研究方向为电力储能与电动汽车充电技术。