

DOI: 10.3969/j.issn.2097-0706.2022.06.005

电动汽车充电站站网互动运行优化技术研究与实践

Research and practice on the EV station-to-grid interactive operation optimization technology

张永新¹, 闫鹏领², 朱国栋³
ZHANG Yongxin¹, YAN Pengling², ZHU Guodong³

(1. 河北雄安许继电科综合能源技术有限公司, 河北 雄安 071700; 2. 林州晶澳光伏发电有限公司, 河南 林州 456500; 3. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

(1. Hebei Xiong'an XJ&EPRI Integrated Energy Technology Company Limited, Xiong'an 071700, China;

2. Linzhou Jing'ao Photovoltaic Power Generation Company Limited, Linzhou 456500, China;

3. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

摘要:针对未来电动汽车配套充电设施大面积建设与现有电网供电容量之间的矛盾,提出一种新型的应用于电动汽车充电站的站网互动运行优化技术,叙述应用该技术的电动汽车充电站参与源荷互动的主要技术原理和作为负荷参与电网需求侧响应的主要控制策略,分析该技术应用案例和应用效果。电动汽车充电站站网互动运行优化技术可以平滑内部充电桩负荷用电曲线,实现电动汽车充电站负荷的削峰填谷,促进清洁能源消纳,缓解充电设施对电网负荷的冲击,降低电网建设投资。

关键词:电动汽车; 充电站; 站网互动; 源荷互动; 需求侧响应; 运行优化技术; 碳中和

中图分类号: TK 01+9; TK 02

文献标志码: A

文章编号: 2097-0706(2022)06-0045-07

Abstract: To address the contradiction between the large-scale construction of charging facilities for electric vehicles (EVs) and the limited supply capacity of the existing power grid, a new EV station-to-grid (S2G) interactive operation optimization technology is proposed. The technology engaged EVs into the demand-side response control in the power grid based on the main principles of the EV charging stations participating in source-load interaction. The application effect of the technology has been analyzed by practical cases. The S2G interactive operation optimization technology can smooth the load curve of charging piles and realize peak shaving with the loads of charging stations. Moreover, the technology can boost clean energy consumption, alleviate the impact of charging facilities on the power grid and save the investment in grid construction.

Keywords: electric vehicle; charging station; station-to-grid interaction; source-load interaction; demand side response; operation optimization technology; carbon neutrality

0 引言

汽车是CO₂等温室气体主要排放源之一,推广电动汽车可促进能源革命及能源转型,更是实现碳达峰、碳中和目标的重要抓手^[1]。未来电动汽车必将出现井喷式增长,电动汽车配套的充电设施大面积建设与现有电网供电容量之间的矛盾将会日益突出,现有电动汽车有序充电技术和车网互动(Vehicle-to-Grid, V2G)技术无法很好地解决上述问题^[2-3]。对电动汽车充电站站网互动(Electric Vehicle Charging Station-to-Grid, S2G)运行优化技

术进行研究和示范工程建设,通过挖掘作为电力需求侧资源的电动汽车充电站负荷主动调节能力,解决现有电网供电容量瓶颈,保障电网稳定运行。

1 研究背景

1.1 电动汽车保有量及发展趋势

公安部机动车注册登记系统2016年以来新能源汽车及纯电动汽车保有量统计数据如图1所示。截至2021年,我国新能源汽车保有量达784万辆,占汽车总量的2.60%,其中纯电动汽车保有量640万辆,占新能源汽车总量的81.63%。自2018年新能源汽车增量连续4年超过100万辆,2021年增加295万辆,比上年增加178万辆,增速151.61%。

收稿日期: 2022-02-22; 修回日期: 2022-04-09

基金项目: 国家电网公司总部科技项目(52182019000K)

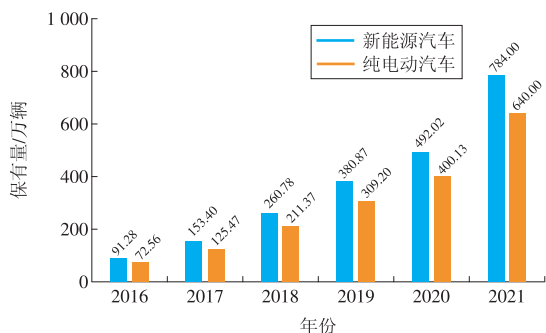


图1 2016年以来我国新能源汽车及纯电动汽车保有量

Fig. 1 New energy vehicle and pure electric vehicle ownership since 2016 in China

1.2 充电设施大规模建设带来的问题

目前国内新能源汽车保有量突破20万辆的上海、北京、深圳、广州、杭州等地,已经出现充电设施紧缺的情况^[4]。随着碳达峰、碳中和目标的推进,以及各地对燃油机动车的限购、限行政策越来越严格,未来几年我国新能源汽车保有量将持续高速增长,充电设施紧缺的情况会越来越突出,因此“十四五”期间大部分省市开始大规模规划建设电动汽车充电设施,这对城市配电网特别是供电容量已经趋于饱和的配电区域的供电能力提出了严峻考验。通过调研,电动汽车充电设施大规模建设带来了以下3方面的问题。

1.2.1 随机充电行为对电网产生冲击

常规电动汽车充电模式在时间、空间、充电负荷需求等方面都存在着不确定性和不可控性,这种随机充电行为若集中在用电尖峰时段将对电网产生较大的冲击。特别是电动汽车充电设施大规模建设后,会对电网产生巨大的冲击,严重影响配电网的安全稳定运行^[5-6]。

1.2.2 电网基础设施投资及浪费巨大

随着充电设施的大规模建设,需要对现有电网进行增容规划,增加大量的一次设备投资。目前充电负荷的一次设备建设容量为峰值容量乘以同时率,但配电变压器的平均利用率很低,造成大量的投资浪费。

1.2.3 大量传统充电桩建设占据城市空间

大量的传统充电桩建设会导致城市出现“充电桩成树林”的场景,占据城市空间。

1.3 电动汽车有序充电技术现状

为实现配电网与电动汽车充电设施的匹配发展,研究者提出电动汽车有序充电技术。目前电动汽车有序充电技术主要有基于能源控制器的有序充电技术和V2G技术。

1.3.1 基于能源控制器的有序充电技术

基于能源控制器的有序充电技术适用于多台

充电桩由单个配电变压器供电的场景,应用较为广泛,其主要技术原理如图2所示。该技术通过能源控制器采集配电台区配电变压器实时负荷状态,以及每台充电桩的设备信息、状态信息、功率信息、充电信息和告警信息,充分利用变压器剩余容量,计算出充电桩充电服务可用功率,进而制定每台充电桩的最优充电控制策略,对每台充电桩的充电负荷进行实时调控,实现配电台区配电变压器负荷、电动汽车充电负荷和其他用电负荷之间的能量协调和互动^[7]。

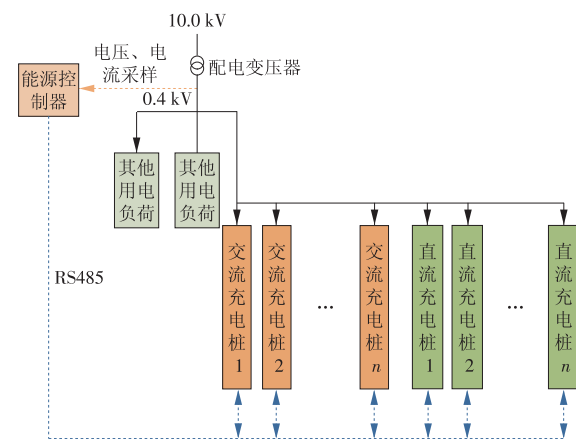


图2 基于能源控制器的有序充电技术原理

Fig. 2 Principle of orderly charging technology based on energy controller

1.3.2 基于能源控制器的V2G技术

基于能源控制器的V2G技术能量流动如图3所示,该技术改变了电动汽车传统单向充电模式,将电动汽车动力电池作为智能电网的分布式储能单元。

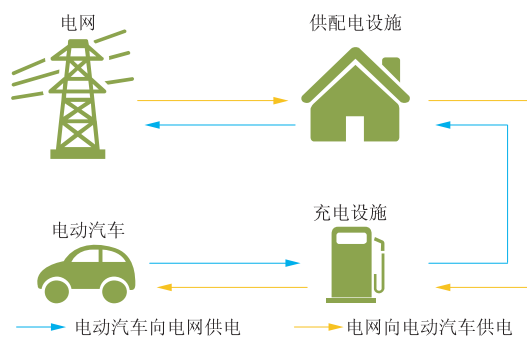


图3 基于能源控制器的V2G技术能量流动

Fig. 3 Energy flow of V2G technology based on energy controller

由图3可见,当电网负荷较低且电池需要充电时,电动汽车充电存储能量;当电网负荷过高且电动汽车闲置时,电动汽车向电网释放电量^[8-11]。现阶段该技术可实现对电网负荷的削峰填谷,促进清洁能源消纳,降低充电设施对配网的冲击^[12]。目前该技术处于示范建设阶段,在上海世博会国家电网馆、江苏同里新能源小镇、雄安市民服务中心等地

进行了示范建设。

1.4 电动汽车充电站 S2G 运行优化技术

目前基于能源控制器的有序充电技术和 V2G 技术主要针对单车单桩的有序充放电控制,该控制对电网影响微乎其微。如采用目前技术实现对大规模电动汽车充电桩的统一充放电控制,存在实现难度较大、成本较高、主动调节能力弱等问题,加上电动汽车动力电池充放电次数和用户参与意愿等制约因素,难以在充电高峰期缓解电网压力。因此亟须一种可以协调电动汽车充电设施与电网之间的互动运行优化技术,对电动汽车充电设施和其他用电负荷进行合理分配,降低大量电动汽车充电时对配电变压器和配电网的负荷冲击影响,实现电网与电动汽车的和谐稳定发展。电动汽车充电站站网互动运行优化技术是新型源荷互动技术,通过挖掘作为电力需求侧资源的电动汽车充电站的负荷主动调节能力,有效解决现有电网供电容量瓶颈,节约配电网建设投资,支撑电网安全稳定运行^[13-14]。

2 电动汽车充电站站网互动运行优化技术

电动汽车充电站站网互动运行优化技术是将电动汽车充电站作为一个整体对象,通过站控级能量管理系统 (Station Energy Management System, SEMS) 对内平滑用电负荷,在短时间内使充电站具备数倍于配电容量的充电能力;对外通过灵活柔性的功率分配控制策略,使电动汽车充电站成为用电功率稳定的优质负荷,同时能够在电网负荷高峰时段控制电动汽车充电站参与需求侧响应,利用电池储能系统向电网反向输送电能,辅助电网实现电网负荷调峰^[15-17]。该技术主要原理如图 4 所示。

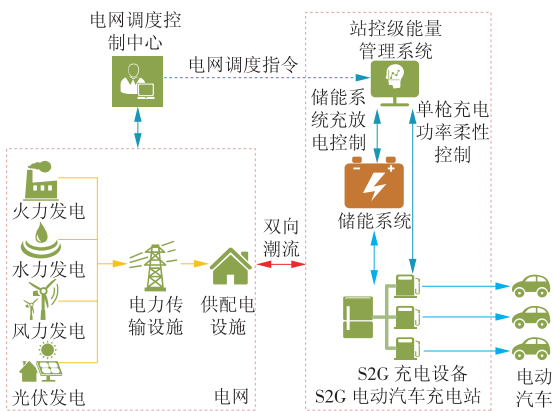


图 4 站网互动运行优化技术原理
Fig. 4 Principle of the S2G interactive operation optimization technology

应用站网互动运行优化技术的电动汽车充电站被称为 S2G 充电站, S2G 充电站一般由 S2G 充电

设备、储能系统和 SEMS 组成。

2.1 S2G 充电设备

S2G 充电设备采用模块化设计,拥有多重安全保护措施,并具备智能化功率自动分配和充电功率柔性控制等功能,其系统原理如图 5 所示。

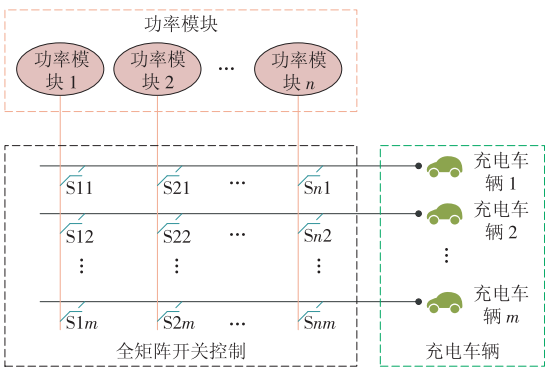


图 5 S2G 充电设备系统原理
Fig. 5 Principle of the S2G charging facility

S2G 充电设备转换效率高,输出电流稳定、可靠,通过 SEMS 对车辆进行精准有序、高效快速的充电调度控制。S2G 充电设备具有以下功能特点。

- (1)电压范围宽,可为所有类型电动汽车提供充电服务。
- (2)模块化设计,多个功率模块并联工作。
- (3)根据充电车辆的数量,智能动态调配充电功率,设备利用率高。
- (4)实时检测充电服务数据,可接受 SEMS 智能调配,动态调节每台充电桩的输出功率。
- (5)具有输入过压、输入欠压、输出短路、电池反接、输出过压、过温等多重安全保护功能,可及时发现故障。

2.2 储能系统

储能系统采用高安全、高可靠的倍率型锂离子电池,系统架构如图 6 所示。储能系统放电功率数值为电池容量数值的 3 倍以上,能够响应电网及充电侧负荷双向需求。为保证储能系统安全可靠,在消防、防雷与接地、电能质量等方面进行了特殊设计。

- (1)消防安全。配置 2 套独立的灭火系统,在电池箱内部每个电池模组配热气溶胶模块,170℃自动触发保护;同时在集装箱内配置常规的七氟丙烷灭火系统^[18]。
- (2)防雷与接地。集装箱顶部设置避雷针(接闪器),箱底部设置泄流装置;集装箱内部地面铺设绝缘胶皮,电池组对地阻抗达到 10 kΩ 以上。
- (3)电能质量影响。储能系统对电网电能质量的影响主要由储能变流器 (Power Conversion

System, PCS) 决定, PCS 整体设计遵循 GB/T 34120—2017《电化学储能系统储能变流器技术规范》中的规定,能够有效避免储能系统对接入电网电能质量的影响^[19-20]。

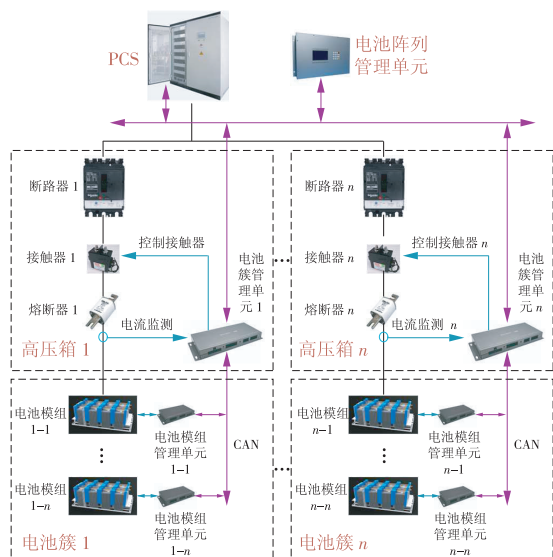


图 6 储能系统架构

Fig. 6 Architecture of the energy storage system

2.3 SEMS

SEMS 技术架构如图 7 所示,该系统以互联网技术和能源控制技术为依托,采用先进的微服务系统架构,构建了统一的基础平台,具备构架逻辑统一、功能互补的优势^[21]。

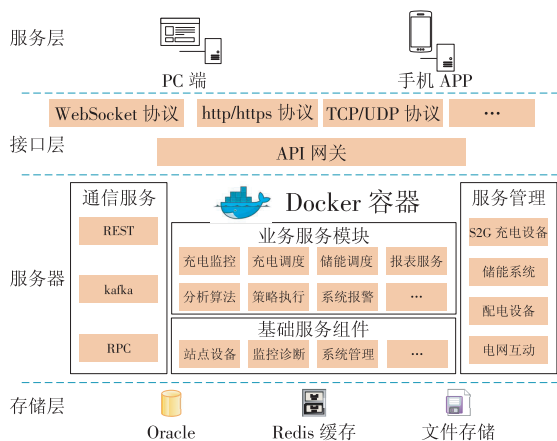


图 7 SEMS 技术架构

Fig. 7 Technical architecture of SEMS

SEMS 具有快速交付需求、高弹性伸缩、跨平台部署、集中管理、轻量化分布的功能特点,可以快速整合电站内 S2G 充电设备、储能设备、配电设备、人机交互设备、充电平台,达到全面协调、有序运转,统一管控的效果。

电动汽车充电站作为电力需求侧资源支撑电网安全稳定运行控制,需要通过 SEMS 执行各种功率分配策略,关键的功率分配策略主要有以下 4 种。

(1) 新车进入充电站时的功率分配策略。当有新的车辆进入充电站充电时,SEMS 根据车辆充电需求、充电站允许充电负荷情况、储能系统电池容量等因素进行充电车辆充电功率、储能系统放电功率等功率分配策略的生成与下发。

(2) 车辆驶离充电站时的功率分配策略。当有车辆完成充电驶离充电站充电时,SEMS 根据空余出来的充电功率,优先降低储能系统输出功率;当仍有空余功率时,根据车辆充电需求、现有充电功率、变压器经济运行特性等因素,确定功率分配策略的生成与下发。

(3) 接到调度指令时的充电站功率分配策略。当充电站接收到电网调度容量和持续时间的调度指令时,SEMS 进行充电车辆充电功率降低、储能系统放电功率等功率分配策略的分析生成与下发。

(4) 接到放电指令时的充电站功率分配策略。当充电站接收到电网的放电调度指令时,SEMS 分析生成储能系统单独放电或充电车辆充电功率降低、储能系统协同放电等功率分配策略并下发。

3 S2G 充电站示范工程建设案例

远期规划规模为 500 万人口的某新区电力专项规划方案,高方案下预测年总负荷容量为 8.34 GW,电量 36.7 TW·h;中方案下预测年总负荷容量为 5.46 GW,电量 22.7 TW·h。按照该地区提出交通发展规划目标,绿色交通出行比例达到 90%、公共交通占机动化出行比例达到 80%,至 2035 年要实现全电化。该地区远期电动汽车数量预计达到 165 万辆,由于常规电动汽车充电方式在时间、空间、充电负荷需求等方面的不确定性和不可控性,电动汽车远期充电需求最大容量为 17.44 GW,是该地区电力规划总负荷容量的 2.09~3.19 倍,电动汽车全面推广带来的充电负荷容量缺口巨大。

为解决该地区电动汽车充电负荷容量缺口问题,当地电网企业规划该地区电动汽车充电站的建设模式采用 S2G 充电站模式,并在该地区建设的首座 220 kV 变电站中进行了示范建设。

3.1 工程建设范围

该 S2G 充电站示范工程平面布置如图 8 所示。该示范工程建设 S2G 充电车位 46 个,包括 1 套 2.7 MW S2G 充电设备、1 套 1.89 MW/0.806 MW·h 储能系统和 1 套 SEMS,并同步进行了 2 台移动接头式充电机器人、3 台 AGV 智能功率分配机器人及其他配套设施的示范建设。其中 2.7 MW S2G 充电设备由 6 套 450 kW S2G 直流充电设备、30 套自动导引车 (Automated Guided Vehicle, AGV) 无桩充电终端和 8

台单接头落地充电终端组成。

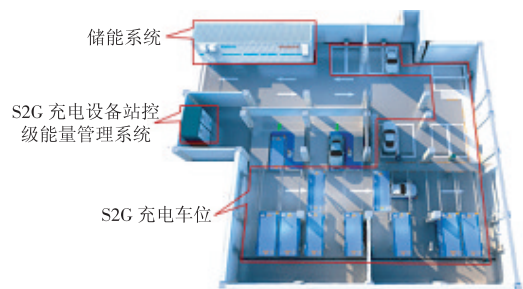


图 8 S2G 充电站示范工程平面布局

Fig. 8 Plane layout of a demonstration project of a S2G charging station

3.2 主要设备技术参数

3.2.1 2.7 MW S2G 充电设备

S2G 充电设备由 6 套 450 kW S2G 直流充电机组成,单台 S2G 直流充电设备主要技术参数见表 1。

表 1 单台 S2G 直流充电机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of a single S2G DC charger

项目	技术参数
输出功率/kW	450
充电接口	最多可同时连接 8 个充电接头
充电方式	动态分配
输出直流电压/V	200~750
输入交流电压/V	380×(1±15%)
输入频率/Hz	45~65
整机效率/%	峰值≥96
稳压精度/%	≤±0.5
稳流精度/%	≤±1.0
纹波系数	有效值≤±0.5%;峰值≤±1.0%
功率因数	≥0.98
总谐波含量/%	≤5
噪声/dB	≤65
外形尺寸(长×宽×高)/mm	1 800×800×1 910

S2G 充电设备通过 CAN 通信控制充电终端对车辆进行大功率充电。采用矩阵式直流母线系统实现充电功率在直流母线上的动态流动,根据 SEMS 的功率调配指令,实现 0~150 kW(0~250 A)的充电输出功率设定。S2G 充电设备的充电功率单元集中放置,充电接头线分为充电线与充电接头 2 部分,一部分安装至充电车位的充电接口处,另一部分在立体车库托盘上设置充电接头及固定架。

3.2.2 1.89 MW/0.806 MW·h 储能系统

储能系统用于支撑和平抑充电站内电动汽车充电或其他大功率负荷的短时用量引起的功率缺额,实现充电功率倍增。储能系统分为电池舱和 PCS 舱,电池舱内主要包含电池架、电池、电池管理系统、高压控制汇流柜、消防系统、动环系统;PCS 舱

内主要包含 PCS、交流配电柜。电池系统管理采用三级模块化结构,中层为电池管理单元(Battery Management Unit, BMU),向下连接电池管理系统(Battery Management System, BMS),向上与 PCS 信息交互。储能系统主要配置及技术参数见表 2。

表 2 储能系统主要配置及技术参数

Table 2 Main configuration and technical parameters of the energy storage system

设备	技术参数	单位	数量
磷酸铁锂电池	768 V/50 A·h/38.4 kW·h	套	21
储能变流器	630 kW·A	台	3
BMS		套	21
高压箱	1 000 V/250 A	台	21
直流汇流柜	7 汇 1, DC 1 000 V/1 000 A	台	3
消防系统	七氟丙烷自动灭火系统(集装箱内)	套	1
	脉冲式气溶胶系统(电池箱内)	套	1
空调	MC50	台	2
集装箱	1 000×2 300×2 300 mm(长×宽×高)	台	1

3.2.3 SEMS

SEMS 基于站网互动理念,对 S2G 充电站的变配电设备、S2G 充电设备、储能系统、车辆进行统一管理,充分考虑电动汽车荷电状态(State of Charge, SOC)、变压器实时功率、储能系统 SOC 等因素,灵活柔性分配充电功率,同时对充电站内移动抓枪式充电机器人、AGV 智能功率分配机器人进行调度,系统具备硬件设备管理和故障诊断功能,保证 S2G 充电站始终工作在最优转换效率状态下。SEMS 通信和功能架构如图 9 所示。

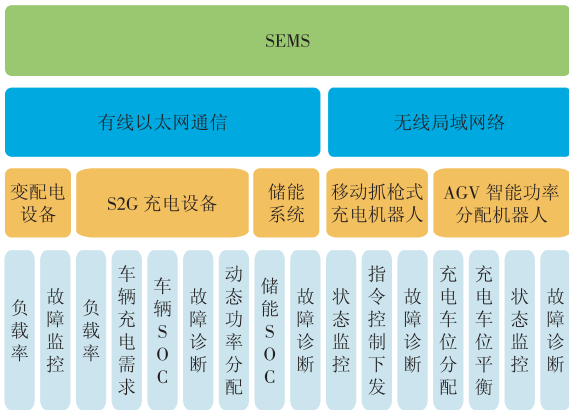


图 9 SEMS 通信和功能架构

Fig. 9 Communication and functional architecture of SEMS

3.3 建设成效分析

3.3.1 大幅度降低配电网配套供电容量

应用站网互动运行优化技术的电动汽车充电站,可使充电站配变容量降低为充电峰值需求容量的 1/3。保证该地区在城市建设的时期以及成熟期内,利用原规划的供配电网设施即可满足区域内

的电力供应需求和电动汽车充电需求,避免供配电网设施重复建设造成的资源浪费。

3.3.2 使电动汽车充电站成为优质负荷

当应用了站网互动运行优化技术的电动汽车充电站内产生的突增充电负荷时,可以通过充电设备动态功率分配、储能系统的辅助调节等手段,在满足短时高负荷充电需求的前提下,保证负荷的稳定,不对电网造成冲击,从而使电动汽车充电站成为稳定的优质负荷。

3.3.3 实现充电站与电网的双向柔性互动

基于主动式配电网理念,当充电负荷较大时,储能系统可作为功率提升设备,将充电功率迅速提升,甚至超过上级配电变压器容量,保证在电网负荷尖峰时段的电动汽车充电需求;当电网负荷较大时,电动汽车充电站按照调度指令要求,切断或降低充电负荷,并可以向电网反向提供短时电源支撑,实现电动汽车充电站与电网双向柔性互动。

3.3.4 降低充电桩交直流转换的能量损耗

每个常规电动汽车直流桩中均存在交流转直流模块,交直流转换模块的能量损耗约为 6%。应用站网互动运行优化技术的电动汽车充电站中的 S2G 充电设备,设置了集中的交直流转换模块,交直流转换的能量损耗降低至 5%。

3.3.5 打造未来城市充电设施建设样板

示范工程为站网互动运行优化技术标准、S2G 充电站规划设计标准等标准建立提供依据,解决了大量的传统充电桩建设导致出现的“充电桩成树林”问题,有利于城市的整体形象品质的提升,为未来城市充电设施建设提供了样板。

4 站网互动运行优化技术推广应用的意义

4.1 实现电动汽车充电模式的重大转变

将传统停车+充电模式的充电站转变为类似加油站的高周转率模式的充电站,通过 SEMS 的智能柔性功率分配策略,控制每根充电枪在 15~150 kW 范围内输出充电功率,最大充电效率相比常规直流桩显著提升,可满足电动汽车差异化的充电需求。

4.2 实现储能电池与电网互动模式的转变

将常规 kW·h 级车载动力电池与电网的互动,转变为 MW·h 级分布式配网储能系统与电网的互动。从电网调度指令下达达到储能系统由满充状态转为满放状态,响应时间在 100 ms 以内,实现电动汽车充电站毫秒级的有序充放电控制。同时解决了传统有序充电技术中电动汽车充电车主参与电网互动的意愿问题。

4.3 实现充电站与电网的调节模式的转变

将对电网稳定运行无调节能力的传统电动汽车充电站,转变为可对电网进行电压、频率调节的电动汽车充电站,通过站网互动运行优化技术的应用,电动汽车充电站成为了一座小型可调节电源,可实现对电网电压、频率的有效调节,同时降低了快速增长的电动汽车充电需求对电网的冲击。

5 结束语

电动汽车充电站站网互动运行优化技术是将电动汽车充电站作为一个整体对象,通过 SEMS 对内平滑用电负荷,对外通过灵活柔性的功率分配控制策略,使 S2G 电动汽车充电站成为用电功率稳定的优质负荷,同时能够在电网负荷高峰时段控制参电动汽车充电站与需求侧响应,利用电池储能系统向电网反向输送电能,辅助电网实现电网负荷调峰、调压、调频。未来以新能源为主体的新型电力系统中,站网互动运行优化技术将会是实现电动汽车及其充电设施与电网之间协调发展的一种关键技术。该技术可以实现电动汽车充电站对电网负荷的削峰填谷,促进清洁能源消纳,降低充电设施对电网负荷的冲击,节约电网建设投资。

参考文献:

- [1]韩爱青.全球新能源汽车推广势在必行[J].高科技与产业化,2021,27(1):35-37.
- [2]丁叶强,姚学恒,陈向民,等.基于 5G 与实时电价的电动汽车需求侧管理研究[J].华电技术,2021,43(1):66-70.
DING Yeqiang, YAO Xueheng, CHEN Xiangmin, et al. Study on electric vehicle demand side management based on 5G and spot pricing [J]. Huadian Technology, 2021, 43(1): 66-70.
- [3]颜勤,涂晓帆.新型电力系统下综合电动汽车充电站的优化运行[J].湖南大学学报(自然科学版),2022,49(2):176-182.
YAN Qin, TU Xiaofan. Optimized operation of an integrated electric vehicle charging station with renewables and storage under new power system [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2022, 49(2): 176-182.
- [4]郑剑,郝浩,朱海东,等.新形势下发电企业在充电桩领域的业务分析[J].华电技术,2021,43(4):78-82.
ZHENG Jian, HAO Hao, ZHU Haidong, et al. Business analysis on power generation enterprises in the field of charging pile under the new circumstances [J]. Huadian Technology, 2021, 43(4): 78-82.
- [5]RAJANI B, KOMMULA B N. An optimal energy management among the electric vehicle charging stations and electricity distribution system using GPC-RERNN approach [J]. Energy,

- 2022, 245: 123180.
- [6] VENKATAKRISHNAN G R, RENGARAJ R, PRAKASH N B. Optimally manage the energy between electric vehicle charging stations and electricity distribution system: A hybrid technique [J]. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, 2022, 35(1): e2944.
- [7] CASINI M, VICINO A, ZANVETTOR G G. A chance constraint approach to peak mitigation in electric vehicle charging stations [J]. Automatica, 2021, 131: 109746.
- [8] 朱心月, 李炳华, 王成, 等. 电动汽车 V2G 关键技术研究 [J]. 电气应用, 2021, 40(4): 36-43.
- ZHU Xinyue, LI Binghua, WANG Cheng, et al. Research on the key technology of V2G for electric vehicle [J]. Electrotechnical Application, 2021, 40(4): 36-43.
- [9] 黄亮, 刘明, 张锐明. 双向充电桩 V2G 控制策略研究 [J]. 电力电子技术, 2019, 53(8): 41-44, 49.
- HUANG Liang, LIU Ming, ZHANG Ruiming. Research on V2G control strategy of bidirectional charging pile [J]. Power Electronics, 2019, 53(8): 41-44, 49.
- [10] 贾雍, 岑康. V2G 技术与电动汽车充电策略研究 [J]. 电气开关, 2017, 55(4): 83-86.
- JIA Yong, CEN Kang. Research on V2G technology and EV charging strategy [J]. Electric Switchgear, 2017, 55(4): 83-86.
- [11] 范英乐, 鄢斌. 一种电动汽车与电网互动 (V2G) 充放电站的设计和运行构想 [C]// 未来配电网形态及关键技术研讨会论文集, 2014: 150-152.
- FAN Yingle, YAN Bin. Design and operation concept of an electric vehicle and grid interaction (V2G) charging and discharging station [C]// Proceedings of the Seminar on Future Distribution Network Form and Key Technologies, 2014: 150-152.
- [12] 赵珊珊. 电动汽车充电预约机制及光伏充电站优化调度研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [13] 陈娟, 黄元生, 鲁斌. 区域能源互联网“站-网”布局优化研究 [J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(3): 675-684.
- CHEN Juan, HUANG Yuansheng, LU Bin. Research on "station-pipelines" layout and optimization of regional energy internet [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(3): 675-684.
- [14] 秦羽飞, 葛磊蛟, 王波. 能源互联网群体智能协同控制与优化技术 [J]. 华电技术, 2021, 43(9): 1-13.
- QIN Yufei, GE Leijiao, WANG Bo. Swarm intelligence collaborative control and optimization technology of energy internet [J]. Huadian Technology, 2021, 43(9): 1-13.
- [15] 方兵, 李琳玮, 黄亮, 等. 计及储能与电动汽车充电站的配电网经济运行研究 [J]. 电力需求侧管理, 2022, 24(2): 59-64.
- FANG Bing, LI Linwei, HUANG Liang, et al. Research on economic operation of distribution network considering energy storage and electric vehicle charging station [J]. Power Demand Side Management, 2022, 24(2): 59-64.
- [16] 侯慧, 王逸凡, 黄亮, 等. 满足电动汽车快充需求的含储能复合型充电站充电优化策略 [J]. 电力自动化设备, 2022, 42(1): 65-71.
- HOU Hui, WANG Yifan, HUANG Liang, et al. Charging optimization strategy of composite charging station with energy storage to meet fast charging demand of electric vehicles [J]. Electric Power Automation Equipment, 2022, 42(1): 65-71.
- [17] 汪希玥, 徐箭, 廖思阳, 等. 考虑虚拟储能特性的柔性负荷调控裕度评估方法 [J]. 华电技术, 2021, 43(9): 37-45.
- WANG Xiyue, XU Jian, LIAO Siyang, et al. Flexible load regulation margin evaluation method considering virtual energy storage characteristics [J]. Huadian Technology, 2021, 43(9): 37-45.
- [18] 胡振恺, 李勇琦, 彭鹏, 等. 电池储能系统火灾预警与灭火系统设计 [J]. 消防科学与技术, 2020, 39(10): 1434-1438.
- HU Zhenkai, LI Yongqi, PENG Peng, et al. Design of fire warning system and fire extinguishing system of battery energy storage system [J]. Fire Science and Technology, 2020, 39(10): 1434-1438.
- [19] BALASUNDAR C, SUNDDARABALAN C K, SHARMA J, et al. Design of power quality enhanced sustainable bidirectional electric vehicle charging station in distribution grid [J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 74: 103242.
- [20] 冯力勇, 张云. 考虑电池能效的电网侧电化学储能电站最优功率控制策略研究 [J]. 华电技术, 2020, 42(4): 37-41.
- FENG Liyong, ZHANG Yun. Optimal power control strategy of grid-side electrochemical energy storage stations considering battery energy efficiency [J]. Huadian Technology, 2020, 42(4): 37-41.
- [21] 胡玉琦. 企业职工标准化技术比武理论无纸化考试硬件平台的规划与设计 [J]. 数字技术与应用, 2012(6): 182.
- (本文责编: 惠忻)
-
- 作者简介:**
- 张永新(1985), 男, 工程师, 从事综合能源服务方面的研究, 18603742051@163.com;
- 闫鹏领(1991), 男, 从事综合能源服务方面的研究;
- 朱国栋(1991), 男, 高级工程师, 从事综合能源服务方面的研究。