DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.CDZ001

城市电动汽车充电设施需求预测与规划布局研究

周衍涛[1]，戴 军[1]，苑惠丽[1]，陆 岳[2]

（1. 金陵科技学院建筑工程学院，江苏 南京 211169；2. 申都设计集团，上海 200433）

摘要：随着电动汽车的普及，其配套的充电设施供给日益成为迫切需求。城市充电设施合理布局有助于推动电动汽车产业发展，有助于有效保护城市生态环境。通过分析电动汽车充电设施发展趋势与布局理念，提出城市充电设施规划模式、技术流程、需求预测和规划布局方法。将这种理念与方法应用于安徽省全椒县中心城区充电设施规划设计。规划结果表明，相应的需求预测和规划布局方法能够为完善城市电动汽车充电设施配套建设与空间布局实践提供技术支撑。

关键词：电动汽车；充电设施；需求预测；规划布局

Demand forecasting and planning layout of urban electric vehicle charging facilities

ZHOU Yantao[1], DAI Jun[1], YUAN Huili[1], LU Yue[2]

(1. Institute of Architectural Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China;
2. Shendu Design Group Co., Ltd., Shanghai 200433, China)

Abstract: With the popularity of electric vehicles, the supply of charging facilities is becoming urgent. The rational layout of urban charging facilities will help to promote the development of the electric vehicle industry and effectively protect the urban ecological environment. By analyzing the development trend and layout concept of electric vehicle charging facilities, this paper puts forward the planning mode, technical process, demand forecast and planning layout method of urban charging facilities. This idea and method are applied to the planning and design of charging facilities in the central urban area of Quanjiao County, Anhui Province. The planning results show that the corresponding demand forecasting and planning layout methods can provide technical support for improving the supporting construction and spatial layout practice of such charging facilities.

This work is supported by the Youth Fund of Jiangsu Provincial Natural Science Foundation (No. BK20170117).

Key words: electric vehicle; charging facility; demand forecasting; planning layout

0 引言

面临全球能源瓶颈和环境保护的巨大挑战，构建绿色创新体系和壮大节能环保产业已成为国家发展战略，倡导节能和减排为城市电动汽车发展带来了前所未有的发展机遇。据国际能源署日前发布报告称，2018 年全球电动汽车销量约为 202 万辆，其中中国电动汽车品牌销量在全球总销量中占据 49%的份额，同比上升 4% [1]。鉴于目前电动汽车续航里程与传统燃油汽车相比还不具备优势，需要分布广泛的充电设施提供充电保障[2]。但目前我国与之相配套的城市充电设施建设却相对滞后，规模不足和布局不合理问题日益凸显。截至 2020 年底，我国已建成约 168.1 万个充电桩，新能源汽车保有量已达到 492 万辆，车桩数比值约为 3:1，与国家发改委提出的车桩比达到 1:1 的目标还有一定差距。通过城市公共充电站的合理规划布局可以有效缓解电动汽车用户日常出行里程的“充电焦虑”[3-4]。目前，国内外学者已对城市充电基础设施规划与运营展开了相关理论与实践研究，主要体现在充电设施规划问题及对策[5]、规划模式与实践[6-8]、规划布局及优化[9-10]等方面。采用计量模型分析、GIS 空间分析、调研问卷等方法进行了充电设施需求预测与规划布局的有益探讨，研究成果主要可归纳为：(1) 依据充

基金项目：江苏省自然科学基金青年基金项目资助（BK20170117）

电桩建设管理成本最小与运行利润最大为模型进行充电设施配套及布局优化，但城市充电设施选址与布局目标不应仅仅考虑建设与运营成本，也应考虑其公众属性，对于不同类型的电动汽车用户需求也应得到重视与满足；(2) 通过研究充电需求密度、充电设施需求规模或划分充电设施服务范围进行充电设施配套及规划布局，但往往未能体现城市发展布局的功能指向与空间特征，与城市相关规划缺乏衔接与协调，造成实施困难。

由此可见，充电设施发展布局是一项系统性、复合性与协调性的工程，通过需求预测进行合理配套和落实空间布局对城市电动汽车推广具有重要意义，同时可减少汽车尾气排放，有效保护城市生态环境，实现双赢目标。

1 城市充电设施发展趋势及布局理念

1.1 注重实施公平和供给效率，强调政府引导与运营监督

随着电动汽车数量的快速增长，城市充电设施结构性供给不足、布局不合理、利用效率低等问题日益凸显。据最新数据显示，目前城市充电设施的使用率还不到 15%，存在着运营企业盈利困难和消费者充电价格偏高的双向矛盾。政府作为基本公共服务的供给者，首先具备重要的道德责任，必须能确保和证实城市公共服务能充分考虑到了社会公平和正义[11]。因此，政府应在关心和重视公众自身在充电设施发展方面的需求和服务之外，积极引导并监督运营商运营安全和设备维护的服务实效，并为充电设施发展和布局进行政策制定和提供融资引导。

1.2 体现充电技术的集成化与网络化，注重超前意识和智能化运营

在充电设施集成化技术的发展方面，具体地区清洁能源的开发，如光伏、风电等分布式清洁能源的集成利用以及电动汽车充电模块集成化程度的提升，可真正实现城市充电设施清洁能源的输入及使用零排放；在充电设施建设的智能化方面，主要体现在充电设施与互联网技术的结合。我国智能电网建设必要且紧迫[12]，2011 年召开的国家电网公司年度工作会议上指出要通过智能电网、物联网、交通网三网融合，实现充电设施建设的同网、同质、同价服务。从传统的充值卡到手机 APP、支付宝、微信等网络平台的应用，城市充电设施信息与使用将跨越到互联网时代，充电设施配套建设要注重超前意识和智能化运营管理，快速提升充电设施的利用率与便利性。

1.3 满足充电需求与类型的多样化，需要系统规划与复合功能布局

目前国内电动汽车的推广主要集中在公交车、出租车、环卫与公务车辆等领域，根据电动汽车类型和充电方式选择的多样性需求，电池荷电状态具有不确定性[13]，在不同场景运行模式下，电动汽车对其续航能力和充电时间要求也不同，从而影响着充电方式和电能的消耗，城市充电设施的建设类型与功率需求也将受到直接影响。2014 年国家电网提出“主导快充、兼顾慢充、引导换电、经济实用”的发展思路。城市充电设施配套应充分考虑不同功能区域的充电服务密度与设施布局，考虑充电需求的随机性和多样性，对不同类型的充电设施进行系统规划与合理配比。

1.4 坚持与相关规划有机衔接与协调理念，确保资源利用集约共享

《电动汽车充电基础设施发展指南(2015-2020)》(发改能源〔2015〕1454 号)提出充电基础设施总体定位是未来城市基础设施体系的组成部分，要纳入城市整体发展规划。而根据我国现行的城乡规划编制办法中的市县国土空间规划、城市控制性详细规划、城市道路交通规划等成果内容要求，目前上述综合性规划对城市充电基础设施总体规划布局尚未做出针对性的引导与明确的发展要求，由于缺乏上位规划的指导，导致充电基础设施在城乡发展中统筹考虑不足。同时城市综合交通、公共交通、停车场、电力设施、加油站布局等相关专项规划的编制与充电基础设施布局密切联系，但缺乏土地、交通、电力、空间等资源的统筹协调。因此，城市充电设施系统规划必须坚持与城乡相关综合规划和专项规划内容的衔接与协调，注重资源集约共享，确保规划合理性与可操作性。

2 城市充电设施规划模式与需求预测

2.1 规划模式与技术流程

城市充电设施规划模式与技术流程主要包括以下 3 个阶段，如图 1 所示。第一，现状分析与政策解读。自 2001 年以来国家和各省市地方政府高度关注新能源汽车发展建设，已出台一系列扶持培养政策、建设指导意见和推广实施细则。由于各省市发展基础和地区交通条件不同，城市充电设施规划依据和配套建设标准也有所差异，必须因地制宜地结合各城市发展现状加以仔细研究分析并予以规划落实。第二，发展需求与规划目标策略。不同类型的电动汽车充电设施需求需要配套不同类型的充电设施。通过分析城市各类公共电动汽车出行特征和充

电特征，结合城市公共汽车规模与发展趋势现状，运用计算模型科学预测城市各类公共电动汽车的保有量，在与相关综合规划和专项规划协调的基础上，预测充电设施的发展规模与发展目标。第三，总体布局与实施保障。对于各类充电设施布局，在综合考虑投资成本、运营成本以及其他成本的基础上，根据各类充电设施的充电需求分布和道路交通状况，将城市各类充电设施进行分区分类综合规划与空间布局，综合配套规划控制、建设管理和运营保障等相关政策体系，注重引导近期实施和预留远期发展弹性空间。

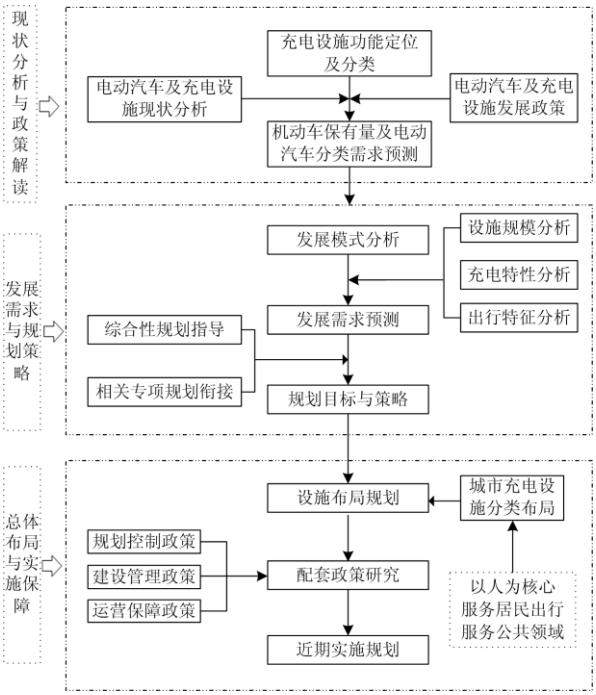

图 1　城市充电设施规划模式与技术路线图

Fig. 1 Planning mode and technical road map of urban charging facilities

2.2　规划需求预测方法

现有充电设施需求预测方法主要有两种：第一种是基于原有充电设施数量的统计预测方法，第二种是基于充电车辆保有量与充电设施配比度的预测方法。我国自 2015 年才开始新能源车的推广，由于充电设施历史数据薄弱，第一种预测方法难以实施。目前多基于第二种预测方法，如文献[14]基于对各类电动汽车充电模式分析，提出了电动汽车负荷预测模型，并由各类电动汽车的日能量需求及日最大接入数量，计算出各类电动汽车充电设施的需求数量。文献[15]根据 1 天内最大在线充电汽车数量得出快充模式下充电设施与车辆数的配比度。文献[16]提出了分散快、慢速充电设施的配比度分析计算方法。文献[17]在预测分析电动汽车保有量与充电需求的基础上，提出了基于数据融合的充电设施需求预测方法。由于充电设施的配比标准大多采用定性分析，可能会出现充电设施预测与未来发展脱节的状况。因此建议采用多种方法相结合和相互校验，提高充电设施需求预测的合理性。

(1) 按发电装机容量计算

$$N = N_{\mathrm{g}} \times \frac{G}{G_{\mathrm{g}}} \tag{1}$$

式中：N 表示待求电动汽车充电站数；N_{g} 表示国家电网电动汽车充电站数；G 表示待求地区发电总装机总量；G_{g} 表示国家电网发电总装机容量。

(2) 按耗电需求量预测

该方法通过考虑相应区域内各种类型电动汽车的保有量以及它们各自日均耗电需求量，测算出所有电动汽车日均耗电需求总量，最后根据充电站日均充电量推算出所需充电站的数量[18]。

$$N = \frac{P_{\mathrm{total}}}{T_{\mathrm{ect}}} = (P_{\mathrm{pub}}V_{\mathrm{pub}} + P_{\mathrm{taxi}}V_{\mathrm{taxi}} + P_{\mathrm{service}}V_{\mathrm{service}} + P_{\mathrm{private}}V_{\mathrm{private}}) \times f / T_{\mathrm{ect}} \tag{2}$$

式中：N 表示待求电动汽车充电站数；P_{total} 表示电动汽车日均总耗电量，kWh；T_{ect} 表示每座充电站日均充电量，kWh；f 表示充电同时系数；P_{pub} 表示电动公交客车日均耗电量，kWh；V_{pub} 表示电动公交客车保有量，辆；P_{taxi} 表示电动出租车日均耗电量，kWh，V_{taxi} 表示电动电动出租车保有量，辆；P_{service} 表示政府、企业电动公务车日均耗电量，kWh；V_{service} 表示政府、企业电动公务车客车保有量，辆；P_{private} 表示电动私家车日均耗电量，kWh；V_{private} 表示电动私家车保有量，辆。

(3) 按类比进行推算

该方法通过一定数量的电动汽车配备一座充电站，确定类比系数，进而由已知电动汽车保有量，推算出待求电动汽车充电站数量按式(3)推算。

$$N = V / K \tag{3}$$

式中：N 表示待求电动汽车充电站数；V 表示电动汽车保有量；K 表示类比系数。

综上，目前电动汽车充电设施需求预测方法或多或少存在局限性和片面性，一般多采用定性定量相结合、多方法相互校验的方式，进行综合预测确定。

3　城市充电设施布局规划方法

3.1　以现状调查分析为基础，需求预测以城市交通增长和出行分布为依据

通过详细调研城区现有充电设施数量、空间分

布、占地面积等现状数据，对现状充电设施规模、布局、经营和管理等方面问题进行分析评价，为后续规划布局提供保留、改造或者迁建的依据。根据城市规划人口和用地规模、交通发展、出行分布等因素综合预测规划期汽车保有量，为各类充电车辆保有量预测提供依据。通过对城市各功能区居民出行结构和空间分布的分析，结合用地条件、道路交通条件、各类充电车辆运行特征和充电模式进行充电设施的规模预测，如图 2 所示。

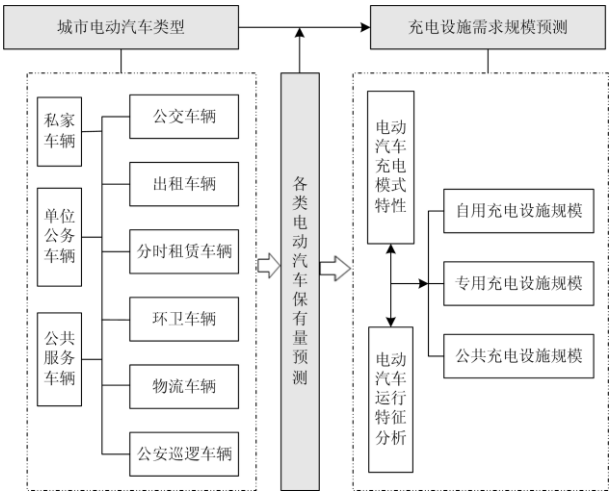

图 2 城市充电设施需求预测思路示意图

Fig. 2 Diagram of demand prediction ideas of urban charging facilities

3.2 遵循城市相关综合性规划要求，注重与相关城市专项规划的协调统一

公共充电桩需求预测和规划布局要满足市县国土空间总体规划、控制性详细规划等综合性规划要求，注重与中心城区综合交通规划、公共交通规划、停车场规划、加油站规划等城市专项规划进行有机衔接和协调，如表 1 所示。

3.3 采取分区分类布局和快慢互济原则，注重现状挖潜和增量新建相结合

城市不同功能片区由于用地性质、交通出行需求、道路交通区位等方面的差异，配套充电设施的服务半径、充电模式及建设类型也各不同。因此需要通过建立充电设施差异化发展分区，建设快慢互济的充电设施系统[19]。充电基础设施建设不足影响电动汽车的推广[20]，充电设施规划注重现状挖潜和增量新建相结合，充分考虑与其他用地及设施复合设置，应重点考虑电动公交车、出租车、租赁车、物流车、环卫车等公共服务用车和公务车的充电设施建设。通过研究不同类型充电汽车的运行特征、充电模式与需求，确定科学合理的充电设施布局场所和充电服务网络，如表 2 所示。

表 1 城市充电设施规划与城市相关规划协调分析一览表

Table 1 Coordination and analysis list of urban charging facilities planning and urban related planning

规划类型	规划名称	规划相关内容	衔接与协调要点
综合性规划	市县国土空间总体规划	规划期限、空间层次及城市规模； 中心城区功能结构与用地规划； 中心城区综合交通规划； 城市开发边界近期规划。	规划年限与研究范围相一致； 充电设施需求规模与布局和城区用地以及人口规模相衔接； 充电设施选址与城区用地布局和道路交通体系相协调； 充电设施近期建设规划符合近期规划要求。
	城市控制性详细规划	土地使用和建筑规划管理通则； 城市片区用地各地块图则与开发引导。	片区人口规模及居民出行密度与充电设施服务半径相协调； 地块用地性质、交通出入口方位、配套停车位数量等控制指标对充电设施布局的适应性引导。
相关专项规划	城市综合交通规划	城市交通发展及需求预测； 城市道路网规划； 公共交通系统规划； 静态交通系统规划。	充电汽车需求预测主要以城市各类汽车保有量为依据； 充电设施选址布局与城市道路功能及断面形式相协调； 公共交通发展对电动公交车需求预测引导； 与各类公共交通站场、停车场、维修保养场地等静态交通设施相协调。
	城市公共交通发展规划	城市各类公共交通发展及需求预测； 静态公共交通规划。	充电设施预测规模满足公共电动汽车保有量需求； 对公共停车场、公共交通枢纽等静态交通设施考虑充电设施共享与开放建设。
	城市停车场专项规划	各类公共停车场规划数量及空间布局	公共充电设施选址与电动公交、环卫、物流、出租车等各类车辆停车场数量和空间布局相协调； 优先筛选符合用地规划的公共停车场及公建类设施停车场布置充电设施。
	城市电力设施专项规划	电力供需预测及规划； 电网近远期建设规划。	充电设施选址要与城市供电网络规划相协调，保证各区电量负荷平衡；充电设施布局不影响区域供电质量和供电可靠性。
	城市加油站布局规划	加油加气站需求预测； 加油加气站布点及用地规划	结合加油站现状与规划布点，考虑充电、加油、加气三站合一建设的可行性，提高用地集约和能源利用效率。
	城市绿地系统规划	城市绿地系统规划结构、空间布局与分类规划。	在充电需求量大、用地紧张的区域考虑结合绿地广场进行集约设置。

表 2 不同类型电动汽车充电特征分析

Table 2 Charging characteristic analysis of different types of electric vehicles

车辆类型	车辆运行特征	充电模式与需求	充电设施类型	依托场所
私家车辆	工作日出行量大，周末出行具有随机性，多为白天行驶夜间停放	停放时间长，多为夜间充电，有应急充电需求	在自用充电设施充电，公用充电设施应急补电	居民区停车位、公共建筑和商业建筑配建停车场等
分时租赁车辆	租赁时段多为白天，分时租赁随借随还，随时充电	采用夜间充满，白天快充方式	在城市公用充电设施充电，长租多结合自用充电设施充电	租赁汽车营运网点、公共建筑物、社会公共停车场、加油加气站
单位公务车辆	夜间停放时间较长，每天行驶里程不固定	采用夜间充满，白天快充方式	在单位专用充电设施充电，临时利用公用充电设施补电	部门或单位专用停车场
公交车辆	早晚上下班高峰乘客流量大，多选择非高峰时段充电。	采用夜间慢充充满，白天快充方式	在公交专用充电设施充电	公交首末站、公交枢纽站、停保场
出租车辆	行驶里程长，停放时间短，停车起步次数频繁，需充电 2 次以满足一天运营需要	采用夜间充满，白天快充方式	在自用充电设施充电，公用充电设施应急补电	出租车驿站、企业停车场、司机住宿停车场
物流、环卫等专用车辆	每天运营时间和行驶线路相对固定	采用夜间充满，白天快充方式	在专用充电设施充电，公用充电设施应急补电	物流企业用地及停车场、环卫设施用地及停车场等

3.4 满足电力设施供给与电网网架结构匹配的要求

充电设施会对城市配电网的结构和运行产生显著影响，比如充电设施负荷过于集中在城市局部区域，会造成城市配电网局部荷载过重或三相不平衡。电动汽车充电功率与电池电量需求情况和当前电网的供需情况均相关[21]，因此电动汽车充电设施规划布局应充分考虑充电设备所在的配电网运行特点和配电容量[22]。充电站充电负荷随机性强，对电网影响较大[23]，电网配电容量需能满足充电设施建成后的负荷需求，充电设施建设要与当地电网网架结构相匹配，要与电力部门进行商讨，力求充电站建设与当地的电力网络发展和改造同步。另外还需考虑车主的驾驶行为和充电行为，交通信息流以及城市配电网规划等因素，在综合权衡城市电网各方面因素的基础上对充电配电网络进行经济有效的规划。

3.5 选址及建设布局应满足城市相关防灾减灾要求

城市充电设施规划选址及布局应满足防雷、防火、防爆、防水和防尘等相关防灾要求。例如由于充电设施的安装环境、技术要求等存在差异，其在雷电影响期间可能面临着不同的雷击风险[24]。应避开和远离高压架空电力线路走廊及高耸铁塔；应远离具有爆炸危险、剧烈震动、高温、多尘、水雾或有腐蚀性气体的场所或设施，避开室外地势低洼、易积水场所和易发生次生灾害的地点等。当无法远离时，应满足《爆炸和火灾危险环境场所电力装置设计规范》(GB50058)的安全防护要求。在综合考虑电动汽车类型和保有量等因素的基础上，建设选址选择能充分利用供电、交通、消防、排水等公用设施，且消防救援力量便于到达的场所。

4 规划案例分析

全椒县隶属安徽省滁州市，地处安徽省东部，介于合肥市和南京市之间，紧邻国家级新区南京江北新区。2020 年末全县户籍人口 45.1 万人，常住人口 39.6 万人，城镇化率 65%，全年实现地区生产总值(GDP)281.8 亿元。全椒县拥有充足的土地资源，交通便利，具有铁路、高速公路等立体综合交通优势。城市性质是以现代制造业为主导，以旅游服务业、高新技术产业为支撑，以儒林文化、太平文化为特色的生态宜居城市。为积极响应和落实国家新能源汽车发展战略导向和相关政策指南，安徽省和滁州市先后出台了《安徽省人民政府办公厅关于加快新能源汽车产业发展和推广应用的实施意见》、《安徽省人民政府办公厅关于加快电动汽车充电基础设施建设的实施意见(皖政办〔2016〕3 号)》、《滁州市人民政府办公室关于促进新能源汽车产业发展和推广应用的实施意见》等系列实施政策，为全椒充电设施建设提供了政策指引与保障。

4.1 规划功能定位及发展愿景分析

以“创新、协调、绿色、开放、共享”理念为指导，以《省会经济圈发展规划》、《皖江城市带承接产业转移示范区规划》实施为契机，立足全椒城市发展定位和战略目标，加快推进全椒新能源产业发展，以应用需求、完善居民交通出行方式为目的推广电动汽车，将全椒县打造成为滁州地区乃至安徽省充电设施建设运营快速发展的示范区。

规划以“低碳出行、绿色交通”为发展愿景，以国家和安徽省的相关政策为导向，构建与全椒县经济社会发展水平相适应、与城市相关道路交通规划和电力系统规划等紧密衔接的充电设施发展模式，建立适度超前、布局合理、功能完善的充电基

础设施体系，形成统一开放、竞争有序、商业模式多样的充电服务市场，有效保障新能源汽车推广和居民绿色出行需求。

4.2 城市机动车保有量及充电需求分类预测

截至 2020 年，全椒县有机动车 5.96 万辆，其中摩托车的拥有量非常大，占到了机动车总量的 78.7%，而汽车仅占机动车总量的 20.7%。货运车 1 727 辆，单位车辆共 70 多辆，环卫车约 45 辆，私家车发展处于起步期向普及期过渡阶段，保有量将逐年快速增长。规划城市机动车保有量采取千人指标法、弹性系数法及年均增长率等多种方法进行综合预测，预测近期到 2025 年全椒县机动车总量将达到 6.9 万辆，远期 2030 年将达到 8.7 万辆。城市各类电动车保有量测算依据《全椒县城市总体规划(2025-2030)》、《城市道路交通规划设计规范》、《全椒县国民经济和社会发展统计公报》等相关规范及规划数据，根据全椒现有汽车保有量及各类电动汽车的千人指标、交通分担率和分类占有率进行各片区近远期需求规模预测，如表 3、图 3、图 4 所示。

充电设施需求分类预测主要按前述的耗电需求和类比推算法进行计算，根据城区电动汽车日均耗电量数据(如表 4 所示)，测算 2025 年、2030 年各类电动汽车日均耗电总量，进而求得充电站数量规模，综合考虑充电站地理位置、电动汽车分布密度，最终确定建设充电桩的数量，具体数据如表 5 所示。

4.3 充电设施规划目标与发展策略

规划目标包括总量目标、结构目标、分类目标和服务目标，如表 6、图 5、图 6 所示。规划近期以发展电动汽车租赁为主要方向，重点建设分散式公共充电桩设施，试点建设企事业单位和公共服务领域专用充电桩，根据需求鼓励居住区自用充电桩建设，形成以充电设施为主体，以专用和自用充电设施为辅助的电动汽车充电设施供给结构；规划远期促进私人电动汽车的普及，通过建筑配建标准的推行，加强专用和自用充电设施的建设和普及，城市充电设施以优化、完善和技术升级为主，形成以专用和自用充电设施为主体、以公共充电设施为补充的供给结构。规划 2025 年城区分散式公共充电桩的

表 3 城区电动汽车保有量及需求分析

Table 3 Analysis of the quantity and demand of electric vehicles in urban areas

年份	电动公交车/辆	出租车/辆	电动物流车/辆	电动环卫车/辆	电动单位车/辆	电动租赁车/辆	电动私家车/辆
2020	20	108	8	5	12	305	203
2025	67	189	51	18	34	930	630
2030	238	361	101	58	131	1 509	3 108

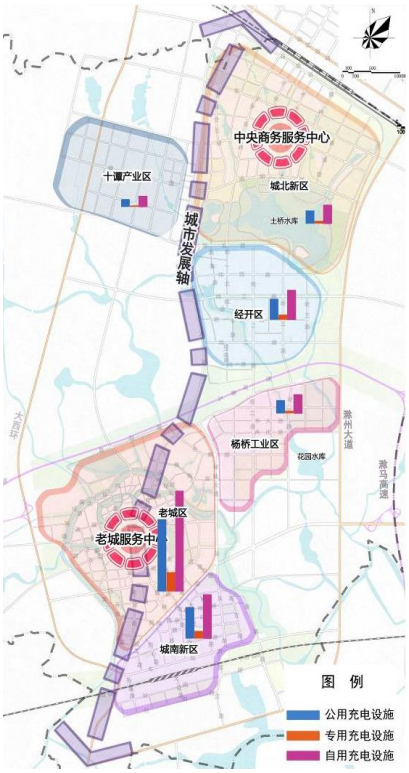

图 3 近期充电设施需求规模预测分布图

Fig. 3 Distribution diagram on demand scale prediction of the recent charging facilities

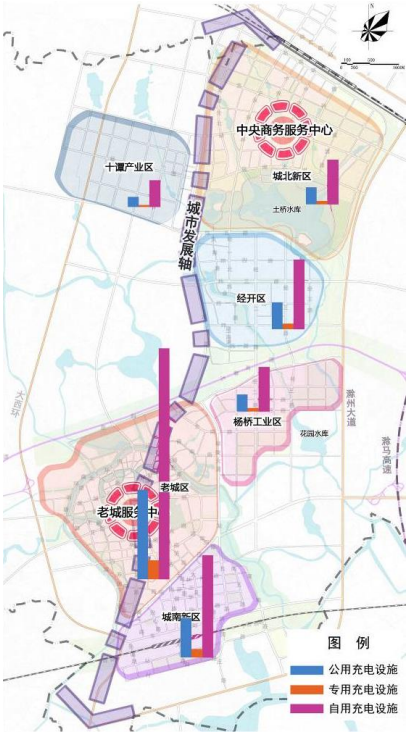

图 4 远期充电设施需求规模预测分布图

Fig. 4 Distribution diagram on demand scale prediction of long-term charging facilities

表 4 城区电动汽车日均耗电量

Table 4 Average daily power consumption of electric vehicles in urban areas

车辆类型	电动公交车	出租车	电动物流车	电动环卫车	电动单位车	电动租赁车	电动私家车
日均耗电量/kWh	172	114	106	96	110	78	80

表 5 城区电动汽车发展规模预测表

Table 5 Forecast table of the scale of electric vehicle development in urban areas

充电设施与电动汽车类型		发展规模/辆		配建桩车比	充电桩需求/个		配建选址及服务功能
		2025年	2030年		2025年	2030年	
公共充电基础设施	出租车	189	361	1:7	27	52	利用出租车驿站、企业停车场和加油加气站配建
	私家车	630	3 108	1:7	90	444	利用公共建筑、商业建筑停车场等配建，兼顾出租车、租赁车和单位车临时补电需求
	租赁车	930	1 509	1:7	133	216	利用租赁汽车营运网点、社会公共停场和加油加气站配建
专用充电基础设施	公交车	67	238	1:3	23	83	利用公交首末站、公交枢纽站、停保场等配建
	物流车	51	101	1:3	17	34	利用物流企业用地及停车场配建
	环卫车	18	58	1:3	7	20	利用环卫设施用地及停车场配建
	单位车	34	131	1:1	34	131	利用部门或单位专用停车场配建
自用充电基础设施	私家车	630	3 108	1:1	630	3 108	利用居住小区停车场配建，兼顾出租车、租赁车及单位车临时补电需求

总规模不少于 255 个，城区规划形成多点分散、密度较高的服务网络，充电设施按照 300~500 m 服务半径布设，规划采用“广而散、小而密”的设置原则，加大分布密度，实现充电设施资源共享，共规划分散式充电站 19 处，充电桩 255 个，如表 7 所示。

表 6 城区电动汽车充电设施发展目标及指标一览表

Table 6 A list of the development goals and indicators of electric vehicle charging facilities in urban areas

选项		2025 年	2030 年
结构目标		公共充电设施为主体，以专用和自用充电设施为辅助	以专用和自用充电设施为主体，公共充电设施为补充
总量目标		充电桩规模不少于 1 213 个	充电桩规模不少于 4 586 个
分类目标	自用	积极推进新能源乘用车用户结合居民区停车位配建充电桩，满足用户基本充电需求	按照建筑物配建要求合理设置充电设施，保证自用充电设施“一车一桩”
	专用	单位专用充电桩达到 34 个；公交、物流、环卫专用充电桩达到 91 个；	严格按照建筑充电设施配建标准建设和预留充电设施
	公共	分散式公共充电桩的总规模不少于 255 个，公共充电桩与电动汽车比例不低于 1:7	分散式公共充电桩的总规模不少于 730 个，公共充电桩与电动汽车比例约 1:7
服务目标	一类区	一类区为老城区，规划形成多点分散、密度较高的服务网络，充电设施按照 300~500 m 服务半径布设	
	二类区	二类区为城南新区和城北新区，形成适当集中、布局均衡的服务网络，充电设施按照 500~800 m 服务半径布设	
	三类区	三类区为十潭产业区、杨桥工业区和经济开发区，形成中心集中、适当预留的服务网络，充电设施按照 800~1 000 m 服务半径布设	

表 7 城区分散式公共充电桩布局一览表

Table 7 Layout list of distributed public charging posts in urban area

编号	位置	直流	交流	合计	直流功率	交流功率	建设属性	备注
LC-1	内环北路南	4	10	14	240	70	结合太平文化南广场停车场建设	新建
LC-2	内环北路南新华路东	5	8	13	300	56	结合吴敬梓纪念馆东侧停车场建设	新建
LC-3	新华路西釜城路北	3	12	15	180	84	结合积玉桥停车场建设	新建
LC-4	襄水北路东	4	5	9	240	35	结合规划回收公司停车场建设	新建
LC-5	城西路西釜城路北	5	10	15	300	70	结合规划儒林安置A区停车场建设	新建
LC-6	奥康商业街	0	10	10	0	70	结合地上地下停车场建设	新建
LC-7	霸王路北文昌路西	10	12	22	600	84	结合前进小学西侧停车场建设	新建
LC-8	襄河南侧	5	5	10	300	35	结合前进小学东侧停车场建设	新建

续表 7

编号	位置	直流	交流	合计	直流功率	交流功率	建设属性	备注
LC-9	内环东路西襄水东路南	7	10	17	420	70	结合规划汪塘安置房停车场建设	新建
LC-10	南岳东路北	5	10	15	300	70	结合规划南屏山公园南广场停车场建设	新建
LC-11	广源路西	4	8	12	240	56	结合南屏山公园东广场停车场建设	新建
LC-12	南屏路东侧	5	10	15	300	70	结合规划停车场建设(靠近自来水厂)	新建
LC-13	儒林南路西南岳西路北	5	10	15	300	70	结合规划停车场建设	新建
LC-14	内环西路东花园路南	3	5	8	180	35	结合规划停车场建设	新建
LC-15	花园路南侧	5	10	15	300	70	结合规划停车场建设	新建
LC-16	内环南路北	5	8	13	300	56	结合规划停车场建设	新建
LC-17	内环南路北儒林南路东	5	10	15	300	70	结合现状笔锋社区停车场建设	新建
LC-18	千佛庵路南吴敬梓路西	5	7	12	300	49	结合太平文化北广场停车场建设	新建
LC-19	襄水东路东	5	5	10	300	35	结合绿化带建设	新建

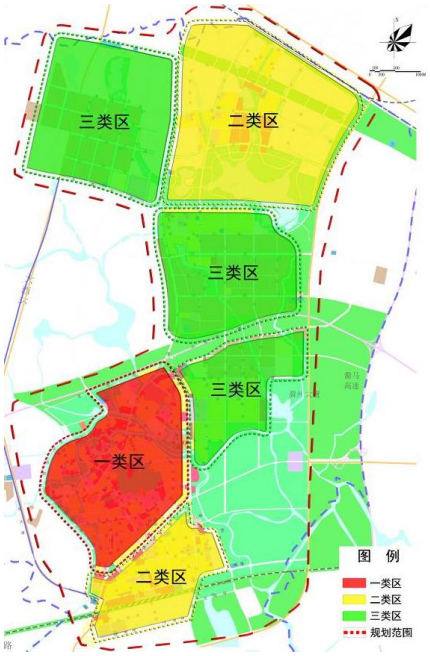

图 5 充电设施服务分区图

Fig. 5 Service partition diagram of charging facilities

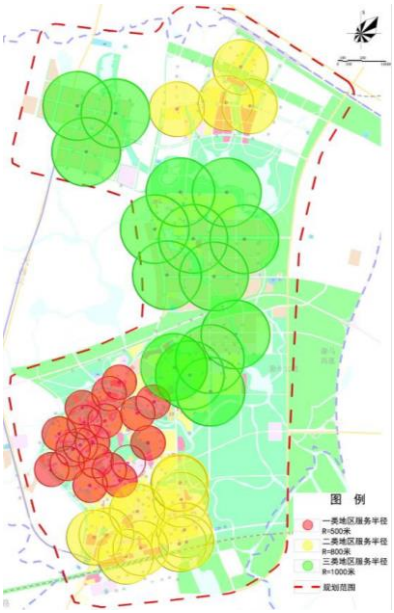

图 6 充电设施服务半径规划图

Fig. 6 Service radius planning diagram of charging facilities

4.4 总体与分区分类布局

充电设施总体布局思路以国土空间规划和各片区控制性详细规划为依据，梳理已明确的公共停车场、公交场站、环卫站等设施，整理已批在建、已批未建项目信息，注重充电设施共享共建。按照分区分类、快慢互济原则，考虑各片区充电设施需求数量及分布，如图 7、图 8 所示。

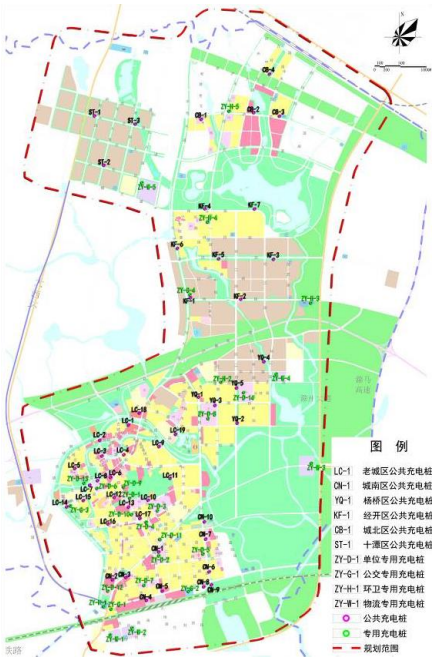

图 7 充电设施总体空间布局规划图

Fig. 7 Overall spatial layout planning diagram of charging facilities

图 8 充电设施网络结构规划图

Fig. 8 Network structure planning diagram of charging facilities

(1) 公共充电设施布局按城市各片区功能采取分区布局，其中老城区主要包括商贸、商业、文化娱乐、办公等功能区，是城市公共服务设施、人口和就业岗位集中的片区，规划采用“广而散、小而密”的设置原则，共规划分散式充电站19处，充电桩255个；城南新区、城北新区主要包括商贸、商务、文化娱乐、办公、会展等功能区，新建小区较多，规划采取“住宅小区充电为主、公共充电为辅”的配套模式，规划充电站10处，充电桩143个，城北新区规划充电站4处，充电桩63个；杨桥工业区、十谭产业区和经济开发区是以工业、仓储为主，辅以配套居住和商业区，其未来人口分布较少，规划公共充电站15处，充电桩199个。

(2) 专用充电设施布局根据电动车类型进行分类布局，其中单位专用充电桩主要结合单位专用停车场建设，共规划设置 14 处充电站，充电桩 146 个；公交车专用充电站规划设置 4 处，充电桩 80 个；电动环卫车专用充电设施结合环卫停车场进行布局，共设置电动环卫车专用充电站 5 个，充电桩 20 个；物流车专用充电桩根据城市工业级仓储用地规划进行布局，设置充电站 5 处，充电桩 34 个。

(3) 自用充电设施布局依托城市各住宅小区进行配建，满足居民自有电动汽车充电需求，对新建居住区规划原则上按“一车一桩”进行配套和或者预留充电设施建设安装条件；对于已建居住区，鼓励物业联合建设运营商根据实际需求配套建设；对部分实施条件较为困难的居住区，宜在周边发展和共享公用充电设施，规划自用充电桩近期 2025 年为 630 个，远期 2030 年达到 3 108 个。

4.5 政策扶持与实施保障措施

充电基础设施强调规划引领作用，由规划部门制定统一的规划布局方案，注重“规划-建设-运营-管理”各阶段政策扶持与实施保障机制建设。

(1) 出台《全椒县新能源充电设施产业发展指导意见及实施细则》等相关配套政策，编制全椒县停车配建和建筑物充电设施配建标准，按照安徽省及滁州市相关政策文件的要求明确充电设施配置指标要求，新建项目竣工验收需明确充电设施建设是否满足配建指标要求。

(2) 城市规划建设局、国土资源局等相关规划建设管理部门可落实简化审批流程，提高审批效率，将独立占地的集中式充电站纳入公用设施营业网点用地范围，按照加油加气站用地供应模式，优先安排土地供应。整合公交、出租车场站以及社会公共停车场等各类公共资源，通过PPP等方式，为社会资本参与充电基础设施建设运营创造条件。

(3) 国电部门需启动充电基础设施配套电网建设与改造项目，对老旧小区、单位，电网企业应按要求扩大用电容量，保障充电基础设施加装。电动汽车充电管理方式影响充电设施配电容量的规划设计[24]，新建项目考虑充电设施用电容量配置相关设施，确保电力供应满足充电设施建设与运营需求。

(4) 推进充电基础设施“互联网+”平台建设，通过运用移动互联网、物联网、大数据等技术，促进不同充电基础设施信息服务平台的互联互通，为用户提供充电导航、充电预约、状态查询和费用结算等服务，提升平台运营效率和用户智能化体验水平。

5 结论

本文针对电动汽车充电设施需求预测与规划布局展开分析研究，在借鉴相关学者研究成果和实践案例应用的基础上，得出以下结论：

(1) 城市电动汽车充电设施规划与建设布局是一项系统性、复合性与协调性的工程，必须考虑配套公平和供给效率，注重规划超前意识与复合功能布局，确保配套资源利用集约与共享。

(2) 城市充电设施规划模式可分为现状分析与政策解读、发展需求预测与规划目标策略、规划空间布局与实施保障等三个阶段，这种规划模式可以指导城市电动汽车充电设施规划设计。

(3) 充电设施需求预测需采用定性定量结合、多方法相互校验的方式，进行综合预测。文章创新性地提出电动汽车充电设施需求预测与国土空间规划

近远期建设进行衔接，为城市电动汽车充电设施用地规划布局起到良好借鉴作用。

(4) 城市充电设施空间布局要以现状调查分析为基础，考虑与城市相关规划的协调统一，注重现状挖潜和增量新建相结合，同时要满足电力设施需求供给和防灾减灾要求。

国家和地方政策导向下电动汽车产业发展本身就具有较大的不确定性，随着电池蓄能技术开发、充电技术集成化和智能化发展以及运营决策机制的优化，城市充电设施的充电效率及服务水平将会大幅提升，如何进一步优化城市充电设施建设布局有待进行深入研究和探讨。

参考文献

[1] 2018 年全球电动汽车销量突破 200 万辆[EB/OL]. [2019-02-07].http://www.zhichejie.com/zhichexun/14421.html.
Global electric vehicle sales exceeded 2 million in 2018[EB/OL].[2019-02-07].http://www.zhichejie.com/zhichexun/14421.html.

[2] 陈静鹏, 艾芊, 肖斐. 基于用户出行需求的电动汽车充电站规划[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(6): 34-39.
CHEN Jingpeng, AI Qian, XIAO Fei. Electric vehicle charging station planning based on users' travel needs[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(6): 34-39.

[3] NAMDEO A, TIWARY A, DZIURLA R. Spatial planning of public charging points using multi-dimensional analysis of early adopters of electric vehicles for a city region[J]. Technological Forecasting & Social Change (S0040-1625), 2014(6): 188-200.

[4] 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.

[5] 肖湘宁, 温剑锋, 陶顺, 等. 电动汽车充电基础设施规划中若干关键问题的研究与建议[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 1-10.
XIAO Xiangning, WEN Jianfeng, TAO Shun, et al. Research and suggestions on several key issues in electric vehicle charging infrastructure planning[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(8): 1-10.

[6] 卞芸芸, 黄嘉玲, 郑郁, 等. 基于供需平衡的广州市充电基础设施规划探索[J]. 规划师, 2017, 33(12): 124-130.
BIAN Yunyun, HUANG Jialing, ZHENG Yu, et al. Planning exploration of Guangzhou charging infrastructure based on supply and demand balance[J]. Planners, 2017, 33(12): 124-130.

[7] 刘月贤, 王天钰, 杨亚宇, 等. 电动汽车充放电系统建模与仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 70-76.
LIU Yuexian, WANG Tianyu, YANG Yayu, et al. Modeling and simulation of electric vehicles' charge and discharge system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 70-76.

[8] 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. Comprehensive planning of urban electric vehicle charging facilities considering different types of charging requirements[J]. Power System Technology, 2016, 40(9): 2579-2587.

[9] 易桂波, 沈志意. 绿色发展理念下新能源汽车充电设施规划布局研究[J]. 中外建筑, 2018(8): 179-180.
YI Guibo, SHEN Zhiyi. Study on planning and layout of new energy vehicle charging facilities based on green development concept[J]. Chinese and Foreign Architecture, 2018(8): 179-180.

[10] 刘锴, 李昂, 孙小慧. 电动汽车充电站布局优化研究[J]. 城市交通, 2016, 14(4): 64-69.
LIU Kai, LI Ang, SUN Xiaohui. Study on optimal layout of electric vehicle charging stations[J]. Urban Transportation of China, 2016, 14(4): 64-69.

[11] 张京祥, 葛志兵, 罗震东, 等. 城乡基本公共服务设施布局均等化研究—以常州市教育设施为例[J]. 城市规划, 2012, 36(2): 9-15.
ZHANG Jingxiang, GE Zhibing, LUO Zhendong, et al. Study on equal distribution of basic public service facilities in urban and rural areas — taking Changzhou education facilities as an example[J]. City Planning Review, 2012, 36(2): 9-15.

[12] 余贻鑫. 智能电网实施的紧迫性和长期性[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(17): 1-5.
YU Yixin. Urgency and long-term nature of smart grid implementation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(17): 1-5.

[13] 靳现林, 赵迎春, 吴刚. 考虑分布式光伏和电动汽车接入的配电网空间负荷预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(14): 10-19.
JIN Xianlin, ZHAO Yingchun, WU Gang. Space load

forecasting of distribution network considering distributed PV and electric vehicle access[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14): 10-19.

[14] 杨俊, 廖斌杰, 王小蕾, 等. 基于分区需求系数的电动汽车充电设施规划[J]. 电力建设, 2015, 36(7): 52-60.
YANG Jun, LIAO Binjie, WANG Xiaolei, et al. Planning of electric vehicle charging facilities based on subarea demand coefficient[J]. Electric Power Construction, 2015, 36(7): 52-60.

[15] 唐开宇, 殷少奇. 慢充与快充模式下电动汽车负荷预测及充电设施配比度分析[J]. 智慧电力, 2017, 45(8): 106-110.
TANG Kaiyu, YIN Shaoqi. Analysis of electric vehicle load prediction and charging facilities ratio in slow and fast charging mode[J]. Smart Power, 2017, 45(8): 106-110.

[16] 陶顺, 肖湘宁, 温剑锋, 等. 电动汽车分散充电设施配比度分析与计算方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 11-19.
TAO Shun, XIAO Xiangning, WEN Jianfeng, et al. Analysis and calculation method of electric vehicle decentral charging facilities[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(8): 11-19.

[17] 郑春, 杨超, 肖园, 等. 基于数据融合的电动汽车充电设施需求预测分析[J]. 江西电力, 2016, 40(2): 9-12.
ZHENG Chun, YANG Chao, XIAO Yuan, et al. Demand prediction analysis of electric vehicle charging facilities based on data fusion[J]. Jiangxi Electric Power, 2016, 40(2): 9-12.

[18] 辛建波, 温宇宾, 李睿. 电动汽车充电设施建设需求预测方法探讨[J]. 江西电力, 2010, 34(5): 1-5.
XIN Jianbo, WEN Yubin, LI Rui. Discussion on demand forecast method for electric vehicle charging facilities[J]. Jiangxi Electric Power, 2010, 34(5): 1-5.

[19] 祝伟. 电动汽车充电基础设施布点规划研究[J]. 科技与创新, 2019(4): 81-82, 85.
ZHU Wei. Study on distribution planning of electric vehicle charging infrastructure[J]. Innovation Science and Technology, 2019(4): 81-82, 85.

[20] 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.

[21] 陈明强, 高健飞, 畅国刚, 等. V2G 模式下微网电动汽车有序充电策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(8): 141-148.
CHEN Mingqiang, GAO Jianfei, CHANG Guogang, et al. Research on orderly charging strategy of micro-grid electric vehicles in V2G model[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(8): 141-148.

[22] 徐凡, 俞国勤, 顾临峰, 等. 电动汽车充电站布局规划浅析[J]. 华东电力, 2009, 37(10): 1678-1682.
XU Fan, YU Guoqin, GU Linfeng, et al. A brief analysis on layout planning of electric vehicle charging station[J]. Easter China Electric Power, 2009, 37(10): 1678-1682.

[23] 佟晶晶, 温俊强, 王丹, 等. 基于分时电价的电动汽车多目标优化充电策略[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 17-23.
TONG Jingjing, WEN Junqiang, WANG Dan, et al. Multi-objective optimization charging strategy for plug-in electric vehicles based on time-of-use price[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(1): 17-23.

[24] 张世谨, 仇健, 卢志红. 电动汽车充电桩的雷击风险与防护[J]. 中低纬山地气象, 2019(1): 73-76.
ZHANG Shijin, QIU Jian, LU Zhihong. Risk and protection of lightning strike about electric vehicles charging piles[J]. Mid-low Latitude Mountain Meteorology, 2019(1): 73-76.

[25] 陈旭, 杨柳, 杨振刚, 等. 住宅小区电动汽车有序充电潜力评估[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(2): 122-128.
CHEN Xu, YANG Liu, YANG Zhengang, et al. Assessment of orderly charging potential of electric vehicles in residential areas[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(2): 122-128.

收稿日期：2021-07-18；　修回日期：2021-10-29

作者简介：

周衍涛(1984—)，男，硕士，实验师，研究方向为电动汽车充电设施规划、城乡基础设施规划；E-mail: zyt8247@jit.edu.cn

戴　军(1976—)，男，通信作者，硕士，副教授，研究方向为区域可持续发展、城乡基础设施规划。E-mail: daijnj@jit.edu.cn

（编辑　魏小丽）