

# 基于最大功率法的城市公共充电设施规划研究

王文成 张鑫 何青 郑猛 龚嫣

**【摘要】**科学的公共充电设施规划是充电设施健康有序发展的依据，也是电动汽车发展的重要保障。本文对比了车桩比法、充电时长法、充电能耗法、最大功率法等充电需求预测方法，最终选取最大功率法，以北京市中心城区为例，进行了充电需求预测分析及公共充电设施布局规划，为城市公共充电设施需求预测和规划提供了新思路，对公共充电设施科学合理布局和建设具有重要意义。

**【关键词】**新能源汽车；公共充电设施规划；最大功率法

## 0 引言

近年来，电动汽车保有量高速增长，根据公安部数据，截至 2023 年 9 月底，全国新能源汽车保有量达 1821 万辆，占汽车保有量的 5.5%。其中，纯电动汽车保有量 1401 万辆，占新能源汽车总量的 76.9%。随着电动汽车的发展，新能源汽车充电设施建设问题引起更多人关注。2023 年 6 月 19 日，国务院办公厅印发《关于进一步构建高质量充电基础设施体系的指导意见》指出，到 2030 年，基本建成覆盖广泛、规模适度、结构合理、功能完善的高质量充电基础设施体系，有力支撑新能源汽车产业发展，有效满足人民群众出行充电需求。然而，充电基础设施作为近年来的新兴事物，目前充电设施建设缺少城市层面的统筹规划，往往是充电基础设施运营企业根据各自历史数据凭经验确定选址。因此，造成了充电设施空间布局“冷热不均”。

近年来，关于充电设施规划相关研究多侧重于规划选址，实际应用案例较少。充电设施选址研究的常用方法有：空间分析法、多指标综合决策法、数学规划法。其中，基于数学规划法的研究应用最多，多指标综合决策法次之，空间分析法最少。Cai 等人<sup>[1]</sup>根据停车总量、平均每日停车时间、单位车辆停车时间等停车需求指标作为不同地点充电需求潜力的评价指标，认为充电设施应尽可能部署在充电需求潜力很大的位置。郭磊等人<sup>[2]</sup>分别从点需求和流量需求两个方面介绍充电需求的时空分布研究情况；同时，根据充电设施使用场景与建设规模对规划对象进行分类，并对规划时需要考虑的因素进行梳理与分析。郭昌勇<sup>[3]</sup>以上海和重庆为例，对不同新建超级快充站数目的规划情况进行分析，为城市规划者根据设定的发展目标提供了不同的选址定容方案。周衍涛等人<sup>[4]</sup>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，并应用于安徽省全椒县中心城区充电设施规划设计。余周林<sup>[5]</sup>从路网交通状态、充电需求时空分布、交通吸引、土地价格等方面选取评价指标，构建基于多指标综合决策的充电设施布局规划候选位置选取

方法，并以西安市为例开展充电设施布局规划方法的案例应用及建议分析。此外，一些现有研究通过数学规划、启发式算法和多目标优化等方法来确定充电桩的最佳位置和数量<sup>[6-8]</sup>。如 Moupuri S K R 和 Selvajyothi K 提出了应用多目标粒子群优化 (MOPSO) 规划电动汽车充电站空间布局并重新配置配电系统的方法，并通过 MATLAB 对考虑各种负载场景的案例进行了仿真和验证<sup>[9]</sup>。Xiang Y, Meng 等提出了一种基于拟序列蒙特卡罗仿真的耦合网络可靠性评估方法，并建立了基于候选节点、以可靠性为导向的多目标优化规划模型进行充电站规划<sup>[10]</sup>。

在充电设施规划应用案例方面，多数研究侧重于充电设施发展规划，对于充电设施空间布局规划研究较少。胡家琦等针对深圳市的纯电动出租车，从时间、空间以及用地三方面深入分析了纯电动出租车运营特征及充电规律；基于特征规律，提出了出租车充电设施空间规划策略和方法<sup>[11]</sup>。葛升阳等按照专用充电设施和公共充电设施两类落实充电设施用地，自用充电设施预控建设比例的思路，采取刚性、弹性控制相结合的方法，进行充电设施规划布局，引导赤峰市充电基础设施建设<sup>[12]</sup>。

本研究首先对比了车公桩比法、充电时长法、充电能耗法、最大功率法等充电需求预测方法，最终选取最大功率法，以北京市中心城区为例，进行了充电需求预测分析及公共充电设施布局规划。

## 1 城市公共充电设施充电需求预测方法

目前，城市公共充电设施规划中常用充电需求预测方法有车公桩比法（或公桩车比法）、充电时长法、充电耗能法等。

### 1.1 车公桩比法

车公桩比法是根据各类车辆的使用和充电频次等特征，确定各类电动汽车数量与对应充电桩数量的比值，新能源车辆数除以车公桩比（或新能源车辆数乘以公桩车比）即为充电桩需求数量。计算公式如下：

$$N = \frac{V}{\varphi}$$

或

$$N = V * \delta$$

其中，

$N$ —电动汽车充电桩需求总量（个）；

$V$ —新能源汽车保有量预测值，单位：辆；

$\varphi$ —车公桩比，单位：辆/个；

$\delta$ —公桩车比，单位：个/辆。

## 1.2 充电时长法

充电时长法是根据电动汽车充电耗时、平均充电次数、充电效率等指标计算充电桩需求。计算公式如下：

$$N = \sum_i \frac{V_i * h * m_i * q_i}{p * 24}$$

其中，

- $V_i$ —第  $i$  类新能源汽车保有量，单位：辆；
- $h$ —单车单次平均充电耗时，单位：小时/（次·辆）；
- $m_i$ —第  $i$  类新能源汽车单车单日平均充电次数，单位：次/（日·辆）；
- $q_i$ —第  $i$  类新能源汽车使用公共充电桩充电比例；
- $p$ —充电桩平均时间使用率，充电桩的充电工作时长占全天总时长比例；
- 其他字母含义同上文。

## 1.3 充电能耗法

充电能耗法是根据电动汽车日均行驶里程、单位公里能耗、充电效率、充电桩使用率等指标计算充电桩需求。计算公式如下：

$$N = \sum_i n_i = \sum_i \frac{V_i * l_i * e_i * q_i}{k * p * w * 24}$$

其中，

- $n_i$ —第  $i$  类电动汽车充电桩需求总量（个）；
- $l_i$ —第  $i$  类电动汽车日均行驶里程（公里/日）；
- $e_i$ —第  $i$  类电动汽车每公里能耗（千瓦·时/车·公里）；
- $q_i$ —第  $i$  类新能源汽车使用公共充电桩充电比例；
- $k$ —电动汽车充电效率；
- $p$ —充电桩平均时间使用率，充电桩的充电工作时长占全天总时长比例；
- $w$ —充电桩平均功率（千瓦）；
- 其他字母含义同上文。

## 1.4 最大功率法

车公桩比法、充电时长法、充电能耗法预测充电需求均存在一定的缺陷，例如，车公桩比法预测较为粗糙，随车充电设施功率的提高，车公桩比应有相应调整，如果沿用现状车公桩比预测未来充电需求，容易导致预测结果偏大，造成充电设施资源浪费。充电时长法、充电能耗法在预测精度方面比车公桩比法有所提升，但由于其直接预测充电桩规模，在充电技术更新迭代较快的背景下，无法根据充电设施功率的变化调整预测结果。因此，本研究提出了最大功率法，该方法不以预测充电桩规模为目标，而是以预测充电功率需求为目标，在提

高充电需求预测精度的基础上，该方法的结果更容易随着充电技术的变化进行调整。计算公式如下：

$$G = \sum_i g_i = \sum_i V_i * l_i * e_i * q_i * \beta * \gamma$$

其中，

$G$ —电动汽车公共充电桩功率需求总量（千瓦）；

$g_i$ —第  $i$  类电动汽车公共充电桩功率需求总量（千瓦）；

$\beta$ —高峰小时系数，即高峰小时充电量占全天充电量的比例；

$\gamma$ —冗余系数，即公共充电桩实际高峰小时最大功率需求与公共充电桩总装机容量之比；

其他字母含义同上文。

## 2 实例分析

本研究选取了北京市中心城区作为实例对城市公共充电设施规划进行了研究。北京市中心城区包括东城区、西城区、朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区，面积约为 13.7 万公顷，居住人口约 1444 万。

### 2.1 北京市电动汽车和充电设施发展情况

2022 年，全国新能源汽车保有量达 1310 万辆，同比增长 67.13%，新能源汽车渗透率为 25.6%。而北京市新能源汽车（由于北京市氢能源汽车保有量较少，且插电混动汽车对公共充电基础设施需求较少，因此，本文中新能源汽车即是指纯电动汽车）渗透率为 31%，低于上海、广州、深圳，在各大城市中排名第 9。由于北京市施行了机动车购买摇号政策，2022 年北京市摇号新增机动车指标为 10 万辆，其中新能源指标为 7 万辆，若扣除新能源指标，2022 年北京市存量汽车更新中新能源汽车渗透率仅为 21%。

近年来，北京市充电基础设施快速增长，2015 至 2020 年期间，在新能源汽车保有量从 3.6 万辆快速增长至 40 万辆的背景下，全市充电桩数量由 2.1 万个增长至 23 万个，其中私人自用充电桩 17.5 万个，社会公用充电桩 2.9 万个，单位内部充电桩 1.9 万个，业务专用充电桩 0.7 万个。

### 2.2 北京市公共充电设施存在的问题

#### 2.2.1 上位规划充电设施发展目标高，现状充电设施缺口大

2020 年底，北京市电动汽车充电桩达到 23 万个、换电站达到 159 座。根据《“十四五”时期北京市新能源汽车充换电设施发展规划》到“十四五”时期末，力争全市充电桩总规模达到 70 万个。其中，社会公用充电桩达到 6 万个。2022 年底，北京市新能源汽车保有量为 52.4 万辆，其中新能源客车 49.2 万辆，新能源货车 3.1 万辆。截止 2022 年底，北京市充电桩总数约为 29 万个。

#### 2.2.2 北京公共充电桩服务水平有待提高

公用充电桩密度、公用桩覆盖率是评价公用充电桩服务水平的重要指标。公用充电桩密度是单位建设用地面积的公用桩数量，其值越高表明公共桩服务水平越高。2022年，北京市中心城区公共充电桩密度约24.5台/平方公里，低于全国主要城市平均值28台/平方公里，低于深圳、上海、广州。公用桩覆盖率是以公用桩900米半径覆盖的建设用地面积与建设用地总面积之比，其值越高表明公共桩服务水平越高。2022年，北京市中心城区公用桩覆盖率约89%，低于天津、上海等城市。因此，总体来看，无论是公用充电桩密度还是公用桩覆盖率，北京市相关指标值均劣于同类型城市。

### 2.3 北京市新能源汽车用户充电行为特征分析

温度是影响新能源汽车续航里程的重要因素，因此，不同温度下，新能源汽车用户的充电行为特征也不同。本部分分别以6月、12月作为夏季和冬季的典型月份，以出租车、公务车、私家车、租赁车作为典型车型，以对新能源汽车用户使用慢充、快充的充电频率、充电时长和充电量进行了分析。

#### 2.3.1 充电频率

从不同车型的充电频率分布看，私家车和出租车的快慢充电频率特征较为明显。约72%的私家车月快充电次数小于5次，即超过6天充电1次，约91%的私家车月充电次数小于10次，即超过3天充一次电；约55%的私家车月慢充电次数小于5次，即超过6天充电1次，约91%的私家车月充电次数小于15次，即超过3天充一次电。

约19%的出租车月快充电次数小于5次，即超过6天充电1次，约31%的出租车月充电次数小于10次，即超过3天充一次电；约26%的出租车月慢充电次数小于5次，即超过6天充电1次，约34%的出租车月充电次数小于15次，即超过3天充一次电。

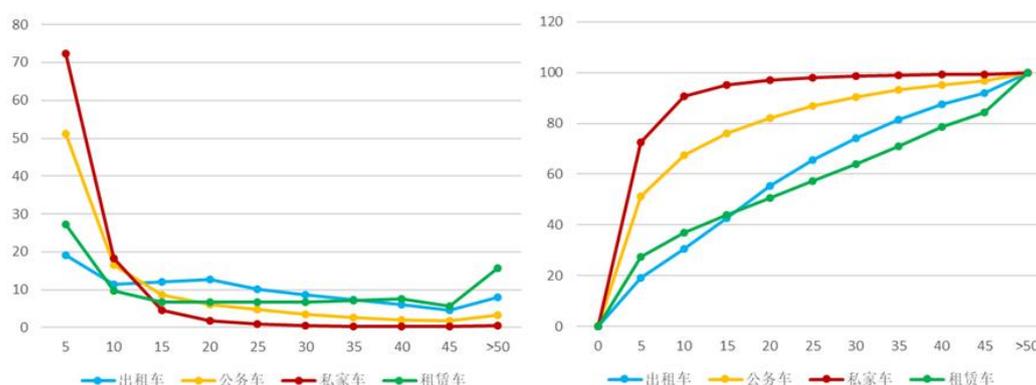


图 1 不同车型月快充电次数分布图（左）和累计分布图（右）

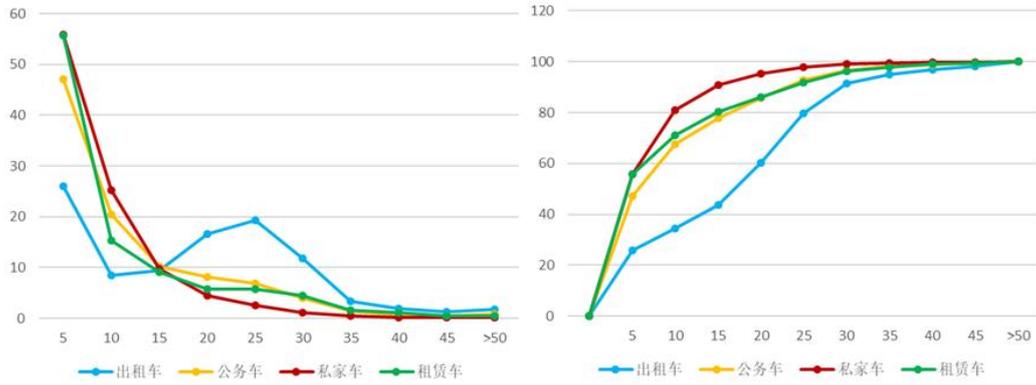


图2 不同车型月慢充电次数分布图（左）和累计分布图（右）

### 2.3.2 充电时长与充电量

私家车月平均快充充电时长约为7小时，平均每天约0.23小时，或平均每次1.4小时；私家车每月月平均慢充充电时长约为35小时，平均每天约1.17小时，或平均每次5小时；私家车月平均快充充电量约为157度，平均每天约5.2度，或平均每次31.4度；私家车每月月平均慢充充电量约为160度，平均每天约5.3度，或平均每次22.9度；私家车月慢充充电总时长是快充充电总时长的约5倍，但快慢充充电量均在160度左右。

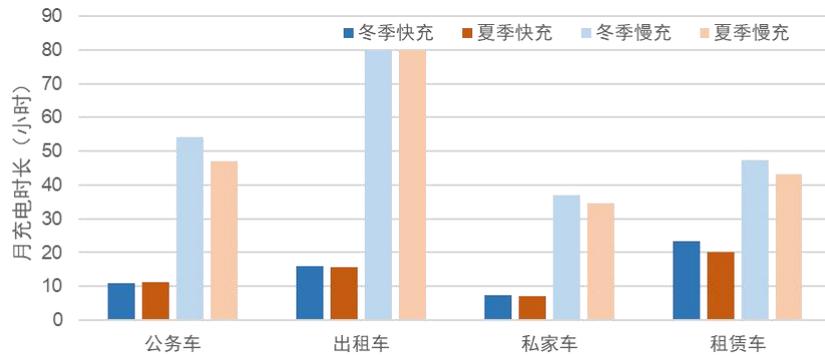


图3 不同车型平均月充电时长（快充）

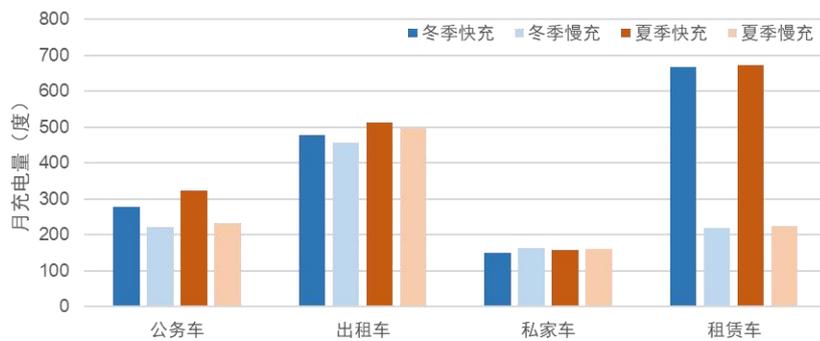


图4 不同车型平均月充电时长（慢充）

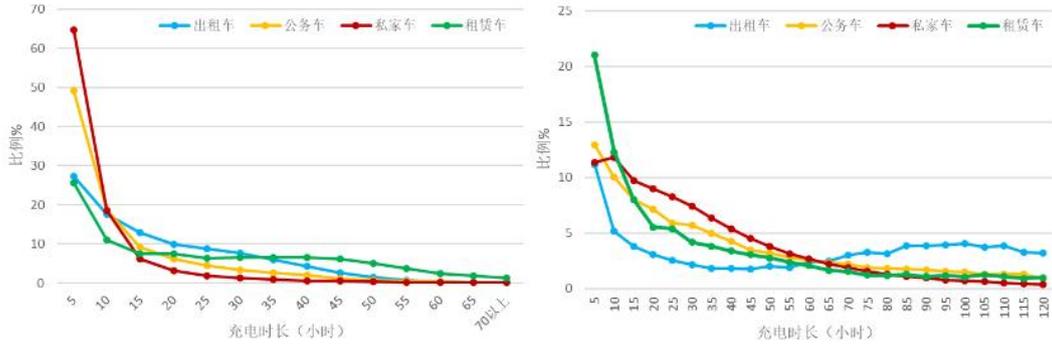


图 5 不同车型冬季快充 (左)、慢充 (右) 月充电时长分布

## 2.4 上位规划

上位规划是需求预测的重要依据。《“十四五”时期北京市新能源汽车充换电设施发展规划》提出，建立一个覆盖全市的设施网络，支撑 200 万辆新能源汽车充换电需求，到“十四五”时期末，力争全市充电桩总规模达到 70 万个，其中居住区自用和公用充电桩达到 57 万个，单位内部充电桩达到 5 万个，社会公用充电桩达到 6 万个，中心城区社会公用桩快慢充比例不低于 2:1，其他地区社会公用桩快慢充比例不低于 1:2。本研究的研究对象包括居住区公用充电桩、单位内部充电桩、社会公用充电桩，统称为公共充电设施。

## 2.5 充电需求预测

通过调查发现，使用北京市公共充电桩的主力车型包括 6 类：①巡游出租车；②网约车（含社会网约车）；③城市物流配送车（轻微型货车）；④公路、旅游、社会大中型客车；⑤公务、企业用车等其他车；⑥私人小客车，因此，本研究主要对该 6 类新能源汽车规划年保有量进行预测。现状年为 2020 年，规划年为 2025 年、2030 年、2035 年。

### 2.5.1 新能源汽车保有量预测

根据北京市年鉴及相关资料，北京市 6 类机动车现状保有量约为 591.4 万辆，结合北京市机动车摇号指标情况，预测 2025 年、2030 年、2035 年保有量分别为 649.4 万辆、708.1 万辆、767.8 万辆。

表 1 规划年机动车保有量预测 (万辆)

车型	现状 (2020 年)	2025 年 预测值	2030 年 预测值	2035 年 预测值
巡游出租车	6.0	6.6	7.3	8.1
网约车 (含社会网约车)	12.0	13.2	14.6	16.2
城市物流配送车 (轻微型货车)	44.0	48.6	53.6	59.2

公路、旅游、社会 大中型客车	10.0	11.0	12.2	13.5
公务、企业用车等 其他车	4.4	4.9	5.4	5.9
私人小客车	515.0	565.0	615.0	665.0
合计	591.4	649.4	708.1	767.8

根据北京市《北京市国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，到2025年，北京市新能源汽车累计保有量力争达到200万辆，考虑到北京的实际情况，本研究中，将2025年200万辆新能源汽车的目标设为预测值上限值。结合上海、深圳等城市的新能源汽车发展目标和增长速率，预测北京市同等增长速率下的新能源机动车保有量，并作为预测值下限值。进一步以北京市印发的相关政策文件中制定的不同车型的新能源机动车比例目标，预测分车型新能源机动车渗透率。

**表2 规划年新能源汽车渗透率预测**

车型	现状 (2020年)	2025年预测值		2030年预测值		2035年预测值	
		下限值	上限值	下限值	上限值	下限值	上限值
巡游出租车	17%	96%	96%	100%	100%	100%	100%
网约车(含社会网约车)	8%	15%	25%	50%	65%	80%	90%
城市物流配送车(轻微型货车)	5%	9%	9%	20%	30%	35%	45%
公路、旅游、社会大中型客车	7%	15%	20%	25%	30%	40%	50%
公务、企业用车等其他车	5%	6%	6%	10%	15%	20%	25%
私人小客车	6%	18%	32%	43%	52%	65%	69%
合计	6%	18%	30%	42%	50%	62%	67%

表 3 规划年新能源汽车保有量预测（万辆）

车型	现状 (2020 年)	2025 年预测值		2030 年预测值		2035 年预测值	
		下限值	上限值	下限值	上限值	下限值	上限值
巡游出租车	1.0	6.4	6.4	7.3	7.3	8.1	8.1
网约车(含社会网约车)	1.0	2.0	3.3	7.3	9.5	12.9	14.5
城市物流配送车(轻微型货车)	2.0	4.4	4.4	10.7	16.1	20.7	26.6
公路、旅游、社会大中型客车	0.7	1.7	2.2	3.0	3.7	5.4	6.7
公务、企业用车等其他车	0.2	0.3	0.3	0.5	0.8	1.2	1.5
私人小客车	32.0	102.3	180.5	267.1	319.6	429.7	459.5
合计	36.9	117.1	197.1	295.9	357.0	478.0	517.9

### 2.5.2 充电需求预测

#### (1) 车公桩比法

近年来，各省市在充电设施规划中明确了公桩车比要求，如下表所示。可以看出，制定公桩车比目标的省份中，多数目标值介于 1:8-1:6，考虑到随着充电技术的发展，电动汽车充电桩功率逐步提升，单桩单日服务车辆也越来越多，因此，考虑到快充桩占比逐渐升高，充电桩服务周转率也不断提高，公桩车比本研究 2025 年规划取 1:8，2030 年取 1:10，2035 年取 1:12。结合上文预测的规划年份新能源汽车保有量可以推算出，2025 年、2030 年、2035 年北京市公共充电桩需求分别为 15-25 万个、30-36 万个、40-43 万个。

表 4 各省市充电设施公桩车比要求

省市	目标公桩车比	目标年份	来源	目标制定时间
山西	1:8-1:6	2025 年	《山西省电动汽车充（换）电基础设施建设“十四五”规划和三年行动计划》	2023 年
河北	1:7	2023	《关于加快构建全省高质量充	2023 年

		年	电基础设施体系的实施意见》	
广东	1:6	2025年	《广东省电动汽车充电基础设施发展“十四五”规划》	2022年
江西	南昌市、九江市、赣州市不低于1:8, 其他设区市不低于1:15	2023年	《江西省加快推进电动汽车充电基础设施建设三年行动计划(2021-2023年)》	2020年
全国	加快发展地区: 新能源汽车推广应用城市不低于1:7, 其他城市力争达到1:12	2020年	《电动汽车充电基础设施发展指南(2015-2020年)》	2015年

(2) 充电时长法

根据《2023年中国主要城市充电基础设施检测报告》，充电时长法中，单车单次平均充电耗时取1小时，充电桩平均时间使用率取6.8%，其它参数和预测结果如下表所示。

表5 充电时长法规划年新能源汽车公共充电桩规模预测结果

车型	公共桩充电占比	单车单日平均充电次数	2025年预测值(万个)		2030年预测值(万个)		2035年预测值(万个)	
			下限值	上限值	下限值	上限值	下限值	上限值
巡游出租车	85%	1.4	4.7	4.7	5.5	5.5	6.0	6.0
网约车(含社会网约车)	20%	1.1	0.3	0.5	1.1	1.4	1.9	2.1
城市物流配送车(轻微型货车)	60%	1.3	2.1	2.1	5.2	7.9	10.1	13.0
公路、旅游、社会大中型客车	10%	0.7	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
公务、企业用车等其他车	30%	0.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2
私人小客车	35%	0.4	9.2	16.2	24.0	28.7	38.6	41.2
合计	-	-	16.5	23.7	35.9	43.7	57.0	62.9

(3) 充电能耗法

充电能耗法中，充电效率取 90%，时间利用率取 6.5%，充电桩平均功率取 20kW，其它参数和预测结果如下表所示。

**表 6 充电能耗法规划年新能源汽车公共充电桩规模预测结果**

类型	单车行驶里程	单车百公里能耗	公共桩充电占比	2025 年预测值（万个）		2030 年预测值（万个）		2035 年预测值（万个）	
				下限值	上限值	下限值	上限值	下限值	上限值
巡游出租车	200	12	85%	4.6	4.6	5.3	5.3	5.9	5.9
网约车（含社会网约车）	240	12	20%	0.4	0.7	1.5	2.0	2.7	3.0
城市物流配送车（轻微型货车）	180	30	60%	5.0	5.0	12.4	18.6	23.9	30.7
公路、旅游、社会大中型客车	150	60	10%	0.5	0.7	1.0	1.2	1.7	2.2
公务、企业用车等其他车	70	12	30%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
私人小客车	30	12	35%	4.5	8.1	11.9	14.3	19.3	20.6
合计	-	-	-	15.2	19.1	32.1	41.4	53.5	62.5

注：单车行驶里程单位为：公里/日；单车百公里能耗单位为：千瓦·时/车·百公里

(4) 最大功率法

该方法中，根据计算，现状高峰小时系数取 0.062，2025 年高峰小时系数取值与现状相同。考虑到智能有序充电的实施有助于降低高峰小时系数，2030 年高峰小时系数取 0.059，2035 年高峰小时系数取 0.054，冗余系数取 9.7，其它参数和预测结果如下表所示。

**表 7 最大功率法规划年新能源汽车公共充电桩功率需求预测结果**

类型	单车行驶里程	单车百公里能耗	公共桩充电占比	2025 年预测值（万千瓦）		2030 年预测值（万千瓦）		2035 年预测值（万千瓦）	
				下限值	上限值	下限值	上限值	下限值	上限值
巡游出租车	200	12	85%	78.0	78.0	85.4	85.4	86.3	86.3

网约车（含社会网约车）	240	12	20%	6.9	11.5	24.1	31.3	39.0	43.9
城市物流配送车（轻型货车）	180	30	60%	85.2	85.2	198.9	298.4	351.7	452.2
公路、旅游、社会大中型客车	150	60	10%	9.2	11.9	15.5	19.1	25.5	31.7
公务、企业用车等其他车	70	12	30%	0.4	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
社会小客车	30	12	35%	76.7	136.3	191.7	229.6	283.2	303.3
合计	-	-	-	256.5	323.4	516.3	664.9	787.2	919.4

注：单车行驶里程单位为：公里/日；单车百公里能耗单位为：千瓦·时/车·百公里

## 2.6 公共充电设施布局规划

### 2.6.1 充电设施功率结构计算

根据充电功率的大小可以将充电桩分为慢充桩和快充桩。慢充桩占地面积较小，布点灵活，建设和运营成本低，用户可以选择在电价较为便宜的夜间电力低谷时段进行充电，使用成本较低，但慢充桩充电速度较慢，充电时间较长，难以满足用户的紧急充电需求。快充桩充电时间较短，可以满足用户的紧急充电需求，但建设和运营成本较高，对电力管线设施要求高，并且动力电池在短时间内充入大量电量将会导致电池过热，影响其使用寿命。

目前，北京市公共充电桩快慢充之比约为 1:1.8，但根据功率来看，快慢充功率之比约为 5.4:1，根据北京市十四五规划，快慢充比例不低于 1:2。北京市公共充电桩中，慢充桩以 7kW 为主，占比超过 86%，其次是 3.5kW，占比约 12%；快充桩功率以 60kW 居多，占比超过 31%，其次是 30kW，占比约 17%，再次是 15kW，占比约 7%。总体来看，120kW 以下充电桩占比约 89%，120-480kW 充电桩占比约 11%，480kW 以上充电桩占比不足 1%。

由于不同功率充电桩满足电动汽车用户的需求不同，因此，本文对慢充桩和快充桩分别进行预测，并将快充桩以 120kW 为界分为两类进行预测：普通快充桩，其功率小于 120kW；超充桩，其功率大于等于 120kW。

根据《2022 中国电动汽车用户行为白皮书》，90%的用户选择快充桩，72%的用户选择 120kW 及以上的充电桩。因此，本研究假设 2035 年实现该比例，即快充桩（包括普通快充桩和超充桩）装机功率占公共充电桩总装机功率的 90%，超充桩装机功率占公共充电桩总装

机功率的 90%。期间，各类型充电桩装机功率比逐年匀速增加或减小。规划年不同功率公共充电桩装机功率比例预测结果如下表所示。

**表 8 规划年不同功率公共充电桩装机功率比例预测结果**

功率		现状	2025 年目标	2030 年目标	2035 年目标
慢充		15.6%	15.0%	12.5%	10.0%
快充	小于 120kW	50.7%	50.0%	34.0%	18.0%
	大于 120kW	33.7%	35.0%	53.5%	72.0%

由最大功率法规划年新能源汽车公共充电桩功率需求预测结果和不同功率公共充电桩装机功率比例预测结果可以计算出规划年不同功率公共充电桩功率需求预测结果，如下表所示。

**表 9 规划年不同功率公共充电桩功率需求预测结果（万千瓦）**

目标年		2025 年公共桩 功率需求		2030 年公共桩 功率需求		2035 年公共桩 功率需求	
情景		下限值	上限值	下限值	上限值	下限值	上限值
总功率		234.5	284.4	461.6	599.3	706.3	832.7
慢充桩功率		35.2	42.7	57.7	74.9	70.6	83.3
快充桩 功率	小于 120kW	117.3	142.2	156.9	203.8	127.1	149.9
	大于 120kW	82.1	99.5	246.9	320.6	508.5	599.5

### 2.6.2 充电功率需求空间分布权重计算

预测充电功率需求的空间分布是公共充电设施规划的重要环节。为了提高规划精度，本研究将北京市中心城区按照 500 米网格进行划分，并对各网格内的充电历史数据进行分析。为将不同功率公共充电桩功率需求预测结果按照实际的充电需求进行空间分配，本研究以 1 小时为划分单元，将全天划分为 0-23 点共 24 小时，对各 500 米网格内的小时最大耗电量进行统计，并以各 500 米网格内的小时最大耗电量为权重对总功率需求进行空间分配。其中，普通快充桩和超充桩按照快充桩最大小时耗电量空间分布（如下图所示）进行分配，慢充桩按照慢充桩最大小时耗电量空间分布（如下图所示）进行分配。

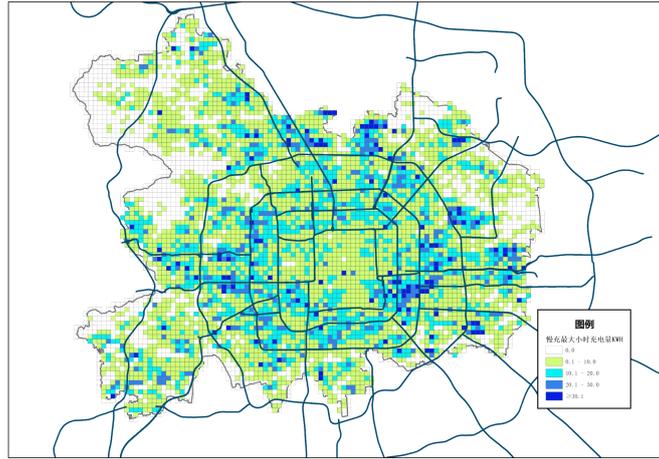


图 6 快充桩最大小时耗电量空间分布

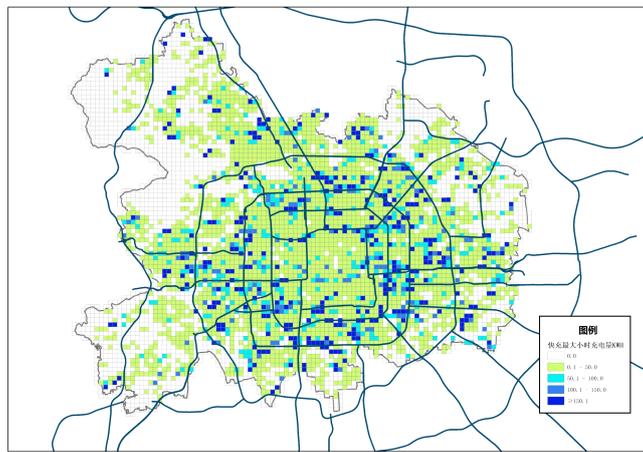


图 7 慢充桩最大小时耗电量空间分布

### 2.6.3 充电设施空间布局规划

考虑到电动汽车流动性，前序预测中以北京市为整体进行预测，为对中心城区充电设施分布情况进行预测，本研究以历史充电量为权重，对中心城区和非中心城区区域的充电功率需求进行了分配。根据历史充电量情况，中心城区电动汽车充电量占全市电动汽车充电量的55%。结合北京市充电设施现状情况，以慢充桩以7kW为标准桩、普通快充桩以60kW为标准桩、超充桩以120kW为标准桩，对不同类型的充电设施规模进行空间测算。测算结果如下图所示。

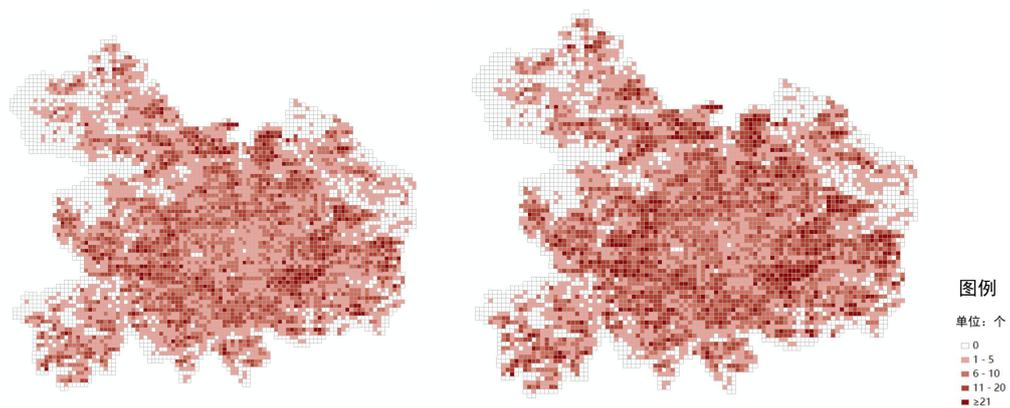


图 8 2025 年慢充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

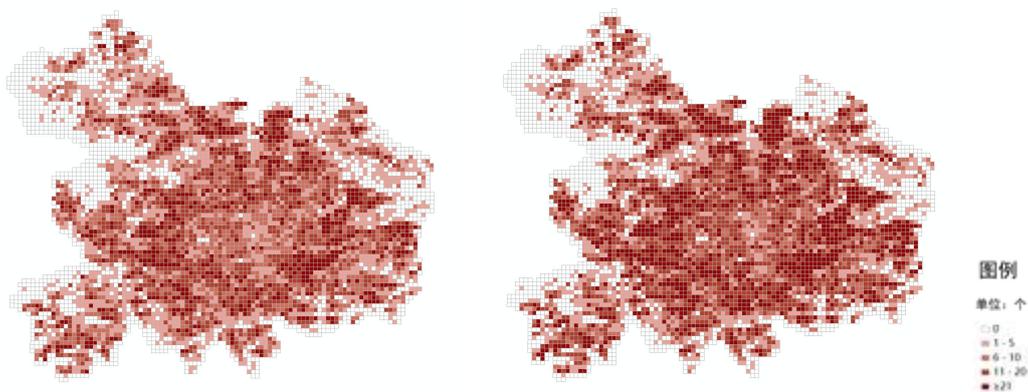


图 9 2030 年慢充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）



图 10 2035 年慢充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

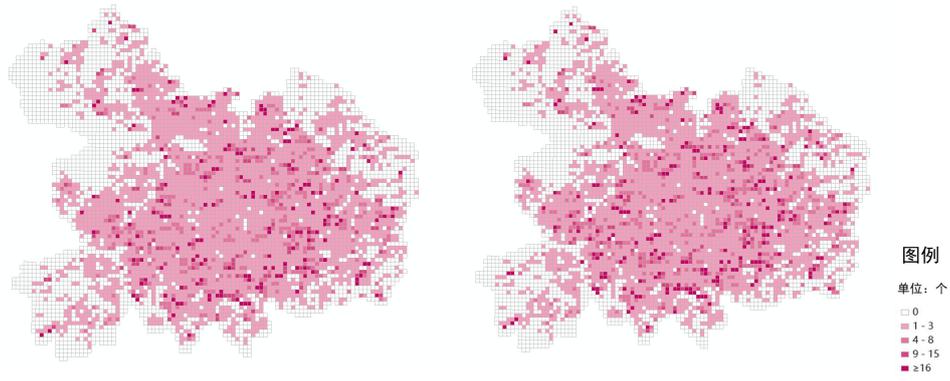


图 11 2025 年普通快充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

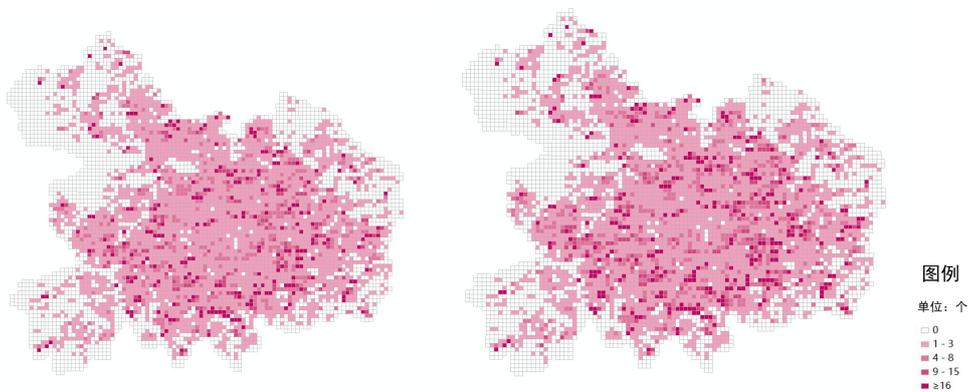


图 12 2030 年普通快充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

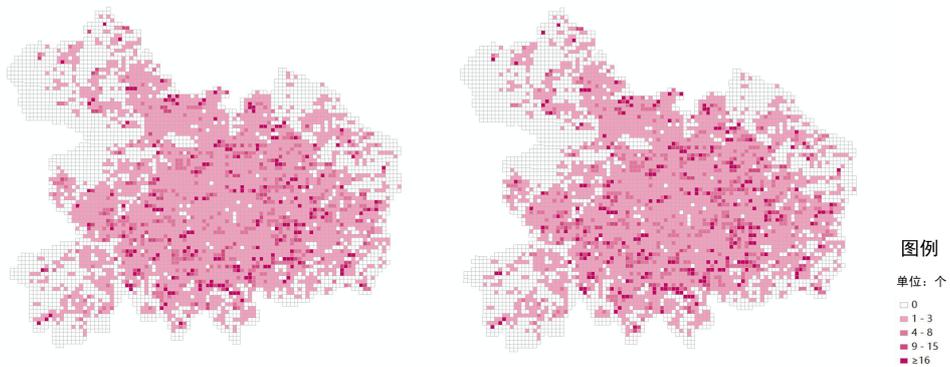


图 13 2035 年普通快充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

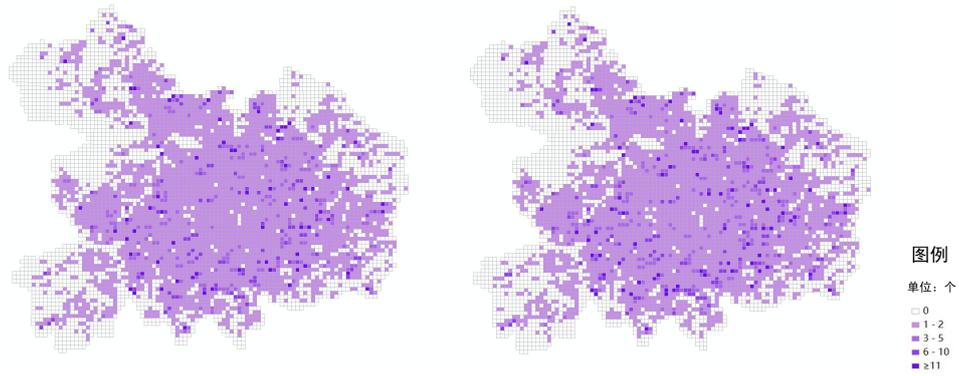


图 14 2025 年超充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

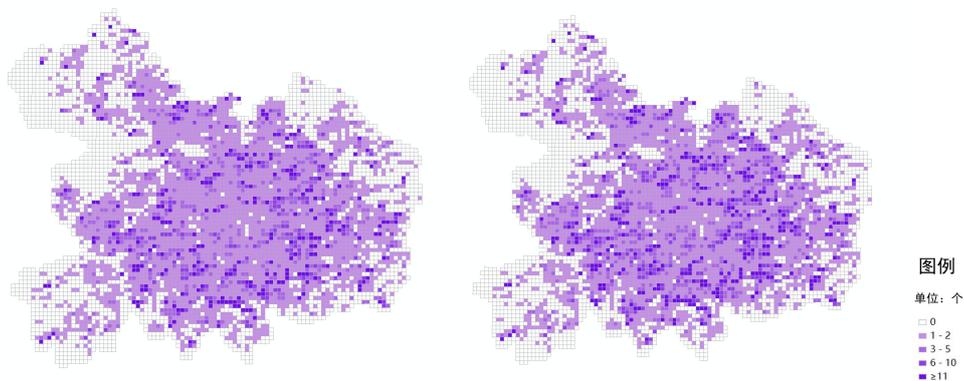


图 15 2030 年超充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

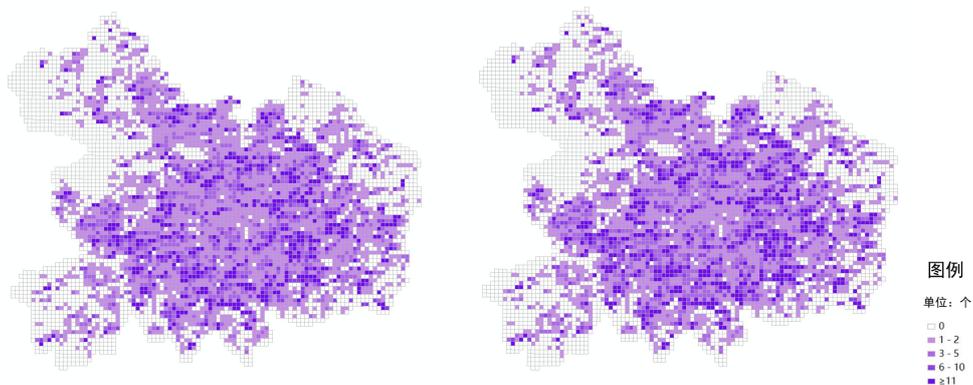


图 16 2035 年超充桩空间布局规模规划结果（左：下限值；右：上限值）

下图展示了规划年不同慢充桩、普通快充桩、超充桩数量的 500 米网格统计曲线，从图中可以看出，整体而言，无论是慢充桩、普通快充桩，还是超充桩数量，500 米网格数量随着网格内充电桩数量的增加而递减。

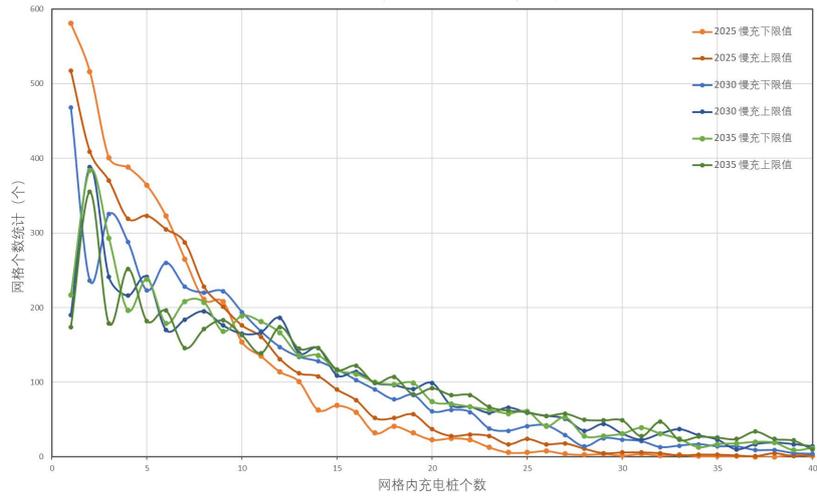


图 17 规划年不同慢充桩数量网格统计曲线

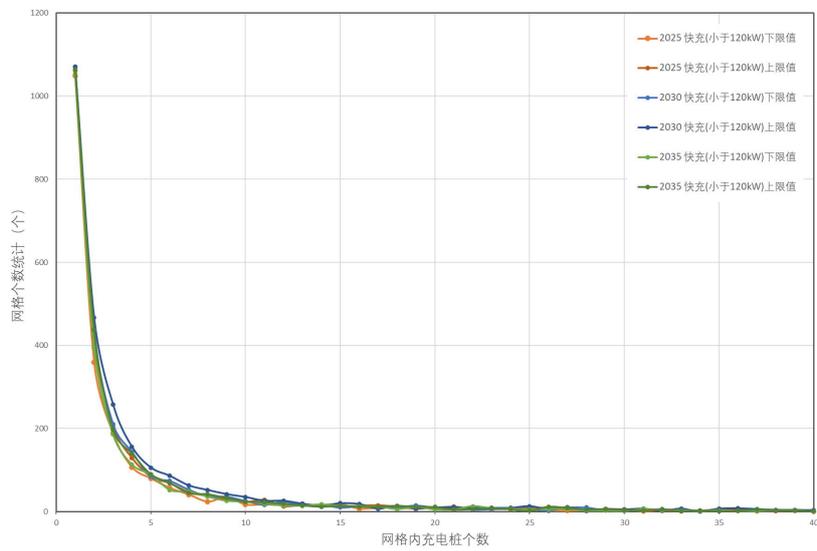


图 18 规划年不同普通快充桩（小于 120kW）数量网格统计曲线

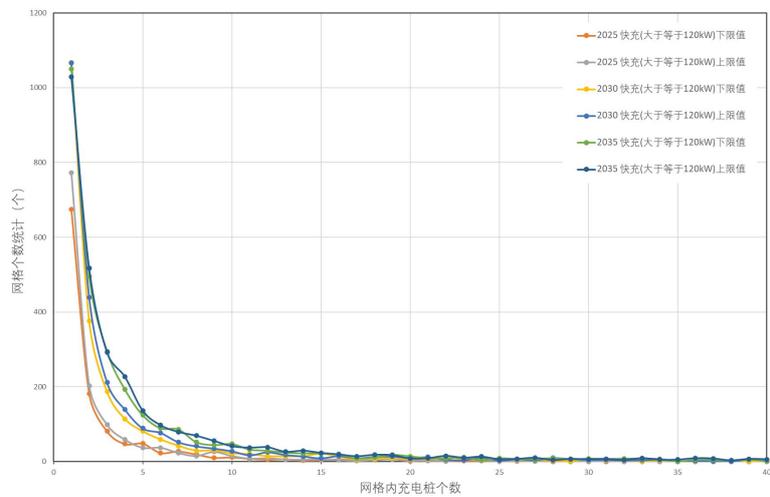


图 19 规划年不同超充桩数量网格统计曲线

### 3 结语

科学的公共充电设施规划是充电设施健康有序发展的依据,也是电动汽车发展的重要保障。本研究对比了车桩比法、充电时长法、充电能耗法、最大功率法等充电需求预测方法的优势与不足,最终选取最大功率法,以北京市中心城区为例进行了充电需求预测分析及公共充电设施布局规划。结果表明,基于最大功率法的城市公共充电设施规划可以在提高充电需求预测精度的基础上,更灵活地随着充电技术的变化调整方案。该研究为城市公共充电设施需求预测和规划提供了新思路,对公共充电设施科学合理布局和建设具有重要意义。

### 参考文献

[1] Cai, H., Jia, X., Chiu, A. S. F., et al. Siting public electric vehicle charging stations in Beijing using big-data informed travel patterns of the taxi fleet[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2014, 33: 39-46.

[2] 郭磊,王克文,文福拴,等. 电动汽车充电设施规划研究综述与展望[J]. *电力科学与技术学报*, 2019, 34(03):56-70.

[3] 郭昌勇. 基于大数据分析的城市电动汽车充电设施多目标规划研究[D]. 重庆大学, 2022.

[4] 周衍涛,戴军,苑惠丽,等. 城市电动汽车充电设施需求预测与规划布局研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2021, 49(24):177-187.

[5] 余周林. 城市电动汽车充电设施布局规划方法研究[D]. 长安大学, 2023

[6] HE F, WU D, YIN Y F, et al. Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2013, 47: 87-101.

[7] HE F, YIN Y F, ZHOU J. Deploying public charging stations for electric vehicles on urban road networks [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, 60: 227-240.

[8] LIU H X, WANG D Z W. Locating multiple types of charging facilities for battery electric vehicles [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2017, 103: 30-55.

[9] Moupuri S K R, Selvajyothi K. Optimal planning and utilisation of existing infrastructure with electric vehicle charging stations[J]. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 2020(22):1552-1564.

[10] Xiang Y, Meng J, et al. Reliability-oriented optimal planning of charging stations in electricity-transportation coupled networks [J]. *IET Renewable Power Generation*, 2020, 14(18):3690-3698.

[11] 胡家琦,邓琪,周军,等. 深圳纯电动出租车充电设施规划布局研究[J]. *综合运*

输, 2021, 43(05):3-8.

[12] 葛升阳. 基于泰森多边形的赤峰市中心城市新能源汽车充电基础设施规划研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(08):13-15.

### 作者简介

王文成, 男, 博士, 北京市城市规划设计研究院, 工程师。电子邮箱:  
wangwencheng@bjghy.com

张鑫, 男, 硕士, 北京市城市规划设计研究院, 教授级高级工程师。电子邮箱:  
13810647303@139.com

何青, 女, 博士, 北京市城市规划设计研究院, 高级工程师。电子邮箱:  
qinghe1011@163.com

郑猛, 男, 学士, 北京市城市规划设计研究院, 教授级高级工程师。电子邮箱:  
sd\_zhengmeng@163.com

龚嫣, 女, 学士, 北京市城市规划设计研究院, 教授级高级工程师。电子邮箱:  
gongyan\_jt@sina.com