

北京市六环内公共充电桩可达性评价 1-km 栅格数据集的研发 (2020)

黄洁^{1,2*}, 高阳^{1,2}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

摘要: 可达性表示克服空间距离到达某点的难易程度, 是公共服务设施研究的常用指标之一。作者根据 2020 年北京市六环内公共充电桩站点空间分布、人口分布、POI 数据与其他相关资料, 以北京市六环以内为研究区域, 采用两步移动搜索法、累计机会法与空间聚类方法, 计算公里格网驾车出行的公共充电设施可达性以及充电完成后的步行活动累积机会数量, 研发了北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集 (2020)。该数据集内容包括: (1) 电动汽车从 1 km 网格中心出发到达公共充电桩的可达性数据统计 (字段名为 PA); (2) 每位车主从 1 km 网格中心出发, 可达的各类公共服务设施累计机会数量统计 (字段名为 OA); (3) 驾车出行与车主步行两个阶段的可达性综合评价结果 (字段名为 Comb1_2cn)。数据集存储为.shp 格式, 由 8 个数据文件组成, 数据量为 963 KB (压缩为 1 个文件, 153 KB)。

关键词: 居民出行; 可达性; 新能源汽车; 公共服务设施; 出行链

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.01.07>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.01.07>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2023.04.02.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2023.04.02.V1>。

1 前言

工业转型与碳中和背景下, 新型基础设施建设布局是社会经济发展的重要问题^[1]。作为国家重点支持的战略性新兴产业, 特大城市正逐步提高新能源汽车的市场占比^[2]。新能源公共充电桩是城市新型基础设施之一; 其数量和布局的合理配置可以更好地服务新能源汽车用户, 提高充电便利性, 进而促进新能源汽车普及和推广, 对城市可持续发展、智慧交通系统建设起到至关重要的作用。

近年来, 充电桩发展、产业规划、建设与布局成为研究热点。学者们关注政策制定^[3]、

收稿日期: 2023-02-03; 修订日期: 2023-03-20; 出版日期: 2023-03-25

基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (20&ZD099)

*通讯作者: 黄洁 CVH-4108-2022, 中国科学院地理科学与资源研究所, huangjie@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 黄洁, 高阳. 北京市六环内公共充电桩可达性评价 1-km 栅格数据集的研发 (2020) [J]. 全球变化数据学报, 2023, 7(1): 48-55. <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.01.07>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.01.07>.

[2] 黄洁, 高阳. 北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集 (2020) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2023. <https://doi.org/10.3974/geodb.2023.04.02.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2023.04.02.V1>.

充电技术、充电容量配置^[4]以及以节能减排^[5]、电负荷、充电时间^[6]等为目标优化算法。考虑新能源充电桩的公共服务属性，其可达性是忽略的指标之一。可达性从地理空间视角出发，对公共服务设施的辐射范围、公平与效率等进行评价。在技术方法层面，已有较多相关研究，包括考虑空间距离与设施数量的引力模型法、累积机会法、等线值法、距离法^[7-9]、以及考虑供需关系的平衡系数法、两步移动搜索法（2SFCA）等^[9, 10]。已有研究发现，累计机会法引入距离衰减作用，可以有效提升设施可达性测度的准确度^[11]。两步移动模型中引入可变有效服务半径，能够有效反映受供需、距离影响的区域可达性^[10]。实践层面，我国在 2020 年提出“新基建”以及“双碳”目标后，新能源汽车市场占有率开始大幅提升，各地政府开始更加重视投建公共充电桩，但多基于社区定容配置，缺乏市域尺度、精细角度的公共充电桩可达性评估，难以精准评价充电桩服务水平。

精细尺度的公共充电基础设施可达性评价方法对于新能源汽车产业进一步发展具有重要意义。本数据集提供了北京市六环内公里网格尺度的公共充电桩可达性量化结果，以解决充电基础设施服务供需不匹配的问题，进而为优化新能源公共充电设施布局提供科学支撑。

2 数据集元数据简介

《北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集（2020）》^[12]的名称、作者、地理区域、数据年代、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

3.1 数据来源

本数据集由 1 km × 1 km 栅格数据组成，覆盖北京市六环内区域，所采用的数据包括：

（1）车辆保有量、公共充电桩建成数量、居民出行目的比例来自 2021 年北京市交通发展年度报告^[14]。

（2）人口总量、汽车保有量等社会经济统计数据来源于《北京统计年鉴 2021》¹，行政边界数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心²。

（3）兴趣点（POI）数据调用自高德地图 API，类别包括：医疗保健、学校、餐饮、娱乐、住宅、公司、充电站等数据，字段包括名称、爬取时间（2021 年 8 月 16 日）、经纬度、POI 分类等。随后，参考国家电网、星星充电等手机应用程序，筛查与校对充电桩所处站点的分布数据。

（4）道路网数据在 OpenStreetMap³网站下载，采用地理信息技术进行预处理，并根据道路的不同种类划分道路等级、设置限速，其中支路（20 km/h）、次干道（40 km/h）、主干道（60 km/h）、快速路（80 km/h）。本数据集制作过程中以通行时间作为成本。

（5）2020 年人口分布数据来源于 Worldpop⁴，采用住户调查、微观数据、卫星和其他数据源的集成，通过随机森林算法生成人口统计估计值。

¹ 北京市统计年鉴. <https://nj.tjj.beijing.gov.cn/nj/main/2021-tjnj/zk/indexch.htm>.

² 中国科学院资源环境科学与数据中心. <https://www.resdc.cn/>.

³ OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/>.

⁴ Worldpop. <https://hub.worldpop.org/geodata/summary?id=49919>.

表 1 《北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集（2020）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集（2020）
数据集短名	AccessibilityofBeijingchargingpile_2020
作者信息	黄洁 CVH-4108-2022, 中国科学院地理科学与资源研究所, huangjie@igsnr.ac.cn 高阳 GSM-9571-2022, 中国科学院地理科学与资源研究所, gaoyang212@mailsucas.ac.cn
地理区域	中国北京市（六环内）
数据年代	2020 年
空间分辨率	1 km × 1 km
数据格式	.shp
数据量	153 KB（压缩后）
数据集组成	可达性评价 1-km 网格矢量数据
基金项目	国家社会科学基金重大项目（20&ZD099）
数据计算环境	ArcGIS
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[13]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3.2 数据处理方法

充电出行活动主要包括两个过程，即车主驾车在出行目的地周边寻找充电桩，以及充电过程中步行前往目的地。针对驾车找桩过程，采用高斯分布函数的距离衰减率，以评价网格的中心点作为起点，以充电站点作为终点，根据两步移动搜索算法，计算出行链过程中车主驾车找桩步骤可达充电桩的数量，以获得充电可达性评价结果。针对步行活动，采用三次函数拟合的距离衰减率，以充电站点作为起点，以评价网格的中心点作为终点，根据累计机会算法，计算出行链过程中步行活动步骤可达其他各类设施的数量，以获得步行活动可达性评价结果。最后采用等频划分原则，将两步骤的评价结果划分为 9 类，输出为公共充电桩可达性数值及分类。

3.3 数据开发技术路线

制作北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集并分析其空间分布特征的研发技术路线见图 1 所示：

（1）收集、绘制、整合北京市的行政区、环线边界数据、人口分布数据、POI 数据、分级道路网络数据等基础数据。

（2）划分最小评价单元，本数据集采用 1 km × 1 km 网格为最小评价单元，将人口分布、POI 等空间数据汇总至评价网格。采用拥车总量、人口总量，以及各类设施规模与总

量数据对各网格的设施供给量和需求量进行调整。

- （3）制作为矢量网路数据集，在 ArcGIS 中进行计算操作。
- （4）构建驾车和步行阶段距离衰减函数，对不同时间距离的 POI 进行折现处理。
- （5）采用两步移动算法与累计机会法计算评价网格内充电桩可达性。
- （6）采用等频分桶，将两阶段评价结果划分为高、中、低三个等级并连接两步骤结果，得到公共充电桩可达性评价数据集。

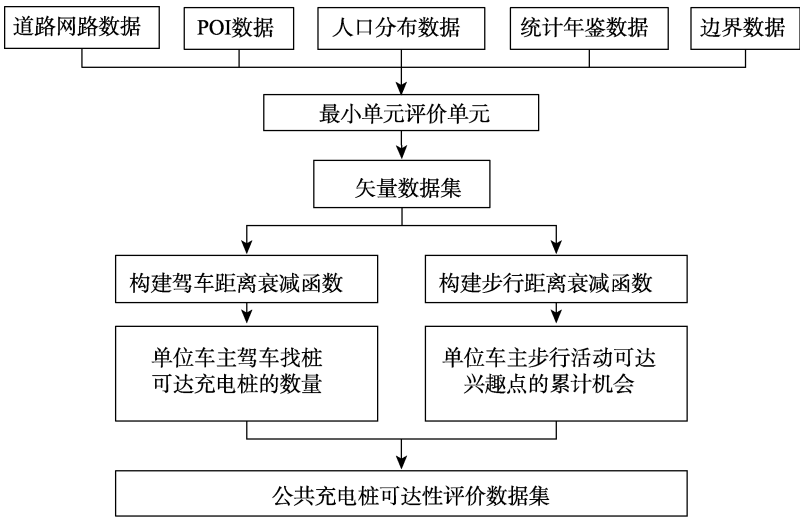


图 1 数据集研发技术路线图

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

《北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集（2020）》包括一个数据文件：可达性评价 1-km 网格矢量数据（.shp）。其中属性字段包括（1）北京市六环内每辆电动汽车以 1-km 网格出发，对公共充电桩可达性数据，字段名为 PA。（2）北京市六环内每位车主以 1-km 网格出发，可达的各类公共服务设施累计机会数量，根据北京市居民出行目的的不同比例加权计算后的 Z-score，字段名为 OA。（3）驾车出行与车主步行两阶段的可达性综合评价，包括低低、低中、低高等共计 9 种等级，字段名为 Combil_2cn。

4.2 数据结果

基于 2020 年北京市人口分布和新能源车量保有量，六环内新能源车共计 31.24 万辆，数据集结果显示：依据充电桩可达性的空间格局（图 2），可达性在不同区域的总体差异较大，在北京市公共充电桩可达性最大的区域，平均每车可达 0.148 个公共充电桩，而最低仅为 0.004 个，平均为 0.09 个。

从全市尺度看，北京市充电桩可达性空间分布格局与北京市交通网络的圈层结构吻合，呈同心圆结构^[15]。车均充电桩可达性的同心圆结构特征如下：（1）第一层同心圆为四环以内区域。四环内可达的充电桩数量的平均值为 0.135，高于四环以外区域，且四环内区域差

异较小。(2) 车均充电桩可达性从四环外开始显著降低, 在四、五环之间可达性均值下降为 0.11。第二层出现在四环以外至五环边缘, 车均可达性在 0.09 到 0.12 的区间浮动。(3) 五环以外, 可达性数值快速衰减, 形成三层同心圆。五、六环内区域可达充电桩数量的平均值仅为 0.07。并且, 相较于西侧, 车均可达性在五环东侧稍有优势。

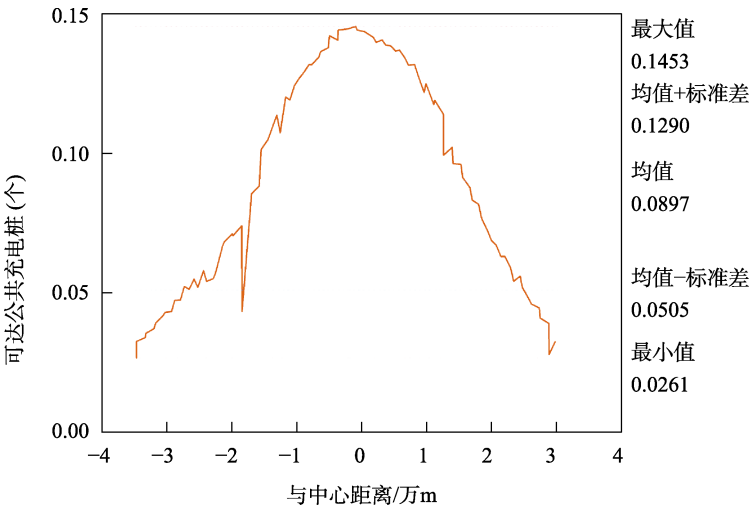


图 2 离市中心不同距离的驾车可达充电桩数量图

本数据结合 2020 年北京市居民出行调查数据^[14], 将出行目的按照设施属性, 划分为: 通勤、购物、餐饮、休闲等主要活动设施。同时依据总人口的出行频率^[14], 将充电桩可达活动设施的机会按照出行比例加权累加, 计算出步行活动的综合累计机会 OA。OA 空间分布数据 (图 3) 显示: (1) 综合累计机会 OA 的全局 Moran's I 值为 0.83, 标准分数 Z 值为 56.41, 说明在 99% 的显著水平下, OA 的空间分布在北京市六环线内呈现集聚状态。(2) OA 的均值为 0.41, 最小值为 0, 最大值为 11.41。OA 在地理分布上呈中心区大于边缘区, 北部区域大于南部区域。高值聚集区分布于北京市四环内偏东北的区域。低值聚集区分布于北京市四环外, 城市道路密度较低的区域。(3) 市辖区尺度, 北京市东西城区是 OA 均值最大的区域, 朝阳、海淀、丰台次之, 石景山、门头沟最低。(4) 街道尺度, 处于北京二环内的陶然亭、天坛、什刹海、景山、东华门街道的 OA 低于周边地区。而新村、东铁匠营、上街、望京、清河等街道的 OA 高于周边地区^[15]。

基于前文计算的 PA 与 OA, 采用等频分桶方法分别划分为低、中、高三类评价结果, 并综合两步骤结果, 划分为 9 类综合评价结果。数据结合评价价值两阶段的结果, 表示车行和步行可达性的不同水平, 其中“低-高”区域表示车行可达性低, 步行可达性高, “高-低”区域则相反^[15]。数据结果显示 (图 4): (2) “高-低”区域分布于五环周边, “低-高”区域则出现在接近六环的边缘地区, 表明北京市五环至六环区域, 部分地区形成了就业、生活服务的区域级中心, 充电设施的供给水平无法匹配活动设施增加所带来的充电需求增长。

(2) 综合评价价值“低-低”区域则与步行低值聚类区相基本对应, 而“高-高”区域则步行

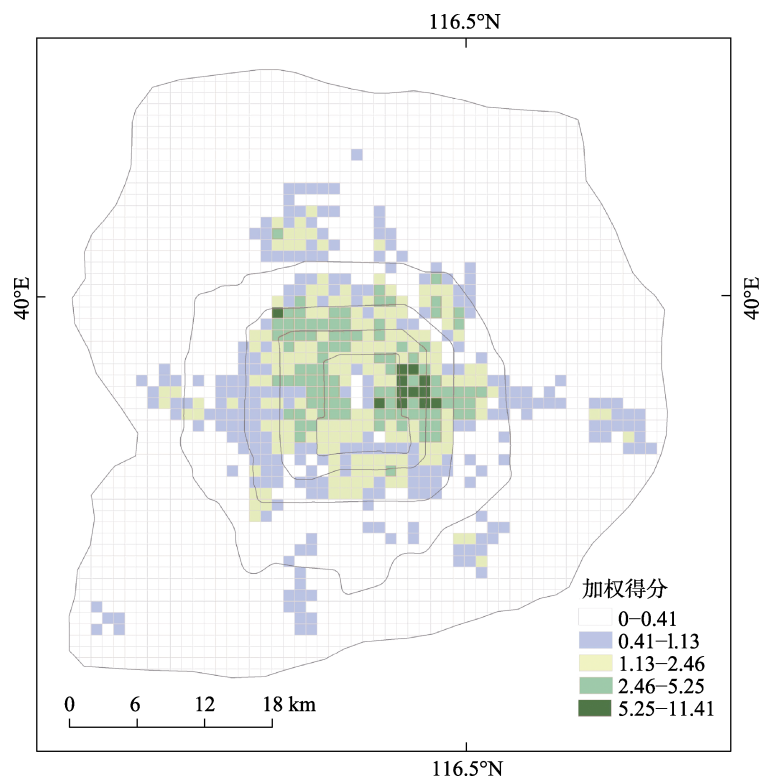


图 3 累计机会得分空间分布图

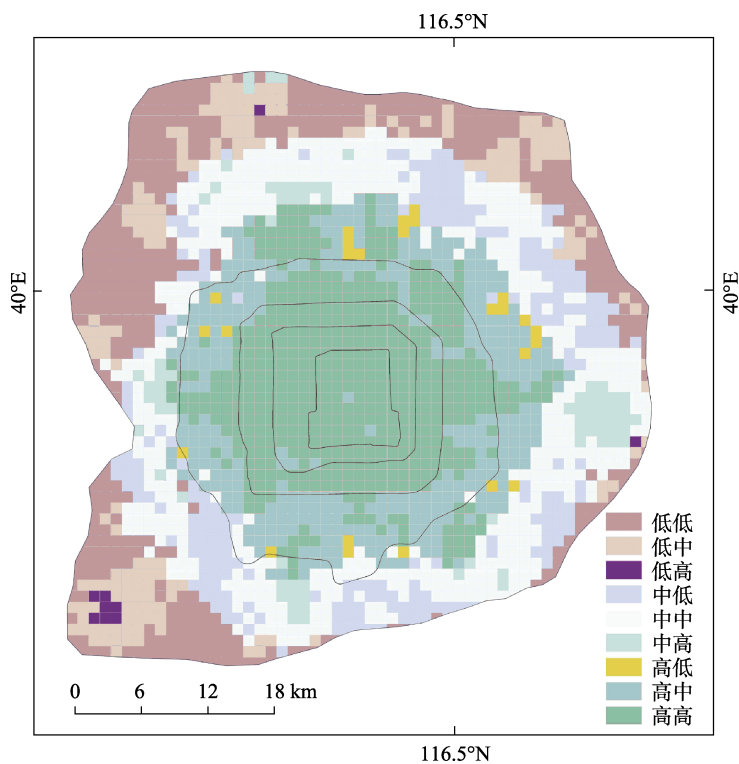


图 4 北京六环内公共充电桩可达性分类图

累计机会高值区重合,表明在城市中心区同时富集了公共充电桩和各类兴趣点设施,而外环区域则各类设施配置不均衡。(3)整体评价结果显示,高值区呈现中心集聚和轴线放射分布。而在外环区域(五环至六环),公共服务设施分布较为稀疏,公共充电桩大部分集中于城市快速路周边,且设置密度较小。因此,在范围较广的充电站点空白区域内,居民采用新能源汽车往来公共服务设施的便捷性较差。但在内环区域(四环内),充电设施可达性的两个阶段结果之间没有明显的差异,这得益于北京市四环内的住宅、商业设施密度较高,配建了较多的公共充电站。

5 讨论和总结

十四五规划与“双碳”目标都明确了产业结构升级以及人居环境品质提升的要求。公共充电站点布局作为新能源汽车产业布局的基础环节,其空间分布、服务范围、可达性等都直接影响新能源汽车的使用便捷程度,进而影响新能源汽车市场化。本数据集基于以车主充电的全过程出行链,分析公共充电站点、驾车出行点以及步行活动目的地的空间关联程度,测算北京市精细尺度充电设施的空间可达性。在方法上,采用两步移动搜索法和累计机会法进行分析,以更准确地揭示充电设施的空间分布格局。本数据集一定程度上完善了公共充电桩空间可达性研究的方法体系,为辅助北京市新型基础设施建设布局以及优化配置提供新的研究素材与数据支撑。

需要说明的是,考虑到各区域的局面新能源汽车出行比例不同、广泛分布的私人充电桩、不同交通方式组合出行以及不同出行时段等因素,均会对充电格局产生影响。本数据并未对所有相关影响因素进行深度挖掘与广域分析,只是基于供需平衡,根据多目的出行加权调整的充电桩可达性空间评价,对北京市六环内公共充电桩可达性分布进行基础描述。因此,本数据集可以为新能源充电桩布局优化相关议题的研究提供可行的数据基础,但未来的相关研究与数据研发仍有待在本数据集的基础上,进一步收集与研发在复杂出行条件下的充电桩可达性空间分布,深入挖掘中国各大城市新型基础与居民寻求的空间失配、时间错配等发展问题,并针对性提出优化模拟方案。此举将为中国新型基础设施布置与优化做基础数据研究支撑,助力“双碳”目标实现。

作者分工:黄洁对数据集的开发做了总体设计;高阳采集和处理了充电桩评价数据,并撰写了数据论文初稿;黄洁审核、指导、修改与完善了数据论文。

利益冲突声明:本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 林伯强,刘希颖.中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略.经济研究[J],2010,45(8):66-78.
- [2] 马建,刘晓东,陈轶嵩等.中国新能源汽车产业与技术发展现状及对策[J].中国公路学报,2018,31(8):1-19.
- [3] 唐葆君,王翔宇,王彬等.中国新能源汽车行业发展水平分析及展望[J].北京理工大学学报:社会科学版,2019,21(2):6-11.

- [4] Pantelidis, T. P., Li, L., Ma, T. Y., *et al.* A node-charge graph-based online carshare rebalancing policy with capacitated electric charging [J]. *Transportation Science*, 2022, 56(3): 654–676. DOI: 10.1287/trsc.2021.1058.
- [5] 张帝, 姜久春, 张维戈等. 电动出租车充电桩优化配置[J]. *电工技术学报*, 2015, 30(18): 181–188.
- [6] 方舟, 张俊, 孙元章等. 考虑多目标约束的充电桩数量规划研究[J]. *电网技术*, 2020, 44(2): 704–712.
- [7] Wang, F. Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: a methodological review [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2012, 102(5): 1104–1112.
- [8] 王发曾, 王胜男, 李猛. 洛阳市区绿色开放空间系统的动态演变与功能优化[J]. *地理研究*, 2012, 31(7): 1209–1223.
- [9] Wu, H., Levinson, D. Unifying access [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 83: 102355.
- [10] Mora, R., Truffello, R., Oyarzún, G. Equity and accessibility of cycling infrastructure: an analysis of Santiago de Chile [J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 91: 102964. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.102964.
- [11] 赵鹏军, 罗佳, 胡昊宇. 基于大数据的生活圈范围与服务设施空间匹配研究: 以北京为例[J]. *地理科学进展*, 2021, 40 (4): 541–553.
- [12] 黄洁, 高阳. 北京市六环内公共充电桩可达性评价数据集 (2020) [J/DB/OL]. *全球变化数据仓储电子杂志*, 2023. <https://doi.org/10.3974/geodb.2023.04.02.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2023.04.02.V1>.
- [13] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [14] 北京市交通发展研究院. 2021 年北京交通发展年度报告[EB/OL]. <https://www.bjtrc.org.cn/List/index/cid/7.html>. 2021-10-08.
- [15] 黄洁, 高阳, 付晓等. 基于出行链的新能源汽车公共充电站点可达性研究——以北京市为例[J]. *地理研究*, 2022, 41(12): 3305–3317.