

上海市城市共享单车出行模式与碳减排分析

王逸、余欣潼、薛楷翰、杨嘉铨、赵展悦、张恒、刘逸宇

(具体分工情况见附录 2)

摘要：共享单车作为日渐成熟的公共交通设施之一，对全球城市建设有着突出的作用。本研究以上海市为例，通过其某一天内共享单车订单数据集等数据，挖掘上海市城市共享单车出行模式与碳减排情况。本研究既涉及了对于订单数据分布的表层数据分析，也涉及了对于共享单车通勤模式与状况的深层解析，以及对于共享单车服务于低碳城市的碳减排效益计算。本研究结合多种数据挖掘方法进行空间分析，是城市时空大数据分析的一种尝试，本研究可为上海市未来的共享单车布局提供分析理论参考，有助于上海市未来进一步优化公共交通系统，升级城市环保、方便、舒适的各项水平。

关键词：城市共享单车、出行模式分析、碳减排分析

一、研究背景

共享单车始于无桩自行车共享计划 White Bikes^{[1]、[2]}，随着半个世纪的发展，共享单车体系已越来越成熟。目前，全球有超过两千个自行车共享系统正在投入使用^[3]，仅中国的共享单车的数量就已经超过了两千三百万辆^[4]。共享单车作为一种相对快速、灵活、环保、经济的交通服务连接方式，能够有效解决“最后一英里”(或是“最后一公里”)的问题，这实际上是解决公共交通缺乏连接性问题的一种优秀方案^[6]。此外，共享单车也可以直接或间接地一些城市问题，比如交通拥堵、空气污染、能源短缺和健康问题^{[7]、[8]、[9]}。

对于共享单车的研究非常丰富。有研究^[10]尝试量化共享单车的环境效益，应用大数据技术从时空角度分析影响；有研究^[11]采用空间自回归模型分析自行车时空模式以及不同因素对共享单车产生的积极影响；有研究^[12]使用特征分解方法研究共享单车使用模式和建筑环境指标之间的相关性，并分析自行车出行模式的结构性差异；有研究^[13]采用一系列负二项式回归模型研究共享单车与地铁综合使用的情况以揭示建成环境对两者整合应用的影响；有的研究^[14]从城市气候情况、土地使用情况、其它公共交通建设情况、社会及人口情况、时间变化尺度、城市安全保障情况等研究了影响共享单车需求的不同因素；有的研究^[15]面向共享单车系统研究其出行模式，使用新颖的空间灵活性指标来衡量其对共享单车的影响，此外还研究了站点密度、商业区、娱乐区、餐厅区对于共享单车分布的影响；有的研究^[16]分析了共享单车取代汽车出行的有效性。

实际上，正如部分学者^[10]所指出的那样，目前针对共享单车的研究主要为两种，一种是专注于城市交通平衡的数学模型，一种是针对于自行车共享的专题研究，而其中受到更高关注度的专题主要是对于出行模式以及环境效益（主要是研究碳减排）的研究。就国内的研究来看，有以下研究与其相关：

表 1：国内针对共享单车的热门研究

序号	主题方向	文献	研究内容	研究方法
1	轨迹流模式分析	张琳等 ^[17]	潮汐流模式、 功能相关性、 接驳模式	潮汐均衡性指数、 语义信息建模、层 次聚类
2	轨迹流模	张晨琦 ^[18]	骑行交互特征、城市骑	路网匹配、空间分

	式分析		行网络、骑行网络模式	析、网络分析
3	轨迹流模式分析	孙启鹏等 ^[19]	出行模式时空特征、出行需求预测	非负矩阵分解算法、神经网络模型
4	轨迹流模式分析	曹弋等 ^[20]	出行时空分布规律及其影响因素研究	残差网络、深度学习、注意力机制
5	轨迹流模式分析	李福等 ^[21]	骑行聚集区分布、骑行时间特征、基于 POI 的因子分析	均值漂移算法、spearman 相关性分析、时空序列聚类
6	环境效益分析	代昀昊等 ^[22]	共享单车对城市人均二氧化碳排放量影响	交错双重差分模型、异质性分析
7	环境效益分析	王秋平等 ^[23]	共享单车碳减排效益及时空分布特征	非负矩阵分解、多场景时空分析
8	环境效益分析	戢晓峰等 ^[24]	共享单车调度碳排放对环境效益的影响及其空间分异	考虑调度的碳减排模型、空间格局分析

二、研究框架

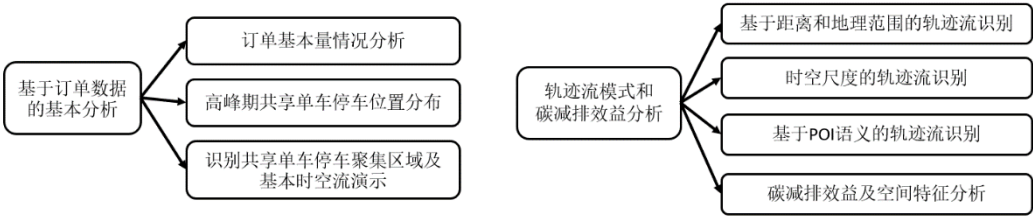


图 1：研究框架

本研究基于“数据科学与数据挖掘导论”课程期末作业要求进行实现和拓展，主要包含基于订单数据的基本分析、轨迹流模式和碳减排效益分析。本研究数据主要是课程中提供的上海市某一天的共享单车订单数据，同时，自行通过相关资源获取了上海市 POI 数据以及上海市路网数据。本研究采用了 DBSCAN、K-means、PCA 等方法辅助进行计算和分析，并且尝试从多个层面去挖掘上海市共享单车订单数据背后的信息，将其转化为信息、知识和智慧，为未来共享单车的布设和规划提供参考。

三、基于订单数据的基本分析

(1) 订单基本量情况分析

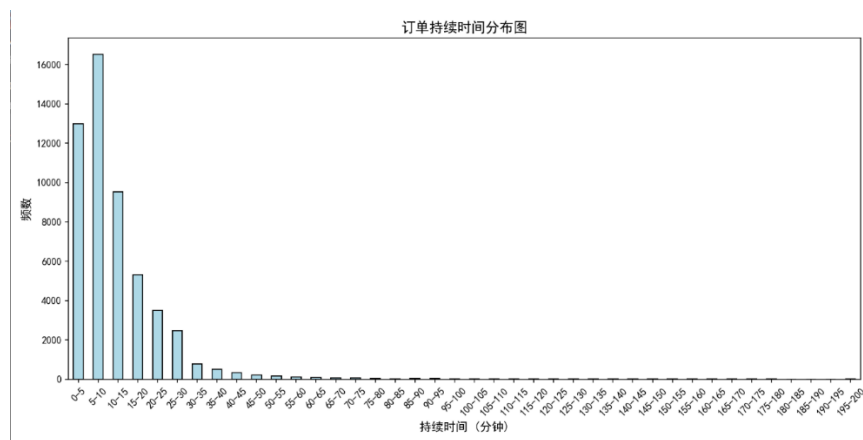


图 2：订单持续时间分布图（柱状图）

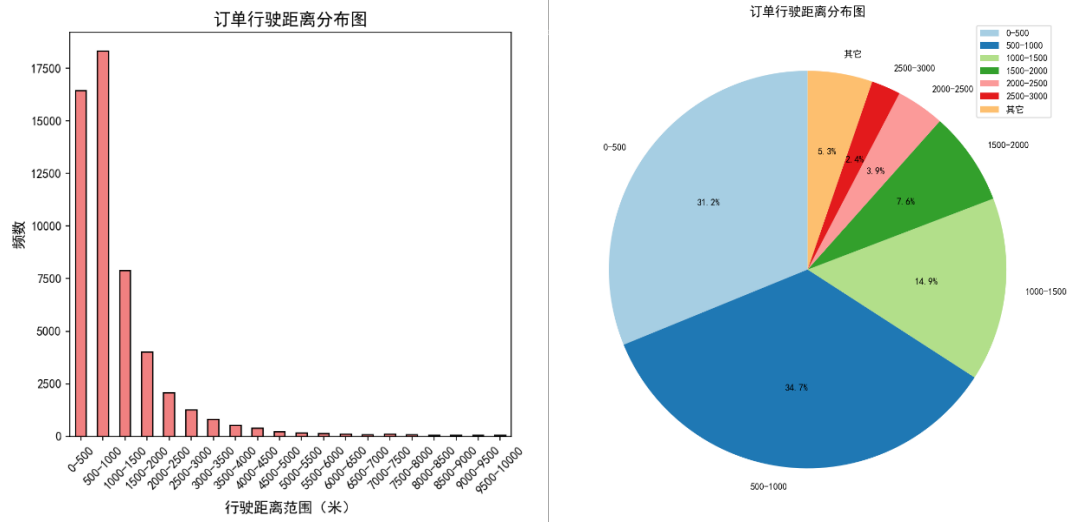


图 3：订单行驶距离分布图（柱状图和饼状图）

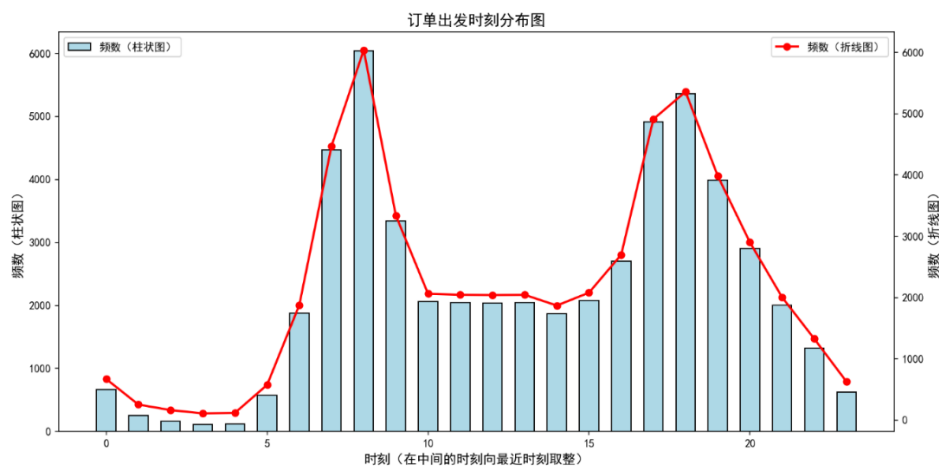


图 4：订单出行时刻分布图

根据图 2 至图 4，可以发现，上海市共享单车订单的持续时间大多在半个小时之内，其中 5-10 分钟的订单最多，0-5 分钟次之，而 10 分钟之后时间越长，订单数量越少，说明大部分订单都是短时间的，极少有长时间骑行的记录。而订单的行驶距离的趋势与持续时间趋势非常相似，大部分在在二千米以内，500-1000 米的订单数量最多，0-500 米次之，而 500 米之后骑行距离越长，订单数量越少。从饼状图中可以进一步看出不同订单行驶距离分布的占比，不同时间段有

着极为显著的差别，基本上大部分的骑行距离都是在短距离的范围。从订单出行时刻来看，上海市共享单车的出发时刻主要集中在 7-9 点的早高峰时段和 16-20 点的晚高峰时段，早高峰持续时间更短，变化幅度更剧烈。在中午时段较为均衡，而在 20 点之后出发的共享单车订单快速下降，在凌晨 3-4 点达到最低。

(2) 高峰期共享单车停车位置分布

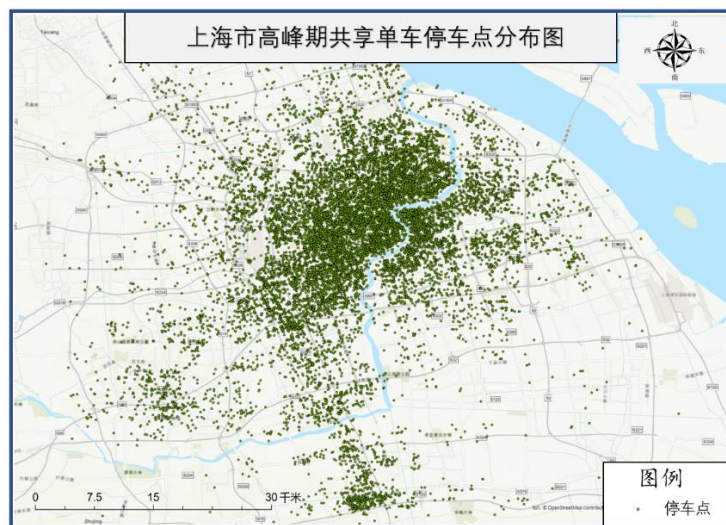


图 5：上海市高峰期共享单车停车点分布图

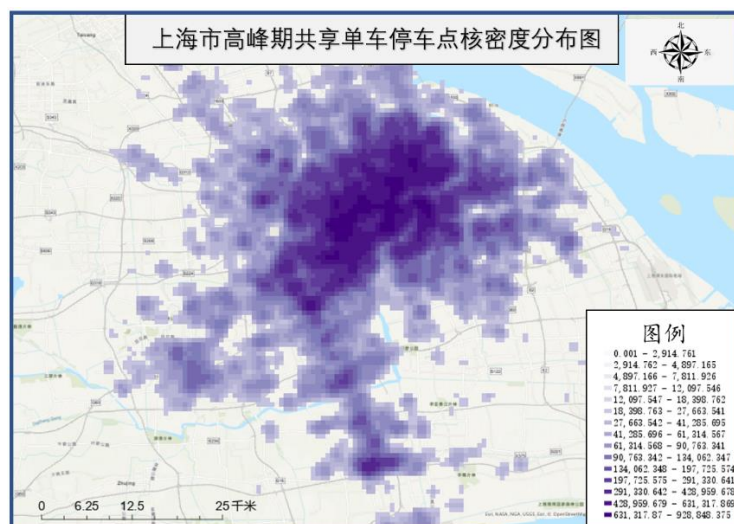


图 6：上海市高峰期共享单车停车点核密度分布图

根据图 5 至图 6，上海市高峰期共享单车停车点主要集中在市中心，而郊区的共享单车停车点则非常稀疏，甚至有很多局部地区没有共享单车停车点。总体上看，停车点呈现从中心向四周扩散递减的趋势，而且扩散呈现比较标准的环形扩散。除了整体上环形扩散递减的趋势，共享单车在上海市南部的局部地图和西南部的局部地区也有小规模集中分布，推测是行政区中心地带，且这些局部地区的共享单车并不是孤立的集中分布，而是通过路网和城市中心的密集带有一定的相连。

(3) 识别共享单车停车聚集区域及基本时空流演示

共享单车在空间尺度有着明显的空间异质性，为了更好地识别共享单车的停车规律，参考了相关研究，有学者^[25]采用 DBSCAN 模型对骑行数据进行聚类分析，构建多目标选址规划模型；有学者^[26]则采用 HDBSCAN 算法进行停车拥挤区域的识别。在本研究中，将会使用 DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 算法进行共享单车停车聚集区域的识别。

DBSCAN^[27]是一种基于密度的聚类算法，其主要优点在于能够识别任意形状的簇，同时对噪声具有较强的鲁棒性。该算法通过密度连接的思想定义簇，具体步骤包括核心点的识别、密度可达性的判定以及簇的扩展。其算法进行步骤为，首先进行核心点的标记，即对数据集中的每个点，计算其领域内的点数，并标记所有满足的点为核心点。随后进行簇的扩展，从任意未标记的核心点出发，将其与其密度可达的点连接成一个簇，直至无法再扩展。最后进行噪音点的标记，即将所有未被任何包含的点标记为噪音点。

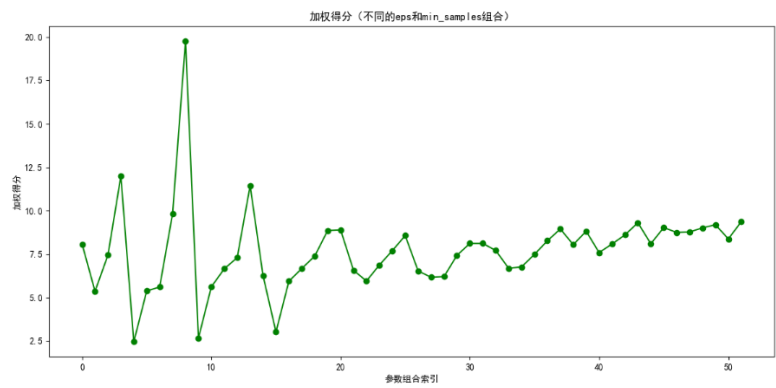


图 7：不同参数下的指标加权综合评分

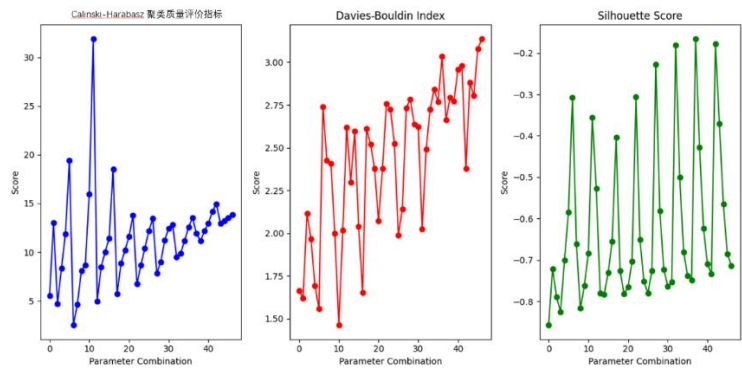


图 8：三种不同的聚类评价指标的评价结果

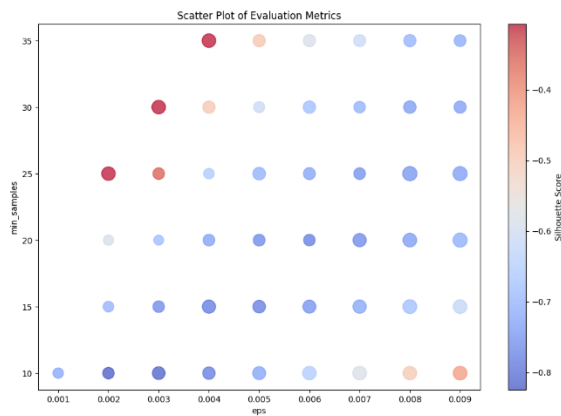


图 9：双参数调整下的评价情况

表 2：参数组合评分情况

含义	eps	min_samples	轮廓系数	Davies-Bouldin	Calinski-Harabasz
----	-----	-------------	------	----------------	-------------------

			结果	结果	结果
最佳轮廓系数组	0.004	35.000000	-0.306734	2.747369	3.473779
合					
最佳 Davies-Boul	0.003	20.000000	-0.683375	1.462986	15.970302
din 组合					
最佳 Calinski-Ha	0.003	25.000000	-0.355739	2.015455	31.871653
rabasz 组合					

对于 DBSCAN 算法而言，其 min_samples 及 esp 参数是影响整体聚类效果的关键。图 7 至图 9 展示了 DBSCAN 的参数调整过程。如果按照轮廓系数、Davies-Bouldin 指数和 Calinski-Harabasz 指数三个不同的评价指标进行计算，不同参数搭配对应着截然不同的指标评价结果，如表 2 所示。经过多次的参数调整发现，可以采用一种综合加权方法，并结合实际的聚类可视化情况选择参数。在本场景下，Calinski-Harabasz 指数较为准确，因此设置其权重为 0.6，另外两个指标设置权重分别设置为 0.2，这时的聚类效果比较优秀，较为贴合与密度图对应的聚类情况。

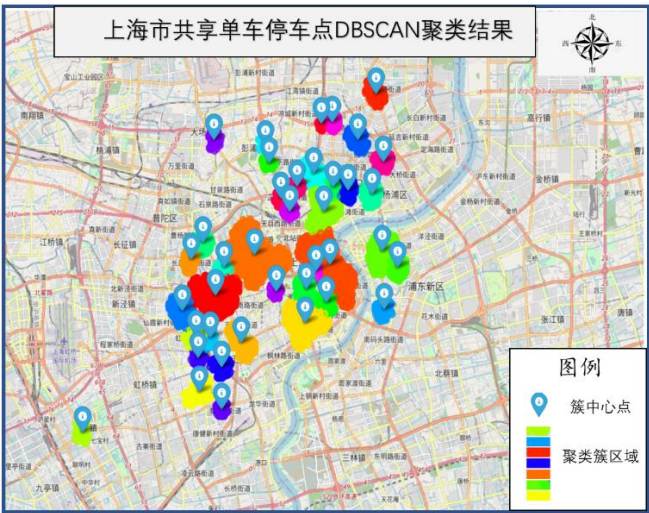


图 10：上海市共享单车停车点 DBSCAN 聚类结果

可以发现，上海市共享单车停车点主要位于浦西，而浦东的共享单车停车点较少，且都紧挨着浦西。此外，可以发现核心区域的共享单车停车区域往往范围较大，而距离市区较远的停车区域往往范围较小，且分布零散。



图 11：上海市共享单车经聚类后的 OD 图

上图以（3）为停车聚类区域为基础，取每一个聚类区域的中心点，并相互使用线段连接表示相互之间的骑行交流。可以发现大部分的共享单车流动都局限

在浦西的核心区内，基本都是几个范围较大停车区域之间的流动，而向边缘的流动比较少。

四、轨迹流模式和碳减排效益分析

(1) 基于距离和地理范围的轨迹流识别



图 12：上海市共享单车轨迹流可视化图

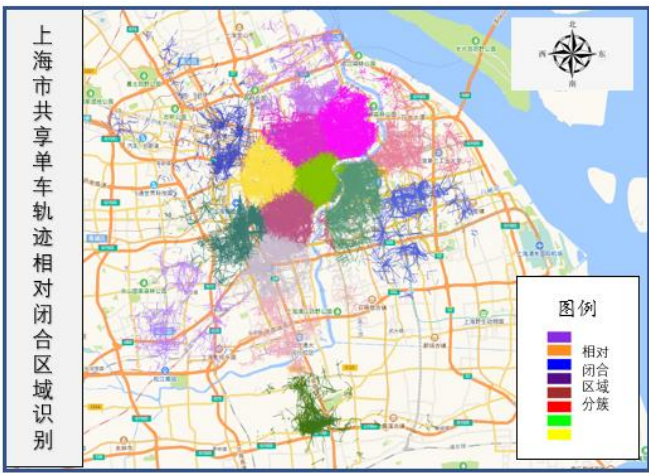


图 13：上海市共享单车轨迹相对闭合区域识别

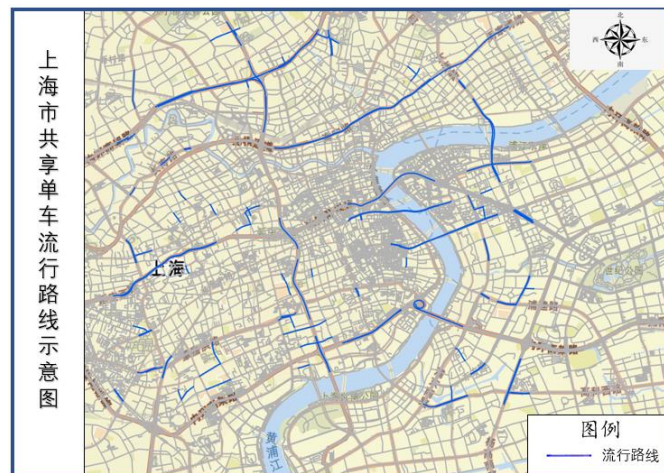


图 14：上海市共享单车流行路线示意图

基于共享单车骑行距离及所处地理位置，首先使用 DBSCAN 算法思想异常点检测，随后使用 PCA 方法对其进行降维，再使用 K-means 聚类方法进行聚类，可以将所有的骑行记录进行聚类划分。如图 12 所示，紫色的圆环代表远距离或者地理位置偏远的骑车记录，而其它颜色的圆环代表其属性未存在离群异常且处于一定地理范围的骑行记录。可以发现，较远距离的骑行基本都出现在城市郊区以及市区边缘地区，而中短距离出行则基本都在市区，而且明显相对于长距离骑行更加集中且数量更多。而且可以发现在上海的东南侧出现了一个小的轨迹区域真空区。

可以进一步根据骑行记录划分相对闭合的区域，即大部分骑行都是在闭合区域内进行，较少有跨区域的骑行，如图 13，可以发现市区被划分成了几个相对闭合的区域，市区的闭合区域呈现紧密排列，很微妙地展示了上海的出行轨迹闭合区，周边轨迹流区域比较分散零碎，另外可以发现在南部有一片闭合区域的延长。粗略来看在市区的闭合区域多为黄浦江所阻隔，但是细看可以发现仍然有跨江的小部分区域，这实际上显示了轨迹流的跨江延伸趋势。跨江一般覆盖范围很小，

因为会受到另一侧轨迹流区域的影响。

此外，结合路网信息，将骑行记录与路网进行附着匹配（详细情况见（2）部分），可以以骑行途径路线情况求解出较流行的道路，在此取上海市前一百名的道路，如图 14 进行可视化。可以发现，上海市共享单车流行路线只局限在市区才有，跨江道路、主干道成为了主要的流行路线途经道路，也可以看到在某些局部的支路也出现了流行路线，但是此类路线一般距离较短，范围有限。

（2）时空尺度的轨迹流识别

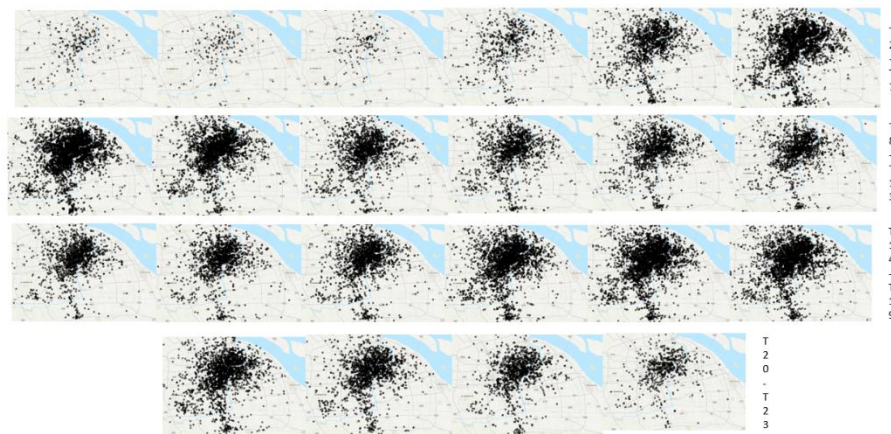


图 15：一天内骑行轨迹点分布变化图（2:00 a.m. – 23:00 p.m.）

首先，可以分析上海市一天之内骑行轨迹点的时空分布变化。如图 15，可以发现上海市共享单车的骑行活跃度在早高峰和晚高峰最高，最为密集，在中午时分相差不大，而在晚高峰结束后不断减少。这种趋势实际上与前文所分析的出发时刻变化图的趋势是几乎一致的。从其时空白莲花可以看出，一是上海市共享单车使用具有显著的潮汐效应，二是上海市共享单车使用基本集中在市中心，但是往南方向有一定的延伸区，这与之前所研究的轨迹点密度分布图实际上也是相一致的。

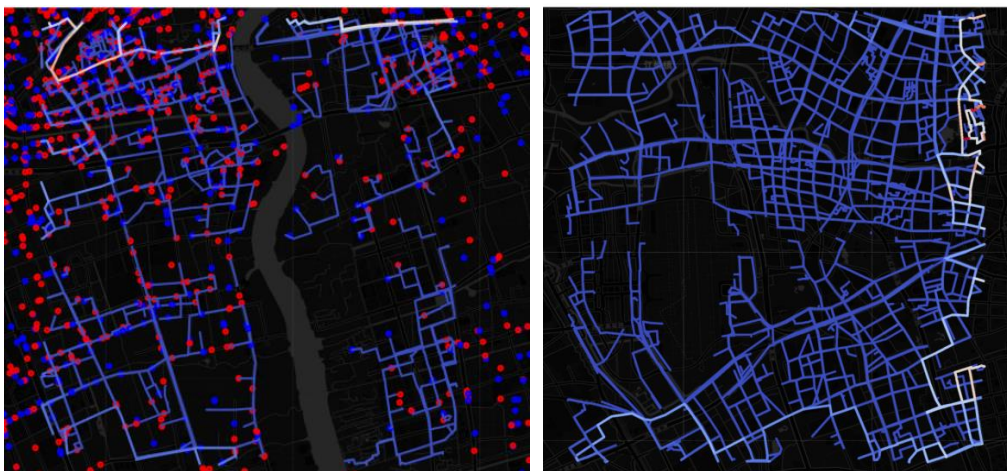


图 16-17：路网附着匹配示意（作为原始分布点，右为附着后按密度染色图）

本研究在路网尺度上研究轨迹流的时空变化，采用了一种路网附着匹配算法，其本质是将所有 OD 点都以最近邻原则附着到路网上，而且附着采用正交投影方式进行，这实际上是一种基础的地图匹配方法，但是简单有效，其处理效果如图 16-17 所示。在前文 (1)，也使用了这一方法求解流行路线。以下采用 mobmap 平台辅助可视化，以显示更细节的微观效果。

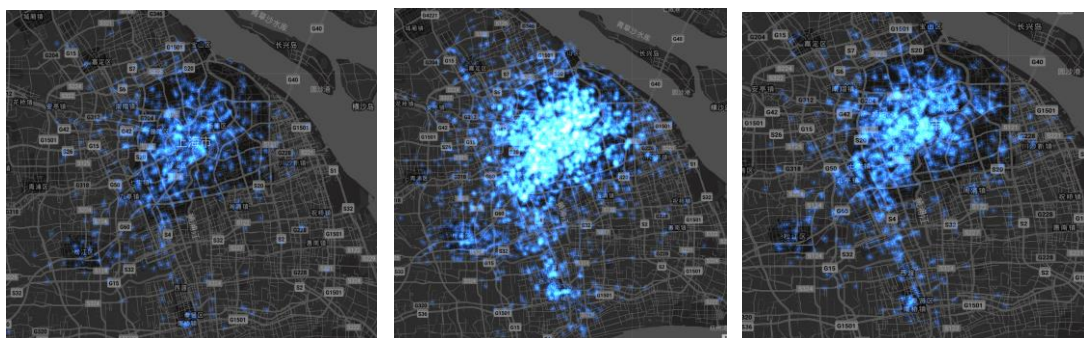


图 18-20：凌晨两点、早高峰八点半及晚上九点的结合路网纠正的轨迹流

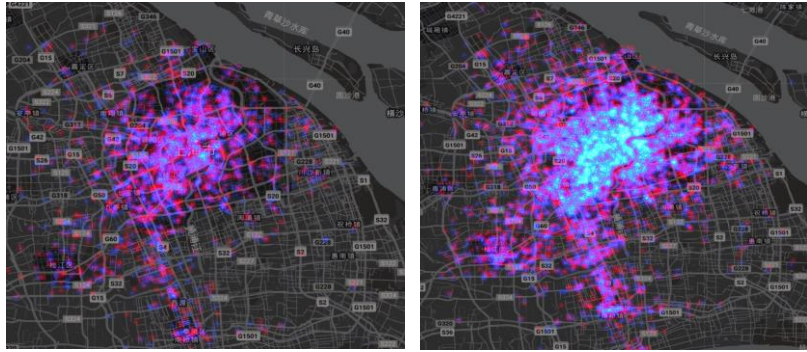


图 21-22：早上六点半和早高峰九点半结合路网纠正及开锁车标记的轨迹流
(蓝色为开锁点，红色为锁车点)

经过路网附着匹配算法进行纠正之后，可以研究更为微观的轨迹流数据。通过图 18-20，可以发现凌晨两点、早高峰八点半及晚上九点的轨迹流有着显著的不同。虽然结合前面的研究来看，已经知道其具有显著的潮汐效应，但是可以从细节空间角度发现一些不同，其中在凌晨时分，实际上其轨迹重心是位于市区西南的，但是在早高峰轨迹中心从市区西南逐渐转向中部，在晚上，轨迹中心再次转移至西南。这实质上反映在低峰值期间，骑行主要活跃在市区西南而非中心，反映这一片地区可能存在较多需要晚间出行的活动。此外，也可以发现一些其它的细节，比如，在城市西部地区，存在一个稍聚集的区域，而在城市南部地区，一直存在着一个带状的延伸区域。可以发现，城市西部聚集区域的密集程度不如城市南部延伸带，但是西部聚集区域的孤立性很强，即其似乎并不存在与市区的强空间关联，在低峰期甚至存在一定的断连，而南部的延伸带与市区存在着极强的空间关联，几乎是整片地区整体随着市区变化而变化的，没有孤立特性。

通过图 21-22，可以进一步探索城市骑行出发与终止的时空变化情况。早上六点半正处于早高峰开始前的缓冲期，此时大部分为锁车点，说明此时大部分车辆都处在关闭状态。但是随着早高峰的来临，市中心开始出现大量开锁点，同时

城市外围的开锁点也有增加的趋势,这说明通勤车正在从城市外围向城市中心前进,大量共享单车正在骑行于市区,且在市区处在关闭状态的车辆非常少,几乎都在被使用,且这种趋势正在慢慢向外围扩大,这一定程度反映了市中心用车需求在短时间内的提升。

(3) 基于 POI 语义的轨迹流识别

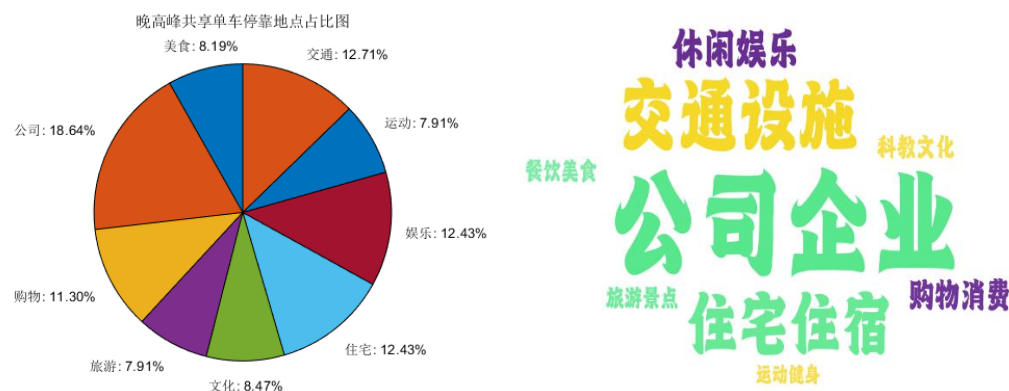


图 23-24：晚高峰共享单车停靠点占比与语义云图

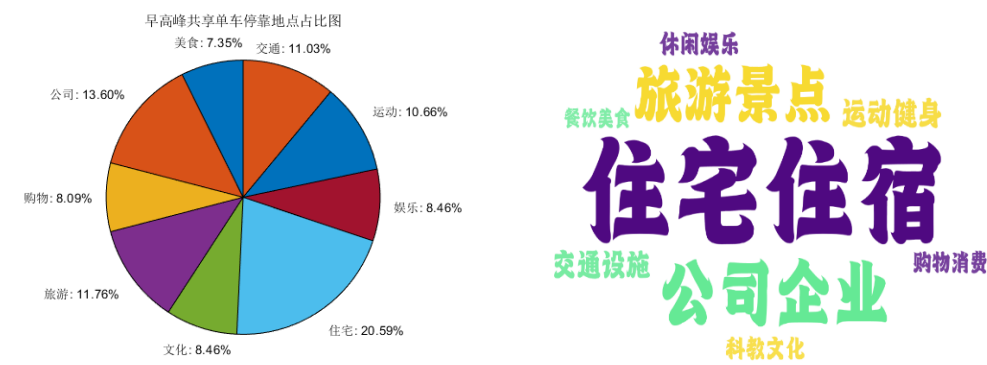


图 25-26：早高峰共享单车停靠点占比与语义云图

基于 POI 数据,可以研究共享单车停靠点与周边地点的语义联系。首先面向共享单车停靠点求解 100 米缓冲区,随后统计缓冲区内不同的 POI 点种类信息。图 23-24 以及图 25-26 分别展示了晚高峰和早高峰的共享单车停靠点占比及语义

云图。可以发现，公司企业和住宅住宿是共享单车停车点附近的主要 POI 类型，这说明了共享单车主要还是被居民用于上下班通勤，往返于工作单位以及家里。此外，还可以发现交通设施和旅游景点也非常多，主要是人们骑行前往重要交通枢纽，还有旅客前往旅游景点进行旅游。

(4) 碳减排效益及空间特征分析

关于碳减排效益，实际上已有多位学者进行了相关研究，但是由于计算方式及参考因素不同，造成计算得到系数相差较大。此外，很多论文没有给出直接的系数，因此无法参考其系数为何，本研究整理了四种模式下的结果，如表 3。根据系数，可以代入到上海市共享单车的行驶里程中，从而得到上海市整体的碳减排量是多少。本研究分别计算了四种计算模式下的碳减排量，如图 27。

表 3：碳减排效益参考系数来源整理

方法代称	文献	计算方式及参考因素	本文参考系数
模式一	王杰 ^[28]	结合共享单车日均周转、使用寿命及不同交通替代换算因素	采用其基准情景下的单位节碳量 22.82gCO ₂ /pkm
模式二	独威等 ^[29]	区分了地铁建设的影响，并且针对不同排放含碳物质进行综合讨论	采用其有地铁城市情景下碳减排因子 48.65g/pkm
模式三	陈凤先等 ^[30]	在较高限制条件下计算的保守碳减排量化数	采用基线情景下的污染物的排放因子（减排因子）

		值，考虑交通因子	0.304g/pkm
模式四	周瑜等 ^[31]	考虑了政府补贴额度、 单车使用寿命等细节因素，是较冒进的估算法	采用模型参数列表的单位 距离综合碳排放系数 0.0487kgCO ₂ /pkm

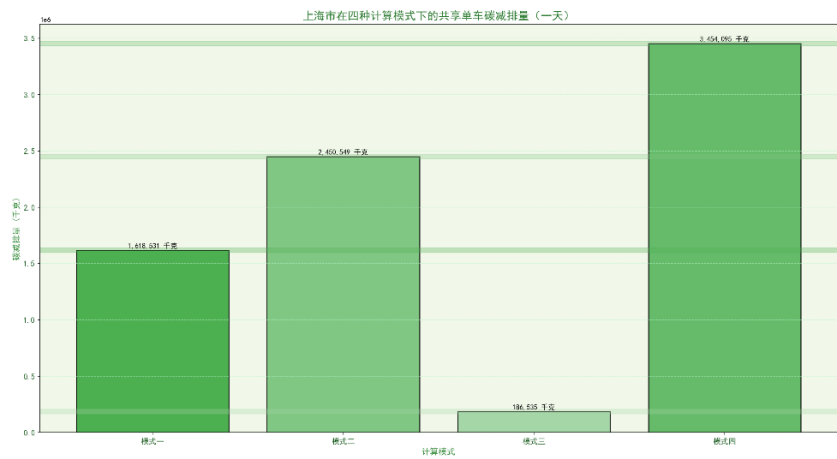


图 27：不同计算模式下的碳减排结果

根据实际计算结果，本研究选取了其中居中的两个结果，计算算术平均作为后期效益换算。接着，本研究根据多个来源，计算在该碳减排量下能够换算的效益等效值，结果如下：

序号	换算情况	来源
1	313,070,769 张标准办公用纸的生产	环境纸张网站 ^[32] 、碳信托 ^[33] 、 美国环保署 ^[34]
2	92,479 棵成熟树木一年的碳吸收量	美国农业部 ^[35]
3	约 646 吨的石油燃料	美国环保署 ^[34] 、国际能源署 ^[36] 、政府间气候变化专门委员会 ^[37]

4	约 1,008,275 立方米的天然气	美国环保署 ^[34] 、国际能源署 ^[36] 、政府间气候变化专门委员会 ^[37]
5	中国北方约 5,031 户家庭在一个供暖季（5 个月）内使用天然气供暖	中国环境科学研究院 ^[38] 、国际能源署 ^[36] 、北京市供热有限公司 ^[39]
6	河南省新乡市大约 1.81 天的供暖	中国环保部 ^[40] 、国际能源署 ^[36] 、中国国家统计局 ^[41] 、河南省统计局 ^[42] 、北京市供热有限公司 ^[39]
7	美国纽约市大约 1.15 小时的供暖	美国环保署 ^[34] 、纽约市能源局 ^[43] 、美国能源信息署 ^[44]

此外,可以根据每一条共享单车轨迹计算出其总碳减排量,并且进行可视化:



图 28：上海市共享单车碳减排轨迹示意图

可以发现,上海市共享单车碳减排情况有着显著的规律,虽然北面市区共享单车轨迹较为密集,但是其线路多为短途路线,单程碳减排量实际上并不多。而南面靠近市区的郊区地区尽管轨迹不是很密集,但是其线路多为中长途路线,单程碳减排量很大,因此南部的碳减排显著。

五、总结

有学者指出^[45],中国在共享单车方面的增长处于世界领先地位。因此,对于中国共享单车方面的学术研究是有着显著必要性的。上海市作为中国最重要的城市之一,研究其共享单车轨迹流模式及碳减排效益,更是有着较大意义。本文结合多种方法,针对于上海市的共享单车进行不同层面的研究,包括宏观和微观结合的研究、时间和空间结合的研究,研究表明,上海市共享单车分布有着强烈的地理异质性,其出行模式具有潮汐效应,与居民生活通勤相对应。本研究有助于进一步认识上海市的共享单车分布规律及影响因素,为未来进一步推动低碳城市建设及共享单车布设提供重要参考。

附录 1——参考文献

- [1] DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of public transportation*, 12(4), 41-56.
- [2] Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. *Transportation research record*, 2143(1), 159-167.
- [3] DeMaio, P., & Meddin, R. (2020). The bike-sharing world map. Retrieved July 9, 2020, from <http://www.bikesharingmap.com>
- [4] Gu, T., Kim, I., & Currie, G. (2019). To be or not to be dockless: Empirical analysis of dockless bikeshare development in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 122-147.

- [5] Keijer, M. J. N., & Rietveld, P. (2000). How do people get to the railway station? The Dutch experience. *Transportation planning and technology*, 23(3), 215-235.
- [6] Chandra, S., & Quadrifoglio, L. (2013). A model for estimating the optimal cycle length of demand responsive feeder transit services. *Transportation Research Part B: Methodological*, 51, 1-16.
- [7] DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of public transportation*, 12(4), 41-56.
- [8] Jäppinen, S., Toivonen, T., & Salonen, M. (2013). Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied geography*, 43, 13-24.
- [9] World Health Organization. (2002). A physically active life through everyday transport with a special focus on children and older people and examples and approaches from Europe (No. EUR/02/5040803). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [10] Zhang, Y., & Mi, Z. (2018). Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis. *Applied energy*, 220, 296-301.
- [11] Shen, Y., Zhang, X., & Zhao, J. (2018). Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(9), 686-700.
- [12] Xu, Y., Chen, D., Zhang, X., Tu, W., Chen, Y., Shen, Y., & Ratti, C. (2019). Unravel the landscape and pulses of cycling activities from a dockless bike-sharing system. *Computers, Environment and Urban Systems*, 75, 184-203.
- [13] Guo, Y., & He, S. Y. (2020). Built environment effects on the integration of dockless bike-sharing and the metro. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102335.
- [14] Eren, E., & Uz, V. E. (2020). A review on bike-sharing: The factors affecting bike-sharing demand. *Sustainable cities and society*, 54, 101882.
- [15] Faghih-Imani, A., Hampshire, R., Marla, L., & Eluru, N. (2017). An empirical analysis of bike sharing usage and rebalancing: Evidence from Barcelona and Seville. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, 177-191.
- [16] Fishman, E., Washington, S., & Haworth, N. (2014). Bike share's impact on car use: Evidence from the United States, Great Britain, and Australia. *Transportation research Part D: transport and environment*, 31, 13-20.
- [17] 张琳, 仝照民, 刘耀林 & 段志强. (2024). 基于 TOD 模式及语义功能的共享单车潮汐流与建成环境非线性关联研究. *地理与地理信息科学* (05), 17-27.
- [18] 张晨琦. (2023). 基于共享单车轨迹数据的骑行网络识别与模式研究——以深圳龙岗区为例[硕士学位论文]. 哈尔滨工业大学.

- [19] 孙启鹏,曾开邦,张锴琦,杨艺琛 & 张士行. (2022). 北京市共享单车出行的时空规律与需求预测研究. 交通运输系统工程与信息(01), 332-338. doi:10.16097/j.cnki.1009-6744.2022.01.035.
- [20] 曹弋,白涵文 & 王艺筱. (2024). 共享单车出行 OD 的时空注意力残差网络预测模型. 地球信息科学学报(03), 556-566.
- [21] 李福,徐良杰,陈国俊 & 朱然博. (2022). 共享单车用户骑行起讫点时空特征分析. 交通信息与安全(03), 146-153+170.
- [22] 代昀昊,王晓允 & 童心楚. (2024). 从共享经济到低碳经济——来自共享单车平台进驻的证据. 数量经济技术经济研究(04), 111-130. doi:10.13653/j.cnki.jqte.20240226.003.
- [23] 王秋平,李浩 & 王肇飞. (2024). 接驳地铁站的共享单车碳减排效益评估. 安全与环境学报(09), 3671-3678. doi:10.13637/j.issn.1009-6094.2024.0288.
- [24] 戢晓峰,王娟,陈方 & 郝京京. (2023). 考虑调度碳排放的共享单车环境效益测算. 干旱区资源与环境(05), 1-7. doi:10.13448/j.cnki.jalre.2023.105.
- [25] 毛新颜. (2024). DBSCAN 算法在共享单车停放点选址中的应用与优化研究. 信息与电脑(理论版)(19), 56-58.
- [26] 洪文兴,陈明韬,刘伊灵,朱嘉诚 & 王明磊. (2022). 基于 GeoHash 和 HDBSCAN 的共享单车停车拥挤区域识别. 厦门大学学报(自然科学版)(06), 1030-1037.
- [27] Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., & Xu, X. (1996, August). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In kdd (Vol. 96, No. 34, pp. 226-231).
- [28] 王杰. (2019). 共享单车对交通领域碳排放的影响及对策研究(硕士学位论文,北京建筑大学). 硕士
https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=upp0mjVwiKXagkMYsIACZCMLyaRPYsIkxDXiLVoyEpcZuWaU8k6vsc0FRu0wGaYIynsvB0TPXRIjv4kRibkZb05VcbYSepFEp3GAiv0QEwcD03zP44ay6iBnMY6sIlo7e5U1duvrUyEc9gZOPMl_ie0r8sA4g5DYJ64_yE_8wy0aV8jJ0wb0rXGW0gu-GHkuoMpXj2ssGoQ=&uniplatform=NZKPT&language=CHS
- [29] 中环联合认证中心. (2021). 共享骑行减污降碳报告 [Report on bike-sharing contribution to pollution and carbon reduction]. China Environmental United Certification Center.
- [30] 陈凤先,耿直,刘昊林 & 独威. (2022). 共享骑行减污降碳效益研究. 中国环境管理(05), 95-103. doi:10.16868/j.cnki.1674-6252.2022.05.095.
- [31] 周瑜 & 刘坤言. (2024). 考虑真实需求的共享单车碳排放效益分析. 干旱区资源与环境(06), 130-136. doi:10.13448/j.cnki.jalre.2024.126.
- [32] Environmental Paper Network. (n.d.). Environmental Paper Production: The Triple Challenges. Environmental Paper Network. Retrieved from Environmental Paper Network
- [33] Carbon Trust. (n.d.). Carbon Footprint of Paper. Carbon Trust. Retrieved from Carbon Trust
- [34] United States Environmental Protection Agency. (n.d.). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. EPA. Retrieved from EPA

- [35] U.S. Department of Agriculture. (n.d.). Environmental Protection and Forest Management Report. USDA.
- [36] International Energy Agency. (Year). CO₂ Emissions from Fuel Combustion. IEA CO₂ Emissions. Retrieved from [IEA CO₂ Emissions link]
- [37] Intergovernmental Panel on Climate Change. (Year). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC Guidelines. Retrieved from [IPCC Guidelines link]
- [38] 中国环境科学研究院. (n.d.). 相关研究报告和数据发布. Retrieved from [https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%8E%AF%E5%A2%83%E7%A7%91%E5%AD%A6%E7%A0%94%E7%A9%B6%E9%99%A2/3242306\[^7^\]](https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%8E%AF%E5%A2%83%E7%A7%91%E5%AD%A6%E7%A0%94%E7%A9%B6%E9%99%A2/3242306[^7^])
- [39] 北京市供热有限公司. (n.d.). 北京市供暖能耗数据报告. Retrieved from [http://www.bjbeec.cn/u/cms/www/202205/25180519ijyy.pdf\[^3^\]](http://www.bjbeec.cn/u/cms/www/202205/25180519ijyy.pdf[^3^])
- [40] 中国环境保护部. (n.d.). Retrieved from https://www.gov.cn/bumenfuwu/node_17153.htm
- [41] 中国国家统计局. (n.d.). Retrieved from <https://www.stats.gov.cn/sj/>
- [42] 河南省统计局. (n.d.). Retrieved from <https://tjj.henan.gov.cn/>
- [43] NYC Energy. (n.d.). Retrieved from [https://climate.cityofnewyork.us/initiatives/powerupnyc/\[^37^\]](https://climate.cityofnewyork.us/initiatives/powerupnyc/[^37^])
- [44] U.S. Energy Information Administration. (n.d.). Energy statistics data. Retrieved from [https://www.eia.gov/\[^34^\]](https://www.eia.gov/[^34^])
- [45] Campbell, A. A., Cherry, C. R., Ryerson, M. S., & Yang, X. (2016). Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing. Transportation research part C: emerging technologies, 67, 399-414.

附录 2——分工情况

本小组始终进行着和谐默契的合作，让每一位组员都投入到工作中来。截止到项目结束，没有组员有消极怠工的情况，每一位组员都积极地参与了工作并及时地完成了相应任务。项目推进为三步走，第一步是完成基本研究内容，组织各组员完成订单数据基本分析、单车聚集情况研究以及时空流数据演示；第二步是完成拓展内容，组织各组员完成轨迹流和碳减排数据的采集、方法的研究以及最后的实践工作；第三步完成补充内容，即综合整理各项成果，检查检验数据及方法可靠性，对于不符合要求的内容进行及时的剔除，并且让每位组员发挥想象空

间，在原有内容上进行一定的新补充。

附录表：分工情况（排列顺序无先后之分）

姓名	主要承担工作
王逸	组长，整体统筹监督，PPT 制作，论文撰写，文本分析编辑、文献整理及主要调研工作，理论方法制定，数据图表及结果图修订
余欣潼	组员，订单数据预处理，基本停车点分布研究、基于平台的轨迹流模拟，流行路线及路网附着算法处理
薛楷翰	组员，碳减排相关文献初期检索和收集工作，轨迹流可视化和相对闭合区域识别相关研究
杨嘉铨	组员，停车点 DBSCAN 聚集分析，时空流数据演示相关研究
赵展悦	组员，订单数据基本量情况分析、基于 POI 的语义识别分析和语义云图相关研究
张恒	组员，轨迹流相关文献初期检索和收集工作，轨迹流日际时空分析相关研究
刘逸宇	组员，基本方法类相关文献初期检索和收集工作，碳减排效益分析相关研究

鸣谢

非常感谢马丁老师在“数据科学与数据挖掘导论”课程上的优秀教学，我和本组成员都受益匪浅！非常感谢马丁老师和李晓明老师在最终课程汇报上给予的评价和指导，这为我们后期改进升级提供了宝贵的意见！非常感谢课程中包括朱维师兄、朱程基师兄在内各位助教的帮助！