
基于可视化 SP 法的城市道路自行车出行 环境评价及优化 ——模型构建及上海中心城区的应用¹

朱玮 翟宝昕 简单

提要 在提倡低碳绿色出行的背景下，合理评价并优化自行车出行环境对于健全城市慢行系统至关重要。旨在构建一套评价城市道路自行车出行环境的方法并加以应用。通过可视化 SP 法进行问卷设计并收集骑行路径选择行为数据，基于离散选择模型建构城市道路要素影响骑行者环境评价的数学模型。发现路段要素对于骑行环境评价的影响大于路径要素，骑行者将骑行环境的安全性相对于舒适性放在更重要的地位。以上海市中心城区为例，采用考虑环境要素以及综合时间要素的两种评价指标，分别以路段和行政街道为尺度对骑行环境进行评价，在此基础上提出 3 个优先等级的改善措施。结果表明上海中心城区的骑行环境优化重点是保障自行车骑行者的路权。

关键词 自行车出行环境；评价方法；可视化 SP 法；离散选择模型；上海中心地区；优化措施

中图分类号 TU984

文献标识码 A

DOI 10.16361/j.upf.201603010

文章编号 1000-3363 (2016) 03-0085-08

作者简介 朱玮，博士，同济大学城市规划系，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，副教授，硕士生导师，（通讯作者），weizhu@tongji.edu.cn

翟宝昕，同济大学城市规划系，硕士生

简单，同济大学城市规划系，硕士生

近年来，包括自行车在内的绿色低碳交通在国内外的城市研究和规划领域愈加得到重视。许多研究证明，良好的骑行环境对促进自行车出行起到关键作用（Buehler and Dill，2016）；2012 年 9 月，国家住建部、发改委、财政部共同发布《关于加

¹ *国家自然科学基金青年基金项目“城市居民使用公共自行车的决策研究”（批准号：51108323）；中央高校基本科研业务费专项资金项目“基于叙述性偏好法的城市慢行环境优化研究”；上海同济城市规划设计研究院科研项目“城市道路自行车骑行环境评价与优化方法研究”（编号：KY-2013-E02）；上海市“高峰高原”学科建设计划

强城市步行和自行车交通系统建设的指导意见》，对城市步行和自行车交通系统建设提出了明确的发展目标。可以预见，慢行系统规划在我国城乡规划编制中的地位将上升，也相应对规划方法和技术提出更高的要求。2013年12月，住建部又发布了《城市步行和自行车交通系统规划设计导则》。在此指导下，如何评价当地现状或规划下的自行车出行环境，辨识存在的不足并针对性地提出改善措施，都是有待回答的问题；其中又以骑行环境评价为核心，而评价需要建立在理解骑行环境的影响机制的基础之上。

相较西方国家，我国的自行车文化久远、设施较为完备、规划对自行车空间亦有一定保障，但对自行车出行环境影响机制的理论性、方法性研究却相对不足。也正由于这种差异，国外研究得到的模型和指标难以直接用于评价我国城市道路的骑行环境，需要借鉴并改进其方法以适应国情。这类研究通过分析骑行路径选择行为，得到骑行者的出行环境偏好。通常基于离散选择模型（discrete Choice models），该研究方法可以分成两大类，一类是显示性偏好法（revealed preference，RP），研究骑车者的实际骑行路径（Harvey，et al.，2008；Menghini，et al.，2010）；另一类是叙述性偏好法（stated preference，SP），研究受访者偏好的虚拟骑行路径（Bovy，Bradley，1985；Chen，Chen，2012；Sener，et al.，2009；Stinson，Bhat，2003，2005；Tilahun，et al.，2007）。由于数据获取成本相对低，并且可以通过实验设计限定选择集并避免环境属性之间的多重共线性等优点，SP法得到了更加广泛的应用。Stinson & Bhat（2003）将骑行环境影响因素分为两大类：一是路径因素（route level），包括骑行时耗、自行车道连续性、红绿灯数量等；二是路段因素（link level），包括道路等级、是否机动车路边停车、车道类型等。Sener等（2009）将影响因素又细分为机动车路边停车、自行车道特征、道路基本特征、道路功能特征、骑行时耗五类。我国的自行车出行环境有其特点，例如设施相对完善、自行车与机动车混行普遍、机动车驾驶行为自律性不一等，因此需要在借鉴已有研究中相关要素的基础上，甄别我国骑行者的关注要素。

应用SP法的一个关键步骤就是实验设计（design of experiment）。设计时，影响要素及其水平的界定和组合需要遵从一定原则以生成科学高效的选择方案，常用设计原则包括正交设计（orthogonal design）。为了方便受访者做出决策，当要素和水平较多时，实验设计的一个难题就是如何简化决策方案。一些研究使用分组的方法，把全部要素分成几组，减少每组决策中对比选项要素的个数，再把各要素的影响效用通过旋转和叠加的方法获取全部要素的影响效用（Sener，et al.，2009；Stinson and Bhat，2005；潘晖蜻，等，2014）。但这种分组实验设计方法的有效性还未被理论证明或实证检验。不过，SP法中关于可视化的方法比纯文本描述更能提高受访者对于决策问题的感知和理解已得到一定共识。例如，Evans & Cowley，Akar（2014）利用谷歌街景地图生成城市街景的图片，让受访者选择他们偏好的骑行路径，然后采用离散选择模型分析骑行环境偏好和意愿。Cheu等（2011）采用基于互联网的SP设计探讨公众参与交通规划的意愿，发现应用了可视化工具之后，大部分的受访者更愿意去参与并鼓励其他人参与规划。同样的结论也在Blandford等（2008）关于总体规划参与意愿的研究中被再次证实。

关于可视化SP实验设计方法的相关研究还很初步，但我们相信它是研究复杂建成环境中的行为和决策的一个有前途的方法，因为它结合了实验设计的科学严谨和更加接近现实决策情景的表达形式，一定程度上解决了SP法关于受访者决策脱离实际选择的传统问题（Train，2003）。本研究的贡献主要是提出适于评价我国城市道路自行车骑行环境的模型建构方法，在获得该模型的过程中，采用可视化的SP法来收集骑行路径选择行为数据，这将在本文第二部分予以阐述。本文亦完善和深化了笔者之前对上海中心城区自行车出行环境的研究（朱玮，翟宝听，2015），主要体现在：①改进了模型的形式，将环境要素与骑行时耗相交叉，理论上更加符合实际骑行行为，详见本文第三部分；②基于新的模型，提出综合环境要素与时耗的评价指标；③辨识存在的问题和空间，分优先级地提出优化上海中心城区道路骑行环境的措施；④修正了道路环境要素数据以贴近实际情况，加上新的评价模型，使得评价结果产生较大变化。以上三点包含在本文的第四部分中。

1 问卷设计与数据收集

1.1 问卷设计

本研究数据收集的目标是获得骑行者对虚拟骑行路径的选择行为。问卷设计首先确定与评价自行车骑行环境相关的要素及其等级。环境要素的确定综合了既有研究、上海市道路的实际情况、骑行者预调查结果以及 SP 调查的可行性。在预调研问卷中预设了若干环境要素以及用以说明其他未列出要素的填空题，每位受访者要求从中选择最多 10 个对其评价骑行环境影响最大的要素。预调查在上海市杨浦区开展，调查员在道路交叉口趁骑行者等红灯之际，邀请了 50 位受访者参与。预调得到意见相对集中的 15 项要素（朱玮，翟宝昕，2015）。其中的大部分与既有研究中的一致；有些要素首次涉及，如街道景观和机非隔离设施的类型。但考虑到调查的可操作性，对要素进行了筛选。首先，根据排序，筛除了被选择最少的 5 个要素；另外一些选择较多，但属于规划相关性小的要素也予以去除，例如道路坡度和路面质量。最终确定了 10 项要素，每个要素包含 2—4 个水平，其定义和水平见表 1，水平 1 直观上应最受骑行者欢迎，效果依次递减。这些要素分为二类：骑行时耗作为单独一类，包含三个水平，为了贴近被试者的经验，水平 2 定义为被试者平时骑行的一般时耗，水平 1 代表较短的骑行时耗，又根据实际骑行时耗长短有所区别：当实际骑行时耗小于 15min，水平 1 在此基础上减去 5min，以此类推；水平 3 则代表比较长的骑行时耗。第二类是路段要素，指骑行者在骑行过程中不断体验的环境要素。其中，车道类型考虑助动车也是中国特色，尽管上海实际无自行车专用道，但对其影响的估计可以用于预判自行车专用道的建设效果。第三类是路径要素，对其效用评价只针对整条路径。这一分类对于后续的建模至关重要。

表 1 自行车出行环境影响要素及其水平

Tab.1 The type and value of influential factors on the bicycle travel environment

要素类型	影响要素	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
时耗	骑行时耗 (单位:分钟)	如果 $t < 15, t-5$ 如果 $15 < t < 30, t-10$ 如果 $t > 30, t-15$	实际骑行时间 t	如果 $t < 15, t+5$ 如果 $15 < t < 30, t+10$ 如果 $t > 30, t+15$	
路段要素	机动车车流量	小	适中	大	
	车道类型	自行车专用道	与助动车混行	与汽车、助动车混行	
	机非隔离设施	绿化隔离带	栏杆	划线	无
	机动车路边停车	否	是		
	自行车道宽度	可容 3 辆以上车骑行	可容 2 辆车骑行	仅容 1 辆车骑行	
	道路绿化	茂盛	稀疏		
	街道景观	整洁优美	整洁	脏乱	
路径要素	红绿灯数量	1-2 个	3-5 个	> 5 个	
	自然景观	沿河流和公园	途经公园	无	

资料来源：基于朱玮、翟宝昕(2015)，有所改动。

1.2 调查问卷可视化

调查问卷基于 SP 法，让被试者在两条虚拟的骑行路线中选择较优的一条。基于表 1，采用正交设计方法产生了具有代表性、均好性，且要素之间相互独立的 126 条线路、63 个选择情景。试想，被试者需要在虚拟选择实验中进行一系列的选择。每次决策都包含处理 20 条文字信息（每条路径 10 个），并相互比较后挑选较好的一条路径。这可能对被试者产生很大的认知压力，从而造成疲倦、失去兴趣等后果，影响答题质量。为了更好地帮助被试者理解本实验并让决策过程更加轻松，采用较易实施、表现力较好的轴测图方式表达虚拟骑行环境。表 2 展示了 3 条虚拟路线的轴测图。所有的路段要素都可通过这一方式表达，但路径要素只能以图标的形式表达，因此可能对被试者产生的视觉冲击较小，一定程度上影响模型参数的准确估计。

表2 虚拟骑行路线轴侧图举例

Tab.2 Examples of the hypothetical bicycle routes in axonometric view

	路径1	路径2	路径3
机动车车流量	低	高	中
车道类型	自行车专用道	与助动车混行	与汽车、助动车混行
机非隔离设施	绿化隔离带	栏杆	无
机动车路边停车	否	是	是
自行车道宽度	可容3辆以上车骑行	可容3辆以上车骑行	仅容1辆车骑行
道路绿化	茂盛	稀疏	稀疏
街道景观	整洁优美	脏乱	整洁
红绿灯数量	1-2个	>5个	3-5个
自然景观	沿河流和公园	途经公园	无

资料来源：笔者自绘。

为了进一步减轻被试者压力，将 63 道选择题分解在 7 套问卷中。问卷包含两个部分：一是对被试者的个人属性，包括性别、年龄、学历、个人月收入、一般通勤和休闲骑行频率、时耗，以及是否是自行车爱好者；二是虚拟骑行路线的选择，如图 1 所示，路线轴测图位于两侧，中间的文字说明进一步辅助理解；其中水平相同的要素用灰色表达，让被试者更容易关注有差异的要素，因为根据离散选择模型原理，仅有差异的要素对选择产生影响。被试者的选择被限定在两种出行目的——通勤和休闲之下；可以在两条线路中选择较优的一条，也可以都不选，意味着对两条路线都不满意。

12. 您在休闲、通勤两种情景下，偏好选择下列两条路线中的哪一条？

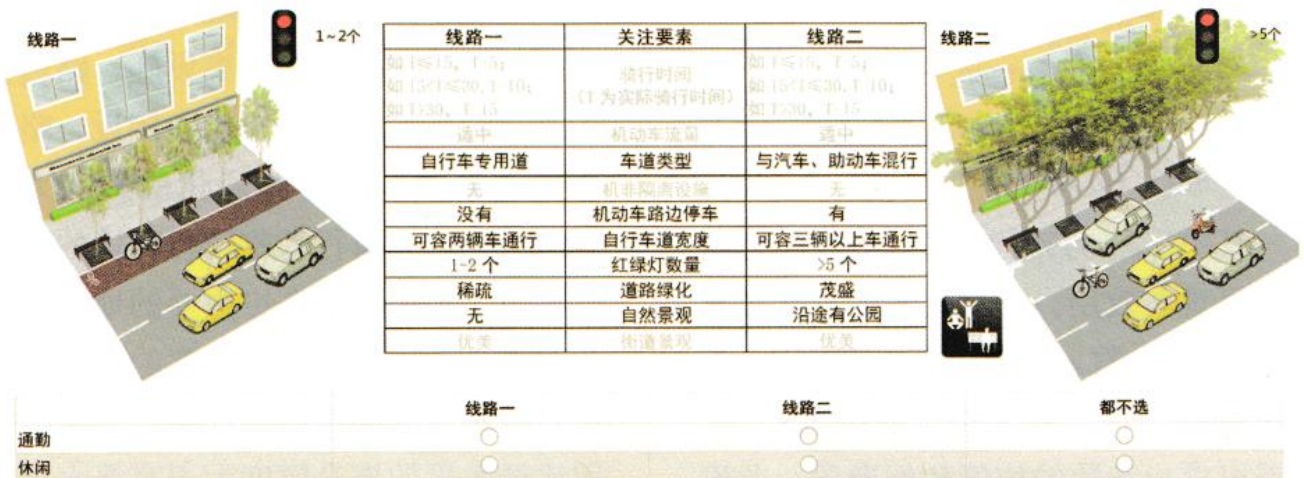


图1 虚拟骑行路线选择情景设计

Fig.1 Scenario design of the virtual cycle route choice

资料来源：笔者自绘。

1.3 数据收集

问卷在“问卷星”网络调查平台上制作^①，通过腾讯QQ、微信、新浪微博、电子邮件等渠道发布。由于网络问卷的参与者以年轻人为主，为了平衡被试者的年龄分布，增加中年、老年被试者，设计了纸质问卷用于实地访谈。网络问卷于2014年7月开始收集。实地问卷通过两种方式收集：一是由调查员在杨浦区的商业中心、公园等人流密集地区，随机邀请被试者参与；二是在鞍山街道联系了三个居委会，由居委会工作人员协助邀请小区内的居民到居委会接受访谈。在居委会调查中，指定仅邀请中老年居民参与，以平衡网络问卷的被访者分布。实地问卷累计参与198人。两种方法合计参与352人，路线选择10542次。样本中，36%为男性；35岁以下的年轻人占55%；每周骑行大于5次的占56%；另有60%的被试者自称是骑行爱好者。

2 骑行环境偏好模型分析

2.1 骑行线路选择模型建构

采用离散选择模型中最为先进的一般混合逻辑特模型（generalized mixed logit model）来解释被试者的选择结果，并估计骑行环境要素对人们骑行线路选择的影响。该模型可以最大限度地估计个体间的偏好和随机效用的差异了^②，以提高模型的解释能力和参数的准确性。本研究的主要目标是得到骑行者评价骑行环境的效用函数，对其定义如下：

$$\begin{aligned}
 V_{ij} = & a_1 time_j + (a_2 vol1_j + a_3 vol2_j + \\
 & a_4 type1_j + a_5 type2_j + a_6 sp1_j + a_7 sp2_j + \\
 & a_8 sp3_j + a_9 car_j + a_{10} width1_j + \\
 & a_{11} width2_j + a_{12} green_j + a_{13} art1_j + \\
 & a_{14} art2_j) time_j + a_{18} red1_j + a_{19} red2_j + \\
 & a_{20} nat1_j + a_{21} nat2_j
 \end{aligned}$$

其中： V_{ij} 为骑行者 i 从路径 j 所能获得的可观察效用，对变量名的定义详见表 1。变量参数 a 表示环境要素效用，为随机变量，在假定正态分布的前提下，结果可求出参数的均值和标准差。此模型与既有研究中的模型的主要不同在于时耗要素。一般将时耗与环境要素并置，而此处将路段要素的效用视作骑行者在单位时耗内体验的效用，再与时耗相乘得到在该路段上骑行的效用。如此设定更加符合实际行为，例如在较长的路段上骑行应该体验到更多的效用。时耗变量本身的参数 a_1 可理解为骑行体力消耗所产生的负效用。红绿灯和自然景观对路径整体产生影响，因而与时耗无直接联系。

2.2 模型结果

用 Nlogits 软件进行模型拟合，得到结果如表 3，显示的是变量参数的均值，也是接下来评价应用中使用的参数，因此省略了标准差等其他参数。模型总体拟合优度 McFadden's Rho Square=0.3298，在同类研究中属于比较好的结果。

表3 模型拟合主要结果

Tab.3 Main results of the model estimation

要素	要素等级	参数对应变量	参数值	显著度
时间	连续变量(分钟)	time	-0.1409	<0.0001
车流量	小	vol1	0.0327	<0.0001
	适中	vol2	0.0230	<0.0001
	大	-	0	-
车道类型	自行车专用道	type1	0.0674	<0.0001
	与助动车混行	type2	0.0573	<0.0001
	与汽车、助动车混行	-	0	-
隔离设施	绿化隔离带	sp1	0.0207	<0.0001
	栏杆	sp2	0.0192	<0.0001
	划线	sp3	0.0073	0.0000
	无	-	0	-
是否路边停车	否	car	0.0216	<0.0001
	是	-	0	-
自行车道宽度	可容3辆以上并行	width1	0.0223	<0.0001
	可容2辆以上并行	width2	0.0164	<0.0001
	可容1辆并行	-	0	-
道路绿化	茂盛	green	0.0044	0.0067
	稀疏	-	0	-
街道景观	整洁优美	art1	0.0169	<0.0001
	整洁	art2	0.0072	0.0028
	脏乱	-	0	-
红绿灯数量	1-2个	red1	0.3293	<0.0001
	3-5个	red2	0.3154	<0.0001
	>5个	-	0	-
自然景观	经过公园和河流	nat1	0.2394	<0.0001
	经过公园	nat2	-0.0095	0.8669
	无	-	0	-
选择案例数	10542			
Log-likelihood	-7639			
Rho Square	0.3298			
平均预测准确率	0.4845			

注：环境变量采用虚拟变量形式。每个变量中，设定效用最低的水平为0，其他水平的效用与之相比。
资料来源：笔者自绘。

除了自然景观要素中的“经过公园”这一水平外，所有变量水平的参数均达到很高的统计显著度，且符号和相对大小符合常理。图2显示要素效用的相对关系，由于路段要素是单位时耗效用，与路径要素效用不直接可比，因此参考 Sener，等(2009)将路段效用乘以样本平均实际骑行时耗，使得两类要素效用在大致可比的数量级上。

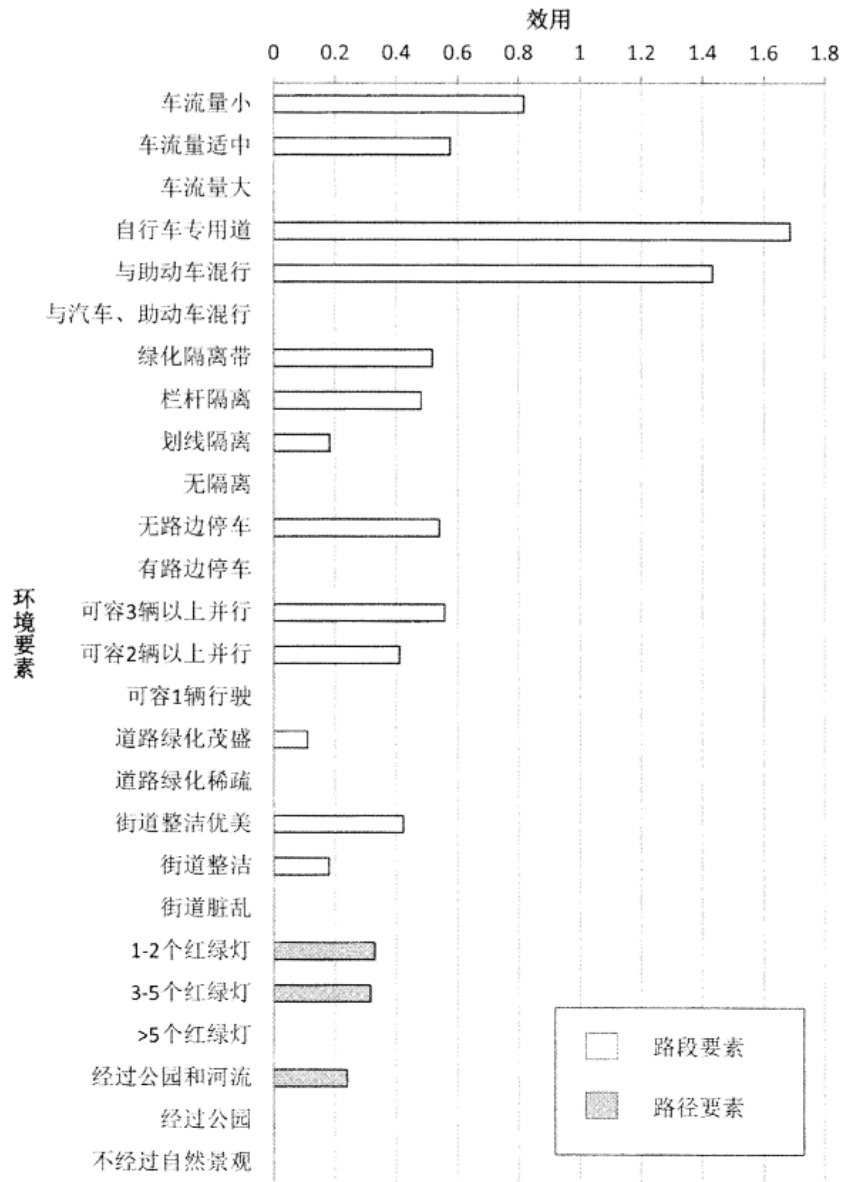


图2 环境要素效用

Fig.2 Utilities of the environmental factors

资料来源：笔者自绘。

如将每类要素中效用最大的水平相比，总体上路段要素的影响大于路径要素。在路段要素中，车道类型的影响力最大，远高于其他所有要素。预设与汽车、助动车混行的效用最低为0；如果为与助动车混行，效用显著提高；若为自行车专用道，效用进一步少量提高；说明骑行者最为重视行车安全，与机动车隔离是首要的，与助动车隔离相对次要。在剩下的路段环境要素中，相对较高的是机动车流量，隔离设施、路边停车、自行车道宽度的影响力接近，略高于街道景观，而道路绿化的影响力最低。从中可见骑行者将骑行环境的安全性相对于舒适性放在更重要的地位。类似车道类型，多数路段要素的水平呈现边际效用递减的规律，即中等水平的效用比低水平的提升幅度大于高等水平比中等水平。再以隔离措施为例，划线隔离的效果略好于无

隔离，一旦采用栏杆隔离，效用提升明显，而采用绿化隔离带的效用增长很微弱；说明硬质隔离相对软质隔离有质的差别。在路径环境要素中，红绿灯数量的影响略高于自然景观，骑行者更不喜欢频繁的停车起步。经过公园这一水平是唯一不显著的，可能由于人们在骑行过程中一般难以直接感受公园的景观，相对而言邻水的自行车道更能吸引骑行者的关注：

3 上海中心城区骑行环境评价及优化

基于以上模型，本节以上海中心城区（外环线以内，约 660km²）为案例，对其整体层面的骑行环境进行评价，并提出改善措施。借助腾讯街景地图，针对模型中的骑行环境要素，用人工判读的方法完成了对中心城区 12417 条路段环境的数字化，内容包括是否可骑行、自行车道类型、车道宽度等（表 1），建立了路网数据库^③。分析手段主要为笔者开发的“骑行环境评价系统 V1.0”（朱玮，汪作为，2015）。

3.1 骑行环境基本情况

上海中心城区可骑行的道路路段占有所有路段的 98%。模型分析的结果揭示了车道类型是人们最重视的骑行环境要素。从上海中心城区整体来看，自行车与助动车混行的道路总长为 1548km，占有可骑行道路的 52.6%；机非混行道路总长为 1383km，占 47.4%。目前上海中心城区没有专用的自行车道，自行车和助动车同视为非机动车，共享非机动车道。但实际上助动车的行驶速度往往远高于自行车，穿梭在自行车流之间，给自行车骑行者带来很大困扰。从各行政区来看（图 3），助混比例最高的地区是嘉定区位于中心城区的部分，达到 78.9%；而助混比例最低的黄浦区为 24.7%，同位列倒数第二（32%）的静安区一样都是老城区，可见老城区自行车出行的安全性相对差。不过，老城区可骑行道路的密度相对较高（图 4）：最高的黄浦区达到每平方公里 14km 长，位列第二梯队的静安区^④、卢湾区、虹口仅为其一半，这就意味着住在老城区里的居民通过自行车出行会更方便一些，但这主要是由密度较高的机混道路造成的，其助混道路的密度与多数区接近，为 2 - 4km / km²。

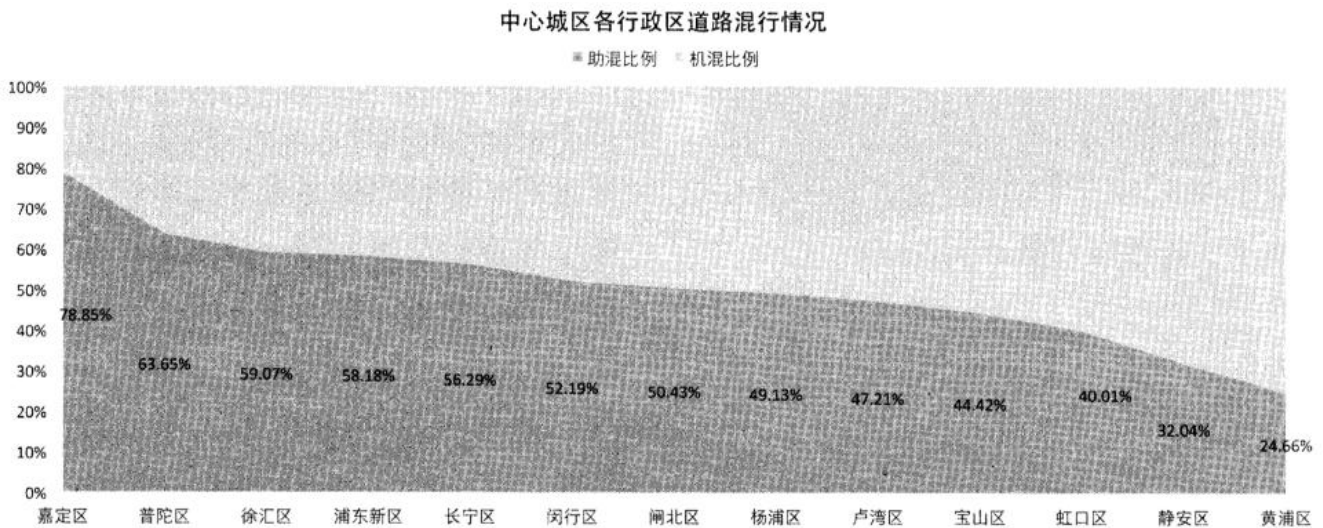


图3 各区不同类型自行车道的比例

Fig.3 Proportions of different types of bicycle lanes in various districts

资料来源：笔者自绘。

各区不同类型自行车道的密度 (km/km²)

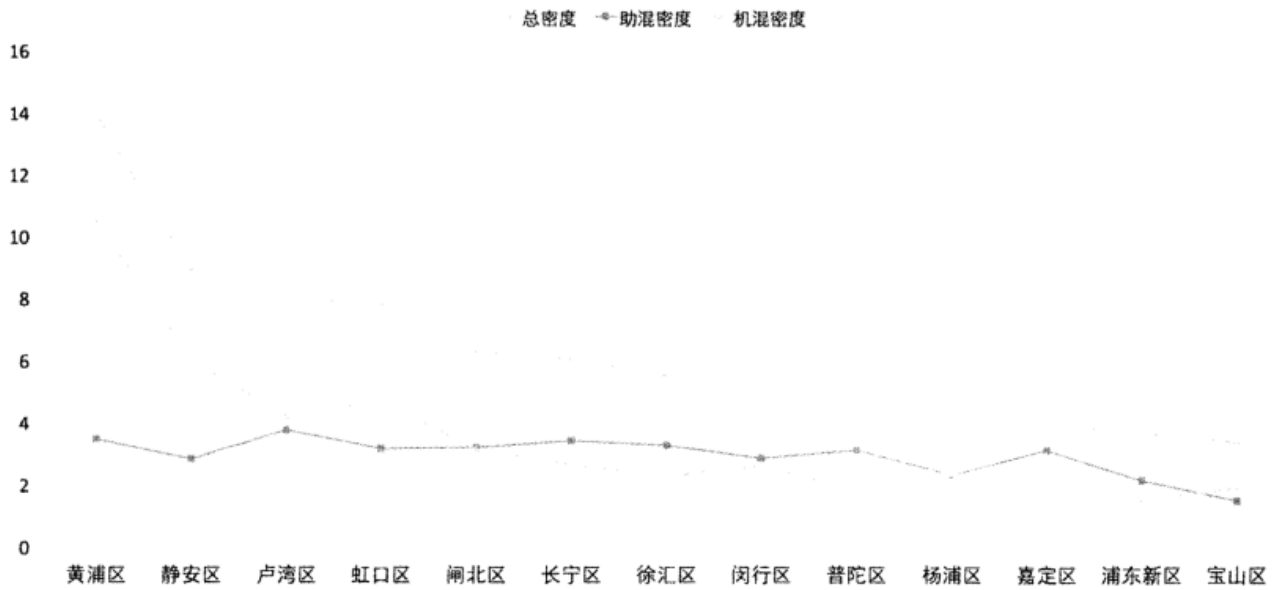


图4 各区不同类型自行车道的密度 (km/km²)

Fig.4 Densities of the different types of bicycle lanes in the districts (km/km²)

资料来源：笔者自绘。

3.2 骑行环境评价

3.2.1 指标1：单纯环境要素

根据效用函数，在单纯考虑环境要素影响的条件下，计算上海中心城区各路段的骑行环境评价指数。根据该指数理论上可能达到的最低值和最高值，将路段骑行环境指数等分为三个等级（图5），其中高分路段占27.1%，中等路段占41.7%，低分路段占31.2%。将高分路段单独拿出来看，外围地区多于核心地区，其分布较分散且不连续。对于骑行环境设计和自行车出行路线优化，一个最重要的指标就是道路的连接度（Mineta Transportation Institute, 2012），即可骑行道路相互贯通的程度，连接度越高骑行的可达性也越高。这里采用Gamma指数（Tresidder, 2005），介于0—1之间。例如当Gamma = 0.8，可以说在该区域内80%的道路是连接在一起的。



图5 中心城区路段综合评价得分分布
 Fig.5 Distribution of the road-level cycling scores in the central city
 资料来源：笔者自绘。

在上海中心城区具有一定规模的街道中，高分路段比例超过 50 % 的只有 8 个，其中延吉新村街道最高（68 %），其他 7 个街道为新江湾城街道（60 %）、南码头路街道（58 %）、金杨新村街道（57 %）、华阳路街道（51 %）、康桥镇（51 %）、塘桥街道（50 %）、莘庄镇（50 %），但它们的高分路段连接度分别为 31 . 9 %、23 . 7 %、21 . 9 %、17 . 7 %、30 . 8 %、18 . 8 %、12 . 7 %及 11 %。尽管评价中等的路段在中心城区较多，它们的连接度同样不佳（图 6），少量连接度最高的街道也只到达 60 %左右；剩下的街道中以 30 %—50 %为大多数，其余低于 30 %的街道集中于老城区和北部边缘区，这些地区的低分路段比例同时明显高于平均水平（31 %）（图 7）。其中，陆家嘴街道是浦东唯一一低分路段比例高于 50 %的地区，值得反思。综上可见，上海中心城区自行车骑行环境总体处于中等水平，连接度较低。

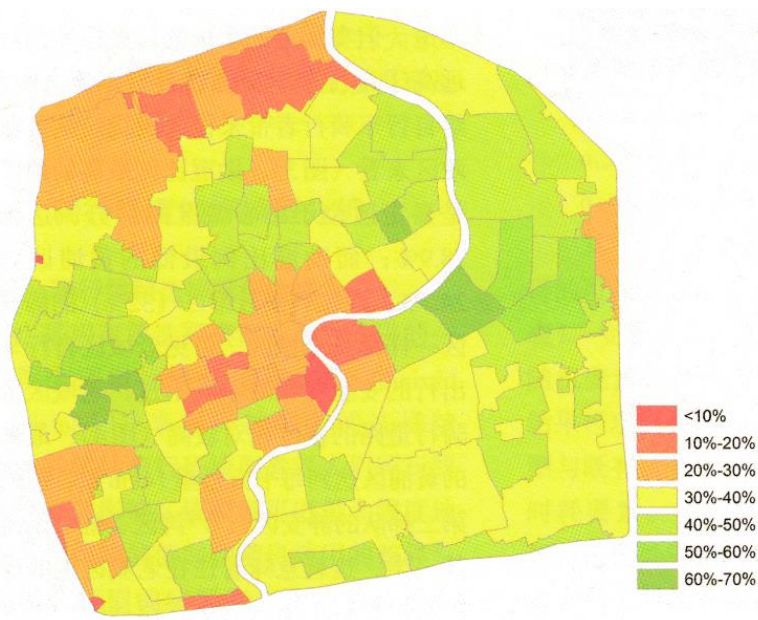


图6 各街道骑行环境中等路段的连接度
 Fig.6 Distribution of the connectivity indexes of the roads with mid-level cycling scores in the sub-districts
 资料来源：笔者自绘。

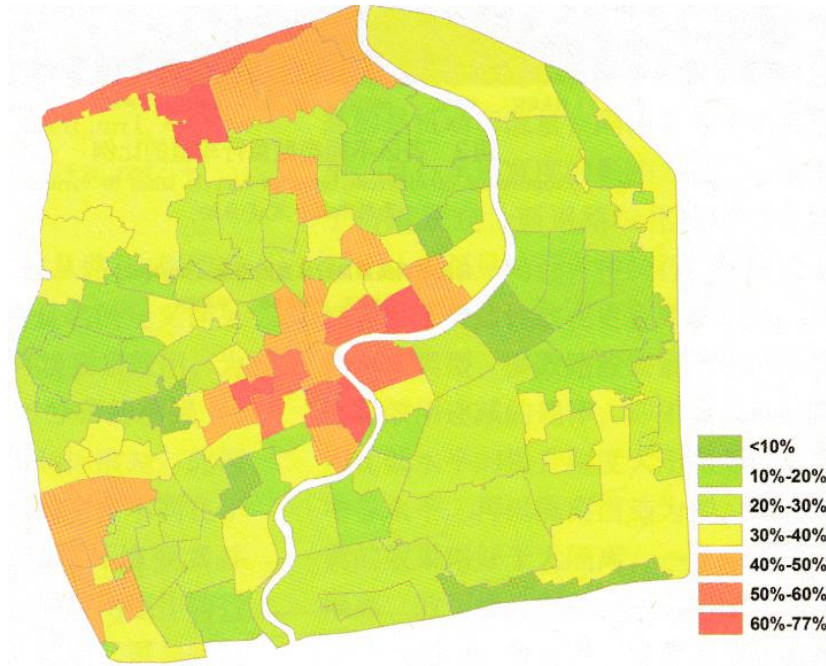


图7 各街道骑行环境低分路段比例

Fig.7 Distribution of the proportions of the roads with low-level cycling scores in the sub-districts

资料来源：笔者自绘。

3.2.2 指标2：综合时耗要素

在上述指标基础上纳入时耗要素之后，即可反映道路长度对骑行体验的影响。例如，骑行者如何权衡高质量环境和长距离骑行？骑行距离越长，时耗产生的负效用越大，因此在该指标下的骑行环境指数可能出现负值。图8将每条路段的该指数简化为正、负两类，红色路段为正值路段，说明环境效用大于时耗负效用，人们可能愿意为骑行在这类道路上而绕行；蓝色为负值路段，人们可能希望在这类道路上的骑行时耗尽量短。同样以每个街道为单位，将该指数用路段长度进行加权，再除以道路总长度，得到该指数的平均值，显示为图9。分为五个等级（正值一级，负值等间隔分成四级），其中大于0的街道仅有两个，分别为周家桥街道和江桥镇；在其余为负值的街道中，相对较好的是华阳路街道、新江湾城街道、延吉新村街道、金杨新村街道、康桥镇，呈点状散布；大多数街道都处于较低的水平，最低的地区为老城区、陆家嘴地区以及北部杨行镇、淞南镇。经检验证明该指标在中心城区呈统计显著的集聚状态（全局 Moran's $s = 0.39$ ， $p < 0.0001$ ），说明临近地区的骑行环境水平相互影响，可能源于相近的交通状况、设施条件和管理方式。



图8 综合时间与环境要素下的路段骑行环境二分评价
 Fig.8 Distribution of the road-level cycling scores incorporating travel time
 资料来源：笔者自绘.

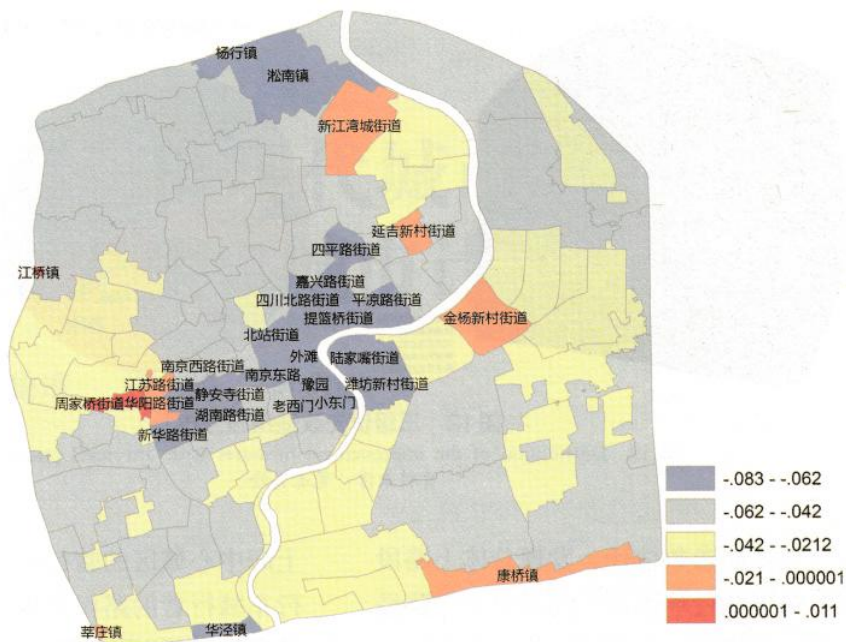


图9 各街道综合时间的骑行环境指数平均值
 Fig.9 Distribution of the averages of the cycling scores incorporating travel time in the sub-districts
 资料来源：笔者自绘.

3.3 骑行环境优化

基于上述指标 1 的骑行环境评价结果进行优化, 针对每条路段假设对尚欠缺要素进行改善, 根据要素对得分的贡献由高到低排序, 进而提出 3 个优先等级的改善措施。图 10 一图 12 分别显示了这三个等级改善措施的分布情况。中心城区超过一半的道路 (55%) 的最优先改造措施为改造自行车道类型, 在老城区尤为密集, 另外存在于陆家嘴地区和外围地区, 主要是现状为机混的路段。需要限制机动车路边停车和改善隔离措施的道路分别占 20% 和 11%, 分布围绕老城区。二级优先改善措施相对“温和”且分布均匀, 需要改善自行车道宽度 (32%)、改善隔离措施 (25%)、改造自行车道类型 (22%), 主要是从助混提升为专用道的路段比例占前三位。老城区以自行车道加宽为主要需求; 改善自行车道类型的路段更多集中在内环线外围。三级优先改善措施以改善隔离措施的比例为最高 (46%), 均匀分布于中心城区; 改善道路景观的需求首次出现 (18%), 主要分布在老城区和浦东地区。

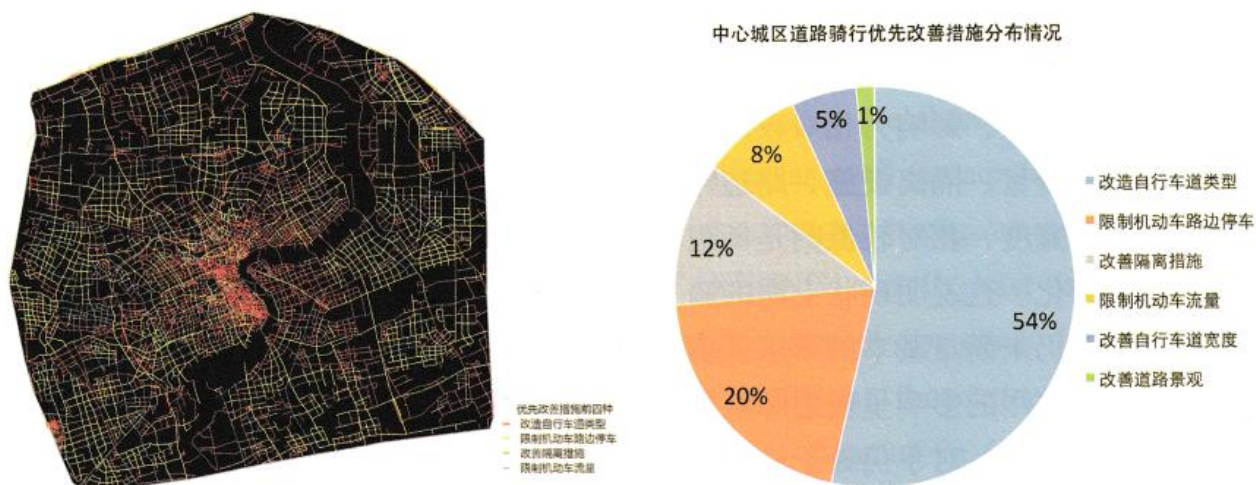


图 10 最优先改造措施分布

Fig.10 Distribution of the improvement measures with the highest priority
资料来源: 笔者自绘.

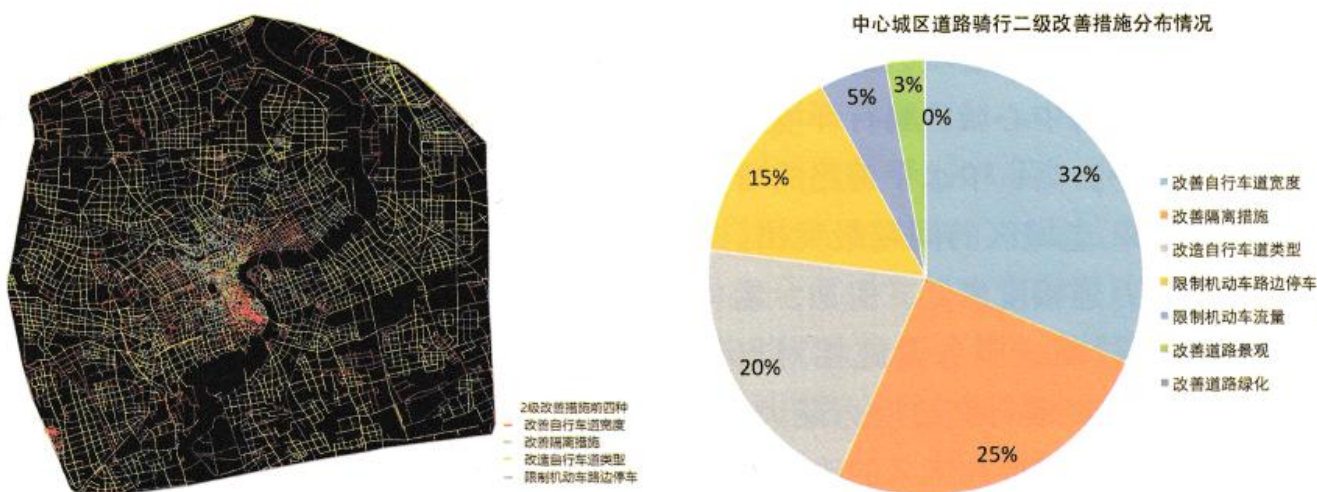


图 11 二级优先改造措施分布

Fig.11 Distribution of the improvement measures with 2nd-level priority
资料来源: 笔者自绘.

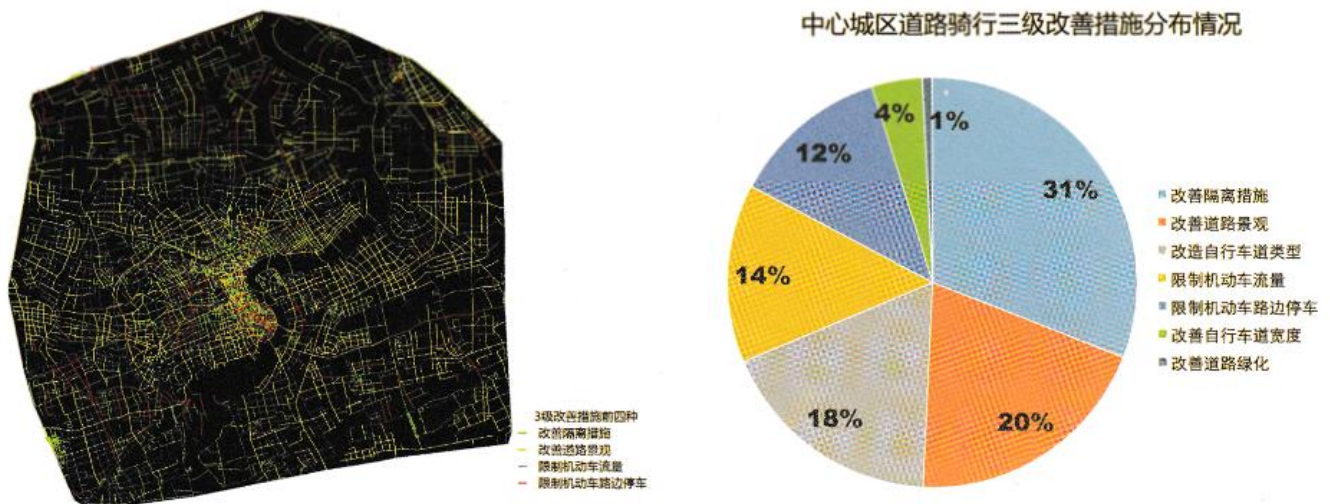


图12 三级优先改造措施分布

Fig.12 Distribution of the improvement measures with 3rd-level priority
资料来源：笔者自绘。

4 结论

本文以获得适用于我国的道路骑行环境评价方法为主要目标，首先通过问卷调查结合现有研究确定骑行环境主要影响要素。将这些要素通过可视化 SP 实验设计生成虚拟路线选择情景。采用网络结合实地调查的手段，收集了被试者对虚拟骑行路线的叙述性偏好。应用离散选择模型获得骑行者对自行车出行环境的偏好模型，获得较高的拟合优度和符合实际的参数估计。发现总体路段要素对于骑行环境评价的影响大于路径要素，但这一结果无法排除问卷表达方式的影响。路径要素用图标表达，相对于路段要素给被试者的视觉冲击可能较浅，直观性较弱。路段要素中，骑行者将骑行环境的安全性相对于舒适性放在更重要的地位，表现在车道类型的影响力远高于其他要素，影响力相对较高的要素有机动车流量、隔离设施、路边停车、自行车道宽度，相对较低的是街道景观和道路绿化。这说明现状上海的骑行环境总体上仍未满足基本的需求。多数路段要素对效用的影响呈现边际效用递减的规律，据此，对于仍处于较低骑行环境水平的道路，进行中等水平的改造可带来较高“性价比”的骑行环境提升。

基于该模型建立了骑行环境评价方法并应用于评价上海中心城区的整体骑行环境。发现上海中心城区骑行环境总体处于中等水平，高、中水平道路的骑行连接度较低。老城区的问题最突出，骑行环境最差，连接度最低。但是，老城区路网密度较高，服务设施相对集中，因此也是发展慢行交通潜力最大、价值最高的地带，需要在未来的改造实践中予以重视。在综合时间因素的评价指标下，中心城区绝大多数路段和街道的骑行环境吸引力尚不足以抵消骑行时耗产生的负效用，并呈现显著的空间集聚特征，尤以老城区最为严重。该指标为营造让人们愿意骑、愿意长时间骑行的道路提供了手段。最后，对不同优先级的骑行环境改造措施分析表明，目前上海中心城区的骑行环境改善重点是自行车骑行者的路权保障问题，依据是改变车道类型、改善隔离措施、改善自行车道宽度、限制路边停车在三个等级的优先措施中都占据了最高的比例，其均指向采用更加硬性、更有力的设计、建设和管理手段保障骑行者的基本需求。在此基础上，可再采取美化街道、增加道路绿化等满足高层次需求的改造措施。

感谢同济大学城市规划系潘海啸教授、屈信、邱旭峰、谢栋灿及所有 2011 级本科生对本研究的贡献！

注释

① 网页版: <http://eup.nctrl.com/53/Index.aspx>; 手机版: <http://eup.nctrl.com/51/In-dexaspx>

② 模型的详细形式可参见 Nlogits 软件的操作手册, http://limdep.com/features/whatsnew_nlogit.php

③ 路网地理数据的采集年份为 2011 年, 因此与现状可能存在少量差异, 但应能反映现状整体状况。

④ 此处静安区、闸北区、卢湾区、黄浦区空间范围均为合并之前的行政区范围。

参考文献

[1] BLANDFORD B , GROSSARD T T , RIPPY J , et al Integrated transportation and land use scenario modeling by visual evaluation of examples : case study of Jeffersonville [Z] Indiana , 2005 : 2076 , 192 — 199

[2] BOVY P H L , BRADLEY M A Route Choice analyzed with stated — Preference approaches [J] Transportation Research Record , 1985 (1037) : 11 — 20

[3] BUEHLER R , DILL J BIKEWAY networks : are — view of effects on cycling [J] Transport Reviews , 2016 , 36 (1) : 9 — 27

[4] CHENG , CHEN P Estimating recreational cyclists ' preferences for bicycle routes — evidence from Taiwan [J] Transport Policy , 2012 (1) : 15

[5] CHEUR , VALDEZ M , 凡气 MATHAMs , et al Public preferences on the use of visualization in the public Involvement process in transportation planning [Z] 2011 : 2245 , 17 — 26

[6] EVANS — COWLEY J , AKAR G Street seen visual survey tool for determining factors that make a street attractive for bicycling [R] 2014 : 2468 , 19 — 27

[7] HARVEY F , KRIZEK K J , COLLINS R Using GPS data to assess bicycle commuter route choice [C] Proceedings of the 87th annual meeting of the Transportation Research Board , Washington DC , 2008

[8] MENGHINIG , CARRASCO N , SCHUESSLER N , et al Route choice of cyclists in Zurich [J] Transportation Research Part A 2010 , 44 (9) : 754 — 765

[9] Mineta Transportation Institute Low — stress bicycling and network connectivity [R] 2012

[10] SENER IN , ELURUN , BHAT C R An analysis of bicycle route choice preferences in Texas , US [J] Transportation 2009 , 36 (5) : 511-539

[11] STINSON M A , BHAT C R Commuter bicyclist route choice : analysis using a stated preference survey [J] . Transportation Research Record 2003 , 1528 : 107 — 115

-
- [12] STINSON MA , BHAT CRA A comparison of the route preferences of experienced and inexperienced bicycle commuters [C] Proceedings of the 84th annual meeting of Transportation Research Board , Washington DC , 2005
- [13] TILAHUN NY , LEVINSON DM , KRIZEK K J Trails , lanes , or traffic : valuing bicycle facilities with an adaptive stated preference survey [J] Transportation Research Part A , 2007 , 41 (4) : 257 — 301
- [14] TRAIN K E Discrete choice methods with simulation [M] Cambridge , UK : Cambridge University Press , 2003
- [15] TRESIDDER M Using GIs to measure connectivity : an exploration of issues [R] School of Urban Studies and Planning , Portland State University , 2005
- [16] 潘晖晴, 朱玮, 王德基于路径选择行为的自行车出行环境评价和改善 [J] 上海城市规划, 2014 (2) : 12 — 18
- [17] 朱玮, 汪作为骑行环境评价系统 V 1 . 0 [P] 软件著作权登记号: 2015SR196892 2015 — 06 — 01
- [18] 朱玮, 翟宝昕上海中心城区自行车出行环境评价— 模型及应用 [C] 贵阳: 2015 中国城市规划年会论文集, 2015