

## 接受稿件

网络设计、建筑和自然环境以及自行车通勤：来自英国城镇的证据

罗伯特·塞韦罗、史蒂夫·登曼、金莹

PII: S0967-070X(18)30101-X

DOI: [10.1016/j.tranpol.2018.09.007](https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.09.007)

参考文献: JTRP 2066

发表于 *运输政策*

接收日期: 2018 年 2 月 5 日

修订日期: 2018 年 7 月 5 日

接受日期: 2018 年 9 月 4 日

本文引用如前: Cervero, R., Denman, S., Jin, Y., Network design, built and natural environments, and bicycle commuting: 来自英国城镇的证据, 《交通政策》(2018), doi: 10.1016/j.tranpol.2018.09.007。

这是一份未经编辑的 PDF 文件, 稿件已被接受发表。作为对客户的一项服务, 我们提供此稿件的早期版本。稿件在最终出版前还将进行校对、排版和审校。请注意, 在制作过程中可能会发现影响内容的错误, 所有适用于本刊的法律免责声明均适用。



## 网络设计、建筑和自然环境与自行车通勤：来自英国城镇的证据

罗伯特-塞韦罗、史蒂夫-登曼和金莹

通讯作者：罗伯特-塞

韦罗

城市与区域规划系 228 Wurster Hall, MC  
1850

加州大学伯克利分校 加利福尼亚

州伯克利 94720-1850 美国 电子邮

件：[robertc@berkeley.edu](mailto:robertc@berkeley.edu) 电话：

1-510-642-16951-510-642-1695

其他作者

Steve Denman ([sd560@cam.ac.uk](mailto:sd560@cam.ac.uk))

Ying Jin ([Ying.Jin@aha.cam.ac.uk](mailto:Ying.Jin@aha.cam.ac.uk))

剑桥大学建筑系 英国剑桥大学

CB2 1PX

## 摘要

不同城市地区骑自行车上班的比例差异很大，但造成这些差异的原因却不甚明了。现有文献强调了建筑环境、城市设施和高质量自行车网络对促进骑自行车的重要性。然而，很少有研究能够衡量这些影响因素各自的贡献并权衡其影响程度。我们提出了一个多变量模型，反映了这些因素对英国 36 个城镇的影响。模型揭示了影响骑自行车上下班的复杂力量网络，证实了即使在骑自行车上下班人数非常多的城市，也不存在单一的银弹因素。模型结果凸显了将网络层面的干预措施结合起来的重要性，例如，减少路线循环和路面压力，而这些目标通常是分开实现的。结果还强调了非交通方面的重要性，如通勤路线沿线的土地利用组合和景观设施，以及城市特有的自行车文化的作用。这些结果还强调，通勤自行车的推广者与更广泛的城市学科之间需要更紧密的合作，以便在城市及其郊区创建低压力路线和支持性建筑环境。

**关键词**自行车；上班路程；土地使用规划；建筑环境；出行需求建模；零膨胀贝塔回归。

## 1. 引言

决定骑自行车上班的因素很多。有些因素，如天气和地形，是外生性的，不受公共政策的影响。其他因素，如自行车网络的设计，则更多是内生性的，受政策干预的影响。我们的研究重点正是这第二个领域。

社区和自行车网络的设计被认为会影响骑车上班，而且重要的是，它们是政策选择的结果，尽管我们对其单独或集体影响的了解有限。案例研究讨论了哥本哈根和格罗宁根等自行车友好城市的城市设计和设施设计在鼓励骑车出行方面的重要性（Pucher 和 Buehler，2011 年），但这些设计的边际贡献和影响程度在大多数情况下都没有经过严格的建模或研究。

我们认为，对社区和自行车网络的设计进行研究非常重要，部分原因在于它们是相当快速的政策干预措施。混合土地使用走廊是土地分区的产物，有助于创造可骑自行车的出行距离。它们还增加了通过自行车出行链将各种活动有效连接起来的可能性。我们认为，作为一种便利设施，绿色和蓝色景观也很重要：自行车走廊沿线的大片空地、公园、河流和

湖泊提供了令人愉悦的景观，对某些人来说，这可能会鼓励他们骑自行车出行。安全的环境对骑车人来说至关重要。通过自行车友好型道路设计降低交通压力水平，对于显著提高自行车通勤比例至关重要。

尽管政策对自行车作为一种绿色、积极的交通方式越来越感兴趣，但有关土地使用模式、城市设计和设施设计影响的经验证据仍然相当有限。

在交通政策方面的文献中，该研究成果并不多见（Nelson 和 Allen，1997 年；Ortúzar 等人，2000 年；Moudon 等人，2005 年）。本研究旨在填补这一空白。为此，本研究将 2011 年英国人口普查中的上班路程数据与路网设计、建筑环境和其他预测因素的高分辨率数据相结合，权衡影响英格兰和威尔士 36 个城镇骑自行车通勤的因素。本文采用了一种顺序建模方法，以研究与城市和自行车网络设计相关的政策变量如何在一定程度上提高了外生因素的预测能力。最后，我们反思了研究成果对公共政策的影响。

## 2. 文献概览

由于骑自行车具有积极的环境和社会效益，越来越多的研究开始关注确定影响自行车出行的因素。研究表明，作为一项体育活动，骑自行车可以显著改善身心健康（Bauman 和 Rissel，2009 年；Stamatakis 等人，2007 年；Hu，2008 年；Martin 等人，2014 年）。通过替代汽车出行，还可以减少温室气体排放，改善空气质量（de Nazelle 等人，2011 年）。为了将我们的研究与这些更广泛的文献结合起来，现将过去关于自行车网络和建筑环境这两个内生因素对自行车需求影响的研究结果总结如下。

### 2.1 自行车网络设计的影响

关于自行车网络设计对出行需求影响的研究关注度有所上升。Buehler 和 Dill（2016 年）在 2015 年对 1990 年以来 80 多篇关于自行车网络研究的同行评审出版物进行了回顾，发现近一半的研究发表于 2010 年至 2015 年之间。研究相当一致地表明，道路或自行车道网络的质量、广泛性和连通性与自行车出行之间存在正相关，尽管关系的强度各不相同（Buehler 和 Dill，2016 年）。举例来说，英国的一项研究发现，与未获得资金的对照地区相比，在获得自行车基础设施升级示范补助的 18 个城镇中，骑自行车上下班的人数增加了一个百分点（Goodman 等人，2013 年）。

迄今为止，用于量化自行车基础设施的指标主要集中在通用道路和自行车道的密度和连通性上。根据 1990 年的全国人口普查数据，美国的一项研究估计，每 10 万居民每增加 1 英里的自行车道，自行车通勤比例就会增加 0.069%（Nelson 和 Allen，1997 年）。Dill 和

Carr（2003 年）使用 2000 年美国人口普查数据发现，这种关系甚至更强。英国的研究发现，高比例的非公路自行车道促进了自行车通勤（Parkin 等人，2008 年），而且骑车人愿意用更长的出行时间来换取在自行车道上骑车（Wardman 等人，2007 年）。然而，专用自行车设施并不总能吸引人们骑自行车。2009 年对哥伦比亚波哥大的一项研究发现，自行车道密度对骑车出行没有影响，但街道密度高与骑车上班和购物等实用性活动呈正相关（Cervero 等人，2009 年）。其他研究也得出了类似的结论，认为街道连通性与自行车出行呈正相关。

即使在自行车道密度不高的情况下（Dill 和 Voros，2007 年；Beenackers 等人，2012 年；Ortúzar 等人，2000 年；Stinson 和 Bhat，2003 年；Titze 等人，2008 年；Caulfield 等人，2012 年）。虽然网络连通性通常被证明有利于自行车出行（Buehler 和 Dill，2016 年），但即使在这里也能发现相互矛盾的结果。例如，对美国和中国经验的研究未能发现街道连通性与自行车出行之间的任何联系（Moudon 等人，2005 年；Zacharias，2005 年）。

有一种网络测量方法引起了自行车设施规划者的注意，我们在研究中也采用了这种方法，它反映了骑车人感受到的压力水平。Furth 和 Mekuria（2013 年）制定了一个四点量表 LTS（交通压力水平），我们在研究中采用了该量表。Buehler 和 Dill（2016 年，第 19 页）在其文献综述中指出，“LTS 量表并不是利用经验数据制定的”，而且“.....重要的是，我们无法找到任何经同行评审的研究.....将量表与实际骑车水平联系起来”。我们的研究是第一批这样做的研究之一。

## 2.2 建筑环境的影响

关于建筑环境对自行车出行影响的研究主要集中在土地使用强度和类型上。在美国，较高的城市密度与自行车出行的增加有关。

在美国（Moritz，1998 年）和加拿大（Pucher 和 Buehler，2006 年），主要是通过拉近出行起点和终点的距离。土地混合使用模式和靠近零售活动也同样被证明能够鼓励骑自行车出行（Cervero，1996 年；Krizek 和 Johnson，2005 年；Cervero 和 Duncan，2003 年）。俄勒冈州波特兰市的一项研究发现，居住在离市中心较近（因此居住在相对密集的多功能环境中）的居民更有可能骑自行车出行（Dill 和 Voros，2007 年），而对大西雅图地区的一项研究发现，拥有写字楼和快餐店的街区平均骑车出行率相对较高（Moudon 等人，2005 年）。虽然有关建筑环境和自行车出行的证据大多来自美国，但对欧洲社区的研究大多得出了类似的结论（Næss，2003 年；Nielsen 等人，2013 年；Pucher 和 Buehler，2006 年；Heinen 等人，2010 年）。

## 3. 数据组装和变量测量

我们的研究设计以 2011 年英国人口普查中的上班路程数据的可用性、空间聚合和格式为

基础。这是一个全面的数据库，以中层超高产出区（MLSOA）为单位，按起始地和目的地（O-D）对的通常通勤方式提供流量信息。这些区域的面积相对较小，随着与城市中心的距离增加而增大。在我们的研究中，中层超高产出区的面积中位数为 318 公顷。每个多层超高产出区包含 2,000 到 6,000 个家庭；在我们的研究中，中位数为 3,155 个家庭。

本研究中使用结果变量--各区人口加权中心之间的自行车通勤出行比例--必然是总体规模的，正如英国人口普查所报告的那样。因此，我们的研究考察的是比个人或家庭更高层次的综合关系，但比城市或地区更低层次的综合关系，即中观尺度的关系。虽然分类数据经常被用于研究出行需求，但我们认为中观尺度的数据适合我们的研究，因为它的重点是路径和走廊



为出行起点和终点提供服务的因素，即自行车网络、建筑环境以及道路和走廊沿线的环境设施。在控制了社会人口属性和其他预测因素的影响后，路线连通性、土地使用组合和地形等因素应该会对任何一对出行起点和终点之间的出行产生类似的影响。

### 3.1 研究区域和样本框

我们获得了英格兰和威尔士 36 个中小城市所有跨区家庭工作场所组合的工作出行数据，总共包括 22,000 多对家庭工作场所组合。我们之所以关注英国城市，部分原因是英国政府对自行车的政策承诺。在最近发布的《*自行车和步行投资战略*》（英国交通部，2016 年）中，英国的目标是到 2025 年将自行车出行翻一番，从 2013 年的 8 亿次出行增加到 16 亿次出行（“阶段”代表门到门旅程的一部分或全部）。

图 1 绘制了 36 个城镇的地图，突出显示了它们在全国自行车通勤比例方面的排名。我们的样本包括剑桥和牛津等排名靠前的城市，以及在英格兰和威尔士 120 个城市地区中排名中下的地方。

城市的人口规模和土地面积也有很大差异。我们注意到，通勤周期排名相对较高的城市往往是大学城、热门旅游目的地以及新兴科技产业和受过良好教育的专业人士的聚集地。

使用城市级数据进行的简单相关性分析表明，自行车基础设施与自行车通勤之间存在正相关关系。将 36 个城市的自行车通勤比例（见表 1）与自行车道设置量（每万名居民拥有自行车道的道路公里数）相关联，得出的皮尔逊乘积矩值为 0.71。例如，英国最流行骑自行车的城市剑桥平均每万名居民拥有 4.95 公里的自行车道，在 36 个样本城市中排名第二。而在普利茅斯和谢菲尔德，骑自行车上下班的比例不到 3%，每万名居民拥有自行车道的道路不足 0.6 公里。然而，提供自行车道并不能保证较高的骑车率。米尔顿凯恩斯居民人均拥有的自行车道几乎是剑桥的两倍。然而，仅有 3.3% 的米尔顿凯恩斯居民骑自行车上班。显然，在自行车基础设施方面，“建好了，他们就会来”并不总是成立的。

## LOCATION OF TOWNS AND CITIES AND NATIONAL RANKINGS FOR CYCLE COMMUTING

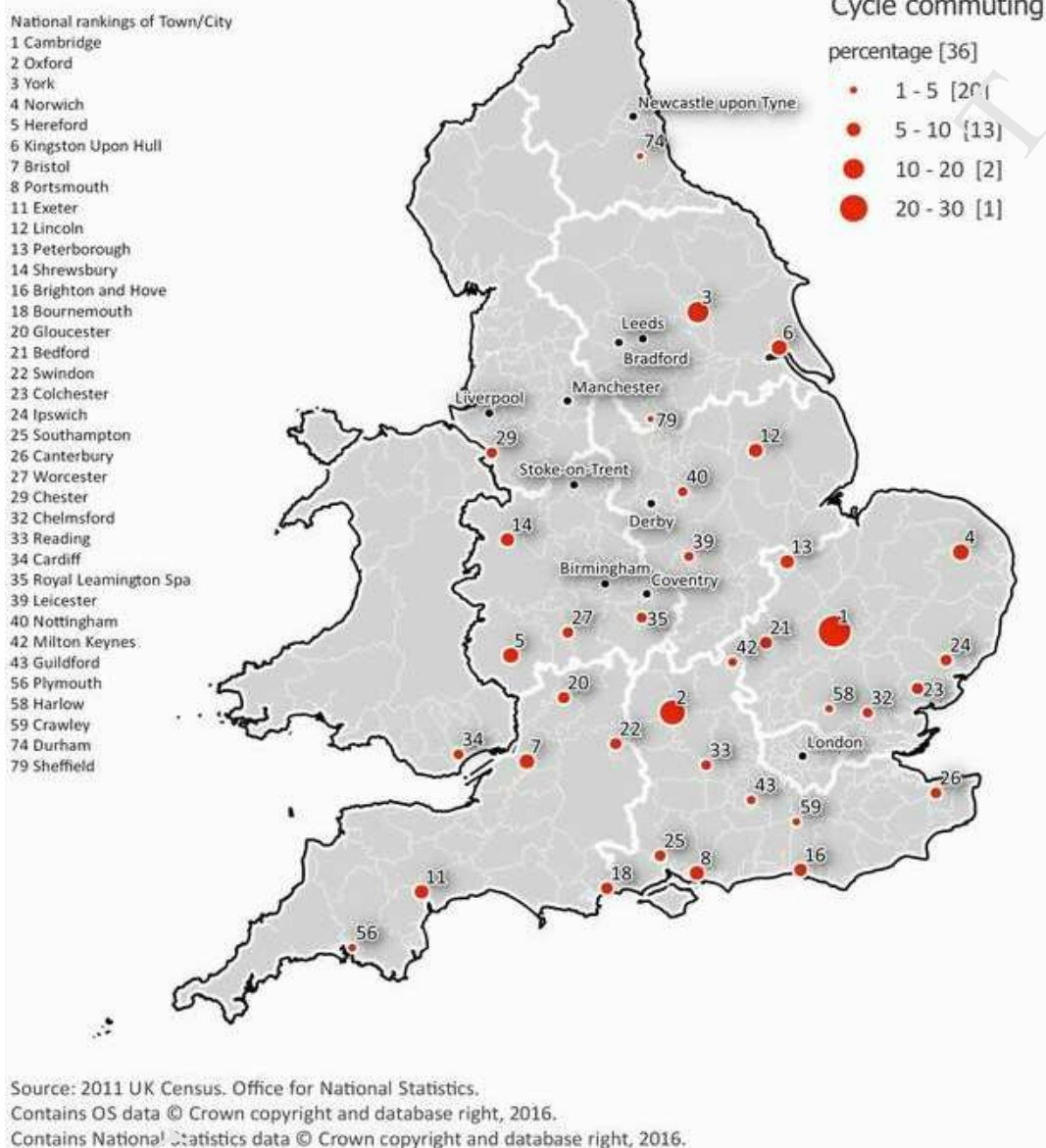


图 1.36 个英格兰和威尔士城镇的地图，显示其自行车通勤比例在全国的排名情况

表 1.英国 36 个城镇的自行车通勤和人口统计数据及排名、  
2011.

	自行车通勤		人口	
	日均通勤	全国排名	居民人数	全国排名
剑桥	29.1	1	145,818	42
牛津大学	18.3	2	159,994	37
约克郡	13.8	3	152,841	40
诺维奇	8.5	4	186,682	27
赫里福德 <sup>1 2</sup>	7.9	5	60,415	114
赫尔河畔金斯顿	7.8	6	284,321	13
布里斯托尔	7.4	7	535,907	4
朴茨茅斯	7.0	8	238,137	18
埃克塞特	6.8	11	113,507	55
林肯	6.6	12	100,160	73
彼得堡	6.4	13	161,707	36
什鲁斯伯里 <sup>2</sup>	6.3	14	71,715	112
布莱顿和霍夫	5.8	16	229,700	20
伯恩茅斯	5.2	18	187,503	26
格洛斯特	5.1	20	136,362	46
贝德福德	5.2	21	87,590	90
斯温顿	4.9	22	182,441	28
科尔切斯特	4.9	23	119,441	52
伊普斯维奇	4.8	24	144,957	43
南安普敦	4.6	25	253,651	17
坎特伯雷 <sup>1</sup>	4.5	26	54,880	115
伍斯特郡	4.5	27	100,153	74
切斯特	4.3	29	86,011	92
切姆斯福德	4.0	32	110,507	56
阅读	4.0	33	218,705	21
加的夫	4.0	34	335,145	10
皇家利明顿温泉 <sup>1 2</sup>	4.0	35	95,172	78
莱斯特	3.7	39	443,760	8
诺丁汉	3.7	40	289,301	12
米尔顿凯恩斯	3.3	42	171,750	33
资料来源：2011 年人口普查的人口和通勤数据。人口和通勤数据来自 2011 年人口普查。人口排名基于国家统计局的主要城镇和城市定义。城市地区定义来自国家统计局建成区地理信息系统。	3.3	42	171,750	33
普利茅斯	2.8	56	234,982	19
哈洛	2.7	58	82,059	96
克劳利	2.7	59	106,943	66
达勒姆	2.1	74	47,785	116
谢菲尔德	1.9	79	518,090	5

备注

1. 在国家统计局建成区统计地理中未被列为主要城镇。排名估计。

---

2. 数据来自国家统计局建成区分局统计地理信息系统。

### 3.2 自行车网络数据和指标

定义所有 36 个城市地区的详细自行车网络并将其数字化是本研究的关键投入。为确保自行车网络定义方法的一致性，我们求助于开放街道地图（OSM，2015 年）。根据一项研究（Hochmair 等人，2015 年），OSM 的数据质量高于谷歌地图。在我们的研究中，OSM 提供了足够详细的几何和道路链接属性，可用于定义和创建 2011 年 36 个研究区域中所有家庭-工作场所对的自行车网络。在 OSM 维基 (<https://wiki.openstreetmap.org>) 和来自 Overpass API 的 OSM 历史数据（Open Street Map，2015 年）的指导下，我们能够标记并标明任何属于自行车道、自行车道或共享道路空间的链接。

我们还根据自行车道与道路网的接近程度对其进行了分类，以考虑到出行压力的程度。我们的自行车网络包括：路面自行车道、路旁自行车道、与道路分离的自行车道以及共用车道。除非有专用或共用的自行车基础设施，否则我们的自行车网络不包括高速公路和主干道。

#### 3.2.1 交通压力水平

如前所述，我们采用了 Furth 和 Mekuria（2013 年）为荷兰开发的指标来定义交通压力水平（LTS）。作者根据连接速度、街道宽度、自行车道宽度、限速、直通车道数量和交叉口设计，创建了四个序数 LTS 类别。在我们的研究中，LTS 的定义不仅包括车速，还包括自行车网络名称（如轨道或车道）、公路类型（如生活街道、多车道公路）、街道长度和交叉口特征。表 2 列出了我们研究中使用的四种 LTS 类别（相互排斥且共同详尽）。

与 Furth 和 Mekuria（2013 年）的方法类似，我们的研究以相交链路的最高 LTS 值来定义接近交叉点的链路。我们根据相交链路的最高 LTS 值，在交叉口应用缓冲区，并将该 LTS 值应用于 LTS 值较低的任何相交接近链路。缓冲区的大小取决于进场连接线的 LTS 值。这样做的目的是既能反映骑车人在接近高压路口时可能承受的更大压力，又能在估算低压力自行车路线时降低高压路口的优先级。缓冲区大小如下 LTS4 级交叉口--25 米；LTS3 级交叉口--15 米；LTS2 级交叉口--10 米。因此，所有网络链接都是根据其起点和终点节点、几何长度、链接阻抗（见表 3）和 LTS 值来定义的。

表 2.交通压力水平（LTS）四个序数类别的定义

LTS 值	属性	定义
<b>LTS 1: 极低水平交通压力</b>	几乎没有交通压力。骑自行车的人在以下道路上与交通实际隔离 专用自行车道。	专用自行车道，或与车辆网络分开，或与车辆网络并行。 车辆网络。
<b>LTS 2: 低交通压力水平</b>	交通压力小车流量和车速较低。骑自行车的人有专用自行车道，或者街道是住宅区街道，长度短，车速低。	未指定为 "轻轨 1 号线"，且属于以下情况之一的连接线：短住宅街道（长度少于 250 米）；指定为 "生活街道"；速度限制为每小时 20 英里或以下且被归类为未分类街道或住宅街道；或设有路面自行车道和 "轻轨 1 号线" 的街道。 限速 20 英里/小时或更低。
<b>LTS 3: 中等程度的交通压力</b>	与交通的互动有限，但靠近高速行驶的车辆。 公路包括专用自行车道或已被归类为地方或国家自行车网络。	未指定为 "慢行系统 1" 和 "慢行系统 2" 的连接线，这些连接线要么是：设有路面自行车道的街道；限速为每小时 30 英里或以下的街道；要么是被指定为地方或国家自行车网络一部分的街道。
<b>LTS 4: 高度交通压力</b>	靠近时速超过 30 英里的高速交通。包括很少为骑自行车的人提供便利的主要道路，因为以及繁忙或复杂的交叉路口。	未指定为 LTS 1、2 或 3 的连接道路：即限速大于 30 英里/小时和/或属于主干道、次干道或上文未指定的其他道路类别。

### 3.2.2 小径和走廊

自行车网络对出行的潜在影响分为两个层面：路径和走廊。使用 Dijkstra 的最短路径算法（Dijkstra, 1959 年），为每对家庭-工作地点组合生成两条出行路径--最短路径和低压力路径。最短路径按距离最小化，低压力路径按累积阻抗值最小化，如表 3 所示。低应力路径的设计反映了应力加权优化路径，代表了最短路径之外的一种可能的较低应力替代路径，总距离受制于绕行系数（定义见下文）。

研究表明，在选择低压力路线时，骑车人会接受的最大平均绕行距离。Furth 和 Mekuria（2013 年）建议将 25% 作为骑车人从最短路径绕行的最大附加距离。然而，这只是人们认为的正常情况的上限；Winters 等人（2010 年）在对温哥华非休闲骑车人的研究中发现，75% 的骑车出行距离在最短路径的 10% 以内，90%（至少）在 25% 以内。Broach 等人

（2012 年）发现，俄勒冈州波特兰市的自行车通勤者平均愿意增加 16% 的行程长度来使用分离式自行车道。我们采用的最大绕行系数为 15%。

我们注意到，最短路径很少能反映现实世界中的路线选择，事实上，许多行程并不遵循最短路径（Winters 等，2010 年）或优化路径（Sheffi，1985 年）。为了反映路径偏离的可能性以及由此产生的交通压力变化，我们为每个 O-D 对创建了行程走廊。走廊由出发地和目的地之间所有可到达的链接子网络衍生而来，其总路径长度小于最短路径乘以绕行系数。这些走廊有效地代表了可供骑车人选择的路径，并提供了



在此基础上计算自行车网络属性的其他指标，特别是低/高压、连通性和复杂性（定义见下文）的走廊连接比例。它们还为计算与建筑和自然环境相关的指标提供了空间基础。作为总结，表 3 列出了我们研究中每对家庭-工作地点组合的最短路径、低压力路径和走廊的计算方法，并依赖于 15% 的最大绕行系数。

**表 3. 路径和走廊定义**

<b>最短路径</b>	代表最小阻抗（以线米为单位）的路径，它位于行程起点和终点。
<b>低压力路径</b>	代表行程起点和终点之间阻抗最小化的路径，仅限于起点终点走廊，链路阻抗按线性计算 米 * 绕行系数。 <sup>1</sup>
<b>走廊</b>	子网络由行程起点和终点之间的所有链接组成，这些链接可由自行车使用，并统称为家庭-工作地点对之间的所有路径，其总路径距离不超过最短路径距离 * 最大绕行距离因素。
<sup>1</sup> LTS 值: LTS 1 为 1; LTS 2 为 1.05; LTS 3 为 1.10; LTS 4 为 1.15。	

### 3.2.3 连通性和复杂性

路径距离和压力水平本身并不能完全说明网络的特点。交叉路口往往是骑车人旅途中压力最大的部分，会有相互冲突的操作和事故风险。为了补充基于链路的测量方法，我们使用了两种反映网络节点属性的测量方法：连通性和复杂性（见表 4）。这两个指标都是在走廊层面计算的。链接数与节点数比率高的走廊通常是连接良好的网络，有利于骑行。另一方面，复杂性可能会阻碍骑自行车出行，因为从一个压力水平移动到另一个压力水平需要额外的注意力和对周围环境的敏感性，而这本身就会造成压力。

### 3.2.4 旅行距离和时间

除最短路径距离外，我们的模型中还使用了另外两个衡量障碍或效用的指标：在每对家庭-工作地点组合中，自行车出行时间与私家车出行时间的比率；以及自行车出行时间与公共交通出行时间的比率。随着最短路径距离、自行车与汽车出行时间比率以及自行车与公共交通出行时间比率的增加，预计骑自行车通勤的比例会下降。

此外，我们还生成了一个衡量路径连续性的指标，我们称之为“分流惩罚”。这是每个家庭-



工作地点配对的低压力路径和最短路径距离的比值。在其他条件相同的情况下，我们预计高绕行惩罚会阻碍自行车的使用，而压力低的路线与最短路线相近的走廊会有更高的自行车使用率。

表 4. 出行距离和时间以及自行车网络属性。

变量	定义	数据来源
<b>旅行距离和时间</b>		
最短路径距离	行程起点和终点之间的最短路径距离，以千米（即公里）为单位。	使用 Dijkstra 最短路径从循环网络生成算法。
行车时间比 - 自行车/汽车	早高峰时段（上午 8:30）出发地与目的地之间的旅行时间差：根据 Google API 的悲观出行模型，自行车最快路线的出行时间除以汽车最快路线的出行时间。	谷歌起源地的目的地矩阵应用编程接口（API）（谷歌，2016 年）。
行车时间比 - 自行车/公共交通	早高峰时段（上午 8:30）出发地与目的地之间的旅行时间差：根据谷歌应用程序接口（Google API），自行车最快路线的旅行时间除以公共交通最快路线的旅行时间。	
里程大于 6 公里的分流罚款	最短路径与低应力路径之比。	由自行车网络生成。
<b>自行车走廊属性</b>		
压力极低的链接比例	单车走廊上所有连接点中属于 LTS1 的比例	来自自行车网络
低压力链接比例	单车走廊上所有连接线中属于低速交通系统的比例 <sup>2</sup>	
中等压力比例链接	单车走廊上所有连接点中属于低速交通系统的比例 <sup>3</sup>	
压力非常大的链接比例	自行车走廊上所有连接点中 LTS 的比例 <sup>4</sup>	
连接率	链接数/节点数。这一衡量标准考虑了所有交叉路口（定义为节点），供骑车人在走廊一级使用。无论行驶方向如何，每对节点之间都有一条连接线。	
复杂性密度	节点数/链接长度（公里）。这一衡量标准将整个网络中与走廊或路径相交的所有交叉口和长时过渡段视为节点。每对节点之间在每个可通行方向上都有一条连接线。	

### 3.3 建筑环境、土地利用和行程连锁潜力

如前所述，建筑环境和环境便利因素被认为会在不同程度上影响自行车通勤。表 5 列出了

用于研究其影响的关键变量。

较高的人口和就业密度主要通过拉近出行起点和目的地的距离来促进自行车出行。土地使用的多样性也被认为会促进自行车出行。

它不仅能缩短通勤时间，还能实现高效的行程串联，尤其是在下午和晚上下班后，许多商店、餐馆和娱乐场所都会营业。本研究使用了两个衡量混合使用模式的指标：活动密度和熵指数。（我们使用 Foursquare（2011 年英国人口普查时英国最受欢迎的基于位置的社交网络服务之一）的数据来衡量特定自行车走廊 50 米缓冲区内的土地使用活动。Foursquare 允许手机用户在特定地点 "签到"，并与朋友分享他们的行踪。在英国，2011 年 Foursquare Venue 数据的地理覆盖面很广，为衡量有利于自行车出行的活动密度提供了一个平台（Georgiev 等人，2014 年）。混合用途熵指数（Cervero，1996 年）是使用通用土地利用数据库的数据测量的，该数据库在地块层面表达了整个英格兰和威尔士的九类土地用途。

表 5.建筑环境 and 环境美化变量。

<b>走廊的建筑环境属性</b>		
住房和花园用地	走廊（行程起点和终点）土地中用于住宅（住宅楼和花园）的比例	通用土地利用数据库 (GLUD)，DCLG（2005 年）。
混合使用熵值	熵 = $-\sum_i^k (p_i * \log_e p_i)$ / k，其中：p <sub>i</sub> = 第 i 类土地面积所占比例；k = 土地利用类别数 = 9；i = 住宅（住宅建筑和花园）、非住宅建筑和相关土地、绿地、道路、路径、铁路、水域、花园、其他土地利用。在走廊层面计算。	
活动密度	走廊 50 米缓冲区内的 Foursquare 签到（万次）（旅行出发地和目的地），走廊内每公里路径的场所类别：食品、保健、夜间商业、服务、娱乐、零售和便利店	Foursquare Venue API，Foursquare，（2017 年）。
<b>走廊的环境美化</b>		
水面面积比例	由水（如湖泊、河流、运河）构成的走廊（行程起点和终点）陆地面积比例	通用土地利用数据库 (GLUD)，DCLG（2005 年）。
绿地面积比例	由绿地（如公共公园、农田、开放空间）构成的走廊（行程起点和终点）土地面积比例	

### 3.4 控制变量

控制变量捕捉了以政策为重点的变量之外的因素，过去的工作表明，这些因素会影响自行车通勤。所有控制变量--如天气、坡度和通勤者的社会人口属性--都是分析中的外生变量，因此不属于公共政策的直接影响范围。表 6 列出了我们研究中使用的控制变量。

我们注意到，表 6 中的两个物理变量，即自行车道沿线的平均坡度和平均降雨量，与自行

车通勤不利，这在过去的研究中已有记载（Nankervis, 1999 年；Bergström 和 Magnusson, 2003 年；Brandenburg 等人, 2004 年；Rietveld 和 Daniel, 2004 年；Parkin 等人, 2008 年；Cervero 等人, 2009 年）。气温升高可能会产生两方面的影响，但考虑到整个大不列颠三月份（与 2011 年人口普查数据的收集时间相对应）的天气通常比较凉爽，我们预计两者之间存在正相关关系，即较高的气温应有利于自行车通勤。

人口和社会经济变量（平均年龄除外）与工作出行数据一致，即从多地统计局层面的出发地和目的地（O-D）之间的流量得出，并以比例表示。Ideally, we would use detailed socio-demographic characteristics of individual respondents by their mode of travel but this level of detail is not available. 自行车出行水平预计会在生命周期的中期阶段上升，然后随着年龄的增长而下降，形成二次关系。因此，"平均年龄"变量用线性和平方表示，以反映这种预期的二次关系。

表 6. 控制变量；自然环境因素和社会人口属性。

变量	定义	数据来源
自然环境因素		
自行车路线的平均坡度	平均海拔变化百分比（起点和终点之间 50 米间隔内所有点高度的统计平均值	谷歌海拔应用编程接口（API）。谷歌，（2018 年）。
平均气温（2011 年 3 月）	2011 年 3 月的气温（摄氏度与起源区最接近的 5 平方公里网格，统计平均值	UKCP09：网格观测数据集。英国气象局，（2016 年）。
平均降雨量（2011 年 3 月）	最接近的 5 平方公里网格中 2011 年 3 月的累计降雨量（以 100 毫米为单位）。与原产地对应的统计平均值	
社会人口属性		
专业人员和管理人员的通勤比例	在被定义为近似社会等级 A 或 B 的家庭（表示高级和中级管理/行政人员）中的通勤者比例（定义为居住在 出发地和工作地的通勤者）。专业职业	2011 年英国人口普查，国家统计局，（2015 年）。
无车家庭中的通勤者比例	通勤者比例（定义为在原籍区居住并在原籍区工作的人目的地），家中没有汽车。	
男性乘客比例	男性/女性通勤者（定义为在出发地居住、在目的地工作的通勤者）的比例。	
原籍居民的平均年龄地带	居住地通勤者的平均年龄。	
原籍居民的平均年龄带平方	居住地通勤者的平均年龄。	

#### 4. 建模方法和结果

在 36 个抽样城镇的 21,000 多对 "O-D "中，通勤出行次数差异很大，从几次到 1,500 多次不等。在许多情况下，由于自行车通勤总次数较少，一两次自行车通勤所产生的自行车通勤出行方式比例并不高。因此，我们限制了

在此基础上，对总出行次数达到或超过 30 次的家庭-工作地点对进行了抽样。这样就产生了一个规模仍然很大的数据库，其中包含 9083 个区对区观测值，代表了 123 万多个上班旅程。我们注意到，无论将纳入记录的最低门槛设定在 30 次以上，结果都没有明显变化。

#### 4.1 统计模型考虑因素

使用普通最小二乘法（OLS）估算的传统多元回归模型假定存在线性关系。然而，影响出行方式选择的许多因素都是非线性的。积极的出行方式尤其如此。例如，我们预计骑自行车出行会随着通勤距离的增加而减少，从中长途通勤到长途通勤时下降最快。在使用 OLS 时，分数反应数据（如比例）也会出现问题，因为预测结果并不以 0 和 1 为界。

有鉴于此，需要采用其他模型形式和估计方法。贝塔回归模型通常用于分数响应数据和捕捉非线性关系，但它在处理大量精确的 0 或 1 值时表现不佳（Liu & Kong, 2015 年）。在骑自行车的情况下，大量的 O-D 对很可能出现零行程。

此外，影响介于 0 和 1 之间的模式份额比例的因素可能与解释正好为 0 或正好为 1 的份额的因素截然不同。Opsina 和 Ferrari（2011 年）提出了一种方法来解决这些问题。零一膨胀贝塔（ZOIB）回归模型允许将比例为 0 或 1 的概率估算与 0 和 1 之间的估算分开生成。文献中讨论了 ZOIB 回归技术的优势和应用（Opsina 和 Ferrari, 2011 年；Swearingen 等人，2012 年；Liu 和 Kong, 2015 年），但我们尚未发现其在出行需求建模领域的应用。

#### 4.2 建模方法

我们在开展这项研究时采用了多步骤建模方法。首先测试了外生因素（不受近期政策影响）对自行车通勤的影响。测试结果被称为“基础”模型。基础模型中的预测因素包括：最短路径距离；地点和路径特定变量（代表自然环境因素的坡度、平均气温和降雨量）；以及社会阶层、汽车拥有量、性别和年龄等社会人口属性。

接下来，我们提出一个完整的模型。在这里，除了基础模型中包含的因素外，我们还加入了在近中期内受政策直接影响的因素。这里包括竞争模式的比较旅行时间以及自行车走



廊、建筑环境 and 环境设施的属性。

虽然旅行时间比率和建筑环境因素乍一看似乎不适合近期政策，但我们注意到，我们的方法依赖于计算骑自行车可直接到达的通勤走廊的属性。虽然通勤距离不容易改变，但旅行速度以及旅行时间比率，尤其是骑自行车的旅行时间比率，是可以改变的。我们

土地使用组合不可能在一两年内轻易改变，尤其是在已建成的城市环境中，但新建自行车基础设施和升级改造水道或公园是可行的。这不仅可以提供低压力通道，减少自行车出行时间，还可以美化自行车走廊，创造美化价值。沿着绿色和蓝色土地用途建造的高质量自行车基础设施的一个例子是剑桥郡的公交导行道，该导行道于 2011 年沿历史悠久的剑桥-圣艾夫斯铁路线开通，以前自行车无法进入该铁路线。

在第三步中，我们比较了基础模型和完整模型，以衡量与政策相关的走廊级因素对模型预测能力的影响。最后一步，我们提出了一个固定效应模型，将完整模型与具有统计意义的城市级虚拟变量（0-1 编码）相结合。我们比较了基础模型和带有固定效应的完整模型，讨论了这些城市级虚拟变量如何反映城市的属性，包括模型中未考虑的可能的当地文化和生活方式因素。总之，多步骤建模方法丰富了我们的一系列因素的边际影响的理解，其中一些因素受到政策的直接影响。

由于因变量以比例表示，因此在可能的情况下，预测变量也同样以比例表示。在可能的情况下，所有其他变量的系数都按比例计算。由于 ZOIB 函数是非线性的，并遵循对数形式，因此 ZOIB 模型系数很难解释。为了帮助解释，我们使用部分导数 ( $\delta y / \delta x$ ) 计算了平均边际效应（即在控制其他预测因素影响的情况下，自行车通勤人次相对于每个协变量单位变化的百分点变化）。我们对模型结果的评论主要集中在这些边际效应上，总结见表 8。

最后，为了衡量拟合度，我们计算了伪  $r$  平方统计量，其定义是结果（骑自行车上下班的比例）与其相应预测值之间的样本相关系数的平方，正如 Opsina 和 Ferrari（2011 年）所建议的那样。为了评估连续模型，尤其是添加内生因素是否会显著提高预测能力，我们计算了似然比统计量（见 Chatterjee 和 Hadi，2011 年）。

### 4.3 建模结果

表 7 列出了预测影响英格兰和威尔士 36 个城市地区 9083 条自行车通勤比例的因素的最佳拟合 ZOIB 模型。  
显示连续模型输出结果。

表 7 左栏显示了基础模型的结果。All predictors in the model are highly significant, with p-values of .000, and match a priori expectations. The full model (without fixed effects) is presented in the middle columns of Table 7. 所有预测因子再次高度显著, p 值均低于 0.05, 且关系符合先验预期。更重要的是, 纳入自行车走廊属性、环境便利性和建筑环境措施在统计上都是显著的。也就是说, 与政策相关的变量明显提高了简单基础模型的预测能力。总体而言, 完整的

在预测自行车共享率方面，完整模型的伪  $r$  方值为 0.525，而基础模型为 0.422。模型改进测试表明，这一增益在统计上是显著的，突出表明加入内生因素提高了模型的预测能力。

在控制了完整模型中变量的影响后，了解自行车通勤发生的城市对模型预测的改善程度如何？表 7 右侧列显示了带有固定效应的完整模型。所有预测因子都非常显著，且关系再次符合预期。总体而言，带固定效应的完整模型在预测自行车共享率方面优于初始完整模型，其伪  $r$  平方值为 0.691，而初始完整模型为 0.525。

表 7. 零一膨胀贝塔 (ZOIB) 模型。(因变量: 按家庭-工作地点配对的所有通勤者中骑自行车通勤的比例)。

	基本型号			完整型号			带固定效应的完整模型					
	系数		Std.Z	sig.P> z	Coef.	Std.	sig.P> z	Coef.	Std.	sig.P> z		
0-1 之间的比例												
旅行距离和时间												
最短路径距离	-0.079	0.00	0.00	-0	.0700	.01	0.00	-0.077	0.01	-12.57	0.00	
10	.48						0.00	-0.349	0.05	-7.46	0.00	
行车时间比 - 自行车/汽车					0.05	-8.07	0.00	-0.103	0.03	-3.78	0.00	
行车时间比 - 自行车/公交车				-0.145	0.03	-4.57	0.00	0.162	0.03	-6.30	0.00	
行程分流惩罚												
> 6 千米				-0.168	0.03	-6.07				5.91	0.00	
										4.86	0.00	
自行车走廊属性												
压力极低的比例					0.12	7.75	0.00	0.774	0.13	5.31	0.00	
链接				0.948	0.06	18.82	0.00	0.318	0.07	-9.38	0.00	
低压力链接比例				1.064	0.11	-7.69	0.00	-0.241	0.10			
压力非常大的比例					0.08	2.84	0.01	0.418	0.08			
链接				-0.881	0.01	-2.98	0.00	-0.051	0.01			
连接率				0.224								
复杂度密度				-0.018								
走廊的环境美化												
水面面积比例				3.330	0.76	4.39	0.00	1.691	0.63	2.68	0.01	
绿地面积比例				0.528	0.08	6.43	0.00	0.196	0.08	2.61	0.01	
走廊的建筑环境属性												
住房用地和												
花园				0.599	0.06	10.26	0.00	0.398	0.05	7.35	0.00	
活动密度				0.004	0.00	5.75	0.00	0.001	0.00	2.18	0.03	
自然环境因素												
自行车路线的平均坡度	-27.261	0.82	-33.13	0.00	-22.6330	.83	-27.37	0.00	-14.1750	.90	-15.82	0.00
平均气温 (三月												
2011)	0.115	0.02	6.79	0.00	0.040	0.02	2.38	0.02	0.075	0.03	2.92	0.00
平均降雨量 (2011 年 3 月)	-0.014	0.00	-9.85	0.00	-0.003	0.00	-2.29	0.02	-0.010	0.00	-4.97	0.00
社会人口属性												
专业人员和	2.143	0.07	32.84	0.00	1.748	0.06						
管理人员通勤者 无车家庭							布莱顿 赫里福德					
通勤者比例 男性通勤者比	1.314	0.08	15.76	0.00	1.087	0.09						
例 原籍地居民平均年龄	1.071	0.06	17.73	0.00	1.136	0.06	金斯顿-厄本-赫尔-布里斯托尔					
原籍区居民平均年龄平方	0.316	0.03	11.25	0.00	0.237	0.03	沃里克和利明顿 吉福德					
	-0.004	0.00	-11.07	0.00	-0.003	0.00	雷丁 达勒姆 克劳利 莱斯特 哈洛					
城市固定效应												
剑桥 牛津							米尔顿凯恩斯 诺丁汉 谢菲尔德					
约克												
诺维奇												
埃克塞												
特 林肯												

已接受稿件												
28.69	0.00	1.325	0.05	25.33	0.00				0.239	0.05	5.11	0.00
									0.213	0.08	2.71	0.01
11.76	0.00	0.902	0.09	10.57	0.00				0.142	0.04	3.60	0.00
19.52	0.00	0.976	0.05	18.63	0.00				0.126	0.03	4.36	0.00
									-0.108	0.05	-2.04	0.04
8.90	0.00	0.126	0.02	5.19	0.00				-0.181	0.06	-2.97	0.00
									-0.210	0.04	-5.71	0.00
-8.66	0.00	-0.002	0.00	-5.37	0.00				-0.276	0.08	-3.27	0.00
									-0.287	0.06	-4.45	0.00
		1.230	0.04	31.55	0.00				-0.3010	0.03	-10.03	0.00
		0.736	0.05	16.04	0.00				-0.336	0.06	-6.06	0.00
		0.692	0.04	17.73	0.00				-0.393	0.05	-8.46	0.00
		0.459	0.04	10.94	0.00				-0.4110	0.04	-11.64	0.00
		0.285	0.04	7.07	0.00				-0.4110	0.03	-12	.77
		0.248	0.05	5.42	0.00					0.00		
<hr/>												
常数			-9.459	0.55	-17.07	0.00	-8.0620	.53 -15	.08	0.00	-5.6800	.50 -
11.31			0.00									

表 7 (续) 。

	基本型号				完整型号				带固定效应的完整模型				
	系数		Std.	sig.P> z	Coef.		Std.	sig.P> z			Coef.		
	Std.sig.P> z												
零膨胀													
旅行距离和时间最短	0.327	0.01	22.09	0.00	0.264	0.03	10.24	0.00	0.212	0.03	7.95	0.00	
路径距离 旅行时间比 汽车					0.679	0.22	3.05	0.00	1.068	0.25	4.33	0.00	
率--自行车/改道罚款j <sub>0</sub> >					0.365	0.13	2.82	0.01	0.406	0.14	3.01	0.00	
6km													
建筑环境熵值 混合用脉					-0.600	0.20	-3.01	0.00	-1.693	0.21	-8.08	0.00	
途熵值 活动密度 自然理事					-0.035	0.01	-4.51	0.00	-0.033	0.01	-4.02	0.00	
环境熵值 路线分钟	58.543	2.95	19.81	0.00	58.324	3.11	18.76	0.00	39.065	3.88	10.07	0.00	
周期平均坡度 突变和	-3.007	0.29	-10.46	0.00	-2.796	0.28	-9.90	0.00	-2.806	0.29	-9.69	0.00	
社会人口统计学特征	-4.076	0.35	-11.66	0.00	-3.680	0.36	-10.24	0.00	-3.329	0.35	-9.47	0.00	
男性通勤者比例 职业													
管理通勤者比例 城市													
固定效应													
林肯													
华威和利明顿牛津													
约克 剑桥 米													
尔顿凯恩斯													
雷丁 莱斯特													
诺丁汉 克劳													
利 谢菲尔德	-2.885	0.17	-17.30	0.00	-2.980	0.30	-10.02	0.00	-2.731	0.33	-8.33	0.00	
常数	3.256	0.02	163.23	0.00	3.436	0.02	173.45	0.00	3.759	0.02	202.81	0.00	
ln_phi													
常数													
统计摘要													
N=	9083					9083					9083		
Wald chi2(9) =	2612.23					4341.18					11581.03		
对数伪似然 = Prob >	11402.041					12139.254					13580.181		
chi2 =	0					0					0		
伪 R2 =	0.423					0.525					0.691		
模型改进测试					RM 与 FM (无 FE)				调频 (无外频) 与调频 (外频)				
					2 = 1474.43, df= 16 , prob= 0.00				2 = 2881.85, df= 31 , prob= 0.00				

表 8.零一膨胀贝塔 (ZOIB) 模型: 平均边际效应 ( $\delta y/\delta x$ )。(因变量: 按家庭-工作地点配对的所有通勤者中骑自行车通勤的比例)。

比例	基本型号				完整型号				带固定效应的完整模型			
	y/dx Std.			sig.P> z  ?	y/dx Std.		sig.P> z  ?	y/dx Std.		sig.P> z  ?		
<b>旅行距离和时间</b>												
最短路径距离	-0.0071	0.00	-28.32	0.00	-0.0059	0.00	-12.69	0.00	-0.0059	0.00	-13.97	0.00
行车时间比 - 自行车/汽车					-0.0293	0.00	-8.52	0.00	-0.0270	0.00	-8.30	0.00
行车时间比--自行车/公共交					-0.0099	0.00	-4.57	0.00	-0.0069	0.00	-3.77	0.00
通 改道罚金 > 6 公里					-0.0131	0.00	-6.61	0.00	-0.0122	0.00	-6.86	0.00
<b>自行车网络属性</b>												
压力极低的比例												
链接					0.0648	0.01	7.71	0.00	0.0516	0.01	5.90	0.00
低压力链接比例					0.0727	0.00	18.71	0.00	0.0212	0.00	4.86	0.00
压力非常大的链接比例					-0.0602	0.01	-7.68	0.00	-0.0160	0.01	-2.34	0.02
连接率					0.0153	0.01	2.84	0.01	0.0279	0.01	5.31	0.00
复杂性密度					-0.0012	0.00	-2.98	0.00	-0.0034	0.00	-9.37	0.00
<b>走廊的环境美化</b>												
水面面积比例					0.2276	0.05	4.39	0.00	0.1127	0.04	2.68	0.01
绿地面积比例					0.0361	0.01	6.44	0.00	0.0131	0.01	2.61	0.01
<b>走廊的建筑环境属性</b>												
住房用地和 花园					0.0410	0.00	10.19	0.00	0.0265	0.00	7.35	0.00
混合使用熵值					0.0026	0.00	3.03	0.00	0.0059	0.00	8.14	0.00
活动密度					0.0004	0.00	7.31	0.00	0.0002	0.00	4.18	0.00
<b>自然环境因素</b>												
自行车路线的平均坡度	-2.1691	0.06	-34.85	0.00	-1.8028	0.06	-29.99	0.00	-1.0813	0.06	-17.46	0.00
平均气温 (三月 2011)	0.0080	0.00	6.76	0.00	0.0027	0.00	2.38	0.02	0.0050	0.00	2.92	0.00
平均降雨量 (2011 年 3 月)	-0.0010	0.00	-9.66	0.00	-0.0002	0.00	-2.29	0.02	-0.0006	0.00	-4.97	0.00
<b>社会人口属性</b>												
专业人员和 管理人员通勤者 在下列地区的通勤者比例			32.52	0.00	0.1356	0.00	29.40	0.00	0.0999	0.00	26.81	0.00
无车家庭	0.1680	0.01										
男性乘客比例	0.0912	0.01	15.41	0.00	0.0743	0.01	11.64	0.00	0.0601	0.01	10.54	0.00
	0.0886	0.00	20.07	0.00	0.0899	0.00	21.48	0.00	0.0749	0.00	20.48	0.00
原籍居民的平均年龄 区			11.19	0.00	0.0162	0.00	8.88	0.00	0.0084	0.00	5.19	0.00
原籍居民的平均年龄 区域平方	0.0219	0.00										
	-0.0003	0.00	-11.00	0.00	-0.0002	0.00	-8.64	0.00	-0.0001	0.00	-5.37	0.00
<b>城市固定效应</b>												
剑桥									0.1388	0.00	41.56	0.00
牛津大学									0.1077	0.00	28.88	0.00
约克郡									0.1047	0.00	30.67	0.00
林肯									0.0765	0.00	20.37	0.00
华威和利明顿									0.0516	0.00	12.01	0.00
诺维奇									0.0306	0.00	10.93	0.00
埃克塞特									0.0190	0.00	7.08	0.00
布莱顿									0.0159	0.00	5.10	0.00
赫里福德									0.0142	0.01	2.71	0.01
赫尔河畔金斯顿									0.0095	0.00	3.60	0.00
布里斯托尔									0.0084	0.00	4.35	0.00
吉尔福德									-0.0120	0.00	-2.97	0.00
阅读									-0.0173	0.00	-6.71	0.00
达勒姆									-0.0184	0.01	-3.27	0.00
哈洛									-0.0224	0.00	-6.05	0.00
莱斯特									-0.0238	0.00	-11.61	0.00
克劳利									-0.0243	0.00	-5.50	0.00
米尔顿凯恩斯									-0.0289	0.00	-9.07	0.00
诺丁汉									-0.0325	0.00	-13.45	0.00
谢菲尔德									-0.0334	0.00	-15.38	0.00



#### 4.4 讨论

本节转向表 8（边际平均效应），详细阐述三个 ZOIB 模型的结果。首先讨论了我们所说的内生变量（即与政策相关的变量）的影响，然后是对控制变量的评论，最后是城市级虚拟预测因子。我们注意到，表 8 中显示的边际效应应结合自行车通勤的总体水平来考虑，在我们的模型中，英国的自行车通勤率为 3%，所有 O-D 对的自行车通勤率为 7.6%（ONS，2011 年）。

##### 4.4.1 旅行距离和时间

与出行需求理论（Ben Akiva 和 Lerman，1985 年；Ortuzar 和 Willumsen，2014 年；Boyce 和 Williams，2015 年）相一致的是，自行车通勤率随着通勤距离的增加而下降，而且相对于汽车或公共交通而言，自行车出行所需的时间也会增加。根据完整模型中的平均边际效应，距离的影响是相对一致的，这表明（我们模型中所有观测值的平均值）当通勤距离增加 1 公里时，自行车共享率通常会下降 0.6 个百分点（在基础模型中下降 0.7 个百分点）。

同样值得注意的是，自行车出行时间与汽车出行时间的比率对自行车通勤产生了显著的边际影响。该比率的单位变化所产生的平均边际效应可使自行车通勤量减少 2.9 个百分点。例如，如果该比率从 1（表示出行时间相等）变为 2（表示自行车出行时间是汽车的两倍），则骑自行车上下班的人数会减少 2.9 个百分点。

##### 4.4.2 自行车网络属性

我们的模型显示，道路压力水平很重要。值得注意的是，相对于最短路径距离而言，随着寻找低压力路径所必须绕行的路程增加，骑车通勤的人数也会减少。我们注意到，这一点在通勤长度超过 6 公里的情况下也是如此；只有在这种情况下，才值得花大力气去寻找压力较小的绕行路径。在有固定效应和没有固定效应的情况下，这一指标的影响都是一致的。另一方面，随着走廊上属于 LTS 1（如自行车道）或 LTS 2（如住宅街道上的自行车道）的路段比例增加，骑自行车通勤的比例也在增加。如果不加入城市固定效应，这些影响会更大，这表明将低速交通系统效应与不同城市地区之间的偶然差异所产生的效应区分开

来非常重要。

根据不含固定效应的完整模型，长期交通服务措施的平均边际效应表明，在压力极低的环节中，一个单位的变化（例如比例从 0 到 1 的变化）可能会导致自行车骑行量增加 6.5%，而在压力较低的环节中，一个单位的变化可能会导致自行车骑行量增加 6.5%。

自行车骑行率增加 7.3 个百分点。如果将这一数据放到一个更现实的背景中，这表明在其他因素不变的情况下，如果走廊上压力极低的路段增加 10 个百分点，自行车骑行率可能会增加 0.65 个百分点；如果压力较低的路段增加 10 个百分点，自行车骑行率可能会增加 0.73 个百分点。

模型还显示，连通性和网络复杂性属性也是重要的预测因素。随着走廊沿线链接与节点比例的增加，骑自行车通勤的比例也在增加。与此相反，复杂性--以频繁地从一种旅行压力水平过渡到另一种压力水平为特征--会阻碍自行车通勤，这表明与沿路压力水平的高变化相关的某种程度的焦虑。有趣的是，如果加入固定效应，这些因素的作用会更大。

总之，我们的研究表明，最有可能促进自行车通勤的网络设计特点是提供方便、低压力的连接，即受保护的自行车道和自行车道尽可能靠近最短路径，尽量减少绕行。这一点在通勤距离较长的地方尤为明显，例如城市边缘地区和分散的大城市。我们的研究结果表明，政策制定者不应认为只要增加自行车道和轨道，骑自行车上下班就会大受欢迎。加强自行车基础设施的影响是渐进的，任何一个自行车道项目本身的影响充其量也是微不足道的。尽管如此，在英国大部分地区现有自行车通勤水平非常低的情况下，建设低压力自行车道显然可以使通勤趋势朝着正确的方向发展。

#### 4.4.3 建筑环境和环境美化

在建筑环境变量中，以熵指标表示的混合土地利用有助于降低零通勤的可能性。如果加入固定效应，这种影响还会增加。高密度的 Foursquare 签到（针对零售店等被认为可以链接自行车出行的活动）也会鼓励骑车上班，尽管在加入城市固定效应后，这种效应有所减弱。我们推测，自行车走廊沿线的活动集群可能会促进自行车通勤，因为骑车人可以更轻松地将行程终点连接起来，例如下班后顺便去咖啡馆，而无需费力寻找停车位。

在解释自行车通勤方面，便利性因素与混合用途指标不相上下。走廊沿线高比例的住宅用地以及蓝绿相间的景观都会吸引自行车通勤。在大自然的环抱中，或沿着点缀着花园和湖泊的走廊蹬车，是开始和结束工作日的一种惬意方式。我们的研究结果支持这一观点。

特别值得注意的是内河走廊比例每变化一个单位所产生的平均边际效应。部分  $\delta y / \delta x$  值为 0.22，这表明这一指标每增加 10%，循环率就会增加 2.2 个百分点。虽然在绝大多数通勤走廊上很难实现如此幅度的增长，但在有潜力提供新的自行车路线或改善现有设施（如河道和运河小道）的地方，我们的研究表明，这可以显著提高自行车通勤率。

#### 4.4.4 控制变量

与之前的研究结果一致，我们的模型显示，陡峭的地形和潮湿的天气不利于自行车通勤，而温暖的气温则鼓励自行车通勤，至少在春季是这样。在社会人口控制变量中，年龄对自行车通勤的影响最大。正如假设的那样，我们发现了一种二次关系：自行车通勤的比例随着原籍地区平均年龄的增加而增加，直到一个点，之后自行车通勤的比例会下降。

居民工人的社会经济状况也很重要。专业人士和高级管理人员组成的高比例居住人口与骑自行车上班呈正相关。即使在控制了汽车保有量之后，情况也是如此，因为汽车保有量对骑自行车上班的边际影响正如预期的那样是强烈的负向。我们推测，这反映了一种态度层面的问题。许多富裕的专业人士骑自行车上班是出于生活方式和环保的考虑，他们希望保持身体健康并减少碳足迹。

#### 4.4.5 固定效应

居住和通勤地点对自行车通勤有很大影响。在我们的数据库中，一半以上的城镇（36 个城镇中的 20 个）都是如此。我们还注意到，较小的历史名城，如林肯、沃里克、剑桥、牛津和约克，不太可能拥有无人骑自行车的通勤走廊。

到目前为止，英国三座历史名城的固定效应最强，它们都拥有著名的大学、限制汽车通行的市中心以及独特的行人和自行车友好型环境：剑桥、牛津和约克。根据部分  $\delta y / \delta x$  值，其他具有正固定效应的城市包括诺里奇、华威和利明顿、埃克塞特、林肯、布莱顿、赫里福德、赫尔河畔金斯顿和布里斯托尔。我们推测，这里反映的是一些无形的因素，如支持自行车运动的当地文化和政策环境。作为大学城，剑桥和牛津的大部分居民都是受过良好教育的专业人士。然而，即使在统计上控制了这些因素，自行车通勤的比例与我们样本中的其他城市相比仍然要高得多。

我们注意到，包括雷丁、莱斯特、克劳利、谢菲尔德、米尔顿凯恩斯和诺丁汉在内的一些城市出现了负固定效应，更有可能出现没有自行车通勤的 O-D 配对。这些城市包括总体规划的新城镇，建于二战后汽车兴起的时代。反之亦然，这是否表明这些地方的自行车文化更不友好？如果是这样，也不一定是因为缺乏自行车基础设施。例如，米尔顿凯恩斯（Milton Keynes）就有一个庞大的共用步行和自行车道网络（称为“红道”（Redways）），与繁忙的交通分隔开来。

## 5. 弱点和局限性

由于数据的可用性，我们的研究仅限于研究邻里关系，而不是街道或个人层面的关系。虽

然这样做有一定的好处，比如减少了计算时间（这是为家庭-工作场所配对生成路径和基于走廊的指标时的一个重要考虑因素），但我们希望看到，随着空间粒度的提高，模型的预测能力也会随之提高。

我们也认识到英国上班路程数据的局限性。人口普查问卷会询问每位居民在普查前一周上班的主要出行方式（按距离计算）。严格来说，人口普查得出的自行车共享率并不等同于出行方式共享率。

由出行需求模型确定。尽管存在这些局限性，但这仍然是英国现有的最全面的 "从行程到工作" 数据库。

我们的研究还发现，谷歌公司提供的数据并不一致。骑行速度差异很大，我们认为，对于一般骑车通勤者来说，骑行速度普遍过快。

谷歌应用程序接口推断出的行车速度也令人担忧。根据我们的观察，行车时间并不总能反映真实世界的早高峰状况。为了解决这个问题，我们使用了谷歌的悲观出行模型，并在必要时对出行时间进行了调整。

我们还认识到，城市虚拟变量可能会掩盖停车场可用性和成本等变量的影响，而我们在目前的研究中未能将这些变量包括在内。最后，我们认识到，GPS 活动追踪器等未来数据源有可能补充并验证我们对道路骑行压力水平的编码以及对自行车路线的建模。我们所研究的追踪器数据源还不能实现这一目的。

## 6. 结论

我们的研究揭示了影响英国城镇骑自行车上下班的复杂网络，其中有些是内生的，有些则是外生的。根据我们的模型估算出的相当适度的平均边际影响，我们得出结论，即使是在通勤骑车率非常高的城市，也没有任何银弹因素能够显著提高骑车通勤率。任何一个因素本身对骑自行车上下班的影响都是微不足道的，有时甚至是难以察觉的。但是，作为促进骑自行车出行的全面政策承诺的一部分，在具有混合用途和自然设施的紧凑区域内大规模扩建低压力、非迂回的自行车道，这些措施结合在一起，就会产生不同的效果。要吸引更多的英国通勤者放弃汽车、火车和公交车，转而骑自行车出行，让骑自行车出行尽可能安全、高效、愉悦和无压力是至关重要的。

这些研究结果为英国城镇提供了政策指导，使其能够根据英国 *自行车和步行投资战略* 的目标设定优先事项。我们认为，在土地用途和零售活动丰富的走廊，应优先资助安全、受保护的自行车停车场，以促进自行车出行。在交通流量大、对骑车人的保护措施少的走廊，显然适合建设受保护的自行车道。虽然绿化和美化城市有很多理由，但我们的研究表明，促进积极的生活方式也是一项重要的共同利益。

我们的研究还为长途自行车设施的规划和设计提供了参考，我们发现长途自行车设施对绕道处罚最为敏感。我们的研究表明，提供面向城市中心的长距离专用自行车道可以吸引人们骑自行车出行。一个很好的例子是剑桥郡公交车道上的宽阔自行车道，它将剑桥的郊区与历史悠久的核心区连接起来。另一个例子是伦敦和哥本哈根正在建设的自行车超级高速公路，将外围地区与城市中心区连接起来。我们的研究表明，这些措施对较小的城市和城镇也可能有益。



我们的研究还揭示了可能影响自行车出行的无形因素，如当地是否存在支持自行车或支持汽车的文化。不过，这些问题最好通过定性研究来解决。在这方面，对我们样本框架中的城镇进行深入的案例研究可能会有所启发。

## 致谢

这项工作得到了加州大学伯克利分校、剑桥智能基础设施与建筑中心、马丁建筑与城市研究中心以及工程与物理科学研究委员会的支持[资助编号 EP/M506485/1]。

## 参考资料

Bauman, A., Rissel, C. 2009.骑自行车与健康：积极改变的契机？ *Med.J. Aus.*109, 347-348.

Beenackers, Marielle & Foster, Sarah & Kamphuis, Carlijn & Titze, Sylvia & Divitini, Mark & Knuiman, Matthew & Lenthe, Frank & Giles-Corti, Billie. (2012)。住宅搬迁后骑自行车。《美国预防医学杂志》。42.610-5.

Ben-Akiva, M, Lerman, S. 1985. *Discrete choice analysis: theory and application to Travel Demand*.麻省理工学院出版社，马萨诸塞州剑桥。

Bergström, A., Magnusson, R. 2003.冬季将汽车出行转换为自行车出行的潜力。  
*Transportation Res. A.* 37 (8) , 649-666。

Boyce, D., Williams, H. 2015.城市出行预测，过去、现在与未来》。

Brandenburg, C., Matzarakis, A., Arnberger, A. 2004.天气对通勤和休闲自行车骑行者使用频率的影响》。《旅游气候学进展》。12, 189-197.

Broach, J., Dill, J., Glebe, Dill, J. 2012.骑车人在哪里骑车？利用揭示偏好 GPS 数据开发的路线选择模型。46(10), 1730-1740.

Buehler, R., Dill, J. 2016.自行车道网络：对自行车运动影响的综述》。 *Transport Rev.* 36(1), 9-27.

Caulfield, B., Brick, E., McCarthy, O. 2012.确定自行车基础设施偏好：都柏林案例研究。  
*Transportation Res.D. 17*(5), 413-417.

Cervero, R. 1996.Mixed land-uses and commuting: evidence from the American Housing  
Survey. *Transportation Res. A. 30*(5), 361-377.*Transportation Res. A. 30* (5) , 361-377。

Cervero, R., Duncan, M. 2003.步行、骑自行车和城市景观：来自旧金山湾区的证据。 *Am.J. Pub.Health.*93(9), 1471-77.

Cervero, R., Sarmiento, O., Jacoby, E., Gomez, L., Neiman, A. 2009.建筑环境对步行和骑自行车的影响：波哥大的经验教训。 *Internat.J. Sustainable Transportation*.3(4), 203-226.

Chatterjee, S. and Hadi, A. 2011.Regression Analysis by Example.纽约：Wiley & Sons.

de Nazelle, A., Nieuwenhuijsen, M., Antó, J., Brauer, M., Briggs, D., Braun-Fahrlander, C., Lebet, E. 2011.通过促进积极出行的政策改善健康：支持综合健康影响评估的证据综述。 *Environment International*, 37(4), 766- 777.

社区和地方政府部（DCLG），2005 年。2005 年通用土地利用数据库（GLUD）[经英国社区和地方政府部许可使用]。

交通运输部。2016.自行车和步行投资战略》。

<https://www.gov.uk/government/consultations/draft-cycling-and-walking-investment-strategy>

Dijkstra, E. 1959.关于与图形有关的两个问题的说明》， *Numerische Mathematik*, 1, 269-271.

Dill, J., Carr, T. 2003.美国主要城市的自行车通勤和设施：只要建起来，通勤者就会用。 *Transp.Res.Rec.* 1828, 116-123.

Dill, J., Voros, K. 2007.影响自行车需求的因素：俄勒冈州波特兰地区的初步调查结果。 *Transp.Rec.Rec.* 2031, 9-17.

Foursquare，2017 年。Foursquare Venue API

[<https://developer.foursquare.com/docs/venues/search>; 2017 年 10 月访问]。

Furth, P., Mekuria, M. 2013.网络连通性与低压力骑车。在华盛顿特区交通研究委员会 2013年年会上发表[<http://docs.trb.org/prp/13-0427.pdf>; 2016年8月4日访问]。

Goodman, A., Panter, J., Sharp, S., Ogilvie, D. 2013.英格兰全镇自行车行动的有效性和公平性影响：纵向自然实验对照研究》。 *社会科学与医学*》。 97, 228-237.

谷歌，2016 年。起源地目的地矩阵应用编程接口。

Online.[<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/distancematrix>; Accessed 1 2016 年 10 月]。

谷歌，2017 年。谷歌海拔应用编程接口。在线。

[<https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/start>; Accessed 1 November 2017].

- Georgiev, P., Noulas, A., Mascolo, C. 2014.商业繁荣之地：通过基于位置的服务数据预测奥运会对当地零售商的影响》。ICWSM14 论文  
[[https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/245856/ICWSM14\\_Georgiev2.pdf?sequence=1](https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/245856/ICWSM14_Georgiev2.pdf?sequence=1); 2016 年 8 月 29 日访问]。
- Heinen, E., van Wee, B., Maat, K. 2010.自行车通勤：文献综述。  
*Transp.Rev.* 30(1), 59-96。
- Hochmair, H., Zielstra, D., Neis, P. 2015.美国 OpenStreetMap 中自行车道和车道特征的完整性。  
*Transactions in GIS.*19(1), 63-81.
- Hu, F. 2008.体育活动、久坐行为与肥胖。In: Hu F, ed..*肥胖流行病学*》。纽约：牛津大学出版社，301-19：牛津大学出版社，301-19。
- Krizek, K., Johnson, P. 2006.邻近小径和零售店：对城市自行车和步行的影响。  
*J.Am.J. Am.*72(1), 33-42.
- Liu, F., & Kong, Y. 2015.zoib：贝叶斯推断贝塔回归和零/一膨胀贝塔回归的 R 包。*R 期刊》*，7（2），34-51。
- Martin, A, Goyakin, Y., Suhrcke, M. 2014.积极通勤能改善心理健康吗？来自十八波英国家庭小组调查的纵向证据》，*J. Prev.Med.*69, 296-303.
- 英国气象局（2016 年）。UKCP09：网格观测数据集。[计算机文件]。  
[<http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/science/>; 2016 年 11 月访问]。
- Moritz, W. 1998.美国成年自行车骑行者：1996 年的特征和骑行经验。*Transp.Res.Rec.* 1636, 1-7.
- Moudon, A., Lee, C., Cheadle, A., Collier, C., Johnson, D., Schmid, T., Weather, R. 2005.自行车与建筑环境，美国视角。*Transp.Res.D.* 10(3), 245-261.
- Næss, P. 2003.Urban structures and travel behaviour.挪威和丹麦的实证研究经验。*European J. Transport and Infrastructure Research* 3(2), 155-178.

Nankervis, M. 1999.天气和气候对自行车通勤的影响。 *Transp.*33(6), 417-431.

Nelson, A., Allen, D. 1997.如果你建造了它们，通勤者就会使用它们：自行车设施与自行车通勤之间的关联。 *Transp.Rec.* 1578, 79-83.*Rec.* 1578, 79-83.

Nielsen, T., Olafsson, A., Carstensen, T., Skov-Petersen, H. 2013.骑自行车的环境相关性：基于丹麦微观数据的城市形态和位置效应评估》（Environmental correlates of cycling: evaluating urban form and location effects based on Danish micro-data.*Transp.D.* 22, 40-44.*D.* 22, 40-44.

国家统计局, Office for National Statistics (2011)。英国 2011 年人口普查。特殊工作场所统计[计算机文件]。英国数据服务普查支持。[ <http://wicid.ukdataservice.ac.uk>; accessed October 2017].

国家统计局, Office for National Statistics (2015)。英国 2011 年人口普查表格[计算机文件]。[<https://www.nomisweb.co.uk>; 2015 年 10 月 1 日访问]。

OpenStreetMap 的贡献者。(2015).[计算机文件]。Overpass API。[ <http://overpass-api.de/>; 2015 年 11 月访问]。

Ortúzar, J., Iacobelli, A., Valeze, C. 2000.自行车道网络需求估算。 *Transp.Res.A*, 34 (5) , 353-373。

Ospina, R., & Ferrari, S. (2011).计算统计与数据分析期刊》。零或一膨胀贝塔回归模型总类》, 56 (6) .

Parkin, J., Wardman, M., Page, M. 2008.使用人口普查数据估算上班途中自行车出行方式的决定因素, 《交通》。35(1), 93-109.

Pucher, J., Buehler, R. 2006.为什么加拿大人骑自行车比美国人多: 骑自行车趋势和政策的比较分析》, 《交通政策》, 13 (3) , 265-279 页。政策》, 13 (3) , 265-279。

Pucher J, Buehler R. 2010.健康城市的步行和骑行。 *Built Env.*36(4), 391-414.

Pucher, J, Buehler R. 2011.让骑自行车变得不可抗拒: 荷兰、丹麦和德国的经验教训。 *Transp Reviews*, 28(4), 495-528.

Rietveld, P., Daniel, V. 2004.自行车使用的决定因素: 市政政策重要吗? *Transp.*38(7), 531-550.

Rodríguez, D., Joo, J. 2004.非机动车模式选择与当地自然环境的关系。 *Transp.Res.D:Transp.*9(2), 151-173.

Sheffi, Y. 1985. *城市交通网络: 用数学编程方法进行均衡分析*》, Prentice-Hall, Englewood

Cliffs, NJ. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Stamatakis, E, Ekelund, U, Wareham, NJ. 2007. 英格兰体育活动的时间趋势：1991-2004 年英格兰健康调查》。 *Prev Med.*, 45, 416-23。

Stinson, M., Bhat, C. 2003. 通勤骑自行车者的路线选择：使用陈述偏好调查进行分析。 *Transp. Rec. Rec.* 1828, 107-115.

Swearingen, C., Melguizo-Castro, M., Bursac, Z. Inflated Beta Regression: zero, one, and everything in between. 2012年SAS全球论坛。 论文 325.



Titze, S., Stronegger, W., Janschitz, S., Oja, P. 2008.建筑环境、社会环境和个人因素与奥地利城市居民将自行车作为交通方式的关系。《预防医学》, 47 (3), 252-259。

Wardman, M., Tight, M., Page, M. 2007.影响骑自行车上班倾向的因素。  
*Transp.*41(4), 339-350.

Winters, M., Teschke, K., Grant, M., Setton, E., Brauer, M. 2010.我们会在多远的地方出行?  
建筑环境对自行车和汽车出行路线选择的影响因素。  
《运输研究记录》。2190, 1-10.

Zacharias, J. 2005.上海四个区的非机动车交通。《Intern.Plann.Studies》, 10 (3-4), 323-340.

## 网络设计、建筑和自然环境以及自行车通勤

### 亮点

- \* 在英国城市中，自行车通勤是由一系列复杂的因素共同决定的，即使在自行车通勤率极高的城市中，也不存在单一的万能因素。
- \* 建模结果凸显了联合网络层面干预措施的重要性，例如减少线路循环和路面压力，而这些目标往往是分开实现的。
- \* 研究结果还强调了非交通方面的重要性，如通勤路线沿线的土地利用组合和景观设施，以及城市特有的自行车文化的作用。
- \* 他们还强调，通勤自行车的推广者和更广泛的城市学科之间需要更紧密的合作，以便在城市及其郊区创建低压力路线和支持性建筑环境。