



国家“十一五”规划重点图书

国家自然科学基金资助项目、教育部博士点基金资助项目

行人和自行车 交通微观仿真和应用

XINGREN HE ZIXINGCHE

JIAOTONG WEIGUAN FANGZHEN HE YINGYONG

钱大琳 李珊珊 陈小红 著



人民交通出版社

China Communications Press

国家“十一五”规划重点图书
国家自然科学基金资助项目、教育部博士点基金资助项目

行人和自行车交通微观仿真和应用

钱大琳 李珊珊 陈小红 著

人民交通出版社

前 言

随着我国城市化进程的加快,城市机动化水平快速提升,国内许多城市的交通拥堵问题日益严重。据统计,2009年北京城市快速路和主干道早高峰饱和度基本达到0.8以上。交通拥堵严重影响了社会生活秩序,引发事故率上升,加剧了环境污染,并由此造成了巨大的直接和间接经济损失,严重阻碍了我国城市社会、经济与环境的健康发展,成为公众所关注的热点问题之一。当前解决交通拥堵的措施主要有两类:一类是从长远发展着手,进行城市交通规划;另一类是从交通管理、控制、组织出发,合理而科学地引导需求、组织交通流,充分发挥既有交通资源的利用率。由于我国城市交通由机动车、非机动车和行人交通组成(具有高度混合特征),其运行特性是多要素、高密度、低速度以及动态和非线性,因而,定性、定量相结合的计算机仿真成为研究混合交通问题的有效工具之一。目前,美国、日本以及欧洲一些国家已经开发了一些成熟的交通流仿真软件,并将其商品化。但是,这些软件是基于单一的机动车流的,不能适应我国具有机动车、非机动车、行人的混合交通流,因此我国有必要大力开展混合交通流微观仿真理论和方法研究,建立适应我国混合交通特点的仿真软件。在此背景下,作者结合多年的科研经验,开展了本书的编写工作。

本书在“以人为本”的思想指导下,综合运用交通流理论、交通工程方法、计算机仿真技术等,开展了混合交通微观仿真及其应用研究。本书分析了行人和自行车交通的微观行为,侧重探讨了信号交叉口行人、自行车和机动车相互干扰机理,建立了行人和自行车微观行为模型以及多种交通之间相互干扰微观模型,提出了混合交通环境下信号交叉口服务水平的计算方法,建立了有效协调行人、自行车交通和机动车通行权的交通组织和控制模

型。在上述研究的基础上,开发了混合交通微观仿真系统。书中提出的观点、研究的成果对于建立符合我国特点的混合交通流理论体系具有一定的探索性和创新性。

全书共分七章,由钱大琳总体设计,并参与编写。另外,冯雪参与第一章的编写,李珊珊、唐勃勃和刘红元参与第二、三、四章的编写,张敏敏、钮志强、陈小红参与第五章的编写,陈小红、石冬花参与第六章的编写,李珊珊、王九州、杨晓东参与第七章的编写,田国亮也参加了本书的研究工作。

本书所研究的内容得到了多年来大力支持开展混合交通领域研究的国家自然科学基金委员会管理学部冯芷艳处长以及北京交通大学张国伍教授、高自友教授和邵春福教授的认可与鼓励,本书在编写过程中得到了人民交通出版社薛民、张一梅两位编辑的帮助与支持,在此向他们一并表示诚挚的谢意!本书受到国家自然科学基金项目(70672023、70972041)、教育部博士点基金项目(20100009110010)及创新研究基金项目(2011YJS246)的资助,在此表示感谢!

行人和自行车交通流微观仿真涉及内容极其广泛、复杂,由于作者水平有限,有些研究结果还需要进一步修改、完善,真诚希望读者提出宝贵意见。

作 者

2011年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 国内外行人交通发展	1
第二节 国内外自行车交通发展	10
第三节 微观交通仿真的作用和发展	20
第二章 行人及自行车交通微观行为研究综述	27
第一节 基本概念界定	27
第二节 国内外行人交通微观行为研究综述	39
第三节 国内外自行车交通微观行为研究综述	46
第三章 行人及其与机动车相互干扰微观模型研究	54
第一节 基于社会力的交叉口行人模型	54
第二节 人机干扰微观行为分析	65
第三节 人机干扰微观行为模型研究	72
第四章 自行车与机动车相互干扰微观模型研究	80
第一节 神经网络	80
第二节 机非干扰微观行为分析	85
第三节 机非干扰微观行为模型研究	90
第四节 机非干扰对混合交通流特性的影响分析	95
第五章 信号交叉口机动车和行人服务水平研究	102
第一节 基本理论	102
第二节 信号交叉口服务水平研究综述	115
第三节 混合交通环境下信号交叉口机动车服务 水平计算方法研究	123
第四节 信号交叉口行人交通服务水平研究	133

第六章 混合交通环境下信号交叉口控制及协调问题	
研究	140
第一节 基本理论	140
第二节 国内外研究综述	153
第三节 混合交通环境下交叉口信号控制优化模式	
研究	163
第四节 与路段行人过街信号相协调交叉口信号控制	
研究	187
第七章 INSSIM 仿真系统及其应用	200
第一节 微观仿真基础	200
第二节 INSSIM 仿真系统分析	230
第三节 INSSIM 仿真系统设计及实施	240
第四节 INSSIM 仿真系统应用	263
参考文献	271

第一章 绪 论

本章分析了国内外行人、自行车交通的发展历程,总结了国内外的行人、自行车交通所经历的由盛到衰、由衰再到盛的螺旋式发展规律,继而又分析了混合交通微观仿真的定义、作用,从微观交通建模理论与方法、计算机硬件技术两个方面,提出了微观交通仿真的发展趋势。

第一节 国内外行人交通发展

行人交通(步行)是居民出行主要的交通方式之一,具有出行距离短、准时性高、机动灵活等特点,在上学、通勤、游览、购物等出行方面发挥着重要的作用。当前步行的功能得到了扩展,步行不仅是居民的出行方式,而且还成为人们休闲健身的一种活动。

纵观行人交通的发展,世界各国城市大多经历了螺旋式变化,即由古代至近代的以步行为主的阶段,发展到现代的以机动化出行为主的阶段,再发展到以轨道交通、机动车交通为主,行人交通、自行车交通等为辅的综合交通协调发展阶段。

一、美国行人交通发展

美利坚合众国(United States of America)是一个由五十个州和一个联邦直辖特区组成的宪政联邦共和制国家。美国人口总量超过三亿人,是世界上人口仅次于中国、印度的人口第三大国。

19世纪中期至20世纪初,工业革命的发展使美国大量人口

向城市聚集,一批批工业城市如雨后春笋般涌现出来。由于当时城市交通十分落后,可选择的出行方式单一,市民主要的通勤方式是步行。例如,当时美国费城约有 80% 以上的市民步行上班,所以美国城市当时又被称为“行人城市”。

从 20 世纪初开始,随着汽车工业的迅速发展,城市进程的加快,美国的出行方式发生了革命性的变化。特别是第二次世界大战以后,美国大城市的私人轿车拥有量持续增加,人们的出行以机动车为主。受到“车本位”思想的影响,交通政策忽视行人交通的发展,一些新建城市道路忽略了行人交通的基础设施建设,行人出行量急剧减少。

20 世纪 70 年代后,世界范围的能源危机使得人们越来越关注能源与生态环境问题,城市交通规划的理念也发生了转变,开始提倡公共交通,重视行人、自行车等慢行交通的发展。例如,纽约市交通局为有效鼓励未成年人上学采用步行的方式,从 1999 年开始每年 10 月初,围绕“国际步行上学周”活动进行“如此步行”的引导教育工作,为促进居民尤其是未成年人出行奠定了良好的基础。行人交通已作为短距离出行的主要方式和公共交通出行的一种延伸。

美国联邦运输部在《2000 ~ 2005 年美国交通运输战略规划》中明确提出交通运输的战略目标包括实现运输安全与畅通、经济增长、人与环境相和谐以及确保国家安全,提出要推动对环境有利的交通方案,大力发展行人、自行车和公共交通。

下面介绍美国纽约市、华盛顿哥伦比亚特区的行人交通的发展。

1. 纽约市

纽约市位于美国东北海岸,是美国的经济与金融中心,是毗邻大西洋的天然良港城市,也是世界最著名的国际化大都市。该市市区面积 $8\,683.2\text{km}^2$,截至 2009 年该市市区人口数超过 840 万人,是美国人口最为密集的城市。

纽约作为世界著名的大都市,其工业与商业企业相对集中的城市布局以及中央商业区由周边住宅区所环绕的城市规划形式,

使其交通流量十分庞大。不只是城市内部,纽约州其他地区、新泽西州、康涅狄格州与纽约市之间有着大量的通勤上班族,具有非常大的交通需求。这使得纽约拥有全美最为发达的公共交通系统。图 1-1 为 2006 年纽约市城市交通出行方式比例划分。由图可知,纽约市公共交通出行比例很高,为 57%,步行比例也不低,为 10%。纽约市客运交通以公共交通为主,行人交通则作为公共交通的补充与接驳。

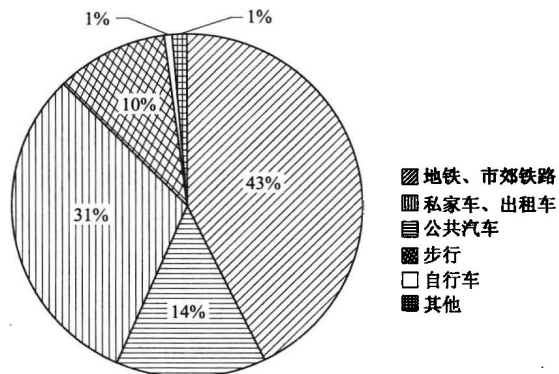


图 1-1 2006 年纽约市城市交通出行方式比例划分(出行人数为 3 597 547 人)

数据来源:2006 年美国社区调查(ACS)

纽约市行人交通政策的目标是保证行人交通安全,维护行人的合法权益,加强行人出行的舒适性,提高行人出行比率。为实现上述总体目标,纽约市政府与交通管理部门共同行动,努力提高行人交通的地位。

在纽约市,机动车避让行人、行人优先等已被明确立法,同时也深入存在于人们的意识和行为中。纽约市的综合交通规则体系突出体现了“行人利益高于一切”的原则。法律规定,行人只要在人行横道过马路时,一切机动车辆应当减速或停下,给予行人道路通行权。一旦发生交通事故,法律倾向于维护行人的权利。上述法律法规的确立能够有效明确权责,充分改善机动车驾驶员在正常行驶时对行人注意度较差的情况,保证了行人的出行条

件,进而使行人的出行活动在充分受到保护的前提下,得到了一定的促进。

2. 华盛顿哥伦比亚特区

华盛顿哥伦比亚特区作为美国的首都,位于美国的东北部,靠近弗吉尼亚州和马里兰州,其市区面积为 178km^2 ,人口数约为 57 万人。华盛顿哥伦比亚特区的城市布局最初由 Pierre L'Enfant 于 1791 年设计。其设计初衷是建造一个以行人交通为导向的城市,形成以干道从城市中心向外辐射,辅以网格状道路网络的城市布局。

时至今日,这种设计理念基本得以保留与使用,致使华盛顿哥伦比亚特区的部分地区仍作为最适宜行人出行的区域而享誉世界。网格状的路网分布为沿线行人提供了良好的道路条件,而沿主干道分布的多数商业区也十分适宜行人出行。华盛顿哥伦比亚特区的道路网布局的特点、巨大的通勤交通与旅游交通量、城市土地混合使用的模式为一个行人城市的繁荣奠定了基础。图 1-2 为 2006 年华盛顿哥伦比亚特区城市交通出行方式比例划分。从图中可以看出,出行结构中步行占 13%,这个数字是美国全国平均水平的近两倍,行人交通目前成为华盛顿哥伦比亚特区短距离出行的主要方式。

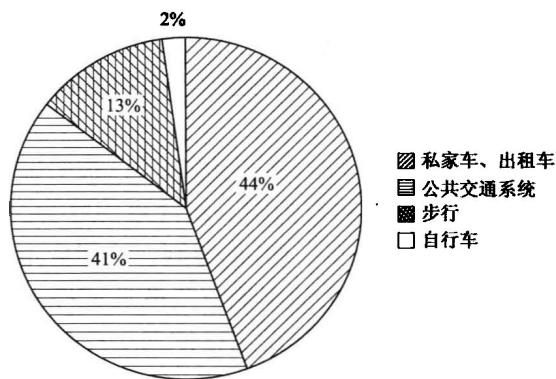


图 1-2 2006 年华盛顿哥伦比亚特区城市交通出行方式比例划分

华盛顿哥伦比亚特区交通运输部门一直致力于采取各种措施使城市更加适于行人出行。其总体目标是:使华盛顿哥伦比亚特区更加安全,更加便于行人出行。

最近的一项行人交通促进计划——“行人总体发展计划”,于2008年5月出台,该计划为期10年,总投资达1 800万美元。该计划包括提高无信号交叉路口行人过街的安全性、继续增加人行道的数量与长度、不断改善公共汽车进出站台的方式等,以促进华盛顿哥伦比亚特区交通目标的实现。

二、韩国行人交通发展

韩国国土面积为9.96万 km^2 ,境内多山,人口总量约5 000万人,主要分布于沿江河的平原地带以及沿海地区,其中约有1 000万人居住在首尔市,加上仁川和京畿道的1 000万人口,全国有2/5的人口居住在首尔首都圈内。

首尔市城区面积达605.77 km^2 ,是世界上规模仅次于日本首都圈的第二大首都圈。首尔早在工业化之前就已形成较大规模的中心商务区,在远离中心商务区的城市边缘地带形成了规模巨大的综合居住区。目前,首尔市市区的人口和建筑密度几乎处于饱和状态,加上长期发展机动车交通,首尔市面临着严重的交通拥堵与停车场地不足的问题。

随着城市交通的不断发展,“以人为本”的可持续交通发展理念不断得到广泛的认可和重视,行人交通开始为政府和舆论所关注,人们开始放弃了持续数十年的“以车为本”的道路规划建设理念,重新重视起最基本的行人交通,“人车共存”的道路设计理念得到了普遍认可与推广。

1998年,根据1997年的法令,首尔城市发展研究院编制了第一个《首尔行人环境改善总体规划》。1999年,开始实施《易于行人出行的首尔规划》。该规划实施十几年来,首尔市恢复、新建了

许多人行横道,拓宽了以往较窄的道路,行人出行环境得到了极大的改善,行人出行比例逐年上升,由 1999 年的 8.6% 上升到 2011 年的 10.0%,见表 1-1。

首尔市各种交通方式出行比例表(单位:%) 表 1-1

年份(年) 出行方式	1999	2000	2002	2011
地铁	33.8	35.3	37.8	48.5
公共汽车	28.8	28.3	26.8	19.5
出租车	9.2	8.8	8.0	5.0
私家车	19.6	19.1	18.4	17.0
其他(行人、自行车)	8.6	8.5	9.0	10.0
合计	100	100	100	100

在首尔,行人交通成为有效解决公共交通最后 1 公里出行问题、实现其他交通形态接驳过程的主要交通方式。

三、我国行人交通发展

我国是发展中国家,长期以来行人交通占居民出行方式的比例一直较大,虽然在 20 世纪 90 年代有所降低,但国内各个城市的行人交通占有率始终都在 20% 以上。

新中国成立初期,我国城市交通出行方式单一,机动化交通工具的数量与承载力有限,人们出行主要方式是行人交通与自行车交通,行人交通几乎占 30% ~ 50% 的比例。

20 世纪 90 年代后,汽车等现代交通工具的广泛应用为人流和物流提供了极大的便利,行人交通的比例有所下降。以上海市为例,据统计,1986 年至 2007 年的 20 多年间,上海市行人交通量占出行总量的比重已由 41.3% 下降至 28.8%。行人交通没有得到应有的重视,存在行人出行环境差、安全得不到保障等一系列问题。

2002年《上海市城市交通发展白皮书》的出台,在国内第一次明确提出要重视包括行人、自行车等方式在内的慢行交通。继而,全国许多城市开始考虑交通的可持续发展问题,重新确定“综合交通协调发展”背景下的交通发展战略和适合城市居民的健康的生活和出行方式,在行人交通方面开展了大量工作。

(1)编制行人交通规划。随着我国经济与城市建设的高速发展,部分城市逐渐重视和提倡行人交通,并在城市交通规划中将行人、自行车等慢行交通列入优先发展级别。一些大城市(如上海、广州等)开始将行人空间的系统化建设列入城市中心区总体规划或综合交通规划中,使行人系统成为中心区公共空间、环境系统建设的重要组成部分,并将其作为重要的调节手段来缓解中心区日益增强的交通矛盾。目前,在一些比较发达的大城市的中心区内,已经存在结合区域整体规划,建构一体化行人系统的发展态势和外部条件,并在建设实践中取得了初步的成果,如上海静安寺地区的行人系统、上海豫园旅游商业行人区、北京西单商业文化中心区等。

(2)加强行人交通基础设施建设。通过长时间的不断努力,我国大城市主要干道的人行道基本建成,平整的人行道铺装及良好的绿化,为行人创造了安全舒适的行人交通环境。近几年,行人街逐渐受到人们的青睐,各地纷纷结合旧城开发与改造更新,环境整治与形象塑造,历史建筑保护与文化复兴,交通改善与商贸发展等活动大力发展行人商业街和行人广场的规划设计和建设工作,使得行人的出行活动与人们的生产生活有效地结合起来。

(3)提倡行人交通活动。近些年,发展绿色交通的理念逐渐深入人心。2006年12月,建设部^①向全国城市发出了开展“中国城市公共交通周及无车日活动”的倡议,倡议在每年的9月16至22日开展公共交通周活动,并规定每年的9月22日为“无车日”。

^①现为住房和城乡建设部。全书同。

活动期间,相关部门会采取多种形式宣传倡导绿色交通理念,号召市民尽可能选用行人、自行车、公共交通等绿色交通方式出行,减少对轿车的使用和依赖。

下面简要介绍我国上海、北京的行人交通发展。

1. 上海市

上海市面积约为 $6\,340.5\text{km}^2$,常住人口逾 1 900 万人。作为国际化的大都市之一,上海市目前正致力于建设成为国际金融中心、航运中心、贸易中心和经济中心。

然而,与国内其他城市发展相类似,随着机动车快速发展,上海市行人交通不断下降,出行比例由 1986 年的 41.3% 减少到 2007 年的 28.8%,见图 1-3。

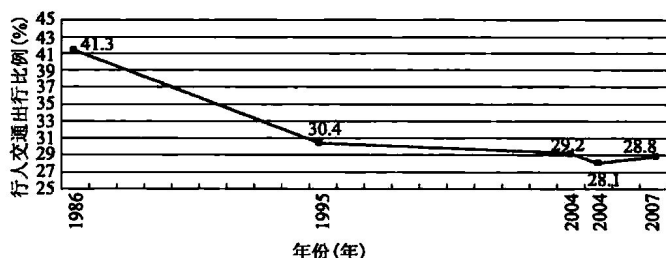


图 1-3 上海市行人交通出行比例变化图

为了改变上述局面,上海市政府提出了相应的政策。2002 年,颁发了首部《上海市城市交通发展白皮书》(以下简称《白皮书》)。《白皮书》以满足市民出行需求为根本出发点,在交通建设、运营、管理等方面坚持“以人为本”的理念,重视行人交通的特殊地位,将行人系统作为一体化交通体系中一个重要的组成部分加以完善。《白皮书》指出:

(1) 保障公交优先通行,充分重视慢行交通的道路运行系统,发挥慢行交通短距离出行和接驳公交的功能●。

●这里的慢行交通,是相对于快速和高速交通而言的,有时也称为非机动车交通。一般情况,慢行交通是指出行速度不大于 15km/h 的交通方式。

(2) 提高低等级道路的系统性和可达性,保持慢行交通网络的完整、连续和安全,逐步形成功能完善、覆盖面广的低等级道路系统,为市民生活提供最直接的服务,为慢行交通创造良好的通行条件。

(3) 保障残疾人等弱势群体的出行需求。

为配合上海市城市交通规划,响应慢行交通发展相关政策,截至 2008 年,上海市在中心城区初步规划了包括支路等低等级道路以及特色街、行人街等 406 条慢行交通道路,总长度 399km。其中,休闲步道 55 条,长度为 62km,生活步道 351 条,长度为 337km。这些道路为行人交通提供了更加安全、舒适、便捷的环境。

此外,上海市政府积极推行“中心城宁静行人系统”政策。

随着“以人为本”的交通理念的推广,上海市较为系统地对行人交通进行了规划,其基础设施建设也取得了较大发展。2007 年,编制了《上海市中心城慢行交通系统规划》,颁布了《上海市城市干道行人过街设施规划设计导则》,并于同年 12 月实施。

2. 北京市

北京市作为我国首都,是全国政治、经济和文化中心。全市面积 16 410.54km²,其中市区面积 1 368.32km²。截至 2010 年,全市常住人口约 2 200 万人,人口密度 1 341 人/km²。

北京市行人交通发展与国内行人交通发展的总趋势一致,也经历了在 20 世纪 90 年代下降,之后在 21 世纪逐步受到重视的过程。表 1-2 为 2006 年北京市各交通方式出行占全天出行的百分比。

2006 年北京市各交通方式出行占全天出行的百分比 表 1-2

交通方式	轿车	出租车	摩托车	地铁	公交车	班车	自行车	其他	行人	总计
数量(次)	4 180	177	113	499	3 017	361	4 246	159	4 666	17 418
百分比(%)	24.00	1.02	0.65	2.86	17.32	2.07	24.38	0.91	26.79	100.00

相对上海市 2001 年开始明确行人交通地位,北京市是在 2005 年通过的《北京城市总体规划(2004 年—2020 年)》(以下简称《总体规划》)中第一次明确了行人交通在城市交通体系中的功能和地位。

《总体规划》明确提出了北京提倡行人交通发展方针,同时第一次表明了北京市行人交通发展政策:行人交通在未来城市交通体系中仍是主要交通方式之一。提倡行人交通,实行行人优先,为包括交通弱势群体在内的行人创造安全、便捷和舒适的交通环境。《总体规划》强调编制城市行人交通规划,并纳入城市综合交通规划。在具体的规划、建设和政策法规制订中,为保证行人过街的方便,应保证步行道的有效宽度,中心城内行人过街设施以平面形式为主,立体方式为辅,改善公共交通的换乘环境。

2009 年,北京市政府出台了《北京市建设人文交通科技交通绿色交通行动计划(2009 年—2015 年)》,强调着力推进“公交城市”建设,推进以轨道交通为骨干、地面公交为主体、行人和自行车等多种交通方式协调运转的绿色出行系统建设,将行人交通作为绿色交通的组成部分,成为长距离出行的轨道交通和其他公共交通方式的有力补充。

第二节 国内外自行车交通发展

基于自行车灵活方便、更容易实现“门到门”的交通出行、经济实用、无污染、能耗小等优点,将自行车作为短距离出行(1~3 公里)的交通工具及接驳工具显得十分有效。

目前,世界上许多国家的自行车交通已成为居民的出行方式之一。图 1-4 表示了欧美一些国家和地区的自行车出行比例。

图 1-4 数据显示,丹麦、荷兰自行车交通占有率最高,分别为 18%、28%,远远高于其他国家。

从自行车交通所处的地位看,自行车交通主要分为三种类型:

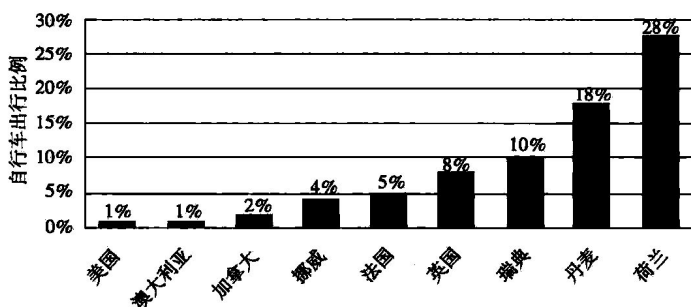


图 1-4 相关国家自行车出行比例

资料来源:美国全国家庭出行调查(2001);澳大利亚国家统计局(2007);经济合作与发展组织(2005);欧盟(2003)

(1) 自行车交通作为居民主要的出行方式,其客运量占有很高比例,如荷兰的阿姆斯特丹、我国的天津等城市的出行。

(2) 自行车交通作为公共交通的延伸,处于辅助地位,如美国的华盛顿哥伦比亚特区,我国的北京、上海等城市的出行。

(3) 自行车只是休闲健身工具,不作为主要出行交通工具,如美国的一些城市,我国的大连、重庆等城市的出行。

下面分别介绍荷兰、美国和我国的自行车交通状况。

一、荷兰自行车交通发展

荷兰地势平坦,城市规模小,70%以上的出行距离小于7.5km,是自行车出行的“天堂”。当前,荷兰自行车拥有量为1500万~1600万辆,平均每人拥有一辆多自行车,不同社会阶层和收入的人都骑自行车,因而荷兰又被称为西方世界的“自行车王国”。

荷兰的自行车交通历史悠久,但是也经历了一个从兴起到被忽视,随后到重视,进而发展为鼓励的过程。

1. 第一阶段:1890年至1950年底,自行车交通兴起阶段

早在1890年,荷兰就建设了世界上第一条自行车专用道路。