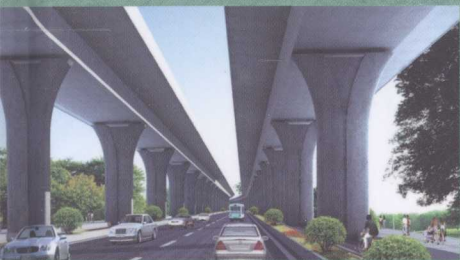


STUDY OF EXPRESSWAY
FOR SMALL PASSENGER VEHICLES



轻型高速公路 理论与探索

周海涛 等 著



人民交通出版社
China Communications Press

目 录

轻型高速公路理论与探索

周海涛 等 著

人民交通出版社

内 容 提 要

未来十年或更长一段时期,公路客货运输和民用汽车保有量将继续呈现稳步增长的趋势,小客车保有量增长更快。而我国高速公路主要通行能力不足的矛盾依然突出,特别是在一些土地资源紧张、小客车交通量比例高的地区,新建或改扩建轻型高速公路(或车道)作为小客车专用通道不失为一个有价值的比选方案。

本书作者及其团队通过近十年的研究,在“轻型高速公路技术指标前期研究”、“轻型高速公路节地关键技术研究”的基础上编写完成本书。本书系统地介绍了轻型高速公路的主要技术指标,希望能为建设轻型高速公路提供帮助,实现轻型高速公路理论成果到实际应用的转化,从而形成具有中国特色的、原创的技术体系,为完善高速公路技术体系作出贡献。

本书可供从事高速公路规划、设计工作的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

轻型高速公路理论与探索/周海涛等著. —北京:
人民交通出版社,2013. 2

ISBN 978-7-114-10338-4

I. ①轻… II. ①周 III. ①高速公路—研究 IV.
①U412. 36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 017172 号

书 名: 轻型高速公路理论与探索

著 作 者: 周海涛 等

责任编辑: 周 宇

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 17

字 数: 245 千

版 次: 2013 年 2 月 第 1 版

印 次: 2013 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10338-4

定 价: 48.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

过去十多年,我国高速公路交通量中的小客车比例呈逐年增长态势。2009年,小客车交通量平均比例超过50%,个别路段超过90%。随着国民经济的持续稳定发展,小客车保有量不断增加,这一态势在今后一段时期内将逐步加强。与此同时,我们常常在高速公路上见到速度较慢的大货车之间相互超车,长时间占用超车道,造成速度较快的小客车在后面慢速跟随等待超车,影响了高速公路的通行效率。这些情况是研究轻型高速公路(小客车专用高速公路)最初的动因。后来通过初步研究发现,大货车、小客车等混行的高速公路,不仅通行效率有所降低,而且对于小客车来说,3.75m的行车道宽度、100kN的路面设计荷载、550kN的桥梁设计荷载等技术指标都相对富余了。从资源节约、环境友好的角度来看,还有很多改进的空间。因此,我们坚定了研究轻型高速公路的想法。

2002年,我和中交公路规划设计院的同事在跟踪日本有关信息的同时进行了初步研究。2006年,在交通部西部交通建设科技项目管理中心大力支持下,我在中交公路规划设计院组成了研究团队,开展了“轻型高速公路技术指标前期研究”工作。2008年初研究成果通过鉴定和验收。研究成果表明,轻型高速公路技术指标与现行《公路工程技术标准》(JTGB01—2003)相比均有较大变化。经一个工程项目试设计比较,在100km/h设计速度时,长度21km的四车道高速公路项目减少用地94.5亩(1亩=666.6m²),减少比例为4.6%;减少总投资约6095万元,减少比例为9.5%。因此,验收组专家一致建议项目研究要继续深入下去,在前期研究的基础上,争取达到可应用的水平,以

发挥轻型高速公路的重大效益。

2009年,在交通运输部西部交通建设科技项目管理中心的大力支持下,我再次与中交公路规划设计院有限公司、北京工业大学和吉林省交通规划设计研究院等单位组成研究团队,开展了“轻型高速公路节地关键技术研究”工作,并于2011年6月通过了项目鉴定和验收。本次研究取得的主要成果包括:提出了轻型高速公路的定义;提出了轻型高速公路的主要技术指标体系;提出了轻型高速公路基本通行能力参考值;提出了小客车动力特性图;发展了小客车行驶仿真模拟手段等,为编制本书和推广轻型高速公路奠定了理论基础。研究成果获得2011年度中国公路学会科技进步一等奖。

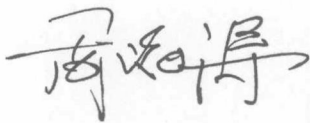
未来十年或更长一段时期,伴随着我国新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化的深入推进,公路客、货运输和民用汽车保有量将继续呈现稳步增长的态势,小客车保有量增长更快。因此,我国高速公路主要通道能力不足的矛盾依然突出,建设需求依然旺盛。这其中,既包括高速公路网的加密、完善,也包括既有高速公路的拓宽、改建等。因此,在一些土地资源紧张、小客车交通量比例高的地区,如长三角、珠三角、京津冀等区域新建、改建高速公路时,既有高速公路留给大货车等使用,新建或改扩建轻型高速公路(或车道)作为小客车专用通道不失为一个有价值的比选方案。

本书系统地介绍了轻型高速公路的主要技术指标。希望能为建设轻型高速公路提供帮助,也希望能通过示范工程的实施,实现轻型高速公路理论成果到实际应用的转化,并在适当的时候纳入行业技术标准,从而形成具有中国特色的、原创的技术体系,为完善高速公路技术体系作出贡献。

参与本书撰写的人员有:第1章,周海涛、王晓良、赵君黎、李文杰;第2章,吴玉涛、马栋栋、郭宏伟;第3章,周育峰;第4章,周占宇;

第5章,杨学良;第6章,冯芑、李文杰;第7章,刘洪洲、张志刚;第8章,林国涛、李健华;第9章,陈丽红、周侗;第10章,胡江碧;第11章,胡珊、刘文涛、柳俊杰。全书由周海涛构思、编排,由周海涛、王晓良审定。此外,刘晓娣、付佳伟、李洪印、李晓刚、曾邵武、李会驰、王仕杰、张志刚、朴忠源、李安、王维利、张寿然、胡金平、黄俊、王勇等同志也参加了部分研究工作。

此书撰写、出版工作得到了部领导、部西部交通建设科技项目管理中心和中交公路规划设计院有限公司的帮助和支持,研究过程中得到了多位前辈、专家的关心和指导,在此一并表示衷心的感谢。



2012年12月于北京

周海涛,黑龙江哈尔滨人,1954年11月生。1982年获同济大学公路与城市道路专业学士学位;2007年获得美国得州大学阿灵顿分校与北京科技大学联合培养的高级工商管理硕士学位。现任交通运输部总工程师,专家委员会主任,北京市第十四届人民代表大会代表,中国公路学会副理事长,中国土木工程学会副秘书长,茅以升科技教育基金会副主任,教授级高级工程师,获1996年国务院颁发的政府特殊津贴。

周海涛同志先后主持完成了交通部《国道主干线系统规划》、《公路网规划编制方法》等规划研究项目,主持了交通部《全国交通系统三十年公路网规划培训教材》的编写及培训工作;主持完成了港珠澳大桥等多个重大工程建设项目的可行性研究,参与完成了杭州湾大桥等多座大桥的设计工作;主持研究编写了交通部《公路项目安全性评价指南》;主持了交通运输部轻型高速公路等重要科研项目。

目 录

1 绪论	1
1.1 轻型高速公路定义	1
1.2 轻型高速公路概念的形成	1
1.3 轻型高速公路主要技术指标	6
1.4 轻型高速公路经济社会效益	7
1.5 轻型高速公路的应用前景	8
本章参考文献	9
2 轻型高速公路通行能力	10
2.1 道路通行能力基本理论及研究方法	10
2.2 轻型高速公路通行能力实证研究	17
2.3 轻型高速公路通行能力仿真研究	39
2.4 轻型高速公路通行能力驾驶模拟试验验证	43
2.5 轻型高速公路通行能力	46
2.6 轻型高速公路适应交通量	47
本章参考文献	48
3 轻型高速公路坡度与坡长	50
3.1 汽车行驶阻力	50
3.2 汽车驱动力	54
3.3 汽车动力性能	58
3.4 最大纵坡	64
3.5 坡长限制	66
3.6 纵坡仿真验证	70
本章参考文献	72

4 轻型高速公路路基横断面宽度	73
4.1 路基横断面组成要素及主要影响因素.....	73
4.2 路基横断面宽度研究方法.....	77
4.3 横断面宽度组成要素.....	82
4.4 驾驶模拟仿真试验验证.....	99
4.5 路基横断面宽度	100
本章参考文献.....	102
5 轻型高速公路路面	103
5.1 路面设计轴载	105
5.2 路面结构的设计指标	119
5.3 路面结构组合设计	126
本章参考文献.....	129
6 轻型高速公路桥梁	132
6.1 桥梁设计控制因素	132
6.2 荷载标准研究	132
6.3 对典型跨径桥梁梁高的影响	149
本章参考文献.....	156
7 轻型高速公路隧道	158
7.1 国内外小型车专用隧道实例	158
7.2 轻型高速公路隧道设计速度	162
7.3 轻型高速公路隧道建筑限界与横断面	168
本章参考文献.....	176
8 轻型高速公路互通式立体交叉	178
8.1 主线技术指标	178
8.2 匝道技术指标	181
本章参考文献.....	195
9 轻型高速公路服务区	196
9.1 服务对象	196

9.2 服务区驶入率	197
9.3 服务区间距	200
9.4 服务区规模	203
9.5 轻型高速公路服务区的设置与规模	208
本章参考文献	208
10 轻型高速公路仿真模拟理论与方法	209
10.1 高速公路仿真模拟技术	209
10.2 高速公路评价理论与方法	222
10.3 轻型高速公路仿真模拟评价	232
本章参考文献	246
11 轻型高速公路设计对比	248
11.1 对比设计案例一	248
11.2 对比设计案例二	252
索引	261

1 绪 论

1.1 轻型高速公路定义

轻型高速公路为专供小客车分向、分车道行驶并全部控制出入的多车道公路^[1]。代表车型为现行《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)中规定的小客车^[2]。

1.2 轻型高速公路概念的形成

1.2.1 我国高速公路通车里程增长很快

我国高速公路研究始于 20 世纪 70 年代末,起步建设于 80 年代中期,全面建设于 90 年代,加速建设于 21 世纪初期。1988 年 10 月 31 日,上海至嘉定高速公路的通车,标志着我国大陆高速公路零的突破。“七五”期间(1986~1990 年),建成以沈大高速公路、京津塘高速公路为代表的一批高速公路达 522km。“八五”期间(1991~1995 年),建成高速公路 1 600 多 km。“九五”期间(1996~2000 年),建成高速公路 14 000 多公里。“十五”期间(2001~2005 年),建成高速公路 24 000 多公里。1999 年高速公路里程突破 1 万 km,2002 年突破 2 万 km,2004 年突破 3 万 km,2005 年突破 4 万 km,2007 年突破 5 万 km,2008 年突破 6 万 km。从零起步到 1 万 km,只用了不到 12 年时间;从 1 万~6 万 km,只用了短短 9 年,高速公路的发展速度举世瞩目。全国高速公路里程发展趋势如图 1-1 所示。图 1-2 为 2006~2011 年全国高速公路里程图。

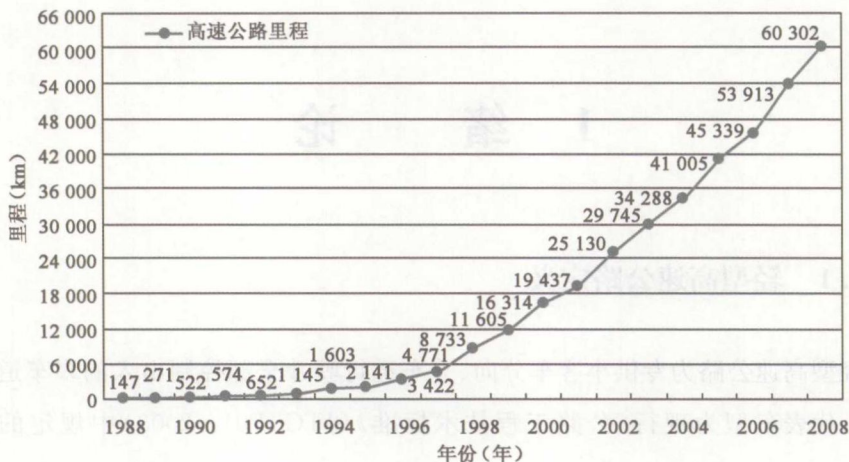


图 1-1 全国高速公路里程发展趋势图

2008 年国际金融危机发生后,我国加大了公路等基础设施的投资力度,使得高速公路建设再现高潮,2009 年达到 6.51 万 km,2011 年达到 7.41 万 km,2012 年达到 9.6 万 km。中国高速公路通车里程已跃居世界第二,仅次于美国^[3]。



图 1-2 2006~2011 年全国高速公路里程图

高速公路的发展带动了区域经济、社会的发展,缩小了区域差距,为促进全国经济平稳较快增长、改善民生、增加就业、提高综合国力作出了重要贡献。未

来十年或更长一段时期,随着我国经济、社会的稳步发展,公路基础设施建设还将继续保持增长趋势。《交通运输“十二五”发展规划》^[4]指出,到“十二五”期末,国家高速公路总里程将达到 10.8 万 km。此外,20 世纪 90 年代建成通车的既有高速公路也面临着进一步扩容改造。

然而,我国人多地少是基本国情。人均占有土地面积约为 12 亩(1 亩 = 666.6m²),不到世界人均水平的 1/3。因此,近年来,随着我国土地资源的压力日益加大,公路用地矛盾也日益突出,征迁成本也日益增加,已成为当前我国高速公路发展的主要瓶颈之一。图 1-3 为国土资源部统计的我国 2011 年批准的单独选址建设用地结构,其中交通运输用地所占比例接近六成^[5]。

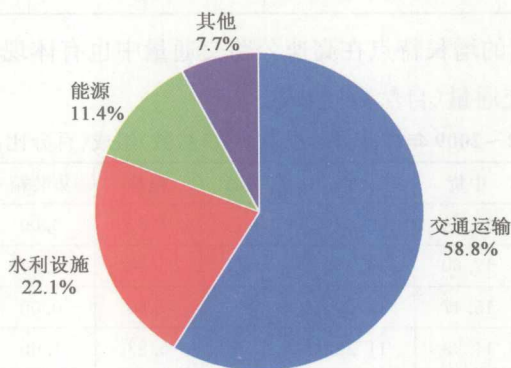


图 1-3 2011 年批准的单独选址建设用地结构

因此,如何有效利用建设用地,使既有高速公路通行能力能够发挥更大作用,使新改建高速公路能够更加节约用地,是今后一段时期高速公路建设面临的重大问题之一。

1.2.2 小客车交通量比重逐年上升

随着我国汽车工业的迅速发展,居民收入水平不断提高,民用汽车保有量逐年增加。表 1-1 为国家统计局发布的 2002~2010 年民用汽车保有量及其组成。其中,小客车保有量及所占比例增长速度很快。2010 年小客车保有量占民用汽车保有总量的比例已达 75.13%^[6]。未来一段时期内,这一数字还将保持增长。

国家民用小型车辆保有量资料(单位:万 veh)

表 1-1

年份(年)	民用汽车保有总量	小客车保有量	小客车比例
2002	2 053.17	1 022.08	49.78%
2003	2 382.93	1 287.09	54.01%
2004	2 693.71	1 533.31	56.92%
2005	3 159.66	1 918.67	60.72%
2006	3 697.35	2 395.23	64.78%
2007	4 358.36	2 961.65	67.95%
2008	5 099.61	3 595.34	70.50%
2009	6 280.61	4 591.34	73.10%
2010	7 801.83	5 861.61	75.13%

小客车保有量的增长特点在高速公路交通量中也有体现。表 1-2 为 2002~2009 年高速公路交通量(自然数)组成。

2002~2009 年高速公路交通量(自然数)组成(百分比:%)

表 1-2

年份(年)	小货	中货	大货	特大货	拖挂	集装箱	小客	大客
2002	12.94	18.04	12.67	0	4.03	0.00	40.70	11.63
2003	10.84	17.60	14.56	0	5.20	0.00	40.57	11.23
2004	12.14	15.47	12.80	0	7.80	0.00	40.87	10.92
2005	12.28	14.93	11.22	1.65	5.83	1.60	42.91	9.58
2006	10.40	13.52	10.10	3.70	5.85	2.56	47.01	7.86
2007	9.67	11.56	9.433	3.95	6.77	2.27	47.81	8.54
2008	10.23	10.44	8.99	3.23	7.68	2.57	48.61	8.25
2009	8.42	8.85	7.18	5.06	6.96	2.22	53.94	7.37



图 1-4 高速公路拥堵

由表 1-2 中数据可见,在高速公路交通量(自然数)组成中,小客车所占比例逐年提高。2009 年小客车交通量比例已达到 53.94%。值得指出的是,表中的数据为全国高速公路的平均情况。在部分特殊路段上小客车比例会更高。如首都机场高速路已达 90% 以上。此外,近年来,在节假日期间,公众自驾车出行需求很

大,小客车比例也很大。据交通运输部统计,2012年“中秋、国庆”期间,全国收费公路交通流量累计为2.39亿辆次,其中小客车交通流量为1.89亿辆次,占总交通流量的79.1%(图1-4)。

因此,今后一段时期,我国高速公路新改建时要充分注意小客车交通量增长较快的特点。

1.2.3 小客车与货车技术性能比较

目前,我国高速公路技术指标是以小客车、货车等为依据混合制订的。其中,通行能力标准按照当量小客车计算;路面设计荷载以轴载100kN货车为标准;桥梁设计荷载以550kN单车货车为标准;行车道宽度3.75m以标准货车为依据等。显然,对车辆特性而言,小客车与货车存在很大的差异。

(1)车辆几何尺寸不同。小客车宽度为1.8m左右,大货车宽度在2.4m左右。宽度差异使两者对行车道宽度的要求不同。

(2)车辆载质量差异很大。小客车质量大多在2t以内,而标准货车质量在10t以上,规范规定的总质量最大为55t。质量差异使得两者对路面和桥梁设计荷载标准的要求不同。

(3)车辆动力性能差异很大。小客车重能比为40.8马力/t(1马力=735.5W),而标准货车重能比仅为12.9马力/t。动力性能的差异使两者对公路最大纵坡和最小坡长的要求不同。另外,由于小客车与大货车之间较大的运行速度差异,造成通行效率下降和容易引发交通事故隐患。

综上所述,建设轻型高速公路(小客车专用高速公路),对于节约用地、节约投资、提高通行效率、提高行车安全等都具有重要意义。

1.2.4 国内外相关标准内容

国外仅日本开展过小型车专用公路的研究,并在2003年7月修订的《道路构造令》正式发布了“小型汽车专用的小型道路技术指标”。表1-3列出了美国AASHTO标准、德国技术标准、法国技术标准、日本《道路构造令》及我国《公路工程技术标准》等对行车道宽度、纵坡及桥梁荷载标准的规定^[7-10]。

各国高速公路有关技术指标

表 1-3

标 准	分 类	行车道宽度(m)	纵坡(%)	桥梁荷载标准(kN)
日本	普通	3.5	4~9	245
	小型车	2.75~3.25	7~12	30
美国		3.66	3~6	325
德国		—	4.5~6	—
法国		3.5	4~6	—
中国《公路工程技术标准》		3.75	3~6	550

由表 1-3 可见,日本小型车专用公路的宽度、纵坡、桥梁荷载标准较普通高速公路有一定差异。因此,轻型高速公路的技术指标与现行《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)相比具有一定的改进空间。

1.3 轻型高速公路主要技术指标

轻型高速公路主要技术指标,包括:轻型高速公路适应交通量、纵断面、路基横断面、路面、桥梁、隧道、互通立交、服务设施等技术指标,如表 1-4 所示。各分项详细技术指标将在后续各章中逐一介绍。

轻型高速公路主要技术指标表

表 1-4

分 类	相关技术指标
总体	(1)服务对象:2 轴小客车; (2)代表车型尺寸:轴距 3.8m,总长 6m,宽 1.8m,高 2m; (3)建筑限界高度:3.00m
适应交通量	(1)3.5m 宽:55 000~80 000pcu/d(120km/h,六车道); (2)3.5m 宽:50 000~70 000pcu/d(100km/h,六车道); (3)3.25m 宽:45 000~65 000pcu/d(100km/h,六车道); (4)3.25m 宽:40 000~60 000pcu/d(80km/h,六车道)
纵断面	(1)最大纵坡:5%(一般地区,120km/h);5%(寒冷地区,120km/h); (2)最小坡长:300m(120km/h); (3)最大限制坡长:1 300m(120km/h,5%的纵坡)

续上表

分 类	相关技术指标
路基	(1)中间带宽:3.5m(120km/h); (2)行车道宽:3.5m(120km/h); (3)右侧硬路肩:3m(停车,120km/h),1m(不停车); (4)土路肩:0.75m
路面	(1)轴载:25kN; (2)路面结构厚度:45~55cm
桥梁	(1)荷载标准:0.4倍的公路I级荷载; (2)小客车车辆总重量上限:55kN;最大轴载30kN
隧道	建筑限界高度:3m
互通立交	(1)互通区主线最小圆曲线半径:2000m(120km/h); (2)互通区主线最大纵坡:3%(120km/h); (3)匝道设计速度:30~80km/h
服务设施	(1)服务区间距:一般75km;最大90km; (2)服务区面积:2.63hm ² (四车道);3.28hm ² (六车道);4.74hm ² (八车道)

1.4 轻型高速公路经济效益

轻型高速公路,具有节约用地和工程造价的明显优势。在内蒙古包头至树林召高速公路项目中,K9~K30段按轻型高速公路技术指标和现行《公路工程技术标准》(JTGB01—2003)的技术指标进行了对比设计。在100km/h设计速度时,长度21km的四车道公路按照轻型高速公路设计较现行高速公路技术指标减少用地6.3hm²(约94.5亩),减少比例4.6%;减少工程投资约6095万元,减少比例9.5%。

在长春至双辽高速公路项目中,K37~K52段按轻型高速公路技术指标和现行《公路工程技术标准》(JTGB01—2003)的技术指标进行了对比设计。在120km/h设计速度时,长度15km的四车道公路,按照轻型高速公路设计较现行高速公路技术指标可节约用地12.6197hm²(约189亩),减少比例10.7%;工程投资减少8760.8万元,减少比例13%。

1.5 轻型高速公路的应用前景

轻型高速公路,可在下述情况下发挥其技术优势。

(1)既有高速公路改扩建时,可采用增加小客车专用车道分流小客车,将既有高速公路行车道用于大中货车及大客车通行,最大限度地发挥既有高速公路的设施能力。

(2)在土地资源紧张的长三角、珠三角、京津冀等地,建设轻型高速公路专供小客车使用,可解决小客车交通量增长较快对通行能力需求增大的问题。

(3)机场高速公路等以小客车为主的公路,可采用轻型高速公路的建设方案,节约土地。

(4)在建设城市快速干道时,可建设轻型高速公路。

(5)在既有高速公路的上方架设轻型高速公路(车道)(图 1-5),以满足小客车增长较快的需求。

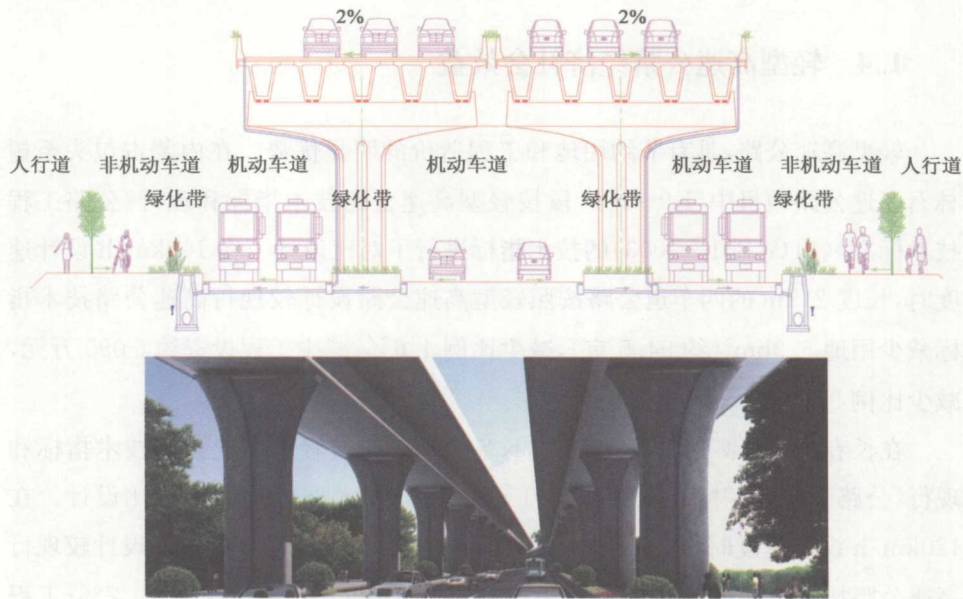


图 1-5 高速公路上方架设轻型高速公路(车道)