



“十三五”及 2030 年交通部门节能目标研究 (终期报告)

国家发展和改革委员会能源研究所课题组

二〇一七年三月

课题组成员

课题负责人：

戴彦德 国家发展改革委能源研究所所长，研究员

朱跃中 国家发展改革委能源研究所国际合作中心主任，研究员

课题组主要成员：

白 泉 国家发展改革委能源研究所能效中心副主任，研究员

田智宇 国家发展改革委能源研究所能效中心副主任，副研究员

梁 琦 国家发展改革委能源研究所国际合作中心副主任，助理研究员

符冠云 国家发展改革委能源研究所能效中心，助理研究员

刘建国 国家发展改革委能源研究所国际合作中心，助理研究员

蒋钦云 国家发展改革委能源研究所国际合作中心，助理研究员

冯 超 国家发展改革委能源研究所国际合作中心，研究助理

目录

报告要点	1
摘要报告	3
一、交通运输部门用能模式不可持续亟待调整	3
（一）交通运输用能快速、刚性增长面临可持续发展挑战	3
（二）摆脱对油品的依赖和保障能源安全亟需交通用能模式优化调整	4
（三）推动新型城镇化、改善城市环境质量亟需交通发展模式转型升级	6
（四）技术创新和加快变革为交通低碳发展创造契机	7
二、低碳发展愿景与目标	8
（一）低碳愿景	8
（二）低碳发展目标	10
三、主要路径与潜力分析	10
（一）减少交通服务需求：调整工业化、城镇化道路，优化产业布局及物流模式创新	11
（二）优化交通运输结构：打造铁路、公共交通为骨架的现代运输体系	15
（三）转向清洁能源，实现车辆船舶的去油化和电气化	18
（四）交通运输工具的能效提升：加快技术创新进步，大幅提升交通工具效率水平	20
四、交通部门低碳发展的效果	24
（一）以较低的能源需求满足交通服务与城乡居民出行的快速增长，初步实现与交通发展的“脱钩”	24
（二）终端用能结构逐步实现清洁化、多元化、电气化，摆脱了对油品高度依赖的局面，实现与油品需求的“脱钩”	25
（三）交通用油将在 2030 年左右率先达到峰值，交通终端用能和碳排放也相继在 2030 年后不久出现峰值	26
（四）综合能源效率持续提升，交通污染物排放大幅削减，城市环境质量和居民出行质量不断改善	27
（五）交通体系低碳发展不需要增加太多额外投资，却可以取得明显的经济、社会和环境效益	28
（六）交通用油结构的重大改变给炼油行业带来巨大挑战，需及早应对防止油品的结构性失衡	29

五、低碳发展路线图、障碍和政策保障.....	30
(一) 低碳发展路线图.....	30
(二) 实现低碳发展的政策建议	33
主报告	37
一、新常态下交通部门用能趋势.....	37
(一) 发展现状	37
1、交通运输周转量增长显著，交通部门用能增加	37
2、私人汽车拥有量增长迅猛，推动交通用油高速增长.....	40
3、技术节能取得显著成效，高效清洁交通运输工具和方式方兴未艾.....	42
4、综合交通运输能效改进不明显，运输结构呈现向高能耗方式发展趋势 .50	
(二) 新常态下发展趋势	55
1、新常态下运输需求增速放缓	55
2、高速铁路和电动汽车发展推动交通运输模式实现跨越式发展	58
3、信息通讯技术与交通网络的融合可以极大改变传统交通模式	60
4、基础设施饱和过剩和结构恶化的风险不容忽视	61
5、交通运输供给侧改革的新要求	63
二、国际经验比较及交通部门能源需求影响因素分析..	68
(一) 国际有关中国交通部门能耗需求预测	68
1、国际研究表明交通运输能耗将呈现快速增长趋势	68
2、国际比较表明交通部门能耗还有较大增长空间	69
(二) 经济社会发展对未来交通部门发展的影响因素分析	71
1、未来交通运输服务需求的影响因素及趋势分析	72
2、未来交通运输结构的影响因素及趋势分析.....	90
3、运输工具效率改进潜力展望	94
三、交通部门能源需求展望	101
(一) 研究方法	101
1、能源预测模型分类与评价.....	101
2、选择 LEAP 模型的基本考虑	103
3、交通用能需求预测模型的框架	106
(二) 情景分析	109

1、情景设置.....	109
2、参数设定.....	110
(三) 参考情景下交通部门用能及碳排放	114
1、交通能源需求和碳排放仍将保持较快增速.....	114
2、交通用能和碳排放仍将主要来自货运部门.....	116
3、城间客运能源需求增长势头强劲	118
4、城市客运用能在 2030 年之前未达到峰值	120
四、交通部门节能路径与潜力分析.....	124
(一) 减少运输需求：调整经济结构，转变城镇化模式，优化产业布局.....	124
1、提高经济增长质量、改进城镇化模式、优化产业布局，降低货物周转量需求	124
2、转变城市发展模式、充分利用 ICT 等技术，减少不必要的城间客运需求	126
3、通过城市空间布局优化降低城市机动车出行需求	127
(二) 优化出行结构：打造铁路、公共交通为骨架的现代运输体系	131
1、优化货物运输结构，显著提高铁路货运占比	131
2、建立以高铁和铁路为骨架的城间客运运输体系	134
3、重视轨道交通和城市公交系统建设，提高公共出行比重	136
(三) 转向清洁能源：实现车辆船舶的去油化和电气化.....	139
1、鼓励天然气车船的普及，降低交通终端用油的比重.....	139
2、扫除电动汽车推广的技术和政策障碍，使其成为交通电气化的主体....	141
3、生物燃料和铁路电气化是交通去油化的重要替代路径	142
(四) 提高能效：大幅提升交通工具的效率水平和技术进步	144
1、发展高效载货汽车，增加重型载货汽车比重	145
2、采用新技术、新材料，不断改进汽车燃油经济性水平	146
五、交通部门低碳发展的减排方案.....	150
(一) 货运部门节能减排方案.....	150
(二) 城市客运部门节能减排方案	151
(三) 城间客运部门节能减排方案	154
六、政策建议	156
(一) 重构工业化和城镇化模式、促进高附加值产业和服务业的发展.....	156

（二）以新城市主义理念引领城市发展、倡导交通引导城市发展的模式.....	156
（三）推进铁路系统的市场化改革步伐、提高多式联运的比重.....	157
（四）优化物流组织管理、形成高效物联网.....	158
（五）不断提升乘用车与货车的燃油经济性标准、鼓励替代燃料.....	158
（六）应用 ICT 技术实现交通服务网络信息化智能化.....	159
附录 交通用能统计口径调整	160

前言

自 2015 年 7 月以来，课题组根据项目研究要求，认真组织、开展相关研究工作，先后召开了课题启动暨开题研讨会、中期成果讨论会、结题会等活动，邀请所内外专家学者分别就本课题的研究思路、框架、研究重点与预期产出，交通用能数据统计与分析、未来交通节能的主要路径与碳排放前景等内容，开展了交流与讨论，也形成了会议纪要。与此同时，课题组还就新常态下交通用能需求变化、交通用能统计数据的校核、电动汽车发展展望、电商发展对货物运输影响、互联网+交通等议题开展过多次内部研讨。

在研究过程中，课题组与国家发改委环资司、基础司，能源局以及交通部等政府部门与相关研究机构保持了较为密切的联系。根据研究需要以及成果更好地为相关部门政策制定提供参考的目的，课题组还广泛地开展国内外实地调研与座谈。主要包括：2015 年 12 月先后两次赴石化工业联合会交流“十三五”及 2030 年车船用油气需求预测，收集中石油、中石化两家企业油气销售统计数据，并与能源平衡表有关交通分部门用能状况对比评估；2016 年 3 月份随国家能源局赴珠海、海口调研车船用天然气推广情况，并就其应用前景进行了座谈；2016 年 6 月随团分别走访了日本经济产业省、日本能源经济研究所和日本长冈科技大学，从不同侧面对 2015 年更新的《日本能源发展战略》进行了考察，深入探究其决策动因、战略目标及战略要点，也了解了日本 ICT 与交通融合技术发展、智能交通管理运用的经验及其在国家战略中的作用等；2016 年 7 月随团赴法国与 IEA 交通组交流、讨论交通能源需求模型的构建及重要参数设定的考虑，并就预测结果进行比对。

根据研究计划，课题组已完成相关研究内容，形成了终期报告，主要内容包
括：课题组根据国家统计局最新数据调整（含 GDP 的调整）、经济新常态对交通运输带来进一步的跟踪影响，经济走势与工业化、城镇化的最新进展等；同时也结合去产能等进展，分析经济新形势对交通客货运输总量及结构的影响，探讨了对未来交通需求的影响；基于以往研究的基础和交通用能分析模型，课题组分析展望了“十三五”及 2030 年交通部门能源需求量暨二氧化碳排放前景，提出交

通部门二氧化碳排放、油品消费的达峰时间。在此基础上，并结合不同工业化、城镇化发展道路选择、ICT 技术的进展、新能源汽车推广及技术进步，等等因素，梳理总结了交通部门节能潜力与路径；提出实现交通部门低碳发展的可操作性建议。

考虑到国家有关部门在制定“十三五”规划及战略发布需要相关课题研究支撑，课题组在与国家发改委、能源局密切联系的基础上，还参与了相关背景报告的起草与研究，在此过程中，课题组及时将我们的研究成果反映其中，如：为委环资司的节能规划、综合性工作方案、节约型社会行动方案等文件制定，提供定量目标测算依据；为基础司、国家能源局制定 2030 年能源生产和消费革命战略，提供关于 2030 年交通用能展望及总量目标；为中国工程院二氧化碳峰值目标，提出交通部门二氧化碳排放峰值及落实机制。同时，课题成果在联合国气候变化巴黎会议、G20 能效论坛、中美能效论坛、国际能源变革论坛等进行宣讲，在编制《G20 能效引领计划》过程中被应用参考，为深化能源领域国际合作、发挥中国在能源革命中的引领作用提供了重要支撑。

“‘十三五’及 2030 年交通部门节能目标研究”课题组

二〇一七年三月

报告要点

愿景：交通运输部门将成为中国新一轮能源需求暨碳排放增长的主要来源，要实现未来经济社会与能源环境可持续发展的目标，交通部门现有的发展路径和用能方式必须调整。2030 年之前要使交通工具能效达到国际先进水平，初步形成交通用能多元化局面，摆脱交通对用油的高度依赖，构建一个**高效清洁、绿色低碳、方便快捷舒适**的现代交通运输系统。

发展道路：未来一段时期，中国将面临不同的工业化、城镇化发展道路选择，同时充分考虑新技术革命对未来经济社会发展带来的影响，本研究设计了参考和政策两个情景。参考情景设想未来中国经济社会发展仍延续当前的发展态势，近中期内经济结构、产业转型不会出现突破性进展；城镇化将延续人口向大城市集中的趋势，特别是东南沿海地区集聚；伴随着技术进步，虽然交通部门的能源效率不断提升，但运输结构仍延续当前追求方便、快捷的发展趋势；电动汽车、新能源汽车的发展主要依靠市场推动。政策情景则认为，未来中国可以选择完全不同于参考情景的工业化和城镇化道路，高附加值产业和服务业发展势头良好，大中小城市协调发展，伴随着产业的合理布局，城市发展的“紧凑型”，信息技术、物联网、智能交通网等技术的广泛利用，未来交通运输格局将呈现新的发展态势，将朝着**高效、低碳、清洁**的方向发展。

结果比较：本研究借助模型工具，对未来中国交通用能进行了全面、系统的定量测算和比较分析。在参考情景下，到 2030 年中国的货物运输需求将比基年 2013 年增长 1.8 倍，旅客运输需求将增长 2.3 倍，汽车保有量将增长 2.1 倍，届时中国交通用能将持续增长，2030 年，交通部门的终端能源需求将超过 9.44 亿吨标煤，是 2013 年水平的 2.1 倍，其中石油需求将超过 5 亿吨，若全靠国内加工，届时原油需求达到 8 亿吨左右。在政策情景下，届时客货运需求可分别增长 2~3 倍，就可满足未来经济社会的发展要求。伴随着交通模式的优化和新技术、新材料的广泛应用，交通用能油品在 2030 年左右达到峰值，交通终端用能和碳排放将在 2030 年后不久出现峰值，2030 年交通用油品需求仅为 4.1 亿吨。

节能路径：政策情景下，交通部门可以实现能源与经济社会环境的可持续发展，应从**合理引导交通运输需求、优化调整交通运输结构、加快清洁燃料替代和显著提升能效水平**等四条路径入手推动政策情景的实现：针对货运和客运减少虚耗的运输活动，包括消除不必要的出行、缩短目的地运输距离和优化运输线路；建立综合性、多式联运运输体系，更多的采用**高效、清洁**运输方式；使用电、生物燃料和天然气等**清洁燃料**替代油品；使用**技术成熟、经济高效**的技术，不断提升车辆等交通工具的能效水平。其中**活动水平下降、交通运输结构优**

化、燃料替代、交通工具效率改进带来的节能潜力分别为31%、40%、18%和12%。

低碳效果：构建高效清洁、绿色低碳、方便快捷舒适交通运输系统，以较低的能源消费满足日益增长的交通服务需求，实现了交通运输发展与能源需求的脱钩；以“高效、清洁、多元”的交通用能方式提供“方便、快捷”的交通服务，实现了交通用能与油品的脱钩；以“交通模式优化、组织模式创新和技术进步”推进“交通电气化”进程，实现了交通服务与碳排放的脱钩，并保证了交通用能与经济社会、生态环境的可持续发展。

经济和社会效益：政策情景在建设高速铁路、地铁、智能交通网等基础设施，电动车、超级货车等高效交通工具生产方面会有更高的投资需求，2013年至2030年所需的额外投资总额为8万亿人民币，但可以打造现代、绿色的交通运输体系，不仅大大节约燃料成本约10万亿人民币，还可以形成新的经济增长点，如果考虑到政策情景下会带来更显著的环境、社会健康收益，乃至保障能源安全等诸多方面的收益，政策情景下的道路则有更高的潜在收益。

主要政策：要实现交通部门低碳发展的预期效果，需要多管齐下，共同努力。要坚定不移地推动发展方式的转变与产业转型，积极引导协调发展的城镇化道路，优化物流运输和客流交通；以精明增长和新城市主义理念引领城市发展、倡导交通引导城市发展的模式，使交通成为城市规划的重要组成部分和前提；推进铁路系统的市场化改革步伐，不断提升铁路在未来交通运输发展的地位；优化物流组织管理、形成高效物联网、车联网、智能交通运输网；制定更加严格的燃油经济性标准，显著提升汽车的能源效率，推动电动车等高效清洁交通工具的发展；充分利用ICT、大数据技术优化交通运输系统。

摘要报告

一、交通运输部门用能模式不可持续亟待调整

（一）交通运输用能快速、刚性增长面临可持续发展挑战

进入新世纪以来，伴随着工业化、城镇化进程加速，中国交通运输基础设施加快建设，公路总里程、港口吞吐能力、内河通航里程、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一，特别是公路基础设施突飞猛进，2015年公路总里程达到457.7万公里，其中高速公路里程12.4万公里，满足了经济社会发展对于物质、能量、信息、人员等空间位移活动需求。与之相对应，交通运输能源需求快速增长，2000年以来，交通运输能源消费年均增速达9.0%，高于全社会7.9%能源消费增速，逐渐成为中国能源消费增长的主要来源（图1）。

但与发达国家相比，无论是公路网密度、人均高速公路里程、人均民航里程拥有量、千人汽车保有量、综合交通建设仍存在相当差距；人均客运距离与美欧日等发达国家也有很大距离：美国国土面积与中国相当，但中国人均客运距离仅相当于美国的1/10，日本的1/5。随着中国经济社会的进步，工业化、城镇化纵深发展，居民收入提升，经济社会发展对交通运输基础设施建设以及交通服务的需求还将持续增加。此外，发达国家的发展历程表明，当一个国家或地区的人均GDP达到2.5万美元左右时，交通运输部门能源消费约占其终端部门能源消费的1/3左右，而按国际可比口径计算，目前中国交通用能占比不过10%，由此可见，伴随着交通运输服务量的增加，未来中国交通运输部门能源需求必将不断增长。若要达到发达国家水平，按照目前的发展态势，到2030年中国货物运输需求将增长1.8倍，旅客运输需求将增长2.3倍，汽车保有量将增长2.1倍，到2030年，交通部门终端能源需求将达到9.44亿吨标煤（见图2），是目前水平的4.4倍，成为未来中国能源需求增长的主要贡献者。

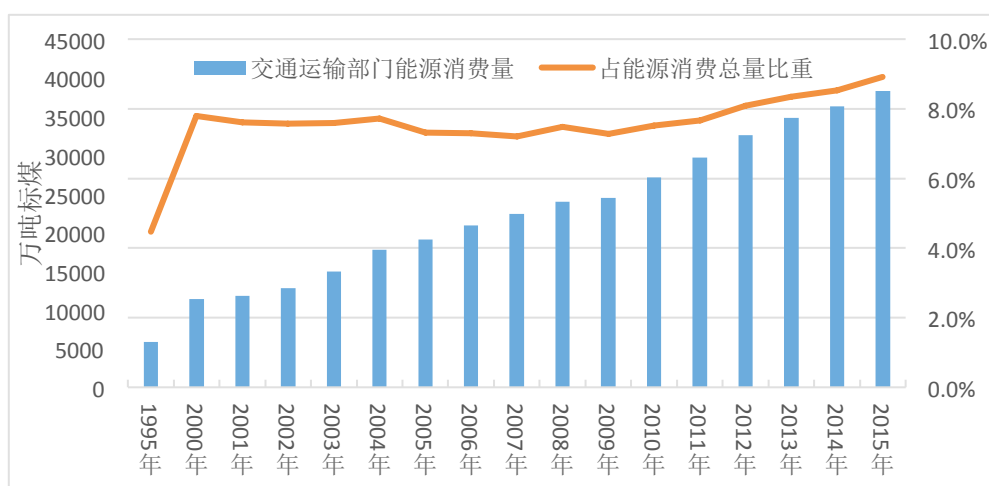


图 1 交通运输能耗及增速情况

数据来源：中国能源统计年鉴 2016.



图 2 参考情景下交通运输部门服务量及能源需求发展趋势

当前中国能源资源约束不断加剧，生态环境问题日益突出，严重影响经济社会可持续发展的局面。要实现政府提出的能源环境目标，在 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且争取早日达峰，满足生态环境的约束红线，交通部门必须改变当前的发展模式，减缓当前交通用能快速增长的态势，探索低碳发展道路。

(二) 摆脱对油品的依赖和保障能源安全亟需交通用能模式优化调整

交通运输是最大的石油消费部门，特别是随着近年来汽车保有量的快速增长，车用燃料正成为石油消耗增长最快的领域。车用燃料对新增石油消费总量的贡献达到一半左右，是目前石油需求增长最主要的驱动力。按照国际可比口径计算，2015 年交通运输部门能源消费量为 4.48 亿吨标煤¹，其中成品油消费量约为 4.15 亿吨标煤，占交通用能的 92%以上，约占同期全国石油消费量的 54%（见图 3）。

¹课题组根据能源平衡表、内部统计数据 and 油品的流向计算得到。如果将交通部门的能源消费折算成油当量，2015 年中国交通部门的能源消费量大约为 2.14 亿吨，其中石油消费量为 2.09 亿吨。

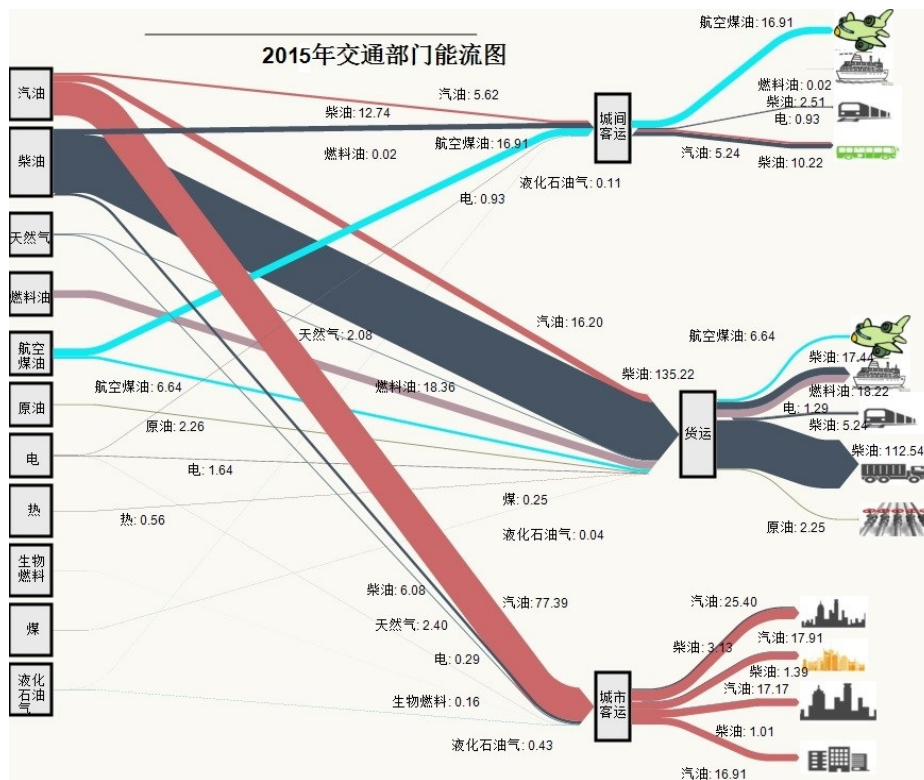


图 3 2015 年中国交通运输部门能源流向图

资料来源：课题组根据相关统计数据绘制，下同

从交通运输部门石油消费构成看，柴油消费量占交通用油的 43.2%，其次是汽油，占 36.8%，近年来航空运输业快速发展，航空煤油成为第三大交通用油品种，占交通用油的 8.2%。从交通用油的主要设备来看，包括货车、客车、公共汽车、私家车等在内的车辆耗油量最大，约占 2015 年交通运输部门总油耗的 70%以上，其中货车用油约占交通部门油品消费量的 44.9%。如果延续当前交通部门客货周转量的增长趋势，交通服务需求优先考虑方便、舒适、快捷，公路、民航运输等运输方式在未来综合交通运输体系的地位依然保持领先；城市交通依然保持汽车化、燃油化的趋势，即便考虑交通工具的效率改进，2020 年交通用油将达到 4.26 亿吨，占交通能源需求总量的 94.6%。到 2030 年成品油占终端能源比重依然达到 91%，届时交通部门的石油需求量仍将进一步增至 5 亿吨。如果按照当前的石油收率，要满足 2030 年交通用油需求，意味着届时的原油需求量为 8 亿吨左右，相当于目前世界石油消费总量的 1/5~1/6，占全球石油贸易量的 25%左右。

从国内石油资源条件看，按照目前的采收率和技术水平，业内专家普遍认为国内石油产量将在 2020 年前后达到高峰值，产量约 2.2 亿吨，随后产量开始下滑，到 2030 年石油产量在 2 亿吨左右，即便考虑届时非常规油气资源产量的

增加，未来石油产量也很难超过 2 亿吨的水平²。按照上述发展趋势，2030 年石油对外依存度将高达 75%以上（见图 4；保守估计国内其他部门油品消费量保持不变），这将大大超过美国 65%的对外依存度峰值，不仅对国内能源供应带来巨大挑战，也将限制国家能源安全战略和对外政策的灵活性。为保证石油供应安全和推动能源与经济社会环境的可持续发展，必然要求作为用油大户的交通运输部门实现绿色转型，推动交通用能的“清洁化”、“多元化”和“去油化”，调整交通用能结构。

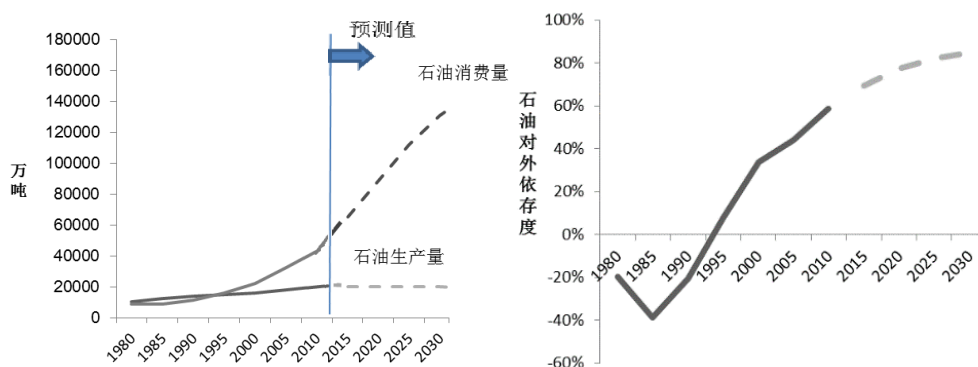


图 4 中国石油进出口与对外依存度展望

（三）推动新型城镇化、改善城市环境质量亟需交通发展模式转型升级

近年来随着城镇化进程的加速，城市建成区“蔓延式”发展，城市人口急剧膨胀，城市交通需求量快速增加，机动车化进程明显提速。虽然大中城市提出了“公交优先”的发展理念，但主要城市公共交通服务的便捷和舒适程度仍不能满足中等收入阶层上下班通勤出行需求；此外随着居民收入的明显提升，自 2002 年进入“汽车元年”开始，中等收入家庭的私家车保有量增长呈现“井喷”之势。表现在城市客运交通出行结构中，非机动化出行受到压缩，公交出行的比重并没有得到有效提高，私家车出行的比重在持续提高。在北京、广州这样大力发展公共交通的超大城市，私车出行也与公共交通出行分担率同步增长，在城市交通出行占比达到 35%以上（见图 5）。

²能源所内部研究成果。

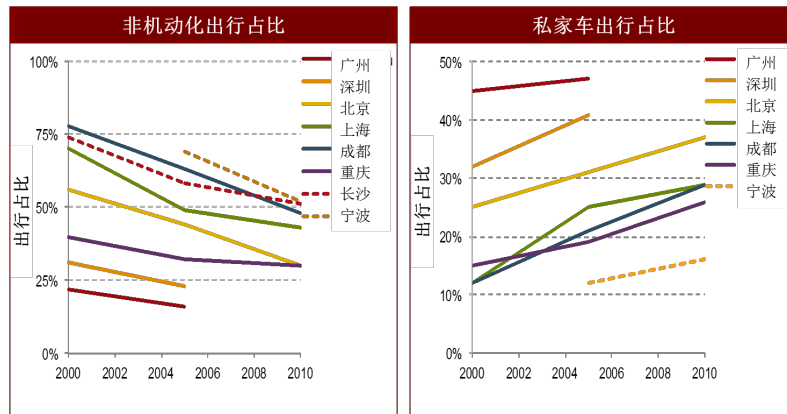


图 5 中国 13 个城市出行模式变化比较（资料来源：何东全等，2013.）

当前交通运输部门向“方便、快捷、舒适”方向发展，使城市交通呈现汽车化、个性化以及燃油化的发展趋势；城间客运和货运呈现公路、民航运输愈加重要的局面，客货运输结构中，铁路占比不断下降；还带来诸多发展隐忧，包括对大气环境质量的负面影响、交通拥堵、污染排放，城市用地紧张，城乡居民的出行和生活质量并未得到实质改善。2013 年以来中东部地区开始出现严重的雾霾天气，波及 130 多万平方公里、8 亿以上人口，持续时间长，其中相当一部分原因来自于机动车排放的氮氧化物、细微颗粒物（PM2.5）。据测算，在交通拥堵比较严重的城市，机动车所排放的气态污染物以及颗粒污染物占城市大气污染物高达 40%~60%。而且，机动车所排放的污染物在城市总污染源中的比例以每年 2%~3% 的速度在增加³。

交通运输部门低碳发展，形成倒逼机制，必然要求反思当前的工业化和城镇化模式，推动交通运输部门的发展转型，从当前单纯追求“方便、快捷”转向打造“绿色低碳、高效清洁、有竞争力”现代交通运输体系的目标努力。目前城镇化率刚刚超过 50%，城镇化进程方兴未艾，到 2025 年，将有大约 10 亿中国人居住在城市，届时将出现 221 座百万以上人口城市，城市经济产值将占全国 GDP 的 90%⁴。城镇化发展模式选择和产业布局将会显著影响物流需求总量和人口流动。交通低碳发展就必须改变当前大城市为主的发展模式，选择大、中、小城市协调发展的城镇化模式，一方面减少由于资源生产地与消费地分离导致的长距离客货运周转需求，另一方面发挥铁路-公路-水运联合运输优势，推动未来交通运输结构的优化和调整；在城市交通低碳发展过程中，一方面要求加大技术进步，推进新能源汽车发展，另一方面要求政府部门提供高质量的城市公共交通服务，使居民出行逐步转向地铁、BRT 等公共交通，以及高效、清洁的个体慢行交通方式。

（四）技术创新和加快变革为交通低碳发展创造契机

³林燕德，2015。“深圳 PM2.5 元凶是机动车尾气，占本地排放源的 41%”。

⁴麦肯锡，迎接中国十亿城市大军，2008.

第三次工业革命在全球范围内已初现端倪。可以预见，新一轮的工业革命将以数字制造技术、互联网技术和可再生能源技术的重大创新与融合为核心，推动社会生产方式、产业组织形态以及生活方式的重大变革，将成为中长期时段内推动全球经济社会持续大变革、大调整的重要力量，必将对未来中国汽车产业的发展格局及交通运输能源需求带来革命性的变化。

上世纪末以来的信息技术和网络产业迅速发展，逐渐改变了人们的生活、工作、学习、娱乐方式，多样化和个性化需求相继涌现；与此同时，信息技术进步也为传统的交通运输部门注入了新的活力，大大提高了交通运输的组织、运营效率，提升了交通运输的服务质量。信息技术的发展还派生了视频会议、远程办公、SOHO等工作、生活形态，大大减少了出行需求，相应地带来交通节能效果，电子商务的快速发展不仅使消费者不需出门就享受到高质量的服务，更减少了消费者因亲临商场购物而带来的出行，从而可带来节能效果。可以预见，把交通布局的全面立体化和大规模的智能化管理系统有机结合起来，将对未来中国城市交通低碳发展产生重大的影响，且潜力巨大。未来一段时期，数字制造、互联网和可再生能源技术进一步创新融合，推动社会生产方式、产业组织形态以及生活方式出现重大变革，将对交通运输需求、发展模式、能源需求等带来革命性变化。中国目前有 6.3 亿手机用户⁵，利用最新手机智能应用不仅能优化出行路线、搜索公共出行线路、租自行车、拼车以及比较出行成本和时间等，还可以实时提供公共交通、停车等交通数据⁶。随着互联网不断扩大以及连接更多的人、设备以及基础设施，将会通过更加创新的方式，在提供更方便出行服务的同时，带来交通系统节能的效果。

电动汽车作为第三次工业革命一个重要的技术和内容，以其较高的能源转换效率、较低的环境污染、更为出色的性能等特点，并还可作为储能系统的一部分，与智能电网发展交相呼应，因此发展优势也越来越凸显。可以预见，在第三次工业革命时代，能源、信息、材料等先进技术的快速创新、交叉融合和加速应用，将会促使未来的汽车朝着轻量化、电动化、智能化的方向发展，为形成全新的交通运输体系塑造基础。

二、低碳发展愿景与目标

（一）低碳愿景

交通运输低碳发展的愿景是在支撑实现美丽“中国梦”和现代交通运输需求、确保人人享有绿色低碳和高质量交通出行服务的同时，建成全球领先的覆盖城乡、

⁵ Wall Street Journal, “Chinese Taxi-Hailing App’s Valuation Soars;” That’s Magazine, “Welcome to the Mobile Age.”

⁶<http://www.ridescout.com/>

结构合理、系统高效、绿色低碳、快捷舒适的节能型综合交通运输体系，实现交通通用能多元化、清洁化，显著提高电气化水平，降低对油品的依赖。

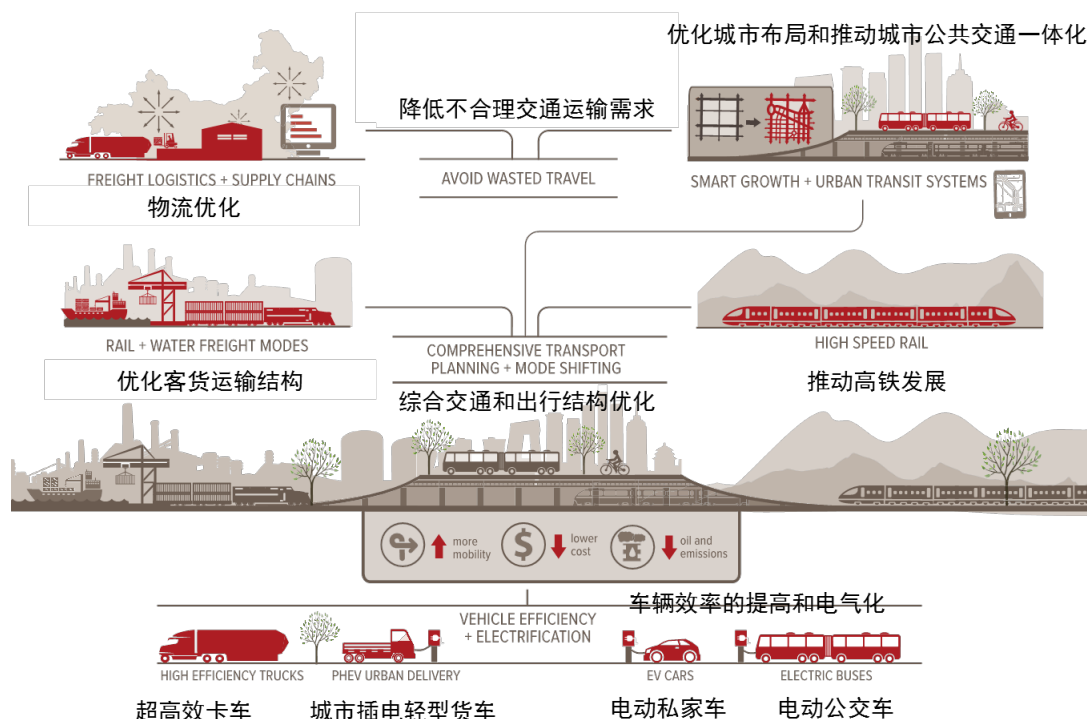


图 6 未来中国交通运输部门低碳发展的愿景

具体而言：

- 人人享受绿色低碳、高质量的交通服务，出行质量实质提升。城间客运实现高速铁路与城市公共交通无缝连接，高铁在东部沿海地区实现“早出晚归、单日往返”，成为未来中长途居民出行的主要选择；大中小城市普遍解决交通拥堵的问题，汽车排放带来的城市污染问题全面解决。
- 交通基础设施畅通成网、配套衔接。形成覆盖城乡、结构合理、绿色高效的综合交通运输体系，各种运输方式各展所长、相互协调，运输组织集约、高效。
- 先进交通管理模式广泛运用。车联网、物联网、信息网将互为支撑、相互融合，智能交通运输系统（ITS）等管理方式在大中小城市得到充分应用，公共物流信息平台、综合交通运输服务信息平台在未来的客货运输组织中发挥越来越重要的作用，可以提供出行和运输的最优选择方案，满足个性化服务需求。
- 交通运输装备先进适用、节能环保，降低对油品的高度依赖。常规汽油车燃油经济性将大幅提高，奔驰在城乡道路上的小汽车将主要是插电式混合动力车、电动汽车、燃料电池汽车等高效清洁的新能源车辆，

货车主要以柴油车、天然气为主。届时交通部门的用能有望降低对油品的依赖，进入新的“电气化”时代。

（二）低碳发展目标

以较低的能源消费支撑交通运输发展、满足交通服务需求，实现交通运输发展与能源需求的“脱钩”。通过优化国土空间布局、合理规划产业布局、推进协调发展的城镇化道路，建立更加高效的交通运输网络和管理体系，大力发展高效清洁的交通运输工具，大幅提高交通部门的能源利用效率，力争使交通运输发展与能源需求“脱钩”，以较低的能源消费支撑交通运输部门的稳定、持续发展，并满足十三亿人日益增长的交通服务需求，打造一个高效清洁、绿色低碳、方便快捷舒适，富有竞争力的现代化交通运输体系。

以“高效、清洁、多元”的交通用能方式提供“方便、快捷”的交通服务，实现交通用能与油品“脱钩”。在城间客运与货物运输中，大中型客货车在推进“柴油化”的同时，也加快推进天然气与生物燃料客货车，2030年生物柴油占比接近5%，城市中小型货车基本上以混合动力柴油车与CNG车为主，铁路货运中电力机车主导。在城市交通中，大力提高新能源汽车的市场比重，2030年之前主要以混合动力汽车、天然气汽车为主，电动车占比大幅提高。在提供高质量交通服务的同时，扭转当前交通部门高度依赖油品的局面，实现交通用能清洁化。

以“模式创新”和“技术进步”为重点推动碳排放尽早达峰，为实现交通服务与碳排放“脱钩”奠定基础。通过新型工业化、城镇化道路的选择，通过信息通讯技术的进步，通过智能城市、智能交通的发展，进行发展模式创新，显著减少交通运输服务需求；通过交通运输体制改革释放的红利，使铁路、地铁、BRT等高效清洁运输方式在交通运输发展中发挥重要作用，实现交通运输模式的优化；通过材料技术、控制技术的进步，大幅度提升交通运输工具能源效率，力争使交通排放尽早达到峰值，为2030年后实现交通服务与碳排放的“脱钩”奠定基础。

三、主要路径与潜力分析

实现交通低碳发展的愿景与目标，主要有四条路径：合理引导交通服务需求、优化调整交通运输结构、加快清洁燃料替代以及显著提升交通设备能效水平。2030年交通部门的一次能源需求量将从9.44亿吨标煤降至6.10亿吨标煤，交通能源结构多元化与清洁化进程显著加快，2030年前后，交通部门用油达到峰值。

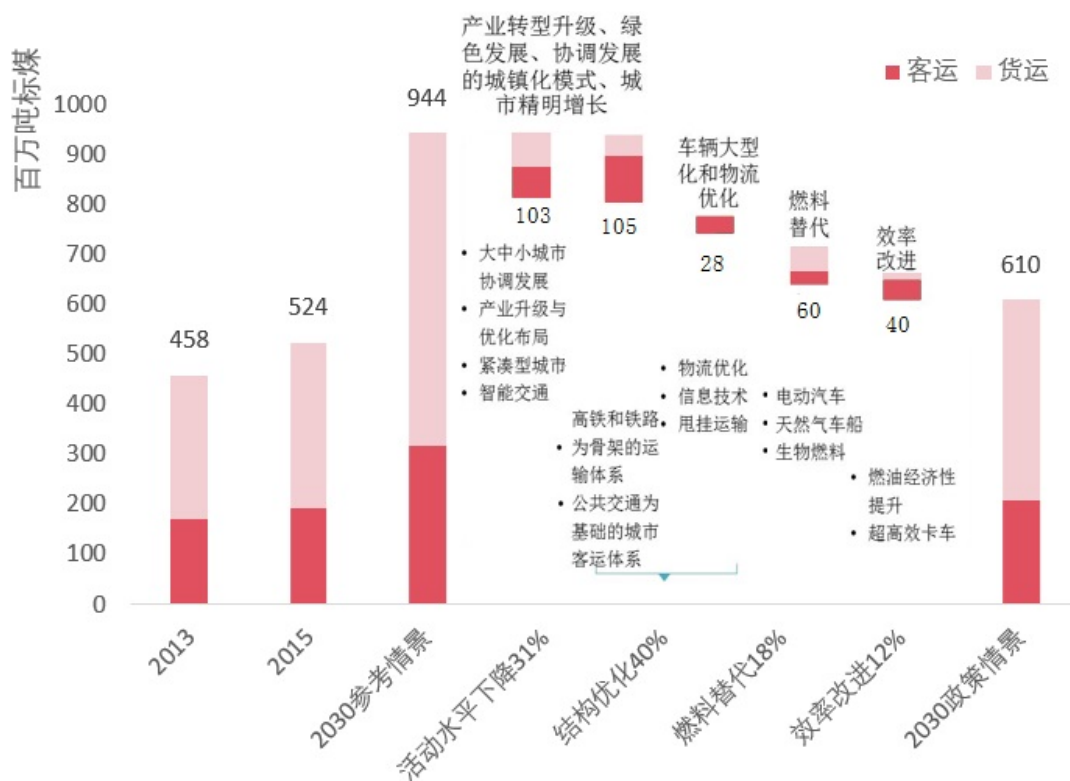


图7 交通部门低碳发展的路径和潜力

（一）减少交通服务需求：调整工业化、城镇化道路，优化产业布局及物流模式创新

选择走大中小城市协调发展的城镇化模式，高耗能工业向服务部门及高附加值转型、变革城市内部的空间布局，加上信息通信技术的助力，可以有效减少不必要的出行需求、提升交通系统效率。与参考情景相比，降低不合理交通运输需求可以使能源需求减少11%，节约1亿吨的终端能源消费量，占交通运输部门总节能潜力的31%。

1、提高经济增长质量、改进城镇化模式、优化产业布局以及进行物流管理优化，大幅降低货物周转量需求

推动产业结构转型升级，大力促进第三产业和高附加值产业发展，实现货运强度下降⁷。与发达国家相比，中国货运强度虽在不断下降，但还比较高，主要原因是货运结构中，煤炭、铁矿石、粮食等大宗货物周转量占比50%左右。如果在政策情景下，如果推动产业结构转型升级，大力促进三产和高附加值产业发展，货运强度下降潜力还很大。图8（右侧）显示了英国和西班牙的案例，与采矿和纺织业等重工业和低附加值制造业相比，如，高附加值商品和服务业对增加货运周转量所起的作用小。另一方面，由于城镇化模式和产业布局具有很大的

⁷“我国交通运输系统中长期节能问题研究”课题组. 我国交通运输系统中长期节能问题研究. 能源基金会。

相关性，很多产业都是布局在劳动力丰富、科技技术先进的城市周边。如果未来选择大、中、小城市协调发展的城镇化模式，则可缩短生产地与消费地之间的距离，减少基础原材料、城市所需生活必需品等货物的运输距离，从而减少货运周转量。

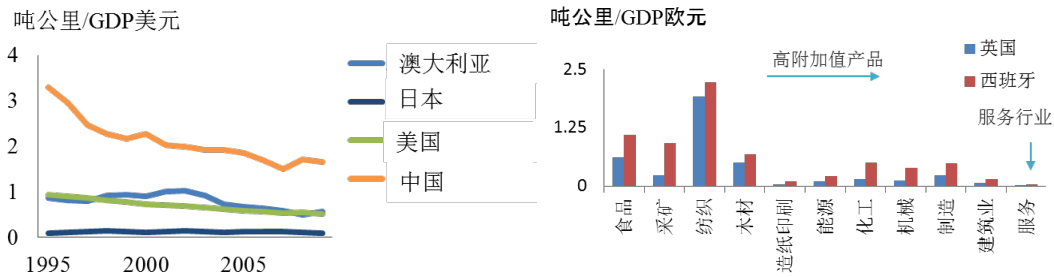


图 8 中国与发达国家货运强度比较以及欧盟行业货运强度比较⁸

随着产业的升级和高附加值产品增多，对运输服务质量和时间提出了更高的要求。从国际最佳实践看，通过大数据分析、云处理可以优化物流路线，通过物流信息平台共享可减少空车行驶，上述措施都能提升运输效率，减少货物周转量。例如在河南省安阳市，政府开发了一个手机界面和用户终端软件来协助寻找客户的平台，并对卡车与货物进行 GPS 跟踪和监测。通过该措施，货车空驶率从 53% 降低到了 38%，节省高达 5200 万升燃料，相当于人民币 3.16 亿元。

与参考情景相比，政策情景下货物周转量运输需求降低 6%（见图 9）。

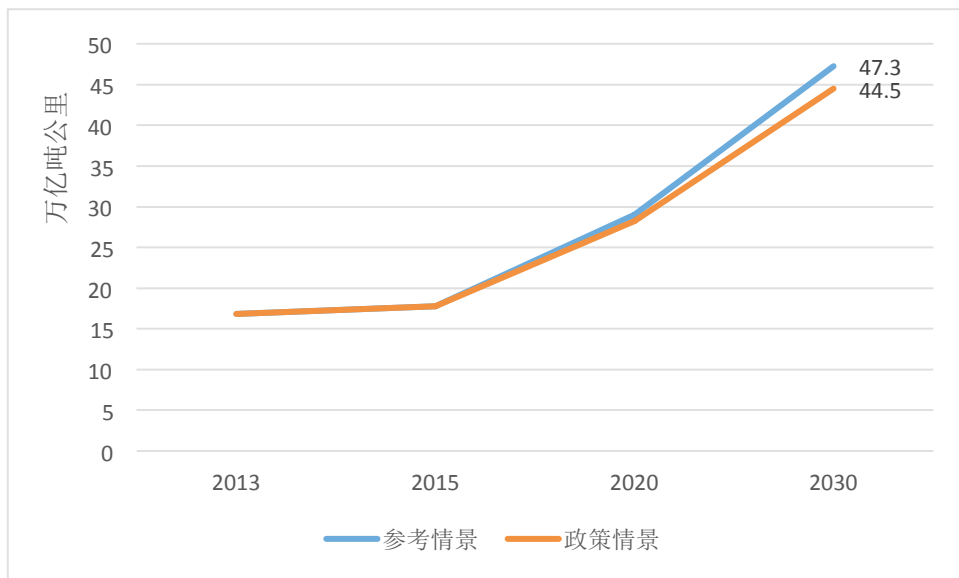


图 9 不同情景货物周转量比较

⁸Alises, Ana, Jose Manuel Vassallo, and Andrés Felipe Guzmán. “Road Freight Transport Decoupling: A Comparative Analysis between the United Kingdom and Spain.” *Transport Policy* 32 (March 2014): 186–93.

2、选择协调发展的城镇化模式、充分利用 ICT 技术，减少不必要的城间客运出行需求

在政策情景下，设想现代通讯技术、信息技术、网络技术将得到更广泛的应用，城市间的部分出行可以通过远程办公和电话会议替代。城间客运出行在过去几十年里大幅增加。由于越来越多的人迁移到东海岸城市居住，城际间旅行堵塞了火车站和机场。这种情况在高峰时段，如春节时尤甚。政府重视西部地区的开发，并旨在采用一种更加平衡的方式引导城镇化，实现就地城镇化、就近城镇化，可以有效减少春运等出行需求。

通过上述举措，到 2030 年，客运周转量将从 2013 年的 2.8 万亿人公里增长至 8.8 万亿人公里，2013~2030 年期间，客运周转量的年均增长率只有 7%，与参考情景相比，届时的客运周转量可下降 4.3 个百分点（见图 10）。

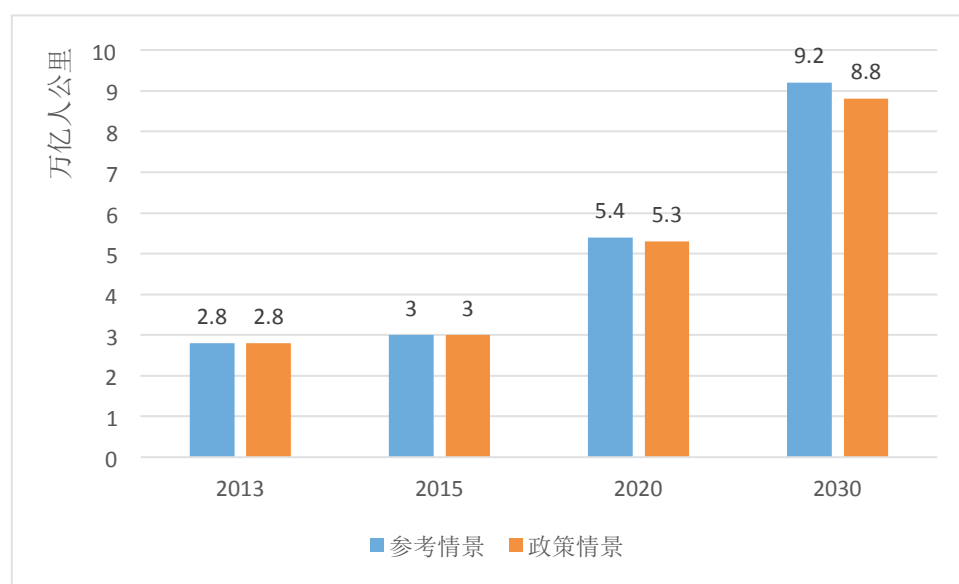


图 10 不同情景客运周转量比较

3、通过城市空间布局优化和城镇化模式改进，可降低城市机动车出行需求

合理优化多功能小街区的城市布局可以避免锁定效应，减少城市出行需求。城市“蔓延式”增长带来城市较高的能耗强度、交通出行需求和能耗量增加等问题⁹。与之相对应的，城市精明增长强调的是现有城市土地的合理开发利用，崇尚现有城市地区的填充式发展，而不是向边缘扩张形成一个纯住宅型的郊区，街区规划达到工作和住宅平衡，以公共交通为主导，引导城市发展。城市内部空间布局向多中心、混合功能、小街区的模式发展，可有效减少居民外出购物、上班、走亲访友等的出行距离，并增加非机动化出行的次数和比重，降低城

⁹Urban China: Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization. The World Bank, Development Research Center, and the Ministry of Finance, 2012.

市机动车出行需求。另外，互联网购物和网上银行服务，以网络为基础的服务业将一定程度替代交通需求，信息化办公系统和电子政务系统，“SOHO”的工作方式，都可以减少城市内部出行需求。

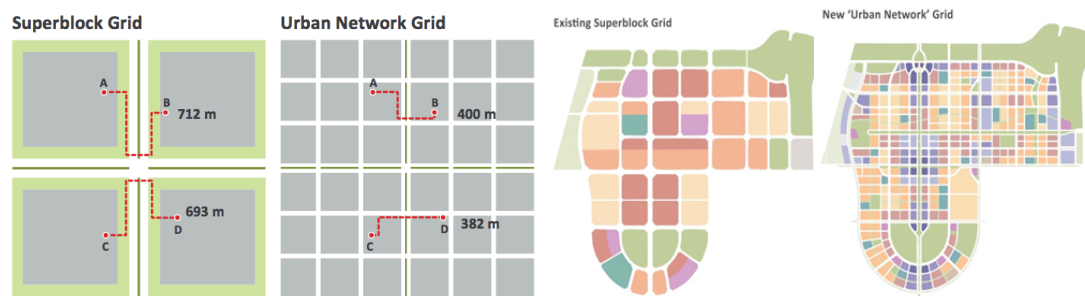


图 11 城市大街区和小街区出行距离比较/小网格街区可以增加使用密度和同一区域功能¹⁰

通过城市多种功能合理布局、协调发展，推进产业发展与城市发展相融合，大力发展紧凑型城市，推动城市群和城市带一体化发展，以及在城市规划方面加大力度，如：完善步行道、自行车道，严格停车和公路用地管理，可以降低机动车出行需求。在政策情景下，2030 年城市居民出行需求为 748.6 亿人次，比参考情景下降 7.5%（见图 12）。

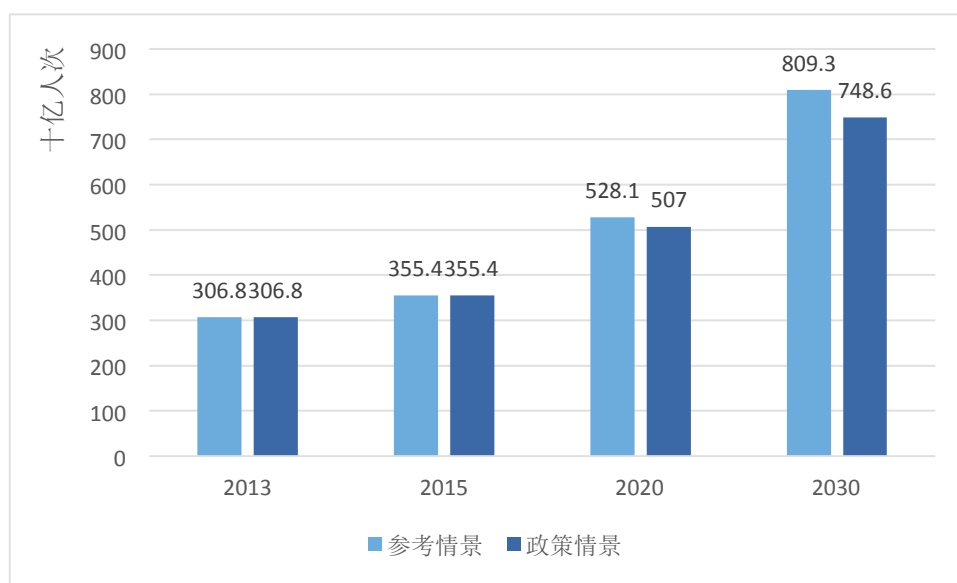


图 12 不同情景城市出行人次比较

选择大中小协调发展的城镇化模式，还意味着控制小汽车出行距离的快速增长，减少私家车的使用率与驾驶距离。与参考情景相比，2030 年私家车的年运行距离可从 1.1 万公里降至 0.6 万公里，比目前日本小汽车年运行距离还低 25%。

¹⁰Calthorpe Associates et al., *Sustainable Cities China: Design Manual for Low Carbon Development*.

（二）优化交通运输结构：打造铁路、公共交通为骨架的现代运输体系

推动交通运输结构优化，以高效低碳的铁路、公共交通等替代卡车、私家车等运输出行方式，具有带来巨大的节能潜力。与参考情景相比，优化交通运输结构可以使终端能源需求减少 14%，占交通运输部门总节能潜力的 40%。

1、完善铁路运输网络，优化货物运输结构

政策情景下，一方面加快发展铁路，发挥其在长距离大宗货物运输方面的优势，通过重载机车的应用以及先进控制系统的开发，解决目前铁路运力不足的问题；另一方面通过优化货运组织体系，以铁路-公路-水路联运等方式，提高居民消费品和高附加值产品的集装箱运输比例，实现多式联运。

目前由于铁路运力不足，铁路运输比重逐年下降，在参考情景下这一趋势没有得到改变。货物运输主要依靠公路，2030 年约 41%的货物通过公路运输。考虑到公路的能耗强度比铁路、水运高得多，而且国际经验表明，美国铁路运输的商品比例要高于卡车运输的比例（铁路占比 39%），而且欧盟、日本的水路货运比重很高（欧盟水运占比 40%、日本水运占比 37%），澳大利亚则依赖铁路和水路运输（占比分别为 40%和 25%），达到了高效的运输模式组合。在政策情景下，设想可以逐步扭转铁路和水运占比下降的局面，提升铁路、水运在货运结构中的比重，一是继续保持铁路、水运在大宗货物运输的优势；二是通过货运组织体系的改进，将高附加值产品与居民消费品以集装箱的模式，通过铁路-公路-水路联运方式，持续提高低能耗强度货运方式的比重。预计，到 2030 年铁路在货运中的比重将达到 1/4，比 2013 年的水平还高出 5.5 个百分点，将大大提升货运结构节能的效果。

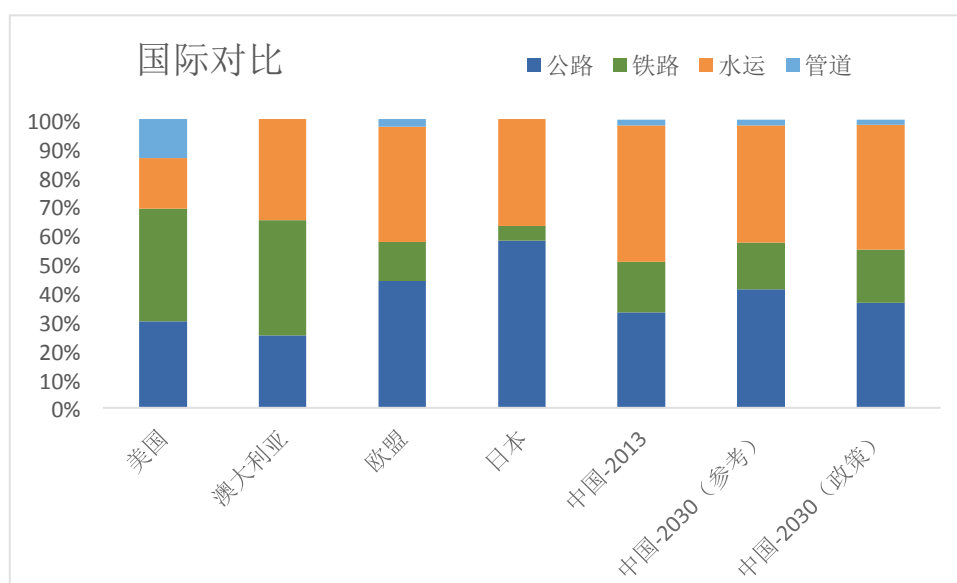


图 13 国际比较表明铁路和水运比重存在提高潜力¹¹

多式联运、甩挂运输是通过多种运输方式优化组合实现经济高效货物运输的有效途径。从亚洲将出口产品运往北美是多式联运应用的最佳案例。以美国为例，运往北美中部和东部的集装箱在西海岸港口码头直接装车，在北美境内主要依靠火车运输，只在最后几公里依靠卡车。2007 年，美国铁路承担了国际航运集装箱 1430 万换算箱的货物，占有所有码头吞吐量的 33%¹²。相比之下，我国港口吞吐量仅有 2%是“铁水”联合运输¹³。在西部大开发背景下，通过大力推动双层铁路水路多式联运，可以降低高附加值产品的物流成本，提高中西部内陆城市出口竞争力。在发达国家，使用标准化牵引车头、挂车组合进行甩挂运输早已普及。研究表明，甩挂运输可以将空驶率从现有的 40%~60%降至 20%，将每辆卡车的年周转量提高 78%，单位成本降低 10%~20%，同时降低空驶率可使公路货运能耗强度降低 16%。

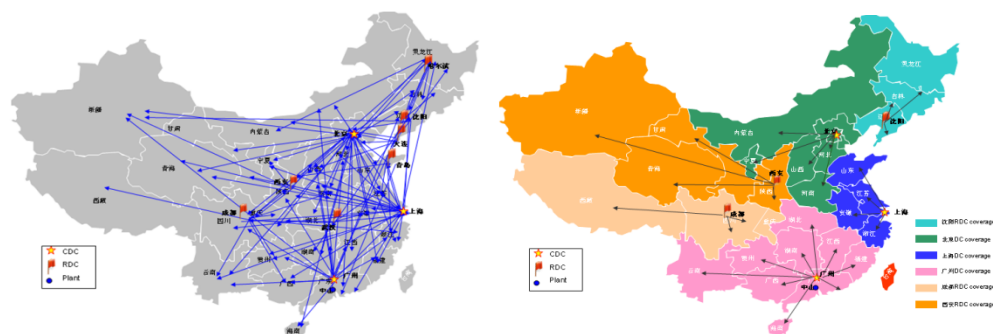


图 14 行业内领先的第三方物流提供商所设计优化的供应链网络
注：左图变革前，右图变革后经优化后的物流网络，最小化了运输路程和空车回程次数¹⁴

优化卡车车辆结构即卡车大型化，有助于降低公路货运能耗强度。目前，中国重型货车平均载重量 14 吨左右，中型货车平均载重量 4 吨左右，超载现象严重。在美国，除了城市运输用车之外，平均载重高达 20 吨、标准化甩挂运输大型货车随处可见。随着货运市场发展、卡车领域技术趋于成熟，推进卡车大型化在中国具有很大潜力。

物流管理优化对于交通节能至关重要。借助 ICT 技术和第三方物流平台，物流链可以得到极大程度的优化，形成具有区域辐射影响的物流园、物流中心，并且与生产、消费方结合，形成物联网，可以极大降低货物运输能耗，实现管理

¹¹‘EU Transport in figures.’ European Commission. Australia: BITRE ‘Road and Rail Freight: Competitors or Compliments?’, Japan: JSY 2012. United States: BTS table 1-46b. China Current: CSY 2012. Projected China: RMI/LBL/ERI projections.

¹²World Bank Data (available for download at <http://data.worldbank.org/indicator/IS.SHP.GOOD.TU?page=1>)

¹³ 谢新连, 赵福杰, 赵家保和谢欢.“集装箱铁水联运研究现状与动态.”

¹⁴DM personal interview and correspondence with leading Chinese 3pl. Anonymity was requested as terms of sharing information.

节能（图 14）。

2、建立以高铁和铁路为骨架的城间客运运输体系，减少民航与私家车出行

高铁是城间客运交通体系低碳发展的基础。高铁的单位人公里能耗只有航空的 1/10。对于 1000 公里以下的行程，高铁无论在成本方面还是时间方面都比航空更具优势。据分析，目前中国 65%的航空客运为 1200 公里以下的航线为主，35%是 800 公里以下，若以高铁取代大部分 1000 公里以下航线，以其他铁路支线替代大部分城间客车，便可以建立以高铁为骨架的城间客运体系¹⁵。

截止 2015 年底，我国已经建成高铁轨道 1.9 万公里，占世界 60%以上，2020 年高铁轨道总长度将达到 3 万公里。预计到 2030 年，以高铁为代表的铁路客运在客运结构中的比重将提高至 13%以上。为更好抓住这一机遇，需要注重提高高速铁路的便捷性，在靠近城市中心处规划车站，注重在车站附近规划新的城市，实现车站与城市公共交通中心无缝对接。

3、重视轨道交通和城市公交系统建设，提高公共出行比重

在政策情景下，500 万以上人口的城市将形成以大容量快速轨道交通为骨干、地面公交为基础、出租汽车和非机动化交通为补充的交通基础设施网络。百万级人口的城市以公交为主，中小城市以先进电动汽车为主，形成市区郊区均衡发展、内外交通有机衔接、无缝链接的现代化一体化公共客运体系。

实践表明，大力发展地铁、轻轨、快速公交系统（BRT）等公共交通系统，是发达国家城市交通节能的重要途径（图 16）。小汽车耗能要比公交车高 3 倍，占地面积高出 40 倍，使已经十分拥挤的城市更加拥挤不堪。另外，通过城市慢行交通系统建设，提高非机动化出行也有益于建立高效低碳的城市交通系统。

城市可以通过征收拥堵费（例如伦敦、斯德哥尔摩和新加坡）、强化停车管理政策、汽车共享等方式降低私家车使用率。纽约市发现，增加停车位置只会增加出行从而带来更多拥堵。巴黎减少了马路停车点 9%，使汽车行驶量降低了 13%。汽车共享模式在全世界都获得了好评，这种模式在 1000 多个城市涌现，并迅速在中国增长。2012 年时中国只有两家汽车合用服务公司和 39 辆供合用的汽车。2016 年，汽车共享服务公司有几十家，供合用的汽车超过了 10000 辆。

¹⁵Fu, Zhang, and Lei, “Will China’s Airline Industry Survive the Entry of High-Speed Rail?”.

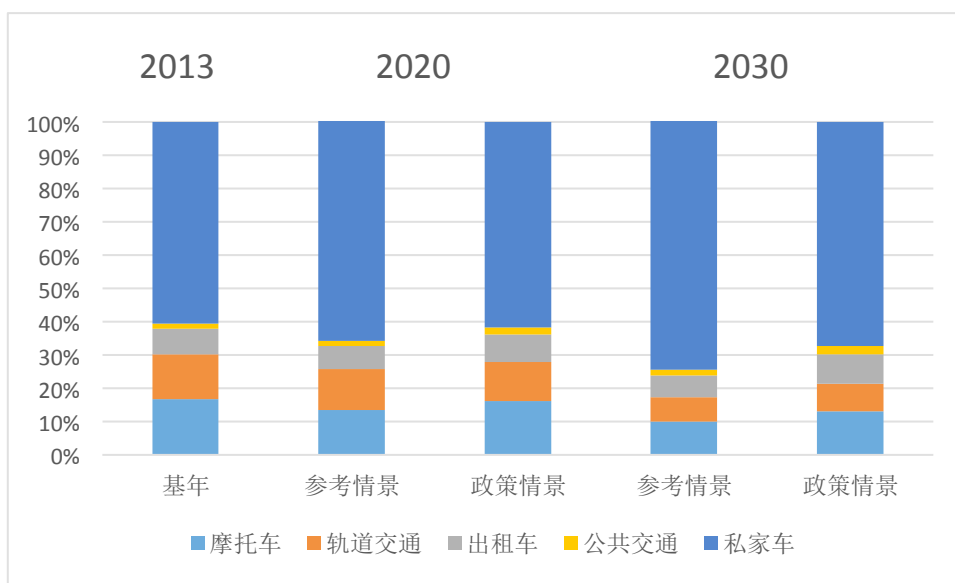


图 15 不同情景城市客运结构变化比较

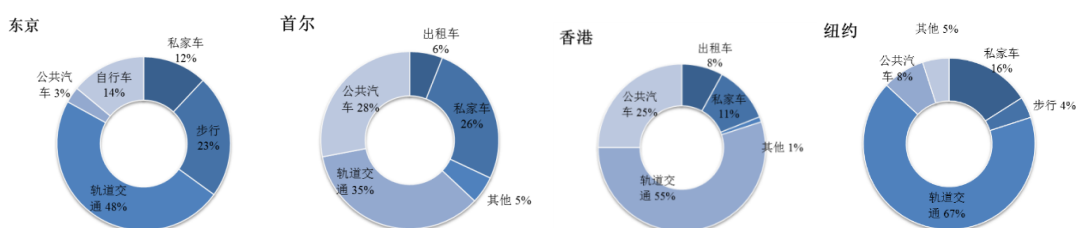


图 16 世界主要城市出行方式占比

(三) 转向清洁能源，实现车辆船舶的去油化和电气化

减少对石油的依赖，转向以电和可再生能源为主的能源消费结构，可以显著降低化石能源需求。与参考情景相比，优化交通运输燃料结构可以使能源需求减少 6%，节约 0.6 亿吨的能源消费量，占交通运输部门总节能潜力的 18%。

1、鼓励天然气车船的普及，降低交通终端用油比重

天然气卡车在中国和美国的市场上均已获得了显著的市场份额，主要原因是更低廉的燃料价格。此外，天然气燃烧方式比柴油的更为洁净，对区域环境污染的减排贡献大，随着愈加严格的环境排放标准和要求，天然气车辆预计会有更大的应用前景。

截止 2015 年，天然气汽车保有量已达 500 万辆。2025 年天然气将占道路用能的 10%¹⁶，而且船舶也开始使用天然气。在政策情景下，到 2030 年天然气汽车占汽车保有量的比重将达 4%，主要集中在重型卡车和城市公交车¹⁷。对货物

¹⁶ The Outlook for Energy: A View to 2040, China edition. ExxonMobil, 2015.

¹⁷ 2014 年中国天然气汽车保有量 400 万辆，建成加气站 6502 座，均位列世界第一。（中国道路运输协会，“十三五”全国车用天然气需求预测研究。）

运输而言,由于重型卡车具有行驶路途远、运输线路灵活、需要快速加油的特点,实现电气化难度较大,未来将主要依靠天然气和生物燃料,以实现多元化、可持续的燃料供给,当然如果燃料电池技术有大的进展,货车运输的燃料替代也会有更大的进展,交通部门的“去油化”进程会更快。目前天然气货车占比增加很快,广东省重型货车应用液化天然气试点项目表明天然气在环境方面和经济方面具有巨大优势¹⁸。在环境方面,与柴油卡车相比,天然气卡车的 CO₂、NO₂、SO₂、以及烟尘排放分别减少 7.2%、33.8%、98.1%和 66.3%。在成本效益方面,虽然天然气前期成本,维修成本,保险成本都比柴油车高,由于天然气价格远低于柴油价格,天然气重型货车购置成本回收期只有 1.48 年。

2、扫除电动汽车推广的技术和政策障碍,使其成为交通电气化的主体

加快普及插电式混合动力汽车、纯电动汽车是降低交通部门油品需求、破解城市环境约束、提升汽车产业发展水平的重要途径¹⁹。电动汽车的动力来源为电力,所以推广电动汽车成为降低交通部门油品需求,提高国家能源安全的重要途径和手段,还可以提高本国汽车产业的技术水平和竞争力,为区域环境污染减排做出贡献。各国都制定了相应的资助政策、消费者补贴、推广目标、产业政策、充电基础设施建设等政策促进电动汽车的推广。中国目前已经是继美国、欧盟以后的第三大电动汽车市场,2014 年之后,电动汽车发展迅速,故 2014 年被称为电动汽车“元年”,销售量达 7.5 万辆,2015 年销售量达 33.1 万辆。

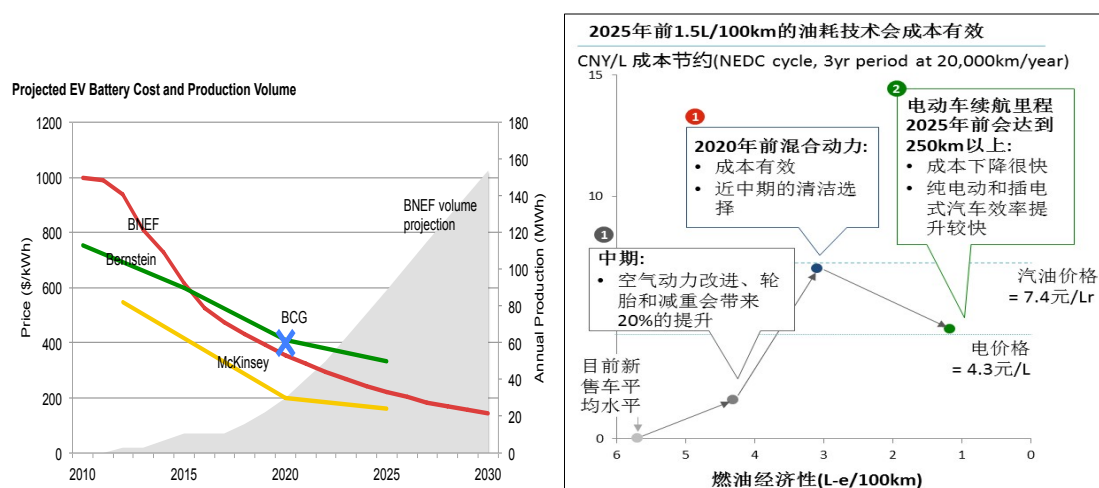


图 17 电动汽车技术改进与经济性展望

从汽车的燃料替代看,近中期将以混合动力电动汽车、天然气汽车为主,中长期将随着插电式电动汽车、纯电动车技术成熟、成本下降(见图 17),汽车的能源效率改进更为明显。

¹⁸广东省交通运输规划研究中心,“广东省道路货运业推广 LNG 应用工作方案研究。”能源基金会,广东省交通运输规划研究中心,2014 年 11 月。

¹⁹ ICCT,“Driving Electrification: A Global Comparison.”

特别是未来电网可再生能源比重增加的趋势下，电动汽车全生命周期的碳减排效果明显，在节能方面也有较好的收益，与传统的汽油路线相比电动汽车可以节能 35%以上，减排 20%左右²⁰。政策情景下，2030 年在私人汽车保有量达 3.2 亿辆、出租车保有量 288 万辆，20%以上实现电动化²¹。城市公交车也有 50%以上为电动车，可以为城市空气污染减排作出贡献。

目前京沪高速 1262 公里，国家电网在沿线已建成 50 座快充站，平均单向每 50 公里一座充电站，每座快速充电站规划建设了 8 个快速充电桩，可实现 30 分钟内将电动车的电池充满。未来全国的充电基础设施会随着保有量的增加不断完善。根据电动汽车的发展趋势和民用汽车保有量的增长，私家车 2030 年电动汽车在新增车辆的渗透率为 55%；出租车 2030 年电动汽车在新增车辆的渗透率为 70%。

3、生物燃料和铁路电气化是去油化的重要路径

生物燃料可以在车用、航空燃料发挥油品替代作用。生物燃料承担了巴西车用燃料的 22%，在美国和欧盟，这一数字为 3~4%。随着未来技术提高，特别是第二代生物乙醇和第三代生物柴油技术突破、设施规模化之后，生物燃料的价格将变得更有竞争力。但对于可耕地面积和水资源都相对有限的国情来说，国内生物燃料的供给量相对有限。根据研究，国内能源植物的资源潜力约为 5.9 亿吨标煤，加上转化效率等考虑，2030 年生物液体燃料的车用燃料替代量为 1400 万吨标煤左右²²。据此，政策情景下 2030 年生物燃料占交通终端能源的比重可达 0.6%，相当于 361 万吨标煤的能源消费量。生物液体燃料除了直接用作车用燃料外，目前航空领域也在进行各种生物燃料的尝试推广。日前，海口到上海的飞机采用地沟油作为来源的燃料进行了成功试飞²³。

提升铁路系统的电气化水平，推动铁路燃料清洁化和现代化。2030 年铁路提供的客运周转量、货运周转量服务比重分别为 36%、18%，是长距离运输的骨干和主体，铁路系统的电气化水平和效率对于整个交通运输系统的能源结构有着重要影响。对于客运来说，电力机车 2030 年 50%电气化，货运电力机车的比重也逐渐提高到 2030 年的 46%左右，铁路系统基本实现电气化。

（四）交通运输工具的能效提升：加快技术创新进步，大幅提升交通工具效率水平

中国交通工具能效水平与发达国家仍存在明显差距。通过普及先进成熟交通

²⁰张希良，张旭，欧训民，中国新能源汽车产业发展现状与展望。环境保护，2013（41），10:24-28.

²¹说明：包括纯电动汽车和插电式混合动力汽车。

²²清华大学中国车用能源研究中心，《中国车用能源展望 2012》，科学出版社（2012）

²³Boeing, "China's First Commercial Flight with Sustainable Aviation Biofuel."

工具，大幅提升燃油经济性标准，可以明显降低交通运输能源需求。参考情景已充分考虑了市场力量对推动交通工具燃料效率改进的作用，在政策情景中，课题组认为，交通工具的能源效率还可以进一步提升，由此可使能源需求减少 4%，节约 0.4 亿吨的能源消费量，占交通运输部门总节能潜力的 12%。

1、发展高效载货汽车，增加重型载货汽车比重

增强节能技术在卡车上的应用，提升卡车能效水平。在发达国家，重型载货汽车和甩挂运输方式在物流业普遍运用。目前中国重型货车平均载重量 14 吨左右，中型载货汽车的平均载货量在 4 吨左右，在美国，几乎到处可见 36 吨的甩挂卡车。而且中国货车空驶率较高，超载现象严重。一方面可以通过组织管理，提高载货率，同时逐步缓解超载现象；另一方面，可以通过发展甩挂运输方式，提高运输效率。有数据显示，如果现有运力全部实行甩挂运输，运输能力可提高 40%，成本降低 30~40%，油耗下降 20~30%。使卡车大型化是提高卡车效率的另一途径。更大型卡车的有效载荷更大，单位周转量的能源消费量更低。带有多个挂车的卡车被称为长组合车（LCV）可以而且已经具有更高的效率。长组合车在澳大利亚则将该项技术发挥到了极致（卡车载重大到 120 吨），拖两个至三个挂车的卡车每货运吨公里可节省 15%至 35%的能源。

目前中国卡车能效水平不高。从全球的角度来看，最近出台的燃料效率标准及不断改进的技术可在 2030 年前将卡车效率提升 25%左右。卡车排放方面的技术，如尾气再循环和柴油颗粒物过滤器等低成本技术可将污染降低超过 95%，但这些改进将会抵消发动机性能提高所带来的收益。插电式混合动力车应该成为轻型卡车提高效率的可用技术，它能大大地提高效率，同时也能使轻型卡车仅依靠电力来进行绝大多数情况下的运输。

一些关键有效的技术可以减少货车百公里油耗，包括优化车体空气动力学结构，使用低摩擦阻力轮胎、轮胎压力监控、提高发动机热效率、压力恢复、以及电气化辅助设备（例如泵，空调）等。例如，美国能源部提出的“超级卡车”项目，仅利用现有的、成熟的、成本有效的技术，重型卡车的道路实测能耗能够下降 50%。轻型货车的技术改进前景跟重型货车相近，由于轻型卡车较多的被用于市区送货，使用混合动力或是插入式混合动力轻型卡车技术能带来更大的成本效益。

FIGURE X.X:
COST CURVE FOR IMPROVING HEAVY DUTY TRUCK FUEL EFFICIENCY

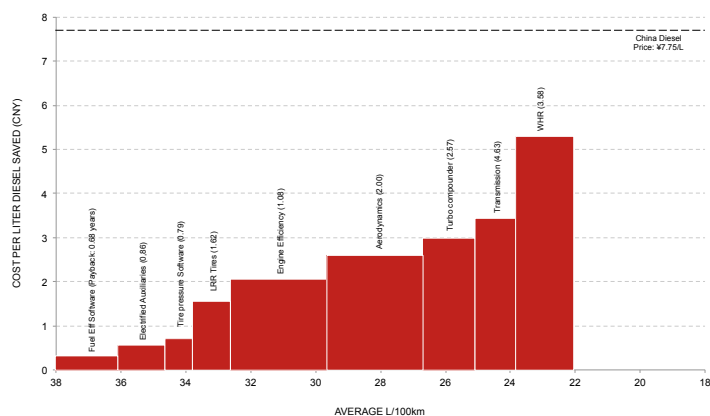


图 18 重型卡车能效提升的成本曲线

在政策情景下，课题组假定公路货运主要通过发展甩挂运输、提高载货量，同时发展超级货车，使用提高燃油经济性技术等将其百公里油耗在目前水平降低 20%以上。

2、采用新技术、新材料，不断改进乘用车燃油经济性水平

通过一揽子的技术改进和能效限额标准，提升小汽车的燃油经济性水平。中国汽车主要的平均性能指标，如发动机排量、整备质量、轮胎受力面积、马力都介于美国汽车与欧盟汽车之间，而平均燃油消耗量比欧盟车队高 26%，如果考虑到重量因素，比美国汽车能源消耗量还高。中国目前正在执行《乘用车燃料消耗限值》第四阶段的标准，其中 2015 年目标为 6.9L/100km，2020 年目标为 5L/100km（见图 3.12）。在政策情景中，课题组设想汽车将大量运用碳纤维、铝、高强度钢、复合材料等新材料使得车身更加轻量化，通过一揽子技术改进包括发动机设计优化、车辆传动系统改进、智能起停、能量回收系统、空气动力学改进、摩擦阻力减少等技术，汽车效率可以被提高至 3L/100，这其中包括电动汽车、插电式混合动力汽车的贡献。

政策情景中，传统内燃机汽车、混合动力汽车燃油经济性相比参考情景改进更为显著，公共汽车、小公交的燃油经济性改进也很明显。从整个车队的效率提升来看，2030 年私家车百公里油耗可在目前水平上（等效油耗）下降 44.3%，出租车百公里油耗可下降 53.2%（见图 19）。

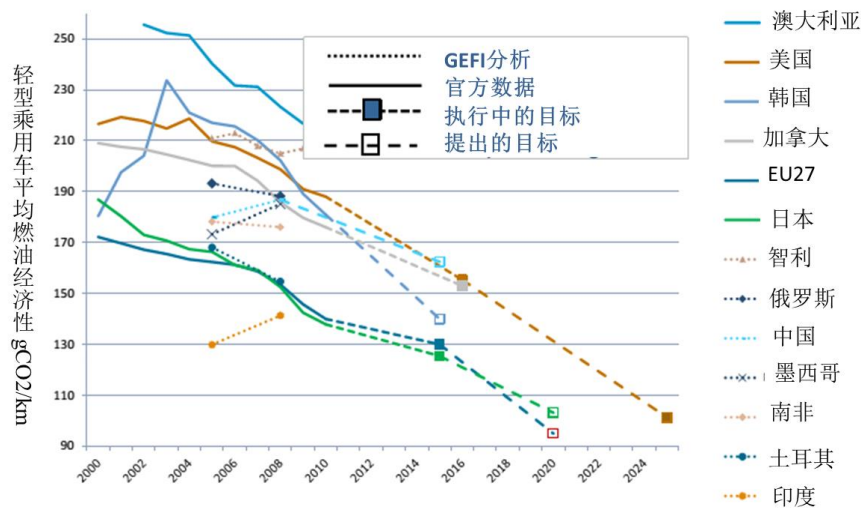


图 19 各国燃油经济性提高情况及未来目标²⁴

自动驾驶汽车

自动驾驶汽车由探测器和软件驾驶，而非靠人来驾驶，自动驾驶和联网汽车将会极大的改变城市交通未来。尽管该技术目前仍应用尚少，一旦这种技术完善后，可通过共享自动驾驶替代私家车，增加汽车利用率 10 倍。该项新技术能够颠覆西方现有的交通系统，并为中国的新兴交通体系提供一个从西方的范例基础上实现“飞跃”的机会，使私人出行呈现出革命性的变革潜力。

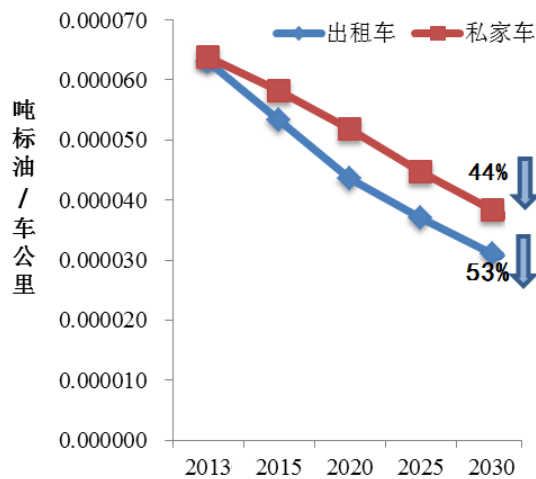


图 20 政策情景下私家车、出租车车队燃油经济性下降情况

小结：

通过实施以上交通低碳发展的途径措施，2030 年交通运输部门终端能源需求可从参考情景的 9.4 亿吨标煤降至 6.1 亿吨标煤。并且在 2030 年左右，交通用

²⁴IEA, 2012. Technology Roadmap on Fuel Economy of Road Vehicles. Historical fuel economy improvements by country and future targets.

油达到峰值，在 2030 年后不久，交通终端用能和碳排放有望相继达峰。

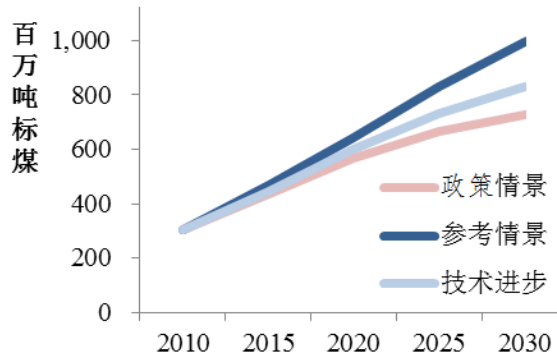


图 21 技术进步带来的交通低碳发展潜力

参考情景下，2030 年交通运输业能源消费量预计增长到 2013 年水平的 2.1 倍，从 4.6 亿吨标准煤增长到 9.4 亿吨标准煤。交通运输业在国内能源消费总量中的比例也将从 10% 上升到 20% 左右。二氧化碳排放量将从 9.7 亿吨增长到 28.2 亿吨。进口原油比例将提高到 75% 以上，以便支持如此规模的能源消费。而且随着新增 2.7 亿辆汽车，城市拥堵和空气污染问题将进一步加剧。

政策情景下，以仅比 2013 年水平增长 0.6 倍的能源消费量和更加多元化的燃料供应支持同等水平的经济发展。能源消费量比参考情景低 35%。石油产品提供的能源比例降低到 72%。二氧化碳排放增长减缓，有望在 2030 年之后不久达到峰值。研究分析显示，2013 年至 2030 年 17 年内交通低碳发展的相关投资单在燃料节约一项上便可获得 10 亿人民币，这一收益不包括空气质量好转、能源安全改善和更加可靠与公平的交通运输服务等其他额外收益。

四、交通部门低碳发展的效果

通过实施以上交通运输部门低碳发展的四条路径，预计可以实现构建高效清洁、绿色低碳、方便快捷舒适交通运输系统的低碳发展愿景，为实现三个“脱钩”的目标奠定基础，同时实现交通用能与经济社会、生态环境的可持续发展。

（一）以较低的能源需求满足交通服务与城乡居民出行的快速增长，初步实现与交通发展的“脱钩”

如果从源头上选择新型工业化道路，采取协调发展的城镇化模式，利用先进技术对交通运输组织、管理、模式进行优化，大力提升不同交通运输方式能源效率，在政策情景下，未来交通用能可保持低速增长，并满足国民经济社会发展对交通运输服务要求，到 2030 年交通能源需求仅为 6.1 亿吨标煤，2013~2030 年期间交通运输终端能源需求年均增长率为 2.2%，仅为同期 GDP 年均增长率的 0.46。与参考情景相比，2030 年交通终端能源需求下降了 35%（见图 22），初步实现与

交通发展的“脱钩”。

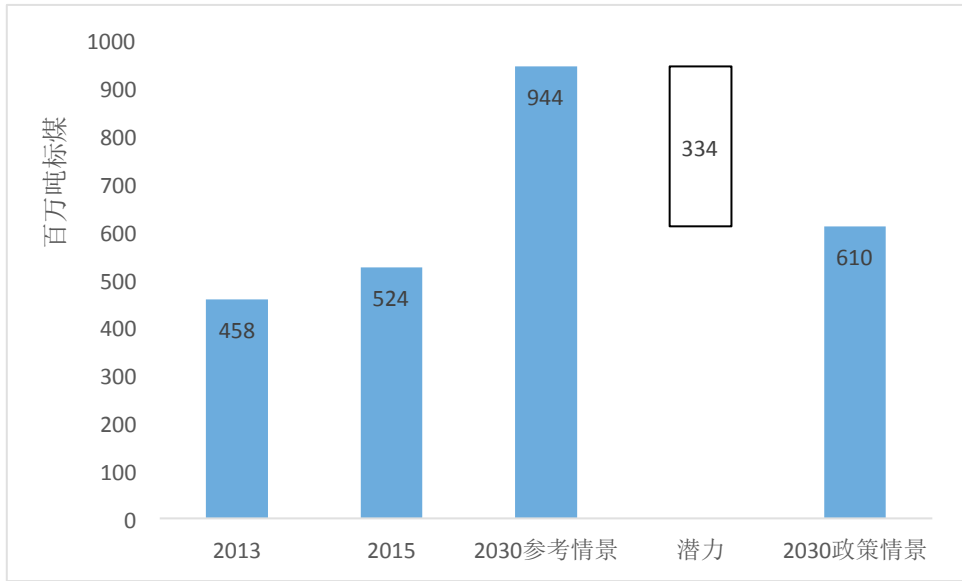


图 22 不同情景交通运输部门终端能源需求展望比较

(二) 终端用能结构逐步实现清洁化、多元化、电气化，摆脱了对油品高度依赖的局面，实现与油品需求的“脱钩”

大力发展替代燃料，不断提升交通工具的燃油经济性，未来交通运输能源需求不仅增速放缓，用能结构也将显著改善。图 24 显示了未来交通部门低碳发展分品种能源消费量变化状况。从中可见，天然气以及电力将成为政策情景下未来交通用能增速最快的品种，年均增长分别为 13%和 8%。而同期柴油需求的年均增长率仅为 3%，2030 年柴油需求量为 3.5 亿吨标煤，比 2013 年水平增加 0.7 倍；而随着常规汽油车效率的大幅改进以及替代燃料的发展，2030 年汽油需求量仅为 1.3 亿吨标煤，仅比 2013 年水平增长 4.5%；航空煤油需求同期保持了年均 4.8% 的增速。

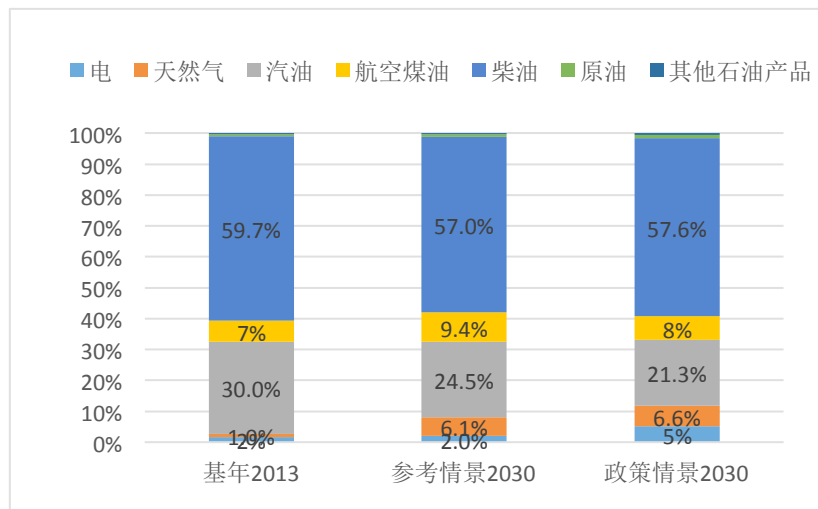


图 23 不同情景交通运输部门终端能源需求构成

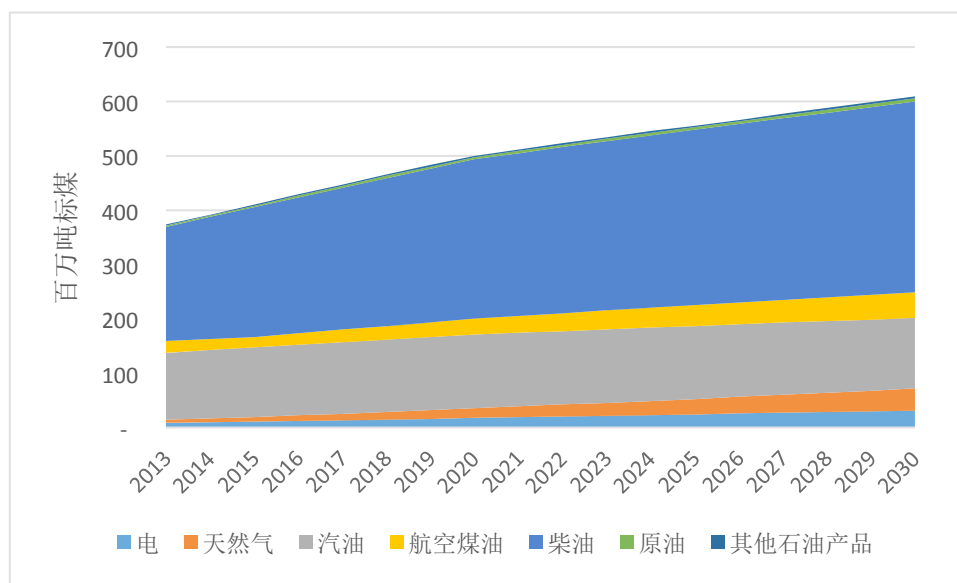


图 24 政策情景交通运输部门终端能源需求及其构成

如果延续当前的发展态势，2030年参考情景下交通终端用能需求为9.44亿吨标煤，由于较高的终端能源需求，即便考虑替代燃料发展，2030年汽油、柴油、航空煤油的比重依然达到91%。而在政策情景下，通过模式优化、结构调整和技术进步，2030年交通终端能源需求量比参考情景下降4%，同时大力发展高铁、电动汽车、天然气汽车、生物燃料，2030年，生物燃料、天然气、电力三者比重之和达到了13%，比2013年增长了9个百分点；而汽油、柴油、航空煤油的比重之和为87%，交通用能中油品地位不断下降，逐步向清洁多元的局面发展。

（三）交通用油将在2030年左右率先达到峰值，交通终端用能和碳排放也相继在2030年后不久出现峰值

如前述，货运部门是当前及未来交通用能的主要贡献者，而铁路与水路运输依然是最经济、能效水平最高的运输方式，无论是铁路，还是水路，其运输效率都比客货车高8~9倍。参考情景延续当前态势，在交通运输结构中，公路、民航运输占比仍保持较高的比重，即使考虑技术进步和燃料替代，未来交通用油仍将持续上升，到2030年交通用油将从目前的3.06亿吨，增至6.32亿吨，相当于增加了1.1倍（见图25）；相应的交通部门终端能源需求量、碳排放量也都将持续增长：到2030年，交通部门二氧化碳排放量将达到28.2亿吨，比2013年碳排放总量增长1.9倍，交通部门碳排放占比达到40%以上，这显然会影响政府提出的碳排放要在2030年、甚至提前达峰的目标。

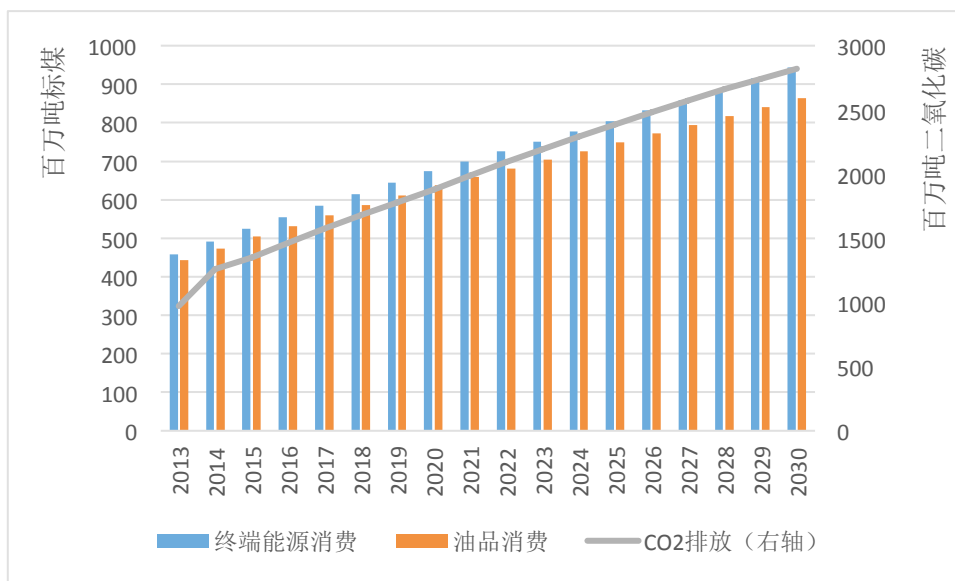


图 25 参考情景交通运输部门终端能源需求及碳排放趋势

在政策情景下，未来交通用油将保持较低的增速，2030 年，交通部门石油需求量仅为 4.05 亿吨，仅比 2013 年增加 32%，仅为届时参考情景石油需求量的 64%，并且在 2030 年前后达到峰值。石油需求的率先达峰，为未来交通用能与碳排放达峰奠定了基础，到 2030 年交通终端能源需求、碳排放也将先后达到峰值。

（四）综合能源效率持续提升，交通污染物排放大幅削减，城市环境质量和居民出行质量不断改善

“十一五”时期国家提出了强制性的节能减排目标，交通运输部门也从“十一五”时期开始，加大了节能减排措施的实施力度，但交通运输结构向高能耗强度方式转变的趋势并没有得到根本性逆转，铁路、水路所占比重仍在下降，公共交通出行的比重在大多数城市仍赶不上私家车比重的增长，近十多年来，交通部门综合单位周转量能耗虽从升转降，但下降趋势缓慢²⁵。在政策情景下，铁路、水运等运输方式扭转了下降态势，城市客运随着 ITS 的发展，公共交通的服务质量不断改进，在城市交通结构比重不断提高，与此同时，随着技术进步，公路、铁路、水运、民航等不同交通运输的能源效率显著改进，未来中国交通的综合运输效率明显提升（见图 26），与 2013 年相比，2030 年每万吨公里能耗 0.11 吨标煤，下降了 17%左右；如果换算成单位 GDP 能耗，交通运输部门的能源强度至少下降 25%以上。

²⁵客运和货运周转量的转换基本采用了国家统计局的方法，课题组根据文献调研进行了修正，人公里和吨公里的转换比率为：铁路 1.5:1、航空 13.3:1、水路 3:1、公路 10:1。

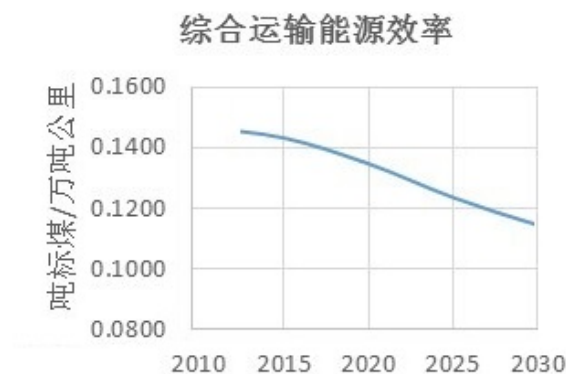


图 26 政策情景交通运输部门综合运输效率变化

在政策情景下，交通运输用能结构的改善与交通运输综合能源效率的提高，特别是天然气、电力等低碳、无碳交通工具的增加，以及货车油品质量的改善、排放管控措施的实时，交通部门单位能源的污染物排放强度也大大减少，表现在污染物排放上，2020 年左右可以基本实现主要城市交通运输污染物排放下降。

（五）交通体系低碳发展不需要增加太多额外投资，却可以取得明显的经济、社会和环境效益

参考情景下延续当前向大城市和东部地区集中的城镇化模式，在大城市必须将地铁、BRT 作为优先选择，共有 53 个城市规划了总数超过 396 条城市轨道交通线路，总里程超过 14000 公里，而地铁单位投资高，按照参考情景 2030 年中国地铁总里程 9000 公里计算，届时投资非常巨大。根据课题组分析，在政策情景下，2030 年地铁承担的服务量为 736.2 亿人次，比参考情景还低 1/4(见图 27)。在政策情景下，高速铁路将成为未来中长途客运的主要方式，电气化铁路货运将大大挤压公路承担的货运量，随着远程办公、视频会议、物流网、信息网，以及新型商业模式的创新，未来客货周转量将比参考情景有所下降，从而导致实际的高速铁路建设需求提高不大。

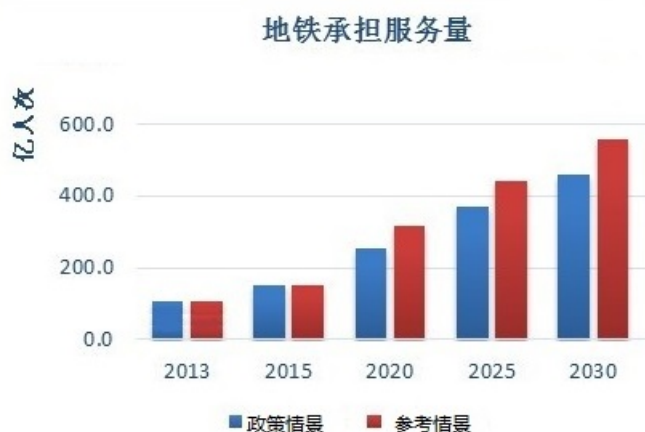


图 27 不同情景下地铁承担服务量比较

对交通运输部门低碳发展的成本效益：两个方案中主要区别是所需的额外投资 1) 为了提高货车效率进行投资；2) 为了建设运输轨道基础设施进行的投资；3) 为提高私家车效率进行的投资；4) 为新增的客运高速铁路而进行的投资；及 5) 为了配合精明增长而对城市基础设施进行改造的投资。这些额外投资是逐年计算的，按照 5% 的折现率折现。政策情景比参考情景 2013 年至 2030 年所需的额外投资总额为 8 万亿人民币，带来的燃料成本节约量略超过这一数字。考虑到交通部门低碳发展可能带来的其他收益（图 28 最后一列），卡车、民航客运、城市客运活动水平降低还会节约 10 万亿人民币。

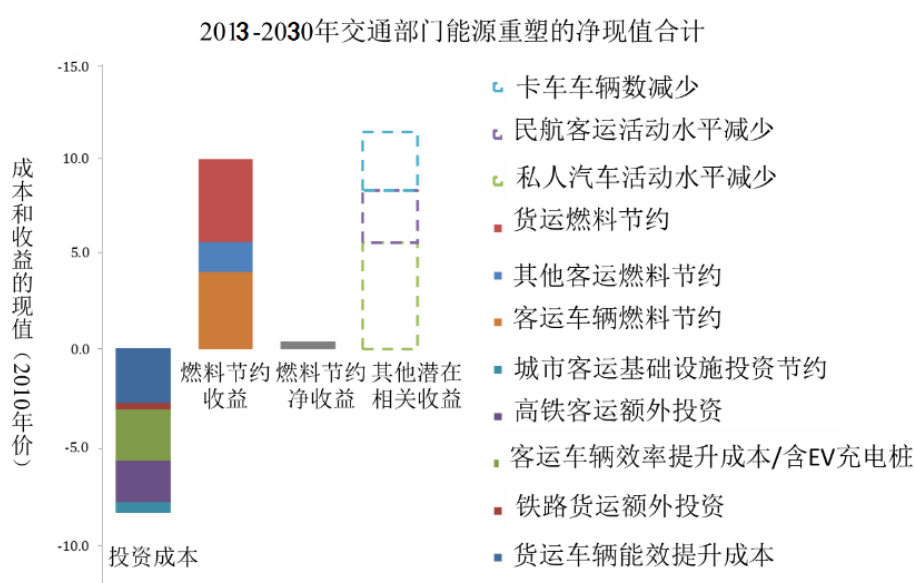


图 28 交通运输部门参考情景和政策情景相比带来成本和收益比较

另外，按照政策情景方案，可以带来巨大的环境收益。交通运输业造成的区域环境污染和二氧化碳排放影响健康（中国的空气污染每年使 120 万人死亡）及许多中国城市的生活质量，还有长期排放二氧化碳造成的潜在灾难性影响。如果能征收适当碳税的话，如每吨 100 元人民币，将健康和环境费用算进排放里，那么交通低碳发展潜在的收益可达数万亿元人民币。

（六）交通用油结构的重大改变给炼油行业带来巨大挑战，需及早应对防止油品的结构性失衡

2013 年交通运输部门能源消费量为 4.58 亿吨标煤，其中柴油占 59.7%，汽油占 30.0%，消费的汽柴比为 0.50，按照趋势照常参考情景的发展模式，活动水平下降、结构优化、燃料替代等各种因素的作用有限，所以 2030 年交通运输部门油品消费量为 6.32 亿吨，其中柴油占 57.0%，汽油占 24.5%，汽柴比为 0.43。但在政策情景下，电动汽车普及率提升，替代燃料发展较快，加上运输结构优化、

活动水平下降等因素，私家车、出租车等车辆被极大程度的替代为电动汽车，汽油的消费量有所下降，与参考情景的 2.3 亿吨标煤相比，政策情景下交通运输部门汽油的消费量仅为 1.3 亿吨标煤，而货车较难由电动汽车替代，仅一部分被天然气或生物柴油替代，汽柴比反而进一步下降，2030 年下降至 0.37。这一趋势与目前中国炼油行业的发展趋势和策略不尽相同。炼油行业的预测表明²⁶，消费柴汽比进入下行通道，2030 年将回落至 0.9 左右，虽然该数据包含了除交通运输部门以外的汽柴油消费，但是在分析时没有将未来电动汽车等新能源汽车的发展充分考虑。所以，不是提前做好应对柴油资源过剩的预案，而是在炼厂新建和改扩建项目应考虑各区域的消费柴汽比变化，以实现成品油的安全供应。

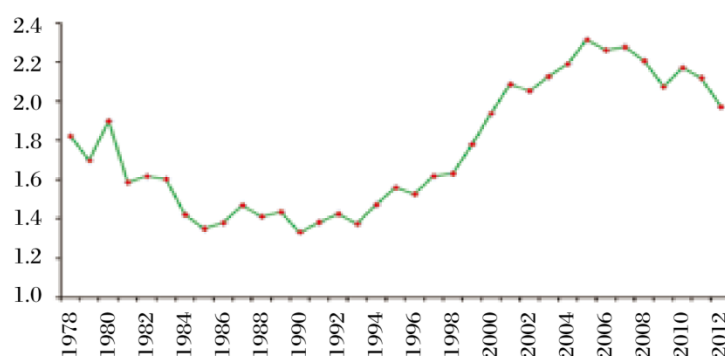


图 29 1978 年以来中国消费柴汽比变化

数据来源：丁绍恒等，2013。

五、低碳发展路线图、障碍和政策保障

要实现交通运输部门的低碳发展目标，需要制定分阶段、分层次的关键节点，形成交通部门低碳发展的路线图，并针对不同关键节点目标的实现障碍，制定相关政策对策。

（一）低碳发展路线图

交通部门低碳发展的路线图是指达到低碳愿景、实现三个“脱钩”目标的路线和方法，具体而言，货运、城市客运和城间客运子部门都需要在降低活动水平、调整优化交通运输结构、使用清洁高效燃料、提升运输效率等方面完成阶段性的目标任务（详见图 30）。加快高铁、铁路等基础设施建设，推动多式联运和综合交通运输体系发展，特别是结合信息化技术优化物流体系，积极示范新能源汽车，做好技术创新攻关和储备；基本形成以铁路为骨架的城间客货运体系，城市交通也形成以轨道交通和公共汽车为主体的城市交通运输结构，天然气汽车在货车等领域得到全面推广，新能源汽车包括电动汽车在汽车保有量中占有一定比重；交通基础设施将畅通成网、配套衔接，综合交通运输体系建成，人人享受绿色低碳、

²⁶丁少恒，徐英俊，张蕾，中国消费柴汽比影响因素分析及走势预测。国际石油经济，2013,4。

高质量的交通服务，交通运输装备先进适用、节能环保，电动汽车全面普及，摆脱对油品的高度依赖。

以下分别从 2020 年、2025 年和 2030 年三个时间节点分别讨论不同时期应重点实施的任务和目标。

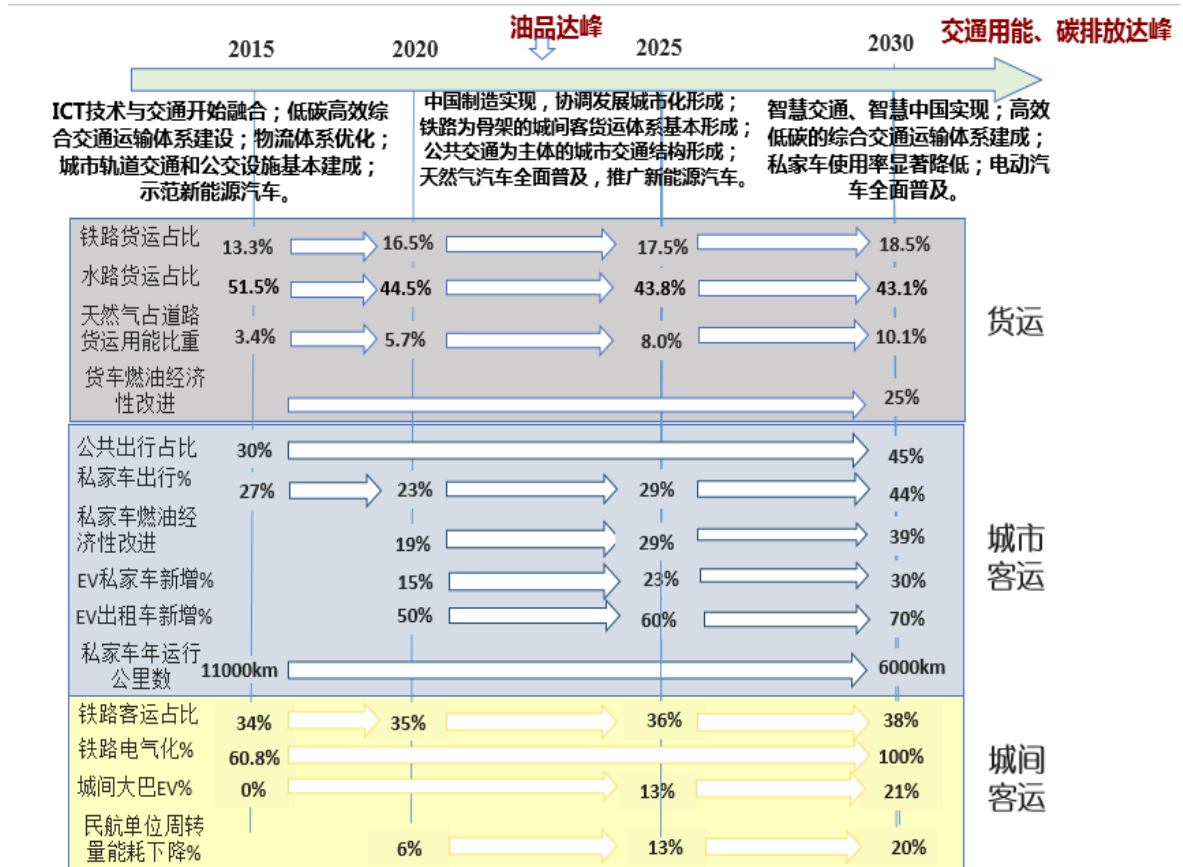


图 30 交通运输部门低碳发展路线图

1、2020 年前重点进行交通基础设施建设，推动低碳高效综合交通运输体系形成

推动经济结构转型升级，淘汰高能耗低产出的落后产能，打造工业 4.0 升级版，继续保持并加快服务业迅速发展的态势，2020 年占 GDP 的比重达到 50% 左右，逐渐减少大宗货物在运输中的比重，提高高附加值产品的比重，以实现优化货运结构，改变中国目前过度运输的现象，降低单位 GDP 的货运周转量水平。

合理引导大中小城市协调发展的城镇化模式，打造西部核心竞争力城市、因地制宜的发展中小城镇，通过城镇化协调发展实现产业优化布局的目的，缩短货物运输距离，缓解“春运”人口大规模迁徙现象，降低客货周转量。

新兴城市发展注重城市内部功能的组团化和多样化，以小街区和交通引导城市发展，实现非机动化出行友好的基础设施环境，公共出行便捷高效。既有城市

发展注重控制城市规模，避免摊大饼式的城市蔓延，抑制私家车出行较快增长的趋势。城市轨道交通、BRT 等基础设施建设基本完成，初步形成以公共交通为主体的城市交通出行模式。

随着收入水平的不断提高，私家车保有量增长快速增长的势头将延续到全面小康社会建成时的 2020 年，届时千人汽车保有量达到 162 辆，百户居民家庭拥有率接近 50%，但通过提供完善的公共交通设施，制定严格的客货车燃油经济性标准，大力发展插电式混合动力车为主的新能源汽车，可以降低私家车的使用强度，减缓汽车用能的较快增长。

货运方面卡车长距离运输大宗货物的现象将很大程度缓解，与此相联系的卡车严重超载和空驶现象也随着铁路货运的发展和物流平台的完善而消除殆尽，卡车逐渐走向大型化。

天然气汽车全面推广，特别是在重型卡车领域，成为重要的替代能源，2020 年天然气汽车将成为推进交通用能“清洁化”、“多元化”的主要燃料。电动汽车、插电式混合动力汽车处于全面试点阶段，技术成熟度和基础设施建设逐渐增强。

信息化技术与交通运输系统融合，降低出行需求、提高物流运输效率、减少城市拥堵。

2、2020~2025 年左右形成铁路为骨架的城间运输体系和以公共交通为主体的城市交通运输体系

随着城镇化进程的基本完成，2025 年达到 64%，接近饱和城镇化率水平，大中小城市协调发展的城镇化模式形成，生产地和消费地的布局更加合理，第二产业占 GDP 的比重降低至 41%，大宗货物已不是货运的主体。

主要城市之间已建立起高速铁路连接，实现“朝发夕至”的高铁网络，短距离还可以实现“早出晚归”的高铁出行模式，很大程度上替代航空以及一部分私家车的城际出行。普通铁路有更多的运力进行货物运输，至 2025 年 17%的货物通过铁路运输，43%以上的货物通过水路运输，货物运输的路径是通过铁路、水运实现主干线路长途运输，然后再由公路等进行短途的分散运输，多式联运优势得到充分发挥。

城市内部功能结构布局优化，实现以交通引导城市发展的模式，城市基本以公共交通出行为主，占比超过 40%，各个规模大小的城市都形成完善的非机动车出行专用道，私家车保有量 2025 年虽然会增长到 2.5 亿辆左右，但占出行的比重增长有限，仅比 2020 年增长 3 个百分点，此外私家车的燃油经济性提升迅速，整个车队的百公里油耗比 2013 年下降 29%。

货运的物流体系得到整体优化。在 ICT 技术与物流平台建设充分融合的基础上，物流体系得到优化，货物的运输效率得到提升，同时物流能耗下降。建设物流平台、物流园、物流基地和物流中心等，形成第三方物流平台中心，并实现数据联网，降低货车找货和货主找车的时间和空驶能耗，同时还可以通过优化路线降低货运周转量。

天然气燃料汽车在 2025 年前得到大规模发展，特别是货车、城间大巴占比更高。

新能源汽车得到一定程度推广，私家车新增车辆 23%为电动汽车或插电式混合动力汽车，出租车由于更新速度快且受政策影响明显，60%的新增车辆为电动汽车或插电式混合动力汽车。与电动汽车相关的充电桩、智能电网、储能设施建设发展迅速。

3、至 2030 年交通运输体系达到高效清洁、绿色低碳、方便快捷舒适，初步实现三个“脱钩”

至 2030 年经济结构转型升级、城镇化协调发展的目标已全面实现，信息化与交通运输系统深度融合，大数据、车联网、新技术变革将会极大地改变交通运输组织形式和运输模式。货运信息平台与信息化结合，可以使物流交通运输形成“思考”的神经系统，形成最佳解决方案的同时减少投入。城市交通已经开始使用 ITS、GPS、RFID 等信息技术，可以提高城市交通的运行效率和改变出行模式。智慧交通再进一步与物联网、交通网络、能源网络相结合，有望从现在的“智慧城市”，发展到“智慧中国”，形成覆盖全球的智能化综合网络（“智慧地球”）。

随着人均收入水平达到中等发达国家水平，私家车保有量增长至 3.2 亿辆，千人民用汽车保有量达到 224 辆，相当于目前韩国的汽车保有量水平，但使用率显著降低，从 2015 年年运行 11000 公里下降到 2030 年的 6000 公里，得益于公共交通的发展和非机动车出行比重的提升。

电动汽车得到全面普及。到 2030 年，70%的新增出租车、30%以上的新增私家车都成为电动汽车（EV+PHEV），电动汽车的充放电过程与智能电网通过 ICT 技术实现智能响应，为电网削峰填谷，满足负荷需求提供支持。

通过 2020、2025、2030 年三个不同的阶段性目标和路线图，交通运输部门可以实现交通用能清洁化与油品的脱钩，同时基本实现交通服务量与能源消费的脱钩和交通低碳化与碳排放的脱钩。

（二）实现低碳发展的政策建议

针对交通部门实现低碳发展的路线图和存在障碍，需要对目前涉及交通部门

的管理模式、规划方法、标准标识、基础设施、激励政策、信息系统等进行整合，才能实现交通低碳发展的愿景和目标，推动“工业化、城镇化两个发展模式转变”、“铁路系统和物流方式两个变革”和“燃油经济性和 ICT 两方面相关技术的应用”。

1、重构工业化和城镇化模式、促进高附加值产业和服务业的发展

针对目前货运存在的“过度运输”问题、客运“春运”和“一票难求”现象等，政府应该继续简政放权，发挥市场对经济的主导作用。加强高附加值产业和服务业相关市场建设，形成统一、开放、竞争、有序的市场体系，规范市场准入制度和行业监管办法，以信用制度建设为抓手，形成良好互信的市场环境。提高过剩和落后产能淘汰的门槛和标准，内部化高耗能产业能源使用的外部成本，进一步推进税收体制改革，使高附加值产业和服务业享有更多税收优惠，加大科技研发投入力度，健全知识产权管理和保护制度，鼓励自主创新的社会文化环境，实现经济发展与能源使用脱钩，货物运输的高附加值化，减少大宗货物运输占比。

在尊重城镇化规律的基础上，政府合理引导中小城市发展、限制大城市、特大城市的发展规模，鼓励农民在乡镇、小城市进行就地城镇化，可根据情况进行建房补贴、土地使用性质变更、学校医院道路等基础设施建设，实现消费地的合理布局，并使消费地临近生产地，减少社会系统的运输成本及能耗。扶持中西部地区的特色支柱经济，形成中西部地区的中心城市，使居民实现就地就业和发展，改变居民必须到发达地区打工而教育、养老仍在原籍的尴尬。依托新型城镇化优化产业布局，2030年实现客货周转量双重下降，与参考情景比分别降低4%和6%。

2、以精明增长和新城市主义理念引领城市发展、倡导交通引导城市发展的模式

目前中国大多数城市都陷入雾霾和环境污染之殇，而且城市“蔓延”发展带来的出勤距离拉长、城市拥堵问题严重，城市病正在蔓延。非机动化出行、公共出行正在被私家车出行蚕食，城市交通结构恶化。

城市规划将交通纳入考虑的维度，以多中心、组团式、小街区的理念引领城市发展，注重土地混合开发、高密度建设，构建紧凑型城市，创建以人为本而不是汽车为本的城市。城市规划中将交通引导城市发展(TOD)放在重要前置位置，在城市建造设计时就居民区建于主要公共交通走廊(地铁+BRT)一定距离内，形成公共交通为主体的城市布局基础。加快城市慢行交通步道和环境建设，实施城市中心区域的拥堵收费和停车收费改革，加大私家车在城市中心区域的使用成本，减少私家车出行的比重。继续对城市公共交通基础设施建设加大投入，特别是轨道交通设施建设，注重零距离换乘车站建设，增强公共交通设施的舒适性，提高吸引力。在一些车站设立公共停车场，方便私家车和公共交通之间的换乘。

加大电动汽车、混合动力汽车的技术研发，在电池续航里程、使用寿命、可靠性、电网储能方面实现技术突破，合理使用电动汽车补贴资金，避免地方保护主义现象，对插电式混合动力和传统混合动力汽车同样给予关注和重视。可以在政策发挥作用较大的出租车、公交车领域进行试点推广，及时反馈实施效果。适时规划布局充电桩建设，与电网响应和服务能力共同匹配协调发展，发挥电动汽车的储能作用。

3、推进铁路系统的市场化改革步伐、提高多式联运的比重

铁路运输占比逐年下降，公路成为满足交通运输需求增长的主要途径，导致中国运输结构恶化、能耗高、物流成本占 GDP 的比重 17.8%，比发达国家 8%左右的水平有很大差距。

打破铁路的垄断地位，加快推进铁路市场化改革的步伐，实现浮动定价、允许私人资本进入、破除铁路和其他运输方式间接驳的制度问题等，从而破解铁路和高铁建设的融资问题，尽快建成完善的高铁和铁路的全国性网络，实现普通铁路的改造升级，使普通铁路有更多运力进行长途货运，释放铁路的运输潜力提升运行效率。主要城市之间实现高铁互通互联，高铁成为城间客运的主要通道。

突破不同交通运输模式间接驳的制度、标准、行政障碍，实行集装箱的标准化和使用范围，基础设施建设方面注重无缝衔接，构建铁路、水运长距离运输、公路短距离灵活机动运输的多式联运模式，提高其在物流运输中的比重。

4、优化物流组织管理、形成高效物联网

目前道路货运中卡车超载和空驶的现象都非常严重，卡车长距离 1000-2000 公里运输货物的现象普遍存在，这与物流组织管理水平差、体制机制上的障碍有很大关系。

在城市周边和内部建立物流园、物流中心，构建基于大数据和信息化的物流平台，实现物流链和物联网的最优化，最小化运输路程和空车回程路线，实现物流运输体系最优。鼓励货车向大型化发展，给予适当补助，通过物流优化和货车大型化改变目前货车的超载和空驶现象。

2020 年前基本消除超载和空驶现象，2030 年前建立起完善的物流网络，并与产业布局智能连接，形成高效物联网。

5、出台基于车辆足迹的燃油经济性标准、鼓励天然气生物液体燃料等替代油品

中国民用汽车保有量近些年呈现井喷之势，相应的油品需求飙升，给能源安

全带来巨大挑战。卡车的燃油经济性标准更新频率和力度都不够大，仍有很多低效高排放的老旧车船在使用。

制定出台基于车辆足迹的燃油经济性标准，并定期更新，强化卡车的燃油经济性标准，加强监督检查力度，缩小铭牌油耗和实际运行油耗的差距。通过车购税税收优惠方式，鼓励车辆小型化，对大排量、奢侈性车辆收取重税，营造良好的用车文化。

继续推行天然气车辆的补贴优惠政策，建设充足的天然气加气站，构建 LNG 货运长廊，理顺天然气价格形成机制，保证天然气车船用气的长期可行性。加大天然气车船的技术研发，特别是船舶的技术研发，多燃料船舶技术的应用推广。

基于生物质原料的禀赋设定合理的生物液体燃料发展目标，形成完整的生物液体燃料产销链，促进其在车辆、飞机中的应用。

6、应用 ICT 技术实现交通服务网络信息化智能化

如果说中国与国际领先水平在信息技术上存在差距的话，那么信息技术在交通领域的应用差距则更加明显，这也是导致中国交通运输系统效率不高的一个重要原因。

通过奖励、补助等激励政策，充分发挥各主体的创新能力，形成信息通信技术与交通体系的融合，通过大数据、车联网、新技术变革，建立物流信息平台，使物流交通运输形成“思考”的神经系统，形成最佳解决方案的同时减少投入。城市交通推广 ITS、GPS、RFID 等信息技术，提高城市交通的运行效率和改变出行模式。智慧交通再进一步与物联网、交通网络、能源网络相结合，有望从现在的“智慧城市”，发展到“智慧中国”，形成覆盖全球的智能化综合网络（“智慧地球”）。

主报告

“十三五”及 2030 年交通部门节能目标研究

一、新常态下交通部门用能趋势

交通运输是国民经济和社会发展的基础性部门。交通运输在满足经济社会发展对于物质、能量、信息、人员等空间位移活动需求的同时，也消耗了大量的成品油、天然气等化石能源，二氧化碳排放量也逐年攀升。根据统计局发布的数据，2015 年我国交通部门终端能源消费量为 3.80 亿吨标煤，占全社会终端能源消费量的 9.1%。如果按照发达国家通用的交通运输能耗口径，将私家车、企事业单位自备车辆等都计入交通运输能耗，则 2015 年我国交通部门终端能源消费总量为 4.48 亿吨标煤，占全社会终端能源消费量的 10.7%²⁷。

当前，中国经济进入新常态，能源消费总量增速放缓，特别是随着产业结构转型升级和逐步完成工业化，产业部门的能源需求量和二氧化碳排放很有可能在 2020 年前后率先达峰。但另一方面，随着人民生活水平提高，出行需求不断增加，家用轿车拥有量逐年增加；虽然大宗商品运输量随着工业化的完成将呈现下滑态势，但伴随电子商务的蓬勃发展，货物运输量仍将进一步增长。国际经验表明，完成工业化以后，伴随着大宗产品运输量的下降，货运弹性将从工业化阶段的 1 左右降至 0.8 以下，甚至 0.5 以下，但依然有与服务业、居民生活消费密切相关的产品运输支撑。与之相对应，交通部门的能源消费量也将继续保持增长势头，考虑到在 2030 年之前，交通部门的能源消费仍将以油品为主，要实现我国政府制定的 2030 年碳排放达峰目标，交通部门将要发挥积极作用，由此将面临着严峻挑战。

（一）发展现状

1、交通运输周转量增长显著，交通部门用能增加

²⁷与发达国家相比，我国的能源统计体系和范围略有不同，为了保持交通部门数据的一致性和可比性，课题组根据能源平衡表、各交通运输设备保有量、效率参数、设备运行距离等各类参数，对基年的能耗数据进行校核，实现交通运输设备及相关能耗的一致性。具体调整方式见附录。

过去三十几年，交通运输客货周转量增长显著。2015 年全国营业性交通工具完成客运量 194.3 亿人、旅客周转量 30047.0 亿人公里，其中公路、铁路、民航、水运提供的周转量分别占 35.8%、39.8%、24.2%和 0.2%。2015 年全国营业性交通工具完成货运量 417.1 亿吨、货物周转量 177400.7 亿吨公里，其中公路、铁路、民航、水运、管道提供的周转量分别占 32.7%、13.4%、0.1%、51.5%和 2.3%。自 1978 年以来，客货周转量及交通运输结构的变化如图 1-1、1-2 所示。

2015 年全年城市客运系统运送旅客 1303.17 亿人，其中，公共汽电车完成 765.40 亿人，BRT 客运量 14.32 亿人次，公共汽电车运营里程 352.33 亿公里；轨道交通完成 140.01 亿人，运营里程 3.74 亿列公里；出租汽车完成 396.74 亿人，运营里程 1602.42 亿公里，平均每车次载客人数 1.94 人/车次，空驶率 32.0%；客运轮渡完成 1.01 亿人，下降 5.2%。²⁸

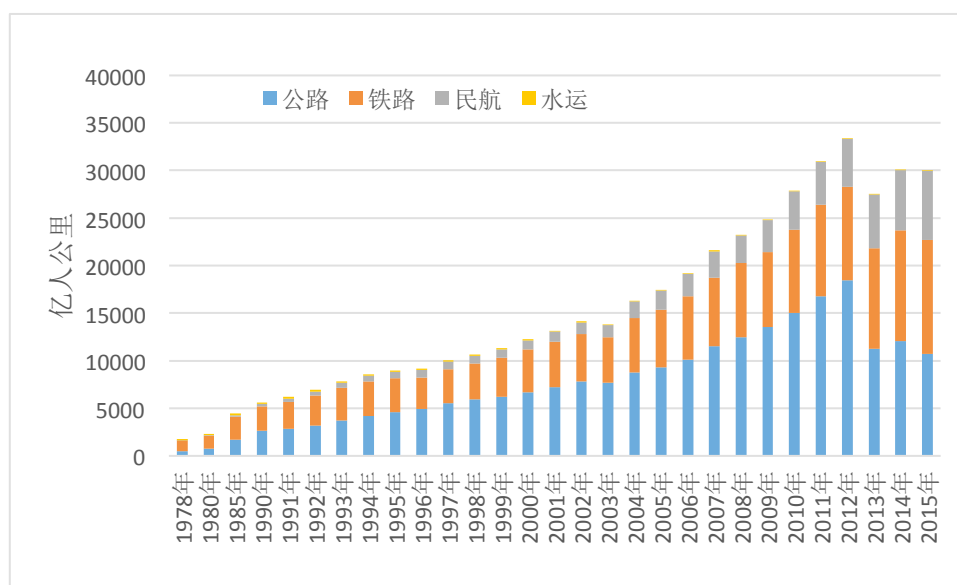


图 1-1 1978 年以来中国客运周转量及运输结构变化

²⁸ 2015 年交通运输行业发展统计公报。

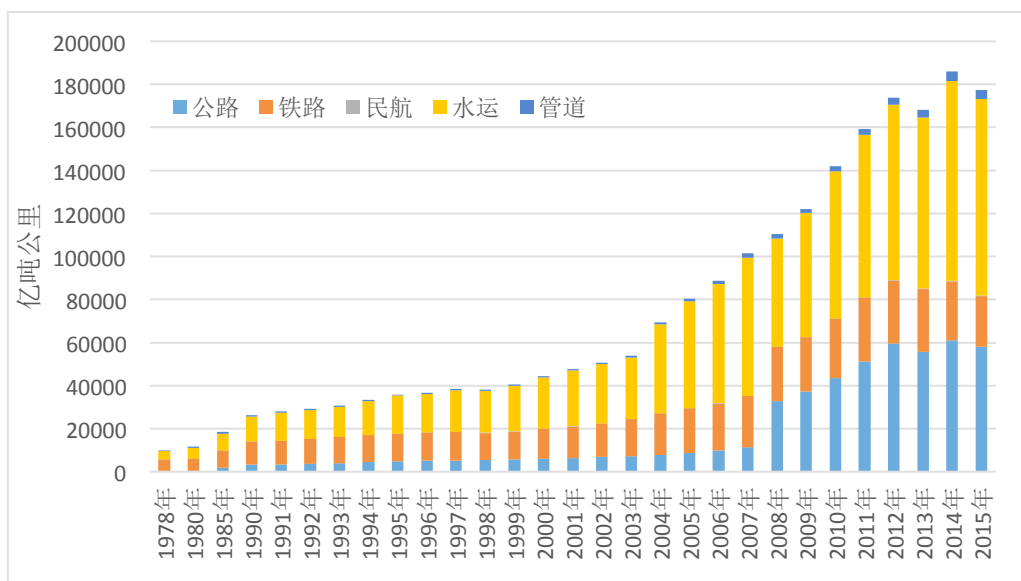


图 1-2 1978 年以来中国货运周转量及运输结构变化

与此同时，交通部门能源消费量增长迅速。根据统计局发布的数据，2013 年我国交通部门能源消费量为 3.48 亿吨标煤，占能源消费总量的 8.4%；2014 年我国交通部门能源消费量为 3.64 亿吨标煤，占能源消费总量的 8.5%；2015 年我国交通部门能源消费量为 3.83 亿吨标煤，占能源消费总量的 8.9%（图 1-3）。如果按照发达国家通用的交通运输能耗口径，将私家车、企事业单位自备车辆等都计入交通运输能耗，则 2015 年我国交通部门终端能源消费总量为 4.48 亿吨标煤，占全社会终端能源消费量的 10.7%。

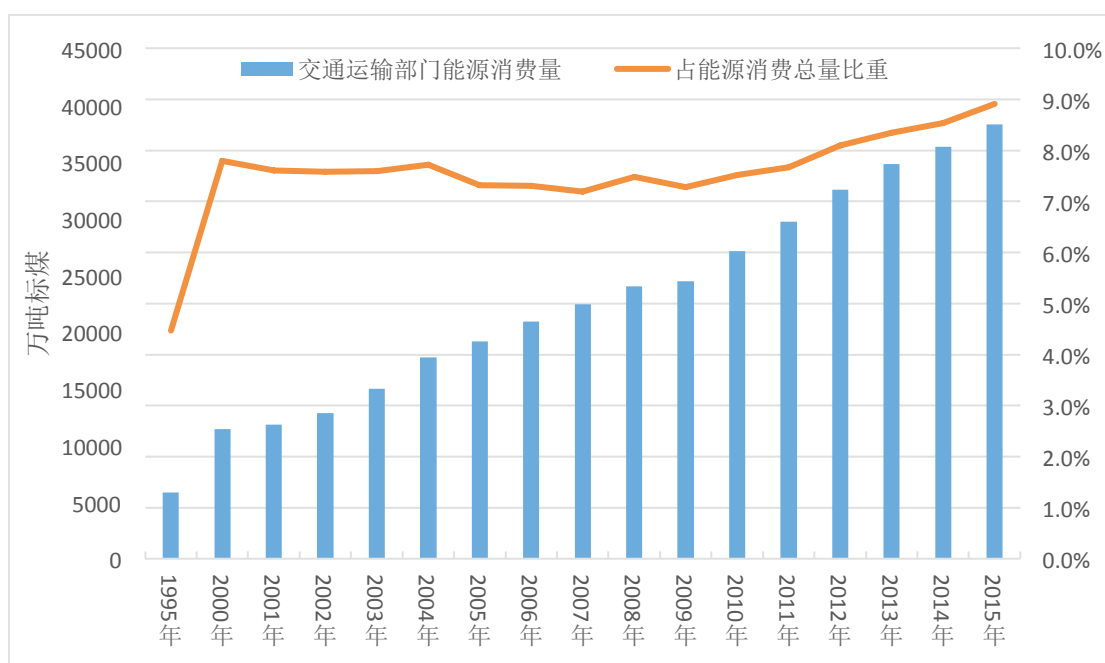


图 1-3 交通运输部门能源消费量及在能源消费总量中占比
数据来源：中国统计年鉴 2016.

2、私人汽车拥有量增长迅猛，推动交通用油高速增长

2015 年交通部门能源消费结构情况如图 1-4 所示，从图中可看出，油品是交通终端用能中第一大用能品种。与公路货运周转量占能源消耗的比例较高相对应，交通部门能源结构中柴油的消费量最高，占总能源消费量的 43%，其次是汽油，占 37%。从近些年的趋势看，航空煤油增长速度较快，2015 年已占交通部门能耗的 8.2%，如果延续民航快速增长的态势，航空煤油还会有较快增长。成品油的表观消费量为 4.16 亿吨标煤，占交通用能的 93%，占全社会石油消费量的 54%。由于交通部门油品消费增长迅速，而国内石油供应量仍维持在 5 亿吨左右，我国石油对外依存度明显提高，2015 年我国石油对外依存度 61.1%，初步统计，2016 年我国石油对外依存度已超过 65%，未来仍将进一步增长。

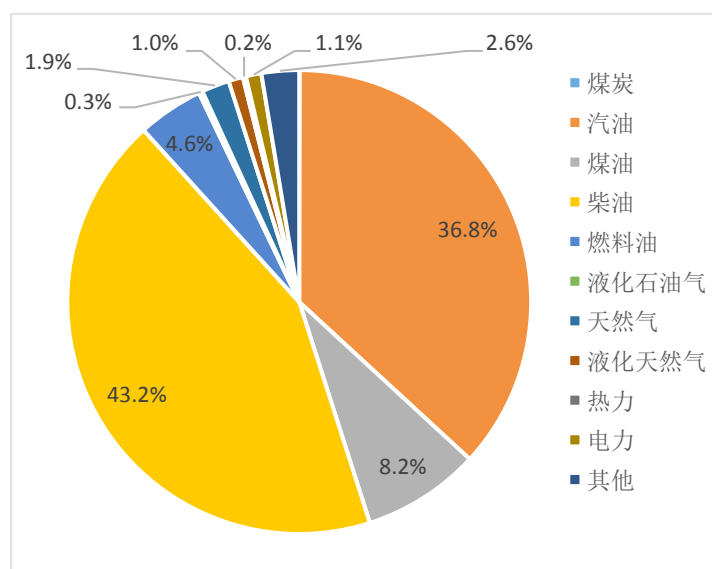


图 1-4 2015 年交通部门能源结构

汽油的主要用途是城市内部客运的私人汽车、出租车等，柴油的主要用途是货运和城间客运，燃料油的主要用途是水运，航空煤油的主要用途是城间客运。从用能的主要交通设备来说，包括货车、公共汽车、私家车等在内的车辆能耗量最大，占 2015 年交通部门总能耗的 70%左右。

伴随着城市化进程的加速和居民收入水平的不断提高，私人汽车保有量和私家车出行比重都呈逐年上升的趋势，汽车消费大众化，中国已逐渐走向“汽车社会”。1995年，我国汽车保有量超过1000万辆。7年后，到2002年，汽车保有量超过2000万辆。3年后，2005年，汽车保有量超过3000万辆。到2015年底共有汽车保有量16273万辆，2010年至2015年，汽车保有量年均增长1700万辆。与此同时，私人汽车的比重在不断提高，从1995年的24%迅速提高到2015年的88%（见图1-5）。

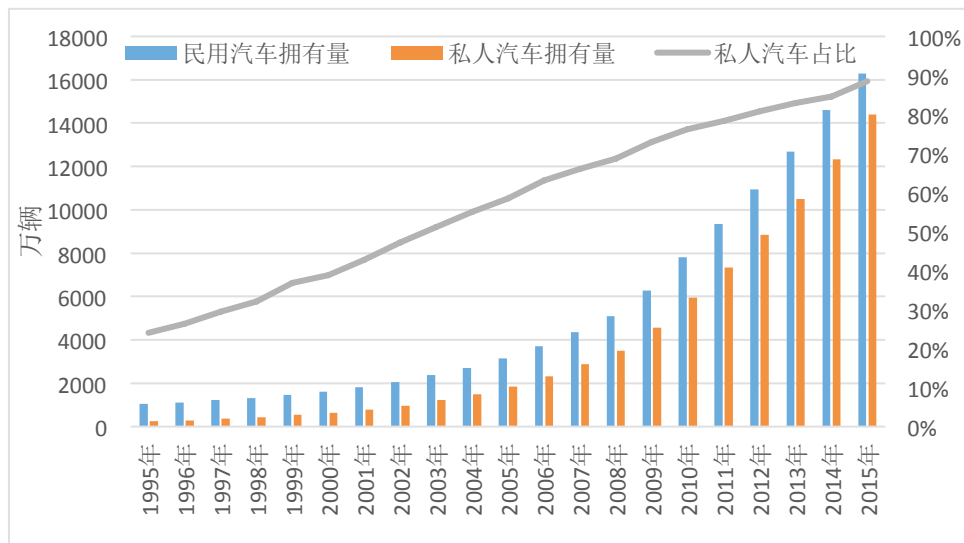


图 1-5 民用及私人汽车保有量变化

私人汽车包括载客汽车、载货汽车和其他汽车三大类，其中，载客汽车又分为大型客车、中型客车、小型客车、微型客车四类。家用轿车多指载客汽车中的中型客车、小型客车和微型客车，家用轿车占全部私人汽车的比例从2002年的63%逐渐上升到2014年的89%（见图1-6），特别是小型客车的数量和比重增长最快，汽车已经进入中国普通家庭。私人汽车保有量与汽柴油，特别是汽油消费量呈现高度的同步关系（见图1-7）。

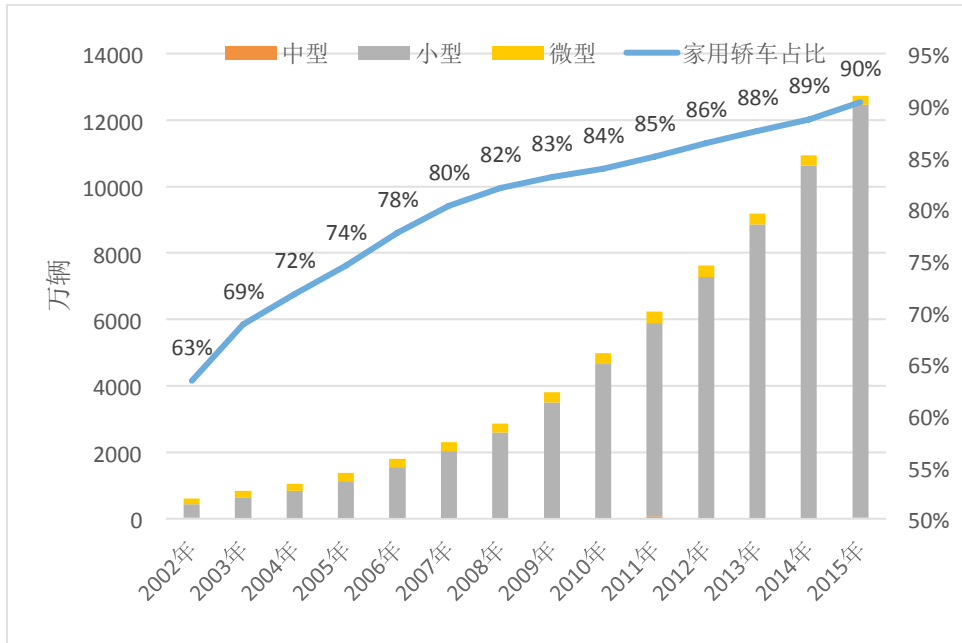


图 1-6 家用轿车保有量变化

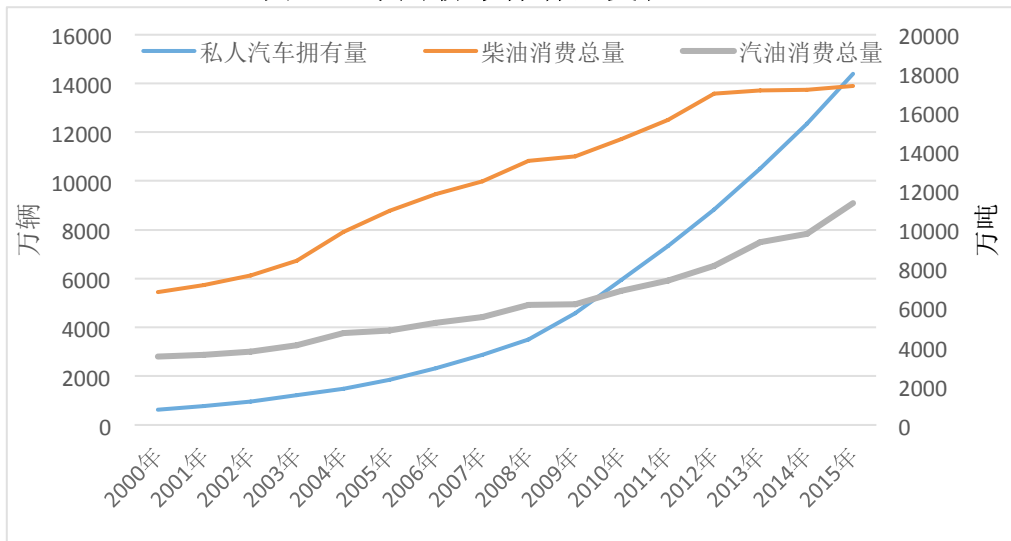


图 1-7 私人汽车拥有量与汽柴油消费量对比

3、技术节能取得显著成效，高效清洁交通运输工具和方式方兴未艾

“十二五”期，交通运输节能环保工作成效显著，宏观指导体系不断完善，交通运输部印发《绿色循环低碳交通发展指导意见》、《建设低碳交通运输体系指导意见》等文件，落实《关于加快民航行业节能减排工作的指导意见》。财政部会同有关部门发布《关于节约能源、使用新能源车船税优惠政策的通知》。交通运输部开展重点企业能耗统计监测，开展天然气动力车船试点，实施燃料消耗量限值标准和发布燃料消耗量达标车型，开展甩挂运输推荐车型等。科技部组织开展

“十城千辆”节能新能源汽车示范推广应用工程。民航节能减排投入不断增加，实施 1200 余项目。“十二五”规划设定的能耗和碳排放强度降低目标顺利完成，2015 年与 2005 年相比，营运车辆和营运船舶单位运输周转量二氧化碳排放分别下降 15.9%和 20%，民航运输吨公里油耗及二氧化碳排放均下降 13.5%。（见表 1-1）

表 1-1 公路水运主要能耗指标变化

指标	单位	2005	2010	2015
营运车辆单位运输单耗	千克标煤/百吨公里	4.71	4.31	—
营运客车	千克标煤/千人公里	17.90	16.65	12.6
营运货车	千克标煤/百吨公里	4.13	3.96	1.9
营运船舶单位运输单耗	千克标煤/千吨公里	7.77	6.97	—
内河	千克标煤/千吨公里	11.34	10.34	—
海洋	千克标煤/千吨公里	7.51	6.91	5.2
港口生产单位吞吐量单耗	吨标煤/万吨	3.84	3.57	2.6

注：“—”为尚未公布数据。

2015 年，国家铁路能源消耗折算标准煤 1569.47 万吨，比上年降低 5.0%。国家铁路主要污染物排放量中化学需氧量排放量 2002 吨，降低 0.4%，二氧化硫排放量 28760 吨，降低 9.2%。单位运输工作量综合能耗 4.68 吨标准煤/百万换算吨公里，比上年增加 0.13 吨标准煤/百万换算吨公里，增长 2.9%。单位运输工作量主营综合能耗 4.05 吨标准煤/百万换算吨公里，比上年增加 0.15 吨标准煤/百万换算吨公里，增长 3.8%（见图 1-8）。铁路部门综合能耗的提高主要是由于高铁的快速发展，高铁能耗比普通铁路高，高铁运量的增加带动铁路部门综合能耗的提高。

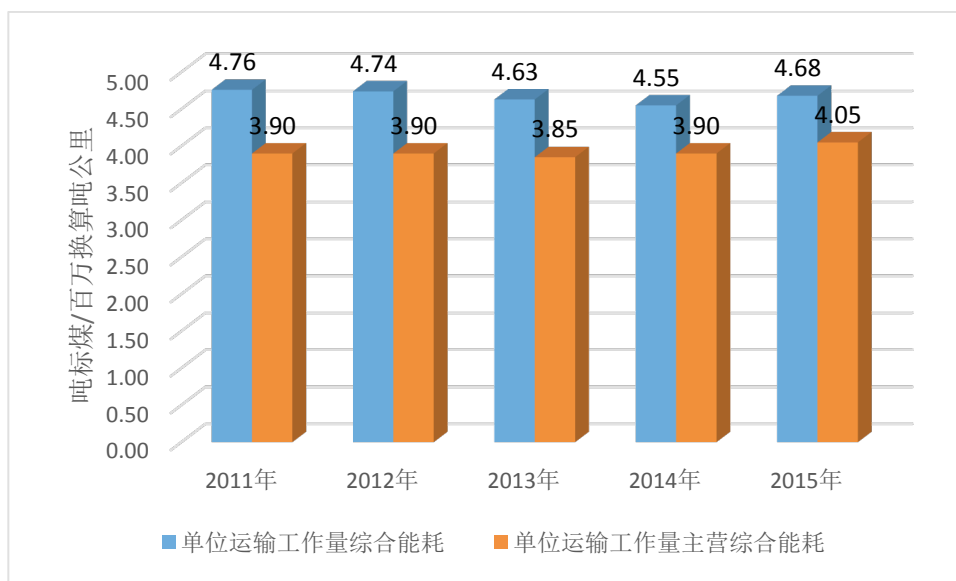


图 1-8 铁路部门综合能耗

数据来源: 2015 年铁道统计公报。

以 2008 年京津城际铁路的开通为起点, 我国高速铁路建设进入快速发展时期, 目前已经建成世界上最大的高铁网络。截止 2015 年底, 我国已经建成高铁轨道 1.9 万公里, 占世界 60% 以上(见图 1-9)。并且根据《国家中长期铁路网规划》, 2020 年将建成“四横四纵”的客运专线, 2020 年高铁轨道总长度将达 3 万公里, 高铁将连接主要城市, 成为城市间交通出行的首选。预计到 2030 年, 以高铁为代表的铁路客运在客运结构中的比重将提高至 13% 以上。高铁相对于民航或公路来说, 具有较大的优势: 高铁比民航的价格更具竞争性, 在某些情况下甚至比公路也具竞争性; 高铁的运输单耗比民航低的多; 相对于 800~1000km 以下的出行距离来说, 高铁所消耗的时间更短, 考虑到机场大多建立在远离城市中心的位置, 且受天气影响较大的等因素, 高铁就更具竞争力。

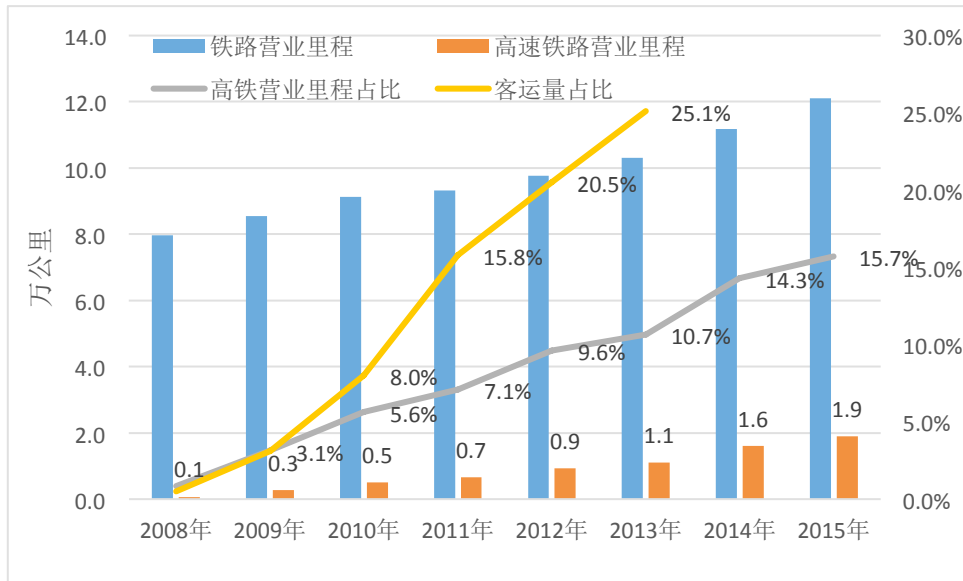


图 1-9 高速铁路营业里程发展情况

2015 年全年共监测公路水路运输企业 125 家。监测的城市公交企业每万人次单耗 1.5 吨标准煤，比上年增长 5.4%，百车公里单耗 48.9 千克标准煤，增长 1.5%；公路班线客运企业每千人公里单耗 12.6 千克标准煤，增长 3.8%，百车公里单耗 28.7 千克标准煤，下降 2.1%；公路专业货运企业每百吨公里单耗 1.9 千克标准煤，下降 6.9%；远洋和沿海货运企业每千吨海里单耗 5.2 千克标准煤，增长 1.9%；港口企业每万吨单耗 2.6 吨标准煤，下降 5.2%。

《交通运输节能环保“十三五”发展规划》对交通绿色发展提出了进一步约束性指标，具体见表 1-2。

表 1-2 交通运输节能环保“十三五”发展约束指标

所属领域	指标类型	指标名称	2020 年目标值
节能降碳	能耗和碳排放强度	1.营运客车单位运输周转量能耗和二氧化碳(CO ₂)排放在 2015 年基础上下降率 (%)	能耗 2.1 CO ₂ 排放 2.6
		2.营运货车单位运输周转量能耗和二氧化碳(CO ₂)排放在2015年基础上下降率 (%)	能耗 6.8 CO ₂ 排放 8
		3.营运船舶单位运输周转量能耗和 CO ₂ 排放在 2015 年基础上下降率 (%)	能耗 6 CO ₂ 排放 7

		4.城市客运单位客运量能耗和 CO ₂ 放在 2015 年基础上下下降率 (%)	能耗 10 CO ₂ 排放 12.5
		5.港口生产单位吞吐量综合能耗和 CO ₂ 排放在 2015 年基础上下下降率 (%)	能耗 2 CO ₂ 排放 2
	能源结构	6. 道路运输清洁燃料车辆保有量在 2015 年基础上增长率 (%)	50
		7. 内河运输船舶能源消耗中液化天然气(LNG) 比例在 2015 年基础上增长率 (%)	200
污染防治	主要污染物排放	8.京津冀、长三角、珠三角等区域船舶硫氧化物 (SO _x)、氮氧化物 (NO _x)、颗粒物 (PM) 年排放总量在 2015 年基础上下下降率(%)	SO _x 为 65 NO _x 为 20 PM 为 30
	污染应急处置能力	9.我国沿海距岸 50 海里水域一次溢油综合清除控制能力 (吨)	1000, 高风险水域 1 万

2015 年国家铁路能源消耗折算标准煤 1569.47 万吨,比上年减少 83.37 万吨,降低 5.0%。单位运输工作量综合能耗 4.68 吨标准煤/百万换算吨公里,比上年增加 0.13 吨标准煤/百万换算吨公里,增长 2.9%。单位运输工作量主营综合能耗 4.05 吨标准煤/百万换算吨公里,比上年增加 0.15 吨标准煤/百万换算吨公里,增长 3.8%

目前,世界各国都在大力发展新能源汽车,我国更是将其列入到七大战略性新兴产业之中。新能源汽车特别是电动汽车技术的发展是我国减少石油消耗和降低二氧化碳排放的重要举措之一,中央和地方政府对其发展高度关注,将其作为汽车工业“弯道超车”的重要契机,加大电动机车的研发和推广力度。2012 年国务院印发《节能与新能源汽车产业发展规划 2012~2020》,在《规划》中提出,到 2015 年纯电动汽车和插电式混合动力汽车累计产销量力争达到 50 万辆;到 2020 年,纯电动汽车和插电式混合动力汽车生产能力达 200 万辆、累计产销量超过 500 万辆。针对新能源汽车的发展,国家还分别在

2009 年和 2013 年出台了节能与新能源汽车财政补助资金管理办法，中央将对纯电动汽车最高补 6 万元，插电式混合动力汽车最高补 3.5 万元，新能源汽车还可以享受地方补贴和其他优惠政策。政策出台后一段时期内新能源汽车的市场销量增长有限，2012 年新能源汽车销量过万辆，2013 年为 1.76 万辆，其中纯电动汽车 1.46 万辆。但到 2014 年之后，电动汽车发展迅速，故 2014 年被称为电动汽车“元年”，销售量达 7.5 万辆，2015 年达 33.1 万辆。未来随着技术的成熟和成本的下降，电动汽车的发展空间将更为广阔。

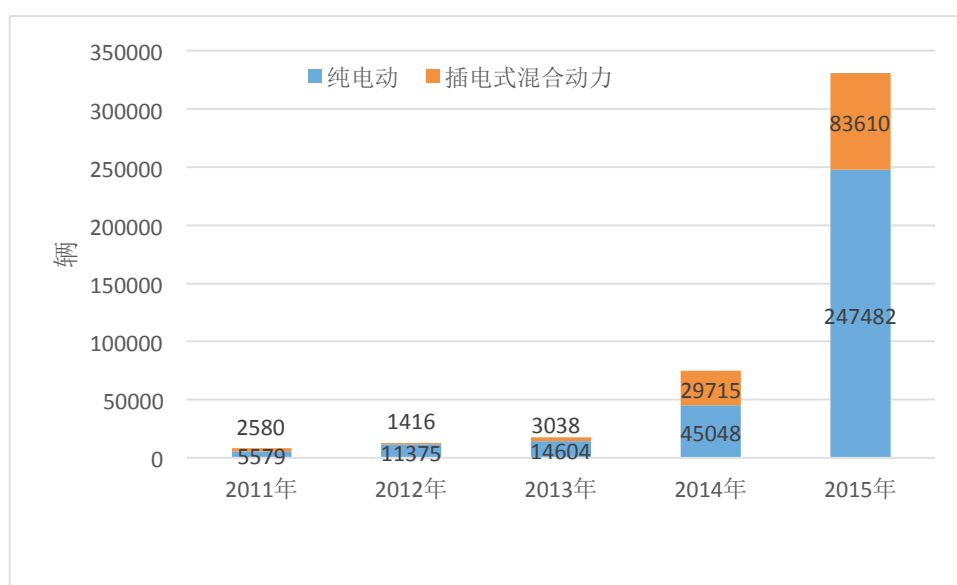


图 1-10 2011-2015 年中国新能源汽车销量变化

为缓解汽车保有量不断增长所引起的能源和环境问题，进一步降低汽车燃料消耗量水平，2014 年底，我国公布了《乘用车燃料消耗限值》第四阶段标准，并于 2016 年 1 月 1 日起实施。第四阶段限值标准引入了“企业平均燃料消耗量 (Corporate Average Fuel Consumption, CAFC)”和“企业平均燃料消耗量目标值”的概念，将汽车企业作为评价对象，根据乘用车产品的车型燃料消耗量和对应的产量计算得到制造商的企业平均燃料消耗量，在确保实现汽车节能总体目标的同时，给予企业更多的灵活性，有助于推动汽车行业技术进步和结构调整，促进传统汽车和新能源汽车协调发展。

表 1-3 企业平均燃油消耗量要求

年份	企业平均燃料消耗量与企
----	-------------

业平均燃料消耗量目标值之比	
2012	109%
2013	106%
2014	103%
2015 及以后	100%

数据来源：《乘用车燃料消耗量限值》标准。

近些年，汽车技术的快速进步使常规内燃机车的燃油经济性水平有了明显进步，特别是汽车轻量化技术、空气动力学技术、轮胎阻力降低措施、发动机节能技术、传动系统的优化、以碳纤维为代表的轻型材料等技术和材料的应用使得汽车的燃油经济性得到进一步的提高。数据显示，2014 年国产乘用车企业平均燃料消耗量（CAFC）为 7.12 L/100km，2015 年国产乘用车企业平均燃料消耗量（CAFC）为 6.95L/100km，其中合资品牌为 6.92L/100km，自主品牌为 7.01 L/100km；进口汽车则为 8.44L/100km。2015 国家油耗水平为 7.02 L/100km，离《乘用车燃料消耗限值》确定的 2015 年 6.9L/100km 的目标还有 0.12 L/100km 的距离。这主要是由于进口汽车多为豪华轿车或跑车，平均油耗较高，企业达标压力大，对这两类车企燃料消耗量的监管仍有待加强。但照此发展，要达到国家提出的 2020 年每百公里 5 升的目标，“十三五”期间需要持续平均每年下降 6~7 个百分点，如无新能源汽车助阵，这个目标是不可能实现的。

表 1-4 企业平均燃油消耗量要求

企业类型	2015 年 CAFC (L/100km)	2014 年 CAFC (L/100km)	2013 年 CAFC (L/100km)
国家平均水平	7.02	7.22	7.33
国产乘用车企业	6.95	7.12	7.22
合资企业	6.92	7.10	7.31
自主企业	7.01	7.14	6.95
进口车企业	8.44	8.76	9.05

数据来源：《中国乘用车燃料消耗量发展年度报告 2016》。

欧美日等汽车工业发达国家都在采取积极措施推动和促进本国汽车节能技术发展、提高汽车燃料经济性水平，相继完成新一轮针对 2020 年甚至以后各年度乘用车燃料消耗量标准法规制度。

专栏 1：特斯拉电动汽车

特斯拉的联合创始人斯特劳贝尔成功解决了如何将 6831 个锂电池安全的串并联在一起，特斯拉现在已开始准备向其他汽车制造商销售这种电池包。他将轻型低阻力莲花车身、西瓜大小的先进电动机以及通用汽车公司的 EV-1 电动车中曾经使用的逆变器结合在一起。特斯拉电动车跑车售价是 10 万 9 千美元，但每公里运行只需花费 0.6 美分，其加速性能与世界上速度最快的跑车不相上下。

但该款汽车的原有双变速箱总是出现故障。两家顶级供应商无法满足加速度和最高时速的要求。斯特劳贝尔的创新解决方案是：取消变速箱，使电动机输出更大的扭矩，并帮助其更好地散热。其结果是动力增加了 40 马力，续航里程增加了 16 公里，车身减轻了 6.3 千克，噪音更小，维护更少，保修和制造成本更低。

与拥有 120 多年历史的发动机和变速箱设计相比，电力电子、微型芯片、软件和系统集成技术尚处在初级阶段，因此也就有更大创新发展、扩大规模和降低成本的空间。而机械动力系统的降低成本的空间在几十年前就已挖掘殆尽，这使得早期的低功率电力牵引系统目前很有竞争力。可以想象，随着经验更加丰富和批量化程度更高，电力牵引系统将快速发展，小型公司将获得与大型公司一样的优势和地位。

同时，我国加强了集约高效运输组织网络建设。应用互联网技术，加快公众出行信息服务系统、公共物流信息平台、出租车智能电召系统等建设与应用，提升交通运输效率和节能减排效能。着力开展公路

甩挂运输试点，“十二五”期间共发布 144 个甩挂运输推荐车型，在中央财政资金支持下，确定了 148 个国家甩挂运输试点项目，推动江苏、福建、山东、广东等省份启动了省级甩挂运输试点。

《“十三五”节能减排综合工作方案》中明确提出，要加快推进综合交通运输体系建设，发挥不同运输方式的比较优势和组合效率，推广甩挂运输等先进组织模式，提高多式联运比重。大力发展公共交通，推进“公交都市”创建活动，到 2020 年大城市公共交通分担率达到 30%。促进交通用能清洁化，大力推广节能环保汽车、新能源汽车、天然气（CNG/LNG）清洁能源汽车、液化天然气动力船舶等，并支持相关配套设施建设。提高交通运输工具能效水平，到 2020 年新增乘用车平均燃料消耗量降至 5.0 升/百公里。推进飞机辅助动力装置（APU）替代、机场地面车辆“油改电”、新能源应用等绿色民航项目实施。推动铁路编组站制冷/供暖系统的节能和燃煤替代改造。推动交通运输智能化，建立公众出行和物流平台信息服务系统，引导培育“共享型”交通运输模式。

4、综合交通运输能效改进不明显，运输结构呈现向高能耗方式发展趋势

伴随着收入水平的提高，大众对于交通运输质量的要求更高，追求更加舒适快捷的运输方式，可实现“门对门”送达的公路运输，以及更加高效、快捷的航空运输的比重呈逐年增长趋势，相对挤占了铁路、水路运输的比重。

对于货运而言，公路通车里程快速增长的同时，公路货物周转量及其占比也增长迅速，加之公路运输具有方便、快捷的特点，可以实现“门对门”的运输，所以增速相对较快。但是公路运输较之铁路、水运而言能源单耗高出很多，未来优化交通运输结构时应尽可能避免采用公路运输大宗货物。1978 年铁路运输在全社会货物周转量的比重达到 53.8%，在五种货运方式中名列首位，随后的 30 多年里，平均每年下降 1 个百分点，目前的比重仅为 13.4%（见图 1-11）。

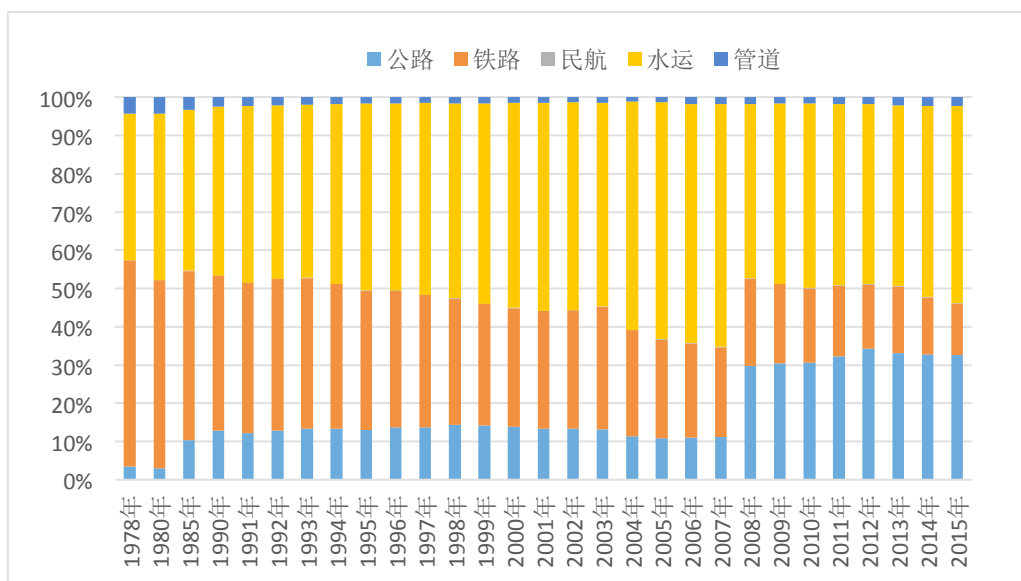


图 1-11 1978~2015 各种运输方式在货运周转量中的比重变化

在货物运输中，铁路主要承担了 700~800 公里范围的运输，因此在煤炭、钢铁等大宗货物运输市场上具有很大的竞争优势，表 1-5 罗列了 2010 年至 2015 年国家铁路所承担的大宗货物运输状况，从中可见，2010 年国家铁路运输了 15.6 亿吨煤炭、1.29 亿吨石油、2.25 亿吨钢铁，分别占原煤、原油、钢铁总产量的 48.2%、63.3%和 35.8%。2015 年，铁路部门依然运输了大量的煤炭、石油、钢铁等大宗商品，但运量明显下降。由于投资不足、大部分基础设施陈旧落后，铁路在很长的一段时间内发展缓慢，严重滞后于国民经济的发展水平。尽管“十一五”期末以来铁路获得了快速发展，但难以在短期内对存量进行大面积的改造。铁路相对公路运输来说单位货运周转量的能耗较低，在运送大宗货物方面具有明显优势，是未来优化货运结构的方向。对水路运输而言，其在承担货运周转量的比重呈现先增后降的趋势，这与 2008 年公路货运周转量统计方法的调整有较大关系²⁹，也与 2008 年金融危机后，水运中远洋运输的周转量下降较快有关。2008 年以后水路运输周转量占货物周转量比重明显下降，但由于基数大，2015 年水路运输周转量在全社会货物周转量中的比重仍然达到 51.5%，依然是第一大货运方式，在综合运输体系中依然占有非常重要的地位，

²⁹ 从 1979 年起，公路运输包括社会车辆完成数量，从 1984 年起，还包括私营运输完成的数量，从 2008 年起公路运输量统计原则上为营运车辆。

可以预见,在绿色低碳理念的发展背景下,水路运输具有运输成本低、能耗小、污染轻的比较优势,仍将有较大的发展空间。

表 1-5 按货物分国家铁路货物运输量

货运量(万吨)	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
合计	308209	328136	322346	321614	306259	270824
煤	156020	172126	168515	167946	164131	143221
焦炭	9494	9895	9338	9997	9589	7553
石油	12847	12565	12652	12732	12807	12553
钢铁及有色金属	22428	22779	21932	21570	19665	16063
金属矿石	38088	39148	40112	40187	36708	32841
非金属矿石	8707	9515	8751	7264	6452	5670
矿建材料	12553	12440	11759	13548	11891	10438
水泥	3526	3639	3425	3569	3417	2477
化肥和农药	8179	8308	8925	8340	7868	—
粮食	9692	9578	9981	10447	8260	5590
其他	22397	23356	22597	21596	25471	—

资料来源:中国统计年鉴,2015。

对于城间客运而言,同样也出现了公路、航空运输量占比上升,铁路、水路运输量占比下降的趋势。铁路运输承担的客运周转量比重呈逐年下降趋势,从1978年的62.7%下降到2012年的29.4%,近两年随着高速铁路的建设,铁路客运量占比又逐渐回升,2015年达39.8%。与货运相似,铁路客运单耗比航空和公路客运单耗都要低,所以也是未来交通运输结构调整的方向。对于民航运输而言,虽然受各地经济发展水平不平衡的制约,呈现出“东密西疏”、“沿海密内陆疏”的局面,80%以上的民航客运量集中在东部,但经过改革开放30多年的发展,民航业在航空运输、航线布局以及运输保障方面都实现了持续快速发展。目前已初步建成以北京、上海、广州为枢纽机场,省会和主要城市为干线机场,干、支线机场相配合的全国布局,基本形成联系各省、直辖市、自治区主要城市的国内航线网,以及通达世界各主要国家的国际航空网。与其他运输方式相比,民航客运的发展势头非常惊人,截止到2015年底民航全行业完成客运周转量达7270.7亿人公里,共运送旅客4.4亿人次。未来随着人民生活水平的提高,民航仍存在进一步增长的潜力,但与高速铁路之间存在竞争,

民航的发展将增加交通运输能耗。对公路运输而言，伴随着居民收入水平的提高以及交通基础设施的完善，旅客运量和旅客周转量都呈现了持续增加态势，1978年公路客运量仅为14.9亿人，2012年增至355.7亿人，是1978年的24倍，之后又逐渐下降至2015年的161.9亿人；从各种运输方式承载的客运量占全社会客运量的份额看，1978年公路客运量占全社会客运量的比例仅为58.8%，此后节节攀升，到2012年，该比重已增至93.5%，之后逐渐下降至2015年的83.3%，但仍是目前主导性的客运方式；与此相对应，从全社会客运周转量的构成演变看，公路客运也从1978年的不到30%增至2012年的55.3%，之后又下降至2015年的39.8%。

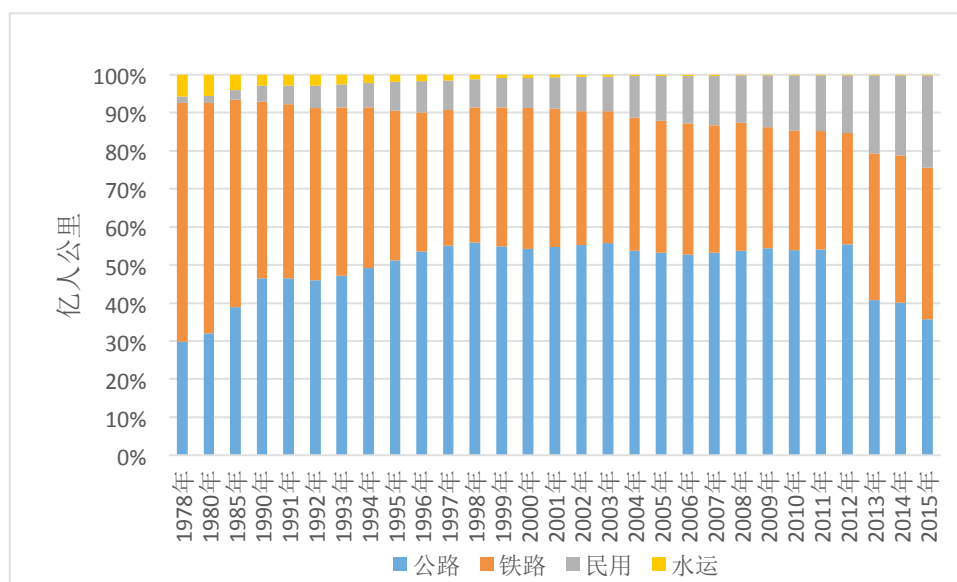


图 1-12 1978~2015 各种运输方式在客运周转量中的比重变化

与私人汽车保有量和出行比重增加相对应的，私家车出行的次数和距离也在不断增长。有研究表明，过去的十几年以来，北京、深圳、重庆、宁波等各大城市私家车出行的比重都在增加，非机动化出行的比重都在降低，机动车道的建设、停车位增加都在挤占非机动车道，非机动化出行的环境 and 安全性都在降低，加之特大城市大多都呈“摊大饼”形式发展，每次出行的距离在拉长，更多的人都放弃了非机动化出行这一绿色低碳的出行方式，改为私家车或公共交通等机动化方式出行（图 1-13）。

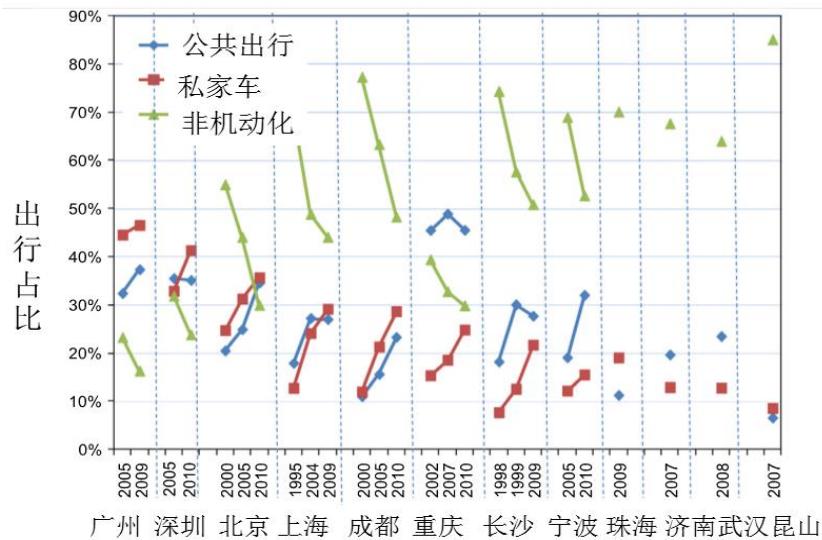


图 1-13 13 个城市出行模式结构变化

国家在“十一五”时期提出了强制性的节能减排目标，并将目标分解到各省和行业，交通部门也从“十一五”时期开始，加大了节能减排措施的实施力度，实施了重点节能工程，在技术节能和管理节能方面取得了一定的进展。但交通运输结构向高能耗强度模式转变的趋势并没有得到根本性逆转，铁路、水路所占比重仍在下降，公共交通出行的比重在大多数城市仍赶不上私家车比重的增长，综合交通运输体系建设仍显薄弱，货物运输的接驳以及客运的无缝衔接还没有从体制上破除壁垒，进展缓慢，所以在过去的十几年以来，综合单位周转量能耗³⁰出现了从 1996 年的逐步上升，到 2003 年后开始缓慢下降，再到 2011 年至 2015 年又由小幅上涨的发展势头，具体见图 1-14。

³⁰ 客运和货运周转量的转换基本采用了国家统计局的方法，课题组根据文献调研进行了修正，人公里和吨公里的转换比率为：铁路 1.5:1、航空 10:1、水路 3:1、公路 10:1。

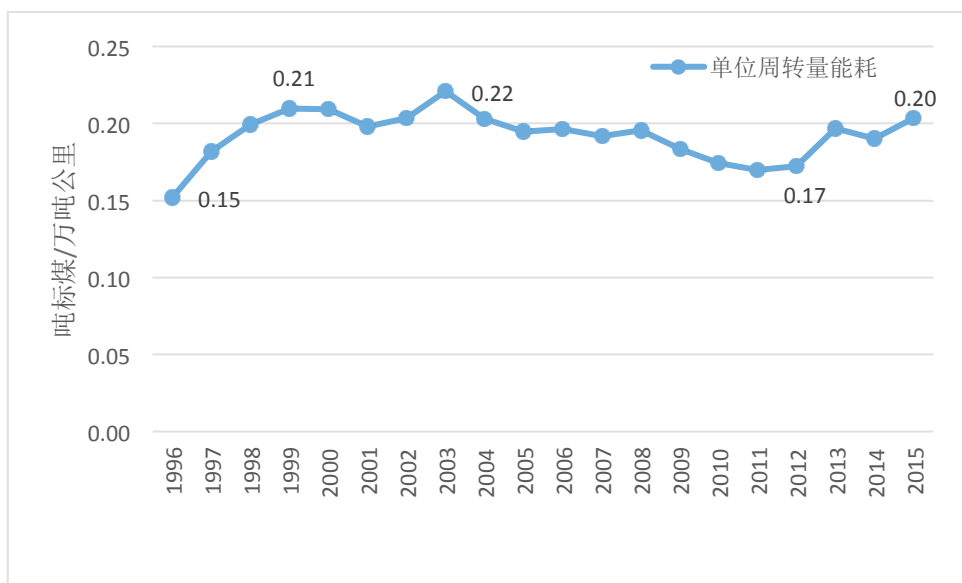


图 1-14 交通运输强度变化

资料来源：根据中国统计年鉴和中国能源统计年鉴整理

（二）新常态下发展趋势

当前，我国经济发展进入新常态，经济增速从高速增长过渡到中高速增长，同时面临产业结构调整、低碳转型、体制改革等一系列新形势。新形势下的新变化对交通运输需求量、交通用能结构等方面产生重要影响，这些直接关系到交通部门二氧化碳排放问题。

1、新常态下运输需求增速放缓

随着经济增速换挡以及经济结构调整，我国能源消费增速下降明显，初步核算，2016年我国能源消费总量仅比2015年增长1.4%，明显低于“十一五”期间6.7%的年均增速和“十二五”期间3.6%的年均增速。2016年电力消费量增长5%，煤炭消费量从2014年开始持续下降，且降速不断增加，三年降速分别为2014年下降2.9%，2015年下降3.7%，2016年下降4.7%。

交通部门运输需求也出现了一定的调整。货运方面，2015年全年各月增速都在0左右，从2016年5月开始，出现小幅增长。其中，铁路货运周转量下降明显，2015年2月至2016年1月，连续12个月同比降幅超过10%。民航和公路货运仍保持5%以上的增速。水运货物周转量由2014年10%的增速降为2015-2016年的接近零增长（见图1-15）。究其缘由，主要是随着经济结构调整，三次产业构成发生

变化，高耗能产业发展面临调整，导致主要运输大宗商品的铁路、水运运输量明显下降。进入 2017 年，货物周转量出现大幅增长，1 月份，货运量同比增长 6.1%，其中铁路货运周转量同比增长 12.4，水运货物周转量同比增长 8.5%，公路和民航货运量出现小幅下降，下降幅度分别为 0.2%和 1.5%。这表明，随着第三产业以及第二产业的高附加值产业的蓬勃发展，货物运输量仍将有一定的增加。

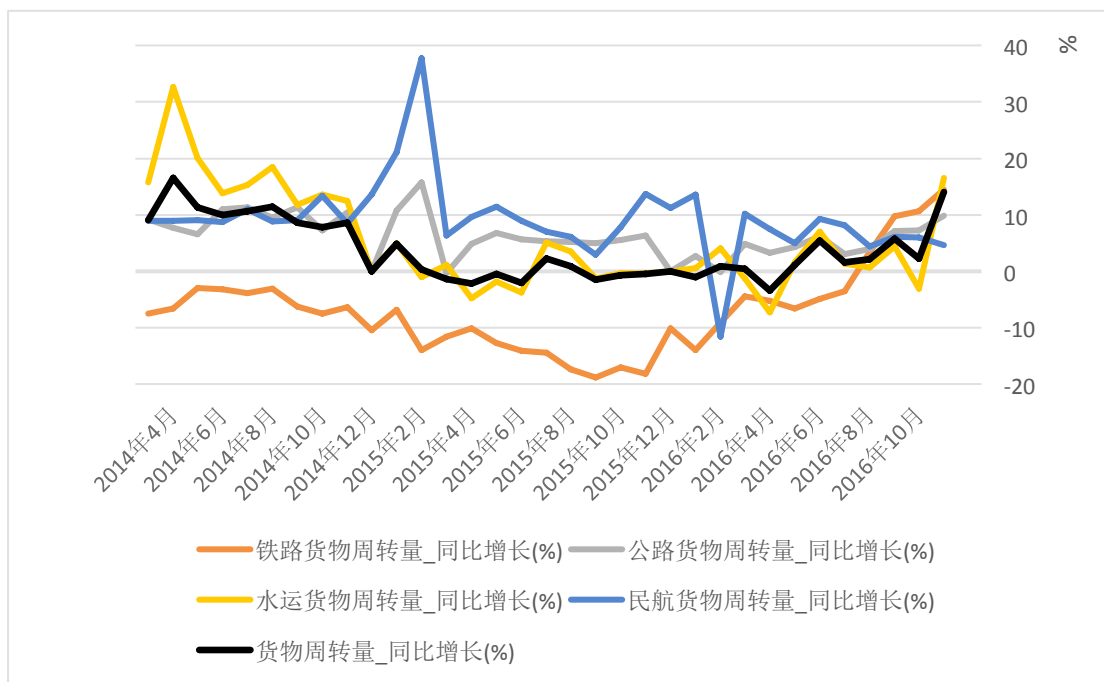


图 1-15 2014 年-2016 年货运周转量同比变化

客运方面，旅客周转量增速基本平稳，从 2015 年 3 月至 2016 年 2 月，基本保持在 7%左右增速，之后到 2016 年底保持 4%左右增速。其中民航旅客周转量增速依然强劲，2014 年—2016 年三年间同比增幅保持在 15%左右。2015 年，铁路旅客周转量保持 5%左右增幅，2016 年 1-2 月，铁路旅客周转量大幅增加，同比增速达 20%以上，之后又回落至 3%左右。水运旅客周转量出现较大跌幅，2015 年 6 月至 2016 年 5 月 12 个月保持同比跌幅在 5%左右，2016 年下半年略有回升，具体见图 1-16。2017 年 1 月，客运周转量出现大幅增长，同比增长 14.8%，其中铁路旅客周转量同比增长 18.9%，公路旅客周转量同比增长 6%，水运旅客周转量同比增长 15.7%，民航旅客周转量同比增长 19.3%。这主要是由于随着人民生活水平的提高，出游需求增大，带动民航、

高铁运输量增大。

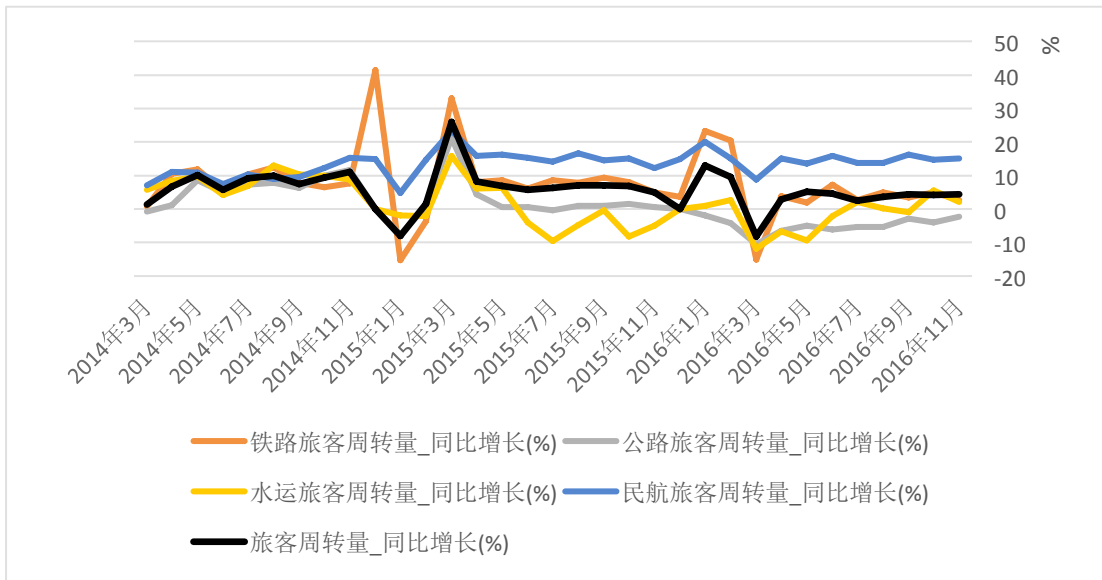


图 1-16 2014年-2016年旅客周转量同比变化

图 1-17 显示了 2000 年以来，客货运周转量增速、二产增加值增速与 GDP 增速对比。

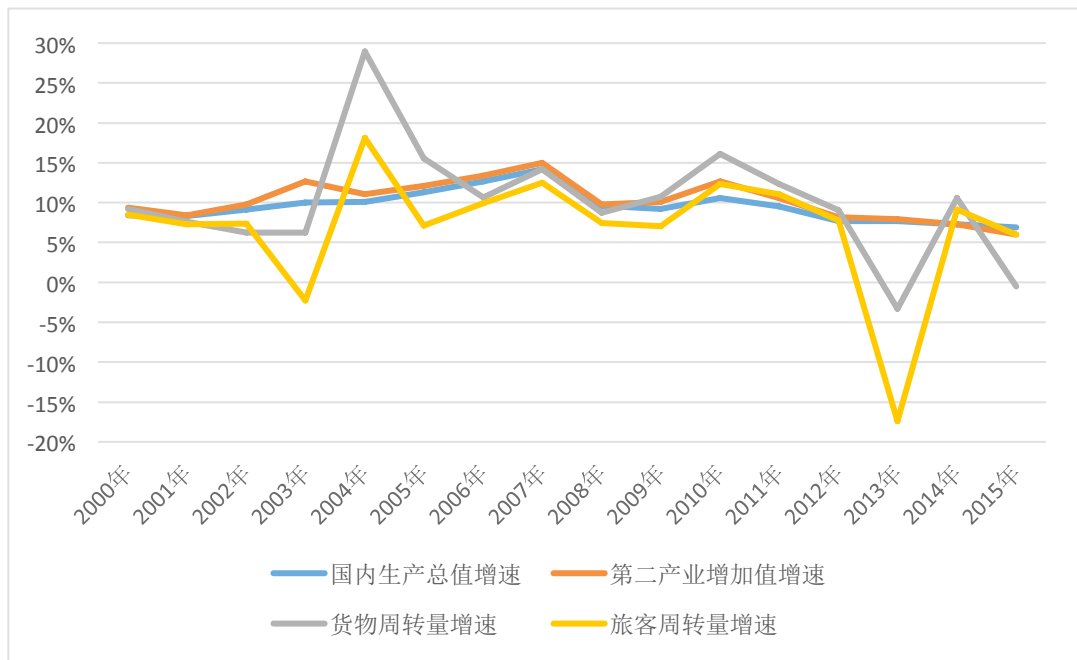


图 17 2000年至2015年客货运周转量增速、二产增加值增速与GDP增速对比

随着城镇化发展以及人民生活水平提高，我国居民机动车拥有量迅速增加 2014 年月均销售 164 万辆，2015 年月均销售 176 万辆，2016 年月均销售 202 万辆，如图 1-18 所示。2017 年 1 月，乘用车共销售

222 万辆，汽车销售量未受整体经济增速放缓影响。

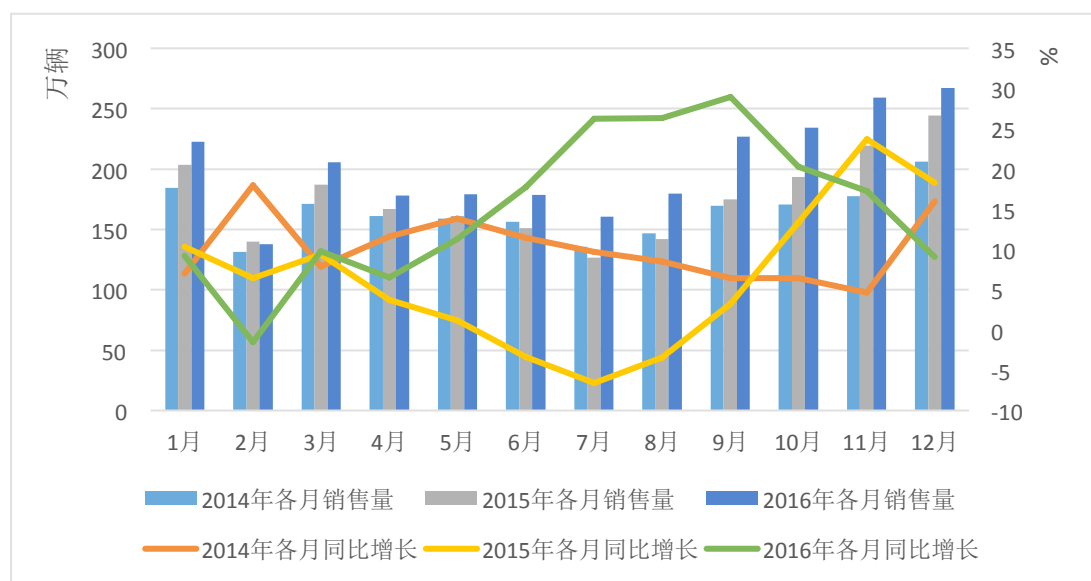


图 1-18 2014 年至 2016 年月度汽车销售量

资料来源：汽车工业协会数据整理。

2、高速铁路和电动汽车发展推动交通运输模式实现跨越式发展

中国是目前世界上高速铁路长度最长的国家，2016 年高铁营业里程已达 2.2 万公里，且《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》设定的 2020 年高铁发展目标是 3.0 万公里。高速铁路对于推动工业化、城镇化进程，构建主要城市之间联系的骨架具有重要作用：高铁的开通将激发旅游潜力，带动第三产业发展；高铁的开通可以促进人才的流动，为内地经济发展带来更多优质英才；高铁的开通为高素质人才实现“双城生活”创造了条件，作为人才的传送带，将会对沿线经济发展产生潜移默化的影响；高铁的开通将释放出运能，带来经济效益，可极大地释放传统铁路的货运输送能力，铁路停开一趟客车便可以加开三趟货车，货运、客运输送能力都将得到成倍增加；高铁的开通拉近东部沿海与西部内地的距离，使部分产业向内地发展，也将吸引东部沿海的部分产业向西部内陆迁移，从而拉动经济发展由东向西梯度推进，逐渐缩小东中西部差距，助力长江经济带形成与丝绸之路经济带的战略互动，成为经济增长的又一重要增长极。

电动汽车的普及呈现新的趋势，随着保有量的增加，以及与智能

信息系统融合，电动汽车储能可以成为电力系统重要的灵活调节资源。从 2009 年 1 月“十城千辆”工程启动至今的 8 年时间里，中国市场累计销售电动乘用车 651680 辆，是全球电动乘用车保有量最多的国家。数据显示，2016 年中国市场电动乘用车销量 351003 辆，与 2015 年的 205290 辆相比，增长了 70.98%，见图 1-19。同时，政府非常重视充电桩基础设施建设和标准的设立。2015 年国务院提出，新建住宅小区必须配备电动车充电设施，大型公共建筑物、公共停车场不低于 10%，将城市合理规划布局和建设停车场结合起来，明确提出要加快配建充电桩、城市充换电站、城际快充站等设施。在充电标准设置方面，2015 年 9 月，GB/T 20234《电动汽车传导充电用连接装置》3 项系列国家标准通过全国汽车标准化技术委员会电动车辆分技术委员会的专家审查，标志着中国充电接口标准修订工作取得重要进展。在电池等技术不断突破、以及充电桩建设和标准制定更加完善后，电动汽车作为新型的交通工具和对电网的系统响应能力，会极大的改变交通系统的用能模式。

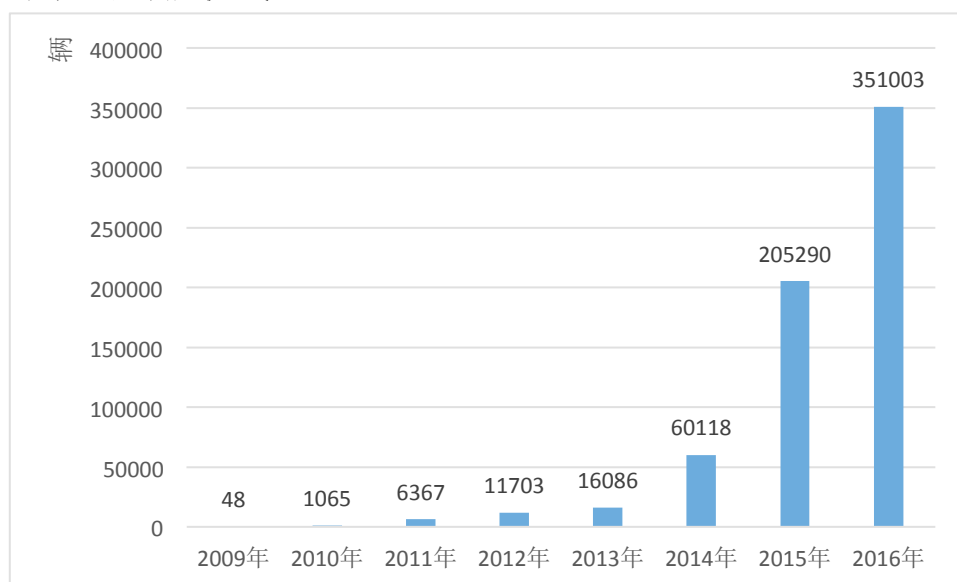


图 1-19 2009 年至 2016 年电动汽车销售量

为了缓解城市拥堵，减少二氧化碳排放，并为居民绿色出行创造便利条件，各地大力建设城市轨道交通。截至 2016 年 9 月，我国大陆地区有 43 个城市的建设规划获得批复，规划总里程约 8600 公里。截止 2016 年底，我国累计已有 30 个城市建成并投运城轨交通线路

134 条,运营线路总长度达 4153 公里。其中,地铁 2658 公里,占 73.4%;其他制式城市轨道交通 960 公里,占比达 26.6%。2016 年,新增 18 条运营线路 535 公里。据预测,到 2020 年,我国将有 50 个城市拥有城市轨道交通,运营总里程有望达到 6000 公里。城市轨道交通的快速发展将降低城市内私人汽车行驶里程,促进城市客运低碳转型。

专栏 2: 电动车车型多样化竞争激烈

各大汽车制造厂商对纯电动汽车都有浓厚的兴趣。目前,几乎每一家主要的汽车制造商都生产电动汽车,而且价格横贯各个档次。特斯拉的 S 型和宝马的 i3 型在高端市场赢得青睐,而尼桑 LEAF 和通用汽车公司的 Volt PHEV 型在 2014 年市场销售数量超过四万五千辆,成为销量最好的两款电动车。在中国, BYD Qin 2014 年掀起波澜,销售量超过了一万四千五百辆,比 2013 年的纯电动汽车最高销量高出六倍。在十六万元人民币的价格以下销售(含政府补贴),该汽车拥有一些令人印象深刻的功能,包括 5.9 秒内加速至一百公里/小时,以及油耗低至 1.6L 每百公里。

目前,一辆行驶里程 160 公里的纯电动汽车价格为 12 万元人民币(含政府补贴),高于同级别汽油燃料的汽车。价格高的最大原因是电池、电机和动力电子系统。特斯拉最近推出的“(吉兆)工厂”有望于 2020 年前将全球锂离子电池产量增加一倍以上,并可使价格下降 4 万元以上。其它部件的成本预计也会降低:动力电子系统的价格约 6.5 万元、电机约 3000 元。与此同时,传统高油耗汽车的成本将会上升,因为减排的要求将迫使汽车的设计升级。这些变化共同作用有望使中低价格的电池电动汽车在十年内在大众汽车市场上获得竞争力。

3、信息通讯技术与交通网络的融合可以极大改变传统交

通模式

信息通讯技术等第三次工业革命的先进理念将会极大地改变交通运输模式，运输组织方式将从现在的专业化、规模化和标准化的方式逐步向满足客户个性化需求、适合市场变化、柔性化的大规模定制式运输组织方向发展。在物流服务供应链中各运输环节将在运作流程上实现无缝连接。

以数字化为主要特征的智能交通系统（Intelligent Transport System, 简称 ITS）借助于互联网、GPS、以及无线射频识别（RFID）技术将运输各环节连成一个网络，在共享的信息平台上，整合供应链与其它物流环节，以及上下游产品制造企业和商业企业的信息被高度集成；运输组织的高度自动化将通过信息技术实现作业的无人操作；通过采用电子标签，以实现流动的货物智能化，RFID 技术在交通运输中广泛采用，将货物、设备、设施和人员连成一个信息网，运输活动变得可追踪，这将促使供应链上下游融为一体。

同时，智能交通系统是智慧城市的重要组成部分，可以使人、车、路密切配合，达到和谐统一，发挥协同效应，极大的提高交通运输效率、保障交通安全、改善交通运输环境和提高能源利用效率。这里的“人”是指一切与交通运输系统有关的人，包括交通管理者、操作者和参与者；“车”包括各种运输方式的运载工具；“路”包括各种运输方式的通路、航线。“智能”是 ITS 区别于传统交通运输系统的最根本特征。通过智能交通系统可以减少城市拥堵、提高城市交通的运行效率。

4、基础设施饱和过剩和结构恶化的风险不容忽视

经过多年的大力发展，我国交通基础设施水平全面提升。截止 2016 年底，全国铁路营业里程达 12.4 万公里，其中高速铁路 2.2 万公里以上，占世界 60%以上。仅 2016 年，全国铁路行业固定资产投资完成 8015 亿元，其中国家铁路完成 7676 亿元；投产新线 3281 公里、复线 3612 公里、电气化铁路 5899 公里；新开工项目 46 个，新增投资规模 5500 亿元。2016 年新增高速公路 6000 多公里，总里程

突破 13 万公里。新增二级及以上公路 1.5 万公里，新改建农村公路超过 29 万公里。公路、铁路密度分别达到美国的 66%和 54%（见图 1-20）。东部、中部地区基础设施饱和程度达到美国平均水平，公路、铁路等传统基础设施领域总体趋于饱和。特别是，由于我国人口分布不均，全国 94%的人口集中在中东部 44%的国土面积上（胡焕庸线以东），造成我国存在地区性、结构性基础设施过剩现象。据估算，目前，全国铁路运力过剩 20-30%，港口过剩 30-40%，80%机场存在亏损。以煤炭运输为例，2015 年，全国铁路总运输能力超过 55 亿吨，其中煤炭运输能力为 30 亿吨，而当年只有 23 亿吨的运输需求。根据铁路发展计划，大秦线、朔黄线、蒙冀线三条运煤铁路合计运输能力最终将达到 11 亿吨，但目前，对应的港口运输能力只有 6.7 亿吨。下游需求方面，受国内外宏观经济增速放缓、产业结构调整等因素影响，我国东南沿海地区煤炭需求已经达到顶峰，开始逐年减少，初步估算 2016 年对三大运煤铁路及配套港口的煤炭需求在 5.1 亿吨左右。从以上数据可以看出，铁路运能已经高于港口运能，港口运能又高于下游实际需求。

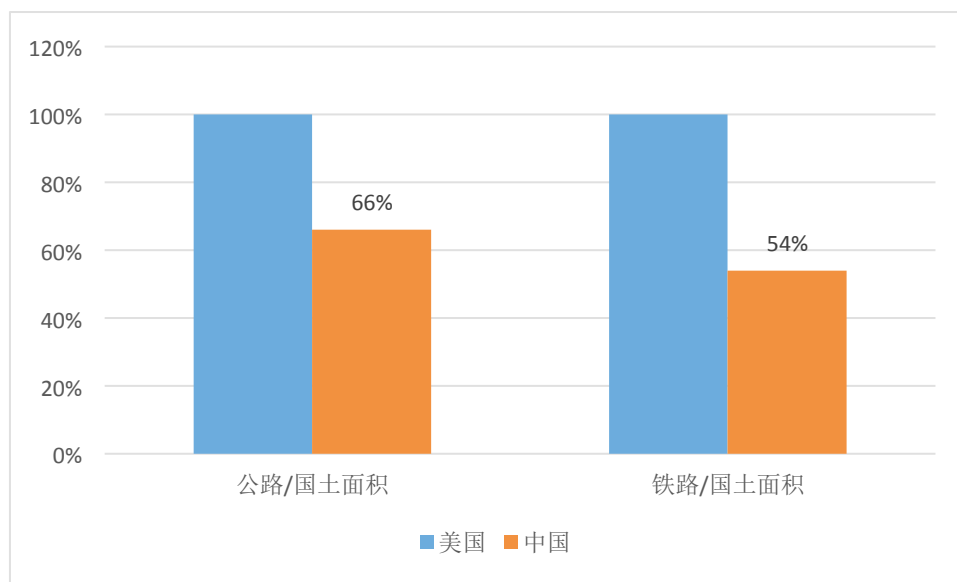


图 1-20 中美公路、铁路密度对比

由于基础设施投资对经济具有重大的拉动作用，当前我国基础设施投资具有一定的超前性，十三五期间我国仍将加强铁路、公路、机

场建设（见表 1-6）。发改委、交通部联合印发的《交通基础设施重大工程建设三年行动计划》中提出，2016-2018 年，拟重点推进铁路、公路、水路、机场、城市轨道交通项目 303 项，涉及项目总投资约 4.7 万亿元。国务院办公厅印发的《关于促进通用航空业发展的指导意见》中提出，到 2020 年，我国将建成 500 个以上的通用机场。民航局在编的《通用机场布局规划》中提出 2030 年通用机场总量将超过 2000 个。同时，在经济下行压力下，各级政府也存在扩大交通基础设施投资的倾向。当量的基础设施建设将对经济起到一定的拉动作用，同时也将满足未来我国的交通运输的潜在需求，但是如果相关建设规划不当，将加剧基础设施饱和、过剩以及结构恶化的风险。

表 1-6 五年规划主要指标对比

五年规划 年份	十一五 2006-2010 实际值	十二五 2011-2015 实际值	十三五 2016-2020 目标值
年均实际GDP增速	11.27%	7.82%	6.5%以上
城镇化率（最后一年）	50%	56%	60%
铁路			
铁路投资(万亿元)	2.429	3.575	3.8
新增高铁里程(公里)	5,133	14,629	10,238
高速公路			
高速公路投资(万亿元)	4.083	6.962	n.a.
新增高速公路里程(公里)	33,108	45,887	30,000
新增城市轨道交通(公里)	n.a.	n.a.	3,000
保障房(百万套)	-	38	20
电网投资(万亿元)	1.5	2	2
新机场个数	40	31	50

数据来源：十三五规划；CEIC

5、交通运输供给侧改革的新要求

新常态下我国步入交通供需总量基本平衡的时期。经过 30 多年的持续交通建设，交通供小于求的状况有明显改善，《“十二五”综合交通运输体系规划》作出了“十一五”末我国交通运输供给能力紧张状况总体缓解的研判。交通运输供给能力基本适应了经济社会发展要

求，部分领域已经实现适度超前，并由长期的供小于求逐步进入供需基本平衡的新阶段，交通发展站在了新的起点。在运输总规模增速发生变化的同时，运输需求也出现了一系列重大的结构性变化。

高速交通需求旺盛。在整体运输量增速迅速下降的背景下，民航和铁路运输保持 10% 以上的增长速度。铁路客运量中动车组列车所占比重连年攀升，2013 年占 25%，2014 年超过 1/3，2015 年达到 45.8%。

快件运输增长迅猛。2015 年，全社会货运量几乎零增长，铁路货运量持续下降。与 2013 年最高值相比，煤炭运输量下降了 3 亿多吨。但是 2015 年快递业务量增长 48%，铁路散货、集装箱等物资的运输量增长率超过 20%。

多式联运高速增长。2016 年 1-8 月，10 个主要集装箱港口铁水联运量增长 27.4%。此外，铁路白货物资的运输一般必须多种运输方式协力才能完成，铁路白货物资的增长反映了多式联运的需求。

运输需求的结构性变化背后有着深刻的经济转型发展、生活方式升级的原因。传统制造业大规模扩张阶段已经基本结束，钢铁、煤炭等很多行业都逐步达到峰值规模，提升传统产业现代化水平，培育节能环保、新一代信息技术、生物等新兴产业等必将改变货运需求结构。我国人均 GDP 达到 5 万元，居民收入水平提高后高端化需求特征明显，改革开放以来出生群体的生活消费文化逐渐成为社会主流。这些都推动了过去高端化的出行逐渐成为大众化的行为。这些因素决定当前运输需求的结构性变化不是一个短期的、临时的波动，而是未来交通供给侧建设需要重视的长期趋势。

当前我国已经进入交通运输供需平衡的新阶段，经济发展新常态也决定了未来运输需求也不可能回到过去的长期高速增长态势。面向 2030 年的交通运输供给侧的发展要求改变长期以来以运输需求决定运输供给的发展思路，既要适应运输需求规模和层次的变化，更要重视创新、协调、绿色、开放、共享发展理念的要求，发挥交通运输供给导向和引领作用，为经济活力、社会和谐和资源环境可持续作出贡

献。

基于新形势和新要求，我国未来交通运输供给侧建设的基本发展思路是：积极适应交通运输需求的新趋势新变化，以更快、更经济和融合发展为导向，在创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念指导下，勇于担当，主动作为，加快完善综合交通运输体系，切实转变交通发展方式，全面提升交通网络整体效率和服务水平，提高交通发展质量和综合效益，着力构建网络完善、衔接顺畅、服务高效、安全绿色的现代化交通运输体系，增强交通对经济发展的支撑和引领作用。需重点开展以下几项工作。

完善交通运输网络，推进交通更快更便捷。利用路网完善期的后发优势，大力发展高速交通方式。未来我国应该继续加快高速交通运输网络的发展，完善高速公路网，推进高速铁路建设，大力发展民航运输，提高快递服务水平，到 2030 年基本形成较为完善的高速公路网、客运铁路网、民航运输网，满足快速、便捷的运输需求。从长期考虑，还应积极关注既有高速交通方式的新发展和新高速交通工具的进展，加大高速交通的技术研发，为我国交通运输的可持续“现代化”打好基础。积极发展一体化的交通，减少运输各环节的衔接时间。运输系统的效率既取决于交通工具的运输时间，也受运输各个环节的衔接时间影响。我国城市市内交通与干线交通、不同干线之间的衔接不畅，居民出行换乘效率不高，“前后一公里”配套设施和服务滞后。既要加强基础设施的一体化水平，也要提高运输服务的一体化水平。推进零距离换乘的综合客运枢纽，促进客运服务各环节有机衔接，推进客票一体联程。

积极推动物流降本增效，实现运输更经济。建设无缝化衔接的货运枢纽，共享信息资源。依托主要物流节点和枢纽场站，建设多式联运货运枢纽（物流园区），完善集疏运体系，建设集装箱和半挂车多式联运中转站，提高集装箱铁水联运比重。依托国家交通运输物流公共信息平台，对接铁路、航运、航空等国有大型运输与物流企业平台，对接社会化平台，构建电子赋码制度，实现信息实时更新和共享。加

快推广“一单制”，实现一站托运、一次收费、一单到底，提升多式联运效率。健全联运机制鼓励企业转型，推进多式联运。支持有实力的运输企业向多式联运经营人、综合物流服务商转变，发展联程联运、共同配送等先进运输组织模式。完善便捷、兼容的货物一体换装系统，健全企业间联运机制，加快推进集装箱多式联运系统建设，鼓励企业开展铁水、公水、公铁等联运，提高中转效率。

推动交通与其他业态融合发展，拓展服务功能。依托移动互联等现代科技，以用户需求为中心，推动“互联网+交通”发展。交通基础设施建设与商业、景观开发紧密结合，推动基础设施与商业办公、旅游和相关产业发展。鼓励城市交通场站充分利用地上地下空间，促进交通与商业、商务、会展、休闲等功能融合，建设城市交通综合体。完善港口设施，鼓励发展国际国内邮轮航线和近海湖区游艇，推进邮轮游艇产业化和规范化发展。依托旅游区、休闲度假区等区域，建设汽车营地，促进房车产业发展。完善通航配套设施和服务保障体系，提高旅游观光、应急救援以及公务机等通航服务服务水平。

以人为本，提高交通安全和应急保障水平。继续健全完善交通运输安全管理体制机制，加强行业外交通安全预防、监管和事故独立处理能力建设，提升交通安全管理部门之间的沟通协作水平，以枢纽场站、城乡结合部交通线路、铁路线路安全区等薄弱环节为重点，建立权责清晰、高效统一的交通运输安全监管体制。构建国家和地方交通应急保障机制，注重与全社会应急保障体系的衔接和配合，制定交通应急能力规划，对交通应急力量分配、应急物资储备、应急部门分工协作等进行科学规划。建立跨区域、跨境突发事件的应急预警、响应和处理机制，提高跨区域的应急信息资源互通和共享能力。加快推进航空紧急救援体系建设，制定航空紧急救援发展战略，加强直升机起降点等航空应急设施建设，提高应急救援反应速度和救援效率。

发展绿色交通、集约交通，实现可持续发展。大力推广节能环保型运输工具，实施较高的排放标准，逐步与国际标准接轨，逐步淘汰高能耗、低效率的运输工具，引导向大型化、专业化、标准化、绿色

化发展，提高各类运输工具的能源利用效率，最大限度地降低能耗和排放水平。以推动公交示范城市建设为契机，促进城市积极发展公共交通，大力加强加气、充电等配套设施的规划与建设，为节能和新能源汽车推广应用提供有力支撑。积极培育多式联运、甩挂运输等现代运输组织方式，通过优化运输组织，加速运输工具周转，提高运输效率，降低资源占用和能源消耗。节约集约利用线位、岸线等资源，优化空域资源配置，处理好交通发展与环境的关系。

二、国际经验比较及交通部门能源需求影响因素分析

未来中国交通部门要满足工业化、城镇化发展的要求，满足实现中国梦的经济发展要求，发达国家的经验、中国过去的历史趋势等都表明，客货周转量仍将大幅增长，周转量和经济活动之间相关性很大。如果不采取激进的措施，打破行业间壁垒，交通运输结构还将维持现有的状态或持续恶化，清洁高效的交通运输方式得不到充分发展，这对交通部门的能源强度和能耗有重大影响，虽然运输工具的效率持续提升，但很难抵消结构恶化带来的负效应，交通部门节能减排工作压力巨大。

（一）国际有关中国交通部门能耗需求预测

国际比较和相关机构对中国交通部门能耗的预测共同表明，未来交通用能还有较大增长空间。从主要国际机构对中国交通运输行业的用能预测和发达国家的发展经验来看，交通用能未来会呈快速增长趋势，而且增长量相当可观。

各方机构都很关注未来中国交通部门的能耗增长情况。随着收入水平的提高，大众对于高效快捷点对点的运输有更加旺盛的需求，加上许多新兴技术可能对交通部门的组织形式产生重大影响，未来中国交通部门的能耗具有很多不确定性，需要在以往研究的基础上作出更新。在国际应对气候变化的新形势下，发展中国家特别是中国这样的排放大国，未来承担的减排压力加大，中美两国发布应对气候变化联合声明，交通部门面对减排形势必须做出应对，也要求对未来中国交通部门能耗和碳排放情况作出新的判断。

1、国际研究表明交通运输能耗将呈现快速增长趋势

国际能源署（IEA，2010）、美国能源信息署（EIA，2011）、英国石油公司（BP，2011）、亚太经合组织（APEC，2010）、美国劳伦斯伯克利国家实验（LBNL，2008）、中国能源研究所（ERI，2010）等主要机构都对中国的交通部门未来的能源需求进行过预测，2030年能源需求的预测区间为4.2至7.9亿吨标油之间，可以看到，各机构对于中国交通运输用能的预测中，2030年之前都没有出现明显拐点。从

总量上来看，基年的能耗水平略有不同，都在 3 亿吨标油上下，2030 年交通用能总量会增长 2~3 倍，这种增量是相当可观的，会给能源安全及石油对外依存度带来严峻挑战。

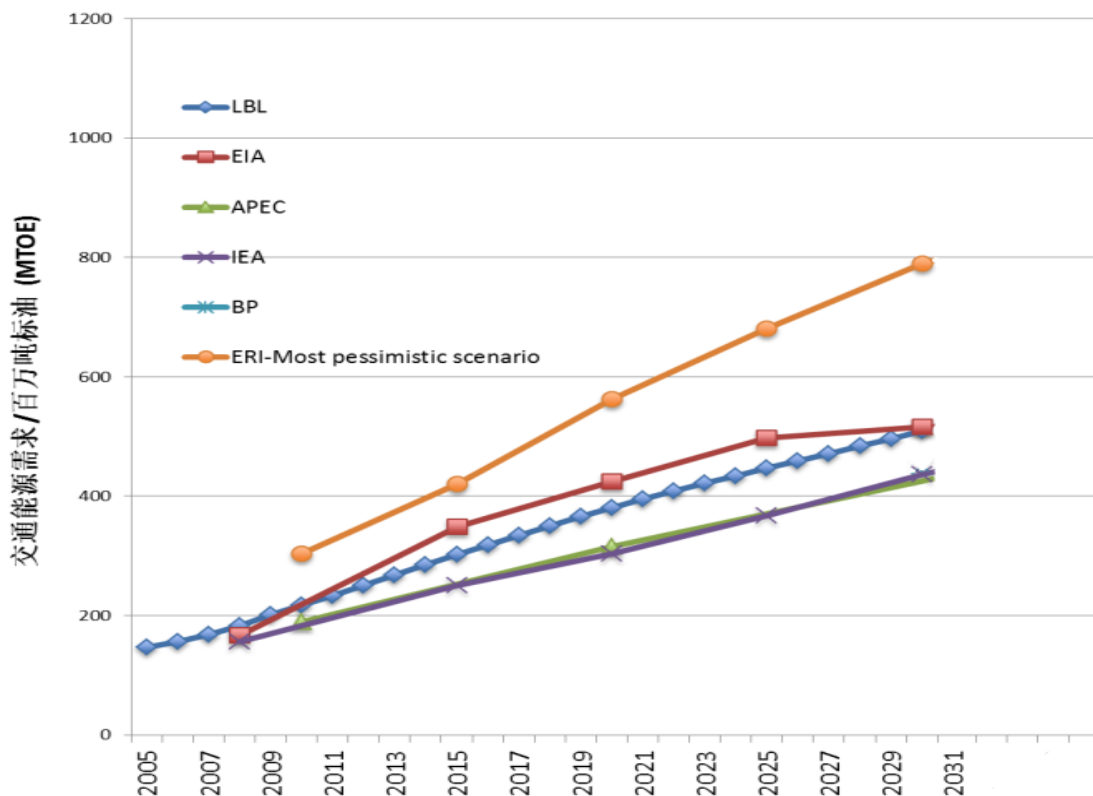


图 2-1 不同机构对于交通用能的预测

2、国际比较表明交通部门能耗还有较大增长空间

从主要发达国家交通部门能耗占终端能耗比重的情况看，大都稳定在 20%到 40%之间，每年稍有变化（图 2-2、图 2-3）。主要发达国家交通部门能源消耗从时间上来看一直呈持续增长的趋势：美国交通能耗从 1971 年至 2010 年，每年以 1.12%的速度增长，2010 年已经增加到 5.83 亿吨标油；日本同时期内每年以 1.95%的速度增长，2010 年已经增加到 0.77 亿吨标油；法国同时期内每年以 1.90%的速度增长，2010 年已经增加到 0.44 亿吨标油；OECD 国家交通能耗同时期内，每年以 1.62%的速度增长，2010 年已经增加到 11.80 亿吨标油。

美国交通部门是仅次于工业部门的第二大用能部门。美国拥有世界上最发达的高速公路和民用航空网络，其经济生活高度依赖于道路运输，被称之为“汽车轮子”上的国家，同时民航是承担中远距离旅

客运输的主力，而铁路所占比重很低，主要承担一部分货物运输和城际旅客运输。由于公路、民航单位能耗水平大大高于其他运输方式，加上国土广阔、油价低以及生活方式等因素，因此，从能源效率角度看，美国交通运输实际是一种“奢侈型”的能源消费模式。随着中国经济社会发展水平以及人们对出行安全性、舒适性、便捷性需求的日益提高，交通运输能源消费总量及其占全社会能耗比重上升是必然趋势，并且随着经济社会发展到一定阶段，交通运输将成为能源消费增长的最主要领域。

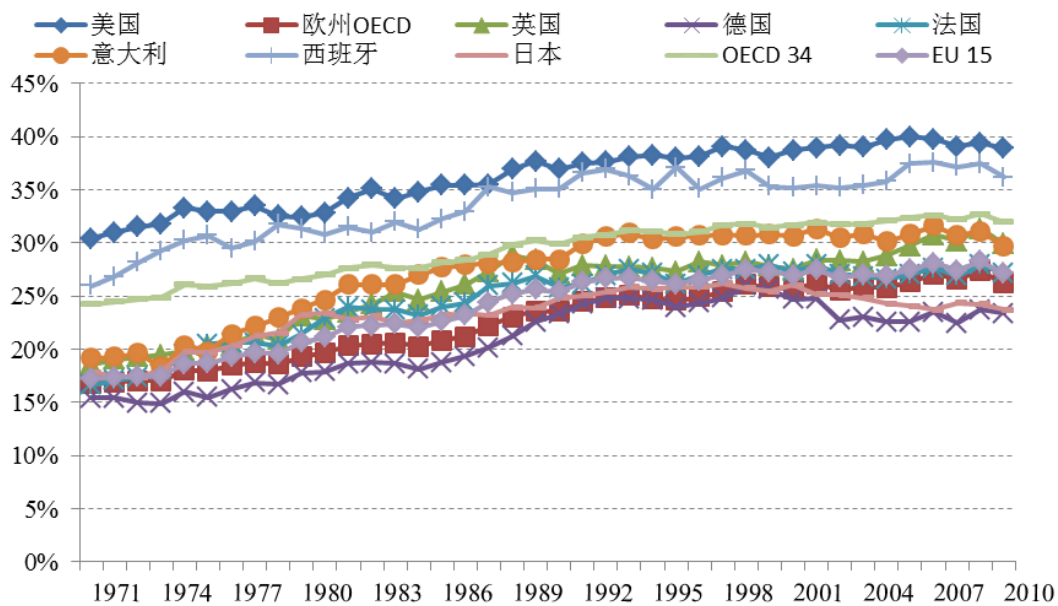


图 2-2 各国交通用能占终端能耗比重

发达国家发展历程表明，当一个国家或地区的人均 GDP 达到 2.5 万美元左右时，其产业部门、交通部门、商用/民用部门的能源消费大体上各占 1/3，从中国近几年交通用能的发展趋势看，如果不采取特别的节能降耗举措，伴随着经济的持续增长，工业化和城镇化进程的加快，以及机动车保有量的迅猛增加，未来的交通服务需求也将稳步提高，由此将导致交通部门的能源消耗，特别是油品消耗的迅速增加。与工业部门相比，交通部门的能源需求增长具有某种刚性特点，因此遏制交通部门的能源需求急速扩张、提高交通能源效率、降低对石油的高度依赖性，无疑是实现预期节能减排目标、保证未来中国能源可持续发展的重要支撑。

从人均交通用能的角度看，中国每人的交通能源消费量与发达国家的差距更为明显，仅为美国人均交通能源消费量的不到 1/13，是其他发达国家的 1/7 到 1/5 之间。各主要发达国家人均交通用能都在 0.6 吨标油以上，美国、加拿大等高度依赖汽车出行的国家，加上幅员辽阔，人均交通用能分别达到 1.89 和 1.74 吨标油。2010 年中国人均交通用能仅为 0.16 吨标油，加上中国的国土面积与美国等国家相当，且原材料、煤、主要工业产品的产地和消费地之间的运输距离较长，可以预计，未来中国人均交通用能会保持较快的增长速度。如果接近或达到发达国家目前平均 0.6 吨标油左右的水平，保持人口总数不变的情况下，中国交通能源消费总量也会达到 8.4 亿吨标油左右，如果达到美国目前 1.89 吨标油的水平，中国交通能源消费总量会达到 26.4 亿吨标油。这是中国能源安全、资源环境难以承受的，所以未来交通部门的发展要与能源革命联系起来，做到满足交通服务出行需求的同时，能源消费出现革命性的突破（见图 2-3）。

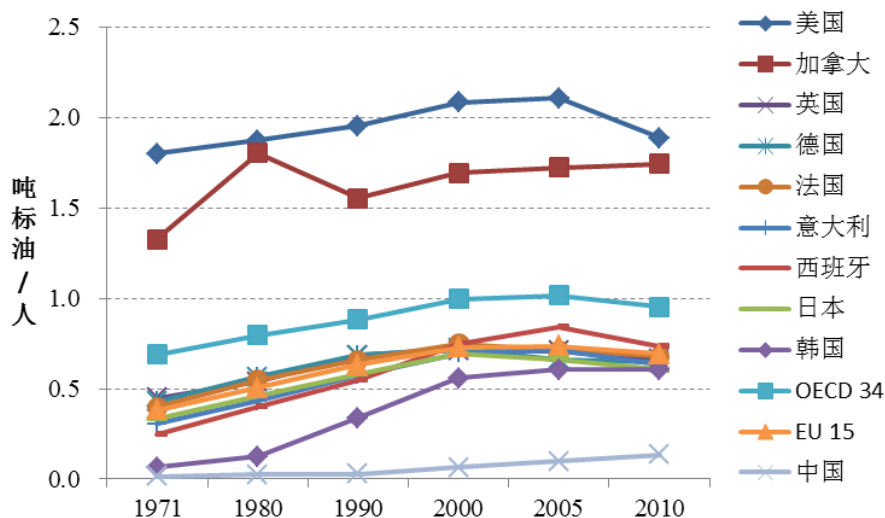


图 2-3 主要发达国家人均交通用能与中国的比较

(二) 经济社会发展对未来交通部门发展的影响因素分析

经济社会活动与交通部门的相互关系通过具体的交通运输参数体现，包括货运周转量、客运周转量、汽车保有量、交通运输结构等。以下主要介绍在满足经济社会发展要求，交通运输主要参数可能的变化趋势和情况，以及对未来至 2030 年客货周转量展望。

1、未来交通运输服务需求的影响因素及趋势分析

如前所述，随着经济发展进入工业化的中后期，经济增长速度从高速增长转为中高速增长，经济结构不断优化升级，发展动力从要素驱动、投资驱动转向创新驱动，进入再平衡和结构调整的“新常态”。随着经济的发展，交通运输的内容也发生着变化。从之前低附加值、高耗能原材料等大宗货物运输占货物运输的主体，铁路、公路等需要运送大量煤炭作为电厂或锅炉的燃料，水泥作为基础设施、楼房等建筑材料，这些大宗货物的运输对交通运输服务的精细度要求相对较低，公路货物运输过程中存在大量的超载和空驶现象，物流的组织方式不够科学合理。随着工业化的转型和城镇化的进一步发展，基础设施建设基本完成后，对基础工业品消耗的需求降低，货运的内容会发生质的变化，高附加值、重量更加轻便、形状可能更加复杂的产品会成为货物运输的主体。这样对物流组织方式的要求更高，最好是可以借助第三方物流等方式对整个物流体系进行优化，实现系统最佳。

据初步统计，2016年常住人口城镇化率为57.35%，而且过去几十年的城镇化趋势是越来越多的人进入大城市，特别是特大城市，人口向东部沿海地区集中。未来10~20年是城镇化加速发展阶段，城镇化模式会很大程度上影响交通运输的模式和能耗。1980年人口超过100万的大城市仅有15座，2000年人口超过100万的大城市有90座，而到2015年底已达到147座，其中人口超过500万的特大城市有12座。城市规模迅速扩大，有超过48%的城市成为大城市，2015年居住在大城市的常住人口占城市总人口的73.3%。1980~2015年城市人口向大城市集聚，导致特大城市数量的增加和人口比重的增大。中小城市的人口规模和数量有所减少。未来城镇化有两种可能的模式：一种模式是按照现在的趋势持续发展，能推动产生15个平均人口规模达到2500万的超级城市，大约有10亿人居住在城市，对交通运输能耗来讲，虽然这种方式可以提高公共出行的比重，但会拉长城市内部居民每天的出行距离，以及拉长产地和消费地之间的距离，推高货运周转量，总体来说从而不利于降低能耗；另外一种模式是“大中小城

市协调发展”的城镇化，与前一种模式相比，更多的人口向中小城市集中，中等规模的城市占主体，这样居民每天的出行距离可以相对较短，并缩短提供给城市所需供给的货运量运输距离，降低货运周转量。

从东中西部区域发展来看，工业化和城镇化的速度也很不平衡，东部地区已经基本实现工业化，城镇化也达到了较高水平，发展的重点是提高经济和城市发展的质量，用创新驱动，建立新的竞争力和增长点，其中包括更为高效先进的交通运输方式，并保证经济发展的需求。对于中西部地区来说，基础设施建设尚未完成，大宗物资运输需求还将增长，交通运输基础设施建设仍需进一步完善，以交通部门发展带动全社会经济增长。

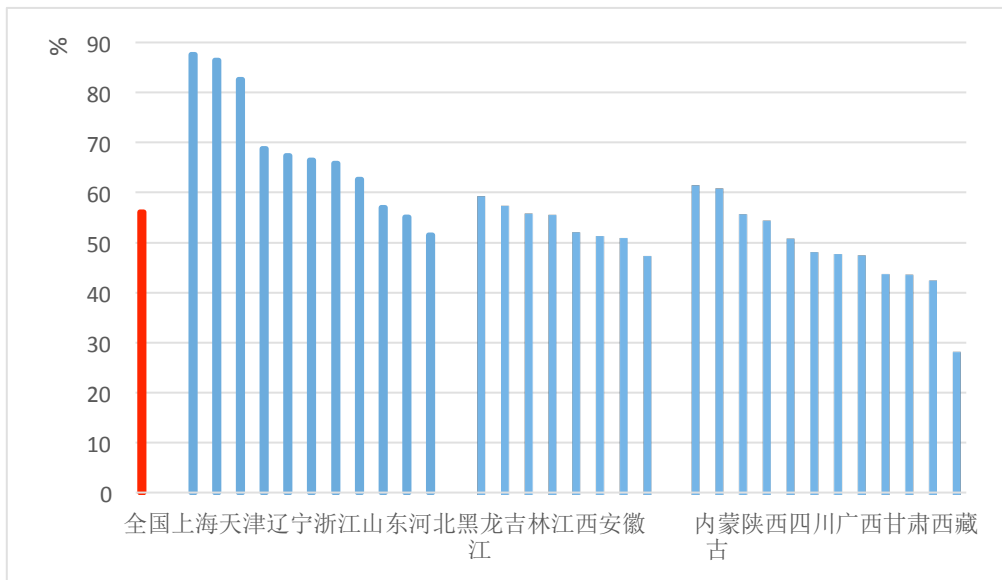


图 2-4 2015 年东中西部省份城市化率

(1) 货运活动水平稳步增长

为满足工业化、城镇化的需求，货物周转量呈持续增长势头，判断未来货运活动水平的增长情况，综合选用了历史趋势回归、国际经验借鉴和弹性分析的方法。影响货运强度的因素主要有：国土面积的大小，资源生产地与消费地的空间分布，GDP 构成等等。

从 1978~2015 年货运周转量与 GDP 历史趋势回归图上可以看出，货运周转量与 GDP 的拟合趋势较好，R2 为 0.9879，而且二者之间是线性相关关系。如果据此趋势外推，2030 年货运周转量会增长到 59

万亿吨公里。

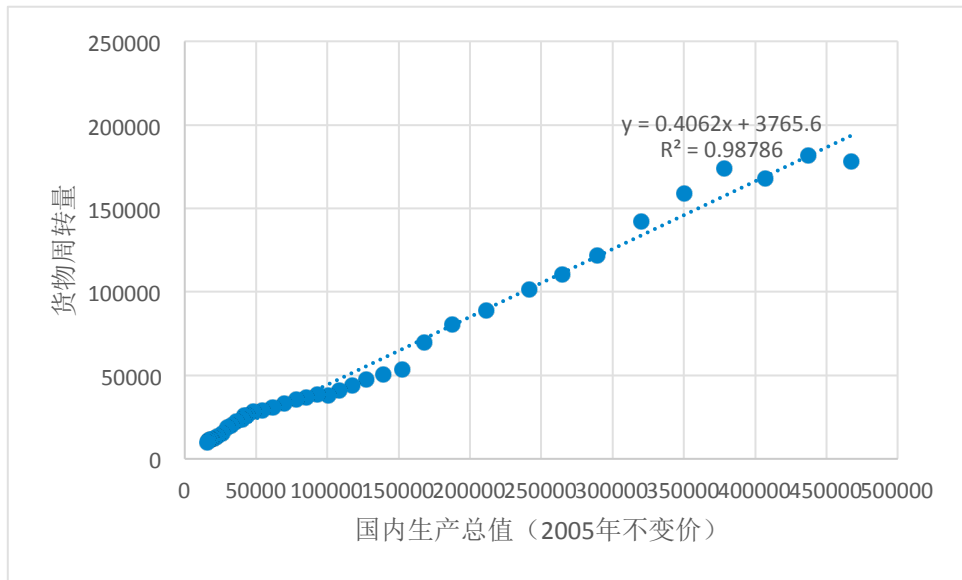


图 2-5 1978~2015 年 GDP 与货运周转量历史数据回归趋势

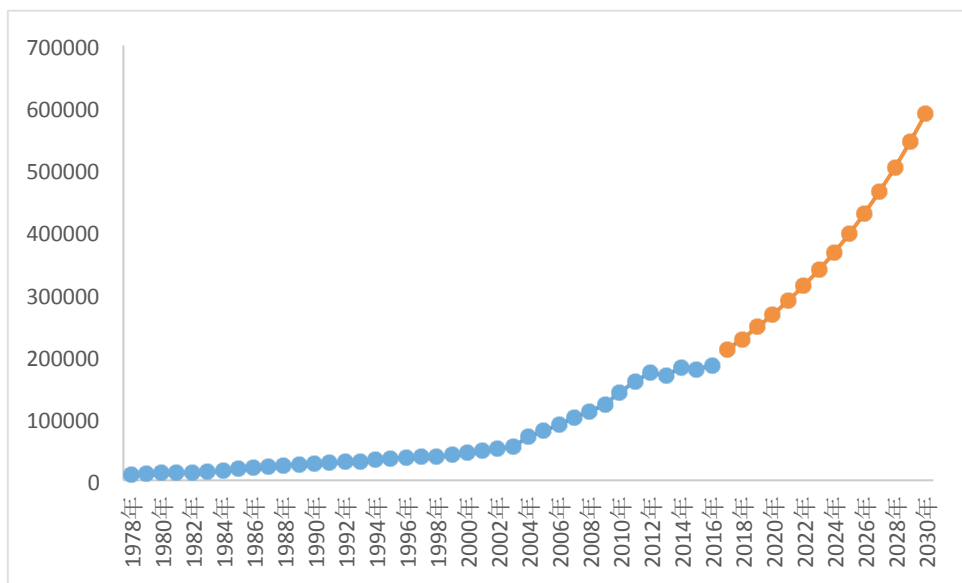


图 2-6 货运周转量趋势及未来展望图
(红色为预测值)

从美国、日本等国际经验来看，货运周转量与经济发展也呈很强的相关性规律（图 2-7、2-8）。美国、日本自上世纪 50、60 年代以来，随着经济的增长货运周转量呈现同步增长的态势，但从总体上看，单位 GDP 的货运周转量（即货运强度）有趋向饱和和降低的态势，这也与信息化、高附加值货物比重增加有关。货运强度的饱和现象也可以从货运弹性的角度得到进一步佐证。

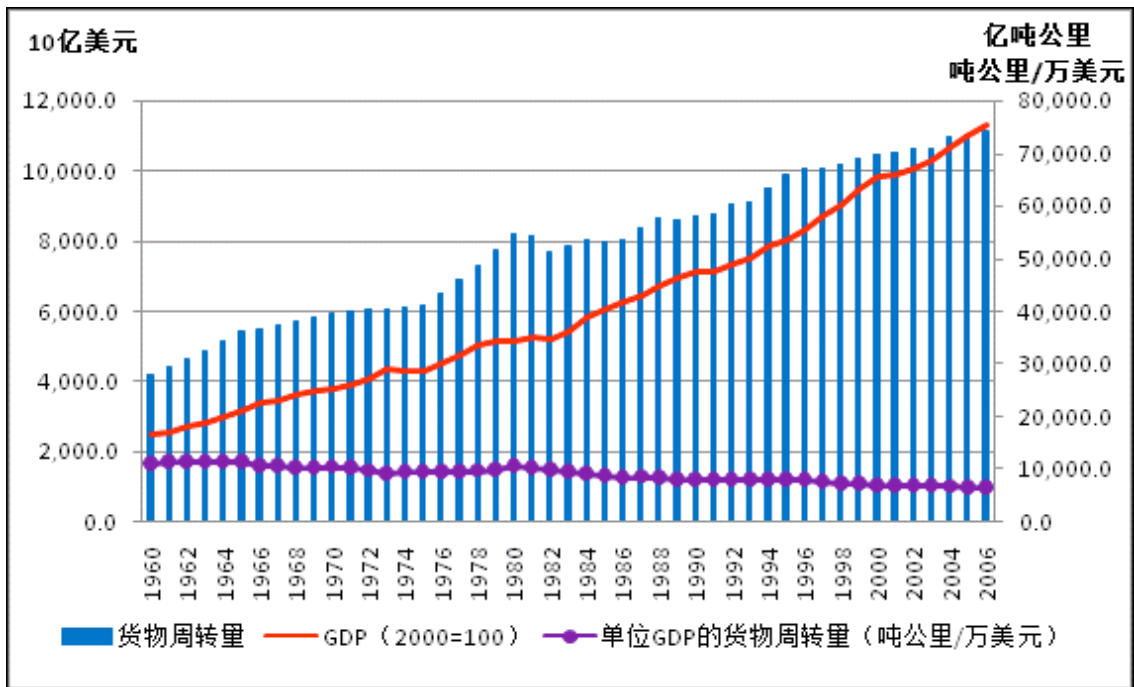


图 2-7 美国 GDP 与货物周转量的关系图

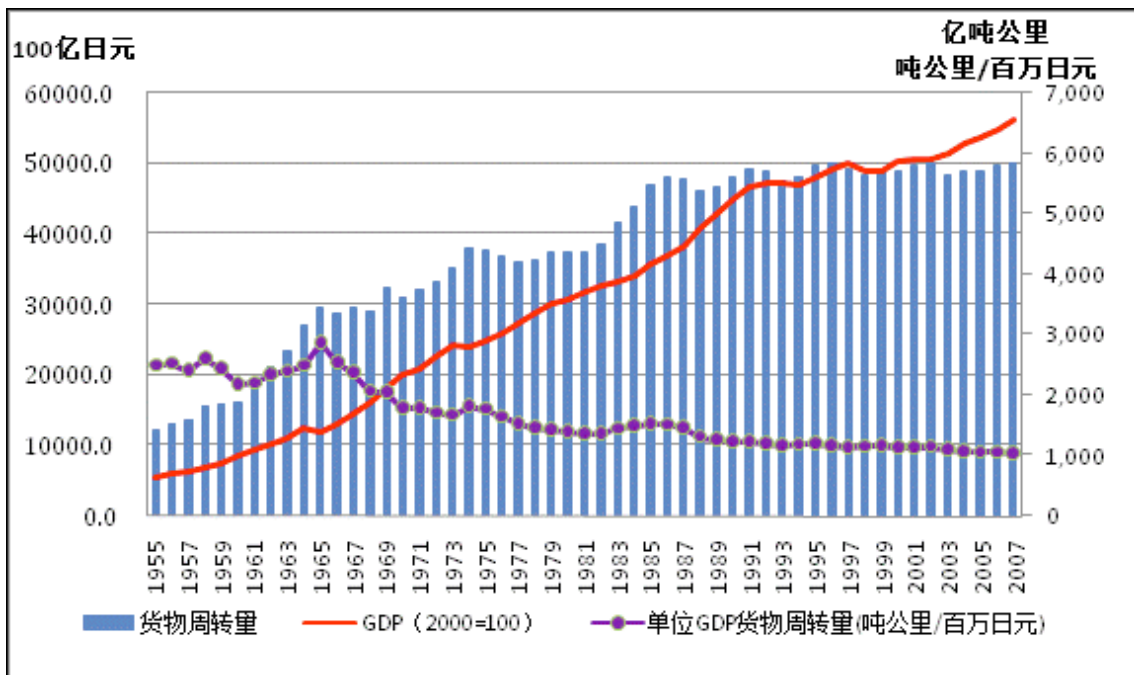


图 2-8 日本 GDP 与货物周转量的关系图

日本客货运弹性演变比较

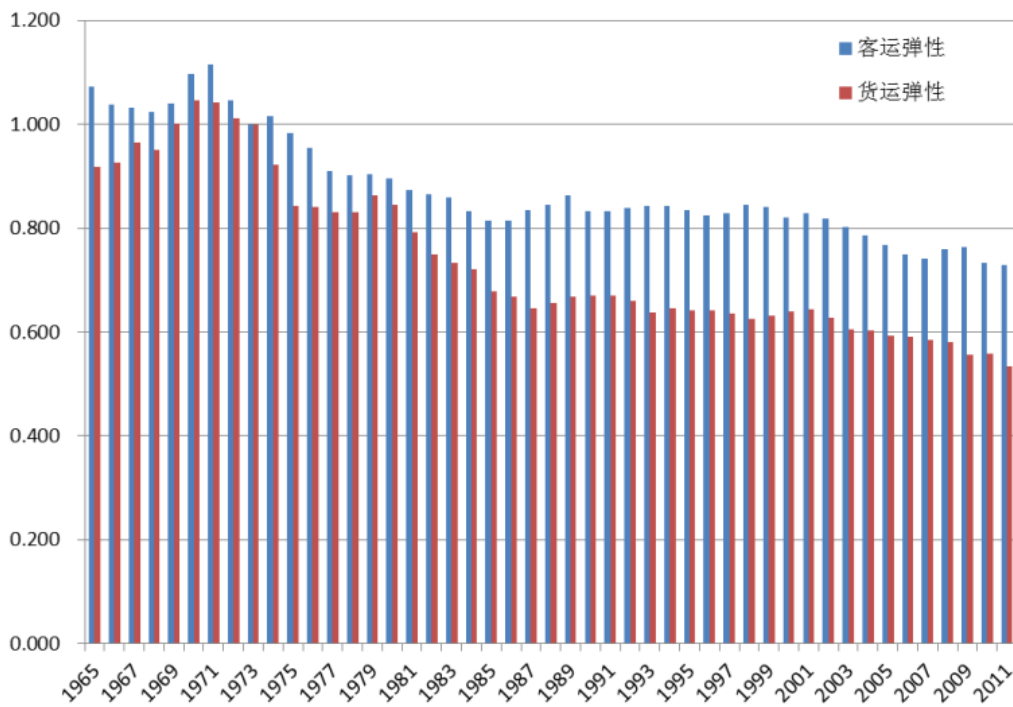


图 2-9 日本客货运弹性分析

图 2-9 显示的是日本货运弹性演变趋势，可以看出单位 GDP 的客运/货运周转量，即客货运弹性在 1980 年以后呈现基本稳定的趋势，而且货运弹性基本保持在 0.6 左右，考虑到日本在 1980~2011 年的发展阶段，结合中国 2000 年以来货运弹性的变化规律，同样考虑到货运弹性的饱和趋势，采用弹性分析方法预测至 2030 年货运周转量为 44 万亿吨公里。

区域货运周转量的变化趋势和地区差异同样反映了经济和货运活动水平的相关关系，考虑到区域发展的不平衡性，所以货运周转量各省增速放缓的时间不一，叠加后导致全国货运周转量仍将长期持续增长。从区域发展的态势看，东部地区将率先实现小康，中、西部开发力度不断加强，东北老工业基地改造的深入开展，东中西互动局面未来表现得更为显著，物流业将会保持新世纪以来货运弹性大于 1 的局面。图 2-10 显示的是 2015 年各省人均 GDP、周转量和交通能耗情况的关系图，横坐标为人均 GDP，纵坐标为周转量，气泡的大小表示交通能耗量。可以看出，除个别省份外，人均 GDP 越高的省份，交通周转量也相对越高，例如山东、广东等省，人均 GDP 都超过 5 万元，

交通周转量也都在 1 万亿吨公里左右，显示了经济发展与交通运输的正相关性。但也存在例外现象，例如北京、天津的人均 GDP 较高，但交通周转量却相对不高，这与北京、天津的行政区域面积较小有关，辖区内的客运、货运量需求相对较小。从交通能耗的区域分布来看，各省能耗量由高到低排列分别是山东、广东、上海、辽宁、江苏，都是位于东部沿海的省份，而能耗量最低的五个省份分别是西藏、青海、宁夏、海南、甘肃，大都是位于西部内陆省份，这一趋势再次印证了经济发展与交通运输活动的正相关性。

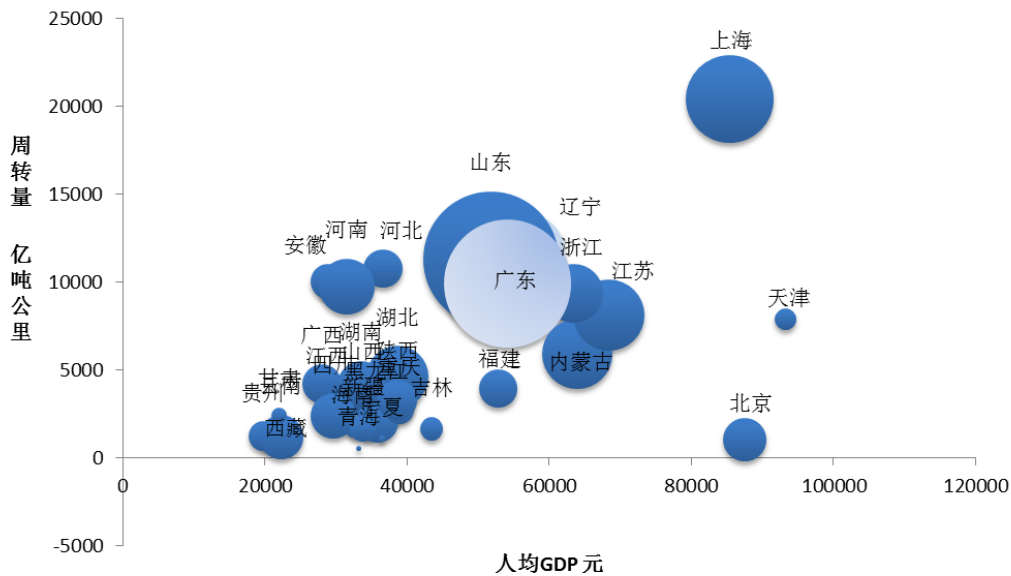


图 2-0 各省人均 GDP、周转量和交通能耗情况分析
注：气泡大小与交通能耗量相关。

从各省的单位周转量能耗来看，能耗强度最高的省份大都位于西部省份（图 2-11），这与多种因素有关，其中重要的因素为经济发展水平和地形分布，西部地区相对于东部地区不仅经济欠发达，而且地形多为山地、高原，地形更加复杂，群山和丘陵分布多，地势起伏比较大，这对单位周转量交通能耗有推高的作用。而且受自然地理环境的影响，不同地区的交通运输结构存在较大差异。东部沿海地区、长江航道周边地区可以天然获得水运便利的优势，这些地区水运在交通运输结构中往往占有较大的比重。另外，受地形等相关因素的影响，东部地区的铁路网也是较为发达的，铁路在东部地区交通运输结构中

也占有较大比重。而水运、铁路是较公路、航空能耗强度更低的运输方式，对区域交通能耗差异有重要影响作用。

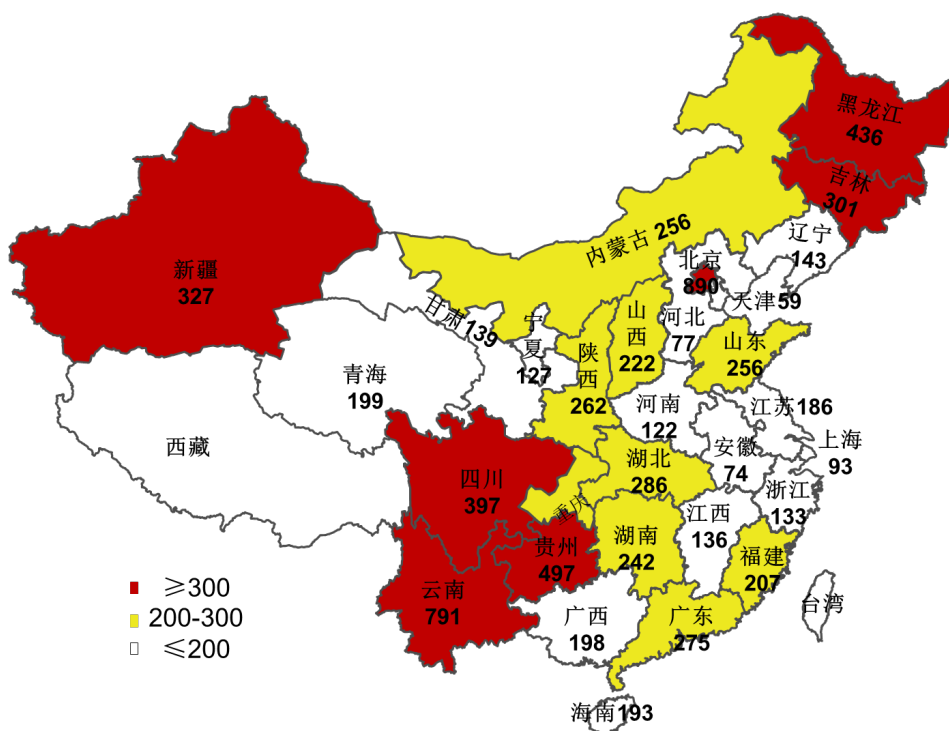


图 2-11 2015 年各省单位周转量能耗情况（单位：千克标煤/万吨公里）

从人均货运周转量的角度，与中国国土面积和地理环境相当的发达国家美国、澳大利亚等，人均货运周转量还存在较大差距，基本上两国一半左右的水平，而且从发达国家过去的历史趋势来看，并没有出现人均货运周转量“饱和”或停止增长的规律，所以随着生活水平的提高，人均货运周转量还将持续增长。

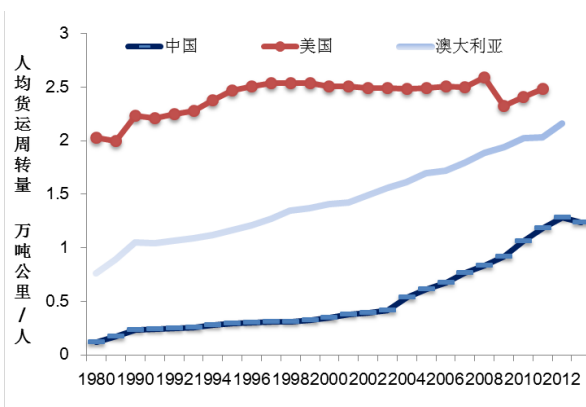


图 2-12 中国与美国、澳大利亚人均货运周转量比较

小结：货物周转量的增速与经济增速趋势基本吻合，但货物周转量的增长幅度要小于经济增长幅度，单位 GDP 货物周转量逐渐

降低，对美国、日本的货物周转量与经济发展关系分析可以印证这一结论。所以，在预测中国货物周转量时，采用 GDP 驱动的方法，同时考虑到单位 GDP 货物周转量增长到与发达国家相近的水平时，存在“饱和”的现象，以及区域发展不平衡的现状。结合弹性分析和国际经验的数据，共同确定至 2030 年货物周转量。

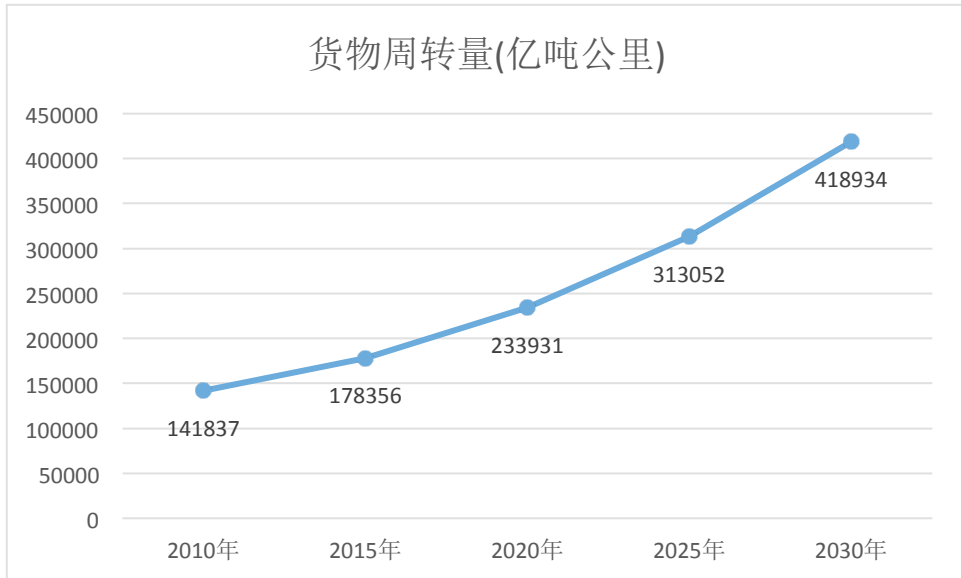


图 2-13 参考情景下中国货运活动水平预测值

(2) 城间客运出行持续增加

居民的收入水平越高，则其跨城市、跨国界进行出游、访友、商务、办公的需求会相应增加。在人均 GDP 水平超过 3000 美元后，面临经济发展的“分水岭”，而且出境游也是在此后出现井喷式增长的。对于未来客运活动水平的增长情况，同样采用了历史趋势回归、国际经验借鉴和弹性分析的方法。由于模型框架将客运分为城间客运和城市内部客运两部分来考虑，所以此部门的客运活动水平仅为城间客运部分的周转量。

居民的出行需求更多的与个人收入水平有关，将客运周转量与人均 GDP 作回归分析发现二者的拟合程度很好， R^2 为 0.9598，而且二者之间是线性相关关系。如果据此趋势外推，2030 年客运周转量会增长到 11.5 万亿人公里。这种趋势外推的方法对于未来客运周转量的增长过高，下面参照国际经验和弹性分析相结合的方法来共同确定客

运周转量水平。

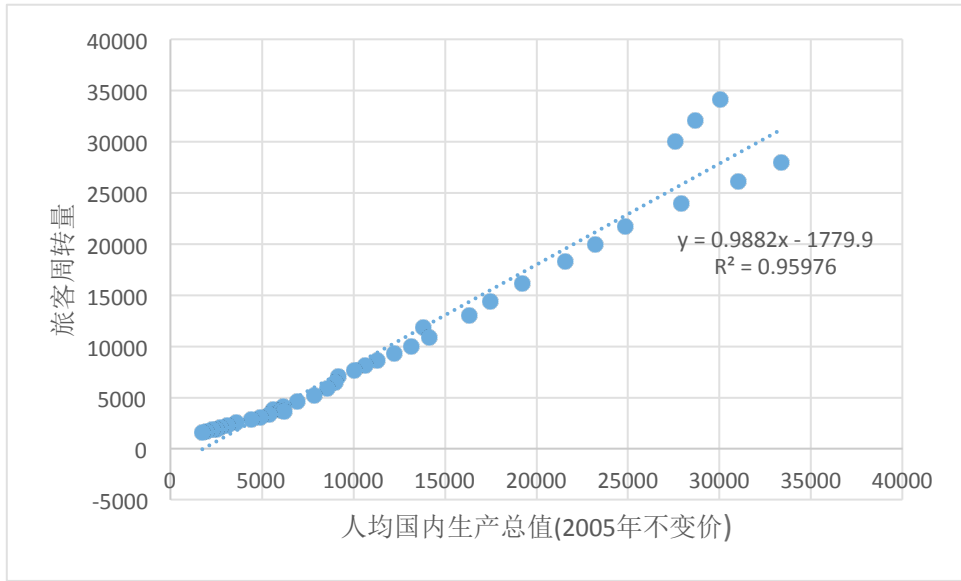


图 2-14 1978~2015 年 GDP 与客运周转量历史数据回归趋势

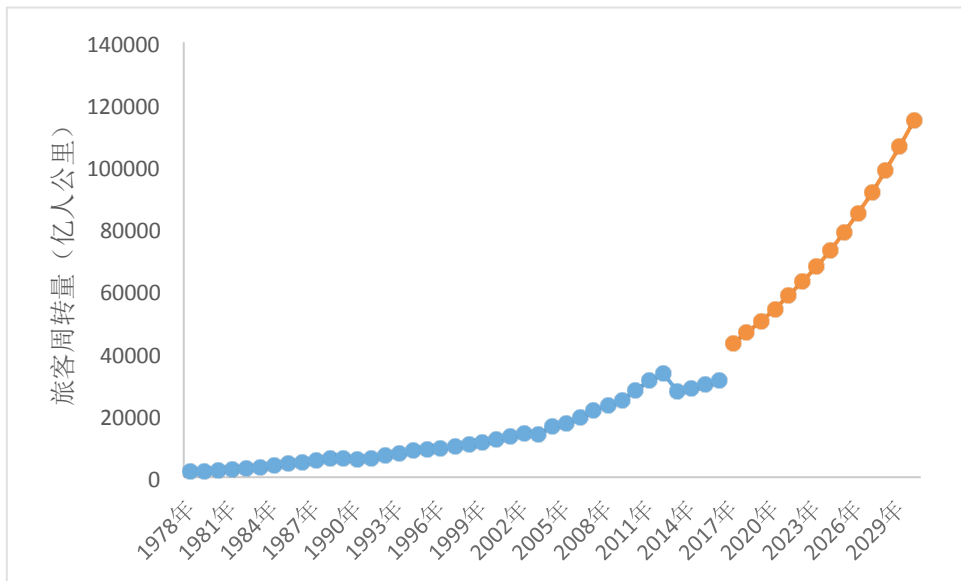


图 2-15 客运周转量趋势及未来展望图
(红色为预测值)

从日本等国际经验来看，客运周转量与经济发展也呈很强的相关性规律（图 2-16）。日本自上世纪 50、60 年代以来，随着人均 GDP 的增长客运周转量呈现同步增长的态势，但从总体上看，美国和日本进入 20 世纪 90 年代以后，人均客运距离呈现饱和的趋势，这与每个人每年可出行的时间及机会成本有限相关（图 2-17、1-18）。

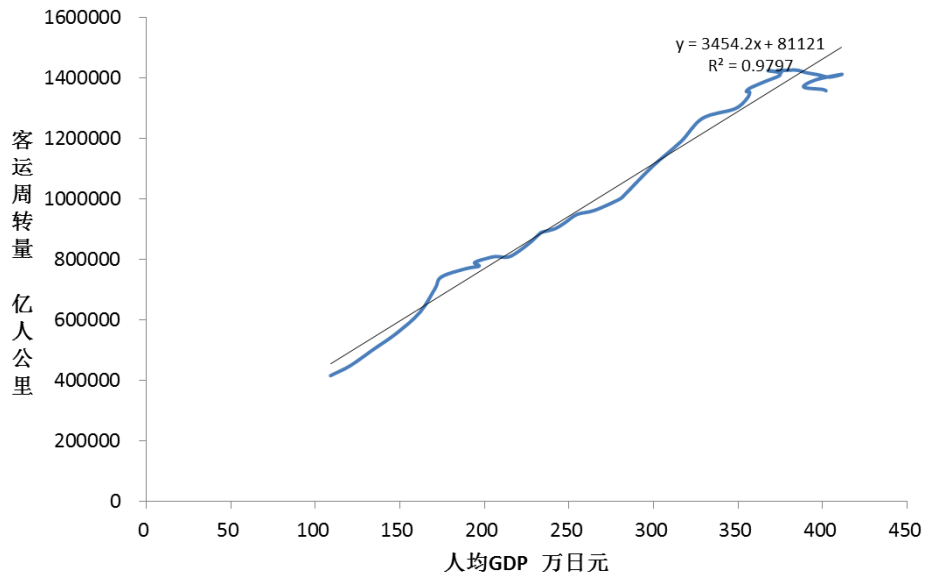


图 2-16 日本人均 GDP 与客物周转量的关系图

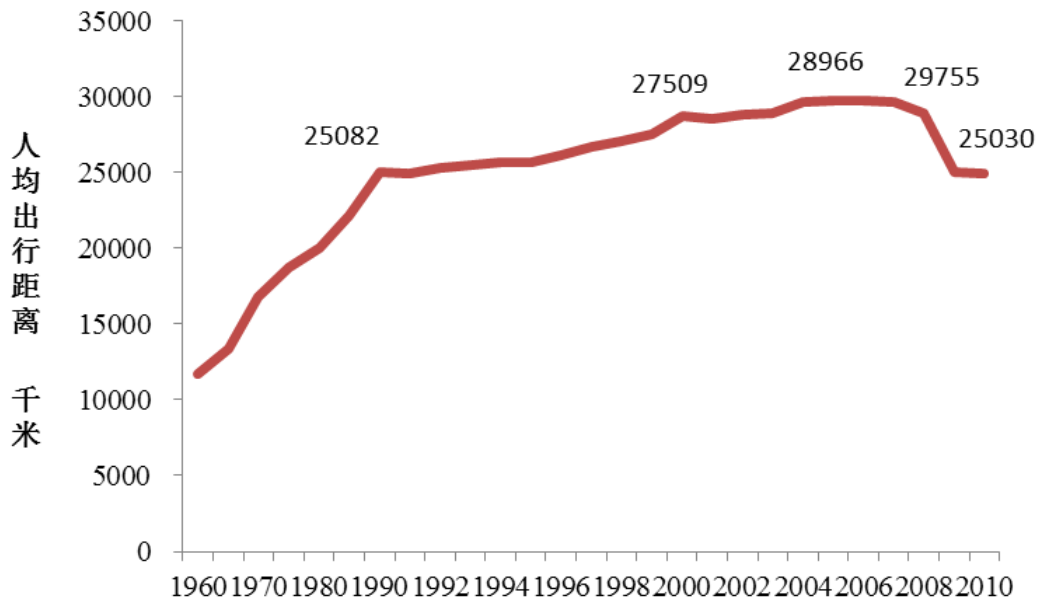


图 2-17 美国人均客运距

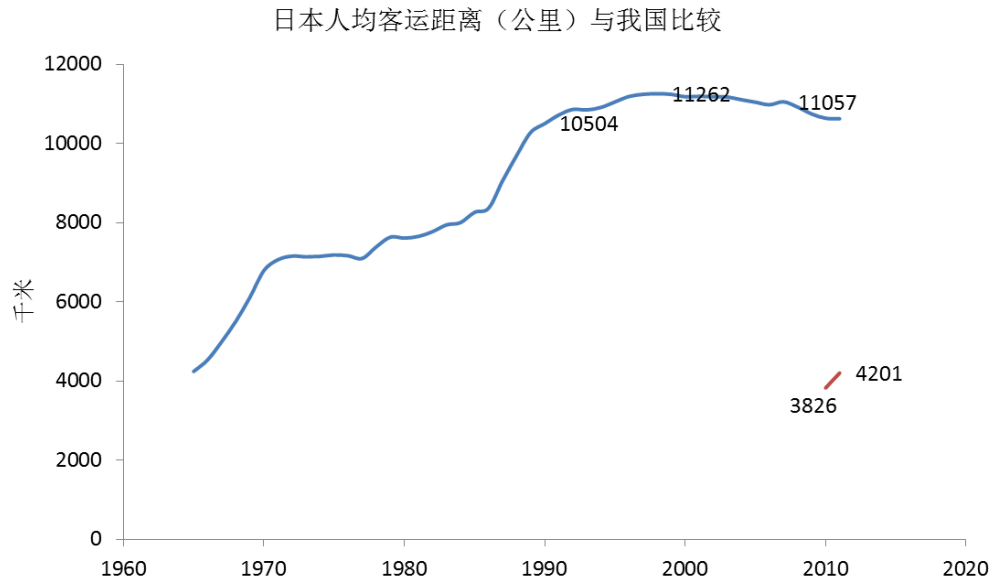


图 2-18 日本人均客运距离

前图 2-9 显示的是日本客货运弹性演变趋势，可以看出单位 GDP 的客运/货运周转量，即客货运弹性在 1980 年以后呈现基本稳定的趋势，而且客运弹性基本保持在 0.8 左右，与货运周转量发展趋势略有不同，货运周转量随着工业化进程的完成，弹性会回落到较低的水平，但客运周转量相对来说与人均收入相关性更大，收入提高后，居民的出行需求会更旺盛。采用弹性分析方法预测至 2030 年客运周转量为 9.4 万亿人公里。

小结：客周转量与人均 GDP 呈正相关关系，与货运周转量相似，客运弹性也存在一种“饱和”现象，即单位人均 GDP 能耗达到一定水平后会保持相对稳定不变。所以，在预测客运周转量时，采用人均 GDP 驱动的方法，存在“饱和”的现象。结合弹性分析和国际经验的数据，共同确定至 2030 年客运周转量（城间客运）。

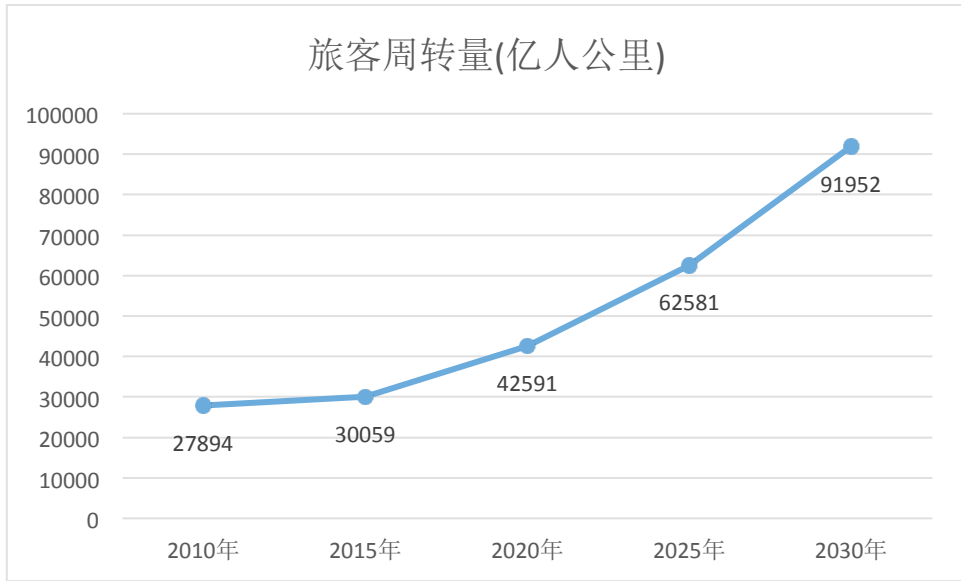


图 2-19 参考情景下客运活动水平预测值

(3) 城市客运随城市化进程出行距离拉长和出行人次倍增

随着城市建成区面积的增加，一些城市规划缺乏通盘考虑，城市发展“摊大饼”，造成居民出行距离拉长。另外，随着收入水平的提高，居民每人每天出行的次数也有所增加，何东全（2013）对 18 个城市调研的现状数据表明，各城市居民出行次数差异性也比较大，最低的兰州只有 1.6 次；最高的乌鲁木齐 3.5，北京约为 2.8 次，上海 2.5 次；绝大部分城市 2~3 次之间。借鉴发达国家城市出行的经验，居民每人每天出行的次数从 2010 年的 2.38 次增长到 2030 年的 2.77 次。假定 2030 年城镇化率会达到 68%、人口为 14.35 亿，则可以得到城市出行人次（每年），从 2010 年的 5818 亿人次至 2030 年 9866 亿人次，增长了 70%。此外，随着收入水平的提高，居民对出行的质量也有更高的要求，而且出行距离的拉长也会造成机动化出行比重的升高，从 2010 年的 40%左右至 2030 年增加到 82%，增长明显。

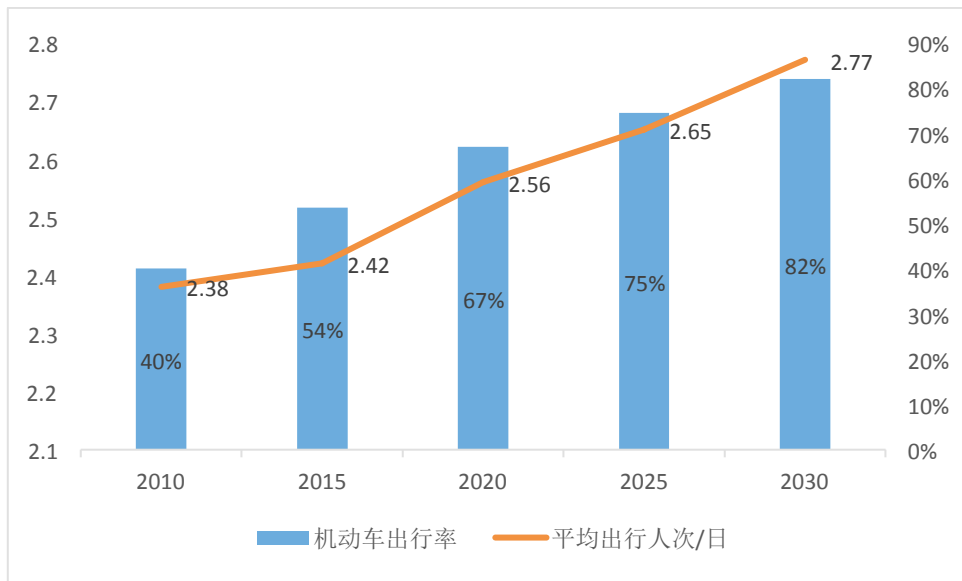


图 2-20 城市居民每人每天出行次数和机动车化率变化

居民每天都有上班、上学、购物、娱乐、走亲访友等各种出行需求，这些需求主要可以通过公共出行和私人出行两种方式来满足，其中公共出行方式又包括轨道交通和公共汽车两种方式，而私人出行包括私家车、出租车、摩托车、单位自备客车等四种出行方式。在参考情景下，各种城市客运出行方式的发展更多延续了以往的态势，加之政府对于轨道交通、BRT 等基础设施建设的规划投资，以及对单位自备客车的控制，各种出行方式所承载的城市客运量增长情况具有各自的发展趋势，具体来看：

公共汽车客运周转量增速和增幅有限。从过去几年公共汽车保有量与承担的客运量演变而言，公共交通的发展速度远低于同期私人汽车的增长，也低于全社会交通周转量的变化。这意味着如果按照目前的发展态势，公共交通承担的服务量不会有太大改进，相关在满足居民出行方面，轨道交通将承担更为重要的作用。所以在参考情景下，展望公共汽车保有量增长情况采用了相对趋缓的增速，具体结果详见图 2-21。公共汽电车承担的旅客周转量则与汽电车的保有量存在很好的回归趋势，考虑到未来 BRT 的发展以及公交车大型化的进程，旅客周转量的增长稍快于汽电车保有量的增长。

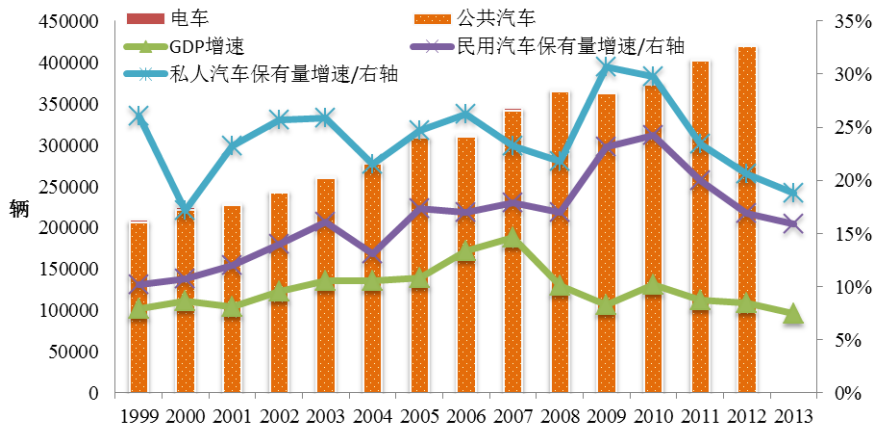


图 2-21 公共汽车保有量与 GDP、民用汽车、私家车保有量增速比较

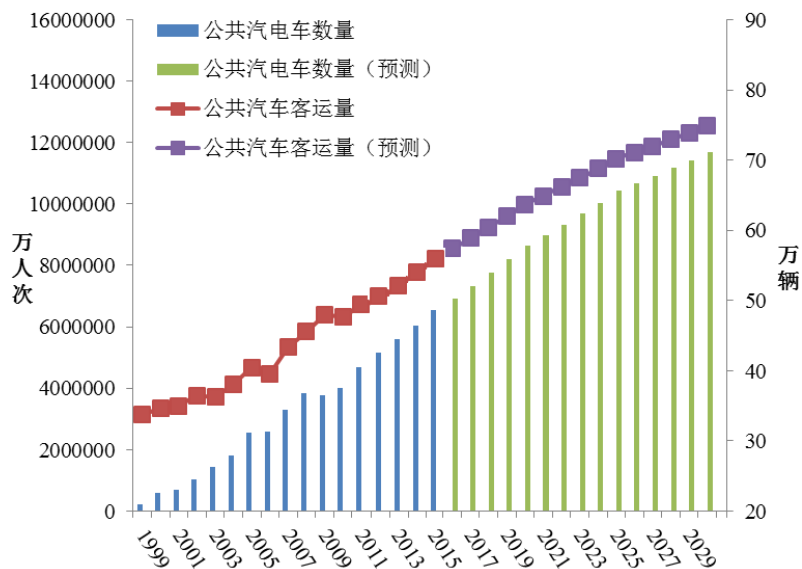


图 2-22 公共汽电车数量、客运周转量及增长趋势预测

城市轨道交通将成为大城市公共交通出行发展的主要方向。课题组对 2000~2010 年间地铁车辆数与地铁承担的服务量进行了历史回归分析，从中可见，地铁客运量和地铁车辆数的关联度达到 0.98（见图 2-23）；类似的地铁营运里程和地铁车辆数关联度也非常高，据此未来地铁的客运量可以与地铁营运里程建立相关关系，并进行趋势外推。

由于城市轨道交通建设具有一次性投资大、运行费用高、社会效应好而自身经济差的特点，国务院于 2003 年颁布了，明确提出了城市建设轨道交通应当建立量力而行、有序发展的方针，确保城市轨道交通建设与城市经济发展水平相适应³¹。截至 2016 年 9 月，我国大陆

³¹ 按照国办【2003】81 号文《关于加强城市快速轨道交通建设管理的通知（国办发【2003】81 号）》的要

地区有 43 个城市的建设规划获得批复，规划总里程约 8600 公里。到 2020 年，我国将有 50 个城市拥有城市轨道交通，运营总里程有望达到 6000 公里。在参考情景中，考虑到未来发展的空间，将地铁里程设定为 9000 公里。

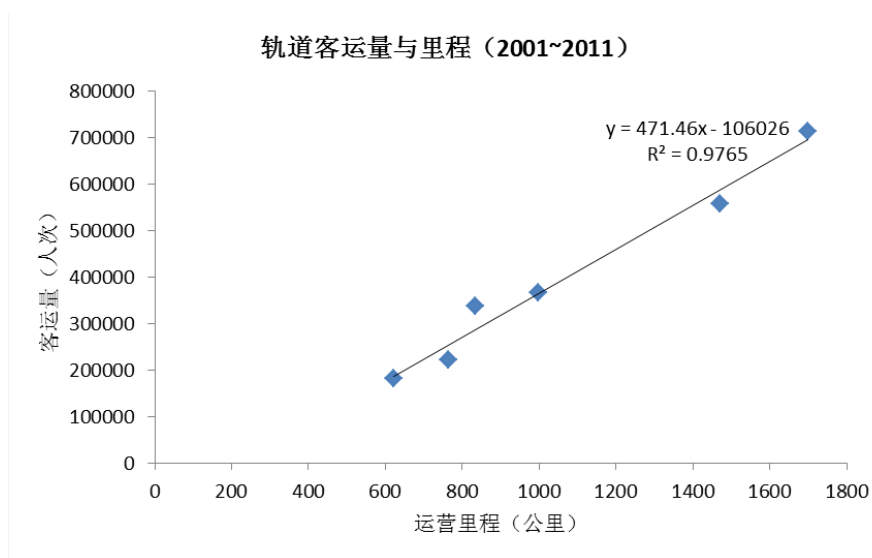


图 2-23 2001~2011 年轨道客运量与里程的模拟值和实际值比较

图 2-24 显示的是地铁未来客运周转量的增长情况，2010~2020 年，地铁承担的客运量将保持年均 19% 的高增长率，也体现了轨道交通快速发展的政策导向，现代化、大容量、高效快速的的城市交通面貌将基本形成。

求，申报发展地铁的城市应具备以下基本条件：地方财政预算一般预算在 100 亿元以上，国内生产总值达到 1000 亿元以上，城区人口在 300 万以上，规划线路的客流规模达到单项高峰小时 3 万人以上；申报建设轻轨的城市应具备地方财政一般预算 60 亿元以上，国内生产总值达到 600 亿元以上，城区人口在 1500 万以上，规划线路的客流规模达到单项高峰小时 1 万人以上。对于经济条件较好、交通拥堵问题比较严重的特大城市的轨道交通项目将予以优先支持。

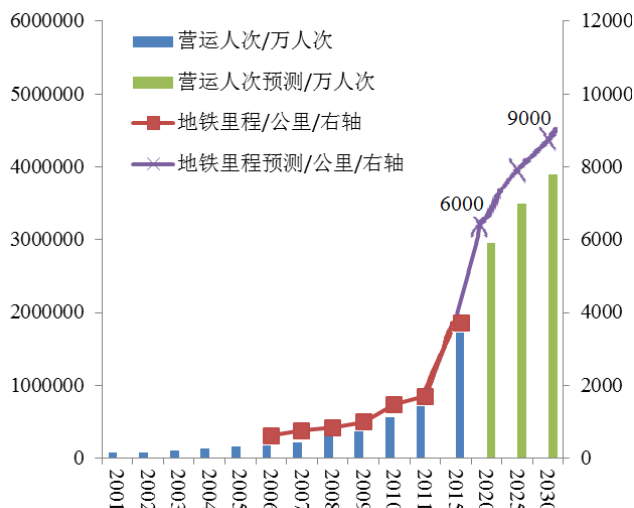


图 2-24 中国地铁里程、客运人次及未来展望

如果经营方式不改变出租车承担的城市出行服务需求仅能小幅增加。由于目前很多城市对出租车采取控制的政策，对于特大城市出租车辆的增量很小，但中小城市可能会有较大增长潜力。历史数据回归分析表明，出租车保有量和承担的服务量之间的关联度并不大，所以这里采用了趋势外推的方法，即参考情景下按照每年 2% 的速度增长，相应承担的年服务人次平均按照 2.86 万人次测算³²。

摩托车和电动自行车是中小城市居民出行的重要工具，国家实行的政府公车改革政策会使单位自备客车的数量下降，私家车未来还会持续增长（增长趋势判断见下节）。

在超大城市、特大城市、大城市和中小城市四类城市中，公交汽电车、轨道交通、出租车、私家车、摩托车、自备客车等城市交通出行方式的比重都略有不同。不同规模城市的机动化出行如图所示，这一展望考虑到了近些年城市出现的非机动化率下降的趋势，所以随着城镇化进程的加速和出行舒适度的提升，城市机动化出行的人次增长明显。

³² 北京出租车日运行距离为 300 公里左右，空驶率 20%，平均打车距离 6 公里，每次服务人次 1.8 人，如果按照每年 340 天计算，单车年承担 2.5 万人次；有些城市出租车的服务人次高，约为 2 人，有些城市单次出行距离更低，所以每辆出租车平均年服务人次按照 2.86 万次计算。

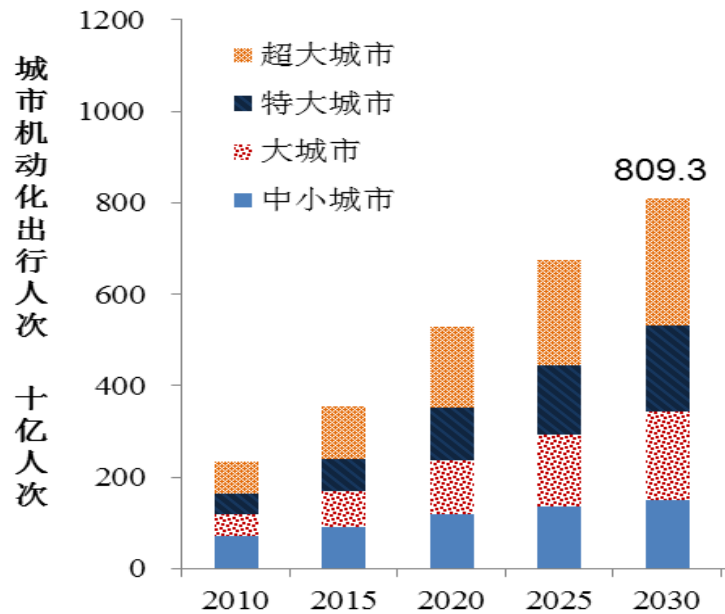


图 2-25 至 2030 年城市机动化出行人次展望

(4) 民用汽车保有量将持续增长

民用汽车保有量的增长与收入水平直接相关，在不同饱和水平下，未来民用汽车都将呈井喷式增长。

国务院发展研究中心（2004）认为汽车市场需求增长的幅度关键在于轿车，而其中又主要取决于家用轿车的增长趋势。而国际经验表明，随着居民收入水平不断提高，家用轿车将经历起飞、快速增长、平缓增长的阶段。因此，以城镇居民人均年收入与不同收入水平上每百户家庭汽车拥有量的数据为基础，同时结合国际经验，对 2003~2020 年家用轿车需求设计了高、中、低 3 个情景进行对比和预测³³。

美国 Argonne 实验室的 Wang 等（2006）的研究采用 Gompertz 模型作为汽车保有量增长模型，该模型输入为人均 GDP，输出为汽车保有率，有三个模型参数。其中代表汽车保有率饱和值的参数设定了高饱和值、中饱和值和低饱和值三种情景，分别对应饱和值千人 600 辆、千人 500 辆和千人 400 辆。其余两个参数基于 1978~2004 年的人均

³³ 分析预测包括以下步骤：1) 根据抽样调查数据，推算城镇居民人均年收入的分布结构；2) 依据调查数据，推算城镇居民人均年收入与每百户居民家庭家用轿车拥有量之间的关系；3) 根据有关部门制定的 GDP 发展目标，设计 2003~2020 年逐年的 GDP 增长率；4) 估算城镇居民收入与 GDP 关系，据此推测城镇居民的人均 GDP 年收入增长趋势；5) 依据人均年收入与家用轿车保有量的关系，对家用轿车的需求进行预测。

GDP 和汽车保有率进行了回归。Dargey 等采用了类似的方法进行了预测³⁴。

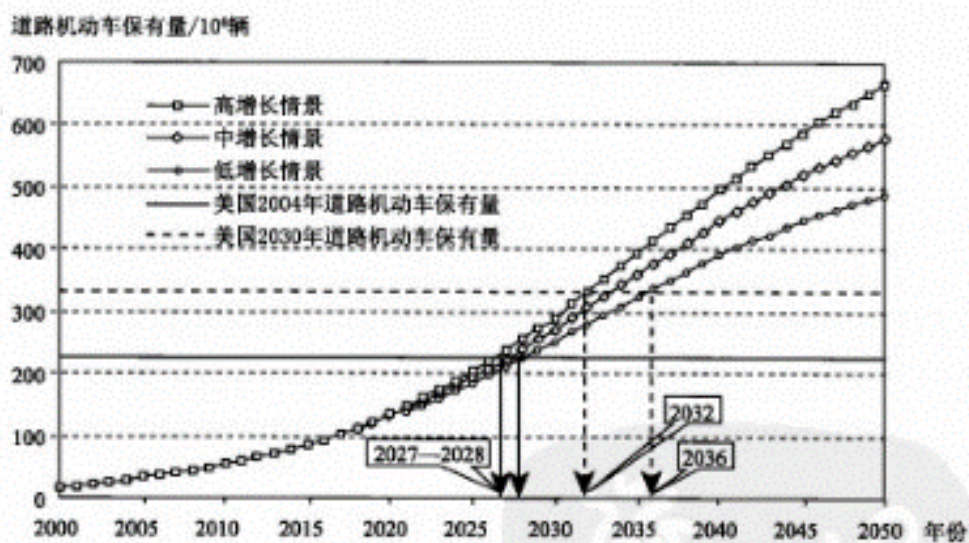


图 2-26 三种不同情景下汽车保有量预测

UC Davis 的 Wang (2011) 等的研究选取了包括德国、西班牙、美国、日本、意大利、韩国和巴西七个国家，这些国家在经济发展过程中，汽车保有量的增长与中国有过相似的阶段。如果将这些国家汽车保有率到达中国 2008 年水平（千人 37~38 辆）的年份定义为基准年，考察了这些国家在基准年之后 15 年的汽车保有率增长率，并取平均值作为中国 2008~2024 年汽车保有率的增长率³⁵。

图 2-27 比较了近十多年来的研究对于汽车保有量发展趋势的判断，考虑到中国国情，研究认为 2030 年汽车保有量在 2.5~4.5 亿之间。最近的研究则是清华大学中国车用能源研究中心开展的，研究认为 2030 年汽车保有量将达到 4.4 亿辆³⁶，同时也认为，虽然未来汽车保有量将快速提高，但是受到人口、资源、环境等因素的制约，汽车保有率水平相比美国等发达国家仍将长期落后。

³⁴该方法的特点是预测结果对汽车保有率饱和值的设定、历史数据的选取以及未来经济增速的假定敏感。汽车保有率饱和值设定越高，采用的历史数据越新，未来经济增速假定越快，预测结果就越高。

³⁵该预测方法较为简洁实用，不需要假设 GDP 或者人均收入的增长率，预测结果明显高于其他研究，从中国目前的汽车产销及保有量增速来看，该预测更接近实际情况。

³⁶清华大学中国车用能源研究中心认为，私人乘用车的增长将是未来中国汽车保有量增长的主要驱动力，其保有量在 2020 年和 2030 年 2 将分别达到 2.4 亿辆和 4.0 亿辆，在总保有量中的比例将不断上升。中国客车和货车保有量也将稳定增长，客车保有量在 2020 年和 2030 年将分别达到 328 万辆和 403 万辆和；货车保有量在 2030 年将达到 3674 万辆。

小结：综合考虑各方的研究结果，从收入水平和汽车保有量的关系看，目前汽车保有量增长还处于 S 型曲线的加速阶段，2030 年参考情景下民用汽车保有量会增加到 3.99 亿辆，届时千人汽车保有量为 278 辆。

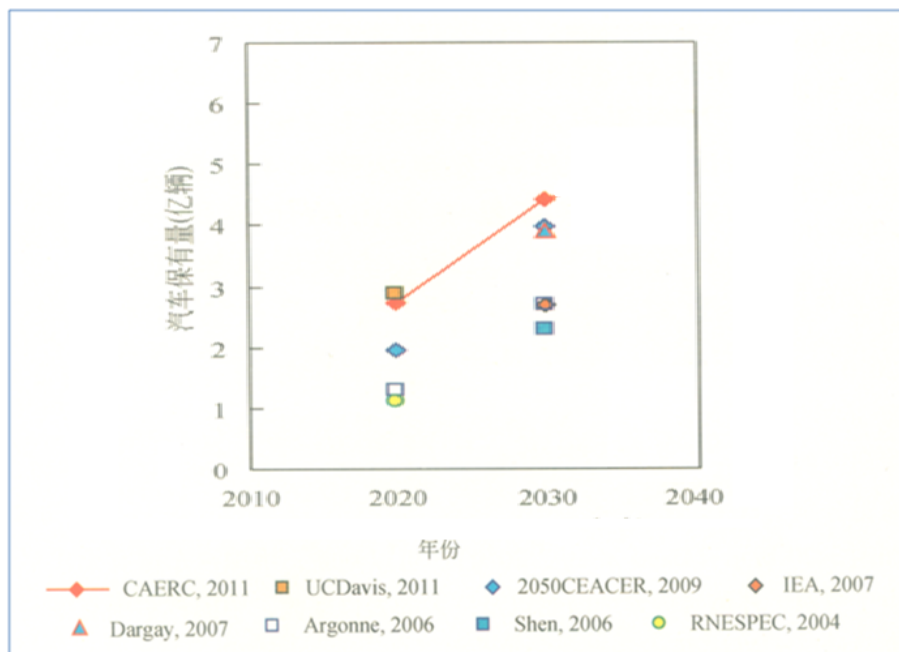


图 2-27 国内外相关研究对中国汽车保有量预测结果对比
资料来源：《中国车用能源展望 2012》

2、未来交通运输结构的影响因素及趋势分析

如前所述，交通运输结构实际上是向着不利于节能减排的方向发展，铁路、水运、公共交通的比重在下降，公路、民航、私家车的比重在上升。按照以往的发展态势继续发展，国家不出台更加激进的政策措施改变交通运输结构，则至 2030 年运输结构还将延续以往高能耗的趋势发展。

对于货运运输结构而言，到 2020 年之前，中国仍然处于快速工业化和城镇化阶段，“家园建设”和基础设施的投入仍将保持较快的发展势头，因此对煤炭、矿石、钢铁、水泥等大宗货物的运输需求仍然较高；随着产业结构的调整和能源结构的改善，运输需求结构将随之变化，高耗能产品货运量增速减缓，而高技术含量、高附加值、时效性强的货运量增长幅度加快。反映到货物周转量结构的变化状况，如果按照目前的发展态势和政府相关部门的规划，尽管水运仍然是重

要的货运部门,但其在货运结构中的比重不断下降,从2013年的47.1%降至2030年的40.7%,与之相对应,公路的“门对门”运输特点使得其在货运结构中的比重不断增加,到2030年,公路货运比重将达到41.0%,超过水运部门承担的货运比重;民航货运将是所有部门中增速最快,但由于基数低,到2030年,该比重仍不到1%。管道运输随着中国油气管线的建设与运量的增加,在货物运输中的比重也将维持一定的水平。

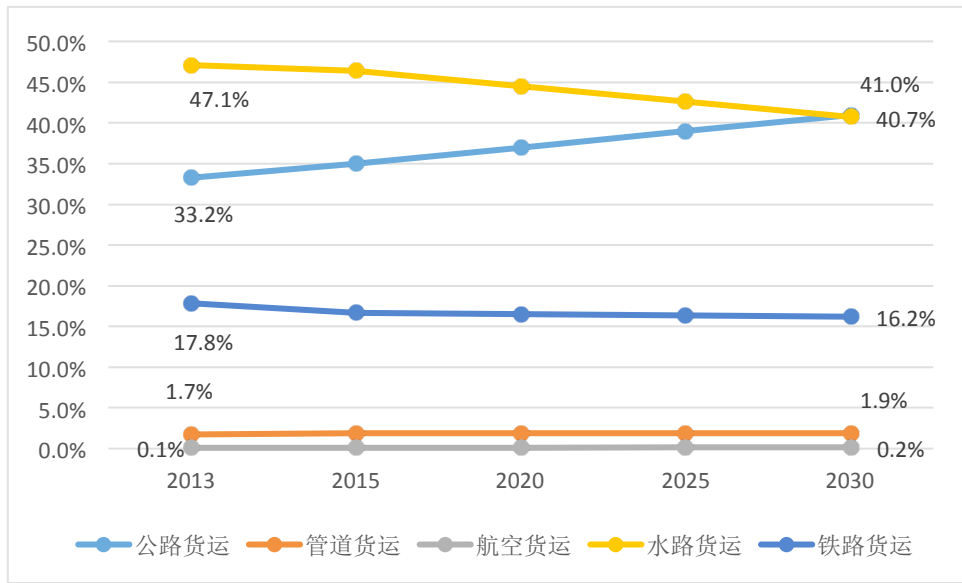


图 2-28 参考情景下货物运输结构演变

对城间客运运输结构而言,目前客运运输结构已进入公路为主、其它运输方式各展所长的阶段。近年来民航客运的迅速发展预示着,随着居民收入水平的提高,航空运输在长途客流的竞争中越来越有吸引力。而且随着支线航空、高速公路里程建设的扩大,民航客运在未来将会起着越来越大的作用;按照目前高速铁路和动车的快速发展,在城间客运,铁路仍将具有相当的竞争力;而水运除了维持必要的观光游览等用途,其份额将在客运结构中逐渐萎缩。具体来看,在未来几十年内,尽管民航客运将保持高速的增长势头,但由于高铁的竞争,民航更多的采用“上山下乡、漂洋过海”的策略,主要服务于偏远多山的地区,以及国际航线,到2030年,民航客运比重将从2013年的16.7%增至20.1%;铁路客运以其全天候、快速等优势缓慢发展,但

仍未扭转近些年来比重下降的趋势,从2013年铁路客运比重为30.4%降至2030年铁路客运比重为28.9%;公路部门以其方便、快捷的运输特点,在中短途客运中发挥绝对优势,到2030年,公路客运比重虽然从2013年的52.8%变为50.9%,但基本维持稳定,但依然是第一大城间客运部门;而水路客运比重将从目前的0.2%降至2030年的0.1%。

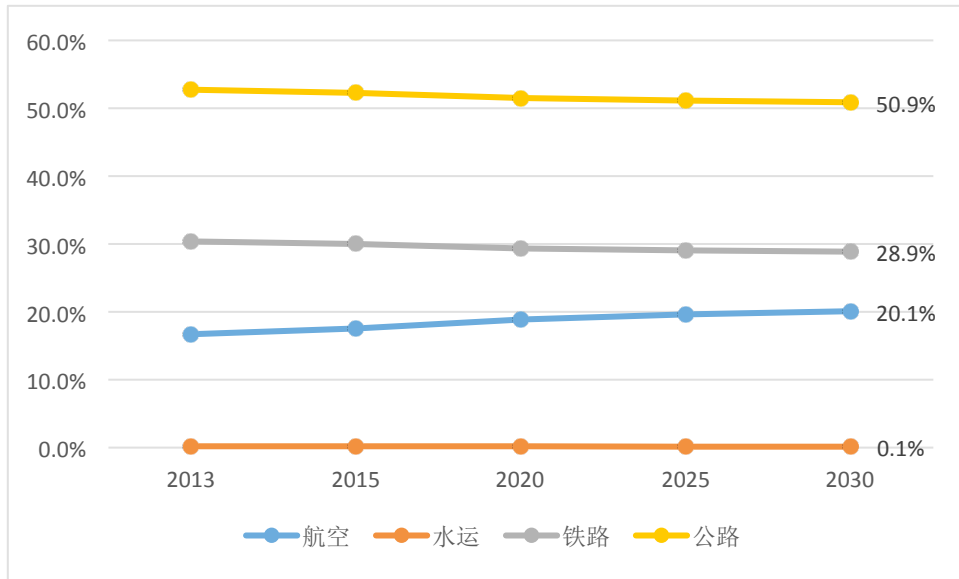


图 2-29 参考情景下城间客运运输结构演变

对城市客运运输结构而言,如果不计算私家车和企事业单位客车用于日常城市出行外,目前城市客运交通主要以公共汽(电)车为主。而近十年来,伴随着家用汽车普及率的不断提升,中小城市摩托车保有量的稳步增长,小汽车、出租车、摩托车等个体交通承担了越来越多的城市客运量和客运周转量,2013年的城市客运运输结构中,个体交通承担了85.1%的出行人次。从发展趋势看,如果不采取特别的政策措施对居民的消费行为乃至生活消费方式进行引导,不发展设施完善的公共交通体系,在居民的日常出行中,私家车或出租车将会占据越来越重要的地位。在同等条件下,私家车出行方式扩大了人们的活动范围和领域,相应的年运行公里数也不断增加。就像几年前的北京、上海,由于公共基础设施并不完善,公共交通准点率低、拥挤、堵塞,地铁、城铁等轨道交通体系覆盖面很窄,快速公交系统(BRT)

受多方面因素的影响少量试点，导致北京、上海的居民日常出行只能选择个体交通，低收入人群靠自行车、助动车满足日常工作或商业活动出行，收入水平稍高一点的依靠经济型轿车满足日常出行，收入水平更高的就买更高档的轿车满足出行需求。

虽然北京、上海等特大城市和省会城市大力发展城市轨道交通体系，但对于广大中小城市，按照当前城市规划和交通规划的发展趋势，快速交通体系（BRT）、轨道等公共交通方式因受投资、客流容量等经济因素的影响，在其城市规划和交通规划中不会、也不可能提前考虑运量大、为大多数人服务的公共交通基础设施的规划和建设。可以预见，如果没有新的技术方案和政策引导，在这些城市居民的日常出行中，总体上将逐步依赖个体交通方式。

考虑到未来各级政府将对城市交通可持续发展给予足够的重视，因此对于参考情景，课题组总体上根据目前的发展现状和趋势进行外推，同时也考虑公共交通，特别是地铁、轻轨等轨道交通体系在各级规划中的定位，并结合前述章节中对城市公共汽车、地铁、出租车、家用汽车、摩托车活动水平发展的设定，给出了城市客运运输结构的判断。

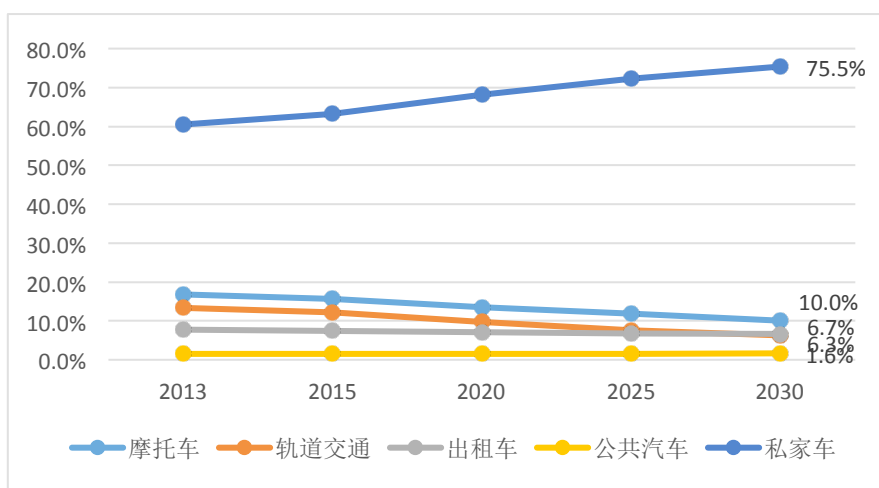


图 2-30 参考情景下城市客运运输结构演变

在城市客运结构中，由于私家车出行数量的增加，公共交通比重持续上升，2030 年降至 7.9% 的水平；在公共交通客运量构成中，伴随着轨道交通建设的快速发展，其在城市出行中的比重从 2013 年的

13.4%降至到 6.3%，但是其是发展最为快速的公共交通方式；在个体交通客运量构成中，小汽车发展最为迅速，从 2013 年的 60.5%增加到 75.5%，比重提高了 15 个百分点。

3、运输工具效率改进潜力展望

道路交通用能 2013 年占交通终端用能的 75%左右，占绝大部分，所以在模型设计时对道路交通用能进行了详细推算分析，道路用能的推算是基于车辆数、车辆燃油经济性、年行驶距离、负荷率、实载率等一系列相关参数。所以未来道路用能效率主要取决于车辆的燃油经济性，其他一些相关参数会影响车辆实际运行过程的燃油经济性，一并进行考虑。对于铁路、水路、航空、管道等其他运输方式，用能的推算是基于单位周转量能耗，即能源强度，所以未来用能效率主要通过判断影响其单耗的因素确定。

IEA（2012）等国际机构的观点认为，目前有关提高轻型车辆、重型车辆、两轮机动车等燃油经济性的技术都是成本有效的，但由于存在很多障碍没有得到充分应用。车辆技术进步的速度很快，虽然实际道路运行过程的燃油经济性与实验室测量或铭牌标注的油耗有差距，但总体来说过去二十几年各国车辆的燃油经济性还是有显著提高（图 2-31）。从长期来看，随着降低摩擦的设计和新材料的应用、轮胎降阻技术、空气动力学改进、传动系统效率提高、车辆减重技术和材料的使用等技术的广泛使用，未来新增车辆的燃油经济性还会进一步降低，根据联合国提出的全球燃油经济性改进行动（Global Fuel Economy Initiative, GFEI），新车有望在 2030 年提高 30~50%的燃油经济性水平。此外，在实际道路状况下还有一些将使用中车辆燃油经济性水平提高的策略，比如改进道路状况、绿色驾驶习惯、减缓道路拥堵状况、ICT 技术、整合设计等，还可以将实际燃用经济性与测试燃油经济性之间的差距从目前的 20%左右，降低到 10%左右。

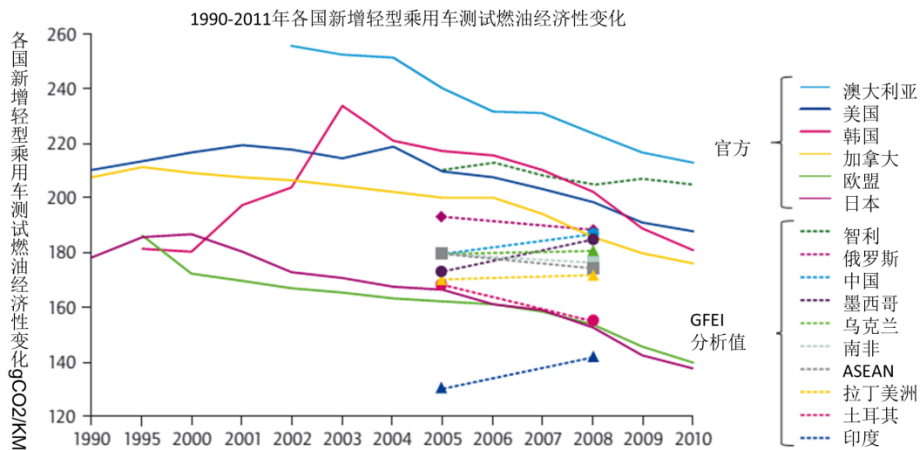
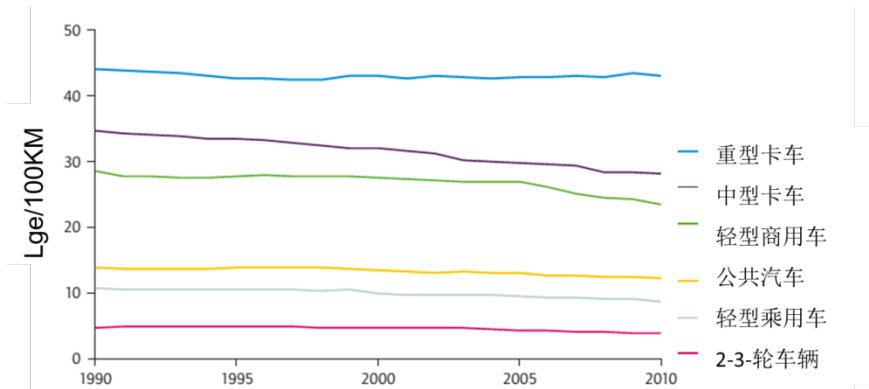


图 2-31 1990~2011 年各国新增轻型乘用车燃油经济性变化情况 (测试值)
资料来源: IEA.



1990-2010全球道路车辆燃油经济性变化

图 2-32 1990~2010 年全球道路车辆燃油经济性变化情况(车队存量加权值)
资料来源: IEA.

根据国际机构有关燃油经济性各方面的判断, 结合国内实际情况, 课题组作出了至 2030 年道路车辆实际燃油经济性的判断, 各类车辆实际运行过程的燃油经济性在技术进步的基础上有了不同程度的提高, 具体来看:

货车的百公里油耗会比 2013 年下降 12% 左右。为了提高物流效率, 货车总体上会逐步向大型化发展, 而且燃料也逐步多样化, 天然气货车的比重显著提升至 10%。由于货车的类别和燃料类型都较为多样, 包括普通货车、专用货车、其他货车、轮胎式拖拉机、自备货车等, 鉴于普通货车的保有量最大, 而且主要燃料以柴油为主, 这里就以柴油普通货车为代表, 其中包括重型载货汽车、中型载货汽车和轻型载货汽车, 说明货车燃油经济性变化趋势。

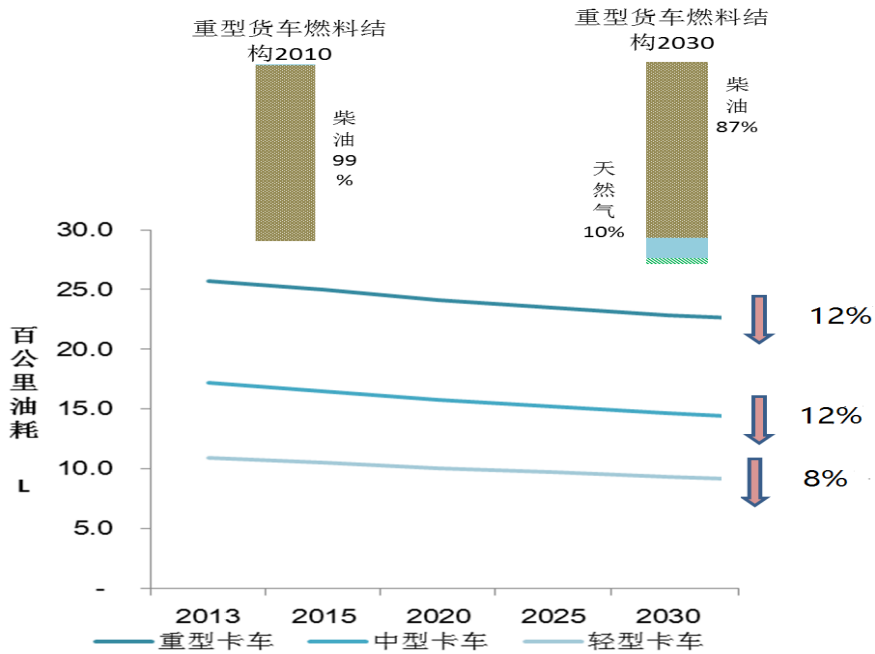


图 2-33 至 2030 年普通货车的燃油经济性变化及燃料结构变化

注：燃油经济性下降的百分比概念为包含了超载空驶因素实际运行道路上的效率水平；且燃油经济性是同类车型加权结果，已包含车辆大型化的因素。

城间客运大巴的百公里油耗会比 2013 年下降 10%左右。目前的城间客运大巴约 70%为柴油车、30%为汽油车，未来这一燃料格局会发生一定变化，汽油车的比重会逐渐降低，主要被天然气大巴和电动车大巴所替代，但由于城间客运大巴运输距离都相对较长，电动大巴充电不方便，所以仍以柴油大巴为主。柴油客运大巴的实际运行路况下百公里油耗会在 2013 年的基础上下降 10%。

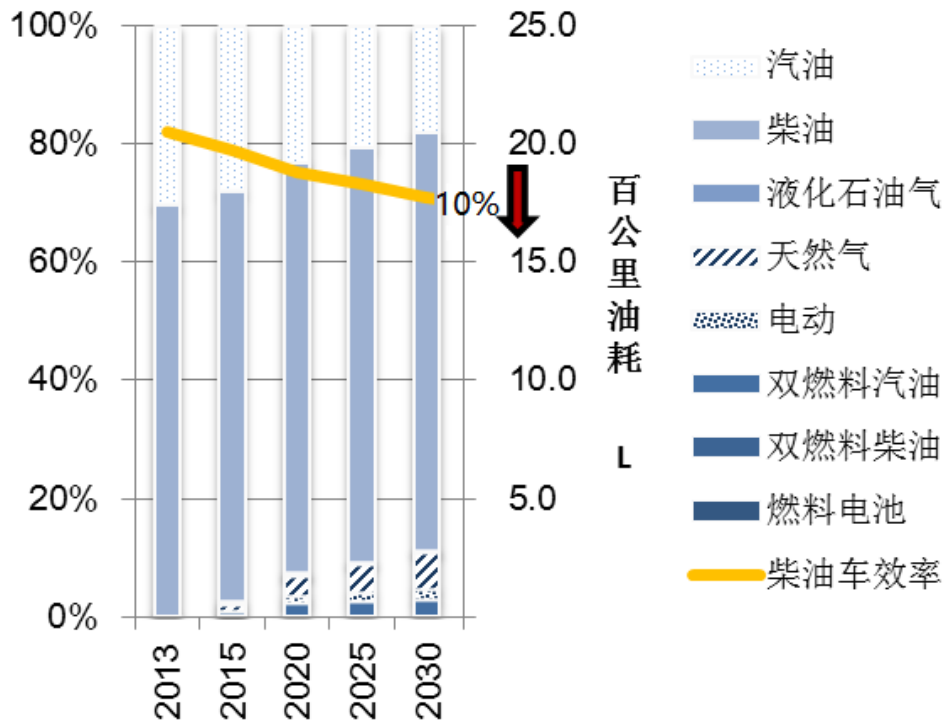


图 2-34 至 2030 年城间客运柴油大巴的燃油经济性变化及燃料结构变化
注：同样包含车辆大型化因素

私家车作为轻型乘用车的主体，保有量快速增长的同时，车辆的燃油经济性也有大幅提升。但由于收入水平的提高对于大排量、大尺寸车辆的追求更为迫切，所以一定程度上拉低了新增车辆燃油经济性提高的程度，即车辆结构会出现大型化趋势。作为实际道路运行中的私家车，以汽油车为主体，2013 年占全部车辆的 99.9%，以传统汽油车为例其百公里油耗 2030 年会在 2013 年的基础上降低 18%。而且随着电动汽车、混合动力汽车等新兴车辆技术的普及推广，传统内燃机车的比重会降低至 88%，电动汽车和插电式混合动力汽车会 2030 年后保有量增速加快，占比超过 10%以上。

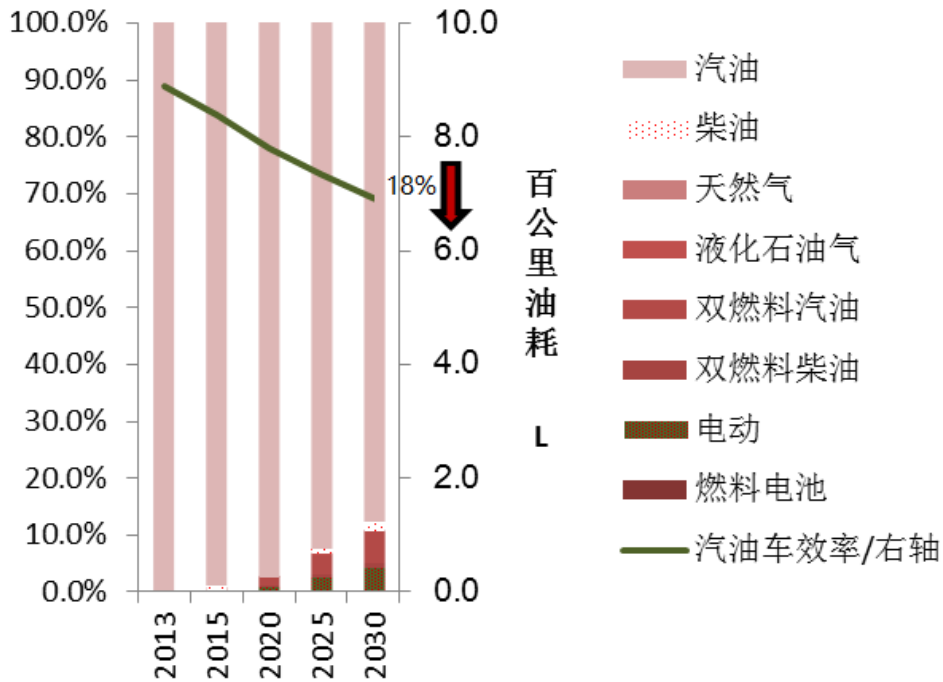


图 2-35 至 2030 年私家车的燃油经济性变化及燃料结构变化

对铁路运输而言，优化铁路机车结构也有助于提高能效。蒸汽机车的终端能源利用效率一般在 6%~9%，而内燃机车的终端能源利用效率达 25%~26%，电力机车的能源利用效率达到了 30%~32%³⁷，通过优化铁路运输结构，提高内燃机车，特别是电力机车的比重，将会产生比较明显的节能减排效果。近十多年来，铁路部门通过淘汰蒸汽机车，增加电力机车与内燃机车的比例，铁路营运部门的能源强度有所下降。但与此同时，目前蒸汽机车在铁路营运部门中的比重已经很低，未来继续通过淘汰蒸汽机车获得的节能潜力越来越小，加之高速铁路的快速发展，设备舒适程度的不断提升，未来继续大幅提高铁路部门能源效率有相当难度。另一方面，由于铁路在基础设施、自动化程度、机车结构优化方面仍有相当的改进余地，因此，设想 2030 年铁路运输的单耗总体上处于稳中有降的态势。图 2-36 显示的是铁路客运燃料结构，对于铁路货运来说，除了高铁不用于运输货物之外，其他与铁路客运的变化规律基本一致。

³⁷资料来源：周新军．铁路节能现状及技术改进路径[J]．铁道工程学报．2008(11):2.

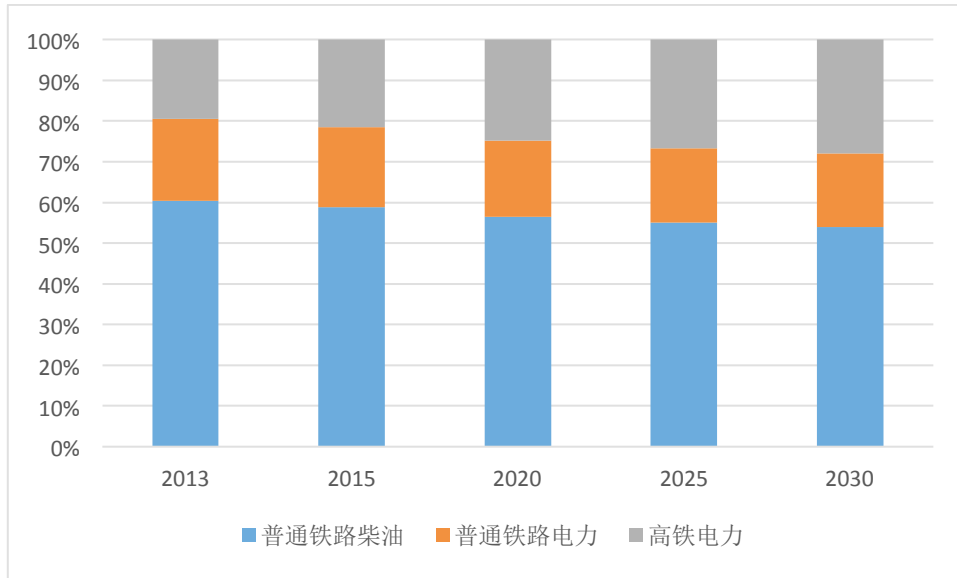


图 2-36 至 2030 年铁路客运燃料结构变化

对民航运输而言，影响民航油耗的因素比较复杂，其中主要是吨位和航速对单位时间油耗和单位距离油耗的影响。此外，飞机型号不同，其单位能耗也有较大差距。一般大型飞机耗油量 20~30 千克/千人公里，中小机型 30~40 千克/千人公里，相差近 1 倍。如前所述，随着经济的持续发展，以及居民生活水平达到一定程度后，民航将在未来交通客、货运发展中占有越来越重要的地位，而且随着机型的更新、客货运负荷率的提高，预计中国民航客运、货运单耗将持续下降。

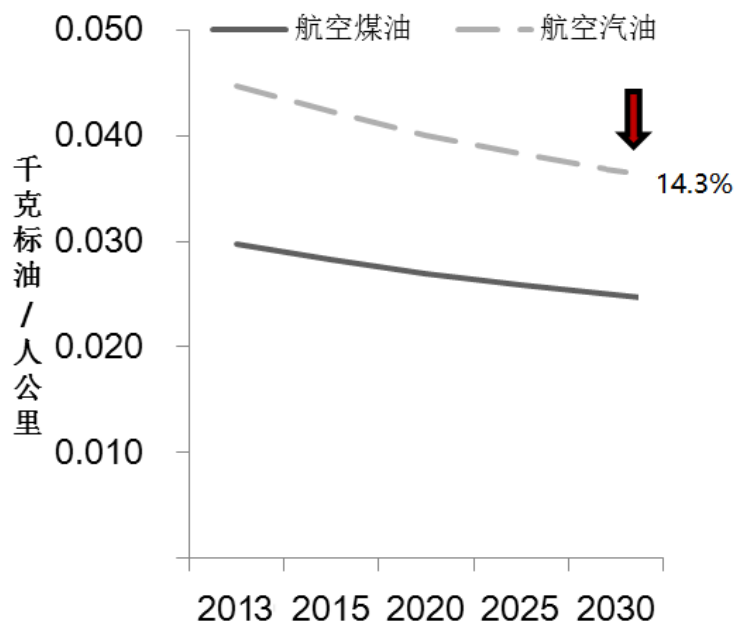


图 2-37 至 2030 年航空客运能源强度变化

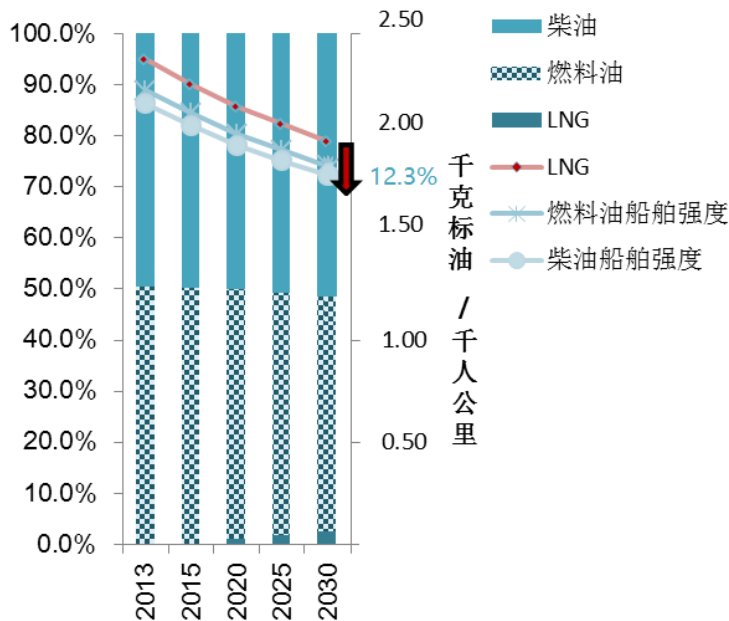


图 2-38 至 2030 年水路客运能源结构变化

对水路运输而言，之前的分析表明，水路运输在客运市场份额逐步缩减，而货运则以其运量大、价格便宜等优势，在货运周转量中仍然占领着半壁江山。虽然民用运输船舶的拥有量自 90 年代以来处于递减态势，但总吨位不断上升，显然，水运部门船舶结构大型化对降低水运的综合单耗起了积极作用。

从发展趋势看，目前各类船型服役年限较长，船舶大型化进展不快；水运行业运输组织方式不尽合理，大宗散货专业化运输和多式联运等现代运输组织方式在运输体系中尚未占据应有比重；主要内河航区间缺乏有效连接，难以组织高效、经济的直达运输，内河航运运量大，因此，水运部门的单耗仍有改进的余地，至 2030 年仍有 12%左右的提高潜力。

三、交通部门能源需求展望

(一) 研究方法

1、能源预测模型分类与评价

从建模方法看，当前世界能源需求预测分析模型工具可以分为自下而上模型、自顶向下模型和混合模型三类，这三类模型基于不同的构建理论，有着不同的前提假设，但都得到了广泛的应用，具体而言：

(1) 自上而向下 (Top-down) 能源预测模型的发展及特点

所谓“自上而下”就是从经济系统至能源系统，以整个经济系统为研究范围，将能源系统产品作为经济发展的中间投入或者要素投入，构建模拟整个经济运行状态的模型系统，在求解经济系统的未来发展过程中得到未来的能源需求量。这类模型的关键之处在于深度把握经济系统的运行规律，对未来经济系统各部门的发展趋势有准确地理解。目前，这类模型主要是两种，一种是可计算一般均衡模型(Computable General Equilibrium CGE)，一种是投入产出模型。这两类模型都源于对经济系统内供应和需求、投入及产出的平衡关系的认识，而且在实际模型构建过程中使用的数据也基本一致，差别就在于前者是通过价格变量来实现整个市场中的商品和要素的供需平衡，后者则是完全根据各生产部门的供给满足需求的原理对经济系统进行描述，没有显性的产品价格变量。通常用于能源需求预测的 CGE 模型中，都将能源系统简化为一个或者几个与其他经济部门同质的生产部门，能源产品看成是与资本、劳动力一样的生产要素，彼此具有替代关系，且与资本、劳动力也有替代关系。而投入产出模型中，能源还是作为各生产活动的中间投入，与资本和劳动力之间没有替代关系，在动态模型中通过调整投入产出关系来描述技术变化的影响。

自顶向下模型能够通过深入分析经济系统的运行状态来预测能源的需求，不过在对未来进行描述的过程中，也存在一些实际困难。典型的就是动态模型，尤其是动态 CGE 模型在调试上非常困难，而且由于其是非线性方程组，在求解上很不稳定，所以只有很强的团队才

能够驾驭动态 CGE 模型进行中长期能源预测，动态投入产出模型也是类似的情况，尽管是线性方程组形式，计算稳定性高，但是动态投入产出系数的准确确定却既是难点又是至关重要的。另一方面，CGE 和投入产出模型的长处都在于对经济系统进行分析，而不是对于经济长远期走势的把握，所以进行长远期能源需求预测，还需要一个宏观经济模型。

(2) 自下而上 (Bottom-up) 能源需求预测模型的特点

自上而下能源需求模型主要是能源系统分析模型，它以能源系统为研究对象，通过确定系统内部各种技术路线选择来描述整个能源系统在未来一段时间内的模拟运行，从而给出未来能源需求。自下而上模型按照能源流，将能源开采、能源转换和最后的终端能源消费等环节看成一个整体系统，即能源参考系统 (Reference Energy System, abbr. RES)，通过系统内的各环节的流量投入产出的均衡分析对能源系统进行描述，所以自下而上类模型也可以看作是工程视角的模型。其优势在于能够深入细致地描述能源系统内各种技术未来的发展趋势，能够判断各种具体能载体未来的需求量，但是这类模型需要外生给定来自经济系统的能源需求，即未来总的能源消耗量并不是完全由模型预测得到，因此从根本上说，自下而上模型的主要功能不是预测未来经济发展趋势，而是在给定经济发展趋势的情况下，对能源结构进行某些情景设计下的优化分析。

事实上，自底向上模型在建立上比较困难，虽然建模思路比较简单，但是需要构建庞大规模的技术数据库，使得进入门槛很高，而且需要不断积累。

(3) 混合模型的特点

混合模型就是在一个模型中同时包含分别根据“自下而上”和“自顶向下”两种思路构建而成的模块。

尽管自顶向下模型和自下而上模型都不断发展壮大，但是两类模型自身存在的问题都无法靠自我完善来彻底解决。二者在功能上又具有天然互补性，自顶向下模型能够把握住能源系统与经济系统之间的

相互关系，自下而上模型能够对能源系统进行细致入微的描述，所以从上世纪 70 年代末就开始有专家（Hoffman 和 Jorgenson 1977）尝试构建这样的模型。不过，混合模型的构建存在一些学术上的争论，主要是自下而上模型构建是技术性思路，而自顶向下是经济性思路，两个思路在建模过程中对同一个事物的处理可能存在很大差异，如何在一个模型中协调起来是很大的难题。近年来也有一些积极的尝试。例如，MARKAL-MACRO、IIASA 开发的 MESSAGE-MACRO、日本开发的 AIM 模型组合、国内有国家发改委能源所开发的 IPAC 模型组合以及清华大学开发的 TH-3EM。

从上面的分析可以看出，三类模型各有所长，同时也有各自不足，具体而言：

自上向下模型能够通过深入分析经济系统的运行状态来预测能源的需求，对未来经济系统的发展和能源需求趋势有相对准确地把握，但对未来经济技术发展的参数难以确定，模型的稳定性较差。

自下而上模型的优势在于能够深入细致地描述能源系统内各种技术未来的发展趋势，能够判断各种具体能源种类未来的需求量，但是这类模型需要外生给定来自经济系统的能源需求，即未来总的能源消耗量并不是由模型预测得到，因此从根本上说，自下而上模型的主要功能不是预测未来经济发展趋势，而是在给定经济发展趋势的情况下，对能源结构进行某些情景设计下的优化分析。

混合模型同时包含“自底向上”和“自顶向下”两种模型结构，在功能上既能把握住能源系统与经济系统之间的相互关系，又能对能源系统进行细致入微的描述，兼具“自底向上”和“自顶向下”两种模型的优点。但混合模型的构建存在一些理论上的问题，把自下而上的技术性思路和自顶向下的经济性思路结合在一个模型中协调起来是很大的难题，模型难以反映技术本身的发展包括能源技术对经济发展的反馈作用。

2、选择 LEAP 模型的基本考虑

如前所述，经过长期的发展，在能源研究领域已经积累了大量的

数学模型，选择适合的能源需求预测模型，对探讨和分析中国交通部门未来能源需求趋势具有非常重要的作用。

外推模型不直接研究经济系统的相互作用和平衡规律，而仅仅根据数据之间的相关关系进行外推，模型结构简单且使用起来相对比较简单，但由于这些模型对系统内的机理过程考虑比较少，而仅侧重于数据之间的相互关系，比较适合于短期预测而不是长期预测，而且当系统的结构比较复杂时，由于各种系统变量相互关联，相互影响，数据外推型模型的局限性就更为明显。能源均衡模型（如：CGE 模型）或优化模型（如：MESSAGE 模型）比较适合于对市场体系比较完善的宏观经济进行模拟；MARKAL 模型是按市场需求驱动，基于满足预测期内终端能源需求，通过数学求解方法，得出总能源需求结果，侧重于市场分配规律研究；AIM 能源终端消费模型以技术替代为中心，用反映能源消费变化的求总方式进行计算，侧重于能源技术选择。

考虑到未来相当长的时间内，中国仍处于工业化和城市化加速发展阶段，交通需求将会快速增长，而不同的政策选择将会导致不同的交通发展模式，从而对未来能源需求产生重大影响，加之在应对全球气候变暖背景下，低碳交通技术的发展将适逢其时，特别是高效非化石燃料地面交通技术的发展将会推动未来交通部门朝着车辆节能化、动力电气化、排放清洁化的方向发展，在这种情况下，利用自上而下的均衡模型或者优化模型难以模拟未来技术发展的突变，而采用终端用能分析的 LEAP 模型，并通过情景设计的方式，分析、展望未来不同的能源需求趋势，探讨单位能源强度、单位碳强度的演变，更加直观、简洁，且针对性强。具体而言：

1) LEAP 模型框架结构设计灵活，可与一般的经济模型、终端消费、能源供应模型结合起来应用，评价节能技术引进等具体对策的效果。

2) LEAP 模型的框架设计借鉴了能源流向图的概念（见图 2-3），分为参数设定(Key Assumption Module)、终端需求(Demand Module)、加工转换(Transformation Module)，以及资源供应(Resource Module)

模块，根据需要，还可增加库存变化模块（Stock Change Module）、非能源利用（Non Energy Sector Module），可以清楚地反映能源供应（生产、进出口）、能源输配加工转换、终端能源需求全过程的能源发展状况。

3) LEAP 模型可以根据研究需要设计比较灵活的模型结构和数据框架，特别对自下而上的部门分析而言，使用者可以根据部门发展趋势，设计未来可能采纳的不同技术，并且可以针对种种“如果…，那么…”的问题，对模型结构和数据框架进行灵活的调整。

4) LEAP 模型数据输入透明，比较灵活，配合成本-效益分析方法，也可通过模型计算得到不同开发情景下的能源投入总成本，以及对应的节能、环境收益。

5) LEAP 模型有较为详细的技术环境数据库（Technology and Environment Database），统计了各个国家不同技术种类的排放指标并形成了数据库，并可以依据本地区实际扩展数据库，进行污染物和碳排放影响评价。

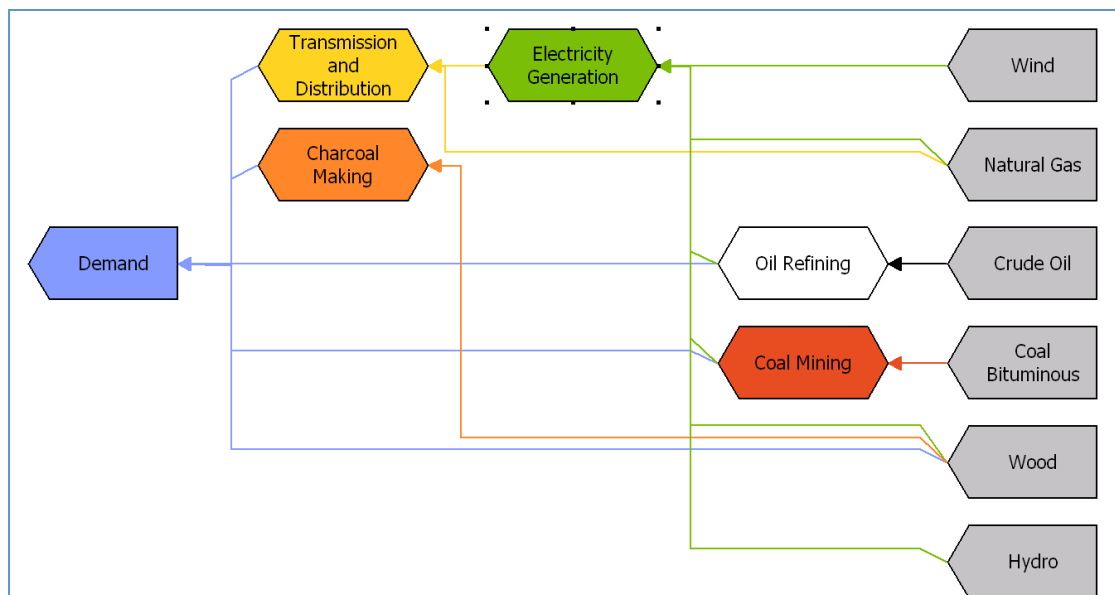


图 3-1 LEAP 模型分析示意图

资料来源：LEAP 模型手册

LEAP 模型的框架设计比较灵活，可以根据研究需要，对一些特定部门进行详细的技术分析，这是本课题选择该模型的主要初衷和考虑。

3、交通用能需求预测模型的框架

与发达国家相比，中国的能源统计体系和范围略有不同，能耗统计主要按单位（含企业、事业和个人）进行，交通运输部门的能源消费仅涵盖交通运输仓储邮电业，在交通运输业中，能源仅包括公路、铁路、水运、民航、管道以及城市公交部门的能源消费；而工矿企业用于运输的能源消费，并没有体现到交通部门之中。最近十多年，中国家用汽车拥有量增长幅度很迅猛，这部门的能源消费（主要是汽油）纳入在民用部门。按中国统计分类的交通运输部门的能源消费占全社会的比重不到 10%。

为了全面、系统地研究我国交通部门能源利用效率提高途径，分析未来我国交通运输领域节能降耗方向，以及探讨交通部门碳排放峰值及其对策，为在宏观规划中处理好交通可持续发展问题提供决策参考，同时便于国际对比，本研究将中国的交通运输系统分为城市客运、城间客运、货运三部分，对交通用能需求进行全口径的分析。对于城市客运，主要通过分析不同城市类型的交通模式优化、燃料替代、技术进步所带来的节能减排潜力。对于城间客运与货运，主要通过分析公路、铁路、水路、航空以及管道等运输方式的优化调整以及技术进步所带来的节能减排潜力。相应地，交通运输部门能源需求预测也由以上 3 部分的能源消费组成（见图 2-4），主要包括以下方面：

- 铁路运输包括运输过程（牵引与辅助走行）能耗，不包括辅助生产过程（车站）能耗；
- 公路运输能耗特指营业性道路运输车辆的燃油消耗；
- 水运能耗主要指内河、沿海、远洋的船舶燃油消耗；
- 航空能耗主要指民用飞机的燃油消耗；
- 城市客运能耗指城市地面公交（公共汽（电）车、出租车）以及轨道交通、家用汽车、摩托车的能源消耗。

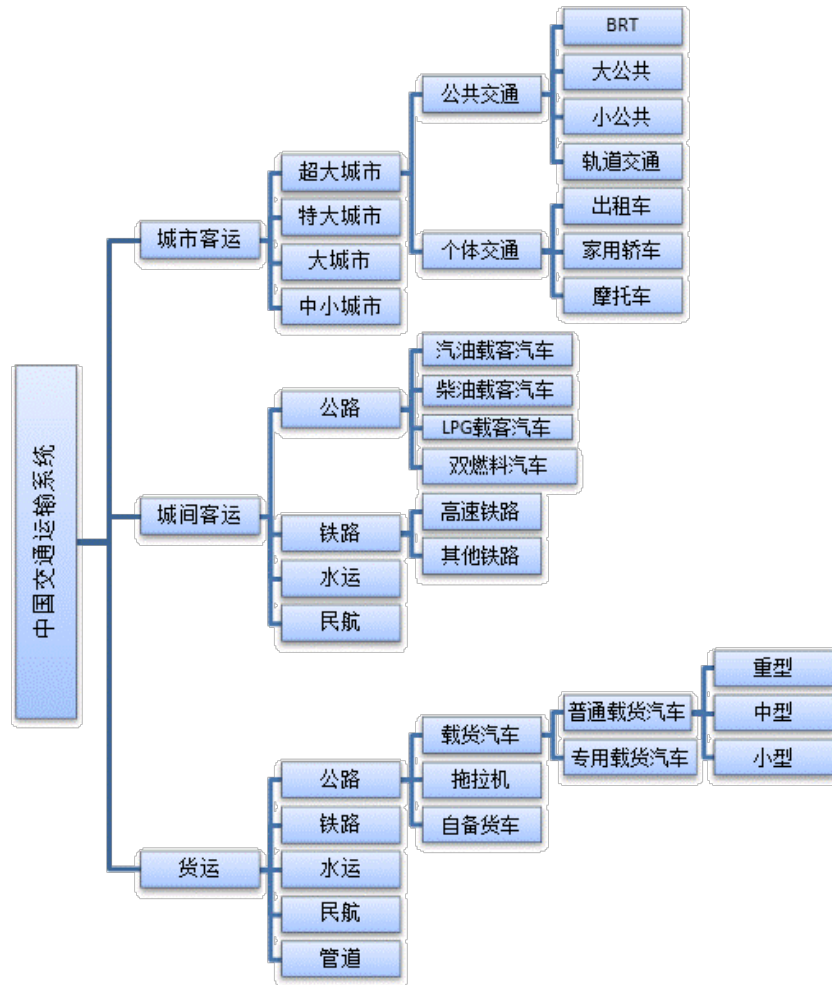


图 3-2 LEAP 模型中交通部门划分示意

伴随着城市化进程的加速，中国的城市交通部门的能源需求存在很大不确定性，采取家用轿车、摩托车等个人交通出行为主的方式，城市客运用能将会出行跳跃式的发展；而采取公交、地铁等轨道交通运输方式，在满足居民出行需求的情况下，城市交通用能将会发生显著变化。此外，中国选择不同的城镇化发展模式，也会对城市交通用能与货运用能产生影响³⁸，有鉴于此前研究很少有详细分析不同城镇化道路选择对城市交通用能的影响，此次 LEAP 交通模型框架，对城市交通模块进行针对性的设计，将其分为不同类型的城市，如：超大城市、特大城市、大城市和中小城镇。为了着重分析城市交通模式优化对城市客运用能的影响，本研究将城市客运又分为公共交通和私人

³⁸如果是特大城市为主的发展方式，中国资源地、消费地分离的局面将会使得货物运输居高不下，运输距离不断拉长；而中小城镇为主的发展方式将大大减少货运需求，但同时会增加中小城市的客运个体交通出行方式。

交通两部分给予特别关注，在公共交通中，又分为大公共、小公共、地铁，个体交通中又分为出租车、摩托车、和家用轿车，并且对每类城市运输模式和每种运输模式下的交通工具及燃料类型进行了设定，相见图 2-5。

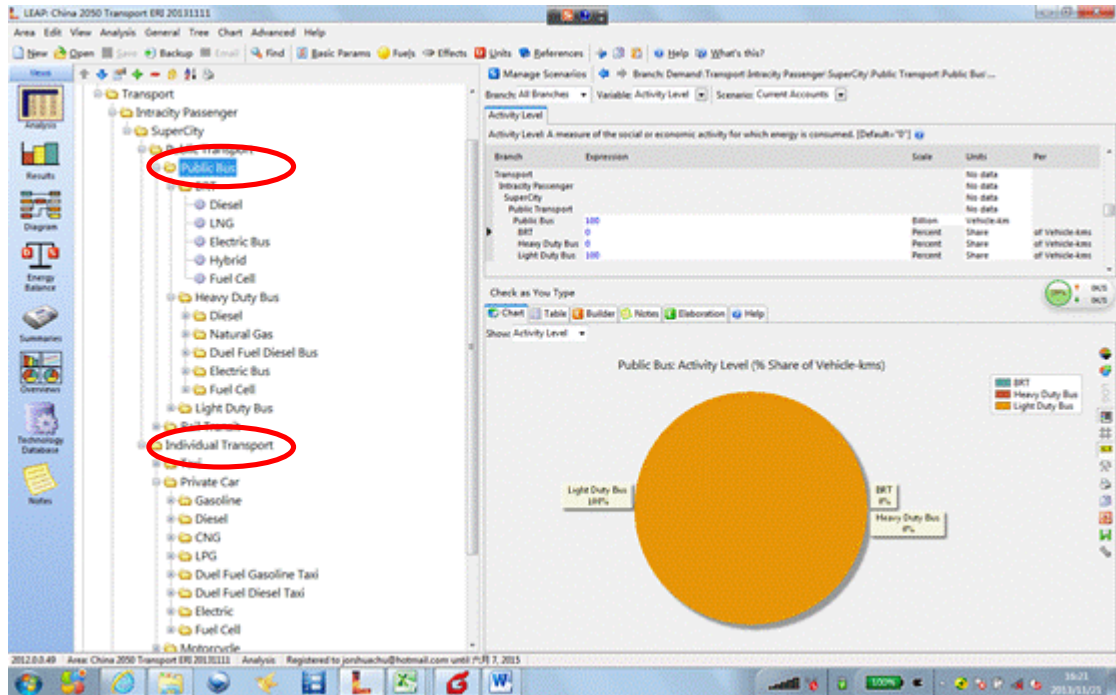


图 3-3 LEAP 模型之超大城市公共交通框架划分示意

按照以往研究经验，中国目前货车年运行距离 3~8 万公里，单车耗油量是私家车的 10 倍以上，如果通过合理的工业布局减少货运需求，通过交通模式优化减少公路货运比重，通过燃料效率改进与燃料替代，将可能取得明显成效，因此在模型设置中将未来道路货运作为重点研究内容。与以往研究不同，对于重点部门，如道路交通，课题组将以汽车的技术进步与车用燃料替代为重点，探讨其对未来中国交通通用能与碳排放的影响。对于道路货运，课题组将其分为货车、其他货车以及拖拉机三类，在货车子模块下，又分为普通货车和专用货车，并将其分为重型、中型和小型货车分别进行针对性的考虑，同时也对相应货车的燃料类型进行了设定。详见图 3-4。

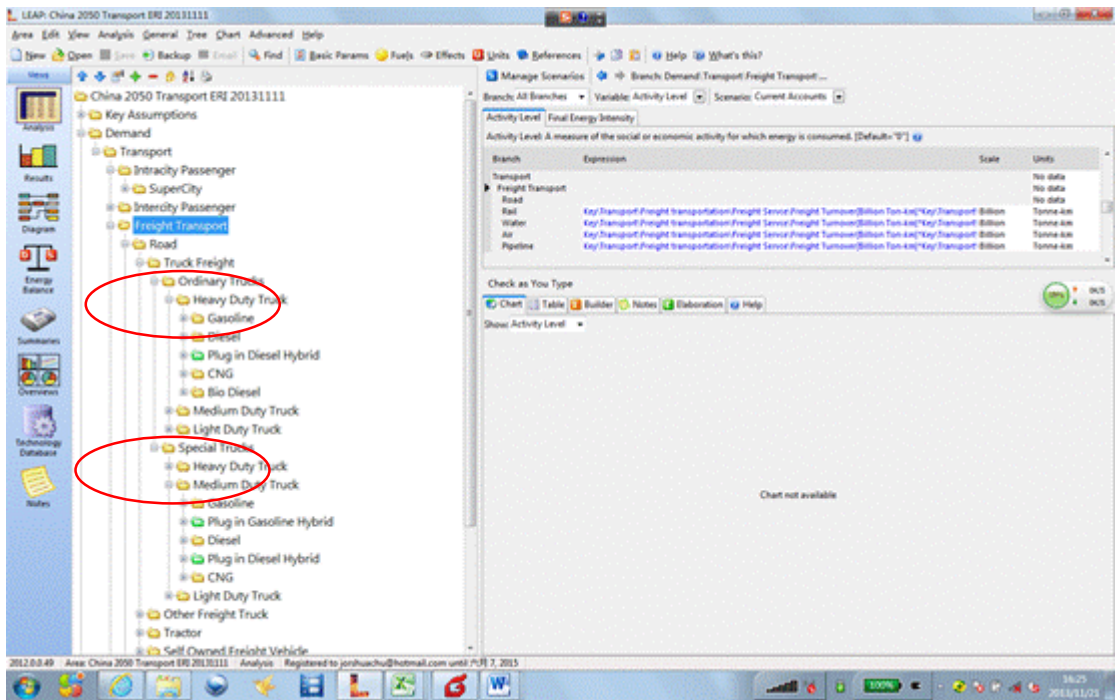


图 3-4 LEAP 模型之道路货运框架划分示意

(二) 情景分析

本研究主要探讨至 2030 年交通部门的能源需求，同时考虑到数据可获得性，因此在 LEAP 模型预测中，将基年确定为 2013 年³⁹，预测年份至 2030 年。

1、情景设置

参考情景：以国家和各部门的相关社会经济规划为依据，假定政府预期的主要社会经济目标能够顺利实现，“十三五”期间和未来几年是城镇化和工业化全面推进阶段，体现在交通领域，道路、桥梁、铁路、民航等基础设施建设顺利推进，高速公路、高速铁路的进程保持“十一五”、“十二五”以来的快速增长态势，支线航空建设如火如荼，家庭轿车保有量伴随着居民收入水平的提高不断攀升。伴随着 2030 年工业化基本完成，交通客货运周转量增速趋缓。在预测期内，经济格局、产业布局、客货运结构、不同交通模式的能效改进、替代燃料技术的发展没有大的变化或重大技术突破，处在渐进的演变过程之中。交通运输结构延续以往趋势，清洁高效的交通运输方式没有得

³⁹ 2013 年后，我国经济出现了新的特征，同时交通运输部门也出现了一些新的变化，这些对未来交通部门碳排放情景预测将产生重大影响，因此，模型分析中充分考虑近两年出现的新变化。

到很好的利用。交通部门节能减排政策仍延续目前的趋势，技术节能潜力不断挖掘，国家按目前的速度和节奏继续出台汽车的燃油经济性标准，机动车百公里油耗等技术指标呈持续下降态势。

政策情景：推进工业化、城镇化进行，保证实现“中国梦”条件下经济社会目标顺利完成，但工业化、城镇化模式发生重大变化，高附加值产业比重提高，产业区域布局更加合理和优化，城镇化走向大中小城市协调发展的模式，而非向特大城市和超大城市过度集中，道路、桥梁、铁路、民航等交通基础设施建设顺利推进的同时，充分考虑产业轻量化和布局合理化带来的周转量下降趋势。该情景在引导合理消费、减少机动车出行、优化机动车燃料结构、推进清洁高效运输工具的应用以及推动交通部门技术进步方面有重大的举措，并认为政府所指定的产业政策、财税政策对节能、高效型交通工具的发展起到很好的推动作用。交通运输结构发生重大变化，改变了以往的趋势，物流组织方式更加高效，清洁高效的交通运输方式得到更好的利用。ICT、物联网、能源互联网、智慧城市、自动驾驶、车联网、3D 打印等得到很好的应用，并深度改变交通运输的形态和样貌，该情景可称为是在现有技术可行前提下，实现绿色、低碳、便捷、舒适交通运输体系的低碳政策情景。

2、参数设定

随着我国经济发展进入工业化的中后期，经济增长速度从高速增长转为中高速增长，经济结构不断优化升级，发展动力从要素驱动、投资驱动转向创新驱动，进入再平衡和结构调整的“新常态”。宏观经济参数如表 3-1、3-2

表 3-1 宏观经济展望

	单位	2013	2015	2020	2030
GDP	万亿元	52.61	60.34	85.06	151.60
人口	亿人	13.61	13.75	14.15	14.35
城镇化率	%	53.73	56.1	60.00	68.00
人均 GDP	万美元	0.55	0.63	0.87	1.54

注：GDP 为 2010 年不变价；为便于比较，人均 GDP 为 2010 年美元。

表 3-2 三次产业结构展望

		2013	2015	2020	2030
参考情景	第一产业	9.3%	8.8%	8.6%	7.2%
	第二产业	44.0%	40.9%	44.9%	42.6%
	第三产业	46.7%	50.2%	46.5%	50.2%
政策情景	第一产业	9.3%	8.8%	8.1%	6.4%
	第二产业	44.0%	40.9%	42.3%	39.4%
	第三产业	46.7%	50.2%	49.6%	54.2%

随着经济的发展，交通运输的内容也发生变化。以往，低附加值的煤炭、矿石等大宗货物占货物运输的主体，这些大宗货物的运输对交通运输服务的精细度要求相对较低，公路货物运输过程中存在大量的超载和空驶现象，物流的组织方式不够科学合理。随着工业化的转型和城镇化的进一步发展，基础设施建设基本完成后，对基础工业品消耗的需求降低，货运的内容将发生质的变化，高附加值、体积较小、形状可能更加复杂的产品将会成为货物运输的主体。

综合选用历史趋势回归、国际经验借鉴和弹性分析的方法，判断未来货运活动水平的变化情况。影响货运强度的因素主要有：国土面积大小，资源生产地与消费地空间分布，GDP 构成等。货物周转量的增速与经济增长的增速趋势基本吻合，但货物周转量的增长幅度要小于经济增长幅度，单位 GDP 货物周转量逐渐降低。居民的收入水平越高，则其跨城市、跨国界的出游、访友、商务、办公的需求会相应增加。在人均 GDP 水平超过 3000 美元后，出境游也出现井喷式增长。客周转量与人均 GDP 呈正相关关系，与货运周转量相似，客运弹性也存在一种“饱和”现象，即单位人均 GDP 能耗达到一定水平后会保持相对稳定不变。随着城市建成区面积的增加，一些城市规划缺乏通盘考虑，城市发展“摊大饼”，造成居民出行距离拉长。另外，随着收入水平的提高，居民每人每天出行的次数也有所增加。不同情景交通

部门活动水平见表 3-3。

表 3-3 不同情景交通部门活动水平展望

		单位	2013	2015	2020	2030
参考情景	货运周转量	万亿吨公里	16.8	17.8	29.0	47.3
	城际客运周转量	万亿人公里	2.8	3.0	5.4	9.2
	城市客运人次	十亿人次	306.8	355.4	528.1	809.3
政策情景	货运周转量	万亿吨公里	16.8	17.8	28.2	44.5
	城际客运周转量	万亿人公里	2.8	3.0	5.3	8.8
	城市客运人次	十亿人次	306.8	355.4	507.0	748.6

到 2020 年之前，中国仍将处于快速工业化和城镇化阶段，“家园建设”和基础设施的投入仍将保持较快的发展势头，因此对煤炭、矿石、钢铁、水泥等大宗货物的运输需求依然较高。但是，随着产业结构的调整和能源结构的改善，运输需求结构将随之变化，高耗能产品货运量增速减缓，而高技术含量、高附加值、时效性强的货运量增长幅度加快。货物周转量结构的也将随之发生变化，尽管水运仍然是重要的货运部门，但其在货运结构中的比重将不断下降，从 2015 年的 47.3% 降至 2030 年的 40.7%，与之相对应，公路的“门对门”运输特点使得其在货运结构中的比重不断增加，到 2030 年，公路货运比重将达 41.0%，超过水运部门成为货运中占比最大的运输方式；民航货运将是所有运输方式中增速最快的，但由于基数小，到 2030 年，该比重仍不到 0.2%。管道运输将随着我国油气管线的建设与运量的增加，在货物运输中的比重维持 2% 的水平。具体参见表 3-4。

表 3-4 不同情景下货运结构展望

		2013	2015	2020	2030
参考情景	管道	2.08%	2.62%	1.87%	1.91%
	水运	47.28%	51.45%	44.52%	40.74%
	航空	0.10%	0.12%	0.11%	0.15%
	公路	33.17%	32.49%	37.00%	41.00%
	铁路	17.36%	13.32%	16.50%	16.20%
政策情景	管道	2.08%	2.62%	1.77%	1.86%
	水运	47.28%	51.45%	44.52%	43.14%
	航空	0.10%	0.12%	0.11%	0.12%
	公路	33.17%	32.49%	37.10%	36.38%
	铁路	17.36%	13.32%	16.50%	18.50%

民用汽车保有量的增长与个人收入水平直接相关，在不同饱和水平下，未来民用汽车都将呈井喷式增长。国际经验表明，随着居民收入水平不断提高，家用轿车将经历起飞、快速增长、平缓增长的阶段。从收入水平和汽车保有量的关系看，目前汽车保有量增长还处于 S 型曲线的加速阶段，2030 年参考情景下民用汽车保有量将增加至 3.99 亿辆，届时千人汽车保有量为 278 辆，见表 9。2030 年政策情景下民用汽车保有量将增加至 3.87 亿辆，届时千人汽车保有量为 270 辆，见表 3-5。

表 3-5 参考情景下各交通设备保有量展望

	单位	2013	2015	2020	2030
公共汽车	千辆	447	483	745	1084
私人汽车	千辆	91982	127372	181348	318344
出租车	千辆	1054	1092	1916	2880
自备车辆	千辆	12783	12747	11691	10283
城际大巴	千辆	853	839	1633	2830
普通货车	千辆	10808	10119	23989	42165
特种货车	千辆	830	986	1320	2369
其他货车	千辆	574	673	883	1474
自备货车	千辆	7370	8534	10985	17550
合计	千辆	126701	162845	234511	398980

表 3-6 政策情景下各交通设备保有量展望

	单位	2013	2015	2020	2030
公共汽车	千辆	447	483	697	1002
私人汽车	千辆	91982	127372	181348	318344
出租车	千辆	1054	1092	1916	2880
自备车辆	千辆	13636	13587	11496	10068
城际大巴	千辆	853	839	1604	2675
普通货车	千辆	10808	10119	21911	31106
特种货车	千辆	830	986	1287	1976
其他货车	千辆	574	673	861	1230
自备货车	千辆	7370	8534	10985	17550
合计	千辆	126701	162845	232050	386764

未来家用汽车增长迅猛，因此电动汽车发展状况将对未来交通部门用能及二氧化碳排放量产生重大影响，2030 年参考情况下电动车保有量设定为 3323 万辆，政策情景下电动车保有量为 9795 万辆，具

体见表 3-7。

表 3-7 不同情景下电动车保有量展望

	单位	2013	2015	2020	2030
参考情景	万辆	21.46	39.8	438	3323
政策情景	万辆	21.46	39.8	1045	9795

（三）参考情景下交通部门用能及碳排放

按照以往的经济社会发展模式，人口更多的向大城市和东南沿海集聚、工业化转型升级没有出现突破性的飞跃，要满足相应的物流、人流、能源等的移动，交通运输周转量成倍增长，货物周转量增长 1.8 倍，旅客周转量增长 2.3 倍，私人汽车保有量增长 2.1 倍，支撑全面现代化交通运输需求。交通运输结构依然按照以往的模式继续发展，铁路、水路等能源效率高的交通运输方式占比较低的状况没有得到根本性改善。同时，交通工具运输效率持续提高，交通能源结构得到一定程度优化，特别是电动汽车和天然气车船的使用量增加。在这些大背景下，交通运输能源需求快速增长，油品需求和碳排放持续增加。

1、交通能源需求和碳排放仍将保持较快增速

2030 年交通部门能源消费量为 9.44 亿吨标煤，比 2013 年的 4.58 亿吨标煤增长了 1.1 倍，年均增长率为 4.3%，其中 2020 年之前增长速度较快，年均增速为 4.6%，2020~2030 年增速稍微趋缓，年均增长率为 3.4% 左右。2030 年前交通部门能源消费不会出现峰值。

从终端用能结构看，2030 年柴油消费量达 5.38 亿吨标煤，比 2013 年的柴油消费量增长 1 倍，占终端交通用能的比重为 57%，比 2013 年占终端交通用能的比重 60% 略有下降；私家车保有量虽然增长了 2.1 倍，但汽油消费量仅增长了 0.7 倍，消费总量为 2.31 亿吨标煤，这与车辆燃油经济性的提升以及燃料替代有关，汽油占交通用能的比重为 24%，是交通用能的第二大能源品种；天然气消费量增长明显，从 2013 年占交通用能比重的 1.0% 快速增长到 2030 年的 6.1%，消费量达 695 亿立方米，折算为 0.57 亿吨标煤。天然气作为车船的替代

燃料，对于解决城市环境问题具有重要战略意义；航空煤油的消费量由于航空运输的快速发展也增长显著，2030年航空煤油消费量为0.88亿吨标煤，占终端交通用能比重为9.4%；电力消费量增长有限，2030年仅占终端交通用能量的2.0%，主要是电动汽车发展没有出现突破性进展，另外生物质燃料和热能有缓慢增长。油品仍然是交通终端用能的绝对主体，从2013年的96.4%缓慢减至2030年的90.8%，2030年油品消费量达到6.32亿吨标煤，油品内部的结构也发生了较大变化，汽柴比从2013年的0.50变为2030年的0.43。

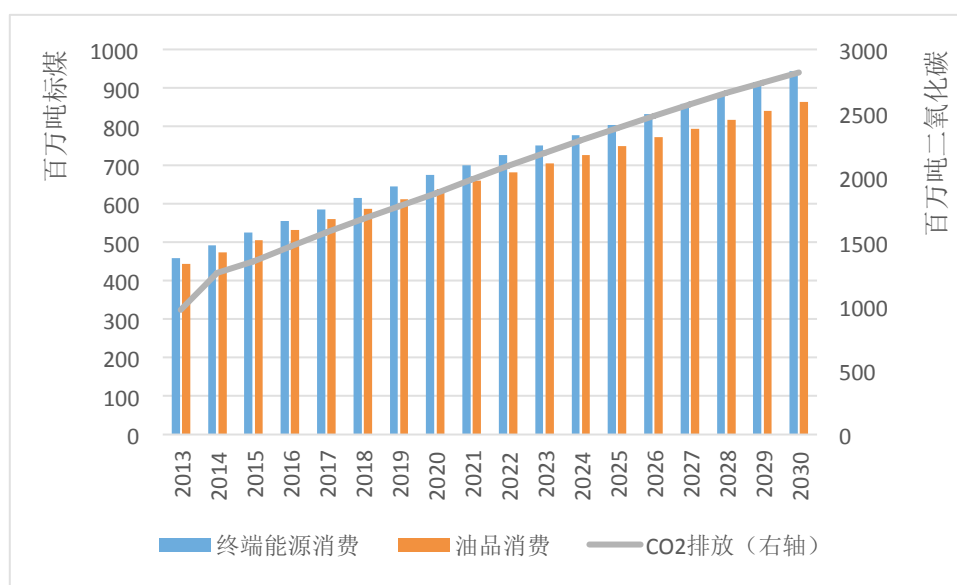


图 3-5 参考情景下交通运输用能、碳排放持续快速增长

参考情景下交通部门的2030年碳排放量比基年2013年增长了将近2倍，从2013年的9.72亿吨二氧化碳增长到2030年的28.23亿吨二氧化碳，2030年之前不会出现二氧化碳的排放峰值。

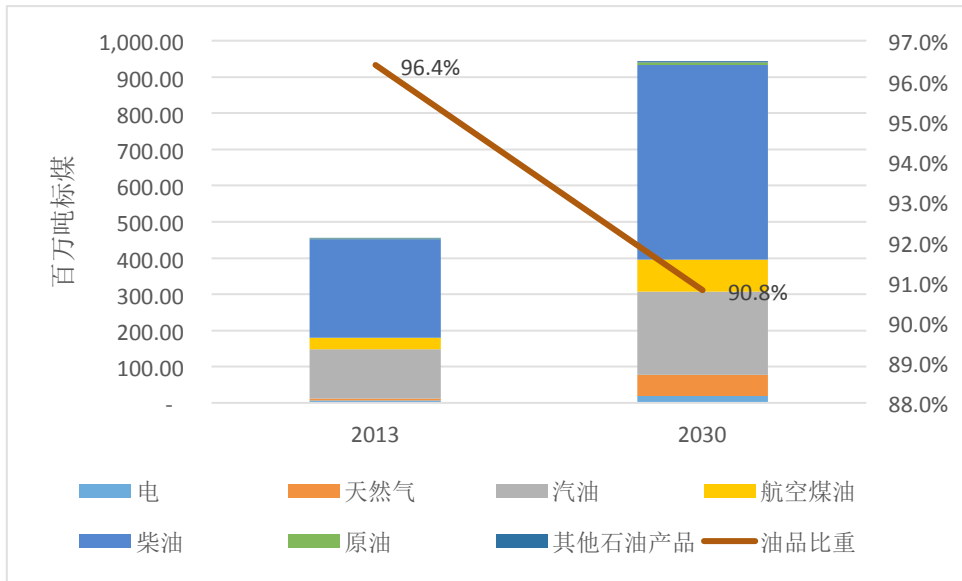


图 3-6 2013 和 2030 年参考情景下交通终端用能结构

2、交通用能和碳排放仍将主要来自货运部门

随着社会、经济发展，货运部门的运输量、能源消费量、二氧化碳排放量仍将进一步增长。至 2030 年货物周转量将增长 1.8 倍，相应的能源消费量将增长 1.2 倍，其中航空货运的能耗增长速度最快，2030 年能耗是基年的 3.6 倍，其次是公路货运，能耗是基年的 2.4 倍，具体各种货运交通方式的能耗增长情况如图 3-7 所示。

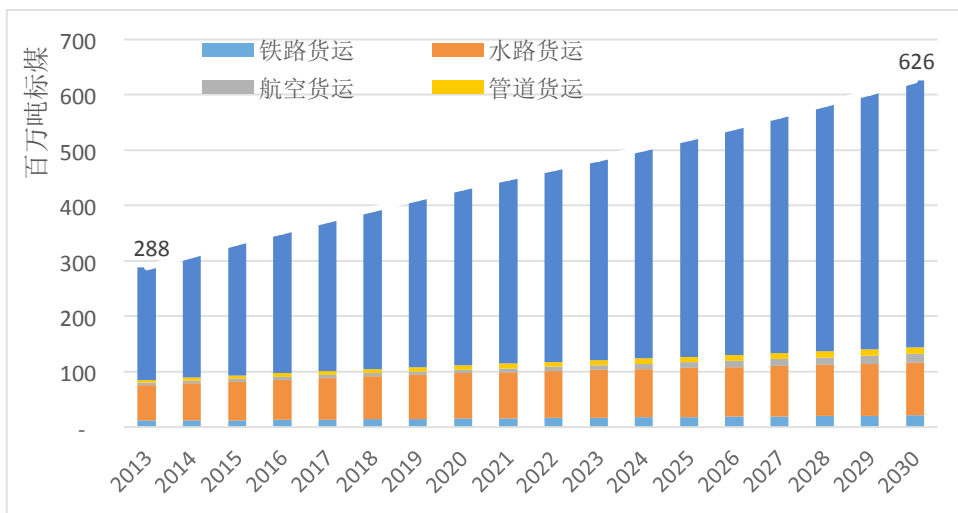


图 3-7 货运交通运输方式至 2030 年能耗增长情况

货物运输仍将延续以往的发展趋势，水路、铁路货运比重逐年降低，公路货运比重逐年提高，在 2030 年左右公路超过水路成为货运第一大运输方式。公路货车的运输能耗强度比水路船舶的运输能耗强度高很多，所以货运结构实际是朝着高能耗方式发展。2030 年，公

路货运能耗将达 4.82 亿吨标煤，占货运能耗比重为 77%，占交通运输终端能耗的 48%。2030 年水路运输提供的货运周转量占 40%以上，但是消耗的能源仅占货运能耗的 15%。

从货运能耗结构来看，柴油是货运用能的主体，2013 年占货运能耗比重的 87%，逐渐下降至 2030 年的 79%。替代柴油的主要能源类型是天然气，主要是针对卡车的燃料替代，包括重型卡车和轻型卡车等。当前，货运物流的组织方式和效率较低，第三方物流发展较慢（详见专栏 3），未来至 2030 年会有一定程度改善，但以公路运输为主的货运方式较难出现根本性变化。

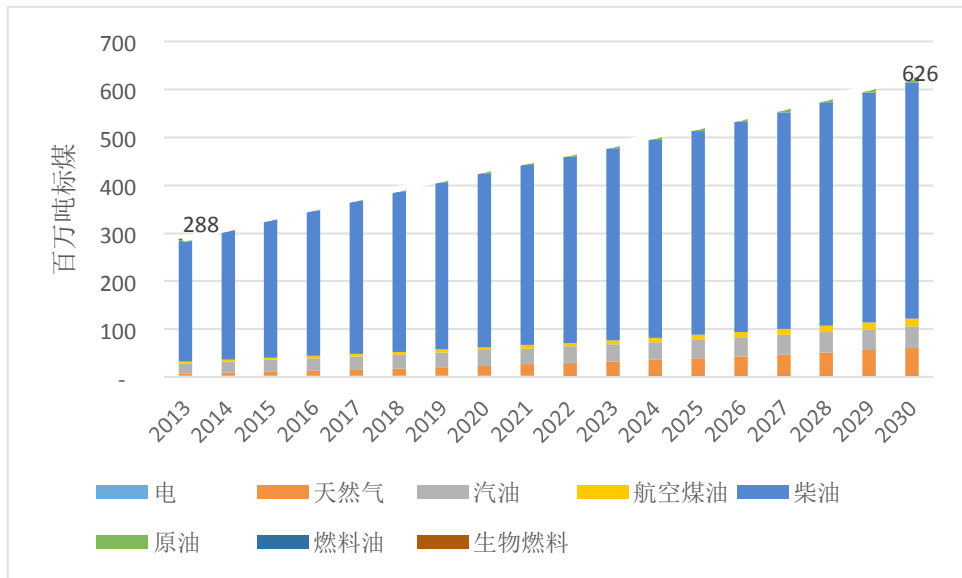


图 3-8 参考情景货运交通能耗结构变化情况

专栏 3：中国物流运输与发达国家的差距

从全社会完成的货运周转量来看（不含远洋），中国是德国的 17.7 倍、法国的 30.2 倍、美国的 1.6 倍、日本的 21.0 倍；从单位 GDP 对应的货物周转量来看，中国分别是德国的 7.5 倍、法国的 11 倍、美国的 3.38 倍、日本的 16.9 倍。我国物流支出占比较大，美国、欧洲、日本等发达国家物流支出占 GDP 的比重只有 5%~10% 左右，而我国物流支出占 GDP 的 17.8%，相当于发达国家平均支出的两倍。特别是标志现代物流发展水平的第三方物流，在美国、欧洲、日本等发达国家占物流总量的 73%~80% 左右，而在我国这一比例只有 31%，不到发达国家平均水平的一半。一方面表明中国的物流发展水平远落后于发达国家，另一方面也表明通过提高物流发展水平提高物流能耗效率方面具有很大潜力。

中国第三方物流同发达国家的情况比较（%）

国家	物流占 GDP 比重	第三方物流占物流总量	第三方物流占 GDP 比重
中国	17.8	31	5.52
欧洲	8~10	76	6.08~7.60
美国	7.5	73	5.48
日本	5~10	80	4.00~8.00

资料来源：国务院发展研究中心壳牌国际有限公司，《中国中长期能源发展战略研究》。

3、城间客运能源需求增长势头强劲

相关分析表明，城间客运出行的次数和年均距离与收入水平成正比，在 2008 年人均 GDP 超过 3000 美元大关以后，居民的消费行为开始出现质的变化，出境游开始井喷式增长，而与之相对应的是城间客运周转量的猛增。而且，随着高铁、航空等基础设施建设和服务质量的提升，居民跨城市间出行的意愿和频次也会提升。根据发达国家经验，人均年出行距离约在 1 万至 2 万公里之间，中国 2013 年的水平约为 2000 公里，从这个角度讲，跨城市、跨国家出行的需求还有很大增长潜力。

如果城镇化模式依旧按照既有的方向发展，信息化技术与产业、

城市一定程度融合,城间客运周转量 2030 年会比 2013 年增长 2.3 倍,相应的能源消费量增长了 1.5 倍,其中增长最快的是航空客运能耗,增长了 1.8 倍,其次是铁路客运,增长了 2.2 倍,主要是由于其中高铁能耗增加明显,具体各种货运交通方式的能耗增长情况如图 3-9 所示。

总体来讲,城间客运更加追求高效快捷,水路、铁路客运比重逐年降低,航空客运比重逐年提高,2030 年占旅客周转量的 20%,但能耗占城间客运交通能耗量的比重达 67%,公路客运的比重基本保持不变,但仍是第一大城间客运运输方式,2030 年活动水平占比 50.9%,相应的公路能耗量占城间客运交通能耗量的 26.2%。铁路提供的客运周转量水平有所下降,2030 年为 28.9%,能耗占比为 6.8%。由于水路客运便捷性最差,而且受到多种条件制约,所以不管是提供的服务量还是能耗量都非常有限。

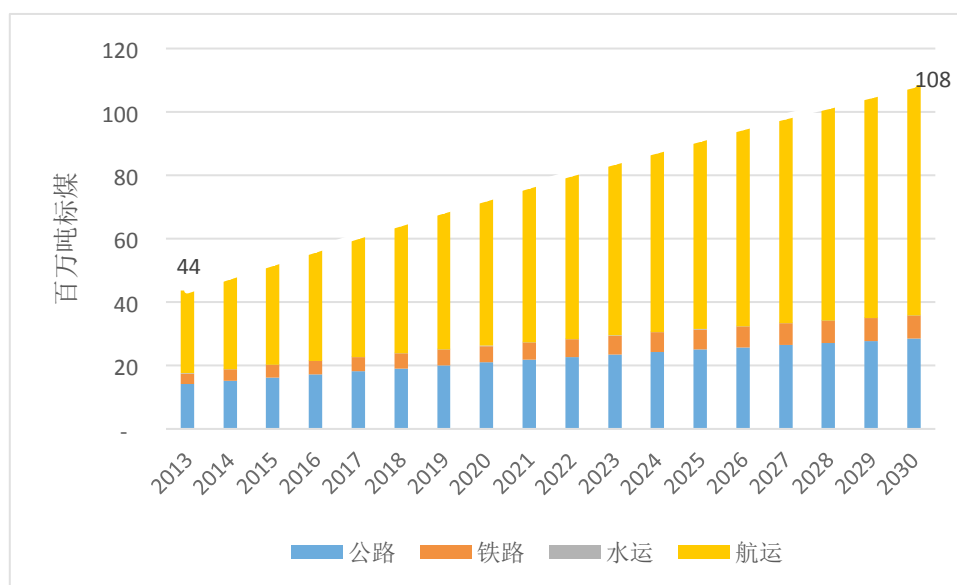


图 3-9 客运交通运输方式至 2030 年能耗增长情况

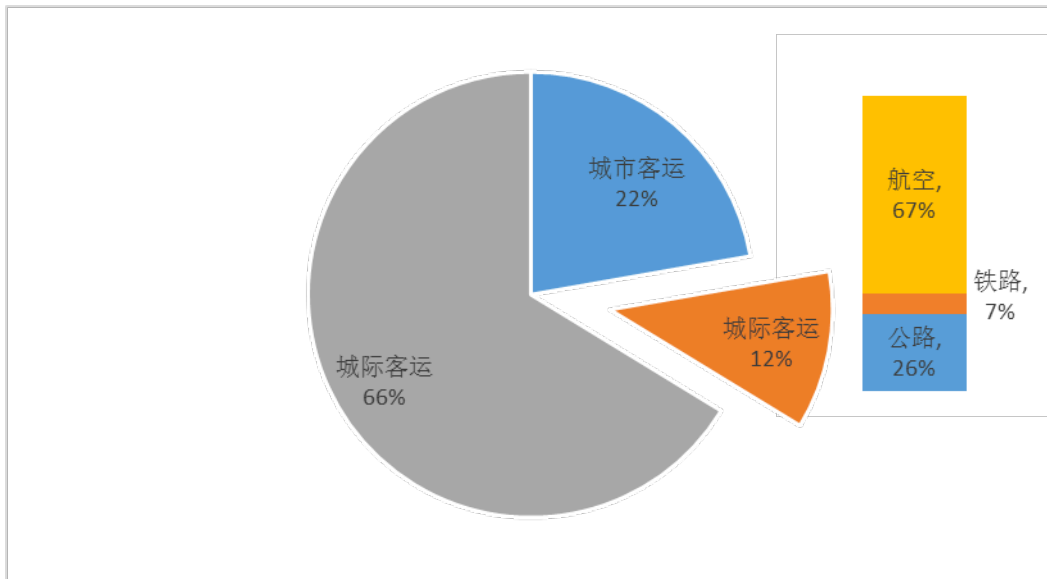


图 3-10 2030 年交通运输能源结构及城间客运能源结构

从城间客运能耗结构来看，航空煤油和柴油是城间客运用能的主体，2030 年航空煤油占城间客运能耗的 66.9%，占比增速很快，主要用于民用航空的燃料。柴油主要用于城间大巴车，2030 年占比为 29.9%，比 2013 年的水平略有下降。

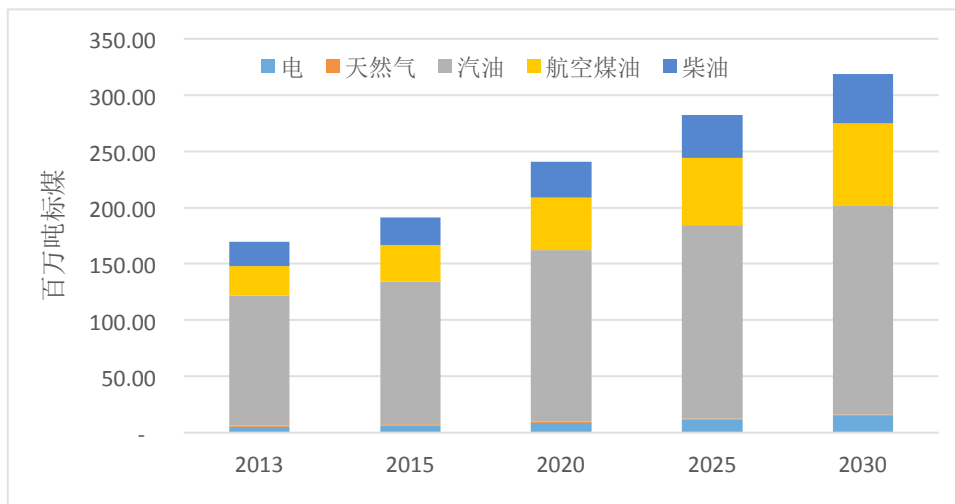


图 3-11 至 2030 年客运交通能耗结构

4、城市客运用能在 2030 年之前未达到峰值

随着城镇化进程的加快，居住在城市人口数量也逐年增加，并在 2030 年达到 9.8 亿人。考虑到城市居民每人每天出行次数存在上限值，一般是 3 次左右，所以 2030 年以后城市客运出行总人次增长趋缓。2030 年城市客运出行人次比 2013 年增长了 0.2 倍，其中轨道交

通承担的客运人次增长最快，但其在城市出行中的比重从 2013 年的 13.4% 降至到 6.3%，私家车承担的客运人次也增长较快，从 2013 年的 60.5% 增加到 75.5%，比重提高了 15 个百分点。城市客运能耗增长情况，2030 年比 2013 年增长了 1 倍，与其承担的客运人次相对应，轨道交通能耗增长明显，2030 年比 2013 年增长 0.9 倍以上，私家车能耗增长了 1.4 倍。

受城镇化进程的影响，以及城市客运结构改善和技术效率进步，城市客运能耗虽未在 2030 年前达到峰值，但是由于城市人口数量的稳定和城市出行人次逐渐饱和，虽然城市客运结构改善程度与发达国家的水平相比仍有提高潜力，但城市客运用能已离达峰较近。

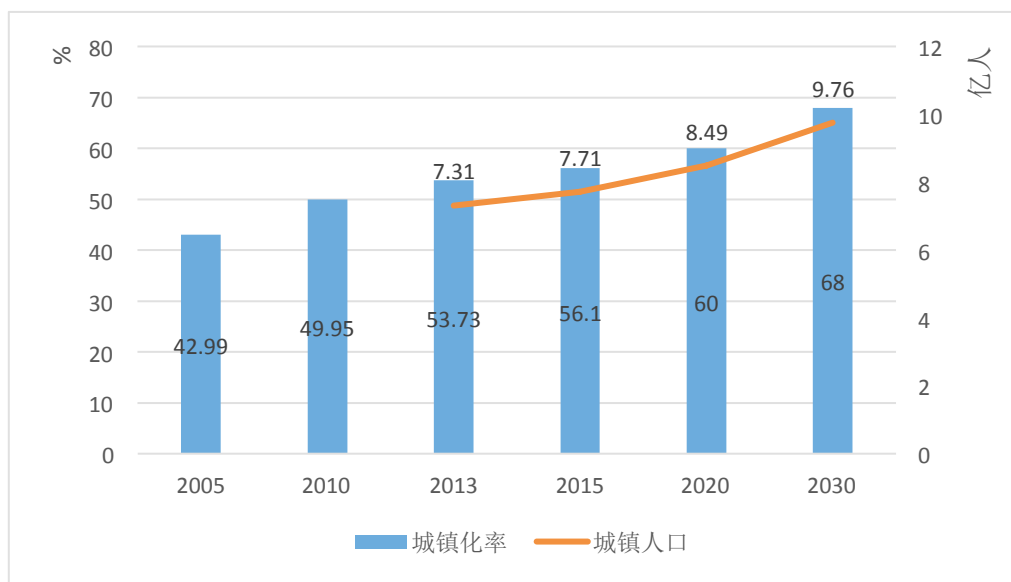


图 3-12 城镇化率及城市居民人数

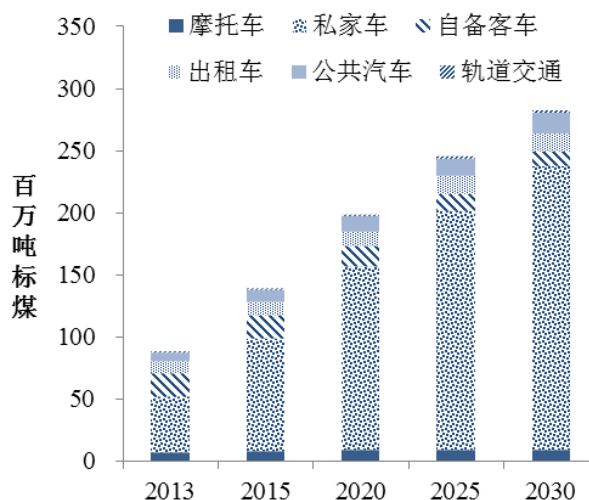


图 3-13 城市客运交通运输方式至 2030 年能耗增长情况

从城镇化发展模式来看，更多的人口向特大城市和超大城市聚集，特大城市和超大城市的规模和数量都在增加，而且向东南沿海集聚，相应的特大城市和超大城市城市交通能源消费量也逐年增长。例如，特大城市 2013 年城市交通客运能耗量占总城市客运能耗的 35%，这一数字在 2030 年增加到 38%。公共交通是城市客运主要的发展方向，应该成为大型城市客运的主体运输方式，近些年各主要城市也投入了大量资金建设城市的公共出行系统。按照这个趋势，2030 年城市轨道交通建设规模会达到 9000 公里，北京、上海、广州、深圳等城市轨道交通系统相对完善，承担的城市客运量也相当可观。但是，由于私家车保有量的快速增长，同时又没有充分的政策限制私家车的出行，特别是中小城市公共交通基础设施建设相对不完善，还是很大程度上需要采用个体交通出行方式，以实现出行需求。

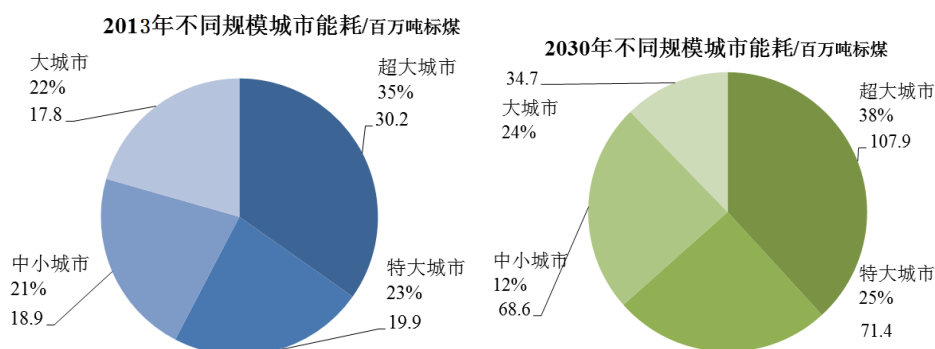


图 3-14 2010、2030 年不同规模城市城市客运能耗情况

从城市客运能耗结构来看，汽油是城市客运用能的主体，2030 年汽油占城市客运能耗的 89%，主要用于私人小汽车燃料。电动汽车的普及率在私家车、出租车的比重约为 5%左右，用能约为城市客运总用能的 5%，天然气、乙醇、柴油在出租车、公交车中有应用，与基年相比变化不大。

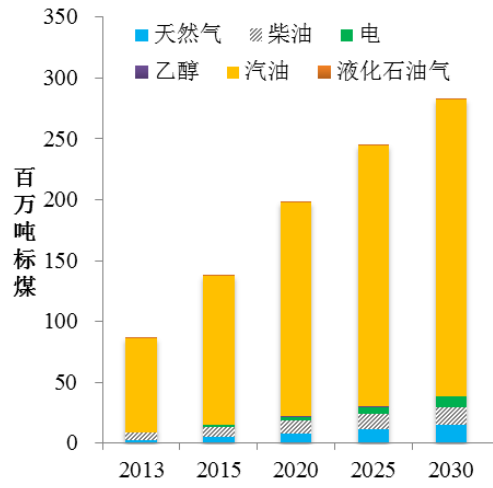


图 3-15 至 2030 年城市客运交通能耗结构

四、交通部门节能路径与潜力分析

实现交通部门低碳发展主要有四条路径：合理引导交通服务需求、优化调整交通运输结构、加快清洁燃料替代以及显著提升交通设备能效水平。通过低碳发展，2030年交通部门的一次能源需求量将从9.44亿吨标煤降至6.10亿吨标煤，交通能源结构多元化与清洁化进程显著加快，2030年前后，交通部门用油达到峰值。

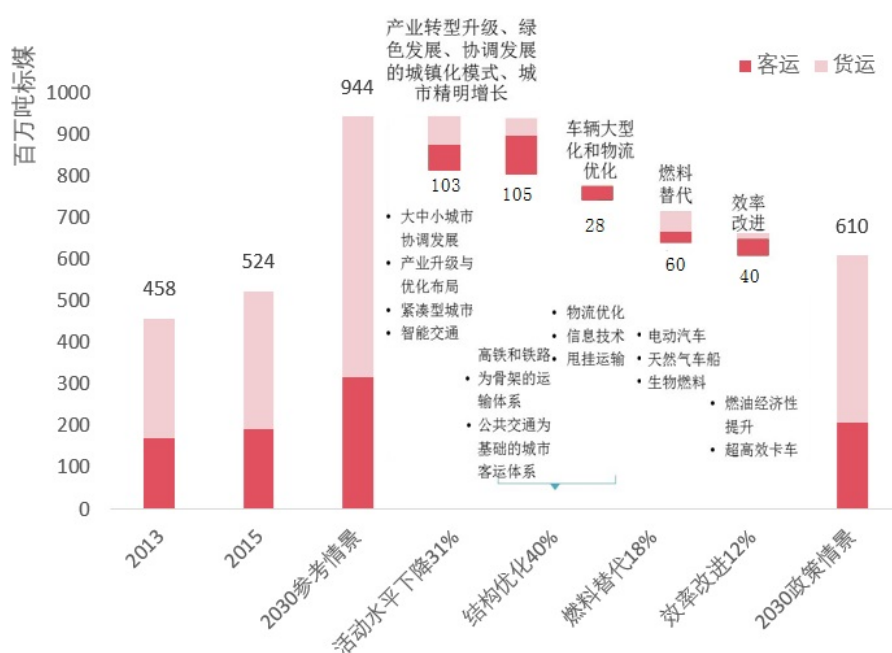


图 4-1 交通部门低碳发展的路径和潜力

（一）减少运输需求：调整经济结构，转变城镇化模式，优化产业布局

选择走大中小城市协调发展的城镇化模式，高耗能工业向服务部门及高附加值产业转型，变革城市内部空间布局，加上信息通信技术的助力，可以有效减少不必要的出行需求、提升交通系统效率。与参考情景比，降低不合理交通运输需求可以使能源需求减少11%，节约1.03亿吨终端能源消费量，占交通运输部门总节能潜力的31%。

1、提高经济增长质量、改进城镇化模式、优化产业布局，降低货物周转量需求

与发达国家相比，中国货运强度虽在不断改进，但还比较高（见图 68），主要原因在于货运结构中，煤炭、铁矿石、粮食等大宗货物周转量占 50%左右。如果在政策情景下，推动中国产业结构转型升级，并抓住第三次产业革命带来的契机，大力促进三产和高附加值产业发展，货运强度下降的潜力还很大。图 4-2 显示了英国和西班牙的实际案例，与重工业和低附加值制造业，如采矿和纺织业相比，高附加值商品和服务行业对增加货运周转量所起的作用小。另一方面，由于城镇化模式和产业布局具有很大的相关性，很多产业都是布局在劳动力丰富、科技技术先进的城市周边。如果未来选择大、中、小城市协调发展的城镇化模式，则可缩短生产地与消费地之间的距离，减少基础原材料、城市所需生活必需品等货物的运输距离，从而减少货运周转量。

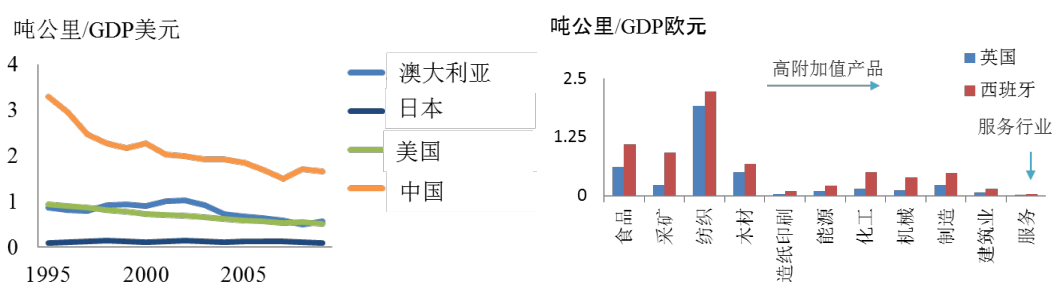


图 4-2 中国与发达国家货运强度比较

随着产业的升级，高附加值产品越来越多，对运输服务质量和时间都有很高的要求。从国际最佳实践看，通过大数据分析、云处理可以优化物流路线，通过物流信息平台共享可减少空车行驶，通过创新的包装和产品设计可以增加货物运载率，上述措施都可以在满足生产和消费需求的同时，提升运输质量，减少货物周转量。例如在河南省安阳市，政府开发了一个装载广告系统来匹配货物载量和可用的卡车，包括了卡车与货物装载的 GPS 跟踪和监测，一个用来投放服务和装载广告的门户网站，运货人和卡车主可以直接联系，手机界面和用户终端软件来协助寻找客户。通过该措施，货车空驶率从 53%降低到了 38%，节省高达 5200 万升燃料，相当于人民币 3.16 亿元。从美国到中国的长距离运输，各公司均在通过更好的物流来节约能源和资金。中外运

化工公司在重新设计其分销网络时，把卡车运输距离削减了一半，每年少行驶 240 万公里，运输费用降低了接近 2/3，柴油燃料消耗下降了 60%。

与参考情景相比，政策情景下货物周转量运输需求降低 6%（见图 4-3）。

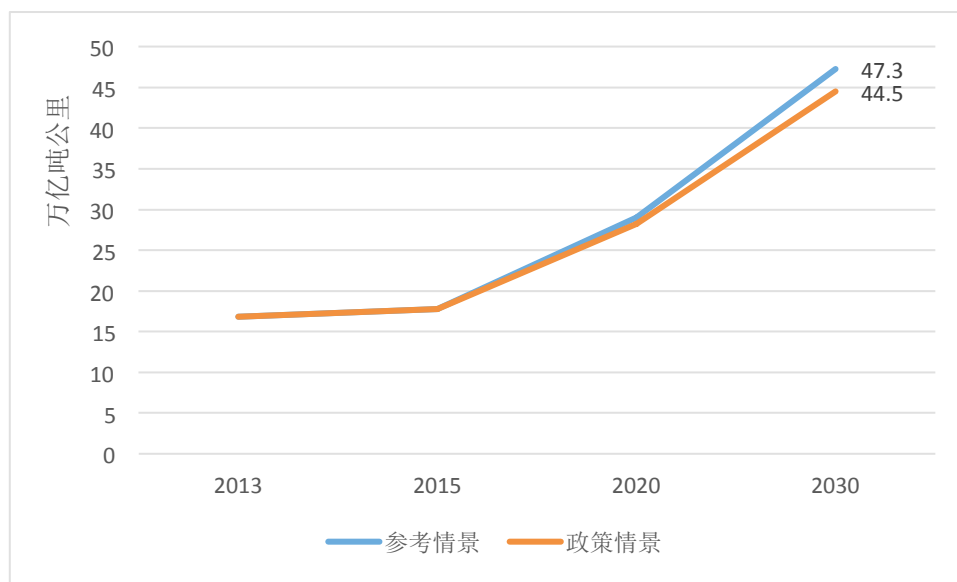


图 4-3 不同情景货物周转量比较

2、转变城市发展模式、充分利用 ICT 等技术，减少不必要的城间客运需求

在政策情景下减缓交通客运需求快速增长的措施包括：

设想现代通讯技术、信息技术、网络技术将得到更广泛的应用，有些城市间的出行可以通过远程办公和电话会议替代，一定程度上将降低不必要的交通出行需求。：选择协调发展的城镇化模式，有助于人口在大中小城市均衡分布，有利于减少目前中国特色“春运”人口大规模迁徙现象，从而减少不必要的客运周转量；在政府和大型集团公司中加快普及电视电话会议、推广视频移动电话，减少不必要的交通出行。

城间客运出行在过去几十年里大幅增加。由于越来越多的人迁移到东海岸城市居住，城际间旅行堵塞了火车站和机场。这种情况在高峰时段，如春节时尤甚。政府重视西部开发将促使采用一种更加平衡的方式搞城镇化，可以减少旅行，特别是节假日时期的长途迁徙现象。

随着技术水平的提高，远程办公和电话会议对减少城际旅行和城内交通均为具有吸引力的选项。如果中国工人能像印度工人那样远程办公，那么每天的旅行至少可减少 5%⁴⁰。一项对中国的在线旅行机构进行的研究表明，远程办公雇员的工作效率要高出 13%，请病假天数更少了，也比坐在办公室工作的雇员心情更加愉悦⁴¹。对城际间旅行的情况来说也类似⁴²。

通过上述举措，到 2030 年，客运周转量将从 2013 年的 2.8 万亿人公里增长至 8.8 万亿人公里，2013~2030 年期间，客运周转量的年均增长率只有 7%，与参考情景相比，届时的客运周转量可下降 4.3 个百分点（见图 4-4）。

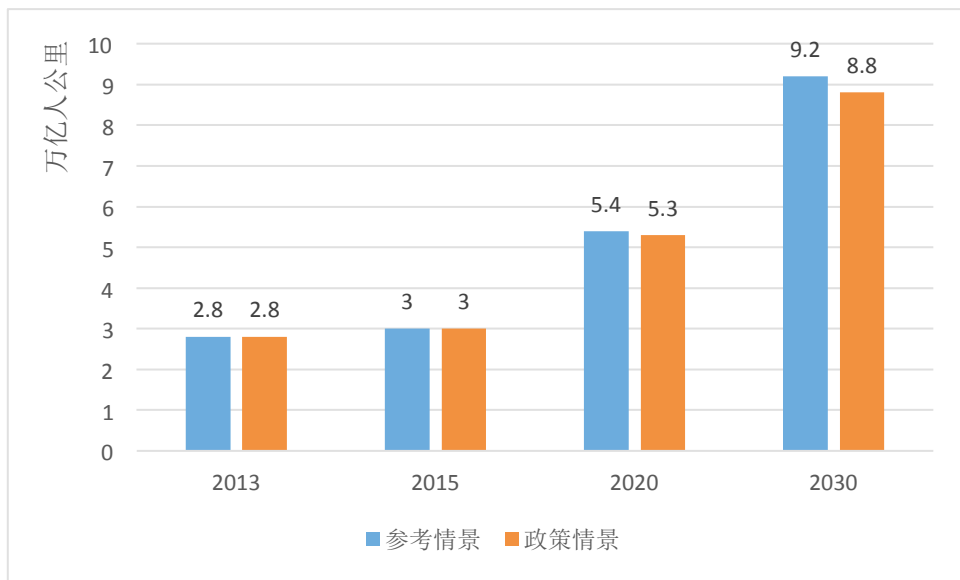


图 4-4 不同情景客运周转量比较

3、通过城市空间布局优化降低城市机动车出行需求

在协调发展的城镇化模式之上，城市内部空间布局向多中心、混合功能、小街区的模式发展，可有效减少居民外出购物、上班、走亲访友等的出行距离，并增加非机动化出行的次数和比重，降低城市机动车出行需求。另外，互联网购物和网上银行服务，以网络为基础的服务业将一定程度替代交通需求，信息化办公系统和电子政务系统，

⁴⁰ Teleworking survey by Ipsos.

⁴¹ Bloom et al paper “Does Working From Home Work – Evidence from a Chinese Experiment.”

⁴² Verdantix 2010 Telepresence Paper.

“SOHO”的工作方式，都可以减少城市内部出行需求。

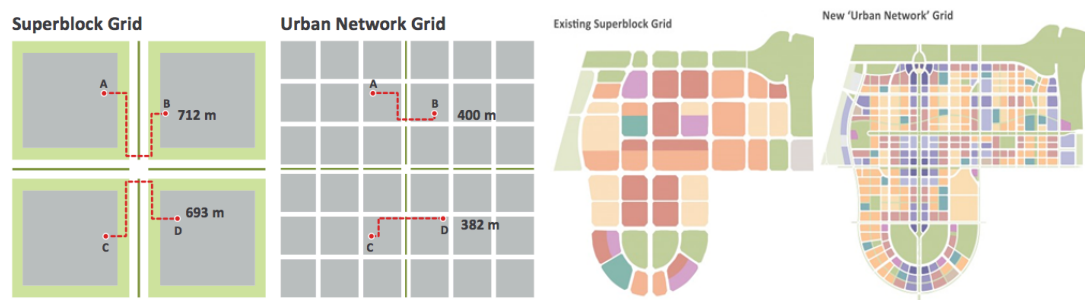


图 4-5 城市大街区和小街区出行距离比较/小网格街区可以增加使用密度和同一区域功能

说明：城市小网格的街区可以使出行距离缩短 50%并增加功能密度（不同颜色代表不同功能）

城市“蔓延式”增长带来城市较高的能耗强度、交通出行需求和能耗量增加等问题⁴³。与之相对应的，城市精明增长强调的是现有城市土地的合理开发利用，崇尚现有城市地区的填充式发展，而不是向边缘扩张，街区规划达到工作和住宅平衡，而不是一个纯住宅型的郊区，以公共交通为主导，引导城市发展。一个混合用途的、各种功能应有尽有的、方圆半径几公里的街区环境，可以明显减少去杂货店或工作单位等目的地与家的距离，这是目前多数城市单独用途规划区域所不能企及和达到的。在区域的层面上，整合公共交通与土地使用模式的关系，将城市居民区布局在主要公共交通走廊的附近，并通过基础设施建设，构建非机动车化出行友好的环境，减少机动车出行人次。

⁴³ Urban China: Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization. The World Bank, Development Research Center, and the Ministry of Finance, 2012.

专栏 4： 新城市主义和城市精明增长

新城市主义是针对目前城市发展过程中城区过度蔓延和郊区化的问题提出的，提出人为 Peter Calthorpe。新城市主义提倡重新构筑公共政策和发展实践来支持以下原则：邻里应该在人口成份和使用功能上体现多样性；社区设计应该为步行和公共交通以及机动车行驶服务；城市和城镇应该由物质环境明确并完全开放的公共空间和社区机构构成；应该由适应地方历史、气候、生态和建筑实践的建设和景观设计来形成。

精明增长的产生背景和思想内涵与新城市主义类似，其核心内容是：用足城市存量空间，减少盲目扩张；加强对现有社区的重建，重新开发废弃、污染工业用地，以节约基础设施和公共服务成本；城市建设相对集中，空间紧凑，混合用地功能，鼓励乘坐公共交通工具和步行，保护开放空间和创造舒适的环境，通过鼓励、限制和保护措施，实现经济、环境和社会的协调。精明增长的原则包括：混合用途建筑的分区居民区——缩短住宅、工作场所和商店之间的距离；创建一个街道和路径的密集网络，优先考虑步行和自行车通道，包括自动免费街道；城市分割成公交导向区——与密度配套运输能力，保证公共交通可在城市的各个角落提供。根据新城市主义和精明增长的理念，很多中国城市的样貌正在悄然发生改变。

通过城市多种功能合理布局、协调发展，推进产业发展与城市发展相融合，大力发展紧凑型城市，推动城市群和城市带一体化发展，以及在城市规划方面加大力度，如：完善步行道、自行车道，严格停车和公路用地管理，可以降低机动车出行需求。在政策情景下，2030年城市居民出行需求为7486亿人次，比参考情景下降7.5%(见图4-6)。

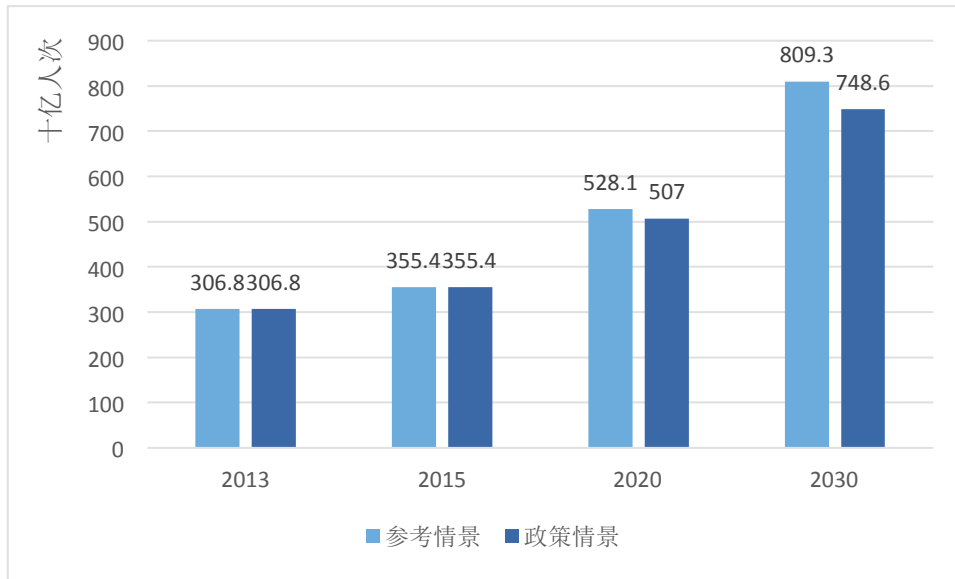


图 4-6 不同情景城市出行人次比较

选择大中小协调发展的城镇化模式，意味着特大城市、超大城市的人口规模不会进一步扩张，避免了城市建成面积不断扩大，机动车出行距离持续拉长的局面。另一方面，在城市交通规划中，还可以采取多种方式避免小汽车出行距离的快速增长，包括构建混合功能街区缩短日通勤距离；在居住小区建设完备的超市、商场、娱乐、餐饮等 CBD，减少私家车的使用率与驾驶距离。与参考情景相比，2030 年私家车的年运行距离可从 1.1 万公里降至 0.6 万公里，比目前日本小汽车年运行距离还低 25%。

小结：

在政策情景下，设想通过经济结构优化与产业布局调整（减缓冶金、建材高耗能行业的急速扩张、减少不合理运输需求），能源结构的优化（减少煤炭的长距离运输），现代通讯、信息和网络技术的运用以及城市合理规划减少客运需求等等措施（减少客运周转量与小汽车年运行距离），2020 年、2025 年、2030 年政策情景分别比参考情景减少终端能源需求量 0.29、0.66、1.03 亿吨标煤，分别比参考情景终端能源需求下降 4.5%、7.7%和 10.9%，到 2030 年，交通终端能源需求约为 8.4 亿吨标煤（见图 4-7）。

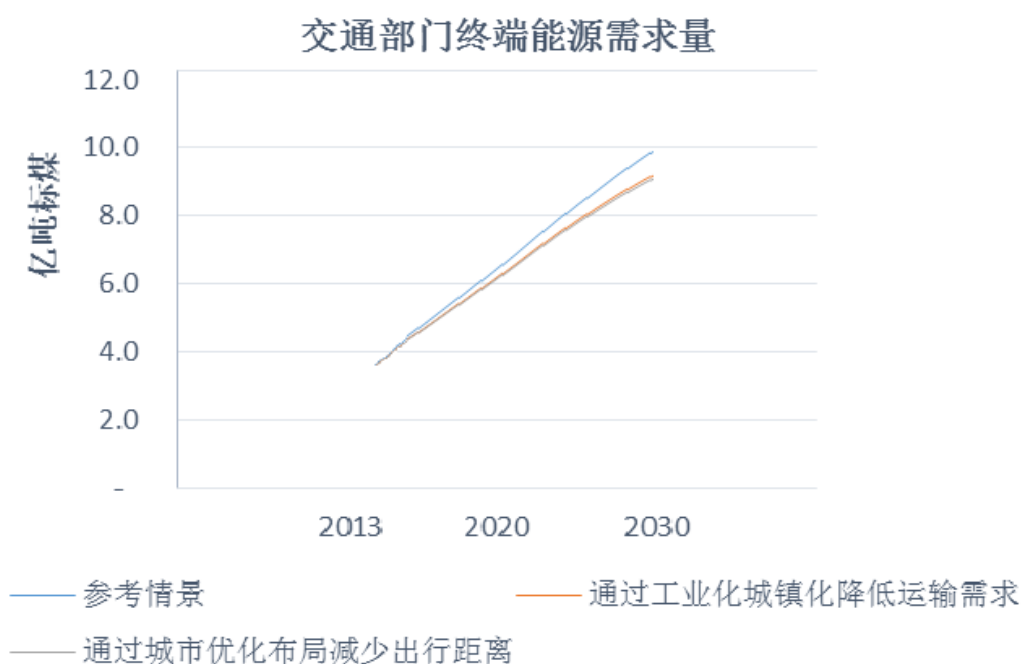


图 4-7 减少服务需求带来的节能潜力

(二) 优化出行结构：打造铁路、公共交通为骨架的现代运输体系

推动交通运输结构优化，以高效低碳的铁路、公共交通等替代卡车、私家车等运输出行方式，具有带来巨大的节能潜力，与参考情景相比，优化交通运输结构可以使终端能源需求减少 14%，占交通运输部门总节能潜力的 40%。

1、优化货物运输结构，显著提高铁路货运占比

目前由于铁路运力不足，铁路运输比重逐步下降，在参考情景下这一趋势没有得到改变。货物运输主要依靠公路，2030 年约 41% 的货物通过公路运输。考虑到公路的能耗强度比铁路、水运高得多，而且国际经验表明，美国铁路运输货物的比例要高于卡车运输的比例，而且欧盟日本的水路货运比重很高，澳大利亚则依赖铁路和水路运输，达到了高效的运输模式组合。在政策情景下，可以逐步扭转铁路和水

运占比下降的局面，提升铁路、水运在货运结构中的比重：一是继续保持铁路、水运在大宗货物运输的优势；二是通过货运组织体系的改进，将高附加值产品与居民消费品以集装箱的模式，通过铁路-公路-水路联运方式，持续提高省能型货运方式的比重。预计，到 2030 年铁路在货运中的比重将达到 1/4，比 2013 年的水平还高出 5.5 个百分点，将大大提升货运结构节能的效果。

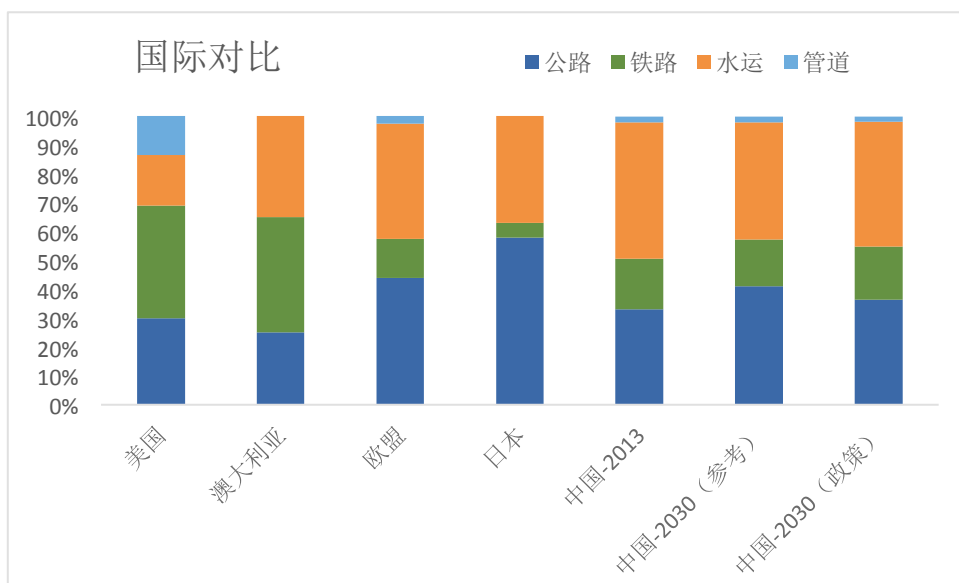


图 4-8 国际比较表明铁路和水运比重存在提高潜力

多式联运是优化货运结构的重要途径。从亚洲出口产品到北美的货物运输是多式联运应用的最佳案例。运往美国和加拿大中部和东部的集装箱在西海岸的港口码头直接装上火车运走。火车拉着集装箱跑遍美国加拿大，只是在整个运输过程的最后几公里处才由卡车拉走。美国铁路联合运输量占总的吨-公里数的 9%，其所得收入占铁路系统总收入的 20%。尽管中国是集装箱化运输的巨大起始点，但港口的吞吐量仅有 2%是联合运输。如果使用联合运输模式可更大力度地刺激西部开发，降低把运送货物到离沿海更远的城市的运输费用。目前铁路建设正在加快，但是还有其它增加运输能力的重大机会，尤其是在主要的通道，包括增加火车的长度、增加火车的运载重量、以及利用

跟踪和控制技术来增加火车行驶密度，减少停车次数、加快行驶速度。在美国，通过该等技术手段整合和提高，加上监管制度改革，货运密度(吨-公里/轨道公里数)在1978年至2008年期间增加了将近4倍。水路运输设施也需要重视，包括港口设施、运河间的联通、改进大坝的水闸性能、及改善桥梁，让驳船行驶。至于联合运输，首先要提升主要铁路通道，让两层叠加的联合运输集装箱放在火车上行驶。在美国，通过大型港口和高速铁路和物流园之间的良好对接来加大其它集散中心的需求，加上专业化的联合运输物流，使得联合运输的铁路运输能力得以提高，可以从卡车运输市场抢走运输生意。

货运能耗占交通能耗的比重超过60%，因此物流管理优化对于交通节能有重要作用。借助ICT技术和第三方物流平台，物流链可以得到大幅优化，形成具有区域辐射影响的物流园、物流中心，并且与生产、消费方结合，形成物联网，可以极大降低货物运输能耗，实现管理节能。零担(LTL)公司新疆阿凡提则把注意力放在了如何将小负荷运输整合成整车运输。该物流公司总部设置在乌鲁木齐，为中国和5个中亚国家提供LTL整合服务。新疆阿凡提最初也只是提供简单的运输服务，为每一单业务都派出一辆卡车，一般回程都是空车。随着业务的增长，开始寻求规模经济的优势来节省成本和能源。新疆阿凡提设计并实施了一套新的物流网络，在运输整合中心周围布置了运输网络的关键节点。他们运用这些节点将小负荷运输整合成大车运输，然后再从一个节点整体运输到下一个节点。这种结构大大的降低了空车运行的距离，并改善了卡车使用效率。

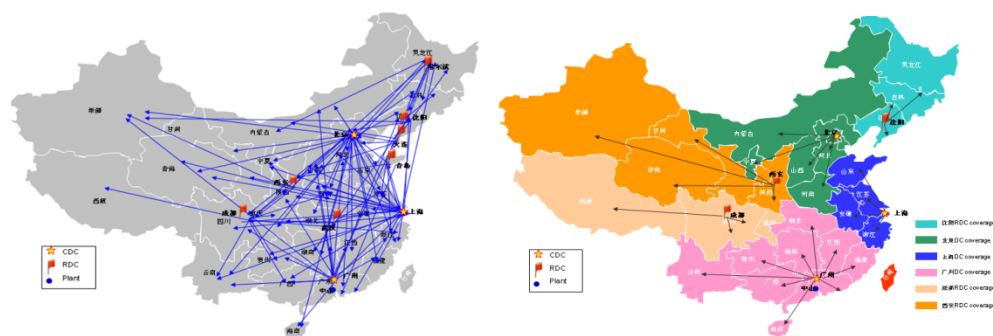


图 4-9 变革前后：由行业内领先的第三方物流提供商所设计运用的优

化供应链网络。右边的地图显示了第三方物流提供商如何优化了它的物流网络，从而最小化运输路程和空车回程路线。



图 4-10 新疆阿凡提物流公司的物流网络

货运能源消耗的重点领域在长距离运输和重型卡车。但是，城市送货的空载行驶或部分载荷行驶及超载对城市交通拥挤、城市的空气质量、及噪音污染均造成影响。城市货运同样具有节能空间，通过将多件销量货物集中在一辆卡车里运送，及优化运送路线，城市里的送货卡车行驶量可降低超过 50%。敦豪国际快递公司、西门子公司和中国发展学院正在宁波、成都实施城市物流计划。根据该项计划，所有城市里的货运均须集中由绿色、电动卡车运送，以尽可能最短的行驶距离将货物运送到客户手中。

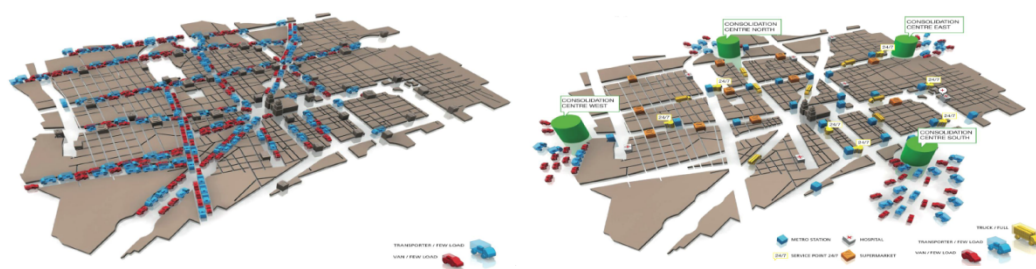


图 4-11 将货物集中运送之前和之后的都市货物运送模式⁴⁴

2、建立以高铁和铁路为骨架的城间客运运输体系

高铁的单位人公里能耗只是航空的 1/10。对于 1000 公里以下的行程，高铁无论在成本方面还是时间方面上都比航空更具优势。据分析，目前 65%的航空客运为 1200 公里以下的航线，而 35%是 800 公里

⁴⁴ Source: CDI, DHL

以下，如果高铁能够取代大部分 1000 公里以下航线，与此同时，其他铁路取代相当部分的客车，就有可能建立以高铁为骨架的城间客运体系。

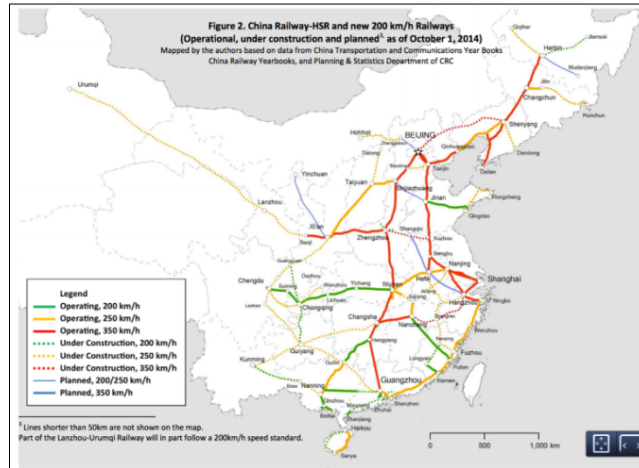


图 4-12 高速铁路网发展规划

从发展前景看，截止 2015 年底，我国已经建成高铁轨道 1.9 万公里，占世界 60%以上，2020 年高铁轨道总长度将达到 3 万公里（见图 4-12）。预计到 2030 年，以高铁为代表的铁路客运在客运结构中的比重将提高至 13%以上。高铁轨道纵横交错跨越整个国家，以更低的价格为乘客提供更强的流动性。与参考情景相比，铁路占比将高出 8 个百分点（见图 4-13）。为抓住这一良机，需要注重增加高速铁路的方便性，在靠近城市中心处规划车站，注重在车站附近规划新的城市，实现车站与城市公共交通中心无缝对接，大力地改变车次发车计划安排和乘坐价格，以适应需求，并在所有高速铁路火车里安装无线局域网。

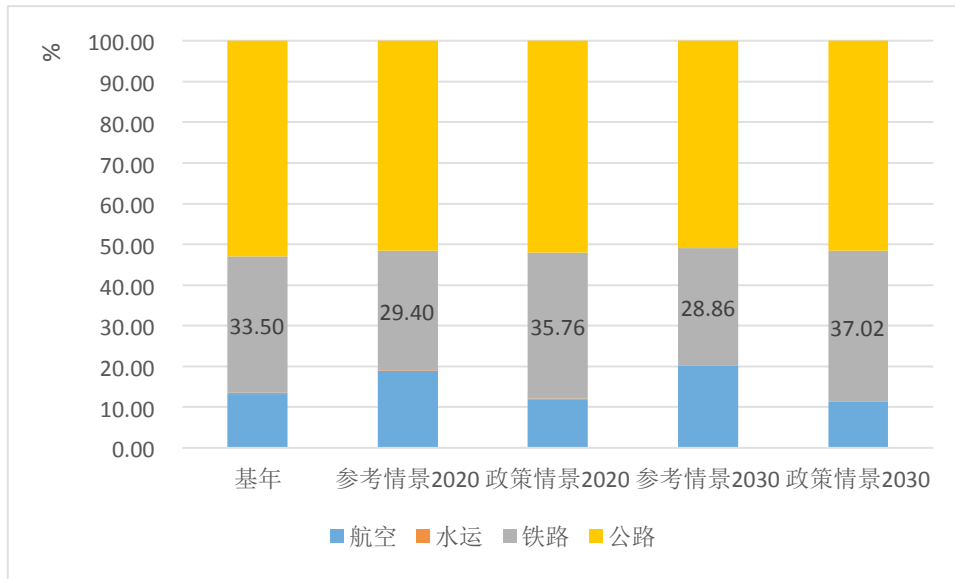


图 4-13 不同情景客运结构变化比较

3、重视轨道交通和城市公交系统建设，提高公共出行比重

在政策情景下，500 万以上人口的城市将形成以大容量快速轨道交通为主干，地面交通为基础、出租车和非机动化交通为补充的交通基础设施网络，百万级人口的城市以公交为主，中小城市以先进电动汽车为主，形成市区郊区均衡发展、内外交通有机衔接、无缝链接的现代一体化公共客运体系。

实践表明，大力发展地铁、轻轨、快速公交系统（BRT）等公共交通系统，是发达国家交通节能的重要途径。图 4-14 示意性地比较了不同城市交通方式的载客状况，小汽车耗能要比公交车高 3 倍，占地面积高出 40 倍，将使已经十分拥挤的城市更加拥挤不堪。城市精明增长不仅可以减少不必要的出行需求和缩短出行距离，在每次出行距离和时间缩短的条件下，步行等非机动化出行的比重可以有效增加，并且公共出行的比重也可以相应增加。提高公共出行比重的另外一个重要因素为基础设施的完备性和舒适便捷性，城市的公共交通部门和城市规划部门长期配合，将城市分为公共汽车为主的各个区，每个区都设有步行可至的公共交通中心。

城市可以通过征收拥堵费（例如伦敦、斯德哥尔摩和新加坡）、

强化停车管理政策、汽车共享等方式降低私家车使用率。纽约市发现，停车场点增多会增加驾驶量，增加交通量，反之亦然。巴黎减少了马路停车点 9%，使汽车行驶量降低了 13%。其它行之有效的停车场改革策略包括增加停车费用、利用网络技术执行停车制度、并在消费者进入汽车前即向他们提供内容明晰的信息。为落实这三项对策，旧金山最近在部分城区安装了停车探头，把目标交通量降低了约 10%。美国正在进行的研究表明，共享汽车的参与人减少了每辆汽车的年运行公里数。共享汽车模式在全世界都获得了好评，这种模式在 1000 多个城市涌现，并迅速在中国增长。2012 年时中国只有两家汽车合用服务公司和 39 辆供合用的汽车。2016 年，汽车共享服务公司有几十家，供合用的汽车超过了 10000 辆。



图 4-14 城市交通模式比较

20 世纪 70 年代，新加坡开始实施一项跨度为数十年的计划，修建这个城市国家的交通系统，以保证所有公民均可容易地抵达和使用公共交通。交通服务，从公共汽车、出租车，最后变成了一个崭新的大众快速交通体系，是在统一协调的机构领导下实现的。新加坡的长期地规划，使乘客可以实现步行到公交车站，从公交车跳上有轨列车出行，实现“无缝”衔接。2014 年，这个城市中 40%的出行是通过公共交通实现的。到 2030 年，80%的家庭距离大众快速交通枢纽的路程均在十分步行路程之内。新加坡不仅对公共交通进行投资，他们还让私家车拥有者承担拥有汽车的真实价格。最近实施的电子道路拥堵收费计划将高峰时段的交通减轻了 13%。

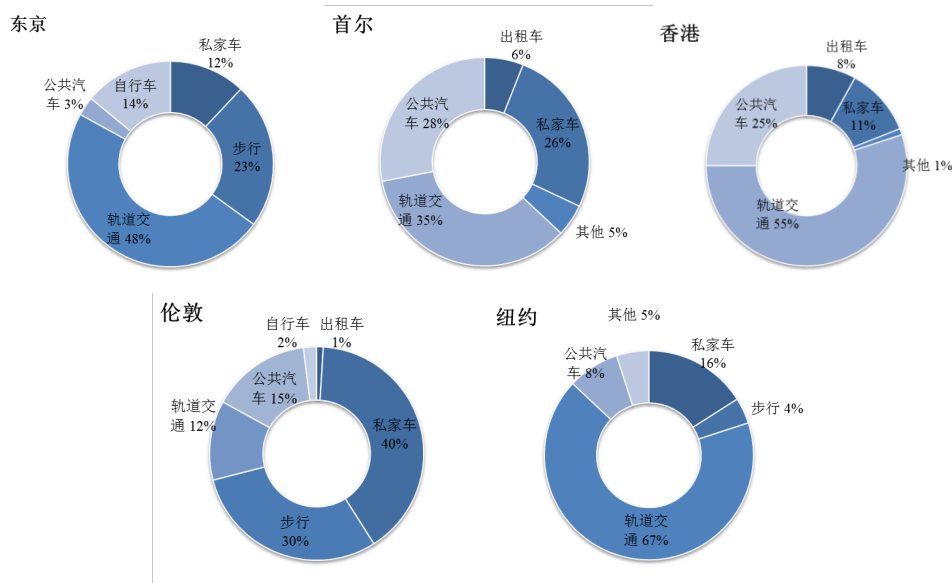


图 4-15 世界主要城市出行方式占比

在政策情景下，结合世界主要城市的经验（图 4-15），课题组设想 500 万以上的城市形成以轨道交通、BRT 为主的出行方式，百万级的城市以公共交通为主，小城市主要以个体交通为主，图 4-15 比较了两个情景特大城市公共交通结构，与参考情景相比，2020 年以后，政策情景的地铁发展更为迅速，2030 年，在特大城市，地铁占比达到 19.4%，地铁在城市交通出行比重达到 8%。

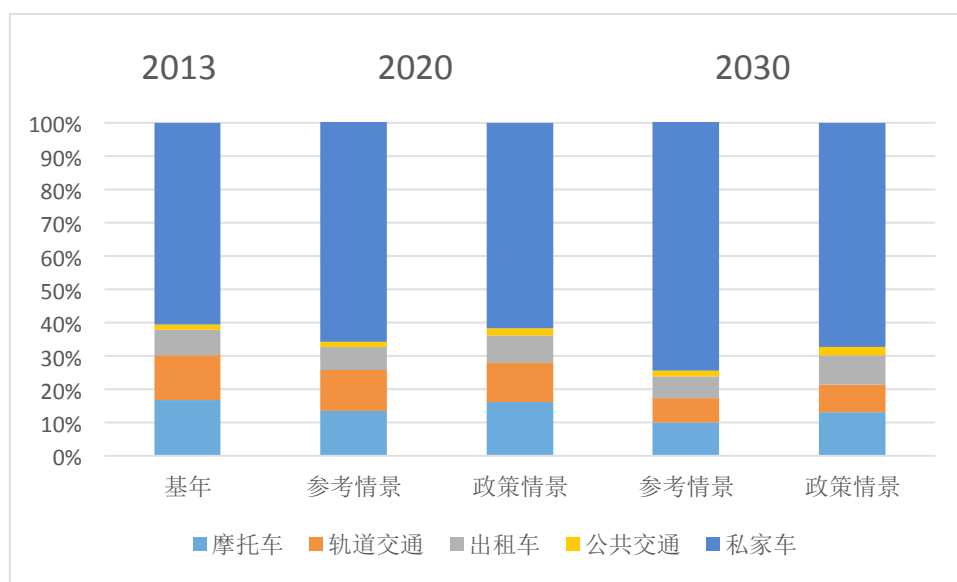


图 4-16 不同情景城市客运结构变化比较

小结：

在政策情景下，设想通过以铁路为重点、优化货物运输结构，以高速铁路为重点、优化城市间客运出行结构，以公共交通为重点、优化城市内部交通出行结构，2020年、2025年、2030年政策情景下的中国交通部门终端用能可在降低交通运输需求基础上，分别再下降0.07、0.70、1.33亿吨标煤，到2030年，交通终端能源需求约为8.1亿吨标煤（见图4-17）。

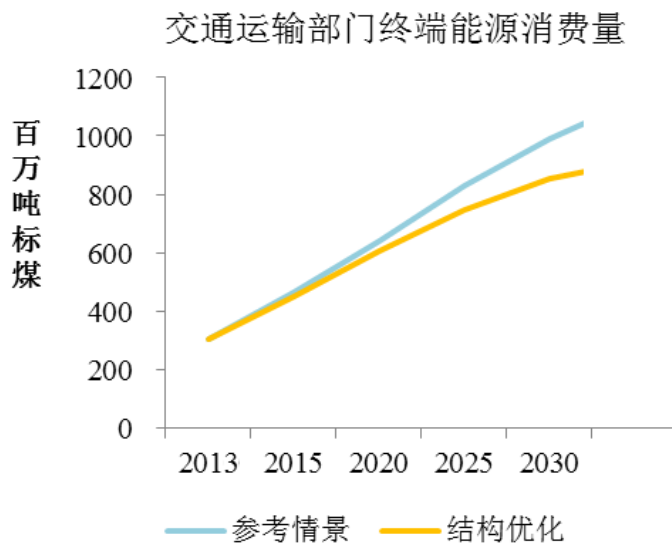


图 4-17 结构调整带来的节能潜力

（三）转向清洁能源：实现车辆船舶的去油化和电气化

减少对石油的依赖，转向以电和可再生能源为主的能源消费结构，可以显著降低化石能源需求，与参考情景相比，优化交通运输燃料结构可以使能源需求减少6.4%，占交通运输部门总节能潜力的18%。

1、鼓励天然气车船的普及，降低交通终端用油的比重

天然气卡车在中国和美国市场上均已获得了显著的市场份额，主要原因是更低廉的燃料价格。此外，天然气燃烧方式比柴油更加洁净，对区域环境污染的减排贡献大，随着愈加严格的环境排放标准和要求，天然气车辆预计会有更大的应用前景。

截止2015年，天然气汽车保有量已达500万辆。2025年天然气

将占道路用能的 10%⁴⁵，而且船舶也开始使用天然气，主要是从内河船舶开始普及。在政策情景下，到 2030 年天然气汽车占汽车保有量的比重将达 4%，主要集中在重型卡车和城市公交车。对于货物运输而言，由于重型卡车具有行驶路途远、运输线路灵活、需要快速加油的特点，实现电气化难度较大，未来将主要依靠天然气和生物燃料，以实现多元化、可持续的燃料供给，当然如果燃料电池技术有大的进展，货车运输的燃料替代也会有更大进步，交通部门的“去油化”进程会更快。目前天然气货车占比增加很快，广东省重型货车应用液化天然气试点项目表明天然气在环境方面和经济方面具有巨大优势。在环境方面，与柴油卡车相比，天然气卡车的 CO₂、NO₂、SO₂、以及烟尘排放分别减少 7.2%、33.8%、98.1%和 66.3%。在成本效益方面，虽然天然气前期成本，维修成本和保险成本都比柴油车高，但由于天然气价格目前远低于柴油价格，天然气重型货车购置成本回收期只有 1.48 年。

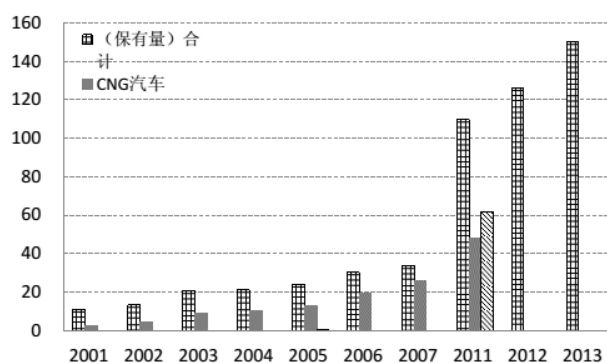


图 4-18 历年天然气汽车保有量柱形图（万辆）

数据来源：节能与新能源汽车网

天然气车船的普及给供应带来巨大挑战，目前天然气进口依存度已超过 30%，未来进口量会大幅增加，并且进口渠道也逐渐多样化，除了传统的管道进口天然气以外，LNG 的进口也增加且来源多元化。现在正在使用丰富的煤炭资源进行煤制油工作，但面临着经济性和环境的质疑，未来增长的潜力有限。

⁴⁵ The Outlook for Energy: A View to 2040, China edition. ExxonMobil, 2015.

2、扫除电动汽车推广的技术和政策障碍，使其成为交通电气化的主体

加快普及插电式混合动力汽车、纯电动汽车是降低交通部门油品需求、破解城市环境约束、提升汽车产业发展书评的重要途径⁴⁶。电动汽车的动力来源为电力，所以推广电动汽车成为降低交通部门油品需求，提高国家能源安全的重要途径和手段，还可以提高本国汽车产业的技术水平和竞争力。各国都制定了相应的资助政策、消费者补贴、推广目标、产业政策、充电基础设施建设等政策促进电动汽车的推广。中国目前已经是继美国、欧盟以后的第三大电动汽车市场，2013 年销售电动汽车 1.76 万辆，其中纯电动汽车 1.46 万辆。但到 2014 年之后，电动汽车发展迅速，故 2014 年被称为电动汽车“元年”，销售量达 7.5 万辆，2015 年达 33.1 万辆。未来随着技术的成熟和成本的下降，电动汽车的发展空间将更为广阔。

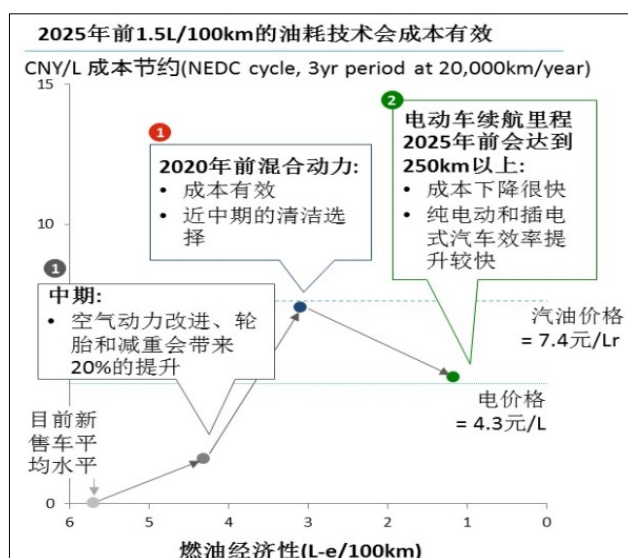


图 4-19 电动汽车技术改进与经济性展望

从汽车的燃料替代看，近中期将以混合动力电动汽车、天然气汽车为主，中长期将随着插电式电动汽车、纯电动车技术成熟、成本下降（见图 4-19），汽车的能源效率改进更为明显。

特别是未来电网可再生能源比重增加的趋势下，电动汽车全生命

⁴⁶ ICCT, “Driving Electrification: A Global Comparison”.

周期的碳减排效果明显，在节能方面也有较好的收益，与传统的汽油路线相比电动汽车可以节能 35%以上，减排 20%左右⁴⁷（至 2020 年展望，且电网清洁能源比重增加，但仍以煤电为主，传统汽车燃油经济性持续改进）。政策情景下，2030 年在私人汽车保有量达 3.2 亿辆、出租车保有量 288 万辆、自备客车 1028 万辆的基础上，可以基本实现电动化，其中包括纯电动汽车和插电式混合动力汽车。城市公交车也有 50%以上为电动车，可以为城市空气污染减排作出贡献。

电动汽车目前在推广的过程中主要存在两方面的障碍，一是技术成熟度的障碍，主要是电池技术，二是基础设施配套和建设方面的障碍，短期来看电动汽车的普及率增长不会特别明显，但长期来看具有较大增长潜力。目前京沪高速 1262 公里，国家电网在沿线已建成 50 座快充站，平均单向每 50 公里一座充电站，每座快速充电站规划建设了 8 个快速充电桩，可实现 30 分钟内将电动车的电池充满。未来全国的充电基础设施会随着保有量的增加不断完善。根据电动汽车的发展趋势和民用汽车保有量的增长，私家车 2020、2025、2030 年电动汽车在新增车辆的渗透率分别为 15%、23%、30%；出租车 2020、2025、2030 年电动汽车在新增车辆的渗透率分别为 50%、60%、70%。

在电动汽车保有量增加的基础上，汽车充放电与电网的关系成为另外一个热点。电动汽车储能可通过参与辅助服务和需求侧响应两种方式满足电力系统调峰、调频以及可再生能源并网需求。特别是随着未来电力系统中可再生能源发电比重的不断提高，电动汽车储能将成为电力系统重要的灵活调节资源。但目前来看，电动汽车作为储能和响应对于电池具有很大损耗，与传统的储能技术相比成本极高，所以未来技术没有突破之前，大规模应用仍比较有限。

3、生物燃料和铁路电气化是交通去油化的重要替代路径

生物燃料可以在车用、航空燃料发挥油品替代作用。生物燃料承担了巴西车用燃料的 22%，在美国和欧盟，这一数字为 3~4%。随着未来技术水平的提高，特别是第二代生物乙醇和第三代生物柴油技

⁴⁷ 张希良，张旭，欧训民，中国新能源汽车产业发展现状与展望。环境保护，2013（41），10:24-28.

术突破，设施规模化以后，生物燃料的价格将变得更有竞争力。但对于可耕地面积和水资源都相对有限的国情来说，国内生物燃料的供给量相对有限。根据现有的技术经济发展趋势，能源植物资源潜力在未来会有一定增长，但增长资源量存在很大不确定性。采用“直接当量法”估算，在“不与人争粮，不与粮争地”的基本原则指导下，能源植物的资源潜力约为 17.29EJ，相当于 5.9 亿吨标煤的水平。根据此生物资源禀赋，加上转化效率等的考虑，生物液体燃料 2030 年的车用燃料替代量为 10Mtoe 左右，相当于 1400 万吨标煤⁴⁸。在上述研究的支撑下，考虑到生物燃料实际推广应用的情况，2030 年政策情景下生物燃料占交通终端能源的比重为 0.6%，相当于 361 万吨标煤的能源消费量。

生物液体燃料除了直接用作车用燃料外，目前航空领域也在进行各种生物燃料的尝试推广。日前，海口到上海的飞机采用地沟油作为燃料进行了成功试飞。随着未来成本的降低，可以作为替代燃料应用于交通运输领域。

⁴⁸ 清华大学中国车用能源研究中心，《中国车用能源展望 2012》，科学出版社（2012）

专栏 5：“地沟油”做燃料飞上天

2015年3月21日，海南航空一架波音737-800客机，搭载156名乘客和8名机组人员从上海虹桥机场起飞，10点50分平稳降落在北京国际机场，本次航班使用的是新型能源生物航油，这是中国首次使用生物航油进行载客商业飞行，也使中国成为继美国、法国和芬兰之后，第四个拥有生物航油自主研发生产技术并成功商业化的国家。

该航班使用了由中石化从餐馆收集的餐饮废油转化而来的生物燃料，标志着中国航空业在节能减排领域进入商业飞行阶段，也将对新能源应用和绿色低碳飞行的可持续发展产生深远的影响。50%餐饮废油转化而来的生物燃料与50%传统航油混合后，驱动飞机发动机，可减少二氧化碳排放量50%~80%，但目前的成本是传统航油的2到3倍。对航空公司来说，航油成本一直占到主营业务成本的40%以上。未来能否全面使用生物航油替代传统的航空煤油，还要看生物航油实现规模化生产的价格成本。但从解决民用航空业环境及能源问题来说，生物航煤低碳环保，还有可能进一步改变餐饮废油的扭曲走向，能够把有可能流向餐桌危害健康的后顾之忧，不需要对飞机及发动机进行改装，未来成本若能降低则具有很大的应用空间。

提升铁路系统的电气化水平，推动铁路燃料清洁化和现代化。2030年铁路提供的客运周转量、货运周转量服务比重分别为36%、18%，是长距离运输的骨干和主体，铁路系统的电气化水平和效率对于整个交通运输系统的能源结构有着重要影响。对于客运来说，电力机车2030年50%电气化，货运电力机车的比重也逐渐提高到2030年的46%左右，铁路系统基本实现电气化

（四）提高能效：大幅提升交通工具的效率水平和技术进步

中国交通工具能效水平与发达国家仍存在明显差距。通过普及先进成熟交通工具，大幅提升燃油经济性标准，可以明显降低交通运输能源需求。参考情景已重点考虑了市场力量对于推动交通工具燃料效率提升的作用，在政策情景中，交通工具的能源效率还可以进一步提升，由此可使能源需求减少 4.2%，节约 0.4 亿吨标煤的终端能源消费量，占交通运输部门总节能潜力的 12%。

1、发展高效载货汽车，增加重型载货汽车比重

增强节能技术在卡车上的应用，提升卡车能效水平。在发达国家，重型载货汽车和甩挂运输方式在物流业普遍运用。目前中国重型货车平均载重量 14 吨左右，中型载货汽车的平均载货量在 4 吨左右，而且空驶率较高，超载现象严重。一方面可以通过组织管理，提高载货率，同时逐步缓解超载现象；另一方面，可以通过发展甩挂运输方式，提高运输效率。甩挂运输具有灵活性强、管理信息化、运营成本低的优点，对大型货物运输极为有效。有数据显示，如果中国现有运力全部实行甩挂运输，运输能力可提高 40%，成本降低 30~40%，油耗下降 20~30%。使卡车大型化是提高卡车效率的另一种机会。更大型卡车的有效载荷更大，能够大量地弥补增加的每吨公里燃料消耗。在美国，几乎到处可见 36 吨的拖拉机侧挂车。随着工业水平趋于成熟、随着物流技术得到提高，这种情况会自然而然地得到提高。带有多个挂车的卡车被称为长组合车（LCV）而且已经具有更高的效率。它们只在城际之间行驶，然后把货转给轻型卡车去做最终送货。在实践中，这种卡车的安全记录比小卡车的高。长组合车在美国和加拿大很多地方行驶，但澳大利亚则将该项技术发挥到了极致（卡车载重大到 120 吨），拖两个至三个挂车的卡车每货运吨公里可节省 15% 至 35% 的能源。

美国能源部制订了一项称为超级卡车的计划，有四家全球领先的卡车制造商参与，从设计、制造卡车、并进行试验，探究重型卡车效率究竟能提高到何种程度。该团队仅利用现有的、成熟的成本有效的技术，并进行了实际测试。该团队已经超越了原定目标，将燃料消耗

削减了三分之一，不过，康明斯公司/Peterbilt 公司的研究小组获得的燃料节约量最大，达到了 37.5%。

目前中国卡车能效不高。从全球的角度来看，最近出台的燃料效率标准及不断改进的技术可于 2030 年将卡车效率提升 25%左右。卡车排放方面的技术，如尾气再循环和柴油颗粒物过滤器等低成本技术可将污染降低超过 95%，但是这些改进将会抵消发动机性能提高所带来的其它获益。目前普遍的超载现象也客观上节约了燃料，但是与对道路的破坏和安全方面的副作用相比，并不值得。插电式混合动力车应该成为轻型卡车提高效率的可用技术，它能大大地提高效率，同时也能使该等卡车仅依靠电力来进行绝大多数的操作。

通过制定更加严格的卡车燃油经济性标准，回收尾气中的废热、改善空气动力学特性、减少轮胎阻力、改进驾驶行为等方式，使实际运行中卡车百公里油耗降低。一些关键有效的技术可以减少货车百公里油耗，包括油耗车体空气动力学结构，使用低摩擦阻力的轮胎、轮胎压力监控、提高发动机热效率、压力恢复、以及电气化辅助设备（例如泵、空调）等。例如，美国能源部提出的“超级卡车”项目，仅利用现有的、成熟的、成本有效的技术，重型卡车的道路实际能耗能够下降 50%。轻型货车的技术改进前景与重型货车相近，由于轻型卡车较多的被用于市区送货，使用混合动力或是插入式混合动力轻型卡车技术能带来更大的成本效益。

在政策情景下，课题组假定公路货运主要通过发展甩挂运输、提高载货量，同时发展超级货车，使用提高燃油经济性技术等将其百公里油耗在目前水平降低 25%。

2、采用新技术、新材料，不断改进汽车燃油经济性水平

通过一揽子的技术改进和能效限额标准，提升小汽车的燃油经济性水平。中国车队主要的车队平均车辆性能指标如发动机排量、整备质量、脚印面积、马力都介于美国车队与欧盟车队（这里仅指欧盟的汽油乘用车）之间。中国乘用车队平均比欧盟车队重 9%、大 1%；比美国车队轻 21%、小 10%。而中国车队的平均燃油消耗量比欧盟车

队高 26%；仅比美国车队低 4%。考虑到车重因素，比美国汽车能源消耗量还高。中国目前正在执行《乘用车燃料消耗限值》第四阶段的标准，其中 2015 年目标为 6.9L/100km，2020 年目标为 5L/100km。在政策情景中，汽车将大量运用碳纤维、铝、高强度钢、负荷材料等新材料是的车身更加轻量化，通过一揽子技术改进包括发动机设计优化、车辆传动系统改进、智能启停、能源回收系统、空气动力学改进、摩擦阻力减少等技术，汽车效率可以被提高至 3L/100km，这其中包括电动汽车、插电式混合动力汽车的贡献。

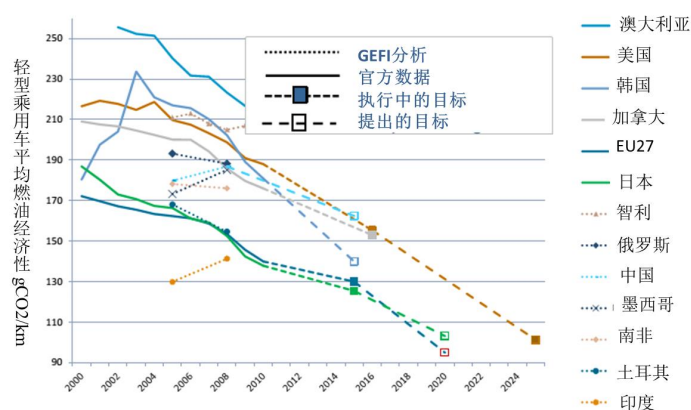


图 4-20 各国燃油经济性提高情况及未来目标

资料来源：IEA, 2012. Technology Roadmap on Fuel Economy of Road Vehicles.

政策情景中，传统内燃汽车、混合动力汽车燃油经济性相比参考情景改进更为显著，公共汽车、小公交的燃油经济性改进也很明显，从整个车队的效率提升来看，2030 年私家车百公里油耗可在目前水平上（等效油耗）下降 44.3%，出租车百公里油耗可下降 53.2%（见图 4-21）。

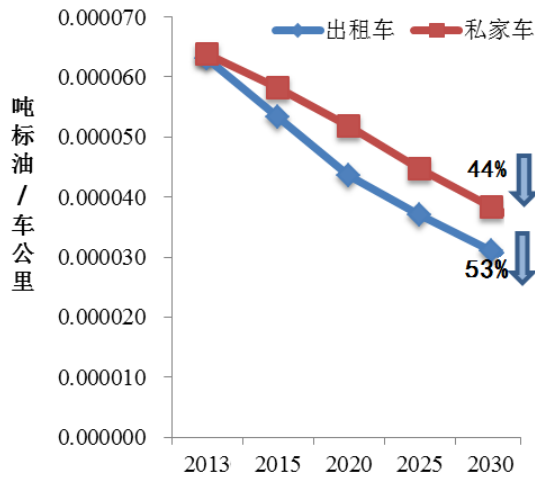


图 4-21 政策情景下私家车、出租车车队燃油经济性下降情况

小结：

在政策情景下，对于公路运输，设想货车通过装备升级、发展甩挂运输，小汽车通过发展新能源汽车，显著提升能源效率；民航部门近中期内通过采用节油机型，提高载运率、客座率，中长期通过改进飞机发动机设计，使得民航运输单耗进一步下降；铁路、水运部门通过改进动力设计，交通运输工具单耗下降更为明显，2020 年、2025 年、2030 年政策情景下的中国交通部门终端用能可在结构优化的基础上，分别再下降 0.2、0.3、0.4 亿吨标煤，到 2030 年，交通终端能源需求约为 9.26 亿吨标煤（见图 4-22）。

交通部门通过实施以上低碳发展措施，2030 年交通运输部门终端能源需求可从参考情景的 9.44 亿吨标煤降至 6.1 亿吨标煤。并且在 2030 年左右，中国交通用油达到峰值，在 2030 年前后，交通终端用能和碳排放有望相继达峰。

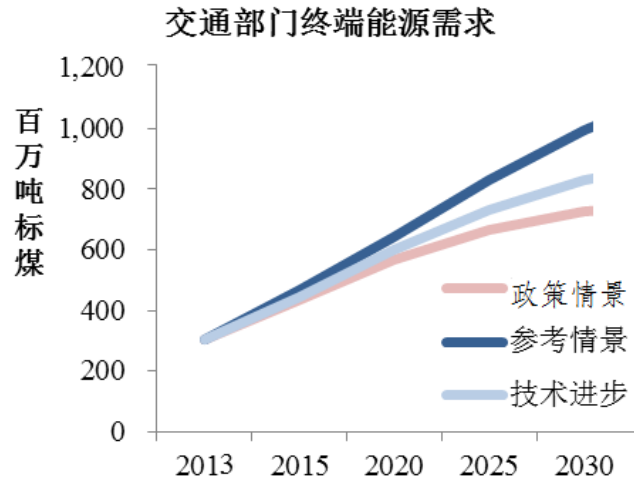


图 4-22 技术进步带来的节能潜力

参考情景下，2030 年交通运输业能源消费量预计增长到 2013 年水平的 2.1 倍，从 4.58 亿吨标煤增长到 9.44 亿吨标煤，交通运输业占国内能源消费总量中的比例也将从 10% 上升到 17% 左右，二氧化碳排放量从 9.7 亿吨增长到 28.2 亿吨，以便支持如此规模的能源消费，而且随着新增 2.7 亿辆汽车，城市拥堵和空气污染问题将进一步加剧。

政策情景下，以仅比 2013 年水平增长 0.6 倍的能源消费量和更加多元化的燃料供应支持同等水平的经济发展。能源消费量比参考情景低 35%，石油产品提供的能源比例降低到 87%。二氧化碳排放增长减缓，有望在 2030 年后不久达到峰值。研究分析显示，2013 年至 2030 年 17 年内交通部门用能的相关投资单在燃料节约一项上便可获得 10 亿人民币，这一收益不包括空气质量好转、能源安全改善和更加可靠与公平的交通运输服务等其他额外收益。

五、交通部门低碳发展的减排方案

交通部门实现低碳发展目标，需要针对不同的路径障碍做出政策应对，以改变参考情景下交通用能刚性增长的趋势，使交通用能走上低碳发展的道路。具体分子部门来看，在降低活动水平、结构优化、燃料替代和效率改进方面需要解决的障碍和方案包括：

（一）货运部门节能减排方案

货运部门是中国能耗占比最高的交通子部门，减排的潜力也最大，目前存在的主要问题包括：

物流成本占 GDP 的比重过高，2014 年达 17.8%，远超过发达国家 8% 的水平，即过度运输的问题。经济转型升级、产业结构优化调整、产品生产地和消费地布局优化、新型城镇化道路、ICT 技术应用都可以降低货运周转量。

铁路系统垄断程度高、市场化程度差成为影响铁路系统运行效率的重要因素。私人资本进入铁路系统非常困难，一方面影响铁路的融资和建设速度，另一方面也不利于形成高度竞争的市场环境。铁路行政干预过多，而且定价稳定不反应供求关系变化还导致铁路货运的效率不高，制度樊篱也影响了不同运输模式之间的接驳，多式联运发展滞后。

目前物流体系管理存在诸多问题。首先没有大的物流平台，货车找货和货源运输都需要很长的时间成本，同时物流平台欠缺还不利于优化物流网络，很多卡车在长距离的运输大宗货物，而返程却是空驶。为了赚钱卡车不得不超载超限行驶，不仅存在安全隐患，还造成道路损坏严重，系统效率很低。

天然气在货车中的应用出现良好趋势，但天然气和油品的比价关系是影响其应用的重要因素。天然气目前的价格形成机制尚未理顺，加气站基础设施建设不足，应用还存在一些技术障碍。

与轻型乘用车相比，卡车的燃油经济性标准更新频率和力度都不够大，仍有很多低效高排放的老旧车船在使用。由于环保标准和处理装置缺乏，单辆卡车的污染物排放可能是小汽车的千倍，即使是在夜

间驶入城市，也会对区域空气污染带来重大影响。

表 5-1 货运部门节能减排方案

重点领域	指标	障碍	政策机制保障
货运周转量	<ul style="list-style-type: none"> 与参考情景比下降 12% 	<ul style="list-style-type: none"> 经济结构调整困难，出口导向经济 幅员辽阔，产地、消费地距离远，城镇化模式 过度运输 	<ol style="list-style-type: none"> 深化税制改革，减轻服务业和创新产业的赋税，加大研发投入 大中小城市协调发展、城市群协同来优化产业布局，缩短运输距离 通过 ICT 技术减少周转需求
货运结构优化和多式联运	<ul style="list-style-type: none"> 铁路比重 2022 年扭转下降趋势，2030 达到 17% 水路比重比参考情景 2030 年提高 3 个百分点 多式联运 物流优化 	<ul style="list-style-type: none"> 铁路运力不足、水路通航条件差 铁路客货混运、低轴负荷、运行管理差降低铁路网络的运输能力 私人资本不能进入铁路系统 铁路在长途货运方面不能全面市场化定价 综合交通规划基础薄弱 缺少多式联运的专家，而且能力不足 货运市场碎片化严重 产地布局不是考虑的重点 缺少物流需求的信息 	<ol style="list-style-type: none"> 加快铁路基础设施建设和投入，升级核心铁路网的密度和运输能力 推进铁路市场化改革进程，吸引私人资本进入铁路，提高铁路的生产力水平 设定结构优化的目标并进行补贴，特别是多式联运的激励 促进道路货运领域企业集中化发展 加强物流中心、物流平台、物流园的建设，优化物流管理
燃料替代	<ul style="list-style-type: none"> 重型卡车天然气化 天然气占交通用能比重 2020 年 3.6%、2030 年 6.6% 	<ul style="list-style-type: none"> 天然气供应和价格的不确定性 加气站基础设施建设不足 船舶应用技术障碍 	<ol style="list-style-type: none"> 理顺天然气价格 加强加气站设施建设 天然气车船的技术研发，特别是可使用多种燃料的巨型船舶技术
货车效率	<ul style="list-style-type: none"> 重型、轻型货车百公里油耗下降 25%、30% 轻型货车混合动力占比 40% 	<ul style="list-style-type: none"> 老旧车船的使用 新型卡车效率较低 燃油经济性提升的效果对消费者不够透明（例：减少轮胎摩擦的效果） 效率提升的初始投资高 	<ol style="list-style-type: none"> 强制性报废老旧车船 提升卡车燃油经济性标准 能效标准项目 提高高效卡车/设备的补贴

（二）城市客运部门节能减排方案

城市客运部门中的私家车保有量未来将成倍增长，城市如何发展对私家车如何使用具有极强的锁定效应，目前存在的主要问题包括：

城市交通与城市群区域交通组织协调衔接不畅。在城市群，随着

城市空间的拓展，区域交通与城市交通逐步成为一体，呈现了“区域交通城市化、城市交通区域化”的特征。由于缺乏应对交通特征转变的规划，缺乏区域层面的交通组织，城市交通和区域交通还是采用各自的规划和组织。这种各自为政的状况与目前城市群交通发展趋势不相符，一方面不利于城市群的发展，另一方面增加了城市间的交通量。

以中心城市为核心的城市群交通通道组织模式增加了次级城市间的交通距离。中西部以省会城市为核心的单中心城市群交通，次级中心城市经济规模和地位处在较低的发展水平，因公路、铁路主干线布局较为单一，次级中心城市间的衔接不畅，城市之间的联系必须通过省会中转或经过省会，交通距离明显增加。例如滇中城市群，次级城市曲靖、玉溪、楚雄间的联系不便捷，它们之间的联系必须依托高速公路通过省会昆明中转，这导致在城市群城市间的出行不得不增加了不少交通量。

日益突出的“职住分离”大幅增加了机动车交通发生量。城市空间形态与城市碳排放中重要中介要素——交通出行碳排放。改革开放以来，大量的开发区、新区、新城、大学城、物流园等经济功能区规划布局在城市近郊。受开发模式和规划布局的影响，这些经济功能区功能单一，居住、公共服务、就业、医院学校等配套不完善，不得不依赖老城，就业和居住在城市空间结构上的分离，导致大量的“潮汐流”、钟摆式通勤流、被动式的交通需求，导致能源资源和碳排放的产生。城市居住与就业地点空间分离的结果是居民通勤距离和时间的增加。如美国是典型的蔓延性城市，居民通勤时间较长。据 2005 年美国人口统计局数据，2005 年美国通勤时间最长的城市是费城，时长是 38.3 分钟，其次次是纽约、华盛顿的时长分别为 34.2 分钟、33.4 分钟；与美国相比，北京的单程通勤时长平均达到 38 分钟，其中通勤时间超过 40 分钟的人群占比为 43.7%。

多数城市在过去几十年都出现“蔓延式”发展方式，城市建成区面积不断扩大，大大城市陷入“城市病”的困扰，由此带来的城市通勤距离和时间拉长，城市拥堵、大气污染问题严重，私家车占城市

出行比重不断增加，非机动化出行和公共出行的比重逐渐下降。

虽然公共出行系统的投入在加大，但占比提升乏力，而且由于规划设计原因导致的“最后一公里”问题降低了公共出行的吸引力，很多车站换乘不便，公共出行系统的舒适性和方便性差。

电动汽车发展尚面临技术不成熟、基础设施缺乏等障碍，电动汽车激励政策中存在严重的地方保护主义，非本地区的汽车生产商较难进入电动汽车政策优惠目录名单，或占比较低。

表 5-2 城市客运部门节能减排方案

重点领域	指标	障碍	政策保障机制
以新城市主义引领城市发展	<ul style="list-style-type: none"> 出行人次比参考情景减少 18.5% 	<ul style="list-style-type: none"> 人口向特大城市过度集聚发展趋势 城市“摊大饼”蔓延式发展 城市规划未将交通出行纳入考虑，大街区化明显 重视私家车基础设施建设和汽车产业发展 ICT 技术重视程度不够 	<ol style="list-style-type: none"> 政府合理引导大中小协调发展的城镇化模式 城市紧凑型发展，城市规划小街区、多功能组团结构，减少不必要出行和出行距离 TOD 交通引导城市发展，城市规划将交通纳入考虑 城市建设以人为本，完善慢行交通道路 ICT 技术的投资和管理
构建以公共交通为主体的市通体系	<ul style="list-style-type: none"> 公共出行比重 2030 年达 45%，其中地铁 18% 控制私家车出行比重至 44% 私家车年出行距离由 11000km 缩短到 6000km 	<ul style="list-style-type: none"> 公共基础设施缺乏或舒适性差 公共交通换乘不方便，“最后一公里”造成极大不方便 非机动车道被蚕食、出行体验差 城市出行距离长、居民收入提升等带来私家车使用增加 	<ol style="list-style-type: none"> 打造完善、无缝衔接、方便舒适的城市公共交通服务体系 修建适宜步行、自行车出行的城市慢行交通设施 通过停车收费改革、拥堵收费、汽车共享等政策，限制小汽车的出行
城市通电气化	<ul style="list-style-type: none"> 2030 年私家车电动汽车比重 20%、出租车 50%、公共汽车 50% 生物燃料占交通终端能源比重 0.6% 	<ul style="list-style-type: none"> 电动汽车成本较高且技术不成熟 充电基础设施不足 地方保护主义严重影响竞争和创新 基于重量的车辆燃油经济性标准 生物燃料技术瓶颈和原材料来源 	<ol style="list-style-type: none"> 加大电动汽车的补贴和支持力度 将对纯电动汽车的激励扩展到混合动力汽车 基于车辆足迹的燃油经济性标准 设定电动汽车在销售车辆中占一定比例的目标 生物燃料技术研发，建设能源生物基地和农作物秸秆回收利用体系
提高小汽车燃油经	<ul style="list-style-type: none"> 2030 年私家车车队整体效率提升 44%、出租车车队提升 	<ul style="list-style-type: none"> 电动汽车成本较高且技术不成熟 充电基础设施不足 地方保护主义严重影 	<ol style="list-style-type: none"> 制定更加严格的燃油经济性标准，并及时更新 针对不同排量汽车采用差别化税率，促进车辆向小型化

重点领域	指标	障碍	政策保障机制
经济性水平	53% • 混合动力汽车在各个领域得到广泛应用	响竞争和创新 • 基于重量的车辆燃油经济性标准 • 生物燃料技术瓶颈和原材料来源	发展 3. 针对混合动力汽车出台补贴优惠政策 4. 自动驾驶技术的推广应用 5. 宣传鼓励绿色低碳的驾驶方式

（三）城间客运部门节能减排方案

城间客运部门的发展与收入水平和城镇化模式密切相关，高铁的快速发展将在很大程度上改变城间客运的模式和形态，目前存在的主要问题包括：

在过去的几十年，人口快速向大城市和东南沿海集中，但由于务工人员没有在城市扎根并享受到社会保障，所以出现“春运”这一中国特色的现象，“一票难求”一方面是由于春运人数达几亿人，另一方面是铁路客运系统满足不了如此庞大的客运需求。虽然近几年高铁发展速度较快，但全国性的高速铁路网还未完全建立，高铁站的布局远离城市中心，也造成换乘的不便。与货运铁路相似，高铁的市场化程度同样不高，高铁票价相对固定，不能反应市场供需。

混合动力汽车特别是大巴车享受到的补贴力度不够，市场渗透率不高。

表 5-3 城间客运部门节能减排方案

重点领域	指标	障碍	政策保障机制
大中小协调发展的城镇化模式和 ICT 技术	• 出行人次比参考情景减少 4.3%	• 人口向特大城市和东南沿海过度集中，春运大迁徙 • 收入水平提高后远距离出行需求增加 • 信息通讯技术没有得到充分应用	1. 政府合理引导大中小协调发展的城镇化模式 2. 远程办公和视频会议
构建以高速铁路为主体的城间客运体系	• 高速铁路与城市交通的连接性不好 • 基础设施建设仍待加强，有些城市还没有通高铁 • 高铁价格相对固定，对于投资方的吸引力小	• 高速铁路与城市交通的连接性不好 • 基础设施建设仍待加强，有些城市还没有通高铁 • 高铁价格相对固定，对于投资方的吸引力小	1. 将高速铁路车站与城市交通枢纽连接起来 2. 制订灵活车次安排和定价机制 3. 加快高铁基础设施建设

重点领域	指标	障碍	政策保障机制
城间交通去油化	<ul style="list-style-type: none"> 城间大巴天然气车占 10%、电动和混合动力汽车占 21% 铁路全部实现电气化 	<ul style="list-style-type: none"> 加气站基础设施建设不足 电动和混合动力汽车初始投资高 电气化改进的缺少资金 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要高速公路、道路天然气加气站建设 2. 电动汽车技术研发和充电站建设 3. 为铁路的电气化改造提供资金支持
提高城间大巴燃油经济性水平，降低铁路、民航单位周转量能耗	<ul style="list-style-type: none"> 城间大巴燃油经济性 2030 年提高 25% 铁路、民航单位周转量能耗下降 20% 	<ul style="list-style-type: none"> 铭牌油耗和实际油耗存在较大差别，信息对消费者不够透明 驾驶行为不够节能低碳 混合动力汽车享受到的优惠政策不够 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制定更加严格的燃油经济性标准，并及时更新 2. 针对混合动力汽车出台补贴优惠政策 3. 宣传鼓励绿色低碳的驾驶方式

六、政策建议

针对交通部门实现低碳发展路线图和存在障碍，需要对目前涉及交通部门的管理模式、规划方法、标准标识、基础设施、激励政策、信息系统等进行调整，才能实现交通部门低碳发展的愿景和目标，推动“工业化、城镇化两个发展模式转变”、“铁路系统和物流方式两个变革”和“燃油经济性和 ICT 两方面相关技术的应用”。

（一）重构工业化和城镇化模式、促进高附加值产业和服务业的发展

针对目前货运存在的“过度运输”问题、客运“春运”和“一票难求”现象等，政府应该继续简政放权，发挥市场对经济的主导作用。加强高附加值产业和服务业相关市场建设，形成统一、开放、竞争、有序的市场体系，规范市场准入制度和行业监管办法，以信用制度建设为抓手，形成良好互信的市场环境。提高过剩和落后产能淘汰的门槛和标准，内部化高耗能产业能源使用的外部成本，进一步推进税收体制改革，使高附加值产业和服务业享有更多税收优惠，加大科技研发投入力度，健全知识产权管理和保护制度，鼓励自主创新的社会文化环境，实现经济发展与能源使用脱钩，货物运输的高附加值化，减少大宗货物运输占比。

在尊重城镇化规律的基础上，政府合理引导中小城市发展、限制大城市、特大城市的发展规模，鼓励农民在乡镇、小城市进行就地城镇化，可根据情况进行建房补贴、土地使用性质变更、学校医院道路等基础设施建设，实现消费地的合理布局，并使消费地临近生产地，减少社会系统的运输成本及能耗。扶持中西部地区的特色支柱经济，形成中西部地区的中心城市，使居民实现就地就业和发展，改变居民必须到发达地区打工而教育、养老仍在原籍的尴尬。依托新型城镇化优化产业布局，2030 年实现客货周转量双重下降，与参考情景比分别降低 12.4%和 7.8%。

（二）以新城市主义理念引领城市发展、倡导交通引导城市发展的模式

目前大多数城市都陷入雾霾和环境污染之殇，而且城市“蔓延”发展带来的出勤距离拉长、城市拥堵问题严重，城市病正在蔓延。非机动化出行、公共出行正在被私家车出行蚕食，城市交通结构恶化。

城市规划将交通纳入考虑的维度，以多中心、组团式、小街区的理念引领城市发展，注重土地混合开发、高密度建设，构建紧凑型城市，创建以人为本而不是汽车为本的城市。城市规划中将交通引导城市发展（TOD）放在重要前置位置，在城市建造设计时就将在居民区建于主要公共交通走廊（地铁+BRT）一定距离内，形成公共交通为主体的城市布局基础。加快城市慢行交通步道和环境建设，实施城市中心区域的拥堵收费和停车收费改革，加大私家车在城市中心区域的使用成本，减少私家车出行的比重。继续对城市公共交通基础设施建设加大投入，特别是轨道交通设施建设，注重零距离换乘车站建设，增强公共交通设施的舒适性，提高吸引力。在一些车站设立公共停车场，方便私家车和公共交通之间的换乘。

加大电动汽车、混合动力汽车的技术研发，在电池续航里程、使用寿命、可靠性、电网储能方面实现技术突破，合理使用电动汽车补贴资金，避免地方保护主义现象，对插电式混合动力和传统混合动力汽车同样给予关注和重视。可以在政策发挥作用较大的出租车、公交车领域进行试点推广，及时反馈实施效果。适时规划布局充电桩建设，与电网响应和服务能力共同匹配协调发展，发挥电动汽车的储能作用。

2030 年实现城市精明增长（Smart Growth），城市宜居且绿色低碳，公共出行比重提高到 45%以上，非机动化出行比重提高，私家车和出租车基本实现电动化。

（三）推进铁路系统的市场化改革步伐、提高多式联运的比重

铁路运输占比逐年下降，公路成为满足交通运输需求增长的主要途径，导致中国运输结构恶化、能耗高、物流成本占 GDP 的比重 17.8%，比发达国家 8%左右的水平有很大差距。

打破铁路的垄断地位，加快推进铁路市场化改革的步伐，实现浮

动定价、允许私人资本进入、破除铁路和其他运输方式间接驳的制度问题等，从而破解铁路和高铁建设的融资问题，尽快建成完善的高铁和铁路的全国性网络，实现普通铁路的改造升级，使普通铁路有更多运力进行长途货运，释放铁路的运输潜力提升运行效率。2022 年扭转铁路货运占比下降的趋势，2030 年铁路货运比重占比超过 17%。主要城市之间实现高铁互通互联，高铁成为城间客运的主要通道。

突破不同交通运输模式间接驳的制度、标准、行政障碍，实行集装箱的标准化和使用范围，基础设施建设方面注重无缝衔接，构建铁路、水运长距离运输、公路短距离灵活机动运输的多式联运模式，提高其在物流运输中的比重。

（四）优化物流组织管理、形成高效物联网

目前中国道路货运中卡车超载和空驶的现象都非常严重，卡车长距离 1000-2000 公里运输货物的现象普遍存在，这与物流组织管理水平差、体制机制上的障碍有很大关系。

在城市周边和内部建立物流园、物流中心，构建基于大数据和信息化的物流平台，实现物流链和物联网的最优化，最小化运输路程和空车回程路线，实现物流运输体系最优。鼓励货车向大型化发展，给予适当补助，通过物流优化和货车大型化改变目前货车的超载和空驶现象。

2020 年前基本消除超载和空驶现象，2030 年前建立起完善的物流网络，并与产业布局智能连接，形成高效物联网。

（五）不断提升乘用车与货车的燃油经济性标准、鼓励替代燃料

民用汽车保有量近些年呈现井喷之势，相应的油品需求飙升，给能源安全带来巨大挑战。卡车的燃油经济性标准更新频率和力度都不够大，仍有很多低效高排放的老旧车船在使用。

制定出台基于车辆足迹的燃油经济性标准，并定期更新，强化卡车的燃油经济性标准，加强监督检查力度，缩小铭牌油耗和实际运行油耗的差距。通过车购税税收优惠方式，鼓励车辆小型化，对大排量、

奢侈性车辆收取重税，营造良好的用车文化。

继续推行天然气车辆的补贴优惠政策，建设充足的天然气加气站，构建 LNG 货运长廊，理顺天然气价格形成机制，保证天然气车船用气的长期可行性。加大天然气车船的技术研发，特别是船舶的技术研发，多燃料船舶技术的应用推广。

基于生物质原料的禀赋设定合理的生物液体燃料发展目标，形成完整的生物液体燃料产销链，促进其在车辆、飞机中的应用。

实现车辆保有量在 2013 年基础上增加超过 2 倍，而能源消耗仅增加 0.6 倍，油品仅增加 0.15 倍。

（六）应用 ICT 技术实现交通服务网络信息化智能化

如果说中国与国际领先水平在信息技术上存在差距的话，那么信息技术在交通领域的应用差距则更加明显，这也是导致交通运输系统效率不高的一个重要原因。

通过奖励、补助等激励政策，充分发挥各主体的创新能力，形成信息通信技术与交通体系的融合，通过大数据、车联网、新技术变革，建立物流信息平台，使物流交通运输形成“思考”的神经系统，形成最佳解决方案的同时减少投入。城市交通推广 ITS、GPS、RFID 等信息技术，提高城市交通的运行效率和改变出行模式。智能交通系统再进一步与物联网、交通网络、能源网络相结合，有望从现在的“智慧城市”，发展到“智慧中国”，形成覆盖全球的智能化综合网络（“智慧地球”）。

附录 交通用能统计口径调整

根据我国目前统计体系的口径，工厂内部汽车所消耗汽柴油计入工业部门能源消耗，而车站、机场照明、供热等建筑能耗也计入交通部门，此类统计差异也成为交通部门基年数据需要重新校核的原因。从统计体系上来说，私家车的能耗未计入交通部门。此外，交通部门运输企业大小规模不一，很多为个体或暂时用作运输经营使用，造成交通部门车辆基础统计数据不准确。鉴于上述原因，需要根据国家统计局提供的能源平衡表中的相关能源消费量与交通运输的车辆数等进行校核，基于车辆燃油经济性、车辆年行程里程、空驶率、负荷率等技术参数，将车辆数与能源消费量构成联系，建立交通运输量活动水平、运输结构、能耗强度之间联系，形成互相匹配的基年交通运输能耗数据，并作为未来交通部门能耗预测的基础。

课题组基于 2015 年国家统计局发布的能源平衡表，对交通业、工业、建筑业等行业的不同能源品种的需求作相应调整，具体调整的原则见附表 1。

附表 1 能源平衡表各行业间的调整原则

平衡表调整前所属行业	汽油	柴油	煤炭	LPG	天然气	电力	调整后所属行业
农业	99%	10%					交通运输业
工业行业除用作原料	80%	26%					交通运输业
建筑业	98%	30%					交通运输业
批发零售餐饮业	98%	30%					交通运输业
其它三产	98%	30%					交通运输业
私人汽车	100%	96%					交通运输业
交通运输业			95%	30%	65%	65%	建筑业

能源平衡表的调整过程中，主要基于不同能源品种的实际用途和与中石油咨询的有关中国汽柴油的流向相结合。例如工业行业的汽油（除用作原料外的）少部分用作溶剂油外，80%用于工业企业自备车辆，建筑业、批发零售业及其他三产 98%的汽油也用于自备车辆，民用部门 100%的汽油都用于私人汽车；农业柴油中用作机耕、机播、机收，农业灌溉，以及渔业等的比例较高，所以仅有约 10%的属于拖拉机、柴油车的能耗，工业和三产中柴油有相当的比例用作锅炉等燃

烧器、工程机械压铸机等。能源平衡表调整后，2015 年交通部门各品种的能源消费量详见附表 2。

附表 2 调整前后交通部门 2015 年各品种能源消费量 万 tce

能源品种	调整前	调整后
汽油	7808	16491
柴油	16265	19363
煤油	3686	3686
燃料油	2056	2056
液化石油气	171	120
煤炭	349	17
天然气	2479	868
液化天然气	451	451
热力	96	96
电力	1383	44
其他	1172	1172
总计	37977	44803

2015 年交通部门终端能源消费量为 4.48 亿吨标煤，占全社会终端能源消费量的 10.73%（调整前为 9.1%）。基于交通运输子部门运输工具的数量、燃油效率、负荷率、空驶率、实载率等一系列物理参数，用自上而下和自下而上相结合的方法，将总能源消费量分配到每个交通工具和子部门。