

中国综合交通工程科技 2035 发展战略研究

张军¹, 王云鹏^{1,2}, 鲁光泉^{1,2}, 陈鹏^{1,2}

(1. 北京航空航天大学, 北京 100191; 2. 中华人民共和国交通运输部智慧综合交通协同创新平台, 北京 100191)

摘要: 在社会经济快速发展以及新一代信息技术深度应用与跨界融合的新形势下, 综合交通工程科技发展依然面临着安全、高效和环保等方面的重大挑战。本文针对我国经济社会和交通运输发展的重大需求, 从全面剖析国内外综合交通工程科技领域发展的状况出发, 凝练面向我国综合交通工程科技 2035 发展战略, 树立以网联化、协同化、智慧化为核心的发展思路, 确定战略目标、重点任务、发展路径、重大工程及重大工程科技专项等。研究成果对科学谋划我国综合交通工程科技的跨越式发展具有重要的参考价值。

关键词: 综合交通; 2035 年; 工程科技; 战略规划

中图分类号: U1 **文献标识码:** A

Development Strategy for China's Integrated Transportation Engineering Science and Technology to 2035

Zhang Jun¹, Wang Yunpeng^{1,2}, Lu Guangquan^{1,2}, Chen Peng^{1,2}

(1. Beihang University, Beijing 100191, China; 2. Collaborative Innovation Platform of Intelligent Integrated Transportation, Ministry of Transport of the People's Republic of China, Beijing 100191, China)

Abstract: With the rapid development of the social economy and the deep application and integration of new-generation information technology, integrated transportation faces serious challenges regarding safety, high efficiency, and environmental protection. To address the major demands of socioeconomic and transportation development, based on analyses of the development situation, this study conducted strategic research on the development trends and path for integrated transportation engineering science and technology to 2035. This research focused on network connections, collaboration, and intelligence. Furthermore, this paper proposes strategic plans, key directions, development paths, and major projects for integrated transportation engineering science and technology to 2035, all of which may help to provide valuable insight into the realization of a leap forward in the development of China's integrated transportation engineering science and technology.

Keywords: integrated transportation; 2035; engineering science and technology; strategic plan

一、前言

交通运输是国民经济重要的基础性、先导性、服务性行业, 是社会生产、生活组织体系中不可缺

少及不可替代的重要环节。在社会经济快速发展以及新一代信息技术深度应用与跨界融合的新形势下, 综合交通工程科技发展依然面临着安全、高效和环保等方面的重大挑战。为此, 美国、欧盟等世界发

收稿日期: 2016-12-09; 修回日期: 2016-12-26

通讯作者: 王云鹏, 北京航空航天大学, 副校长, 教授, 主要研究方向为智能交通系统; E-mail: ypwang@buaa.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国工程科技 2035 发展战略研究”(2015-ZD-14)

本刊网址: www.ensci.cn

达国家和地区均对综合交通工程科技的发展做出了战略性规划。在此背景下，提出面向我国综合交通工程科技 2035 的发展战略与演进路径显得尤为必要。

二、2035 年世界综合交通工程科技发展展望

（一）综合交通工程科技国际前沿

为了统筹协调各种运输方式，合理配置和利用交通运输资源，发挥综合交通的整体优势，美国以《2050 年远景：国家综合运输系统》为导向，提出建设具有一体化、国际化、联合化、包容化、智能化、创新化的“6I”型交通运输系统 [1]；欧盟以《交通白皮书》为核心，注重道路网、公交网、铁路网、水运网的合理配置，相互衔接及综合交通枢纽建设，构建高效协同、绿色环保的综合交通运输系统 [2]；德国实施《联邦交通网发展规划》的国家战略，综合考虑自然环境、区域发展与城市建设的整体利益，建设低排放、低成本、高效率、高协同的环境友好型交通运输网络 [3]；日本以《综合交通政策体系》为战略导向，注重交通总体规划和交通方式的集约化，通过构建层次分明的内陆、海岸、航空等综合交通立体架构，实现高效有序的综合交通运输管理 [4]。综上可见，国外发达国家综合交通工程科技领域的前沿是：以安全、高效、绿色为核心，推进综合交通运输系统向网联化、协同化和智慧化方向发展。我国也以《综合交通网中长期发展规划》为核心，明确提出了综合交通基础设施网络中长期的发展目标和任务，促进各种运输方式从局部最优上升到整体最优，提高交通运输系统的整体效率和综合效益 [5]。

（二）2035 年世界综合交通工程科技发展图景

展望 2035 年，综合交通工程科技领域孕育着一批具有重大产业变革前景的颠覆性技术。北斗卫星导航系统、5G 通信、可信计算、移动互联、云计算、大数据、物联网、天临空地交通通信网等新一代信息技术的深度应用与跨界融合，将推动综合交通运输生产方式和发展模式的革命性变化。综合交通基础设施、运输工具、运行管理与服务都将在新一代信息技术的深入渗透下催生出新业态、新格局。陆海空交通资源将在信息技术的支持下全面整合，形成信息共享、资源协调、优势互补的网联化、

协同化、智慧化立体综合交通系统；运载工具快速向智能化方向转型，无人驾驶、遥驾驶、空地一体化立体交通等新型交通系统不断涌现，并逐渐进入公众日常生活；移动互联网和大数据技术有效支撑综合交通信息的获取、交互、融合与决策，同一交通方式的系统要素之间协调组织，不同交通方式之间互联互通、综合协同，交通运输行业的服务品质和科学治理能力全面提升。

三、2035 年我国综合交通工程科技发展需求分析

（一）2035 年我国经济社会发展情景

综合交通运输作为经济社会发展的先导性、服务性行业，是社会经济活动的基础支柱和重要纽带。2035 年，我国庞大的经济规模和人口数量，需要与之相适应的交通运输供给能力；交通运输的服务品质和安全需求也需要随着生活质量的提高而提升到新的水平；严酷的节能环保需求将驱动综合交通系统的运行效能不断提升。

综合交通工程科技的不断进步，不仅将交通运输系统的效率、安全、节能、环保水平提升至一个新的高度，还将推动交通基础设施、载运工具、运营管理、运输与出行服务等产业的转型、升级和持续发展。

（二）面临的重大问题及其对综合交通工程科技的需求

展望 2035 年，我国综合国力持续提升，新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化的加速推进将带来旺盛的运输服务需求。综合交通工程科技发展面临的重大问题包括：协调组织多种运输方式，提升运行效率和服务品质；使交通系统要素协同运行，提升交通系统的安全水平，实现交通事故零死亡目标；降低交通运输的能耗与排放，降低交通系统对环境的影响。这些重大问题对综合交通工程领域的科技创新提出了新的重大需求。

（1）完善道路交通、轨道交通、水上交通及航空交通基础设施及综合枢纽，整合各交通系统优势资源，构建不同运输方式的最优组合，实现综合交通运输系统的协调组织和竞合发展，满足城市群、城市带、城镇化发展的交通运输需求。

（2）构建交通物联网技术体系，为客货运输提

供更完善的出行信息服务,满足旅客出行和物流运输的多样化、个性化和动态化需求,提升综合交通运营服务的协同能力。

(3) 提升载运工具的自动化、智能化和协同化运行水平,促进以无人驾驶、遥驾驶等为主要工具的空地一体化新型智能交通系统的建设与发展,增强交通事故的主动防控能力。

(4) 充分利用移动互联网、大数据技术、云计算平台对综合交通多元感知数据进行有效管理、分析、共享与应用,推进多种交通信息服务平台的对接和交通共享出行模式的建立,为公众提供精准、人性化的综合交通信息服务。

(5) 分析人口迁徙规律、公众出行需求、枢纽客流规模、运输工具行驶特征等,为优化综合交通运输设施规划与建设、安全运行控制、综合交通运输管理决策提供支撑,并采用一系列的技术与管理手段,持续降低交通系统能耗及对环境的不利影响。

四、我国综合交通工程科技技术预见与发展能力分析

“综合交通工程科技 2035 发展战略研究”项目组以院士专家研讨及德尔菲法为主线,以文献计量、专利分析等手段为技术支撑,在对综合交通工程科技发展趋势、领域重大科技需求、未来 5~20 年领域发展重点等进行系统研究的基础上,围绕综合运输组织与优化、综合运输协同服务、新一代综合交通系统三项重点任务梳理备选技术清单,组建具有广泛代表性的调查专家网络并进行了两轮德尔菲调查,凝练出显著影响综合交通工程科技发展的 8 项关键技术(见表 1)。

根据调查统计分析结果,我国综合交通工程科技领域技术发展方向的整体特征包括以下三个方面。

(1) 在技术核心性方面,如表 2 所示,协同式无人驾驶与运行优化技术排序较高,是衡量国家科研实力和工业化水平的重要标志,但技术本身与现有交通系统存在一定的非连续性。在技术通用性和带动性方面,综合交通大数据多元感知与实时协同处理技术、移动互联环境下的综合交通信息服务技术排序较高,表明该方向技术应用范围相对较广泛、交叉性较强,是综合交通工程科技各领域的共性技术,具有广泛的行业带动性。在经济和社会发展重要性方面,综合交通枢纽协同组织与运行优化技术排序较高,反映了综合运输服务体系与国计民生的紧密联系。此外,空地一体化无人智能交通系统技术直接关系到运载工具、基础设施、管理服务的发展,具有较高的保障国家与国防安全重要性的作用。

(2) 在实现时间方面,如图 1 所示(关键技术项序号对应表 1),我国综合交通工程科技领域关键技术的预期实现年份集中在 2025—2030 年,技术实现到社会实现的时间跨度平均约 2 年,整体技术实现时间晚于世界技术实现时间 3~5 年。

(3) 在技术发展水平与约束条件方面,美国在综合交通工程科技领域拥有领先的技术优势,其次为欧盟与日本。整体而言,研发投入、人才队伍及科技资源、工业基础能力、协调与合作是综合交通工程科技领域技术发展的主要制约因素(见图 2)。

五、我国综合交通工程科技发展的总体战略

(一) 发展思路

以引领新型城镇化的创新发展、适应区域协同

表 1 综合交通工程科技关键技术清单

重点任务	关键技术	
	序号	名称
综合运输组织与优化	1	综合交通枢纽协同组织与运行优化技术
	2	货物多式联运智能化技术
	3	旅客出行一体化技术
综合运输协同服务	4	综合交通大数据多元感知与实时协同处理技术
	5	移动互联环境下的综合交通信息服务技术
新一代综合交通系统	6	协同式无人驾驶与运行优化技术
	7	移动互联环境下遥驾驶与智慧运行技术
	8	空地一体化无人智能交通系统技术

表 2 综合交通工程科技关键技术重要性指数排序统计结果

关键技术项名称	核心性	通用性	带动性	非连续性	经济发展重要性	社会发展重要性	保障国家与国防安全重要性
综合交通枢纽协同组织与运行优化技术	6	3	6	6	1	2	7
货物多式联运智能化技术	7	6	8	7	3	3	6
旅客出行一体化技术	8	4	5	8	2	1	8
综合交通大数据多元感知与实时协同处理技术	2	2	1	4	4	4	5
移动互联环境下的综合交通信息服务技术	3	1	2	5	5	7	3
协同式无人驾驶与运行优化技术	1	7	3	2	6	5	4
移动互联环境下自动驾驶与智慧运行技术	5	8	7	3	8	8	2
空地一体化无人智能交通系统技术	4	5	4	1	7	6	1

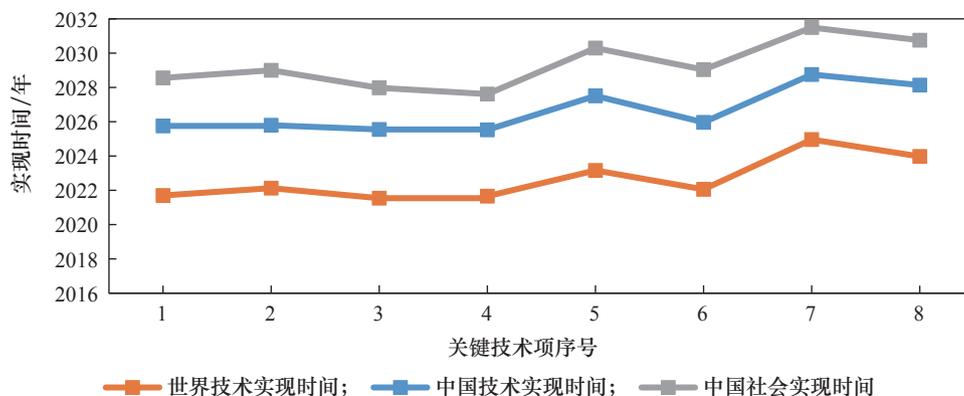


图 1 综合交通工程科技关键技术预期实现时间的比较分析

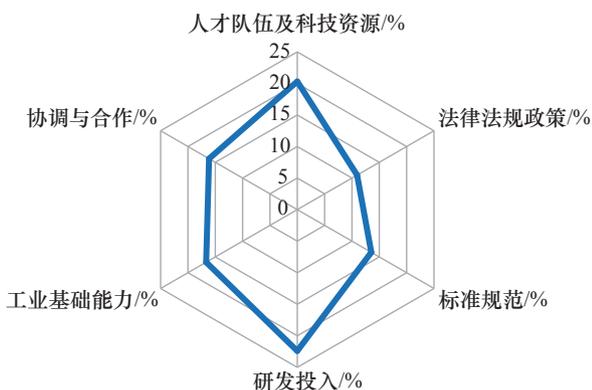


图 2 综合交通工程科技发展制约因素分析

发展模式的重大变革、落实生态绿色发展的重大责任、支撑国民经济可持续发展为战略定位，坚持“供需平衡、快捷舒适、协同服务、安全可靠、智能高效”的发展思路，以移动互联、交通大数据、云计算等技术为主要手段，以网联化、协同化、智慧化

为主要特征，以提升综合交通运输的协同运行水平、服务品质和主动安全保障能力为主要目标，实现我国综合交通工程科技的创新发展。

(二) 战略目标

1. 2025 年目标

综合交通运输实现较高度度的网联化、协同化和智慧化，基本建成空间布局合理、结构层次清晰、功能衔接顺畅的现代综合交通网络；各种交通方式分担比例合理，技术装备与国际先进水平同步；利用移动互联网、大数据、云计算、物联网等技术实现各种运输方式信息系统的互联互通，极大改善运输服务与信息服务。

2. 2035 年目标

网联化、协同化、智慧化的综合交通工程科技取得重大进展，交通基础设施和技术装备全面达到国际领先水平，多种运输方式协同组织与运行优化

趋于完善，形成一体化的综合交通服务体系，有力地支撑我国经济的增长和社会的进步；综合交通需求与供给基本平衡，交通拥堵得到有效缓解；各种交通运输方式实现信息共享，提供无缝衔接、高品质、差异化、智能化的综合信息服务。

六、我国综合交通工程科技重点任务与发展路径

（一）发展目标

“协同运行”与“智慧服务”为综合交通工程科技 2035 发展战略的目标，“综合运输组织与优化”“综合运输协同服务”“新一代综合交通系统”为综合交通工程科技 2035 的重点任务。

（二）重点任务及发展路线

综合交通工程科技 2035 的重点任务包括以下三个方面。

1. 综合运输组织与优化

未来 20 年仍是我国城镇化、机动化的快速发展期，交通运输需求仍会持续增长。为解决供需矛盾问题，需要重点研究综合交通枢纽协同组织与运

行优化、货物多式联运智能化、旅客出行一体化等技术，提高综合交通运输的效能。

2. 综合运输协同服务

不断提升服务品质，是综合交通运输发展的主要目标之一。应以大数据和移动互联技术为支撑，提高数据和信息的辅助决策能力，提升综合运输服务品质。重点研究综合交通大数据的多元感知与实时协同处理、移动互联环境下的综合交通信息服务等技术，提升综合运输的服务品质。

3. 新一代综合交通系统

随着科技的进步和智能交通的快速发展，网联技术、无人驾驶技术将成为未来交通的支撑，并将建立起空地一体化的新型立体交通系统。重点研究协同式无人驾驶与运行优化、移动互联环境下遥驾驶与智慧运行、空地一体化无人智能交通系统等技术，提升综合运输的智能化与安全水平。

综合交通工程科技 2035 总体技术发展路线如图 3 所示。

七、需要优先部署的基础研究方向

面向综合交通工程科技 2035 的发展趋势及重点

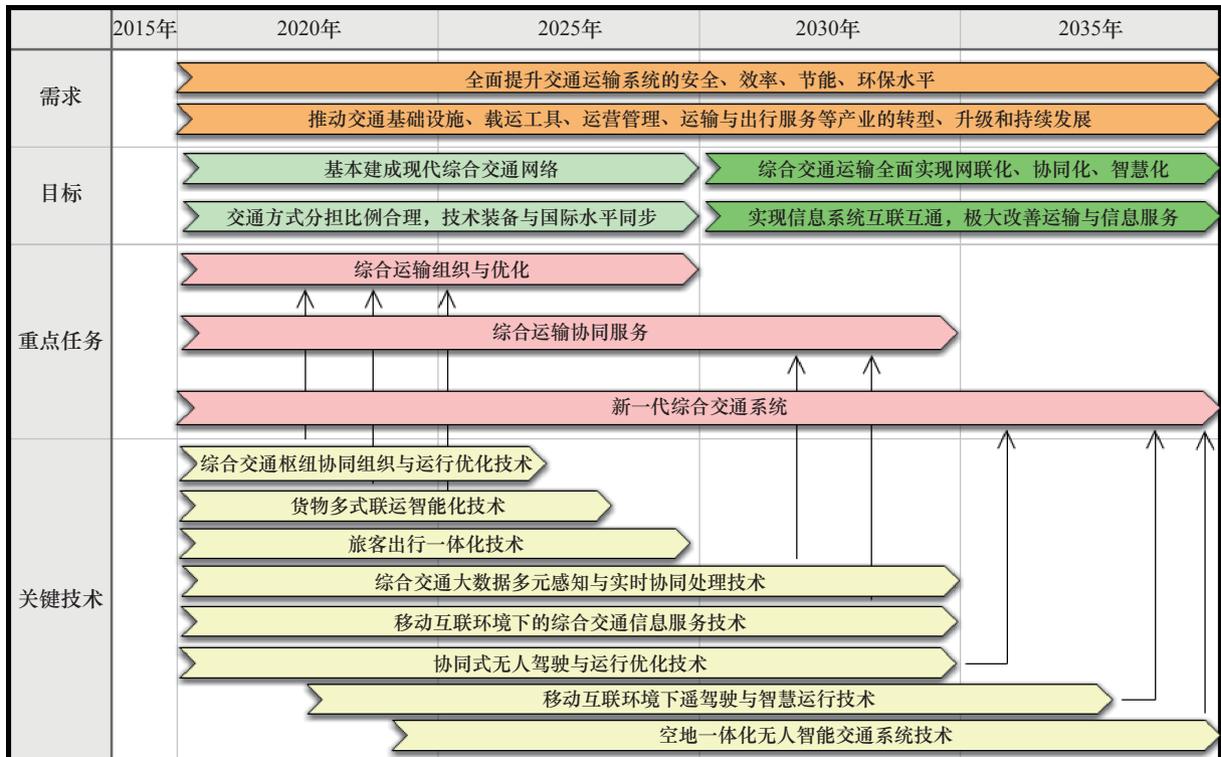


图 3 综合交通工程科技 2035 总体技术发展路线

任务，需要加强对支撑工程科技未来发展的基础研究方向的研究。基于技术突破和共性技术研发的需求，经过广泛征集意见并组织专家研讨，综合交通工程科技发展需要优先部署的基础研究包括以下三个方向。

（一）综合交通系统供需平衡机理

主要研究方向包括综合交通网络拓扑机制与动力学问题，移动互联环境下综合交通系统供需平衡的理论与方法，大数据背景下多模式时空动态交通行为分析与需求引导。

（二）交通行为与驾驶行为机理

主要研究方向包括车路协同环境下的驾驶心理与驾驶行为，人机共驾环境下的交通流理论重构与多分辨率建模仿真，人车路耦合机理与车辆协同控制，无人驾驶汽车出行共享的组织与优化。

（三）综合交通运输系统协调运行与决策优化

主要研究方向包括多尺度综合交通枢纽协同运行与组织优化方法，空天地一体化网络构建与高可靠综合交通信息交互，智能网联汽车信息安全防护理论与方法，网联条件下的新一代交通信号优化理论与方法。

八、移动互联综合交通系统重大工程

（一）需求与必要性

国家提出的“一带一路”“京津冀协同发展”“长江经济带”等重大发展战略均将交通运输作为先行领域。国务院在关于积极推进“互联网+”行动的指导意见中更是明确提出了“互联网+”高效物流、“互联网+”便捷交通两大重点行动。上述战略的实施对综合交通系统提出了更高的要求，在移动互联新形势下，亟须借助“互联网+”的理念，开展移动互联综合交通系统工程建设，尽快实现我国综合交通工程科技向网联化、协同化、智慧化方向发展的重大目标。

（二）工程任务

依托移动互联环境，构建综合交通大数据系统、出行与物流运输综合服务系统、综合交通管控系统，

重塑综合交通协同服务与管控体系。

突破跨域全时综合交通大数据高效获取与安全管理、综合交通大数据关联与挖掘等关键技术，建设涵盖公路、铁路、航空、水路四种交通运输方式，覆盖主要交通基础设施、所有载运工具的交通物联网感知体系，建立综合交通大数据系统。

突破综合交通系统运行状态辨识与出行智慧决策、多交通方式协同服务等关键技术，建设跨交通方式、跨区域、跨国界的出行与物流运输协同服务体系，构建出行与物流运输的综合服务系统。

突破跨区域交通系统协同优化与高效组织、综合交通系统运行安全与应急保障等关键技术，建设跨交通方式、跨区域的综合交通协同管控设施，构建多层级的综合交通管控系统。

（三）工程目标与效果

到 2025 年，形成综合交通大数据系统、出行与物流运输综合服务系统，移动互联终端实时获取精准交通动态信息，交通基础设施、载运工具、运行信息等实现互联网化，有效支撑高效物流与便捷出行协同服务。综合运输费用占社会物流总费用比重降低至 51%，客运换乘效率提升 8%，货运换装效率提升 50%，综合运输能耗占比不超过 20%，大城市高峰期出行时间缩短 5%，重特大交通事故起数下降 20%。

到 2035 年，形成跨交通方式、跨区域的综合交通管控系统，多交通方式之间实现互联互通、协同管控，综合交通运输管控智能化水平全面提升。综合运输费用占社会物流总费用比重降低至 50%，客运换乘效率提升 10%，货运换装效率提升 60%，综合运输能耗占比不超过 18%，大城市高峰期出行时间缩短 10%，重特大交通事故起数下降 30%。

九、无人驾驶交通系统重大工程科技专项

（一）需求与必要性

信息技术、人工智能、无线通信技术与交通运输的深度融合，带来了交通系统的革命性变化。无人驾驶载运工具正成为新兴技术集中应用和测试的载体，对新技术革命产生了重大推动力，也将成为新一代交通系统最显著的代际特征。开展无人

驾驶交通系统研究,既是推动新一代交通系统革新的需要,也是推动技术进步和培育战略高科技产业的需要。

(二) 关键技术攻关任务与路线

无人驾驶交通系统的关键技术攻关任务包括:载运工具无人化驾驶技术、基础设施结构化与数字化技术、天临空地一体化交通信息网技术、网络化无人驾驶交通协同运行技术。

2016—2025年:开展载运工具无人化驾驶、基础设施结构化与数字化、天临空地一体化交通信息网等技术的研发,为无人驾驶交通系统的构建提供基础。

2020—2030年:推进同一交通方式协同运行技术的研发,实现同一交通方式内的网络化协同运行。

2025—2035年:推进跨交通方式的交通协同运行技术的研发,构建空地协同的无人立体化物流集成示范应用系统。

(三) 目标与标志性成果

到2025年,无人驾驶汽车、无人驾驶列车、无人驾驶船舶、无人机等载运工具大量应用,具有高度或完全自动辅助驾驶系统的无人驾驶载运工具的市场渗透率超过25%;适应无人驾驶的交通基础设施结构化和数字化基本实现;建成跨层、跨区、跨方式交互,高可靠、低延时的天临空地一体化交通信息网络;一体化的综合交通信息智能化服务平台得到广泛应用。

到2035年,建成具备同一交通方式网络化协

同运行功能的无人驾驶交通系统,其中具有高度或完全自动辅助驾驶系统的无人驾驶载运工具的市场渗透率超过50%;车路协同、船岸协同等技术广泛应用;建成以无人机和无人车为载体的无人立体化物流系统,实现跨交通方式的网络化协同运行技术的示范应用。

参考文献

- [1] 美国联邦交通咨询委员会. 2050年远景: 美国综合运输系统 [R]. 华盛顿: 美国联邦交通咨询委员会, 2001.
Federal Transportation Advisory Group (FTAG) of United States. Vision 2050: an integrated national transportation system [R]. Washington DC: FTAG, 2001.
- [2] 欧盟移动与运输总署. 交通白皮书 [R]. 布鲁塞尔: 欧盟移动与运输总署, 2011.
European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport. White paper on transport [R]. Brussels: European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, 2011.
- [3] 德国联邦交通、建设与住房部. 联邦交通网发展规划 [R]. 柏林: 德国联邦交通、建设与住房部, 2003.
Federal Ministry of Transport, Building and Housing. Federal transport infrastructure plan [R]. Berlin: Federal Ministry of Transport, Building and Housing, 2003.
- [4] 日本国土交通省. 综合交通政策体系 [R]. 东京: 日本国土交通省, 2012.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). Integrated transport policy system [R]. Tokyo: MLIT, 2012.
- [5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 综合交通网中长期发展规划 [R]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2007.
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Comprehensive transportation network medium and long-term development plan [R]. Beijing: National Development and Reform Commission of the People's Republic of China, 2007.