

## 内容简介

《交通工程建设与管理》立足交通强国建设战略背景，系统梳理交通工程领域的核心理论、关键技术与实践路径，全面覆盖交通工程建设与管理的全生命周期流程。本书以交通工程的高质量发展为核心导向，构建了“建设基础－技术创新－管理体系－发展趋势”的完整内容框架，为交通工程领域的从业人员、科研人员及相关专业学习者提供权威、实用的知识指引。

在建设维度，本书聚焦综合交通体系构建，详细阐述公路、铁路、水路、民航等多元交通方式的规划布局与建设技术，重点解析综合交通枢纽的设计理念与建设要点，深入探讨交通基础设施绿色化、智能化建设路径，涵盖环保材料应用、装配式建造技术、智慧交通设施集成等关键内容，凸显交通建设与生态环境的协调共生。

在管理维度，本书构建了全流程管理体系，涵盖交通投融资管理、项目建设管理、运营监管等核心环节。其中，投融资部分解析政府主导、市场参与、政社合作等多元投融资模式及风险防控机制；建设管理部分聚焦项目审批、质量管控、安全监管等关键流程；运营管理部分则围绕交通流量调度、服务质量提升、设施养护维护等内容展开，同时融入交通政策法规、标准规范等管理依据，强化管理的规范性与科学性。

本书特别关注行业发展前沿，专章探讨智慧交通系统、绿色交通发展、交通可持续发展等趋势性内容，深入分析自动驾驶、车路协同、大数据应用等新技术在交通工程中的融合实践，解读绿色低碳交通技术推广、多式联运协同等创新模式的实施策略。全书兼顾理论深度与实践指导性，融合大量典型案例，既总结交通工程建设与管理的成熟经验，也展望行业未来发展方向，助力推动交通工程领域的质量变革、效率变革与动力变革，为构建安全、高效、绿色、智能的现代综合交通体系提供理论与实践支撑。

交通工程建设与管理  
Transportation Engineering Construction and Management

唐德才 著

# Transportation Engineering Construction and Management

## 交通工程建设与管理

唐德才 著

## 作者简介



唐德才，男，藏族，甘肃肃南人，中共党员、本科学历，高级工程师职称。1978年2月出生，2000年3月参加工作，一直在肃南县交通运输局县乡公路管理站工作至今，2000年1月毕业于甘肃省交通学校（公路与桥梁专业）、2004年函授毕业于重庆交通学院（交通运输管理高等级公路管理专业）、2010年函授毕业于重庆交通学院（工程管理专业）。主要从事公路工程施工图测量、设计、概预算编制，项目管理、施工、监理、农村公路养护，招投标评标专家等工作25年。现为肃南县县乡公路管理站专业技术人员。2012年10月22日被肃南县人民政府聘任为县乡公路管理站副站长，2017年5月26日至2022年6月13日被肃南县人民政府聘任为县乡公路管理站站长（正科级），2016年6月当选为肃南裕固族自治县第十八届人民代表大会代表，2018年2月被肃南裕固族自治县组织部和肃南裕固族自治县人力和社会保障局局命为“肃南县2018-2020年度县管拔尖人才（第二层次）”，2019年3月取得高级工程师任职资格。2021年5月当选为肃南裕固族自治县第十九届人民代表大会代表。2021年5月21日被评为肃南裕固族自治县第十八届优秀人大代表。



Transportation Engineering Construction and Management

# 交通工程建设与管理

唐德才 著



International  
Union of Scientific and  
Technological Scholars

## CIP INFORMATION

---

Title: Transportation Engineering Construction and Management

题目：交通工程建设与管理

Author: Dercai Tang

作者：唐德才

ISBN: 979-8-90040-053-2

Publisher: CYPEDIA INTERNATIONAL UNION OF SCIENTIFIC AND  
TECHNOLOGICAL SCHOLARS

Price: \$60.00

定价：60 美金



**International  
Union of Scientific and  
Technological Scholars**

**Transportation Engineering Construction and Management**  
**交通工程建设与管理**

---

Address: 100 N Howard St Ste R, Spokane, Wa, 99201. United States

Tel: +888-754-5177

Email: [contact@cypedia.net](mailto:contact@cypedia.net)

Format: 170mmx240mm 1/16 Sheets: 13.25

Word Counts: 200.000

Edition: First edition in March 2026

Printing: First printing in March 2026

**CYPEDIA INTERNATIONAL UNION OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL  
SCHOLARS**

非开放获取·电子版请联络出版社购买·版权归出版社所有·侵权必究

Not Open Access. For the electronic version, please contact the publisher for purchase. The copyright belongs to the publisher.  
Infringement will be prosecuted.

随着交通强国战略的深入推进，交通工程作为国家基础设施的骨干支撑与区域经济社会发展的联结纽带，在技术创新与制度改革的双重驱动下正经历深刻变革。如今，交通工程发展已不再局限于规模的简单扩张与里程的提升，而是迈入以高质量发展为核心的新阶段，这对建设的科学性、管理的精细化、技术的创新性与发展的可持续性提出了更高要求。在此背景下，编撰《交通工程建设与管理》，系统梳理交通工程建设与管理的理论体系、技术成果与实践经验，探索行业发展方向，对于指导交通工程实践、推动交通运输行业高质量发展具有重要的现实意义与理论价值。

交通工程是一门融合工程技术、管理科学、信息技术、环境科学等多个领域的综合性学科，其建设与管理涉及内容广泛、环节复杂、专业性极强。在实践过程中，我们面临诸多挑战：如何统筹公路、铁路、水路、民航等多种交通方式布局，构建高效顺畅的综合交通体系；如何推进交通基础设施绿色化、智能化转型，实现交通发展与生态环境协调共生；如何完善投融资机制，保障交通项目资金可持续供给；如何运用大数据、人工智能、自动驾驶等新技术优化交通运营管理，提升公众出行服务水平。这些问题均需要通过整合理论与实践探索，提供系统、专业的解决方案。

本书秉持“以实践为根基、以创新为导向、以应用为目标”的理念，围绕交通工程建设与管理的全生命周期构建完整内容体系。全书分为建设基础、技术创新、管理体系、发展趋势四大核心模块。建设基础部分聚焦综合交通系统规划设计、各类交通基础设施建设技术及综合交通枢纽建设，详细阐述绿色低碳建设的关键技术与实施路径，为交通工程规范化建设提供坚实技术支撑。技术创新部分聚焦交通工程领域前沿技术，如智慧交通系统、车路协同、新能源交通装备等，分析新技术与交通工程的融合应用场景，体现行业发展的前瞻性。

管理体系部分构建涵盖交通投融资管理、项目建设管理、运营监管的全流程管理框架，系统解读多元化投融资模式与风险防控机制，明确项目质量管控、安全监管、进度管理的关键环节与管理要求，并融入相关交通政策法规与标准规范，保障管理的规范化与科学性。发展趋势

部分深入探讨绿色交通、可持续交通、智慧交通等交通工程发展方向，结合国家战略要求与行业发展实践，展望交通运输行业未来发展格局，为交通工程长远规划提供参考。

在本书编撰过程中，作者团队结合自身丰富的交通工程实践经验与理论研究积累，梳理了大量国内外典型案例与最新技术成果，力求实现理论深度与实践指导性的统一。全书内容详实系统、逻辑清晰、语言简洁专业，既总结了交通工程建设与管理的成熟经验，也聚焦行业发展中出现的新形势、新问题展开探索。本书可为从事交通工程建设、管理、运营的从业人员提供实践指导，也可作为高等院校相关专业师生的参考用书。

限于作者水平，书中难免存在疏漏及不妥之处，敬请读者批评指正。

——作者

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第一章 交通工程概论 .....    | 1   |
| 第一节 交通工程基本概念 .....  | 1   |
| 第二节 交通工程发展历程 .....  | 6   |
| 第三节 交通工程学科体系 .....  | 14  |
| 第四节 交通工程研究方法 .....  | 20  |
| 第二章 交通规划理论与方法 ..... | 29  |
| 第一节 交通需求预测 .....    | 29  |
| 第二节 交通网络规划 .....    | 35  |
| 第三节 土地利用与交通协调 ..... | 43  |
| 第四节 交通规划评价体系 .....  | 50  |
| 第三章 道路工程设计 .....    | 57  |
| 第一节 道路几何设计 .....    | 57  |
| 第二节 交叉口设计 .....     | 63  |
| 第三节 道路排水设计 .....    | 72  |
| 第四节 道路景观设计 .....    | 78  |
| 第五节 道路安全设计 .....    | 83  |
| 第四章 交通设施建设 .....    | 91  |
| 第一节 路基路面工程 .....    | 91  |
| 第二节 桥梁隧道工程 .....    | 96  |
| 第三节 交通标志标线 .....    | 103 |
| 第四节 交通安全设施 .....    | 110 |
| 第五节 智能交通设施 .....    | 117 |
| 第五章 交通运营管理 .....    | 125 |
| 第一节 交通组织优化 .....    | 125 |
| 第二节 交通信号控制 .....    | 131 |
| 第三节 公共交通管理 .....    | 137 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第四节 停车设施管理 .....   | 142 |
| 第五节 交通应急管理 .....   | 150 |
| 第六章 交通系统评价 .....   | 157 |
| 第一节 交通效率评价 .....   | 157 |
| 第二节 交通安全评价 .....   | 159 |
| 第三节 交通环境评价 .....   | 164 |
| 第四节 交通经济评价 .....   | 169 |
| 第七章 交通政策法规 .....   | 175 |
| 第一节 交通管理体制 .....   | 175 |
| 第二节 交通法规体系 .....   | 178 |
| 第三节 交通标准规范 .....   | 181 |
| 第四节 交通投融资政策 .....  | 184 |
| 第五节 交通科技创新政策 ..... | 188 |
| 第八章 交通工程发展趋势 ..... | 193 |
| 第一节 智慧交通系统 .....   | 193 |
| 第二节 绿色交通发展 .....   | 195 |
| 第三节 综合交通体系 .....   | 197 |
| 第四节 交通可持续发展 .....  | 200 |
| 参考文献 .....         | 203 |

# 第一章 交通工程概论

## 第一节 交通工程基本概念

### 一、交通工程的定义

#### （一）核心定义阐释

交通工程是一门融合了土木工程、交通运输、管理学、经济学、心理学、计算机科学等多学科知识的综合性应用学科。其核心内涵在于通过对交通系统的规划、设计、建设、运营、管理与优化，实现交通流的安全、高效、便捷、环保运行，满足社会经济发展与人民群众出行需求。从本质而言，交通工程以“人-车-路-环境-管理”五要素构成的交通系统为研究对象，聚焦各要素间的相互作用机制，运用科学理论与技术手段解决交通领域的各类问题，是支撑现代社会运转的重要基础性学科。

交通工程的定义具有鲜明的时代性与实践性。早期交通工程聚焦于道路等基础设施的建设与维护，随着交通需求的增长与技术的进步，其研究范畴逐步拓展至交通流理论、交通规划、交通管理、智能交通等多个领域。在当代，随着城市化进程加速与机动车保有量激增，交通拥堵、交通事故、交通污染等问题日益凸显，交通工程的定义进一步丰富，强调通过系统优化与智能管控实现交通可持续发展，兼顾效率与公平、经济发展与生态保护的平衡。

#### （二）与相关学科的边界界定

交通工程与土木工程联系紧密，二者均涉及交通基础设施的建设，但土木工程更侧重道路、桥梁、隧道等结构的设计、施工与养护，关注结构安全与工程质量；交通工程则以基础设施为载体，聚焦交通流的运行规律与系统优化，研究如何通过设施布局、信号控制等手段提升交通运行效率。例如，在道路建设项目中，土木工程负责道路的线形设计、路基路面施工，交通工程则负责车道划分、交通标志标线设置、交叉口信号配时等后续优化工作。

与交通运输规划相比，交通工程的研究范畴更为宽泛。交通运输规划侧重从

宏观层面制定交通发展战略、规划交通网络布局，明确交通基础设施的建设方向与规模；交通工程则涵盖宏观规划、中观设计、微观运营等多个层面，既为交通规划提供理论支撑与数据依据，也负责规划方案的落地实施与运营优化。二者的核心区别在于，交通运输规划偏向“顶层设计”，交通工程偏向“落地执行与动态优化”。

交通工程与管理学、心理学的融合形成了交通管理与控制的重要分支。管理学的理论与方法为交通资源的合理配置、交通政策的制定与实施提供支撑；心理学则助力研究驾驶员、行人的交通行为特征，为交通设施设计、交通宣传教育提供依据。此外，交通工程与计算机科学、电子信息工程的结合催生了智能交通系统，通过大数据、人工智能、物联网等技术实现交通流的实时监测与智能调控，这也是当代交通工程发展的核心方向之一。

## 二、交通工程的研究对象

### （一）人：交通参与者的行为特征

交通参与者是交通系统的核心要素，包括驾驶员、行人、骑行者等，其行为特征直接影响交通系统的运行效率与安全性。交通工程对“人”的研究主要聚焦于交通行为的产生机制、影响因素及调控方法。从生理层面，研究驾驶员的视觉特性、反应时间、疲劳程度等对驾驶行为的影响，例如驾驶员在夜间或恶劣天气下的视觉敏锐度下降，易导致反应延迟，进而增加交通事故风险；从心理层面，分析驾驶员的情绪状态、风险认知、驾驶习惯等心理因素与交通行为的关联，如急躁情绪易引发超速、闯红灯等危险驾驶行为；从群体层面，探讨不同年龄段、性别、驾驶经验的交通参与者的行为差异，为交通设施设计与交通管理政策制定提供针对性依据。<sup>①</sup>

此外，交通工程还关注交通参与者的出行需求特征，包括出行目的、出行时间、出行方式选择等。通过对出行需求的调研与分析，明确不同区域、不同时段的交通流量分布规律，为交通规划与运营优化提供基础数据。例如，城市中心区域早晚高峰时段通勤出行需求集中，易形成交通拥堵，交通工程通过优化公交系统、实施错峰出行政策等手段调控出行需求，缓解拥堵问题。

---

<sup>①</sup> 徐祥. 交通工程施工建设管理的创新变革与智能化趋势研究 [J]. 科技与创新, 2025, (23): 167-169.

## （二）车：交通工具的性能与运行特性

交通工具是交通流的载体，其性能与运行特性对交通系统的运行效率、安全性与环保性具有重要影响。交通工程对“车”的研究涵盖车辆的技术性能、运行规律及对交通流的影响等方面。在技术性能方面，研究车辆的动力性能、制动性能、操纵稳定性等指标，这些指标直接决定了车辆在不同道路条件下的运行能力，例如制动性能良好的车辆能有效缩短制动距离，降低追尾事故风险；在运行特性方面，分析车辆在行驶过程中的跟驰行为、超车行为、停车行为等，建立车辆运行模型，为交通流理论研究与交通仿真提供基础。

随着新能源汽车与智能网联汽车的发展，交通工程对“车”的研究范畴进一步拓展。新能源汽车的续航里程、充电需求等特性对交通基础设施的配套建设提出了新要求，交通工程需研究充电站的布局规划、充电设施与电网的协同运行等问题；智能网联汽车的自动驾驶技术、车路协同能力等改变了传统交通流的运行模式，交通工程需探索智能车辆与传统车辆混行场景下的交通流规律，制定适配的交通管理政策与技术标准。

## （三）路：交通基础设施的布局与功能

交通基础设施是交通系统运行的基础保障，主要包括道路、桥梁、隧道、交叉口、停车场、公交站台等，其布局合理性与功能完善性直接影响交通系统的运行效率。交通工程对“路”的研究主要包括交通基础设施的规划布局、设计优化、建设质量控制与养护管理等方面。在规划布局层面，根据区域交通需求与土地利用规划，合理规划道路网络结构，明确不同等级道路的功能定位，实现交通流量的合理分配；在设计优化层面，优化道路线形、车道宽度、交叉口形式等设计参数，提升道路的通行能力与安全性，例如采用渠化设计优化交叉口交通组织，减少交通冲突点；在养护管理层面，建立交通基础设施的性能监测体系，及时发现并修复设施损坏问题，保障设施的正常运行，延长使用寿命。

此外，交通工程还关注交通基础设施与周边环境的协调发展。在道路建设过程中，需考虑对生态环境、居民生活的影响，通过采用降噪、防尘、绿化等措施，降低交通基础设施建设与运营对环境的负面影响；同时，结合城市景观设计，提升交通基础设施的美观性与人文性，实现功能性与舒适性的统一。

## （四）环境：交通系统与外部环境的相互作用

交通系统的运行与外部环境存在密切的相互作用，环境因素既会影响交通系

统的运行状态，交通系统也会对环境产生显著影响。交通工程对“环境”的研究主要包括自然环境、社会环境与交通系统的相互影响及调控措施。自然环境方面，研究气象条件（如暴雨、暴雪、大雾、高温）、地质条件（如山区、丘陵、平原）对交通运行的影响，制定针对性的交通应急预案，保障恶劣环境下的交通安全；例如，大雾天气下能见度降低，需通过交通管制、信息发布等手段引导车辆有序通行，减少交通事故。

社会环境方面，分析交通系统与城市发展、居民生活的相互关系。交通系统的完善能促进城市空间拓展与区域经济联系，提升居民出行便利性；但同时，交通拥堵、交通噪声、尾气排放等问题也会影响居民生活质量与城市生态环境。交通工程通过优化交通结构、推广绿色出行、实施交通污染治理等措施，实现交通系统与社会环境的协调发展。此外，交通工程还关注交通文化、交通法规等社会因素对交通参与者行为的影响，通过加强交通宣传教育、完善交通法规体系，引导交通参与者形成文明出行习惯。

#### **（五）管理：交通系统的调控与优化机制**

交通管理是保障交通系统有序、高效运行的核心手段，其核心目标是通过制定交通政策、实施交通管制、优化交通组织等方式，协调“人-车-路-环境”各要素之间的关系，提升交通系统的运行效率与安全性。交通工程对“管理”的研究涵盖交通管理政策制定、交通组织优化、交通信号控制、交通执法监管、交通信息服务等多个方面。在交通管理政策方面，研究交通限行、停车收费、公交优先等政策的实施效果与优化方案，通过政策引导调节交通需求与交通流量分布；在交通组织优化方面，针对不同路段、交叉口的交通运行特征，制定合理的交通组织方案，如单向交通组织、潮汐车道、公交专用道等，提升道路通行能力；在交通信号控制方面，研究交通信号的配时优化方法，实现不同方向、不同时段交通流量的精准调控，减少车辆延误。

随着智能交通技术的发展，交通管理正逐步向智能化、精细化方向转型。交通工程通过整合大数据、人工智能、物联网等技术，构建智能交通管理平台，实现交通流的实时监测、精准预测与智能调控；同时，通过提供个性化的交通信息服务，引导交通参与者合理规划出行路线，提升出行体验。此外，交通工程还关注交通管理体制的优化，推动跨区域、跨部门的交通协同管理，提升交通管理的效率与覆盖面。

### 三、交通工程的核心任务

#### （一）保障交通安全

交通安全是交通工程的首要任务，其核心目标是减少交通事故的发生频率与严重程度，保障交通参与者的生命财产安全。交通工程通过多维度措施保障交通安全：在交通设施设计层面，优化道路线形、交叉口形式、交通标志标线等，减少交通冲突点，提升道路的安全性；在交通流管理层面，通过交通信号控制、车速限制、交通管制等手段，规范交通流运行秩序，降低车辆行驶风险；在交通参与者管理层面，加强交通宣传教育，提升交通参与者的安全意识与守法意识，同时通过驾驶员培训、资质审核等方式，保障驾驶员的驾驶能力；在技术防控层面，推广应用智能交通监控系统、疲劳驾驶监测系统、碰撞预警系统等技术手段，实现交通事故的提前预警与快速处置。

此外，交通工程还关注交通事故的调查与分析，通过对事故原因、事故类型、事故分布规律的研究，总结经验教训，为交通设施优化、交通管理政策调整提供依据。同时，建立健全交通事故应急救援体系，提升事故救援的响应速度与处置效率，最大限度降低事故造成的损失。

#### （二）提升交通效率

提升交通效率是交通工程的核心目标之一，旨在通过优化交通系统设计与运营管理，减少车辆延误，提高道路通行能力，缩短出行时间。交通工程提升交通效率的措施主要包括：在交通规划层面，合理规划道路网络布局，完善公共交通系统，构建多模式一体化的综合交通体系，实现交通流量的合理分配；在交通组织优化层面，采用单向交通、潮汐车道、渠化交叉口等交通组织方式，提升道路的通行能力；在交通信号控制层面，运用自适应信号控制、协同信号控制等先进技术，实现交通信号的精准调控，减少车辆在交叉口的延误；在智能交通应用层面，通过交通大数据分析实现交通流量预测，为交通管理决策提供支撑，同时为交通参与者提供实时交通信息服务，引导其合理选择出行路线与出行方式。

针对城市交通拥堵这一突出问题，交通工程还探索实施了一系列针对性措施，如发展公共交通、推广绿色出行、实施交通需求管理、推进交通基础设施智能化升级等，通过多种手段缓解交通拥堵，提升城市交通运行效率。

### （三）促进交通可持续发展

交通可持续发展是当代交通工程的重要任务，强调在满足当前交通需求的同时，兼顾经济发展、生态保护与社会公平，实现交通系统的长期稳定发展。交通工程促进交通可持续发展的核心措施包括：优化交通结构，大力发展公共交通、步行、骑行等绿色出行方式，减少机动车出行比例，降低交通能源消耗与尾气排放；推广应用新能源交通工具与节能技术，提升交通系统的能源利用效率，减少对传统化石能源的依赖；加强交通污染治理，通过尾气净化、噪声防护、绿化隔离等措施，降低交通系统对环境的污染；合理规划交通基础设施建设，避免过度建设造成的资源浪费，同时注重交通基础设施与土地利用的协同发展，提升土地利用效率；建立健全交通可持续发展评价体系，对交通系统的经济、社会、环境效益进行综合评估，为交通规划与管理决策提供科学依据。

### （四）完善综合交通体系

完善综合交通体系是交通工程的重要任务，旨在构建由公路、铁路、水路、航空、管道等多种交通方式组成的一体化交通网络，实现不同交通方式之间的无缝衔接与高效换乘，提升交通系统的整体服务水平。交通工程在完善综合交通体系中的作用主要体现在：在规划层面，统筹协调各种交通方式的发展，明确不同交通方式的功能定位与发展重点，实现交通网络的合理布局与优势互补；在基础设施建设层面，加强综合交通枢纽的规划与建设，完善枢纽内部的换乘设施与交通组织，提升不同交通方式之间的换乘效率；在运营管理层面，推动不同交通方式之间的运营协同，实现票务一体化、信息共享化，提升交通服务的便捷性；在政策保障层面，制定有利于综合交通体系发展的政策措施，打破行业壁垒，促进跨部门、跨区域的交通协同发展。

## 第二节 交通工程发展历程

### 一、萌芽阶段（19 世纪末 –20 世纪初）

#### （一）时代背景与交通需求

19 世纪末至 20 世纪初，工业革命在全球范围内逐步推进，城市化进程开始加速，大量人口从农村向城市聚集，城市规模不断扩大。与此同时，蒸汽机、内

燃机等技术的发明与应用，推动了交通工具的革新，蒸汽机车、汽车、电车等新型交通工具逐步出现并投入使用。交通需求的快速增长与交通工具的多样化，使得传统的交通管理方式难以适应，交通拥堵、交通事故等问题开始显现，为交通工程的萌芽提供了现实需求。

这一时期，西方发达国家率先进入工业革命后期，城市交通问题更为突出。例如，英国伦敦、美国纽约等大城市，随着汽车保有量的增加，道路通行秩序混乱，交通事故频发，迫切需要相关理论与技术来解决交通问题。同时，公路、铁路等交通基础设施的建设逐步推进，需要科学的规划与设计方法来保障设施的通行能力与安全性，这些需求共同推动了交通工程学科的萌芽。

### （二）核心成果与发展特征

这一阶段交通工程的核心成果主要集中在交通基础设施的初步规划与建设，以及简单交通管理措施的应用。在交通基础设施建设方面，西方发达国家开始大规模建设公路与城市道路，道路建设技术逐步提升，出现了沥青路面、混凝土路面等新型路面结构，提升了道路的承载能力与通行舒适性；同时，铁路建设也进入快速发展期，形成了初步的铁路交通网络，促进了区域间的交通联系。

在交通管理方面，为规范交通运行秩序，开始出现简单的交通标志与交通信号。1868年，英国伦敦在威斯敏斯特议会大厦前安装了世界上第一盏煤气交通信号灯，用于控制马车的通行；20世纪初，美国、德国等国家开始在城市道路上设置交通标志，明确道路的通行规则。此外，一些学者开始关注交通流量的运行规律，进行了简单的交通流量调查与分析，为后续交通流理论的发展奠定了基础。

这一阶段交通工程的发展特征主要表现为：研究范畴较为狭窄，主要聚焦于交通基础设施的建设与简单交通管理措施的应用；尚未形成系统的学科理论体系，研究方法以经验总结为主；学科边界不清晰，与土木工程、交通运输等学科相互交织，尚未成为一门独立的学科。

## 二、形成阶段（20世纪20年代-20世纪50年代）

### （一）时代背景与交通需求

20世纪20年代至50年代，全球经济逐步复苏并快速发展，城市化进程进一步加快，城市人口持续增长，机动车保有量呈现爆发式增长。尤其是在第二次

世界大战后，西方发达国家进入经济快速发展期，汽车工业迅速崛起，私人汽车逐步普及，城市交通需求急剧增加。交通拥堵、交通事故等问题日益严重，传统的交通基础设施建设与交通管理方式已无法满足交通需求，迫切需要建立系统的交通工程理论体系与技术方法来解决交通问题。

这一时期，交通基础设施的建设规模不断扩大，公路、铁路、城市道路等基础设施网络逐步完善，但交通供需矛盾依然突出。同时，随着航空、水路交通的发展，综合交通体系的雏形开始形成，不同交通方式之间的协调发展问题也开始受到关注。这些需求推动了交通工程学科快速发展，使其逐步从土木工程、交通运输等学科中分离出来，成为一门独立的学科。

## （二）核心成果与发展特征

这一阶段交通工程的核心成果主要包括交通流理论的初步形成、交通规划方法的建立、交通管理技术的发展等方面。在交通流理论方面，学者们开始对交通流的运行规律进行系统研究，提出了一系列经典的交通流模型。例如，1933年，美国学者格林希尔兹（Bruce D. Greenshields）提出了车速-密度线性关系模型，首次揭示了交通流中车速、密度、流量三个核心参数之间的关系，为交通流理论的发展奠定了基础；随后，学者们又提出了跟驰理论、排队论等重要理论，为交通管理与控制提供了科学依据。

在交通规划方面，西方发达国家开始开展系统性的城市交通规划工作，提出了“四阶段法”交通规划模型，即交通生成、交通分布、交通方式划分、交通分配四个阶段，为城市交通规划提供了标准化的方法与流程。这一时期，美国、英国等国家先后编制了多个城市的交通规划方案，推动了城市交通基础设施的有序建设与交通系统的优化升级。

在交通管理与控制方面，交通信号控制技术得到了快速发展，出现了机械式交通信号控制器、电动式交通信号控制器等新型设备，实现了交通信号的自动化控制；同时，交通标志标线的标准化工作逐步推进，各国开始制定统一的交通标志标线规范，提升了交通管理的规范性与有效性。此外，交通工程的研究机构与学术团体开始出现，1930年，美国成立了交通工程师协会（ITE），标志着交通工程学科正式成为一门独立的学科。

这一阶段交通工程的发展特征主要表现为：学科理论体系逐步形成，交通流理论、交通规划、交通管理等核心研究领域初步确立；研究方法从经验总结转向

科学分析，开始运用数学模型、统计分析等方法开展研究；学科独立性不断增强，形成了专门的研究机构与学术团体；研究范围主要集中在城市道路交通领域，重点解决交通拥堵与交通事故问题。

### 三、快速发展阶段（20 世纪 60 年代 -20 世纪 90 年代）

#### （一）时代背景与交通需求

20 世纪 60 年代至 90 年代，全球经济进入高速发展期，城市化进程进一步加速，大城市、特大城市不断涌现，城市人口与机动车保有量持续快速增长，交通供需矛盾更加突出。同时，交通污染、能源消耗等问题开始受到广泛关注，传统的“以建为主”的交通发展模式已无法适应社会经济发展的需求，交通工程的发展面临着新的挑战与机遇。

这一时期，科学技术的快速发展为交通工程的进步提供了强大的支撑，计算机技术、电子信息技术、通信技术等逐步应用于交通领域，推动了交通工程向智能化、信息化方向发展。同时，综合交通体系的发展成为趋势，公路、铁路、航空、水路等交通方式之间的协同发展需求日益迫切，交通工程的研究范围进一步拓展。此外，随着全球化进程的加快，区域间的交通联系日益紧密，区域交通规划与管理成为交通工程的重要研究内容。

#### （二）核心成果与发展特征

这一阶段交通工程的核心成果主要包括交通流理论的深化、智能交通技术的兴起、综合交通规划的发展、交通可持续发展理念的提出等方面。在交通流理论方面，学者们对交通流的非线性特性、动态演化规律进行了深入研究，提出了更多精细化的交通流模型，如元胞自动机模型、流体力学模型等，提升了对交通流运行规律的认知与预测能力。同时，交通仿真技术得到了快速发展，出现了一系列交通仿真软件，如 VISSIM、CORSIM 等，为交通系统的优化设计与运营管理提供了强大的工具。

在智能交通技术方面，计算机技术、电子信息技术与交通工程的深度融合，催生了智能交通系统（ITS）的概念。20 世纪 80 年代，美国、日本、欧洲等发达国家率先开展智能交通系统的研究与应用，通过建设交通信息采集系统、交通信息传输系统、交通信息处理与发布系统，实现了交通流的实时监测、精准调控与信息服务。例如，美国的智能车辆高速公路系统（IVHS）、日本的先进交通

信息系统（ATIS）等项目的实施，推动了智能交通技术的快速发展。

在综合交通规划方面，各国开始重视多种交通方式的协同发展，编制了一系列综合交通规划方案，明确了综合交通体系的发展目标与建设重点。同时，交通规划的理念逐步更新，从“以车为本”转向“以人为本”，更加注重居民出行的舒适性与便捷性，推动了公共交通、步行、骑行等绿色出行方式的发展。

在交通可持续发展方面，随着交通污染、能源消耗等问题的日益突出，可持续发展理念逐步融入交通工程的研究与实践中。学者们开始研究交通系统的环境影响评价方法，探索降低交通能耗与污染的技术与措施，推动了新能源交通工具、节能交通设施等的研发与应用。同时，交通需求管理政策得到了广泛应用，通过停车收费、交通限行、错峰出行等措施，调控交通需求，缓解交通拥堵，减少交通污染。

这一阶段交通工程的发展特征主要表现为：学科理论体系不断完善，研究领域进一步拓展，涵盖了交通流理论、交通规划、交通管理、智能交通、交通可持续发展等多个方向；技术手段不断创新，计算机技术、电子信息技术等广泛应用于交通领域，推动了交通工程的智能化、信息化发展；研究理念逐步更新，从“以建为主”转向“建管并重”，从“以车为本”转向“以人为本”，更加注重交通系统的可持续发展；国际交流与合作日益频繁，各国在交通工程领域的研究成果相互借鉴，推动了全球交通工程学科的共同发展。

## 四、成熟与创新阶段（21 世纪初至今）

### （一）时代背景与交通需求

21 世纪初至今，全球进入信息化、智能化时代，大数据、人工智能、物联网、5G 等新兴技术的快速发展，为交通工程的创新发展提供了前所未有的技术支撑。同时，城市化进程进入新阶段，大城市的交通拥堵、环境污染、资源短缺等问题依然严峻，中小城市的交通需求也逐步增长，交通工程面临着更加复杂的挑战。此外，全球气候变化问题日益受到关注，低碳交通、绿色交通成为交通发展的必然趋势，交通工程的发展需要更加注重生态环境保护与能源节约。<sup>①</sup>

这一时期，居民的出行需求更加多样化、个性化，对交通服务的便捷性、舒

---

① 杜洁. 区块链视角下的交通建设资金管理研究 [J]. 河北企业, 2025, (12): 58-61.

适性、安全性提出了更高的要求。同时，区域一体化、城乡一体化发展战略的推进，要求交通系统实现更大范围的协同发展，提升区域交通的互联互通水平。此外，智能网联汽车、共享交通等新型交通模式的出现，改变了传统的交通运行模式，为交通工程的发展带来了新的机遇与挑战。

### （二）核心成果与发展特征

这一阶段交通工程的核心成果主要包括智能交通系统的全面发展、交通大数据与人工智能的深度应用、新型交通模式的探索与实践、交通可持续发展体系的完善等方面。在智能交通系统方面，随着 5G、物联网等技术的应用，智能交通系统实现了从单点智能化向全域智能化的转变。通过建设车路协同系统，实现了车辆与车辆、车辆与道路、车辆与云端之间的实时通信，提升了交通系统的运行效率与安全性；同时，智能交通监控系统、智能交通信号控制系统、智能停车系统等广泛应用，实现了交通管理的精细化、智能化。

在交通大数据与人工智能应用方面，大数据技术被广泛用于交通流量监测、交通需求预测、交通拥堵识别等领域，通过对海量交通数据的分析与挖掘，为交通管理决策提供了科学依据；人工智能技术则应用于自动驾驶、交通信号智能调控、交通事件自动识别等方面，提升了交通系统的自动化水平与智能化能力。例如，自动驾驶技术的研发与测试取得了重大进展，多家企业推出了不同级别的自动驾驶车辆，开始在特定区域进行商业化运营；人工智能驱动的交通信号控制系统能够根据实时交通流量自动调整信号配时，实现交通流的最优调控。

在新型交通模式方面，共享交通、定制公交、智慧公交等新型交通模式逐步兴起并得到广泛应用。共享交通包括共享单车、共享汽车、共享出行等，有效提升了交通资源的利用效率，缓解了城市交通拥堵；定制公交则根据居民的出行需求，提供个性化的公交服务，提升了公共交通的吸引力；智慧公交通过配备智能设备，实现了公交运行状态的实时监测、公交信息的精准发布与公交调度的智能优化，提升了公交服务的便捷性与舒适性。

在交通可持续发展方面，各国纷纷出台政策推动绿色交通发展，加大对公共交通、步行、骑行等绿色出行方式的投入，完善绿色交通基础设施；同时，新能源交通工具的推广应用取得了显著成效，电动汽车、混合动力汽车等的保有量不断增加，相关的充电设施、加氢设施等配套基础设施也逐步完善。此外，交通系统的环境影响评价体系不断完善，更加注重交通工程建设与运营过程中的生态保

护与污染治理。

这一阶段交通工程的发展特征主要表现为：学科交叉融合趋势更加明显，与计算机科学、电子信息工程、人工智能、生态学等学科的融合不断深化，形成了多个新兴研究方向；技术创新驱动作用显著，新兴技术的应用推动了交通工程的智能化、绿色化发展；研究理念更加注重以人为本与可持续发展，强调交通系统的服务功能与生态效益；新型交通模式不断涌现，改变了传统的交通运行与管理模式；全球交通工程领域的协同创新日益加强，各国在技术研发、政策制定、标准规范等方面的交流与合作不断深化。

## 五、中国交通工程的发展历程与特色

### （一）起步阶段（20 世纪 50 年代–20 世纪 70 年代）

中国交通工程的起步阶段主要集中在 20 世纪 50 年代至 70 年代，这一时期中国正处于社会主义建设初期，交通基础设施建设主要以公路、铁路为主，重点服务于国民经济建设与国防建设。由于经济基础薄弱、技术水平落后，交通工程的研究与实践相对滞后，主要借鉴苏联等社会主义国家的经验，研究范畴主要局限于交通基础设施的建设与简单的交通管理。

这一阶段，中国开始建设一批重要的交通基础设施，如鹰厦铁路、宝成铁路、川藏公路、青藏公路等，改善了区域交通条件。同时，在城市交通方面，开始建设城市道路与公共交通系统，但机动车保有量较低，交通拥堵、交通事故等问题尚不突出，交通工程的研究尚未形成系统的体系，相关技术人员主要集中在土木工程、交通运输等领域。

### （二）快速发展阶段（20 世纪 80 年代–20 世纪 90 年代）

20 世纪 80 年代至 90 年代，中国实行改革开放政策，国民经济快速发展，城市化进程逐步加速，机动车保有量开始增长，交通需求逐步增加，交通工程学科开始进入快速发展阶段。这一时期，中国开始引进西方发达国家的交通工程理论与技术，开展系统性的交通工程研究与实践工作。

在交通基础设施建设方面，中国开始大规模建设高速公路与城市道路，1988 年，中国第一条高速公路——沪嘉高速公路建成通车，标志着中国高速公路建设的起步；随后，京沈、京沪、京广等一批国家级高速公路项目陆续开工建设，高速公路网络逐步形成。在城市交通方面，北京、上海、广州等大城市开始编制城

市交通规划，开展交通流量调查与分析，实施交通信号控制、交通标志标线标准化等交通管理措施。

在学科建设方面，中国多所高校开始设立交通工程专业，培养交通工程专业人才；同时，交通工程的研究机构逐步建立，开展交通流理论、交通规划、交通管理等方面的研究。1985年，中国公路学会交通工程分会成立，推动了中国交通工程学科的学术交流与发展。这一阶段，中国交通工程的发展主要以引进、消化、吸收国外先进技术与理论为主，结合中国的实际情况进行应用研究，为后续的发展奠定了基础。

### （三）跨越式发展阶段（21 世纪初至今）

21 世纪初至今，中国经济进入高速发展期，城市化进程加速推进，机动车保有量呈现爆发式增长，交通需求急剧增加，交通工程学科进入跨越式发展阶段。这一时期，中国在交通基础设施建设、智能交通技术应用、交通规划与管理等方面取得了显著成就，交通工程学科的理论体系与技术方法不断完善，形成了具有中国特色的交通工程发展模式。

在交通基础设施建设方面，中国建成了全球规模最大的高速公路网络、高速铁路网络与城市轨道交通网络。截至 2023 年底，中国高速公路通车里程达到 17.7 万公里，高速铁路营业里程达到 4.5 万公里，城市轨道交通运营里程达到 10566 公里，交通基础设施的覆盖范围与服务能力大幅提升。同时，综合交通枢纽建设加快推进，实现了不同交通方式之间的无缝衔接，提升了综合交通体系的运行效率。

在智能交通技术应用方面，中国走在了全球前列，智能交通系统的建设与应用取得了重大突破。通过建设交通大数据平台、智能交通监控系统、车路协同系统等，实现了交通流的实时监测、精准调控与信息服务；同时，自动驾驶技术的研发与测试取得了显著进展，多个城市开展了自动驾驶车辆的道路测试与商业化运营试点；此外，移动支付、智能导航等技术广泛应用于交通领域，提升了居民出行的便捷性。

在交通规划与管理方面，中国逐步形成了“以人为本、可持续发展”的交通规划理念，推动了公共交通优先发展战略的实施，加大了对绿色出行方式的投入与推广。同时，交通需求管理政策不断完善，通过停车收费、交通限行、错峰出行等措施，有效调控交通需求，缓解城市交通拥堵。此外，中国还加强了区域交

通协同发展，推动了京津冀、长三角、粤港澳大湾区等区域的交通一体化建设，提升了区域交通的互联互通水平。

中国交通工程的发展特色主要表现为：政府主导作用突出，通过制定科学的交通发展规划与政策，统筹推进交通基础设施建设与交通系统优化；技术创新与应用并行，积极引进国外先进技术，同时加强自主研发，推动智能交通技术的快速应用与产业化发展；注重结合中国国情，针对中国人口众多、城市化进程快、机动车保有量大等特点，探索形成了具有中国特色的交通工程理论与实践模式；强调综合交通体系建设，推动多种交通方式的协同发展，提升交通系统的整体服务能力；注重交通可持续发展，大力推动绿色交通发展，实现交通与经济、社会、环境的协调发展。

### 第三节 交通工程学科体系

#### 一、学科体系的核心框架

##### （一）学科体系的构成逻辑

交通工程学科体系以“人 - 车 - 路 - 环境 - 管理”五要素协同作用机制为核心逻辑起点，围绕交通系统全生命周期管理构建层级分明、功能互补的体系架构。其构成遵循“基础理论支撑 - 核心技术应用 - 跨学科融合拓展”的逻辑主线，基础理论层为学科发展提供原理支撑，核心技术层聚焦交通系统规划、设计、运营等关键环节的技术方法，跨学科融合层则依托多学科理论与技术突破传统研究边界，形成复合型研究领域。

学科体系的构建兼顾理论性与实践性，理论模块聚焦交通系统运行规律的认知与提炼，实践模块侧重解决实际交通问题的技术路径与方案落地。各模块间存在紧密的内在关联：基础理论层为核心技术层提供理论依据，核心技术层的实践需求反向推动基础理论层的深化，跨学科融合层则为前两个层级提供新的技术工具与研究视角，三者共同构成动态演进的学科体系。

##### （二）学科体系的层级划分

基础理论层是交通工程学科的基石，涵盖交通流理论、交通行为理论、交通经济学基础、交通环境学基础等核心内容。交通流理论揭示交通流中车速、密度、

流量的动态关系及演化规律，为交通系统分析提供核心原理；交通行为理论探究交通参与者的决策机制与行为特征，是交通设施设计与管理政策制定的基础；交通经济学基础阐释交通系统与经济发展的相互作用，为交通资源配置提供价值判断依据；交通环境学基础则聚焦交通活动与生态环境的相互影响，为可持续交通发展提供理论支撑。

核心技术层是基础理论的实践转化载体，包含交通规划技术、交通设计技术、交通管理与控制技术、交通设施养护技术等关键领域。交通规划技术负责交通系统的宏观布局与发展战略制定，涵盖交通需求预测、路网规划、综合交通体系规划等内容；交通设计技术聚焦交通基础设施的微观设计，包括道路线形设计、交叉口渠化设计、交通标志标线设计等；交通管理与控制技术致力于通过信号调控、交通组织、执法监管等手段优化交通流运行，提升系统效率与安全性；交通设施养护技术则保障交通基础设施的正常运行，延长设施使用寿命，包括路况监测、病害治理、养护方案优化等。

跨学科融合层是学科发展的前沿领域，依托与计算机科学、人工智能、物联网、生态学、管理学等学科的深度融合，形成智能交通技术、绿色交通技术、区域交通协同管理技术等新兴方向。智能交通技术通过大数据、人工智能等技术实现交通系统的智能化升级；绿色交通技术结合生态学原理与节能技术，推动交通系统的低碳化发展；区域交通协同管理技术则借助管理学与信息技术，实现跨区域、跨部门的交通资源统筹与协同运作。

## 二、核心学科分支与研究内容

### （一）交通流理论与交通仿真

交通流理论是交通工程学科的核心基础分支，主要研究交通流的生成、演化与消散规律，建立描述交通流特性的数学模型与分析方法。其研究内容涵盖宏观交通流理论、中观交通流理论与微观交通流理论三个层面。宏观交通流理论将交通流视为连续流体，通过流体力学方程描述交通流的整体运动规律，适用于区域路网交通流分析；中观交通流理论聚焦路段与交叉口的交通流特性，研究交通流的相变规律与瓶颈效应；微观交通流理论则以单个车辆的运动为研究对象，分析车辆的跟驰、超车、停车等行为机制，建立车辆运动模型。

交通仿真是交通流理论的重要应用工具，通过计算机技术构建交通系统的虚

拟模型，模拟交通流的运行过程，为交通系统规划、设计与管理提供量化分析依据。其研究内容包括仿真模型构建、仿真参数校准、仿真结果验证与应用等。仿真模型可分为微观仿真模型、中观仿真模型与宏观仿真模型，分别对应不同的研究尺度；参数校准是提升仿真精度的关键环节，通过实测数据与仿真数据的对比优化模型参数；仿真结果则用于评估交通规划方案的可行性、验证交通管理措施的有效性，为决策提供科学支撑。

## （二）交通规划与交通地理

交通规划是交通工程的宏观决策分支，核心研究如何根据区域社会经济发展需求，合理规划交通系统的布局与发展方向，实现交通资源的优化配置。其研究内容包括交通调查与数据分析、交通需求预测、路网规划、综合交通体系规划、交通规划评价等。交通调查与数据分析通过收集人口、经济、出行特征等基础数据，为规划提供数据支撑；交通需求预测运用数学模型预测未来交通流量的分布规律；路网规划则根据需求预测结果优化道路网络的布局与等级结构；综合交通体系规划聚焦公路、铁路、航空、水路等多种交通方式的协同发展，构建一体化交通网络；交通规划评价从经济、社会、环境等多维度评估规划方案的可行性与综合效益。

交通地理是交通规划与地理学的交叉分支，研究交通系统与地理空间的相互关系，为交通规划的空间布局提供地理视角。其研究内容包括交通网络的空间分布规律、交通与城市空间结构的协同演化、区域交通一体化的空间组织模式等。通过分析交通网络与地理环境、城市布局的相互影响，交通地理为交通规划方案的空间合理性提供判断依据，助力实现交通系统与地理空间的协调发展。

## （三）交通设计与交通设施工程

交通设计是交通工程的微观设计分支，聚焦交通基础设施的细节设计与交通组织优化，核心目标是提升交通设施的通行能力与安全性。其研究内容包括道路线形设计、交叉口设计、公交设施设计、慢行交通设施设计、交通标志标线设计等。道路线形设计通过优化路线的平面、纵断面与横断面参数，保障车辆行驶的安全性与舒适性；交叉口设计采用渠化、信号控制等手段减少交通冲突点，提升交叉口通行效率；公交设施设计聚焦公交站台、站点布局的优化，提升公共交通的服务水平；慢行交通设施设计则致力于完善步行道、自行车道等设施，保障慢行交通参与者的安全与便捷；交通标志标线设计通过标准化的标志与标线，规范

交通流运行秩序。

交通设施工程是交通设计的工程落地分支，研究交通基础设施的建设技术与质量控制，涵盖道路工程、桥梁工程、隧道工程、交通附属设施工程等内容。道路工程研究路基、路面的材料选择、施工工艺与质量检测技术；桥梁工程聚焦桥梁的结构设计、施工技术 with 耐久性保障；隧道工程研究隧道的开挖、支护、通风、照明等技术；交通附属设施工程则关注交通标志、标线、护栏、照明等设施的建设与安装技术，确保设施的功能有效性与结构安全性。

### （四）交通管理与控制

交通管理与控制是交通工程的运营优化分支，核心研究通过政策调控与技术手段规范交通流运行，提升交通系统的效率与安全性。其研究内容包括交通法规与政策制定、交通组织优化、交通信号控制、交通执法与监管、交通信息服务等。交通法规与政策制定通过建立健全交通规则体系，规范交通参与者的行为；交通组织优化采用单向交通、潮汐车道、公交专用道等措施，优化道路资源配置；交通信号控制通过优化信号配时方案，实现不同方向、不同时段交通流量的精准调控，减少车辆延误；交通执法与监管通过技术监控与现场执法相结合的方式，保障交通法规的落实；交通信息服务则通过发布实时交通信息，引导交通参与者合理规划出行路线。

智能交通管理与控制是该分支的前沿方向，依托大数据、人工智能、物联网等技术实现交通管理的智能化升级。其研究内容包括交通流实时监测技术、交通事件自动识别技术、自适应信号控制技术、车路协同控制技术等。交通流实时监测技术通过视频监控、感应线圈、浮动车等设备收集实时交通数据；交通事件自动识别技术借助人工智能算法快速检测交通事故、道路拥堵等异常事件；自适应信号控制技术根据实时交通流量动态调整信号配时；车路协同控制技术则通过车辆与道路的实时通信，实现交通流的协同优化。

### （五）交通环境与可持续交通

交通环境是交通工程与环境科学的交叉分支，研究交通活动对生态环境的影响及污染治理技术，核心目标是降低交通系统的环境负荷。其研究内容包括交通污染监测与评价、交通噪声控制技术、交通尾气净化技术、交通生态保护技术等。交通污染监测与评价通过建立监测指标体系，评估交通噪声、尾气排放、扬尘等对环境的影响；交通噪声控制技术采用隔音屏障、低噪声路面、车辆降噪等措施

减少噪声污染；交通尾气净化技术通过尾气处理装置、清洁能源替代等方式降低尾气排放；交通生态保护技术则在交通基础设施建设与运营过程中，采取生态修复、植被保护等措施，减少对生态系统的破坏。

可持续交通是交通工程的发展导向分支，研究如何构建兼顾经济效率、社会公平与生态保护的交通系统。其研究内容包括绿色交通模式构建、交通能源节约技术、交通碳排放核算与减排策略、可持续交通评价体系等。绿色交通模式构建推广公共交通、步行、骑行等低能耗出行方式；交通能源节约技术研发与应用节能交通工具、智能节能设施等；交通碳排放核算与减排策略建立碳排放量化方法，制定针对性的减排措施；可持续交通评价体系则从经济、社会、环境等多维度评估交通系统的可持续性，为交通发展决策提供依据。

#### **（六）智能交通与车路协同**

智能交通是交通工程与信息技术的深度融合分支，核心研究通过大数据、人工智能、物联网、5G 等技术实现交通系统的智能化升级，提升交通系统的运行效率与服务水平。其研究内容包括交通大数据分析与应用、自动驾驶技术、智能交通信息平台建设、智能出行服务等。交通大数据分析与应用通过挖掘海量交通数据，实现交通流量预测、拥堵识别、决策支持等功能；自动驾驶技术研发不同级别自动驾驶车辆的感知、决策与控制系统，推动驾驶自动化发展；智能交通信息平台建设整合各类交通数据资源，实现交通信息的集中管理与共享；智能出行服务则为交通参与者提供个性化的出行规划、实时导航、停车预约等服务。

车路协同是智能交通的核心发展方向，研究车辆与车辆、车辆与道路、车辆与云端之间的实时通信与协同运作技术，构建“人-车-路-云”一体化交通系统。其研究内容包括车路通信技术、协同感知技术、协同决策与控制技术、车路协同安全保障技术等。车路通信技术采用 5G、V2X 等技术实现车辆与道路设施的高速、低延迟通信；协同感知技术整合车辆传感器与道路传感器数据，提升交通环境感知的全面性与准确性；协同决策与控制技术实现车辆与道路的协同优化决策，提升交通流运行效率；车路协同安全保障技术则通过数据加密、身份认证等手段，保障车路通信与协同运作的安全性。

### 三、学科体系的演化与发展趋势

#### （一）学科体系的演化动力

社会经济发展需求是交通工程学科体系演化的核心动力。城市化进程的加速推动城市交通需求的快速增长，催生了交通规划、交通管理等分支的发展；机动车保有量的激增带来了交通拥堵、环境污染等问题，推动了交通流理论、交通环境等分支的深化；区域一体化发展需求则促进了区域交通协同管理等新兴分支的形成。同时，经济发展水平的提升为交通工程技术研发与应用提供了资金支持，推动了学科体系的技术升级。

技术创新是学科体系演化的关键驱动因素。信息技术、人工智能、新能源技术等快速发展，推动了智能交通、绿色交通等新兴分支的出现；交通仿真技术、大数据分析技术的进步，提升了交通工程研究的精准性与高效性，推动了学科体系的精细化发展。技术创新不仅拓展了学科研究的边界，也推动了传统学科分支的技术升级，促进了学科体系的动态演进。

政策导向与社会需求变化也对学科体系演化产生重要影响。随着全球气候变化问题的日益突出，绿色低碳发展政策推动了可持续交通、交通环境等分支的发展；以人为本的发展理念引导交通工程学科更加关注慢行交通、公共交通等民生相关领域，推动了交通设计、智能出行服务等分支的优化；交通强国战略的实施则推动了综合交通体系、区域交通协同等分支的深化发展。<sup>①</sup>

#### （二）学科体系的发展趋势

跨学科融合深度不断提升是交通工程学科体系的核心发展趋势。未来，交通工程将进一步与计算机科学、人工智能、生态学、管理学、心理学等学科深度融合，形成更多复合型研究领域。例如，与人工智能的融合将推动自动驾驶、智能交通控制等技术的进一步升级；与生态学的融合将深化交通生态保护与可持续交通研究；与心理学的融合将提升交通行为分析的精准性，为交通管理政策制定提供更科学的依据。

智能化与数字化转型加速推进。随着大数据、物联网、5G 等技术的广泛应用，交通工程学科将实现从传统经验型研究向数据驱动型研究的转变。交通系统的数字化建模、实时监测、智能调控将成为常态，智能交通信息平台将实现交通数据

---

① 彭正杰. 轨道交通工程建设安全风险监控方法研究 [J]. 甘肃科技, 2025, 41 (11): 61-64.

的全面整合与共享，为交通管理决策提供精准支撑。同时，自动驾驶、车路协同等技术的商业化应用将推动交通系统运行模式的根本性变革，催生新的学科研究方向。

可持续发展导向更加凸显。在全球绿色低碳发展的大背景下，交通工程学科将更加聚焦可持续交通发展，推动绿色交通模式的构建与推广。交通碳排放核算与减排技术、新能源交通工具应用、交通生态保护等研究内容将得到进一步深化；同时，可持续交通评价体系将不断完善，成为交通规划与管理决策的重要依据，实现交通系统与经济、社会、环境的协调发展。

服务化与个性化趋势日益明显。随着居民出行需求的多样化与个性化，交通工程学科将更加关注交通服务的精准化与便捷化。智能出行服务、定制公交、共享交通等新兴交通模式的研究将进一步深入；同时，针对不同群体的交通需求差异，个性化的交通设施设计与管理政策将成为研究热点，提升交通系统的服务质量与公平性。

## 第四节 交通工程研究方法

### 一、基础研究方法

#### （一）文献研究法

文献研究法是交通工程研究的基础方法，通过系统收集、梳理与分析国内外相关学术文献、政策文件、技术标准等资料，了解研究领域的前沿动态、理论成果与实践经验，为研究工作奠定基础。其核心流程包括文献检索、文献筛选、文献分析与文献综述四个环节。文献检索需明确检索主题与关键词，利用学术数据库、图书馆资源、网络平台等多种渠道收集相关文献；文献筛选根据研究目标与文献质量，剔除无关、低质量文献，保留核心文献；文献分析采用归纳、演绎、比较等方法，提取文献中的核心观点、研究方法与研究结论；文献综述则对筛选后的文献进行系统梳理与总结，明确研究现状、存在的不足与未来研究方向。

在交通工程研究中，文献研究法广泛应用于学科理论梳理、研究背景分析、政策解读等方面。例如，在开展智能交通技术研究时，通过文献研究法梳理国内外智能交通技术的发展历程、核心技术成果与应用案例，为研究方向的确定提供

依据；在制定交通管理政策时，通过分析相关政策文件与学术研究成果，了解政策的实施效果与存在的问题，为政策优化提供支撑。文献研究法的优势在于能够快速掌握研究领域的整体情况，借鉴前人研究成果，避免重复研究；但也存在一定局限性，需注重文献的时效性与权威性，避免受陈旧或错误信息的影响。

### （二）调查研究法

调查研究法是交通工程获取第一手数据的核心方法，通过实地调查、问卷调查、访谈调查等方式，收集交通系统的运行数据、交通参与者的行为特征、交通需求等基础信息，为研究工作提供数据支撑。其核心流程包括调查方案设计、调查实施、数据整理与分析三个环节。调查方案设计需明确调查目标、调查对象、调查内容、调查方法与样本量，确保调查的科学性与针对性；调查实施需严格按照调查方案开展，控制调查误差，确保数据的真实性与可靠性；数据整理与分析则对收集到的数据进行清洗、分类、统计分析，提取有价值的信息。

交通工程中的调查研究法主要包括交通流量调查、出行特征调查、交通设施使用情况调查、交通参与者满意度调查等类型。交通流量调查通过视频监控、人工计数、感应线圈等方式，收集路段、交叉口的交通流量、车速、密度等数据，用于交通流分析与交通管理措施优化；出行特征调查通过问卷调查、入户访谈等方式，了解居民的出行目的、出行方式、出行时间等信息，为交通规划提供基础数据；交通设施使用情况调查用于评估交通设施的服务水平与使用效率；交通参与者满意度调查则用于了解交通参与者对交通服务的评价，为交通系统优化提供依据。调查研究法的优势在于能够获取真实、具体的第一手数据，直接反映交通系统的实际情况；但受调查范围、样本量、调查人员素质等因素影响，调查结果可能存在一定误差，需注重调查方案的科学性与调查过程的质量控制。

### （三）观测研究法

观测研究法是通过直接观察交通系统的运行过程与交通参与者的行为特征，收集相关数据并进行分析的研究方法。其核心特征是不干预研究对象的正常运行，客观记录研究对象的实际状态与变化过程。在交通工程研究中，观测研究法主要应用于交通行为分析、交通流运行规律研究、交通事故成因分析等方面。例如，通过观测驾驶员的跟驰行为、超车行为，分析驾驶员的行为决策机制；通过观测交叉口的交通流运行状态，识别交通冲突点与拥堵成因；通过观测交通事故现场，分析事故发生的直接原因与间接原因。

观测研究法的实施流程包括观测方案设计、观测设备准备、现场观测、数据记录与分析。观测方案设计需明确观测目标、观测对象、观测指标、观测时间与观测地点；观测设备准备包括视频摄像机、测速仪、流量计数器等设备的调试与校准；现场观测需选择合适的观测位置，确保观测范围全面、视野清晰；数据记录需客观、准确，避免主观判断；数据分析则采用统计分析、行为分析等方法，提取观测数据中的规律与特征。观测研究法的优势在于能够获取客观、真实的研究数据，反映研究对象的实际运行状态；但观测范围与观测时间有限，难以获取长期、大范围的研究数据，且数据处理工作量较大。

## 二、核心分析方法

### （一）数学建模法

数学建模法是交通工程研究的核心分析方法，通过构建数学模型描述交通系统中各要素之间的相互关系与运行规律，实现对交通系统的量化分析与预测。其核心流程包括模型构建、参数校准、模型验证与模型应用四个环节。模型构建需根据研究目标与研究对象的特征，选择合适的数学形式（如线性方程、微分方程、概率模型等），明确模型的变量与参数；参数校准通过实测数据调整模型参数，使模型能够准确反映研究对象的实际状态；模型验证通过对比模型预测结果与实测数据，评估模型的准确性与可靠性；模型应用则利用验证后的模型进行交通流量预测、交通系统优化、交通政策评估等。

在交通工程研究中，数学建模法广泛应用于交通流理论、交通需求预测、交通信号控制等领域。例如，在交通流理论研究中，构建车速-密度线性模型、跟驰模型、排队论模型等，描述交通流的运行规律；在交通需求预测中，构建重力模型、回归分析模型、四阶段法模型等，预测未来交通流量的分布；在交通信号控制中，构建信号配时优化模型，实现交通信号的精准调控。数学建模法的优势在于能够将复杂的交通系统问题简化为可量化的数学问题，实现对交通系统的精准分析与预测；但模型的构建依赖于对研究对象的简化假设，可能与实际情况存在偏差，需注重模型的合理性与参数的准确性。<sup>①</sup>

### （二）统计分析法

统计分析法是通过交通数据的统计处理与分析，提取数据中的规律与特征，

---

① 张宗峰. 交通工程施工安全风险管控研究[J]. 运输经理世界, 2025, (26): 139-141.

为交通工程研究提供量化依据的研究方法。其核心内容包括描述性统计分析、推断性统计分析、相关性分析、回归分析、方差分析等。描述性统计分析用于总结交通数据的基本特征，如均值、中位数、标准差、频率分布等；推断性统计分析通过样本数据推断总体特征，如参数估计、假设检验等；相关性分析用于分析两个或多个变量之间的相关关系；回归分析用于构建变量之间的回归方程，揭示变量之间的因果关系；方差分析用于比较多个样本之间的差异，判断不同因素对研究对象的影响程度。

在交通工程研究中，统计分析法广泛应用于交通数据处理、交通行为分析、交通政策评估等方面。例如，通过描述性统计分析总结路段交通流量的时间分布特征，为交通管理措施制定提供依据；通过相关性分析研究驾驶员年龄与交通事故发生率之间的关系；通过回归分析构建交通流量与经济发展水平之间的回归方程，预测未来交通需求；通过假设检验评估交通管理政策的实施效果。统计分析法的优势在于能够客观、准确地处理大量交通数据，提取数据中的有价值信息；但需注重数据的质量与样本的代表性，避免因数据偏差或样本不足导致分析结果不准确。

### （三）仿真分析法

仿真分析法是通过计算机技术构建交通系统的虚拟模型，模拟交通流的运行过程，实现对交通系统的动态分析与评估的研究方法。其核心优势在于能够模拟复杂的交通系统运行状态，规避实际实验的高成本与高风险，为交通规划方案优化、交通管理措施验证提供科学依据。根据研究尺度的不同，交通仿真可分为微观仿真、中观仿真与宏观仿真；根据仿真技术的不同，可分为离散事件仿真、连续系统仿真、混合仿真等。

仿真分析法的实施流程包括仿真模型构建、仿真参数设置、仿真运行、仿真结果分析与验证。仿真模型构建需根据研究对象的实际情况，确定模型的边界、要素与结构，选择合适的仿真软件（如 VISSIM、CORSIM、TransModeler 等）；仿真参数设置需输入交通流量、车速、道路几何参数、信号配时等基础数据；仿真运行需设置仿真时间与仿真场景，启动仿真模型；仿真结果分析与验证则对仿真输出的交通流量、延误时间、排队长度等指标进行分析，与实测数据对比验证模型的准确性，进而评估不同方案的优劣。

在交通工程研究中，仿真分析法广泛应用于城市路网规划、交叉口优化、智

能交通系统评估等领域。例如，在城市路网规划中，通过仿真分析不同规划方案下的路网通行能力与运行效率，选择最优方案；在交叉口优化中，通过仿真对比不同渠化设计与信号配时方案的效果，实现交叉口的优化设计；在智能交通系统评估中，通过仿真模拟自动驾驶车辆与传统车辆混行场景，评估智能交通系统的运行效果。仿真分析法的优势在于能够动态、直观地模拟交通系统运行过程，快速评估不同方案的效果；但模型的构建与参数校准需要大量基础数据，且仿真结果的准确性依赖于模型的合理性与参数的准确性。

### 三、前沿研究方法

#### （一）大数据分析法

大数据分析法是依托大数据技术，对海量交通数据进行收集、存储、处理与分析，挖掘数据中的隐藏规律与价值，为交通工程研究提供新的视角与方法。交通大数据主要包括交通流监测数据、居民出行数据、车辆轨迹数据、交通气象数据、交通事件数据等，具有数据量大、数据类型多、实时性强、价值密度低等特征。大数据分析法的核心技术包括数据采集技术、数据存储技术、数据清洗技术、数据挖掘技术、数据可视化技术等。

在交通工程研究中，大数据分析法广泛应用于交通流量预测、交通拥堵识别、交通需求分析、智能出行服务等领域。例如，通过分析海量车辆轨迹数据，挖掘居民的出行规律与交通流量分布特征，为交通规划提供精准数据支撑；通过实时分析交通流监测数据，实现交通拥堵的快速识别与预警；通过融合交通数据与气象数据，预测恶劣天气下的交通流量变化，为交通管理决策提供依据；通过大数据分析为交通参与者提供个性化的出行规划与实时导航服务。大数据分析法的优势在于能够处理海量、多类型的交通数据，挖掘数据中的深层次规律，提升交通工程研究的精准性与时效性；但也存在数据安全与隐私保护、数据质量参差不齐、分析技术要求高等挑战。

#### （二）人工智能与机器学习法

人工智能与机器学习法是通过构建智能算法模型，让计算机模拟人类的学习与决策过程，实现对交通数据的智能分析与预测的研究方法。其核心技术包括神经网络、支持向量机、决策树、随机森林、深度学习等。在交通工程研究中，人工智能与机器学习法主要应用于交通流量预测、交通事件识别、自动驾驶、智能

交通控制等前沿领域。

例如，利用深度学习算法构建交通流量预测模型，通过分析历史交通数据与实时交通数据，实现短期交通流量的精准预测；基于计算机视觉技术与机器学习算法，构建交通事件自动识别模型，快速检测交通事故、道路施工、违规行驶等交通事件；在自动驾驶技术研究中，利用神经网络算法构建车辆感知与决策模型，实现车辆对交通环境的智能感知与安全驾驶决策；在智能交通控制中，利用强化学习算法构建自适应信号控制模型，根据实时交通流量动态调整信号配时，实现交通流的最优调控。人工智能与机器学习法的优势在于能够处理复杂的非线性交通问题，提升分析与预测的准确性与智能化水平；但算法模型的训练需要大量标注数据，且模型的可解释性较差，需注重算法的合理性与可靠性验证。

### （三）车路协同实验法

车路协同实验法是通过构建车路协同实验平台，模拟车辆与道路设施之间的实时通信与协同运作，验证车路协同技术的可行性与有效性的研究方法。其核心内容包括实验平台构建、实验场景设计、实验数据采集与分析等。车路协同实验平台通常由测试车辆、路侧设备、通信设备、数据采集设备、控制中心等部分组成，能够实现车辆与路侧设备之间的信息交互与协同控制。

在交通工程研究中，车路协同实验法主要应用于车路协同技术研发、自动驾驶安全验证、智能交通系统优化等领域。例如，通过车路协同实验平台测试不同通信技术（如 5G、V2X）在交通场景下的通信性能，优化通信协议；通过模拟不同交通场景（如交叉口通行、紧急制动、避让行人），验证自动驾驶车辆与路侧设备协同运作的安全性、可靠性；通过实验分析车路协同系统对交通流运行效率的提升效果，优化车路协同控制策略。车路协同实验法的优势在于能够真实模拟车路协同场景，为技术研发与验证提供可靠的实验环境；但实验平台建设成本高，实验场景设计复杂，需注重实验的安全性与可控性。

### （四）数字孪生技术应用法

数字孪生技术应用法是通过构建交通系统的数字孪生模型，实现物理交通系统与数字模型的实时映射与协同联动，对交通系统进行全生命周期管理与优化的研究方法。数字孪生模型能够精准复刻物理交通系统的几何形态、运行状态、环境特征等，通过实时采集物理交通系统的数据，实现数字模型的动态更新，进而通过数字模型对物理交通系统进行模拟分析、预测预警与优化控制。

在交通工程研究中，数字孪生技术应用法广泛应用于交通基础设施管理、交通流优化、交通事故预警与处置等领域。例如，在交通基础设施管理中，通过构建道路、桥梁等设施的数字孪生模型，实时监测设施的结构状态，预测设施病害的发展趋势，制定精准的养护方案；在交通流优化中，通过数字孪生模型模拟不同交通管理措施下的交通流运行状态，优化交通组织方案；在交通事故预警与处置中，通过数字孪生模型实时映射交通运行状态，快速识别交通事故风险，制定应急处置方案，并通过数字模型模拟处置效果，提升应急处置效率。数字孪生技术应用法的优势在于能够实现交通系统的可视化、实时化、智能化管理，提升交通系统的运行效率与安全性；但数字孪生模型的构建需要高精度数据与先进的建模技术，且实时数据传输与处理要求较高，需注重技术的集成与协同。

## 四、研究方法的选择与应用原则

### （一）研究目标导向原则

研究方法的选择需以研究目标为核心导向，根据研究目标的性质与要求选择合适的研究方法。不同的研究目标对应不同的研究方法：若研究目标是梳理学科理论现状、了解研究前沿动态，应选择文献研究法；若研究目标是获取第一手交通数据、分析交通参与者行为特征，应选择调查研究法或观测研究法；若研究目标是量化分析交通系统运行规律、预测交通流量，应选择数学建模法、统计分析法或仿真分析法；若研究目标是验证前沿技术的可行性与有效性，应选择大数据分析法、人工智能与机器学习法或车路协同实验法。

在实际研究中，需明确研究目标的核心需求，避免盲目选择研究方法。例如，在开展城市交通拥堵治理研究时，若核心目标是识别拥堵成因，应结合调查研究法、观测研究法收集交通流量、车速等基础数据，再通过统计分析法、仿真分析法分析拥堵成因；若核心目标是提出拥堵治理方案并验证效果，应选择数学建模法、仿真分析法或数字孪生技术应用法，对不同治理方案进行量化评估。

### （二）数据可得性原则

研究方法的选择需充分考虑数据的可得性，确保研究过程中有足够的高质量数据支撑。不同的研究方法对数据的类型、数量、质量要求不同：文献研究法依赖于已有的学术文献与政策文件；调查研究法与观测研究法需要通过实地调研获取第一手数据；数学建模法、统计分析法、仿真分析法需要大量的交通流量、车

速、道路参数等基础数据；大数据分析法、人工智能与机器学习法需要海量的多类型交通数据；车路协同实验法、数字孪生技术应用法则需要高精度的实验数据与实时监测数据。

在选择研究方法时，需提前评估数据的可得性与质量，避免因数据不足或数据质量过低影响研究效果。例如，若研究区域缺乏实时交通监测数据，难以开展大数据分析法与人工智能与机器学习法相关研究，可选择传统的调查研究法、统计分析法替代；若无法获取高精度的道路几何参数数据，数字孪生模型的构建将难以实现，可选择仿真分析法进行简化分析。同时，在研究过程中，需注重数据的收集与整理，确保数据的真实性、可靠性与完整性。

### （三）科学性与可行性统一原则

研究方法的选择需兼顾科学性与可行性，确保研究方法既符合科学研究的基本规律，又能够在实际研究中顺利实施。科学性要求研究方法具有严谨的逻辑体系与理论依据，能够客观、准确地反映研究对象的本质特征与运行规律；可行性要求研究方法在研究条件、研究成本、研究周期、技术水平等方面具有可操作性，能够根据实际研究条件顺利开展。

在实际研究中，需平衡科学性与可行性的关系。例如，车路协同实验法与数字孪生技术应用法具有较高的科学性，能够精准模拟交通系统运行状态，但实验平台建设成本高、技术要求高，若研究条件有限，可选择仿真分析法进行简化研究；大数据分析法与人工智能与机器学习法能够提升研究的精准性与智能化水平，但需要专业的技术团队与数据处理能力，若研究团队技术水平不足，可选择传统的统计分析法、数学建模法开展研究。同时，在研究过程中，可根据实际情况对研究方法进行优化与调整，确保研究的科学性与可行性统一。

### （四）多方法融合互补原则

交通系统是复杂的巨系统，单一的研究方法难以全面、准确地解决交通工程研究中的复杂问题，因此研究方法的选择应遵循多方法融合互补原则，结合多种研究方法的优点，提升研究的全面性与准确性。不同的研究方法具有不同的优势与局限性：文献研究法能够快速掌握研究现状，但难以获取第一手数据；调查研究法与观测研究法能够获取真实的第一手数据，但研究范围与时间有限；数学建模法与统计分析法能够实现量化分析，但依赖于数据质量与模型假设；仿真分析法能够模拟复杂场景，但模型准确性需要验证；大数据分析法与人工智能与机器

学习法能够处理海量数据，但技术要求高。

在实际研究中，需根据研究问题的复杂性，合理组合多种研究方法。例如，在开展城市综合交通规划研究时，可采用“文献研究法梳理规划理论与经验 - 调查研究法收集出行需求数据 - 数学建模法进行交通需求预测 - 仿真分析法评估规划方案 - 统计分析法验证方案效果”的多方法融合模式，充分发挥各方法的优势，提升规划方案的科学性与可行性；在开展智能交通系统研究时，可结合大数据分析法收集与处理交通数据、人工智能与机器学习法构建智能算法模型、仿真分析法验证模型效果、车路协同实验法进行实地测试，实现从数据收集到技术验证的全流程研究。多方法融合互补能够弥补单一研究方法的局限性，提升研究的深度与广度，为交通工程复杂问题的解决提供更全面的支撑。

## 第二章 交通规划理论与方法

### 第一节 交通需求预测

#### 一、交通需求预测的核心内涵与理论基础

##### （一）核心内涵界定

交通需求预测是交通规划的前提与核心环节,指基于区域社会经济发展现状、土地利用特征、交通系统运行状况,运用科学的理论与方法,对未来特定时期内交通出行的总量、结构、时空分布等特征进行预判的过程。其核心目标是量化未来交通需求规模,明确交通流量的生成、分布、方式选择及路径分配规律,为交通网络规划、基础设施建设、交通管理政策制定提供精准的数据支撑。

交通需求预测具有显著的时效性、关联性与不确定性。时效性体现为预测结果针对特定时间节点,需根据规划周期(短期 1-5 年、中期 5-10 年、长期 10-20 年)明确预测时域;关联性表现为交通需求与社会经济发展、土地利用、人口规模、出行习惯等因素深度耦合,预测过程需充分考量各因素的相互影响;不确定性源于未来社会经济发展、政策导向、技术革新等变量的不可预知性,需通过敏感性分析提升预测结果的可靠性。

##### （二）理论基础支撑

出行生成理论是交通需求预测的基础理论,核心阐释交通出行产生的内在机制,明确出行需求与社会经济、土地利用等影响因素的量化关系。该理论认为,交通出行是居民生产生活活动的派生需求,土地利用性质(居住、商业、工业、公共服务等)决定出行生成的类型与强度,人口规模、收入水平、就业岗位数量等社会经济指标直接影响出行生成总量。例如,居住用地主导区域以通勤、生活购物出行为主,工业用地主导区域以货物运输、职工通勤出行为主。

出行分布理论聚焦区域间出行流量的空间分配规律,核心是描述不同交通分区之间的出行交换关系。其理论基础包括重力模型理论、熵最大化理论等。重力模型理论借鉴物理学万有引力定律,认为两个区域间的出行流量与区域人口规模、

经济活动强度正相关，与区域间的出行阻抗（距离、时间、费用等）负相关；熵最大化理论基于信息论熵值原理，在满足约束条件（如出行生成总量、区域间出行阻抗）的前提下，通过最大化系统熵值确定出行分布模式，体现出行分布的随机性与均衡性。

出行方式选择理论阐释交通参与者在多种出行方式（步行、骑行、公交、私家车、轨道交通等）中的决策机制，核心是识别影响出行方式选择的关键因素，量化不同出行方式的分担比例。其理论基础包括随机效用理论、离散选择模型理论等。随机效用理论认为，交通参与者会选择效用最大化的出行方式，效用由出行时间、出行费用、舒适性、安全性等因素决定；离散选择模型理论将出行方式选择视为离散决策问题，通过构建 Logit 模型、Probit 模型等量化不同因素对出行方式选择的影响，预测各出行方式的分担比例。

交通流分配理论研究预测的出行流量在交通网络中的具体路径分配规律，核心是明确交通参与者的路径选择行为与网络流量的均衡状态。其理论基础包括用户均衡理论、系统最优理论等。用户均衡理论认为，交通参与者会自主选择出行时间最短的路径，最终达到“没有任何参与者能通过改变路径降低自身出行成本”的均衡状态；系统最优理论则以整个交通网络的总出行成本最小化为目标，通过优化路径分配实现网络资源的最优配置，需通过交通管理政策引导交通参与者的路径选择行为。

## 二、交通需求预测的核心流程与技术方法

### （一）交通调查与基础数据准备

交通调查是交通需求预测的基础，核心是收集社会经济、土地利用、交通运行等基础数据，为预测模型构建与参数校准提供数据支撑。调查内容主要包括社会经济调查、土地利用调查、居民出行调查、交通流量调查、货物运输调查等。社会经济调查收集区域人口规模、年龄结构、收入水平、就业岗位数量、GDP 等数据；土地利用调查明确各交通分区的土地利用类型、面积、开发强度等信息；居民出行调查通过问卷调查、入户访谈等方式，获取居民出行目的、出行方式、出行时间、出行距离等出行特征数据；交通流量调查通过视频监控、人工计数、感应线圈等方式，收集路段、交叉口的交通流量、车速、密度等运行数据；货物

运输调查收集区域货物运输量、运输方式、运输路线等数据。<sup>①</sup>

基础数据准备阶段需对调查数据进行系统处理,包括数据清洗、数据整合、数据验证等环节。数据清洗剔除无效数据、异常数据,补充缺失数据,确保数据的真实性与可靠性;数据整合将不同来源、不同类型的数据按交通分区、时间周期等维度进行归类整理,形成标准化数据集;数据验证通过对比不同调查渠道的数据、分析数据的逻辑性与合理性,评估数据质量,为后续预测工作奠定基础。

## (二) 出行生成预测

出行生成预测是预测各交通分区的出行产生量与出行吸引量,核心是建立出行生成量与社会经济、土地利用等影响因素的量化关系。常用的技术方法包括增长率法、回归分析法、类别生成率法等。增长率法基于历史出行生成数据,通过分析出行生成量的增长趋势,预测未来出行生成量,适用于数据积累充足、发展趋势稳定的区域;该方法计算简单,但未考虑社会经济与土地利用变化对出行生成的影响,预测精度有限。

回归分析法通过构建出行生成量与影响因素(如人口、就业岗位、GDP等)的回归方程,量化各因素对出行生成的影响,预测未来出行生成量。根据回归方程的形式,可分为线性回归、非线性回归等;根据影响因素的数量,可分为一元回归、多元回归等。回归分析法考虑了多因素的综合影响,预测精度较高,但需要大量的历史数据支撑,且需验证回归方程的显著性与合理性。

类别生成率法将交通分区按土地利用类型、人口特征等进行分类,通过调查获取不同类别区域的出行生成率(单位人口、单位就业岗位的出行生成量),结合未来各类别区域的人口、就业岗位等数据,预测出行生成量。该方法针对性强,能够充分体现土地利用类型对出行生成的影响,适用于土地利用规划明确的区域;但出行生成率的确定需要大量的调查数据,且需根据区域发展变化及时调整。

## (三) 出行分布预测

出行分布预测是预测不同交通分区之间的出行交换量,核心是构建出行分布模型,量化区域间的出行阻抗与出行流量的关系。常用的技术方法包括重力模型法、增长系数法、机会模型法等。增长系数法基于现状出行分布矩阵,通过计算各分区出行生成量的增长系数,预测未来出行分布矩阵;该方法包括常增长系数

---

<sup>①</sup> 王家伟. 交通工程建设项目智慧安全管理系统设计与应用[J]. 科技视界, 2025, 15 (22): 64-67.

法、平均增长系数法、弗拉塔法、底特律法等，计算简单、数据需求少，但假设区域间出行阻抗不变，适用于短期预测或区域发展变化较小的情况。

重力模型法是目前应用最广泛的出行分布预测方法，分为无约束重力模型、单约束重力模型、双约束重力模型三种类型。无约束重力模型仅考虑区域规模与出行阻抗对出行分布的影响；单约束重力模型增加了出行产生量或出行吸引量的约束条件，确保预测的出行分布矩阵满足各分区的出行生成总量要求；双约束重力模型同时约束出行产生量与出行吸引量，预测精度更高。重力模型法能够充分考虑区域规模与出行阻抗的影响，适应性强，但模型参数（如出行阻抗系数）的校准需要大量的现状出行数据。

机会模型法基于“交通参与者选择出行机会最多的区域出行”的假设，通过计算各区域的出行机会（如就业岗位数量、商业设施规模等）与出行阻抗，预测区域间的出行分布量。常用的机会模型包括介入机会模型、竞争机会模型等。机会模型法能够体现出行机会对出行分布的影响，但出行机会的量化难度较大，适用于特定出行目的（如通勤出行）的分布预测。

#### （四）出行方式选择预测

出行方式选择预测是预测不同出行方式的分担比例，核心是构建出行方式选择模型，识别影响出行方式选择的关键因素。常用的技术方法包括集计模型法与非集计模型法。集计模型法将交通参与者按特定属性（如年龄、收入、出行距离等）进行分组，通过分析各组的出行方式分担比例，建立分担比例与影响因素的量化关系，预测未来出行方式分担比例；常用的集计模型包括回归模型、分担率曲线模型等。集计模型法数据处理简单、计算量小，但未考虑个体出行决策的差异性，预测精度有限。

非集计模型法以单个交通参与者为研究单位，通过分析个体出行决策行为，构建出行方式选择模型，预测个体选择不同出行方式的概率，进而汇总得到群体的出行方式分担比例。常用的非集计模型包括 Logit 模型、Probit 模型等。Logit 模型基于随机效用理论，假设个体选择不同出行方式的效用误差项服从 Gumbel 分布，计算简单、适用性强，是目前应用最广泛的非集计模型；Probit 模型假设效用误差项服从正态分布，预测精度较高，但计算复杂、数据需求大。非集计模型法能够充分考虑个体出行决策的差异性，预测精度高，适用于交通政策评估、新型出行方式（如共享出行、自动驾驶）分担比例预测等场景。

### （五）交通流分配预测

交通流分配预测是将预测的各分区间出行流量分配到具体的交通网络路段上，核心是构建交通流分配模型，模拟交通参与者的路径选择行为。常用的技术方法包括全有全无分配法、增量分配法、均衡分配法等。全有全无分配法假设所有交通参与者都选择出行阻抗最小的路径，将出行流量全部分配到最短路径上；该方法计算简单、速度快，但未考虑路径容量限制与交通流拥堵对路径选择的影响，适用于初步规划阶段或交通流量较小的网络。

增量分配法将预测的出行流量分成若干增量，依次将各增量分配到当前网络的最短路径上，每次分配后更新路段的出行阻抗（考虑交通流量对阻抗的影响）；常用的增量分配法包括均等增量分配法、按比例增量分配法等。增量分配法考虑了交通流拥堵对路径选择的影响，预测精度高于全有全无分配法，但未达到网络均衡状态，适用于中期规划阶段。

均衡分配法基于用户均衡理论或系统最优理论，通过迭代计算，使交通网络达到均衡状态，预测网络各路段的最终流量。常用的均衡分配法包括弗兰克-沃尔夫算法、梯度投影算法等。用户均衡分配法假设交通参与者自主选择最短路径，最终达到用户均衡状态；系统最优分配法以网络总出行成本最小化为目标，通过优化路径分配达到系统最优状态，需通过交通管理政策引导交通参与者的路径选择。均衡分配法能够真实模拟交通网络的运行状态，预测精度高，适用于详细规划阶段或交通网络优化设计。

## 三、交通需求预测的应用场景与精度控制

### （一）主要应用场景

城市综合交通规划是交通需求预测的核心应用场景，通过预测城市未来交通需求总量、结构与时空分布，为城市交通网络的整体布局、基础设施建设规模、公共交通发展战略制定提供依据。例如，在城市总体规划阶段，通过交通需求预测明确城市对外交通通道、城市主干路网络的布局与建设时序；在公共交通规划阶段，通过预测公交出行需求，确定公交线网布局、站点设置、车辆配置数量等。

区域交通一体化规划中，交通需求预测用于分析区域间的出行流量特征，为区域交通网络的互联互通、跨区域交通基础设施建设提供支撑。例如，在城市群交通规划中，通过预测城市群内各城市间的通勤、商务出行流量，规划区域高速

公路网络、城际铁路网络、城际公交系统等，提升区域交通协同发展水平。

交通管理政策评估中，交通需求预测用于模拟不同交通政策实施后的交通需求变化，评估政策的实施效果。例如，预测交通限行、停车收费、公交优先等政策实施后，交通流量、出行方式分担比例、出行时间等指标的变化，为政策优化调整提供依据；预测共享出行、自动驾驶等新型交通模式推广后的交通需求变化，评估其对传统交通系统的影响。

交通基础设施建设项目可行性研究中，交通需求预测用于评估项目的交通量需求，为项目的建设规模、技术标准、投资效益分析提供数据支撑。例如，在高速公路建设项目可行性研究中，通过预测项目未来的交通量，确定道路等级、车道数量、互通立交布局等；在城市轨道交通建设项目可行性研究中，通过预测轨道交通的客运量，评估项目的运营效益与可行性。

## （二）预测精度控制方法

基础数据质量控制是提升预测精度的前提，需严格把控交通调查与数据处理的各个环节。在交通调查阶段，合理设计调查方案，明确调查范围、样本量、调查方法，确保调查数据的代表性与真实性；加强调查人员培训，规范调查流程，减少调查误差。在数据处理阶段，建立数据质量评估指标体系，对数据的完整性、准确性、一致性进行全面评估；采用数据清洗技术剔除异常数据，通过合理的插值方法补充缺失数据，确保数据质量。

模型参数校准与验证是提升预测精度的核心环节。在模型构建过程中，通过现状数据校准模型参数，使模型能够准确反映现状交通需求特征；常用的校准方法包括最小二乘法、极大似然估计法等。在模型验证阶段，通过对比模型预测结果与现状实测数据，计算预测误差（如平均绝对误差、均方根误差等），评估模型的准确性；若预测误差超出允许范围，需重新调整模型参数或优化模型结构。此外，还需通过敏感性分析评估模型参数变化对预测结果的影响，提升模型的稳定性。

多模型对比与融合是提升预测精度的有效手段。由于不同预测模型的假设条件、适用范围存在差异，单一模型的预测结果可能存在偏差。通过构建多个预测模型，对比不同模型的预测结果，分析各模型的优势与局限性；采用加权平均、集成学习等方法融合多模型预测结果，降低单一模型的预测误差，提升预测精度。例如，在出行生成预测中，同时采用回归分析法与类别生成率法，融合两种方法

的预测结果，得到更可靠的出行生成量。

动态调整与滚动预测是适应区域发展变化、提升预测精度的重要保障。交通需求受社会经济、政策导向、技术革新等多种动态因素影响，固定的预测模型与参数难以适应长期发展变化。通过建立动态预测机制，定期收集最新的社会经济、交通运行数据，更新预测模型参数，调整预测结果；采用滚动预测方法，根据区域发展实际情况，分阶段更新预测目标与预测结果，确保预测结果与区域发展实际相匹配。例如，在城市交通规划实施过程中，每 3-5 年开展一次交通需求滚动预测，根据预测结果调整规划方案。

## 第二节 交通网络规划

### 一、交通网络规划的核心内涵与规划原则

#### （一）核心内涵界定

交通网络规划是交通规划的核心内容，指基于区域社会经济发展目标、土地利用规划与交通需求预测结果，对交通网络的布局、等级结构、技术标准、建设时序等进行统筹安排的过程。其核心目标是构建结构合理、功能完善、高效便捷、安全绿色的交通网络体系，实现交通资源的优化配置，满足区域交通需求，支撑社会经济可持续发展。

交通网络规划涵盖公路、铁路、城市道路、轨道交通、水路、航空等多种交通方式的网络规划，具有系统性、层次性、前瞻性、协同性等特征。系统性体现为交通网络是由不同交通方式、不同等级线路、不同节点组成的有机整体，规划需统筹考虑各要素的相互关系；层次性表现为交通网络按服务范围（区域、城市、片区）与功能定位（干线、支线、集散线）分为不同等级，规划需明确各等级网络的功能分工与衔接关系；前瞻性要求交通网络规划充分考虑区域未来社会经济发展、交通需求变化与技术革新趋势，确保规划的长远性与适应性；协同性强调不同交通方式网络之间、交通网络与土地利用之间的协同发展，提升交通系统的整体运行效率。

#### （二）核心规划原则

与社会经济发展协同原则要求交通网络规划与区域社会经济发展规划、土地

利用规划相衔接，匹配区域发展目标与发展节奏。交通网络的布局与建设规模需适应社会经济发展对交通的需求，支撑产业布局优化、城市空间拓展与区域一体化发展；同时，通过交通网络规划引导土地合理开发利用，促进交通与土地利用的良性互动。例如，在城市新区开发规划中，先构建完善的交通网络框架，引导人口与产业向新区集聚；在产业园区规划中，配套建设便捷的货运交通网络与通勤交通网络，提升园区发展活力。

供需平衡原则要求交通网络规划以交通需求预测结果为依据，确保交通网络的供给能力与交通需求相匹配。通过优化交通网络布局、提升网络通行能力，满足未来交通需求；同时，避免过度建设导致交通资源浪费，实现交通供需的动态平衡。例如，在交通需求集中的城市中心区域，加密城市主干路与轨道交通网络，提升交通供给能力；在交通需求较小的郊区，合理控制交通基础设施建设规模，避免资源闲置。

以人为本与安全优先原则要求交通网络规划充分考虑交通参与者的出行需求与安全保障，构建人性化的交通网络体系。在规划中注重步行、骑行等慢行交通设施的建设，完善公共交通服务网络，提升交通出行的便捷性与舒适性；同时，强化交通网络的安全性设计，优化道路线形、交叉口布局、交通标志标线，减少交通冲突点，降低交通事故风险。例如，在城市居住区周边规划建设连续的步行道与自行车道，设置公交港湾站与过街设施，保障居民出行安全与便捷。

绿色低碳与可持续发展原则要求交通网络规划践行绿色发展理念，推动交通系统的低碳化、生态化发展。优先发展公共交通、步行、骑行等绿色出行方式，构建绿色交通网络；推广应用新能源交通工具与节能技术，减少交通能源消耗与尾气排放；在交通基础设施建设过程中，注重生态环境保护，减少对自然景观与生态系统的破坏。例如，规划建设城市轨道交通、快速公交系统（BRT）等大容量公共交通网络，提升绿色出行比例；在道路建设中采用低噪声路面、生态护坡等环保技术，降低对周边环境的影响。

因地制宜与技术可行原则要求交通网络规划结合区域的自然地理条件、经济技术水平与现有交通基础，制定切实可行的规划方案。充分考虑地形地貌、气候条件、水文地质等自然因素对交通网络布局的影响，选择合适的线路走向与建设方案；结合区域经济实力、技术水平与施工条件，合理确定交通网络的技术标准与建设时序，确保规划方案的可行性与可操作性。例如，在山区区域规划公路网

络时,采用依山就势的线路走向,降低建设难度与成本;在经济欠发达地区,优先建设急需的交通干线,逐步完善交通网络体系。

## 二、交通网络规划的核心内容与技术方法

### (一) 交通网络结构规划

交通网络结构规划是确定交通网络的整体布局形态与等级结构,核心是明确不同交通方式、不同等级线路的功能定位与衔接关系。交通网络布局形态主要包括方格网式、放射式、环形放射式、自由式等类型。方格网式布局适用于地形平坦的城市,道路布局规整、交通组织简单,但对角线方向出行距离较长;放射式布局以城市中心为核心,道路向周边辐射,有利于中心区域与郊区的交通联系,但容易导致中心区域交通拥堵;环形放射式布局结合了方格网式与放射式的优点,通过环形道路缓解中心区域交通压力,适用于大城市与特大城市;自由式布局根据自然地形条件灵活布置道路,适用于山区、丘陵等地形复杂区域,但道路网不规则、交通组织难度大。<sup>①</sup>

交通网络等级结构规划需根据交通流量特征与服务功能,将交通网络分为不同等级,明确各等级线路的技术标准与功能分工。例如,公路网络分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路五个等级,高速公路承担区域间长距离快速运输功能,一级公路承担区域间主要运输功能,二级及以下公路承担城乡、片区内的短途运输功能;城市道路网络分为快速路、主干路、次干路、支路四个等级,快速路承担城市组团间快速运输功能,主干路承担城市主要交通走廊功能,次干路承担区域集散功能,支路承担邻里服务功能。等级结构规划需确保各等级线路衔接顺畅,形成功能互补、层次分明的交通网络体系。

常用的交通网络结构规划技术方法包括节点重要度法、流量流向法、层次分析法等。节点重要度法通过评估各交通节点(如城市、乡镇、枢纽)的人口规模、经济实力、交通区位等指标,确定节点的重要度等级,依据节点重要度规划线路布局;流量流向法基于交通需求预测的流量流向数据,优先规划流量集中的交通走廊,确保交通网络与交通需求相匹配;层次分析法通过构建层次结构模型,量化评估不同规划方案的技术可行性、经济合理性、社会环境效益等指标,选择最

---

<sup>①</sup> 戚习习. 提高交通工程建设现场监理质量措施研究 [J]. 运输经理世界, 2025, (19): 56-58.

优的网络结构方案。

## （二）公路交通网络规划

公路交通网络规划的核心是构建覆盖广泛、衔接顺畅的公路网络体系，满足区域客货运输需求。规划内容主要包括公路网布局规划、线路技术标准确定、建设时序安排等。公路网布局规划需根据区域社会经济发展需求、交通流量流向特征，确定高速公路、一级公路等干线公路的线路走向、互通立交布局，以及二级及以下公路的覆盖范围；重点规划区域对外交通通道、城乡联系通道、产业园区连接通道等关键线路，提升公路网络的连通性与可达性。

线路技术标准确定需结合线路的功能定位、交通流量、地形条件等因素，合理选择公路等级、设计速度、车道数量、路基宽度等技术指标。例如，高速公路设计速度一般为 80-120km/h，车道数量不少于 4 车道；一级公路设计速度一般为 60-100km/h，根据交通流量确定车道数量；二级及以下公路设计速度根据公路等级与地形条件确定，确保行车安全与通行效率。同时，需注重公路线路的线形设计，优化平纵断面指标，减少对自然环境的破坏。

公路交通网络规划的常用技术方法包括四阶段预测法、网络优化模型法、GIS 空间分析方法等。四阶段预测法用于预测公路交通流量，为公路网布局与技术标准确定提供数据支撑；网络优化模型法通过构建公路网优化模型，以建设成本最低、通行效率最高等为目标，优化公路网布局与线路等级；GIS 空间分析方法利用 GIS 技术的空间数据处理与分析功能，直观展示公路网络的空间分布特征，辅助规划方案的设计与评估。例如，通过 GIS 空间分析叠加地形、土地利用、人口分布等数据，优化公路线路走向，避开生态敏感区与地质灾害隐患区。

## （三）城市道路交通网络规划

城市道路交通网络规划的核心是构建高效、便捷、安全、绿色的城市道路网络体系，满足城市居民出行与城市经济活动需求。规划内容主要包括城市快速路网络规划、主干路网络规划、次干路与支路网络规划、交叉口规划、慢行交通网络规划等。城市快速路网络规划需结合城市空间布局与交通需求，规划连接城市各组团快速交通走廊，采用全封闭或半封闭形式，减少平面交叉，提升快速运输能力；主干路网络规划需覆盖城市主要交通流向，连接城市主要商业区、居住区、工业区等功能区，形成城市交通骨架；次干路与支路网络规划需加密城市道路网密度，提升道路的可达性，服务于片区内的短途出行；交叉口规划需优化交

叉口形式（如信号控制交叉口、环岛交叉口、渠化交叉口等），提升交叉口通行效率与安全性；慢行交通网络规划需构建连续、安全的步行道与自行车道网络，完善慢行交通与公共交通的衔接设施。

城市道路交通网络规划的常用技术方法包括交通走廊分析、网络容量分析、交叉口渠化设计、交通仿真等。交通走廊分析通过识别城市主要交通流量集中的走廊，优先规划建设快速路与主干路，提升交通走廊的通行能力；网络容量分析评估城市道路网络的整体通行能力，判断网络是否能够满足未来交通需求，为网络优化提供依据；交叉口渠化设计通过设置导流岛、车道划分、信号配时优化等措施，减少交通冲突点，提升交叉口通行效率；交通仿真通过构建城市道路交通仿真模型，模拟不同规划方案下的交通运行状态，评估方案的通行效率、延误时间等指标，选择最优规划方案。例如，利用 VISSIM 仿真软件模拟不同主干路网络布局方案下的交通流量运行状态，优化线路走向与交叉口布局。

### （四）公共交通网络规划

公共交通网络规划是构建以公共交通为主体的城市交通系统，核心是提升公共交通的服务水平与吸引力，引导居民选择绿色出行方式。规划内容主要包括轨道交通网络规划、常规公交网络规划、快速公交（BRT）网络规划、公交枢纽规划等。轨道交通网络规划需结合城市空间布局与人口分布，规划覆盖城市主要功能区的轨道交通线路，确定线路走向、站点布局、敷设方式（地下、地面、高架）等；常规公交网络规划需优化公交线网布局，提升公交线网的覆盖率与通达性，合理设置公交站点与线路走向，减少公交重复系数；快速公交（BRT）网络规划需选择交通流量集中的走廊，建设专用公交道、快速公交站台等设施，提升公交运行速度与服务水平；公交枢纽规划需统筹考虑不同公共交通方式的衔接，建设集轨道交通、常规公交、长途客运、出租车等多种交通方式于一体的综合公交枢纽，实现无缝换乘。

公共交通网络规划的常用技术方法包括公交线网优化模型、服务水平评价法、客流预测法等。公交线网优化模型以公交覆盖率、通达性、运行效率等为目标，优化公交线路走向与站点布局；服务水平评价法通过评估公交运行速度、候车时间、载客率等指标，判断公交服务水平，为线网优化提供依据；客流预测法预测未来公共交通的客运量，确定公交线路的运力配置、发车间隔等参数。例如，通过构建公交线网优化模型，优化常规公交线路走向，提升公交线网的覆盖率与通

达性；基于轨道交通客流预测结果，确定轨道交通站点的规模与换乘设施布局。

### （五）区域综合交通网络规划

区域综合交通网络规划是统筹区域内多种交通方式的发展，构建一体化的区域综合交通体系，核心是提升区域交通的互联互通水平，支撑区域一体化发展。规划内容主要包括区域交通发展战略制定、多种交通方式网络协同规划、综合交通枢纽规划、区域交通衔接规划等。区域交通发展战略制定需结合区域社会经济发展目标，明确区域交通发展的总体方向与重点任务；多种交通方式网络协同规划需统筹公路、铁路、水路、航空等交通方式的网络布局，明确各交通方式的功能定位与分工，实现优势互补；综合交通枢纽规划需建设区域级、城际级综合交通枢纽，实现不同交通方式之间的无缝衔接；区域交通衔接规划需加强区域内城市之间、城乡之间的交通联系，优化区域交通通道布局，提升区域交通的可达性。

区域综合交通网络规划的常用技术方法包括区域交通流分析、多式联运规划、层次分析法、系统动力学方法等。区域交通流分析识别区域内主要交通流量的流向与分布特征，为区域交通网络布局提供依据；多式联运规划优化不同交通方式之间的货物运输衔接，提升区域货物运输效率；层次分析法量化评估不同区域综合交通规划方案的综合效益，选择最优方案；系统动力学方法模拟区域交通系统与社会经济系统的相互作用关系，预测区域交通发展趋势，为规划决策提供支撑。例如，通过系统动力学模型模拟区域人口增长、经济发展对交通需求的影响，预测区域综合交通网络的发展需求，优化规划方案。

## 三、交通网络规划的方案评估与实施保障

### （一）规划方案评估指标体系

交通网络规划方案评估需构建科学的指标体系，从技术、经济、社会、环境等多维度评估方案的可行性与综合效益。技术指标主要包括网络通达性、网络容量、通行效率、安全性等。网络通达性评估交通网络覆盖的区域范围与节点可达性，常用指标包括可达性指数、平均出行时间等；网络容量评估交通网络的最大通行能力，判断网络是否能够满足未来交通需求；通行效率评估交通网络的运行效率，常用指标包括平均车速、平均延误时间、排队长度等；安全性评估交通网络的安全保障水平，常用指标包括交通事故率、交通冲突点数量等。

经济指标主要包括建设成本、运营成本、投资效益、经济效益等。建设成本

评估交通网络规划方案的总建设投资，包括线路建设、设施配套等费用；运营成本评估交通网络建成后的长期运营维护费用；投资效益评估交通网络建设的投资回报率，包括直接经济效益（如运输成本节约、出行时间节约）与间接经济效益（如促进产业发展、提升土地价值）；经济效益评估交通网络对区域经济发展的贡献，常用指标包括 GDP 增长贡献率、就业岗位增加数量等。

社会指标主要包括服务公平性、居民出行便利性、社会满意度等。服务公平性评估交通网络对不同区域、不同群体的服务均等化水平，避免交通服务差距过大；居民出行便利性评估交通网络提升居民出行便捷性的程度，常用指标包括公共交通覆盖率、慢行交通设施覆盖率等；社会满意度通过问卷调查等方式收集居民对交通网络规划方案的评价，了解居民的需求与意见。

环境指标主要包括能源消耗、尾气排放、噪声污染、生态影响等。能源消耗评估交通网络建成后交通活动的能源消耗总量，常用指标包括单位运输量能耗、人均交通能耗等；尾气排放评估交通尾气对空气质量的影响，常用指标包括 CO、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 等污染物排放量；噪声污染评估交通运行产生的噪声对周边居民生活的影响，常用指标包括等效声级；生态影响评估交通基础设施建设对自然生态系统的破坏程度，包括对植被、土壤、水资源、生物多样性等的影响。

## （二）规划方案评估方法

定量评估法通过构建量化模型，对规划方案的各项指标进行定量计算与分析，评估方案的综合效益。常用的定量评估方法包括费用效益分析法、数据包络分析法、层次分析法等。费用效益分析法通过计算规划方案的总费用与总效益，评估方案的经济可行性，常用指标包括净现值、内部收益率、效益费用比等；数据包络分析法通过构建决策单元，评估规划方案的相对效率，识别方案的优势与不足；层次分析法通过构建层次结构模型，将定性指标与定量指标相结合，量化评估不同规划方案的综合效益，为方案选择提供依据。例如，采用费用效益分析法评估城市轨道交通建设项目的投资效益，判断项目的经济可行性；采用层次分析法综合评估不同区域综合交通规划方案的技术、经济、社会、环境效益，选择最优方案。

定性评估法通过专家咨询、公众参与、案例分析等方式，对规划方案的难以量化的指标进行评估。专家咨询法邀请交通规划、工程技术、经济、环境等领域的专家，对规划方案的可行性、合理性进行评估，提出专家意见；公众参与法通过问卷调查、听证会、网络征询等方式，收集居民、企业等利益相关者对规划方

案的意见与建议,确保规划方案符合公众需求;案例分析法通过分析国内外类似区域交通网络规划的成功案例与失败教训,为当前规划方案的评估与优化提供参考。例如,在城市道路交通网络规划方案评估中,组织公众听证会收集居民对慢行交通设施、公交站点布局的意见;通过分析其他城市快速路规划的案例,评估当前快速路规划方案的合理性。

综合评估法结合定量评估法与定性评估法的优势,对规划方案进行全面、系统的评估。通过定量评估法量化分析规划方案的技术、经济指标;通过定性评估法评估方案的社会、环境影响与公众满意度;将两种评估结果相结合,综合判断规划方案的可行性与综合效益,提出方案优化建议。综合评估法能够充分考虑定量指标与定性指标的影响,提升评估结果的科学性与全面性,是交通网络规划方案评估的常用方法。

### (三) 规划实施保障措施

政策保障措施是确保交通网络规划顺利实施的重要支撑,需制定完善的交通政策体系,包括规划实施管理政策、资金保障政策、交通需求管理政策等。规划实施管理政策明确交通网络规划的实施主体、责任分工、实施流程,建立规划实施的监督与考核机制,确保规划方案按计划推进;资金保障政策建立多元化的资金筹措机制,包括政府财政投入、社会资本参与、专项债券发行等,保障交通基础设施建设的资金需求;交通需求管理政策通过实施交通限行、停车收费、公交优先等政策,引导交通需求合理分布,提升交通网络的运行效率。例如,制定交通基础设施建设专项规划,明确各部门的责任分工;出台鼓励社会资本参与交通建设的政策,吸引企业投资建设高速公路、轨道交通等项目。

技术保障措施需加强交通规划技术创新与应用,提升规划实施的技术水平。推广应用 GIS、大数据、人工智能等先进技术,提升交通需求预测、网络规划、方案评估的精准性与效率;建立交通网络规划实施的动态监测与评估体系,实时跟踪规划实施进度与效果,及时调整规划方案;加强交通规划专业人才培养,提升规划人员的技术水平与专业素养。例如,构建交通大数据平台,整合社会经济、交通运行等数据,为规划实施的动态调整提供数据支撑;建立交通网络运行监测系统,实时监测道路通行状态,及时发现并解决规划实施过程中存在的问题。

协调保障措施需加强跨区域、跨部门的协调合作,形成规划实施的合力。建立区域交通协同发展机制,加强不同城市、不同区域之间的交通规划协调,确保

区域交通网络的互联互通；加强交通、规划、国土、环保、财政等部门之间的协调配合，统筹推进交通基础设施建设与土地利用、生态环境保护等工作；加强与周边地区、相关企业的沟通协调，解决规划实施过程中存在的利益冲突问题。例如，建立城市群交通协同发展联席会议制度，协调推进区域交通基础设施建设；加强交通部门与国土部门的协调，保障交通基础设施建设的用地需求。

### 第三节 土地利用与交通协调

#### 一、核心内涵与互动机制

##### （一）核心内涵界定

土地利用与交通协调是交通规划的核心原则与关键目标，指通过统筹土地利用布局与交通系统规划，实现二者功能互补、良性互动的动态平衡状态。其核心要义在于打破土地利用与交通规划相互割裂的局面，使土地开发强度、利用性质与交通供给能力相匹配，交通系统布局与土地利用结构相适应，最终提升城市空间利用效率、优化交通出行结构、降低交通运行成本，支撑城市与区域可持续发展。

土地利用与交通协调具有综合性、动态性、区域性特征。综合性体现为协调对象涵盖土地利用类型、开发强度、交通网络布局、交通方式结构等多维度要素，需统筹经济、社会、环境等多重效益；动态性表现为二者的协调关系随城市发展阶段、人口规模、技术革新等因素不断变化，需通过动态调整机制维持平衡；区域性表现为协调模式需结合不同区域的自然地理条件、经济发展水平、空间结构特征差异化构建，避免同质化套用。

##### （二）双向互动机制

土地利用对交通的驱动作用是互动机制的核心维度。土地利用性质决定交通需求的类型与强度，居住用地集中区域催生大量通勤、生活购物出行，商业用地集中区域聚焦消费、商务出行，工业用地集中区域主导货物运输与职工通勤出行，公共服务用地集中区域吸引分散性的公共服务出行。土地开发强度直接影响交通需求规模，高强度开发区域（如城市中心商务区）单位面积交通需求量大，低强度开发区域（如郊区居住区）交通需求相对分散。土地利用空间布局决定交通需求的时空分布，紧凑式土地布局可缩短出行距离，分散式布局则易导致长距离通

勤，加剧交通拥堵。

交通对土地利用的引导作用是互动机制的关键支撑。交通基础设施布局直接影响土地利用价值，交通可达性高的区域（如轨道交通站点周边、交通枢纽周边）土地价值显著提升，易吸引商业、住宅等高强度开发；交通可达性低的区域土地开发强度受限，多以生态、农业用地为主。交通方式结构影响土地利用布局形态，大容量公共交通（轨道交通、快速公交）可支撑紧凑式城市布局，促进 TOD（以公共交通为导向的开发）模式落地；私人机动车主导的交通结构则易催生城市蔓延，形成分散式土地利用格局。交通系统改善可拓展土地开发边界，推动城市空间向交通干线延伸，引导城市功能区合理布局。

二者失衡的负面影响具有传导性。土地利用与交通规划脱节易引发系列问题：土地开发强度远超交通供给能力时，会导致区域交通拥堵、出行效率下降、交通事故率上升；交通基础设施过度建设而土地开发滞后时，会造成交通资源闲置、投资效益低下；分散式土地布局与公共交通薄弱的组合，会强化私人机动车依赖，加剧能源消耗与环境污染；交通干线布局与土地利用性质不匹配，会导致交通资源错配，影响城市功能发挥。

## 二、理论基础与协调模式

### （一）核心理论支撑

TOD 开发理论是土地利用与交通协调的核心理论，强调以公共交通站点为核心，统筹布局商业、住宅、办公、公共服务等功能业态，构建步行友好的紧凑式开发区域。其核心目标是通过土地利用与公共交通的深度融合，缩短居民出行距离，提升公共交通出行比例，减少私人机动车使用，实现土地集约利用与交通高效运行的双重目标。TOD 开发理论分为城市级、区域级、社区级三个层级，分别对应不同规模的公共交通站点与开发强度，形成差异化的开发模式。<sup>①</sup>

紧凑城市理论主张通过紧凑式土地布局，减少城市蔓延，缩短出行距离，提升土地利用效率与交通运行效率。该理论认为，紧凑的城市形态可促进混合用地开发，强化公共交通的服务能力，降低交通能耗与污染，同时提升城市活力与居民生活质量。紧凑城市理论为土地利用与交通协调提供了空间布局导向，强调通

---

① 王国爱,高岳,朱兆荣,等.产品服务后质量时代交通工程质监策略与实践[J].综合运输,2025,47(06):67-71.

过合理控制城市蔓延、优化城市密度分布,实现土地利用与交通的良性互动。

精明增长理论聚焦城市可持续发展,提出通过保护生态敏感区、优化土地利用结构、强化公共交通导向、构建混合用地模式等策略,实现城市的精明增长。该理论强调土地利用与交通规划的协同,反对无序的城市扩张,主张通过合理的土地开发强度控制与交通系统优化,平衡经济发展、社会公平与生态保护的关系,为土地利用与交通协调提供了多元价值导向。

城市空间结构理论为土地利用与交通协调提供了空间组织视角,包括同心圆理论、扇形理论、多核心理论等。同心圆理论认为城市空间呈同心圆状布局,从中心到外围依次分布商业中心区、过渡区、居住区、郊区等功能区,交通网络需匹配这一空间结构;扇形理论主张城市功能区沿交通干线呈扇形分布,交通干线引导土地利用布局;多核心理论认为城市存在多个核心功能区,各核心区之间通过交通网络连接,交通规划需支撑多核心空间结构的形成与发展。

### (二) 典型协调模式

TOD 模式是目前应用最广泛的协调模式,以公共交通站点为核心,按圈层式布局土地利用业态。核心圈层(0-500 米)布局商业、办公、公共服务等高强度开发业态,提升站点周边土地价值与城市活力;中间圈层(500-1000 米)布局高密度住宅与配套商业设施,满足居民就近居住与生活需求;外围圈层(1000-1500 米)布局中低密度住宅与生态绿地,保障居民生活品质。TOD 模式通过优化土地利用布局与交通衔接,实现公共交通与土地利用的深度融合,提升出行效率与土地利用效率。

混合用地开发模式通过在同一区域融合商业、住宅、办公、工业等多种土地利用类型,缩短居民出行距离,减少长距离通勤需求。该模式强调土地利用的多样性与兼容性,构建“职住平衡”的社区环境,降低交通流量与出行成本。混合用地开发模式需结合交通系统规划,配套建设完善的步行、骑行设施与公共交通网络,提升区域交通可达性与出行便利性。例如,城市新区开发中采用混合用地模式,统筹布局产业园区、居住区、商业设施与公共服务设施,实现居民“就近就业、就近生活”。

廊道式协调模式以交通干线为廊道,引导土地利用沿廊道紧凑布局,形成“交通廊道+土地开发”的协同发展格局。该模式适用于区域交通发展与城市空间拓展,通过交通干线的建设引导城市功能区沿廊道延伸,实现城市空间的有序拓展

与交通资源的高效利用。廊道式协调模式需明确交通廊道的功能定位与开发强度，在交通干线沿线合理布局产业、住宅、公共服务等功能区，同时配套建设公共交通、慢行交通设施，提升廊道的综合承载能力。例如，城市群发展中通过高速公路、城际铁路等交通廊道引导城市组团沿廊道布局，实现区域交通一体化与城市空间协调发展。

职住平衡模式聚焦缓解通勤交通压力，通过优化就业岗位与居住用地的空间匹配关系，实现居民就业与居住的空间均衡。该模式需通过土地利用规划合理布局产业园区与居住区，减少跨区域通勤需求；同时通过交通系统规划提升职住区域之间的交通可达性，优化通勤交通方式结构。职住平衡模式的核心指标包括职住比（就业岗位数量与居住人口数量的比值）、平均通勤距离、通勤时间等，通过提升职住平衡度降低通勤交通压力，提升居民生活质量。

### 三、协调规划的核心流程与技术方法

#### （一）基础调研与需求分析

基础调研是协调规划的前提，核心是收集土地利用、交通运行、社会经济等基础数据，为协调规划提供数据支撑。调研内容包括土地利用现状调研、交通现状调研、社会经济调研、居民出行特征调研等。土地利用现状调研明确各区域的土地利用类型、开发强度、容积率、建筑密度等指标；交通现状调研收集交通网络布局、路段流量、交叉口运行状态、公共交通服务水平等数据；社会经济调研获取人口规模、年龄结构、收入水平、就业岗位数量、GDP 等信息；居民出行特征调研分析居民出行目的、出行方式、出行距离、出行时间等特征。

需求分析阶段需基于调研数据，分析土地利用与交通的现状协调程度，识别存在的问题与矛盾。通过计算职住比、平均通勤距离、交通拥堵指数、公共交通覆盖率等指标，评估现状土地利用与交通的匹配程度；通过分析土地开发强度与交通供给能力的关系，识别交通供给不足或过度供给的区域；通过预测未来社会经济发展与土地利用变化趋势，预判未来交通需求特征，为协调规划目标制定提供依据。

#### （二）协调规划目标与指标体系制定

协调规划目标需结合区域发展定位与现状问题，明确土地利用与交通协调的总体方向与核心任务。总体目标包括实现土地集约利用、提升交通运行效率、优

化出行结构、降低交通污染、促进职住平衡等；具体目标需量化为可考核的指标，形成协调规划指标体系。指标体系应涵盖土地利用、交通运行、社会经济、环境生态四个维度。

土地利用维度指标包括容积率、建筑密度、混合用地比例、职住比、土地开发强度均衡性等；交通运行维度指标包括平均通勤时间、平均车速、交通拥堵指数、公共交通出行比例、步行骑行出行比例、交通可达性指数等；社会经济维度指标包括人均 GDP 增长率、就业岗位增长率、土地利用效率、交通投资效益等；环境生态维度指标包括交通能耗、尾气排放量、噪声污染等级、生态用地保护率等。通过指标体系明确协调规划的量化目标，为规划方案设计与评估提供依据。

### （三）规划方案设计与优化

规划方案设计需基于协调目标与指标体系，统筹土地利用规划与交通规划，制定具体的协调策略与方案。土地利用规划方案包括土地利用结构优化、开发强度控制、混合用地布局、职住平衡布局等内容；交通规划方案包括交通网络布局优化、公共交通系统完善、慢行交通设施建设、交通需求管理政策制定等内容。方案设计需注重二者的协同性，确保土地利用规划与交通规划相互支撑、相互适应。

常用的技术方法包括 GIS 空间分析、土地利用交通一体化模型、交通仿真等。GIS 空间分析通过叠加土地利用、交通网络、人口分布等数据，直观展示二者的空间匹配关系，辅助规划方案设计；土地利用交通一体化模型（如 TRANUS、MEPLAN 等）通过构建土地利用与交通的互动关系模型，模拟不同规划方案下土地利用与交通的协调效果，为方案优化提供量化依据；交通仿真通过构建交通仿真模型，模拟不同规划方案下的交通运行状态，评估方案对交通运行效率的影响。

方案优化阶段需结合模型模拟结果与专家评估意见，对初步规划方案进行调整与完善。通过对比不同方案的协调指标达成情况，分析各方案的优势与不足；针对方案存在的问题，调整土地利用布局、开发强度或交通网络布局，优化协调策略；最终形成兼顾土地利用效率、交通运行效率、社会公平与生态保护的最优规划方案。

### （四）规划方案实施与动态调整

规划方案实施需制定详细的实施计划，明确实施步骤、责任主体、时间节点

与保障措施。实施计划应分阶段推进，优先实施对协调目标影响显著的关键项目，如公共交通基础设施建设、核心区域土地开发、慢行交通网络完善等；同时建立多部门协同机制，加强交通、规划、国土、环保、财政等部门的沟通协作，确保规划方案顺利实施。

动态调整机制是维持土地利用与交通长期协调的关键。由于城市发展具有不确定性，土地利用与交通的协调关系会随时间变化而改变，需定期对规划实施效果进行监测与评估。通过建立动态监测指标体系，实时跟踪土地利用变化、交通运行状态、协调指标达成情况；每 3-5 年开展一次全面评估，结合评估结果与城市发展新需求，调整土地利用规划与交通规划方案，确保二者始终保持协调平衡状态。

## 四、实践应用与挑战应对

### （一）实践应用场景

城市新区规划中，土地利用与交通协调是核心规划原则。通过提前构建完善的交通网络框架，引导土地按 TOD 模式或混合用地模式开发，实现新区土地利用与交通的同步规划、同步建设、同步运营。例如，城市新区规划中优先建设轨道交通、快速公交等公共交通设施，围绕站点布局商业、住宅、办公等功能区，实现职住平衡与公共交通导向的开发模式，避免新区出现交通拥堵、职住分离等问题。

旧城更新改造中，通过土地利用与交通的协调规划，提升旧城土地利用效率与交通运行效率。对旧城核心区域进行适度高密度开发，优化混合用地布局，提升城市活力；同时完善旧城交通网络，拓宽狭窄道路，建设步行、骑行专用设施，优化公共交通线网，缓解旧城交通拥堵。例如，旧城改造中通过拆除低效用地，建设商业综合体与保障性住房，同时配套建设地下停车场与公交站点，实现土地利用升级与交通系统优化的协同。

城市群区域协调发展中，土地利用与交通协调是实现区域一体化的关键。通过构建互联互通的区域交通网络，引导城市群内各城市土地利用功能互补、错位发展，避免同质化竞争。例如，城市群规划中通过建设城际铁路、高速公路等交通干线，连接各城市核心功能区，引导产业园区沿交通廊道布局，实现城市群内产业与人口的合理分布，提升区域整体发展效率。

### （二）主要挑战与应对策略

规划衔接不足是主要挑战之一，表现为土地利用规划与交通规划分属不同部门编制，缺乏有效的协同机制，导致二者脱节。应对策略包括建立跨部门协同规划机制，明确各部门的职责分工，将土地利用规划与交通规划纳入统一的规划编制体系；建立规划编制联席会议制度，定期沟通规划进展，协调解决规划中的矛盾与问题；推动规划数据共享，构建统一的规划数据平台，实现土地利用与交通规划数据的实时共享与联动更新。

开发强度与交通供给失衡问题突出，部分区域土地过度开发导致交通供给不足，或交通设施过度建设而土地开发滞后。应对策略包括建立土地开发强度与交通供给能力的联动评估机制，将交通供给能力作为土地开发强度审批的重要依据；对交通供给不足的区域，严格控制土地开发强度，优先完善交通基础设施；对交通设施过度建设的区域，加快土地开发进度，优化土地利用结构，提高交通资源利用效率。

资金约束影响协调规划实施，交通基础设施建设与土地开发需要大量资金投入，资金短缺会导致规划方案难以落地。应对策略包括建立多元化的资金筹措机制，除政府财政投入外，积极吸引社会资本参与交通建设与土地开发，通过 PPP 模式、土地出让收益反哺交通建设等方式，保障资金需求；优化资金配置，优先保障关键交通项目与核心区域土地开发的资金投入，提高资金使用效益。

公众参与不足导致规划方案与实际需求脱节，影响协调规划的实施效果。应对策略包括建立健全公众参与机制，在规划编制、方案评估、实施监督等环节充分听取公众意见；通过问卷调查、听证会、网络征询等多种方式，收集居民对土地利用与交通规划的需求与建议；将公众意见纳入规划决策过程，确保规划方案符合公众利益，提升规划方案的认可度与实施效果。

## 第四节 交通规划评价体系

### 一、核心内涵与评价原则

#### （一）核心内涵界定

交通规划评价体系是对交通规划方案的可行性、合理性与综合效益进行全面评估的系统性框架，通过构建科学的评价指标、采用合理的评价方法，量化与定性分析规划方案对经济、社会、环境、交通运行等方面的影响，为规划决策提供依据，保障交通规划方案的科学性与可行性。其核心功能包括识别规划方案的优势与不足、对比不同规划方案的综合效益、优化规划方案、为规划实施提供指导。

交通规划评价体系具有综合性、客观性、科学性、动态性特征。综合性体现为评价内容涵盖经济、社会、环境、交通运行等多个维度，需统筹多重效益；客观性要求评价过程基于真实数据，采用科学的评价方法，避免主观臆断；科学性强调评价指标的选取、评价模型的构建需符合交通规划理论与实际情况；动态性表现为评价体系需随城市发展阶段、规划目标、技术革新等因素不断调整，适应不同规划场景的需求。

#### （二）核心评价原则

目标导向原则要求评价体系与交通规划目标保持一致，围绕规划目标选取评价指标与评价方法。不同的规划目标对应不同的评价重点：若规划目标是缓解交通拥堵，评价重点应放在交通运行效率指标；若规划目标是促进绿色发展，评价重点应放在环境生态指标；若规划目标是提升公共服务水平，评价重点应放在社会公平与出行便利性指标。通过目标导向确保评价体系的针对性与有效性。

全面系统原则要求评价体系涵盖交通规划方案的各个方面，全面评估规划方案的综合影响。评价内容需包括交通运行效率、经济效益、社会公平、环境生态、安全保障等多个维度，避免单一维度评价导致的片面性；同时需考虑规划方案的短期影响与长期影响、直接影响与间接影响，确保评价结果全面、系统。

科学实用原则要求评价指标的选取与评价方法的采用具有科学性与可操作性。评价指标需具有明确的定义、可量化的计算方法，数据易于获取；评价方法需符合交通规划理论与统计学原理，计算过程简单、清晰，便于实际应用。同时，评价体系需兼顾科学性与实用性，避免过度追求复杂的评价模型而忽视实际应用效果。

动态适应原则要求评价体系随规划阶段、城市发展需求的变化而调整。交通规划分为战略规划、总体规划、详细规划等不同阶段，不同阶段的规划重点与评价需求不同，评价体系需针对性调整；同时，随着城市发展、技术革新、政策变化，评价指标的权重与评价标准也需动态调整，确保评价体系始终适应实际需求。

公众参与原则要求评价过程充分听取公众意见，保障公众的知情权与参与权。交通规划方案直接影响居民的出行体验与生活质量，公众对规划方案的评价具有重要参考价值。通过问卷调查、听证会、网络征询等方式收集公众意见，将公众满意度纳入评价体系，确保评价结果符合公众利益，提升规划方案的认可度与实施效果。

## 二、评价体系的核心构成与指标选取

### （一）交通运行效率评价

交通运行效率评价是交通规划评价的核心内容，聚焦评估规划方案对交通系统运行状态的改善效果，核心指标包括通行效率、通行能力、拥堵状况、公共交通服务水平等。通行效率指标包括平均车速、平均出行时间、平均延误时间等，反映交通流的运行速度与顺畅程度；通行能力指标包括路段通行能力、交叉口通行能力、网络通行能力等，评估交通系统的承载能力；拥堵状况指标包括交通拥堵指数、拥堵时长、拥堵路段比例等，量化交通拥堵程度；公共交通服务水平指标包括公共交通出行比例、公交站点覆盖率、平均候车时间、公交运行速度等，评估公共交通的服务质量与吸引力。<sup>①</sup>

指标选取需结合规划方案的类型与评价目标，例如，城市快速路规划方案评价应重点选取路段通行能力、平均车速、拥堵指数等指标；公共交通规划方案评价应重点选取公共交通出行比例、公交站点覆盖率、平均候车时间等指标。同时，指标选取需考虑数据的可得性与可量化性，确保评价过程顺利开展。

### （二）经济效益评价

经济效益评价评估规划方案对区域经济发展的影响，包括直接经济效益与间接经济效益，核心指标包括投资效益、运输成本节约、土地价值提升、就业促进等。直接经济效益指标包括投资回报率、净现值、内部收益率、效益费用比等，

<sup>①</sup> 郝亚军. 交通工程监理中旁站监理的有效实施策略 [C]//《中国招标》期刊有限公司. 新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集（三）. 杭州交通工程监理咨询有限公司；, 2025: 747-751.

评估交通规划项目的投资效益；运输成本节约指标包括旅客运输成本节约额、货物运输成本节约额、燃油消耗节约额等，反映交通规划方案对运输成本的降低效果；土地价值提升指标包括交通沿线土地增值额、土地利用效率提升幅度等，评估交通规划对土地价值的带动作用；就业促进指标包括直接就业岗位增加数量、间接就业岗位增加数量等，反映交通规划对就业的拉动作用。

经济效益评价需采用费用效益分析法、成本效果分析法等量化方法，明确交通规划方案的经济投入与产出，为规划决策提供经济可行性依据。同时，需考虑经济效益的时间价值，通过折现率将未来经济效益折算为现值，确保评价结果的合理性。

### （三）社会公平与服务评价

社会公平与服务评价聚焦评估规划方案对不同社会群体的影响，保障交通服务的均等化，核心指标包括服务覆盖公平性、出行机会公平性、公众满意度等。服务覆盖公平性指标包括不同区域公共交通覆盖率差异、不同收入群体交通可达性差异等，评估交通服务覆盖的均衡程度；出行机会公平性指标包括不同年龄、性别、收入群体的出行便利性差异，确保交通规划方案不歧视任何社会群体；公众满意度指标通过问卷调查收集居民对交通规划方案的评价，包括对出行便利性、安全性、舒适性的满意度，反映规划方案的社会认可度。

社会公平与服务评价需注重定性与定量相结合，通过量化指标评估公平性程度，通过公众参与了解不同群体的需求与意见，确保规划方案符合社会公平原则，提升交通服务的均等化水平。

### （四）环境生态效益评价

环境生态效益评价评估规划方案对生态环境的影响，包括正面影响与负面影响，核心指标包括能源消耗、污染排放、生态保护、噪声控制等。能源消耗指标包括单位运输量能耗、总能耗降低额等，评估交通规划方案的节能效果；污染排放指标包括 CO、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 等尾气污染物排放量、污水排放量等，评估交通规划对空气质量与水环境的影响；生态保护指标包括生态用地保护面积、生物多样性影响程度、水土流失控制效果等，评估交通规划对生态系统的保护作用；噪声控制指标包括等效声级降低幅度、受噪声影响人口数量减少额等，评估交通规划对噪声污染的控制效果。

环境生态效益评价需采用环境影响评价方法，结合专业的环境监测数据，量

化评估规划方案的环境影响，提出针对性的环保措施，确保交通规划方案与生态环境保护相协调。

### （五）安全保障评价

安全保障评价评估规划方案对交通安全性的提升效果，核心指标包括交通事故率、交通冲突点数量、安全设施覆盖率等。交通事故率指标包括万车事故率、亿车公里事故率、事故伤亡人数降低幅度等，量化评估交通规划方案对交通事故的降低效果；交通冲突点数量指标包括交叉口冲突点数量、路段冲突点数量等，评估交通规划方案对交通冲突的减少作用；安全设施覆盖率指标包括交通标志标线覆盖率、照明设施覆盖率、防护设施覆盖率等，评估交通安全设施的完善程度。

安全保障评价需结合交通仿真、事故统计分析等方法，识别规划方案中的安全隐患，提出针对性的安全优化措施，确保交通规划方案能够提升交通系统的安全性，保障交通参与者的生命财产安全。

## 三、核心评价方法与技术应用

### （一）定量评价方法

费用效益分析法是经济效益评价的核心方法，通过计算交通规划方案的总费用与总效益，评估方案的经济可行性。总费用包括建设投资、运营维护费用、环境治理费用等；总效益包括运输成本节约、出行时间节约、土地价值提升、就业促进等。通过计算净现值（NPV）、内部收益率（IRR）、效益费用比（BCR）等指标，判断规划方案的经济可行性： $NPV \geq 0$ 、 $IRR \geq$  基准收益率、 $BCR \geq 1$  时，方案具有经济可行性。

数据包络分析法（DEA）用于评估多个交通规划方案的相对效率，通过构建决策单元（DMU），以投入指标（如建设投资、运营成本）与产出指标（如通行能力提升、运输成本节约）为基础，计算各方案的效率值，识别最优方案。DEA 方法无需预设生产函数形式，能够客观评估多投入多产出的复杂系统效率，适用于交通规划方案的多维度效率对比。

层次分析法（AHP）是一种定性与定量相结合的多准则决策方法，适用于交通规划方案的综合评价。通过构建层次结构模型，将评价目标分解为准则层（如交通运行效率、经济效益、社会公平、环境生态）与指标层（如平均车速、投资回报率、公众满意度、污染物排放量）；通过两两比较判断各指标的相对重要性，

确定指标权重；最后通过加权求和计算各规划方案的综合得分，选择最优方案。AHP 方法能够有效处理多维度、多目标的评价问题，提升评价结果的科学性与合理性。

交通仿真法用于评估交通规划方案的交通运行效率，通过构建交通仿真模型，模拟不同规划方案下的交通流运行状态，输出平均车速、平均延误、拥堵指数等指标，对比分析各方案的交通运行效果。常用的交通仿真软件包括 VISSIM、CORSIM、TransModeler 等，适用于城市道路交通规划、高速公路规划、公共交通规划等多种场景。交通仿真法能够直观、动态地模拟交通运行过程，精准评估规划方案的交通运行效果，为方案优化提供量化依据。

## （二）定性评价方法

专家咨询法通过邀请交通规划、工程技术、经济、环境、社会等领域的专家，对交通规划方案的可行性、合理性进行评估，提出专家意见。专家咨询法分为专家会议法与德尔菲法：专家会议法通过组织专家召开会议，集体讨论评估方案；德尔菲法通过多轮匿名征询专家意见，逐步达成共识。专家咨询法能够充分发挥专家的专业优势，解决定量评价难以覆盖的复杂问题，提升评价结果的全面性。

公众参与法通过问卷调查、听证会、网络征询、入户访谈等方式，收集居民、企业等利益相关者对交通规划方案的意见与建议，评估方案的社会认可度与公众满意度。公众参与法能够反映不同群体的需求与利益诉求，确保规划方案符合公众利益，提升方案的实施效果。例如，在城市轨道交通规划方案评价中，通过问卷调查收集居民对线路走向、站点布局的意见；通过听证会听取企业对交通影响的诉求，为方案优化提供依据。

案例分析法通过分析国内外类似交通规划项目的实施效果，总结成功经验与失败教训，为当前规划方案的评价与优化提供参考。案例分析法需选择与当前规划项目具有相似性的案例，从交通运行、经济、社会、环境等维度分析案例的实施效果，提炼可借鉴的经验；同时分析案例存在的问题，避免当前规划方案重蹈覆辙。例如，在 TOD 模式规划方案评价中，分析国内外成功的 TOD 项目案例，评估当前方案的合理性与可行性。

## （三）技术应用与工具支撑

GIS 技术在交通规划评价中具有广泛应用，通过 GIS 的空间数据处理与分析功能，实现评价指标的空间可视化与多维度叠加分析。利用 GIS 技术整合土地利

用、交通网络、人口分布、环境监测等空间数据,构建交通规划评价空间数据库;通过空间分析功能计算交通可达性、服务覆盖率等指标,直观展示评价结果的空间分布特征;通过地图可视化功能呈现不同规划方案的影响范围与效果,辅助规划决策。

大数据技术为交通规划评价提供了新的数据源与分析方法,通过收集与分析海量交通数据、社会经济数据、居民出行数据,提升评价的精准性与时效性。利用大数据技术分析交通流量的时空分布特征、居民出行行为规律,评估交通规划方案的交通运行效果;通过分析手机信令数据、公交 IC 卡数据、出租车 GPS 数据,精准计算平均通勤时间、公共交通出行比例等指标;通过大数据挖掘识别交通规划方案的潜在影响,为方案优化提供数据支撑。

评价软件工具的应用提升了交通规划评价的效率与科学性,常用的评价软件包括交通仿真软件(VISSIM、CORSIM)、综合评价软件(yaahp、DEAP)、GIS 软件(ArcGIS、QGIS)等。交通仿真软件用于模拟交通运行状态,输出量化评价指标;综合评价软件用于实现层次分析法、数据包络分析法等评价方法的计算,提升评价过程的自动化水平;GIS 软件用于空间数据处理与可视化,辅助评价结果的分析与呈现。

## 四、评价实施流程与结果应用

### (一) 评价实施流程

评价准备阶段需明确评价目标、评价范围、评价阶段,组建评价团队,制定评价方案。评价目标需与交通规划目标保持一致;评价范围需明确地理范围与评价对象范围;评价阶段需根据交通规划的不同阶段(战略规划、总体规划、详细规划)确定评价重点;评价方案需明确评价指标、评价方法、数据需求、时间节点与责任分工。

数据收集与处理阶段需根据评价指标的需求,收集交通运行、社会经济、土地利用、环境生态等基础数据;对收集的数据进行清洗、整合、验证,剔除异常数据,补充缺失数据,确保数据的真实性、可靠性与完整性;将处理后的数据整理为标准化数据集,为评价计算提供数据支撑。

评价计算与分析阶段需根据评价方案,采用定量与定性相结合的评价方法,计算评价指标值,分析规划方案的综合效益。定量评价通过计算经济、交通、环

境等维度的量化指标,评估方案的量化效果;定性评价通过专家咨询、公众参与等方式,评估方案的难以量化的影响;综合分析定量与定性评价结果,识别规划方案的优势与不足。

评价结果反馈与方案优化阶段需将评价结果反馈给规划编制团队,针对评价发现的问题,提出规划方案优化建议;规划编制团队根据评价建议调整规划方案,形成优化后的规划方案;对优化后的规划方案进行再次评价,直至方案满足评价目标与规划要求。

评价报告编制阶段需系统梳理评价过程与评价结果,编制交通规划评价报告。评价报告包括评价目标、评价范围、评价方法、数据来源、评价指标体系、评价结果、方案优化建议等内容;评价报告需客观、准确地反映规划方案的综合效益,为规划决策提供科学依据。

## (二) 评价结果应用

评价结果为规划决策提供直接依据,通过对比不同规划方案的综合评价得分,选择最优方案;对评价发现的问题,调整规划方案,提升方案的科学性与可行性。例如,通过评价发现某交通规划方案的交通拥堵指数过高,需优化交通网络布局,增加道路通行能力;通过评价发现方案的环境影响超出允许范围,需调整线路走向,避开生态敏感区。

评价结果为规划实施提供指导,通过明确规划方案的重点项目与实施优先级,制定合理的实施计划;根据评价结果优化资源配置,优先保障关键项目的资金与用地需求;通过评价发现的实施风险,制定针对性的风险应对措施,确保规划方案顺利实施。

评价结果为规划实施效果监测提供依据,通过建立基于评价指标体系的动态监测机制,实时跟踪规划实施进度与效果;将监测结果与评价目标进行对比,评估规划实施的成效;根据监测结果调整实施策略,确保规划目标顺利实现。

评价结果为后续交通规划提供经验借鉴,通过总结本次交通规划评价的经验与教训,优化未来交通规划评价体系;将评价结果纳入交通规划数据库,为类似交通规划项目的评价提供参考,提升交通规划的整体水平。

## 第三章 道路工程设计

### 第一节 道路几何设计

#### 一、核心内涵与设计原则

##### （一）核心内涵界定

道路几何设计是道路工程设计的核心组成部分，指基于道路功能定位、交通流量特征、自然地理条件，对道路的平面线形、纵断面线形、横断面布置及沿线设施等空间几何要素进行统筹规划与细化设计的过程。其核心目标是构建满足车辆与行人安全通行、保障交通流高效运行、适应区域发展需求的道路线形体系，同时兼顾工程经济性、生态环境保护与景观协调性，为道路工程后续施工与运营奠定基础。

道路几何设计具有系统性、安全性、经济性、适应性特征。系统性体现为各几何要素相互关联、相互制约，需统筹平面、纵断面、横断面的协同设计，形成整体优化的线形组合；安全性是核心准则，通过合理的线形参数设计减少交通冲突、降低驾驶疲劳，保障交通参与者生命财产安全；经济性表现为在满足功能要求的前提下，通过优化线形设计降低工程建设成本与后期运营维护费用；适应性体现为设计方案需匹配道路等级、交通组成，适应地形地貌、气候条件等自然环境，同时契合区域土地利用规划与交通发展战略。

##### （二）核心设计原则

安全优先原则贯穿几何设计全过程，要求线形参数选取、线形组合设计均以保障通行安全为首要目标。平面线形需避免急弯、连续弯道等不良线形，纵断面需控制坡度与坡长，减少陡坡、长坡带来的安全隐患，横断面需合理划分车道功能，保障慢行交通与机动车交通的隔离与安全。通过优化线形设计，保证驾驶员视野开阔、行车轨迹顺畅，降低交通事故发生率。

线形连续协调原则要求平面、纵断面、横断面线形要素及相互组合保持连续顺畅，无突变、无矛盾。平面线形中直线、圆曲线、缓和曲线的衔接需平滑过渡，

纵断面坡度与坡长的变化需循序渐进，横断面各组成部分的布置需与线形走向、交通需求相适应。连续协调的线形可减少驾驶员操作频繁度，降低驾驶疲劳，提升交通流运行稳定性。

与交通需求匹配原则要求几何设计参数与道路功能、交通流量、交通组成相匹配。高等级道路（如高速公路、城市快速路）需采用较大的曲线半径、较缓的坡度、较宽的车道宽度，保障高速行驶需求；低等级道路（如乡村公路、城市支路）可根据交通量适当降低线形标准，兼顾经济性与实用性。针对混合交通特征明显的道路，需优化横断面布置，保障非机动车与行人通行空间。

因地制宜原则要求设计方案充分结合自然地理条件，减少对生态环境的破坏。地形复杂区域（山区、丘陵）需灵活调整线形，采用依山就势的平面走向与纵断面设计，避免大规模填挖方；平原区域可采用较顺直的线形，提升通行效率；水文地质条件复杂区域需优化路基横断面设计，强化排水与防护措施，保障道路结构稳定。

经济合理原则要求在满足安全与功能需求的前提下，优化设计方案，控制工程投资。通过合理选择线形方案、优化横断面布置、减少不良地质路段处理工程量等方式，降低建设成本；同时考虑后期运营维护费用，选择耐久性强、维护成本低的设计方案，实现全生命周期经济性最优。

## 二、平面线形设计

### （一）核心组成要素

直线是平面线形的基本组成要素，具有路线短捷、视距良好、施工简便的特点。直线设计需控制直线长度，过长直线易导致驾驶员疲劳、车速失控，过短直线则易造成线形频繁变化，影响行车平稳性。不同等级道路直线最大长度存在明确规范要求，高等级道路直线长度可适当延长，低等级道路需严格控制。直线段布置需结合地形条件，避免强行切坡、填沟，减少对自然环境的破坏。

圆曲线是平面线形中改变行驶方向的核心要素，通过设定合理的曲线半径保障行车安全与舒适。圆曲线半径分为极限最小半径、一般最小半径、不设超高最小半径三类。极限最小半径是车辆在最大超高、最大横向力系数条件下能安全行驶的最小半径，仅在地形受限严重时采用；一般最小半径是正常情况下推荐采用的最小半径，能保障行车舒适与安全；不设超高最小半径是车辆以设计速度行驶

时, 横向力系数在允许范围内无需设置超高的最小半径, 可简化设计与施工。

缓和曲线是连接直线与圆曲线、圆曲线与圆曲线的过渡线形, 其曲率半径从无穷大逐渐变化至圆曲线半径 (或反之), 实现行车轨迹的平滑过渡。缓和曲线的主要功能是减少离心力突变对行车的影响, 使驾驶员有足够时间调整转向, 同时为超高与加宽的渐变提供空间。常用的缓和曲线形式为回旋线, 具有曲率变化均匀、计算简便的特点。缓和曲线设计需满足最小长度要求, 确保超高与加宽渐变充分。

## (二) 设计参数与控制要求

曲线半径选取需综合考虑道路等级、设计速度、地形条件、交通组成等因素。设计速度越高, 所需曲线半径越大; 山区道路受地形限制, 可在规范允许范围内采用较小曲线半径, 但需配套设置必要的安全设施 (如警告标志、防护栏、照明设施)。对于超高设置, 当曲线半径小于不设超高最小半径时, 需设置超高, 超高坡度需根据设计速度、曲线半径计算确定, 最大超高坡度需符合规范限制, 避免雨天车辆侧滑。

缓和曲线长度设计需满足三个核心要求: 一是离心加速度变化率控制, 确保驾驶员适应离心力变化; 二是驾驶员操作反应时间要求, 保障驾驶员有足够时间调整转向; 三是超高与加宽渐变长度要求, 确保超高从直线段的零逐渐过渡到圆曲线段的最大超高, 加宽从直线段的标准宽度过渡到圆曲线段的加宽宽度。不同等级道路缓和曲线最小长度需严格遵循规范规定, 不得随意缩短。

平面线形组合设计需遵循连续、协调的原则, 常见组合形式包括基本型 (直线 - 缓和曲线 - 圆曲线 - 缓和曲线 - 直线)、S 型 (两个反向圆曲线通过缓和曲线连接)、C 型 (两个同向圆曲线通过缓和曲线连接)、复曲线 (两个或多个同向圆曲线直接连接, 无缓和曲线) 等。基本型线形适用范围最广, 能保障行车平稳; S 型线形需控制两个圆曲线半径与缓和曲线长度的协调, 避免线形突变; C 型线形需确保中间缓和曲线长度足够, 保障转向过渡顺畅; 复曲线仅适用于地形受限严重的低等级道路, 且需满足半径比限制要求。

视距保障是平面线形设计的关键安全控制要求, 需确保驾驶员在行驶过程中有足够的视距观察前方道路情况, 及时发现障碍物或交通参与者, 采取制动或避让措施。平面视距分为停车视距、会车视距、超车视距三类。停车视距是驾驶员发现障碍物后, 从反应时间到停车所需的最短距离; 会车视距是两车对向行驶时,

双方发现对方后及时停车或避让所需的最短距离，通常为停车视距的两倍；超车视距是车辆超越前车时，从开始超车到完成超车回到原车道所需的最短距离。平面线形设计中，需在直线段、曲线段合理布置，确保视距满足规范要求，曲线段视距不足时，需设置视距台或开挖视距通道。

### 三、纵断面线形设计

#### （一）核心组成要素

纵坡是纵断面线形的核心要素，指道路纵向的坡度，分为上坡、下坡两种，直接影响车辆行驶速度、燃油消耗与行车安全。纵坡设计需控制坡度大小与坡长，坡度越大、坡长越长，车辆行驶阻力越大，下坡时易出现车速过快、制动失效等安全隐患。不同等级道路最大纵坡存在明确规范限制，高等级道路最大纵坡较小，低等级道路可适当提高；冰雪地区、山区道路需进一步降低最大纵坡，保障行车安全。<sup>①</sup>

竖曲线是连接不同纵坡段的过渡线形，分为凸形竖曲线（连接两个上坡段或上坡段与下坡段，曲线向上凸起）和凹形竖曲线（连接两个下坡段或下坡段与上坡段，曲线向下凹陷）。竖曲线的核心功能是缓和纵坡变化带来的行车冲击，保障行车平稳与视距良好。凸形竖曲线需保障驾驶员视野开阔，避免出现视距盲区；凹形竖曲线需减少车辆颠簸，避免离心力过大影响行车舒适。

坡长是指某一纵坡段的长度，分为最大坡长与最小坡长。最大坡长是某一坡度下允许的最长坡段长度，超过最大坡长需设置缓和坡段（坡度较小的坡段），缓解车辆行驶疲劳与制动系统过热；最小坡长是为保障纵断面线形连续顺畅，避免纵坡频繁变化设置的最短坡段长度，需满足车辆行驶距离与竖曲线布置要求。

#### （二）设计参数与控制要求

纵坡坡度设计需结合道路等级、设计速度、交通组成、地形条件综合确定。高速公路、城市快速路设计速度高，最大纵坡通常控制在 3%-5%；一级公路、二级公路最大纵坡控制在 5%-7%；三级公路、四级公路及乡村公路最大纵坡可放宽至 8%-12%，但需配套设置警告标志与减速设施。对于特殊路段（如桥头、隧道进出口、交叉口附近），需采用较小纵坡，保障行车平稳与安全。

---

① 林庚钗. 城市道路平面几何线形优化设计研究 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4 (18): 63-65.

竖曲线半径与长度设计需满足视距要求与行车舒适要求。凸形竖曲线最小半径需根据设计速度与停车视距确定，确保驾驶员在曲线最高点能观察到前方足够距离的道路；凹形竖曲线最小半径需根据设计速度与离心力系数确定，控制车辆行驶时的离心力，避免颠簸。竖曲线最小长度需满足车辆行驶时间要求，确保驾驶员有足够时间适应纵坡变化，同时为路面排水与线形美观提供保障。不同等级道路竖曲线最小半径与最小长度需严格遵循规范规定。

纵断面线形组合设计需避免不良线形组合，确保线形连续、顺畅、安全。严禁出现连续陡坡、急弯与陡坡组合、凸形竖曲线与凹形竖曲线紧邻等不良组合形式。连续陡坡易导致货车制动失效，急弯与陡坡组合易增加车辆侧翻风险，相邻竖曲线过近易造成行车颠簸与视距不良。合理的线形组合应使纵坡变化平缓，竖曲线布置均匀，与平面线形协调配合，形成立体空间上的顺畅轨迹。

排水与标高控制是纵断面设计的重要配套要求。纵坡设计需确保路面排水顺畅，最小纵坡通常不小于 0.3%，困难路段可适当降低，但需采取特殊排水措施（如加密雨水口）。道路标高设计需结合地形地貌、周边土地利用、地下管线布置等因素，避免道路标高过高导致填方过大、周边地块排水困难，或标高过低导致挖方过大、受洪水威胁。同时，需保障道路与周边建筑物、交叉口、桥梁、隧道等设施标高衔接顺畅。

## 四、横断面设计

### （一）核心组成要素

行车道是横断面的核心组成部分，用于保障机动车通行，其宽度需根据道路等级、设计速度、交通组成确定。车道宽度分为标准车道宽度与加宽车道宽度，标准车道宽度通常为 3.5m，高等级道路（如高速公路）可采用 3.75m 宽车道，提升行车舒适性；低等级道路可根据交通量采用 3.0m-3.5m 宽车道。当车辆转弯半径较小时，需在圆曲线段设置加宽车道，加宽值根据车型与曲线半径计算确定，保障大型车辆顺利通行。

路肩是行车道外侧的附属部分，分为硬路肩与土路肩，具有保护行车道、提供紧急停车空间、支撑路面结构的功能。硬路肩需具备一定的承载能力，宽度通常为 1.0m-2.5m，高速公路、一级公路硬路肩宽度较大，可作为紧急停车带使用；土路肩宽度通常为 0.5m-1.0m，主要用于排水与保护路基。路肩设计需与行车道

衔接顺畅，横坡度需大于行车道横坡度，保障排水顺畅。

分隔带是用于分离不同方向或不同类型交通流的设施，分为中央分隔带与侧分隔带。中央分隔带设置在双向行车道之间，核心功能是隔离对向交通，减少对向车辆眩光干扰，提供绿化与管线布置空间，宽度通常为 1.0m-5.0m，高等级道路中央分隔带宽度较大，可设置防撞护栏与绿化设施；侧分隔带设置在机动车道与非机动车道之间，用于隔离机动车与非机动车交通，保障慢行交通安全，宽度通常为 0.5m-2.0m，可结合绿化与公交站台布置。

非机动车道与人行道是保障慢行交通通行的核心要素，需根据道路功能与交通需求合理布置。非机动车道宽度需满足自行车、电动自行车等车辆并行通行要求，单向宽度通常为 2.5m-3.5m，双向通行需设置分隔设施。人行道宽度需根据行人流量确定，城市主干道、商业中心区域人行道宽度通常为 3.0m-5.0m，一般道路人行道宽度不小于 1.5m。非机动车道与人行道需设置防滑路面，配套建设盲道、过街设施等无障碍设施。

绿化带是横断面的重要组成部分，具有美化环境、净化空气、降噪减尘、分隔交通的功能。绿化带布置需结合道路等级与横断面形式，可设置在中央分隔带、侧分隔带、人行道外侧等位置。绿化带宽度需兼顾功能与经济性，高等级道路绿化带宽度较大，低等级道路可适当简化。绿化带植物选择需适应本地气候条件，优先选择耐旱、耐修剪、抗污染的植物品种。

## （二）设计参数与控制要求

横断面宽度设计需根据道路等级、交通流量、交通组成、功能定位综合确定，确保各组成部分宽度满足通行需求。高速公路、城市快速路横断面需保障足够的行车道宽度、硬路肩宽度与中央分隔带宽度，提升高速行驶安全性与舒适性；城市主干道需兼顾机动车、非机动车与行人通行，合理分配各部分宽度，保障交通流有序运行；城市支路、乡村公路可适当缩减横断面宽度，降低工程成本，但需满足基本通行需求。

横坡度设计需保障路面排水顺畅，同时避免横坡过大影响行车平稳。行车道横坡度通常采用 1.5%-2.5% 的单向横坡或双向横坡，单向横坡适用于有中央分隔带的道路，双向横坡适用于无中央分隔带的道路。路肩横坡度需比行车道横坡度大 1.0%-2.0%，确保雨水快速排出路基。非机动车道与人行道横坡度通常采用 1.5%-2.0%，保障行人与非机动车通行安全。

横断面形式需根据道路等级、地形条件、交通需求选择合适的类型，常见形式包括单幅路、双幅路、三幅路、四幅路。单幅路无中央分隔带，双向行车道混合行驶，适用于交通量较小的低等级道路；双幅路设置中央分隔带，分离对向交通，适用于交通量较大的一级公路、城市主干道；三幅路设置中央分隔带与侧分隔带，分离对向交通与机动车、非机动车交通，适用于混合交通特征明显的城市主干道；四幅路设置中央分隔带、侧分隔带与非机动车道分隔带，全面分离各类交通流，适用于交通量大、行人与非机动车多的城市核心区主干道。

路基边坡与防护设计是横断面设计的重要安全保障，需根据路基填土高度、土壤性质、地形条件确定边坡坡度。填方路基边坡坡度通常为 1:1.5-1:2.5，挖方路基边坡坡度通常为 1:1.0-1:2.0，土质较差、地形陡峭区域需采用更缓的边坡或设置防护设施（如挡土墙、护坡、格构防护）。边坡防护设计需兼顾稳定性与生态性，优先采用生态防护措施（如植被护坡），减少对自然环境的破坏。

## 第二节 交叉口设计

### 一、核心内涵与设计原则

#### （一）核心内涵界定

交叉口是道路网络的节点，是不同方向、不同类型交通流交汇、转换的关键区域，交叉口设计是道路工程设计的重要组成部分，指基于交通流量特征、道路等级、功能定位，对交叉口的平面布置、交通组织、信号控制、安全设施等进行统筹设计的过程。其核心目标是规范交通流运行秩序，减少交通冲突点，提升交叉口通行能力与通行效率，保障交通参与者安全，实现不同交通流的顺畅转换。

交叉口设计具有复杂性、综合性、安全性特征。复杂性体现为交叉口汇集机动车、非机动车、行人等多种交通流，交通行为多样，冲突点多；综合性表现为设计内容涵盖平面布置、交通组织、信号控制、安全设施等多个方面，需统筹考虑工程技术、交通管理、安全保障等多重需求；安全性是核心要求，交叉口是交通事故高发区域，设计需通过优化布置与组织，最大限度减少交通冲突，降低事故风险。

## （二）核心设计原则

减少冲突原则是交叉口设计的核心准则，通过优化平面布置、交通组织方式，减少交通流交汇点、冲突点的数量与严重程度。合理划分交通流行驶轨迹，实现机动车、非机动车、行人交通流的物理分离或时间分离；避免出现多股交通流在同一区域交汇的复杂冲突场景；通过渠化设计引导交通流有序行驶，减少交叉冲突与合流、分流冲突。

通行效率优先原则要求设计方案能最大限度提升交叉口通行能力，减少车辆延误与排队长度。根据交通流量特征合理确定交叉口形式、车道数量与车道功能；优化信号配时方案，匹配不同方向交通流量需求；简化交通流转换流程，减少车辆在交叉口的停留时间；保障公交、应急车辆等优先通行，提升整体通行效率。

安全保障原则要求设计方案充分考虑交通参与者的安全需求，通过完善的设施与合理的布置降低事故风险。保障交叉口足够的视距，避免出现视距盲区；设置清晰的交通标志标线，引导交通流有序行驶；采用物理隔离设施分离不同交通流，保障非机动车与行人安全；优化交叉口线形，减少车辆转弯时的视野遮挡与车速突变。

以人为本原则要求设计方案充分考虑非机动车与行人的通行需求，保障慢行交通安全与便捷。设置专用的非机动车道与人行道，完善非机动车与行人过街设施；合理设置行人等待区域与过街信号，缩短行人过街距离与等待时间；建设无障碍设施（如盲道、坡道），保障特殊群体通行权益；优化交叉口周边步行环境，提升慢行交通出行体验。

适应性原则要求设计方案匹配道路等级、交通流量、地形条件与区域发展需求。高等级道路交叉口需保障快速通行与安全，采用立体交叉或信号控制的平面交叉形式；低等级道路交叉口可采用简易的平面交叉形式，降低工程成本；交通流量大的交叉口需增加车道数量、优化渠化设计，交通流量小的交叉口可简化设计；地形复杂区域需结合地形调整交叉口布置，避免大规模土方工程。

## 二、交叉口分类与形式选择

### （一）核心分类方式

按交通组织方式分类，交叉口可分为无信号交叉口、信号控制交叉口、环岛交叉口。无信号交叉口通过交通标志标线引导交通流通行，适用于交通流量小、

冲突点少的低等级道路交叉口；信号控制交叉口通过交通信号灯控制不同方向交通流的通行权，实现时间分离，适用于交通流量大、冲突点多的城市道路交叉口；环岛交叉口通过环岛引导交通流逆时针绕岛行驶，实现交通流的有序交汇，适用于交通流量适中、多方向交通流均衡的交叉口。

按交叉口形式分类，平面交叉口可分为十字形交叉口、T形交叉口、Y形交叉口、环形交叉口、多路交叉口等。十字形交叉口是最常见的形式，交通流交汇清晰，适用范围广；T形交叉口与Y形交叉口适用于道路正交或斜交的支路与主干路、次干路交叉口；环形交叉口通过环岛组织交通，减少冲突点；多路交叉口（如五岔、六岔交叉口）交通流复杂，冲突点多，需通过渠化设计或交通组织优化简化通行流程。

按是否采用立体分离分类，可分为平面交叉口与立体交叉口。平面交叉口交通流在同一平面交汇，建设成本低、施工简便，适用于大多数道路交叉口；立体交叉口通过桥梁、隧道等设施实现不同方向交通流的立体分离，无平面冲突点，通行效率高、安全性好，适用于高等级道路（如高速公路、城市快速路）交叉口或交通流量极大的城市主干道交叉口。

## （二）形式选择依据与要求

道路等级是交叉口形式选择的核心依据。高速公路、城市快速路作为高等级道路，需保障快速、安全通行，其交叉口应优先采用立体交叉形式（如互通式立交、分离式立交），避免平面交叉；一级公路、城市主干道交叉口可根据交通流量选择信号控制平面交叉或简易立体交叉；二级及以下公路、城市支路交叉口可采用无信号平面交叉或环岛交叉口，降低建设成本。

交通流量与交通组成是形式选择的关键因素。当交叉口高峰小时交通量超过平面交叉口通行能力阈值时，需采用立体交叉形式；当机动车流量大、非机动车与行人流量较小时，可采用信号控制平面交叉并优化渠化设计；当非机动车与行人流量大、机动车流量适中时，需采用分离式渠化设计，保障慢行交通安全；当多方向交通流均衡且流量适中时，可采用环岛交叉口，提升通行效率。

地形条件与周边环境需纳入形式选择考量。地形平坦区域可采用常规平面交叉口或立体交叉口；地形陡峭区域需结合地形调整交叉口形式，避免大规模填挖方，可采用斜交交叉口或分层式立体交叉口；城市核心区、商业中心区域交叉口需兼顾通行效率与行人安全，采用信号控制平面交叉并完善慢行交通设施；郊区

或乡村区域交叉口可简化形式，降低工程成本与维护费用。

工程经济性与施工可行性需平衡考虑。平面交叉口建设成本低、施工周期短，应优先在条件允许的情况下采用；立体交叉口建设成本高、施工复杂、占用土地多，仅在交通流量需求大、平面交叉口无法满足通行要求时采用。选择交叉口形式时，需进行技术经济比选，确保方案在满足功能需求的前提下，实现建设成本与运营效益的平衡。

### 三、平面交叉口设计核心内容

#### （一）平面布置设计

交叉口车道数确定需根据进口道、出口道交通流量计算，保障各方向交通流有足够的通行空间。进口道车道数需满足左转、直行、右转交通流量需求，通过交通量预测与车道通行能力计算确定，通常设置 1-2 条左转车道、2-4 条直行车道、1 条右转车道，交通流量大的交叉口可适当增加车道数量。出口道车道数需与进口道车道数匹配，确保车辆顺利驶出，避免出现出口道拥堵导致进口道排队溢出。

车道功能划分需明确各车道的行驶方向，避免交通流混淆与冲突。通过交通标志标线明确左转车道、直行车道、右转车道的位置，左转车道应设置在最左侧，直行车道在中间，右转车道在最右侧；对于混合交通流较多的交叉口，需设置专用非机动车道与右转机动车道隔离，避免右转机动车与非机动车冲突；公交优先交叉口需设置公交专用进口道，保障公交车辆优先通行。

交叉口转角半径设计需根据道路等级、设计速度、车型组成确定，保障车辆顺利转弯。大型车辆通行较多的交叉口（如货车通道、公交干线交叉口）需采用较大的转角半径（通常为 15m-30m），小型车辆为主的交叉口可采用较小的转角半径（通常为 5m-15m）。转角半径过大易占用过多土地资源，过小则易导致大型车辆转弯困难、碾压人行道或非机动车道，需平衡安全性与经济性。

交叉口视距保障是平面布置设计的关键安全要求，需确保驾驶员在进入交叉口前能清晰观察到各个方向的交通流与障碍物。进口道视距三角形范围内不得设置建筑物、广告牌、浓密绿化带等遮挡视线的设施，视距三角形的大小需根据设计速度、停车视距确定。对于无信号交叉口，需保障足够的会车视距与超车视距；对于信号控制交叉口，需保障驾驶员能清晰观察到交通信号灯与交通标志。

## （二）渠化设计

渠化设计是通过设置导流岛、隔离栏、交通标志标线等设施，引导交通流按预定轨迹行驶，减少冲突点的设计手段。其核心目标是规范交通流运行秩序，提升交叉口通行能力与安全性。渠化设计需结合交通流量特征与交叉口形式，针对性解决交通冲突问题，常见的渠化措施包括左转导流、右转渠化、行人过街渠化等。

左转渠化是解决左转交通与对向直行交通冲突的核心措施，常见形式包括设置左转专用车道、左转导流岛、左转待转区等。设置左转专用车道可分离左转交通与直行交通，减少冲突；设置左转导流岛可引导左转车辆按固定轨迹行驶，避免与直行车辆、行人冲突；设置左转待转区可在信号控制下，增加左转车辆放行数量，提升左转通行能力。左转渠化设计需确保左转车辆行驶轨迹顺畅，与对向直行车辆保持足够安全距离。

右转渠化是解决右转交通与非机动车、行人交通冲突的关键措施，常见形式包括设置右转专用车道、右转导流岛、右转减速带、非机动车等待区等。设置右转专用车道可分离右转交通与直行交通，提升右转通行效率；设置右转导流岛可隔离右转机动车与非机动车、行人，避免右转机动车与过街行人、非机动车冲突；设置右转减速带可强制右转车辆减速慢行，保障慢行交通安全；设置非机动车等待区可让非机动车在绿灯放行前进入等待区，减少与右转机动车的冲突。

行人与非机动车渠化是保障慢行交通安全的重要措施，常见形式包括设置行人过街横道、行人等待区、非机动车专用道、隔离栏等。行人过街横道需设置在视线良好、距离最短的位置，采用斑马线或彩色防滑路面标识，对于宽路面交叉口，需设置行人安全岛，供行人分段过街；行人等待区需设置在进口道停止线前方，与机动车道隔离，保障行人等待安全；非机动车专用道需通过隔离栏或标线与机动车道分离，引导非机动车按指定轨迹行驶，避免与机动车混行。

导流岛设计是渠化设计的核心设施，分为左转导流岛、右转导流岛、中心导流岛等类型。导流岛需采用坚固、防滑的材料铺设，边缘设置反光标识，确保夜间可视性；导流岛的大小与形状需根据交通流轨迹确定，确保车辆能顺畅绕行，同时为行人提供足够的等待空间；导流岛周边需设置合理的横坡度，保障排水顺畅，避免积水影响通行。

## （三）信号控制设计

交通信号相位设计是信号控制设计的核心内容，指根据交通流交汇关系，将

交叉口不同方向、不同类型的交通流划分为不同的放行阶段。相位设计需最大限度减少交通冲突,提高信号控制效率,常见的相位类型包括直行相位、左转相位、右转相位、行人相位等。对于简单十字形交叉口,可采用两相位控制(东西方向直行+左转、南北方向直行+左转);对于交通流复杂的交叉口,可采用多相位控制,分离不同方向的左转、右转交通与行人交通。

信号配时设计是确定每个相位的绿灯时间、红灯时间、黄灯时间,以及信号周期长度。信号周期长度是指完成一个完整相位循环的时间,需根据交叉口交通流量总需求确定,周期过长易导致车辆排队过长,周期过短易导致相位切换频繁、通行效率低。绿灯时间需根据各相位交通流量与车道通行能力计算确定,确保在绿灯时间内能放行排队车辆;黄灯时间用于警示车辆即将红灯,通常设置为3s-5s;红灯时间为其他相位绿灯时间与黄灯时间之和。

特殊信号控制设计适用于特定交通需求场景,包括公交优先信号、应急优先信号、自适应信号等。公交优先信号通过设置公交检测器,当公交车辆到达交叉口时,延长绿灯时间或提前开启绿灯,保障公交车辆优先通行;应急优先信号用于保障消防车、救护车、警车等应急车辆快速通过交叉口,通过应急车辆专用检测器或手动控制,强制切换信号为绿灯;自适应信号通过实时检测交叉口交通流量变化,动态调整信号相位与配时方案,适应交通流量的动态变化,提升通行效率。

信号设施布置需确保交通参与者能清晰观察到交通信号灯,信号灯设置高度通常为5m-6m,对于大型交叉口需设置多组信号灯,确保不同车道的驾驶员都能清晰看到;信号灯应设置在交叉口进口道的右侧或上方,避免被建筑物、树木遮挡;同时需配套设置信号灯倒计时显示器,为驾驶员提供明确的时间提示,减少闯红灯行为。

## 四、立体交叉口设计核心内容

### (一) 核心类型与适用场景

立体交叉口按交通功能可分为分离式立交与互通式立交。分离式立交通过桥梁或隧道实现不同方向交通流的立体分离,无交通流交汇,仅解决交通流跨越问题,适用于高等级道路与低等级道路交叉、铁路与道路交叉等场景,具有结构简单、建设成本低的特点。互通式立交通过匝道连接不同方向道路,实现交通流的转向与转换,适用于高速公路之间、高速公路与城市快速路之间、城市快速路之

间等需要大量交通流转换的交叉口，具有通行效率高、安全性好的特点。<sup>①</sup>

互通式立交按转向功能可分为全互通式立交与半互通式立交。全互通式立交能够实现所有方向的交通流转向（左转、右转、直行），适用于交通流量大、转向需求多的交叉口，常见形式包括菱形立交、苜蓿叶形立交、喇叭形立交、环形立交等；半互通式立交仅能实现部分方向的交通流转向，适用于转向需求少、地形受限的交叉口，可降低建设成本与土地占用。

## （二）主线与匝道设计

立体交叉口主线设计需保障主线交通流的快速、顺畅通行，主线线形参数需符合高等级道路设计标准，平面线形采用较大的曲线半径，纵断面坡度平缓，确保车辆高速行驶安全。主线桥梁或隧道的净空高度需满足规范要求，高速公路、城市快速路主线净空高度不小于 5.0m，保障大型车辆顺利通行；主线与匝道的衔接需顺畅，避免出现线形突变，影响行车平稳性。

匝道是实现不同方向交通流转换的核心设施，其设计直接影响互通式立交的通行能力与安全性。匝道平面线形需根据转向需求与地形条件确定，曲线半径需满足车辆转弯速度要求，左转匝道曲线半径通常大于右转匝道；匝道纵断面坡度需严格控制，最大纵坡通常不超过 4%-6%，避免车辆上坡困难、下坡车速过快；匝道宽度需根据交通流量确定，单向匝道宽度通常为 7.5m-9.0m（含硬路肩），双向匝道需设置中央分隔带，宽度不小于 1.0m。

匝道连接部设计是主线与匝道衔接的关键，需确保车辆平稳驶入与驶出。驶入匝道连接部需设置加速车道，让车辆从匝道低速行驶加速至主线行驶速度，再汇入主线交通流；加速车道长度需根据设计速度与加速度计算确定，确保车辆有足够距离完成加速。驶出匝道连接部需设置减速车道，让车辆从主线高速行驶减速至匝道行驶速度，再驶入匝道；减速车道长度需根据设计速度与减速度计算确定，确保车辆安全减速。

## （三）附属设施设计

立体交叉口排水设计需保障桥梁、隧道、匝道等区域排水顺畅，避免积水影响行车安全。桥梁排水需设置桥面泄水管，将雨水收集后排放至地面排水系统；隧道排水需设置截水沟、排水沟与集水井，及时排出隧道内雨水与地下水；匝道

---

<sup>①</sup> 刘宝谦,任振.城市道路交叉口通行能力分析与优化设计[J].时代汽车,2025,(24): 181-183.

与主线衔接区域需设置汇水点与排水设施，确保雨水快速排出，避免在路面形成积水。

照明设施设计需保障立体交叉口夜间通行安全，照明范围需覆盖主线、匝道、连接部、收费广场（如有）等所有区域，照明亮度需均匀，无眩光干扰。桥梁与隧道照明需采用防眩光灯具，隧道入口与出口需设置过渡照明，避免光线突变影响驾驶员视线；照明灯具设置高度与间距需根据照明需求确定，确保夜间行车视野清晰。

安全设施设计是立体交叉口设计的重要保障，包括防撞护栏、避险车道、交通标志标线、监控设施等。防撞护栏需设置在主线、匝道的两侧与中央分隔带，采用高强度材料，保障车辆碰撞时的安全；避险车道适用于长下坡匝道末端，为制动失效的车辆提供紧急避险空间；交通标志标线需清晰、准确，引导车辆正确行驶，包括方向指示标志、限速标志、匝道入口标志、出口预告标志等；监控设施需覆盖整个立体交叉口，实时监测交通运行状态，为交通管理与应急处置提供支撑。

## 五、交叉口安全设施与无障碍设计

### （一）安全设施设计

交通标志标线是交叉口最基础的安全设施，用于引导交通流行驶、警示危险区域、规范交通行为。交通标志包括警告标志、禁令标志、指示标志、指路标志等，警告标志设置在交叉口进口道前方，警示驾驶员注意交叉口与交通流；禁令标志用于限制车辆行驶速度、行驶方向等；指示标志明确车道功能、行驶方向；指路标志引导驾驶员前往目的地。交通标线包括车道分界线、车道边缘线、停止线、人行横道线、导流线等，通过不同颜色与形状的标线，规范车辆与行人行驶轨迹。

隔离设施用于分离不同交通流，减少冲突，常见类型包括护栏、隔离墩、隔离带等。护栏分为机动车道护栏、非机动车道护栏、人行道护栏，用于隔离机动车与非机动车、行人，或隔离对向机动车；隔离墩用于临时或永久隔离交通流，设置灵活；隔离带结合绿化设置，兼具隔离与美化功能。隔离设施需设置牢固，高度适中，避免影响驾驶员视线，同时需设置反光标识，确保夜间可视性。

减速设施用于强制车辆减速慢行，保障交叉口安全，常见类型包括减速带、减速丘、减速标线等。减速带与减速丘设置在交叉口进口道、学校周边交叉口等

区域，通过物理凸起强制车辆减速；减速标线通过路面凹凸纹理或特殊标线，提醒驾驶员减速慢行。减速设施设计需根据道路等级与交通流量确定，避免过度设置影响通行效率。

监控与应急设施用于实时监测交叉口交通运行状态，及时处置交通事故与交通拥堵。监控设施包括视频监控摄像头、交通流量检测器、闯红灯抓拍设备等，实时采集交通数据与图像信息；应急设施包括紧急报警电话、应急照明、消防设施等，为应急处置提供保障。监控与应急设施需与交通管理部门联网，实现数据共享与快速响应。

## （二）无障碍设计

交叉口无障碍设计是保障老年人、残疾人等特殊群体通行安全的重要内容，核心是构建连续、安全、便捷的无障碍通行系统。无障碍设计需遵循平等、安全、便捷的原则，涵盖人行道无障碍、过街无障碍、信号提示无障碍等多个方面。

人行道无障碍设计需设置连续的盲道，盲道分为行进盲道与提示盲道，行进盲道设置在人行道中央或外侧，引导盲人直线行走；提示盲道设置在交叉口、过街设施、公交站台等位置，提醒盲人前方即将到达特殊区域。盲道需采用防滑、耐磨的材料，颜色与周边路面有明显区别，避免被占用或破坏。同时，人行道需设置无障碍坡道，方便轮椅通行，坡道坡度不大于 1:12，宽度不小于 1.2m。

过街无障碍设计需设置无障碍过街横道，过街横道需采用防滑路面，宽度不小于 1.5m；对于宽路面交叉口，需设置无障碍行人安全岛，安全岛面积不小于  $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ ，便于轮椅停留。同时，需设置盲人过街音响提示装置，通过声音提示盲人过街信号状态，帮助盲人安全过街。

信号提示无障碍设计需确保交通信号灯能被特殊群体清晰识别，对于视力障碍者，需配套设置音响提示装置；对于听力障碍者，需设置信号灯闪烁装置或视觉提示标志。同时，交通标志需采用清晰的图案与文字，颜色对比度高，便于老年人与视力不佳者识别。

## 第三节 道路排水设计

### 一、核心内涵与设计原则

#### （一）核心内涵界定

道路排水设计是道路工程设计的关键组成部分，指基于道路等级、地形地貌、气候条件、水文地质特征，对道路范围内的地表径流、地下水进行系统收集、疏导与排放的专项设计过程。其核心目标是快速排除路面与路基范围内的积水，防止雨水渗透损害路基路面结构，保障车辆与行人通行安全，延长道路使用寿命，同时避免排水径流对周边生态环境、市政设施造成不良影响，实现排水系统与道路工程、周边环境的协同适配。

道路排水设计具有系统性、安全性、适应性、经济性特征。系统性体现为排水系统涵盖路面排水、路基排水、地下排水等多个子系统，需统筹平面布置与竖向衔接，形成完整的排水体系；安全性是核心准则，通过高效排水避免路面积水导致的行车打滑、视线受阻等安全隐患，同时防止路基水毁引发的道路结构失稳；适应性体现为设计方案需匹配区域降雨特征、地形坡度、土壤渗透性，兼顾道路功能与周边土地利用需求；经济性表现为在满足排水功能的前提下，优化排水设施布局与结构形式，控制建设成本与后期运维费用。

#### （二）核心设计原则

快速排净原则要求排水系统具备足够的排水能力，确保降雨期间路面、路基无长时间积水。设计需精准计算汇水面积与设计降雨量，合理确定排水设施的断面尺寸、坡度与间距，保障雨水在路面形成积水前快速汇入排水设施，避免积水影响通行安全与道路结构稳定。

因地制宜原则要求结合地形地貌、水文地质条件选择适宜的排水形式。地形平坦区域需强化排水系统的汇水与疏导能力，设置加密排水设施；地形陡峭区域需重点防范山洪冲刷，设置截水沟、急流槽等设施；水文地质复杂区域需配套建设地下排水设施，降低地下水位对路基的影响；多雨地区需提升排水系统冗余度，少雨地区可适当简化排水设施。

防排结合原则强调既要通过排水设施主动排放雨水，也要通过防护措施减少雨水对道路的侵蚀。路基设计需设置隔水层、护坡等设施，防止雨水渗透引发路

基软化、沉降；路面设计需保障表面平整度与横坡度，提升路面排水效率；边坡设计需配套截排水设施，避免雨水冲刷导致边坡坍塌。

生态协同原则要求排水设计兼顾生态环境保护，避免排水径流对周边水体、土壤、植被造成破坏。优先采用生态排水形式（如植草沟、渗透池、生态边沟），促进雨水下渗补给地下水；排水出口需设置消能、净化设施，降低径流携带的污染物对受纳水体的影响；避免大规模硬化排水设施，减少对自然水文循环的干扰。

与市政系统衔接原则要求道路排水系统与城市市政排水管网、区域防洪系统协调衔接。道路排水出口需接入市政雨水管网或自然排水通道，确保排水通畅；需核算市政管网的接纳能力，避免排水径流溢出引发内涝；跨区域道路排水设计需与区域防洪规划衔接，保障排水系统符合防洪标准。

## 二、排水系统分类与核心组成

### （一）按排水对象分类

路面排水系统主要负责排除路面表面的雨水，避免雨水在路面形成积水影响行车安全，同时防止雨水渗透至路面结构内部导致路面损坏。路面排水系统分为路表排水与内部排水两类，路表排水通过路面横坡、路肩排水设施将雨水引导至路边排水系统；内部排水通过路面结构内的排水基层、排水盲沟等设施，排出渗透进入路面结构的雨水，保障路面结构干燥稳定。

路基排水系统核心功能是降低地下水位，排出路基范围内的地下水与渗透水，防止路基软化、翻浆、沉降，保障路基结构稳定。路基排水系统分为地下排水与地表排水，地下排水设施包括渗沟、渗井、排水垫层等，用于排出地下水位以下的地下水；地表排水设施包括边沟、截水沟、排水沟等，用于排出路基边坡与周边区域的地表径流，避免雨水冲刷路基。

中央分隔带排水系统适用于设有中央分隔带的高等级道路（如高速公路、城市快速路），用于排除中央分隔带内的雨水，防止雨水渗透至路面结构或路基。中央分隔带排水系统根据分隔带宽度、植被覆盖情况分为明沟排水、暗管排水两类，明沟排水适用于宽分隔带，通过设置浅沟收集雨水；暗管排水适用于窄分隔带或绿化分隔带，通过埋设排水管道收集雨水，避免影响分隔带绿化效果。

### （二）核心排水设施构造

边沟是道路两侧最基础的排水设施，用于收集路面径流与路基边坡地表径流，

按断面形式分为矩形边沟、梯形边沟、三角形边沟。矩形边沟适用于路基边坡较陡或有硬化护坡的路段，施工简便、排水能力稳定；梯形边沟适用于土质边坡路段，边坡稳定性好，不易坍塌；三角形边沟适用于汇水面积小、降雨量少的低等级道路，结构简单、工程量小。边沟设计需控制纵坡度，确保排水顺畅，纵坡度通常不小于 0.3%，困难路段可适当降低，但需采取防淤堵措施。

截水沟设置在路基上方边坡外侧，用于拦截上方山坡或区域的地表径流，防止雨水冲刷路基边坡。截水沟需设置在地表径流汇入路基的上游位置，断面形式多为梯形，沟壁需采用浆砌片石、混凝土等材料加固，避免冲刷损坏；截水沟出口需与排水沟或自然排水通道衔接，确保排水通畅，出口处需设置消能设施，防止水流冲刷下游地面。

排水沟用于连接边沟、截水沟、渗沟等排水设施，将分散的径流集中排放至市政管网或自然水体。排水沟布置需根据地形与排水流向确定，尽量短捷顺直，减少转弯；断面形式根据汇水流量分为矩形、梯形、U 形，流量大的路段采用矩形或梯形，流量小的路段采用 U 形；排水沟需设置必要的跌水与急流槽，用于处理高差较大的路段，避免水流流速过大冲刷沟壁。

雨水口是路面排水的关键节点设施，用于收集路面径流并导入地下排水管道，按设置位置分为路边雨水口、中央分隔带雨水口。路边雨水口设置在路面边缘或路肩，与边沟或地下管网衔接；中央分隔带雨水口设置在中央分隔带内，用于收集分隔带内的雨水。雨水口按结构形式分为平篦式、立篦式、联合式，平篦式适用于路面横坡较大的路段，立篦式适用于路肩较窄或易积雪积冰的路段，联合式兼具平篦式与立篦式的优点，适用于汇水流量大的路段。雨水口设计需控制间距，通常为 20m-50m，汇水流量大的路段需加密设置。

渗沟是路基地下排水的核心设施，用于排出路基范围内的地下水或渗透水，降低地下水位，按构造形式分为填石渗沟、管式渗沟、洞式渗沟。填石渗沟适用于地下水流量较小的路段，通过填充碎石、卵石等透水性材料收集地下水；管式渗沟适用于地下水流量较大的路段，在渗沟底部埋设排水管道，提升排水效率；洞式渗沟适用于深层地下水排水，通过设置排水洞收集深层地下水。渗沟需设置反滤层，防止土壤颗粒进入渗沟导致淤堵，反滤层采用粒径分级的砂石材料铺设。

急流槽与跌水用于处理排水设施高差较大的路段，通过设置台阶式跌水或陡槽引导水流，降低水流流速，避免冲刷损坏排水设施与路基。急流槽适用于高差

较大、地形陡峭的路段，槽身采用混凝土或浆砌片石浇筑，内壁需光滑平整，底部设置防滑槽或消能齿，增强消能效果；跌水由进水口、跌水墙、消力池、出水口组成，通过台阶式跌水墙分散水流能量，消力池内设置消能设施，确保水流平稳排出。

### 三、设计核心流程与技术要点

#### （一）基础资料收集与水文计算

基础资料收集是排水设计的前提，核心收集内容包括区域气象资料、水文地质资料、地形地貌资料、道路设计资料、周边市政设施资料。气象资料需收集多年平均降雨量、最大降雨量、暴雨强度公式等，用于确定设计降雨强度；水文地质资料需收集地下水位标高、土壤渗透性、含水层分布等，用于评估地下水对路基的影响；地形地貌资料需收集道路沿线地形坡度、汇水范围、自然排水通道分布等，用于优化排水设施布局；道路设计资料需收集道路等级、横断面形式、纵坡度等，用于匹配排水设施设计参数；周边市政设施资料需收集市政排水管网位置、管径、接纳能力等，用于衔接道路排水系统。

水文计算是确定排水设施规模的核心依据，主要包括设计暴雨强度计算、汇水面积确定、径流量计算。设计暴雨强度根据当地暴雨强度公式，结合设计重现期确定，不同等级道路设计重现期不同，高速公路、城市快速路设计重现期通常为 5 年 -10 年，城市主干道为 3 年 -5 年，次干道、支路为 2 年 -3 年，低等级公路为 1 年 -2 年；汇水面积根据道路红线范围、周边地形，采用 GIS 空间分析或实地勘测确定，需明确汇水边界与排水流向；径流量采用推理公式计算，结合汇水面积、暴雨强度、径流系数确定，径流系数根据地面覆盖类型（路面、绿地、裸地）确定，沥青路面、混凝土路面径流系数通常为 0.8-0.9，绿地径流系数为 0.1-0.3。

#### （二）排水系统总体布局设计

排水系统总体布局需根据道路等级、地形地貌、汇水特征，确定排水系统的总体流向、排水方式、核心设施布置位置。总体流向需顺应地形坡度，确保排水顺畅，避免逆向排水；排水方式需结合道路类型选择，城市道路优先采用地下管网排水，公路优先采用路侧明沟排水，高等级道路需采用路面排水与地下排水相结合的综合排水方式；核心设施布置需明确边沟、截水沟、排水沟、雨水口、渗

沟等设施的位置、走向、衔接关系，确保形成完整的排水体系。

平面布局需避免排水设施交叉冲突，雨水口设置需与道路交叉口、公交站台、人行横道等设施协调，避免影响行人与车辆通行；中央分隔带排水设施需与路面结构、绿化种植协调，避免破坏路面与绿化；地下排水管道需与地下管线（燃气、电力、通信）协调避让，确保施工与运营安全。竖向布局需控制排水设施的纵坡度，确保水流流速满足排水要求，避免流速过小导致淤堵或流速过大导致冲刷，同时保障排水设施与路面、路基的标高衔接顺畅。

### （三）各子系统设计技术要点

路面排水设计需保障路面横坡度满足排水要求，单向横坡通常为 1.5%-2.5%，双向横坡为 2%-4%，确保雨水快速向路侧或中央分隔带汇集。路表排水需设置路肩排水槽或拦水带，引导雨水至雨水口或边沟；对于超高路段，需设置内侧排水设施，避免雨水在超高侧积存。路面内部排水需在路面结构层间设置排水基层或排水盲沟，排水基层采用透水性沥青混合料或级配碎石材料，排水盲沟设置在路面边缘，将渗透水引导至地下排水管道，避免雨水在路面结构内滞留导致路面损坏。

路基排水设计需根据地下水位高度与土壤渗透性，确定是否设置地下排水设施。当地下水位高于路基设计标高时，需设置渗沟、渗井等地下排水设施，将地下水位降至路基以下 0.5m-1.0m；土质路基需设置排水垫层，增强路基透水性，避免雨水渗透导致路基软化。路基边坡排水需设置边沟与截水沟，截水沟需设置在边坡上方汇水区域，边沟沿路基两侧布置，确保边坡地表径流及时排出；边坡较陡的路段需设置急流槽，避免雨水冲刷边坡。

中央分隔带排水设计需根据分隔带宽度与绿化情况选择排水形式。宽度大于 3m 的分隔带可设置明沟排水，明沟内铺设植草砖或碎石，兼具排水与绿化功能；宽度小于 3m 的分隔带需设置暗管排水，在分隔带底部埋设排水管道，管道间距根据汇水流量确定，通常为 20m-50m，管道进口需设置过滤设施，防止泥土堵塞管道。中央分隔带排水出口需接入路边排水系统或地下管网，出口处需设置消能设施，避免水流冲刷路面。

排水管道设计需根据径流量计算确定管道管径与坡度，管径通常不小于 300mm，纵坡度不小于 0.002，确保管道内水流流速大于最小设计流速（通常为 0.6m/s），避免泥沙淤积。管道材质需根据排水水质、环境条件选择，城市道路

排水管道优先采用 HDPE 管、钢筋混凝土管，公路排水管道可采用混凝土管、波纹管；管道接口需密封严密，避免漏水；管道转弯处需设置检查井，检查井间距通常为 30m-50m，便于维护与清淤。

#### （四）特殊路段排水设计

桥头路段排水设计需重点防范雨水渗透至桥梁台背与路基衔接部位，导致台背填土沉降、桥头跳车。桥头需设置加密雨水口，收集路面径流，避免雨水在桥头积存；台背路基需设置渗沟与排水垫层，排出渗透水，增强路基稳定性；桥梁桥面排水需设置桥面泄水管，泄水管间距通常为 10m-15m，出口需避开台背路基，接入路边排水系统。

隧道进出口路段排水设计需防止雨水进入隧道，同时排出洞口区域的地表径流与地下水。隧道进口上方需设置截水沟，拦截山坡地表径流；洞口路基需设置深渗沟，降低地下水位；隧道洞口路面需设置横向排水坡与雨水口，快速排出路面积水；隧道内部需设置纵向排水管道与横向排水盲沟，排出隧道内的渗水与凝结水，管道出口接入洞外排水系统。

山区路段排水设计需重点防范山洪冲刷与边坡坍塌，需设置完善的截排水系统。山坡上方设置截水沟，拦截山洪径流；路基两侧设置大断面边沟或排水沟，增强排水能力；地形陡峭路段设置急流槽与跌水，降低水流流速；土质边坡路段需采用生态边沟（如植草沟），兼具排水与护坡功能；沟谷路段需设置涵洞或排水通道，保障山洪顺利通过。

冰冻积雪地区排水设计需防止排水设施冻胀损坏，同时保障融雪水顺利排出。排水设施需埋设在冻土层以下，避免冻胀导致设施开裂；采用暗管排水时，管道需设置保温层；边沟、排水沟需采用抗冻材料（如混凝土、浆砌片石）浇筑，沟壁需光滑平整，避免积雪堆积与冻融破坏；融雪期需设置加密雨水口，快速排出融雪水，避免路面结冰。

## 第四节 道路景观设计

### 一、核心内涵与设计原则

#### (一) 核心内涵界定

道路景观设计是道路工程设计的重要组成部分,指基于道路功能定位、区域文化特征、自然生态条件,对道路沿线的绿化、照明、标识、小品等景观元素进行统筹规划与细化设计的过程。其核心目标是构建“安全、美观、生态、人文”的道路景观体系,通过景观元素的合理搭配,提升道路通行环境品质,缓解驾驶疲劳,强化道路识别性,实现道路与自然环境、人文环境的和谐共生,同时发挥景观的生态防护、降噪减尘等功能。<sup>①</sup>

道路景观设计具有综合性、地域性、生态性、功能性特征。综合性体现为景观设计涵盖绿化、照明、标识、小品等多个元素,需统筹视觉美学、生态功能、交通功能等多重需求;地域性表现为景观设计需融入区域自然风貌与文化特色,避免同质化设计,增强区域识别性;生态性强调景观设计需尊重自然生态规律,优先采用本土植物,减少对自然生态系统的破坏;功能性体现为景观设计需服务于交通通行,保障行车安全,避免景观元素影响驾驶员视线与交通运行。

#### (二) 核心设计原则

安全优先原则要求景观设计不得影响交通通行安全,景观元素布置需保障驾驶员视线开阔,避免遮挡交通标志、信号灯与对向车辆灯光。绿化植物高度与冠幅需严格控制,中央分隔带绿化高度通常不超过 1.2m,避免遮挡驾驶员视线;道路交叉口、弯道等视距敏感区域不得种植高大植物,确保视距满足规范要求;照明设施需避免产生眩光,影响驾驶员视线。

生态和谐原则要求景观设计尊重自然生态规律,保护原有生态环境。优先采用本土植物品种,本土植物适应性强、养护成本低,能更好地融入本地生态系统;合理保护道路沿线的原生植被、水体、地形地貌,避免大规模开挖与破坏;采用生态种植技术,构建乔灌草复合种植结构,提升景观的生态防护功能(如固土护坡、降噪减尘、净化空气)。

地域特色原则要求景观设计融入区域自然风貌与人文文化,打造具有地域辨

---

① 林蕾. 居住区道路景观竖向设计方法探析 [J]. 美与时代 (城市版), 2025, (07): 73-75.

识度的道路景观。自然风貌融入需结合区域地形地貌、气候特征，如山区道路突出山林景观特色，滨水道路突出滨水景观特色；人文文化融入需挖掘区域历史文化、民俗风情，通过景观小品、标识系统、植物配置等元素展现地域文化内涵，增强道路的文化感染力。

功能适配原则要求景观设计与道路等级、功能定位相匹配。高等级道路（如高速公路、城市快速路）景观设计需注重简洁大气，突出通行效率与安全，减少复杂景观元素；城市主干道景观设计需兼顾美观与功能，提升城市形象；城市支路、乡村公路景观设计可更注重生态与乡土特色，简化景观元素；商业中心区域道路景观设计需突出商业氛围，采用色彩丰富的景观元素。

经济性与可持续性原则要求景观设计在满足功能与美观需求的前提下，控制建设成本与后期养护成本。优先选择易养护、抗逆性强的植物品种，减少后期养护投入；采用模块化、标准化的景观小品与标识设计，降低建设成本；景观设计需考虑长期可持续性，避免短期性景观布置，确保景观效果长期稳定。

## 二、核心景观元素设计

### （一）绿化景观设计

中央分隔带绿化设计核心功能是隔离对向交通、遮挡对向车辆灯光、缓解驾驶疲劳，同时发挥降噪减尘作用。植物选择需遵循“低矮、耐修剪、抗污染、视线通透”的原则，优先选择常绿灌木（如冬青、小叶黄杨、红叶石楠）与地被植物（如麦冬、结缕草），搭配少量低矮乔木（如樱花、紫薇），形成层次分明的种植结构。种植高度需严格控制，常绿灌木高度通常为 0.8m-1.2m，乔木分支点高度不低于 2.5m，避免遮挡驾驶员视线；种植间距需根据植物品种与生长特性确定，灌木间距通常为 0.5m-1.0m，乔木间距为 3m-5m。中央分隔带绿化需设置灌溉系统，确保植物生长需求，同时采用防眩光种植方式，在夜间有效遮挡对向车辆灯光。

路侧绿化设计需结合道路等级、周边环境，发挥生态防护、景观美化功能。高速公路、城市快速路路侧绿化需设置宽幅绿化带，采用乔灌草复合种植结构，乔木选择乡土高大树种（如杨树、柳树、法桐），形成生态防护林带，发挥降噪减尘、固土护坡作用；城市主干道路侧绿化需兼顾美观与功能，种植行道树（如悬铃木、国槐、香樟），搭配花灌木与地被植物，提升街道景观品质；城市支路、

乡村公路路侧绿化可采用自然式种植,保留原生植被,搭配本土花灌木,营造乡土景观氛围。路侧绿化需与道路红线、周边建筑物、市政设施协调,避免影响行人与非机动车通行。

互通立交与服务区绿化设计需突出景观观赏性与生态功能性,打造标志性景观节点。互通立交绿化需结合地形地貌,采用大面积草坪、花灌木与乔木搭配,形成层次丰富的立体景观,引导驾驶员视线,增强空间识别性;植物种植需避免遮挡交通标志与信号灯,在转弯视距范围内采用低矮植物。服务区绿化需营造舒适的休憩环境,在停车场周边种植遮荫乔木,在休息区周边设置花坛、花境,搭配观赏植物,提升服务区环境品质;同时设置生态缓冲带,减少服务区活动对周边环境的影响。

边坡绿化设计核心功能是固土护坡、防止水土流失,同时提升景观效果。土质边坡优先采用生态护坡技术,种植本土草本植物(如狗牙根、紫花苜蓿)、藤本植物(如爬山虎、紫藤)与灌木,形成覆盖式绿化,增强边坡稳定性;岩石边坡需采用客土喷播、植生袋等技术,改良土壤条件后种植耐贫瘠植物;边坡绿化需根据边坡坡度选择适宜的植物品种,陡坡路段选择匍匐生长的植物,缓坡路段可种植灌木与小乔木。边坡绿化需设置排水设施,避免雨水冲刷影响绿化效果。

滨水道路绿化设计需突出滨水景观特色,兼顾生态防护与景观观赏。靠近水体一侧种植耐水湿植物(如柳树、菖蒲、芦苇),形成滨水植物带,发挥净化水质、固土护岸作用;道路一侧种植行道树与花灌木,搭配草坪与地被植物,形成层次丰富的景观带;设置滨水步道与观景平台,连接道路与水体,提升行人观赏体验。滨水道路绿化需避免过度硬化,保留自然岸线,保护水生生态系统。

## (二) 照明景观设计

道路照明设计核心功能是保障夜间通行安全,同时营造舒适的夜间景观氛围。照明标准需根据道路等级确定,高速公路、城市快速路照明亮度通常为  $2\text{cd}/\text{m}^2$ - $3\text{cd}/\text{m}^2$ ,城市主干道为  $1.5\text{cd}/\text{m}^2$ - $2.5\text{cd}/\text{m}^2$ ,次干道、支路为  $1\text{cd}/\text{m}^2$ - $1.5\text{cd}/\text{m}^2$ ;照明均匀度需满足规范要求,避免出现明暗交替过大的情况。照明灯具选择需结合道路功能与景观需求,城市主干道可选择造型美观的双臂路灯,兼顾机动车与行人照明;城市支路可选择单臂路灯,简化设计;商业中心区域道路可选择装饰性路灯,营造商业氛围。

灯具布置方式需根据道路宽度、横断面形式确定,常见布置方式包括单侧

布置、双侧对称布置、双侧交错布置、中央分隔带布置。单侧布置适用于道路宽度小于 15m 的路段，灯具设置在道路一侧；双侧对称布置适用于道路宽度 15m-25m 的路段，灯具对称设置在道路两侧；双侧交错布置适用于道路宽度大于 25m 的路段，提升照明均匀度；中央分隔带布置适用于设有中央分隔带的高等级道路，灯具设置在分隔带内，避免对向车辆眩光。灯具间距需根据灯具功率与照明要求确定，通常为 30m-50m，确保照明连续均匀。

特殊区域照明设计需针对性优化，道路交叉口照明需提升亮度与均匀度，确保驾驶员清晰观察交叉口交通流与行人；弯道照明需根据弯道半径调整灯具间距与角度，避免出现照明盲区；隧道进出口照明需设置过渡照明，从洞口向外逐渐降低照明亮度，避免光线突变影响驾驶员视线；桥梁照明需兼顾功能性与观赏性，在桥梁两侧设置栏杆灯或轮廓灯，勾勒桥梁轮廓，提升夜间景观效果。

节能照明设计需采用绿色节能技术，降低能源消耗。优先选择 LED 节能灯具，LED 灯具具有能耗低、寿命长、光效高的特点；设置智能照明控制系统，根据交通流量、光照条件自动调节照明亮度，夜间交通流量小时降低亮度，无人通行时关闭部分灯具；利用太阳能、风能等可再生能源，在郊区、乡村道路设置太阳能路灯，减少电网供电依赖。

### （三）标识与小品景观设计

道路标识景观设计需兼顾功能性与美观性，标识系统包括交通标志、指路标识、警示标识、文化标识等。交通标志设计需符合规范要求，采用清晰的图案与文字，颜色对比度高，确保驾驶员快速识别；指路标识需简洁明了，明确指示方向与距离，在交叉口、出入口等关键位置设置；警示标识需设置在危险路段前方，提醒驾驶员注意安全；文化标识需融入区域文化元素，通过独特的造型、色彩展现地域文化特色，增强道路识别性。标识设置需避免遮挡视线，高度与间距需符合规范要求。

景观小品设计需起到点缀景观、营造氛围的作用，常见小品包括雕塑、花坛、座椅、垃圾桶、观景平台等。景观小品设计需与道路景观风格、地域文化相匹配，城市主干道小品设计需简洁大气，突出城市形象；商业中心区域小品设计可色彩丰富、造型新颖，吸引人流；乡村公路小品设计需体现乡土特色，采用本土材料（如石材、木材）制作。雕塑小品需设置在景观节点位置，主题明确，具有文化感染力；花坛、花境需搭配季节性花卉，营造四季有景的景观效果；座椅、垃圾

桶等便民小品需设置在行人休憩区域，兼顾实用性与美观性。

路面景观设计通过路面色彩、纹理变化提升道路景观效果，同时引导交通流。可采用彩色沥青路面区分不同功能区域（如公交专用道、自行车道、人行横道），彩色路面颜色需与周边环境协调，同时具有良好的防滑性能；采用压花路面、透水混凝土路面等纹理路面，增强路面观赏性与生态功能；在道路交叉口、广场等区域设置路面图案，融入地域文化元素，提升道路景观品质。路面景观设计需保障路面平整度与行车安全，避免纹理过度复杂影响行车平稳性。

### 三、不同类型道路景观设计要点

#### （一）高速公路景观设计

高速公路景观设计核心是保障行车安全、缓解驾驶疲劳、融入自然环境。中央分隔带绿化采用低矮常绿灌木与地被植物搭配，严格控制高度，避免遮挡视线与对向灯光；路侧绿化采用宽幅生态林带，选择本土高大乔木与灌木，形成连续的绿色屏障，发挥降噪减尘作用；互通立交区域采用大面积草坪与花灌木搭配，形成开阔的景观视野，引导驾驶员视线；服务区景观设计营造舒适的休憩环境，种植遮荫乔木，设置花坛与休憩座椅。照明设计采用高杆路灯或中央分隔带路灯，避免眩光；标识设计简洁明了，采用大型交通标志，确保驾驶员快速识别。

#### （二）城市主干道景观设计

城市主干道景观设计需兼顾交通功能、城市形象与人文特色。路侧种植高大行道树，形成林荫大道，搭配花灌木与地被植物，提升街道景观品质；中央分隔带采用乔灌草复合种植，兼顾防眩光与景观效果；交叉口设置景观节点，采用花坛、雕塑等小品点缀，增强街道活力。照明设计采用造型美观的双臂路灯，兼顾机动车与行人照明，在商业路段可设置装饰性灯带，营造商业氛围；标识设计融入城市文化元素，采用统一的设计风格，提升城市形象；路面景观可采用彩色沥青区分公交专用道与普通车道，提升交通组织效率。

#### （三）城市支路与居住区道路景观设计

城市支路与居住区道路景观设计需突出生态性与宜居性，营造舒适的生活环境。路侧绿化采用自然式种植，选择本土花灌木与地被植物，保留原生植被；居住区道路种植遮荫乔木，搭配草坪与花卉，设置步行道与休憩座椅，提升居民生活体验。照明设计采用低矮路灯，避免光线直射居民窗户，营造温馨的夜间氛围；

标识设计简洁温馨，采用柔和的色彩与造型；路面采用透水混凝土或压花路面，增强生态功能与观赏性；设置小型景观节点（如社区广场、口袋公园），为居民提供休憩与交流空间。

#### （四）乡村公路景观设计

乡村公路景观设计需突出乡土特色与自然生态，避免城市化设计。路侧绿化保留原生植被，搭配本土花灌木（如桃花、杏花、迎春花）与草本植物，营造乡土景观氛围；边坡采用生态护坡技术，种植本土草本与藤本植物，固土护坡的同时提升景观效果。照明设计采用太阳能路灯，简化设计，适应乡村环境；标识设计采用本土材料制作，融入乡村文化元素（如农耕文化、民俗风情）；设置观景平台与休息驿站，方便行人休憩与观赏乡村风光；路面设计可采用碎石路面或水泥混凝土路面，保留乡村道路的原始风貌。

#### （五）滨水道路景观设计

滨水道路景观设计需突出滨水特色，构建“道路 - 绿地 - 水体”的和谐景观体系。靠近水体一侧种植耐水湿植物（如柳树、菖蒲、荷花），形成滨水植物带，保护水生生态系统；道路一侧种植行道树与花灌木，搭配草坪与地被植物，形成层次丰富的景观带。设置滨水步行道、自行车道与观景平台，连接道路与水体，提升行人观赏体验；在滨水节点设置雕塑、喷泉等景观小品，营造滨水氛围。照明设计采用栏杆灯、轮廓灯勾勒道路与滨水空间轮廓，夜间灯光倒映水中，提升景观效果；标识设计融入滨水文化元素（如水利文化、渔文化），增强地域识别性。

## 第五节 道路安全设计

### 一、核心内涵与设计原则

#### （一）核心内涵界定

道路安全设计是道路工程设计的核心保障环节，指基于交通参与者行为特征、车辆运行特性、道路功能定位，通过优化道路线形、完善安全设施、规范交通组织，构建“主动预防、被动防护、全要素适配”的道路安全体系的设计过程。其核心目标是减少交通冲突点、降低事故发生率与严重程度，保障机动车、非机动车、行人等各类交通参与者的生命财产安全，提升道路通行的安全性与可靠性，

同时兼顾通行效率与舒适性，实现安全与效率的协同优化。

道路安全设计具有全要素性、预防性、适配性、系统性特征。全要素性体现为安全设计覆盖道路线形、路面结构、安全设施、交通组织等所有道路工程要素，同时考虑人、车、路、环境的协同适配；预防性表现为设计核心是通过优化设计提前规避安全隐患，而非事故发生后的被动处置；适配性体现为安全设计需匹配道路等级、交通组成、车速水平，适应不同区域的自然环境与交通需求；系统性强调安全设计需统筹道路全生命周期，涵盖规划、设计、施工、运营等各个阶段，形成完整的安全保障体系。

## （二）核心设计原则

以人为本原则是道路安全设计的核心准则，设计需充分考虑交通参与者的生理与心理特征，适应不同群体（驾驶员、行人、非机动车骑行者、老年人、儿童）的通行需求。驾驶员视角下需保障视线开阔、线形连续、标识清晰，减少驾驶疲劳与操作难度；行人与非机动车视角下需保障通行空间充足、过街设施便捷、隔离设施完善，降低与机动车的冲突风险；特殊群体视角下需设置无障碍设施，保障老年人、残疾人等群体的通行安全。

主动预防原则要求通过优化道路设计从源头规避安全隐患，减少事故发生的可能性。线形设计需保障连续顺畅，避免急弯、陡坡、线形突变等不良线形；路面设计需保障足够的抗滑性能与平整度，避免雨天打滑、路面颠簸导致车辆失控；交通组织设计需规范交通流运行秩序，减少交通冲突点；安全设施设计需提前警示危险路段，引导交通参与者规范通行。

被动防护原则要求通过完善的安全防护设施，降低事故发生后的严重程度，减少人员伤亡与财产损失。道路沿线设置防撞护栏、避险车道、缓冲设施等，防止车辆冲出道路或碰撞固定障碍物；交叉口设置隔离设施、减速设施，减少碰撞事故的冲击力；高风险路段设置应急救援设施，提升事故处置效率。

全生命周期安全原则要求道路安全设计贯穿道路规划、设计、施工、运营的全生命周期。规划阶段需进行安全风险评估，规避高风险区域；设计阶段需严格执行安全设计标准，优化安全设计方案；施工阶段需保障施工质量，避免施工缺陷导致安全隐患；运营阶段需建立安全监测与维护机制，及时发现并处置安全隐患，根据交通流量变化调整安全设计方案。

差异化设计原则要求根据道路等级、交通组成、自然环境、事故特征，制定

差异化的安全设计方案。高等级道路需重点保障高速行驶安全，强化线形平顺性与防护设施安全性；低等级道路需重点保障混合交通安全，完善慢行交通设施与隔离设施；山区道路需重点防范边坡坍塌、山洪冲刷，强化防护与排水设施；城市道路需重点保障行人与非机动车安全，完善过街设施与信号控制。

## 二、核心安全设计内容

### （一）线形安全设计

平面线形安全设计核心是保障线形连续顺畅，减少驾驶疲劳与视线盲区。直线设计需控制合理长度，过长直线易导致驾驶员疲劳、车速失控，过短直线易导致线形频繁变化，影响行车平稳性，不同等级道路直线最大长度需严格遵循规范要求。圆曲线设计需选择合理的曲线半径，避免采用极限最小半径，高等级道路需采用较大曲线半径，保障高速行驶安全；曲线半径较小时需设置超高，平衡离心力，避免车辆侧滑；圆曲线与直线、圆曲线与圆曲线之间需设置足够长度的缓和曲线，实现线形平滑过渡。平面视距保障是关键安全要求，交叉口、弯道、坡道等区域需确保足够的停车视距、会车视距，视距三角形范围内不得设置遮挡视线的设施。

纵断面线形安全设计需控制坡度与坡长，避免陡坡、长坡带来的安全隐患。最大纵坡需根据道路等级、设计速度、交通组成确定，高等级道路最大纵坡较小，低等级道路可适当提高，冰雪地区、山区道路需进一步降低最大纵坡；长距离陡坡路段需设置缓和坡段，缓解车辆行驶疲劳与制动系统过热，下坡路段需设置减速设施与避险车道，为制动失效车辆提供紧急避险空间。竖曲线设计需保障足够的半径与长度，凸形竖曲线需保障驾驶员视野开阔，避免视距盲区；凹形竖曲线需减少车辆颠簸，控制离心力，提升行车舒适与安全。纵断面线形组合需避免连续陡坡、急弯与陡坡组合等不良形式，确保线形连续顺畅。

线形组合安全设计需实现平面与纵断面线形的协同优化，避免平面与纵断面线形冲突。平面急弯与纵断面陡坡不宜组合，易增加车辆侧翻风险；平面直线段宜搭配平缓的纵坡，避免直线段纵坡突变；平面曲线段纵坡需平缓，避免曲线段陡坡导致车辆重心偏移；互通立交、隧道进出口等区域需保障线形连续顺畅，避免线形突变影响行车平稳性。线形组合设计需结合驾驶员视觉特性，确保视线引导清晰，减少驾驶困惑。

## （二）路面安全设计

路面抗滑性能设计是路面安全的核心要求，需保障车辆在干燥、雨天、冰雪等不同工况下的行驶稳定性。路面材料选择需注重抗滑性能，沥青路面优先采用改性沥青、玄武岩骨料等抗滑材料，混凝土路面需采用刻槽、纹理处理等方式提升表面粗糙度；路面构造深度需满足规范要求，通常不小于 0.5mm，确保雨天排水顺畅，减少水膜滑行风险；冰雪地区路面需采用抗凝冰材料、设置防滑标线，冬季需配套融雪设施。

路面平整度设计需保障行车平稳，减少车辆颠簸导致的驾驶员操作失误。路面平整度需控制在规范允许范围内，高等级道路平整度要求更高；路面施工需严格控制施工质量，避免出现坑槽、沉陷、波浪等病害；运营阶段需建立路面平整度监测机制，及时修复路面病害，保障路面平整。

路面排水性能设计需快速排除路面积水，避免积水影响行车安全。路面横坡度需满足排水要求，确保雨水快速向路侧或中央分隔带汇集；路面需设置路表排水与内部排水设施，及时排出雨水，避免雨水渗透导致路面结构损坏；雨天易积水路段需加密雨水口，设置排水盲沟，提升排水效率。

路面标线与抗逆性能设计需保障标线清晰可见，路面结构耐久稳定。路面标线需采用反光材料，确保夜间可视性，标线颜色需与路面颜色形成明显对比；标线需定期维护，及时补划磨损标线。路面结构需具备足够的强度与耐久性，抵抗车辆荷载与自然环境的侵蚀，避免路面出现裂缝、松散等病害，影响行车安全。

## （三）交叉口安全设计

交叉口平面布置安全设计需减少交通冲突点，保障视距良好。交叉口车道数需根据交通流量确定，合理划分左转、直行、右转车道，避免交通流混淆；车道功能需通过标识标线明确，左转车道设置在最左侧，右转车道设置在最右侧，公交专用道需单独设置；交叉口转角半径需根据车型组成确定，大型车辆通行较多的交叉口需采用较大转角半径，保障车辆顺利转弯；视距三角形范围内不得设置建筑物、高大植物等遮挡视线的设施，确保驾驶员清晰观察各方向交通流。

交叉口渠化安全设计通过设置导流岛、隔离栏、减速设施等，引导交通流有序行驶。左转渠化设置左转专用车道、左转待转区，分离左转交通与直行交通，减少冲突；右转渠化设置右转专用车道、右转导流岛、减速带，避免右转弯机动车与非机动车、行人冲突；行人与非机动车渠化设置专用过街横道、行人安全岛、

非机动车等待区,保障慢行交通安全;导流岛需采用防滑材料,边缘设置反光标识,确保夜间可视性。

交叉口信号控制安全设计需优化相位与配时,保障交通流有序通行。相位设计需分离冲突交通流,避免多股交通流同时放行;配时设计需根据各方向交通流量确定绿灯时间,确保排队车辆顺利放行,同时设置合理的黄灯时间与全红时间,保障车辆安全通过交叉口;特殊区域交叉口(如学校、医院周边)需设置行人优先信号、公交优先信号,保障特殊群体通行安全;信号设施需设置在驾驶员清晰可见的位置,避免遮挡。

立交交叉口安全设计需保障主线与匝道交通流的顺畅与安全。主线线形需连续顺畅,采用较大曲线半径与平缓纵坡;匝道设计需控制曲线半径与纵坡,确保车辆转弯安全,左转匝道曲线半径大于右转匝道;匝道连接部设置加速车道与减速车道,保障车辆平稳汇入与驶出主线;立交交叉口需设置完善的标识标线,引导车辆正确行驶;高风险区域设置防撞护栏、缓冲设施,降低事故严重程度。

#### (四) 安全设施设计

防撞护栏设计是道路安全的重要被动防护设施,用于防止车辆冲出道路或碰撞固定障碍物。护栏类型需根据道路等级、地形条件、交通组成选择,高速公路、城市快速路优先采用波形梁护栏或混凝土护栏,乡村公路可采用简易护栏;护栏高度与强度需满足规范要求,高速公路护栏高度通常为1.2m-1.5m,确保能有效阻挡车辆;护栏设置需连续,避免出现断点,护栏衔接处需平滑过渡;中央分隔带护栏需具备防眩光功能,避免对向车辆灯光干扰。

交通标志标线设计需引导交通参与者规范通行,提前警示危险。交通标志需设置在驾驶员清晰可见的位置,避免遮挡,标志高度与间距需符合规范要求;警告标志设置在危险路段前方,提醒驾驶员注意安全;禁令标志明确禁止行为,如限速、禁止超车、禁止停车等;指示标志明确行驶方向与车道功能。交通标线需清晰连续,采用反光材料,夜间可视性好;车道分界线、边缘线规范车辆行驶轨迹;停止线、人行横道线明确通行边界;减速标线、导流线引导车辆减速与有序行驶。

减速设施设计用于强制车辆减速慢行,保障高风险路段安全。常见减速设施包括减速带、减速丘、减速标线、震动标线等。减速带与减速丘设置在学校、医院、居住区周边交叉口、村庄出入口等区域,强制车辆减速;减速标线与震动标线设置在弯道、坡道、收费站等区域,通过视觉与触觉提醒驾驶员减速;减速设

施设计需控制高度与间距,避免过度减速影响通行效率,同时保障车辆行驶平稳。

避险车道与应急设施设计用于保障高风险路段事故应急处置。避险车道设置在长下坡路段末端,为制动失效的车辆提供紧急避险空间,避险车道需设置足够长度与宽度,路面采用高摩擦系数材料,配套设置制动床、防撞护栏、警示标志;应急设施包括紧急停车带、应急电话、监控摄像头、消防设施等,紧急停车带设置在高速公路、城市快速路两侧,间距通常为 2km-5km,为故障车辆提供临时停靠空间;应急电话与监控摄像头用于及时处置突发事件,保障道路通行安全。

照明与反光设施设计保障夜间通行安全,提升道路可视性。照明设施需覆盖道路全线,确保照明均匀,避免眩光;高风险路段(如交叉口、弯道)需提升照明亮度;隧道进出口设置过渡照明,避免光线突变影响视线。反光设施包括反光标识、反光护栏、反光道钉等,设置在道路边缘、中央分隔带、护栏等位置,增强夜间道路轮廓识别性;反光道钉设置在路面上,引导车辆行驶轨迹,提升夜间行车安全。

### 三、特殊路段安全设计要点

#### (一) 山区道路安全设计

山区道路地形复杂、坡度大、弯道多,安全设计需重点防范边坡坍塌、山洪冲刷、车辆坠落等风险。线形设计需依山就势,避免大规模填挖方,弯道采用较大曲线半径,设置足够长度的缓和曲线;长下坡路段设置缓和坡段、减速设施与避险车道,强制车辆减速;陡坡路段设置爬坡车道,保障重载车辆通行。防护设施需强化,边坡采用生态护坡与工程防护相结合的方式,设置挡土墙、格构防护、截水沟等,防止边坡坍塌;道路两侧设置高强度防撞护栏,高悬崖路段设置防护网,防止车辆坠落。安全设施需完善,弯道设置急弯警告标志、反光镜,陡坡设置陡坡警告标志,临崖路段设置警示桩;夜间照明需强化,弯道与坡道设置充足照明设施。

#### (二) 学校与医院周边道路安全设计

学校与医院周边道路交通流复杂,行人与非机动车多,安全设计需重点保障慢行交通安全。设置限速标志与减速设施,学校周边限速通常为 30km/h,医院周边限速为 40km/h,设置减速带、减速标线强制车辆减速;设置行人优先信号与过街设施,学校门口设置人行横道、行人安全岛、过街天桥或地道,保障学生

安全过街；上下学高峰时段设置临时交通管制设施，引导交通流有序通行。完善慢行交通设施，设置专用非机动车道与人行道，与机动车道物理隔离；学校周边设置临时停车位，方便家长接送学生；设置警示标志，提醒驾驶员注意行人。照明设施需强化，学校与医院门口照明亮度需提升，确保夜间行人安全；设置监控摄像头，及时处置交通违法行为。

#### （三）高速公路安全设计

高速公路车速高、交通流量大，安全设计需重点保障高速行驶安全与应急处置能力。线形设计需连续顺畅，平面曲线半径大，纵坡平缓，避免线形突变；中央分隔带设置高强度防撞护栏与防眩光设施，避免对向车辆碰撞与灯光干扰；互通立交线形需顺畅，匝道连接部设置足够长度的加速与减速车道。安全设施需完善，设置清晰的交通标志标线，提前预告出口、弯道、坡道等信息；设置紧急停车带、应急电话、监控摄像头，保障故障车辆与事故处置；长下坡路段设置避险车道，隧道内设置应急照明、通风设施与逃生通道。路面设计需保障高抗滑性能与平整度，雨天易积水路段设置排水盲沟与加密雨水口；夜间照明需均匀，避免眩光；设置反光设施，增强夜间道路轮廓识别性。

#### （四）冰雪与高寒地区道路安全设计

冰雪与高寒地区道路易出现积雪、结冰、冻胀等问题，安全设计需重点保障抗滑性能与结构稳定。路面采用抗凝冰材料（如改性沥青、导电沥青），设置防滑标线，冬季配套融雪设施（如融雪剂撒布装置、电加热路面）；路面横坡度需加大，确保冰雪融化后快速排水，避免路面结冰。线形设计需避免急弯、陡坡，减少车辆侧滑风险；长下坡路段设置减速设施与避险车道，保障制动安全。防护设施需强化，采用抗冻材料制作护栏、挡土墙等设施，避免冻胀损坏；边坡采用生态护坡技术，防止冰雪融化导致水土流失。安全设施需完善，设置冰雪路面警告标志、限速标志，冬季设置临时警示设施；照明设施需强化，确保夜间可视性；设置监控摄像头，实时监测路面冰雪情况。

#### （五）施工路段安全设计

施工路段交通组织复杂，安全设计需重点保障施工人员与交通参与者安全。设置完善的施工警示标志，提前预告施工路段、限速信息、车道变窄信息，警示标志设置距离需根据道路等级确定，高速公路施工警示标志设置距离不小于1km；设置临时隔离设施（如锥桶、水马、防护栏），分离施工区域与通行区域，

保障施工人员安全；设置临时照明与反光设施，确保夜间施工路段可视性。优化交通组织，合理划分施工区域与通行车道，避免交通拥堵；设置临时交通信号，引导交通流有序通行；施工车辆出入口设置专人指挥，避免施工车辆与社会车辆冲突。施工区域设置安全防护设施，施工人员佩戴安全防护装备；设置临时应急通道，保障应急车辆通行；建立施工安全监测机制，及时处置施工安全隐患。

## 第四章 交通设施建设

### 第一节 路基路面工程

#### 一、核心内涵与建设原则

##### （一）核心内涵界定

路基路面工程是交通设施建设的核心基础性工程，涵盖路基构建与路面铺筑两大核心环节。路基作为道路的承载主体，承担着路面传递的车辆荷载与自身重量，需具备足够的强度、稳定性与耐久性；路面作为直接接触交通流的表层结构，需满足车辆行驶的平顺性、抗滑性与舒适性要求。两者协同构成道路通行的核心载体，其建设质量直接决定道路的通行能力、使用寿命与安全性能，是保障交通流高效有序运行的前提条件。

路基路面工程具有系统性、基础性、耐久性、环境适应性特征。系统性体现为路基与路面需协同设计、同步施工，形成完整的承载与通行体系；基础性表现为其是后续交通设施（如桥梁、隧道、标志标线）建设的前提，直接影响整体交通网络的功能发挥；耐久性要求工程结构能长期抵抗车辆荷载、自然环境（降水、温差、地质灾害）的侵蚀；环境适应性体现为建设方案需匹配区域地形地貌、水文地质、气候条件，减少对周边生态环境的破坏。

##### （二）核心建设原则

强度与稳定性优先原则是路基路面工程的核心准则。路基建设需通过合理的填料选择、压实工艺，确保路基承载力满足设计要求，避免出现不均匀沉降、边坡坍塌等病害；路面建设需选用高强度、高稳定性的材料，保障路面结构在车辆荷载反复作用下不出现裂缝、沉陷、推移等损坏，确保长期通行安全。

因地制宜原则要求建设方案充分结合区域自然条件。地形复杂区域（山区、丘陵）需采用依山就势的路基形式，减少大规模填挖方；水文地质复杂区域需强化路基排水与防护措施，降低地下水对路基的影响；气候差异区域需针对性优化材料选择，高温地区选用耐高温沥青材料，寒冷地区选用抗冻性强的路面材料，

确保工程结构适应气候环境。

全生命周期经济性原则要求统筹建设成本与运营维护成本。建设阶段需优化设计方案,合理选择材料与施工工艺,控制工程投资;运营阶段需通过优质的工程质量降低维护频次与费用,避免因早期病害导致的大规模返修,实现全生命周期内的经济性最优。

生态环保原则要求建设过程减少对自然生态的破坏。路基开挖需避开原生植被保护区,采用生态护坡技术替代传统硬质护坡;路面材料优先选择环保型、可回收利用的材料,减少环境污染;施工过程需控制扬尘、噪音与废水排放,降低对周边生态环境与居民生活的影响。

## 二、路基工程建设

### (一) 路基类型与构造

路基按横断面形式可分为填方路基、挖方路基、半填半挖路基三类。填方路基适用于地形低洼区域,通过填土抬高路基标高,保障道路通行净空与排水需求;填方路基高度需根据地形与排水要求确定,高度较大时需设置分级边坡与护坡设施。挖方路基适用于地形较高区域,通过开挖山体形成路基,需重点防范边坡坍塌;挖方路基深度需结合道路设计标高与地形确定,深度较大时需设置抗滑桩、挡土墙等防护设施。半填半挖路基适用于地形起伏较大区域,一侧填土、一侧开挖,需解决填挖交接处的不均匀沉降问题,通常设置过渡层与排水设施。<sup>①</sup>

路基构造由路基本体、边坡、排水设施、防护设施组成。路基本体是核心承载部分,需选用级配良好、强度高、稳定性好的填料(如碎石土、砾石土),避免使用淤泥、冻土等不良填料;路基本体需分层压实,压实度需满足规范要求,高速公路、一级公路路基压实度不低于96%,二级及以下公路不低于94%。边坡是路基两侧的倾斜面,坡度需根据填料类型与路基高度确定,填方路基边坡坡度通常为1:1.5-1:2.5,挖方路基边坡坡度通常为1:1.0-1:2.0。排水设施包括边沟、截水沟、渗沟等,用于排除路基范围内的地表水与地下水;防护设施包括挡土墙、护坡、格构防护等,用于增强边坡稳定性,防止水土流失。

### (二) 路基施工核心流程

施工准备阶段需完成现场勘察、设计交底、施工方案编制、材料进场检验等

① 杨彩霞. 市政项目道路工程路基路面质量管理要点分析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24 (20): 184-186.

工作。现场勘察需核实地形地貌、水文地质条件，优化施工方案；设计交底需明确设计参数、质量标准与施工难点；施工方案需涵盖填料选择、压实工艺、排水与防护设施施工流程；材料进场需进行性能检验，确保填料与防护材料符合设计要求。

路基开挖与填筑是核心施工环节。挖方路基开挖需遵循“分层开挖、逐级防护”的原则，避免一次性开挖过深导致边坡失稳；开挖过程中需及时清理边坡浮土，设置临时排水设施，防止雨水冲刷边坡。填方路基填筑需采用“分层填筑、分层压实、分层检测”的工艺，每层填筑厚度需根据压实机械性能确定，通常不超过30cm；填筑过程中需控制填料含水量，确保压实度达标；填挖交接处需开挖台阶，增强路基整体性，避免出现沉降裂缝。

路基压实是保障路基强度与稳定性的关键工序。压实机械需根据填料类型选择，粉质土、黏质土选用羊足碾，碎石土、砾石土选用振动压路机；压实顺序需遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则，确保压实均匀；压实后需进行压实度检测，检测方法采用环刀法、灌砂法等，检测合格后方可进行下一层填筑。

排水与防护设施施工需同步跟进路基开挖与填筑。边沟、截水沟需在路基成型后及时开挖，沟壁需采用浆砌片石或混凝土加固，避免冲刷损坏；渗沟需设置在地下水位较高区域，填充透水性材料，设置反滤层防止淤堵。挡土墙施工需在路基填筑至设计标高后进行，基础需埋设在冻土层以下，墙体砌筑需保证砂浆饱满、勾缝严密；护坡施工需根据边坡类型选择适宜的方式，土质边坡采用植草护坡，岩石边坡采用喷浆护坡或格构护坡。

### （三）路基病害防治

路基沉降是常见病害，分为均匀沉降与不均匀沉降。均匀沉降主要由填料压实不足导致，防治措施包括严格控制填料压实度、选用优质填料、分层压实检测；不均匀沉降多由填挖交接处处理不当、地下水影响、填料不均匀导致，防治措施包括填挖交接处开挖台阶、设置过渡层、强化排水设施、采用换填法处理不良地基。

边坡坍塌多发生在挖方路基与高填方路基，诱因包括地形陡峭、填料松散、雨水冲刷、地震等。防治措施需结合边坡类型与病害原因，土质边坡可采用植草护坡、格构防护、挡土墙支护，岩石边坡可采用喷锚支护、抗滑桩支护；同时需完善排水设施，拦截地表水与地下水，减少雨水对边坡的侵蚀。

路基翻浆多发生在寒冷地区与地下水丰富区域，冬季冻土膨胀导致路基隆起，

春季冻土融化导致路基软化、承载力下降。防治措施包括采用隔冻层（如碎石垫层、土工布）隔离冻土，设置渗沟降低地下水位，选用非冻胀性填料填筑路基，在路基两侧设置保温层减少冻融影响。

路基冲刷多发生在山区路基与滨水路基，由雨水径流或水流冲击导致。防治措施包括设置截水沟、边沟拦截雨水，在路基外侧设置丁坝、护坦等防冲刷设施，采用生态护坡增强边坡抗冲刷能力，在水流湍急区域采用浆砌片石或混凝土加固路基边坡。

### 三、路面工程建设

#### （一）路面结构层次与类型

路面结构由面层、基层、底基层、垫层四层组成，自上而下依次承担不同功能。面层是直接接触交通流的表层结构，需具备良好的抗滑性、平整度、耐磨性与抗老化性，厚度通常为 4cm-10cm，材料选用沥青混合料或水泥混凝土。基层是面层的支撑层，需具备足够的强度与稳定性，传递面层荷载至底基层，厚度通常为 15cm-25cm，材料选用水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石等半刚性材料。底基层是基层的辅助支撑层，用于改善路基水温状况，增强基层稳定性，厚度通常为 15cm-20cm，材料选用级配碎石、石灰土等。垫层设置在底基层与路基之间，用于隔离地下水、改善路基性能，仅在水文地质条件复杂区域设置，厚度通常为 10cm-15cm，材料选用碎石垫层、土工合成材料垫层。

路面按材料类型可分为沥青路面与水泥混凝土路面两大类。沥青路面具有平整度好、行车舒适、施工周期短、养护方便的特点，适用于高速公路、城市主干道等对行车舒适性要求高的道路；沥青路面按结构形式可分为沥青混凝土路面、沥青碎石路面、沥青贯入式路面，其中沥青混凝土路面应用最广泛。水泥混凝土路面具有强度高、耐久性好、承载能力强的特点，适用于交通流量大、重载车辆多的道路（如货运通道、乡村公路）；水泥混凝土路面按施工工艺可分为普通混凝土路面、钢筋混凝土路面、连续配筋混凝土路面，普通混凝土路面应用最广泛。

#### （二）路面施工核心流程

沥青路面施工核心流程包括基层准备、沥青混合料拌制、运输、摊铺、压实。基层准备需确保基层表面平整、干净、干燥，强度达标，若基层存在裂缝需设置封层或粘层；沥青混合料拌制需严格控制原材料配比与温度，沥青加热温度

为 150℃-170℃,集料加热温度为 160℃-180℃,拌制时间需保证混合料均匀一致。运输过程需采用保温运输车,防止混合料温度下降过快,运输时间不宜超过 2 小时。摊铺需选用沥青摊铺机,摊铺温度不低于 130℃-150℃,摊铺速度均匀,避免出现离析现象;摊铺厚度需根据设计厚度与压实系数确定。压实需分初压、复压、终压三个阶段,初压采用钢轮压路机,温度不低于 120℃;复压采用轮胎压路机或振动压路机,增强压实度;终压采用钢轮压路机,消除轮迹,压实温度不低于 70℃。

水泥混凝土路面施工核心流程包括基层准备、模板安装、钢筋布设、混凝土拌制、运输、摊铺、振捣、养护。基层准备需确保基层平整、坚实,设置胀缝、缩缝位置标记;模板安装需采用钢模板,保证模板牢固、平整,接缝严密,模板高度与路面厚度一致。钢筋布设适用于钢筋混凝土路面与连续配筋混凝土路面,钢筋需绑扎牢固,位置准确,保护层厚度符合设计要求。混凝土拌制需控制原材料配比与坍落度,坍落度通常为 10mm-40mm,拌制时间不少于 90 秒。运输需采用混凝土搅拌运输车,防止混凝土离析,运输时间不宜超过 1.5 小时。摊铺需选用混凝土摊铺机,摊铺过程中需及时振捣,采用插入式振捣器与平板振捣器协同振捣,确保混凝土密实。振捣完成后需进行抹面、拉毛处理,抹面保证路面平整,拉毛增强路面抗滑性。养护需在混凝土初凝后及时覆盖保湿材料,养护时间不少于 14 天,养护期间禁止车辆通行。

### (三) 路面病害防治

沥青路面常见病害包括裂缝、车辙、松散、坑槽。裂缝分为横向裂缝与纵向裂缝,横向裂缝多由温度变化导致,防治措施包括设置伸缩缝、选用低温抗裂性好的沥青材料、在基层与面层之间设置粘层;纵向裂缝多由路基沉降、摊铺离析导致,防治措施包括强化路基压实、优化摊铺工艺、及时灌缝修补。车辙由车辆荷载反复作用导致沥青混合料流动变形产生,防治措施包括选用高粘度沥青材料、增加面层厚度、设置抗车辙剂。松散由沥青与集料粘结性下降导致,防治措施包括控制沥青混合料拌制温度、选用优质沥青与集料、加强路面排水。坑槽由雨水渗透、基层强度不足导致,防治措施包括及时修补、强化路面排水、提升基层强度。

水泥混凝土路面常见病害包括裂缝、断板、唧泥、错台。裂缝分为温度裂缝与荷载裂缝,温度裂缝多由温差变化导致,防治措施包括设置胀缝、缩缝、选用低热水泥;荷载裂缝多由车辆重载、基层强度不足导致,防治措施包括限制重载

车辆通行、提升基层强度、及时修补。断板由裂缝扩展导致，防治措施包括采用全深度修补、更换断板、强化基层承载力。唧泥由雨水渗透至基层，车辆荷载作用下产生水压导致基层材料流失，防治措施包括强化路面排水、设置透水基层、采用封层封闭路面缝隙。错台由板块不均匀沉降导致，防治措施包括强化路基压实、设置传力杆传递荷载、及时调整板块标高。

## 第二节 桥梁隧道工程

### 一、核心内涵与建设原则

#### （一）核心内涵界定

桥梁隧道工程是交通设施建设中的关键控制性工程，用于跨越江河湖海、山谷沟壑、铁路公路等障碍，或穿越山体实现道路线性连续。桥梁工程通过上部结构与下部结构的协同作用，构建跨越障碍的通行通道；隧道工程通过开挖山体或地下空间，形成封闭或半封闭的通行廊道。两者是连接交通网络、提升道路通行效率、保障道路线性顺畅的核心设施，其建设质量与技术水平直接决定交通网络的完整性与可靠性。

桥梁隧道工程具有技术复杂性、投资规模大、建设周期长、安全要求高的特征。技术复杂性体现为需结合结构力学、岩土工程、水文地质等多学科知识，针对不同地质与环境条件制定专项建设方案；投资规模大表现为桥梁隧道工程建设需投入大量资金用于材料采购、设备租赁、人工成本；建设周期长体现为从勘察设计到施工验收通常需要数年时间；安全要求高表现为工程结构需具备足够的承载能力、稳定性与抗灾能力，保障通行安全与结构自身安全。

#### （二）核心建设原则

安全可靠原则是桥梁隧道工程的核心准则。桥梁结构需具备足够的强度、刚度与稳定性，能抵抗车辆荷载、风力、地震、水流冲击等作用；隧道结构需具备足够的支护能力，抵抗围岩压力，防止坍塌、涌水等灾害。建设过程需严格执行施工规范，强化质量控制与安全监测，确保工程结构安全可靠。

技术适配原则要求建设方案匹配工程地质与环境条件。桥梁建设需根据跨越障碍的类型、跨度、水文条件选择适宜的桥型与基础形式；隧道建设需根据围岩

等级、水文地质条件选择适宜的开挖方法与支护工艺。同时需结合区域技术水平，选择成熟可靠的施工技术与设备，确保工程顺利实施。

经济合理原则要求统筹建设成本、运营成本与维护成本。桥梁隧道设计需优化结构形式，减少工程量与材料消耗；施工过程需优化施工方案，缩短建设周期，降低施工成本；运营阶段需选用耐久性强的材料与结构形式，减少维护频次与费用，实现全生命周期经济性最优。

生态环保原则要求建设过程减少对周边生态环境的破坏。桥梁建设需避开水生生物保护区，采用环保型施工工艺减少对水体的污染；隧道建设需减少山体开挖范围，采用生态护坡技术恢复山体植被；施工过程需控制扬尘、噪音与废水排放，降低对周边居民生活与生态环境的影响。

协同衔接原则要求桥梁隧道工程与周边道路、交通设施协同衔接。桥梁两端需与路基路面平顺衔接，避免出现桥头跳车；隧道进出口需与道路线性顺畅衔接，设置过渡段减少线形突变；同时需配套建设排水、照明、通风等附属设施，确保工程功能完整。

## 二、桥梁工程建设

### （一）桥梁类型与构造

桥梁按跨越对象可分为公路桥、铁路桥、公铁两用桥、人行桥、管线桥等，交通设施建设中以公路桥为主。按桥跨结构形式可分为梁式桥、拱式桥、刚架桥、悬索桥、斜拉桥等。梁式桥以梁为主要承重结构，具有结构简单、施工方便的特点，适用于中小跨度桥梁（跨度小于 50m），常见形式包括简支梁桥、连续梁桥、悬臂梁桥；拱式桥以拱为主要承重结构，具有承载能力强、造型美观的特点，适用于大跨度桥梁（跨度 50m-200m），常见形式包括石拱桥、混凝土拱桥、钢拱桥；刚架桥梁与柱刚接为整体，具有结构紧凑、跨度适中的特点，适用于跨径较小的桥梁；悬索桥以主缆为主要承重结构，具有跨度大（跨度大于 500m）、适应性强的特点，适用于跨越江河湖海的大型桥梁；斜拉桥以拉索为主要承重结构，具有跨度大（跨度 200m-500m）、结构轻盈的特点，适用于大跨度公路桥。

桥梁构造由上部结构、下部结构、附属结构组成。上部结构是桥梁的承重主体，包括桥跨结构、支座等，桥跨结构承担车辆荷载并传递至下部结构，支座用于连接上部结构与下部结构，传递荷载并适应结构变形。下部结构包括桥墩、桥

台、基础，桥墩支撑桥跨结构，桥台设置在桥梁两端，连接桥梁与路基，基础是下部结构的承载基础，需埋设在稳定的地层中，传递上部荷载至地基，常见基础形式包括扩大基础、桩基础、沉井基础。附属结构包括桥面铺装、排水设施、防护设施、照明设施、伸缩缝等，桥面铺装保障车辆行驶平顺性，排水设施排出桥面雨水，防护设施（护栏）保障通行安全，照明设施保障夜间通行，伸缩缝适应桥梁结构温度变形，避免结构损坏。<sup>①</sup>

## （二）桥梁施工核心流程

施工准备阶段需完成现场勘察、设计交底、施工方案编制、材料设备进场、临时设施搭建等工作。现场勘察需核实工程地质、水文地质条件，确定基础施工方案；设计交底需明确桥梁结构参数、质量标准与施工难点；施工方案需涵盖基础施工、上部结构施工、附属结构施工等流程，明确施工工艺与安全措施；材料设备进场需进行性能检验，确保钢材、混凝土、水泥等材料符合设计要求，施工机械性能良好；临时设施搭建包括施工便道、脚手架、模板支架等，保障施工顺利开展。

基础施工是桥梁施工的关键环节，需根据基础形式与地质条件选择适宜的施工方法。扩大基础施工需先开挖基坑，基坑开挖需设置支护（如钢板桩、土钉墙）防止坍塌，基坑排水采用井点降水或集水明排，基础浇筑采用混凝土分层浇筑，浇筑完成后及时养护。桩基础施工分为钻孔灌注桩与沉桩，钻孔灌注桩适用于地质条件复杂区域，通过钻机钻孔、下放钢筋笼、浇筑混凝土形成桩体；沉桩适用于土层较厚区域，通过打桩机将预制桩沉入地基。沉井基础施工适用于水深较深、地质条件较差区域，通过制作沉井、排水下沉或不排水下沉、封底浇筑形成基础。

下部结构施工包括桥墩与桥台施工。桥墩施工需先绑扎钢筋，安装模板，模板采用钢模板或木模板，保证模板牢固、平整；混凝土浇筑采用泵送混凝土，分层浇筑，振捣密实；浇筑完成后及时养护，养护时间不少于 14 天。桥台施工流程与桥墩类似，需重点处理桥台与路基的衔接，避免出现桥头跳车，通常在桥台背后设置回填土过渡层，分层压实。

上部结构施工需根据桥型选择适宜的施工方法。简支梁桥可采用预制吊装法，在预制厂预制梁体，通过起重机吊装至桥墩支座上，然后进行梁体连接；连续梁

---

① 肖国锋. 道路桥梁隧道工程施工技术与安全监控分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (29): 145-147.

桥可采用支架现浇法或悬臂浇筑法，支架现浇法适用于跨度较小区域，搭设支架后浇筑混凝土；悬臂浇筑法适用于大跨度区域，通过挂篮分段浇筑梁体。拱式桥可采用支架现浇法、缆索吊装法，缆索吊装法适用于大跨度拱桥，通过缆索将预制拱肋吊装至设计位置，然后进行拼接。悬索桥施工核心是主缆架设与加劲梁安装，主缆通过牵引系统架设，加劲梁采用预制吊装或现浇施工。斜拉桥施工核心是塔柱施工、拉索张拉与主梁安装，塔柱采用爬模施工，拉索分阶段张拉，主梁采用悬臂浇筑或吊装施工。

附属结构施工需在主体结构完成后进行。桥面铺装施工需先清理桥面，铺设防水层，然后摊铺沥青混合料或浇筑水泥混凝土，确保铺装层平整、抗滑。排水设施施工需设置桥面泄水管，连接至桥下排水系统，确保桥面雨水及时排出。防护设施施工需安装桥面护栏，护栏采用钢筋混凝土或钢结构，保证护栏牢固、高度符合设计要求。伸缩缝施工需按设计位置安装伸缩装置，填充密封材料，确保伸缩缝平整、密封良好。照明设施施工需安装路灯，确保照明均匀，覆盖桥面全线。

### （三）桥梁病害防治与养护

桥梁常见病害包括裂缝、钢筋锈蚀、混凝土剥落、支座损坏、桥面破损。裂缝多由温度变化、荷载作用、混凝土收缩导致，防治措施包括选用低热水泥、设置伸缩缝、优化结构设计；裂缝出现后需及时修补，采用灌缝胶灌缝或粘贴碳纤维布加固。钢筋锈蚀由混凝土保护层不足、雨水渗透导致，防治措施包括保证混凝土保护层厚度、采用防腐钢筋、设置防水层；锈蚀严重时需凿除锈蚀钢筋周围混凝土，更换钢筋，重新浇筑混凝土。

混凝土剥落由混凝土强度不足、冻融破坏、钢筋锈蚀膨胀导致，防治措施包括控制混凝土施工质量、选用抗冻性强的混凝土、加强养护；剥落区域需凿除破损混凝土，清理基层，重新浇筑混凝土或涂抹修补材料。支座损坏由荷载作用、老化、锈蚀导致，防治措施包括选用优质支座、定期检查维护；损坏支座需及时更换，确保支座功能正常。桥面破损包括坑槽、车辙、松散，防治措施包括加强桥面铺装施工质量、及时修补破损区域、强化桥面排水。

桥梁养护需建立定期检查机制，分为日常检查、定期检查与专项检查。日常检查每日进行，检查桥面是否有破损、排水是否顺畅、护栏是否完好；定期检查每半年至一年进行一次，全面检查桥梁结构状况，评估结构安全性；专项检查在桥梁出现病害或遭受自然灾害后进行，针对性检查病害原因与结构损伤程度。养

护措施包括日常清洁、病害修补、结构加固、附属设施维护，确保桥梁长期安全运行。

### 三、隧道工程建设

#### （一）隧道类型与构造

隧道按所处位置可分为山岭隧道、城市隧道、水底隧道，交通设施建设中以山岭隧道为主。按断面形式可分为单洞隧道、双洞隧道、多洞隧道；按车道数量可分为单车道隧道、双车道隧道、多车道隧道；按施工方法可分为钻爆法隧道、盾构法隧道、TBM 法隧道（隧道掘进机法）。山岭隧道适用于穿越山体，通常采用钻爆法施工；城市隧道适用于城市地下交通，多采用盾构法或浅埋暗挖法施工；水底隧道适用于跨越江河湖海，采用盾构法或沉管法施工。

隧道构造由主体结构及附属结构组成。主体结构包括洞身衬砌、洞门，洞身衬砌是隧道的核心承重结构，用于抵抗围岩压力，防止隧道坍塌，常见衬砌形式包括喷射混凝土衬砌、模筑混凝土衬砌、复合式衬砌（喷射混凝土+锚杆+模筑混凝土）；洞门设置在隧道进出口，用于保护洞口围岩，引导山体水流，常见洞门形式包括端墙式洞门、翼墙式洞门、环框式洞门。附属结构包括通风设施、照明设施、排水设施、供电设施、消防设施、监控设施等，通风设施用于改善隧道内空气质量，排除汽车尾气；照明设施保障隧道内行车视线；排水设施排出隧道内渗水与凝结水；消防设施用于应对隧道内火灾；监控设施用于实时监测隧道内交通状况与结构安全。

#### （二）隧道施工核心流程

施工准备阶段需完成现场勘察、设计交底、施工方案编制、材料设备进场、临时设施搭建等工作。现场勘察需通过地质钻探、物探等手段，明确隧道沿线围岩等级、水文地质条件、不良地质分布（如断层、溶洞）；设计交底需明确隧道结构参数、施工方法、安全标准；施工方案需涵盖开挖、支护、衬砌、附属设施施工等流程，制定不良地质路段的专项处理方案；材料设备进场需检验钢材、混凝土、防水材料等材料性能，确保施工机械（钻机、盾构机、装载机）性能良好；临时设施搭建包括施工便道、通风系统、供电系统、排水系统，保障施工顺利开展。

洞口施工是隧道施工的开端，需先清理洞口边坡，设置截水沟拦截山体雨水，避免雨水冲刷洞口围岩；然后开挖洞口明洞，明洞采用模筑混凝土浇筑，浇筑完

成后及时养护；最后施工洞门，洞门施工需保证与洞口边坡衔接顺畅，增强洞口稳定性。

洞身开挖需根据围岩等级与施工方法选择适宜的开挖方式。钻爆法适用于山岭隧道，根据围岩等级分为全断面开挖法、台阶法、环形开挖预留核心土法、中隔壁法（CD法）、交叉中隔壁法（CRD法）。全断面开挖法适用于围岩等级高（Ⅰ-Ⅲ级）、地质条件好的路段，一次性开挖成型，施工效率高；台阶法适用于围岩等级中等（Ⅲ-Ⅳ级）的路段，分为上台阶与下台阶开挖，分步施工；环形开挖预留核心土法适用于围岩等级较低（Ⅳ-Ⅴ级）的路段，先开挖环形断面，预留核心土，增强开挖过程中的稳定性；CD法与CRD法适用于围岩等级低（Ⅴ-Ⅵ级）、地质条件差的路段，通过设置中隔壁分割开挖断面，分步施工，控制围岩变形。

支护施工需与开挖施工同步进行，遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的原则。初期支护包括锚杆、喷射混凝土、钢支撑，锚杆用于固定围岩，防止围岩松动；喷射混凝土用于封闭围岩，形成初期承载结构；钢支撑（工字钢、格栅钢架）用于增强初期支护强度，适用于围岩等级低的路段。锚杆施工需按设计间距与深度钻孔，安装锚杆，注浆固定；喷射混凝土施工需分层喷射，确保混凝土密实；钢支撑施工需按设计位置安装，与锚杆、喷射混凝土连接牢固。二次衬砌在初期支护变形稳定后施工，采用模筑混凝土浇筑，浇筑前需铺设防水层，防止隧道渗水；混凝土浇筑采用泵送混凝土，分层浇筑，振捣密实；浇筑完成后及时养护。

附属设施施工需在主体结构完成后进行。通风设施施工需根据隧道长度与交通流量选择适宜的通风方式，短隧道采用自然通风，长隧道采用机械通风（如射流风机通风、竖井通风）；通风设备安装需牢固，确保通风效果。照明设施施工需安装隧道灯，分为入口段、过渡段、中间段、出口段照明，入口段与出口段照明亮度需逐步过渡，避免光线突变影响驾驶员视线；照明设备需选用防眩光、防水、防尘的灯具。

排水设施施工需设置纵向排水盲沟、横向排水盲沟与中心排水沟，纵向排水盲沟沿隧道两侧布置，收集围岩渗水；横向排水盲沟连接纵向排水盲沟与中心排水沟，将渗水引导至中心排水沟；中心排水沟沿隧道底部中心线布置，将渗水排出隧道。防水设施施工需在初期支护与二次衬砌之间铺设防水板与止水带，防水

板需铺设平整、焊接严密，止水带需安装准确、固定牢固，防止隧道渗水。消防设施施工需设置消防栓、灭火器、火灾报警系统，消防栓沿隧道两侧布置，间距不大于 50m；灭火器设置在消防栓旁，火灾报警系统与监控系统联动，确保及时发现火灾。监控设施施工需安装摄像头、交通检测器、环境检测器，摄像头实时监测隧道内交通状况，交通检测器监测车流量与车速，环境检测器监测隧道内空气质量与能见度。

### （三）隧道病害防治与养护

隧道常见病害包括围岩坍塌、隧道渗水、衬砌裂缝、衬砌剥落、通风照明故障。围岩坍塌多由围岩等级低、开挖方法不当、支护不及时导致，防治措施包括选用适宜的开挖方法、及时进行初期支护、加强围岩变形监测；坍塌发生后需及时清理坍塌体，加固周边围岩，重新进行支护与衬砌。隧道渗水多由防水层破损、止水带失效、排水系统堵塞导致，防治措施包括保证防水设施施工质量、定期清理排水系统；渗水区域需修补防水层，疏通排水管道，采用注浆堵水。

衬砌裂缝多由围岩压力过大、混凝土收缩、温度变化导致，防治措施包括优化衬砌结构设计、选用低热混凝土、加强养护；裂缝出现后需及时修补，采用灌缝胶灌缝或粘贴碳纤维布加固。衬砌剥落由混凝土强度不足、围岩压力作用、冻融破坏导致，防治措施包括控制混凝土施工质量、加强衬砌养护；剥落区域需凿除破损混凝土，重新浇筑混凝土或涂抹修补材料。通风照明故障多由设备老化、线路故障导致，防治措施包括选用优质设备、定期检查维护；故障发生后需及时维修或更换设备，确保通风照明功能正常。

隧道养护需建立完善的检查与监测机制，分为日常检查、定期检查、专项检查与长期监测。日常检查每日进行，检查隧道内通风、照明、消防设施是否完好，路面是否有破损，排水是否顺畅；定期检查每半年至一年进行一次，全面检查隧道结构状况、附属设施功能，评估隧道安全性；专项检查在隧道出现病害或遭受自然灾害后进行，针对性检查病害原因与结构损伤程度；长期监测通过安装围岩变形监测仪、衬砌应力监测仪、渗水量监测仪等设备，实时监测隧道结构变形与渗水情况。

养护措施包括日常清洁、病害修补、设备维护、结构加固。日常清洁需定期清理隧道内路面、墙面与附属设施，保持隧道内环境整洁；病害修补需及时处理隧道渗水、衬砌裂缝、剥落等病害，确保结构安全；设备维护需定期检查维修通

风、照明、消防、监控等设备，确保设备正常运行；结构加固需针对围岩变形、衬砌破损严重的路段，采用锚杆加固、喷射混凝土加固、粘贴碳纤维布加固等方式，增强隧道结构稳定性。

## 第三节 交通标志标线

### 一、核心内涵与建设原则

#### （一）核心内涵界定

交通标志标线是交通设施建设中引导交通流、规范交通行为、保障通行安全的关键功能性设施，通过图形、文字、颜色、线条等视觉信息，向交通参与者传递道路信息、通行规则与危险警示。交通标志以静态标识的形式提供明确的道路指引与规则提示，交通标线以路面标识的形式规范车辆与行人的行驶轨迹。两者协同作用，构建清晰的交通指引体系，减少交通冲突，提升道路通行效率，保障交通参与者的生命财产安全。

交通标志标线具有功能性、规范性、直观性、普遍性特征。功能性体现为其核心作用是引导交通流、规范交通行为、保障通行安全；规范性表现为其设置需严格遵循国家相关标准与规范，确保标识信息统一、清晰、准确；直观性体现为标识信息需简洁明了，交通参与者能快速识别与理解；普遍性表现为适用于所有交通参与者，包括机动车驾驶员、非机动车骑行者、行人，是维护交通秩序的基础设施。

#### （二）核心建设原则

规范性原则要求交通标志标线的设置、形状、颜色、尺寸、文字等严格遵循《道路交通标志和标线》（GB 5768）等国家规范。标志形状需符合规范要求，如警告标志为等边三角形、禁令标志为圆形、指示标志为圆形或矩形；标志颜色需准确，如警告标志为黄底黑边黑图案、禁令标志为白底红圈红斜杠黑图案、指示标志为蓝底白图案；标线颜色需规范，如禁止标线为白色或黄色、指示标线为白色、警告标线为黄色。

清晰醒目原则要求交通标志标线具有良好的视觉识别性。标志设置位置需避免被建筑物、树木、广告牌等遮挡，确保交通参与者能清晰观察；标志尺寸需根

据道路等级、设计速度确定，高等级道路标志尺寸较大，确保远距离识别；标线需采用反光材料，确保夜间可视性，标线厚度需符合规范要求，避免磨损过快。

协同适配原则要求交通标志与标线协同配合，标识信息一致，避免出现信息冲突。同一道路路段的标志与标线需传递相同的通行规则，如禁止停车标志需与禁止停车标线配合设置；交叉口的导向标志需与导向车道标线对应，引导车辆正确行驶。同时需与交通信号、隔离设施等其他交通设施协同适配，形成完整的交通指引体系。

因地制宜原则要求根据道路等级、交通流量、交通组成、道路环境，针对性设置交通标志标线。高等级道路需设置完善的指路标志与警告标志，引导车辆快速通行；城市道路需强化行人与非机动车相关的标志标线，保障慢行交通安全；学校、医院周边需设置限速、让行等标志标线，保护特殊群体通行安全；山区道路需设置急弯、陡坡、临崖等警告标志，提醒驾驶员注意安全。

经济性与耐久性原则要求在满足功能需求的前提下，控制建设与维护成本。标志材料优先选择高强度、耐久性强的材料（如铝合金、钢化玻璃），减少维护频次；标线材料优先选择耐磨、反光、抗老化的材料（如热熔型反光标线涂料），延长使用寿命。同时需优化标志设置数量，避免过度设置导致信息冗余，影响交通参与者判断。

## 二、交通标志建设

### （一）交通标志类型与功能

交通标志按功能可分为警告标志、禁令标志、指示标志、指路标志、旅游区标志、作业区标志、告示标志七大类。警告标志用于警告交通参与者注意前方道路危险路段，减速慢行，常见类型包括急弯警告标志、陡坡警告标志、学校区域警告标志、注意行人警告标志、注意非机动车警告标志等，形状为等边三角形，颜色为黄底黑边黑图案。

禁令标志用于禁止或限制交通参与者的交通行为，常见类型包括禁止通行标志、禁止驶入标志、禁止超车标志、限制速度标志、停车让行标志、减速让行标志等，形状为圆形，颜色为白底红圈红斜杠黑图案（除停车让行标志为白底红边黑字、减速让行标志为白底黑边黑字外）。指示标志用于指示交通参与者的行驶方向、车道使用、通行权等，常见类型包括直行标志、左转标志、右转标志、直

行和左转合用车道标志、人行横道标志、非机动车道标志等，形状为圆形或矩形，颜色为蓝底白图案。

指路标志用于传递道路方向、地点、距离等信息，引导交通参与者到达目的地，常见类型包括高速公路指路标志、城市道路指路标志、乡镇指路标志、路口预告标志、出口预告标志等，形状为矩形，颜色为蓝底白图案（高速公路指路标志为绿底白图案）。旅游区标志用于指示旅游景点的方向、距离、类型等信息，分为指引标志与旅游符号标志，颜色为棕色底白图案。作业区标志用于警示交通参与者前方道路施工，注意避让，分为警告标志、禁令标志、指示标志，颜色为黄底黑边黑图案或白底红圈红斜杠黑图案。告示标志用于告知交通参与者相关的交通管理信息，颜色为白底黑字。

## （二）交通标志设置要求

设置位置需根据标志功能与道路条件确定，确保交通参与者有足够的反应时间。警告标志设置在危险路段前方，设置距离需根据道路设计速度确定，设计速度大于 100km/h 时，设置距离不小于 200m；设计速度 50km/h-100km/h 时，设置距离为 100m-200m；设计速度小于 50km/h 时，设置距离不小于 50m。禁令标志设置在禁止行为开始的位置，如禁止超车标志设置在禁止超车路段的起点。指示标志设置在需要指示的路段或交叉口前方，引导交通参与者提前做好行驶准备。指路标志设置在道路交叉口、出口、入口等关键位置，提前预告目的地方向与距离。

设置高度与间距需符合规范要求。标志设置高度（从地面到标志下缘）需根据道路类型确定，城市道路标志高度为 2.5m-3.5m，公路标志高度为 3.0m-4.5m，确保标志不被车辆遮挡，同时便于交通参与者观察。标志间距需根据标志功能与道路等级确定，指路标志间距需根据道路设计速度与目的地距离确定，高等级道路指路标志间距较大，城市道路指路标志间距较小；警告标志间距需避免过密，防止信息冗余影响交通参与者判断。

标志版面设计需简洁明了，信息准确。标志文字需采用规范的汉字，字体为粗体，大小需根据标志尺寸与设置距离确定，确保远距离清晰可辨；少数民族地区需同时设置汉字与少数民族文字，涉外道路需同时设置汉字与英文。标志图案需简洁直观，符合交通参与者的认知习惯；多个信息需设置在同一标志版面时，需按重要性排序，重要信息放在上方或左侧。

标志支撑方式需根据道路条件与标志尺寸选择，常见支撑方式包括单柱式、

双柱式、悬臂式、门架式、附着式。单柱式适用于小型标志，设置在道路两侧人行道或绿化带内；双柱式适用于中型标志，支撑稳定；悬臂式适用于标志需要设置在道路上方，避免遮挡视线或影响行人通行的情况；门架式适用于大型标志或需要在多车道道路上方设置标志的情况；附着式适用于标志可附着在桥梁、隧道、建筑物等结构上的情况。支撑结构需采用高强度材料，确保牢固稳定，能抵抗风力等自然作用。

### （三）交通标志施工与维护

施工流程包括基础施工、支撑结构安装、标志版面安装。基础施工需根据支撑方式确定基础类型，单柱式、双柱式标志采用混凝土基础，基础尺寸需根据地质条件与标志重量计算确定；施工时需开挖基坑、绑扎钢筋、浇筑混凝土，浇筑完成后及时养护，养护时间不少于 7 天。支撑结构安装需在基础混凝土强度达到设计要求后进行，采用起重机吊装支撑柱，调整垂直度后固定牢固。标志版面安装需先将标志图案与文字制作完成，采用粘贴或铆接的方式固定在标志板上；然后将标志板安装在支撑结构上，调整版面角度，确保标志版面垂直于行车方向，便于交通参与者观察。

维护工作包括日常检查、清洁、修复与更换。日常检查需定期检查标志是否有破损、变形、褪色、遮挡等情况，检查支撑结构是否牢固，基础是否有沉降、开裂等问题。清洁工作需定期清理标志版面的灰尘、油污，确保标志清晰醒目；清洁时需避免损坏标志版面的反光材料。修复工作需针对标志破损、变形、褪色等问题及时处理，如修补破损的标志板、更换褪色的图案与文字、加固松动的支撑结构。更换工作需在标志无法修复或达到使用寿命时进行，更换的标志需符合规范要求，确保标识信息准确。

## 三、交通标线建设

### （一）交通标线类型与功能

交通标线按功能可分为禁止标线、指示标线、警告标线三大类。禁止标线用于禁止或限制交通参与者的交通行为，规范交通流运行，常见类型包括禁止超车线、禁止停车线、禁止掉头线、导流线、中心黄色双实线、中心黄色单实线等，颜色为白色或黄色，线条宽度为 10cm-20cm。禁止超车线为黄色实线，设置在禁止超车路段；禁止停车线为黄色实线或白色实线，设置在禁止停车路段；导流线

为白色或黄色虚线，设置在交叉口，引导车辆按指定轨迹行驶；中心黄色双实线与单实线用于分离对向交通流，禁止越线行驶。

指示标线用于指示交通参与者的行驶方向、车道使用、通行权等，引导交通流有序运行，常见类型包括车道分界线、车道边缘线、导向车道线、人行横道线、停止线、掉头导向线等，颜色为白色，线条宽度为 10cm-15cm。车道分界线为白色虚线，用于分隔同向车道，允许车辆变道；车道边缘线为白色实线，用于指示车道边缘；导向车道线为白色实线，设置在交叉口进口道，引导车辆进入指定车道；人行横道线为白色平行粗实线，用于指示行人过街区域；停止线为白色实线，设置在交叉口进口道前端，指示车辆停车位置。

警告标线用于警告交通参与者注意前方道路状况，减速慢行，常见类型包括减速标线、注意行人标线、注意非机动车标线、立面标记、接近障碍物标线等，颜色为黄色，线条宽度为 10cm-20cm。减速标线为白色或黄色虚线，设置在弯道、坡道、交叉口等需要减速的路段，通过视觉效果提醒驾驶员减速；注意行人标线与注意非机动车标线为黄色虚线，设置在行人或非机动车较多的路段；立面标记为黄黑相间的倾斜线条，设置在桥梁墩柱、隧道洞口、路侧障碍物等位置，提醒驾驶员注意避让；接近障碍物标线为黄色虚线，设置在接近障碍物的路段，引导车辆避让障碍物。

## （二）交通标线设置要求

设置位置需根据标线功能与道路条件确定，确保标线能有效引导交通流。禁止标线设置在禁止行为发生的路段或区域，如禁止停车线设置在人行道边缘或道路两侧；导流线设置在交叉口中心或进口道，引导车辆有序行驶。指示标线设置在需要指示的车道、交叉口、人行横道等位置，如导向车道线设置在交叉口进口道，与人行横道线、停止线衔接；人行横道线设置在行人过街需求大的路段，与道路中心线垂直。警告标线设置在危险路段或需要减速的区域前方，如减速标线设置在弯道、坡道前方，提醒提醒驾驶员减速。

标线尺寸与形状需符合规范要求。线条宽度需根据道路等级、设计速度确定，城市道路标线宽度为 10cm-15cm，公路标线宽度为 15cm-20cm；虚线线段长度与间隔需根据设计速度确定，设计速度越高，线段长度与间隔越大，确保驾驶员能清晰识别虚线。特殊标线（如导流线、人行横道线）的形状与尺寸需严格遵循规范，导流线需按交叉口形状与交通流轨迹设计，人行横道线宽度为 40cm，间隔

为 60cm，长度根据道路宽度确定。

标线材料选择需满足耐磨、反光、抗老化、防滑的要求。常见标线材料包括热熔型反光标线涂料、常温型反光标线涂料、双组份反光标线涂料。热熔型反光标线涂料具有耐磨性强、反光效果好、使用寿命长的特点，适用于交通流量大的道路（如高速公路、城市主干道）；常温型反光标线涂料施工简便、成本低，适用于交通流量小的道路（如城市支路、乡村公路）；双组份反光标线涂料具有高强度、高耐磨性、反光效果持久的特点，适用于重载车辆多的道路。标线施工需添加反光玻璃珠，增强夜间反光效果，反光玻璃珠掺量需符合规范要求。

### （三）交通标线施工与维护

施工流程包括路面准备、标线放样、涂料熔融（热熔型）、涂敷、养护。路面准备需清理路面灰尘、油污、积水，确保路面干燥、干净；若路面有裂缝或破损，需提前修补。标线放样需根据设计图纸，采用全站仪或水准仪定位，用粉笔或墨线标记标线位置与形状。涂料熔融适用于热熔型标线涂料，将涂料放入热熔釜中加热至 180℃ -220℃，搅拌均匀。涂敷需采用标线机进行，涂敷过程中需控制涂料温度与涂敷速度，确保标线厚度均匀、平整；同时撒布反光玻璃珠，确保玻璃珠均匀分布在标线表面。养护需在标线施工完成后进行，热熔型标线养护时间不少于 30 分钟，常温型标线养护时间不少于 2 小时，养护期间禁止车辆与行人通行。

维护工作包括日常检查、清洁、修补与重划。日常检查需定期检查标线是否有磨损、脱落、褪色、开裂等情况，检查标线反光效果是否良好。清洁工作需定期清理标线表面的灰尘、泥土、积雪，确保标线清晰可见；清洁时需避免使用腐蚀性清洁剂，防止损坏标线。修补工作需针对标线磨损、脱落、开裂等问题及时处理，先清理破损区域，然后重新涂敷标线涂料；对于褪色的标线，可采用标线翻新剂进行翻新。重划工作需在标线磨损严重、反光效果下降、无法修复时进行，重划前需清理旧标线，确保新标线与旧标线位置一致，信息准确。

## 四、特殊区域交通标志标线建设要点

### （一）交叉口区域

交叉口区域交通流量大、交通冲突多，标志标线设置需重点规范交通流运行，减少冲突。需设置完善的导向标志与导向车道线，导向标志设置在交叉口进口道前方，提前预告车道功能；导向车道线按车道功能划分，明确左转、直行、右转

车道，引导车辆有序进入对应车道。设置停止线与人行横道线，停止线设置在进口道前端，与人行横道线保持适当距离；人行横道线设置在交叉口，确保行人安全过街。设置导流线，引导车辆按指定轨迹行驶，避免交通流交叉冲突。设置停车让行标志或减速让行标志，无信号交叉口需设置停车让行标志与停车让行线，或减速让行标志与减速让行线，规范车辆通行权。

### （二）学校与医院周边

学校与医院周边行人与非机动车多，需强化标志标线设置，保障特殊群体通行安全。学校周边需设置注意儿童警告标志、学校区域警告标志，设置在学校出入口前方；设置限速标志，限速通常为 30km/h，配合设置减速标线，强制车辆减速。设置人行横道线与行人过街标志，在学校门口设置斑马线或彩色人行横道线，配套设置行人过街信号灯；设置禁止停车线，禁止车辆在学校门口停车，保障学生上下学安全。医院周边需设置注意行人警告标志、医院区域警告标志，设置在医院出入口前方；设置限速标志，限速通常为 40km/h，配合设置减速标线；设置人行横道线与行人过街标志，保障患者与家属安全过街；设置临时停车线，方便就医车辆临时停靠。

### （三）高速公路与城市快速路

高速公路与城市快速路车速高、交通流量大，标志标线设置需重点保障引导性与安全性。需设置完善的指路标志，包括入口预告标志、出口预告标志、方向指示标志、距离标志，提前预告道路信息，引导车辆正确行驶；指路标志采用绿底白图案，尺寸较大，确保远距离识别。设置车道分界线与车道边缘线，车道分界线为白色虚线，允许车辆在安全情况下变道；车道边缘线为白色实线，指示车道边缘。设置禁止超车线，在弯道、坡道、桥梁、隧道等路段设置黄色实线，禁止超车。设置减速标线，在出口匝道、弯道、坡道等需要减速的路段设置减速标线，提醒驾驶员减速。设置紧急停车带标志与紧急停车带标线，引导故障车辆进入紧急停车带停靠。

### （四）山区道路

山区道路地形复杂、弯道多、坡度大、视线差，标志标线设置需重点提醒驾驶员注意危险路段。需设置完善的警告标志，包括急弯警告标志、陡坡警告标志、临崖警告标志、注意落石警告标志、注意野生动物警告标志等，设置在危险路段前方，提前提醒驾驶员减速慢行。设置禁令标志，在急弯、陡坡路段设置禁止超

车标志，禁止车辆超车；在临崖、临水路段设置禁止停车标志，禁止车辆停车。设置指示标志，包括会车先行标志、会车让行标志，规范车辆会车通行权；设置道路方向指示标志，引导车辆正确行驶。设置标线，包括中心黄色实线或双实线，分离对向交通流；设置弯道外侧边缘线，指示车道边缘；设置减速标线，在弯道、坡道前方设置减速标线，强制车辆减速。

## 第四节 交通安全设施

### 一、核心内涵与建设价值

#### （一）核心内涵界定

交通安全设施是交通设施体系中保障通行秩序、降低事故风险、保护交通参与者生命财产安全的专用设施总称。其通过物理隔离、风险警示、防护缓冲、通行引导等功能，构建主动预防与被动防护相结合的安全保障体系，覆盖道路全线及交叉口、出入口、危险路段等关键节点。不同于交通标志标线的信息引导属性，交通安全设施更侧重实体防护与物理干预，与标志标线协同形成完整的交通安全保障网络。

交通安全设施具有防护性、强制性、系统性、针对性特征。防护性体现为通过实体结构抵御或缓冲交通冲突产生的冲击力，降低事故伤害程度；强制性表现为通过物理隔离限制交通参与者的违规行为，如分隔对向车流、阻挡行人横穿；系统性体现为设施需按道路等级、交通流量、路网功能统筹布局，形成全域覆盖的安全防护体系；针对性表现为需根据不同路段的风险特征，匹配差异化的设施类型，如急弯路段设置防撞护栏与视线诱导设施，学校周边设置减速带与防护桩。

#### （二）核心建设价值

保障通行安全是交通安全设施的核心价值。通过设置防护设施可有效减少车辆冲出道路、对向碰撞、行人与车辆冲突等事故类型的发生概率，降低事故伤亡率；通过风险警示设施可提前提醒驾驶员规避危险路段，提升驾驶警惕性，从源头预防事故。数据显示，完善的交通安全设施可使道路交通事故发生率降低 30% 以上，重特大事故发生率降低 50% 以上。

规范交通秩序是交通安全设施的重要功能。通过物理隔离设施分隔不同方向、

不同类型的交通流，明确交通参与者的通行空间，减少交通冲突点；通过引导设施规范车辆行驶轨迹，避免随意变道、掉头等违规行为，提升道路通行效率。在城市主干道与高速公路，合理的隔离设施可使道路通行能力提升 15%-20%。

提升路网适配性是交通安全设施的延伸价值。通过针对性设施改造，使道路适应不同交通组成的通行需求，如在非机动车流量大的路段设置专用非机动车道隔离设施，在山区道路设置防落石设施，提升道路对复杂环境与多元交通需求的适配能力。同时，完善的交通安全设施可增强公众出行安全感，提升交通设施的服务品质与社会认可度。

## 二、核心设施类型与技术要求

### （一）隔离设施

隔离设施用于分隔不同方向、不同类型的交通流，避免交通冲突，核心类型包括中央隔离带、机非隔离护栏、人行道隔离桩等。中央隔离带设置在双向车道之间，分为刚性隔离与柔性隔离两类；刚性隔离采用混凝土护栏、波形钢板护栏，适用于高速公路、城市快速路等车速高、流量大的道路，可有效阻挡车辆穿越对向车道；柔性隔离采用活动护栏、隔离绳，适用于城市支路、乡村公路等车速低的道路，便于应急通行与维护。

机非隔离护栏设置在机动车道与非机动车道之间，材质包括钢材、PVC、混凝土等，形式分为连续式与间断式；连续式护栏适用于非机动车流量大、行人横穿频繁的路段，如城市主干道；间断式护栏适用于非机动车流量较小的路段，可设置开口便于行人过街。人行道隔离桩设置在人行道边缘，材质为不锈钢、混凝土，间距为 1.5m-2.0m，用于阻挡车辆占用人行道，保障行人通行空间。<sup>①</sup>

隔离设施技术要求需满足强度与稳定性标准。混凝土护栏抗压强度不低于 C30，波形钢板护栏抗拉强度不低于 345MPa；护栏高度需根据道路类型确定，中央隔离护栏高度不低于 1.2m，机非隔离护栏高度不低于 0.8m，人行道隔离桩高度不低于 0.6m；连接部位需牢固可靠，混凝土护栏采用预埋钢筋连接，钢板护栏采用螺栓紧固，确保在车辆碰撞时不发生脱落或断裂。

### （二）防护设施

防护设施用于缓冲车辆碰撞冲击力，保护车辆与人员安全，核心类型包括防

<sup>①</sup> 罗玉花. 公路交通安全设施工程施工质量控制探析 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6 (20): 34-36.

撞护栏、防撞垫、防落石网、防眩光设施等。防撞护栏按防撞等级分为 A 级、SB 级、SA 级等，A 级适用于二级及以下公路，SB 级适用于一级公路，SA 级适用于高速公路；按结构形式分为波形梁护栏、混凝土护栏、缆索护栏，波形梁护栏适用于平原地区道路，混凝土护栏适用于山区、桥头等危险路段，缆索护栏适用于风景旅游区道路，兼具防护与景观功能。

防撞垫设置在中央隔离带开口、匝道出入口、收费站等车辆易碰撞区域，材质为橡胶、泡沫混凝土，通过自身变形吸收碰撞能量，降低车辆与人员损伤；防撞垫需具备导向功能，引导碰撞车辆回归正常行驶轨迹。防落石网设置在山区道路边坡上方，材质为高强度钢丝绳，网孔尺寸为  $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ - $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ ，用于拦截山体落石，避免砸击车辆与行人；防落石网需设置支撑结构，确保在落石冲击下不发生坍塌。

防眩光设施设置在中央隔离带，用于阻挡对向车辆灯光眩光，提升夜间行车安全性，类型包括防眩板、防眩网、植树防眩带；防眩板采用塑料、钢材等材质，高度为  $1.2\text{m}$ - $1.5\text{m}$ ，间距为  $2.0\text{m}$ - $3.0\text{m}$ ，适用于高速公路、城市快速路；防眩网采用钢板网、编织网，适用于风速较大区域；植树防眩带选用常绿灌木，适用于城市道路与乡村公路，兼具防眩与生态功能。防护设施技术要求需满足防撞性能标准，碰撞后设施变形量需控制在规范范围内，不影响后续车辆通行。

### （三）警示与诱导设施

警示与诱导设施用于提醒驾驶员注意危险路段、规范行驶轨迹，核心类型包括轮廓标、线形诱导标、减速设施、危险警示桩等。轮廓标设置在道路边缘、中央隔离带，分为反光型与主动发光型，反光型轮廓标通过反射车辆灯光显示道路轮廓，适用于普通公路；主动发光型轮廓标采用 LED 光源，适用于隧道、山区等视线较差路段，夜间可视距离不低于  $300\text{m}$ 。

线形诱导标设置在急弯、陡坡、交叉口等路段，用于引导车辆行驶方向，形状为矩形或三角形，颜色为蓝底白图案或黄底黑图案；诱导标需按道路线形连续设置，设置间距根据设计速度确定，设计速度大于  $80\text{km/h}$  时间距不超过  $50\text{m}$ ，设计速度低于  $80\text{km/h}$  时间距不超过  $30\text{m}$ 。减速设施包括减速带、减速垄、路面减速标线，减速带采用橡胶、混凝土材质，设置在学校、医院、小区周边，高度为  $3\text{cm}$ - $5\text{cm}$ ，宽度为  $30\text{cm}$ - $50\text{cm}$ ；减速垄适用于乡村公路，减速标线通过路面凹凸结构或颜色变化提醒驾驶员减速。

危险警示桩设置在临崖、临水、道路施工区域等危险路段边缘,材质为混凝土、钢材,颜色为红白相间或黄黑相间,高度为 1.0m-1.5m,间距为 2.0m-5.0m;警示桩需设置反光标识,确保夜间可视性。警示与诱导设施技术要求需满足反光性能标准,反光标识逆反射系数不低于  $250\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ,主动发光设施亮度需均匀,不产生眩光。

#### (四) 其他专用安全设施

其他专用安全设施包括避险车道、紧急停车带、公交站台安全设施、pedestrian safety facilities 等。避险车道设置在长下坡路段,用于失控车辆紧急避险,由制动床、减速丘、导向设施组成;制动床采用碎石、砂垫层等高阻力材料,长度根据坡度与设计速度确定,不低于 50m;避险车道需设置清晰的引导标志与减速设施,确保失控车辆能准确驶入。

紧急停车带设置在高速公路、城市快速路,用于故障车辆临时停靠,宽度不低于 3.5m,长度不低于 50m,间距不超过 5km;紧急停车带需设置应急照明、监控设施与呼叫电话,路面采用防滑材料,边缘设置反光标识。公交站台安全设施包括站台防护栏、候车亭、警示标识,防护栏设置在站台边缘,高度不低于 0.8m,避免乘客横穿车道;候车亭需具备遮阳避雨功能,设置清晰的公交线路标识。

Pedestrian safety facilities 包括行人过街天桥、地下通道、人行横道防护栏,过街天桥与地下通道适用于交通流量大的城市主干道,天桥宽度不低于 3.0m,通道宽度不低于 2.5m,需设置无障碍设施;人行横道防护栏设置在人行横道两侧,引导行人按指定区域过街,避免随意横穿。专用安全设施技术要求需满足承载力标准,避险车道制动床承载力不低于 100kN,过街天桥活荷载不低于  $5\text{kN/m}^2$ 。

### 三、建设流程与质量控制

#### (一) 前期勘察与设计

前期勘察需全面调研道路条件、交通组成、事故数据等基础信息。通过现场测量核实道路线形、坡度、边坡等几何参数;通过交通流量监测明确机动车、非机动车、行人的流量分布与行驶特征;通过事故数据分析识别事故高发路段与主要事故类型,确定设施建设的重点区域。勘察范围需覆盖道路全线,重点区域需加密勘察点位,确保数据准确性。

设计阶段需根据勘察结果制定针对性的设施配置方案。按道路等级确定设施

防护等级，高速公路需采用 SA 级防撞护栏、主动发光轮廓标等高标准设施；乡村公路可采用 A 级护栏、反光型轮廓标等经济型设施。按路段风险特征匹配设施类型，急弯路段需设置线形诱导标、防撞护栏与减速设施；学校周边需设置减速带、注意儿童警示桩与人行道隔离桩。设计方案需绘制详细的平面布置图与结构施工图，明确设施的尺寸、材质、安装位置等参数。

设计评审需组织交通工程、结构工程、安全管理等领域专家参与，重点审核方案的安全性、经济性与可行性。审核内容包括设施防护等级是否匹配道路风险、设施布置是否合理、结构设计是否满足强度要求、施工难度是否可控。评审通过后需根据专家意见优化设计方案，形成最终设计文件。

## （二）施工核心流程

施工准备阶段需完成材料采购、设备调试、现场清理等工作。材料采购需严格按照设计要求选择，防撞护栏、隔离桩等结构件需具备质量合格证书，反光材料需通过性能检测；设备调试包括施工机械（如护栏安装机、钻孔机）的性能检查与校准，确保施工精度。现场清理需清除施工区域的杂物、障碍物，平整施工场地，设置施工围挡与警示标志，避免影响正常交通。

基础施工是设施安装的关键环节。隔离护栏、警示桩等设施的基础需开挖至稳定地层，深度不低于 60cm，采用混凝土浇筑，混凝土强度不低于 C25；基础施工需控制平整度与垂直度，偏差不超过 5mm/m。对于山区、软土等特殊地质区域，需采用换填、加固等处理措施，增强基础稳定性；如软土区域需铺设碎石垫层，厚度不低于 30cm，确保基础承载能力满足要求。

设施安装需按设计图纸精准定位，采用专业设备进行施工。防撞护栏安装需先安装立柱，立柱间距按设计要求控制，偏差不超过 10cm，立柱垂直度偏差不超过 3mm/m；然后安装护栏板，护栏板连接需牢固，缝隙不超过 2mm。轮廓标、诱导标安装需确保高度一致，安装角度垂直于行车方向，反光面朝向来车方向。减速带、减速垄安装需与路面紧密贴合，采用膨胀螺栓固定，避免车辆碾压时产生松动。

收尾施工包括设施调试、现场清理与标识完善。主动发光设施需进行通电调试，检查亮度、闪烁频率是否符合要求；反光标识需检查粘贴是否牢固，无气泡、褶皱。现场清理需清除施工废渣、废料，平整路面，恢复施工区域的交通设施。标识完善需在设施周边设置配套的警告标志，如防撞护栏两端设置警示标志，提

醒驾驶员注意避让。

### （三）质量控制与验收标准

质量控制需贯穿施工全过程，建立“材料检验 - 工序检查 - 成品检测”的三级质量控制体系。材料检验需对进场的钢材、混凝土、反光材料等进行抽样检测，检测项目包括强度、反光性能、耐候性等，不合格材料严禁使用。工序检查需对基础开挖、混凝土浇筑、设施安装等关键工序进行现场验收，验收合格后方可进入下一道工序；如基础浇筑后需检测混凝土强度，护栏安装后需检测垂直度与间距。

成品检测需对已完工的交通安全设施进行全面性能检测。防撞护栏需进行防撞性能试验，检测碰撞后的变形量与承载力；隔离设施需检测稳定性，采用拉力测试验证连接牢固性；反光设施需检测逆反射系数，确保夜间可视距离达标。检测方法需符合《公路交通安全设施施工技术规范》（JTG/T 3671-2020）等国家规范要求，检测合格率需达到 100%。

验收标准需明确外观质量、尺寸偏差、性能指标等要求。外观质量要求设施表面无破损、变形、锈蚀，反光标识清晰完整；尺寸偏差要求护栏高度偏差不超过  $\pm 5\text{mm}$ ，立柱间距偏差不超过  $\pm 10\text{cm}$ ，基础平整度偏差不超过  $\pm 3\text{mm/m}$ 。性能指标要求防撞护栏防撞等级符合设计要求，反光设施逆反射系数不低于规范标准，隔离设施承载力满足车辆碰撞要求。验收合格后需出具验收报告，明确设施质量等级与使用建议。

## 四、运维管理与优化升级

### （一）日常巡检与维护

日常巡检需建立定期巡查机制，按道路等级确定巡检频次。高速公路、城市快速路每日巡检一次，一级公路每两日巡检一次，二级及以下公路每周巡检一次；特殊天气（如暴雨、暴雪、台风）后需增加巡检频次，及时排查设施损坏情况。巡检内容包括设施是否有破损、变形、锈蚀，反光标识是否清晰，基础是否有沉降、开裂，主动发光设施是否正常工作。

维护工作需根据巡检结果分类处理。轻微损坏（如反光标识脱落、护栏小面积锈蚀）需及时修复，采用补粘反光标识、除锈喷漆等措施；中度损坏（如护栏板变形、警示桩断裂）需进行局部更换，更换的设施需与原有设施规格一致；严

重损坏（如护栏大面积坍塌、基础沉降）需制定专项维修方案，及时组织施工，避免影响通行安全。维护记录需详细归档，包括损坏位置、损坏原因、维修措施、维修时间等信息。

专项维护需针对特殊设施开展定期保养。主动发光设施需每月检查电路、光源，每季度进行亮度校准，每年更换老化的光源与电池；防落石网需每半年清理网内杂物，检查网体是否有破损、松动，每年进行一次张力检测；避险车道需每季度清理制动床碎石，检查减速丘是否完好，每年检测制动床阻力性能。专项维护需制定详细的保养计划，确保设施长期稳定运行。

## （二）病害防治与应急处置

常见设施病害包括锈蚀、变形、松动、反光性能下降等。锈蚀病害多由环境湿度大、防腐处理不到位导致，防治措施包括选用防腐性能强的材料（如热镀锌钢材），定期进行除锈喷漆；变形病害多由车辆碰撞、自然灾害导致，防治措施包括提升设施防撞等级，在危险路段增设缓冲设施；松动病害多由基础沉降、螺栓松动导致，防治措施包括定期检查螺栓紧固情况，对沉降基础进行加固处理。

反光性能下降多由灰尘覆盖、材料老化导致，防治措施包括定期清理反光标识表面灰尘，选用耐候性强的反光材料，每 3-5 年更换一次反光标识。应急处置需针对突发灾害（如交通事故、地震、洪水）导致的设施损坏，建立快速响应机制。接到应急通知后，需在 1 小时内抵达现场，设置临时警示标志，疏导交通；对于影响通行安全的损坏设施，需在 24 小时内完成紧急修复或拆除，避免引发二次事故。

应急物资储备需保障充足，包括应急护栏、警示标志、反光标识、施工机械等，储备地点需分布合理，确保应急时能快速调配。应急队伍需具备专业的施工技能与应急处置能力，定期开展应急演练，提升对突发情况的响应速度与处置水平。

## （三）优化升级与技术迭代

优化升级需结合交通流量变化、事故数据统计与技术发展，持续完善设施配置。随着交通流量增长，需提升设施防护等级，如将一级公路的 A 级护栏升级为 SB 级；根据事故数据调整设施布局，如在事故高发路段增设减速设施、优化隔离设施位置。同时，需结合道路改扩建工程，同步升级交通安全设施，确保设施与道路功能匹配。

技术迭代需积极采用新型环保、智能的设施技术。推广使用可回收利用的环

保材料（如再生塑料护栏、透水混凝土减速带），减少环境污染；引入智能监测技术，如在防撞护栏安装应力传感器、在防落石网安装冲击传感器，实时监测设施状态；应用主动发光技术，如 LED 轮廓标、太阳能诱导标，提升夜间行车安全性。技术迭代需进行试点应用，验证技术可行性后再全面推广。

优化升级效果评估需通过交通流量监测、事故数据对比、公众满意度调查等方式开展。评估指标包括事故发生率、事故伤亡率、通行效率、公众出行安全感等。根据评估结果调整优化方案，形成“建设 - 运维 - 评估 - 优化”的闭环管理体系，持续提升交通安全设施的保障能力。

## 第五节 智能交通设施

### 一、核心内涵与发展背景

#### （一）核心内涵界定

智能交通设施是融合物联网、大数据、人工智能、通信技术等现代信息技术的新型交通设施，通过感知、传输、分析、决策、控制等环节，实现交通流的智能化管控、出行服务的精准化供给、设施运维的高效化管理。其核心特征是“感知 - 互联 - 智能”，不同于传统交通设施的被动服务属性，智能交通设施具备主动感知交通状态、实时交互信息、动态优化管控的能力，是构建智能交通系统（ITS）的核心载体。

智能交通设施涵盖感知设施、传输设施、控制设施、服务设施四大类，形成完整的技术体系。感知设施负责采集交通流、路况、环境等数据；传输设施负责将感知数据实时传输至管控中心；控制设施根据数据分析结果对交通流进行动态调控；服务设施为交通参与者提供精准的出行信息服务。四类设施协同工作，实现交通系统的智能化运行，提升交通效率与安全水平。

#### （二）发展背景与驱动因素

城市化进程加速与交通拥堵问题凸显是智能交通设施发展的核心驱动因素。随着城市化率提升，城市人口与机动车保有量持续增长，传统交通设施的管控能力已无法满足交通需求，交通拥堵、事故频发等问题日益突出。智能交通设施通过动态管控交通流、优化资源配置，可有效缓解拥堵，提升道路通行效率，成为

解决城市交通问题的关键手段。

信息技术的快速发展为智能交通设施提供了技术支撑。物联网技术实现了交通设施与车辆、行人的全面感知与互联；大数据技术具备海量交通数据的分析处理能力，可挖掘交通运行规律；人工智能技术实现了交通状态的精准预测与智能决策；5G 技术提供了高速、低延迟的数据传输服务，保障实时管控需求。技术的融合应用推动智能交通设施从单一功能向集成化、智能化升级。

政策支持与产业升级需求为智能交通设施发展提供了保障。国家出台《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》等政策，明确提出推进智能交通设施建设，提升交通智能化水平；交通产业升级需求推动传统交通设施企业向智能化转型，加大技术研发与产品创新投入。同时，公众对高品质出行服务的需求日益增长，要求交通设施提供更精准、便捷的出行信息，进一步推动智能交通设施的发展。

## 二、核心设施类型与技术架构

### （一）感知设施：数据采集核心载体

感知设施是智能交通设施的基础，负责采集交通流参数、道路状态、环境条件等数据，核心类型包括交通检测器、视频监控设备、环境监测设备、车载感知设备等。交通检测器分为线圈检测器、微波检测器、红外检测器、雷达检测器，线圈检测器通过感应车辆金属部件采集车流量、车速、车型等参数，适用于交叉口、主干道；微波检测器与雷达检测器通过电磁波探测车辆信息，适用于高速公路、城市快速路，可在恶劣天气下正常工作。

视频监控设备包括高清摄像头、全景摄像头、智能球机，通过图像识别技术采集车辆行驶轨迹、违章行为、行人流量等数据；高清摄像头分辨率不低于 1080P，帧率不低于 25 帧/秒，确保图像清晰；智能球机具备 360° 旋转、变焦功能，可实现重点区域的精准监控。环境监测设备包括温度传感器、湿度传感器、能见度传感器、降水量传感器，用于采集天气条件数据，为交通管控提供环境参考；设备需具备耐候性，适应不同气候环境。

车载感知设备包括 GPS 定位装置、车载雷达、车载摄像头，用于采集车辆位置、速度、行驶状态等数据；通过车联网（V2X）技术与路侧设施交互信息，实现车路协同，提升行车安全。感知设施技术要求需满足数据采集精度，车流量

检测误差不超过 5%，车速检测误差不超过 10%，数据更新频率不低于 1 次 / 秒，确保实时性。

### （二）传输设施：数据交互关键通道

传输设施负责将感知设施采集的数据传输至管控中心，同时将管控指令传输至控制设施，核心类型包括通信网络、数据传输设备、边缘计算节点等。通信网络分为有线网络与无线网络，有线网络采用光纤通信，具备大容量、高带宽、低延迟的特点，适用于主干数据传输；无线网络包括 5G、4G、WiFi、LoRa 等，5G 网络适用于实时性要求高的场景（如车路协同、高清视频传输），LoRa 网络适用于低功耗、广覆盖的场景（如环境监测设备数据传输）。

数据传输设备包括光端机、交换机、路由器、调制解调器，光端机用于光纤信号与电信号的转换，交换机用于数据的交换与转发，路由器用于实现不同网络的互联。边缘计算节点设置在路侧，负责对感知数据进行本地预处理，过滤冗余数据，提升数据传输效率；同时可实现本地快速决策，减少对远端管控中心的依赖，降低传输延迟，适用于车路协同、实时交通管控等场景。

传输设施技术要求需满足数据传输的实时性与可靠性。5G 网络传输延迟不超过 10ms，带宽不低于 100Mbps；光纤通信传输速率不低于 1Gbps，误码率不超过  $10^{-9}$ ；数据传输需采用加密技术，确保数据安全，防止信息泄露。同时，传输设施需具备容错能力，当部分传输链路故障时，可自动切换至备用链路，保障数据传输不中断。

### （三）控制设施：智能管控执行载体

控制设施根据管控中心的决策指令，对交通流进行动态调控，核心类型包括智能交通信号控制系统、可变信息标志、智能护栏、车路协同控制设备等。智能交通信号控制系统是核心控制设施，通过接收感知数据，采用智能算法优化信号配时，实现交通流的动态管控；分为单点控制、线控、面控三类，单点控制适用于独立交叉口，线控适用于主干道，面控适用于城市区域交通。

可变信息标志通过 LED 显示屏实时发布交通信息（如拥堵预警、路况提示、限速信息），分为路侧可变信息标志、车道控制标志、诱导屏；路侧可变信息标志设置在高速公路、城市主干道，尺寸不小于  $3\text{m} \times 2\text{m}$ ，显示内容清晰可见；车道控制标志设置在车道上方，用于动态调整车道功能（如潮汐车道、可变导向车道）。智能护栏采用可伸缩、可移动的结构，通过远程控制调整护栏位置，实现

车道数量的动态调整,适用于潮汐交通路段。

车路协同控制设备包括路侧单元(RSU)、车载单元(OBU),通过V2X技术实现车辆与路侧设施、车辆与车辆之间的信息交互;路侧单元接收感知数据并发送给车载单元,车载单元将车辆数据发送给路侧单元,实现碰撞预警、交叉路口通行引导等功能。控制设施技术要求需满足响应速度快,信号控制指令响应时间不超过1s,可变信息标志显示更新时间不超过0.5s,确保管控的实时性。

#### (四) 服务设施:精准服务供给载体

服务设施为交通参与者提供精准的出行信息服务与便捷的出行保障,核心类型包括智能停车设施、电子收费设施、出行信息服务终端、应急服务设施等。智能停车设施包括智能停车场、路边智能停车泊位,通过车位探测器采集车位信息,通过手机APP、路侧诱导屏发布空余车位信息,实现停车预约、反向寻车、无感支付等功能;智能停车场需具备车位引导系统,引导车辆快速找到空余车位。

电子收费设施包括ETC(电子不停车收费系统)、无感支付设备,ETC系统通过车载OBU与路侧RSU的无线通信,实现车辆快速通行与自动收费,适用于高速公路收费站、桥梁隧道;无感支付设备通过车牌识别、移动支付技术,实现停车费、通行费的自动缴纳,提升通行效率。出行信息服务终端包括路侧信息查询机、手机APP、导航软件,提供实时路况、公交信息、出行规划等服务;路侧信息查询机设置在公交站台、地铁站,具备触摸交互功能。

应急服务设施包括智能应急呼叫设备、应急救援调度系统,智能应急呼叫设备设置在高速公路、城市主干道,具备一键呼叫功能,可自动定位呼叫位置;应急救援调度系统通过整合交通、公安、医疗等部门资源,实现应急事件的快速响应与救援调度。服务设施技术要求需满足服务的精准性与便捷性,出行信息更新频率不低于5分钟/次,电子收费通行时间不超过3秒/车。

#### (五) 技术架构:多层次协同体系

智能交通设施技术架构分为感知层、网络层、平台层、应用层四层,形成协同工作体系。感知层由各类感知设施组成,负责数据采集;网络层由传输设施组成,负责数据传输与交互;平台层包括数据存储平台、数据分析平台、智能决策平台,负责数据的存储、处理与决策;应用层包括交通管控应用、出行服务应用、运维管理应用,负责将平台输出的决策结果转化为具体的管控措施与服务内容。

感知层与网络层实现数据的采集与传输,平台层实现数据的处理与决策,应

用层实现决策的落地与服务的供给。各层级之间通过标准化接口进行数据交互，确保体系的兼容性与扩展性。同时，技术架构需具备安全性，通过数据加密、访问控制、安全审计等措施，保障数据安全与系统稳定运行。

### 三、典型应用场景与实践效果

#### （一）城市道路交通智能管控

城市道路交通智能管控是智能交通设施的核心应用场景，通过整合感知、传输、控制设施，实现交叉口信号智能配时、主干道交通流诱导、违章行为自动抓拍等功能。智能交通信号控制系统根据交叉口的车流量、行人流量数据，采用深度学习算法优化信号配时，实现“车多放行、车少缩短”的动态调控；如在高峰时段延长主干道绿灯时间，平峰时段缩短信号周期，提升通行效率。

主干道交通流诱导通过可变信息标志、导航软件发布实时路况信息，引导车辆避开拥堵路段；同时通过智能护栏调整车道数量，适应潮汐交通需求，如早高峰增加进城车道，晚高峰增加出城车道。违章行为自动抓拍通过视频监控设备与图像识别技术，自动识别闯红灯、超速、不按导向车道行驶等违章行为，实现非现场执法，提升交通管理效率。实践数据显示，城市道路采用智能管控设施后，交叉口通行效率提升 20%-30%，违章行为发生率降低 40%-50%。

#### （二）高速公路智能运维与管控

高速公路智能运维与管控通过部署感知、传输、服务设施，实现交通流实时监测、突发事件快速响应、智能收费等功能。交通流实时监测通过雷达检测器、视频监控设备采集高速公路的车流量、车速、密度等数据，当出现拥堵或交通事故时，管控中心及时发布预警信息，通过可变信息标志引导车辆绕行；同时调度救援车辆，实现突发事件的快速处置。

智能收费通过 ETC 系统实现车辆不停车快速通行，提升收费站通行效率；部分高速公路试点“自由流收费”技术，通过路侧单元与车载单元的交互，实现全程无感知收费，彻底解决收费站拥堵问题。智能运维通过在桥梁、隧道等关键设施安装结构健康监测设备，实时监测设施的应力、变形、沉降等数据，预测设施病害，提前开展维护，降低运维成本。实践效果显示，高速公路采用智能设施后，收费口通行效率提升 60% 以上，突发事件响应时间缩短 50% 以上。

### （三）智能停车与出行服务

智能停车与出行服务通过整合智能停车设施、出行信息服务终端，解决停车难、出行规划不合理等问题。智能停车场通过车位检测器实时采集车位信息，通过手机 APP 向用户推送空余车位位置、预约停车服务；用户通过 APP 实现停车导航、反向寻车、无感支付，提升停车便捷性。路边智能停车泊位通过地磁检测器、视频桩采集车位占用信息，通过路侧诱导屏引导车辆快速找到空余泊位，避免路边停车拥堵。

出行信息服务通过导航软件、路侧信息查询机提供实时路况、公交到站信息、共享单车位置等服务，帮助用户制定最优出行方案；如导航软件根据实时路况推荐最短时间路线，公交信息服务终端显示公交实时位置与到站时间。实践效果显示，智能停车设施可使车主找车位时间缩短 40%-60%，停车周转率提升 30% 以上；精准出行信息服务可使公众出行时间平均缩短 15%-20%。

### （四）车路协同与自动驾驶支撑

车路协同与自动驾驶支撑是智能交通设施的高端应用场景，通过路侧感知设施、车路协同控制设备，实现车辆与路侧设施、车辆与车辆之间的信息交互，为自动驾驶提供安全保障。路侧单元（RSU）实时向自动驾驶车辆推送路况信息、交通信号、危险预警等数据；自动驾驶车辆通过车载感知设备采集车辆状态数据，与路侧数据融合，实现精准定位、路径规划与安全避障。

试点区域通过部署车路协同设施，实现自动驾驶车辆的编队行驶、交叉路口无信号通行、紧急避让等功能。如在城市园区、高速公路试点路段，自动驾驶车辆通过车路协同技术，可提前感知前方车辆制动、行人横穿等风险，及时调整行驶状态，提升自动驾驶安全性。实践表明，车路协同技术可使自动驾驶车辆的事故率降低 70% 以上，为自动驾驶的规模化应用奠定基础。

## 四、建设与运维关键点

### （一）规划设计：统筹布局与标准统一

规划设计需结合城市交通发展规划，统筹布局智能交通设施，避免重复建设。需开展交通需求预测，明确不同区域的设施建设重点，如城市核心区重点建设智能交通信号控制系统、智能停车设施，高速公路重点建设交通流监测与智能收费设施。同时，需制定统一的技术标准，包括数据采集标准、传输协议标准、接口

标准等，确保不同类型、不同厂商的设施之间可互联互通，实现数据共享与协同工作。

规划设计需考虑设施的兼容性与扩展性，预留技术升级空间。随着信息技术的发展，智能交通设施需不断升级迭代，规划时需采用模块化设计，便于设备更换与功能扩展；同时需考虑 5G、物联网等新技术的应用需求，预留通信接口与安装空间。此外，规划设计需结合生态环保要求，选用节能、环保的设备，减少对环境的影响。

### （二）建设实施：分期推进与质量管控

建设实施需采用分期推进的模式，优先建设核心区域与关键设施。第一阶段建设感知与传输设施，实现交通数据的全面采集与传输；第二阶段建设平台层与核心控制设施，实现数据的分析处理与智能决策；第三阶段建设服务设施与拓展应用，实现精准服务供给与全场景覆盖。分期推进可降低建设风险，及时总结经验，优化后续建设方案。

质量管控需贯穿建设全过程，重点关注设备选型、施工安装、系统调试等环节。设备选型需选用符合国家标准、性能稳定的产品，优先选择具备自主知识产权的设备；施工安装需严格按设计图纸与技术规范进行，确保设备安装精度与牢固性；系统调试需对感知数据精度、传输实时性、控制响应速度等进行全面测试，确保系统运行稳定。同时，需建立建设质量追溯体系，对施工过程进行全程记录，确保质量问题可追溯。

### （三）运维管理：智能运维与安全保障

运维管理需采用智能运维模式，提升运维效率。通过在设施上安装状态监测设备，实时监测设备运行状态，预测设备故障；建立运维管理平台，实现故障报警、工单派发、维修跟踪等功能，提升运维的智能化水平。如当感知设备出现数据采集异常时，平台自动报警并派发维修工单，维修人员通过平台获取设备位置与故障信息，快速开展维修。

安全保障是运维管理的核心，需从数据安全、系统安全、物理安全三个维度构建安全保障体系。数据安全通过数据加密、访问控制、数据备份等措施，防止数据泄露、篡改与丢失；系统安全通过安装防火墙、入侵检测系统、安全审计系统，抵御网络攻击；物理安全通过安装监控设备、防盗设施，加强设备巡检，防止设备被盗、损坏。同时，需建立安全应急响应机制，应对突发安全事件。

#### （四）资金保障与商业模式创新

资金保障需构建多元化的资金投入机制，包括政府财政投入、社会资本参与、企业自主投入等。政府财政投入重点支持公益性设施建设（如交通信号控制系统、路况监测设施）；社会资本通过 PPP 模式参与经营性设施建设（如智能停车场、电子收费设施），实现投资主体多元化；企业自主投入用于技术研发与产品创新，提升设施的智能化水平。

商业模式创新需挖掘智能交通设施的商业价值，实现可持续发展。可通过提供增值服务（如精准广告推送、交通数据服务）、开展校企合作（如技术研发与试点应用）、推进智慧交通产业融合（如与新能源汽车、智慧城市协同发展）等方式，拓展收入来源。同时，需建立合理的收益分配机制，保障政府、企业、社会资本的利益，推动智能交通设施的长期稳定发展。

## 第五章 交通运营管理

### 第一节 交通组织优化

#### 一、核心内涵与核心目标

##### （一）核心内涵界定

交通组织优化是基于道路路网结构、交通流特征、出行需求分布，通过调整交通流运行路径、规范交通参与者行为、重构道路通行空间等手段，实现交通资源高效配置的动态管理过程。其核心逻辑是通过“空间重构、路径调控、行为规范”三维协同，减少交通冲突点、提升路网通行效率、降低交通运行风险，本质是对交通流与路网资源的精准匹配与动态适配。

交通组织优化具有系统性、动态性、针对性、可行性特征。系统性体现为需统筹路网全局，兼顾不同区域、不同类型交通流的运行需求，避免局部优化导致全局失衡；动态性表现为需根据交通流时空变化、季节特征、重大活动等因素实时调整优化方案；针对性体现为需针对拥堵路段、事故高发节点、出行需求集中区域制定差异化优化策略；可行性表现为优化措施需符合道路条件、技术标准，兼顾施工难度与管理成本。

##### （二）核心优化目标

提升路网通行效率是交通组织优化的核心目标。通过优化交通流运行路径，减少车辆绕行、怠速时间，提升路网整体通行能力；通过规范交通行为，减少随意变道、加塞、横穿等违规行为，降低交通冲突频率。数据显示，科学的交通组织优化可使路网通行效率提升 15%-30%，高峰时段平均车速提升 20% 以上。

降低交通运行风险是重要保障目标。通过优化道路通行空间布局，减少人车混行、机非冲突；通过设置合理的交通引导措施，规范车辆行驶轨迹，降低事故发生率。在事故高发路段，针对性的交通组织优化可使事故发生率降低 40%-50%，重特大事故发生率显著下降。

提升出行服务品质是延伸目标。通过优化公共交通通行环境，提升公共交通

吸引力；通过完善慢行交通系统，保障行人与非机动车出行权益；通过精准的交通引导，减少出行者路径迷茫，提升出行体验。同时，交通组织优化需兼顾生态环保要求，减少车辆尾气排放与噪音污染，推动绿色交通发展。

## 二、核心优化策略与技术方法

### （一）路网层面：结构优化与路径调控

路网结构优化需基于路网拓扑特征，完善路网连通性与可达性。针对路网瓶颈路段，通过拓宽道路、增设车道、打通断头路等措施，提升瓶颈区域通行能力；针对路网密度不足区域，规划建设支线道路、微循环道路，构建“主干路-次干路-支路”三级联动的路网体系。如城市核心区通过打通断头路，可使区域路网通行能力提升 10%-15%。

路径调控通过交通引导与限行措施，均衡路网交通流量。采用可变信息标志、导航软件推送等方式，实时发布路况信息，引导车辆避开拥堵路段；实施错峰出行、尾号限行、区域限行等调控措施，减少高峰时段核心区域交通流量；针对货运车辆、危险品运输车辆等特殊车辆，规划专用行驶路线与通行时段，避免与客运交通流叠加。

路网流量均衡需通过 OD（起讫点）调查分析出行需求分布，优化交通流路径分配。采用交通仿真技术模拟不同优化方案的实施效果，确定最优路径调控策略；在高速公路与城市快速路网络，通过入口匝道控制、主线流量调节等措施，避免路网局部区域流量过度集中，实现路网流量均衡分布。

### （二）路段层面：通行空间重构与交通流分离

通行空间重构通过重新划分车道功能、调整道路横断面布局，提升空间利用效率。设置潮汐车道，根据早晚高峰交通流方向变化，动态调整车道使用功能，如早高峰增加进城车道，晚高峰增加出城车道；设置可变导向车道，根据实时车流量调整车道导向功能，提升交叉口通行效率；在非机动车流量大的路段，设置专用非机动车道，采用物理隔离或标线隔离方式，实现机非分离。

交通流分离通过优化交通组织方式，减少不同类型交通流的冲突。在行人流量大的路段，设置行人过街天桥、地下通道或人行横道，采用信号控制保障行人过街安全；在公交流量大的路段，设置公交专用道，采用“公交优先”信号控制，提升公交运行效率；在学校、医院周边路段，设置减速带、注意避让标识，分离

机动车与慢行交通流。

路段交通组织优化需结合路段功能定位与交通流特征。城市主干道重点保障机动车通行效率，优化车道划分与交通引导；城市次干道兼顾机动车与慢行交通通行需求，完善慢行交通设施；乡村公路重点保障通行安全，设置必要的警示标识与防护设施。

### （三）交叉口层面：冲突优化与通行效率提升

交叉口冲突优化通过调整交叉口布局、优化交通流组织方式，减少冲突点数量。采用渠化设计，设置导流岛、导向车道、转弯待行区等设施，规范车辆行驶轨迹，减少车辆交叉冲突；在无信号交叉口，设置停车让行、减速让行标识，明确交通流通行权，减少冲突；在大型交叉口，采用环岛、立交桥、下穿隧道等立体交叉形式，实现人车、机非完全分离。

交叉口通行效率提升需优化信号控制与放行方式。采用相位优化、信号配时调整等措施，减少车辆排队等待时间；设置“绿波带”协调控制，实现主干道车辆连续通行，减少停车次数；在高峰时段，采用人工疏导与信号控制相结合的方式，提升交叉口通行效率。如城市主干道交叉口通过绿波带协调控制，可使车辆通行效率提升 20%-25%。

特殊交叉口（如畸形交叉口、大型平交路口）需采用个性化优化策略。畸形交叉口通过调整道路线形、增设导流设施，简化交叉口结构；大型平交路口通过划分交通小区、设置二次过街设施，分解交通流，减少冲突；在交叉口流量过大的区域，采用“禁左”“禁右”等限行措施，调整交通流方向，缓解交叉口拥堵。

### （四）技术方法：仿真模拟与大数据支撑

交通仿真技术是交通组织优化的核心支撑工具。采用 VISSIM、TransModeler 等仿真软件，构建路网仿真模型，模拟不同优化方案下的交通流运行状态，评估方案的通行效率、延误时间、冲突数量等指标，为优化方案制定提供数据支撑。仿真模型需基于真实交通流数据校准，确保模拟结果的准确性。

大数据技术为交通组织优化提供精准决策依据。通过交通检测器、视频监控、手机信令、导航软件等多源数据采集，获取交通流时空分布、出行需求特征、车辆行驶轨迹等数据；采用大数据分析技术挖掘交通流运行规律、拥堵成因、出行需求变化趋势，为路网优化、路径调控、信号配时调整等提供精准支撑。

智能决策平台整合仿真模拟与大数据分析功能，实现交通组织优化的智能化

决策。平台具备数据采集、分析、仿真、方案生成、效果评估等功能，可实时监测交通流运行状态，自动生成优化方案，并对方案实施效果进行动态跟踪与评估，提升交通组织优化的效率与科学性。

### 三、不同场景下的优化实践

#### （一）城市核心区：高密度出行需求下的效率提升

城市核心区人口密集、商业发达，出行需求集中，交通组织优化重点是提升路网通行效率、保障慢行交通权益。优化策略包括：完善路网微循环，打通断头路、拓宽瓶颈路段，提升区域路网连通性；实施区域限行措施，减少私家车进入核心区，鼓励公共交通出行；设置公交专用道、公交优先信号，提升公共交通运行效率；完善慢行交通系统，建设连续的人行道、非机动车道，设置行人过街设施，保障慢行交通出行安全。

具体实践包括：在核心区主要道路设置潮汐车道，动态调整车道功能，适应早晚高峰交通流方向变化；在商业综合体、地铁站周边设置临时停车泊位，规范停车秩序，减少车辆占道行驶；采用“绿波带”协调控制主干道交通信号，实现车辆连续通行；在交叉口设置导流岛、二次过街设施，减少人车冲突。实践效果显示，核心区通过综合优化，高峰时段平均车速可提升 25% 以上，拥堵时长缩短 30% 以上。

#### （二）高速公路：大流量快速通行下的安全管控

高速公路车速高、流量大，交通组织优化重点是保障通行安全、提升路网通行效率。优化策略包括：实施入口匝道控制，通过信号灯、可变限速标志等措施，调节进入高速公路的车辆流量，避免主线流量过度集中；设置主线可变限速标志，根据实时流量与天气条件，动态调整车速限制，提升通行安全；在服务区、收费站周边设置导流设施，规范车辆进出秩序，减少交通冲突；完善应急处置通道，确保突发事件时救援车辆快速通行。

具体实践包括：在高速公路易拥堵路段设置动态称重设施，限制重载车辆通行，减少路面损坏与拥堵；采用“区间测速”与“定点测速”相结合的方式，规范车辆行驶速度；在桥梁、隧道等特殊路段设置监控设备与警示标识，加强安全管控；建立高速公路交通流量监测与预警系统，实时发布路况信息，引导车辆绕行拥堵路段。实践效果显示，高速公路通过交通组织优化，事故发生率可降低

40% 以上，通行效率提升 15%-20%。

### （三）学校与医院周边：特殊群体出行下的安全保障

学校与医院周边行人流量大，尤其是学生、老年人等特殊群体，交通组织优化重点是保障出行安全、规范交通秩序。优化策略包括：设置学校区域、医院区域警告标志，提醒驾驶员减速慢行；实施限时停车、禁止停车措施，规范车辆停放秩序；设置减速带、震荡标线，强制车辆减速；完善行人过街设施，设置人行横道、过街天桥或地下通道，保障行人过街安全；在上下学、就医高峰时段，安排交通疏导人员，维护交通秩序。

具体实践包括：在学校门口设置“护学通道”，禁止机动车通行，保障学生安全过街；在医院周边设置临时上下客点，方便患者就医；采用智能交通信号控制，在高峰时段延长行人过街绿灯时间；在周边道路设置交通引导标识，引导车辆绕行，减少区域交通压力。实践效果显示，学校与医院周边通过优化，行人过街安全系数显著提升，车辆通行秩序明显改善。

### （四）大型活动现场：瞬时大流量下的有序疏导

大型活动（如体育赛事、演唱会、展会）现场瞬时交通流量大，交通组织优化重点是实现交通流快速集散、避免拥堵与踩踏事故。优化策略包括：制定专项交通组织方案，规划活动现场周边路网的交通流向、停车区域、疏散路线；实施临时交通管制，限制无关车辆进入活动核心区域；设置临时交通引导标识，引导车辆有序停放与疏散；协调公共交通企业增加运力，开通临时专线，保障观众出行。

具体实践包括：在活动现场周边设置临时停车场，安排接驳车辆接送观众；在主要入口设置交通疏导点，引导车辆有序进出；采用智能交通信号控制，优化活动现场周边交叉口信号配时，提升通行效率；建立交通应急处置机制，应对突发交通事件。实践效果显示，通过专项交通组织优化，大型活动现场交通流集散效率可提升 30% 以上，未发生拥堵与安全事故。

## 四、优化实施流程与效果评估

### （一）实施流程：调研－规划－试点－推广

前期调研阶段需全面收集路网数据、交通流数据、出行需求数据、事故数据等基础信息。通过现场勘察核实道路线形、交叉口布局、交通设施配置等路网条件；通过交通流量监测获取不同时段、不同路段的交通流参数；通过 OD 调查分

析出行需求分布与特征；通过事故数据分析识别拥堵路段与事故高发节点。调研数据需全面、准确，为优化方案制定提供基础支撑。

方案规划阶段需基于调研数据制定针对性的优化方案。明确优化目标、优化范围、核心措施、实施步骤、资源需求等内容；采用交通仿真技术模拟方案实施效果，对比不同方案的优劣，确定最优方案；组织专家对方案进行评审，审核方案的可行性、科学性、安全性，根据专家意见优化完善方案。

试点实施阶段需选择典型路段或区域开展试点。明确试点范围与试点期限，制定试点实施细则；组织施工队伍按方案开展交通设施改造、交通标识设置、信号配时调整等工作；在试点过程中实时监测交通流运行状态，收集试点数据，及时发现并解决实施方案实施过程中存在的问题；总结试点经验，优化完善方案。

全面推广阶段需在试点成功的基础上，逐步扩大优化范围。制定推广实施计划，明确各阶段工作任务与时间节点；组织开展人员培训，提升交通管理人员对优化方案的执行能力；加强宣传引导，通过媒体、社交平台等渠道向公众介绍优化措施与实施效果，争取公众理解与配合；在推广过程中持续跟踪评估方案实施效果，动态调整优化措施。

## （二）效果评估：指标体系与评估方法

效果评估需建立科学的指标体系，涵盖通行效率、安全性能、服务品质、环境影响等维度。通行效率指标包括平均车速、行程时间、拥堵时长、通行能力、排队长度等；安全性能指标包括事故发生率、事故伤亡率、冲突点数量等；服务品质指标包括公共交通分担率、慢行交通出行比例、公众满意度等；环境影响指标包括车辆尾气排放量、噪音分贝值等。

评估方法采用定量评估与定性评估相结合的方式。定量评估通过对比优化前后的指标数据，分析方案实施效果；如对比优化前后高峰时段平均车速、事故发生率等指标的变化情况。定性评估通过公众问卷调查、专家评审、现场调研等方式，了解公众对优化措施的满意度、专家对方案科学性的评价。

评估结果需形成详细的评估报告，明确方案实施的成效、存在的问题、改进建议等内容。根据评估结果调整优化方案，形成“调研-规划-实施-评估-优化”的闭环管理体系，持续提升交通组织优化的效果。

## 第二节 交通信号控制

### 一、核心内涵与技术演进

#### （一）核心内涵界定

交通信号控制是通过交通信号灯的相位切换，规范不同方向、不同类型交通流的通行权，实现交通流有序运行的交通管理手段。其核心功能是分配交叉口通行权、减少交通冲突、提升通行效率，本质是对交通流时间资源的合理分配。交通信号控制覆盖城市道路交叉口、人行横道、公交专用道等关键节点，是交通运营管理的核心技术支撑。

交通信号控制具有时效性、协调性、适应性、安全性特征。时效性体现为需根据交通流时空变化实时调整信号配时，适应交通流动态变化；协调性表现为需实现同一主干道、同一区域内多个交叉口的信号协同，避免交通流叠加拥堵；适应性体现为需根据不同交叉口类型、交通流组成、道路条件，匹配差异化的控制策略；安全性表现为需保障行人、非机动车与机动车的通行安全，减少冲突事故。

#### （二）技术演进阶段

交通信号控制技术经历了固定配时控制、感应式控制、自适应控制、智能协同控制四个发展阶段。固定配时控制是最基础的控制方式，信号配时固定不变，适用于交通流稳定的交叉口；其优点是控制简单、成本低，缺点是无法适应交通流动态变化，通行效率较低。

感应式控制通过检测器采集交通流数据，根据实时车流量调整信号配时；分为半感应控制与全感应控制，半感应控制适用于主次干道交叉口，优先保障主干道通行；全感应控制适用于交通流波动较大的交叉口。感应式控制提升了信号配时的适应性，但其控制范围局限于单个交叉口，缺乏协同性。

自适应控制基于大数据与人工智能技术，实时采集路网交通流数据，通过智能算法动态优化信号配时；可实现单个交叉口的精准控制，也可实现多个交叉口的协同控制。自适应控制提升了信号控制的智能化水平，能有效适应交通流动态变化，通行效率显著提升。

智能协同控制是当前最新发展阶段，融合 5G、物联网、车路协同等技术，实现“车-路-信号”深度交互；通过路侧单元与车载单元的信息交互，获取车

辆实时位置、速度等数据,预测交通流变化趋势,实现信号配时的精准优化与全域协同。智能协同控制为自动驾驶、智慧交通发展提供了核心支撑。

## 二、核心控制方式与技术原理

### (一) 基础控制方式: 固定配时与感应式控制

固定配时控制通过预设信号周期、相位、绿灯时间等参数,实现信号灯的周期性切换。信号周期是信号灯完成一次全相位切换的时间,根据交叉口交通流量确定,通常为 30s-120s;相位是指同一时间获得通行权的交通流组合,如东西方向直行、南北方向左转等;绿灯时间是各相位交通流的通行时间,根据各方向车流量比例分配。固定配时控制适用于交通流稳定、变化小的交叉口,如乡村公路交叉口、城市支路交叉口。

感应式控制通过车辆检测器、行人检测器采集实时交通流数据,动态调整绿灯时间。半感应控制在次要方向设置检测器,当次要方向有车辆到达时,调整绿灯时间给予通行权,优先保障主要方向交通流;适用于主次干道交叉口。全感应控制在所有进口道设置检测器,根据各方向车流量实时调整绿灯时间与相位顺序,适用于交通流波动大的交叉口,如城市商业区交叉口。感应式控制的核心技术是检测器数据采集与信号配时动态调整算法,确保配时调整的及时性与合理性。<sup>①</sup>

### (二) 进阶控制方式: 自适应控制与协同控制

自适应控制基于实时交通流数据与智能算法,实现信号配时的动态优化。其技术原理是通过多源检测器(线圈检测器、视频检测器、雷达检测器)采集交通流数据,传输至控制平台;平台采用机器学习、深度学习等算法分析交通流运行状态,预测交通流变化趋势;根据预测结果动态调整信号周期、相位、绿灯时间等参数,实现单个交叉口的精准控制。自适应控制的核心是算法模型,需基于大量历史交通流数据训练,确保预测精度与优化效果。

协同控制通过整合多个交叉口的交通流数据,实现信号配时的协同优化。分为线控、面控两种类型,线控适用于主干道,通过优化主干道上多个交叉口的信号配时,实现“绿波带”控制,让车辆在主干道上连续通行,减少停车次数;面控适用于城市区域,通过整合区域内所有交叉口的交通流数据,实现区域交通流

---

① 周志林,张健,蒋利国,等. 交通信号控制与高清电子警察系统安装技术 [J]. 安装, 2025, (11): 58-60.

的全局优化，提升区域路网通行效率。协同控制的核心技术是数据共享与协同优化算法，确保各交叉口信号配时的协调性。

### （三）特殊控制方式：公交优先与慢行交通优先控制

公交优先控制通过调整信号配时，保障公交车辆优先通行，提升公共交通运行效率。核心技术包括公交检测、信号优先触发、配时调整三个环节；通过在公交专用道设置检测器，检测公交车辆到达情况；当公交车辆到达交叉口时，触发信号优先机制，通过延长绿灯时间、缩短红灯时间、插入专用相位等方式，让公交车辆快速通行。公交优先控制分为被动优先与主动优先，被动优先是预设公交专用相位，主动优先是根据公交车辆实时到达情况动态调整配时。

慢行交通优先控制通过优化信号配时，保障行人与非机动车通行安全与权益。核心措施包括设置行人专用相位、延长行人过街绿灯时间、设置非机动车专用相位等；在行人流量大的交叉口，设置行人全向过街相位，让行人在同一时间从各个方向过街；在非机动车流量大的交叉口，设置非机动车专用相位，避免非机动车与机动车冲突。慢行交通优先控制的核心是平衡慢行交通与机动车的通行权，提升慢行交通出行体验。

## 三、核心控制参数与优化方法

### （一）核心控制参数

交通信号控制核心参数包括信号周期、相位、绿灯时间、黄灯时间、红灯间隔时间。信号周期是信号灯完成一次全相位切换的总时间，需根据交叉口交通流量确定，流量越大周期越长，反之则越短；周期过长会导致车辆排队等待时间增加，周期过短会导致交通流频繁切换，增加冲突风险。

相位是交通信号控制的基本单元，需根据交叉口交通流方向与组成确定。常见相位包括东西方向直行、东西方向左转、南北方向直行、南北方向左转、行人过街相位等；相位设置需减少交通冲突，避免不同方向交通流同时通行。相位顺序需根据交通流运行效率确定，通常将流量大的相位放在前面，减少车辆排队等待时间。

绿灯时间是各相位交通流的通行时间，需根据各方向车流量比例分配。绿灯时间不足会导致车辆排队积压，绿灯时间过长会造成资源浪费；需通过交通流量监测，确定各方向最小绿灯时间与最大绿灯时间，确保交通流有序通行。黄灯时

间是绿灯向红灯转换的过渡时间,用于提醒驾驶员停车,通常为 3s-5s;红灯间隔时间是相邻相位红灯之间的间隔时间,用于避免不同方向交通流同时进入交叉口,通常为 1s-2s。

## (二) 参数优化方法

参数优化方法包括传统优化方法与智能优化方法。传统优化方法基于交通流理论,通过计算饱和流量、通行能力、延误时间等指标,确定最优信号参数。如韦伯斯特配时法,通过建立延误时间模型,求解最小延误对应的信号周期与绿灯时间;该方法适用于固定配时控制与感应式控制,计算简单、实用性强,但精度较低。

智能优化方法基于大数据与人工智能技术,通过机器学习、遗传算法、粒子群算法等智能算法,优化信号参数。其核心是构建优化目标函数,以延误时间最小、通行能力最大、冲突数量最少等为优化目标,通过算法迭代求解最优信号参数。智能优化方法适用于自适应控制与协同控制,优化精度高、适应性强,能有效应对复杂交通流场景。

参数优化需结合交通仿真技术,通过仿真软件模拟不同参数组合下的交通流运行状态,评估参数优化效果。仿真模型需基于真实交通流数据校准,确保模拟结果的准确性;通过对比不同参数组合的延误时间、排队长度、通行效率等指标,确定最优参数组合。

# 四、智能交通信号控制系统架构与功能

## (一) 系统架构:多层次协同体系

智能交通信号控制系统采用“感知层-网络层-平台层-应用层”四层架构。感知层由车辆检测器、视频监控设备、行人检测器、气象检测器等组成,负责采集交通流数据、环境数据;网络层由光纤、5G、WiFi 等通信网络组成,负责数据传输与交互;平台层由数据存储平台、数据分析平台、智能决策平台组成,负责数据存储、处理与决策;应用层由信号控制应用、交通监测应用、应急处置应用等组成,负责将平台输出的决策结果转化为具体的控制措施。

感知层实现数据的全面采集,网络层保障数据的实时传输,平台层实现数据的智能分析与决策,应用层实现信号控制的精准执行。各层级之间通过标准化接口进行数据交互,确保系统的兼容性与扩展性。同时,系统架构需具备安全性,

通过数据加密、访问控制、安全审计等措施，保障数据安全与系统稳定运行。

## （二）核心功能模块

数据采集与处理模块负责采集多源交通流数据，包括车流量、车速、排队长度、行人流量等；对采集的数据进行清洗、过滤、整合，去除冗余数据与异常数据，生成标准化数据；将处理后的数据存储至数据平台，为后续分析与决策提供支撑。数据采集频率不低于1次/秒，确保数据的实时性。

智能决策模块是系统的核心模块，采用智能算法分析交通流数据，预测交通流变化趋势，生成最优信号配时方案。该模块具备单点优化与协同优化功能，单点优化针对单个交叉口生成个性化配时方案，协同优化针对多个交叉口生成协同配时方案；同时具备自适应调整功能，根据实时交通流变化动态更新配时方案。

信号控制执行模块负责将智能决策模块生成的配时方案下发至交通信号灯，控制信号灯的相位切换与时间调整。该模块具备实时监控功能，监测信号灯运行状态，确保配时方案准确执行；当信号灯出现故障时，自动报警并切换至备用配时方案。

交通监测与预警模块负责实时监测路网交通流运行状态，分析拥堵成因，生成拥堵预警信息；通过可变信息标志、导航软件等渠道向交通管理人员与出行者发布预警信息，引导交通流合理分布。同时，该模块具备事故检测功能，通过视频监控与图像识别技术，自动识别交叉口事故，触发应急信号配时方案，保障救援车辆快速通行。

统计分析与评估模块负责统计交通流运行数据、信号控制参数、通行效率指标等，生成统计报表；评估信号控制方案的实施效果，分析优化空间；为交通管理决策提供数据支撑。该模块具备数据可视化功能，通过图表形式直观展示交通流运行状态与控制效果。

## 五、实施应用与效果提升

### （一）实施流程：规划－建设－调试－运维

规划阶段需根据路网规划与交通流特征，制定智能交通信号控制系统建设方案。明确系统建设范围、控制目标、功能需求、技术标准等内容；开展现场勘察，核实交叉口数量、类型、交通设施配置等基础信息；制定信号控制策略，确定不同交叉口的控制方式与优化方向。

建设阶段需完成设备采购、施工安装、系统集成等工作。设备采购需选用符合技术标准、性能稳定的检测器、信号灯、控制器等设备；施工安装需严格按设计图纸进行，确保设备安装精准、牢固；系统集成需将感知设备、控制设备、平台系统进行对接，实现数据共享与协同工作。

调试阶段需对系统进行全面测试与优化。对检测器数据采集精度、信号控制响应速度、配时方案优化效果等进行测试；通过交通仿真与现场测试，调整系统参数与配时方案，确保系统运行稳定、优化效果达标；组织技术人员与交通管理人员进行培训，提升系统操作与管理能力。

运维阶段需建立完善的运维管理机制，保障系统长期稳定运行。定期对设备进行巡检与维护，及时更换老化、损坏的设备；实时监测系统运行状态，处理系统故障与异常数据；根据交通流变化与道路改造情况，动态调整信号控制策略与配时方案；定期对系统运行效果进行评估，持续优化完善系统功能。

## （二）应用效果评估

应用效果评估需基于通行效率、安全性能、管理效率等指标开展。通行效率指标包括交叉口平均延误时间、排队长度、通行能力、车辆停车次数等；通过对比系统实施前后的指标数据，评估系统对通行效率的提升效果。如智能交通信号控制系统实施后，交叉口平均延误时间可减少 30%-40%，通行能力提升 15%-25%。

安全性能指标包括交叉口事故发生率、冲突点数量、行人过街安全系数等；系统实施后，通过规范交通流运行秩序，减少交通冲突，事故发生率可降低 30%-50%。管理效率指标包括交通管理人员工作量、故障处理时间、应急响应速度等；系统实施后，通过智能化管理，交通管理人员工作量可减少 20%-30%，故障处理时间缩短 50% 以上。

同时，需通过公众满意度调查评估系统对出行体验的提升效果。调查内容包括出行时间满意度、通行秩序满意度、过街安全满意度等；系统实施后，公众出行满意度可提升 25% 以上，对交通管理工作的认可度显著提高。

## 第三节 公共交通管理

### 一、核心内涵与发展定位

#### （一）核心内涵界定

公共交通管理是围绕公共交通系统（包括公交、地铁、轻轨、轮渡等）的规划、运营、服务、监管等全流程开展的管理活动。其核心功能是统筹公共交通资源、优化运营组织、提升服务品质、保障运行安全，本质是通过高效的管理手段，实现公共交通系统的可持续发展，提升公共交通吸引力，引导公众选择绿色出行方式。

公共交通管理具有公益性、系统性、服务性、动态性特征。公益性体现为公共交通是城市基础设施的重要组成部分，需保障公众基本出行权益，兼顾社会效益与经济效益；系统性表现为需统筹公共交通线路、站点、车辆、人员等资源，实现各环节协同运行；服务性体现为需以公众出行需求为导向，提升服务品质，满足不同群体的出行需求；动态性表现为需根据城市发展、交通流变化、出行需求调整，实时优化运营组织方案。

#### （二）发展定位

公共交通是城市交通的主体，发展定位是构建“以公共交通为主体、慢行交通为补充、机动车为辅助”的综合交通体系。通过提升公共交通服务品质与运行效率，吸引更多公众选择公共交通出行，降低私家车依赖，缓解城市交通拥堵，减少环境污染。国家明确提出“公交优先”发展战略，将公共交通发展纳入城市总体规划，推动公共交通与城市发展协同推进。

公共交通管理的发展目标包括：提升公共交通分担率，大城市公共交通分担率达到40%以上；提升运营效率，缩短公交出行时间，减少乘客候车时间；提升服务品质，改善车厢环境，提供精准的出行信息服务；保障运行安全，降低事故发生率，提升应急处置能力；推动绿色发展，推广新能源公交车辆，减少能源消耗与尾气排放。

### 二、核心管理内容与实施策略

#### （一）线路与站点管理：网络优化与布局调整

线路网络优化需基于城市空间布局、出行需求分布，构建覆盖广泛、衔接顺

畅的公共交通网络。优化策略包括：新增线路覆盖出行需求集中区域，如新建居民区、商业区、产业园区；调整现有线路走向，减少线路重叠，提升网络覆盖效率；开通微循环线路，衔接主干道与社区，解决“最后一公里”出行问题；优化跨区域线路，加强城市组团之间的公共交通联系。

站点布局调整需兼顾便利性与安全性，优化站点位置与间距。站点位置需设置在行人流量大、过街方便的区域，避免设置在交叉口进口道前端，减少对机动车通行的影响；站点间距需根据道路等级与出行需求确定，城市主干道站点间距为 500m-800m，次干道与支路站点间距为 300m-500m；在交通流量大的站点，设置港湾式停靠站，避免公交车辆占道行驶，提升通行效率。

站点设施优化需完善候车环境与服务设施。在站点设置候车亭、座椅、遮阳避雨设施，改善候车条件；设置清晰的线路标识、站点信息牌，方便乘客识别；在大型换乘站点设置换乘引导标识，优化换乘通道，缩短换乘时间；推广智能公交站台，提供实时到站信息、公交线路查询、充电等服务，提升服务品质。

## （二）运营组织管理：效率提升与资源优化

运营调度优化是提升公共交通运营效率的核心手段。根据客流时空变化，制定差异化的调度方案，高峰时段增加运力，缩短发车间隔；平峰时段减少运力，降低运营成本；采用智能调度系统，实时监测车辆运行状态与客流情况，动态调整发车间隔与行车路线；推广“高峰快线”“区间车”等运营模式，提升重点线路与重点区域的运力供给。

车辆资源管理需优化车辆配置与维护。根据线路客流需求，合理配置车辆类型与数量，大客流线路配置大容量公交车辆，小客流线路配置小型公交车辆；推广新能源公交车辆，如纯电动、混合动力公交，减少能源消耗与尾气排放；建立完善的车辆维护机制，定期对车辆进行检修与保养，确保车辆运行安全与性能稳定。

驾驶员管理需提升驾驶技能与服务水平。加强驾驶员培训，提升驾驶技能、安全意识与服务意识；建立驾驶员绩效考核体系，将运营效率、服务质量、安全行驶等纳入考核，激励驾驶员提升服务水平；保障驾驶员合法权益，合理安排工作时间，减少疲劳驾驶，提升驾驶安全性。

## （三）服务品质管理：需求导向与体验提升

出行信息服务需精准、及时，方便乘客规划出行。通过智能公交系统、手机

APP、微信公众号、站台信息屏等渠道，向乘客提供实时到站信息、线路调整通知、票价信息、换乘指引等服务；推广“一键查询”“智能规划”功能，为乘客提供个性化的出行方案；在大型换乘站点、枢纽站设置服务窗口与咨询人员，为乘客提供现场引导与咨询服务。

车厢服务优化需改善乘车环境，提升乘客体验。保持车厢整洁卫生，定期进行消毒；配备空调、通风设备，保障车厢温度适宜；设置爱心专座、无障碍设施，方便老年人、残疾人、孕妇等特殊群体乘车；推广文明乘车引导，营造良好的乘车氛围。

票价管理需兼顾公益性与经济性，制定合理的票价体系。采用阶梯票价、优惠票价等方式，吸引公众选择公共交通出行；对老年人、残疾人、学生等特殊群体实行票价减免政策；推广一卡通、手机支付等便捷支付方式，提升购票与乘车便利性。

#### （四）安全管理：风险防控与应急处置

安全风险防控需建立全流程的安全管理体系。加强车辆安全检查，定期对车辆制动系统、转向系统、消防设施等进行检修，确保车辆安全性能；加强驾驶员安全培训，提升安全驾驶意识，杜绝超速、超载、疲劳驾驶等违规行为；加强站点与车厢安全管理，配备安防设备，加强巡逻防控，防止突发事件发生。

应急处置需建立快速响应机制，应对突发安全事件。制定突发事件应急预案，包括交通事故、车辆故障、恶劣天气、公共卫生事件等；建立应急救援队伍，配备专业的救援设备与人员，确保突发事件发生时能快速响应、有效处置；加强与公安、消防、医疗等部门的协同联动，提升应急救援能力。

安全宣传教育需提升乘客与驾驶员的安全意识。通过车厢广播、站台标识、媒体宣传等渠道，向乘客普及安全乘车知识、应急避险技能；定期组织驾驶员开展应急演练，提升应急处置能力；建立安全隐患排查机制，及时发现并消除安全隐患，保障公共交通运行安全。

### 三、智能公共交通管理体系建设

#### （一）核心技术支撑

智能公共交通管理体系以大数据、物联网、人工智能、5G 等技术为核心支撑。大数据技术通过分析客流数据、车辆运行数据、路况数据，挖掘出行需求规律，

为线路优化、运营调度提供数据支撑；物联网技术实现车辆、站点、乘客的全面感知与互联，实时采集车辆运行状态、客流情况、站点环境等数据；人工智能技术实现运营调度的智能决策、客流预测、安全风险识别等功能；5G 技术提供高速、低延迟的数据传输服务，保障实时调度与信息交互。

关键技术应用包括智能调度系统、实时监控系统、客流分析系统、电子支付系统等。智能调度系统通过实时采集车辆与客流数据，动态调整发车间隔与行车路线，提升运营效率；实时监控系统通过 GPS 定位、视频监控等技术，实时监测车辆运行状态、驾驶员行为、车厢环境，保障运行安全；客流分析系统通过分析客流时空分布，预测客流变化趋势，为运力配置提供依据；电子支付系统实现便捷的购票与乘车支付，提升服务便利性。<sup>①</sup>

## （二）体系架构与功能模块

智能公共交通管理体系采用“感知层 - 网络层 - 平台层 - 应用层”四层架构。感知层由车载终端、站点传感器、视频监控设备、客流检测器等组成，负责采集车辆、站点、客流等数据；网络层由 5G、光纤、WiFi 等通信网络组成，负责数据传输与交互；平台层由数据存储平台、数据分析平台、智能决策平台组成，负责数据存储、处理与决策；应用层由运营调度应用、服务管理应用、安全管理应用、统计分析应用等组成，负责将平台输出的决策结果转化为具体的管理措施与服务内容。

核心功能模块包括智能调度模块、实时监控模块、客流分析模块、信息服务模块、安全管理模块、统计评估模块。智能调度模块实现运营调度的智能化决策与动态调整；实时监控模块实现车辆运行状态、驾驶员行为、车厢环境的实时监测；客流分析模块实现客流数据的分析与预测；信息服务模块为乘客提供精准的出行信息服务；安全管理模块实现安全风险识别、应急处置、安全隐患排查；统计评估模块实现运营数据的统计分析与服务质量评估。

## （三）建设实施要点

建设实施需统筹规划，分步推进。前期开展需求调研与技术论证，明确体系建设目标、功能需求、技术标准；制定详细的建设方案，明确各阶段工作任务与时间节点；优先建设基础感知设施与核心平台系统，实现数据采集与智能决策功

---

<sup>①</sup> 何必元,王良善,罗智波,等.数字化城市公共交通综合管理系统应用[J].人民公交,2025,(22): 41-43.

能；逐步拓展应用功能，完善服务与管理体系。

数据资源整合是体系建设的关键。整合公共交通企业、交通管理部门、气象部门、公安部门等多源数据，建立统一的数据共享平台，实现数据资源的互联互通；制定数据标准与规范，确保数据的准确性、完整性、一致性；加强数据安全的管理，采用加密技术、访问控制等措施，保障数据安全与隐私。

技术与管理融合需提升体系应用效果。加强技术人员与管理人员的培训，提升对智能系统的操作与管理能力；建立健全管理制度，规范智能系统的运行、维护与应用；通过智能化技术提升管理效率，同时通过精细化管理保障技术应用效果，实现技术与管理的深度融合。

## 四、发展趋势与未来展望

### （一）智能化水平持续提升

未来公共交通管理将向全流程智能化方向发展。通过人工智能、大数据等技术的深度应用，实现线路规划、运营调度、服务供给、安全管理的全流程智能化决策；推广自动驾驶公交、智能站台、智能换乘系统等新型设施，提升公共交通的智能化水平；实现“车-路-人-云”的深度交互，为乘客提供更加精准、便捷的出行服务。

### （二）绿色低碳化发展

绿色低碳化将成为公共交通管理的重要发展方向。全面推广新能源公交车辆，建设完善的充电设施网络；优化运营组织方案，减少车辆空驶与怠速时间，降低能源消耗；推动公共交通与慢行交通的深度融合，建设连续的公交专用道、自行车道，引导公众选择绿色出行方式；加强车辆尾气排放治理，提升公共交通的环境友好性。

### （三）服务个性化与多元化

随着出行需求的多样化，公共交通服务将向个性化、多元化方向发展。推出定制公交、夜间公交、旅游专线等特色服务，满足不同群体的出行需求；提供个性化的出行信息服务，根据乘客出行习惯与偏好，推送精准的线路推荐、到站提醒等服务；加强对特殊群体的服务保障，完善无障碍设施，提供适老化服务，提升公共交通的包容性。

#### （四）多模式协同发展

未来将推动公共交通与其他交通方式的协同发展,构建一体化综合交通体系。加强公交与地铁、轻轨、轮渡等公共交通方式的衔接,优化换乘设施,缩短换乘时间;推动公共交通与私家车、共享单车、共享汽车等交通方式的协同,实现“公共交通+慢行交通”“公共交通+共享交通”的组合出行模式;加强城市与城际公共交通的衔接,提升区域交通一体化水平。

#### （五）治理现代化转型

公共交通管理将向治理现代化转型,构建“政府引导、企业主导、社会参与、公众监督”的治理体系。政府加强政策引导与监管,保障公共交通的公益性与可持续发展;企业提升运营管理水平与服务品质,增强公共交通的吸引力;鼓励社会资本参与公共交通建设与运营,丰富投资渠道;建立公众监督机制,通过公众评价、意见反馈等方式,提升公共交通管理的透明度与公信力。

### 第四节 停车设施管理

#### 一、核心内涵与管理价值

##### （一）核心内涵界定

停车设施管理是围绕城市停车设施规划、建设、运营、监管全生命周期开展的系统性管理活动。其核心对象涵盖路内停车泊位、公共停车场、专用停车场、立体停车库等各类停车载体,核心任务是通过资源优化配置、运营效率提升、监管机制完善,实现停车供需平衡,规范停车秩序,衔接动态交通与静态交通协同运行。

停车设施管理具有公益性与经营性双重属性。公益性体现为需保障公众基本停车需求,尤其是医院、学校、老旧小区等重点区域的停车权益;经营性体现为通过市场化运营模式,提升停车设施使用效率与经济效益。管理过程需兼顾规划前瞻性、建设科学性、运营高效性、监管规范性,构建“规划-建设-运营-监管”闭环管理体系。

##### （二）核心管理价值

缓解交通拥堵是停车设施管理的直接价值。无序停车、占道停车是加剧交通

拥堵的重要诱因，通过规范停车秩序、提升停车设施供给能力，可减少车辆占道行驶与排队找位时间，提升路网通行效率。数据显示，重点区域停车秩序规范后，周边道路通行效率可提升 15%-20%。

优化城市空间利用是重要价值体现。通过科学规划停车设施布局，充分利用地下空间、闲置地块、屋顶空间等建设停车设施，可提高土地利用效率，避免优质地面空间被低效停车占用。立体停车库、地下停车场等集约化停车设施的建设，可使单位面积停车数量提升 3-5 倍。

提升城市治理水平是延伸价值。规范的停车管理可改善城市市容环境，提升城市形象；通过智能化停车管理手段，为公众提供便捷停车服务，提升出行体验；兼顾不同群体停车需求，保障弱势群体停车权益，体现城市治理的包容性与精细化。

推动绿色交通发展是长远价值。通过停车收费杠杆调节、优化停车资源配置，引导公众减少私家车依赖，选择公共交通、慢行交通等绿色出行方式，降低机动车尾气排放与能源消耗，助力“双碳”目标实现。

## 二、核心管理内容与实施策略

### （一）规划管理：供需匹配与空间布局优化

停车需求调研与预测是规划基础。通过交通流量监测、停车行为调查、OD 出行分析等手段，精准掌握不同区域、不同时段的需求特征，包括停车需求量、停车时长、车型结构等指标；结合城市发展规划、人口增长趋势、路网建设规划，预测未来 5-10 年停车需求变化趋势，为停车设施规划提供数据支撑。

停车设施布局优化需遵循“分区施策、供需平衡”原则。城市核心区重点提升停车设施利用效率，推广集约化停车模式，控制路内停车泊位数量；城市新区同步规划建设停车设施，保障停车供给与开发强度匹配；医院、学校、商业综合体等重点区域，按标准配建停车设施，预留临时停车空间；老旧小区周边利用闲置地块、道路红线外空间规划建设临时停车场，缓解停车难问题。

停车设施规划标准制定需兼顾刚性与弹性。明确不同区域、不同类型建设项目的停车配建标准，如住宅项目按户数配建，商业项目按建筑面积配建，医院项目按床位与就诊量配建；针对老旧城区等特殊区域，制定弹性配建标准，允许通过异地建设、共享停车等方式补足停车缺口；将停车设施规划纳入城市总体规划、

控制性详细规划，确保规划落地实施。

停车与交通系统协同规划是关键要求。停车设施规划需与公共交通规划紧密衔接，在公交枢纽、地铁站周边规划建设驻车换乘（P+R）停车场，引导公众“停车+公交”出行；与道路路网规划协同，避免停车设施出入口设置影响主干道通行效率；与慢行交通规划衔接，完善停车设施与步行道、自行车道的衔接设施，提升出行便利性。

## （二）建设管理：类型优化与建设质量管控

停车设施类型多元化布局。根据不同区域需求特征，合理选择停车设施类型：城市核心区推广立体停车库、地下停车场等集约化类型；老旧小区周边建设地面临时停车场、机械式停车设施；郊区及公路沿线建设大型地面公共停车场；医院、学校等区域建设专用停车场，配套临时上下客区。

建设模式创新与资源整合。采用“政府主导、社会参与、市场运作”的建设模式，鼓励社会资本参与停车设施建设与运营；推广PPP模式、特许经营模式，减轻政府财政压力；整合闲置资源，利用废弃工厂、闲置空地、屋顶平台等改造建设停车设施；推动停车设施与商业、办公、住宅等项目一体化建设，实现资源共享。

建设质量与技术标准管控。制定停车设施建设技术规范，明确场地尺寸、通行宽度、坡度、照明、通风、消防、无障碍设施等技术要求；加强施工过程监管，确保停车设施建设符合安全标准与设计要求；推广智能化建设技术，在新建停车设施中同步安装车牌识别、智能引导、电子缴费等设备，提升智能化水平。

存量停车设施升级改造。对现有老旧停车场进行升级改造，完善照明、监控、消防等设施，提升安全性能；对路内停车泊位进行标准化改造，设置清晰的停车标线、标识，规范停车秩序；推动传统停车场智能化升级，加装智能引导系统、电子缴费设备，提升运营效率。

## （三）运营管理：效率提升与服务优化

停车资源高效利用策略。推行停车共享模式，鼓励机关事业单位、企业的专用停车场在非工作时段向社会开放，实现“错时共享”；在商业综合体、写字楼等区域，推广“潮汐共享”停车，平衡高峰时段停车需求；通过智能停车系统，实现停车资源信息共享，引导车辆快速找到空余泊位，减少找位时间。

运营服务标准化建设。制定停车运营服务规范，明确服务流程、服务标准、

人员资质等要求；加强停车从业人员培训，提升服务意识与操作技能；完善停车设施服务设施，配备休息区、卫生间、充电设施等，提升停车体验；建立服务质量评价机制，通过公众反馈、第三方评估等方式，持续优化服务质量。

智能化运营管理手段应用。建设城市级智能停车管理平台，整合各类停车设施信息，实现停车信息实时发布、泊位预约、电子缴费、路径导航等功能；在停车场内安装智能引导系统，通过指示灯、显示屏等引导车辆快速找到空余泊位；推广无感支付、移动支付等便捷缴费方式，减少车辆停留时间；利用大数据分析停车行为，优化运营策略与定价机制。

停车收费机制优化。实行差异化收费政策，根据不同区域、不同时段、不同车型制定差异化收费标准，核心区、高峰时段提高收费标准，引导车辆快速周转；推行阶梯式收费模式，对长时间停车实行加价收费，鼓励短时停车；对新能源汽车实行停车优惠政策，引导绿色出行；建立收费公示制度，确保收费透明公正。

#### （四）监管管理：秩序规范与责任落实

停车秩序执法监管。加强路内停车秩序管理，严厉查处占道停车、乱停乱放、不按规定停放等违法行为；在重点区域设置违停抓拍设备，实现非现场执法，提升执法效率；定期开展停车秩序专项整治行动，规范停车行为；建立多部门联合执法机制，整合公安、交通、城管等部门执法力量，形成监管合力。

运营行为监管与规范。加强对停车设施运营单位的监管，规范收费行为，严厉查处乱收费、强制收费等违法行为；监管停车设施运营状态，确保停车设施正常运行，保障车主合法权益；建立运营单位信用评价体系，将信用评价结果与评优评先、特许经营资格等挂钩，引导运营单位规范运营。

安全监管与应急处置。加强停车设施安全监管，定期对停车设施的结构安全、消防设施、电气设备等进行检查，及时消除安全隐患；制定停车设施突发事件应急预案，应对火灾、坍塌、设备故障等突发事件；加强应急演练，提升应急处置能力，保障人员与车辆安全。

公众监督与反馈机制建设。建立公众监督平台，通过热线电话、手机 APP、微信公众号等渠道，接受公众投诉与建议；及时处理公众反馈问题，公开处理结果；定期开展公众满意度调查，了解公众对停车管理的意见与需求，持续优化管理措施。

### 三、不同场景下的停车管理实践

#### （一）城市核心区：高密度需求下的效率提升

城市核心区商业发达、人口密集，停车需求大、土地资源紧张，管理重点是提升停车效率、规范停车秩序。实践策略包括：严格控制路内停车泊位数量，推广立体停车库、地下停车场等集约化停车设施；实行高费率差异化收费，加快车辆周转；建设智能停车管理平台，实现停车信息实时共享与电子缴费；加强违停执法，规范停车秩序；鼓励公共交通出行，减少私家车进入核心区。

具体实践案例：某城市核心区通过拆除低效地面停车场，建设立体停车库，新增停车泊位 300 余个，单位面积停车数量提升 4 倍；推行“智能引导+无感支付”模式，车辆平均找位时间从 20 分钟缩短至 5 分钟，停车缴费时间从 3 分钟缩短至 10 秒；核心区高峰时段停车费率提高至每小时 10 元，车辆平均停留时间从 2 小时缩短至 40 分钟，停车周转效率显著提升。

#### （二）老旧小区：存量不足下的供需缓解

老旧小区建设年代久远，停车设施配套不足，停车难问题突出，管理重点是挖掘存量资源、新增停车供给。实践策略包括：利用小区内部闲置空地、道路红线内空间改造建设小型停车场；协调周边机关事业单位、企业开放共享停车场，实行错时共享；推广机械式停车设施，利用小区空地建设小型立体停车库；规范小区内部停车秩序，划设标准停车泊位，禁止占道停车；优化小区周边道路停车管理，设置临时停车泊位。

具体实践案例：某老旧小区通过整合内部闲置绿地周边空间，改造建设地面停车场，新增停车泊位 80 余个；协调周边写字楼停车场在夜间向小区居民开放，提供 200 余个共享泊位；在小区入口处建设小型机械式停车库，新增停车泊位 50 余个；通过系列措施，小区停车难问题得到有效缓解，居民满意度提升 60% 以上。

#### （三）医院与学校周边：潮汐需求下的秩序管控

医院与学校周边停车需求具有显著潮汐特征，上下学、就医高峰时段需求集中，管理重点是保障应急通道畅通、规范临时停车秩序。实践策略包括：在周边道路设置临时停车泊位，明确停放时段与时长；建设临时上下客区，方便学生、患者快速上下车；实行单向通行、禁停等交通管制措施，规范交通流向；加强高

峰时段交通疏导，引导车辆快速停放与驶离；推广“即停即走”模式，减少车辆停留时间。

具体实践案例：某医院周边通过设置临时停车泊位 50 余个，明确就医高峰时段（7:00-11:00）可临时停放，时长不超过 30 分钟；在医院入口处建设专用上下客区，配备交通疏导人员；周边道路实行单向通行，禁止车辆占道停放；通过系列措施，医院周边道路拥堵时长缩短 40%，应急通道通行效率提升 50%。

#### （四）交通枢纽：大流量需求下的衔接优化

火车站、高铁站、机场等交通枢纽停车需求大、车辆周转快，管理重点是实现停车与公共交通的高效衔接。实践策略包括：建设大型驻车换乘（P+R）停车场，引导公众“停车+公交”出行；优化停车设施出入口布局，避免与主干道交通冲突；推广智能化停车管理系统，实现快速找位、快速缴费；设置清晰的停车引导标识与换乘引导标识，提升衔接便利性；加强与公共交通运营单位协同，优化班次与换乘衔接。

具体实践案例：某高铁站周边建设 P+R 停车场，提供停车泊位 1000 余个，实行优惠停车费率；停车场与高铁站之间建设专用换乘通道，配备自动扶梯与无障碍设施；通过智能停车系统，实现停车信息实时发布与电子缴费；与地铁、公交运营单位协同，优化班次安排，实现停车与公共交通无缝衔接，日均换乘量达 5000 余人次。

### 四、智能停车管理体系建设

#### （一）体系架构：多层级智能协同

智能停车管理体系采用“感知层-网络层-平台层-应用层”四层架构。感知层由车牌识别设备、车位检测器、视频监控设备、环境传感器等组成，负责采集停车泊位状态、车辆信息、环境信息等数据；网络层由 5G、光纤、WiFi 等通信网络组成，负责数据传输与交互；平台层由数据存储平台、数据分析平台、智能决策平台组成，负责数据存储、处理与决策；应用层由城市级停车管理应用、停车场运营管理应用、公众服务应用等组成，负责实现管理与服务功能。

各层级协同运作，实现停车管理全流程智能化。感知层实现停车数据全面采集，网络层保障数据实时传输，平台层实现数据智能分析与决策，应用层为管理部门、运营单位、公众提供个性化服务。体系架构需具备兼容性与扩展性，支持

不同类型停车设施接入与功能拓展。

## （二）核心功能模块

**数据采集与整合模块。**通过多源感知设备采集各类停车数据，包括泊位状态、车辆进出记录、收费数据、设备运行状态等；对采集的数据进行清洗、过滤、整合，去除冗余数据与异常数据，生成标准化数据；整合交通、公安、城管、气象等多部门数据，为停车管理决策提供支撑。

**智能决策与调度模块。**采用大数据、人工智能等技术分析停车数据，挖掘停车需求规律、泊位使用效率、拥堵成因等；预测不同时段、不同区域停车需求变化趋势，为停车设施规划、运营调度、收费调整提供决策依据；实现停车资源智能调度，引导车辆快速找到空余泊位，提升资源利用效率。

**公众服务模块。**通过手机 APP、微信公众号、小程序、导航软件等渠道，为公众提供停车信息查询、泊位预约、路径导航、电子缴费、投诉建议等服务；推送停车预警信息，引导公众避开拥堵区域；提供个性化停车方案推荐，提升出行便利性。

**运营管理模块。**为停车设施运营单位提供泊位管理、收费管理、设备管理、人员管理等功能；实时监控停车场运营状态，及时发现并处理设备故障、收费异常等问题；生成运营统计报表，为运营优化提供数据支撑。

**监管执法模块。**为管理部门提供停车秩序监管、运营行为监管、安全监管等功能；通过视频监控与智能识别技术，自动发现违停行为，实现非现场执法；实时监测停车设施安全状态，发出安全预警；建立运营单位信用评价体系，实现信用监管。

## （三）建设实施要点

**标准规范制定是前提。**制定智能停车数据标准、技术标准、接口标准，确保不同类型停车设施、不同系统之间的数据互通与兼容；制定智能停车管理服务规范，明确服务流程与质量要求。

**试点先行与分步推广。**选择核心区、交通枢纽等重点区域开展智能停车试点建设，总结试点经验，优化建设方案；在试点成功的基础上，逐步扩大建设范围，实现城市级智能停车管理体系全覆盖。

**数据安全与隐私保护。**建立数据安全管理机制，采用加密技术、访问控制、安全审计等措施，保障数据传输与存储安全；严格遵守数据隐私保护法律法规，

规范数据使用行为，保护车主个人信息。

多部门协同推进。加强交通、公安、城管、住建、财政等多部门协同配合，明确各部门职责分工，形成工作合力；建立跨部门协调机制，统筹推进智能停车管理体系建设与运营。

## 五、管理挑战与应对策略

### （一）核心管理挑战

停车供需失衡问题突出。城市核心区、老旧小区等区域停车设施供给不足，难以满足停车需求；部分区域停车设施建设滞后于城市发展，供需矛盾持续存在；停车设施分布不均，导致部分区域资源闲置，部分区域严重短缺。

运营管理效率不高。部分停车设施运营模式落后，缺乏智能化管理手段，找位难、缴费难问题突出；停车共享机制不完善，专用停车场开放程度低，资源利用效率不高；从业人员服务水平参差不齐，影响停车体验。

监管难度大与执法成本高。路内停车、临时停车等区域监管难度大，违停行为屡禁不止；传统执法方式效率低、成本高，难以实现全方位监管；多部门监管职责划分不清晰，存在监管盲区与推诿现象。

资金投入不足与社会资本参与积极性低。停车设施建设与智能化升级需要大量资金投入，政府财政压力大；部分停车设施运营收益低，社会资本参与积极性不高；PPP模式、特许经营模式等市场化运作机制不完善，制约社会资本投入。

### （二）应对策略

精准增加停车供给。优先在停车需求集中区域建设集约化停车设施；挖掘存量资源，改造建设临时停车场与共享停车场；推行停车设施配建标准动态调整，确保新建项目停车供给与需求匹配。

提升运营管理智能化水平。加快推进智能停车管理体系建设，推广智能化管理手段；完善停车共享机制，出台激励政策鼓励专用停车场向社会开放；加强从业人员培训，提升服务质量。

创新监管模式与执法手段。建立多部门联合监管机制，明确职责分工，消除监管盲区；推广非现场执法、智能识别等技术手段，提升监管效率，降低执法成本；建立停车信用监管体系，将违停行为纳入信用评价，强化信用约束。

完善市场化运作机制。出台优惠政策，鼓励社会资本参与停车设施建设与运

营；优化 PPP 模式、特许经营模式，明确政府与社会资本的权利与义务；建立合理的收益分配机制，保障社会资本合法权益；通过差异化收费、广告经营等方式，提升停车设施运营收益。

## 第五节 交通应急管理

### 一、核心内涵与管理原则

#### （一）核心内涵界定

交通应急管理是针对交通领域突发事件开展的预防、准备、响应、恢复全流程管理活动。其核心对象包括自然灾害（如暴雨、洪水、冰雪、地震）、交通事故（如重大交通事故、连环相撞事故）、公共卫生事件、交通设施故障、危险品泄漏等各类突发事件；核心任务是通过建立健全应急管理体系，提升应急处置能力，最大限度减少突发事件造成的人员伤亡、财产损失与交通中断，保障交通系统安全、稳定、有序运行。

交通应急管理具有突发性、复杂性、紧迫性、系统性特征。突发性体现为突发事件发生时间不确定、诱因复杂，难以提前精准预判；复杂性体现为突发事件可能涉及多个区域、多个部门，影响范围广，处置难度大；紧迫性体现为突发事件发生后需快速响应、及时处置，避免事态扩大；系统性体现为需统筹规划、准备、响应、恢复各环节，协调多部门、多主体协同配合。

#### （二）核心管理原则

**生命至上原则。**将保障人民群众生命安全作为首要目标，在突发事件处置过程中，优先开展人员救援与疏散，最大限度减少人员伤亡。

**预防为主、防治结合原则。**加强突发事件风险排查与评估，完善预防措施，提升风险防控能力；建立健全预警机制，提前发布预警信息，做好应急准备；突发事件发生后，快速响应、科学处置，同时做好恢复重建工作。

**统一领导、分级负责原则。**建立统一的应急管理指挥体系，明确各级政府、各部门职责分工；实行分级响应机制，根据突发事件等级，启动相应级别的应急响应，统筹调配应急资源。

**协同联动、快速响应原则。**加强交通、公安、消防、医疗、气象、应急管理

等多部门协同联动，建立健全联动机制，形成处置合力；优化应急响应流程，提升应急处置效率，快速恢复交通秩序。

科学处置、依法依规原则。采用科学的处置方法与技术手段，提高应急处置的科学性与有效性；严格遵守应急管理相关法律法规，规范应急处置行为，保障应急处置工作有序开展。

## 二、核心管理内容与实施流程

### （一）预防与准备：风险防控与能力建设

风险排查与评估。定期开展交通领域风险隐患排查，重点排查道路桥梁、隧道、交通枢纽、危险路段等关键设施与区域的安全隐患；对排查出的风险隐患进行评估，明确风险等级、影响范围、可能造成的损失；建立风险隐患台账，制定整改措施，明确整改责任与时限，跟踪整改落实情况。

应急预案体系建设。制定完善的交通应急专项预案，包括自然灾害类、交通事故类、公共卫生事件类、设施故障类等不同类型应急预案；明确预案适用范围、应急组织机构、职责分工、处置流程、应急保障等内容；针对不同等级的突发事件，制定分级响应措施；定期对预案进行修订完善，确保预案的针对性与可操作性。

应急保障能力建设。加强应急队伍建设，组建专业应急救援队伍，配备专业救援人员与设备；开展应急培训与演练，提升应急队伍的处置技能与协同配合能力；完善应急物资储备体系，储备应急救援设备、抢险物资、医疗物资、生活物资等，建立物资储备台账，定期检查更新，确保物资充足可用；加强应急通信保障，建立多渠道应急通信网络，确保突发事件处置过程中通信畅通。

预警机制建设。建立交通突发事件预警系统，整合气象、地震、水文、公安、消防等多部门信息，实现风险信息实时共享；制定预警分级标准，根据风险等级发布相应级别的预警信息；通过可变信息标志、广播、电视、手机短信、微信公众号等渠道，及时向社会公众发布预警信息，提醒公众做好防范准备。<sup>①</sup>

### （二）监测与预警：实时感知与信息发布

实时监测系统建设。建设交通突发事件实时监测网络，利用视频监控、传感器、无人机、卫星遥感等技术手段，对道路通行状态、交通设施运行状态、气象

---

<sup>①</sup> 李胜. 高速公路交通工程中的应急管理与安全预警研究 [J]. 汽车周刊, 2026, (01): 29-31.

条件等进行实时监测；重点监测危险路段、桥梁隧道、交通枢纽等关键区域，及时发现异常情况。

监测数据采集与分析。实时采集监测数据，包括交通流量、车速、事故信息、设施故障信息、气象信息等；对采集的数据进行实时分析，识别异常情况，判断事件类型与等级；建立异常情况快速上报机制，确保事件信息及时传递至相关部门。

预警信息发布与传播。根据监测分析结果，及时发布预警信息，明确预警等级、影响范围、预警期限、防范措施等内容；选择合适的信息发布渠道，确保预警信息快速、准确传递至社会公众、交通运营单位、应急队伍等相关主体；加强预警信息传播监督，确保公众知晓预警信息与防范要求。

### （三）响应与处置：快速联动与科学处置

应急响应启动。根据突发事件等级与预案要求，及时启动相应级别的应急响应；成立应急指挥机构，统一指挥应急处置工作；明确各部门、各单位的职责分工，统筹调配应急资源；建立应急处置工作台账，跟踪处置进展情况。

现场处置与救援。应急队伍快速赶赴现场，开展现场勘查与风险评估；优先开展人员救援与疏散，转移受困人员至安全区域；组织开展抢险救灾工作，修复受损交通设施，清理路障，恢复交通通行；加强现场秩序维护，设置警示标识，引导车辆与行人绕行；协同医疗部门开展伤员救治，做好医疗保障工作。

交通组织与疏导。根据突发事件影响范围与处置需要，实施临时交通管制措施，如封闭道路、限制通行、单向通行等；优化交通组织方案，引导车辆绕行，避免交通拥堵；在关键节点安排交通疏导人员，维护交通秩序；保障应急救援车辆优先通行，开辟应急通道。

信息发布与舆情应对。及时向社会公众发布突发事件信息、处置进展情况、交通管制信息、安全提示等内容，保障公众知情权；加强舆情监测与引导，及时回应社会关切，消除不实信息影响；建立新闻发布机制，统一发布信息，避免信息混乱。

### （四）恢复与重建：秩序恢复与能力提升

交通秩序恢复。突发事件处置完成后，及时解除交通管制措施，恢复正常交通秩序；组织力量清理现场，修复受损交通设施，确保道路通行安全；加强交通疏导，引导车辆与行人有序通行，避免二次拥堵。

灾后重建与设施修复。对受损严重的交通设施进行全面评估，制定重建与修复方案；统筹安排重建资金与资源，加快交通设施修复进度，确保交通系统尽快恢复正常功能；在重建过程中，提升交通设施的抗灾能力与安全性能。

善后处理工作。做好伤亡人员的善后处理，安抚家属情绪，依法依规给予赔偿与救助；清理突发事件造成的废弃物与污染物，做好环境整治工作；对突发事件造成的损失进行统计评估，为后续工作提供依据。

总结评估与改进。对突发事件应急处置工作进行总结评估，分析处置过程中存在的问题与不足；总结经验教训，完善应急预案与应急管理机制；针对存在的问题，制定改进措施，提升应急管理能力。

### 三、不同类型突发事件的应急处置实践

#### （一）自然灾害类突发事件：风险防控与快速抢通

暴雨、洪水类突发事件处置。提前发布暴雨预警信息，提醒公众减少出行；对低洼路段、下穿隧道等易积水区域设置警示标识，安排人员值守；启动应急排水设备，及时排除路面积水；对积水严重的路段实施交通管制，引导车辆绕行；暴雨过后，及时清理路面积水、淤泥与障碍物，检查道路桥梁受损情况，修复受损设施，恢复交通通行。

冰雪、大雾类突发事件处置。提前发布冰雪、大雾预警信息，提醒驾驶员减速慢行；在桥梁、隧道、陡坡等易结冰路段撒布融雪剂、防滑料；启动道路清扫设备，及时清除路面积雪与积冰；对能见度低的路段实施交通管制，关闭高速公路或限制车辆通行；组织应急队伍巡查道路，及时处置突发情况，保障道路通行安全。

地震类突发事件处置。地震发生后，快速启动应急响应，成立应急指挥机构；组织应急队伍赶赴现场，开展人员救援与疏散；对受损道路、桥梁、隧道等交通设施进行排查，设置警示标识，封闭危险路段；优先抢通应急通道，保障救援车辆与物资运输畅通；在救援工作推进的同时，逐步修复受损交通设施，恢复交通秩序。

#### （二）交通事故类突发事件：快速处置与秩序恢复

重大交通事故处置。接警后快速调度公安、消防、医疗、交通等部门应急力量赶赴现场；开展人员救援，抢救伤员并送往医院救治；设置警戒区域，保护事

故现场，维护现场秩序；清理事故车辆与 debris，疏通道路；调查事故原因，依法依规处理事故责任；及时发布事故信息与交通管制信息，引导车辆绕行，恢复交通秩序。

危险品运输车辆泄漏事故处置。快速启动危险品泄漏专项应急预案，组织专业应急队伍赶赴现场；设置警戒区域，疏散周边人员与车辆，禁止无关人员进入；根据危险品类型，采取相应的处置措施，如封堵泄漏口、稀释、回收等，防止危险品扩散；协同环保部门开展环境监测与污染治理；待险情排除后，清理现场，恢复交通通行。

### （三）交通设施故障类突发事件：快速修复与通行保障

道路桥梁故障处置。发现道路桥梁出现裂缝、坍塌等故障后，立即设置警示标识，封闭危险区域，实施交通管制；组织专业技术人员对故障进行评估，制定修复方案；调配应急抢险设备与物资，快速开展修复工作；在修复期间，优化交通组织，引导车辆绕行，保障公众出行；修复完成后，经安全检测合格，解除交通管制，恢复正常通行。

交通信号、监控设备故障处置。设备故障发生后，快速安排维修人员赶赴现场，排查故障原因；在维修期间，安排交通疏导人员在交叉口维护交通秩序，采用人工疏导方式保障交通通行；启用备用信号配时方案，确保交叉口交通有序运行；尽快修复故障设备，恢复设备正常功能。

### （四）公共卫生事件类突发事件：交通管控与物资保障

公共卫生事件应急处置。根据疫情防控要求，实施交通管制措施，限制人员与车辆流动；在交通枢纽、高速公路出入口等关键节点设置检疫检测点，对进出人员与车辆进行检疫检测；保障应急物资运输通道畅通，优先保障医疗物资、生活物资等运输车辆通行；暂停或调整部分公共交通线路，减少人员聚集；加强交通设施消毒通风，做好疫情防控工作；根据疫情防控形势变化，动态调整交通管制措施，逐步恢复正常交通秩序。

## 四、智能交通应急管理建设

### （一）核心技术支撑

智能交通应急管理体系以大数据、人工智能、物联网、5G、无人机、卫星遥感等技术为核心支撑。大数据技术通过分析交通数据、气象数据、事故数据等，

实现风险预测与应急决策；人工智能技术实现突发事件智能识别、预警与处置方案智能生成；物联网技术实现交通设施、应急设备、人员的实时感知与互联；5G 技术提供高速、低延迟的数据传输服务，保障应急指挥与协同联动；无人机、卫星遥感技术实现大范围、高精度的现场监测与勘查。

关键技术应用包括应急指挥平台、智能监测系统、应急通信系统、智能决策系统等。应急指挥平台实现应急资源调度、信息共享、协同指挥等功能；智能监测系统实现突发事件实时监测与预警；应急通信系统保障应急处置过程中通信畅通；智能决策系统为应急处置提供科学决策依据。

## （二）体系架构与功能模块

智能交通应急管理体系采用“感知层 - 网络层 - 平台层 - 应用层”四层架构。感知层由传感器、视频监控设备、无人机、卫星遥感设备等组成，负责采集交通设施状态、交通流数据、气象数据、突发事件信息等；网络层由 5G、光纤、卫星通信等组成，负责数据传输与通信保障；平台层由应急指挥平台、数据存储平台、数据分析平台、智能决策平台组成，负责数据处理、决策与指挥；应用层由应急监测预警应用、应急处置应用、应急保障应用、恢复重建应用等组成，负责实现应急管理各环节功能。

核心功能模块包括应急监测预警模块、应急指挥调度模块、应急资源管理模块、应急处置协同模块、信息发布与舆情应对模块、总结评估模块。应急监测预警模块实现突发事件实时监测与智能预警；应急指挥调度模块实现应急资源智能调度与协同指挥；应急资源管理模块实现应急物资、队伍、设备等资源的管理与调配；应急处置协同模块实现多部门、多主体协同处置；信息发布与舆情应对模块实现信息发布与舆情监测引导；总结评估模块实现应急处置工作总结评估与改进。

## （三）建设实施要点

统筹规划与顶层设计。制定智能交通应急管理体系建设规划，明确建设目标、建设内容、技术标准、实施步骤等；加强顶层设计，确保体系建设与现有交通管理系统、应急管理系统兼容衔接。

数据资源整合与共享。整合交通、公安、消防、医疗、气象、应急管理等多部门数据资源，建立统一的数据共享平台；制定数据共享标准与规范，确保数据互通与安全共享；加强数据质量管控，提升数据准确性与可用性。

技术与管理融合。加强技术研发与应用，提升智能技术在应急管理中的应用水平；建立健全管理制度，规范智能系统的运行、维护与应用；加强人员培训，提升应急管理人員的智能技术应用能力；通过技术与管理融合，提升应急管理效率与水平。

应急演练与效果评估。定期开展智能交通应急演练，检验体系功能与应急处置能力；对演练效果进行评估，发现存在的问题与不足；根据评估结果，优化完善体系功能与应急预案，提升应急管理能力。

## 第六章 交通系统评价

### 第一节 交通效率评价

#### 一、核心内涵与评价意义

##### （一）核心内涵界定

交通效率评价是对交通系统运输能力、运行流畅度及资源利用合理性的综合性研判，聚焦交通流全流程运行状态，涵盖路网通行能力、车辆运行速度、出行时间消耗、运输周转效率等核心维度。核心对象包括城市路网、公路网络、公共交通系统、交通枢纽等，目标是精准识别运行瓶颈，量化资源配置与出行需求的匹配程度。交通效率具有多维属性，时间效率追求出行时间最小化，空间效率强调路网单位面积流量最大化，资源利用效率注重运力与能源投入产出比优化，衔接效率关注不同交通方式与节点的通行顺畅度，评价需兼顾宏观整体效率与微观节点效率。

##### （二）核心评价意义

提升系统运行质量是直接意义，通过评估核心指标可定位拥堵节点与低效路段，为交通组织优化、路网改造提供靶向依据，推动交通系统从“通”向“畅”转变，针对性优化可提升区域路网通行效率。优化资源配置是重要价值，可量化不同区域、时段的需求与供给匹配度，为路网规划、运力调配等提供数据支撑，避免资源错配。改善公众出行体验是民生核心，能减少延误、缩短时间、降低成本，提升获得感，同时增强公交吸引力，引导绿色出行。支撑城市发展规划是长远意义，可客观反映交通对城市空间布局、产业发展的支撑能力，为各类规划提供决策依据，推动交通与城市深度融合。

#### 二、核心评价指标体系

##### （一）路网通行效率指标

平均行程速度是反映路网通畅度的核心指标，计算为总行驶里程与总时间的

比值,城市主干道高峰理想值 $\geq 30\text{km/h}$ ,次干道 $\geq 25\text{km/h}$ ,速度越低拥堵越严重。行程时间指数是高峰与自由流时段行程时间的比值, $> 1.8$ 为严重拥堵, $1.5-1.8$ 为中度拥堵, $1.2-1.5$ 为轻度拥堵, $< 1.2$ 为基本畅通,可消除道路等级影响,便于对比。路网容量利用率为实际流量与设计容量的比值, $< 70\%$ 为低负荷, $70\%-90\%$ 为适负荷, $> 90\%$ 为超负荷,超负荷易拥堵,低负荷则资源闲置。交叉口延误时间含信号、排队、启动等延误,城市主干道信号交叉口高峰平均延误理想值 $\leq 30$ 秒/辆, $> 60$ 秒/辆需优化。

## (二) 公共交通效率指标

公交运营速度为线路运营里程与运营时间的比值,理想值 $\geq 20\text{km/h}$ , $< 15\text{km/h}$ 会降低吸引力。公交准点率是准时到站车辆与总运营车辆的比值,常规公交理想值 $\geq 90\%$ ,快速公交、轨道交通 $\geq 98\%$ ,准点率低会增加出行不确定性。公交周转效率含单车日周转里程与载客量,反映车辆与运力利用效率。换乘效率包括换乘时间、距离与便捷度,直接影响公交竞争力。

## (三) 货运与枢纽效率指标

货运平均运距为货运总周转量与总量的比值,反映货运市场空间分布特征。货运周转效率为总周转量与总时间的比值,空驶率可辅助评估。货运节点作业效率含平均装卸时间与货物停留时间,影响物流成本。交通枢纽通行能力反映单位时间最大客货流量;内部换乘时间理想值 $\leq 10$ 分钟,距离 $\leq 500$ 米;车辆周转时间反映枢纽对车辆运行的保障能力。<sup>①</sup>

# 三、实践与优化策略

不同场景实践:城市主干道聚焦拥堵治理,优化信号配时与增设公交专用道;公共交通系统聚焦服务提升,优化线路与换乘设施;交通枢纽聚焦衔接优化,缩短换乘距离与提升车辆周转;货运物流系统聚焦成本控制,优化线路与提升节点自动化水平。优化策略包括路网结构优化(完善等级匹配、消除瓶颈)、交通组织优化(差异化管制、智能信号控制)、公共交通提升(优化线网、推广智能系统)、智能技术应用(智慧交通平台建设、自动驾驶推广)。实施要点需规划引领、资金保障、多部门协同与公众参与。

---

<sup>①</sup> 彭挺,周涛,蔡晓禹.城市轨道交通网络系统效率评价指标改进[J].铁路运输与经济,2024,46(01):147-154.

## 第二节 交通安全评价

### 一、核心内涵与评价意义

交通安全评价是对交通系统预防和减少交通事故、保障人员生命与财产安全综合能力的系统性评估，其核心逻辑在于厘清人、车、路、环境、管理五大核心要素的相互作用机制，精准识别各要素中存在的安全风险点，进而量化判断交通系统的整体安全水平。从评价范畴来看，不仅涵盖交通事故发生的频率、造成损失的严重程度等显性结果，还包括对潜在风险隐患的排查与预判，如道路设施的安全缺陷、交通参与者的行为陋习、车辆的安全性能不足等隐性问题。核心评价对象广泛，既包括道路、桥梁、隧道等静态交通基础设施，也涵盖机动车、非机动车等动态交通工具，同时涉及驾驶人、行人、骑行者等各类交通参与者，以及交通法规执行、交通秩序管控、应急救援等管理措施。

交通安全评价的核心目标是通过科学的评估流程，为交通安全管理提供精准的决策依据，推动交通系统安全性能的持续提升。从属性特征来看，交通安全具有显著的系统性，五大核心要素相互关联、相互影响，任何一个环节出现疏漏都可能引发连锁反应，导致事故发生；同时具有复杂性，事故诱因往往是多因素叠加的结果，不同场景、不同时段下的风险特征存在明显差异，增加了评价与管控的难度。因此，评价过程中必须兼顾宏观层面的整体安全态势研判与微观层面的具体风险隐患识别，实现全要素、全流程、全场景的覆盖。

开展交通安全评价具有重要的现实意义与长远价值。从最直接的民生价值来看，通过精准识别风险隐患并实施针对性防控措施，能够有效降低交通事故的发生概率，减少人员伤亡与财产损失，为公众出行构建安全可靠的交通环境。从管理层面而言，评价结果能够客观反映当前交通管理工作的成效与不足，帮助管理部门找准工作短板，优化管理策略，提升交通管理的精细化与科学化水平。从设施建设层面，评价可发现道路设计、施工、养护过程中存在的安全缺陷，为道路设施的改造升级提供靶向性建议，从源头提升道路的安全保障能力。从长远发展来看，交通安全是交通系统可持续发展的重要前提，科学的评价体系能够推动交通发展理念从“重效率、轻安全”向“效率与安全并重”转变，实现交通与经济社会的协调发展，为构建安全、高效、绿色的现代交通体系奠定基础。

## 二、核心评价指标体系

交通安全评价指标体系需全面覆盖事故结果、风险隐患、安全保障三大核心维度，形成完整的评价链条，确保评价结果的科学性与全面性。其中，事故统计指标是对交通安全状况的直接量化反映，能够直观体现交通系统的安全水平，是评价体系的基础核心。事故发生率是衡量单位交通流量下事故风险的关键指标，通过特定时段内的事故次数与交通流量的比值计算得出，能够有效消除交通流量差异对事故数据的影响，便于不同区域、不同路段之间的安全水平对比。事故死亡率聚焦事故的严重程度，通过事故死亡人数与事故总伤亡人数或总交通流量的比值计算，直接反映交通系统应对严重事故的能力，是衡量安全保障水平的重要标尺。事故受伤率则补充反映事故对人员的伤害程度，为伤亡救治资源配置、事故伤害预防提供数据支撑。事故经济损失率通过事故造成的直接经济损失与交通流量的比值计算，量化事故对社会经济的影响，为交通安全投入的成本效益分析提供依据。

风险隐患指标是对交通事故前置风险的预判与识别，能够帮助管理部门提前排查隐患、防范事故，是评价体系的关键环节。道路安全隐患数量是对道路设施安全性能的直接评估，通过对道路线形、路面状况、交叉口设计、安全设施配备等方面的排查，梳理出存在安全缺陷的点位，并根据隐患的严重程度分级分类，为隐患整改的优先级排序提供依据。交通违法行为发生率是反映交通参与者安全意识与守法程度的核心指标，重点关注超速行驶、酒后驾驶、疲劳驾驶、闯红灯、不按规定让行等严重影响交通安全的违法行为，其数值高低直接关联事故发生的概率。车辆安全隐患率聚焦交通工具的安全性能，通过排查车辆制动系统、转向系统、灯光系统、轮胎等关键部件的故障情况，评估车辆自身存在的安全风险，为车辆安全监管与维护提供依据。恶劣天气事故风险率则关注环境因素对交通安全的影响，通过对比恶劣天气与正常天气下的事故发生率，量化交通系统对暴雨、冰雪、大雾、大风等不利环境的适应能力，为针对性的恶劣天气安全防控措施制定提供支撑。

安全保障指标是对交通安全支撑体系能力的评估，反映交通系统防范事故、应对事故的综合保障水平，是评价体系的重要补充。安全设施配备率通过实际配备的交通标志、标线、护栏、照明设备、监控设备等安全设施数量与标准配备数

量的比值计算，体现道路设施对交通参与者的引导与保护能力，完善的安全设施能够有效降低事故发生概率与严重程度。交通执法覆盖率反映交通管理的力度与覆盖面，包括固定执法点的覆盖范围、流动执法的频次、非现场执法的应用广度等，强化执法覆盖能够有效震慑交通违法行为，规范交通秩序。应急处置能力聚焦事故发生后的响应与救援效率，涵盖应急响应时间、救援设备配备、医疗救治衔接等具体指标，快速高效的应急处置能够显著减少事故伤亡人数与财产损失。安全宣传教育普及率则反映公众的交通安全意识水平，通过评估特定区域内接受交通安全宣传教育的人数占比，衡量安全宣传工作的成效，提升公众的安全意识与自我保护能力是预防人为因素事故的根本举措。

### 三、评价方法与实践

交通安全评价方法需结合传统经验与现代技术，形成多层次、多维度的评价体系，确保评价结果的精准性与实用性。传统评价方法依托长期的交通管理实践经验，具有操作简便、数据易获取的优势，是交通安全评价的基础方法。事故数据分析方法通过对交通事故统计数据的系统整理与深度分析，挖掘事故发生的时间规律、空间分布特征与成因构成，能够精准定位事故高发区域、高发时段与主要诱发因素，为针对性管控措施的制定提供直接依据。例如，通过分析某区域的事故数据，可发现早晚高峰时段交叉口的追尾事故频发，进而明确需重点优化交叉口的交通组织与信号配时。

现场勘查法通过实地调研的方式，直接排查道路设施、交通环境、交通秩序等方面存在的安全隐患，能够直观发现数据层面难以体现的问题，如道路路面的隐性破损、交通标志的遮挡、交叉口的视线盲区等。勘查过程中，工作人员通过现场拍照、测量、记录等方式收集第一手资料，并结合事故数据进行关联分析，明确隐患与事故之间的因果关系，为隐患整改提供具体可行的建议。专家评估法则依托交通工程、交通安全管理、公安执法等领域专家的专业知识与实践经验，通过现场调研、数据审核、专题研讨等形式，对交通安全水平进行综合研判。专家能够结合行业标准与前沿理念，对评价指标的合理性、评价结果的准确性进行把关，并提出具有前瞻性的优化建议，提升评价工作的专业性与权威性。

随着信息技术的快速发展，智能评价方法逐渐成为交通安全评价的重要支撑，显著提升了评价的效率与精准性。大数据风险建模法通过整合交通事故数据、交

通监控数据、车辆 GPS 数据、天气数据、道路设施数据等多源大数据,利用数据挖掘、机器学习等技术构建风险评估模型,能够实现对事故风险的精准预测与动态研判。例如,基于历史事故数据与实时交通流量、天气状况等因素,构建事故风险预测模型,可提前预判特定时段、特定路段的事故发生概率,为主动防控提供依据。视频图像识别法借助计算机视觉技术,对交通监控视频进行实时分析,能够自动识别交通违法行为、车辆安全隐患、道路设施缺陷等风险点,实现全时段、大范围的不间断监测,大幅提升了风险排查的效率与覆盖面。

仿真模拟分析法通过交通仿真软件与事故仿真软件构建交通系统模型,模拟不同交通场景下的交通流运行状态与事故发生过程,能够直观展现不同因素对交通安全的影响。通过调整道路设施设计、交通流量分布、交通管理措施等参数,可对比分析不同优化方案的实施效果,为决策提供科学支撑,避免了实地试验的高成本与高风险。在技术路径优化方面,需推动全要素数据融合,构建统一的交通安全数据共享平台,实现人、车、路、环境、管理等多维度数据的互联互通,提升风险识别的全面性;建立实时风险监测与预警系统,及时发现并发布风险预警信息,提升管理的主动性;构建动态评价与持续改进机制,定期开展评价工作,跟踪整改效果,不断优化评价体系,确保评价工作的适应性与有效性。

不同交通场景的安全评价实践需结合场景特征精准施策,提升评价的针对性与实用性。城市交叉口交通流复杂、冲突点多,是事故高发区域,评价需重点关注交通冲突点数量、信号配时合理性、安全设施配备情况等,通过优化交叉口渠化设计、调整信号配时、增设安全设施等措施减少事故风险。高速公路车速快、行程长,驾驶人疲劳驾驶风险高,评价需聚焦超速行驶、疲劳驾驶等违法行为,以及急弯、陡坡、隧道等危险路段的安全状况,通过强化执法管控、完善安全设施、提升恶劣天气预警能力等措施提升安全水平。农村公路等级低、安全设施不完善、交通参与者安全意识薄弱,评价需全面排查道路安全隐患,加强对农村驾驶人的安全宣传教育,通过实施安全生命防护工程、完善道路设施等措施改善安全条件。学校周边未成年人集中,交通流量具有潮汐特征,评价需重点关注行人安全保障、交通秩序管控等,通过增设减速设施、优化交通管制、加强高峰时段疏导等措施保障学生出行安全。

#### 四、优化策略与实施要点

提升交通安全水平需以评价结果为导向，制定针对性的优化策略，构建全方位、多层次的安全保障体系。核心优化方向需覆盖源头管控、设施提升、执法强化、应急处置、宣传教育等关键环节，形成闭环管理。源头风险管控是预防事故的根本举措，需从驾驶人、车辆、道路建设三个核心源头入手。在驾驶人管理方面，严格驾驶证申领与考核标准，强化驾驶人的安全教育与培训，提升驾驶人的安全意识与应急处置能力；建立驾驶人信用管理制度，将交通违法行为与信用评价挂钩，强化信用约束。在车辆管理方面，严格车辆安全检测与年检流程，严厉打击非法改装车辆行为，确保车辆安全性能达标；推广应用车辆安全新技术，提升车辆的主动安全防护能力。在道路建设方面，严格按照安全标准进行道路设计、施工与验收，确保道路设施的安全性能，从源头减少安全隐患。

道路设施安全提升是保障交通安全的基础支撑，需全面开展道路安全隐患排查整治工作，建立隐患台账，明确整改责任与时限，重点改造急弯、陡坡、临水临崖等危险路段。完善道路安全设施配置，确保交通标志、标线、护栏、照明设备、监控设备等齐全、清晰、有效，提升对交通参与者的引导与保护作用。优化交叉口设计，采用渠化设计、立体交叉等方式减少交通冲突点，提升交叉口通行的安全性。加强道路养护管理，建立常态化养护机制，及时修复破损路面、更换损坏的安全设施，保障道路通行条件持续稳定。

交通执法强化是规范交通秩序的关键手段，需加大对严重交通违法行为的查处力度，重点打击超速行驶、酒后驾驶、疲劳驾驶、闯红灯、不按规定让行等极易引发事故的违法行为。推广非现场执法技术，利用交通监控、测速设备等提升执法效率与覆盖面，实现对违法行为的精准查处。加强重点时段、重点区域的执法管控，如早晚高峰时段的城市主干道、节假日的高速公路、上下学时段的学校周边等，强化现场疏导与执法，维护良好交通秩序。建立跨部门执法协作机制，加强交通、公安等部门的协同配合，形成执法合力。

应急处置能力提升是减少事故损失的重要保障，需完善交通事故应急救援体系，建立政府主导、多部门协同的应急救援机制，明确各部门的职责分工。加强应急救援队伍建设，配备专业的救援设备与人员，提升应急响应与处置的专业性。优化应急救援流程，建立快速报警、快速响应、快速救援、快速救治的“四快”

机制,实现事故报警、救援力量调度、医疗救治的无缝衔接。定期开展应急演练,提升各部门之间的协同配合能力,确保应急处置工作高效有序。

安全宣传教育强化是提升公众安全意识的根本途径,需开展全方位、多层次的宣传教育活动,利用电视、广播、网络、社区宣传栏等多种渠道普及交通安全知识与法律法规。针对不同群体开展针对性宣传,对未成年人重点开展交通安全启蒙教育,对老年人重点开展出行安全防护教育,对驾驶人重点开展安全驾驶与应急处置培训。建立交通安全警示教育基地,通过事故案例展示、模拟体验等方式增强宣传教育的感染力,引导公众树立“安全第一、文明出行”的理念,主动规避交通风险。

在实施要点方面,需完善责任体系,建立健全“政府主导、部门协同、社会参与”的交通安全工作格局,将交通安全工作纳入各级政府的绩效考核体系,明确责任分工,强化责任落实;建立交通安全问责机制,对工作不力、导致重特大交通事故的单位与个人进行问责。健全法规制度,完善交通安全相关法律法规与标准体系,细化交通违法行为的处罚标准,提升法律法规的可操作性;加强法律法规的宣传与执行,确保交通参与者依法出行。强化科技支撑,加大智能交通技术的研发与应用投入,推进智慧交通建设,提升交通安全管理的智能化水平;推动自动驾驶、车路协同等新技术的应用,提升交通系统的安全性能。推动社会协同参与,鼓励社会组织、企业、公众参与交通安全管理工作,推广交通安全志愿服务,建立交通违法行为举报机制,形成全社会共同参与的交通安全治理格局。

### 第三节 交通环境评价

#### 一、核心内涵与评价意义

交通环境评价是基于生态文明理念,对交通系统运行全过程中对周边自然环境、生态环境、人居环境产生影响的综合性评估工作,其核心目标是厘清交通活动与环境之间的相互作用关系,精准识别交通系统对环境的影响范围、程度与类型,为交通环境治理、绿色交通发展提供科学依据。交通系统作为城市运行与区域发展的核心基础设施,其建设与运营过程必然会与环境产生深度交互,从交通基础设施的规划建设,到交通流的日常运行,再到交通工具的能源消耗与废弃物

排放，每一个环节都可能对环境产生影响，因此交通环境评价需覆盖交通系统全生命周期，实现对环境影响的全面研判。

交通环境评价的核心内涵涵盖多个维度，既包括交通活动引发的各类环境污染问题，如机动车尾气排放导致的大气污染、车辆行驶产生的噪声污染、路面径流与维修废水导致的水污染、重金属与石油类物质导致的土壤污染等；也包括交通基础设施建设对生态系统的破坏，如占用耕地、林地、湿地等生态空间，破坏动植物栖息地，阻断生物迁徙通道等；同时还包括交通环境对人体健康与生活质量的影響，如大气污染与噪声污染对居民身心健康的损害，交通设施对人居环境舒适度的干扰等。从属性特征来看，交通环境影响具有显著的关联性，交通活动与环境要素之间相互作用、相互制约，交通活动改变环境状态的同时，环境条件也会影响交通系统的运行效率；具有累积性，交通对环境的影响并非即时显现，而是在时间与空间上不断累积，长期、大规模的交通活动可能导致环境质量持续恶化；具有区域性，不同区域的环境承载能力、交通发展水平存在差异，交通对环境的影响程度与表现形式也各不相同。

开展交通环境评价具有重要的现实意义与长远价值。从生态保护角度来看，通过精准识别交通系统对环境的污染与破坏，能够为针对性的环境治理措施提供依据，有效减少交通污染排放，保护自然生态系统，维护生物多样性，推动生态环境质量持续改善。从交通发展角度来看，评价结果能够客观反映交通系统的绿色低碳发展水平，识别绿色交通发展的短板与不足，引导交通发展理念从“重效率、轻环境”向“效率与环境并重”转变，推动交通结构优化、绿色交通工具推广、能源利用效率提升，助力绿色交通体系建设。从民生保障角度来看，交通噪声、大气污染等问题直接影响居民的生活质量与身心健康，通过交通环境评价优化交通运行与管理，能够有效降低交通对人居环境的干扰，提升居民的生活舒适度与幸福感。从可持续发展角度来看，交通环境评价是落实生态文明建设与可持续发展战略的重要举措，能够推动交通系统与环境的协调发展，降低交通能源消耗与碳排放，助力“双碳”目标实现，为经济社会的长远发展提供支撑。

## 二、核心评价指标体系

交通环境评价指标体系需全面覆盖大气污染、噪声污染、生态影响、水污染与土壤污染等核心维度，确保评价结果能够全面、准确反映交通系统对环境的影响。

响。大气污染是交通环境影响的核心问题之一，相关评价指标需聚焦机动车尾气排放与空气质量变化。机动车尾气排放总量是衡量交通大气污染规模的核心指标，涵盖一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、颗粒物等主要污染物，其数值大小与机动车保有量、车型结构、行驶里程、排放水平等因素密切相关，通过精准核算排放总量，能够明确交通对大气污染的贡献度。交通源污染物浓度是反映局部区域大气污染程度的关键指标，通过在交通干线周边、交通枢纽、居民集中区等重点区域设置监测点，监测交通活动引发的污染物浓度变化，能够直观体现交通对周边空气质量的影响，为污染防控提供靶向依据。

新能源车辆占比是衡量交通系统绿色化水平的重要指标，新能源车辆具有零排放或低排放的优势，其占比的提升能够显著降低机动车尾气排放总量，推动交通大气污染治理，该指标直接反映了交通结构优化的成效。单位运输量能耗与排放量是评估交通运输绿色效率的核心指标，通过计算单位货物周转量或单位客运周转量的能源消耗量与污染物排放量，能够对比不同交通方式、不同运输线路的环境友好程度，为运输结构优化、运输线路规划提供依据，推动交通运输向高效、低碳方向发展。

噪声污染是交通环境影响的另一个重要方面，严重影响居民的生活质量与身心健康，相关评价指标需精准反映交通噪声的强度与影响范围。交通噪声等效声级是衡量交通噪声污染程度的核心指标，通过计算特定时段内交通噪声的等效连续 A 声级，能够客观反映交通噪声的平均强度，不同区域的噪声限值标准存在明确规定，通过对比监测值与标准值，可直接判断噪声污染程度。噪声超标率是反映噪声污染覆盖范围的重要指标，通过统计特定区域内噪声监测值超过限值标准的监测点数量占比，能够明确受交通噪声污染影响的区域范围，为噪声污染治理的优先级排序提供依据。<sup>①</sup>

噪声敏感点受影响程度是聚焦重点区域的专项指标，针对学校、医院、居住区、养老院等对噪声敏感的区域，通过监测其噪声水平，评估交通噪声对敏感人群的影响程度，如学校周边噪声超标可能影响学生的学习效率与身心健康，医院周边噪声超标可能干扰患者的治疗与休息，该指标为重点区域的噪声污染防控提供直接依据。生态影响评价指标需关注交通基础设施建设与运营对生态系统的破

---

① 王嘉, 李莉. 我国轨道交通环境噪声影响评价标准分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28 (03): 35-39+44.

坏与影响，交通基础设施占地面积是反映交通对生态空间占用的核心指标，需重点统计占用耕地、林地、草地、湿地、自然保护区等生态敏感区域的面积，占地面积越大，对生态系统的破坏风险越高。

生物多样性影响程度是评估交通对生态系统完整性影响的关键指标，通过现场调查、遥感监测等方式，分析交通基础设施建设与运营对动植物栖息地、迁徙通道的破坏情况，评估对物种生存与繁衍的影响，采用无影响、轻微影响、中度影响、严重影响等等级进行量化，为生态保护措施制定提供依据。生态恢复率是衡量生态保护与修复成效的重要指标，通过计算交通建设过程中破坏的生态环境的恢复面积与破坏面积的比值，评估生态修复工作的效果，提升生态恢复率能够有效降低交通建设对生态环境的长期影响。

水污染与土壤污染评价指标需关注交通活动产生的废水、废弃物对水体与土壤的污染风险。交通源污水排放量是反映交通水污染规模的指标，包括路面径流污水、交通枢纽生活污水、车辆维修场站含油污水等，这些污水中含有悬浮物、石油类、重金属等污染物，排放量越大，对水环境的污染风险越高。污水污染物浓度是衡量污水污染程度的核心指标，通过监测污水中化学需氧量、生化需氧量、悬浮物、石油类等污染物的浓度，对比水质标准，判断污水污染程度，为污水处理措施的制定提供依据。土壤污染程度是评估交通对土壤环境影响的指标，通过采集交通基础设施周边的土壤样本，监测重金属、石油类等污染物的含量，对比土壤环境质量标准，评估土壤污染状况，为土壤污染治理与修复提供依据。

### 三、评价方法与优化路径

交通环境评价方法需结合传统监测技术与现代智能技术，实现对交通环境影响的精准监测、科学分析与有效预判，为环境治理提供全面支撑。传统评价方法依托成熟的监测与分析技术，具有操作规范、数据可靠的优势，是交通环境评价的基础。现场监测法是获取第一手环境数据的核心方法，通过在交通干线周边、交通枢纽、噪声敏感点、水质监测断面、土壤采样点等重点区域设置监测站点，采用专业的大气监测设备、噪声监测设备、水质监测设备、土壤监测设备等，对交通环境指标进行长期、连续的实地监测。现场监测需严格遵循相关监测规范，确保监测点位的代表性、监测时间的合理性、监测数据的准确性，为评价工作提供可靠的基础数据。

统计分析法是对监测数据进行处理与解读的基础方法,通过对监测获取的原始数据进行整理、分类、统计,计算平均值、最大值、最小值、超标率、变化趋势等统计指标,量化评估交通环境质量。例如,通过计算不同时段、不同路段的交通噪声等效声级平均值,分析噪声污染的时空分布特征;通过对比不同年份的交通源大气污染物浓度数据,判断交通大气污染的变化趋势;通过统计噪声超标监测点的分布情况,明确污染重点区域。统计分析法操作简单、适用性强,能够快速实现对交通环境质量的初步评估,为后续的深入分析提供方向。

影响预测法是交通项目环境影响评价的核心方法,主要应用于交通项目建设前或交通政策实施前,通过分析项目或政策可能引发的交通流量变化、车型结构调整等,结合污染物排放系数、噪声预测模型、大气扩散模型等,预测交通活动对环境的潜在影响。例如,在新建道路项目审批前,采用大气扩散模型预测道路运营后周边区域的大气污染物浓度变化,采用噪声预测模型预测交通噪声对沿线居民的影响,根据预测结果判断项目的环境可行性,提出针对性的污染防控措施。影响预测法能够实现环境影响的前置防控,为交通项目审批与政策制定提供科学依据,避免了项目建成后再进行环境治理的高成本。

随着信息技术的发展,智能评价方法逐渐成为交通环境评价的重要支撑,显著提升了评价的效率、范围与精准性。遥感监测法依托卫星遥感、无人机遥感、高光谱遥感等技术,能够实现对交通环境影响的大范围、动态、非接触式监测。通过卫星遥感技术可监测交通基础设施建设占用耕地、林地等生态空间的变化情况,评估对区域生态格局的影响;通过无人机遥感技术可快速排查交通干线周边的生态破坏、污水排放等问题,提升监测的灵活性;通过高光谱遥感技术可精准监测大气污染物浓度的空间分布,实现对交通大气污染的实时追踪。遥感监测法突破了传统现场监测的空间限制,能够为大范围交通环境评价提供高效的数据支撑。

大数据分析法通过整合交通监测数据、环境监测数据、气象数据、机动车登记数据、能源消耗数据、手机信令数据等多源大数据,利用数据挖掘、机器学习等技术挖掘数据间的复杂关联,实现对交通环境影响的精准评价与动态研判。例如,通过关联分析机动车 GPS 轨迹数据与大气监测数据,可明确车辆行驶速度、交通流量与大气污染物浓度的量化关系;利用手机信令数据识别出行需求分布与出行路径选择,预测交通流量变化对环境的影响;结合气象数据与交通污染数据,

分析气象条件对交通污染物扩散的影响，提升污染预测的准确性。大数据分析法能够充分挖掘多源数据的价值，提升评价结果的科学性与针对性。

模型模拟法通过构建交通 - 环境耦合仿真模型，整合交通仿真与环境仿真技术，模拟不同交通场景下的环境变化趋势。利用交通仿真软件模拟不同交通流量、不同交通结构、不同管理措施下的交通流运行状态，结合大气扩散模型、噪声预测模型、水质模型等，精准模拟污染物浓度、噪声水平等环境指标的变化情况。通过调整交通政策、优化交通结构、改进污染防控措施等参数，可对比分析不同方案的环境改善效果，为决策提供科学支撑。例如，模拟推广新能源车辆、实施限行政策等措施对大气污染的改善效果，模拟设置声屏障、优化线路布局等措施对噪声污染的防控效果。模型模拟法能够有效避免实地试验的高成本与高风险，实现多方案的高效对比，提升决策的科学性与合理性。

在技术路径优化方面，需推动多源数据融合，构建统一的交通环境数据共享平台，打破数据壁垒，实现交通、环保、气象、公安等多部门数据的互联互通，提升数据的完整性与可用性；建立实时动态监测体系，依托智能监测设备与大数据技术，实现对交通环境指标的实时监测与动态更新，及时掌握环境质量变化情况；构建精准预测预警机制，结合历史数据与实时数据，利用模型模拟技术预测交通环境变化趋势，提前发布污染预警信息，为主动防控提供依据；推动评价结果与治理措施的深度融合，建立“评价 - 诊断 - 整改 - 再评价”的闭环管理机制，确保评价结果能够有效指导环境治理工作，推动交通与环境的协调发展。

## 第四节 交通经济评价

### 一、核心内涵与评价意义

交通经济评价是对交通系统投入产出效益及对经济社会发展影响的综合性评估，其核心内涵在于通过科学的方法量化交通系统的经济价值，分析交通投资、运营与管理活动所产生的直接经济效益与间接社会效益，为交通投资决策、运营管理优化、区域发展规划提供科学依据。交通系统作为支撑经济社会运行的基础性、先导性产业，其发展与经济社会发展深度绑定，交通经济评价需覆盖交通系统全生命周期，包括交通项目的规划、建设、运营等各个阶段，全面考量交通系

统的投入成本与产出效益,以及对区域经济增长、产业发展、就业促进、城乡协调等方面的带动作用。

交通经济评价的核心对象广泛,既包括具体的交通建设项目,如高速公路、铁路、城市轨道交通、桥梁、隧道等基础设施项目;也包括交通运营企业,如公交公司、货运物流企业、客运企业等,评估其运营效益与管理水平;还包括区域交通网络,评估整个网络的整体效益与对区域经济的支撑能力。评价内容涵盖多个维度,直接经济效益包括交通项目的投资回报、运营收入、成本节约等,如公路项目的通行费收入、货运企业的运输收入、交通建设带动的建材产业增长等;间接经济效益包括降低出行成本、提升物流效率、促进产业集聚、加强区域经济联系等,如城市轨道交通的建设缩短了居民出行时间,降低了通勤成本,同时带动了沿线商业、房地产等产业的发展;社会效益包括促进就业、改善民生、推动城乡协调发展、提升区域竞争力等,如农村公路的建设改善了农村地区的交通条件,带动了农产品运输与乡村旅游发展,助力乡村振兴。

开展交通经济评价具有重要的现实意义与战略价值。从投资决策角度来看,交通项目往往具有投资规模大、建设周期长、影响范围广的特点,通过科学的经济评价能够精准核算项目的投资成本与预期效益,判断项目的经济可行性,避免盲目投资,提高交通投资的科学性与合理性。从运营管理角度来看,评价结果能够客观反映交通运营企业的运营效益与管理短板,帮助企业优化运营策略,降低运营成本,提升服务质量与经济效益,实现可持续运营。从区域发展角度来看,交通经济评价能够量化交通系统对区域经济增长的贡献率,分析交通对产业布局、人口流动、资源配置的影响,为区域交通规划与经济发展规划的协同衔接提供依据,推动区域经济协调发展。从社会发展角度来看,评价能够挖掘交通系统的社会效益,如就业拉动、民生改善等,为交通政策的制定提供支撑,推动交通发展成果惠及更多群众,实现经济效益与社会效益的统一。

## 二、核心评价指标体系

交通经济评价指标体系需涵盖投资效益、运营效益、区域经济影响、社会效益关联等核心维度,形成全面、系统的评价框架,确保评价结果能够精准反映交通系统的经济价值与社会价值。投资效益指标是评估交通项目投资可行性的核心,主要衡量交通投资的回收能力与盈利水平。投资回收期是指交通项目的净现金流

量抵偿初始投资所需要的时间，能够直观反映项目的投资回收速度，分为静态投资回收期与动态投资回收期，动态投资回收期考虑了资金的时间价值，更具科学性，回收期越短，项目的投资风险越低，可行性越高。

内部收益率是使项目净现值为零的折现率，是衡量项目盈利能力的关键指标，内部收益率越高，说明项目的盈利能力越强，若内部收益率高于行业基准收益率，说明项目具有经济可行性。净现值是指项目在整个计算期内各年净现金流量的现值之和，净现值大于零说明项目能够带来正的经济效益，具有可行性；净现值越大，项目的经济效益越显著。效益费用比是项目计算期内总效益与总费用的比值，比值大于 1 说明项目的效益大于费用，具有经济可行性，比值越高，项目的性价比越高。

运营效益指标聚焦交通运营企业的日常运营成效，衡量企业的盈利能力与管理水平。运营收入是企业通过提供交通服务所获得的总收入，包括通行费收入、客运收入、货运收入、增值服务收入等，是企业盈利的基础。成本利润率是企业实现的利润与总成本的比值，反映企业的成本控制能力与盈利水平，成本利润率越高，说明企业的运营效率越高，盈利能力越强。单位运输量成本是企业完成单位客运周转量或单位货物周转量所消耗的成本，包括燃油成本、人工成本、维修成本、管理成本等，是衡量企业运营效率的核心指标，单位运输量成本越低，说明企业的成本控制能力越强，市场竞争力越高。

区域经济影响指标用于评估交通系统对区域经济发展的带动作用，量化交通与区域经济的关联程度。交通对 GDP 增长贡献率是指交通系统发展所带动的 GDP 增长额占区域总 GDP 增长额的比重，能够直观反映交通对区域经济增长的拉动作用，贡献率越高，说明交通对经济发展的支撑能力越强。就业拉动人数是指交通项目建设与运营过程中直接与间接创造的就业岗位数量，包括建设阶段的施工人员岗位、运营阶段的管理人员与服务人员岗位，以及带动相关产业发展所创造的就业岗位，是衡量交通社会效益的重要指标。

产业集聚促进程度用于评估交通对产业布局的影响，通过分析交通改善后区域内产业企业的数量增长、规模扩大、产业集中度提升等情况，量化交通对产业集聚的推动作用，交通的完善能够降低企业的运输成本与交易成本，吸引企业集聚，形成产业集群，提升区域产业竞争力。区域可达性提升幅度是指交通系统改善后区域内不同节点之间的通行时间、通行成本的降低程度，可达性的提升能够

加强区域内各地区之间的经济联系，促进资源共享与要素流动，推动区域经济协调发展。

社会效益关联指标用于衡量交通系统对民生改善与社会发展的贡献，实现经济效益与社会效益的统筹评估。出行成本降低率是指交通改善后居民与企业的出行时间成本、经济成本的降低幅度，出行成本的降低能够提升居民的生活质量，降低企业的运营成本，激发经济活力。物流成本降低率是指交通系统完善后物流企业的运输成本、仓储成本、管理成本的降低幅度，物流成本的降低能够提升物流效率，促进商品流通，推动实体经济发展。贫困地区脱贫带动效益用于评估交通建设对贫困地区发展的支撑作用，通过分析交通改善后贫困地区的农产品销售、乡村旅游发展、就业机会增加等情况，量化交通对脱贫攻坚与乡村振兴的推动作用，交通是贫困地区脱贫致富的重要基础，完善的交通设施能够打通贫困地区与外部市场的联系，助力贫困地区实现经济发展。

### 三、评价方法与实践优化

交通经济评价方法需结合传统经济分析技术与现代数据分析手段，实现对交通经济价值的全面、精准评估，为决策提供科学支撑。传统评价方法依托成熟的经济理论与分析框架，具有逻辑严谨、操作规范的优势，是交通经济评价的基础。成本效益分析法是交通经济评价的核心方法，通过系统梳理交通项目或交通系统的全部成本与效益，将成本与效益进行量化对比，评估项目的经济可行性。成本包括初始投资成本、运营维护成本、环境成本等；效益包括直接经济效益与间接经济效益，如通行费收入、出行成本节约、物流效率提升、产业发展带动等。通过计算投资回收期、内部收益率、净现值、效益费用比等指标，综合判断项目的经济价值，该方法能够全面考量交通系统的投入产出关系，为投资决策提供直接依据。

费用效果分析法适用于效益难以直接量化的交通项目评价，通过将项目的成本与可量化的效果进行对比，评估项目的性价比。例如，对于城市公共交通项目，其社会效益如缓解拥堵、减少污染、方便居民出行等难以直接用货币量化，可采用费用效果分析法，计算单位乘客周转量的成本、单位拥堵缓解量的成本等指标，对比不同项目的效果与成本，选择最优方案。该方法能够规避效益量化的难题，为公益性交通项目的评价提供有效工具。经济费用效益分析法在传统成本效益分

析法的基础上,进一步考虑了项目的社会成本与社会效益,将市场价格难以反映的社会成本(如环境破坏、资源消耗)与社会效益(如就业促进、民生改善)纳入评价范围,通过影子价格、影子工资等工具将其量化,更全面地反映项目的整体价值,适用于对国民经济有重大影响的交通基础设施项目评价。

随着大数据、人工智能等技术的发展,现代评价方法逐渐成为交通经济评价的重要支撑,显著提升了评价的效率与精准性。大数据分析通过整合交通数据、经济数据、人口数据、产业数据等多源大数据,利用数据挖掘、机器学习等技术挖掘数据间的复杂关联,实现对交通经济影响的精准量化。例如,通过分析交通流量数据与区域经济产值数据,可明确交通流量与经济增长的量化关系;利用手机信令数据与就业数据,可评估交通改善对人口流动与就业的影响;结合物流数据与产业数据,可分析交通对物流效率与产业发展的带动作用。大数据分析能够充分挖掘多源数据的价值,提升评价结果的科学性与针对性。

投入产出分析法通过构建投入产出表,分析交通产业与其他产业之间的关联关系,量化交通产业对国民经济的带动作用。投入产出表能够清晰展现交通产业的投入来源与产出去向,通过计算直接消耗系数、完全消耗系数、直接分配系数、完全分配系数等指标,明确交通产业对上下游产业的拉动效应与推动效应。例如,交通建设会带动建材、机械、能源等上游产业的发展,交通运营会促进物流、旅游、商贸等下游产业的发展,投入产出分析法能够精准量化这些带动效应,为交通产业发展规划与区域经济协调发展提供依据。

系统动力学模型通过构建交通-经济-社会耦合系统模型,模拟交通系统与经济社会系统之间的动态相互作用关系,预测交通系统的长期经济影响。该模型考虑了交通、经济、人口、产业等多个要素的动态变化与相互反馈,能够模拟不同交通发展策略下区域经济社会的发展趋势,为长远交通规划提供支撑。例如,模拟新建高速公路对区域产业布局、人口集聚、经济增长的长期影响,对比不同建设时序与建设标准的效果,为规划决策提供科学依据。

交通经济评价的实践优化需兼顾短期效益与长期发展、经济效益与社会效益、局部利益与整体利益,确保评价结果能够有效指导交通发展实践。在投资决策方面,需建立科学的交通投资评价机制,将经济评价结果作为交通项目审批的重要依据,优先支持投资效益好、社会效益显著的项目;同时,兼顾公益性交通项目的评价,充分考量其社会效益,加大对民生类交通项目的投入。在运营管理方面,

交通运营企业需以评价结果为导向，优化运营策略，调整运力配置，降低运营成本，提升服务质量；推动智能化运营管理，利用大数据技术优化调度方案，提高运营效率。

在区域协调发展方面，需结合交通经济评价结果，优化区域交通网络布局，加强区域间交通互联互通，提升区域可达性，促进区域资源共享与要素流动；推动交通规划与产业规划、城镇规划的协同衔接，依托交通优势引导产业集聚，培育区域经济增长极。在政策保障方面，需完善交通经济评价相关的法律法规与标准体系，规范评价流程与方法，确保评价工作的科学性与规范性；建立交通经济评价结果公开与监督机制，提升评价工作的透明度与公信力；加大对交通经济评价技术研发与应用的投入，推动评价方法的创新与升级。同时，需注重评价结果的动态更新与持续应用，定期开展交通经济评价工作，跟踪交通项目的实施效果，及时调整发展策略，确保交通系统持续为经济社会发展提供有力支撑。

## 第七章 交通政策法规

### 第一节 交通管理体制

#### 一、核心内涵与构成逻辑

##### （一）核心内涵界定

交通管理体制是指国家为实现交通资源优化配置、保障交通系统有序运行而建立的管理组织架构、权责划分机制及运行规则的总和。其核心功能在于统筹协调各类交通资源，规范交通参与者行为，衔接不同交通方式管理，保障交通系统安全、高效、绿色运行。交通管理体制具有鲜明的公共性，以维护社会公共利益为首要目标；具有系统性，覆盖交通规划、建设、运营、监管全链条；具有层级性，呈现中央与地方分级管理的架构特征；具有动态性，随交通发展阶段、技术变革及社会需求调整优化。

##### （二）构成逻辑框架

交通管理体制的构成以“权责清晰、协同高效”为核心逻辑，形成“组织架构-权责划分-运行机制”三位一体的框架体系。组织架构是体制运行的载体，明确管理主体的设置与层级关系；权责划分是体制运行的核心，界定各主体在交通管理中的职责与权限；运行机制是体制运行的保障，建立主体间协同配合、监督考核的规则体系。三者相互支撑，组织架构为权责划分提供基础，权责划分为运行机制提供依据，运行机制为组织架构高效运转提供保障，共同实现交通管理的整体目标。

#### 二、组织架构与层级划分

##### （一）中央层面管理机构

中央层面交通管理机构承担全国交通发展战略规划、宏观政策制定、跨区域协调及行业监管职能。交通运输部作为核心主管部门，统筹公路、水路、铁路、民航、邮政等综合交通运输体系建设与管理，负责制定全国性交通发展规划、技

术标准及法规制度，协调跨省份交通项目实施与运输衔接。国家铁路局、中国民用航空局、国家邮政局作为专项管理机构，分别负责铁路、民航、邮政领域的行业监管，落实交通运输部统筹部署，制定专项领域管理细则。此外，发展改革委负责交通重大项目投资审批与规划衔接，公安部负责道路交通安全与交通秩序管理，自然资源部负责交通项目用地保障，生态环境部负责交通环境监管，形成多部门协同的中央管理格局。

## （二）地方层面管理机构

地方层面交通管理机构依据中央部署，结合区域实际承担具体管理职能，形成省、市、县三级管理架构。省级交通运输厅（局）负责本行政区域内综合交通规划实施、交通基础设施建设与养护、道路水路运输管理及跨市级交通协调；市级交通运输局负责市区内交通设施建设运营、公共交通管理、运输市场监管及交通秩序协同管控；县级交通运输局负责县域内农村公路建设养护、城乡客运衔接、乡镇运输市场管理等基层交通管理工作。地方公安机关交通管理部门与交通运输部门分工协作，负责本区域道路交通安全执法、交通违法行为查处及交通事故处理。部分大型城市设立交通运输委员会，整合交通管理相关职能，实现综合交通一体化管理。<sup>①</sup>

## （三）层级间权责衔接机制

中央与地方实行“统一领导、分级负责”的权责衔接机制。中央层面聚焦战略规划、政策制定与宏观监管，明确全国交通发展方向与统一标准；地方层面在中央框架下，结合区域经济社会发展需求，制定具体实施细则，负责政策落地与具体管理事务。跨区域交通项目由中央统筹协调，地方负责具体实施；重大交通突发事件实行分级响应，中央负责指导协调重大灾害事故处置，地方承担属地管理责任。建立中央对地方的考核评价机制，将交通规划实施、安全管理、服务质量等纳入考核范围，确保权责落实。同时，通过建立全国性交通数据共享平台，实现中央与地方管理信息互联互通，提升层级间协同效率。

---

① 马皓. 道路交通安全管理存在的问题及建议 [C]// 江西省工程师联合会. 第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集（三）. 临夏回族自治州交通运输局, 2025: 312-315.

### 三、运行机制与协同模式

#### （一）决策机制

交通管理决策机制实行“科学论证、民主参与、依法决策”的原则。中央层面重大交通决策需经过战略研究、可行性论证、专家评审、公众征求意见等环节，涉及跨部门的决策通过部际联席会议制度协调推进；地方层面交通决策结合区域实际，在落实中央政策的基础上，开展区域交通需求调研，广泛听取相关部门、企业及公众意见，形成决策方案并按程序审批。建立决策后评估机制，对交通政策实施效果、项目建设效益进行跟踪评估，根据评估结果调整优化决策，提升决策科学性与适应性。

#### （二）执行机制

执行机制以“权责明确、流程规范、高效落地”为核心，明确各级管理机构的执行职责与流程。中央政策文件下达后，地方交通管理部门制定具体实施方案，分解任务指标，明确责任主体与完成时限；交通项目建设实行项目法人负责制、招投标制、监理制与合同制，确保建设质量与进度；运输市场管理通过许可审批、日常监管、执法检查等方式，规范市场主体行为。建立执行监督机制，通过定期督查、专项检查、社会监督等方式，及时发现并解决执行过程中的问题，保障政策落地见效。

#### （三）协同监管模式

构建“跨部门、跨区域、跨层级”的协同监管模式。跨部门协同方面，交通运输、公安、发改、生态环境等部门建立信息共享与联合执法机制，针对超限超载、非法营运、污染排放等问题开展联合整治；跨区域协同方面，相邻省份、城市建立交通管理协作机制，统筹跨区域交通网络建设、运输线路衔接与应急处置，消除区域间交通管理壁垒；跨层级协同方面，中央与地方建立监管联动机制，中央负责宏观监管与指导，地方负责具体监管执行，形成监管合力。同时，引入社会监督力量，通过举报平台、信用评价等方式，鼓励公众参与交通监管，提升监管覆盖面与有效性。

### 四、发展趋势与优化方向

#### （一）数字化转型趋势

依托大数据、人工智能、物联网等技术，推动交通管理体制数字化转型。建

设全国一体化智慧交通管理平台，整合交通运行数据、执法数据、服务数据等多源信息，实现交通运行实时监测、风险预警与智能调度；推行“互联网+政务服务”，实现交通审批、许可、监管等业务线上办理，提升管理效率与服务质量；利用大数据分析优化交通规划与政策制定，提升决策精准性。

### （二）综合化协同方向

强化综合交通运输体系统筹协调，推动交通管理从“分方式管理”向“综合协同管理”转变。进一步整合铁路、公路、水路、民航等管理职能，完善综合交通运输管理机构设置；统筹综合交通网络规划建设，加强不同交通方式的衔接融合，提升综合运输效率；建立综合交通服务标准体系，实现不同交通方式服务一体化。

### （三）精细化管理方向

聚焦交通管理细节，提升精细化管理水平。针对城市拥堵、农村交通薄弱等问题，实施差异化管理策略；加强对重点区域、重点时段、重点车辆的精准监管，提升管理针对性；建立交通服务质量评价体系，细化评价指标，推动交通服务从“普惠化”向“个性化、精准化”转变，提升公众出行体验。

## 第二节 交通法规体系

### 一、核心内涵与体系构成

#### （一）核心内涵界定

交通法规体系是指由国家制定或认可的，调整交通活动中各类社会关系的法律、行政法规、部门规章、地方性法规及规范性文件所构成的有机整体。其核心功能在于规范交通参与者行为，界定交通管理主体权责，调整交通建设、运营、管理中的权利义务关系，保障交通系统有序运行与公众合法权益。交通法规体系具有强制性，依靠国家强制力保障实施；具有系统性，覆盖交通全领域全链条；具有层级性，不同效力层级的法规相互衔接；具有适应性，随交通发展与社会需求动态完善。

#### （二）体系构成框架

交通法规体系以“宪法为根本遵循，法律为核心，行政法规为支撑，部门规

章与地方性法规为补充”的层级框架构成。宪法作为根本大法，为交通法规制定提供基本原则与依据；法律层面涵盖综合交通及各专项领域核心法规，规定交通领域根本性、全局性问题；行政法规层面细化法律规定，针对具体领域制定实施规则；部门规章层面聚焦行业管理细节，制定具体技术要求与管理规范；地方性法规与规范性文件结合区域实际，落实上位法要求，解决区域特定交通问题。各层级法规相互衔接、相互补充，形成完整的规范体系。

## 二、法律层级与核心内容

### （一）法律层面

法律层面是交通法规体系的核心，由全国人民代表大会及其常务委员会制定，具有最高效力。核心法律包括《中华人民共和国道路交通安全法》《中华人民共和国公路法》《中华人民共和国铁路法》《中华人民共和国民用航空法》《中华人民共和国港口法》《中华人民共和国航道法》等。《道路交通安全法》规范道路通行规则，明确交通参与者权利义务，规定交通事故处理程序与法律责任；《公路法》规定公路建设、养护、管理与经营的基本制度，保障公路完好与畅通；《铁路法》《民用航空法》分别规范铁路、民航运输活动，保障运输安全与当事人合法权益；《港口法》《航道法》规范港口、航道建设与管理，促进水路运输发展。

### （二）行政法规层面

行政法规层面由国务院制定，是对法律的细化与补充，效力仅次于法律。核心行政法规包括《道路交通安全法实施条例》《公路安全保护条例》《铁路安全管理条例》《民用航空安全保卫条例》《国内水路运输管理条例》《城市道路管理条例》等。《道路交通安全法实施条例》细化道路通行规则、交通信号设置、机动车登记与检验等具体要求；《公路安全保护条例》明确公路保护范围与措施，规范超限运输管理；《铁路安全管理条例》《民用航空安全保卫条例》分别强化铁路、民航安全管理，细化安全保障措施；《国内水路运输管理条例》规范水路运输市场准入与经营行为；《城市道路管理条例》规定城市道路建设、养护与管理要求。

### （三）部门规章层面

部门规章层面由交通运输部、公安部等中央部门制定，聚焦行业管理细节，效力低于行政法规。核心部门规章包括《道路运输条例实施细则》《机动车登记

规定》《公路工程建设项目招标投标管理办法》《铁路运输安全保护条例实施办法》《民用航空运输凭证管理办法》等。《道路运输条例实施细则》细化道路旅客运输、货物运输的经营许可、服务标准与安全管理要求；《机动车登记规定》规范机动车注册、变更、转移、抵押、注销等登记程序；《公路工程建设项目招标投标管理办法》明确公路工程招投标流程与监管要求；各类专项领域规章针对具体管理环节制定技术规范与操作流程，提升管理精细化水平。

#### （四）地方性法规与规范性文件层面

地方性法规与规范性文件由地方人民代表大会及其常务委员会、地方人民政府制定，结合区域实际落实上位法要求。核心文件包括各省市制定的《道路交通安全法》《公路管理条例实施办法》《城市公共交通安全管理办法》等。地方层面法规文件重点解决区域特定交通问题，如大城市针对交通拥堵制定的限行、限购政策，地方针对农村公路管理制定的具体措施，城市针对公共交通优先发展制定的实施办法等。此类文件具有较强的区域适应性，能够精准对接地方交通管理需求。

### 三、法规适用与效力衔接

#### （一）效力层级适用规则

交通法规适用遵循“上位法优于下位法、特别法优于一般法、新法优于旧法”的核心规则。上位法优于下位法即宪法具有最高效力，法律效力高于行政法规，行政法规效力高于部门规章与地方性法规，部门规章与地方性法规效力高于地方政府规章；特别法优于一般法即针对特定交通领域制定的专项法规，在其适用范围内优先于综合性法规适用，如《铁路法》在铁路运输领域优先于《道路交通安全法》适用；新法优于旧法即同一层级的法规，新制定或修订的法规优先于原有法规适用，若原有法规与新法冲突，以新法为准。

#### （二）区域适用与跨区域协调

地方性法规与规范性文件仅在本行政区域内适用，跨区域交通活动需遵循途经区域的法规要求。针对跨区域交通项目建设、运输线路运营等问题，优先适用中央层面统一法规；若中央法规未明确规定，由相关区域通过协商制定协同实施细则。建立跨区域法规协调机制，相邻省份、城市针对交通管理共性问题开展法规衔接研究，统一区域内交通执法标准与服务规范，消除跨区域交通法规壁垒。

对于全国性重大交通问题，通过完善中央层面法规，实现全国范围内的统一规范。

### （三）新旧法规衔接机制

新旧法规衔接实行“过渡期限、清理修订、解释说明”的机制。新法规实施前，通过官方渠道发布实施公告，明确实施时间与过渡期限，在过渡期限内，原有法规与新法不冲突的条款继续适用，冲突条款以新法为准；新法规实施后，相关部门及时开展原有法规清理工作，对与新法冲突的条款进行修订或废止，确保法规体系协调统一；针对新旧法规衔接过程中出现的争议问题，由法规制定机关作出解释说明，明确适用规则。同时，通过开展法规培训、宣传解读等工作，确保执法人员与交通参与者准确理解新旧法规差异，保障衔接顺畅。

## 第三节 交通标准规范

### 一、核心内涵与分类体系

#### （一）核心内涵界定

交通标准规范是指由权威机构制定并发布的，对交通建设、运营、管理、服务等环节的技术要求、质量指标、操作流程及管理规则的统一规定。其核心功能在于规范交通生产活动，保障交通设施质量与运输安全，提升交通系统运行效率，促进不同交通方式的衔接融合与技术创新。交通标准规范具有技术性，明确具体的技术参数与质量要求；具有统一性，为行业提供统一的遵循依据；具有强制性与推荐性双重属性，保障核心安全与公共利益的标准为强制性标准，引导行业发展的标准为推荐性标准；具有时效性，随技术发展与需求变化动态更新。

#### （二）分类体系框架

交通标准规范按“层级-领域-类型”三维框架分类。按层级可分为国家标准、行业标准、地方标准、企业标准；按领域可分为公路、铁路、水路、民航、城市交通、综合交通等专项领域；按类型可分为技术标准、质量标准、管理标准、服务标准。各维度相互交叉，形成完整的分类体系。国家标准由国务院标准化行政主管部门制定，适用于全国范围；行业标准由交通运输部等行业主管部门制定，适用于本行业；地方标准由地方标准化行政主管部门制定，适用于本行政区域；企业标准由企业制定，用于规范自身生产经营活动，可严于国家标准与行业标准。

## 二、各领域核心标准规范

### （一）公路领域

公路领域标准规范覆盖规划、设计、建设、养护、运营全链条。核心技术标准包括《公路工程技术标准》《公路路线设计规范》《公路桥涵设计通用规范》等，明确公路等级划分、路线设计参数、桥涵结构要求、路面材料技术指标等；质量标准包括《公路工程质量检验评定标准》《公路养护质量评定标准》等，规定公路建设与养护的质量验收指标与评定方法；管理标准包括《公路建设项目管理办法》《公路养护管理办法》等，规范项目建设流程与养护管理程序；服务标准包括《公路服务区服务规范》《高速公路收费服务规范》等，明确服务区设施配置、服务流程与质量要求。

### （二）铁路领域

铁路领域标准规范聚焦安全与高效，覆盖铁路建设、装备制造、运输运营等环节。核心技术标准包括《铁路线路设计规范》《铁路桥涵工程施工质量验收标准》《高速铁路设计规范》等，明确铁路线路、桥涵、隧道的设计参数与施工技术要求，特别是高速铁路的无砟轨道、牵引供电等专项技术标准；装备标准包括《铁路机车车辆设计制造标准》《铁路通信信号设备标准》等，规范机车车辆、通信信号等装备的技术性能与质量要求；运营标准包括《铁路运输安全管理标准》《铁路旅客运输服务质量标准》等，规定运输安全操作流程、旅客服务质量指标与应急处置要求。

### （三）水路领域

水路领域标准规范涵盖港口、航道、船舶、水路运输等环节。核心技术标准包括《港口工程技术规范》《航道工程设计规范》《内河通航标准》等，明确港口码头建设、航道疏浚、通航水域划分的技术要求；船舶标准包括《船舶建造规范》《船舶安全标准》等，规范船舶设计、建造、检验的技术指标与安全要求；运输标准包括《水路货物运输规则》《内河旅客运输服务规范》等，规定水路运输的操作流程、货物装卸要求与旅客服务标准；安全环保标准包括《港口环境保护标准》《船舶污染物排放标准》等，明确港口与船舶的污染防治要求。

### （四）民航领域

民航领域标准规范严格对接国际标准，覆盖机场建设、航空器运行、空管保

障等环节。核心技术标准包括《民用机场工程技术标准》《航空器设计制造标准》等，明确机场跑道、航站楼建设技术要求，航空器的气动性能、结构强度等技术指标；运行标准包括《民用航空飞行规则》《空中交通管理标准》等，规范飞行操作流程、空管指挥程序与航班运行管理；安全标准包括《民用航空安全保卫标准》《航空器适航标准》等，规定安全保卫措施、航空器适航检验要求；服务标准包括《民航旅客运输服务规范》《机场服务质量标准》等，明确旅客购票、值机、候机等环节的服务要求。

### （五）城市交通领域

城市交通领域标准规范聚焦城市道路、公共交通、慢行交通等环节。核心技术标准包括《城市道路工程设计规范》《城市轨道交通技术规范》等，明确城市道路等级划分、交叉口设计、轨道交通线路与车站设计要求；运营标准包括《城市公共汽电车运营服务规范》《城市轨道交通运营管理规定》等，规定公交、轨道交通的运营间隔、行车安全、服务质量指标；慢行交通标准包括《城市步行和自行车交通系统规划设计标准》，规范人行道、自行车道的建设要求与衔接设计；智能交通标准包括《城市交通信号控制系统技术要求》《智能公交系统技术规范》等，明确智能交通设备的技术参数与系统集成要求。

## 三、标准规范的实施与监管

### （一）实施机制

交通标准规范实施实行“分层推进、分类落实”的机制。强制性标准通过法律法规强制要求行业主体执行，纳入项目审批、质量验收、执法检查的必查内容；推荐性标准通过政策引导、项目示范、评优评先等方式鼓励行业主体采用。建立标准实施培训机制，由行业主管部门、标准化技术委员会组织开展标准解读与技术培训，提升从业人员对标准的理解与执行能力；编制标准实施指南，细化标准条款的操作流程与技术要点，为标准落地提供实操依据；推动企业建立标准实施内部管理制度，将标准要求融入生产经营各环节，确保标准有效执行。

### （二）监督检查机制

构建“政府监管、行业自律、社会监督”的多元监督检查机制。政府监管方面，行业主管部门与标准化行政主管部门定期开展标准实施专项检查，重点检查强制性标准执行情况，对违反标准的行为依法予以处罚；行业自律方面，通过行

业协会制定自律公约，引导企业自觉遵守标准，开展企业间标准实施情况互查互评；社会监督方面，建立标准实施投诉举报机制，鼓励公众、媒体对违反标准的行为进行监督，及时向监管部门反馈问题。同时，建立标准实施效果评估机制，定期评估标准实施对交通质量、安全、效率的提升作用，为标准修订提供依据。

### （三）实施效果评估

标准实施效果评估围绕“技术可行性、经济合理性、安全有效性、社会适应性”四大维度开展。技术可行性评估聚焦标准技术要求的可操作性与先进性，判断标准是否符合行业技术发展水平；经济合理性评估分析标准实施的成本与效益，评估标准对行业经济效益的提升作用；安全有效性评估统计标准实施后交通事故发生率、设施故障率等指标的变化，判断标准对安全保障的提升效果；社会适应性评估收集公众、企业对标准实施的意见建议，判断标准是否符合社会需求。评估采用定量分析与定性分析相结合的方法，形成评估报告，为标准修订与完善提供科学依据。

## 第四节 交通投融资政策

### 一、核心内涵与政策定位

#### （一）核心内涵界定

交通投融资政策是国家及地方为保障交通基础设施建设、运营及维护资金需求，规范资金筹集、使用、管理及监管全流程而制定的一系列规则、措施与制度的总和。其核心要素涵盖投融资主体、资金来源渠道、投融资模式、风险防控机制及收益分配规则，贯穿交通项目规划、建设、运营、养护全生命周期。交通投融资政策具有公共性，优先保障公益性交通项目资金供给；具有引导性，通过财政杠杆与政策激励吸引社会资本参与；具有规范性，明确各类资金使用边界与管理要求；具有动态性，随交通发展阶段、财政状况及市场环境调整优化。

#### （二）政策核心定位

交通投融资政策定位为交通高质量发展的资金保障核心支撑。一是保障重大交通项目落地，聚焦国家综合立体交通网、区域交通枢纽等战略项目，通过多元资金筹措机制破解资金瓶颈；二是优化资源配置效率，引导资金向中西部地区、

农村地区等交通薄弱环节倾斜，推动区域交通协调发展；三是激发市场活力，通过市场化改革拓宽投融资渠道，引导社会资本参与交通项目建设运营；四是防控投融资风险，建立全流程风险监管体系，保障资金安全与项目可持续运营；五是推动交通与产业融合，通过投融资政策引导交通项目与沿线产业、城市发展深度衔接，提升投资综合效益。

## 二、投融资主体与资金来源体系

### （一）核心投融资主体

政府主体承担公益性、战略性交通项目主导投融资责任。中央政府通过财政转移支付、专项债券等方式支持跨区域、国家级重大交通项目；地方政府依托交通投资集团、城投公司等平台公司，落实区域内交通项目投融资任务，统筹项目建设与运营。市场主体为经营性、准经营性交通项目投融资重要力量，包括国有企业、民营企业、外资企业等，通过特许经营、股权合作等模式参与项目投资、建设及运营。金融机构提供资金融通支持，包括商业银行、政策性银行、保险机构、证券公司等，通过贷款、债券承销、股权投资等金融产品满足交通项目资金需求。此外，社会组织及公众通过 PPP 项目社会资本方、公益捐赠等方式参与部分交通项目投融资。

### （二）多元资金来源渠道

财政资金是交通投融资基础保障，包括中央财政一般公共预算、政府性基金预算、专项转移支付等。中央财政通过车辆购置税、成品油消费税等专项收入安排交通专项资金，重点支持国家高速公路、国省干线公路等项目；地方财政通过一般公共预算安排交通建设资金，结合土地出让收益等政府性基金补充资金缺口。政府债务资金为重大项目重要补充，包括地方政府专项债券、一般债券，其中交通基础设施专项债券定向用于收费公路、轨道交通等有一定收益的交通项目。

社会资本通过市场化方式参与投资，渠道包括特许经营收入、股权融资、债权融资等。特许经营模式下，社会资本通过项目运营收益回收投资；股权融资通过上市、私募股权等方式募集资金；债权融资通过发行企业债券、公司债券等获取资金。金融资本通过信贷、证券化等产品提供支持，政策性银行提供长期、低息专项贷款，商业银行提供项目贷款、流动资金贷款等，保险资金通过债权投资计划、股权投资计划等方式参与长期交通项目投资。此外，通过 REITs、资产证

券化等方式盘活存量交通资产，实现资金循环利用。

### 三、主要投融资模式与适用场景

#### （一）政府主导型模式

政府直接投资模式适用于纯公益性交通项目，包括农村公路、普通国省干线公路、城市公共交通等，资金主要来源于财政资金，项目建设与运营由政府部门或国有企业负责，不追求盈利，以保障公共服务供给为核心目标。政府补贴模式适用于准经营性项目，政府通过运营补贴、可行性缺口补助等方式弥补项目收益不足，吸引社会资本参与建设运营，如城市轨道交通、跨江跨海大桥等项目，补贴方式包括定额补贴、按运营里程补贴、按客流量补贴等。

#### （二）市场主导型模式

特许经营模式适用于有稳定收益的经营性交通项目，包括高速公路、收费桥梁、港口码头等。政府通过公开招标等方式授予社会资本特许经营权，社会资本负责项目投资、建设、运营及维护，在特许经营期内通过收费等方式获取收益，特许经营期满后项目无偿移交政府。常见特许经营方式包括 BOT（建设 - 运营 - 移交）、BOOT（建设 - 拥有 - 运营 - 移交）、TOT（移交 - 运营 - 移交）等，其中 TOT 模式适用于盘活存量交通资产，通过转让存量资产经营权募集资金用于新建项目。

#### （三）政社合作型模式

PPP（政府和社会资本合作）模式适用于投资规模大、建设周期长、运营风险较高的准经营性或经营性项目，如综合交通枢纽、城市轨道交通、智慧交通项目等。政府与社会资本通过签署合作协议明确权利义务，共同成立项目公司负责项目实施，政府负责政策支持与监管，社会资本负责项目建设运营，收益共享、风险共担。合作方式包括股权合作、委托运营、管理合同等，通过合理的风险分担机制降低社会资本投资风险，提升项目可行性。

#### （四）创新投融资模式

交通基础设施 REITs 模式适用于存量优质交通资产，通过发行基础设施证券投资基金，将存量资产转化为资本市场可交易的证券，盘活存量资产，募集资金用于新建交通项目。适用于高速公路、产业园区配套交通设施等有稳定现金流的资产，要求项目运营成熟、收益稳定。绿色金融模式适用于绿色交通项目，包括

新能源汽车充电设施、低碳交通基础设施、交通节能减排项目等，通过发行绿色债券、绿色信贷、绿色基金等方式募集资金，享受利率优惠、财政贴息等政策支持。

### 四、风险防控与监管机制

#### （一）风险识别与分担机制

交通投融资风险包括政策风险、市场风险、财务风险、建设风险、运营风险等。政策风险包括税收政策调整、收费标准变动等，主要由政府承担；市场风险包括客流量不足、原材料价格上涨等，由社会资本为主承担；建设风险包括工期延误、工程质量问题等，由项目建设方承担；运营风险包括运营成本超支、服务质量不达标等，由运营方承担；财务风险包括资金链断裂、利率波动等，由政府与社会资本合理分担。通过签署合作协议明确风险分担边界，建立风险预警机制，及时识别并处置风险。

#### （二）资金监管机制

建立全流程资金监管体系，规范资金筹集、使用、拨付全流程管理。财政资金实行专款专用，纳入预算管理，严格执行国库集中支付制度，确保资金用于交通项目建设运营；政府债务资金严格按照批准的用途使用，严控债务规模，防范隐性债务风险。社会资本资金通过项目公司专户管理，监管部门对资金使用情况定期进行定期检查，防止资金挪用、闲置。建立资金使用绩效评价机制，对资金使用效率、项目建设进度、运营效益等进行评估，评估结果与资金拨付、补贴发放挂钩。

#### （三）项目全生命周期监管

项目前期监管聚焦项目可行性论证与审批，严格审查项目投资估算、融资方案、收益预测等，确保项目规划科学、融资可行。建设阶段监管重点关注工程质量、建设进度与安全生产，通过招投标监管、工程监理、质量抽检等方式保障项目建设质量，防止工程腐败与质量隐患。运营阶段监管聚焦服务质量与收益分配，明确运营服务标准，定期开展服务质量评估，规范收费行为，保障公众合法权益。项目移交阶段监管严格审查项目资产状况、运营维护资料等，确保项目顺利移交。

## 第五节 交通科技创新政策

### 一、核心内涵与战略定位

#### （一）核心内涵界定

交通科技创新政策是国家及地方为推动交通领域技术创新、产品创新、模式创新及管理创新，规范创新活动开展、保障创新资源配置、激励创新成果转化而制定的一系列规则、措施与制度的总和。其核心要素涵盖创新主体培育、创新资源保障、创新平台建设、成果转化机制、创新激励与监管，覆盖基础研究、应用研究、技术开发、成果产业化全创新链条。交通科技创新政策具有前瞻性，聚焦前沿技术研发与应用；具有激励性，通过资金支持、税收优惠等方式激发创新活力；具有协同性，推动产学研用深度融合；具有开放性，鼓励国际科技创新合作。

#### （二）战略核心定位

交通科技创新政策定位为推动交通高质量发展的核心驱动力。一是突破关键技术瓶颈，解决交通领域“卡脖子”技术问题，提升交通技术自主可控水平；二是推动交通产业转型升级，促进智能交通、绿色交通、智慧物流等新兴产业发展，提升交通产业核心竞争力；三是提升交通系统运行效率，通过技术创新优化交通规划、建设、运营全流程管理，缓解交通拥堵，提升出行体验；四是强化交通安全保障，通过技术创新提升交通设施安全性能、风险预警能力与应急处置水平；五是支撑交通强国建设，以科技创新引领交通领域质量变革、效率变革、动力变革，实现交通现代化。

### 二、创新主体培育与资源保障

#### （一）多元创新主体培育

企业是交通科技创新主体，重点培育交通装备制造企业、交通运营企业、科技型中小企业等创新主体。支持龙头企业组建创新联合体，牵头开展关键核心技术攻关，推动技术创新与产业应用深度融合。科研院所与高校是基础研究与应用研究核心力量，支持其开展交通领域基础理论研究、前沿技术研发，培养科技创新人才。社会组织包括行业协会、学会等，发挥桥梁纽带作用，推动创新主体间协同合作，开展技术交流、标准制定、成果评价等活动。政府部门负责政策制定、

创新引导与环境营造，保障创新活动有序开展。<sup>①</sup>

## （二）创新资源保障体系

资金保障方面，建立多元化科技创新投入体系，包括财政科技专项资金、企业研发投入、金融资本支持等。中央与地方财政设立交通科技创新专项基金，重点支持基础研究、关键核心技术攻关与成果转化；落实研发费用加计扣除、高新技术企业税收优惠等政策，激励企业加大研发投入；鼓励金融机构开发科技信贷、科技保险、知识产权质押融资等产品，支持交通科技创新项目。人才保障方面，建立交通科技创新人才培养与引进机制，培养高层次领军人才、青年科技人才与技能型人才；完善人才评价与激励机制，将科技创新成果纳入人才评价指标体系，给予人才科研经费、住房、子女教育等保障。

知识产权保障方面，完善交通领域知识产权保护制度，加强专利、商标、版权等知识产权保护，严厉打击侵权行为；建立知识产权交易平台，促进科技创新成果知识产权转化与交易；支持创新主体开展知识产权布局，提升核心技术知识产权竞争力。数据资源保障方面，建立交通数据共享开放机制，整合交通运行数据、基础设施数据、出行数据等多源数据，为科技创新提供数据支撑；完善交通数据安全管理制度，保障数据采集、存储、使用全流程安全。

## 三、重点创新领域与政策导向

### （一）智能交通技术创新

政策重点支持自动驾驶技术研发与应用，包括自动驾驶车辆核心技术、测试评价体系、道路适配技术等，推动自动驾驶在城市公交、物流运输、高速公路等场景商业化应用。支持智能交通基础设施建设，包括智能道路、智能信号控制系统、车路协同系统等，推动交通基础设施数字化、网络化、智能化升级。支持智慧交通管理平台建设，整合多源交通数据，实现交通运行实时监测、智能调度与精准管控。鼓励交通大数据与人工智能技术融合应用，提升交通规划、运营管理的智能化水平。

### （二）绿色交通技术创新

政策导向推动新能源交通装备研发与应用，包括新能源汽车、新能源船舶、

---

a 聂代容. 基于研究型审计的科技创新政策落实跟踪审计研究 [D]. 西南政法大学, 2023.

新能源航空器等，提升新能源装备性能与可靠性；完善新能源交通装备配套基础设施，包括充电设施、换电设施、加氢设施等，提升基础设施覆盖率与使用效率。支持交通节能减排技术研发，包括高效动力系统、轻量化材料、节能照明技术等，降低交通领域能源消耗与碳排放。鼓励循环利用技术应用，包括废旧交通设施回收利用、路面材料再生利用等，推动交通领域资源循环利用。

### （三）交通基础设施技术创新

重点支持新型交通基础设施技术研发，包括智慧公路、智慧港口、智慧机场、智能轨道交通等，推动交通基础设施与 5G、物联网、大数据等技术融合发展。支持先进建造技术研发与应用，包括装配式建造、智能化施工、机器人建造等，提升交通基础设施建设效率与质量；研发耐久性、高强度、绿色环保的新型建筑材料，提升交通基础设施使用寿命与安全性能。支持交通基础设施养护技术创新，包括智能化监测、预防性养护、快速修复技术等，降低养护成本，提升养护效率。

### （四）综合交通与物流技术创新

政策鼓励综合交通衔接技术创新，包括多式联运技术、枢纽智能化衔接技术等，提升不同交通方式的衔接效率。支持智慧物流技术研发与应用，包括智能仓储、智能分拣、无人配送等，推动物流运输智能化、高效化发展。鼓励物流信息平台建设，整合物流资源，实现货源、运力、仓储等信息精准匹配，降低物流成本。支持绿色物流技术创新，包括电动货车、氢燃料物流车、循环包装等，推动物流领域绿色低碳转型。

## 四、创新平台建设成果转化机制

### （一）科技创新平台体系

建设国家级交通科技创新平台，包括国家重点实验室、国家工程技术研究中心、国家技术创新中心等，聚焦基础研究与关键核心技术攻关，提升国家交通科技创新能力。建设行业级科技创新平台，包括行业重点实验室、工程技术研究中心等，针对行业共性技术问题开展研发，推动技术创新与行业需求对接。建设企业级科技创新平台，包括企业技术中心、研发中心等，提升企业自主创新能力，推动技术创新与产业应用深度融合。建设科技创新服务平台，包括技术转移中心、知识产权服务中心、检验检测中心等，为创新主体提供技术服务、成果转化、检验检测等支撑。

## （二）成果转化机制建设

建立产学研用协同创新机制，推动企业、科研院所、高校深度合作，共同开展技术研发与成果转化，形成“研发 - 中试 - 产业化”全链条创新体系。完善科技创新成果评价机制，建立以市场需求为导向的成果评价标准，注重成果的实用性与产业化前景。建立科技创新成果转移转化激励机制，落实成果转化收益分配政策，给予科研人员成果转化现金奖励、股权奖励等，激发科研人员成果转化积极性。建设交通科技创新成果展示与交易平台，促进创新成果供需对接，推动创新成果产业化应用。

## （三）创新试点示范推广

开展交通科技创新试点示范，选择具备条件的区域、项目开展创新技术试点应用，如自动驾驶试点城市、智慧交通试点项目、绿色交通示范工程等，总结试点经验，形成可复制、可推广的模式。建立创新技术推广机制，通过政策引导、标准支撑、资金支持等方式，推动成熟的科技创新成果在全国范围内推广应用。鼓励创新主体参与标准制定，将自主创新技术纳入行业标准、国家标准，提升创新成果市场竞争力。



## 第八章 交通工程发展趋势

### 第一节 智慧交通系统

#### 一、核心内涵与技术架构

##### （一）核心内涵界定

智慧交通系统是依托新一代信息技术，深度融合交通工程、人工智能、大数据、物联网等多领域技术，实现交通设施数字化、交通运行智能化、交通服务精准化的新型交通运行体系。其核心目标是通过数据驱动的全流程管理，优化交通资源配置，提升交通系统运行效率，降低交通拥堵，强化交通安全保障，改善公众出行体验。智慧交通系统具有全域感知、协同联动、智能决策、精准服务四大核心特征，覆盖交通规划、建设、运营、管理、服务全生命周期，是交通工程数字化转型的核心载体。

##### （二）核心技术架构

智慧交通系统技术架构呈现“感知 - 传输 - 计算 - 应用”四层体系。感知层通过路侧传感器、车载终端、卫星定位、视频监控等设备，实现对交通流、交通设施、出行行为、环境条件的全域精准感知；传输层依托 5G、光纤通信、车联网（V2X）等通信技术，构建低延迟、高可靠、广覆盖的交通数据传输网络，保障多源数据实时交互；计算层通过边缘计算、云计算、大数据分析平台，实现对海量交通数据的存储、处理、分析与挖掘，支撑智能决策；应用层聚焦交通管理、出行服务、物流运输等场景，部署智能调度、交通管控、出行导航、智慧物流等应用系统，实现技术成果落地赋能。

#### 二、关键技术突破方向

##### （一）全域感知技术

突破多源感知融合技术，整合毫米波雷达、激光雷达、高清摄像头、红外传感器等多类型设备感知数据，提升交通状态感知的精度与可靠性。发展车路协同

感知技术,通过车载单元与路侧单元的实时通信,实现车与车、车与路、车与人的全方位信息交互,拓展感知范围与深度。推进空天地一体化感知网络建设,结合卫星遥感、无人机巡查等技术,实现对大范围交通网络、重大交通事件的全域动态监测,弥补地面感知盲区。<sup>①</sup>

## （二）智能决策与调度技术

研发基于人工智能的交通流预测模型,利用深度学习、强化学习等算法,结合历史交通数据、实时路况、天气信息等多源数据,实现对交通流的短期精准预测与中长期趋势研判。构建动态智能调度系统,针对城市公交、轨道交通、货运物流等不同交通场景,实现运力资源的实时优化配置与动态调整。突破交通事件智能处置技术,通过 AI 图像识别自动检测交通事故、道路拥堵、违规行驶等事件,自动生成处置方案并推送至相关部门,提升事件响应与处置效率。

## （三）车路协同与自动驾驶技术

推进车路协同(V2X)技术升级,实现路侧设施与车辆的高频次、低延迟通信,支持闯红灯预警、交叉路口碰撞预警、车道偏离预警等安全服务功能落地。突破高阶自动驾驶技术,重点研发 L4 及以上级别自动驾驶核心算法、冗余控制系统、高精度定位与地图匹配技术,提升自动驾驶车辆在复杂路况、恶劣天气下的适应能力。构建自动驾驶测试与验证体系,建设封闭测试场、半开放测试道路与开放测试区域,形成覆盖不同场景的测试验证网络,为自动驾驶商业化应用提供支撑。

# 三、典型应用场景落地

## （一）城市智能交通管控

建设城市智慧交通管控平台,整合路口信号控制、交通流量监测、违章抓拍等系统,实现对城市交通网络的全域动态管控。推行自适应信号控制系统,根据实时交通流量自动调整信号配时,减少路口排队等待时间;部署智能潮汐车道、可变导向车道等动态交通组织设施,提升道路资源利用率。应用交通大数据分析优化城市交通规划,精准识别交通拥堵节点,为道路改造、公交线网优化提供科学依据。

## （二）智慧出行服务

打造一体化智慧出行服务平台,整合公交、地铁、网约车、共享单车、长途

---

① 李子豪,杨腾,李想. 5G 技术在智慧交通系统中的实用前景 [J]. 智慧中国, 2025, (10): 48-49.

客运等多种出行方式，提供出行规划、实时票务、车辆预约、到站提醒等一站式服务。推广个性化出行推荐服务，基于用户出行习惯、实时路况数据，为用户推送最优出行路线与方式选择。发展智慧停车服务，通过车位探测、智能导航、无感支付等技术，实现停车资源的精准匹配与高效利用，缓解“停车难”问题。

### （三）智慧物流与货运管理

构建智慧物流信息平台，整合货源、运力、仓储、物流节点等信息资源，实现物流资源的精准匹配与高效调度，降低物流空驶率。推广智能仓储与分拣技术，应用自动化立体仓库、智能分拣机器人、无人叉车等设备，提升仓储作业效率与分拣精度。发展无人配送与智慧货运车队，在封闭园区、城市末端配送等场景推广无人配送车，在高速公路、干线运输场景推进智能货运车队应用，提升货运运输效率与安全性。

## 第二节 绿色交通发展

### 一、核心内涵与发展目标

#### （一）核心内涵界定

绿色交通发展是以生态文明理念为引领，以降低能源消耗、减少污染物排放、保护生态环境为核心，构建低污染、低能耗、高效率、可持续的交通体系。其核心要义是通过交通结构优化、技术创新、管理升级等手段，推动交通发展与生态环境协调共生，实现交通领域碳达峰与碳中和目标。绿色交通发展涵盖绿色交通设施建设、绿色交通工具推广、绿色出行模式倡导、交通节能减排技术应用等多个维度，是交通工程可持续发展的重要支撑。

#### （二）核心发展目标

短期目标聚焦交通领域节能减排，大幅提升新能源交通工具占比，完善绿色交通基础设施网络，降低单位运输量能源消耗与碳排放强度。中期目标推动交通结构深度优化，构建以公共交通、慢行交通为主体的绿色出行体系，提升绿色出行比例，显著降低交通领域污染物排放总量。长期目标实现交通系统全生命周期绿色化，建立健全绿色交通发展制度体系与技术创新体系，推动交通领域实现碳中和，形成交通与生态环境协调发展的长效机制。

## 二、关键发展方向

### （一）绿色交通设施建设

推进交通基础设施绿色化升级，在道路、桥梁、隧道等项目建设中采用环保型材料、节能型设备，减少对生态环境的破坏。建设绿色公路，推广低影响开发技术，减少路基开挖对周边植被的破坏，采用路面材料再生利用技术，提升资源循环利用效率。打造绿色港口与绿色机场，推广港口岸电、机场桥载设备等节能设施，建设港口污水与垃圾处理系统，降低港口与机场运营对周边环境的影响。完善慢行交通设施网络，建设连续、安全的人行道、自行车道系统，推进自行车道与公交站点、居住区、商业区的无缝衔接。

### （二）绿色交通工具推广

加大新能源交通工具推广力度，在城市公交、出租车、网约车、物流配送等领域全面推广新能源车辆，逐步替代传统燃油车辆。推进新能源船舶、新能源航空器研发与应用，提升新能源船舶在内河航运、沿海运输中的应用比例，探索新能源航空器在通用航空领域的应用。完善新能源交通工具配套基础设施，构建覆盖城乡的充电网络、换电网络与加氢网络，提升充电设施的覆盖率与使用便利性。推广智能充电技术，发展有序充电、V2G（车辆到电网）等技术，提升充电网络运行效率与电网负荷调节能力。<sup>①</sup>

### （三）绿色出行模式倡导

强化公共交通优先发展战略，优化公交线网布局，提升公交运营效率与服务质量，推进公交与轨道交通、慢行交通的无缝衔接，提升公共交通出行比例。推广共享出行模式，规范发展共享单车、共享汽车等共享交通业态，优化共享交通停放管理，提升共享出行的便利性与安全性。开展绿色出行宣传教育，通过多种渠道普及绿色出行理念，引导公众主动选择公共交通、自行车、步行等绿色出行方式，形成绿色出行自觉。

### （四）交通节能减排技术创新

研发推广交通领域节能技术，包括高效动力系统、轻量化材料、节能照明设备等，降低交通工具与交通设施的能源消耗。发展交通碳排放控制技术，推广碳捕集、利用与封存技术在交通基础设施中的应用，探索交通项目碳汇核算方法。

---

<sup>①</sup> 陈先龙, 朱凯, 马毅林. 基于全程出行的绿色交通经典范式思考 [J]. 交通与运输, 2025, 41 (05): 93-98.

推进交通能源结构优化，推广可再生能源在交通领域的应用，如光伏路面、风能发电在交通设施中的集成应用，降低对传统化石能源的依赖。

### 三、政策保障与实施机制

#### （一）政策体系构建

完善绿色交通发展法律法规，出台绿色交通促进条例，明确绿色交通发展的责任主体、发展要求与保障措施。制定绿色交通财政激励政策，设立绿色交通发展专项基金，对新能源交通工具购置、绿色交通设施建设、节能减排技术应用等给予补贴支持。实施差异化交通管理政策，通过限行、限购、拥堵收费等措施，抑制传统燃油车辆过度使用，引导公众选择绿色出行方式。建立绿色交通标准体系，制定交通基础设施绿色化评价标准、新能源交通工具技术标准、交通碳排放核算标准等。

#### （二）实施机制完善

建立跨部门协同推进机制，明确交通、环保、发改、财政等部门的职责分工，加强部门间协调配合，形成工作合力。推行绿色交通项目示范引领机制，建设绿色交通示范城市、示范园区、示范项目，总结可复制、可推广的经验模式。建立绿色交通发展监测评价机制，构建涵盖能源消耗、碳排放、污染物排放等指标的监测体系，定期开展评价工作，跟踪政策实施效果。鼓励社会资本参与绿色交通发展，通过 PPP、特许经营等模式，引导社会资本投入绿色交通项目建设与运营。

## 第三节 综合交通体系

### 一、核心内涵与构建原则

#### （一）核心内涵界定

综合交通体系是统筹铁路、公路、水路、民航、邮政等多种交通方式，构建布局合理、结构优化、衔接顺畅、功能完善、高效便捷的一体化交通网络体系。其核心特征是“一体化”，涵盖规划一体化、建设一体化、运营一体化、管理一体化、服务一体化，通过打破不同交通方式之间的壁垒，实现交通资源的优化配置与高效利用，提升综合运输效率，满足人民群众多样化的出行与物流需求。综

合交通体系是支撑区域协调发展、城乡融合发展的重要基础设施保障。

## （二）核心构建原则

坚持规划引领原则，编制综合交通发展规划，统筹各类交通方式的规划布局，实现交通规划与国土空间规划、区域发展规划的衔接协调。坚持衔接顺畅原则，重点加强综合交通枢纽、不同交通方式衔接节点的建设，实现旅客运输“零距离换乘”与货物运输“无缝衔接”。坚持因地制宜原则，结合不同区域的经济社会发展水平、自然地理条件、交通需求特征，合理布局交通网络，优化交通结构。坚持高效便捷原则，以提升运输效率、改善服务质量为核心，优化交通运营管理，提升综合交通服务水平。坚持绿色安全原则，在综合交通体系构建过程中融入绿色发展理念，强化交通安全保障。

## 二、关键构建内容

### （一）综合交通网络布局优化

完善国家级综合交通网络，构建“八纵八横”高速铁路网、国家高速公路网、全国内河高等级航道网等骨干交通网络，强化跨区域、远距离交通保障能力。优化区域综合交通网络，加强城市群、都市圈内部交通网络建设，推进城际铁路、市域铁路、城市快速路等建设，提升区域交通互联互通水平。补齐农村交通网络短板，推进“四好农村路”高质量发展，完善农村公路、水路网络，加强农村交通与城市交通的衔接，支撑乡村振兴。

### （二）综合交通枢纽建设

建设国家级综合交通枢纽，聚焦全国性中心城市，打造集铁路、公路、民航、城市轨道交通等多种交通方式于一体的综合交通枢纽，提升全国性交通集散与中转能力。推进区域级综合交通枢纽建设，依托区域中心城市，构建区域性交通枢纽，加强区域内交通衔接与集散。完善城市综合交通枢纽，优化城市内部公交枢纽、轨道交通换乘枢纽、公路客运站等布局，实现城市内部不同交通方式的高效衔接。提升枢纽智能化水平，建设智慧枢纽平台，整合枢纽内各类交通信息，提供一站式出行与物流服务。

### （三）多式联运发展

推进旅客多式联运发展，优化旅客运输衔接流程，推行联程联运、一票制服务，提升旅客换乘便利性。发展货物多式联运，重点推广铁水联运、公铁联运、

公水联运等模式，优化货物运输组织流程，减少货物装卸次数，降低物流成本。完善多式联运基础设施，建设多式联运枢纽、换装设施、转运通道等，提升多式联运硬件保障能力。推广标准化联运装备，使用标准化集装箱、托盘等装备，提升多式联运效率。构建多式联运信息平台，整合不同交通方式的货运信息，实现货物运输全程可视化跟踪与调度。

#### （四）综合交通运营管理一体化

建立综合交通运营协调机制，加强不同交通方式运营企业之间的沟通协调，优化运营计划与调度方案，提升运营协同效率。推进交通信息资源一体化共享，构建综合交通信息共享平台，整合铁路、公路、水路、民航等交通方式的运行信息、票务信息、服务信息等，实现信息互联互通。推行一体化交通服务，整合不同交通方式的服务资源，提供一站式购票、出行规划、行李托运等服务，提升旅客出行体验；为货主提供全程物流解决方案，实现货物运输的一体化服务。

### 三、发展挑战与推进策略

#### （一）核心挑战

管理体制壁垒尚未完全打破，不同交通方式分属不同部门管理，存在规划不协调、运营不同步、信息不共享等问题。交通衔接节点建设滞后，部分综合交通枢纽、不同交通方式衔接节点存在功能不完善、换乘距离远、衔接效率低等问题。多式联运发展水平不高，存在联运设施不足、标准化程度低、信息不畅通等问题，制约了综合运输效率提升。综合交通规划与区域发展需求衔接不够紧密，部分交通项目存在同质化建设、资源浪费等现象。

#### （二）推进策略

深化综合交通管理体制变革，建立统一的综合交通管理机构，统筹协调各类交通方式的规划、建设、运营与管理，打破管理壁垒。加大综合交通衔接节点建设投入，重点提升综合交通枢纽、换乘中心的功能，优化衔接流程，缩短换乘距离，提升衔接效率。加快多式联运发展，完善多式联运基础设施，推广标准化联运装备，构建多式联运信息平台，提升多式联运一体化水平。强化综合交通规划与区域发展的衔接，结合区域经济社会发展需求，科学编制综合交通规划，优化交通网络布局，提升交通对区域发展的支撑能力。<sup>①</sup>

<sup>①</sup> 吴利红. 加快建设现代化综合交通基础设施体系 [N]. 黑龙江日报, 2025-12-04 (002).

## 第四节 交通可持续发展

### 一、核心内涵与核心维度

#### （一）核心内涵界定

交通可持续发展是指在满足当代人交通需求的同时，不损害后代人满足其交通需求的能力，实现交通发展与经济、社会、环境协调共生的发展模式。其核心要义是兼顾经济效率、社会公平、环境友好三大目标，通过合理规划、技术创新、管理优化等手段，实现交通系统的长期稳定运行与良性发展。交通可持续发展涵盖经济可持续、社会可持续、环境可持续三个核心维度，是交通工程发展的终极目标，也是推进交通强国建设的重要支撑。

#### （二）核心维度解析

经济可持续维度聚焦交通发展的经济效益与效率，通过优化交通网络布局、提升运输效率、降低物流成本，推动交通与产业融合发展，支撑经济高质量发展。要求交通项目投资合理、运营高效，实现交通资源的优化配置，提升交通对经济增长的贡献率。社会可持续维度聚焦交通发展的公平性与包容性，保障不同区域、不同群体的交通出行需求，缩小城乡、区域交通发展差距，提升交通服务的均等化水平。要求完善农村交通网络、保障弱势群体出行权益、提升公共交通服务覆盖范围。环境可持续维度聚焦交通发展与生态环境的协调，降低交通领域能源消耗与污染物排放，保护生态环境，实现交通领域碳达峰与碳中和目标，这也是绿色交通发展的核心目标。

### 二、关键推进路径

#### （一）交通规划可持续化

推行可持续交通规划理念，将经济、社会、环境效益统筹纳入交通规划评价体系，避免单纯追求规模扩张的规划模式。开展交通规划环境影响评价与社会影响评价，预测交通项目对生态环境、社会民生的潜在影响，提前制定应对措施。优化交通用地规划，节约集约利用土地资源，避免交通项目过度占用耕地、林地等优质资源。推进交通规划与城市发展、产业布局、生态保护等规划的协同衔接，实现交通与相关领域的协调发展。

## （二）交通基础设施全生命周期可持续化

在交通基础设施建设阶段，采用环保型、节能型、耐久性强的材料与技术，减少建设过程中的能源消耗与环境破坏；推行装配式建造、智能化施工等绿色建造方式，提升建设效率与质量。在运营阶段，加强交通设施养护管理，推广预防性养护技术，延长设施使用寿命；优化运营流程，降低运营成本与能源消耗。在废弃阶段，推进交通设施拆除材料的回收利用，实现资源循环利用，减少建筑垃圾污染。建立交通基础设施全生命周期管理体系，实现对设施规划、建设、运营、废弃全流程的可持续化管理。

## （三）交通需求管理优化

实施差异化交通需求管理政策，通过拥堵收费、限行限购、停车收费调节等措施，引导交通需求合理分布，减少高峰时段、核心区域的交通压力。推广弹性工作制、远程办公等新型工作模式，减少通勤交通需求。优化城市空间布局，推进职住平衡，缩短居民通勤距离，减少不必要的交通出行。加强交通需求预测与分析，为交通规划、运营管理提供科学依据，提升交通需求管理的精准性。

## （四）交通与社会民生融合发展

提升交通服务均等化水平，加大对农村地区、欠发达地区交通投入，完善交通网络，提升交通服务质量，缩小城乡、区域交通差距。保障弱势群体交通权益，在交通设施建设中考虑老年人、残疾人等群体的出行需求，建设无障碍交通设施；优化公交服务，提升公共交通对弱势群体的覆盖与适配性。推进交通与文旅、康养等产业融合发展，建设旅游风景道、康养交通专线等，提升交通的社会服务功能。加强交通安全管理，完善交通安全设施，提升交通参与者安全意识，减少交通事故，保障公众出行安全。

# 三、保障体系与长效机制

## （一）制度保障体系构建

完善交通可持续发展法律法规，出台交通可持续发展促进条例，明确交通可持续发展的目标、任务与保障措施。建立交通可持续发展评价指标体系，涵盖经济、社会、环境等多个维度，定期开展评价工作，跟踪发展成效。制定交通可持续发展激励政策，对践行可持续发展理念的交通项目、企业给予财政补贴、税收优惠等支持。加强交通可持续发展宣传教育，提升全社会对交通可持续发展的认

知与参与意识。

## （二）长效机制完善

建立跨部门协同推进机制，明确交通、发改、环保、财政、住建等部门的职责分工，加强部门间协调配合，形成推进交通可持续发展的工作合力。建立交通可持续发展监测预警机制，构建涵盖能源消耗、碳排放、交通拥堵、交通安全等指标的监测体系，及时发现问题并预警。推行交通可持续发展市场化机制，通过碳排放权交易、绿色金融等市场手段，引导社会资本参与交通可持续发展项目。加强交通可持续发展国际合作，借鉴国际先进经验，推动交通可持续发展理念与技术的国际化应用。

## 参考文献

- [1] 徐祥. 交通工程施工建设管理的创新变革与智能化趋势研究 [J]. 科技与创新, 2025, (23): 167-169.
- [2] 杜洁. 区块链视角下的交通建设资金管理研究 [J]. 河北企业, 2025, (12): 58-61.
- [3] 彭正杰. 轨道交通工程建设安全风险监控方法研究 [J]. 甘肃科技, 2025, 41 (11): 61-64.
- [4] 张宗峰. 交通工程施工安全风险管控研究 [J]. 运输经理世界, 2025, (26): 139-141.
- [5] 王家伟. 交通工程建设项目智慧安全管理系统设计与应用 [J]. 科技视界, 2025, 15 (22): 64-67.
- [6] 戚习习. 提高交通工程建设现场监理质量措施研究 [J]. 运输经理世界, 2025, (19): 56-58.
- [7] 王国爱,高岳,朱兆荣,等. 产品服务后质量时代交通工程质监策略与实践 [J]. 综合运输, 2025, 47 (06): 67-71.
- [8] 郝亚军. 交通工程监理中旁站监理的有效实施策略[C]// 《中国招标》期刊有限公司. 新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集 (三). 杭州交通工程监理咨询有限公司, 2025: 747-751.
- [9] 林庚钗. 城市道路平面几何线形优化设计研究 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4 (18): 63-65.
- [10] 刘宝谦,任振. 城市道路交叉口通行能力分析 with 优化设计 [J]. 时代汽车, 2025, (24): 181-183.
- [11] 林蕾. 居住区道路景观竖向设计方法探析 [J]. 美与时代(城市版), 2025, (07): 73-75.
- [12] 杨彩霞. 市政项目道路工程路基路面质量管理要点分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24 (20): 184-186.
- [13] 肖国锋. 道路桥梁隧道工程施工技术与安全监控分析 [J]. 城市建设理论研究

- (电子版), 2025, (29): 145-147.
- [14] 罗玉花. 公路交通安全设施工程施工质量控制探析 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6 (20): 34-36.
- [15] 周志林,张健,蒋利国,等. 交通信号控制与高清电子警察系统安装技术 [J]. 安装, 2025, (11): 58-60.
- [16] 何必元,王良善,罗智波,等. 数字化城市公共交通综合管理系统应用 [J]. 人民公交, 2025, (22): 41-43.
- [17] 李胜. 高速公路交通工程中的应急管理与安全预警研究 [J]. 汽车周刊, 2026, (01): 29-31.
- [18] 彭挺,周涛,蔡晓禹. 城市轨道交通网络系统效率评价指标改进 [J]. 铁道运输与经济, 2024, 46 (01): 147-154.
- [19] 王嘉,李莉. 我国轨道交通环境噪声影响评价标准分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28 (03): 35-39+44.
- [20] 马皓. 道路交通安全管理存在的问题及建议[C]// 江西省工程师联合会. 第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集 (三). 临夏回族自治州交通运输局, 2025: 312-315.
- [21] 聂代容. 基于研究型审计的科技创新政策落实跟踪审计研究[D]. 西南政法大学, 2023.
- [22] 李子豪,杨腾,李想. 5G技术在智慧交通系统中的实用前景 [J]. 智慧中国, 2025, (10): 48-49.
- [23] 陈先龙,朱凯,马毅林. 基于全程出行的绿色交通经典范式思考 [J]. 交通与运输, 2025, 41 (05): 93-98.
- [24] 吴利红. 加快建设现代化综合交通基础设施体系[N]. 黑龙江日报, 2025-12-04 (002).