

交通强国·高速公路智能建造工程示范系列

高速公路全要素智能建造 关键技术及其工程应用

(乐西高速卷)

周黎明 何刚 尹紫红 廖知勇
兰富安 陈非 乔科 肖波
欧海龙 白皓 冉光炯

著

西南交通大学出版社

·成都·

图书在版编目 (C I P) 数据

高速公路全要素智能建造关键技术及其工程应用. 乐
西高速卷 / 周黎明等著. —成都: 西南交通大学出版
社, 2021.5
(交通强国·高速公路智能建造工程示范系列)
ISBN 978-7-5643-8032-8

. 高... . 周... . 智能技术 - 应用 - 高速
公路 - 道路建设 - 研究 . U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 090581 号

交通强国·高速公路智能建造工程示范系列

Gaosu Gonglu Quanyaosu Zhineng Jianzao Guanjian Jishu Ji Qi Gongcheng Yingyong
(Le-Xi Gaosu Juan)

高速公路全要素智能建造关键技术及其工程应用
(乐西高速卷)

周黎明 何刚 尹紫红 廖知勇
兰富安 陈非 乔科 肖波 著
欧海龙 白皓 冉光炯

责任编辑 姜锡伟
封面设计 吴兵

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 170 mm × 230 mm

印 张 20.75

字 数 334 千

版 次 2021 年 5 月第 1 版

印 次 2021 年 5 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-8032-8

定 价 128.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

PREFACE

建设交通强国是党的十九大作出的重大战略决策。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央深刻把握新时代我国发展的阶段性特征，对交通事业发展作出一系列重要论述，提出了建设交通强国的时代课题。2019年9月，党中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》，就是按照习近平总书记重要论述和党的十九大决策部署制定的。建设交通强国是党中央赋予交通人的历史使命，是新时代做好交通工作的总抓手。

2019年9月，《交通运输部关于印发 数字交通发展规划纲要的通知》对我国数字交通的发展进行了规划，提出促进先进信息技术与交通运输深度融合，以“数据链”为主线，构建数字化的采集体系、网络化的传输体系和智能化的应用体系，加快交通运输信息化向数字化、网络化、智能化发展，为交通强国建设提供支撑的总体目标。

科技创新是交通强国建设的第一动力。未来交通技术装备呈现智能化、绿色化、高速化、重载化等发展趋势，要瞄准世界科技前沿，不断提升交通科技创新和应用水平。因此，交通强国具体目标为：加强新型载运工具和特种装备研发，推进装备技术升级，实现交通装备先进适用、完备可控；瞄准新一代信息技术、人工智能、智能制造、新材料、新能源等世界科技前沿，加强交通领域前瞻性、颠覆性技术研究；推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深度融合，不断提高行业全要素生产率。

推动交通基础设施规划、设计、建造、养护、运行管理等全要素、全周期数字化，既要构建覆盖全国的高精度交通地理信息平台，完善交通工程等要素信息，实现对物理设施的三维数字化呈现的具体要求，又要推动交通感知网络与交通基础设施同步规划建设，深化高速公路 ETC（电子不停车收费系统）门架等路侧智能终端应用，建立云端互联的感知网络，让“哑设施”具备多维监测、智能网联、精准管控、协同服务能力。为此，需做到以下几点：

1. 建设高速公路设施/设备/交通态势感知体系

将传统高速公路的道路、桥隧以及机电设施的建设，与多维度感知基础设施体系，以及有线、无线、自组网络设备等通信网络传输体系融合统一建设，把机电系统建设与新基建整合为有机统一体；通过感知基础设施与通信设施，实现高速公路海量数据的实时采集和传输，构建智慧高速公路运营管理与服务的基础。

2. 建设高速公路多维数据的接入和管理体系

建立智慧高速公路信息化、数据共享及设备访问的技术规范和标准体系，促进行业规范化体系建设；推动设备供应商、软件开发商、系统集成商等相关单位建立行业标准，打通数据信息孤岛，推动智慧高速公路数据的全面接入和统筹管理，以实现数据储存、共享；因地制宜，以利于智慧高速公路项目的弹性实施。

3. 创新智慧高速新基建建设思路

（1）数字化采集体系和存储体系建设。

将高速公路规划、建设、运行过程中的各类工程档案（纸质、数字、影像、音频等），机电设施设备的安装、运维，退役过程中的

各类数据、事件等以时间为轴线、以服务对象为界，按照信息共享实际需要进行门类划分，实现规划、设计、建造、运维过程的全要素、全周期数字化管理。

(2) “人、地、事、物”数据的融合及应用。

基于全方位的数据接入及实时感知，通过趋势、漏斗、间隔、根源、拓扑、属性等多维度的数据分析，发掘交通参与者、设备、事件、时间之间的周期性、关联性规律和特征，为交通设施的安全、健康、节能、高效运行提供技术支撑，为交通态势感知和智能管控提供决策依据。

4. 完善智慧高速新基建整体建设方案

(1) 基于 IoT (物联网) 平台的数据采集和感知体系 (图 0-1)。

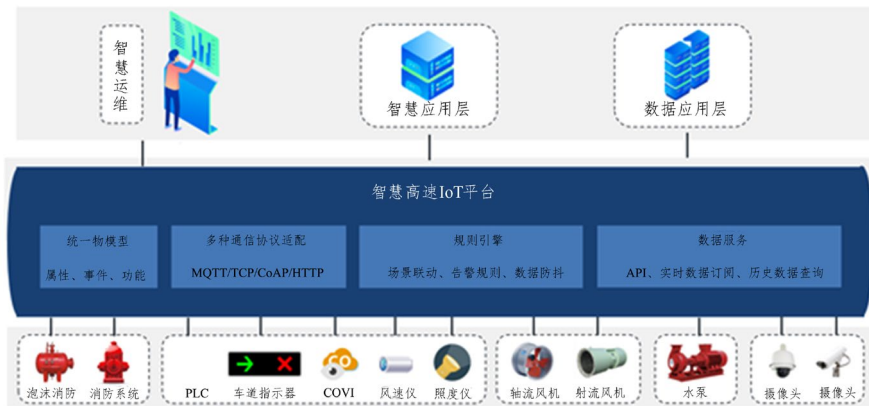


图 0-1 基于 IoT 平台的数据采集的感知体系

建立安全、稳定、高效的“设备-人”“设备-设备”“设备-应用”之间的连接平台。

建立完整的设备数据采集、设备数据存储、设备数据服务平台，为智慧高速各项应用提供稳定、可靠的设备对接服务和数据服务。

支持物模型，灵活拓展协议，快速实现主流厂商、主流设备型号的代码或少代码接入，规避交通机电设备对接调试难的问题。

(2) 智慧高速全周期数字化管控平台 (图 0-2)。

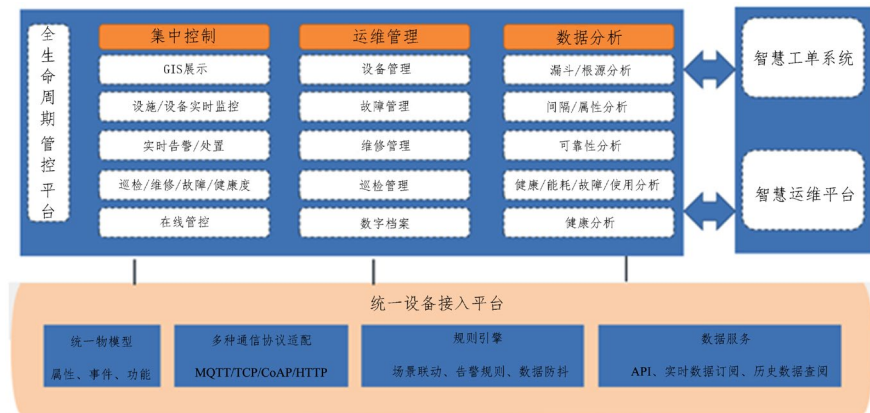


图 0-2 智慧高速全周期数字化管理平台

一套系统完成多业主、多路段条件下的道路网、隧道群的设施设备监控，实现远程对设施设备的监控、诊断及管控操作。

多维度、全要素对设施设备的状态、故障、原因等进行分析，结合智慧工单 APP 实现设施设备的巡检、维修、故障报修等。

通过系统数据融合，实现设施设备全寿命数字化档案，避免数据散乱造成的信息缺失和管理漏洞。

著 者

2021 年 1 月

目录

CONTENTS

| | |
|------------------------------------|-----|
| 第1章 绪论 | 001 |
| 1.1 引言 | 002 |
| 1.2 BIM在公路工程中发展的三个阶段 | 008 |
| 1.3 数字化智慧公路 | 012 |
| 1.4 基于模型工程的数字孪生构建 | 027 |
| 1.5 本书的研究意义及研究内容 | 036 |
| 第2章 工程概况 | 039 |
| 2.1 乐西高速概况 | 040 |
| 2.2 路线走向及主要控制点 | 041 |
| 2.3 主要技术指标采用情况 | 050 |
| 2.4 沿线自然条件 | 051 |
| 2.5 施工重难点 | 064 |
| 2.6 高速公路全要素智能建造的必要性 | 065 |
| 第3章 高速公路全要素协同数字孪生智能建管 一体化平台架构研究 | 066 |
| 3.1 高速公路项目建设管理现状与需求 | 067 |
| 3.2 平台总体设计方案 | 068 |
| 3.3 平台系统框架 | 071 |
| 3.4 平台关键技术 | 073 |
| 3.5 平台组成与功能 | 104 |

| | | |
|--------------------------------|----------------------------|-----|
| 3.6 | 组织体系 | 111 |
| 3.7 | 保障机制 | 119 |
| 第4章 多源异构数据融合技术研究 | | 124 |
| 4.1 | 多源异构大数据融合国内外发展现状 | 125 |
| 4.2 | 基于模型集成的多源异构数据融合 | 130 |
| 4.3 | 基于跨领域知识的多源异构数据融合方法 | 143 |
| 4.4 | 基于雾计算的多源异构数据融合 | 152 |
| 4.5 | 基于 BIM + GIS 多元数据集成与融合方法研究 | 166 |
| 4.6 | 高速公路 BIM + GIS 多源数据集成与融合 | 174 |
| 第5章 工程项目管理信息系统与 BIM 结合应用方案 | | 181 |
| 5.1 | 工程项目管理信息系统概述 | 182 |
| 5.2 | 工程项目管理信息系统的应用价值 | 183 |
| 5.3 | 工程项目管理信息系统总体功能架构 | 185 |
| 5.4 | 工程项目管理信息系统功能设计 | 186 |
| 5.5 | 基于 BIM 的工程项目管理信息系统设计构想 | 231 |
| 第6章 高速公路全要素协同数字孪生智能建管一体化平台工程应用 | | 237 |
| 6.1 | 项目管理模块 | 238 |
| 6.2 | 隧道管理模块 | 251 |
| 6.3 | 质量评定模块 | 255 |

| | | |
|-----------------|------------|-----|
| 6.4 | 数字化竣工档案模块 | 259 |
| 6.5 | BIM 模块 | 263 |
| 6.6 | 数字化竣工交付新模式 | 290 |
| 第 7 章 总结与展望 | | 299 |
| 7.1 | 创新点 | 300 |
| 7.2 | 效益分析 | 302 |
| 7.3 | 结论与展望 | 306 |
| 参考文献 | | 307 |
| 附：乐西高速公路施工建造过程图 | | 313 |

高速公路全 要素智能建 造关键技术 及其工程应用

第 1 章

绪 论

1.1 引言

2019年以来,党中央、国务院以及交通运输部等相继印发《交通强国建设纲要》《数字交通发展规划纲要》《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》等重要文件,提出要大力发展智慧交通,推动大数据、互联网、人工智能、区块链、5G等新技术与交通行业深度融合,构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通体系,打造一流设施、一流技术、一流管理、一流服务,建成人民满意、保障有力、世界前列的交通强国。恰逢“十三五”收官及“十四五”开局之年,“交通强国”是新时期智慧高速公路建设与发展的行动指南,“数字交通与新基建”是智慧高速赋能创新之路,是实现产业转型升级的关键所在。

随着我国高速公路建设里程的不断增加,路网化运营趋势越来越明显,交通运输行业主管部门需要准确掌握交通运输宏观信息,如高速公路网的整体运行状况、交通运输系统中的结构特征等。通过信息化手段,如基于BIM(建筑信息模型)技术进行智慧管理是交通运输行业一直以来的重点发展内容。

对于道路运营管理部门,由于面临的运营和安全压力越来越大,肩负着全线路产路权维护、设备维护、交通运行状态及时获取、阻断信息报送等责任,所以需要为管理人员建设具有分析决策大脑作用的智慧信息化公路,才有助于辅助其开展日常、应急条件下的各项工作;对于高速公路普通用户,在面对由于出行而增加的交通压力的情况时,智慧信息化高速就是要保证高速公路在正常运行的同时能够为人们提供安全、便捷、高效、人性化的出行服务。

BIM+各专业的造新价值、新一代信息技术和服务业态信息技术与经济社会的交汇融合引发了工程技术人员开发BIM+的热情,BIM+正日益对全球土木建筑工程的方案策划、设计、生产、运营和国家治理新能力提升产生重要影响,也带来了BIM+智慧化管理系统研发与推广应用的繁荣发展。BIM技术在工程各领域应用全面展开,各地科研院所、设计、施工、运营单位开展BIM研发的积极性较高,公路工程项目全寿命周期BIM智慧化管理解决方案不断成熟,各个基建行业应用得到快速

推广，市场规模增速明显，为 BIM + 发展带来了强劲动力。不过，我国 BIM 智慧化管理仍处于起步阶段。

1.1.1 BIM 行业政策概述

从 2007 年起我国就在“十一五”国家科技支撑计划重点项目中启动了“建筑业信息化关键技术研究与应用”课题。BIM 技术在我国从研究阶段开始至今已经发展了近 13 年，住房和城乡建设部最早于 2007 年推出《关于发布“十一五”国家科技支撑计划重点项目“建筑业信息化关键技术研究与应用”课题申请指南的通知》，推动 BIM 技术在建筑工程软件方面的研究性工作。近年来，工业与民用建筑领域的 BIM 相关国家标准相继发布，推动了 BIM 技术在工程建设全生命期中的应用，总体应用效率和效益都开始逐步显现。BIM 技术在交通基础设施行业的应用起步较晚，自 2016 年开始，交通运输部相继出台一系列的政策，大力推进 BIM 技术在公路和水运工程中的推广应用。本节收集并整理了交通运输部近年来涉及 BIM 技术的相关政策文件，并提取了政策文件中的 BIM 相关内容，具体见表 1-1。

表 1-1 交通运输部近年来涉及 BIM 技术的相关政策文件

| 时 间 | 政策名称 | 主要内容 |
|---------|---------------------|--|
| 2016-07 | 《交通运输节能环保“十三五”发展规划》 | 鼓励应用建筑信息模型（BIM）新技术，探索应用健康、安全和环境三位一体（HSE）管理体系，积极推广合同能源管理，稳步推进建设与运营期能耗在线监测管理 |
| 2016-07 | 《关于实施绿色公路建设的指导意见》 | 当前，应进一步探索将 BIM 技术应用于公路建设项目的规划、设计、施工和运营维护等全过程的方法，拓展 BIM 技术在高精度项目空间场景、模拟设计选线和结构物选型、精细化管理、远程实时监控、工程施工组织设计、可视化分析控制工程进度以及管理信息公开透明等方面的应用，加速推动公路建设全方位的技术创新与管理创新，实现工程无痕化、智能化建设 |

续表

| 时 间 | 政策名称 | 主要内容 |
|---------|---|--|
| 2017-01 | 《交通运输部办公厅关于印发推进智慧交通发展行动计划（2017—2020年）的通知》 | 应深化 BIM 技术在公路、水运领域的应用,鼓励 BIM 在企业生产运维等阶段中的应用,要加强在养护、运营、监测、应急、管理等方面的应用 |
| 2017-09 | 《交通运输部办公厅关于开展公路 BIM 技术应用示范工程建设的通知》 | 在公路工程行业内,率先开展第一批 5 项示范工程建设,在工程建设领域,大力推广 BIM 技术的研发和应用 |
| 2018-01 | 《公路水运品质工程评价标准（试行）》 | 项目实施了“智慧工地”,“在 BIM 技术、质量安全数据自动采集管理、结构风险可知可控、隐蔽工程检验等方面积极推进信息化技术,成效明显”的项目作为品质工程项目创新加分项 |
| 2018-01 | 《交通运输科技“十三五”发展规划》 | 在建筑信息模型(BIM)、水运主通道高坝通航、深远海应急搜救打捞、基于车-路合作与协同的道路交通安全等方面的重大关键技术开发与应用上取得一批拥有核心自主知识产权、实用性强的研发成果,新一代信息技术在交通运输领域得到广泛应用,互联网与交通运输发展深度融合 |
| 2018-05 | 《交通运输部办公厅关于加快推进绿色公路典型示范工程建设的通知》 | 在论证的基础上尽可能利用原有桥梁等沿线设施,厉行节约。积极应用废旧材料和建筑垃圾,推广节能技术和清洁能源,鼓励通过 BIM 技术应用逐步实现基础设施数字化,鼓励通过推进设计标准化实现结构工程工业化建造。倡导以人为本的设计理念,合理布设沿线服务设施,促进公路与旅游融合发展,提前统筹谋划绿色养护、绿色运营和未来的自动驾驶、车路协同要求 |
| 2018-11 | 《“平安百年品质工程”建设研究推进方案》 | 应推动先进智能建造设备和便捷监测技术研发应用,推进 BIM 模型与 GIS 在航道整治设计施工中的集成应用 |

续表

| 时 间 | 政策名称 | 主要内容 |
|---------|---------------------------|---|
| 2019-07 | 《数字交通发展规划纲要》 | 明确指出数字交通是数字经济发展的重点领域，在全行业内推动现代交通运输体系建设，以数据为关键要素和核心驱动，促进物理和虚拟空间的交通运输活动不断融合 |
| 2020-08 | 《关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》 | 明确指出到 2035 年，基础设施建设运营能耗水平得到有效控制。泛在感知设施、先进传输网络、北斗时空服务在交通运输行业深度覆盖，行业数据中心和网络安全体系基本建立，智能列车、自动驾驶汽车、智能船舶等逐步得到应用。科技创新支撑能力显著提升，前瞻性技术应用水平居世界前列 |

将上述文件的主要内容部分利用自然语言处理技术（NLP）进行处理并剔除介词、形容词等无用词后，得到词频统计结果见表 1-2、图 1-1。

表 1-2 交通运输部相关政策文件中标准词频统计表

| 关键词 | 词频 | 权 重 |
|--------|-----|---------|
| 交通 | 165 | 1.000 0 |
| BIM | 115 | 0.982 9 |
| 建设 | 155 | 0.981 0 |
| 运输 | 117 | 0.975 1 |
| 技术 | 150 | 0.970 2 |
| 公路 | 107 | 0.970 0 |
| 交通运输 | 83 | 0.947 1 |
| 设施 | 99 | 0.945 7 |
| BIM 技术 | 79 | 0.941 7 |
| 基础设施 | 61 | 0.913 4 |
| 工程 | 71 | 0.901 8 |
| 智能 | 56 | 0.899 1 |

续表

| 关键词 | 词频 | 权重 |
|-----|----|---------|
| 示范 | 51 | 0.891 9 |
| 养护 | 39 | 0.882 6 |
| 协同 | 40 | 0.876 6 |
| 数据 | 52 | 0.872 0 |
| 智能化 | 35 | 0.866 7 |
| 设计 | 52 | 0.866 6 |
| 绿色 | 45 | 0.865 9 |

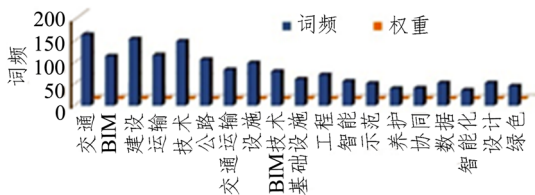


图 1-1 交通运输部 BIM 相关政策词频统计图

由图 1-1 可见，“BIM 技术”“基础设施”“智能”“协同”“数据”等词汇出现频率较高，说明利用信息化领域的相关技术保障施工安全、通过信息化手段实现项目施工管理是交通行业一直以来的重点发展内容。随着公路工程全生命期信息化管理水平的提升，“智慧公路”“车路协同”等与智能驾驶相关的关键词也经常出现，体现了技术发展的趋势。

1.1.2 BIM 标准编制

截至 2020 年 12 月，建筑信息模型的国家标准编制及发布的统计情况见表 1-3。

表 1-3 建筑信息模型国家标准发布情况统计表

| 标准名称 | 发布状态 |
|----------------|-------------------------------------|
| 《建筑信息模型应用统一标准》 | GB/T 51212—2016，自 2017 年 7 月 1 日起实施 |

续表

| 标准名称 | 发布状态 |
|------------------|-------------------------------------|
| 《建筑信息模型施工应用标准》 | GB/T 51235—2017，自 2018 年 1 月 1 日起实施 |
| 《建筑信息模型分类和编码标准》 | GB/T 51269—2017，自 2018 年 5 月 1 日起实施 |
| 《建筑信息模型设计交付标准》 | GB/T 51301—2018，自 2019 年 6 月 1 日起实施 |
| 《建筑工程设计信息模型制图标准》 | JGJ/T 448—2018，自 2019 年 6 月 1 日起实施 |
| 《建筑工程信息模型存储标准》 | 征求意见稿 |

为了更好地收集地方标准的编制情况，笔者通过从互联网等公开资料采集到 152 条自 2013 年起与 BIM 相关的地方性标准的相关报道，并进行词频分析，得到的结果见表 1-4、图 1-2。

表 1-4 地方 BIM 类标准词频统计表

| 排序 | 关键词 | 频次 | 频率 |
|----|-----|----|---------|
| 1 | 建筑 | 73 | 5.993 4 |
| 2 | 技术 | 57 | 4.679 8 |
| 3 | 应用 | 56 | 4.597 7 |
| 4 | 信息 | 54 | 4.433 5 |
| 5 | 模型 | 53 | 4.351 4 |
| 6 | 工程 | 35 | 2.873 6 |
| 7 | 标准 | 34 | 2.791 5 |
| 8 | 征求 | 25 | 2.052 5 |
| 9 | 建设 | 24 | 1.970 4 |
| 10 | 意见 | 24 | 1.970 4 |
| 11 | 设计 | 16 | 1.313 6 |
| 12 | 推进 | 16 | 1.313 6 |
| 13 | 成立 | 14 | 1.149 4 |

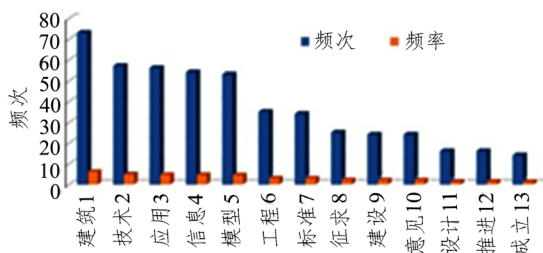


图 1-2 地方 BIM 标准词频统计柱状图

由表 1-4 可见,在地方性 BIM 相关标准的关键词中,“信息”“模型”“推进”等词汇的频率较高,说明各省(自治区、直辖市)在积极推动相关地方标准的编制工作,并规范 BIM 技术在当地公路工程中应用的流程和成果。

1.2 BIM 在公路工程中发展的三个阶段

1.2.1 起步阶段

1.2.1.1 阶段特征描述

本阶段公路行业内的大型设计单位均较重视本单位三维设计生产能力的建设,设计院内部相继成立 BIM 中心或组建 BIM 团队,负责相关 BIM 课题的研发与工程实践。但此阶段公路工程行业内的质量控制仍以传统设计规范为主,设计成果的交付形式也以设计文件为主,只有部分示范工程要求提交数字化成果,实现公路 BIM 模型的数字化交付。综上所述,本阶段公路工程设计行业总体呈现二维设计与三维设计并存、以二维设计为主的显著特点。公路 BIM 模型在设计阶段更多的是起辅助设计作用,设计单位充分利用 BIM 模型的可视化优势,在项目前期阶段促进工程各参与方理解设计方案,提高总体设计质量,减少施工图设计阶段出现大的设计方案变更,有效控制设计周期。

本阶段公路工程 BIM 模型相关技术标准以及实施标准缺失或不完善,BIM 技术在公路工程中的应用属于初级阶段,公路工程信息模型的

创建工具和建模平台尚不成熟，道路、桥梁及隧道工程建模效率不高，大型设计院都在积极探索自动化快速建模的解决方案，部分中小型设计院设计人员需要依靠主流建模平台手工完成建模等相关工作。

1.2.1.2 重点研究方向

本阶段应重点解决公路 BIM 模型快速化创建的问题，有自主研发能力的设计单位应基于主流 BIM 建模平台二次开发，大幅度提高公路 BIM 模型的建模效率，使公路工程设计人员逐步习惯利用公路 BIM 模型辅助设计方案的核查和路桥隧主要专业间的设计协同，有效提升公路工程总体设计质量。公路 BIM 模型的数字化交付也是本阶段的研究热点，随着工程项目交付需求量的增加，不同单位研发的数字化交付平台接踵而来，但功能同质化现象严重，行业内重复建设，造成社会资源浪费。与此同时，公路工程大体量模型的轻量化展示及 BIM 与 GIS 技术的融合和集成等关键性技术问题有待完善。本节统计了目前阶段常用的创建公路 BIM 模型的相关系统，其主要功能见表 1-5。

表 1-5 公路 BIM 模型快速化创建的系统功能调研表

| 公司产品名称 | 路线设计 | 智能设计 | BIM + GIS | 碰撞检查 | 轻量化展示 |
|-----------------------|------|------|-----------|------|-------|
| OpenRoad | | | × | × | |
| Infraworks360 | | | | | × |
| 路线 BIM 设计专家系统 | | | × | | |
| Roadleader | | × | × | × | |
| CivilStation Designer | | × | × | × | × |
| 纬地 BIM2.0 | | × | | | |
| 艾三维 | | × | | × | |
| 公路 BIM 设计系统同豪土木 | | | | × | |

由表 1-5 可见，目前的相关系统均已具备路线设计，BIM + GIS 集成、协同设计建模平台，以及常规碰撞检查等主要功能，系统各有千秋，符合目前市场上建模平台均不成熟的现状，需要大量的二次开发工作才能满足设计人员的设计生产需求。

1.2.2 高速发展阶段

1.2.2.1 阶段特征描述

本阶段公路行业内各省级公路勘察设计院均具备了一定的三维设计生产力，有技术储备的大型设计单位开始在部分工程项目中探索实现正向设计，有更多的辅助工具帮助设计人员实现基于三维模型生成二维的设计图纸。各单位的 BIM 中心逐步由科研单位向管理单位转型，开始制定企业级标准，管控三维设计的工作流程和质量。公路 BIM 模型的数字化交付平台较为成熟，市场内会形成 2~3 家成熟的平台类产品，大型公路工程项目的建设单位在设计招标阶段会明确要求设计单位实现实物工程和数字工程的双产品交付。公路 BIM 模型基本实现了从设计阶段向施工阶段交付，有效避免了施工阶段重新翻模的现象，减少了大量重复劳动和社会资源的浪费。

本阶段公路工程行业的信息模型相关技术标准体系已成熟，部分基础标准已正式发布，并有效指导工程实践。公路工程行业内设计成果的交付形式逐步过渡为以三维模型为主、以二维设计图纸为辅。大多数的公路工程要求提交数字化成果。二维的设计图纸在设计阶段更多的是起辅助说明的作用。大型设计单位充分利用三维协同设计平台，开展全专业的协同设计，搭建公共数据环境，协同工作方式逐渐由基于文件的协同开始向基于数据的协同转变。设计单位的三维设计能力逐步提升，部分单位形成核心竞争力，设计行业优胜劣汰的趋势更加明显，部分中小型设计企业逐渐被市场淘汰。

1.2.2.2 重点研究方向

本阶段应重点解决基于公路 BIM 模型的全专业协同设计平台的研发，有能力的设计单位应研发适应企业内部管控流程的三维协同设计平台，打造并形成企业的核心竞争力。基于 BIM 模型生成工程设计图纸的相关辅助工具也是研发热点，更多基于主流 BIM 建模平台的辅助建模工具日趋成熟，促进设计人员设计习惯的转变，更多的设计人员开始适应正向设计的思路。应用公路 BIM 模型汇报设计方案和设计思路成为常

态，公路工程行业的总体设计质量得到显著提升。笔者通过大量的市场调研，整理分析现有的已正式发布的协同设计平台产品见表 1-6，根据调研结果，目前尚未有公路工程行业的协同设计平台产品正式发布，已发布的相关产品均起步于工业与民用建筑行业。国外的产品应用早且较成熟，近年来，国内也涌现出了中设数字 CBIM 平台等国产平台，在工程建设行业也有大量的成熟应用案例。随着 BIM 技术在公路工程行业中的应用逐步成熟，公路工程行业协同设计平台研发和应用将成为行业内的研发热点。

表 1-6 已发布的协同设计平台产品

| 序号 | 产品名称 | 官方网站 |
|----|--------------|---|
| 1 | 中设数字 CBIM 平台 | http://www.cbim.com.cn |
| 2 | BIMSOP 协同云平台 | http://www.bimsop.com/bimxietong |
| 3 | ProjectWise | https://www.bentley.com/zh/products/brands/projectwise |
| 4 | 广联云 | https://xz.glodon.com |
| 5 | 3DEXperience | https://www.3ds.com/zh |
| 6 | Navisworks | https://www.autodesk.com.cn/products/navisworks/overview |
| 7 | e 建筑 | http://www.ejianzhu.com |

1.2.3 成熟阶段

1.2.3.1 阶段特征描述

通过十多年的信息技术发展和进步，公路工程信息化的水平得到了高速发展。公路行业内各大中型设计企业均具备正向设计能力，二维设计图纸在工程设计行业已消失殆尽。各单位的 BIM 中心已完成历史使命，逐渐退出历史舞台。设计院内部均已建设起完备的基于三维正向设计的 QSHE 管理体系。公路 BIM 模型的数字化交付平台成熟规范，中国数字化高速公路网已搭建完成并初具规模。大型公路工程项目在招投标阶段，对数字化工程建设均提出了明确的要求，设计单位在设计阶段要

进行全生命期的规划，充分考虑运维阶段的信息需求。国内的大型公路设计单位，均已构建起完备的企业级公路工程构件库，形成企业核心竞争力。具备三维正向协同设计能力的设计企业，将大幅度提升公路工程行业的整体设计质量和效率。

本阶段公路工程行业的数字化工程标准体系已成熟，三维正向设计已成为行业内的新常态。公路工程行业实现全生命期的数字化交付，设计图纸在公路工程建设中逐步退出历史舞台，基于电子签名的数字化设计成果具备了法律效力，可以指导公路工程建设实践。由于设计效率的大幅提升，国内的大型公路设计企业逐渐向工程总承包和高端工程咨询集团转型，只有具备三维协同正向设计能力的企业，才能在激烈的市场竞争中生存下来。

1.2.3.2 重点研究方向

本阶段应重点研究公路工程信息模型从建设阶段向运维阶段交付，实现工程信息全生命期的共享和传递。基于公路 BIM 模型的高速公路运维阶段的需求被激发，数字化的智慧公路成为研究热点。随着无人驾驶及移动互联网的迅猛发展，车联网成为现实，人们的公路交通出行方式发生革命性的变化。

1.3 数字化智慧公路

笔者对 BIM 技术在公路工程中的研发应用及发展路径进行了研究、总结并对未来发展阶段进行了展望；在行业内首次提出了公路工程 BIM 技术应用三阶段发展路径，对不同阶段的发展特征进行了描述，并对每个阶段的重点研究内容进行了展望和规划。

产业数字化、数字产业化是公路行业的发展趋势，数据赋能产业技术进步的脚步不会停歇，由于主流建模平台的不成熟，大体量公路 BIM 模型轻量化交付，以及 BIM + GIS 技术融合等技术瓶颈的限制，公路工程行业整体水平仍将在较长时间内处于起步阶段。但借鉴制造业和工程

建筑行业的 BIM 技术发展趋势,我们可以预见数字化智慧公路的时代即将到来。

1.3.1 全球智慧高速总体发展情况

以 5G、云计算、人工智能等数字技术主导的世界新一轮科技革命方兴未艾,智慧高速作为智能交通领域的新型数字基础设施,已成为世界交通强国争相加快部署的热点。当前国内外在智慧高速方面的推进主要关注无人驾驶、车路协同、自动化监测、智慧化运营管控和出行诱导服务等方面,但总体是行业对智慧高速内涵理解不同,尚未形成统一的共识。世界各国结合新兴技术发展趋势及发展诉求,积极推进高速公路传统机电系统升级,例如开展基于多传感器融合的超视距感知、交通流运行规律挖掘及短时预测、智能主动管控、车路协同、长寿命新型道路材料、无线充电等技术研究及试点应用,加快探索智慧高速发展路径,抢占新技术融合应用和智慧高速发展的制高点。

1.3.1.1 国外发展概况

1. 美国:以高速公路为载体开展车路协同、自动驾驶新技术探索

通过 730 万起交通事故的分析和统计,美国高速公路管理局(NHTSA)预测车联网系统部署能够减少近 80% 的车辆碰撞事故。为着力强化高速公路运行安全,美国持续开展基于 5.9 GHz 短程无线通信技术的车联网产品研究,尤其是恶劣环境条件下的大载重货物运输车辆防碰撞应用。美国还重点推进专用无线通信带宽设置、路侧 RSU(路侧单元)及车载 OBU(车载单元)设备、超视距感知协同等技术研究,当前开展车联网设备部署应用的州已超过 50%,并在相关高速公路上开展了智能网联汽车测试。

作为高速公路车联网重点试点项目之一,怀俄明州交通部针对 I-80 州际高速公路重型卡车流量大,冬季暴雪大风碰撞事故高发等问题,开展车车交互、车地通信部署,提供行进前方碰撞警告、道路运行态势感知、事故区域警告、天气影响分析、险情通知等 5 项功能应用,当前已

完成 400 辆高频卡车（包括 150 辆高频重型运营卡车、100 辆交通局车队、150 辆扫雪车及巡逻车）以及 75 个路侧节点布设。

2. 日本：依托 ETC2.0，推进高速公路智能化管理服务

日本围绕智慧公路（SMART WAY）建设目标，推进车路设备有序迭代，逐步构建高速公路车路协同体系。在融合道路交通信息通信系统（VICS）和不停车收费系统（ETC）功能基础上，日本推出世界首款 DSRC（专用短程通信技术）大容量双向通信设备 ITS Spot，提供拥堵预测及路径规划、特殊车辆运行规律及轨迹追溯、动态费率调整、异常驾驶行为识别等智能出行引导及运营管理服务。2016 年日本正式提供 ETC2.0 服务，全国高速公路累计完成 1 700 个路侧设备部署。

以高速公路动态费率为例，日本高速公路车路协同体系面向城市拥堵，通过接入 ETC 车辆轨迹数据分析路网通行态势，主动引导车辆绕行外环高速，并结合拥挤情况提供约 50% 的通行费用折扣，有效疏解城市内部道路拥挤情况。同时该体系支持高速公路运行规律分析，通过车速变化特征精准识别路网瓶颈节点，为及时有效的应急救援、基础设施优化提供指导。

3. 欧洲：以主动交通管控为基本路径推进智慧高速建设

聚焦高速公路主动交通管控，欧洲注重出行需求及运行态势的智能发现，面向多国互通的基本特征，强调跨国高速公路信息系统无缝对接及可持续发展，重点打造欧洲数字交通走廊，积极推进标准化 DSRC 车路通信、综合交通信息服务、新型长寿命道路材料、极端天气预警及智能诱导等技术研究及部署。

在建设应用方面，以奥地利高速公路主动管理系统为例，欧洲高速公路智能系统围绕交通流主动式引导，注重对拥堵、事故、天气等异常情况的动态监测与及时响应，基于在线可编辑的全自动控制策略库以及高密度部署的可变电子情报板，开展了分车道动态限速、临时路肩使用、基于交通状态的动态绕行引导、拥堵响应处理、动态货车管理、车距保持警示、极端恶劣天气监测预警等智能应用。目前该系统已覆盖 800 多千米高速公路，运行效果显著，车辆事故减少 35%、受伤公众数量减少 30%。

在前沿探索方面，欧洲高速公路管理部门开展内嵌 C-ITS（协同式

智能交通系统)的智能基础设施带研究,创新地提出高速公路路内智能监测体系,不依赖传统的路侧挂靠设施,通过短程通信及LTE(长期演进)蜂窝技术融合应用,支持基于位置的车载终端及手机端无线交互,集成交通流监测、指引体系及管控信息虚拟化、基础设施健康状态实时感知等功能,集约化理念突出。

1.3.1.2 国内发展概况

我国高度重视高速公路智能化建设工作,2018年交通运输部印发《关于加快推进新一代国家交通控制网和智慧公路试点的通知》,面向北京、浙江、广东等9个省市差异化开展新一代国家交通控制网和智慧公路试点示范,提出基础设施数字化、路运一体化车路协同、北斗高精度定位综合应用、基于大数据的路网综合管理、“互联网+”路网综合服务、新一代国家交通控制网六大试点方向,北京延崇智慧高速、广东广乐智慧高速、江西昌九智慧高速等工程被列入示范项目重点推进。围绕交通强国示范建设和新型基础设施建设部署,全国纷纷以智慧公路作为融合基础设施的重要抓手(如浙江推出杭绍台、杭绍甬智慧高速,江苏推出五峰山高速、沪宁高速,广东推出机荷智慧高速等),大力开展5G、人工智能、云计算等新一代信息技术在高速公路中的深度融合应用。

以杭绍台智慧高速为例,其系统基于高桥隧比、大雾冰雪等极端天气易发等基础特征,着重打造准全天候运行、智慧隧道、车路协同以及智慧服务区等4类特色应用场景,搭建智慧高速云控平台,支持隧道主动应急救援及自动驾驶,实现高精度驾驶辅助及智能管理。广东广乐高速智慧化试点,以控制服务云中心为核心,科学部署边缘计算节点、车路协同、高清视频及毫米波雷达等设备,形成北斗高精度应急指挥、路网综合分析决策、路运一体化车路协同等5类应用。

1.3.2 智慧高速未来发展趋势研判

总体上,当前智慧高速依然处于探索阶段,尚未形成标准化定义及功能框架,但“设施数字化、运输自动化、管理主动化、服务个性化”

的智慧高速发展理念基本建立并加速迈向成熟，随着新一代无线通信、自动驾驶、人工智能等技术进一步发展，未来5年智慧高速公路将进入规模化建设阶段。

1. 由单一碎片采集转向全要素、全时空感知

目前，高速公路基本建成较为完整的交通运行、基础设施监测体系，但主要覆盖分合流区、关键桥梁等部分点位，监测区域不足、设备功能单一、信息融合不够等缺陷明显，在支持路网-路段-路口多层次监测、人-车-路-环境多要素分析等方面能力不足。通过科学布设高清视频、北斗定位、专用传感器等多类型监测设备，搭建以5G为核心的高速公路通信网络系统，建立基于多源传感耦合、新型通信组网结构的全要素、全时空感知体系，将实现高速公路数据高质量采集、高可靠传输，这是推动伴随式信息服务、实时交通管理等应用的关键举措。

2. 由被动型事后处置转向主动式精细化管控

高速公路运行环境相对封闭，以事后处置、经验研判为主的管控模式，极易导致异常事件受影响范围扩大、受影响程度加深，难以适应新时期高质量出行体验、高效能业务处置的需要。主动管控模式，基于高速公路动静态运行数据分析，对宏观及局部运行态势进行多时间尺度预测，精准识别或预判关键匝道、瓶颈路段、主流量通道，将有力赋能动态匝道控制、路肩控制、车道控制、费率调整等主动控制策略，实现车流提前引导及管控，极大提升高速公路通行及事件应急处置能力，是高速公路智能决策及控制的基本发展方向。

3. 由间断式推送转向基于位置的伴随式个性服务

当前以静态交通标识、第三方地图平台为主的高速公路信息指引体系，无法满足基于高速公路动态运行形势的车道级实时指引，难以提供贴合公众出行习惯的精准服务。北斗高精度定位、知识图谱、5G远程控制等信息技术的快速成熟，将有力支持可变信息情报板-广播-手机信息-网络平台等多方式信息及时发布，进而促进伴随式信息服务加快落地，将逐步实现出行前—出行中—出行后全过程精细化引导。例如：结合前方道路事故信息，主动提供车道级行驶方案或引导公众从最近高速公路

出口绕行；利用知识图谱，构建公众驾驶行为、出行路线等个人出行画像，提供车道级动态路线规划、安全驾驶风险提示等伴随式个性服务。

4. 由传统机电系统转向新技术集成、新模式探索

以收费、通信、监测为核心的传统机电系统，对高速公路数字化管理及服务发挥了非常关键的作用，但面向当前全球新一轮科技革命和产业变革加速演进的发展环境，高速公路信息化在更复杂智能的运行控制、更精准可靠的多元服务等方面仍然存在极大的发展空间。大数据、AI（人工智能）、融合感知、自动驾驶、车路协同等新兴技术在高速公路领域的集成应用迅速推进，编队驾驶、远程驾驶、无线充电等新模式探索逐渐落地，将进一步延展高速公路管理及服务内涵，大幅提升高速公路通行能级与安全水平。

5. 由单一主体转向多方协同、跨界融合

智慧高速建设涉及管理部门、运营单位、运输企业、开发企业、出行公众等多方参与主体，建立智慧高速产业联盟，充分结合多类型用户需求、发挥各方优势，是加速推进有关技术研发及应用的必然趋势。例如：车路协同发展，不仅需要路侧智能设备布设，更需要运输企业车辆、出行公众车辆安装必备的车载终端才能完全发挥效能；跨区域无缝衔接，支持不同运营单位的服务信息融合应用，实现跨路段的智慧高速公路连续服务。

1.3.3 智慧高速建设若干建议

2020年8月6日，《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》提出打造融合高效的智慧交通基础设施。智慧高速作为智慧公路的重要组成部分加速迈入发展快车道，应坚持顶层设计、创新引领、新旧共融等发展思路，切实有效引领交通强国建设。

1. 开展智慧高速总体规划编制，完善顶层设计

遵循需求导向、适度超前的基本发展理念，在全面分析高速公路交通运行规律、地理环境特征、未来发展需求的基础上，结合新模式、新技术

赋能高速公路智慧化提质增效的内在机理，提出各阶段建设目标，明确智慧高速核心功能体系、实施时序、建设重点等顶层设计方案，注重与传统机电系统的融合发展，强调功能当下适用、体系框架兼容未来拓展。

2. 开展智慧高速核心技术研究，筑牢技术支撑

针对当前智慧高速技术尚处于探索完善阶段的发展现状，围绕高速公路虚拟平行系统构建、智能决策及主动控制、个性化精准诱导等核心功能，分层次、分类别开展基础理论、软件系统、硬件设备等关键环节的技术研究及应用，包括交通运行态势实时监测及态势推演、基于线网协同的匝道控制、基于在线仿真的应急救援、车路协同、异常驾驶行为识别等，为开展智慧高速建设提供核心技术支持。

3. 开展智慧高速标准规范研究，支持协同共融

在充分开展智慧高速总体功能框架、技术路线、产品性能等核心要素研究的基础上，制定智慧高速标准规范，明确多源感知体系前端设备布设原则、应用系统功能、主动管控策略、车路协同设备性能及安装、数据格式及接口等标准要求，形成覆盖高速公路全息感知、智能决策、综合服务核心环节的完备功能体系，推动智慧高速公路复制推广、功能协同。

4. 开展智慧高速试点示范建设，引领成熟应用

当前智慧高速建设尚无成熟经验可借鉴，智能化应用系统及设备相关技术成熟度、运行可靠性依然有待进一步验证，应在总体规划的统一部署下，结合高速公路运行管理特征，在预留拓展空间的基础上，优先选择需求较迫切的场景开展智慧高速先行试点布局，验证技术成效及可靠度，再逐步向其他路段、路网推广应用。

5. 开展智慧高速建设与运营模式研究，践行集约建设

与高速公路传统机电建设相比较，智慧高速涉及的信息基础设施更多、系统架构更复杂、对前沿技术的充分预留要求更高，如何实现集约式建设、功能体系持续可拓展、运营绿色高效，是智慧高速高质量建设运营的关键。一是研究新建高速智慧应用体系配建方案，推进道路基础设施与信息基础设施同步规划、同步设计、同步建设，提前预留空间布

局。二是研究改扩建高速智慧应用体系新建方案，在充分发挥既有设备功能的基础上，统筹新建设施与既有设施协同共融。三是创新运营模式，引导市场主体转变角色，推进智慧高速信息化系统建设运营一体化。四是细化行业分工及角色，着力培育智慧高速运维领域专业咨询机构，为打造智慧高速行业产业链闭环提供支撑。

1.3.4 我国九个试点地区智慧公路新进展

为推动新一代国家交通控制网及智慧公路试点有序开展，防止试点同质化、碎片化，2018年2月，交通运输部发布《关于加快推进新一代国家交通控制网和智慧公路试点的通知》，划定了北京、河北、吉林、江苏、浙江、福建、江西、河南以及广东九个智慧公路试点地区，基础设施数字化、路运一体化车路协同、北斗高精度定位综合应用、基于大数据的路网综合管理、“互联网+”路网综合服务、新一代国家交通控制网六个试点主题。

1.3.4.1 北京市智慧公路新进展

1. 政策层面

2019年3月25日发布的《2019年北京市交通综合治理行动计划》提出：推进智慧交通建设，将新一代信息技术、人工智能及车路协同等先进技术应用标准纳入道路建设设计标准，提高公路建设和运营智能化水平；加快推进延崇智慧高速公路车路协同示范工程建设。

2. 智慧公路建设新进展

2019年7月1日，北京大兴新机场高速、大兴机场北线高速正式通车运营，新机场高速公路成为国内首条具备“防冰融雪”功能的高速公路，并通过智慧高速新收费系统、仿真推演与电子沙盘打造智慧管理体系，从而将该高速公路打造成京津冀首条“6+1”智慧高速公路。

根据《北京市2019年重点工程计划》，京雄高速将于2019年内开工；2019年7月，京雄高速公路河北段已获河北省发改委批准建设。