

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

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

I. ①高… II. ①周… III. ①智能技术—应用—高速
公路—道路建设—研究 IV. ①U412.36

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)。

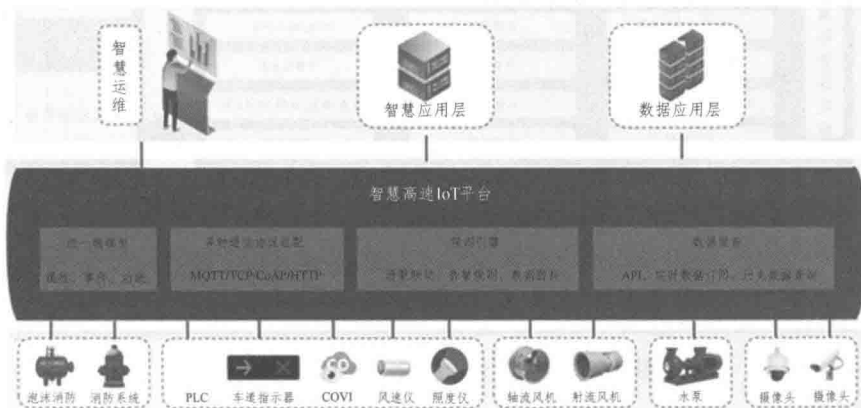


图 0-1 基于 IoT 平台的数据采集的感知体系

① 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。

② 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。

③ 支持物模型，灵活拓展协议，快速实现主流厂商、主流设备型号的非代码或少代码接入，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)。

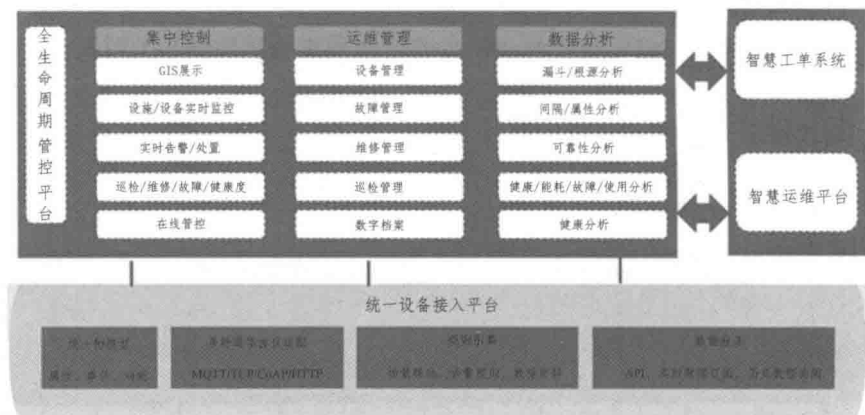


图 0-2 智慧高速全周期数字化管理平台

① 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。

② 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。

③ 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把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,公路工程项目全生命周期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

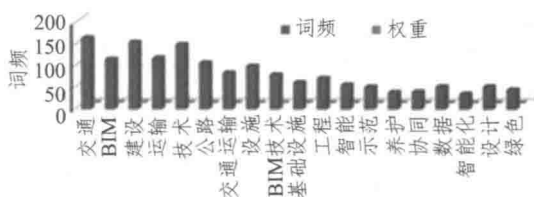


图 1-1 交通运输部 BIM 相关政策词频统计图

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