

新技术在路桥设计中运用分析

文 / 罗 欢 广东弘基设计有限公司惠州分公司

摘要：在经济发展的驱动下，现阶段交通建设需求不断提升，传统路桥设计模式已难以满足现代道路对高效性、安全性、生态性的要求，为提升路桥设计的质量和效率，需要在路桥设计环节合理渗透 BIM、GIS 等新技术。为此，本文将路桥设计为核心研究对象，剖析传统道路设计在勘察精度、协同效率、运维前瞻性等方面存在的问题，并且重点围绕 BIM、GIS、数字孪生、车路协同及生态护坡 5 类新技术，分析其在道路结构完善中的应用路径与优势。最后从技术标准完善与专业人才培养两方面提出优化措施，为新技术在道路设计中的深度应用提供参考，从而有效推动道路设计向数字化、智能化以及生态化转型。

关键词：路桥设计；BIM 技术；GIS 技术；数字孪生；生态护坡

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.062

引言

道路属于交通基础设施的核心组成部分，交通通行效率、行车安全以及区域经济发展等因素均会受到其设计质量的影响，近些年来，我国城市化进程不断加快，路桥建设的复杂程度也在日益提升，传统采用“二维图纸+经验判断”的设计模式，已经暴露出了明显的局限性。而通过建筑信息模型（BIM）、地理信息系统（GIS）、数字孪生等新技术的融入，可给道路设计提供“全周期、多维度、高精度”的支持方案，进而保障道路设计有效性。

一、传统路桥设计存在的问题

传统道路设计以“二维 CAD 图纸”为核心工具，依赖设计人员经验判断，在复杂项目与全周期管理中存在明显短板，具体问题如下。

（一）勘察数据精度低，设计依据不足

传统勘察依赖人工测绘与钻孔取样，数据覆盖范围有限（如山区道路难以全面探测地质断层），且数据以纸质报告形式存储，无法与设计模型实时联动，易导致设计与实际地形、地质不符，后期施工需频繁变更。

（二）协同效率低，专业冲突频发

道路设计涉及路线、路基路面、管线（给水、雨水、污水、电力通信、燃气）等多专业，传统模式下各专业独立绘制图纸，缺乏统一数据平台，易出现“管线与路基冲突”“标志与绿化遮挡”等问题，需在施工阶段返工调整，增加成本。

（三）运维前瞻性不足，全周期成本高

传统设计仅关注“施工交付”，未考虑后期道路养护（如路面裂缝监测）、交通流量优化（如拥堵疏导）需求，设计方案难以支撑运维阶段的智能化管理，导致道路全生命周期（通常 20-30 年）内养护成本过高。

（四）生态融合性差，环境影响大

在山区、滨水区道路设计中，传统模式多采用“开挖式”路基设计，忽视对周边植被、水土的保护，易引发水土流失、生态破坏，不符合现代“绿色交通”理念。

二、新技术在路桥设计中的应用

（一）BIM 技术的应用

BIM 以“三维模型”为依托，涵盖道路设计全过程（路线、路基、管线、附属）的专业信息，打通了“设计-施工-运维”全过程数据通道。BIM 技术在道路设计阶段的关键应用在于各专业协同设计、施工方案预演等。各专业协同设计是指路线、管线、绿化等多个专业在 BIM 中共同设计，在设计过程中，各专业间自动碰撞检查，如给排水管道与道路开挖范围有重叠，设计人员可随时修改设计方案，减少事后设计变更。如通过 BIM 技术进行城市道路设计，可及时发现“交通标识与路灯间的相互遮挡”，同时更新三维模型与工程量统计。施工方案预演，是指通过 BIM 模型的施工模拟，对道路复杂部分进行施工方案预演，例如：高填方路基沉降、路面沥青摊铺，通过 BIM 模拟压实施工顺序，降低施工风险^[1]。

此外，BIM 技术还可以应用到专项优化与验证阶段，核心目标是提前解决桥梁施工中的“复杂节点、工序冲突”问题，保障施工的顺利推进。如复杂节点施工模拟，针对关键施工环节（如箱梁挂篮浇筑、墩柱模板安装、支座安装），基于 BIM 模型模拟施工工序：（1）拆分施工步序，如挂篮前移→钢筋绑扎→混凝土浇筑；（2）检查工序间空间冲突，如挂篮与模板干涉；（3）优化施工顺序，如调整钢筋绑扎与预埋件安装的先后顺序。最终输出复杂节点施工模拟视频和《施工工序优化报告》，确保成果如期、高质量交付。

（二）GIS 技术的应用

GIS 技术把“地理空间数据”当作核心，充分整合遥感影像、地形高程、地质分区这类空间信息，能为道路路线选址和地形适应设计提供科学依据，特别适用于山区、跨区域道路设计，GIS 技术核心应用场景有：路线选址分析。凭借 GIS 的空间分析功能（坡度分析、坡向分析、生态敏感区叠加），对不同路线方案的可行性进行评估，比如，在山区道路设计当中，GIS 能叠加“地质灾害分区图”（滑坡、泥石流高发区）与“植被保护红线”，自动筛选出“低风险、低生态影响”的路线方案。

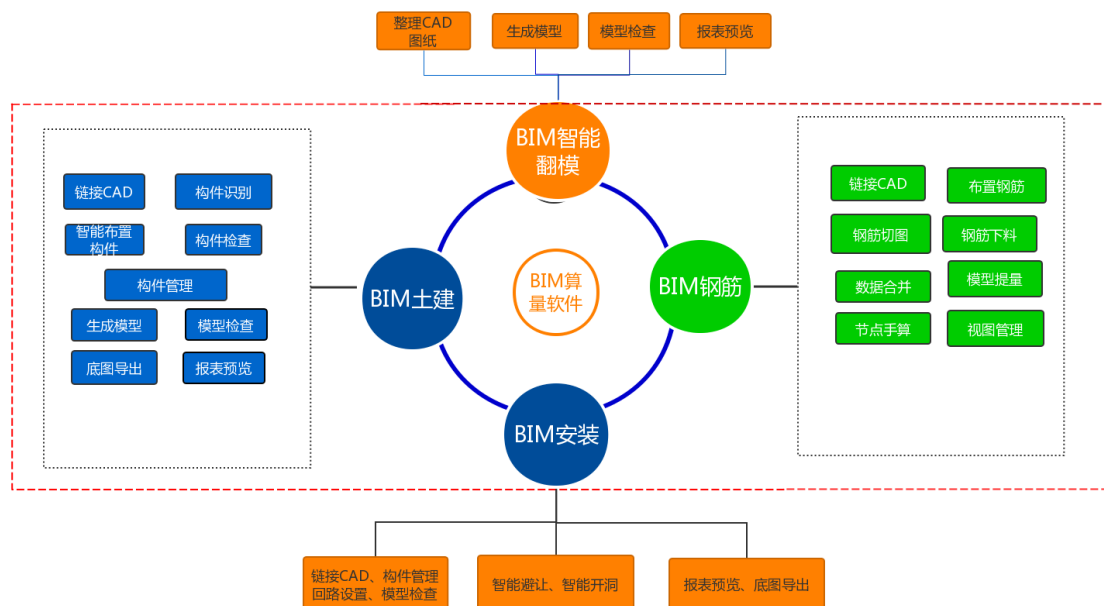


图 1 BIM 技术应用方案

地形适应性设计。借助 GIS 生成数字高程模型 (DEM)，和道路路线模型联动起来，对平纵线形进行优化，例如，在滨水区道路设计时，GIS 可实时显示路线跟水位线的距离，避免路基被洪水浸泡，同时减少开挖量，实现区域交通协同^[2]。GIS 能够整合区域现有的道路网、交通流量数据，分析新建道路对周边路网的影响，对出入口位置进行优化(像高速公路互通设计)，提升整体通行效率。

(三) 数字孪生技术的应用

一方面是运维需求先导，在设计过程中，通过数字孪生模型，模拟道路运维场景(10年后路面塌陷、高峰期堵车)，优化设计方案，如城市快速路设计方案，通过数字孪生模拟不同车道宽度，对交通流影响的区别，得出“双向6车道+应急车道”的最优设计方案^[3]。还有一方面是实时监测预警，数字孪生模型与道路现场传感器(路面应变传感、交通摄像头)对接，实时呈现路面温度、平整度、交通流等，如高温区域道路设计，在设计阶段的数字孪生模型中，先设置“当路面温度 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 时，道路养护提醒”，提前规划路面降温设施(透水沥青材料)。

(四) 车路协同技术的应用

车路协同技术借助“道路基础设施与车辆的实时通信”，能把道路设计和“智能交通”需求结合起来，以此来优化道路空间布局以及附属设施设计，该技术应用要点如下：一是道路感知设施集成。在设计阶段要预留车路协同设备安装空间，像路侧单元RSU、毫米波雷达等，保证设备和道路结构的整合性，就拿城市主干道设计来说，把RSU设备和交通信号灯进行一体化设计，防止后期加装的时候破坏路面。二是车道与交通组织优化。凭借车路协同数据，例如车辆实时位置、速度等，开展“动态车道”设计，比如高峰时段增加直行车道，例如在潮汐交通明显的道路设计里，预留“可变车道”空间，并且在BIM模型中同步对车道切换标志与控制系统进行设计。三是安全预警设计。运用车路协同技术，在道路危险路段，像急弯、学校区域等设计“主动预警系统”。例如在郊区道路急弯处，路侧设备能够实时检测对向车辆，并且通过车载终端提醒驾驶员减速，设计阶段需在模型中明确预警设备的安装位置以及通信范围。

表 1 传统道路设计与车路协同设计对比

维度	传统设计	车路协同设计
感知能力	依赖车辆自身传感器，存在视距盲区	路侧设备补充车辆感知，实现超视距监测
决策机制	车辆独立决策，缺乏全局信息支持	车路协同决策，边缘计算节点实现毫秒级响应
安全保障	被动防护(如护栏、警示标志)	主动预警(如碰撞预警、紧急制动提示)

(五) 生态护坡技术的应用

最近几年，环境保护理念逐渐深入到了各个行业中，为此在路桥施工设计中，生态护坡技术的应用十分重要。生态护坡技术将替代传统“浆砌石护坡”，通过“植

被+新型材料”实现道路边坡的“防护+生态修复”，这一技术手段非常符合现代道路“绿色设计”理念^[4]。生态护坡在道路设计中的核心应用场景与优势如下表 2 所示。

表 2 生态护坡技术的具体应用与优势

生态护坡技术类型	核心材料	适用道路场景	优势	传统护坡对比（改进点）
植草混凝土护坡	多孔混凝土 + 草种	城市道路、郊区道路边坡（坡度 ≤ 1:1.5）	透水透气性好，植被覆盖率 ≥ 80%，缓解热岛效应	替代浆砌石，减少硬质材料使用，降低水土流失风险
生态袋护坡	聚丙烯生态袋（内装种植土 + 草种）	高陡边坡（坡度 1:0.8-1:1.0）	柔性结构，适应边坡变形，植被存活率 ≥ 90%	替代砌石挡墙，重量轻，施工便捷，可随边坡沉降调整
喷混植生护坡	有机基材（泥炭土 + 腐殖质）+ 草灌种子	岩质边坡（如山区隧道进出口）	与岩石表面附着力强，生态修复速度快	替代挂网喷浆，实现“岩石边坡绿化”，减少对周边生态的破坏
生态挡墙	生态混凝土（多孔）或者土工格栅（塑料 / 钢塑复合）	1. 高填方路基边坡（高度 ≥ 3m）； 2. 互通立交区边坡；3. 市政路临水边坡	生态挡墙的本质是“多功能协同”——它既是道路的“安全屏障”，也是生态的“修复载体”、景观的“组成部分”，彻底摆脱了传统挡墙“单一防护”的局限。	所有核心材料需平衡“结构强度”与“生态功能”，避免只重安全忽略生态（如普通混凝土挡墙）或只重生态牺牲稳定（如纯土坡挡墙）。

三、优化措施

（一）完善技术标准与规范，促进技术应用

当下，BIM、GIS 等技术用于道路设计时缺少统一标准，像模型精度要求、数据交互格式等方面，这使得不同设计单位的模型难以兼容，在现实里，若要改善新技术应用的状况，需从 3 个层面来完善标准体系。国家层面要制定通用标准，由交通运输部牵头，明确道路设计中 BIM 模型的精度等级，像路线设计精度需达到 ±5cm，明确数据交互格式，如采用 IFC 标准，同时明确 GIS 与 BIM 数据融合的技术要求，以此来保证跨单位、跨项目的数据能够互通。行业层面要细化应用指南，针对不同类型道路，比如城市道路、山区道路、高速公路，制定新技术应用指南，例如，发布《山区道路 GIS 选线技术指南》，明确坡度分析、生态敏感区评估的具体指标，像生态敏感区避让距离 ≥ 50m。企业层面要建立内部流程，设计企业要制定“新技术设计流程规范”，把 BIM 碰撞检测、数字孪生运维模拟纳入设计评审环节，例如要求所有城市道路项目在设计交付前都得完成“管线冲突检测”与“施工模拟验证”，确保设计质量。

（二）加强专业人才培养，提高技术应用水平

新技术应用想要达到预期的效果，需要大量具备“道路设计专业能力 + 数字化技术能力”的复合型人才，但通过了解发现，当前行业内此类人才缺口较大，为弥补这一人才缺口，现实中要通过“校企合作、在职培训”双路径培养方式，提升专业人才的基本能力与素质。例如高校可在路桥相关专业中增设“BIM/GIS 数字设计”课程，或者开展项目式教学，通过这样的方式，提升学

生的技术应用能力。在职培训方面，针对现有设计人员，企业应该开展分层培训，如基础层培训需要聚焦“软件操作”；进阶层培训则要重点关注基于 BIM 的施工模拟和基于数字孪生的运维设计；专家层培训则需要将目光放在“技术集成”层面，强化分层培训的整体效果。

结语

本文以道路设计为载体，全面剖析了传统设计模式的弊病与新技术的优势。以 BIM 技术实现多维协同下的碰撞问题，以 GIS 提供路选的科学分析，以数字孪生实现道路可视化，以车路协同实现道路更安全、更畅通，以生态护坡实现道路设计“顺”向生态，随着新技术的发展，未来还会向着“数字化、智能化、生态化”的道路方向迈进，通过在实践中不断总结，为促进新技术融合，健全完善相关标准规范，加强人才培养，打通技术通道，实现新技术有效服务于“安全、高效、绿色”的道路建设目标提供助力。

参考文献

[1] 陈稼俊. 海绵城市理念在路桥设计中的融合与实践 [J]. 石河子科技, 2025, (01): 42-43.
 [2] 郭立鸣. 市政路桥设计中 BIM 技术的应用研究 [J]. 建筑工人, 2024, 45 (11): 52-54.
 [3] 吴艳辉. 智能交通系统在市政路桥设计中的集成与应用 [J]. 汽车周刊, 2024, (08): 16-18.
 [4] 张延. 基于“BIM+ 无人机”技术的市政路桥正向设计方法 [J]. 广州航海学院学报, 2023, 31 (02): 58-63.
 作者简介：罗欢（1987 年 3 月 -）男，汉，广东兴宁，本科，路桥工程师，研究方向为路桥工程设计。