DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250858

BIM 技术在高速公路设计与建设期的应用研究

马夫恒
(徐州市公路事业发展中心,江苏 徐州 221006)

摘 要: 徐州市位于江苏、山东、河南、安徽四省交界处,是华东地区重要的交通枢纽,其高速公路建设具有“三改工程”频繁、征迁对象零散、跨域约束复杂、施工组织链长等典型特征,因此,对设计与建设管理提出了更高要求。针对上述区域特性,分析 BIM 技术在徐州市高速公路设计与建设阶段的应用价值。研究表明,BIM 通过三维视距复核与协同设计,显著优化了复杂地形条件下的线形方案,提升了公路建设的安全性;通过对“三改工程”与征迁管理的模型化核查,强化了工程方案的合理性与社会协调性;基于 BIM 的建设期管理平台,实现进度、质量、计量的可视化与可追溯,促进了项目管理的精细化和透明化。研究成果验证了 BIM 技术在应对徐州市高速公路复杂工程特征方面的综合效益,为区域内类似工程提供可借鉴的技术路径与价值参考。

关键词: 公路工程;项目管理;BIM 技术;工程设计;GIS
中图分类号: U412;TU997 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2026)01-0185-06

Research on Application of BIM Technology in Expressway Design and Construction

MA Fuheng
(Xuzhou Highway Development Center, Xuzhou 221006, China)

Abstract: Xuzhou City is located at the border of the four provinces of Jiangsu, Shandong, Henan and Anhui, and is an important transportation hub in East China. Its expressway construction has the typical characteristics such as frequent three-reconstruction projects, scattered relocation objects, complex cross-domain constraints and long construction organization chains, which puts forward higher requirements for design and construction management. Based on the above regional characteristics, the application value of BIM technology in the design and construction stages of expressways in Xuzhou is analyzed. Research shows that BIM significantly optimizes the alignment scheme under the complex terrain condition and improves the safety of highway construction through the three-dimensional line-of-sight review and collaborative design. Through the modeling verification of the three-reconstruction projects and land acquisition and relocation management, the rationality and social coordination of the engineering scheme are strengthened. Based on the construction period management platform of BIM, the visualization and traceability of progress, quality and measurement are realized, which promotes the refinement and transparency of project management. The research results have verified the comprehensive benefits of BIM technology in dealing with the complex engineering characteristics of expressways in Xuzhou City, providing a technical path and value reference for similar projects in the region.

Keywords: highway engineering; project management; BIM technology; engineering design; GIS

0 引 言

近年来,随着基础设施建设规模的不断扩大,以及建设管理要求的日益提高,传统的高速公路设计、施工管理方式已难以满足高质量、高效率和精细化管理的需求[1-3]。建筑信息模型(building information modeling,BIM)作为一种集成化、可视化的数字化技术,能够在高速公路项目全生命周期内为决策提供可靠的信息支撑[4-5]。

本文基于徐州市高速公路建设项目,深入挖掘 BIM 技术的核心价值和落地需求,并开展三维视距检查、“三改工程”(改路、改渠、改沟)复核、视距复核、征迁管理等一系列应用;开发 BIM 协同管理平台,实现工程业务管理与 BIM 信息模型的融合,进一步促进高速公路施工过程的精细化管理,提升高速

收稿日期:2025-08-28
作者简介:马夫恒(1975—),男,学士,工程师,从事交通工程管理工作。

公路项目的数字化管理水平。

1　徐州市高速公路建设特点

1.1　徐州市高速公路建设特点

徐州市位于江苏、山东、河南、安徽四省交界处，是华东地区重要的交通枢纽。区域地形以平原与丘陵交错为主，河塘、排涝沟渠密集，既有铁路干线与公路网纵横交错，又有村镇呈点状分布于沿线，且村镇内户数分散。这些自然与社会要素体现为高速公路建设中的若干显著工程特性。

1.1.1　“三改工程”频繁且范围广

本项目路线穿越大量的既有道路、排水渠与农田灌溉体系，需进行改路、改沟、改渠等工程，以恢复道路、水系的连通性。此外，“三改工程”对当地的生产、生活影响较大，如果处理不当，极易引发阻工与群体性问题。

1.1.2　征迁对象零散且权益主体多

项目沿线存在大量小尺度的构筑物、庭院式住户与分散产权，开展征迁核查与补偿清单编制的工作量大，现场核实难度高，且需要大量的影像与权属予以佐证。

1.1.3　跨线与跨域工程多，接口约束复杂

高速公路建设工程常涉及跨铁路、跨河、跨行政区的桥梁与通道，对限界、安全和运营等有多重约束。设计需兼顾不同管理主体的规范性与审批流程的合法性。

1.1.4　多标段、长周期施工组织复杂

项目线性长、工序多、标段划分等因素，导致施工端需频繁衔接资源与临建安排，需科学统筹临时交通组织、材料堆放与施工期排水等。

1.1.5　局部地形与构造造成视距与限界约束

尽管项目涉及的地点总体上为平原，但丘陵、堤坎、河堤、植被与既有构筑物等，会在局部形成视距短板或净空约束，影响行车安全与结构布置。

1.2　徐州市特点带来的设计与施工挑战

上述特点在设计与施工阶段分别带来如下挑战。

在设计层面，需要进行更高精度的线形与视距分析、对既有水系与道路连通性的敏感性验证、对多要素约束下的方案比选，以及设计团队的协调能力。

在征迁与沟通层面，需要快速、可验证的受影响对象清单与影像证据，以支撑补偿方案与公示结果，减少争议。

在施工组织与管理层面，需要跨标段的进度同步、质量责任界定与计量结算透明化，以降低因信息不对称引发的争议与工期延误。

2　BIM技术在高速公路设计阶段的应用

2.1　三维视距检查

道路各车道须保证充足的行车视距，让驾驶员及时发现前方路面的障碍物或对向驶来的车辆，并迅速采取应对的措施[6]，这是保障行车安全的基础。考虑到道路属于三维空间带状结构，其视距会受到多种因素的影响。除了路侧的边坡、护栏，以及路面上的障碍物等会对视线造成遮挡外，道路的平面线形、纵面线形指标及其组合情况也会对视线造成显著的影响[7]。因此，传统的、基于平面的视距计算结果，很难准确反映车辆在道路上行驶时的实际视距状况[8]。

本文基于Unity平台，自主开发了三维视距检查模块：停车视距由2部分组成：一是驾驶者在反应时间内行驶的距离；二是从开始制动到刹车停止所行驶的距离，即制动距离。此外，增加了安全距离5～10 m。通常按公式(1)计算停车视距$S_{停}$：

$$S_{停} = \frac{v}{3.6}t + \frac{(v/3.6)^2}{2gf_1} \tag{1}$$

式中：v为设计速度，m/s；f_1为纵向摩阻系数；t为驾驶者反应时间，取2.5 s(判断时间取1.5 s，远行时间取1.0 s)；g为重力加速度，m/s^2。

该视距检测流程为按桩号循序推进，首先，输入柱号并导入BIM模型，计算障碍物与视点的位置，从障碍物P_2、P_3向视点P_1发射射线；其次，若检测到射线被遮挡，则记录当前柱号存在的问题并生成报告，否则将检测柱号自动延伸，继续下一个桩号检查；最后，循环执行该检测流程，直至检测完终点桩号，终止流程。整个过程通过“检测—判断—延伸”的闭环逻辑，实现道路全段自动化覆盖。视距复核流程如图1所示，行车视距复核示意如图2所示。

视距复核是保障道路安全的关键环节。在设计阶段，可发现公路的线形组合、山体、边坡、中央分隔带、交通设施、植被等因素对视距的影响，调整优化方案，以消除这些隐患，确保突发情况下车辆可安全制动[9]。

2.2　“三改工程”复核

徐州市地处徐淮黄泛冲积平原地貌区，地形以平原为主，河塘密布[10]。在高速公路建设过程中，部

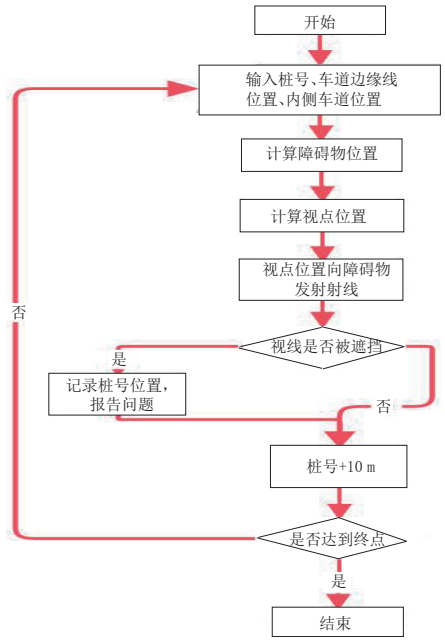

图 1　行车视距复核流程图

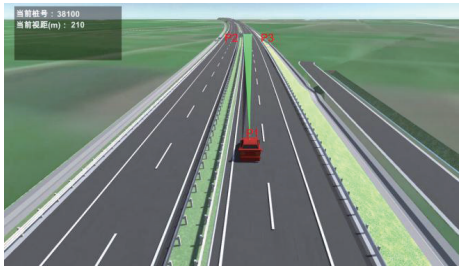

图 2　行车视距复核示意图

分既有道路网络和水系难免被截断,需要进行“三改工程”,恢复其原有功能,方便当地居民正常地生产、生活[11]。由于传统的 CAD 二维图纸设计缺少地理信息空间数据支持,经常出现遗漏改路、改沟、改渠等情况,或者改路远离村庄等问题,最终设计方案传递到施工阶段,造成项目阻工、停工等现象。

利用 BIM 技术的可视化特点,通过 BIM 模型叠加倾斜摄影,可对工程实体进行可视化展示、仿真模拟等,从而辅助评估项目“三改工程”的可行性和有效性[12]。基于 BIM 技术的“三改工程”复核维度如图 3 所示,“三改工程”复核问题示例如图 4 所示。

2.3　征迁管理

通过叠加倾斜摄影、红线、行政区划,以及国土空间规划、耕地保护矢量数据等,形成包含各专业的“一张图”模型。这张图可以清晰地反映项目范围内需要征地、拆迁的构筑物,进而建立项目范围内的征迁任务清单。BIM 技术可有效辅助管理人员清晰掌握征迁范围、征迁内容、征迁类型,避免出现征地内容遗漏等问题[13]。征迁管理示意如图 5 所示。

在徐州市沛县至丰县段的高速公路建设工程

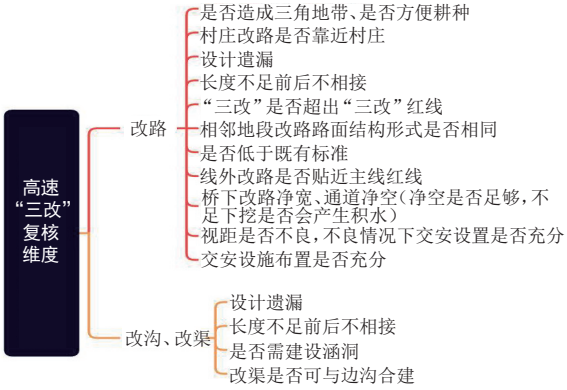

图 3　“三改工程”BIM 复核维度

图 4　三角田地无法进入示意图

图 5　征迁管理示意图

中,拟用地总面积为 231.88 hm^2,一是通过 BIM 征迁管理应用平台,快速量化征迁内容,并复核补偿清单,减少核算误差,为预算方案提供依据;二是助力沟通协调,通过 BIM 平台,直观地展示征迁与规划的关系,提升群众的理解度,加快协议签订;三是保障建设进度,后期可实时跟踪征迁进度并预警逾期任务,确保与后续施工衔接,避免工期延误。

2.4　方案可视化展示与比选

通过整合 BIM 三维模型,并借助 BIM 可视化技术,对设计方案进行可视化展示,进而辅助设计人员对设计方案进行分析与优化,及时识别潜在且难以直接发现的设计缺陷或问题[14]。同时,可对多个设计比选方案进行可视化展示,从经济性、安全性等多维度进行综合比选,提高设计的合理性。方案比选的效果示意如图 6 所示。

2.5　协同设计

在设计阶段,BIM 协同设计通过建立统一的三维信息模型,将各专业的设计成果集中于同一平台,进

(a)推荐方案　(b)比选方案

图6　方案比选示意图

行实时共享与交互修改,实现设计数据的一致性与即时更新。各参与方可在同一数据模型中进行构件精细化表达与碰撞检查,及时发现并解决道路、结构、机电、附属设施等多专业之间的冲突与矛盾,减少后期返工[15]。与此同时,在协同设计过程中,还可以对复杂的构造节点进行1:1细部建模与受力分析,确保设计的精细度与可施工性。通过可视化模型,可以以漫游、动画模拟等方式进行多方案比选,在满足安全与功能要求的前提下,优化空间布局与提升经济性,大幅度降低返工的可能性,提升设计质量与工作效率。协同设计的示意如图7。

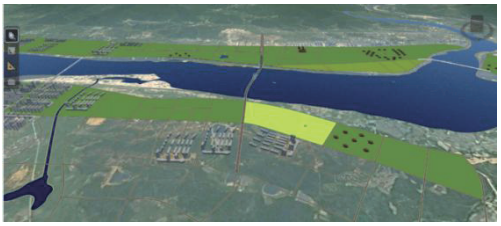

图7　设计阶段协同设计应用

2.6　施工图纸复核等应用

运用BIM技术,建立各专业施工图的BIM模型,利用三维模型,开展图纸复核、碰撞检查、限界复核、排水复核、夜间防眩光分析等一系列应用,可有效避免因设计图纸错误导致的时间与经济损失。同时,通过虚拟驾驶和仿真漫游,可帮助设计人员复核道路线形和标志、标线、标牌的合理性[16]。在沛县至丰县段高速公路建设工程(济南—徐州高速公路至江苏、山东省界段)中,共出具7份各类型应用复核报告,累计复核主要设计问题30余条。设计方案将这些复核意见予以采纳后,在图纸上进行修改,有效避免了施工过程中因设计问题而出现的返工、拆改、工期延误和成本浪费现象,提升了工程品质。施工图纸复核示意如图8所示。

3　BIM技术在高速公路建设期的应用

本文基于徐州市高速公路项目管理的现状,探讨工程项目集成管理方法,开发基于BIM模型的建设管理平台。该平台可满足参建各方协同办公的需求,实现了基于3D模型的平台多种业务管理。该建

(a)标牌视认复核　(b)净空分析

图8　施工图纸复核及优化

设管理平台已在徐州市8个项目中推广应用,累计服务用户达2 600余人。

3.1　系统架构

平台采用“2纵4横”的架构体系,“2纵”涵盖标准化规范体系与信息安全运维体系;“4横”则由数据源层、数据中心层、业务层、应用层4个部分组成,平台的架构如图9所示。数据源层包括施工现场安装的信息采集、识别、控制的物联设备。数据中心层指数据传输等技术,实现现场采集数据的实时传输与处理。业务层指为满足用户需求而提供的具体应用服务,如安全管理、质量管理、环境管理、人员管理等,可以根据现场需求进行模块化的功能配置。应用层指通过数字沙盘、现场指挥大屏、PC端等,在用户终端进行使用。

3.2　功能架构

针对建设工程的多维度业务场景,平台采用模块化的架构设计,共划分为质量、进度管理、计量支付等13个功能系统,涵盖65个功能模块。

3.3　平台应用

3.3.1　进度管理

在进度管理模块中,平台构建了“计划制定—审批—实施—监控—优化调整”的闭环管理流程,实现对项目进度的系统化与动态化管控。施工单位按期提交进度计划,并通过唯一编码,将计划任务与BIM模型中的相应构件进行关联。系统利用工序验收过程,自动采集实际进度数据,将其与计划进度进行自动化比对,并展开偏差分析。在三维可视化界面中,平台以不同颜色,直观地标识构件的施工状态,如未开始、进行中、已完成等,实时展示进度偏差,并针对检测出的滞后情况,自动触发预警机制。

此外,平台的可视化进度管理功能,能够在工程周例会(监理例会)中发挥重要作用。如图10所示,与会人员可基于实时更新的三维模型界面,直观地把握整体与分项的进度状况,精准地定位进度滞后的位置,显著地提升了进度沟通与决策的效率和准确性。通过将抽象的计划数据转化为具象的可视化

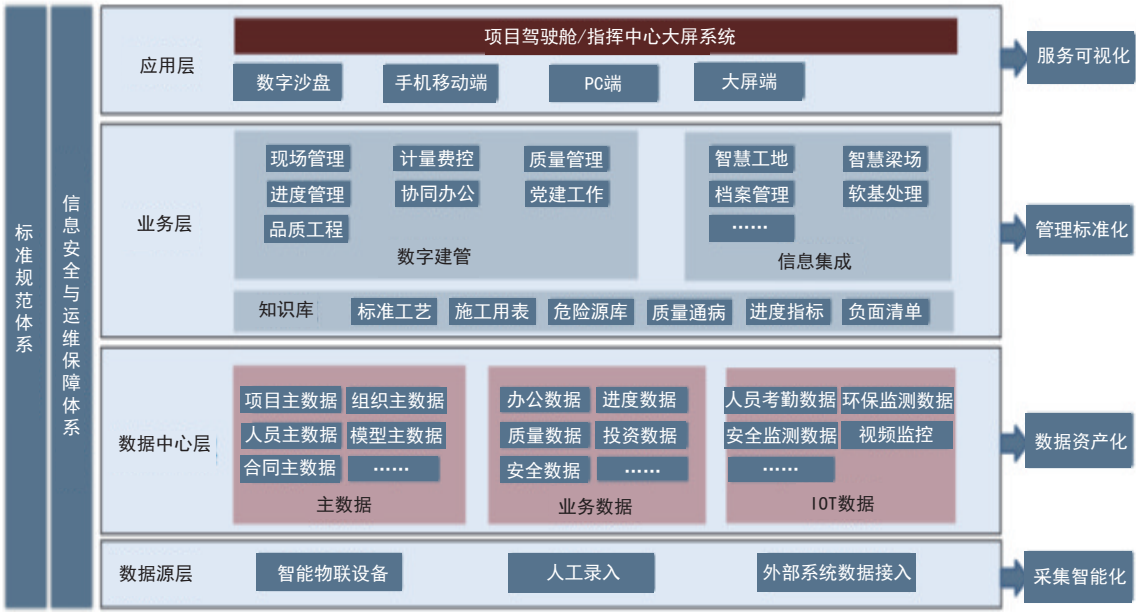

图 9　BIM 项目管理平台系统架构

呈现,平台有效支持了各方对进度偏差的协同分析、追因讨论与调整决策,进一步推动了项目管理的精细化和协同化水平。

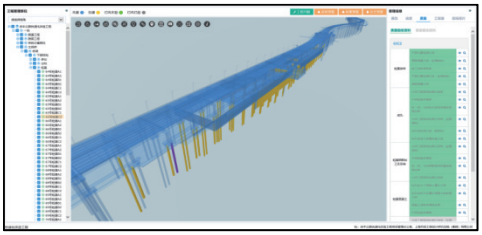

图 10　可视化进度展示界面

3.3.2　质量管理

平台的质量管理模块,运用 EBS 与 WBS 相融合的体系,实现了工程结构分解与验收流程的数字化处理。施工方在依照工程划分标准创建检验批时,借助编码系统,将检验批数据与三维模型构件相关联,同时,把质检文件上传至对应工序的控制节点,并在线发起监理审批流程。系统支持通过模型构件反向检索所有关联的质检资料,从而实现质量信息与实体构件的双向追溯。针对质量隐患的管控,平台构建了闭环管理机制。当隐患数据通过模型构件定位建档后,系统能够自动依据其类型、所在区域、责任单位等多个维度的信息生成质量分析报表。质量管理相关界面如图 11 所示。

3.3.3　计量管理

依托 BIM 技术,平台的计量功能将质检资料、工程量清单、现场影像资料,直接映射到三维模型中的对应构件上。借助自动关联机制,为每个构件建立可追溯的全周期工程档案。系统预设计量触发条

图 11　质量管理界面

件,并依据构件关联资料的完整程度,自动判定其是否满足计量标准。对于符合条件的构件,可生成中间计量单元,并自动附带相关工序质检资料、现场影像等文件。计量结果通过统一模板,自动输出为电子报表,支持发起包含监理、审计和业主 3 方的线上审批流程,并进行电子签章,实现全程留痕。该流程有效避免了传统计量环节中超计、多计及提前计量等问题,自动化计量示意如图 12 所示。

图 12　自动计量界面

4　BIM 技术在高速公路应用中的价值分析

采用三维视距复核、“三改工程”复核、征迁管理、方案可视化比选等一系列 BIM 应用,可在一定程度上解决徐州市高速公路设计与施工阶段的重、难点问题,其应用价值如下。

4.1　三维视距检查

对应问题：存在局部视距盲区与限界冲突。

价值体现：通过BIM技术，在沿线建立连续三维视点，并结合护栏、路侧构筑物、植被及既有道路进行逐桩检测，能够在设计阶段识别局部遮挡问题。针对徐州市的丘陵、堤段与既有构筑物密集段，提前优化线形，或调整设施位置，可减少现场返工，降低安全隐患，并为标志、标线与防眩设计提供量化依据。

4.2　“三改工程”复核

对应问题：路网与水系的连通性敏感，改造后影响大。

价值体现：通过BIM与倾斜摄影（GIS）叠加复核，能够在三维环境中模拟村落出入口、农机通行与水系排泄路径，发现改路、改沟可能导致的通达性与排水中断点，支持更符合生产、生活需求的改造方案，从而降低施工阶段的社会阻力与后续改造成本。

4.3　征迁管理

对应问题：征迁对象零散，核算与公示难度高。

价值体现：BIM模型结合高分辨率倾斜摄影，可快速生成受影响构筑物清单、影像档案与权属示意图，支持“一图一表”式可视化公示与补偿测算，提升补偿核算精度，缩短谈判周期并增强透明度，有助于加快征迁进度并降低纠纷率。

4.4　方案可视化比选

对应问题：多目标约束下的空间权衡。

价值体现：在穿越城郊复合区，或跨铁路、跨河段时，BIM技术可并置多个方案，如将占地小但征迁多的方案与占地较大但对环境影响小的方案进行对比，通过三维模型，直观地展现工程量、征迁代价与通行影响，帮助决策者、公众及管理单位高效达成平衡决策，降低方案反复与公众异议。

4.5　协同设计与施工图纸复核

对应问题：多专业接口复杂，跨机构审批繁琐。

价值体现：利用BIM统一数据模型、碰撞检测与1∶1节点深化，有助于设计人员在审核阶段提前发现结构、排水、通信等专业间的接口冲突，缩短设计循环，减少审批来回，提升施工的可行性并降低变更率。

4.6　施工期进度、质量与计量管理

对应问题：多标段、长周期、结算争议与质量追溯难。

价值体现：基于BIM的构件级进度可视化模型，项目管理者能够在时间与空间上精确定位滞后点，并优化资源配置；质检资料与模型关联，可以实现构件级闭环整改与责任追溯；自动化计量可以减少人工计量误差，提升支付的透明化，降低结算争议，提升工程整体的交付效率。

4.7　区域化数据沉淀与标准化

对应问题：重复工作量大，须满足地方规范的要求。

价值体现：在徐州市逐步积累项目级BIM模型、构件编码与复用模板后，可逐步形成地方化实施规范与模型库，降低后续项目初期投入，缩短设计与施工准备周期，并为本地区智慧公路（数字化）管养提供基础数据支撑。

5　结　语

随着我国社会经济的快速发展，高速公路工程正面临设计科学化、施工精细化和管理智能化的多重要求。BIM技术凭借其可视化、集成化与数据驱动等优势，已成为推动高速公路建设数字化转型的重要手段。

本文以徐州市高速公路建设项目为研究对象，系统地探讨了BIM技术在设计与施工阶段的具体应用。在设计阶段，通过三维视距检查、“三改工程”复核、征迁管理、方案可视化比选及协同设计等手段，有效提升了设计的合理性与可实施性；在施工阶段，依托BIM协同管理平台，构建了涵盖进度、质量、计量等核心业务的闭环管理体系，实现了构件级动态跟踪、质量在线追溯与计量自动化，大幅度提升了工程管理的精细化与透明化水平。研究成果表明，BIM技术在高速公路建设全生命周期管理中具有显著的应用价值和推广潜力，可为同类工程提供可借鉴的实践经验与技术路径。

参考文献：

[1] 张科超，王珏，朱秀玲，等.BIM技术在高速公路改扩建工程建设期的应用研究[J].公路，2022(4)：67.

[2] 肖建勇，严伟，乔世范，等.基于BIM的公路边坡可视化管理方法研究[J].铁道科学与工程学报，2024，21(6)：2342-2358.

[3] 朱承前，蓝先林，杜镔，等.贵州省智慧高速公路顶层架构设计及应用体系研究[J].公路，2023(1)：266-274.

[4] 许利彤，赵健，亓祥成，等.BIM技术在高速公路改扩建施工落地应用研究[J].公路，2021，66(8)：18-22.

[5] 吴绍明，冯远鹏，闫怡雯，等.基于BIM+GIS的高速公路数字沙盘研究及应用[J].公路工程，2023，48(2)：73-80.

[6] 孙宏.BIM技术在公路项目安全性评价中应用研究[J].公路，2018，63(6)：204-207.

（下转第202页）