

BIM技术在公路改扩建设计中的应用

黄炎

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司,湖北 武汉 430000)

摘要:通过分析公路改扩建设计的特点,提出适用于公路改扩建工程的BIM模型组织结构,并总结BIM在公路改扩建设计阶段的应用技术路线。该文详细阐述环境模型、老路工程模型和新路工程模型的建模方法,并针对方案论证和比选、公路性能分析、横断面出图和工程量统计、辅助交通组织设计等方面,在多个公路改扩建工程中进行应用实践。

关键词:公路工程;改扩建;BIM;勘察设计

中图分类号: U418.8

文献标志码: A

中国高速公路的建设早期受社会经济水平、技术条件和设计思想的制约,建设标准普遍不高。随着社会经济的快速增长,交通流量增长远超过立项时的预测,既有早期高速公路已逐步显现出通行能力不足、服务水平下降的问题^[1]。现阶段高速公路建设规模逐渐趋于饱和,新建项目规模和数量逐渐减少。而加快早期建成的公路扩容改造,正逐步成为当前公路交通建设的主要任务^[2]。公路改扩建工程受既有道路影响大,工程复杂,技术难度高,在勘察、设计、施工中都存在很多亟待解决的痛点问题。

BIM(Building Information Modeling)技术以工程项目数据为基础建立模型,并在建设各阶段进行合适的应用,能够提升行业整体信息化水平,提高工作效率和工程质量。BIM技术被作为交通科技发展的重要内容,也是交通建设行业发展的必然选择^[3]。现阶段BIM技术已被应用在许多新建公路工程项目中,因其可视化、信息化、协同化等特点,发挥着规避错误、提升效率,优化质量、节约成本的价值。然而,现阶段BIM技术在公路改扩建工程中的研究和应用尚少,还没有成熟的建模规范和应用体系,未能充分发挥其价值。基于此,该文结合中国多个公路改扩建工程设计阶段的BIM应用经验,对改扩建设计中BIM应用的主要技术问题进行讨论和总结,为BIM技术解决改扩建设计中的痛点问题提供参考思路,为同类工程提供借鉴和启发。

1 公路改扩建设计BIM应用需求分析

改扩建工程与新建工程的设计特点有明显不同,

其难点并不体现在如线路走向等总体方案设计上,而是在于许多细部方案的处理,如道路拼宽、路面加铺、桥梁拆除和拼接、交通组织与保通等。这些细节设计,需要紧密结合现场实际情况,做大量的勘察调研工作。尽管如此,仍很难全面考虑现场可能会发生的所有情况,只能针对施工过程中遇到的具体问题,提出折中的解决方案,依靠动态设计来弥补前期工作深度不足的天然缺陷。该文根据中国公路改扩建设计实践经验,分析和归纳改扩建工程设计特点,指导BIM技术应用研究方向,以期解决设计工作的一些难点问题。

1.1 改扩建基础数据的采集与处理

公路改扩建工程设计的关键在于对现状道路的调查。改扩建设计要解决好道路拼接、桥梁拼宽、加固改造、软基处理等问题,需要先做好老路的测量和检测,收集设计、竣工、养护资料,做好交通量调查等工作。因此,需要利用先进的测设手段,准确掌握拟改扩建公路的基础数据^[4],并真实还原和管理其工程信息及环境信息。

1.2 改扩建方案比选及优化

改扩建设计需要全面考虑老路利用、征地拆迁、交通组织、造价投资、保护环境等因素,提出合理的设计方案。因此要求BIM软件平台具备对各种数据存储、计算和快速调用的能力,并且能够针对不同的设计方案进行快速分析、评价和比选。

1.3 出图与工程量统计

改扩建工程力求充分利用既有道路,但线形指标为满足新规范,就需对老路进行加铺、铣刨、拼接等改

造。进行横断面设计时,一般只会给出加铺原则:即路面的设计高程与现状高程的高差对应着不同加铺层数、结构厚度和加铺材料。设计人员给出新建道路横断面,由现场技术人员根据加铺原则细化路基路面结构。这种设计思路存在两个弊端:一是现场工作量大,且难以控制质量;二是无法准确估算加铺工程量,为业主控制造价带来很大不便。

1.4 改扩建交通组织设计

改扩建交通组织设计的目标是使车辆在区域路网上有序运行,避免路段或节点因缺少资源造成拥堵^[4]。交通组织设计是一个多层次的动态设计过程,仅靠设计人员借助平面图,很难做出正确、合理、高效的方案。因此,需要借助计算机技术,对交通组织设计方案进行试算、验证和优化。同时,交通组织设计的成果也比较复杂,需要借助新的技术手段,进行准确快速直观展示。

2 公路改扩建 BIM 总体技术路线

2.1 公路改扩建 BIM 模型组织结构

公路工程在空间上呈带状分布、点多线长的特点,并且包含专业众多,各专业模型的特点差异巨大^[5]。对于公路工程,通常将 BIM 模型分为环境模型和工程模型:环境模型主要包含地形、地物、地质、地理信息等;工程模型主要包含路线、路面、路基、桥梁、隧道、涵洞、交通标志和机电设备等^[6]。

对于改扩建工程,还需要考虑既有道路的定义和处理。相对新建工程而言,既有道路属于环境的一部分,但其工程属性与自然环境有较大区别。既有道路 BIM 模型的创建,依据留存的工程文档、竣工资料等,无法完全准确还原,所以其模型创建思路与新建工程也存在一定差异。因此,老路工程模型应当有别于环境模型和新建工程模型,进行单独分类、创建和管理。

合理的组织结构能方便模型信息的管理存储和精确检索,为模型和信息在全生命周期流转和应用奠定基础^[9]。根据以上分析,提出适用于改扩建工程的 BIM 模型组织结构。该文将改扩建工程 BIM 模型组织结构分为 4 个层级。第一层是类型级,将 BIM 模型分为环境模型、老路工程模型和新建工程模型三类;第二层是标段级,依据适合不同类型级模型的特点,对模型进行标段划分,以减少各标段模型的体量,方便存储、调用和管理;第三层是功能级,主要根据专业对工程模型进行分类;第四层是构件级,在功能级基础上增加详细信息描述。公路改扩建 BIM 模型组织结构如

图 1 所示。

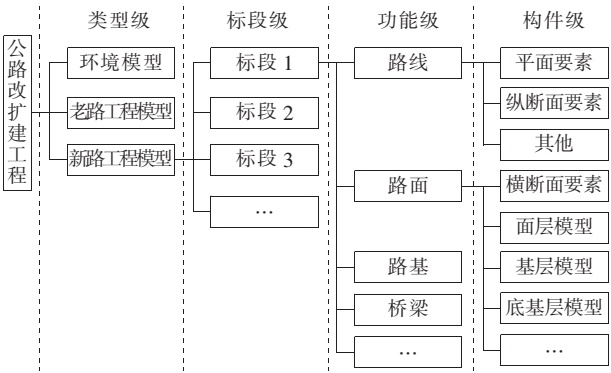


图 1 公路改扩建 BIM 模型组织结构

2.2 公路改扩建 BIM 设计技术路线

公路改扩建设计阶段 BIM 工作主要有两方面:一是完成出图、工程量统计等设计任务,并完成各种 BIM 应用工作;二是完成设计成果的数字化交付,为工程信息在后续施工、运维阶段应用奠定基础。两者的基础是创建合适的 BIM 模型。公路工程涉及专业众多,各专业特点差异巨大,单一平台或软件仍不满足公路改扩建全部业务需求。一个完备的 BIM 设计应用系统,核心是具备完整业务逻辑的数据库,向上是符合各专业特点的交互设计模块,向下是满足各种应用需求的成果表达模块。图纸、模型、工程量统计等都是数据库根据应用需求进行的不同形式的表达。

首先在交互设计层,需要完成环境模型和工程模型设计创建工作。利用外业测量、航空摄影、激光扫描等测设手段采集地理信息数据,并转换为环境模型,作为 BIM 设计的基础。然后通过参数化设计,完成路线、路基路面、构造物等各专业设计工作。逻辑数据层负责设计数据的存储和管理,并通过建立各种几何约束和逻辑约束,完成专业内部和各专业之间,构件和要素的逻辑运算,实现动态关联和自动设计。设计人员根据反馈结果,不断对方案进行调整和优化。在应用表达层,设计人员根据需求,完成方案比选、出图、工程量统计、征拆分析、成果展示等各种 BIM 应用工作。最后,在数据共享层,将模型、信息、图纸、量表等设计成果转换为数字资产,完成数字化交付。改扩建公路 BIM 设计系统总体框架如图 2 所示。

3 公路改扩建 BIM 模型的建立

3.1 环境模型

公路工程点多线长,各种结构都以环境为基础,环

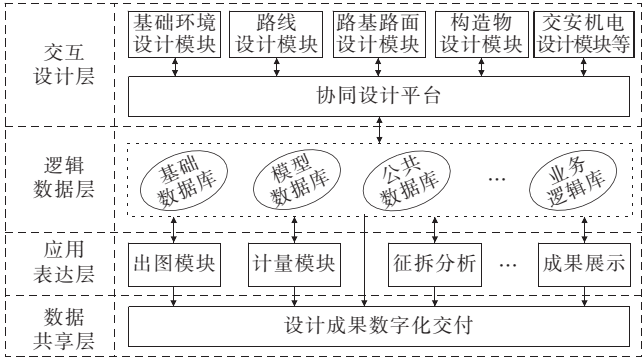


图 2 BIM 设计系统结构图

环境模型的准确性直接决定后续工程模型的准确性。环境模型主要包含地形、地质、地物、地理信息等。地形数据借助多种测试手段获取,主要来源有高分辨率卫星测量、航空摄影测量、三维激光扫描、无人机倾斜摄影测量等。BIM 软件依据高程点、等高线、特征线等地形数据,生成满足精度要求的数字地面模型(DEM)。为更加直观反映地貌,将高清地形纹理图片(DOM)与数字地面模型叠合,生成真实的三维地面模型。地质 BIM 模型主要依据地勘资料创建,根据类型、埋深、岩层、富水特性等参数,生成三维地质模型。地理信息数据主要来源是网络 GIS 矢量数据,通过将路网、水系、行政区划、环境保护区等加载到环境模型中,形成完整的环境 BIM 模型。利用环境 BIM 模型,可以进行一些应用工作。图 3 为某改扩建工程环境 BIM 模型,该路段改扩建方案拟定为分离新建:上部是现状道路走廊带,下部是拟改扩建路线走廊带。图 4 为利用环境 BIM 模型对该路段进行标高分析,图 5、6 为对拟新建隧道洞门区域进行坡向分析和坡度分析。



图 3 环境模型

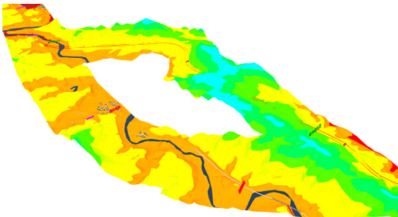


图 4 高程分析

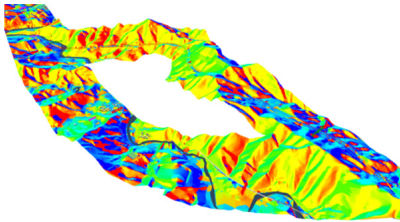


图 5 坡向分析

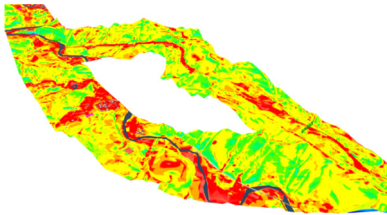


图 6 坡度分析

3.2 老路工程 BIM 模型

公路改扩建设计最主要的特点是新路既要满足相关的技术标准,又要最大限度利用现有工程。平纵设计既不能简单地进行理想化设计,也不能简单地完全利用老路平纵面,而是需要结合老路拟合成果进行设计^[4]。因此,需要准确掌握老路的工程信息,还原工作显得尤为重要。

老路 BIM 模型的创建主要有两种技术路线:建模还原法和实景还原法。建模还原法是利用精密机载三维激光扫描^[2]等先进的测设手段,获取老路平纵数据,拟合老路路线;然后根据工程设计资料、竣工资料和外业调查资料,掌握路基、路面、桥梁、涵洞、隧道等结构的详细信息;最终利用与新路建模相同的技术手段,将老路还原成工程 BIM 模型。该方法优点是老路工程属性与新路较为统一,在进行 BIM 设计时,构件间交互业务逻辑更加清晰;缺点是需核对模型与实际的一致性,建模也需较多的人工干预。在调查资料不完备情况下,无法做到真实还原。

实景还原法主要是利用实景建模技术,如倾斜摄影测量,通过实景建模软件自动完成空三计算和模型重构^[7]。然后将收集到的工程信息挂载在实景模型上,实现老路工程 BIM 模型的创建。该方法优点是能够最大程度真实还原老路外观,且只需要较少的人工干预,建模效率高;缺点是实景模型的格式多为网格,较难与新建模型发生交互;倾斜摄影模型的精度只能达到厘米级,尚不能满足桥梁拼宽设计等精细设计的要求。图 7 为建模还原法和实景还原法效果对比图。

该文从建模效率、模型精度、经济效益、拓展能力

四方面对两种建模方法进行对比分析,结果如表 1 所示。实际应用过程中,可依据具体需求和项目特点,选择合适的老路还原方法。

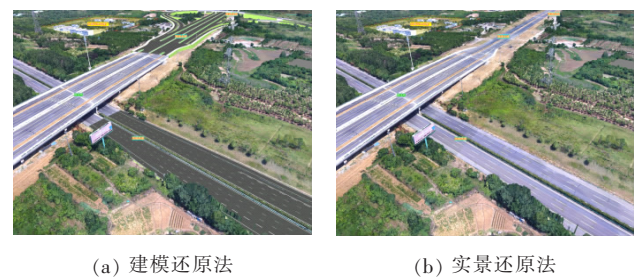


图 7 建模还原法与实景还原法效果对比

表 1 建模还原法与实景还原法对比

| 建模方法 | 建模效率 | 模型精度 | 经济效益 | 扩展能力 |
|-------|------|------|------|------|
| 建模还原法 | 低 | 高 | 低 | 高 |
| 实景还原法 | 高 | 低 | 高 | 低 |

3.3 新路工程 BIM 模型

(1) 三维路线模型创建

现阶段具备完备功能的 BIM 设计系统仍在开发,单一软件还不能满足所有 BIM 需求,因此需利用多款软件进行协同工作,实现模型和数据交换。该文选择 Autodesk 公司 Civil3D 软件作为路线和道路设计平台。其具备比较成熟的路线设计功能,可以实现调整路线平纵,道路模型联动更新等功能。但 Civil3D 自带的平纵设计思路与方法并不完全符合中国工程技术人员习惯,在路线设计的灵活性运用、规范匹配程度等方面均不及路线设计软件^[8]。目前常用做法是将路线设计软件的成果,转换为 Civil3D 路线数据格式,再进行优化和微调,从而平衡工作效率和设计质量。

(2) 路基路面模型创建

创建路基路面模型的原理:通过定制参数化横断面模板,使三维路线“戴帽子”生成。利用 Subassembly Composer 中点、线、面等逻辑要素,定义路基、路面、边坡等结构,并对各部位结构构件赋予名称、材质等信息,从而实现参数化横断面模板定制。改扩建工程路基路面参数化横断面设计的难点在于,需要将老路也转换为逻辑目标,与自然地形一起,参与到横断面的构建中。设计人员综合考虑路面构造、施工工艺、成本控制等因素,给出不同新老路标高差值对应的路面结构层设计规则。整理出所有工况下的路面加铺原则,并将其设计逻辑写入横断面模板。然后将横断面模板沿三维路线进行“扫掠”,自动解算逐桩横断面构造,从而实现改扩建路面结构自动设计。

(3) 构造物模型创建

在完成路线和路基路面模型创建后,需要进一步完成桥梁、隧道、涵洞、天桥等构造物模型的创建。现阶段各种 BIM 软件或多或少内置了一些构造物建模的模块,但较难满足所有的应用需求。设计人员需要根据项目特点,以及不同设计阶段对模型精度^[5]要求,选择适当的建模方法。该文主要介绍 3 种常用的构造物模型创建方法:① 利用方案设计软件内置功能进行快速建模。在方案设计阶段,对建模精度要求不高时,可以利用方案设计软件进行构造物的快速创建,常见有 Infracore 等。这类软件自身具备平台功能,能够承载地形和路线等信息,同时提供参数化建模功能。通过简单的参数设定,就能够快速生成桥梁、隧道、涵洞等构造物。此外,也可以利用路线专家、鸿业路路、同豪土木等设计软件内置的构造物设计模块进行参数化建模。这两种方式生成的模型,都具备一定的拓展性能,可以导出通用数据格式,在不同平台或软件之间流转,也可转化为深化设计模型;② 利用专业软件建模。许多构造物在其专业领域已经有比较成熟的三维设计软件,如利用 Revit 进行建筑设计,利用 Tekla 进行钢结构设计,利用 Midas/Civil 进行桥梁结构设计。利用此类软件进行精细的参数化建模,并借助软件预留的数据接口,将模型和信息转化为所需的形式;③ 利用基础平台二次开发建模。信息是 BIM 模型的核心,不同的应用阶段及应用目的,对信息的维度和深度,都提出了截然不同的需求。前两种方式虽然能够解决建模的基本需求,但很难满足模型及数据在不同阶段的流转和应用的目标。因此,在基础平台上进行深入开发,根据应用需求定制模型和信息模板,才能真正实现不同应用阶段模型和信息的无缝衔接。

4 基于 BIM 模型的解决方案

通过上述技术路线,创建合适的公路改扩建 BIM 模型,并针对改扩建设计的特点进行应用,能够在一定程度上解决设计中的痛点问题。

4.1 数据采集与方案比选

环境 BIM 模型承载了拟改扩建路线走廊带的地形、地物、地质、地理信息,并融合了老路工程模型,是三维路线方案设计和比选的基础。在此基础上进行路线方案设计和融合,对新建工程进行实景模拟,能直观反映设计方案与老路关系、桥隧构造物布置等基本情况。将多个设计方案 BIM 模型加载到统一环境场景

下,并借助 BIM 软件的统计功能,快速计算不同方案的填挖方规模、征地拆迁等经济指标,能够方便设计人员对不同方案进行对比分析。

4.2 公路性能分析

对拟改扩建公路特性进行评价和分析,是改扩建工程的重要环节。拟改扩建公路评价主要包括:运行安全性评价、公路状况评价、交通量分析和通行能力评价等。利用 BIM 技术可将老路进行数字化还原,提取所需数据进行性能评价。对事故多发路段进行分析,找出不利于车辆运行的原因,在改扩建设计中提出针对性措施。对改扩建后的路况,利用 BIM 技术空间立体分析能力,综合考虑挖方路基、竖曲线、周边建筑物、植被等因素对行车视距和光照的影响,评价改扩建方案的安全性。

4.3 横断面出图与工程量统计

高效地绘制施工图及完成工程量统计是 BIM 应用的核心价值之一。在完成路线平纵设计后,通过构建路基路面 BIM 模型,程序会自动完成横断面解算,并完成工程量的统计。设计人员根据需要,从数据库中调用所需的成果。表 2 为某高速公路改扩建项目双侧拼宽路段填挖方量对比。由表 2 可知:利用 BIM 模型计算的工程量更接近实际值。

表 2 断面法与 BIM 法土方量对比表

| 类型 | 土方量 | | | | |
|-------|------------------------|------------------------|----------|--------------------------|----------|
| | 实际值/ m ³ | 断面法/ m ³ | 偏差/ % | BIM 法/ m ³ | 偏差/ % |
| 累计挖方量 | 32 526 | 27 159 | -16.5 | 28 851 | -11.3 |
| 累计填方量 | 115 652 | 94 603 | -18.2 | 100 386 | -13.2 |
| 净体积 | 83 099 | 67 444 | -18.9 | 71 535 | -13.9 |

4.4 辅助交通组织设计

改扩建工程的交通组织设计是一个多层次的动态设计过程,需要综合考虑交通流量和周边路网的关系,设计难度高;其成果是一个在时间空间不断变化的过程,很难用静态方法表达清楚。借助 BIM 模型可以有效辅助交通组织方案的编制和表达。将初步拟定的交通组织方案 BIM 模型载入到环境 BIM 模型中,能够综合直观体现周边地形、地物、路网、农田、社区、环境敏感区等环境因素与改扩建方案的关系。结合交通量分析软件,对主交通流量、出入口流量、各车道流量与

通行能力进行评价。利用 BIM 模型对交通组织方案进行预演与分析,对交通导改方案进行模拟,暴露出设计中不合理的地方加以修正。仿真模拟动画可以作为交通组织方案设计的辅助成果,指导现场的施工组织,避免交通断流和资源浪费。

5 结语

通过分析公路改扩建工程设计的特点,找出其中最迫切的需求,结合 BIM 技术的特点,研究并提出了适用于公路改扩建工程的模型组织结构和应用技术路线。详细阐述了环境模型、老路工程模型和新路工程模型在建模过程中的技术特点,提出实景还原和建模两种还原现状道路的技术方法,并分析对比了两者的优劣。提出了改扩建道路模型创建方法,特别分析了将改扩建加铺原则写入到参数化横断面的技术路线,从而实现改扩建路面结构自动设计,完成自动出图和工程量计算。最后,将上述 BIM 技术方法在多个公路改扩建设计中进行了应用实践,取得了一定的成果,可为 BIM 技术解决改扩建工程实际问题提供借鉴。

参考文献:

[1] 岳军委. 高速公路改扩建工程设计方法探讨[J]. 中外公路, 2015, 35(6): 343—346.

[2] 余绍淮, 陈楚江, 张霄, 等. 基于精密机载三维激光扫描测量的高速公路改扩建勘测设计方法[J]. 中外公路, 2012, 32(1): 5—8.

[3] 梁才, 覃延春. BIM 技术在公路方案设计中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(3): 89—91.

[4] 廖朝华. 高速公路改扩建工程关键技术研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.

[5] 王丽园, 陈楚江, 余飞. 基于 BIM 的公路勘察设计与实践[J]. 中外公路, 2016, 36(3): 342—346.

[6] 陈中治, 望开潘. 公路 BIM 模型等级研究[J]. 中外公路, 2018, 38(6): 321—326.

[7] 黄炎, 丁聰, 何鲁鄂. 倾斜摄影测量技术在旧城改造工程中的应用[J]. 土木工程, 2018, 7(3): 381—388.

[8] 蒋科. BIM 技术在公路工程设计阶段中的应用技巧[J]. 公路交通科技, 2018, 34(2): 17—21.

[9] 孙建诚, 李永鑫, 王新单. BIM 技术在公路设计中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(11): 23—27.