

复杂地形下桥梁 BIM 正向设计与参数化建模应用

朱超¹ 唐涛²

1 重庆设计集团有限公司, 重庆 400020

2 重庆科学城高新产业发展有限公司, 重庆 401331

[摘要]伴随基础设施建设向前推进, 复杂地形环境下桥梁设计的需求日益增多。传统的方法很难满足多变地形以及多方案优化所提出的高效且精准的要求。全面且细致地分析复杂地形的特点及其对桥梁选型布置所产生的影响, 构建起基于 BIM 的桥梁正向设计技术体系, 提出针对构件族的管理方式以及多专业协同的工作机制, 深入且详尽地探讨参数化建模的逻辑思路与具体的实现途径, 并且结合 Revit、Rhino、Civil3D 等一系列相关工具来加以解析。通过一系列操作, 验证了参数化建模在提高设计效率、增强表达精准度以及实现方案快速生成等方面所具有的优势。研究得出, 将 BIM 正向设计与参数化建模相互融合, 能够大幅提升设计水准, 进而为桥梁智能建造以及可持续发展筑牢技术方面的基础。

[关键词]复杂地形; 桥梁; BIM; 正向设计; 参数化; 建模

DOI: 10.33142/sca.v8i6.16838

中图分类号: U443

文献标识码: A

Application of BIM Forward Design and Parameterized Modeling for Bridges in Complex Terrain

ZHU Chao¹, TANG Tao²

1. Chongqing Design Group Co., Ltd., Chongqing, 400020, China

2. Chongqing Science City High-tech Industrial Development Co., Ltd., Chongqing, 401331, China

Abstract: With the advancement of infrastructure construction, the demand for bridge design in complex terrain environments is increasing day by day. Traditional methods are difficult to meet the efficient and accurate requirements of diverse terrains and multi scheme optimization. Comprehensively and meticulously analyze the characteristics of complex terrain and its impact on bridge selection and layout, establish a BIM based forward design technology system for bridges, propose a management method for component families and a multi-disciplinary collaborative working mechanism, deeply and thoroughly explore the logical thinking and specific implementation methods of parametric modeling, and analyze it with a series of related tools such as Revit, Rhino, and Civil3D. Through a series of operations, the advantages of parametric modeling in improving design efficiency, enhancing expression accuracy, and achieving rapid generation of solutions have been verified. Research has shown that integrating BIM forward design with parametric modeling can significantly improve design standards, thereby laying a solid technological foundation for intelligent bridge construction and sustainable development.

Keywords: complex terrain; bridge; BIM; forward design; parameterization; modeling

引言

桥梁属于交通基础设施当中极为重要的一部分, 它的设计质量会对工程的安全性、功能性以及经济性产生直接的影响。在那种地形较为复杂的环境里面, 像山地、河谷还有丘陵这类地方, 桥梁设计就会碰到诸多方面的挑战, 比如空间布置受到限制、结构适应性比较差以及施工难度颇高等等。传统的二维设计模式, 由于其在表达能力方面存在局限, 并且协同效率也不高, 所以很难契合现代工程对于高精度以及高效率所提出的要求。而 BIM 也就是建筑信息模型这项技术的出现, 尤其是其中的参数化建模方法得到应用之后, 便给桥梁设计带来了能够实现可视化的手段, 同时也具备可调控的特点, 并且还能够短时间内快速生成多种设计方案。把复杂地形之下的桥梁工程当作研究的对象, 对设计需求展开系统的分析, 进而构建起基

于 BIM 的正向设计以及参数化建模的体系, 去深入探讨它在实际工程当中的应用途径以及未来的发展走向。

1 智能参数化建模的优势

智能参数化的目的是实现快速建模、快速修改, 缩短时间, 提高设计效率, 目前主要体现在参数化建模方面。参数化建模可高效、智能、精准地创建多种方案选择, 每一个项目设计都不可避免选择多种方案, 而方案的优化需要可视三维模型。参数化环境里选择方案的数目不依赖于建模时间, 只要建立了参数化模型, 一个参数化模型便可以生成无数个不同的子模型, 因此其在项目设计中有绝对优势。

2 复杂地形条件下的桥梁设计需求分析

2.1 复杂地形的分类与工程特征

复杂地形指的是那种呈现出明显空间变化情况、存在较大高差起伏以及地质条件颇为多样的自然地地貌形态, 像

高原地形、山区地形、峡谷地形、丘陵地形还有河网湿地这类区域都属于常见类型。不同种类的复杂地形，它们所具有的工程特征也是不一样的：高原地形以及山区地形常常会伴有岩溶地貌以及不良地质情况，峡谷区域一般会出现狭窄的通道并且水文状况也时常发生变化，丘陵区域虽说高差相对来说较为平缓，然而地形破碎的程度却很高。这些特征给桥梁的布置提出了诸如高跨径、高刚度以及可变结构形式等方面的设计要求。在复杂地形当中，交通通道的布局往往会受到地貌的明显制约，工程实施起来难度大，对于测量精度的要求也很高，所以必须要借助高精度地形建模以及三维可视化等手段来支撑前期的设计决策工作。

2.2 地形因素对桥梁选型与布设的影响

地形特征对于桥梁选型起着关键作用，会直接左右桥型结构的布置样式以及构造方案的经济合理性，在高差比较大的山区地带，拱桥和连续刚构桥由于有较强的适应地形起伏的能力，常常成为优先考虑的桥型，这类桥梁结构可以有效地应对复杂的坡度变化，减少对地基的过度依靠，提高结构的稳定性和安全性。在河谷狭窄且跨度较大的区域，斜拉桥或者悬索桥依靠其长跨径的特点，能够达成跨越式布设，减少中间支撑，降低施工难度与环境干扰，提升通行效率。在桥梁选型的过程中，还必须要综合考量基础施工条件的可行性、施工过程的便捷性以及后期维护管理的便利性，保证结构设计既能满足技术要求，又具备良好的经济效益和可持续性。地形起伏导致的路径偏移更是增加了路线线形设计的复杂性，桥位的选择需要充分融合精确的地形数据，结合交通流量、经济成本、景观保护以及环境影响等诸多方面的因素，科学地去寻找结构布设与地形环境协调的最优路径方案。所以，在桥梁设计的过程中，迫切需要达成地形数据的准确采集、快速处理以及直观表达，借助高精度的三维地形模型来辅助设计，为桥型选型与布设给予全方位、动态的技术支撑，进而提升整体设计的合理性与工程效益。

2.3 多源数据获取与三维地形建模技术

高质量的地形建模对于复杂地形桥梁设计而言是极为重要的前提条件。当下，多源数据融合技术已然成为主流趋势，这其中涵盖了诸如激光雷达（LiDAR）所获取的点云数据、航空摄影测量所得的数据、无人机遥感方面的数据以及传统的测绘数据等多种类型。这些数据都具备高分辨率以及高精度这样的特点，能够很好地对单一数据源在覆盖范围或者地表信息维度上存在的不足之处予以有效地弥补。就三维建模来讲，BIM 平台借助数据接口将地形表面模型导入进来，进而达成与桥梁结构之间的空间对接效果。设计人员结合 Civil3D、InfraWorks 等地形建模工具，可以生成带有等高线、坡度、岩土属性的三维数字地形模型，从而为后续的桥型布设、基础设计以及结构仿真等工作奠定一个基础性的平台。

3 桥梁 BIM 正向设计技术体系构建

3.1 BIM 正向设计的基本原理与流程

BIM 正向设计是以建筑信息模型当作核心，在设计刚开始的时候就把模型构建的过程全面地引入进来。借助参数控制还有多专业协同方面的机制，达成桥梁设计流程在数字化、可视化以及智能化层面的管理效果。其基本流程包含了信息需求分析、模型规划、构件族创建、三维建模、专业整合、模型校核以及最终出图交付等诸多关键阶段。在这个过程当中，设计数据一直是以模型作为载体来实现动态传递以及统一管理的。构件的几何形态、材料属性还有施工工艺等方面的信息会贯穿桥梁结构设计、施工组织以及后期运维管理的各个环节，以此来保证数据的连续性与一致性。与传统那种以二维图纸为主导的逆向建模方法不一样，BIM 正向设计着重于从“模型出发”，凭借系统化的设逻辑生成、精准的几何参数控制以及多维度信息集成，实现从设计构思到成果输出的全过程智能建模支持。

3.2 桥梁构件建模与构件族管理

在开展 BIM 建模工作的时候，构件族称得上是构建桥梁数字模型最为基本的单位。就各类桥梁构件来讲，像墩柱、盖梁、主梁以及支座等等这些，每一种都得去建立和其相对应的族文件，而且要依据构件所具有的几何特征以及参数方面的要求来展开可调化的配置操作。凭借着对族实施标准化的管理举措以及复用的相关机制，设计人员便可以在不同的项目当中较为迅速地对构件模型加以调用、做出修改并完成适配工作，如此一来便能够促使建模效率得以提升。除此之外，构件族里所嵌入的参数并不是仅仅包含几何信息而已，它还把材质、构造、施工以及维护等诸多维度的属性都涵盖进去了，进而保证模型能够在不同的专业之间达成信息的共享并且实现无缝的协作状态。

3.3 多专业协同机制与设计平台集成

桥梁设计涵盖结构、道路、地质、水利、电气等诸多专业的协作事宜。借助 BIM 所构建的协同机制，凭借云平台或者协同软件（例如 Autodesk BIM360、Navisworks 等），达成不同专业模型的集成操作、冲突检测以及信息同步的目的。设计平台的集成应用方面（像是 Revit 与 Civil3D 相互联动、Rhino 与 Grasshopper 进行扩展等），能够实现桥梁设计从路线环节、结构层面一直到构件信息的全过程信息共享，以此来提高设计工作的效率并提升协同的质量。在那种复杂地形的环境之下，多专业的协同就显得格外重要了，其能够有效地去解决设计过程中出现的冲突问题，还能降低建模环节可能出现的误差，并且还能够对施工模拟以及运维数据的集成给予有力的支持。

4 参数化建模逻辑与实现路径

4.1 桥梁参数化设计逻辑框架

参数化建模这一方式，是通过去设定控制变量以及约束规则，进而达成能够灵活生成模型的几何形态、结构构

造还有信息属性,并且可以实时对它们做出调整这样的目的。桥梁参数化设计所遵循的逻辑能够划分成三个层级:处于最底层的是几何构型参数,像跨径、高度、曲率等等都属于这一范畴;处在中间层的是结构构造参数,比如截面形式、配筋构造这类就归于其中;而位于最高层的是设计目标以及规范约束,例如荷载等级、限界控制等等方面的情况^[1]。把各个参数相互间建立起逻辑上的关联,凭借参数来驱动模型的生成,如此便能够实现设计过程的自动化、逻辑清晰化以及最优化的目标,从而给桥梁开展多方案的对比以及适应复杂地形等相关事宜提供相应的技术方面的有力支撑。

4.2 道路线形与结构构件的参数描述方法

在那种地形比较复杂的状况下,道路的线形往往会有比较强的曲率以及高差方面的变化,所以说得借助参数化的方式来精准地去描绘它在水平方向、竖直方向还有横向所呈现出的几何关联。借助 Civil3D 这个工具,是能够构建出包含有控制点、缓和曲线、纵坡、横坡等等诸多参数在内的路线模型的,而这个模型就能够充当桥梁模型进行对接时的基础参照。就结构构件来讲,可以选用 Revit 或者 Rhino 这样的平台,在此平台上凭借参数族来明确界定构件的截面尺寸、长度以及变截面比例等一系列属性,并且要建立起构件彼此之间那种逻辑层面的相互连接,如此一来便能够达成构件模型的快速布置安排以及同步的更新操作,进而让结构设计在灵活性以及效率方面都得以提升。

4.3 参数控制建模流程与工具应用

在实际开展建模工作的进程里,参数控制所涉及的建模流程一般涵盖诸多环节,像是参数需要有详尽的定义工作,要构建起设计逻辑方面的内容,得生成相应的几何形态,并且还要不断地对模型加以调优以及予以完善。Revit 身为结构设计领域颇为流行的软件,其在桥梁结构构件的族建模以及参数嵌入方面显得格外适用,它能够极为精准地对构件的尺寸、材料属性还有连接关系进行管理,进而达成标准化构件的快速生成目标,同时也能够让构件实现灵活的修改操作。Rhino 与 Grasshopper 平台联手之后,在应对复杂几何形态以及自由曲面设计这些情况时,展现出了不容小觑的优势^[2]。设计人员凭借图形化的算法节点以及可视化的控制组件,便能够构建起具备高度逻辑性的参数模型,如此一来,便便于针对桥梁的外形以及结构细节展开实时的调整操作,同时也可开展创新方面的探索活动。Civil3D 把重心放在道路路线以及三维地形建模之上,它可以准确地反映出复杂的地形环境状况,从而为桥梁的选址事宜以及线路优化工作给予可靠的数据方面的支撑。将这三种软件工具协同起来加以应用,把它们各自所具备的优势综合到一起,便构建起了一个完整且高效的桥梁参数化模型体系。设计人员能够凭借参数面板、算法节点以及动态可视化的界面,达成对模型进行实时调节以及快速

迭代更新的目的。这样一种集成式的参数控制流程,极大地提升了设计的响应速度、精度以及模型的一致性,充分满足了在复杂地形条件之下,桥梁设计对于多方案快速生成以及灵活优化的迫切需求,有力地推动了设计效率以及智能化水平的明显提升。

4.4 参数驱动设计在复杂地形中的适应性与灵活性

参数驱动设计所具有的最强优势便是其适应性颇为强大,并且对于变更的响应速度也相当快,这种方法尤其适合地形呈现出多种变化态势且方案会频繁做出调整的桥梁工程项目^[3]。在那种复杂多样的地形状况之下,凭借着对参数加以调整的操作,能够迅速地去适应各式各样的不同高差情况、各类转折情形以及多种跨度方面的需求,而且不用重新构建全新的模型,就能够顺利完成设计方面的迭代工作。与此参数模型还拥有着可被重复利用的特点,可以应用于多个项目的模板化设计环节当中,进而达成经验得以沉淀以及技术能够输出的良好效果。凭借参数化模型这一工具,设计人员便能够实现将构想快速转化为实际建模状态的目标,从而给复杂程度颇高的工程赋予一种高效能且灵活性十足的数字化解决办法。

5 结语

在复杂地形环境下推进桥梁工程设计工作,这无疑给结构选型以及空间布置带来了诸多挑战,与此对于建模精度以及协同效率的要求也变得更为苛刻。针对 BIM 正向设计以及参数化建模展开了一番系统的探究,从而清晰地确定了复杂地形桥梁设计所涉及的核心需求以及建模技术的具体路径。相关研究明确显示,参数化建模在逻辑的严密程度、模型的复用特性以及方案生成的效率等方面均有着十分突出的优势,而 BIM 平台能够为多专业的协作以及全生命周期的管理给予极为有力的支撑。在未来的发展进程中,伴随人工智能、数字孪生等一系列新兴技术的相互融合并加以应用,桥梁 BIM 设计将会进一步朝着智能化、自动化以及平台化的方向去迈进,进而为工程建设领域实现高质量发展赋予全新的动力。

【参考文献】

- [1]张国学.浅析桥梁正向设计与智能参数化建模[J].工程机械与维修,2023(1):105-107.
 - [2]唐诗皓.基于 BIM 技术的桥梁参数化建模设计及应用[J].低碳世界,2024,14(10):148-150.
 - [3]张哲远.基于 BIM 技术的曲线连续梁桥参数化建模及结构分析转换接口研究[D].兰州:兰州交通大学,2021.
- 作者简介:朱超(1990.6—),毕业院校:重庆交通大学,所学专业:桥梁与隧道工程,当前就职单位名称:重庆设计集团有限公司,职称级别:高级工程师;唐涛(1992.3—),毕业院校:重庆交通大学,所学专业:建筑与土木工程,当前就职单位名称:重庆科学城高新产业发展有限公司,职称级别:高级工程师。