

基于公路工程信息模型的斜拉桥设计应用

刘智 郝龙 陈宏俊 房延博

(中交第一公路勘察设计研究院有限公司,西安 710065)

【摘要】本文以呼和浩特市大黑河桥为背景工程,初步探索了公路工程信息模型相关标准在斜拉桥设计过程中的应用路径,从斜拉桥信息模型定义、设计流程、建模要求、输出施工图及建模分析软件选用几个方面给出了具体实现的方法。本项目实践表明,基于公路工程信息模型开展斜拉桥设计可以提高实际工作效率,具有一定的现实意义和应用前景。

【关键词】斜拉桥;公路工程信息模型;ObjectARX

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木建筑工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

引言

公路工程信息模型(highway information modeling)是在公路工程全生命期内,包含工程信息属性的数字化模型载体^[1,2]。目前,公路工程信息模型相关规范、标准及技术指南正在陆续发布,这些新技术标准在桥梁工程尤其是桥梁设计阶段如何应用来达到预期目标,具体实施路径、方法尚不统一,值得在实际项目中探索和总结经验。斜拉桥桥型方案在工程中应用越来越广^[3],这种桥型所在路线的平纵线形相对简单,等宽而且墩台一般都是正布,三维几何建模及工程数量统计难度适中,选择斜拉桥桥型作为公路工程信息模型设计示范应用有一定代表性。笔者以呼和浩特市大黑河桥为背景工程初步探索了基于公路工程信息模型相关标准在斜拉桥设计过程中的应用路径,从“斜拉桥信息模型”定义、优化设计流程、按标准建模、输出施工图及建模分析软件选用几个方面给出了具体实现的方法。

1 项目简介

大黑河斜拉桥是内蒙古和林格尔新区金盛快速路工程重点控制性工程,主桥采用 $2 \times 135\text{m}$ 跨径组合的拱塔单塔双索面斜拉桥方案,索塔为双椭圆

形异形四拱圈型索塔,塔高86m。拉索采用双索面扇形布置,上部主梁采用钢混组合梁,梁高3.184m(主梁中心线处),其中边主梁中心线处梁高3.0m,桥梁全宽29m。拉索采用平行钢丝束,斜拉索梁上采用锚拉板锚固,群桩基础,桩基为钻孔灌注桩基础。



图1 全桥效果图

2 技术路径

公路工程用斜拉桥设计一般分两阶段即初步设计和施工图设计,本文探讨的是大黑河桥施工图设计阶段的应用。传统斜拉桥施工图设计中主要工作内容包括构件尺寸拟定、结构计算分析、编制

【作者简介】刘智(1977-),男,高级工程师,主要研究方向:公路桥梁工程设计及相关软件科研。

设计文件(施工图及计算书),设计过程中不断优化本质上是上述工作的重复。施工图设计工作效率高低量化指标一个是设计周期长短,另一个就是这种反复的次数。采用目前成熟的设计软件工具已经很难大幅提高设计效率。尝试新技术应用、优化设计流程、对应研发新软件工具对设计工作效率进一步提升有积极意义。

随着公路工程信息模型为核心的 BIM 技术近年来在交通行业的应用日渐增多,BIM 技术在斜拉桥设计中也已有实际工程应用^[5-6]。从应用结论描述可发现采用 BIM 技术对斜拉桥设计效率和质量有提升,但分析这些项目具体应用路径不难发现,基本上都是参照建筑信息模型相关标准,使用 Revit、达索等软件系统完成。无论标准还是专业软件对公路工程项目中斜拉桥特点和针对性仍有提升空间。所以上述应用路径对本项目并不完全适用。

大黑河斜拉桥施工图设计时,恰逢行业标准《公路工程信息模型应用统一标准》、《公路工程信息模型设计应用标准》处于征求意见稿阶段。研读了上述两部标准后,结合相关城市桥梁出版物《市政道路桥梁工程 BIM 技术》笔者制定了符合大黑河

桥特点的设计应用路径。概况描述整个路径即:以“公路工程信息模型”相关标准为参考,确立“斜拉桥信息模型”在设计中的核心地位,优化传统设计流程,编程实现参数化建模,基于模型编制施工图设计文件。技术路径架构图如图 2 所示。

3 应用要点

《公路工程信息模型应用统一标准》和《公路工程信息模型设计应用标准》全程指导了大黑河桥设计,同时以这两部标准为依据研发了参数化建模及模型信息分析软件“BridgeBIM_CSB”系统来配合完成整个设计工作。

具体应用要点列举如下:

3.1 斜拉桥信息模型定义

基于标准结合本设计项目情况,确立大黑河“斜拉桥信息模型”(以下简称“模型”)在施工图设计中具有核心地位。设计过程中创建、修改、完善“模型”是工作重点,施工图设计文件编制尝试基于“模型”完成。

“模型”分三维几何实体部分和实体上附加工程属性信息两部分工作,三维几何实体部分采用编

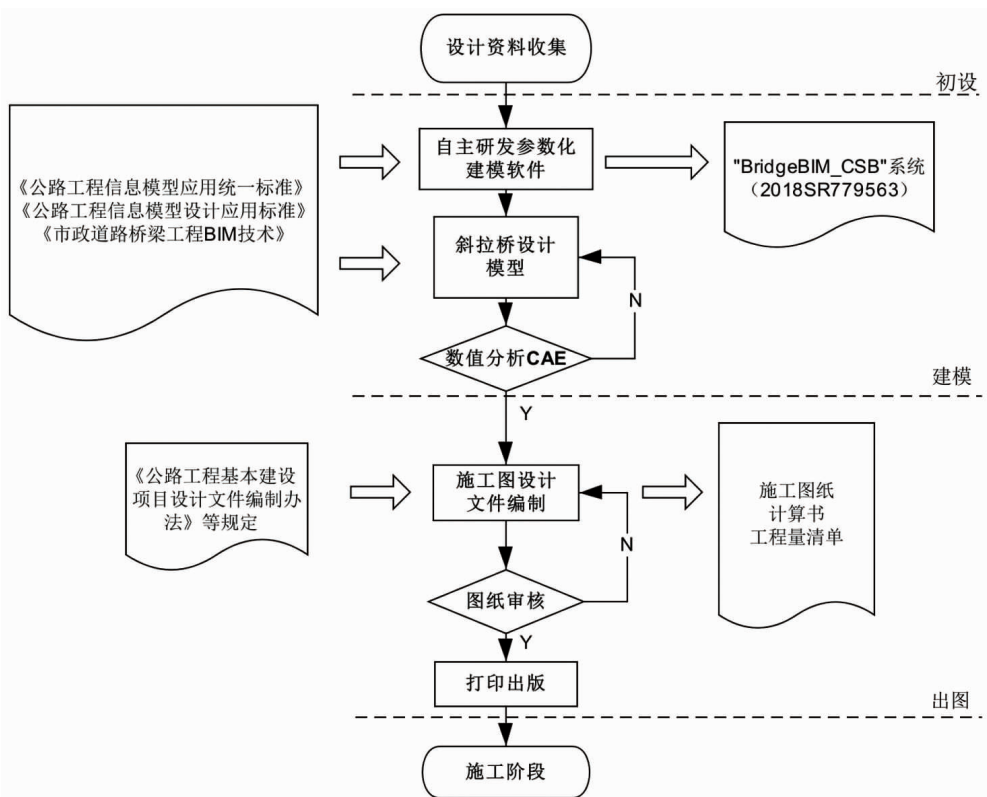


图 2 大黑河桥技术路径架构图

基本深度等级

深度等级	描述
LOD1.0	含基本外轮廓形状, 粗略的尺寸、形状、主要的设计信息
LOD2.0	近似几何尺寸, 形状和方向, 能够反映物体本身大致的几何特性, 以及主要的设计信息
LOD3.0	精确的几何尺寸, 能够反映物体的实际外形并且可以保证施工准备和模型应用分析, 以及包含详细的设计信息
LOD4.0	精确的几何尺寸, 能够反映物体的实际外形并且包含详细的施工信息
LOD5.0	精确的几何尺寸, 能够反映物体的实际外形并且包含详细的运维信息

图3 《公路工程信息模型应用统一标准》

程实现参数化建模, 工程属性信息附加部分采用编程实现几何、非几何数据和“模型”单元的关联。

空间结构指由基本构件有组织组合的一种构造物的层次结构分解, 为构造物提供必要的分解结构。按照标准中数据存储部分规定(2.05 空间结构、3.3 模型体系、5.3.1 钢筋类、5.7.1“桥梁”实体在数据存储中“IfcBridge”规定), 本桥梁的主要空间结构单元命名原则和空间关系遵循图4所示。

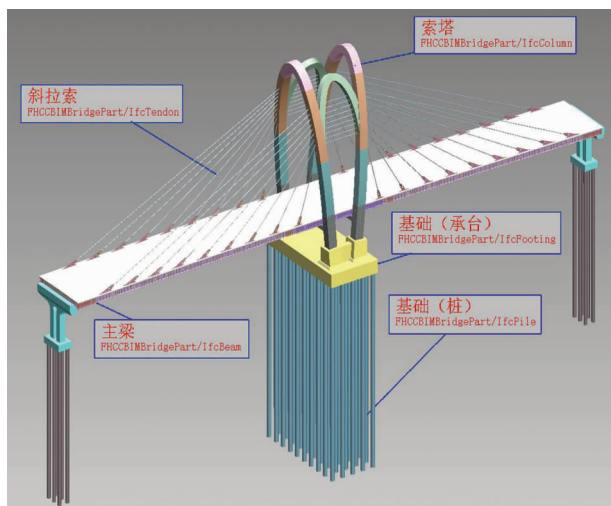


图4 大黑河桥“斜拉桥信息模型”空间结构分解示意图

其中“IfcBridge”、“IfcBeam”、“IfcPile”、“IfcFooting”、“IfcColumn”、“IfcTendon”完全和标准定义同步, 在研发的软件系统中专业模块划分、数据库表单名称及C++类名称定义中也保持对应, 确保了大黑河桥“斜拉桥信息模型”系统应用的一致性。

3.2 优化设计流程

参考《市政道路桥梁工程 BIM 技术》相关章节内容制定了围绕大黑河桥“斜拉桥信息模型”展开的施工图设计流程如图5所示。

整个流程在保持传统设计习惯基础上, 尝试融入大黑河桥“斜拉桥信息模型”的应用, 第一个环节整体规划就是以“模型”定义为基础; 第二环节“模型”建立投入了大量参数化建模人力和时间资源; 第三个环节“模型”组装也是按照标准结合平纵横设计数据完成; 第四个环节从“模型”导出到结构分析软件“Midas”和“Ansys”中进行全桥和局部构件验算提高了计算模型前处理效率; 第五个环节基于“模型”编制施工图设计文件过程有别于传统设计。在大黑河桥整个设计过程中, 为寻求优质设计成果, 上述流程中的环节也是需要循环往复的, 但各环节间关联一旦确立后, 这种不断优化设计变更过程明显更高效和便捷。“模型”具有构件划分清晰、可视化、数据一致性强等特点, 采用以“模型”为核心的设计流程利于开展协同设计。

3.3 斜拉桥信息模型建模

《公路工程信息模型设计应用标准》对建模规定的条款有“3.1.3 设计期的公路工程信息模型在建立、应用和交付中的坐标系统应与项目地形图坐标系统一致, 使用桩号定位”、“3.2.2 公路工程信息模型宜选择参数化的建模方法, 对无法参数化的可使用非参数化的建模方法”和“3.2.6 模型中构件插入的基准点宜是(0,0,0)点或者特征点”等。

大黑河桥“斜拉桥信息模型”三维几何实体建模时综合考虑并努力践行了上述要求, 对构件分别进行了参数化建模, 然后整体组装得到全桥模型, 确保三维坐标系统与项目地形图坐标系统一致。实践发现这些规定切实带来了设计工作的便利。在设计前期可以按构件分工协同设计; 中期设计优化调整构件后方便灵活替换; 在设计阶段后期基于“模型”编制施工图设计文件, 坐标等几何尺寸数据



图5 全桥设计流程图

唯一可以直接从模型上采集,三视图几何投影关系固定,变更快捷而且图纸再编辑工作量小。

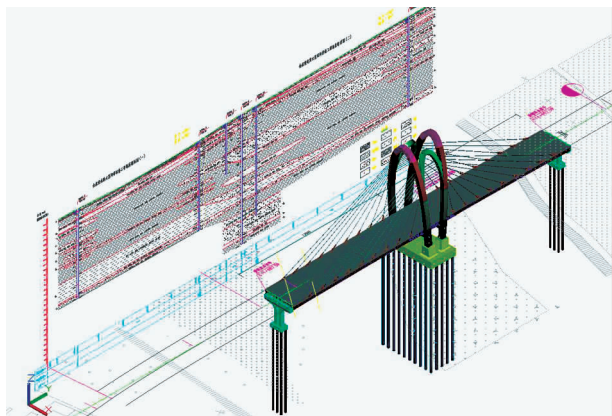


图6 全桥三维几何设计模型和地形地质资料叠加图

全桥三维几何设计模型坐标系保持和项目地形资料一致如图6所示,几何模型与地形、地质资料叠加后在设计中利于可视化沟通和校核。

标准中规定的“宜选择参数化的建模方法”,笔者认为只是属于技术路线约定,并没有指定选用具体软件产品。调研发现国内目前专门针对公路斜拉桥开发的参数化建模软件基本没有,国外知名软件厂商提供的解决方案如“Bentley”系列产品、“Autodesk”系列产品、“达索”系列产品均属于相对通用的软件,虽然各自底层平台有参数化建模功能,但是针对公路斜拉桥应用需要进行专业二次开发工作才能一定程度上满足需要。

参考其它三维几何实体参数化建模方法及研究成果^[7,8],聚焦参数化建模核心技术,同时兼顾主

流平台兼容性和可移植性,本项目中采用自主研发方法,其中构件参数化建模部分,主要利用 Object-ARX 技术完成,测试环境为 AutoCAD 软件。

3.4 斜拉桥信息模型使用

《公路工程信息模型设计应用标准》对模型应用的规定在第4章节,细分为“一般规定”、“应用流程”和“基本应用”三个部分。

其中“4.2.2 选择合适的模型深度等级,模型深度等级可参考但不局限于本标准第五章模型交付的规定”指明了实际项目应用中灵活把握模型深度等级,笔者认为这里的灵活把握原则应该是整体模型深度等级是底限,局部构件根据设计需要可以加深模型深度后应用。

比如大黑河桥“斜拉桥信息模型”全桥基本深度等级虽然采用 LOD3.0 级,但是因为本桥自身的特殊性(主塔采用钢箱截面且内部包含横隔板及加劲肋,主塔上设置钢锚箱、上部主梁采用钢混组合梁等),局部构件和属性深度都是超过 LOD3.0 级的。比如主塔、上部钢主梁、钢锚箱、锚拉板构件建模时均包含了细部横隔板和加筋肋,深度级别基本上达到了 LOD3.5 甚至 LOD4.0 级。

“4.3.5 其它公路工程信息模型应用:”中第一条就是“二维图纸输出和工程量统计复核。”这一条的具体应用也是本项目的关键点,下面将以实践过程中具体应用列举。

(1)大黑河桥“斜拉桥信息模型”三维几何实体到二维三视图应用

无论从画法几何原理,还是从《道路工程制图

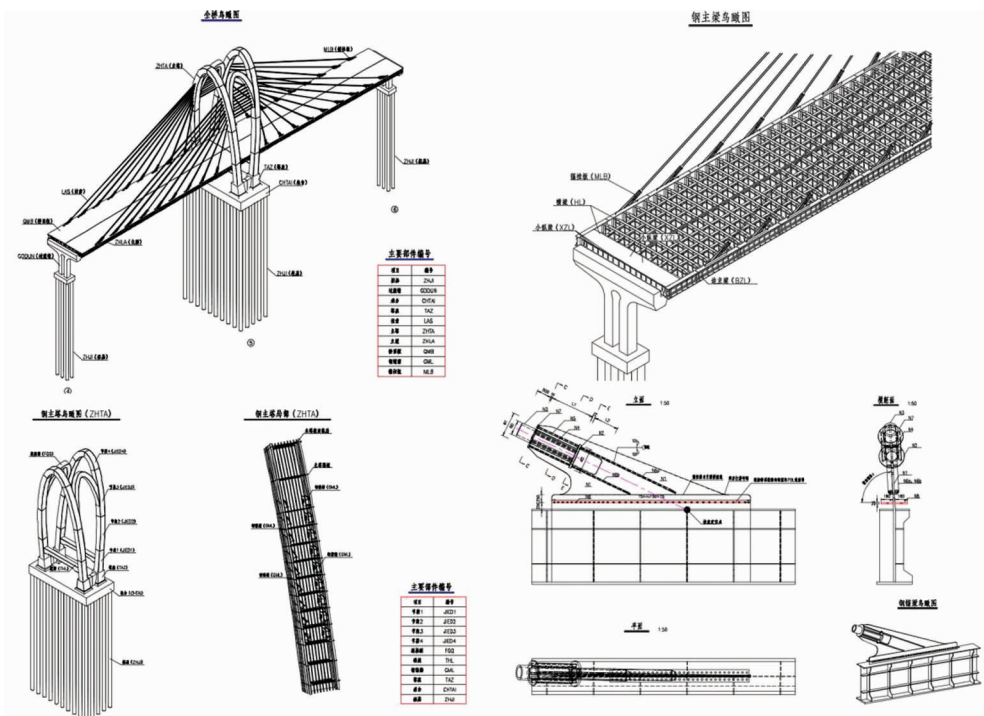


图7 施工图设计图纸节选

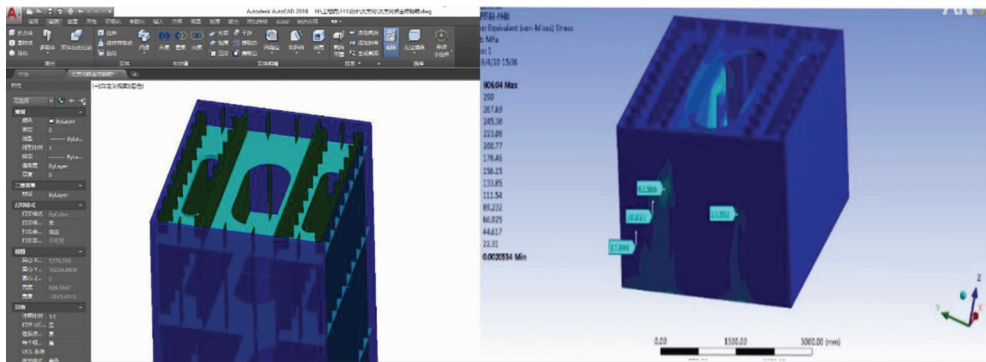


图8 索塔钢箱节段 CAD 和 CAE 模型图示

标准》看桥梁工程中三维几何实体和施工图设计文件中立面、平面、断面二维三视图之间其实并不矛盾,完全可以从三维几何实体剖切后添加标注和各种材料数量表和附注得到二维设计图纸。AutoCAD 软件“三维建模”工作空间下对三维实体的编辑功能也越来越完善,基本能满足大部分设计需求。本项目大黑河桥“斜拉桥信息模型”三维几何实体是利用“ObjectARX”技术在 AutoCAD 软件中完成的精确建模,无论使用创建好的三维几何实体得到可视化沟通用的三视图中间成果,还是由三维几何实体生成二维施工图都是很容易实现的。另外,本次斜拉桥施工图设计图纸中,使用了大量三维“鸟瞰图”

也是在二维三视图的基础上增强了表达能力,提升了设计文件质量。

(2)大黑河桥“斜拉桥信息模型”三维几何实体到 CAE 结构分析软件模型应用

“CAD 几何模型”和“CAE 计算模型”信息共享是桥梁工程设计的痛点和难点。桥梁设计中结构计算分析工作极其重要,计算分析的结果决定了主要构件尺寸,对于结构处于高次超静定状态的斜拉桥还常常是控制性的工作^[9]。实现设计过程与计算过程的模型数据共享对提高设计效率有重要作用。

本斜拉桥主塔为双椭圆形异形四拱圈钢箱截

面索塔,内部设置横隔板及加劲肋,塔上设置钢锚箱,构造复杂,需要做很多针对性的局部结构分析计算。局部分析主要采用“Ansys”软件完成,以往设计中通常做法是工程师利用“Ansys”软件已有功能完成前处理建模然后进行计算分析。本项目中工程师在 AutoCAD 中建好钢索塔三维几何模型后,通过“Ansys”软件“Geometry”导入功能快速创建计算模型,然后加载计算分析,这样就简化了前处理建模工作。

(3)大黑河桥“斜拉桥信息模型”三维几何实体数据提取应用

经过计算优化确定尺寸之后的设计“模型”,除了可以得到二维施工图外,还有数据信息传递和共享这一重要应用价值。仅聚焦于设计阶段,“模型”的三维几何实体由于是基于项目坐标系的精确建模成果,可以直接提取到很多有价值的有用数据用来编制施工图设计文件。比如可以直接从基桩实体获取基桩坐标值;可以直接从主塔几何实体获取到每个节段的轴线坐标、材料及数量,甚至每个节段的每个隔板、加筋肋的定位坐标;还有单侧索面9根拉索两侧钢锚梁和锚拉板构件也很有代表性,每个构件构造相同,几何位置夹角造成了每个构件大样参数及材料数量不同,直接基于设计“模型”的三维几何实体提取数据计算生成参数表和材料数量表高效而准确。

施工图设计文件中没有体现的数据,后续还可以持续挖掘使用。比如设计代表可以基于设计“模型”为施工阶段提供施工监控校核用高程、坐标等现场技术服务,在运营阶段持续提供健康监测、加固维护等应用。

3.5 自主研发软件系统

目前桥梁工程 BIM 应用大多依赖 Revit、Catia、Bentley、Tekla 等软件产品完成^[10],这些国外软件还没有按照中国“公路工程信息模型”相关标准来深入定制开发符合中国公路桥梁工程特点的产品,应用深度还受限于这些软件的价格及必须联网等功能。面对本项目桥梁设计方案就属于创新的应用需求,期待寻找到即满足标准又成熟的软件产品难度太大。

项目实施中同步自主研发了“BridgeBIM_CSB”系统辅助全桥施工图设计,系统以“Visual Studio 2015”为开发工具,以 C++ 为主要开发语言,程序

运行速度快效率高。当前版本主要定制开发了参数化建模及模型信息分析两个关键模块。另外还尝试探索了其它 BIM 主流设计软件 Bentley 的 OpenRoads Designer 间接口的开发。实践表明,自研系统及时解决施工图设计中问题,起到了辅助设计作用。程序主界面如图 9 所示。

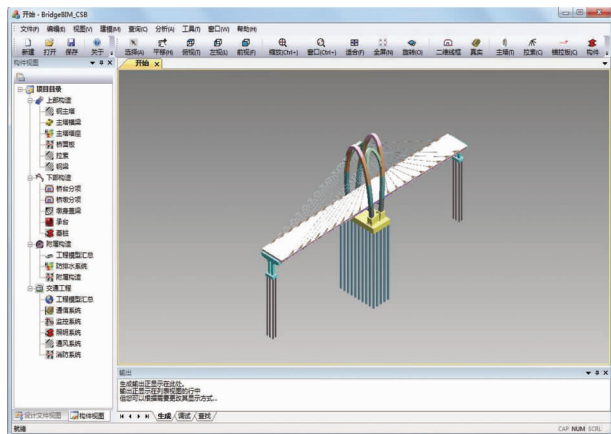


图 9 BridgeBIM_CSB 程序主界面

系统分底层数据、核心建模及分析、可视化显示三层架构。研发采用数据文件结合 SQL Server 数据库形式组织管理各种数据。系统架构如图 10 所示。

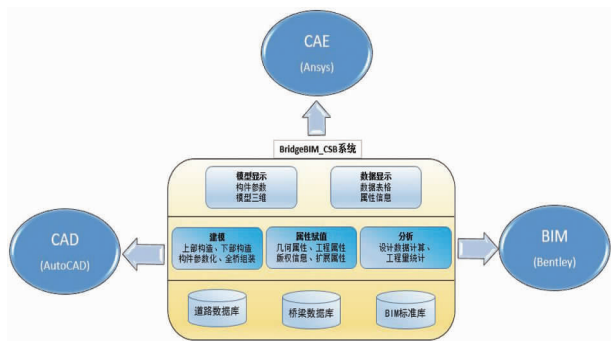


图 10 BridgeBIM_CSB 系统架构图

4 结论及展望

BIM 技术在交通行业的工程应用已经是大势所趋,“公路工程信息模型”系列标准值得相关工程技术人员关注和重视,深入学习相关条款规定并在工作中运用好需要共同实践探索。本文尝试探索了“公路工程信息模型”相关标准在斜拉桥设计中的应用路径及具体实施要点,为斜拉桥工程设计提供了一种新思路和经验供参考借鉴。

(1)“模型”的参数化建模及工程属性数据分析可以采用自主研发方式完成,核心技术可控,以后持续开展相关工作可扩展应用至其它类型的桥梁工程。

(2)“模型”可视化特点利于开展协同设计时团队成员间沟通交流,后期可基于“模型”继续开展“VR、AR”感知效果更好的技术交底等应用。

(3)以“模型”为核心采用本文的设计流程可以有效的开展协同设计,保证施工图设计质量同时提高设计效率。

(4)在整个公路工程施工图设计项目全部采用 BIM 技术应用场景中,如何很好地融入本文探讨的“斜拉桥信息模型”应用成果需要继续实践探索。

参考文献

- [1] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.《公路工程信息模型应用统一标准》(征求意见稿),2018.
[2] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.《公路工程

信息模型设计应用标准》(征求意见稿),2018.

- [3] 刘士林,王似舜.斜拉桥设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
[4] 张吕伟,程生平,周琳,等.市政道路桥梁工程 BIM 技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
[5] 宋福春,陈冲,张兴,等. BIM 技术在大跨度斜拉桥设计中的应用[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016,32(1): 115-123.
[6] 周轶琰. BIM 技术在大型斜拉桥设计中的探索应用[J].土木建筑工程信息技术,2014,6(5): 53-60.
[7] 朱德荣.箱梁三维实体自动建模方法研究[J].铁道标准设计,2014,58(3): 54-58.
[8] 张凯选,闫野,魏来. CAD 下三维建模研究[J].计算机系统应用,2012,21(2): 192-195.
[9] 吕建鸣,陈可.斜拉桥空间有限元精细化建模技术研究[J].土木建筑工程信息技术,2009,1(2): 1-6.
[10] 吴露方.基于 BIM 的桥梁全生命周期管理研究初探[J].土木建筑工程信息技术,2013,5(6): 17-21.

Design and Application of Cable-stayed Bridge Based on Highway Information Model

Liu Zhi, Hao Long, Chen Hong Jun, Fang Yan Bo

(CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an, 710065, China)

Abstract: Taking Daheihe Bridge in Hohhot City as the background project, this paper has preliminarily explored the application path of relevant standards of highway engineering information model in the design process of cable-stayed bridges, and has given specific implementation methods from the definition of information model of cable-stayed bridges, design process, modeling requirements, output of construction drawings and selection of modeling and analysis software. The practice of this project shows that the design of cable-stayed bridge based on highway engineering information model can improve the efficiencies of actual work, which has certain practical significance and application prospects.

Key Words: Cable-stayed Bridge; Highway Information Model; ObjectARX