BIM 在大连湾海底隧道工程复杂工艺中的应用

刘建，姜南岸
（中交一航局第三工程有限公司，辽宁 大连 116001）

摘 要：以大连湾海底隧道工程各类复杂工艺为重点研究对象，利用 BIM 可视化的特点开展进度模拟、工艺推演等相关应用。以项目各类需求为依托，探索在施工层面最为经济有效的 BIM 深化应用方式。实践证明，技术改良后的 BIM 应用，能更全面、直观、高效地为项目决策提供助力，同时大大缩短制作周期，减少修改成本，也为其它 BIM 深化应用提供借鉴依据。

关键词：大连湾海底隧道；可视化；BIM；进度；工艺
中图分类号：U655.2 **文献标志码：**B **文章编号：**2095-7874(2020)07-0074-05
doi:10.7640/zggwjs202007017

Application of BIM in complex technology of Dalian Bay Undersea Tunnel Project

LIU Jian, JIANG Nan-an
（NO.3 Engineering Co., Ltd. Of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Dalian, Liaoning 116001, China）

Abstract: Taking various complex processes of Dalian Bay subsea tunnel project as the key research object, using the visualization of BIM to carry out progress simulation, process deduction and other related applications. Based on various needs of the project, the most economical and effective BIM deepening application mode at the construction level was explored. It is proved by practice that the improved BIM application can provide more comprehensive, intuitive and efficient assistance for project decision-making, and save the production cycle, reduce the modification cost. Meanwhile it also provides references for other BIM projects to deepen the application.

Key words: Dalian Bay undersea tunnel project; visualization; BIM; progress; technology

1 早期可视化技术应用

电脑辅助绘图技术(CAD)的应用推广，将施工单位带入数字化制图阶段。而后辅助现场施工的相关数字化应用则一直停留在二维阶段，使用最为广泛的当属演示文稿(PPT)，将枯燥、繁琐的文字方案转为图形、动画进行演示。在 20 世纪 90 年代工程行业可视化应用较为初级，施工人员基本能做到统筹兼顾，独立完成各类方案比选与工艺汇报相关可视化应用。

收稿日期：2019-12-02 修回日期：2020-02-27
作者简介：刘建（1985— ），男，辽宁大连人，高级工程师，港口航道与海岸工程专业。E-mail：356437817@qq.com

2 应用现状

随着时代不断发展，工程周期越来越短，结构越来越复杂，常规方式已无法全面准确地满足项目中的各项需求，BIM 营运而生。BIM 的出现带来了一场技术革命，然而在技术应用过程中问题也依然存在：BIM 软件众多，操作较为复杂，传统施工人员再无更多精力掌握 BIM 技术用于指导施工，即使决策层大力推广，依然未解决相应问题。通过对多个项目的调查，BIM 建模与应用相关工作往往交由缺乏施工经验的应届大学生完成，亦或是直接 BIM 外包，从而导致 BIM 与施工的脱节，综合性人才的缺乏是绝大多数施工单位

使用 BIM 面临的问题。

作为一种可视化手段，BIM 最终目的是将汇报人的想法以最为直观、形象的形式，准确、高效地传递至方案审核人的脑中，最终信息传递质量的好坏直接决定了这项技术的实用性[1]。经过实践，采用固定 BIM 解决方案(单一平台如欧特克 BIM 套包)的可视化应用，尤其在复杂工艺下，往往事倍功半[2]。考虑到以上问题，若以 BIM 为拓展手段，将多领域、多专业成熟技术融合，针对施工阶段不同的应用需求，灵活选用不同手段解决问题，以最小投入高质量完成相关分析，在不同维度为施工决策提供助力。

3　项目实践

3.1　平面方式解决方案

目前使用最广泛的方式就是利用演示文稿(PPT)的动画功能进行各类工艺流程演示，通过对演示文稿上的各类图片赋予简单的显隐动画，并在重点部位增添强调文字与文本框等，其特点是上手快，制作周期短，几乎成为施工技术人员的必备技能，在简单工艺情况下经常被采用。

本项目干坞双坞室沉管预制工序流程比较复杂，虽然也采用了此方式进行表达，但后期图片堆叠过于严重，动画逻辑调整也繁琐枯燥[3]。对现有技术进行改良，针对复杂且三维化依赖不高的应用需求，引用 PS 加 EDIUS 的平面解决方案，通过 PS 强大的图层创建、编辑、修改、整理功能，将不同时间节点的形象进度统一整理。在沉管安装进度演示中，通过此方式将南北岸不同施工阶段、沉管预制情况进行 18 个月进度演示，较好地完成了相关应用。

3.2　准 BIM 方式解决方案

针对复杂工艺，采用 BIM 固有解决方案对干坞底板施工、主线炸礁施工、北岸施工等整体施工方案进行进度推演。干坞底板施工异常复杂，常规方式无法合理、科学、有效地对施工进度进行推演。为了能准确把握施工细节，按天详细编排进度计划，按工段划分模型，直观形象地进行推演说明。经过讨论发现多处生产与技术方面的问题，并提出了相应的调整解决方案。北岸施工在进度模拟的基础上，增加船机设备的布置模拟，发现基础开挖船机配置不合理，坞口南侧设备工作面狭窄，斜坡段通道开挖不经济等诸多问题，见图 1。

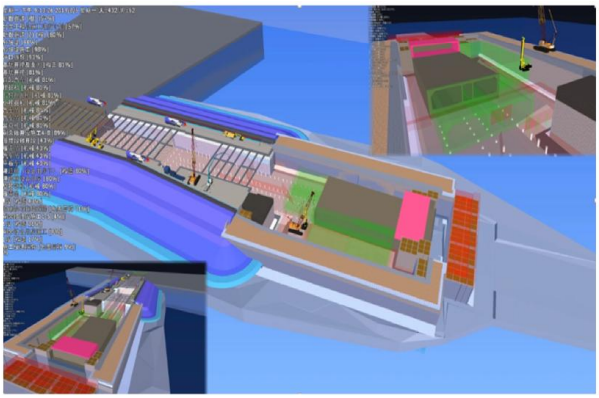


图 1　北岸进度推演

Fig. 1　North bank progress deduction

BIM 进度推演需要有准确的模型和详细的计划，与常规进度汇报相比较，需要做更多的准备工作。首先在施工结构建模的过程中，要求施工人员熟悉图纸；在计划编制中，要求施工人员对于工序间的前后逻辑关系把控严格，对于每个部件的施工时间进行合理安排。通过 BIM 进度推演，促使施工人员挖掘施工项目隐藏的各类风险点，从而大大提高进度管理水平[4]。

由于项目进度计划的信息不足（回填施工方向），各结构模拟只能显隐，缺少施工方向维度，这也是此方案不足之处。

3.3　动画方式解决方案

动画制作已经成为 BIM 外包市场主流的产品，通过视觉传达专业手段，利用后期软件增加炫酷效果强调施工中的关键、核心工艺，再通过剪辑手段增加配音，从而在多维度层级下把握内容节奏，较好的将工程方案动画化。优点在于逼真的渲染效果，多维度直观展现；缺点在于视角单一，制作周期长，修改投入高，对于制作人员的能力要求也很高，使用方几乎不可修改。

在浮坞门沉箱原位现浇与炸礁工艺交底过程中，从探索研究角度出发，大胆尝试了多种方式自主实现应用需求。在可视化方面，先后采用了 CPU 与 GPU 方式对 BIM 模型动画进行渲染编辑，经测试，采用后者时效率得到大幅提升。在工艺方面，总工程师牵头参与全程交底方案文稿制作，对制作过程中发现的技术问题及时调整，成稿后进行交底讨论，切实将 BIM 应用落地，取得了较好的效果，同时培养了多名综合性人才。可视化交底如图 2 所示。

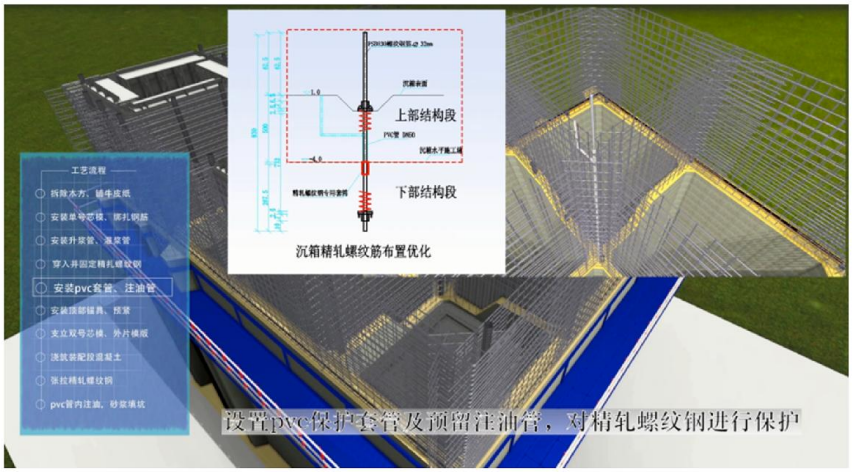


图 2　可视化交底
Fig. 2　Visual handover

智能手机的普及与二维码的广泛应用也催生出其他的相关应用，利用 720 全景技术制作的施工作业指导书也大大扩展了“BIM+”应用的范围与深度，通过渲染制作各工序的全景图片上传至服务器，仅需用手机扫取二维码即体验“伪 VR”化的技术文件，大幅度增强直观理解程度。

通过将实拍影像与虚拟 BIM 模型进行结合，在真实动态环境中模拟项目建成后的情况，此技术利用虚拟拍摄计算实景镜头空间位置，反馈至 BIM 软件用同视角将模型与实景完美整合，巧妙且低成本地绕过倾斜摄影的实景技术，最终成果相似于混合现实表达，其大大扩展了项目航拍后的相关成果应用[5]，区别于实景效果图，其较好地形成了项目 BIM 结构的动态实景预览，见图 3。

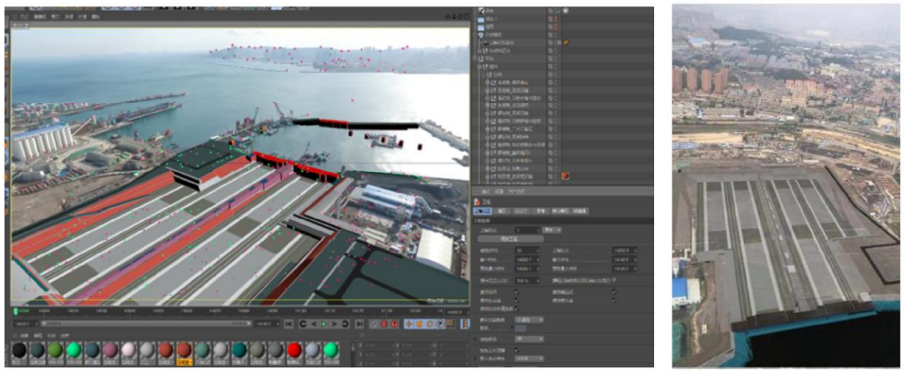


图 3　BIM+虚拟拍摄
Fig. 3　BIM + Virtual shooting

3.4　交互方式解决方案

考虑到上述解决方案的优缺点，探索在交互层面深化应用，以仿真模拟作为交互的思路与方向，谋求像电子游戏般自由度对工程各类进度与工艺情况进行推演与模拟，从而将现阶段应用提升至新的维度。本项目最终接头施工结构工艺流程众多，结构复杂，较适用于本项交互技术。

交互方式解决方案Ⅰ，BIM 模型与进度计划依然是本解决方案开展的前提，交互应用软件将计划与模型的绑定也属常规工作，核心在于根据施工方案文稿对模型赋予相应的移动方向、飞入次序、显隐关系[6]，通过材质区分钢闸门、混凝土、海水、回填砂石等结构和环境。在外部，能整体了解工序各阶段情况；在舱内，通过调整结构透明程度清晰查看舱内空间情况及各种设备的运行情况。通过自定义时间轴将施工期任意时间“冻结”，无死角动态浏览、编辑、查询各类信息，真切地将设计与施工意图进行诠释[7]。此解决方案可理解为准 BIM 解决方案的升级版，制作周期短，修改更为灵活，模拟自由度高，在外接 VR 设备后，仿真施工人员作业环境，可在工程、安全、质量等多个方面开展应用[8]，见图 4。

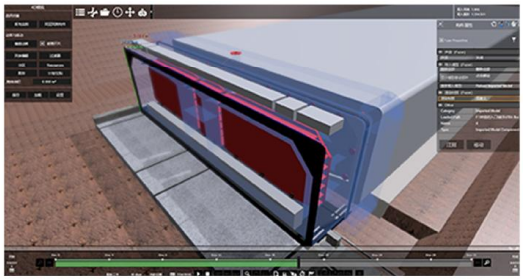


图 4　交互方式解决方案 Ⅰ 在最终接头方案中应用

Fig. 4　The application of interaction solution I in the final joint scheme

交互方式解决方案 Ⅰ 由于采用“直奔主题”的方式大大提高了方案汇报的效率与直观性，但此模式更多通过可视化的方式承载施工信息，质量要求、工艺细节控制及保障措施等都是通过汇报人口述方式完成，存在一定的归档总结局限性。针对以上缺陷不断深化交互模式，在南岸陆域 A 段施工过程中，采用交互方式解决方案 Ⅱ 开展相关应用实践。

交互方式解决方案 Ⅱ 采用逻辑建议编程的方式，将各种视频、表格、图片以按钮的方式按施工流程分级预设，使用者根据自身的需求选择性地审阅，本方式极大地拓展了方案汇报或交底的信息量，可以将多个工序的各类信息进行集成汇总，在成果总结方面也有着强大的应用潜力。本项目南岸陆域施工过程中，选取施工工序最为繁杂的陆域 A 段进行交互式可视化交底的应用实践，交底内容囊括了工艺流程中所有技术要点与质量标准，达到了较好的应用效果，见图 5。

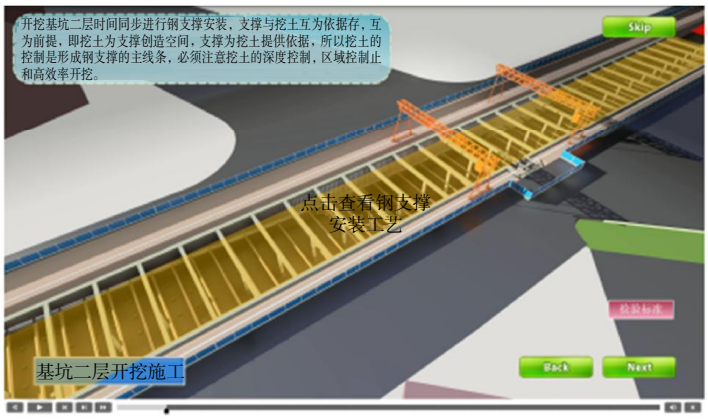


图 5　交互方式解决方案 Ⅱ 在南岸陆域 A 段方案中应用

Fig. 5　The application of interactive solution Ⅱ in the south bank land area section A scheme

4　BIM 可视化应用价值分析

对于项目不同的需求灵活采用不同的应用技术，通过对上述 4 种解决方案和与其相应改良方式的使用对比后，对于其适用领域、优缺点及项目中实际应用等相关情况进行分析，BIM 可视化应用价值见表 1。

表 1　BIM 可视化应用价值表

Table 1　BIM visual application value

序号	解决方案	考虑适用领域	优点	缺点	项目中实际应用情况
1	平面方式解决方案	简单工艺、总平布设等对三维要求不高的应用	上手快，制作周期短，应用普及率高	施工信息较少，二维不直观，无法处理复杂工艺	1）干坞沉管预制； 2）沉管水上安装
2	准 BIM 方式解决方案	三维场布，主体结构总体进度推演等	上手难度适中，制作周期适中，进度推演针对性强，三维方式形象直观，修改灵活	结构模拟只能显隐，缺少方向维度信息，整体效果较普通，对汇报者操作要求高	1）南北岸、干坞预制场大小临建布置； 2）干坞底板、主线炸礁、北岸突堤施工
3	动画方式解决方案	复杂分部分项工程工艺模拟	形象效果最好，内容核心突出，节奏感强	无法准确把握时间进度，上手慢，制作周期最长，修改代价大，视角单一，制作能力要求高，外包费用极高	1）坞口沉箱原位预制方案； 2）水上炸礁施工方案
4	交互方式解决方案 Ⅰ	复杂分部分项工程工艺模拟与详细进度推演	上手难度适中，周期适中，形象效果好，空间时间操作自由，修改灵活	对制作技术能力与汇报者操作要求高	1）沉管最终接头实验； 2）沉管最终接头施工
	交互方式解决方案 Ⅱ	复杂分部分项工程工艺模拟与建成后的成果总结	信息量承载最大，交底细化程度最高，形象效果好，修改灵活	上手难度较大，制作周期略长	南岸陆域 A 段施工

5 结语

通过多年来对于 BIM 可视化技术的研究与实践，不断思考 BIM 在项目上的应用落地方式，在施工单位中，低门槛、零成本、高质量的 BIM 应用必将成为未来一个时期的发展趋势，针对项目不同需求，借助其它专业优势不断改良落地，逐渐替代传统方式的应用与管理流程，最终得到更适合施工企业发展的方式。

参考文献：

[1] 纪凡荣，曲娣，尚方剑. BIM 情景下的可视化工程进度管理研究[J]. 建筑经济，2014，35(10)：40–43.
JI Fan–rong, QU Di, SHANG Fang–jian. Study on visualization of construction schedule management under BIM scenarios[J]. Construction Economy, 2014, 35(10): 40–43.

[2] 孙中梁，马海贤，胡伟. 基于 BIM 可视化技术的施工进度管理[J]. 铁路技术创新，2016(3)：27–30.
SUN Zhong–liang, MA Hai–xian, HU Wei. Construction schedule management based on BIM visualization technology[J]. Railway Technical Innovation, 2016(3): 27–30.

[3] 刘建，姜南岸. BIM 技术在干坞施工中的应用实践[J]. 中国港湾建设，2018，38(12)：15–20，30.
LIU Jian, JIANG Nan–an. Application and practice of BIM technology in dry dock construction[J]. China Harbour Engineering, 2018, 38(12): 15–20, 30.

[4] 王雪青，张康照，谢银. 基于 BIM 实时施工模型的 4D 模拟[J]. 广西大学学报：自然科学版，2012，37(4)：814–819.
WANG Xue–qing, ZHANG Kang–zhao, XIE Yin. 4D simulation based on real–time construction based on BIM[J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2012, 37(4): 814–819.

[5] 王广斌，张洋，杨学英，等. 工程项目建设信息化发展方向--虚拟设计与施工[J]. 武汉大学学报：工学版，2008，41(2)：90–93.
WANG Guang–bin, ZHANG Yang, YANG Xue–ying, et al. New direction to informatization of construction projects–virtual design and construction[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2008, 41(2): 90–93.

[6] 陈祥赟，董娜，熊峰，等. 基于 BIM 的某项目进度与成本控制研究[J]. 施工技术，2014，43(S2)：580–583.
CHEN Xiang–yun, DONG Na, XIONG Feng, et al. Research on schedule and cost control of a project based on BIM[J]. Construction Technology, 2014, 43(S2): 580–583.

[7] 张建平，李丁，林佳瑞，等. BIM 在工程施工中的应用[J]. 施工技术，2012，41(16)：10–17.
ZHANG Jian–ping, LI Ding, LIN Jia–rui, et al. Application of BIM in engineering construction[J]. Construction Technology, 2012, 41(16): 10–17.

[8] 何晨琛. 基于 BIM 技术的建设项目进度控制方法研究[D]. 武汉：武汉理工大学，2013.
HE Chen–chen. Study on BIM technology based schedule control method for construction projects[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013.

（上接第 49 页）

参考文献：

[1] 中铁大桥勘测设计院集团有限公司. 珠海市洪鹤大桥土建工程两阶段施工图设计(总体设计)[R]. 2016.
China Railway Major Bridge Reconnaissance and Design Institute Co., Ltd. Two–stage construction drawing design of the civil engineering of Honghe Bridge in Zhuhai(Overall design) [R]. 2016.

[2] 中铁大桥勘测设计院集团有限公司. 珠海市洪鹤大桥土建工程两阶段施工图设计(磨刀门水道主航道桥 主梁、斜拉索)[R]. 2016.
China Railway Major Bridge Reconnaissance and Design Institute Co., Ltd. Two–stage construction drawing design of the civil engineering of Honghe Bridge in Zhuhai (Modaomen Waterway main channel bridge main beam, stay cable)[R]. 2016.

[3] JTG/T F50—2011，公路桥涵施工技术规范[S].
JTG/T F50—2011, Technical specifications for construction of highway bridges and culvert[S].

[4] 中交第二航务工程局有限公司. 珠海市洪鹤大桥工程 HHTJ3 标钢混叠合梁架设施工组织设计[R]. 2019.
CCCC Second Harbour Engineering Co., Ltd. Design of HHTJ3 standard steel mixed composite beams and facilities in Zhuhai Honghe Bridge project[R]. 2019.

[5] 胡玉柳.长门特大桥主桥塔梁墩固结区模型试验研究[J]. 桥梁建设，2018，48(2)：72–75.
HU Yu–liu. Model test study of rigid fixity area of pylon main girder and pier of main bridge of Changmen Bridge[J]. Bridge Construction, 2018, 48(2): 72–75.

[6] 袁理，黄影，赵宇清. 悬索桥浅滩区钢桁梁吊装施工新技术[J]. 中外公路，2019(3)：155–157.
YUAN Li, HUANG Ying, ZHAO Yu –qing. New construction method for hoisting steel truss girders in shoal area of suspension bridges[J]. Journal of China and Foreign Highway, 2019(3): 155–157.

[7] JTG F80/1—2017，公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程[S].
JTG F80/1—2017, Inspection and evaluation quality standards for highway engineering section 1 Civil engineering[S].

[8] 中铁大桥局集团有限公司. 珠海市洪鹤大桥工程 HHTJ2 标钢混叠合梁架设施工组织设计[R]. 2019.
China Railway Major Bridge Engineering Group Co., Ltd. Design of HHTJ2 standard steel mixed composite beams and facilities in Zhuhai Honghe Bridge project[R]. 2019.