浙江省交通运输科技成果推广目录申报表

一、成果概况

成果名称	公路建设中的BIM应用技术
成果类型	☑技术　○工艺　○材料　○产品
专业领域	公路工程
申报单位	浙江省交通规划设计研究院有限公司
联系人及电话	陈晓敏　18814820923
推广应用起止时间	2020 年 01 月 ~ 2022 年 12 月
申报单位意见	我单位申请将上述成果列入《浙江省交通运输科技成果推广目录》，并承诺所有关于申请单位与成果的文件、证明、陈述均真实、准确。如有违背，我单位将承担由此产生的一切后果。 申报单位法人代表签字： 申报单位公章： 年　月　日
主管部门推荐意见	市交通运输局（委）或厅管厅属单位或省级有关单位意见 公　章： 年　月　日

二、成果简介（可另附页）

成果简介	本项目通过分析国内外BIM应用现状，充分利用已有技术条件，借鉴国内外BIM技术标准规范和应用经验,提出了公路建设中BIM技术在设计和施工阶段应用实施思路，可提高公路信息化及数字化水平，同时为公路项目实施BIM技术提供借鉴。重点研究了设计阶段BIM技术应用、施工阶段BIM技术应用、BIM标准体系、BIM监管模式、成熟度和效益评价方式。项目结合工程实例，提出适宜公路建设应用的 BIM软件平台、建立 BIM技术应用标准；提出 BIM技术在公路工程建设中设计、施工阶段的应用方法及具体内容，建立 BIM 技术成果的交付标准。提出运用BIM技术应用的评价办法。研究成果在温州瓯江北口大桥和杭州绕城西复线等依托工程得到应用。 项目的主要创新点: 1、通过分解BIM功能应用单元，建立BIM工程应用评价技术方法。 2、通过项目研究提出了公路工程信息模型（BIM）设计及交付等标准。
专利	无
软件著作权	登记号：2019SR0610536 发表日期：2019/6/13 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：基于revit的桥梁参数化建模及配件软件
	登记号：2019SR0676650 发表日期：2019/7/2 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：基于Revit的LandXML路线数据导入软件
	登记号：2019SR0676650 发表日期：2019/7/2 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：基于Revit的LandXML路线数据导入软件
	登记号：2019SR0599019 发表日期：2019/6/12 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：三维建模同步视图软件
	登记号：2019SR0610529 发表日期：2019/6/13 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：自动生成桥墩模板程序
	登记号：2017SR722900 发表日期：2017/12/23 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：典型梁桥三维有限元模型快速建模系统RMBV1.0

	登记号：2017SR722900 发表日期：2017/12/23 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：典型梁桥三维有限元模型快速建模系统 RMBV1.0
	登记号：2019SR0309618 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：超大型桥梁工程建设期 BIM 协同管理平台网页 web 系统
	登记号：2019SR0309577 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：超大型桥梁工程建设期 BIM 协同管理平台手机 APP 系统
	登记号：2019SR0309611 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：基于 BIM 的形象进度三维管理平台
	登记号：2019SR0309585 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：基于 BIM 的移动端隐患排查系统
	登记号：2019SR0309594 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：基于 BIM 的超大型桥梁协同管理平台
	登记号：2019SR0309560 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：公路工程施工成本管理系统（Android 版）V1.0
	登记号：2019SR0309569 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：公路工程施工成本管理系统（IOS 版）V1.0
	登记号：2019SR0309551 发表日期：2019/4/8 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：公路工程施工成本管理系统 V1.0
	登记号：2019SR0287368 发表日期：2019/3/28 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利 简介等：基于 BIM 的桥梁工程进度手机 APP 管理系统 V1.0
	登记号：2019SR0287392 发表日期：2019/3/28 权利取得方式及范围：原始取得、全部权利

	简介等：基于BIM的桥梁工程进度网页Web管理系统 V1.0
标准规范	无
其它已取得的成果	发表学术论文9篇；依托工程《杭州绕城西复线扩容段湖州段BIM设计应用》获得2018第九届“创新杯”BIM应用大赛“交通枢纽工程类BIM应用”第一名，2019年度首届中国公路学会“交通BIM工程创新奖”三等奖；《温州瓯江北口大桥工程 BIM 技术应用》获得2019年度首届中国公路学会“交通BIM工程创新奖”二等奖。

三、有关指标（可另附页）

技术指标	主要技术性能指标: （1）编制《公路工程信息模型（BIM）设计及交付标准》 《公路工程信息模型（BIM）设计及交付标准》对建模软件资源、设计建模要求、专业协同及数据传递和成果交付等四方面内容对公路工程BIM设计及交付标准进行了规范，为公路工程BIM技术应用提供技术支撑。 （2）基于BIM技术应用拆分的BIM技术应用熟度评价方法 该技术将复杂的BIM技术应用拆分成相对单一的BIM技术功能应用，利用BIM技术功能应用相对确定、易于评判的特点，通过专家为其打分，量化BIM功能应用评分，再将功能应用评分综合为BIM技术应用评分，确定BIM技术应用成熟度评分，根据评分，进行应用成熟度判断。为公路建设中的BIM应用成熟度提供了评价方法。 （3）基于二次开发或自定义模板的路桥隧BIM设计建模技术 基于Autodesk平台和Bentley平台进行二次开发和可视化编程等工作，形成了一系列公路工程桥梁、边坡、隧道洞口、路基快速设计建模的技术方案，并形成了具有部分自主知识产权的程序，积累了各专业的建模族库和模板，并且实现了参数化，保证了其通用性。 （4）现场工序验收、质量检验与计量支付工作协同技术 基于BIM+PM协同管理平台中实现了现场工序验收、质量检验、计量支付的工作协同和BIM展示。该工作协同技术包括编码规则、数据协同规则和BIM展示等技术。本项目提出的EBS编码规则和数据协同规则，实现了“现场工序验收->质检资料->计量支付->BIM展示”的工作协同，基本解决了质检和计量系统的数据孤岛问题、使用中易产生数据不一致、数据重复填报等问题。
经济指标	从公路交通行业发展的角度出发，应用BIM技术将产生如下社会经济效益: （1）减少建设领域安全事故 2016年，公路水运交通运输建设领域全年共发生安全事故39起，比上一年增长11.4%，死亡67人。应用BIM安全管理技术，大幅度提升现场质量安全管控能力，降低现场安全隐患发生次数和处理成本，将大幅减少建设领域安全事故的发生，最大限度的保护人民的生命和财产安

	全。 （2）提升设计质量 BIM 设计协同技术将各专业成员间、各设计系统主体间原本各自独立的设计成果（包括中间过程、结果），置于统一直观的三维协同设计平台里面，避免因误解或沟通不及时造成不必要的设计错误，防止各专业模型进行互相矛盾及碰撞，以提高设计质量和效率。 （3）提高施工管理质量 基于 BIM 模型对专项施工方案或重要节点进行可视化模型，提高方案可行性，并且可以进行方案评审和技术交底，提高沟通及工作效率；基于 BIM+PM 协同管理平台在计量、进度、质量、安全等方面提升管理效率，实现资源优化配置，产生可观的经济效益。
可采取的推广应用措施	可采取推广措施: 1、本技术可适用于公路建设过程中工可、初步设计、施工图设计和施工各阶段推广应用; 2、通过技术交流，向设计施工技术人员宣贯推广本研究技术成果，通过实际工程实例说明 BIM 技术在公路工程建设中的应用效果; 3、通过应用延伸，可开展 BIM 技术在公路运营阶段的应用推广; 4、通过技术拓展延伸，可开展 BIM 技术在水运、轨道交通等领域的应用推广。
申报单位及其推广能力简介	浙江省交通规划设计研究院有限公司（简称 ZJIC）是集公路和水运规划、咨询、勘察（测）、设计、科研、设计施工总承包及建筑、市政设计和工程试验检测等功能于一体的科技型单位，多年来承担了省内外众多的交通设计项目和科技研究项目，获得国家和省部级勘察、设计、咨询等各类奖 280 多项，省部级科学技术奖 50 多项，取得国家专利近 50 项，主编和参编行业标准和地方标准 30 多部，是国家级博士后科研工作站、高新技术企业和浙江省高新技术企业研究开发中心。目前正在参与沪杭甬高速智慧化提升工程沪杭甬高速智慧化提升改造、杭州绕城西复线智慧公路试点、杭绍甬智慧高速公路建设三个智慧高速项目，对成果的推广应用有便利条件及丰富的经验。
推广应用实例	见附页

推广应用实例:

项目依托工程项目杭州绕城西复线和温州瓯江北口大桥项目进行了研究和应用，取得了重要的研究成果。将项目成果推广应用到深中通道、临金高速、杭金衢高速改扩建工程等公路项目的设计和施工阶段，取得了显著的社会和经济效益。

以深中通道为例，深圳至中山跨江通道全长 24km，其中跨海段 22.4km，是继港珠

澳大桥智慧又一座集桥、岛、隧为一体的大型跨海工程，概算总投资约446.9亿元。该项目由业主单位牵头，设计院、BIM咨询单位、施工单位组成BIM工作组，对深中通道项目BIM及信息化工作顶层设计、搭建协同管理平台，集成项目管理、OA、计量支付、质量监督管理、电子档案管理、施工监测、拌合站管理等系统。在以下三方面产生巨大的社会和经济效益:

1、基于BIM的项目协同管理平台，国内首次实现项目管理全业务流程线上无纸化审批流转。项目建设周期预计涉及40余万件文件，每份文件按照节约成本（打印、耗材、邮递、交通油耗等）60 元，仅从无纸化带来的直接效益分析，直接节省成本将近2400万元。此外审批时间也由原先平均15天降低为3.5天，减少送文件而引发的的交通行为，减少纸张用量，环保价值巨大。

2、基于BIM的共享信息中心实时采集并发布拌合站、试验室、施工监控等生产数据，在线监测预警、信息交互共享，大幅度提高现场质量安全管理管控能力，降低安全隐患次数和提高管理效率，按每标段没约节约成本3万元，11个土建主体标段，7年工期，可带来直接经济效益2772万元。

3、运用BIM技术可视化优势，通过图纸校核和施工技术方案三维模拟，避免图纸信息错误和减少不必要的施工返工，带来直接经济效益2000万元；现场手机报验和进度-产值数据联动，大幅度缩短现场工序验收时间，提高工序转换效率，带来直接经济效益1000余万元。通过BIM+数据联动管理，实时获取直观的三维形象进度和产值进度，非常方便每月生产进度调度。

综上所述BIM技术可视化特点，辅助进行方案评审及技术交底，提高沟通及工作效率，现场生产过程中降低安全隐患次数和提高管理效率;基于BIM的项目协同管理平台，提高审批效率，实现无纸化审批流转，经济环保价值巨大，项目取得了良好的社会效益和经济效益。

浙江省交通运输厅科技计划项目
成 果 鉴 定 证 书

鉴定证书编号：浙交鉴字〔2019〕25号

计 划 编 号：20170426001

成 果 名 称：BIM技术在公路建设中的应用研究

第一完成单位：浙江省交通规划设计研究院有限公司（盖章）

其他完成单位：交通运输部公路科学研究所

鉴 定 形 式：会议鉴定

组织鉴定单位：浙江省交通运输厅（盖章）

鉴 定 日 期：2019.12.21

鉴定批准日期：2020.02.25

浙江省交通运输厅

2019年制

简 要 技 术 说 明 及 主 要 技 术 性 能 指 标

本课题为《BIM 技术在公路建设中的应用研究》，由浙江省交通规划设计研究院有限公司和交通运输部公路科学研究所共同承担。

本课题通过分析国内外 BIM 应用现状，充分利用已有技术成果，借鉴国内外 BIM 技术标准规范和应用经验，提出了公路建设中 BIM 技术在设计和施工阶段应用实施思路，可提高公路信息化及数字化水平，同时为公路项目实施 BIM 技术提供借鉴。重点研究了设计阶段 BIM 技术应用、施工阶段 BIM 技术应用、BIM 标准体系、BIM 监管模式、成熟度和效益评价方式。

围绕设计阶段 BIM 设计建模和应用，本课题基于 ProjectWise 基本协同平台的应用研究，建立了适用于公路工程 BIM 设计建模及应用的协同工作技术解决方案；通过对常用的 BIM 软件平台的研究、探索、深入应用及二次开发，提出一套适合公路工程地质、路线、道路、桥梁、隧道、互通、交通工程等专业的 BIM 设计建模可行的技术解决方案和详细的应用流程；通过将公路工程中的 BIM 应用内容进一步分解为基本的 BIM 功能应用单元，以这些功能应用单元为基础进行 BIM 应用程度的定量打分，通过计分实现应用成熟度的评价。

围绕施工期项目管理，本项目基于公路工程的最小构件分解，本课题提出了一套公路工程分解结构编码规则，建立了施工阶段进度、质量、计量的协同编码规则和数据协同逻辑，在 BIM+PM 协同管理平台完成了进度、质量、计量数据协同的系统实现；对施工阶段 BIM 技术的应用范围进行了整理归纳，对各项 BIM 应用技术进行了标准化，并建立了施工期 BIM 技术成熟度评价方法。

本课题研究和制定公路工程信息模型（BIM）设计建模和交付标准、公路工程信息模型（BIM）施工应用标准、公路工程信息模型（BIM）分类与编码标准，为 BIM 技术在设计和施工阶段的应用提供标准支撑。

本课题研究了基于数据协同平台的建设期数字化监管模式，基于 ProjectWise 构件项目数据协同共享平台，将从公路工程建设立项、投标、设计、施工及竣工结算等整个生命周期的所有文档、设计文件（含 BIM 模型文件），上传至统一平台，对工程内容进行有效管理与控制，确保分散的工程内容的唯一性、安全性和可控制性。同时对发改委、规划部门、建设单位、勘察设计单位、监理施工单位、招标代理、财政评审中心、行业主管部门、质量监管部门、审计机关等单位赋予相应权限，从而使授权的用户能迅速、方便、准确地获得所需要的工程信息及监管项目的动态，并且在不同阶段、不同程度的参与到其中，提高团队整体协作性。

主要技术性能指标：

（1）编制《公路工程信息模型（BIM）设计及交付标准》

编制了《公路工程信息模型（BIM）设计及交付标准》。目前公路工程 BIM 设计及建模的相关标准并未发布，在前人的研究成果基础上，通过探索和实践应用编制了《公路工程信息模型（BIM）设计及交付标准》，对建模软件资源、设计建模要求、专业协同及数据传递和成果交付等四方面内容对公路工程 BIM 设计及交付标准进行了规范，为今后公路工程 BIM 技术应

用提供技术支撑。

（2）基于 BIM 技术应用拆分的 BIM 技术应用熟度评价方法

该技术将复杂的 BIM 技术应用拆分成相对单一的 BIM 技术功能应用，利用 BIM 技术功能应用相对确定、易于评判的特点，通过专家为其打分，量化 BIM 功能应用评分，再将功能应用评分综合为 BIM 技术应用评分，确定 BIM 技术应用成熟度评分，根据评分，进行应用成熟度判断。该技术是 BIM 技术应用成熟度评价的创新性尝试方法。

（3）基于二次开发或自定义模板的路桥隧 BIM 设计建模技术

通过依托项目的应用探索和技术研究，开展了基于 Autodesk 平台和 Bentley 平台的二次开发和可视化编程等工作，形成了一系列公路工程桥梁、边坡、隧道洞口、路基快速设计建模的技术方案，并形成了部分具有自主知识产权的程序，积累了各专业的建模族库和模板，并且实现了参数化，保证了其通用性。为今后公路工程专业的 BIM 技术设计和建模打下坚实的基础。

（4）现场工序验收、质量检验与计量支付工作协同

本项目在自主开发的 BIM+PM 协同管理平台中实现了现场工序验收、质量检验、计量支付的工作协同和 BIM 展示。该工作协同技术包括编码规则、数据协同规则和 BIM 展示等技术。目前，国内公路工程施工期项目管理中的质检和计量普遍是两套独立系统，使用中易产生数据不一致、数据重复填报等问题。本项目提出的 EBS 编码规则和数据协同规则，实现了“现场工序验收->质检资料->计量支付->BIM 展示”的工作协同，基本解决了质检和计量系统的数据孤岛问题，为国内类似工程的施工期 BIM 协同管理提供了参考依据。

（5）施工期 BIM 技术应用成熟度评价方法

本项目在施工期 BIM 应用标准化的基础上，结合国内 10 多个大型公路工程施工期 BIM 应用的项目经验，提出了施工期 BIM 技术应用成熟度评价方法。该评价方法包括评价指标体系和评分实施细则两部分。目前，国内公路工程施工期 BIM 应用较多，但缺乏对应用成熟度的标准化评价方法。本项目提出的施工期 BIM 应用成熟度评价方法，具有评价指标科学全面，评价方法实操性较强的优点，为国内类似公路工程的施工期 BIM 应用成熟度评价提供了参考依据。

推 广 应 用 前 景 与 措 施

推广应用前景：

通过开展BIM技术在公路建设中的应用研究，在多个公路建设项目的方案设计、深化设计以及施工期间应用了BIM技术，在方案比选、优化设计、专业协同、施工模拟、可视化交底、图纸和工程量、质量安全审查等方面做了大量深入研究，有效推进公路建设数字化，为公路项目全生命周期管理打下坚实的基础，在公路建设工程提质增效方面产生了较大的经济效益和社会效益。在公路工程设计施工阶段，BIM技术在三维化、参数化、模块化、数据关联、协同设计、可模拟性、优化性、空间分析能力和信息集成管理能力等方面为公路工程基础设施数字化奠定基础，具有良好推广应用前景。

可采取推广措施：

1、通过技术交流，向设计施工技术人员宣贯本研究技术成果，通过实际工程实例说明BIM技术在公路工程建设中的应用效果。

2、通过政策引导，逐步将BIM技术由浅入深、由表及里在公路工程建设过程中得到合理利用，充分发挥BIM技术三维化数字化作用。

项 目 经 费 使 用 情 况

项目预算总经费199.4万元，其中省财政科技补助199.4万元。经浙江恒惠会计师事务所有限公司审计（浙恒惠专审字【2019】第533号），项目实际总支出179.46万元，审计认定结余19.94万元，经费使用基本合理。

鉴　　定　　意　　见

浙江省交通运输厅于2019年12月21日在杭州主持召开了“BIM技术在公路建设中的应用研究”（计划编号：20170426001）项目成果鉴定会。鉴定委员会（名单附后）听取了项目研究报告、查新报告、用户报告和财务审计报告，审阅了有关技术资料，经讨论，形成鉴定意见如下：

一．提交鉴定的资料齐全、规范，符合鉴定要求。

二．项目结合工程实例，提出适宜公路建设应用的 BIM 软件平台、建立 BIM 技术应用标准；提出 BIM 技术在公路工程建设中设计、施工阶段的应用方法及具体内容，建立 BIM 技术成果的交付标准；提出运用 BIM 技术应用的评价办法。研究成果在温州瓯江北口大桥和杭州绕城西复线依托工程得到应用。

三．项目的主要创新点：

1、通过分解 BIM 功能应用单元，建立 BIM 工程应用评价技术方法。

2、通过项目研究提出了公路工程信息模型（BIM）设计及交付等标准。

四．项目预算总经费199.4万元，其中省财政科技补助199.4万元。经浙江恒惠会计师事务所有限公司审计（浙恒惠专审字【2019】第533号），项目实际总支出179.46万元，审计认定结余19.94万元。经费使用基本合理。

鉴定委员会认为本项目研究完成了合同所规定的任务，具有显著的社会和经济效益，总体达到国内领先水平。

建议进一步推广应用。

鉴定委员会主任：

2019 年 12 月 21 日

主　持　鉴　定　单　位　意　见

同意鉴定意见

主管领导签字：　　（单位盖章）

2020 年 02 月 25 日

组　织　鉴　定　单　位　意　见

同意鉴定意见

主管领导签字：　　（单位盖章）

2020 年 02 月 25 日

鉴　定　委　员　会　名　单

序号	鉴定会职务	姓　名	工　作　单　位	所学专业	现从事专业	职称职务	签　名
1	主任委员	卞钧霈	浙江省公路学会	公路工程	公路工程	正高级工程师	
2	委员	李志胜	浙江省交通运输厅专家委	公路工程	公路工程	正高级工程师	
3	委员	陈健	中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司	计算机	信息化及数字化	正高级工程师	
4	委员	程国强	宁波易比木信息咨询有限公司	道路与桥梁工程	信息化及数字化	副教授	
5	委员	徐润	山东省交通规划设计研究院有限公司	道路与桥梁工程	道路与桥梁工程	正高级工程师	
6	委员	陈火根	浙江大学	信息工程	信息工程	副教授	
7	委员	屠迪	杭州英杰会计师事务所	财会	财会	高级会计师	

科 技 成 果 完 成 单 位 情 况

序号	完 成 单 位 名 称	联系人及电话	邮政编码	详 细 通 信 地 址	隶属省部
1	浙江省交通规划设计研究院有限公司	李焕强/15868870631	310030	浙江省杭州市西湖区余杭塘路 928 号 西溪园	浙江省
2	交通运输部公路科学研究所	李法雄/13811058255	100088	北京市海淀区西土城路 8 号	交通运输部
3					
4					
5					
6					
7					
8					

注：①完成单位序号超过 8 个可加附页。其顺序必须与鉴定证书封面上的顺序完全一致。
②完成单位名称必须填写全称，不得简化，与单位公章完全一致。
③隶属省部是指本单位的行政关系隶属于哪一个省、自治区、直辖市或国务院部门主管。并将其名称填入表中。如果本单位有地方/部门双重隶属关系，请按主要的隶属关系填写。

主　要　研　制　人　员　名　单

序号	姓　　名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工　作　单　位	对成果创造性贡献
1	王昌将	男	1971.10	正高级工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	项目负责，总体协调
2	李法雄	男	1983.05	正高级工程师	博士研究生	中路高科交通检测检验认证有限公司	技术负责，施工 BIM 技术研究负责
3	李焕强	男	1978.12	高级工程师	博士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究负责
4	刘　诚	男	1991.05	助理研究员	博士研究生	中路高科交通检测检验认证有限公司	施工 BIM 技术研究
5	张海忠	男	1978.01	高级工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究指导
6	林述涛	男	1979.10	高级工程师	硕士研究生	中路高科交通检测检验认证有限公司	施工 BIM 技术研究
7	陈向阳	男	1974.02	正高级工程师	博士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究指导
8	卜庆晗	男	1995.6	助理工程师	本科	中路高科交通检测检验认证有限公司	施工 BIM 技术研究
9	余茂峰	男	1979.11	高级工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
10	张大庆	男	1977.10	高级工程师	本科	中路高科交通检测检验认证有限公司	施工 BIM 技术研究
11	王丰平	男	1977.12	高级工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究指导
12	黄橹	男	1984.09	工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
13	谷　裕	男	1997.6	助理工程师	本科	中路高科交通检测检验认证有限公司	施工 BIM 技术研究
14	陈晓敏	男	1989.01	工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
15	金梦媛	女	1991.03	工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
16	严纪兴	男	1990.05	工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究

17	翟永超	男	1991.05	工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
18	彭丁茂	男	1974.07	正高级工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究指导
19	翟继鹏	男	1992.08	助理工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
20	林宵佳	女	1992.09	助理工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计BIM技术研究设计BIM技术研
21	陈朋亮	男	1991.03	助理工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
22	赵海燕	女	1991.02	助理工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
23	胡正扬	男	1993.04	助理工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
24	张宇贝	男	1990.10	助理工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
25	李文浩	男	1993.05	助理工程师	硕士研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
26	郑　熹	男	1992.08	助理工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究
27	钱玉莲	女	1987.04	工程师	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	设计 BIM 技术研究

承 诺 书

本单位和个人承诺 ：

1、本鉴定证书中所填写的各栏目内容真实、准确。

2、提供鉴定的技术文件和资料真实、可靠，技术（或理论）成果事实存在。

3、提供鉴定的实物（样品）与所提供鉴定的技术文件和资料一致，并事实存在。

4、本成果的知识产权或商业秘密明晰完整，归属本单位（或个人）所有，未剽窃他人成果、未侵犯他人的知识产权或商业秘密。

若发生与上述承诺相违背的事实，由本单位（或个人）承担全部法律责任。

项目负责人（签字）：

第一完成单位（盖章）：

2020年2月26日

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第2308184号

软件名称：典型梁桥三维有限元模型快速建模系统
[简称：RMB]
V1.0

著作权人：交通运输部公路科学研究所（原始取得）；中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2016年01月30日

首次发表日期：2016年04月30日

权利取得方式：受让

权利范围：全部权利

登记号：2017SR722900

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章

2017年12月23日

No. 02194589

副本

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730375号

软 件 名 称：超大型桥梁工程建设期BIM协同管理平台网页web系统
[简称：桥梁BIM协同平台web]
V1.0

著 作 权 人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2017年12月31日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：受让

权 利 范 围：全部权利

登 记 号：2019SR0309618

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年04月08日

No. 03800155

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730334号

软件名称：超大型桥梁工程建设期BIM协同管理平台手机APP系统
[简称：桥梁BIM协同平台APP]
V1.0

著作权人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2017年12月31日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：受让

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0309577

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权登记专用章
2019年04月08日

No. 03800150

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730368号

软件名称：基于BIM的形象进度三维管理平台
[简称：BIM三维形象管理平台]
V1.0

著作权人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2017年02月28日

首次发表日期：2017年03月31日

权利取得方式：受让

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0309611

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年04月08日

No. 03800154

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730342号

软件名称：基于BIM的移动端隐患排查系统
[简称：BIM隐患排查系统]
V1.0

著作权人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2017年02月27日

首次发表日期：2017年03月29日

权利取得方式：受让

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0309585

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年04月08日

No. 03800151

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730351号

软件名称：基于BIM的超大型桥梁协同管理平台
[简称：超大型桥梁BIM协同管理平台]
V1.0

著作权人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2017年02月26日

首次发表日期：2017年03月29日

权利取得方式：受让

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0309594

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年04月08日

No. 03800152

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730317号

软件名称：公路工程施工成本管理系统（Android版）V1.0

著作权人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2018年04月24日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：受让

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0309560

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权登记专用章
2019年04月08日

No. 03800148

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730326号

软件名称：公路工程施工成本管理系统（IOS版）
V1.0

著作权人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2018年04月24日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：受让

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0309569

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年04月08日

No. 03800149

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3730308号

软 件 名 称：公路工程施工成本管理系统
V1.0

著 作 权 人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2018年04月24日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：受让

权 利 范 围：全部权利

登 记 号：2019SR0309551

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年04月08日

No. 03800147

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第3708149号

软件名称：基于BIM的桥梁工程进度网页Web管理系统
[简称：桥梁工程进度网页系统]
V1.0

著作权人：中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期：2018年10月20日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0287392

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年03月28日

No. 03746478

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第4097407号

软件名称：浙交院基于Revit的LandXML路线数据导入软件
[简称：LandXML路线数据导入软件]
V1.0

著作权人：浙江省交通规划设计研究院有限公司

开发完成日期：2018年09月21日

首次发表日期：2018年12月24日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0676650

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章

2019年07月02日

No. 04208105

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第4031293号

软件名称：浙交院基于revit的桥梁参数化建模及配筋软件
[简称：桥梁参数化建模软件]
V1.0

著作权人：浙江省交通规划设计研究院有限公司

开发完成日期：2018年12月07日

首次发表日期：2018年12月14日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0610536

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章

2019年06月13日

No. 04130632

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第4019776号

软件名称：浙交院三维建模同步视图软件
[简称：SWJMTBST]
V1.0

著作权人：浙江省交通规划设计研究院有限公司

开发完成日期：2018年12月01日

首次发表日期：2018年12月11日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0599019

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章

2019年06月12日

No. 04098278

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第4031286号

软件名称：浙交院自动生成桥墩模板程序
[简称：生成桥墩模板]
V1.0

著作权人：浙江省交通规划设计研究院有限公司

开发完成日期：2018年09月25日

首次发表日期：2018年12月11日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2019SR0610529

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章

2019年06月13日

No. 04130631

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号： 软著登字第3708125号

软 件 名 称： 基于BIM的桥梁工程进度手机APP管理系统
[简称：桥梁工程进度手机系统]
V1.0

著 作 权 人： 中路高科交通检测检验认证有限公司

开发完成日期： 2018年10月20日

首次发表日期： 未发表

权利取得方式： 原始取得

权 利 范 围： 全部权利

登 记 号： 2019SR0287368

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章
2019年03月28日

No. 03746477

BIM 技术目前在交通行业应用的认识

李焕强
（浙江省交通规划设计研究院有限公司　杭州　310006）

[摘　要] 文章介绍了 BIM 技术在交通行业的应用的分类和具体内容以及目前技术应用点、说明了在交通行业推广应用 BIM 技术面临的问题和挑战、最后提出了对目前 BIM 技术在交通行业应用中存在的一些问题的思考。

[关键词] 交通行业；BIM 技术

0　前言

近年来，BIM 技术的应用层面已经从房建领域延伸拓展至交通工程领域，从桥梁到隧道涵洞，从轨道交通到公路工程，而且在这些新的应用领域中的应用，已经进入到深化探索和应用实践的阶段。BIM 技术在交通工程领域中的应用已经形成一种影响到整个行业升级转型的必然趋势。

交通运输部在 2017 年公布了第一批公路 BIM 技术应用示范项目和认定了 5 家单位为行业 BIM 研发中心之后，于 2017 年 12 月 29 日又发布了《关于推进公路水运工程 BIM 技术应用的指导意见》，明确要求推进 BIM 技术在公路水运工程建设管理中的应用，加强项目信息全过程整合，实现公路水运工程全生命期管理信息畅通传递，促进设计、施工、养护和运营管理协调发展，提升公路水运工程品质和投资效益。

1　公路 BIM 技术应用点

公路工程相比建筑工程而言，具有如下特点：

1）线性工程；

2）涉及地理范围广；

3）受环境影响较大；

4）复杂程度变化较大，总体复杂程度较低，等。

公路工程的特点决定了其与传统的建筑行业 BIM 技术应用有所不同，许多技术和经验不能完全直接照搬，还需要结合行业特点进行应用探索。目前 BIM 技术在公路工程中的应用也仅在 BIM 软件应用阶段，主要分为两个大类，即基于模型本身的应用（BIM 模型技术应用）和基于模型的管理应用（BIM 集成管理技术应用），跨越公路工程的全寿命周期，技术应用点涵盖设计、施工、运维等多个阶段，具体如表 1 所示。

表 1　公路 BIM 技术应用点

序号	阶段	应用点
1	勘察设计阶段	路线方案三维可视化展示及方案选定
2		建模+三维协同设计（目前尚存一些技术问题）
3		三维可视化展示
4		设计图纸复核
5		设计方案优化
6		工程算量
7		设计交底
8		虚拟漫游（驾驶）
9		设计进度协同管理
10	施工阶段	碰撞检查、深化设计
11		施工组织设计与优化
12		施工图纸复核
13		工程算量
14		施工方案 3D、4D 模拟与可视化交底
15		施工场地布置
16		项目办公协同 OA（Web+手机 APP）

收稿日期：2018-05-15

作者简介：李焕强（1978-　），男，高级工程师，主要从事 BIM 技术和岩土工程设计方面的研究。

2.3 相关规范的严格限制，需要建筑、风、水、电等各专业密切配合

商业建筑的规范要求本来就高，地铁地下空间商业开发在满足商业建筑规范的同时还需要满足地铁设计规范的要求。地铁商业空间人流量大，地下空气质量不佳，商业用水、用电、用火安全等问题都需要设计者去平衡和解决。因此在设计之初就需要充分考虑这些因素，预留相应的疏散空间和设备用房空间，满足规范要求的同时，制定相对合理的商业空间和商业流线。

除了以上三点，纵观国内外已建成地铁地下商业空间，所暴露出的问题还有很多。例如并不是所有的地铁站都适合商业开发的，这需要满足多方面的要求，足够的人流驱动，足够的商圈驱动，缺少了这些因素而开发的地铁地下空间商业往往人流不足，商业冷清，不仅是对投资的资源浪费，也造成了空间不可逆的破坏。等等类似的问题，都影响着地铁站地下空间商业开发。

3 结语

我国地下工程专家、中国工程院院士王梦恕说，“中国确实需要开发以地铁为特色的交通资源，它的发展将不但是城市发展的需要，也是未来地下资源开发的必然，更是经济发展的综合体现。”自改革开放以来，中国经济高速发展，城市人口与机动车数量剧增，导致城市交通拥堵现象日益严重，北京、上海和广州三大城市地铁建设和运营实践证明了地铁的发展对解决大城市交通拥堵的突出作用，同时地铁的发展，尤其是地铁地下空间商业的综合开发，更是对调整城市区域结构和产业布局、拉动城市社会经济可持续发展起到了重要的推动作用。时至今日，越来越多的中国二、三线城市计划兴建地铁，如何更好地开发地铁地下商业空间，不仅需要地铁设计工作者更好的布局设计，更需要城市规划部门综合性考虑近远期城市商业布局、人口分布、交通发展等因素，形成合理的统筹规划。

参考文献

[1] 史并研．试析地铁站点地下商业开发[J]．商场现代化，2015（4）：20-20.
[2] 罗炎桢．浅议结合地铁建设进行地下商业空间开发[J]．房地产导刊，2015（7）.
[3] 张双．浅析我国城市地下商业空间的开发利用模式[J]．现代交际，2012（04）.

（上接第85页）和技术团队完成。在BIM应用与推广过程中，需要三方面专业人才，即BIM应用管理人才、BIM协同平台开发人才和BIM各阶段实施应用人才。目前，交通行业在BIM专业人才的储备和技术团队的建设方面仍显不足，如何培养BIM发展所需的专业人才，建立一支素质过硬的技术团队，是当前面临的一大挑战。

3 当前BIM技术应用思考

目前BIM技术在交通行业应用尚处于发展过程中，存在一些问题值得思考。

（1）行业各地或各家公司都在不同程度的推广应用BIM技术，但是缺少统一的协作机制，造成很多尝试和研究开发难以积累和共享。

（2）目前BIM技术的研发有“避难就易”的现象，开发多面向基于BIM的管理层面（较容易实现），而在基本的建模技术上，类似的研究较少。究其原因，可能一方面因为开发难度大，另一方面开发只能通过国外几大厂商开放接口进行，效率低。形成现在建模软件采用现有的国外软件平台，应用模型软件多是自主研发这种局面，引发了数据格式交换和效率等问题。

（3）目前设计阶段的正向设计存在一些技术性和效率的问题，而这些问题看起来是“小技”，但是在BIM应用中会带来很多直接的影响和间接影响，总体制约BIM的应用。基本的底层的技术如果是必需的，又是难以解决的，那它就是重要的短板。从解决基本的技术问题出发，啃下硬骨头，才能铺平BIM应用之路，加速BIM应用推广。从这个角度理解，统一架构下自主研发有机结合BIM技术建模、用模等一系列BIM应用软件系统是必要的，看起来任重道远困难重重，但是从长远来看可能是BIM发展的捷径。

序号	阶段	应用点
17	施工阶段	知识协同管理（图纸+模型）（Web+手机APP）
18		进度管理
19		合同、变更、计量支付管理
20		质量监督管理
21		安全管理
22		档案管理
23		预制构件远程制造管理
24	运维阶段	资产管理
25		养护和保养管理
26		检测与评估管理
27		加固与维修管理
28		运营及应急救援管理
29		健康监测系统接入
30		大数据分析

2 目前BIM技术应用存在的问题

在交通行业推广应用BIM技术，面临着BIM正向设计技术不成熟、缺乏统一的行业研究和规划、缺乏行业标准、需要与现有信息化系统集成、人才匮乏等严峻挑战。清醒认识问题，找到发展瓶颈，制定发展目标，才能推动BIM技术在交通行业的发展。

2.1 BIM正向设计技术不成熟，应用优势难于体现

设计阶段是全寿命周期的龙头，BIM技术应用最理想情况是直接利用BIM进行正向设计，成果提交集成设计阶段信息的三维模型，为施工和运维阶段提供基础的工程模型信息。但是，在交通行业BIM正向设计技术还处于起步阶段，难于应用在实际项目中，主要原因有：

（1）目前的BIM技术软件不够成熟，不能完全满足BIM设计的需求。

（2）BIM设计族库或模板积累缺乏，设计建模耗费人工时数较多，设计建模效率低下。在满足规范要求的情况下，在设计阶段传统的二维设计效率远大于采用BIM技术进行三维正向设计的效率。

（3）具有BIM特色的数据精度，如倾斜摄影产生的数字地形模型，难以满足BIM正向设计要求；区域GIS数据不足和二维理念的地勘信息使BIM正向设计难以发挥其优势。

（4）现阶段要求提交的设计成果为二维图纸形式，BIM设计的三维成果转化成符合要求的二维图纸工作量大，且不符合BIM设计的思想和目标。

（5）BIM设计没有正式的收费标准，设计单位缺乏动力。

（6）部分设计人员对BIM的应用存在误解。

目前，设计阶段BIM技术应用主要体现在方案设计和翻模应用两大方面。方案设计阶段的应用包括可视化方案展示、工程量估算和一些工可阶段的数据分析等。翻模应用主要是在完成二维设计的基础上，将设计图纸变成BIM三维模型，用于设计成果三维展示、施工图深化设计及工程量统计、设计图纸校核排错和施工过程模拟等方面。翻模应用不会减少传统的二维设计工作量，会额外增加繁重的三维建模工作，导致设计阶段负担加重，缺乏动力。

2.2 缺乏统一的研究和行业标准

目前行业内不同程度地进行了BIM技术的研究和应用探索，但是这些工作基于本公司的业务内容和需求展开，跨阶段或者全寿命周期的研究甚少，缺乏统一的BIM技术研究和应用的总体架构，各阶段BIM数据共享存在困难，难以实现工程项目全寿命周期的BIM应用。

建立标准是保证BIM技术健康发展的前提。当前，由于没有成熟的BIM标准，在设计、施工和运维单一阶段应用BIM，只要不传承亦可以进行BIM应用，只是建模不标准会带来继承、推广不方便，导致混乱局面的出现。因此，发展BIM技术，面临的一大挑战就是要制定适用的、具有可操作性的、兼容性强的行业BIM技术应用标准，用以指导BIM技术在交通行业的应用。

2.3 需要协调BIM平台与现有信息化系统的关系

目前行业各公司在日常办公方面有独立的OA系统。基于BIM模型的协同管理平台具有直观、快捷等优势，可打通管理的各个环节，实现互联共享。但如何实现与现有信息化系统的融合，是目前面临的一个难题。

2.4 缺乏BIM应用专业人才和技术团队

BIM应用战略需要专业人才（下转第88页）

3.2 设置加强板的模型剪应力

由剪应力云图可见，吊耳板最大剪应力位于孔壁内表面，为125MPa；底板最大剪应力位于底板与加强板交接处，为143MPa；加强板最大剪应力位于底面焊缝端部，为150MPa。结构整体剪应力均在170MPa以下。

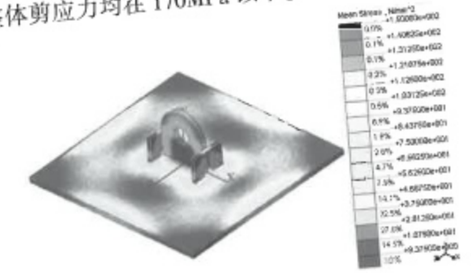


图5 结构最大剪应力云图

3.3 取消加强板的模型应力

由应力云图可见，在耳板焊缝端部出现了局部区域应力集中，最大Mises等效应力350MPa，最大剪应力214MPa。结构整体仍处于可恢复的弹性工作状态，但与设置加强板的模型计算结果相比，加强板可以明显改善吊耳结构的局部受力状况。

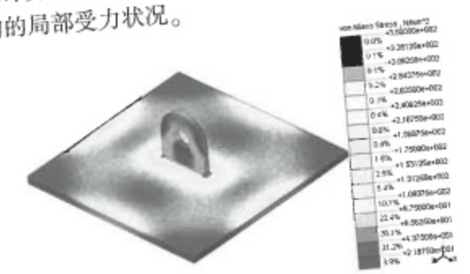


图6 取消加强板后的结构Mises等效应力

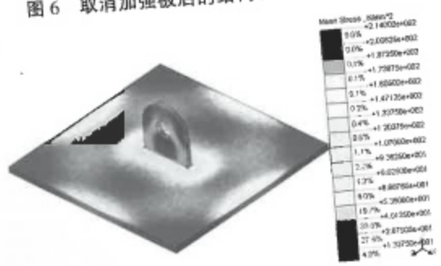


图7 取消加强板后的结构最大剪应力

4 结果对比

（1）按照拉曼公式计算得到的吊耳板孔壁挤压应力194.3MPa，小于FEA计算得到的Mises等效应力232MPa，相差约16%。采用拉曼公式计算结果偏于不安全，建议对公式计算结果适当放大处理。

（2）按照剪应力公式计算得到的吊耳板截面最大剪应力168.4MPa，大于FEA计算得到的最大剪应力125MPa，相差约26%。采用该种公式计算结果偏于保守。

（3）吊耳布置在钢槽梁底板，并不会对底板造成塑性破坏，结构仍旧处于可恢复的弹性工作状态。

（4）在耳板两侧设置加强板，能够明显优化受力构件的内力分布，减少应力集中现象。

（5）本文采用的理论计算方法，除孔壁挤压应力验算公式的结果需要进行适当放大（本案例放大约16%）外，其余公式的计算结果可以直接使用。

5 结语

在工程实例中，由于吊耳设置不当引起的安全事故屡见不鲜，并不能因为吊耳是临时构件就随意采用。本文提供了一种简单的吊耳计算方法，并与FEA有限元计算结果进行对比，验证了理论公式计算的可行性。在实际使用过程中，建议设置加强板，减少应力集中现象。

参考文献

[1] 陈绍蕃．钢结构设计原理［M］．北京：科学出版社，2006.

[2] GB 50017-2017，钢结构设计标准［S］．北京：中国建筑工业出版社，2017.

基于BIM的隧道智能仿真设计初探

李焕强[1] 叶 枫[2] 陈朋亮[1] 钱玉莲[1] 王成强[1]

（1. 浙江省交通规划设计研究院有限公司 杭州 310030；2. 浙江省交通投资集团有限公司 杭州 310000）

［摘 要］从设计技术的需求出发，对基于BIM的隧道智能仿真设计应当包括的内容和初步的实施流程进行探索和思考。以BIM技术为基础，结合地质与隧道结构匹配知识库，实现智能设计；基于“以终为始”理念，采用仿真模拟方法，在隧道的设计过程中就要对施工阶段的需求及通车运营后的隧道的性能和状态有充分的评估和掌控。根据结果验证并及时调整设计，将建管养一体化理念融入设计。

［关键词］BIM；智能设计；仿真模拟；以终为始；建管养一体化

0 引言

隧道作为重要的交通通道，其设计相对复杂，位于地下的特性对项目的施工和通车运营的安全性提出了更高的要求。为了满足这种要求，需要采用基于BIM的建管养一体化的理念，在隧道的设计过程中就要对施工阶段的需求及通车运营后的隧道的性能和状态有充分的评估和掌控。BIM技术在公路工程中的应用目前也有许多相关研究[1-5]，内容涉及了协同设计、数据的共享和传递以及项目全生命周期应用等。但在设计阶段的应用仍处于发展研究过程中，存在智能化程度低、BIM与仿真数据共享程度不高、缺乏项目全生命周期设计理念的问题。需要基于BIM的隧道智能仿真设计技术，来提升目前隧道工程的BIM设计效率和质量水平。

1 智能仿真设计需要解决的问题

面向目前隧道工程的BIM技术设计应用，基于BIM技术的智能仿真设计需要研究三方面的问题。

1）研究基于数据的智能化设计建模方法，解决隧道BIM设计效率较低的问题；

2）在BIM模型与仿真数据共享的基础上，研究仿真内容如何支撑设计；

3）基于“以终为始”的理念，在设计阶段通过仿真模拟等手段，考虑后续施工和运维阶段的需求，使设计能够很好的支持全生命周期的需求。

针对这些问题，需要研究基于BIM的隧道智能仿真设计技术所涵盖的内容和流程。

2 基于BIM的隧道智能仿真设计内容及流程

智能仿真设计技术是在基础资料、规范要求及使用需求的限定下，通过知识库或数据库的支持，可以提供适合特定环境条件的基本方案和设计成果的技术。其研究内容应包括BIM隧道智能设计、协同设计平台、仿真计算分析、全生命周期需求检验和BIM设计成果交付研究等方面开展。

在总结设计核心工作过程和经验的基础上，初步设定智能仿真设计流程见图1。

2.1 智能设计基础资料准备

设计工作就是在基础资料、规范要求及使用需求的基础上开展的信息整合工作。公路隧道BIM设计重要的基础资料包括了三维地形数据、三维地质条件模型、水文条件、相关规范要求、业主使用需求等。其中，三维地形数据、三维地质条件模型、水文条件需要进行测量和勘察确定，测量和勘察方法也是重要的研究任务。

收稿日期：2019-08-12

作者简介：李焕强（1978- ），男，高级工程师，主要从事BIM技术与岩土工程技术的应用研究工作。

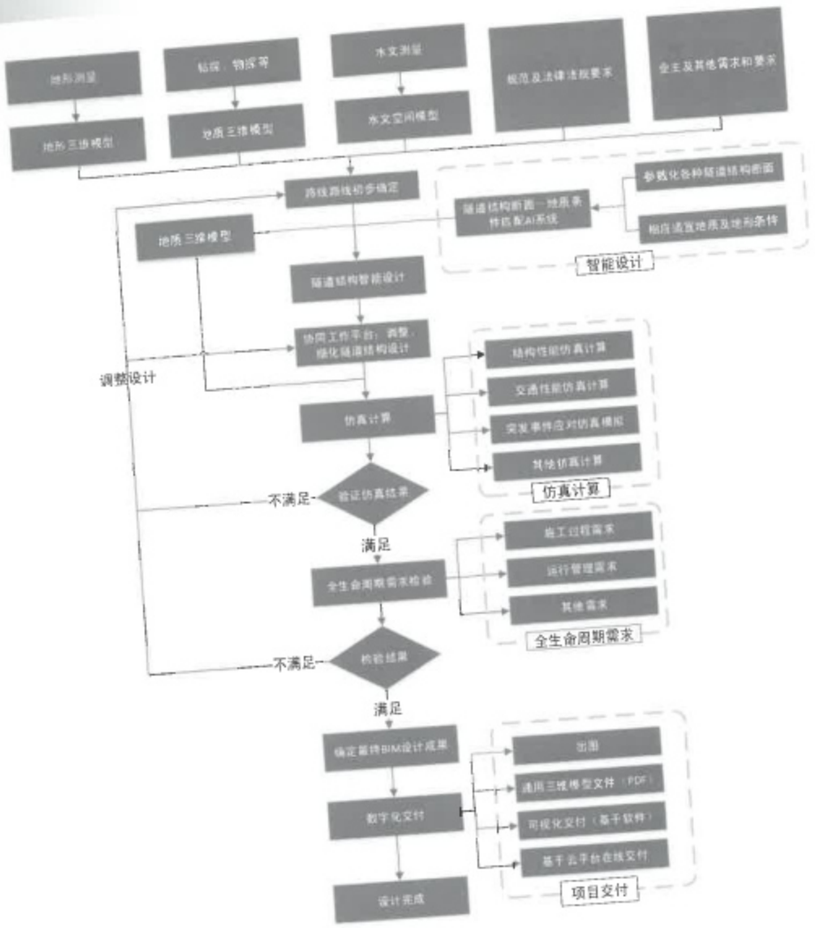


图1　智能仿真设计技术流程和内容

2.2　公路 BIM 设计路线初步确定

在基础资料基础上，根据需求初步确定公路 BIM 设计的路线走向，进行路线的平面设计和纵断面设计。这部分工作需要设计人员确定。

2.3　隧道结构智能设计

隧道结构智能设计是智能仿真设计的关键技术，目的是解决目前基于 BIM 建模效率低下的问题。其实施思路如下：首先需要对常用的隧道 BIM 设计结构类型进行分类，将每一类隧道结构进行参数化建模，形成参数化隧道结构模板；将每一类隧道结构模板与相适应的地质条件进行匹配关联，形成隧道结构断面—地质条件匹配知识库；根据每段隧道区域的地质模型，通过知识库确定相应的隧道结构参数化模板；最后根据路线数据和确定的参数化模板进行公路 BIM 设计的三维结构模型建模，完成隧道结构智能设计。

2.4　调整、细化隧道结构设计

在隧道标准路段比较容易根据地质条件和知识库进行的隧道结构智能设计较容易应用在隧道标准路段，但在某些结构细节或特殊路段，需要进行人工进行隧道结构设计的调整、细化，使之达到满足设计要求的精度水平，完成隧道结构设计。

2.5　仿真计算

在完成隧道结构的设计之后，将得到的 BIM 模型进行相关的仿真模拟，可以通过数据接口或开发 BIM+仿真一体化平台实现，达到 BIM 模型数据共享的目的。仿真计算内容至少应包括隧道结构的力学仿真计算、接缝等部位的防渗性能等水力学仿真计算、交通通行能力的交通仿真计算、隧道总体的安全事故等突发事件等仿真模拟。在完成相关的仿真计算之后，根据规范及其他要求，判断设计是否满足，如果满足相关要求，则进行下一流程；如果不满足，则返回调整路线设计或隧道结构设计，再进行仿真计算流程。

2.6　全生命周期需求检验

在仿真计算结果满足相关要求之后，设计应从项目全生命周期的角度检验设计的合理性。需要从施工过程需求、运行管理需求对设计进行动态和静态检验。施工过程需求检验可以包括施工过程的模拟验证、工法的可行性模拟验证、施工机械的冲突检验等。运行管理阶段的需求检验可以包括运行监控需求检验、设备检修需求满足、设备预留及预埋、结构构件定位编码支持等检验。如检验结果满足要求，则进行下一流程，如不满足，则返回调整路线设计或隧道结构设计，再进行仿真计算流程。

（1）隧道施工过程的虚拟仿真技术

研究在 BIM 模型数据的基础上，通过隧道信息模型分类编码标准，将施工过程的施工工作分解（WBS）与隧道数字模型进行关联，结合施工组织设计中的时序数据，仿真模拟施工过程和施工工艺。在隧道施工过程的虚拟仿真过程中，检验和发现施工过程中的问题，在设计阶段进行优化调整。

（2）隧道性能仿真技术

采用融合隧道设计 BIM 模型数据，AR、VR 可视化技术，以及微观基于时间间隔和驾驶行为的交通仿真技术为手段，研究隧道性能仿真技术，仿真内容包括可视化验证隧道线形设计、照明、通风能力、各类车辆通行能力及行车舒适性等是否满足要求和预期。

融合隧道设计 BIM 模型数据与流体力学模拟和微观交通仿真技术，研究隧道突发事件情况下的隧道火灾排烟、交通事故应急救援等仿真模拟技术，实现隧道管养阶段突发事件影响后果的模拟与评估，验证隧道响应性能。根据仿真评定结果，验证并及时调整设计，将建管养一体化理念融入设计。

2.7　数字化交付

在隧道设计完成仿真计算验证和全生命周期需求检验之后，可以确定最终的隧道 BIM 设计。之后可以进行设计成果的数字化交付。数字化交付方式可以从四个方面进行研究。

（1）BIM 设计成果出图。研究将公路 BIM 设计三维 BIM 模型通过剖视图的方式或透视图的方式进行设计表达。

（2）通用三维模型文件。研究将三维 BIM 设计成果输出动态三维图形展示格式，如 PDF 或 Bentleyimodel 格式进行成果交付。

（3）专用格式可视化交付。将 BIM 设计成果通过某些专用格式进行交付，优势是可以实现灵活的可视化展示和数据查询。

（4）通过云平台在线交付。通过开发在线云平台，可以支持 BIM 模型数据、GIS 数据和其他相关工程数据及流程数据，可实现将最终或阶段性 BIM 设计成果发布到云平台，方便快捷的交付给相关方进行浏览、查询及反馈功能。

3　结语

以公路隧道为例，从设计技术的需求出发，对隧道智能仿真设计进行了初步的探索和思考，构建了基于 BIM 的智能仿真设计技术总体实施流程，对今后实现智能设计和基于“以终为始”的设计理念的落实提供了基础。但是在技术实施过程中还存在 BIM 数据融合共享和数据标准欠缺的问题需要解决，任重而道远。

参考文献

[1] 张德海，韩进宇等. BIM 环境下如何实现高效的建筑协同设计［J］. 土木建筑信息工程技术，2013，5（6）：44-46.
[2] 张建平，张 洋，张 新. 基于 IFC 的 BIM 三维几何建模及模型转换［J］. 土木建筑工程信息技术，2009，1（1）：40-46.
[3] 邓雪原，张之勇，刘西拉. 基于 IFC 标准的建筑结构模型的自动生成［J］. 土木工程学报，2007，40（2）：6-12.
[4] 张剑涛，刁 波，唐春风等. IFC 标准在 PKPM 结构软件中的实现［J］. 建筑科学 2006，22（4）：103-106.
[5] 何关培，现阶段不同类型企业 BIM 应用的关键问题是什么［J］. 土木建筑信息工程技术，2014，1（6）：9-10.

BIM-based Collaborative Management and Intelligent Manufacturing in the Shenzhong Link Project

Cheng Liu[1*], Qinghan Bu[2], Shutao Lin[2], and Faxiong Li[2]

[1] Research Institute of Highway (RIOH), Ministry of Transport, Beijing, 100088, China

[2] China-Road Transportation Verification & Inspection Hi-Tech Co., Ltd., Beijing, 100088, China

[*]Corresponding author's e-mail: liucheng.bridge@foxmail.com

Abstract. Building Information Modelling (BIM) technology has become a central topic in infrastructure construction industry recently in China. This paper describes the applications of BIM technology, including 3D digital design, intelligent manufacturing, smart site and BIM-based collaborative management platform, in a mega infrastructure project, the Shenzhong Link. Through BIM technology, Shenzhong Link strives to achieve the goal of "improving quality, increasing efficiency, reducing costs and achieve traceability"

1. Introduction

After years of engineering applications, Building Information Modelling (BIM) goes beyond the production of 3D models and become a comprehensive information technology involving 3D model application, project collaborative management, smart site, intelligent construction, etc[1]. Infrastructure projects in general have to handle the highly complex and diverse nature of project requirements, particularly for managing the quality, safety, schedule and expenses during the construction[2]. BIM therefore, provides an emerging new paradigm for construction management in infrastructure construction. In China, the application of BIM has become a central topic to improve the productivity and collaborative level in infrastructure construction industry recently[3, 4]. This paper aims to describe the applications of BIM-based collaborative management and intelligent construction in a mega infrastructure project, the Shenzhong Link.

2. Overview of BIM application in Shenzhong Link

The Shenzhong Link Project connects Shenzheng city and Zhongshan city and is located in the core area of Guangdong, Hong Kong and Macao Bay Area. It is a world-class cluster project integrating "bridge, island, tunnel and underwater interchange". It is located 30km away from Humen Bridge in the north and 38km away from Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge in the south. This project adopts an East Tunnel West Bridge layout. The total length of the route is about 24 km, including a 1666-meter-span suspension bridge (Lingting Bridge), a 6845-meter immersed tunnel (Fanshi Tunnel), two artificial islands, and three interchanges. This project follows a 100km/h, two-way, 8-lane highway technical standard. The total project budget is about 44.69 billion yuan.

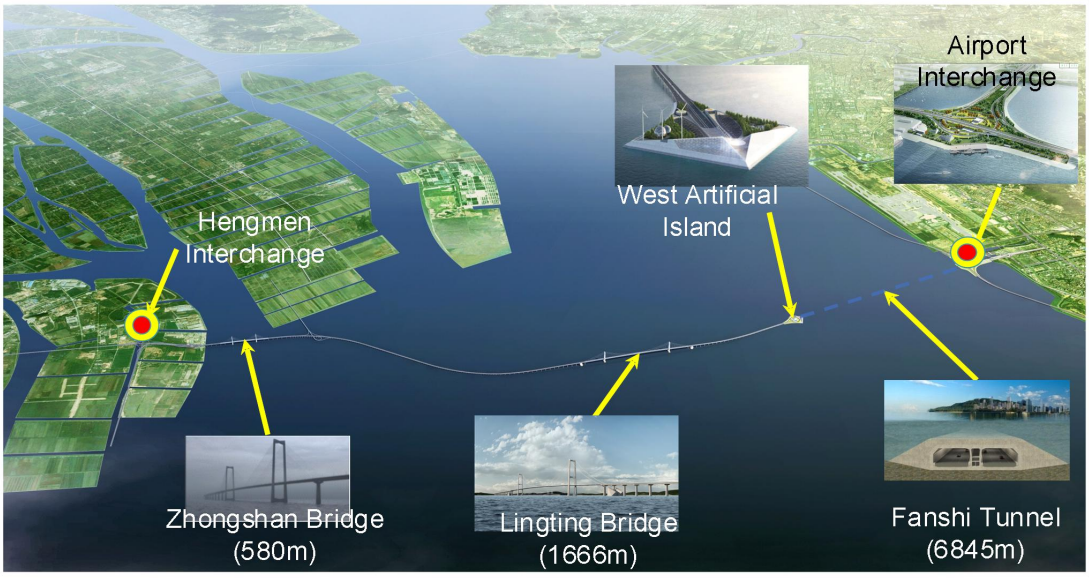


Figure 1 Engineering overview of the Shenzhong Link

As a world-class cross-sea cluster project, the Shenzhong Link has numerous participants. It places high demands on digital design level, refined management level and automated manufacturing level. To support the construction goal of "World-class 100-year Cross-Sea Tunnel Project", Shenzhong Link proposed to build a "Digital Shenzhong, Smart Shenzhong" demonstration project with a full life cycle and continuously improve the level of digitalization, informationization, automation and intelligence of construction progress through BIM technology.

According to different implementation stages, BIM application during construction period is divided into three stages: pre-construction preparation stage, construction stage, and completion stage. The pre-construction preparation stage involves working mechanism and resource allocation. The construction stage includes four aspects: digital design, intelligent manufacturing, collaborative management and smart site. The completion stage includes three aspects: acceptance of the completion model, acceptance of technical results and acceptance of the project data.

The application of BIM technology in the construction stage is divided into two main lines: 1) BIM modeling and model application, which make full use of the visibility, computability and interactivity features of BIM technology to improve the design, construction and management level; 2): BIM-based application, which adopts BIM model as a carrier to integrate data of various stages of the project, including intelligent manufacturing, BIM-based collaborative management platform and smart site system.

3. 3D Digital Design

Three-dimensional digital design and parametric tools are adopted in all majors in the Shenzhong Link. Through the collision inspection function of BIM technology, the position conflicts of complex structural parts such as island-tunnel joint, anchorage zone and cable-tower joint are automatically detected, and the problems of "wrong, leaking, bumping and missing" of the design drawings are solved in advance. The advantages of BIM design tool are fully used in drawing checking, deep design, site planning, construction stage simulation, which reduces the engineering changes and optimizes the resource allocation.

The BIM modeling and delivery standards are developed. BIM models are transformed into standard data formats, and submitted to the unified model platform for further use including steel shell manufacturing, girder construction, smart site, etc.

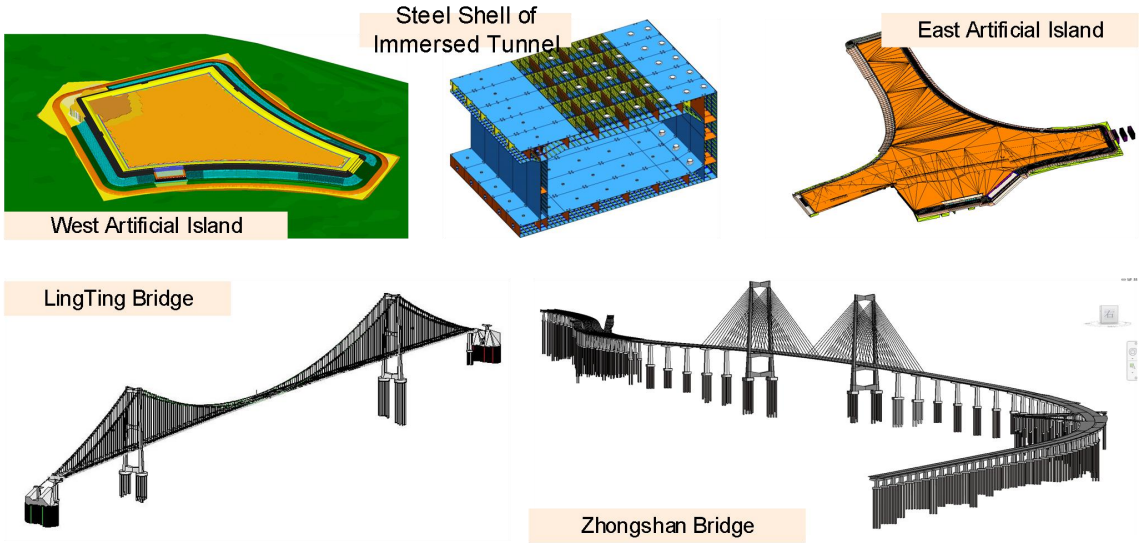


Figure 2 BIM modeling of Shenzhong Link

4. Intelligent Manufacturing

The intelligent manufacturing production line for the steel shells of immersed tunnel is built. The digital production design results of the immersed steel shell are transmitted to the intelligent manufacturing execution system (MES system). After receiving the production instructions, the MES system performs intelligent scheduling. The steel shells are manufactured in the workshop through the CNC automatic cutting pipeline, the plate welding pipeline, the block automatic welding production line, and the automatic painting pipeline. Internet of Things (IoT) of plants is adopted to collect materials, equipment, and process data in real time. A three-dimensional visualized weld map is established for all the welds of the steel shell structure, and hence the whole process of the weld quality is traced. A smart pouring trolley is developed. The pouring trolley automatically positions the pouring hole according to the programmed coordinates, and closes the valve and lifts the lowering pipe according to the real-time feedback of the liquid level finder.

Figure 3 Automatic painting production line of the steel shells of the immersed tunnel

An intelligent processing line for rebars is also established. Rebars are first cut in a CNC rebar cutting line, and then bent in a CNC bending line, and finally assembled according to the design data transmitted from the BIM platform. A rebar centralized distribution management system realizes the information management of the whole process such as material storage, rebar processing, semi-

finished product storage, rebar cage production, and on-site rebar cage installation through QR code and RFID technology.

prefabricated beam

An intelligent girder factory is integrated. Each girder is built through the rebar numerical control machining, concrete intelligent mixing, formwork automatic control, automatic prestressing, automatic grouting, and intelligent spray maintenance. An IoT management platform is developed for the girder factory, integrating the BIM model, the IoT technology, the automatic positioning and the video monitoring technology to realize production process visualization, material tracking, production planning and scheduling, and quality tracing.

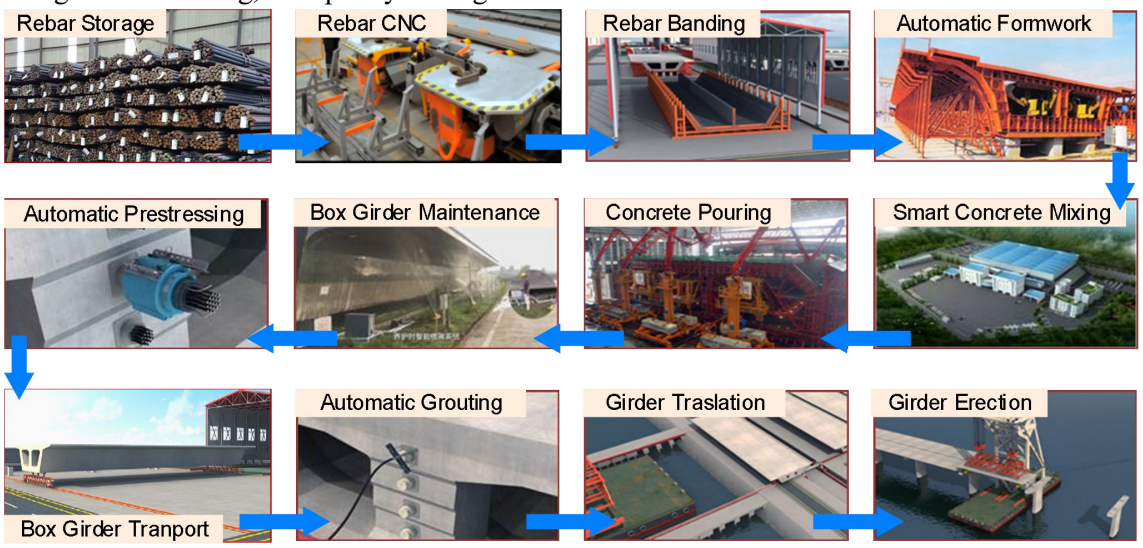


Figure 4 Production pipeline in the intelligent girder factory

5. Collaborate Management

The Shenzhong Link has a large scale and a large number of participating parties. It is very important to build a project collaborative management platform with full participation, data sharing and information interconnection. The collaborative management platform developed is supported by multi-terminal: data processing and file transfer on the web side; BIM model loading and visual control on the PC side; on-site mobile management at the mobile terminal service engineering site. The collaborative management platform uses the BIM model as the carrier to associate the engineering basic data with the unit partial code. The inspection process from the mobile terminal can feedback the actual project progress in real time to realize a real-time project schedule management. On-site quality inspection and process inspection are carried out simultaneously, and engineering quality assurance documents are generated in the quality management system. Metering payment system are supported, where the schedule and quality module automatically generate the current engineering quantity measurement list to assist the payment. The data generated by each major business module is associated with the BIM model by unique codes.

Shenzhong Link also promoted digital signature technology to realize paperless and automatic filing of approval forms, quality inspection forms, and measurement documents. The Shenzhong Link has been listed as a “single-set” pilot project for the archive management of the Chinese National Department of Archives.

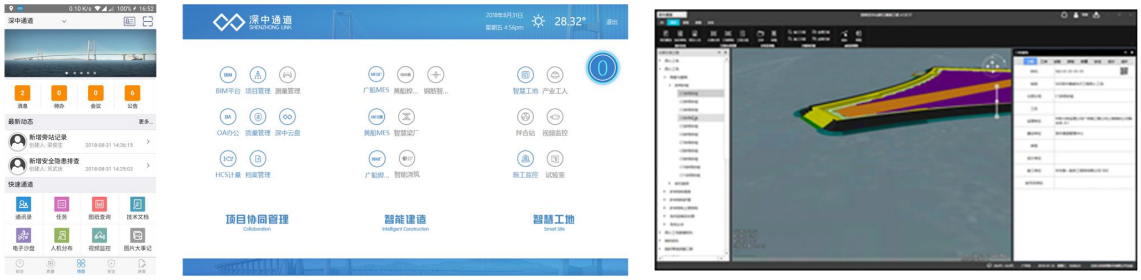


Figure 5 APP, web and PC terminals of the collaborate management platform

6. Smart Site

The essence of the smart site is based on the IoT application. It collects, summarizes, analyses and predicts the information of the construction site in real time, and thus solves the difficulty of remote monitoring and supervision.

The smart site of the Shenzhong Link uses the BIM-based collaborative management platform as the carrier to connect people, vehicles, ships, special equipment, concrete mixing stations, field laboratory through smart cards, equipment sensors, GPS locators, intelligent terminals, etc. The smart site application enables dynamic statistics, equipment trajectory and safety monitoring and warning, material tracking, laboratory monitoring, remote video monitoring, and emergency command.

After entering the market, the laborers will register the real-name system and issue a smart ID card. The smart ID card integrated with GPS technology can realize positioning and one-button alarming. Through the smart card and central access control system, the work dynamics, trajectory and safety status of the laborers can be abstained in real time.

After the equipment and construction vessels enter the site, they will also register with the real name system, and install the GPS locator, print the QR code of the equipment. Safety monitoring system is installed on special operation equipment, to collect real-time information such as displacement, inclination, strain and jack stroke to realize safety monitoring and early warning.

图 1 IoT in smart site in Shenzhong Link

7. Conclusion

BIM and intelligent manufacturing technology are the inevitable trend of the infrastructure construction industry transformation in the industrial 4.0 era, and the only way to transform and develop the transportation infrastructure field. At present, various BIM applications in the Shenzhong Link have shown strong application value, and are constantly deepening and iterating. The BIM application of Shenzhong Link will continue to adhere to the principle of "innovation-driven, problem-oriented, details first", and effectively improve the quality and safety of the project, and strive to become a demonstration of BIM technology in the infrastructure industry.

Acknowledgments
The authors wish to thank the funding of Science and Technology Program of Zhejiang Provincial Department of Transport (No. 20170426001).

References

[1] Miettinen R., Paavola S. (2014) Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. Automation in construction, 43**:** 84-91.
[2] Lee N., Salama T., Wang G. (2014) Building information modeling for quality management in infrastructure construction projects. Computing in Civil and Building Engineering**:** 65-72.
[3] Xihua D., Li F., Yang Y., Xian R. (2017) Building and Maintenance Integated BIM in Humen Second Bridge (in Chinese). China Highway**:** 68-71.
[4] Yan Z., Chen H., Li F., Guo Y., Yan Y. (2017) Application of BIM technology in the Digital Steelwork Factory in Humen Second Bridge. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 13**:** 239-40.

公路桥梁建设期 BIM 协同管理平台架构及应用研究

姜竹生[1]，董　鹏[2]，史国刚[3]，闫　昕[2]

（1. 江苏省交通运输厅工程质量监督局，江苏　南京　210001；
2. 交通运输部公路科学研究院，北京　100088；3. 江苏省交通运输厅公路局，江苏　南京　210004）

摘　要： 桥梁建设期存在的技术以及管理方面的问题，已经制约桥梁建设的健康发展。建设期 BIM 技术的应用，可以有效提升桥梁建设的数字化、自动化和智能化程度。建设期 BIM 协同管理平台架构主要包括核心的数据层、模型层、交互层、功能模块层，业务功能涵盖质量、安全、进度管理等。通过对平台架构以及应用展开研究，搭建基于 BIM 的桥梁建设期协同管理平台，实现桥梁建设期工程各方平台集成化高效协同工作。

关键词： 桥梁工程；建设期；BIM 技术；协同管理；平台架构

中图分类号： U44　　**文献标识码：** B

桥梁建设的健康发展，已经受制于传统的技术因素以及管理方式缺陷。传统的技术因素导致构件间碰撞、净空不足等问题无法于设计阶段提前发现、提前解决；而管理方式缺陷造成整个建设周期数据的完整性差，及时性、真实性和共享性均达不到预期要求。BIM 作为一种全新的理念和信息化技术在工程建设领域的最新进展，为公路桥梁建设期的管理提供了一个有效的协同平台。

引入 BIM、云计算和物联网等新一代信息化技术，攻克大体量 BIM 模型轻量化处理和渲染技术，开展桥梁建设期 BIM 协同管理平台架构应用研究，搭建基于 BIM 的桥梁建设期协同管理平台，就显得尤为重要。

公路桥梁建设期 BIM 协同管理平台旨在统一平台下进行项目协同管理，业务功能涵盖质量、安全、进度管理等，平台架构主要包括核心的数据层、模型层、交互层、功能模块层。

其中数据层处在最底层，是整个体系框架的“基石”，为其他层次提供基础支撑；模型层处于数据层的上一层，是一切数据的载体和功能模块层的模型基础；交互层处于模型层的上一层，该层的主要作用是通过相应的平台实现人机的“交互”；功能模块层处于所有层次的顶层，是数据层、模型层、功能模块层共同作用所产生的实际作用，是现场实际需求的具体表现。具体框架体系见图 1。

1　数据层

在整个建设期的 BIM 体系框架中，数据层处于最底层，最基础的位置。如若缺失了数据层，BIM 中的 Information 将无法得到很好地诠释，三维模型将是一个简单的并且不带任何信息的三维几何模型；同时现场的业务数据将无法集成到统一的平台上，整个 BIM 将会是一个空壳，无法真正的发挥它在桥梁建设期的作用。

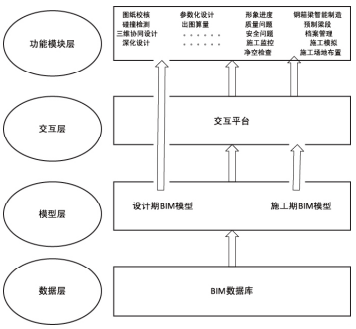


图 1　建设期 BIM 框架体系

桥梁建设的的参与方众多，信息量庞大，数据层需要精心的去设计，采用云存储和云数据库存储数据，云服务器进行数据的计算分析，具体见图 2。数据层的关键在于数据的存储、交换以及应用 3 个方面。

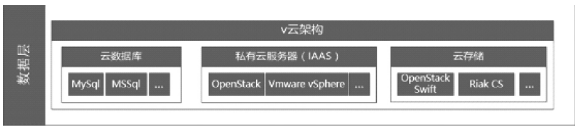


图 2　BIM 平台数据库架构

1.1　数据存储

建设期数据整体是一个庞大的数据库，而且针对于项目过程而言涉及到的工序较多。采用云存储的方法，可以保证建设期庞大数据的完整性、有序性和可信性；再则在信息的存储过程中可以实现数据的分类存储，保证高效快捷的查找以及利用数据。

1.2　数据交换

建设期不同阶段不同项目主体之间为保证信息的顺利沟通，桥梁的各种数据存储到数据库之后，需要实现数据的交换。目前广泛采用的数据交换标准为 IFC（Industry Foundation Class），该标准由国际协同工作联盟组织（IAI）研究制定。桥梁的三维模型可以根据结

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

构特征选择不同的 BIM 软件进行建模，最后通过统一的 IFC 文件进行信息的交换和共享，提升工作效率。然而 IFC 所存储的信息未按照不同的桥梁建设阶段进行分类存储。而 IDM(Industry Delivery Manual) 标准的出现将会解决这个问题，它允许信息按照某个选定的特定阶段输出。

1.3 数据的应用

通过对不同项目主体进行权限设置，保证不可越过权限干涉其它人的数据; 同时实现数据的实时更新与共享，即只要有一方的数据变动，其他的各方都可以看到变更后的实时数据。这样，针对存储数据，不但可以高效便捷的进行数据的输入、查询、修改等操作，而且还可以根据已有的数据很快的做出决策。

2 模型层

模型作为数据载体，是实现构件信息准确查询的基础。为保证模型存在的有效性，需要从 EBS 编码和模型的建立两方面进行控制。

2.1 EBS 编码

EBS 编码作为面向桥梁工程全部构造的分解原则，随着项目设计、规划、详细设计和计划工作的进展而逐渐细化，可以作为功能优化、工程分标、进一步设计和计划、运营维护管理的依据，通过独立唯一的识别码，实现信息的采集，传递和集成。适用于包括工程建设期在内的全寿命周期各阶段。

工程系统结构分解是大桥全寿命期建设管理创新的基础性工作之一，必须遵守整体性、系统性、有序性以及可追溯性的原则，从而体现工程系统的特点和工程专业工作的组合。

为编制 EBS 编码体系，必须将全桥作为一个整体，根据不同的结构和功能，由上到下，由粗到细，由整体到局部的逐级划分。确保每个构件都有唯一的编码且编码以阿拉伯数字为主。

EBS 分解通常采用结构化分解方法。任何项目系统都有它的结构，都可以进行结构分解，分解的结果通常为树型结构图，如下图 3 所示。

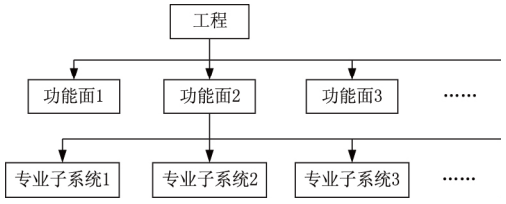


图 3 一般工程系统分解结构模型

参照《公路工程质量检验评定标准实施手册》的分部分项规则，将整体分成路基工程，路面工程，桥梁涵洞，隧道，交安设施及预埋管线等部分。对于桥梁工程来说，桥梁类型较多，例如按结构形式可以划分为简支梁桥、连续梁桥、斜拉桥、悬索桥等，需要根据不同的桥梁类型进行 EBS 编码的分解，限于篇幅此处以互通立交为例进行 EBS 分解，如图 4 所示。

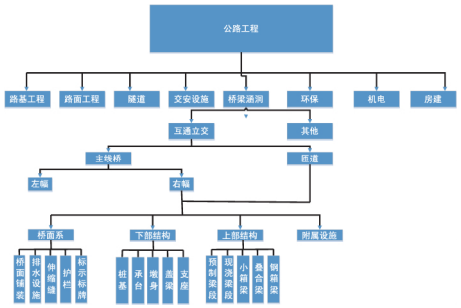


图 4 互通立交的 EBS 分解

2.2 建立模型

依据桥梁的结构形式选择合适的建模软件。建模过程中，必须严格按照设计图纸和现场的施工组织设计，并始终遵循 EBS 编码原则，从而保证每个构件建成之后有独立唯一的“ID”，即身份标识。若 BIM 三维模型中存在钢筋，其数量一般远大于其他构件。由于钢筋在整个结构受力中起着重要作用，钢筋模型可用于三维可视化施工交底、工程量算量、碰撞检查等方面应用，优势明显。

3 交互层

桥梁建设可能包括主桥、引桥、互通立交等多种工程，而 BIM 的核心之一为 3D 模型。为完整的展现 PC 端的 3D 模型，需要有一个强有力的 3D 引擎作为交互层，即需要一个平台进行集成展示。

4 功能模块层

功能模块的划分主要按照以下的优先级进行相应的考虑: 首先以需求为导向进行所有需求的汇总; 根据项目不同的建设阶段进行划分; 在特定的项目阶段针对不同的项目主体需求进行划分。包括以下模块:

(1) 形象进度。三维直观的进行进度的展示，并可以对进度数据进行分析，实现对进度的管控。

(2) 质量安全。实现对现场质量安全隐患的快速排查，并对相应数据进行分析总结，使得工程各方快速做出决策。

(3) 预制构件的动态管理。实现预制构件厂科学高效的管理，再则实现预制构件质量的可追溯。

(4) 钢构件的智能制造。实现钢结构的远程进度质量的监控，并且可以实现设计加工一体化。

(5) 施工过程中的档案管理。实现对构件各种档案资料进行过程化、同步化的管理。

(6) 施工过程中的监控监测。实现对施工过程中的监控测量数据的三维化展示和分析。

(7) 净空检查。在施工过程中碰到类似于互通立交的桥梁，其匝道之间的净空对于设备的选型起着至关重要的作用。

(8) 施工模拟。实现关键方案和施工组织的的施

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

工模拟，进行有关方案的优化和潜在问题的提前预知。

(9) 拌和站。实现拌和站配合比的实时控制和可追溯。

(10) 试验检测中心。实现检测数据的电子化，实时同步和可追溯。

针对于以上的功能模块，总体实现的架构见图5。图中电脑终端主要是用来展示3D模型以及上述的各项功能的数据，用户通过电脑端交互体验各版块功能；移动端方便便携，其主要功能是现场数据的实时的采集，再则就是实现图纸、标准规范、管理办法等的实时查询；跨平台的Web端主要功能是实现系统数据的实时管理以及各种报表的下载打印。

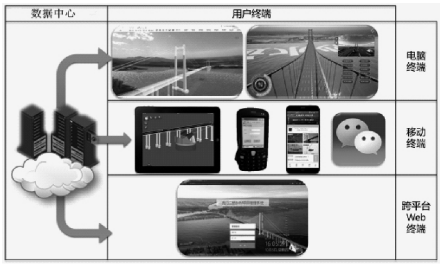


图5 总体实现图

BIM平台PC端承担3D模型展示及信息集成展示功能，是一切数据的载体和呈现，最为重要同时也最为复杂，BIM中的模型需要把所有的构件都显示出来，这样才能保证信息完整，精确的看到每个构件的模型，这也是BIM设计的初衷。而桥梁领域的模型大多结构复杂，构件非常多，例如虎门二桥整个模型大概有八千多万三角形面，对于一般WEB浏览器和APP来说，不可能显示这么多面的模型，所以只能采用C/S架构来更好的满足需求，见图6。

图6 PC端架构

(1) 数据通讯层：主要负责与服务器的数据通讯，将数据发送给服务器，并且可以把数据从服务器上获取下来。

(2) 控制层：控制流程跳转和集成各个层次之间的调用，因为PC端偏展示，跟服务端不同，没有太复杂的业务处理，故PC端的控制层也负责一部分业务逻辑处理。

(3) 数据绑定层：直接跟展示层联系，当数据准备好后，通知展示层来更新模型数据。

(4) 展示层：跟一般的客户端不同的是，平台的PC端需要展示除一般UI外，还会展示3D模型以及模型与UI的交互，所以根据技术处理方式不同，划分为2个层次。

(5) 普通UI展示层：负责一般性信息展示，例如：菜单、弹出窗口、报表等，是原生的Windows信息展示。

(6) 3D引擎展示层：负责3D相关展示，根据实现复杂度又划分成了3D模型展示和3D仿真。3D模型展示主要是静态的，需要人机交互的，更倾向于展示，3D仿真需要用到各种动画，人机交互减少，例如：施工进度模拟，就需要按照施工的步骤一步步将大桥从无到有的模拟展示出来，在模拟的过程中，是没有人为操纵的。

(7) 3D模型展示，3D仿真：主要是前端模型的展示和仿真。

5 结语

建设期BIM协同管理平台的搭建开启了桥梁建设期三维可视化动态管理的新模式，这种新的管理模式直观，形象，高效，有助于提升工程管理透明化，信息化以及效率化。同时可以实现对工程质量，安全，形象进度等方面的有效把控。

根据BIM协同管理平台性能需求和业务管理需求，搭建协同管理平台的合理架构与数据标准接口，包括开发语言、数据库、服务器，搭建物理架构，规划数据存储、搜索的方案，从而实现多用户项目协同管理。

桥梁建设期BIM协同管理平台作为所有信息模型与后台数据进行集成和展示的一个重要工具。允许工程各方都可以在统一的平台上进行工程管理，完成自己的工作；同时也可以在此平台上快速的与其他工程参与方协同工作，大大的提高了工作效率。最终有效提升桥梁建设过程的数字化、自动化和智能化程度。

参考文献：

[1] 王小翔. 关于BIM运维管理技术的探讨. 福建建设科技，2016(1)：71－73.

[2] 潘永杰. 基于BIM的桥梁建养一体化平台应用研究. 铁路BIM技术，2016，25(5)：40－42.

[3] 何关培. BIM和BIM相关软件. 土木建筑工程信息技术，2010，4(2)：110－117.

[4] 张亚婷. 基于BIM的特大悬索桥施工管控平台研究与应用. 重庆：重庆大学，2016.

[5] Hardin B. BIM and Construction Mangement：Proven tools，Methods，and Workflows. John Wiley&Sons，2011.

[6] 宋子婧. 公路桥梁建养一体化信息管理研究. 南京：东南大学，2015.

[7] 闫振海. 桥梁建设期BIM技术研究. 北京：交通运输部公路科学研究院，2017.

[8] 汪彬. 建筑信息模型(BIM)在桥梁工程上的应用研究. 南京：东南大学，2015.

[9] Blaine Fanning. Implementing BIM on infrastructure：comparison of the two bridge construction projects. Practice Periodical on Structural Design and Construction，2015，20(4)：1－6.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于 BIM 的桥梁施工质量安全可视化控制技术研究

李晓龙[1]，朱辉阳[2]，王立国[2]，闫　昕[1]

（1. 北京公科桥梁技术有限公司，北京　100088；2. 江苏省交通运输厅公路局，江苏　南京　210004）

摘　要：本文对 BIM 施工方案模拟、可视化技术交底、移动端隐患排查系统、班组标准化管理体系进行研究，提出基于 BIM 的桥梁施工质量安全可视化控制技术。施工方案模拟，提前发现施工组织设计方案存在的问题，优化设计，并提供可视化技术交底方案。借助 BIM 虚拟建造功能，进行可视化技术交底，大大提高沟通效率，减少沟通时间。利用隐患排查处治系统，提高应急处置能力，缩短问题整改时间，提高工作效率，实现“让信息多跑路、人少跑腿”。依托班组作业标准化管理体系，提高项目质量，降低质量安全事故发生概率，实现工程质量和责任可追溯性。且研究成果在昌荣桥建设中得到了较好的示范运用。

关键词：桥梁工程；BIM 技术；质量安全；可视化

中图分类号：U44　　**文献标识码：**B

随着国民经济的发展，桥梁建设也经历了一个飞速的发展阶段。随着新材料、新技术、新工艺的应用，桥梁向大跨、美观、新型发展，这就对桥梁施工、管理水平提出更高要求。但是目前由于建设、施工人员的本身素质参差不齐，由于管理水平的底下，最终导致桥梁施工质量问题突出、安全事故频发、施工工期拖延等问题。在桥梁建设过程中引入信息化的施工技术和管理模式带来的效益已慢慢凸显，利用 BIM 技术提高桥梁的施工效率、节约施工成本，且对桥梁的施工质量、安全提供一定的保障。目前，BIM 技术在桥梁施工过程中的应用较少，本文以昌荣桥为依托，利用云计算、RFID 技术、移动互联网技术，提出基于 BIM 的桥梁施工质量安全可视化控制技术。

1　施工可视化

可视化可理解为“所见即所得”，它是利用计算机显示技术和图像处理技术，将抽象信息以图像、图形或模型的方式显示在电子屏幕上，并进行交互处理的理论、方法和技术。可视化施工为项目管理提供了新的思路，打破了传统的施工作业模式，促进了施工过程中信息的共享与传递。可视化施工技术能解决施工过程中面临的很多难题，如大型复杂工程的施工，空间异形工程的施工定位难题等，基于 BIM 的可视化施工技术改变了建筑行业粗放的管理方式，向精细化管理发展。

2　基于 BIM 的桥梁施工质量安全可视化的关键技术

采用 BIM 技术对桥梁施工工序和工艺进行模拟，提前发现施工组织设计方案存在的问题，优化设计，并提供可视化技术交底方案。通过施工过程预演，提升桥梁施工质量和安全的管控能力。利用隐患排查处治系统，降低事故发生概率，提高应急处置能力，缩短问题整改时间，提高工作效率。依托班组作业标准化管理体系，提高项目质量，降低质量、安全事故发生概率，实现工程质量和责任可追溯性。

2.1　施工方案模拟

根据最终的施工组织方案创建精细化的施工全过程模型，对施工中的人、材、机信息流动过程进行全真环境的模拟，为各个参与方提供一种可控制、无破坏性、耗费小、低风险并允许多次重复实验的方法，有效的提高施工技术水平，消除施工隐患，防止施工事故，减少施工成本与时间，增强施工过程中决策、控制与优化的能力。通过对施工方案模拟，提前发现施工组织设计方案存在的问题，优化设计，并提供可视化技术交底方案。

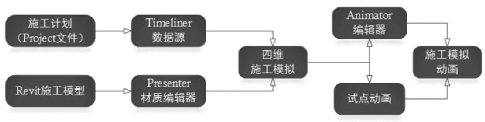


图 1　施工模拟技术路线

借助于 BIM 的施工模拟功能，对复杂、关键施工工序、工艺进行模拟，并将成果做成视频，通过三维施工动画视频、VR 展示和移动终端展示的方式，进行施工技术交底，可大大提高沟通效率，减少沟通时间。基于 BIM 技术的可视化、参数化特点，即使欠缺专业知识的一线工人也可以通过非常直观 BIM 模型理解复杂施工工艺、工序、工法，确保施工安全及提高施工质量。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

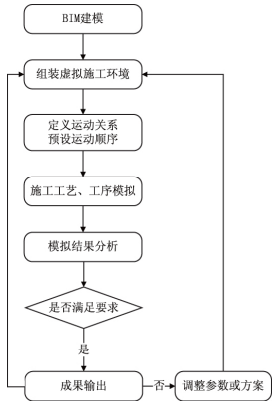


图 2　施工模拟流程图

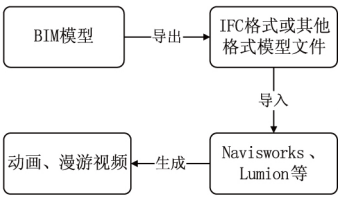


图 3　漫游交底技术路线

2.2　移动端隐患排查处治系统

施工隐患排查处治主要包括质量隐患排查处治系统、安全隐患排查处治系统 2 方面。质量排查包括隐患发布、隐患整改、整改验收 3 个环节，并形成闭环化管理，缩短问题闭合时间，主要流程如下：检查人员记录质量隐患信息、安全隐患信息并发起质量隐患、安全隐患整改流程；责任人在指定期限内按业界标准对质量隐患、安全隐患进行整改，反馈整改状态；检查人员对隐患进行验收，给出相应的验收结果，如果“验收合格”则对本隐患进行归档，如果“验收不合格”则驳回，由责任人在指定时间内对隐患进行整改，直至“验收合格”，然后系统自动进行归档。

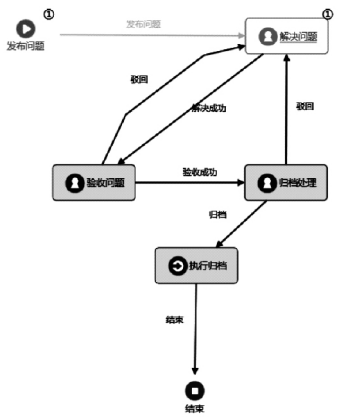


图 4　隐患排查处治流程图

2.3　班组作业标准化管理体系

建立班组作业标准化信息采集系统，对班组作业建立班前、班中和班后信息采集系统，对班组常态化作业情况、安全教育、技术交底、现场“6S”管理、班组质量检验等进行采集、统计和分析，建立班组作业基础数据库，实现工程质量和责任溯源，建立班组量化考核评价体系，提高班组作业规范化、标准化，降低项目质量、安全事故，实现工程质量和责任可追溯性。

3　基于 BIM 桥梁施工质量安全可视化控制技术应用

3.1　项目概况

昌荣桥是 S229 改扩建兴化段上的一座大桥，桥梁桥跨布置为(5 × 20) + 75 + (7 × 20) m，桥梁全长 318.36m，主桥采用 74m(计算跨径)单跨简支钢桁梁，两侧引桥采用 20m 跨径空心板梁。由于主桥为钢桁梁，施工安装工序、工艺繁琐复杂，为保障项目的质量、安全，最终决定将基于 BIM 的桥梁施工质量安全可视化控制技术应用在本项目中，以实现项目的精益管理、精益建造、精益求精。

图 5　昌荣桥效果图

BIM 的桥梁施工质量安全可视化控制技术在本项目的应用主要包括两方面，一方面，BIM 模型应用，充分发挥 BIM 模型可视化技术优势，对施工方案、施工工序、施工工艺进行模拟，进行可视化技术交底；另一方面，发挥 BIM 模型信息集成优势，利用互联网先进技术，实现业务信息集中存储、管理和利用，为质量、安全协同提高支撑。

3.2　施工模拟

根据设计图纸及施工组织方案，建立昌荣桥 BIM 模型。基于 BIM 技术搭建的施工模拟，以“100% 接近真实”的方式对设计成果和施工组织方案提前预演和检视工程实体，进行虚拟化建造，所见即所得，防患于未然，当发现问题时，以模型为例进行探讨，缩小了研究人员与现场施工人员的距离感，提高沟通效率，真正做到方案即实施。

3.3　移动端隐患排查处治系统

根据项目需求开发施工现场移动端隐患排查处治

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图 6 昌荣桥 BIM 模型

系统，在质量、安全隐患排查治理流程中，手机客户端每日自动提醒责任人落实按要求整改以及整改期限剩余时间；手机客户端可自由设定在离整改期限提醒时间与次数；整改期限内未完成整改的报警提醒整改责任人和检查人；业务表单输出：系统可以自动生产规范的质量安全隐患整改通知单、整改落实回复单以及隐患排查治理台账等，并具有表单统一导出和打印的功能；数据统计分析：根据日常质量、安全隐患排查治理动态管理数据，系统能够对数据进行自动统计分析，生成多种类型的隐患统计图形和统计报表等。形成隐患发布、隐患整改、整改验收三个环节，形成闭环管理，缩短隐患处置时间，提高隐患处理能力，提高工作效率。

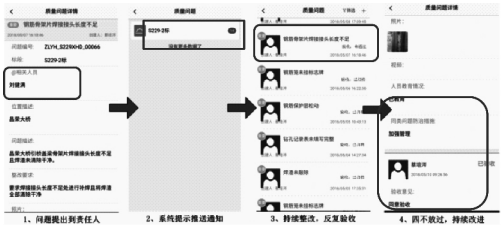


图 7 基于移动端质量安全隐患排查治理

3.4 班组标准化管理体系

建立班组作业标准化信息采集系统，主要包括现场“6S”管理、班组安全巡查、班组安全生产日志、班组教育与班组会议、班组质量检验和工序交接等，提高班组作业规范化、标准化，降低项目质量、安全事故，实现工程质量和责任可追溯性。

①现场“6S”管理。将现场“6S”管理考核评价内容嵌入手机 APP，安全员通过手机 APP 对班组现场“6S”行为进行常态化管理，实时上传现场“6S”管理考核数据，上传现场照片作为辅助材料。

②班组安全巡查。手机 APP 建立班组安全巡查表，安全员通过手机 APP 实时上传班组安全生产行为巡查表。

③班组安全生产日志。将现场班组安全生产日志内容嵌入手机 APP，班组长每天可以通过 Web 端或手机 APP 建立班组安全生产日志，提供班组当日安全生产照片上传。

④班组教育与班组会议。手机 APP 提供班组教育和班组会议便捷式记录模块，并提供扫码功能，将参加班组教育和会议的工人通过扫码实现身份识别，提供班组教育和班组会议现场照片上传，记录工程接受班组教育和参加班组会议的记录情况。

⑤班组质量检验和工序交接。手机 APP 建立班组质量检验用表和工序交接卡，与 BIM 模型关联，实现班组作业质量检验和工序交接检验无纸化审批和数据协同。将班组质量检验和工序交接检验与三维平台 BIM 构件关联中，实现基于三维平台的查询和统计。

图 8 班组标准化管理系统

4 结语

（1）对 BIM 施工方案模拟研究，提出施工模拟技术路线、流程图及漫游交底技术路线。通过施工方案模拟，提前发现施工组织设计方案存在的问题，优化设计，提高施工水平，消除隐患。借助 BIM 虚拟建造功能，进行可视化技术交底，可大大提高沟通效率，减少沟通时间。

（2）开发移动端隐患排查系统，及时对现场隐患进行发布、处理、验收，避免隐患进一步恶化，缩短隐患处置时间，提高隐患处理能力，提高工作效率，做到“让信息多跑路、人少跑腿，信息交互共享、管理扁平化”。

（3）提出班组标准化管理体系，提高班组作业规范化、标准化，降低项目质量、安全事故，实现工程质量和责任可追溯性。

（4）基于 BIM 桥梁施工质量安全可视化控制技术在昌荣桥建设中取得了较好评价。

参考文献：

[1] 刘玲. 桥梁施工管理三维可视化信息系统的探究和分析. 交通世界，2015(4).

[2] 陈胜启，彭莉. 桥梁可视化施工应用技术探讨. 桥隧工程，2017(8)：58－61.

[3] 张苏. 基于改进的 4D 模型的可视化施工管理系统. 计算机与数字工程，2009(4)：98－101.

[4] 张建平，李丁，林佳瑞. BIM 在工程施工中的应用. 施工技术，2012(16)：10－17

[5] 徐奇升，苏振民，王先华. 基于 BIM 的精益建造关键技术集成实现与优势分析. 科技管理研究，2012(7)：104－108.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

doi: 10.3969/j.issn.1002－0268.2018.08.012

跨海集群工程BIM协同管理平台架构研究

林述涛
(北京公科桥梁技术有限公司，北京 100088)

摘要： 深圳至中山跨海通道是继港珠澳大桥之后又一座世界级的集桥、岛、隧为一体的大型跨海工程，建设期项目管理具有业务复杂程度高、用户角色和数量多、数据体量庞大、工作界面繁多、信息系统参建方多等特点，因此研究基于BIM技术的项目协同管理具有非常重要的现实意义。首先从业务视角分层次梳理深中通道施工过程项目管理的所有业务功能和工作界面，实现建设阶段项目协同管理功能，如进度管理、安全管理、质量管理、计量支付管理、项目OA等从数据到业务的协同，并提出实现协同管理的基本要素；其次，考虑到深中通道项目BIM协同管理平台系统架构的整体复杂程度高，在明确需求的基础上，分3个视图研究分析深中通道BIM协同管理平台的架构，并分别与相应的需求进行匹配验证；最后，开发深中通道的BIM协同管理平台，提供用户使用的包括Web，PC和手机移动端3个客户端，通过用户权限根据用户需求分配不同的权限和功能，实现基于BIM的施工数据统一存储，并达到不同业务的过程协同和不同用户角色的工作协同的目的。研究表明，基于BIM的项目协同管理平台架构可以适应大型工程项目复杂业务流程定制和庞大数据的高效存储与管理，同时可以作为大型工程项目系统集成的支撑架构。

关键词： 桥梁工程；BIM系统；BIM平台架构；跨海集群工程；协同管理
中图分类号： U448.14 **文献标识码：** A **文章编号：** 1002－0268(2018)08－0080－09

Study on BIM Collaborative Management Platform Architecture of Sea-crossing Cluster Engineering

LIN Shu-tao
(Beijing Gongke Bridge Technology Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: The Shenzhen－Zhongshan sea-crossing channel is a world-class cluster engineering integrated with bridge, island and tunnel after the Hong Kong－Zhuhai－Macao Bridge. In the construction period, the project management has many characteristics, such as high complexity of business, many user roles, large amount of data, multiple work interfaces, and many information system participants, therefore, the research of project coordinative management based on BIM technology has a very important practical significance. First, we systematically sorted out all the business functions and work interfaces of the project management of the channel construction process from the business perspective, realized the cooperative management function of the construction phase from data cooperation to business cooperation, such as progress management, security management, quality management, measurement and payment management, project OA and so on, and put forward the basic elements for realizing collaborative management. Second, considering the overall complexity of the BIM collaborative management platform architecture of the Shenzhen－Zhongshan channel project, based on the cleared requirements, we analyzed the platform architecture of the collaborative management with 3 views, and verified them respectively with the corresponding requirements. Finally, we developed the BIM cooperative management platform for the Shenzhen－Zhongshan channel, which provides 3 clients including Web, PC and mobile phone terminal. It assigns different privileges and functions to the user

收稿日期： 2018－03－25
作者简介： 林述涛(1979－)，男，山东昌邑人，高级工程师. (shutao.lin@chinabridge.com.cn)

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

s requirements by the user rights. The purpose is to achieve unified storage of construction data based on BIM, to achieve process collaboration of different business processes and to work synergy among different user roles. The research shows that the project collaborative management platform architecture based on BIM technology can adapt to the complex business process customization and the efficient storage and management of large data for large-scale projects, and also can be used as a support framework for large-scale engineering project system integration.

Key words: bridge engineering; BIM system; BIM platform architecture; sea-crossing cluster engineering; collaborative management

0　引言

BIM 作为近几年兴起的新型信息化技术，其优势是以 BIM 模型作为媒介，将工程设计、施工和运维的过程信息动态联系起来，并实现信息的可视化，这将大大提升结构状态的表现力和各阶段信息的提取能力[1-5]。在 BIM 技术出现以前，按照传统的管理手段，行业内企业难以真正做到工程的精细化管理。BIM 技术的出现，为彻底改变这一局面提供了技术支撑。

近年来，BIM 技术在我国众多大型公共基础设施工程中进行了实践性应用探索，并且取得了显著的成绩。文献[6]在范蠡大桥项目中应用 BIM 技术优化了大桥的施工方案；文献[7]在永川长江大桥项目中研究了 BIM 技术在大跨度斜拉桥设计中的应用方法；文献[8]研究了在铁路信息化建设中 BIM 与 GIS 技术的融合方法，提高了对 GIS 平台对 BIM 模型的集成和管理水平。然而随着 BIM 技术在基础设施工程中的应用逐步深化，我们看到随着项目的体量和复杂程度增加，BIM 协同管理平台不能再单一地从“各参建单位的协同工作”、施工现场的“智慧管理”、“监控系统集成”、“工程量及工程方案复核”、“方案汇报可视化”等概念的场景应用，而是需要真正从项目的初期即设计期开始，进行项目的信息化系统架构的整体规划。传统工程项目管理中质量管理、计量支付管理、档案管理分别用质量管理系统、计量支付系统、档案管理系统，但实际业务中，计量支付流程需要质检资料，这些资料已经在质量管理系统中生成，但由于 2 个系统互不相干，因此只能由现场工作人员手动从质量管理系统中导出，然后打印签字，再扫描上传到计量支付系统，计量支付流程完成后，所有质检资料和计量支付资料还都需要现场工作人员手动存入档案管理系统，在这整个过程中各系统之间的“绝缘”导致整个业务流程低效、费时、费力。本研究以深圳至中山跨海通道工程项目为背景，研究跨海集群工程 BIM 协同管理平台系统架构。

1　项目概况

深圳至中山跨海通道（以下简称深中通道）位于广东珠江口，是继港珠澳大桥之后又一座世界级集桥、岛、隧为一体的大型跨海工程。项目全长约 24 km，其中跨海段长约 22.4 km，其中桥梁全长 17 034 m，其中伶仃航道桥为（570 + 1 666 + 570）m 三跨悬索桥；横门东水道桥为（110 + 185 + 580 + 185 + 110）m 斜拉桥；非通航孔桥：110 m 钢混叠合梁（主桥引桥），50 m 预应力连续梁，40 m 预应力连续梁（陆地引桥）。隧道全长 6 870 m，推荐采用沉管法，沉管段长 5 035 m。海中设东、西人工岛，面积分别为 35.38 万 m^2、13.7 万 m^2。全线设互通立交 3 处（机场互通、万顷沙互通、横门互通）。设综合管理中心 1 处，主线稽查站 1 处，分设养护、救援工区等。深中通道桥 – 岛 – 隧构造物平面布置如图 1 所示。

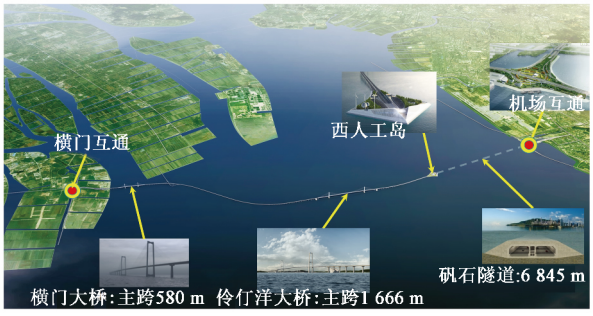


图 1　深中通道桥 – 岛 – 隧构造物平面布置

Fig. 1　Plane layout of bridge-island-tunnel structure of Shenzhen – Zhongshan channel

深中通道项目对于 BIM 协同管理平台需要满足如下 3 大功能需求：①设计交付；②建设期项目协同管理；③施工对运维交付等阶段的信息传递。基于对系统使用的业务需求，从软件系统架构设计的角度对系统进行整体规划，同时还必须要具备健壮

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性、扩展性、稳定性、高效性等特点。系统设计的具体要求如下:

(1) 系统架构设计应具备层次化和模块化，从而保证系统部署过程的灵活性、可扩展性和稳定性。系统在实施部署时具有更灵活的部署方案，可以根据实际需求的优先等级及时调整; 同时在既定规划的系统功能范围内，可以根据需求进行相应的调整或扩充，而在上述2项实施部署或扩充工程中，能够保证不影响既有平台使用的稳定性。

(2) 信息管理应具备信息存储的集成化和信息采集的移动化，从而切实提高信息采集的便捷性以及信息存储管理的可交互性和高复用性，真正达成由设计到施工、由施工到运维的信息传承，真正实现向全生命周期的信息跟踪和协同管理(进度管理、安全管理、质量管理)。

(3) 数据平台要具备开放性和兼容性，需要采用成熟的主流技术和保证代码可持续维护，确保系统具备在未来10年及以上时间范围内保持与市场主流技术同步迭代的功能; 系统需要建立明确的接口标准，保证系统对第三方系统接入的兼容性，避免后续引入其他系统时产生数据孤岛。

2 业务框架

深中通道BIM协同管理重点目标: 实现建设阶段项目协同管理功能，如进度管理、安全管理、质量管理、计量支付管理、项目OA等从数据到业务的协同。从业务视图看，BIM协同管理平台规划的管理功能最终形成的业务框架如图2所示。

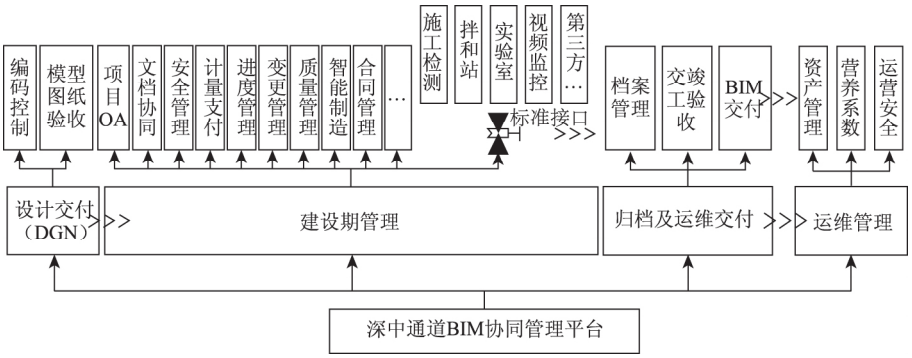


图2 深中通道BIM协同管理平台业务框架

Fig. 2 BIM cooperative management platform business framework of Shenzhen – Zhongshan channel

平台整体功能规划架构分为横向和竖向2个流向。(1) 竖向分为底层、中间层、顶层3个层次: 底层为平台层，既要通过BIM技术实现不同业务数据的有机集成和唯一数据源管理，又要保证系统持续的可升级、可维护、开放性等要求。中间层分为: 设计交付模块、建设期管理模块、归档及运维交付模块和运维管理模块，通过中间层的设置实现系统底层平台与顶层业务模块的分离和弱耦合性。每个中间层又对应多个顶层业务功能模块，例如建设期管理模块中间层对应项目OA、文档协同、安全管理、计量支付、进度管理、变更管理、质量管理、智能制造和合同管理等。(2) 横向按工程的进度分为左、中、右3个分区，左侧为设计交付区，这里主要是指BIM模型和图纸的编码与交付，只做中间层的数据集成，不做顶层的业务集成; 中间为本研究的重点研究范围，即施工期基于BIM的协同管理，协同主要指数据协同、业务协同和多用户角色协同; 右侧区域为归档及运维交付和运维管理模块，为了更好地实现建养一体化，运维交付与运维管理在中间层和顶层都要做集成。BIM施工协同管理，两侧通过“设计交付”和“归档及运维交付”实现业务层面的动态协同，整体实现系统功能模块分层树形结构划分。

在整体系统架构基础上，为满足系统核心的业务数据交互复用管理，项目采用多终端相互配合的系统结构，具体项目终端分布如图3所示。

由图3可知，深中通道通过BIM数据中心实现了在电脑终端、移动终端和跨平台Web终端3端之间全部数据的协同管理。其中电脑终端主要是针对BIM平台协同管理信息的集中展示; Web端主要是批量操作和系统管理; 移动终端主要实现现场数据录入与现场过程管控。

3 系统架构分析

考虑到深中通道项目BIM协同管理平台系统架构的整体复杂程度高，以下从系统架构验证的角度，

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

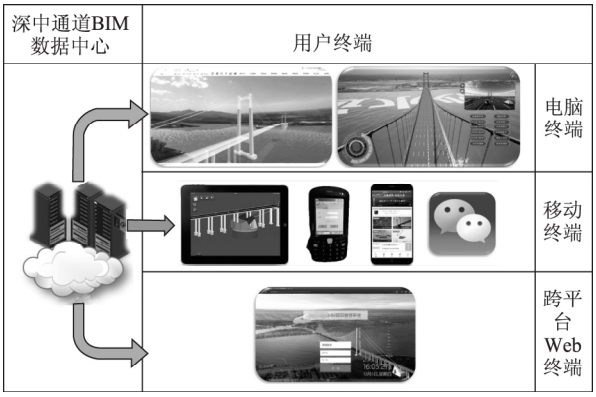


图 3　深中通道 BIM 协同平台终端组成

Fig. 3　Composition of BIM cooperative management platform terminal of Shenzhen – Zhongshan channel

通过业务分层结构、信息数据视图和标准接口 3 个角度分别对现有的深中通道 BIM 协同管理平台系统架构与其需求进行匹配验证分析。

3.1　业务分层结构

BIM 协同管理平台应采用技术成熟但又不失先进性的方案：后台服务器采用云端弹性部署（Cloud First Strategy & Data Analytics Strategy），通过分层架构实现平台与基于功能（Feature Based）的业务系统的逻辑分离，降低耦合性，提高系统部署的灵活性和可扩展性；前端面向多用户角色，遵循移动优先原则（Mobile First Strategy），实现主要业务在移动端的便捷化处理，提高系统的易用性；通过用户角色的逻辑权限划分和唯一身份识别认证机制（IAM Strategy），既保证了系统的数据安全性，又保证了授权的灵活性。

BIM 协同管理平台分层架构如图 4 所示。根据管理需求制定从施工图设计期至运维交付完成期的全生命周期业务范围，规划了 BIM 平台的部署工作。考虑到公有云在数据处理方面以及人工智能方面的先进性和安全性[9-13]，BIM 平台数据中心存储于公有云平台，各子业务系统通过数据交互实现了对不同角色在不同阶段对业务的管理工作。

3.2　信息数据视图

信息数据的获取与组织是实现 BIM 协同管理的基础，管理协同的前提是数据协同，数据协同的前提是唯一数据源[14]。深中通道 BIM 协同管理平台的信息流组织方式如图 5 所示。通过二维码、NFC 等手段实现信息的自动录入，从而提高效率减少输入误差。通过手机、Pad 等移动端的充分利用，实现数据在现场直接录入系统，省去内业整理的大量工作。通过面向服务的框架（SOA），形成跨业务、跨系统的唯一数据源，奠定了协同管理的根基。

深中通道 BIM 协同管理平台首先是面向全生命周期的，能够同时支撑设计、施工和运维 3 个阶段；其次一定是面向“协同管理”的，能够将项目进行过程中的数据、图纸、文件等信息统一管理。因此，数据管理应至少具备如表 1 所示的功能。

实现上述功能需要借助一个完备的 IT 架构，首先从大的层面讲，数据中心一定是基于云架构的，使数据平台不依赖于某个具体的硬件，保持软硬件具有足够的弹性，按需投入，节省成本；其次是信

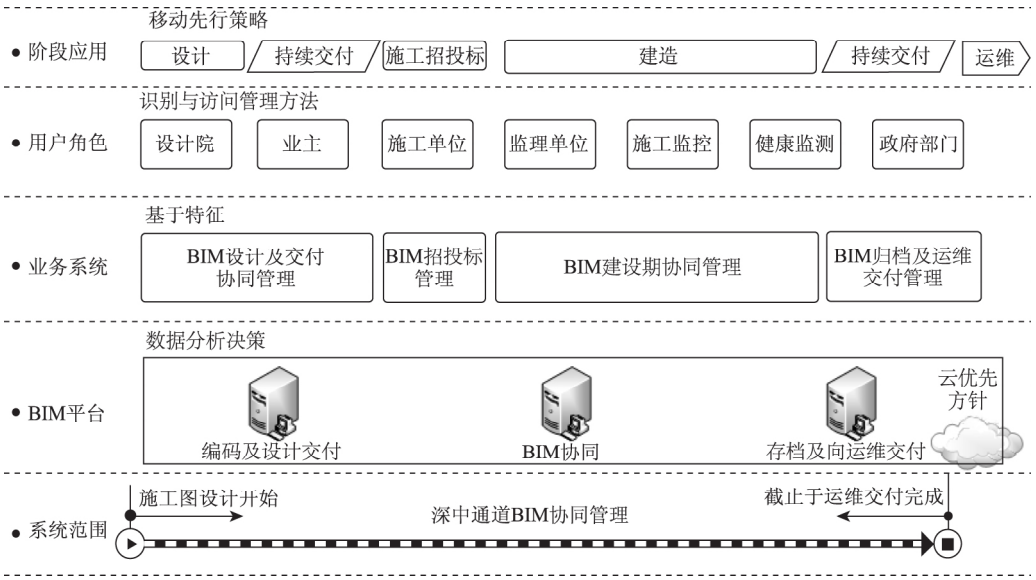


图 4　BIM 协同平台分层架构

Fig. 4　Hierarchical architecture of BIM cooperative platform

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

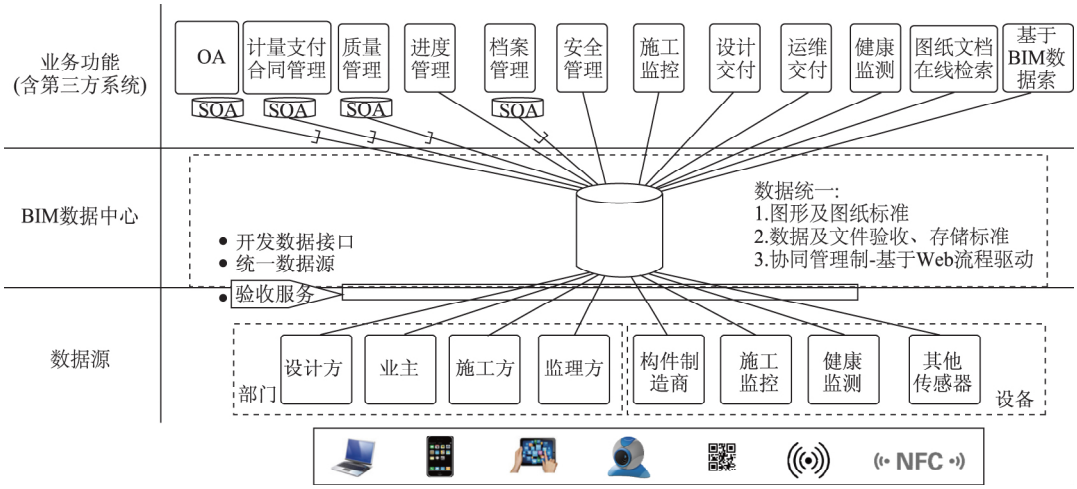


图 5 深中通道信息流组织方式

Fig. 5 Information flow organization mode of Shenzhen – Zhongshan channel

息的管理，主要包括：BIM 模型、数据、文件，每种信息的存储、索引方式均不相同，因此需要进行专门的规划管理。基于以上功能的架构规划图如图 6 所示。

表 1 数据管理的基本功能要求

Tab. 1 Basic functional requirements for data management

特征	说明
直接基于通用数据库接口开发，如 MS SQL，Oracle，MySQL 等	计算机技术发展迅速，如果要保证系统具备 10 年以上的生存时间，系统底层要采用最通用、最广泛的技术，尽量避免基于某特定软件进行二次开发（系统完全依赖于第三方商业软件生存的风险很大）
具备云技术的数据计算、数据分析、移动端互联等功能	目前的数据存储已经全面进入“云”时代，数据的价值在于对数据进行分析、统计进而产生辅助决策的各种报表。目前也是移动互联网的时代，数据中心一定要具备移动互联的特性
能够对文件及数据进行分类存储，并能够区分建设阶段、参与方、用途等不同属性	不同文件和数据的索引方式、压缩方式、权限控制、版本控制方式等均不相同，因此数据中心应具备分别管理文件、数据的能力
具备人员组织管理能力及相应的角色权限控制能力	数据的访问是受权限控制的，权限是与用户角色密不可分的，用户是处于组织中的，因此要同时具备组织管理能力和角色权限控制能力
具备文件及数据的更新和版本记录	具备专门的文件及数据更新策略，并能够保存一定数量的历史版本，能够进行版本标识
统一文件命名规则，附加文件属性，标准文件审核流程	能够建立并校核文件的命名规则，并能够为特定的文件附加特定的属性
编码规则及校验	能够植入编码规则，并按编码规则遍历所有构件，并能够自动校验是否满足编码规则要求
构件树及属性管理与校验	能够在总装模型的基础上形成构件树（构件层次关系图），并校验每个构件属性的完整性
具备独立的 BIM 平台，能够兼容常见的 BIM 工具导出的 BIM 模型和信息	常用的 BIM 建模工具有：Microstation，Revit，Tekla，Catia，Sketchup 等
能够对导入的模型自动进行轻量化，并能够按照显示范围分级加载模型	在路桥隧领域，总装模型是非常庞大的，尤其包含钢筋时，因此模型轻量化技术以及分级加载技术是必须的
几何模型与文件、数据分离	面向全生命周期，整个过程会产生动辄 100 GB 以上的数据，因此把模型、数据、文件分别管理（通过编码产生关联）是必须的
完备的数据安全措施	实时备份，异地备份，物理隔离离线备份，整个数据中心灾难恢复等
行为记录	记录重要文档的编辑、存档过程，记录重要审批流程，记录对数据中心的配置操作等，责任到人

由图 6 可知，设计阶段模型及其他设计内容通过“设计交付变更”流程实现与“校核与编码服务器”的动态交互，通过严格统一的编码，“校核与编码服务器”可以自动对设计交付的模型、图纸等进行完整性和合规性审查。设计交付完成后，在“BIM 平台”可以实现模型的组装，边交付边组装，因此通过“BIM 平台”就可以形象地查看设计进度[15-16]。第三方系统如质量管理系统、计量支付系

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

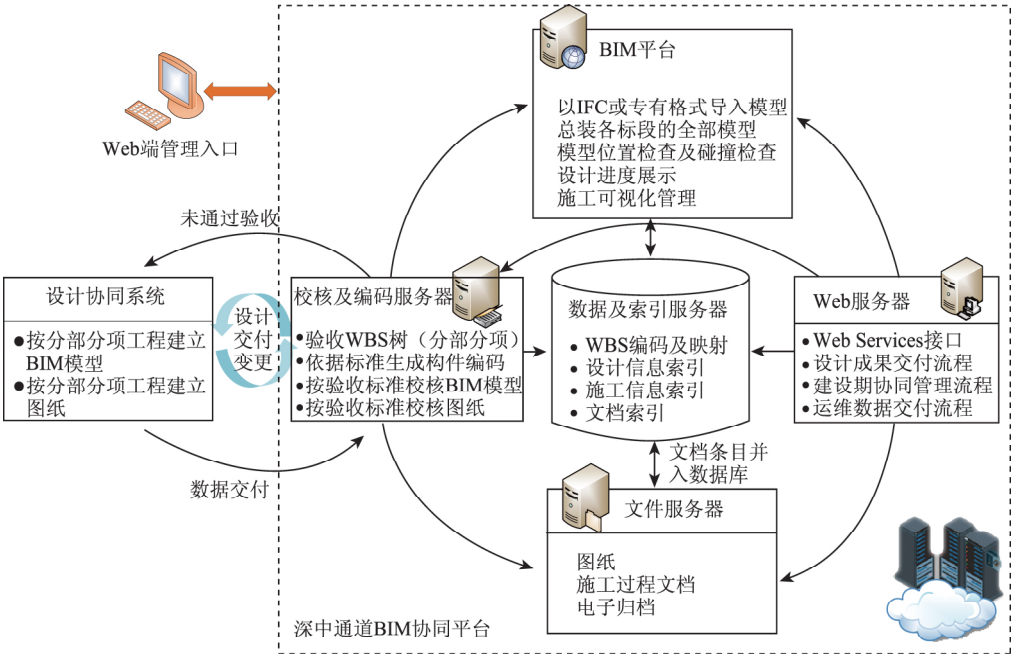


图 6　BIM 协同平台的数据流架构

Fig. 6　Data flow architecture of BIM cooperative platform

统等产生的数据也是深中通道 BIM 协同平台重要的数据来源，因此有必要专门搭建“Web 服务器”对外提供统一的 Web Services 接口，以方便与第三方系统对接。“文件服务器”专门用来存储和管理图档及其历史版本[17]。数据的存储是为了使用，因此“数据及索引服务器”处于此架构图的中心是合适的，以方便用户快速检索到自己想要的信息。

3.3　标准接口

BIM 本身有模型信息，另外还包含有设计、进度、工程量等信息，但是相对于 BIM 协同管理平台来说，这些信息还是远远不够的，例如：质量管理、工地实验室等信息还需要第三方系统的信息支持。此外，施工以及运维阶段的数据也需要集成进去，这样才能称之为 BIM 协同。因此，需要将各种业务系统集成到本平台。目前已经存在的第三方系统使用不同语言编写，且运行于不同的操作系统之上，使用不同的数据库。数据协同通过数据库集成的方式难度大、风险高、安全性低。考虑到上述因素，深中通道 BIM 协同平台提供了标准的集成接口，以供各个系统的使用，该接口提供了统一的标准、统一的数据交换协议、统一的业务规则，具体架构如图 7 所示。

如图 7 所示，系统采用明确的、统一的接口标准，通过表述性状态传递（REST）提高了系统的安全性和可伸缩性，在保障系统具备未来 10 年及以上

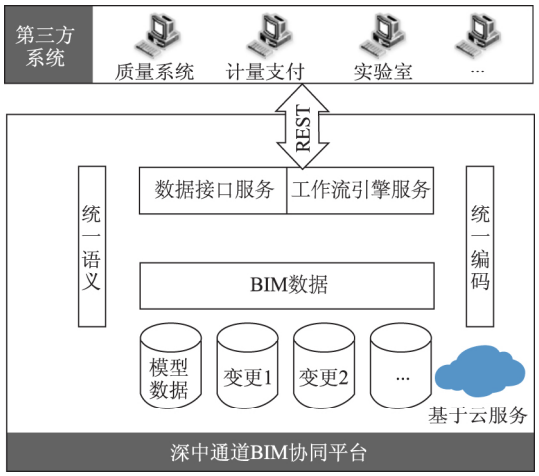


图 7　BIM 协同平台接口架构图

Fig. 7　BIM collaborative platform interface architecture

时间范围内保持与市场主流技术实现同步迭代的条件下，保证了系统对第三方系统接入的兼容性，避免了数据孤岛现象，真正实现 BIM 对数据的集成化管理。

数据库采用云端分布式部署的 SQLite，其具有如下优点[18]：

（1）真正兼容多厂商、多类型工程数据源；

（2）能够整合、加载大体量模型（模型体积 1 GB以上）；

（3）能够突破文件处理构件级的信息及其变更；

（4）基于云分布式计算与存储；

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(5) 具备丰富易用的跨平台数据服务接口。

BIM 协同平台提供标准 RESTful 风格的 Web Service 接口，该接口包含发送的第三方系统信息、内容、数字签名，采用 HTTPS 协议，通过签名和 HTTPS 协议保证了数据的安全性和一致性。接口示例如图 8 所示。

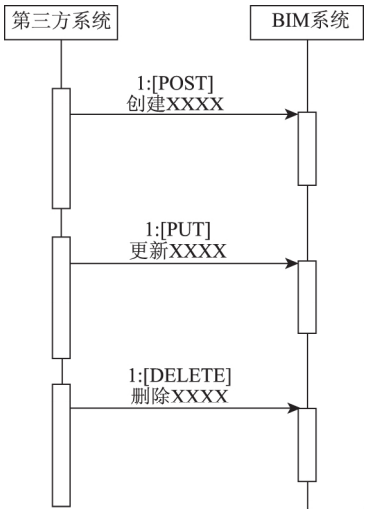


图 8 BIM 协同平台接第三方系统的接口示意

Fig. 8 Interface of third party system connected by BIM cooperative platform

4 协同平台应用示例

基于上述研究的框架，开发深中通道的 BIM 协同管理平台，提供用户使用的包括 Web，PC 和手机移动端 3 个客户端如图 9 所示，各个终端发挥各自的技术优势。通过文中提到的用户权限，根据用户需求分配不同的权限和功能。

图 9 深中通道 BIM 协同平台登录界面

Fig. 9 Login interface of BIM cooperative platform of Shenzhen – Zhongshan channel

以桩基质量管理为例，如图 10 所示，现场桩基施工包括桩位测放、桩位成孔、钢筋笼制作及安装和混凝土浇注成桩等 4 个工序，与现场对应，BIM 协同管理平台中对同一根桩基也有相同的 4 个工序。以钢筋笼制作及安装工序为例，施工人员现场完成这一工序后，利用手机 APP 将现场的施工痕迹及自检过程拍照、记录、上传到 BIM 协同平台，然后通过 BIM 协同平台，监理通过手机 APP 会检查施工人员的上报情况，并同步在现场进行工序验收，上报验收情况至 BIM 协同平台，业主工程部通过手机 APP 可以查看 BIM 协同平台中的工序施工

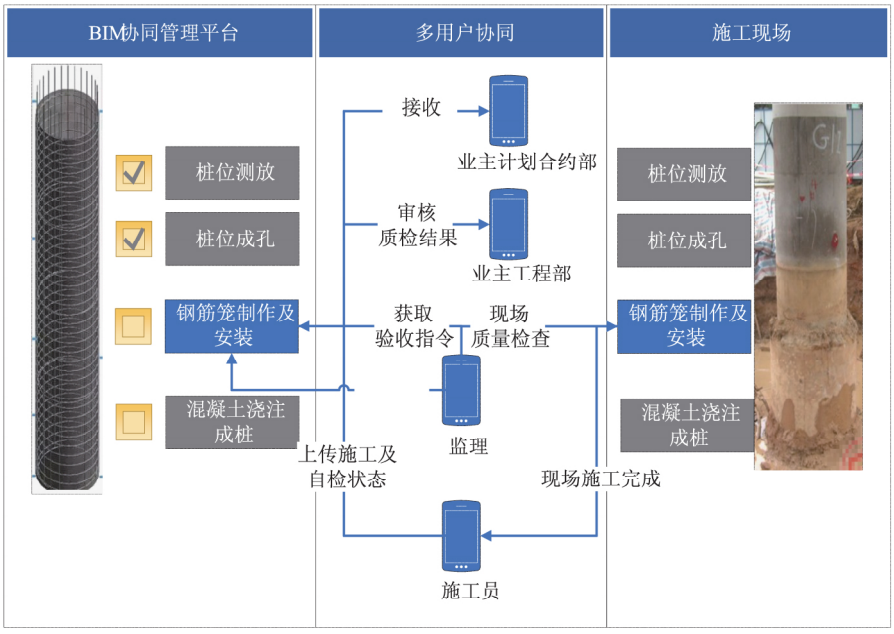


图 10 深中通道质量检查协同管理过程

Fig. 10 Quality inspection collaborative management process of Shenzhen – Zhongshan channel

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

情况和工序验收状态，并进行审批，审批通过后在 BIM 协同平台中钢筋笼制作及安装工序会被自动打勾，表示这一工序的质检过程已经完成，如图 10 所示，目前桩位测放和桩位成孔 2 个工序质检已经完成。与此同时，业主计划合约部在做计量支付时，也可以通过 BIM 协同平台查看桩基的施工过程是否存在质量问题，避免出现“带问题”计量的事情发生。

通过桩基质量管理这个例子，可以看出 BIM 协同管理平台一方面可以把施工数据基于 BIM 统一存储，另一方面可以有效实现不同业务的过程协同和不同用户角色的工作协同。深中通道 BIM 协同管理平台质量问题查看界面如图 11 所示。

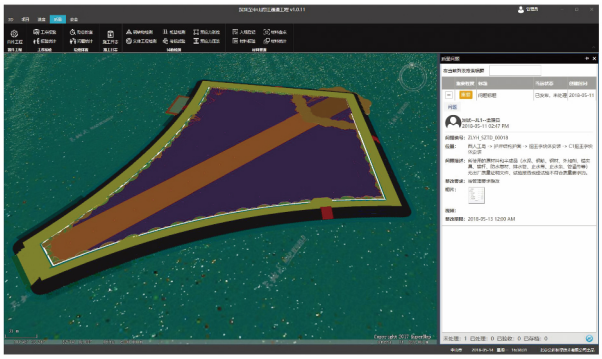


图 11　深中通道 BIM 协同管理平台质量问题界面

Fig. 11　Quality problem interface of BIM cooperative management platform of Shenzhen – Zhongshan channel

5　结论

文中研究的 BIM 协同管理平台架构具有如下优点：（1）真正实现项目的“协同管理”，首先底层数据通过统一的语义和编码规范形成了唯一数据源，从根本上避免了“数据孤岛”的产生，其次通过工作流的统一规划和集成实现了不同系统的业务集成；（2）系统具备开放性和兼容性，庞大的桥岛隧集群工程不可能由一家提供商实现所有的项目管理功能，因此系统集成是不可避免的，本研究通过“RESTful”风格的标准接口定义，实现了与第三方系统的标准对接；（3）系统具可扩展性和前瞻性，首先系统底层采用分布式云存储，按需投入，扩展方便，其次平台数据库、工作流、通讯协议等全部采用反复验证的公开经典技术，既保证系统的稳定性，又保证能够支撑整个项目周期的业务需求，最后利用业务与底层数据的逻辑分离实现业务层软件功能可以灵活“按需而变”；（4）对大型工程的适应性，通过云端分布式存储、元数据与文件分别管理、全局统一索引等技术手段实现对大量数据的高效管理，利用数据存储、工作流、语义编码分离设计并有机集成实现对大型项目复杂业务化繁为简的管理。本研究的 BIM 协同管理平台架构及设计要点对基础设施建设期项目协同管理和 BIM 应用都具有借鉴意义。

参考文献：

References:

[1] EASTMAN C，TEICHOLZ P，SACKS R，et al. BIM Handbook：A Guide to Building Information Modeling for Owners，Managers，Designers，Engineers and Constractors [M]. Hoboken：John Wiley & Sons，2011.

[2] 胡振中，路新瀛，张建平. 基于建筑信息模型的桥梁工程全寿命期管理应用框架 [J]. 公路交通科技，2010，27（9）：20 – 24.
HU Zhen-zhong，LU Xin-ying，ZHANG Jian-ping. Building Information Model-based Application Framework for Life Cycle Management of Bridges [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2010，27（9）：20 – 24.

[3] 吴洋. BIM 技术在综合体建设工程风险控制中的应用 [J]. 建筑技术，2017，48（5）：508 – 511.
WU Yang. Application of BIM Technology in Risk Control of Complex Construction Engineering [J]. Architecture Technology，2017，48（5）：508 – 511.

[4] 欧阳焜. BIM 多因素随机性工程项目进度预测模型研究 [J]. 建筑技术，2017，48（4）：395 – 398.
OUYANG Kun. A Research on Multiple Factors Randomness Project Schedule Forecasting Model Based on BIM Technology [J]. Architecture Technology，2017，48（4）：395 – 398.

[5] 王凤起. BIM 技术应用发展研究报告 [J]. 建筑技术，2017，48（11）：1124 – 1127.
WANG Feng-qi. Research Report on Application and Development of BIM Technology [J]. Architecture Technology，2017，48（11）：1124 – 1127.

[6] 陈竟翔，曾明根，孙丽明. BIM 技术在大型复杂桥梁施工方案优化中的应用探索：以范蠡大桥项目为例 [J]. 结构工程师，2017，33（2）：182 – 189.
CHEN Jing-xiang，ZENG Ming-gen，SUN Li-ming. The Exploration and Application of BIM in Construction Optimization of Large and Complex Bridges：Taking Fanli Bridge Project as an Example [J]. Structural Engineers，2017，33（2）：182 – 189.

[7] 宋福春，陈冲，张兴，等. BIM 技术在大跨度斜拉桥

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

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.
SONG Fu-chun, CHEN Chong, ZHANG Xing, et al. Application of BIM Technology in Long Span Cable-stayed Bridge Design [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition, 2016, 32 (1): 115 - 123.

[8] 范登科. BIM 与 GIS 融合技术在铁路信息化建设中的研究 [J]. 铁道工程学报, 2016, 5 (10): 106 - 110, 128.
FAN Deng-ke. Research on the Fusion Technology of BIM and GIS Applied in Railway Information Deployment [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 5 (10): 106 - 110, 128.

[9] 苗鑫, 西宝. 基于云理论的路网可靠性评估方法 [J]. 公路交通科技, 2008, 25 (8): 132 - 141.
MIAO Xin, XI Bao. Road Network Reliability Evaluation Method Based on Cloud Theory [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25 (8): 132 - 141.

[10] 宋建业, 何暖, 朱一明, 等. 基于阿里云凭条的密文数据安全去重系统的设计与实现 [J]. 信息网络安全, 2017 (3): 39 - 45.
SONG Jian-ye, HE Nuan, ZHU Yi-ming, et al. Design and Implementation of Secure Deduplication System for Ciphertext Data Based on Aliyun [J]. Netinfo Security, 2017 (3): 39 - 45.

[11] 李阿妮, 张晓, 张伯阳, 等. 公有云存储系统性能评测方法研究 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (5): 1229 - 1235.
LI A-ni, ZHANG Xiao, ZHANG Bo-yang, et al. Research on Performance Evaluation Method of Public Cloud Storage System [J]. Journal of Computer Applications, 2017, 37 (5): 1229 - 1235.

[12] 王永建, 宋爱波, 叶亚伟, 等. 面向“互联网+”的公有云数据安全 [J]. 电信科学, 2017, 24 (1): 71 - 80.
WANG Yong-jian, SONG Ai-bo, YE Ya-wei, et al. Data Security for Internet Plus in Public Cloud [J]. Telecommunications Science, 2017, 24 (1): 71 - 80.

[13] 王磊, 齐明, 李江泓, 等. 基于公有云存储技术的医疗大数据建设实践与思考 [J]. 中国数字医学, 2017, 12 (1): 12 - 14.
WANG Lei, QI Ming, LI Jiang-hong, et al. The Practice and Thinking of Medical Big Data Construction Based on Cloud Storage Technology [J]. China Digital Medicine, 2017, 12 (1): 12 - 14.

[14] 张隽, 翟正军. 基于单一产品数据源的复杂产品设计制造协同技术研究 [J]. 微电子学与计算机, 2009, 26 (3): 228 - 231.
ZHANG Jun, ZHAI Zheng-jun. Research on Complex Product Design and Manufacture Collaboration Based on Single Source of Product Data [J]. Microelectronics & Computer, 2009, 26 (3): 228 - 231.

[15] 毕磊, 于水, 丁琼, 等. 基于 5D - BIM 的高桩码头工程施工进度 - 成本实时控制 [J]. 水运工程, 2017 (3): 189 - 193.
BI Lei, YU Shui, DING Qiong, et al. Duration and Cost Real-time Control of High-piled Wharf Construction Based on 5D - BIM [J]. Port & Waterway Engineering, 2017 (3): 189 - 193.

[16] 常建梅, 冯怀平. 基于 BIM 和挣值法的地铁车站 5D 应用探讨 [J]. 图学学报, 2016, 37 (3): 439 - 442.
CHANG Jian-mei, FENG Huai-ping. Study of Subway Engineering on Cost and Schedule Combined Control Based on Building Information Modeling [J]. Journal of Graphics, 2016, 37 (3): 439 - 442.

[17] 王栋, 边根庆, 李睿尧. 一种基于增量存储的多副本文件版本控制方法 [J]. 物联网技术, 2017, 7 (9): 73 - 75.
WANG Dong, BIAN Gen-qing, LI Rui-yao. A Multi-copy File Version Control Method Based on Incremental Storage [J]. Internet of Things Technologies, 2017, 7 (9): 73 - 75.

[18] 董纪英, 燕志伟, 梁正玉. SQLite、MySQL、Postgre SQL 关系型数据库管理系统比较 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2014 (14): 55 - 58.
DONG Ji-ying, YAN Zhi-wei, LIANG Zheng-yu. A Comparison of Relational Database Management Systems: SQLite vs MySQL vs Postgre SQL [J]. Computer Programming Skills & Maintenance, 2014 (14): 55 - 58.

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

doi: 10.3969/j.issn.1002－0268.2018.09.018

面向多源数据融合的交通基础设施数字化架构研究

林述涛
(北京公科桥梁技术有限公司，北京 100088)

摘要： 实现基础设施的数字化，需要融合多种数据源，比如BIM模型、GIS信息、图纸、测控信息、施工过程信息、资产管理信息等等。在交通基础设施领域，既有相关研究多注重于平台的宏观组成和数据分析，尚未成型针对于交通基础设施数字化架构的研究。为了解决交通基础设施架构不明确的问题，在智能制造领域提出“数字孪生”概念的基础上，阐述了交通基础设施数字孪生的基本概念及其应该包含的主要内容，进而提出了交通基础设施数字孪生的基本架构体系—“容器+服务”体系。该体系具有数据存储量大、存储效率高、零配置、部署快捷简便、结构简洁和运行环境稳定等特点。通过计算机信息技术，给出了“容器”的选择和实现方式，对“服务”中的关键内容“语义定义”进行了规范化梳理，总结出一个构件的数字孪生应该包含的信息，然后分别将“容器”和“服务”实例化。在此基础架构上，开发了交通基础设施数字化平台，结合BIM模型、GIS数据、老路以及被交路的航拍数据等多源数据信息，为施工管理的高效、准确决策提供了有力的数据支撑，即实现了多源数据的有效融合。研究表明，本研究提出的多源数据融合的平台架构层次清晰、计算效率高且运行稳定，为数字公路、智慧公路等提供了一种基础设施数字化的解决方案。

关键词： 交通工程；基础设施数字化平台；数据融合；交通基础设施；BIM
中图分类号： U495 **文献标识码：** A **文章编号：** 1002－0268(2018)09－0122－06

Study on Digital Architecture of Transportation Infrastructure for Multi-source Data Fusion

LIN Shu-tao
(Beijing Gongke Bridge Technology Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: To realize the digitization of infrastructure, it is necessary to integrate multiple data sources, such as BIM model, GIS information, drawings, measurement and control information, construction process information, asset management information, etc. In the field of transportation infrastructure, there is a lot of researches on the macro composition and data analysis of the platform, and there is no research on the digital architecture of transportation infrastructure. In order to solve the problem of unclear architecture of transportation infrastructure, based on the concept of “digital twins (DT)” in the field of intelligent manufacturing, the basic concept of transportation infrastructure digital twins and its main content are expounded, and the basic architecture system of the digital transportation infrastructure digital twins, i. e., “container + service” system, is put forward. The system has the characteristics of large data storage, high storage efficiency, zero configuration, quick and easy deployment, simple structure and stable operation environment. Through computer information technology, the selection and realization of “container” are given, and the key content, “semantic definition”, in “service” is standardized. The information that a

收稿日期： 2018－06－25
作者简介： 林述涛(1979－)，男，山东昌邑人，硕士，高级工程师. (shutao. lin@ chinabridge. com. cn)

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

digital twins of a component should contain is summarized, and the "container" and "service" are respectively instantiated. On this basis, a digital platform for transportation infrastructure is developed. It combines with multi source data such as BIM model, GIS data, old road and aerial photograph data, which provides a powerful data support for the efficient and accurate decision-making of construction management, i. e. , the effective fusion of multi source data is realized. The research shows that the proposed multi source data fusion platform has clear hierarchy, high computing efficiency and stable operation, it provides a scheme of digital infrastructure for digital highway and intelligent highway.

Key words: traffic engineering; digital infrastructure platform; data fusion; transportation infrastructure; BIM

0　引言

早在 2002 年 BIM 技术就开始进入我国的建筑领域，由于单体建筑设计和建造过程是一个典型的多专业协同过程，因此随着 Autodesk Revit 等国外 BIM 软件的使用[1]，非常高效地解决了各专业之间的冲突问题（碰撞检查）[2]，充分体现出了 BIM 模型的价值[3]，使 BIM 技术在建筑领域得以迅速推广。

与建筑业不同，交通基础设施领域，BIM 技术推广相对滞后[4]，其中的原因很多，比较明显的原因是交通基础设施工程多为线状工程[5]，局部区域高复杂度没有房屋建筑结构普遍，冲突检查需求不高。但是，这并不是说 BIM 在交通基础设施领域价值不大[6-7]。

实践发现：交通基础设施领域需要的不单单是 BIM 模型[8]，而更需要的是 BIM 对数据的整合以及对工程协同管理的促进[9-12]。因此，面向协同管理，一方面我们要着眼于交通基础设施的全生命周期（设计、建造和运维）；另一方面我们需要与交通基础设施相关的所有信息，包括设计 3D 模型和 2D 图纸，交通基础设施周边的地理信息（GIS）数据，测量测控数据，建设全过程管理数据（质量、进度、安全、投资等），交竣工数据，资产数据，以及运营维护和养管数据等。参照智能制造领域的"数字孪生[13]（Digital Twins，DT）"概念：交通基础设施工程管理需要的不仅仅是它的 BIM 模型，而更需要它的数字孪生，即交通基础设施的数字孪生。

本研究在明确交通基础设施工程数字孪生应包含的内容和多源数据来源的基础上，着重探讨、研究面向多源数据融合的交通基础设施数字孪生的实现途径和技术架构。最后提出一个基于 BIM 技术的满足交通基础设施协同管理需求的平台架构：交通基础设施数字化平台（Digital Infrastructure Platform，DIP）。

1　交通基础设施数字孪生应包含的内容

从时间角度看，交通基础设施数字孪生应包含设计、建造和运维等全生命周期的数据。

从业务角度看，交通基础设施数字孪生应包含设计信息的 3D 模型（BIM）、测量信息、地质信息、制造信息、图纸、GIS 信息、施工过程信息（质量、安全、进度、投资等）、交竣工信息（档案、竣工模型等）、资产功能信息、运维扩展信息等等，如图 1 所示。

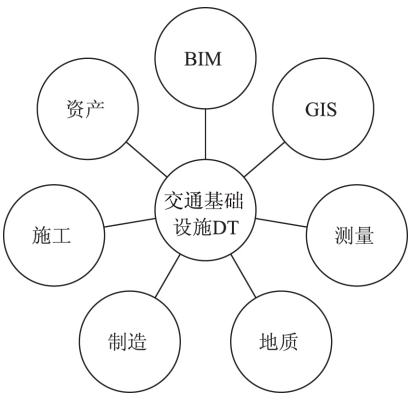


图 1　交通基础设施数字孪生包含信息

Fig. 1　Information of transportation infrastructure data twins

一个真实交通基础设施的数据孪生应该是一个多源数据的融合体，如图 2 所示，包含 3D 几何模型，GIS 数据，设计、施工、运维过程中产生的数据（元数据），文档数据，以及随着工程推进不断产生的变更数据等。

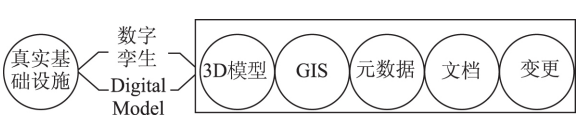


图 2　真实交通基础设施与数字孪生

Fig. 2　Real transportation infrastructure and data twins

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 交通基础设施数字孪生基本体系

从技术角度看，交通基础设施数字孪生基本体系[14-16]应具备如下能力:

(1) 真正兼容多厂商、多类型工程数据源。

(2) 能够整合、加载大体量模型(单体模型体积1 GB以上)。

(3) 能够突破文件，处理构件级的信息及其变更。

(4) 基于云分布式计算与存储。

(5) 具备丰富易用的跨平台数据服务接口。

针对上述需求，首先设想有个“容器”可以把多种来源的数据以某一种规则“收纳”起来，并且这个“容器”是基于云的，分布式的。其次在“容器”的外围有各种各样的服务，能够把数据自动、持续地“收纳”或“接入”到容器中。利用这种假设，本研究提出基于数据多源融合的交通基础设施数字孪生基本体系如图 3 所示。

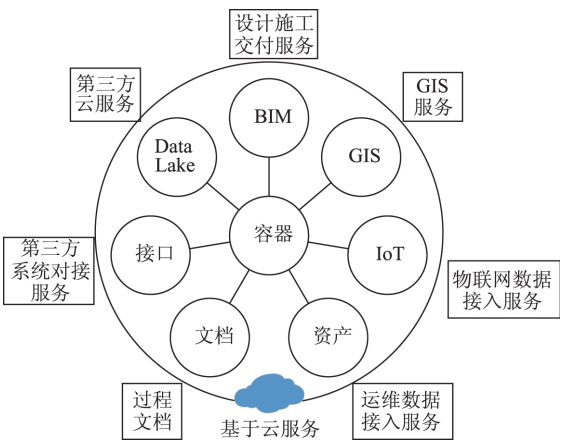


图 3 多源数据融合体系设想

Fig. 3 Idea of multi source data fusion system

通过不断完善和增加“收纳”或“接入”服务，“容器”的数据不断丰富和充实，基于“容器 + 服务”的体系承载的数字交通基础设施就越来越与真实交通基础设施相匹配，也就是越来越等同于真实交通基础设施的数字孪生。

当前这种“容器 + 服务”体系设想可以兼容多厂商、多系统、多格式的数据源，并实现多数据源的真正融合，并且是基于云计算分布式的。但是，这种体系对于“容器”和“服务”的要求非常高，“容器”能够支持大体积的文件或数据块，并且是基于云的分布式的，需要具有足够的开放性，最好能够跨平台；“服务”需要有明确的规则支撑，即语义定义规范，把不同系统、不同格式的数据“收纳”或“接入“容器”前“翻译”成同一种“语言”，即采用相同的语义解析规则，从而实现真正的多源数据融合与存储。

3 多源数据融合“容器” + “服务”体系研究

3.1 “容器”的选择与实现

“容器”最佳的实现是数据库，目前常用的关系型数据库存在如下问题: (1) 大数据量的处理效率、稳定性不佳; (2) 跨平台以及对移动设备的支持不完善; (3) 系统的部署、配置过程长; (4) 非开源数据库系统的开放性受限等。

面向单体交通基础设施的数字孪生体系数据总量大概在十几 GB 到几 TB 之间，数据格式主要有几何类型数据、数值类型数据、文本数据和各种文档等，无论从数据规模和数据复杂度上都与“大数据”有很大差距和区别，因此“容器”的选择也没必要考虑大数据的架构。另外面向单体项目部署的“容器”，需要轻量化，部署快捷、简便。

综合上述分析，本研究的“容器”选用了 SQLite[17]，其具有如下优点:

(1) 支持大数据量存储(官方数据最大值在 PB 以上)。

(2) 更高的存取效率，比普通文件 I/O 存储速度更快。

(3) 零配置，部署快捷简便。

(4) 单文件存储，适合交通基础设施行业多样化的、可能离线的使用环境，结构简洁。

(5) 全面支持 SQL 语句查询，操作方便。

(6) 系统运行稳定，有丰富的应用案例。

3.2 “服务”的关键 – 语义定义规范研究

语义定义规范是实现多源数据服务的前提和重要支撑。语义定义的主要工作有: (1) 以构件为基本语义定义单元，首先形成构件数字孪生，进而多个构件数字孪生组成一个单体交通基础设施的数字孪生。(2) 明确定义构件之间的包含、引用等关系，进而形成多个构件数字孪生之间的层次和网状组织结构。(3) 明确定义不同类型构件周边 360 度的所有信息维度及不同维度包含的具体内容。

通过诸多项目的实践，如图 4 所示本研究总结出一个构件的数字孪生应该包含如下信息:

(1) 3D 几何，主要用于表达实际构件的几何形状和尺寸。

(2) 功能: 对构件作为资产的维度进行描述，方便运维管理。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(3) 分析：对设计阶段和建造阶段的结构、能耗、适用性、美观度等进行定性和定量的描述。

(4) 管理：对设计期 BIM 及图纸的设计交付，对建设期质量、进度、安全、投资、变更，对运维期的资产、结构检测维修等信息的记录。

(5) 文档：包含图纸、模型文件、档案、各类审批验收文稿等。

(6) 定义：包含构件种类、模板、参考数据库等。

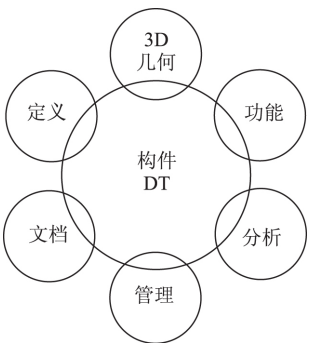


图 4　构件数字孪生包含的内容

Fig. 4　Content of component DT

在确定了构件数字孪生应包含的主要信息及归类后，需要对交通基础设施的所有构件进行分类，并细化每个分类中构件的层次关系，以及每个构件的编码。以路桥工程为例，表 1 列出了高速公路交通基础设施大类的划分方法。

表 1　高速公路交通基础设施基本分类

Tab. 1　Basic classification of expressway transportaton infrastructure

工程分类	编码	工程分类	编码	工程分类	编码
路基	A	路线交叉	E	机械设备	I
路面	B	交通工程	F	其他工程	J
桥涵	C	沿线设施	G		
隧道	D	绿化与环保	H		

在确定大类划分的基础上，应该对每个类别进行细化，以便确定构件的层次关系，并同时确定构件的编码，下面以桥涵工程 - C 为例，说明分类的细化及层次关系。如图 5 所示，桥涵工程类包括梁式桥、拱式桥、涵洞等，梁式桥作为子类派生自桥涵工程父类，同时梁式桥包含上部结构和下部结构，下部结构子类又派生自梁式桥父类。通过这种方式就可以非常明确地定义构件的层次关系以及层次编码。

通过单个构件的标准信息定义和构件的标准类型划分及层次化，就相当于定义了一个信息交互的

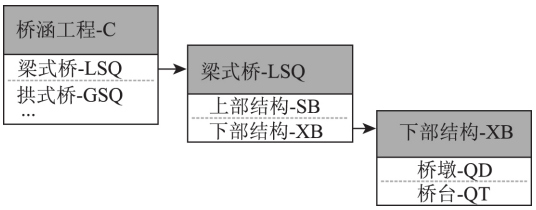


图 5　构件分类及其层次关系

Fig. 5　Component classification and hierarchy

“官方语言”，“服务”做的主要工作就是将来自不同数据源的数据翻译成相同的“官方语言”。

3.3　数字孪生“容器 + 服务”架构研究

通过 SQLite “容器”可以高效、稳定地进行大数据量存取，通过明确的语义规范可以保证不同厂商、不同系统、不同格式的数据以统一标准存储到“容器”中。如图 6 所示，首先基于 SQLite 搭建数据湖（Data Lake），然后针对不同的数据源对应开发不同的服务，最终将来自不同数据源的数据以相同的语义规范和编码标准存储到 Data Lake 中，实现真正意义上的多源数据融合。为了更好地加载显示超大模型，将 3D 模型进行瓦片化[18]，从而实现显示速度与模型大小不直接相关。通过信息扩展接口和信息检索接口实现本架构的开放性和灵活性。

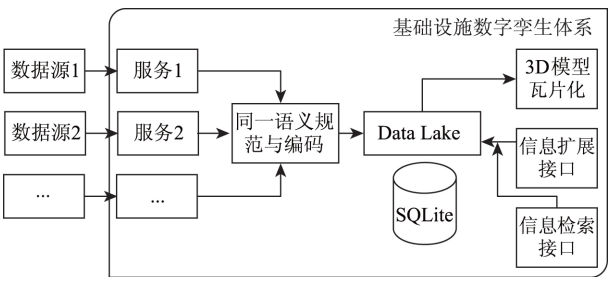


图 6　交通基础设施数字孪生体系

Fig. 6　Transportation infrastructure DT system

这种体系有诸多优点，例如将传统的文件级存储提升到了构件级存储，由于感知粒度的提升，可以很好地控制和跟踪结构变更；此外，从 SQLite 底层到数据存储层架构全部开放便于后期维护和用户自定义完善。由于实现了真正意义上的多源数据融合，数据的可利用度显著提升，从而整个系统会更加智能。以图 6 交通基础设施数字孪生体系为核心单元，在此基础上创建数据接口服务和工作流引擎，就可以与电脑、移动设备等客户端对接，从而形成交通基础设施数字化平台。

4　交通基础设施数字化平台基本架构及其特点

交通基础设施数字孪生体系是实现多源数据融

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

合的基础架构体系，在此基础上可以继续扩展，以形成可以满足交通基础设施协同管理需求的数字交通基础设施平台。图 7 给出了 DIP 平台的基本架构。在 DIP 架构中，一个构件的数字孪生是最基本的数据单元，许多个构件的数字孪生构成了一个单体交通基础设施的数字孪生，而随着工程的推进，不断的加入变更（变更 1，变更 2 等），最终这个单体交通基础设施的数字孪生就是初始数字孪生与所有变更叠加的结果。在数字孪生体系的基础上，搭建工作流引擎服务和数据接口服务，从而可以实现基于数字孪生的协同管理系统，并且所有这一些都可以在云端实现。

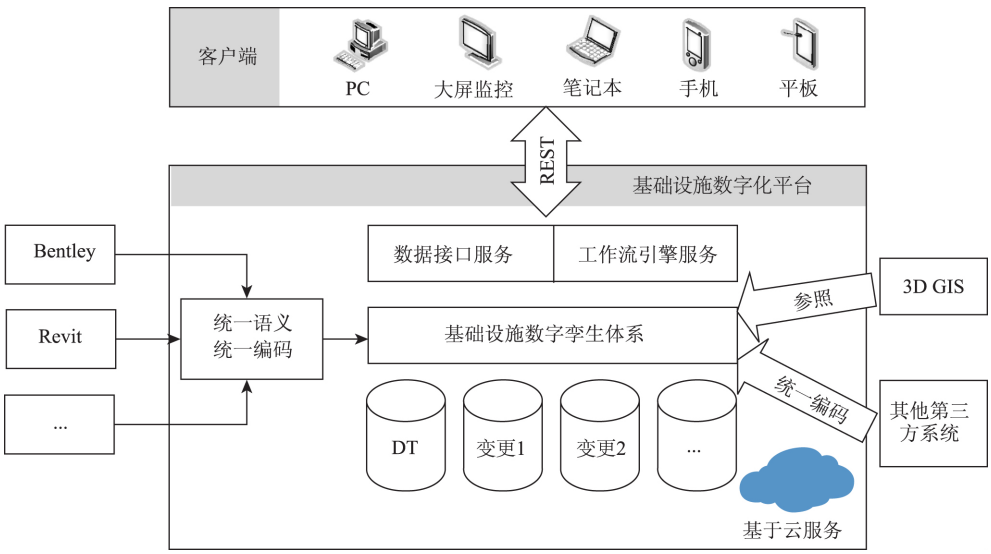


图 7 交通基础设施数字化平台

Fig. 7 Transportation infrastructure digital platform

交通基础设施数字化平台包含了交通基础设施方方面面的数据，其具备如下优势:

(1) 相比于单一的 BIM 模型，它包含与交通基础设施相关的更完善、更全面的信息，从而能够更好地模拟、代表真实交通基础设施;

(2) 能够从底层框架本身支持多厂商，多工程类型数据的整合，例如 BIM 与 GIS 的融合、BIM 与物联网（IoT）的融合等等。

(3) 基于云的分布式计算与存储，擅长处理大体量数据，并减少对客户端性能的要求。

(4) 对用户而言 CIP 架构简单明确、接口灵活，支持多任务分发以及离线工作。

(5) 基于“容器 + 服务”的简单模式，真正将数字交通基础设施管理转到了以用户为中心，以工作流程为中心，有助于加快实现交通基础设施的现代化管理。

在某高速的改扩建工程中，利用交通基础设施数字化平台实现了新建结构的 BIM 模型、GIS 数据、老路以及被交路的航拍数据等多源数据的融合与展示，工程师可以在此基础上进行改扩建方案的规划与调整、改扩建过程中交通组织方案模拟、多点同时施工的可行性分析等工作。由于 DIP 平台包涵、融合了较全面的工程信息，因此为施工管理的高效、准确决策提供了有力的数据支撑。

5 结论

数字孪生在交通基础设施领域是一个全新的概念，这是当今社会数字化变革的必然趋势。智慧公路和智慧城市建设，以及辅助自动驾驶的精细化导航系统建设等，都离不开数字化的基础设施。本研究通过计算机信息技术，给出“容器”的选择和实现方式，定义了多源数据融合的“服务”，并基于“容器 + 服务”模式，开发了基础设施数字化平台，通过某改扩建工程的实际应用，该平台能够高效融合、显示 BIM 数据、GIS 数据、航拍数据等工程数据，为工程的协同管理提供了有效的数据支撑。本研究成果对构建智慧公路提供了一种可行的解决方案。

参考文献:

References:

[1] 薛晓娟，赵昕，丁洁民. 建筑信息模型在建筑结构一体化协同设计中的应用 [J]. 结构工程师，2011，27

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(1)：14－18.
XUE Xiao-juan，ZHAO Xin，DING Jie-min. The State of the Art of the Application of BIM in Building Structural Design [J]. Structural Engineers，2011，27 (1)：14－18.

[2] 杨科，康登泽，车传波，等. 基于 BIM 的碰撞检查在协同设计中的研究 [J]. 土木建筑工程信息技术，2013，5 (4)：71－75.
YANG Ke，KANG Deng-ze，CHE Chuan-bo，et al. Bim-based Interference Checking in Multidisciplinary Coordination Design Research [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture，2013，5 (4)：71－75.

[3] 增旭东，谭洁. 基于参数化智能技术的建筑信息模型 [J]. 重庆大学学报：自然科学版，2006，29 (6)：71－75.
ZENG Xu-dong，TAN Jie. BIM Based on Intelligent Parametric Modeling Technology [J]. Journal of Chongqing University：Natural Science Edition，2006，29 (6)：71－75.

[4] 董君，王志赫. 高速公路工程建设中对 BIM 技术的应用实践 [J]. 公路工程，2017，42 (4)：1－3.
DONG Jun，WANG Zhi-he. Application of BIM Technology in Expressway Engineering Construction [J]. Highway Engineering，2017，42 (4)：1－3.

[5] 陈大伟，李旭宏，周传明. 基于 GIS 条件下交通规划中的交通网络处理技术 [J]. 公路交通科技，2001，18 (5)：64－67.
CHEN Da-wei，LI Xu-hong，ZHOU Chuan-ming. GIS Based Traffic Network Processing Technology in Transport Planning [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2001，18 (5)：64－67.

[6] 胡振中，路新瀛，张建平. 基于建筑信息模型的桥梁工程全寿命期管理应用框架 [J]. 公路交通科技，2010 (增 1)：20－24.
HU Zhen-zhong，LU Xin-ying，ZHANG Jian-ping. Building Information Model-based Application Framework for Life Cycle Management of Bridges [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2010 (S1)：20－24.

[7] 王晓晶，娄学全. 南京二桥综合管理系统 [J]. 公路交通科技，2005，22 (1)：101－104.
WANG Xiao-jing，LOU Xue-quan. Nanjing No. 2 Bridge Comprehensive Management System [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2005，22 (1)：101－104.

[8] 肖为周，李旭宏，徐乃强. 公路网规划信息系统中时空技术研究与应用 [J]. 公路交通科技，2000，17 (3)：43－46.
XIAO Wei-zhou，LI Xu-hong，XU Nai-qiang. Research and Application of Space Time Technology in Highway Network Planning Information System [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2000，17 (3)：43－46.

[9] 吴遵奇，段昶，黄睿奕，等. BIM 技术在复杂码头结构施工可视化进度管理中的应用 [J]. 中国港湾建设，2017，37 (7)：22－26.
WU Zun-qi，DUAN Chang，HUANG Rui-yi，et al. Application of BIM Technology in the Visual Schedule Management of Complicated Wharf Structure Construction [J]. China Harbour Engineering，2017，37 (7)：22－26.

[10] 王陈远. 基于 BIM 的深化设计管理研究 [J]. 工程管理学报，2012，26 (4)：12－16.
WANG Chen-yuan. Detailed Design Management Based on BIM [J]. Journal of Engineering Management，2012，26 (4)：12－16.

[11] 刘向阳，吴健，刘国图，等. 基于 BIM 的公路全寿命周期管理平台构建与应用 [J]. 公路，2016 (8)：131－137.
LIU Xiang-yang，WU Jian，LIU Guo-tu，et al. BIM-based Life-cycle Management and Application for Highway Project [J]. Highway，2016 (8)：131－137.

[12] 徐萍飞，熊峰，夏伟杰，等. 基于 BIM 的桥梁信息集成管理系统研究 [J]. 公路，2016，45 (12)：119－123.
XU Ping-fei，XIONG Feng，XIA Wei-jie，et al. Research on BIM-based Information Integrated Management System for Bridge [J]. Construction Technology，2016，45 (12)：119－123.

[13] 陶飞，刘蔚然，刘检华，等. 数字孪生及其应用探索 [J]. 计算机集成制造系统，2018，24 (1)：1－18.
TAO Fei，LIU Wei-ran，LIU Jian-hua，et al. Digital Twin and Its Potential Application Exploration [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2018，24 (1)：1－18.

[14] 陶飞，张萌，程江峰，等. 数字孪生车间：一种未来车间运行新模式 [J]. 计算机集成制造系统，2017，23 (1)：1－9.
TAO Fei，ZHANG Meng，CHENG Jiang-feng，et al. Digital Twin Workshop：A New Paradigm for Future Workshop [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2017，23 (1)：1－9.

[15] 于勇，范胜廷，彭关伟，等. 数字孪生模型在产品构型管理中应用探讨 [J]. 航空制造技术，2017，526 (7)：41－45.

(下转第 145 页)

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Plant Populations in Raised Bogs. I Niche Dimensions [J]. Canadian Journal of Botany，1977，55 (9)：1211 – 1220.

[9] MILLER T E，WERNER P A. Competitive Effects and Responses between Plant Species in a First-year Old-field Community [J]. Ecology，1987，68 (5)：1201 – 1210.

[10] ZANGERL A R，BAZZAZ F A. Niche Partitioning between Two Phosphoglucoisomerase Genotypes in Amaranthus retroflexus [J]. Ecology，1984，65 (1)：218 – 222.

[11] AUSTIN M P，NICHOLLS A O，MARGULES C R. Measurement of the Realized Qualitative Niche：Environmental Niches of Five Eucalyptus Species [J]. Ecological Monographs，1990，60 (2)：161 – 177.

[12] GREIG-SMITH P. Quantitative Plant Ecology [M]. 3rd ed. London：Blackwell Scientific Publications，1983.

[13] KERSHAW K A，LOONY J H. Quantitative and Dynamic Plant Ecology [M]. London：Edward Arnold Publication，1985.

[14] 刘萍萍，程积民. 植物种间联结关系的研究 [J]. 水土保持研究，2000，7 (2)：179 – 184.
LIU Ping-ping，CHENG Ji-min. Study on Plant Interspecific Association [J]. Research of Soil and Water Conservation，2000，7 (2)：179 – 184.

[15] WHITTAKER R H，FAIRBANKS C W. A Study of Plankton Copepod Communities in the Columbia Basin，Southeastern Washington [J]. Ecology，1958，39 (1)：46 – 65.

[16] DE VRIES D M，BARETTA J P，HAMMING G. Constellation of Frequent Herbage Plants，Based on Their Correlation in Occurrence [J]. Vegetation，1954，6 (5)：105 – 111.

[17] 余立武. 生态治理中绿化工程的特点及植物配置研究 [J]. 绿色科技，2012 (4)：105 – 106.
YU Li-wu. Study on Characteristics of Greening Projects and Plant Configuration in Ecological Management [J]. Journal of Green Science and Technology，2012 (4)：105 – 106.

[18] 杨丽娟. 重庆市耐旱园林植物的调查筛选及应用研究 [D]. 重庆：西南大学，2009.
YANG Li-juan. Investigation，Choosing and Application of Drought Resistance Landscape Plants in Chongqing [D]. Chongqing：Southwest University，2009.

[19] 朱大龙，丁鹰. 路堑石质边坡植被灌木化建植 [J]. 草原与草坪，2009 (3)：52 – 55.
ZHU Da-long，DING Ying. Establishment of Shrubby Vegetation on Cutting Rock Slop of Expressway [J]. Grassland and Turf，2009 (3)：52 – 55.

(上接第 127 页)

YU Yong，FAN Sheng-ting，PENG Guan-wei，et al. Study on Application of Digital Twin Model in Product Configuration Management [J]. Aeronautical Manufacturing Technology，2017，526 (7)：41 – 45.

[16] 庄存波，刘检华，熊辉，等. 产品数字孪生体的内涵、体系结构及其发展趋势 [J]. 计算机集成制造系统，2017，23 (4)：753 – 768.
ZHUANG Cun-bo，LIU Jian-hua，XIONG Hui，et al. Connotation，Architecture and Trends of Product Digital Twin [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2017，23 (4)：753 – 768.

[17] 董纪英，燕志伟，梁正玉. SQLite、MySQL、Postgre SQL 关系型数据库管理系统比较 [J]. 电脑编程技巧与维护，2014 (14)：5 – 8.
DONG Ji-ying，YAN Zhi-wei，LIANG Zheng-yu. A Comparison of Relational Database Management Systems：SQLite vs MySQL vs Postgre SQL [J]. Computer Programming Skills & Maintenance，2014 (14)：5 – 8.

[18] 孙伟，李治庆，焦孟凯，等. 瓦片地图动态缓存中间件的优化设计及实现 [J]. 测绘通报，2014 (1)：37 – 40.
SUN Wei，LI Zhi-qing，JIAO Meng-kai，et al. Optimized Design and Implementation of the Tile Map Dynamic Caching Middleware [J]. Bulletin of Surveying and Mapping，2014 (1)：37 – 40.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

三维激光扫描技术在钢结构工厂片体预拼装中的应用

韦　韩，闫振海，李　湛，李鹏飞，姜震宇

（交通运输部公路科学研究所，北京　100086）

摘　要： 钢管拱桥钢结构拼装误差会影响成桥主拱圈拱轴线，进而影响结构整体受力，因此为提高拼装精度，钢管混凝土拱桥一般在进行拼装前会进行预拼装。本文针对预拼装的工厂片体预拼装，采用三维激光扫描技术进行片体的线形偏差评估，关键点实测偏差结果与全站仪测试结果一致，说明三维激光扫描技术在预拼装中具有广阔应用前景。

关键词： 三维激光扫描；钢结构；预拼装；钢管混凝土拱桥

中图分类号： U44　　**文献标识码：** B

1　工程概况

某特大桥桥型布置为 9×40m（预应力砼先简支后结构连续 T 梁）+450m 钢管混凝土拱桥 +16×40m（预应力砼先简支后结构连续 T 梁）。大桥主桥采用计算跨径 450m 上承式钢管混凝土变截面桁架拱，拱轴线采用悬链线，拱轴线系数 m = 1.55，矢高 h = 100m，矢跨比 f = 1/4.5。主拱圈采用等宽变高度空间桁架结构，断面高度从拱顶 8m 变化到拱脚 14m（中到中）。

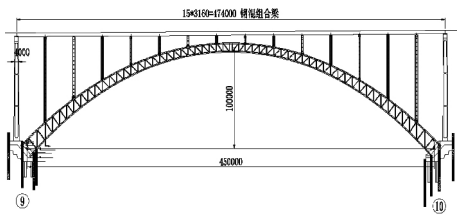


图 1　总体立面图

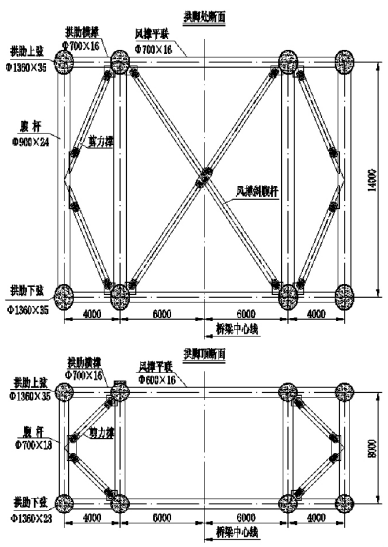


图 2　主拱圈横断面图

由于受运输、吊装等条件的限制，钢拱架在工厂内加工成杆件，运输到现场进行工地拼装和吊装。为了保证安装的顺利进行，应根据构件或结构的复杂程序和设计要求，在出厂前进行预拼装。

特大桥钢拱架预拼装主要包含两部分工作：一是钢结构出厂前的片体预拼装；二是主拱圈工地预拼装。本文主要针对片体预拼装阶段的应用进行研究。

2　片体预拼装流程

为检验制造线形和腹杆相贯线下料的切割精度，第一轮（2～4 节段）主拱圈需在厂内进行片体试装，片体试装采用节段匹配进行，片体匹配试装工作内容主要包括：检查拱肋主线管线形；检查腹杆相贯线切割精度；匹配安装节段对接接头内法兰。

在片体试装过程中，引入三维激光扫描技术，对试装的每一杆件进行扫描，开展预拼装。通过片体预拼装，检查拱肋主线管线形。

预拼装流程：片体试装过程中，通过三维激光扫描仪对试装的每一片体进行扫描，将点云数据记录下来，在软件中拟合出片体的三维模型，进行虚拟拼装，分析拼装误差（检查拱肋主线管线形；检查腹杆相贯线切割精度；匹配安装节段对接接头内法兰），误差控制精度为 0.2mm。

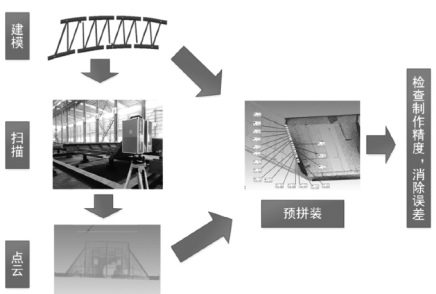


图 3　预拼装流程图

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 点云识别与特征提取方法

由于原始激光扫描点云位于局部坐标系下，其 X 轴、Y 轴方向与片体的朝向、沿向不一致，首先对结构点云进行 PCA 变换，将点云坐标变换到以主方向、法方向为 X、Y 轴的坐标系下。在坐标转换后的点云中，沿 X 方向任意选取一段等长的点云，可以得到点云在主方向的断面点云，为有效提取点云的断面图，本项目采用 alpha shape 算法提取断面点云的边界。提取的流程如图 4 所示。

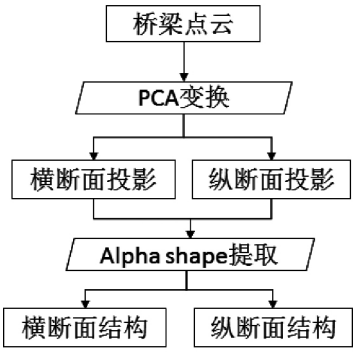


图 4 点云特征提取流程

PCA 是一种数学变换的方法，利用降维的思想在变换中保持变量的总方差不变，将给定的一组变量线性变换为另一组不相关的变量，并且使变换后的第一变量的方差最大，即第一主成分，其他分量的方差依次递减。在本文中的变量为三维点坐标的集合，其变量为 X、Y、Z 三个坐标值，则经过变换后，应有三个主成分，对于一个空间平面，在平行于平面的方向上点集分布最为离散，方差最大，在垂直于平面的方向上，点集分布最为集中，方差最小，即空间平面的第三主成分为垂直于空间平面的向量，利用三个特征向量对点云坐标进行转换，可以将点云从局部坐标转换到主方向、法方向为 X、Y 轴的坐标系下。

alpha shape 算法是一种能有效提取离散点集边缘的算法。它的原理如图 5 所示，设一组点集 S，它的 alpha shape 形状取决于半径参数 α，可以想象成半径为 α 的圆在点集 S 外滚动，当 α 足够大时，这个圆不会滚到点集内部，此时这个圆的滚动痕迹就是点集 S 的边界线。所以 alpha shape 算法的提取效果取决于 α 的大小，选择合适的参数可以实现较好的边界提取。具体算法思想如下：

(1) 在点集 S 中选取任意一点 p1，以 p1 为中心，半径为 2α 画圆。在这个半径内的点集称为 S2。

(2) 在 S2 内选取任意一点 p2。

(3) 过 p1、p2 画半径为 α 的圆，得到圆心 p0，判断 S2 内其余点是否在圆内。

(4) 若其余点全不在圆内，则 p1、p2 为边界点，存储索引。执行(5)。

(5) 若有点在圆内，重复(2)(3)步骤，直到 S2 内所有点判断完毕。

(6) 从 S 里选下一点，重复上述操作，直至所有点遍历完。

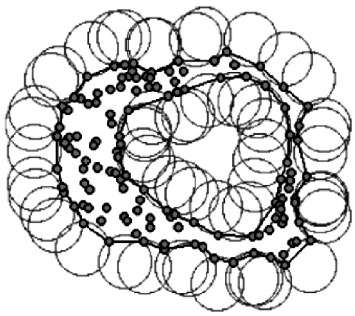


图 5 alpha shape 原理

4 测试结果

现场测试 2 ~ 4 节段的预拼装精度(图 6)，测试结果如图 7 所示，关键点实测最大偏差为 0.19m，与全站仪测试结果一致。

图 6 现场测试图

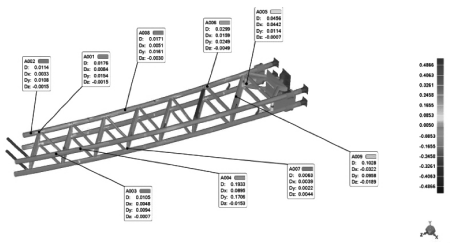


图 7 预拼装精度测试结果/m

5 结语

在钢结构工厂片体预拼装过程中，采用三维激光扫描技术，对试装的每一杆件进行扫描，开展预拼装。通过片体预拼装，检查拱肋主线管线形，实测结果显示采用三维激光扫描技术的测试误差与全站仪测试结果一致，满足工程应用需求。

参考文献：

[1] 李清泉，李必军，陈静. 激光雷达测量技术及其应用研究. 武汉测绘科技大学学报. 2000，25(5)：387 - 391.

[2] 李清泉，等. 三维空间数据的实时获取、建模与可视化. 武汉：武汉大学出版社，2003.

[3] Guoxin Tan，Ryosuke Shibasaki. A Research for Extraction of 3d Urban Building by Using Airborne Laser Scanner Data. Proceedings of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing，November 25 - 29，2002，Nepal，CD - ROM publication.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.13468/j.cnki.chw.2018.11.020

用BIM“智”造特大型桥梁

文/北京公科桥梁技术有限公司　李法雄　郭毅霖
广东省公路建设有限公司虎门二桥分公司　张鑫敏

虎门二桥全景

项目名称：特大型桥梁工程BIM+应用技术研究
获奖等级：一等奖

项目在“无参考标准、零实践经验”条件下，依托虎门二桥工程建设，研究攻克了轻量化BIM三维图形引擎底层平台和数据库系统集成技术，实现地理信息系统（GIS）和建筑信息模型（BIM）在轻量化平台下总装和数据融合，同时兼容IFC、DGN、RVT、SAT等各种国际主流标准格式的BIM数据模型，保证在工程精度和工程属性不受损失的前提下，实现非结构化文档向结构化数据转换；研发具有自主知识产权的特大型桥梁工程建设期BIM协同管理平台和BIM工程数据中心，为“BIM+”技术在工程项目管理、钢箱梁智能制造、短线匹配法预制梁厂物联管理等业务集成管理奠定了重要基础。

开创BIM集成管理应用先河

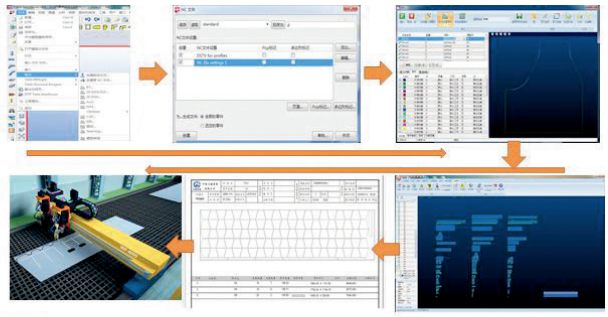
根据虎门二桥安设管理需要，在攻克了轻量化BIM三维图形引擎底层平台和数据库系统集成技术基础上，项目组研发具有完全自主知识产权的“BIM+特大型桥梁工程项目协同管理”平台，适应了工程应用三维模型集成化信息管理的需求，让模型回归到数据格式层面，完全摆脱了其他同类项目对于国外三维图形软件的依赖，建立了基于轻量化图形平台的二次开发标准化接口，使更多的项目可以进行低成本、定制化的自主开发。项目组攻克的轻量化BIM三维图形平台和基于BIM的项目协同管理平台已取得4项软件著作权，并通过了专业机构的产品测试，具有完全自主知识产权。

项目组自主研发的基于BIM的短线匹配法预制节段梁产品物联管理平台与基于BIM的钢箱梁设计制造安装一体化成套技术，为施工方和钢

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

结构制造厂商提供了三维可视化的工程产品精确溯源管理，实现了桥梁工程产品全寿命周期的可视化追踪和管理，提高了预制构件厂和钢结构桥梁厂的精益制造水平和生产效率，降低了生产成本。上述两项关键技术成果极大地促进了我国桥梁工程行业向产品化与工业化的发展。项目组编制的3项特大型桥梁工程BIM技术标准和指南，已在虎门二桥工程全面应用，为BIM技术在同类工程的推广提供了重要参考。

· 钢结构自动套料流程



BIM物料清单智能输出套料图，替代人工排版，提高钢材使用率，大幅缩短下料时间，提高生产效率。

BIM+智能制造

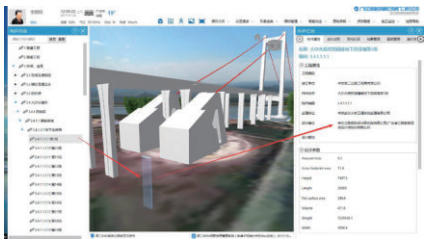
直接经济效益近亿元

通过虎门二桥“BIM+项目管理”“BIM+物联网”“BIM+智能制造”等关键技术应用研究，为特大型桥梁工程BIM应用提供了宝贵的经验。通过虎门二桥BIM技术的影响力，国内多家建设及施工企业纷纷前来虎门二桥参观学习。项目组在虎门二桥研发的“BIM+”系列关键技术的基础上，进一步提升、完善，并继续应用于瓯江北口大桥、贵州平塘及大小井特大桥、湖北白洋特大桥、南京长江五桥、深中通道、京沪改扩建、湖北鄂咸高速等工程中，截至2018年5月，成果转化已产生直接经济效益近亿元。

助力交通建设向智慧化转型

交通运输供给侧结构性改革的核心要求是降本、增效、提质，核心任务之一是落实“互联网+交通”行动计划，加快推进智慧交通建设进程，推进交通运输行业信息资源开放共享，为优化结构、实现提质增效增添动力。

BIM作为桥梁行业转型升级的关键技术之一，是云计算、物联网、大数据等新一代信息技术与工程传统技术相结合的产物，是推动交通基础设施向智慧化发展的重要力量。项目组研发的特大型桥梁“BIM+”应用技术成果对于推动公路工程建设的转型升级有着重要作用。首先，通过BIM三维虚拟仿真手段将工程建造提前预演，可以提前发现问题，减少变更，优化方案，对于降低成本、提高整个行业的建造质量有着重要作用。其次，通过BIM集成工程领域全业务、全周期的信息，形成了一个三维化的工程大数据平台，为管理者提供了一个辅助决策的智能化平台，这对于提高行业管理效率、提升行业管理水平有着重要意义。最后，通过BIM与生产设备、传感器等物联网的结合，提高了桥梁行业设计、制造、施工等环节的整合程度，在提升整个行业协作程度的同时，又衍生出生产设备的三维数字化技术升级，推动了产业结构调整，实现了行业技术的跨越与进步。



BIM+项目管理

BIM+梁厂物联管理

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

创新设计　持续发展

编号：2018B0124

第九届“创新杯”建筑信息模型(BIM)应用大赛

交通枢纽工程类BIM应用
第一名

项目：杭州绕城西复线扩容段湖州段BIM设计应用

单位：浙江省交通规划设计研究院有限公司

中国勘察设计协会

中国勘察设计协会
China Engineering & Consulting Association
CECA

欧特克软件(中国)有限公司

AUTODESK.

中国公路学会
交通BIM 工程创新奖

为表彰中国公路学会交通BIM工程创新奖获得者，特颁发此证书

项目名称： 杭州绕城西复线扩容段湖州段项目 BIM 设计应用

奖励等级： 三等

获 奖 者： 浙江省交通规划设计研究院有限公司

2019年6月14日

证书号： A19-3-042-001

应 用 证 明

项目名称	BIM技术在公路工程建设中的应用研究
应用单位	深中通道管理中心
通讯地址	广东省中山市南朗镇和信路(西)金晖苑南 200 米
应用成果起止时间	2018.1-2019.3
年度	2018-2019

应用情况及社会效益：

深圳至中山跨江通道（以下简称深中通道）北距虎门大桥约 30km，南距港珠澳大桥约 38km。项目东接机荷高速，向西跨越珠江口，在中山市马鞍岛登陆，与规划的中开、东部外环高速对接，通过连接线实现在深圳、中山及广州南沙登陆，项目全长约 24km，其中跨海段长约 22.4km，是继港珠澳大桥之后又一座集桥、岛、隧为一体的大型跨海工程，概算总投资约 446.9 亿元。

深中管理中心联合 BIM 咨询单位，对深中通道项目 BIM 及信息化工作顶层设计，搭建协同管理平台，为业主、监理、勘察设计、施工、制造、咨询、监控、检测等不同角色用户，提供同一平台统一办公。平台集成项目管理、OA、计量支付、质量监督管理、电子档案管理、施工监测、拌合站管理等系统。

项目协同管理：统一分部分项工程编码，制定 BIM 协同管理平台底层数据架构，使得项目中多厂商的信息化系统深度融合，数据互联互通，消除数据孤岛。将施工 BIM 模型单体化，模型与 WBS 编码关联，以现场工序报验为最小管理单元。施工员手机端发起工序报验，监理验收闭环，上传云端，反馈实际进度。WBS 与计划、清单关联，依据现场报验数据，实时对比分析计划进度工期和产值数据。在质量监督管理系统填报工程质检数据，生成工程质保文件自动流转至计量支付系统，最终通过 BIM 协同平台流转至档案管理系统。

电子档案管理：引入 CA 认证技术完成各大业务系统升级改造，攻克身份认证、私钥加密、电子档案存储有效性等关键问题。全项目 24 家参建单位共 540 余人办理数字证书。深中通道是国家档案局电子档案“单套制”管理五个试点工程之一，国内首次实现工程业务过程管理与档案管理相融合。

共享信息中心（智慧工地）：基于 BIM+GIS、BIM+物联网建设智慧深中信息共享平台，统一发布工程进度、质量与安全管理信息；接入工地高清摄像、智能门禁，试验室拌合站以

及施工监控传感器；通过 AIS、GPS 和物联网技术，动态掌握人机船实时分布，遇紧急情况，通过手机 APP 一键报警，远程视频连线，可协助现场安全应急救援。

基于 BIM 的项目协同管理平台，国内首次实现项目管理全业务流程线上无纸化审批流转。仅从无纸化带来的直接效益分析，涉及文档“工程管理”、“施工文件”、“监理文件”、“竣工文件”等八大类文件，项目 7 年建设周期预计 40 余万件。每份文件平均涉及 3 个单位盖章（至少 6 个个人审批节点），暂不考虑会签、驳回重新发起等情况。工程管理文件在广州、中山、深圳、珠海等多个参建单位流转，每份文件按照节约成本（打印、耗材、邮递、交通油耗等）至少 60 元，40 余万件纸质文件直接节省成本将近 2400 万元。间接效益方面，审批时间大幅缩短，每份文件审批时间由原先平均 15 天降低为 3.5 天，减少送文件而引发的交通行为，减少纸张用量，环保价值巨大。

共享信息中心实时采集并发布工地现场拌合站、试验室、视频摄像、施工监控等生产数据，在线监测预警，信息交互共享，提供应急救援通讯服务，大幅提升现场质量安全管控能力，管理扁平化，降低现场质量安全隐患发生次数和处理成本，提高现场管理人员管理效率，节约用人，按照每标段每月节约成本 3.0 万元，11 个土建主体标段，7 年工期，可带来直接经济效益 2772 万元。

应用单位（章）：

2019 年 3 月 20 日

应 用 证 明

项目名称	BIM技术在公路工程建设中的应用研究
应用单位	中交第二航务工程局有限公司深中通道项目 S04 合同段项目经理部
通讯地址	武汉市东西湖区金银湖路 11 号
应用成果起止时间	2018.1-2019.3
年度	2018-2019

应用情况及社会效益：

深圳至中山跨江通道 S04 标桩号里程为 K12+838～K16+811 的桥梁工程，全长 3973m，主要工程内容包括伶仃洋大桥主桥东塔、东锚碇，上游侧主缆架设，桩号里程范围内索鞍索夹、钢箱梁安装，猫道横向天桥、主桥伸缩缝、支座及阻尼器支座安装等，伶仃洋大桥东引桥（泄洪区桥梁）24*110m 桥梁下部构造施工。总造价 19.51 亿元。

本项目由业主单位牵头，设计院、BIM 咨询单位、施工单位组成 BIM 工作组，对设计模型的质量进行审查，将发现的问题记录并汇总形成设计模型审查报告，并与设计院进行沟通处理，将问题消除在施工前期，降低变更次数，确保后续深化模型工作顺利开展；利用 BIM 标准化族库，快速建立临建及施工平面布置模型（包含各种标识标牌，宣传标语等），直观地展示项目及企业形象，为项目部施工部署方案讨论提供可视化支撑，输出施工详图及工程量清单，为项目临建施工、成本提供标准化依据。利用 BIM 模型对专项施工方案或重要施工作业方案进行模拟，对方案进行验证、分析，提高方案的可行性；同时利用 BIM 模型的三维可视化特点，辅助进行方案评审及技术交底，提高沟通及工作的效率。

工序报验，业主统一分部分项工程编码规范，制定施工 BIM 模型单体化，模型与 WBS 编码关联原则。施工单位以现场工序报验为最小管理单元。施工员智慧深中移动端应用软件发起工序报验，监理人员验收闭环，现场测量数据资料上传云端，反馈实际进度，与计划对比分析。在质量监督管理系统填报工程质检数据，生成工程质保文件支持计量支付系统。

进度计划管理，计划与分部分项工程、工程清单、工程类型关联。施工单位可按月编制施工计划，系统自动汇总成季度、年度计划表、月度计划产值，依据工序报验，系统计算月度进度、进度产值。协同平台打通 HCS 系统，获取施工单位支付金额。施工单位实施获得计划产值、进度产值、计量支付金额，及时反馈项目真实进度，便于纠偏与调整项目计划。同时，系统可以设定进度延期阈值，根据逾期等级，发送不同级别进度风险预警。BIM+计

划进度，通过深中通道 BIM 数字化协同管理平台，通过 BIM 模型中的不同颜色，一键形象展示项目进展情况。便于现场施工，智慧深中移动端可随时查看轻量化模型。分部分项工程与图纸关联，移动端可实时查看分部分项关联图纸资料，为现场施工提供极大便利性，避免由于施工现场纸质资料不完备，导致的施工偏差，保证施工正确性。

经初步测算，本项目运用 BIM 技术可视化优势，通过图纸校核和施工技术方案三维模拟，避免图纸信息错误和减少不必要的施工返工，带来直接经济效益 2000 余万元；现场手机报验和进度-产值数据联动，大幅缩短现场工序验收时间，提高工序转换效率，带来直接经济效益 1000 余万元。通过数据联动管理，实时获取直观的三维形象进度和产值进度，非常方便每月生产进度调度。

应用单位（章）：

2019 年 3 月 20 日

应用证明

成果名称	BIM技术在公路工程建设中的应用研究
业主单位	温州瓯江口大桥有限公司
联系方式	潘济 18658720770
项目规模及技术指标	温州瓯江北口大桥工程采用宁波至东莞国家高速公路和国道228线（南金公路）共线过江的双层桥梁方案。上层为宁波至东莞国家高速公路，路线温州市黄华镇北侧，接在建的宁波至东莞高速公路南塘至黄华段，止于灵昆岛，接在建的宁波至东莞高速公路灵昆至阁巷段，全长7913米，其中跨瓯江主桥2090米。下层为国道228线，路线北接国道G228线乐清段，南接国道G228线灵昆段，全长3905米。本工程建筑信息模型（BIM）技术应用咨询及科研服务项目投资1181.533743万元。 温州瓯江北口大桥主桥桥型为215m+2×800m+275m三塔四跨双层钢桁梁悬索桥。加劲梁采用双层华伦式钢桁架，桁高12.5m，标准节间长9.87m，两片主桁中心间距36.2m。中塔采用A型混凝土中塔，纵向为A型，横向为门型，共四根塔柱，塔顶高程147.5m。南北塔采用混凝土门式塔。中塔采用沉井基础，平面尺寸为66×55m，沉井底面标高-62.5m，沉井总高度68m，基底进入卵石层不小于1.5m以上。北塔基础采用28根3.0m直径钻孔灌注桩，桩长62.7m，持力层为中风化凝灰岩。南塔基础采用46根3.0m直径钻孔灌注桩，摩擦桩，桩长125.5m，桩底持力层为卵石。北锚采用重力锚方案，基础采用扩大基础。南锚亦采用重力锚方案，沉井平面尺寸为70×63m，底标高-62.0m，进入卵石层2m，沉井总高度66m。 瓯江北口大桥引桥包括北引桥分离段、北引桥合并段、南引桥合并段和南引桥分离段四个部分。北引桥分离段桥长2454.864m，墩高13m到40m，北引桥合并段桥长765m，墩高13m到45m，均采用现浇箱梁桥和钢混组合梁桥；南引桥合并段桥长1050m，墩高33m到55m，采用短线法预制节段拼装箱梁桥和钢混组合梁桥；南引桥分离段桥长1553m，墩高8m到33m，采用短线法预制节段拼装箱梁桥。
履约评价	良好

项目评价	施工图设计阶段 BIM 建模，数字交互虚拟沙盘、招标辅助，建造阶段项目综合管理系统、BIM 协同管理平台、移动管理 APP，BIM 交竣工模型， BIM 运营养护管理平台，BIM 咨询服务，硬件设备采购以及 BIM 科研工作等。 交通运输部公路科学研究所/浙江省交通规划设计研究院（联合体）承担本项目工作。交通运输部公路科学研究所作为联合体牵头人，负责承担的工作内容包括：施工图设计阶段 BIM 建模，数字交互虚拟沙盘、招标辅助，建造阶段项目综合管理系统、BIM 协同管理平台、移动管理 APP， BIM 交竣工模型， BIM 运营养护管理平台，BIM 咨询服务，硬件设备采购以及 BIM 科研工作；联合体成员单位（浙江省交通规划设计研究院）负责承担本项目 BIM 技术在施工图设计阶段的应用及 BIM 科研工作，并提供设计相关建议。 项目负责人：王昌将、李法雄 技术负责人：郑　毅、林述涛 交通运输部公路科学研究所主要参加人员：陈建璋、刘汉勇、张科超、李国柱、李　茜、张立业、王玉倩、郭歌洋、李国柱、唐朝辉、周大凯、李忠民、吕鋆柯 浙江省交通规划设计研究院主要参加人员：戴显荣、马越峰、王晓阳、李焕强、叶雨清、黄斌 业主单位：温州瓯江口大桥有限公司（盖章） 2017 年 5 月 24 日