

市政工程设计数字化转型综述与展望

吴军伟

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 基于从事市政工程设计企业的信息化建设、数字化转型业务发展情况及现状问题,围绕数字化基础建设进行了基础设施建设、数字化协同设计的引进与研究以及新技术在工程领域的应用提出改进建议;同时推进数字化管理,提出设计过程数字化管理方案,优化管理流程和制度以期提升数据资源价值,推动转型成功。

关键词: 数字化转型;工程设计;管理体系

中图分类号: TU990.02

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)10-0017-06

0 引言

“1980 年~2000 年处于传统时期,管理效率低下,生产靠人工。

2000 年~2020 年处于建筑信息化时期,企业注重管理信息化,实施流程在线审批、OA 协同办公、各种 ERP 管理软件出现;生产工具方面,通过 CAD 工具、工程造价软件提升效率。

2020 年~2030 年处于建筑数字化时期,建筑企业开始转型 EPC 模式并推行数字协同平台;生产端上应用 BIM 平台、建筑机器人、云计算、大数据、物联网、人工智能、移动互联网等先进技术。

2030 年~2040 年处于建筑数智化时期,数据生态多方协同、数据驱动管理;通过实时数据与物联网为核心生产力,以数据驱动生产决策。”

——摘自《2022 年中国建筑行业数字化转型研究报告》^[1]。

建筑行业的数字化转型经历了不同阶段,从传统时期到信息化、数字化再到数智化。这一进程是逐步推进的,每个阶段都带来了管理效率和生产效益的提升。在建筑行业数字化转型的过程中,市政工程在数字化转型中具有复杂性和规模化、多方协同和整合、长周期和维护性、实时监测和响应以及公众参与和透明度等特点。数字化转型通过建立信息化系统和平台,运用先进技术如物联网、大数据和人工智能,提升市政工程的管理效率、优化资源配置、增强服务水平,并实现城市的可持续发展和智能化治理。未来,建筑行业将继续朝着数智化方向发展。企业将

借助数字协同平台实现多方协同,实时数据与物联网成为核心生产力。

1 国内外数字化转型背景

1.1 数字化转型描述

数字化转型^[2](digital transformation)的概念最早由 IBM 在 2012 年提出,强调了应用新一代数字技术,如云计算、大数据和人工智能等,来改变组织的业务模式、流程和价值观,以提升客户体验、增强协作能力,并实现可持续发展。

1.2 国外数字化转型状况

国外数字化转型的状况呈现出快速发展的趋势。各个国家纷纷制定相关政策和战略,投资于数字技术的研发和应用,以提升经济竞争力和社会发展水平。

2017 年,思科(Cisco)^[3]在《数字化转型成就制造业升级》也提出全数字化转型战略应着重于全新的客户体验、创新的业务模式、提高员工的创新能力三大主要领域。

2017 年,埃森哲在发布的《展望》^[4]期刊报告中提出数字化转型三部曲:制定数字化转型目标、采取数字化转型行动、达成数字化转型成果。全球第三大企业级应用软件及服务 Infor^[5]则提出数字化转型主要包括两个方面,一是实现自动化管理,二是差异化竞争。麦肯锡咨询公司(简称麦肯锡)在其相关报告^[6]中提出成功转型领军企业六部曲,重点提出构建人员转型思维和数字化能力,强化数字技术建设注重信息安全建设。

从各大公司给对企业数字化转型的方案中可以看出,数字化转型已经不仅仅限于数字技术的应用,同时也是组织文化与管理变革。

收稿日期: 2023-06-06

作者简介: 吴军伟(1981—),男,博士,高级工程师,从事智能交通工程、智慧市政工程及工程设计企业数字化转型研究工作。

1.3 国内数字化转型状况

当前我国经济进入新常态的大背景下,经济增长的速度、结构和动力都发生了深刻的变化。为了适应新的发展形势,国家在“十四五”规划中明确提出了“加快数字化发展”的具体目标,工程行业也在这个背景下纷纷转型,朝着智能化方向迈进。数字化转型将为工程设计智能化带来全新的发展理念^[7-9],是瞄准未来科技发展趋势的重要举措。因此,工程行业需要不断优化自身的技术,全面推进数字化转型,为工程设计智能化的发展注入新的活力和动力。

在市政工程设计企业普遍经历高速化、规模化、同质化的发展阶段之后,如何由规模化增长向高质量发展过渡,成为不得不面临的重要命题。与此同时,随着数字化、信息化技术的快速迭代及其与各行业的深度融合,如何适应数字时代的挑战并实现业务模式的数字化转型,也成为了设计企业的核心战略问题。

随着高质量发展时代的到来,数字化转型已成为设计企业立足之本。为推进高质量发展,设计企业需尽快实现数字化转型,提升设计业务水平,将数字化作为“十四五”期间发展战略之一。本文围绕笔者所在企业在技术应用与研发、管理制度和人才培养战略方面分析数字化进展,提出设计业务数字化转型存在的瓶颈以及可能的发展方向^[10,11]。

通过对国内外关于数字化转型的相关研究可以看出,加快工程设计企业数字化发展进程,培育和发展核心优势,加速数字化设计研究、加强信息化基础设施建设、积极引入新技术、建立新的管理体系,提升企业在工程建设领域的核心竞争力已成为工程设计企业数字化转型升级的重要战略抉择。

1.4 数字化转型发展方向

数字化转型在土木工程领域的发展方向包括建立数字化设计平台,引入建筑信息模型(BIM)技术,应用无人机和遥感技术,推动工地信息化,以及引入智能化监测与维护技术等。数字化设计平台解决了市政设计中数据整合和协同工作等复杂问题。同时,信息化基础设施建设是数字化转型的基础,包括网络建设和数据中心建设。这些设施实现了市政设计数据的集中管理和共享,提高了数据的可靠性和安全性。数字化转型还积极引入新技术,如物联网和人工智能,应用于市政设计的各个环节,例如远程监测、城市规划和设计的优化等,实现了数据驱动和智能化的发展。数字化市政设计行业的特点包括复杂

性和多功能性、数据驱动和智能化发展以及高效和可持续发展。这些特点将指导行业在数字化转型中的实践和发展。

2 数字化转型实现技术路线

2.1 信息化基础设施建设

数字化设计的研究和应用依赖于信息化基础设施的建设,其中包括数据中心、网络架构、云资源等。这些基础设施的建设可以为数字化协同设计的应用提供优质的技术支持和良好的运行环境。目前,笔者所在企业已完成内外网融合,云共享设计平台建设,正在筹划建设数据中心以支撑数字化转型的基础设施需求,在软件研发方面也积极从数字专业 smedigital 微服务^[12]研发框架向 smedigital 统一开发平台进行建设。

(1) 数据中心建设

数据中心是企业数字化转型过程中的核心基础设施,主要用于存储和管理设计数据,建设自己的数据中心,可以将各种数据整合,方便统一管理和使用,为后续的数据价值提供基础保障。

(2) 网络架构建设

采用多层次网络架构来保障网络的性能和安全性,并推进内外网融合。为数字化协同设计的稳定、快速、安全地运行提供了保障,建立了稳定、可靠的网络环境。网络架构设计考虑可靠性、灵活性和扩展性等方面,满足设计工具的需求。

(3) 云共享平台建设

进行设计云资源建设,使用云计算平台来实现资源共享和弹性扩展,以提高企业的效率和灵活性,用户在外差情况下都可以使用云平台提供的软件和算力资源。提供多人协作的设计环境,使得多个团队或人员可以在同一个平台上进行协作设计,共享数据,加速设计进度,提高协作效率。在云平台上搭建设计资源库,方便工程师使用标准化的设计模板、素材和工具,提高设计效率和质量。

(4) Smedigital 统一开发平台建设

Smedigital 为 SMEDI 与 digital 两个单词组合而成,以此作为框架的名字,为 SMEDI 数字化转型助力。Smedigital 开发框架基于 Spring Cloud 微服务系列技术搭建,以领域驱动设计、六边形架构、数据驱动测试等理论为支撑,形成面向开发人员的 Smedigital 开发框架与面向业务专家的 Smedigital 平台。Smedigital 开发框架致力于提供更好的开发体

验,让开发人员关注业务本身,而不是相关技术细节;Smedigital 平台提供的灵活配制功能,可以让非编程人员也可以在经过简单的培训后,在系统中配制想要实现的功能。

2.2 数字化协同设计

协同设计是必然的趋势,CAD 发展至今二维设计模式的提效趋势已进入瓶颈期,规划设计中存在的大量重复性工作,反复修改所产生的多版本冗余图纸极大地消耗着有限的人力资源。非模型化的方案往往与实际方案存在出入,产生业主方的心理落差,同时,无法提供可行性与安全性校验的支撑数据。在协同设计方面,笔者所在企业以及多个专业院所共同进行了协同设计相关研究,基于交通、水务常用三维设计工具进行了相关探索。

(1) 协同设计数据环境^[13,14]

在数字化协同设计中,协同设计数据环境是关键的基础设施。基于达索 3DEXPERIENCE 体验平台、AutoDesk360 等协同环境,形成了统一的设计语言与设计标准(图层线性、设计标准等),进而在统一的数字环境下进行实时在线的设计成果共享,为各专业之间的协同奠定基础。

在这个过程中产出载体发生了变化,从非结构化的二维图纸信息转向结构化的三维数据,使得设计成果在工程全生命周期内实现流转,在设计时对于施工运维需求进行充分考虑,提供管理决策依据。

(2) BIM 技术深入应用

近年来,BIM 技术的应用发展速度迅猛,已成为市政工程设计必备工具。笔者所在企业作为 BIM 标准制定和技术路线探索的先行者,早在 2012 年就基于达索系统的 3D 体验平台,与达索系统共同建立研发中心为土木工程专业人员提供行业解决方案体验,专注于桥梁、给水、污水处理设施、道路、轨道交通、开放式建筑物和地下建筑物等领域,最终形成了极具特色的专业模块(Civil Designer),在各类工程领域发挥重要作用。在 BIM 标准制定、技术路线探索、应用示范等方面积累了丰富的经验,并推动了行业的数字化转型进程,数字化业务已拓展到长三角、雄安、粤港澳大湾区、安徽、新疆等区域。

(3) 专用设计工具研发

笔者所在企业在数字化业务持续投入,笔者所在单位陆续推出了 SMEDI-RDBIM(2015)、SME-DI-BDBIM(Para3D)(2015)、桥梁 BIM 正向设计系统(钢结构)(2017)、SMEDI-BIM 构件库管理系统

(2018)、基于构件库的桥梁正向设计软件(2019)等设计工具类软件。由于专业特性的不同、设计协同的需求以及不同阶段对设计深度的差异,设计行业设计项目还使用 EICAD、CATIA 3DE、Autodesk Revit、管立得、路易等市场化软件^[15],见图 1。

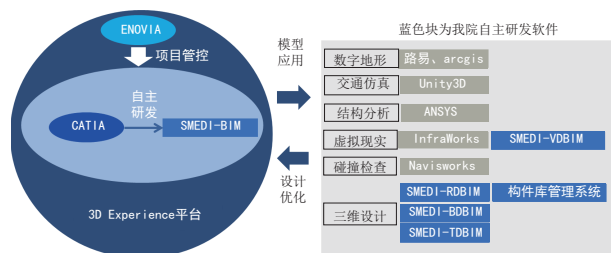


图 1 协同设计软件应用情况

(4) 协同设计流程建设

建立通用数据空间,以标准化的流程完成生产任务,有利于提高各专业设计人员的工作协同性和设计成果的标准化程度,提高设计成果交付的质量和效率,为设计业务赋能。在实现协同设计数据打通的基础上建立完整的多专业协同设计流程,以道路交通工程设计为例,见图 2。

2.3 新技术研发及应用

新技术的研发和应用是数字化设计转型的重要方向,可以大幅提高设计效率和质量。例如:自动化校审和出图、MBD(Model-based definition)和智能建造技术,这些技术的应用可以提供更高效、更准确、更智能的设计解决方案,推动数字化设计转型和高质量发展。

(1) 自动化校审及出图

自动化校审及出图的主要内容有确定标准校审流程和规范、选择自动化校审和出图的软件工具、建立数字化设计文件管理系统、建立三维模型自动化校核系统、建立智能化校核审查系统。通过制定标准校审流程和标准校审规范,将校审流程数字化,并通过计算机软件实现自动化校验,提高校审效率和准确性,提高设计质量和效率。研发设计工具实现设计图纸的自动生成,减少手工绘图和出图的时间和精力,提高出图的准确性和一致性。

(2) AI 辅助设计内容生成

利用 AI 技术辅助设计师完成一些重复性、低效率的设计绘图工作,例如自动化绘制平面布置图、快速生成方案、修改设计等。其次,可以快速处理大量设计文档和技术资料,并生成高质量技术文档,例如自动生成技术说明书、设计方案报告等,见图 3。此外还对以市政设计领域的大量数据进行分析 and 挖掘,

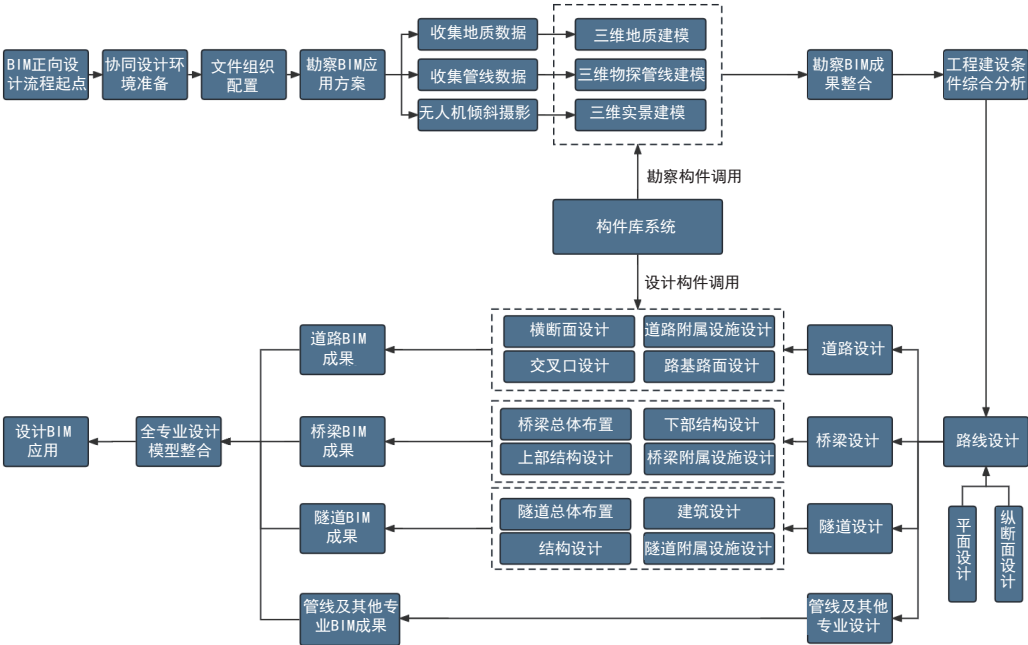


图 2 BIM 正向协同设计流程

辅助设计师进行设计优化,辅助决策者进行决策,例如根据城市交通数据预测未来交通状况,优化交通设计方案等。



图 3 ChatGPT 界面以及对 AIGC 的自解释

(3)MBD 与智能建造

MBD 和智能建造是两种数字化技术,它们的结合可以实现数字化设计与数字化制造的无缝连接。MBD 将设计信息集成到三维模型中,为智能建造提供基础数据模型,为机器学习和人工智能等技术的应用提供数据支持。智能建造利用数字化技术实现施工全过程的可视化和优化,可以将产生的数据反馈到 MBD 中,为设计提供优化反馈。通过这种有机结合,可以优化设计流程、提高生产效率,进一步推动工程设计行业数字化转型,见图 4~图 6。

在数字化转型中,需要不断探索新的数字化技术,推进自动化生产流程,提高生产效率,进一步推



图 4 自动化滚笼机



图 5 钢梁生产厂

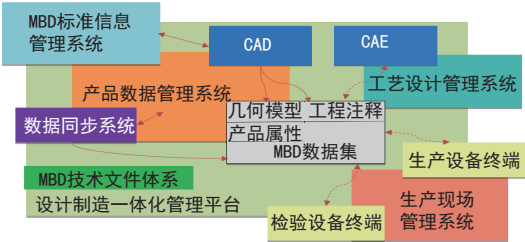


图 6 MBD 生产管理系统
动工程设计行业数字化转型。

3 数字化转型现状与改进建议

《设计行业专业升级与数字化智慧化转型融合发展的策略—数字化应用场景研究》报告中基于国家

及行业发展的数字化政策对设计行业的业务数字化典型场景以及发展瓶颈都做出了详细的研判。

在此结合近年设计行业在设计手段提升工作实施过程中对于研究与应用提出以下几点建议:

(1)注重需求端驱动技术发展,集中力量推动顶层规划。

设计行业在十四五局之年开展“设计手段提升”工作,进行统一规划对于水务、路桥板块分别制定研发计划,由信息部作为主管部门统筹各设计院开展相关工作,取得了一定的研发成果。但在成果推广阶段存在问题,因为工程项目类型以及设计习惯流程不匹配,经分析原因在于各个需求端并没有达成需求的一致性以及优先级反馈。后续应积极收集分析需求端的反馈,充分认识到设计师关心和急需需要解决的问题,提供贴合实际情况的技术解决方案。

(2)加强技术监测与预测,维持技术引领的目标。

设计端一直是市政工程领域的技术引领者,在发展的过程中一直是国家队、排头兵的角色,但是土木建筑行业的数字化发展程度毫无疑问是排倒数位置的。所以,在工程设计数字化领域的发展需要对标的除了同处于同行业的铁四院、华东院、市政华北院等业务相似的企业,也应该同步对标 IT、互联网等头部企业,加强相关技术的监测。

(3)考虑实际发展水平,结合新技术与数字化设计。

结合设计行业《数字化融合发展的展略》一文以及设计行业在数字化专业的科研课题立项,对于先进技术“云、大、物、移、智”是有共识的,但是专业发展的不平衡也造成数字化设计及交付存在“三维数字化正向设计”“二维设计+三维数字化建模”“二维设计+三维意向表达”同时并存的局面,需要根据发展情况考虑发展路径,寻求复现次数多价值高的应用场景,不能盲目的追求上“新技术”。

(4)追求研发动态平衡,树立标杆找准业务切入点。

由于设计业务本身标准化程度较低,对标准化资源的积累和自动化工具的开发形成制约。在标准化程度不足,需求呈现多样性的前提下靠一家企业甚至一个部门的投入,很难在工具开发质量和速度方面,与市场上如广联达这样的专业化公司规模化的研发团队的研发成果相比拟。设计行业的设计数字化应体现“专业化+数字化”综合新优势,找准业务切入点与传统优势专业结合,从异形程度高、空间关

系复杂度高、工业化程度高的设计项目入手,提供品质保障、实现数字化价值。

(5)构建数字化转型的管理体系与人才培养。

数字化转型的成功需要建立适应的管理体系和培养具备数字化设计能力的高素质人才。通过改变传统管理方式、引入先进管理方法和工具,提高市政设计项目的管理效率和质量。同时,通过教育机构和企业的合作,培养学生和员工的数字化设计能力和创新思维。这样才能推动数字化市政设计行业朝着高效、智能和可持续发展的方向发展。

4 数字化转型管理体系建设

随着数字化技术的不断进步,市政设计行业正经历数字化转型的深化期。在外部市场的需求促进下,数字化技术不断发展、新技术新工具日新月异,但是目前设计行业的数字化管理手段相对迟滞,没有实现数据的生产、采集、流通、使用流程的标准化,同时,数据定价规则的缺失一定程度制约了参与的积极性。

数字化转型过程中,数据驱动生产决策也已成为重要趋势。工程设计企业需要将数据应用贯穿于整个转型过程中,以实现更高效、精准和可靠的生产决策。该过程的目标是优化生产决策,并配高效的管理体系,从而提高企业的整体效率和竞争力。

4.1 推行设计数字化管理

企业内部相关部门和组织需要制定设计数字化转型的指导方针和管理政策,推广数字化技术和工具,支持和鼓励加强数字化转型和创新投入如,从而全面提升设计数字化水平和竞争力。为设计行业数字化转型营造良好管理环境、奠定坚实基础,提高数字化转型参与者的主动性和积极性。目前,iMIS 设计门户、工程总承包项目 EPC 管理系统、CBIM 协同管理系统的应用,也提供了良好的示范作用。

4.2 优化数据管理流程和制度

(1)数据生产、采集、流通、使用的基础性规则

明确数据生产、采集、流通、使用的基础性规则是数字化转型的关键步骤之一。在实现数字化转型的过程中,需要制定统一规范的数据管理制度,避免不同数字化平台出现不兼容问题,增强数字化转型的开放性,并优化数据资源全生命周期管理。

(2)数据资源的定价(取费)机制

数据资源的定价(取费)机制也需要研究和制定,以鼓励各主体院参与数据积累和共享,提高企业

整体数字化水平。这样可以最大程度地利用数据资源,推动数字化转型的深入发展,提高企业竞争力和市场占有率。通过完善数据管理制度,规范数据的采集、使用和共享等流程,可以有效促进数字化转型的实现,提高数字化水平和质量。

4.3 提升数据资源价值

数据驱动决策(DDDM)是一种重要的决策方式,它通过将业务流程和数据紧密配合,并利用可视化产品呈现数据,得出企业运营决策。通过数据感知,数据导向以及数据驱动的三步走策略,最终实现由大数据分析算法自动计算,得出企业运营决策。

现在很多企业,尤其是在一些相对比较自动化高频的场景,比如京东自动化的物流仓储,或者一些互联网的公司需要做实时决策,如网页显示的内容推荐等,都可以做到数据驱动的效果,完全由算法大数据来帮助企业运营,人工干预非常小。

5 数字化人才培养

目前,设计行业数字化人才需求缺口巨大,传统的人才培养体系无法满足数字化需求,需要进行有效的数字化事业平台搭建,完善人才激励机制、有效的匹配人才职业成长。进一步增强领导干部和设计师数字思维、数字认知、数字技能,培养创新型、应用型、复合型人才。

(1)培养数字化复合型人才。在青年职工中广泛开展 BIM 技术应用大赛,“我为设计行业献一计”征集、创新创业系列活动等,鼓励大家围绕数字化开展创新、孵化产品;在评优表彰中,设置数字化先锋等数字化项目专项奖励,营造崇尚创新、尊重人才的氛围。对数字化人才的激励,则以市场化为导向,参照同行业、同规模、同业绩和同职位进行对标,结合项目数量、项目类别、工作成效等进行综合评判。

(2)完善数字化职业发展序列。设置系统规划师、系统开发师、数据管理师、解决方案经理、产品经理、项目经理、研发工程师、运维工程师等不同的数字化岗位,明确相应的岗位要求、发展方向和职级。与此同时,建立数字化岗与工程管理岗、工程技术岗之间的横向转换机制,满足不同类型数字化人才发展的需要。

(3)引入外部校企合作。设计行业可以加强与高校和科技公司的合作,以实现数字化转型人才培养和技术创新发展。这种合作可以从多个方面入手,例如共同研发数字化协同设计、建设智能化设计流程、

开发数字化协同设计平台等。同时,也可以通过合作,借助其丰富的技术和人才资源,推进数字化转型发展。

6 小结与展望

数字化转型是不可避免的趋势,市政设计行业需要积极应对内外因素的影响,加快数字化转型步伐。内在动因直接关系到企业的运营和发展是数字化转型的基础推动力,它主要包括内部管理的需求,如提高效率、降低成本、促进数据集成和智慧决策等。外力驱动是数字化转型的重要推动力量,促使企业在数字化转型中保持敏锐的竞争意识和持续创新的动力,包括客户的个性需求、竞争对手带来的压力等。

“十四五”时期将是设计行业工程数字化发展的重要战略机遇期,为推动“专业化+数字化”的高质量发展,有必要通过不断加强基础设施和技术研发,不断完善数据资源管理制度、人才培养机制,持续提升数字化设计的业务成熟度。建立和完善数字化设计的组织体系,规范数字化设计的流程,提高设计师的数字化素养和能力,真正实现数字化设计的业务价值最大化,助力设计行业的数字化转型。

参考文献:

- [1] 刘江.2022 中国建筑行业数字化转型研究报告[EB/OL]. (2022-03-11)[2022-03-11].<https://www.iyiou.com/research/20220311981#pdf-tips>.
- [2] IBM.Digital transformation:Creating new business models where digital meets physical[EB/OL]. (2011-04-19)[2002-04-15]. <https://www.ibm.com/downloads/cas/B6Y8LY4Z>.
- [3] Cisco.数字化转型,成就制造业升级[EB/OL]. (2016-12-19)[2018-09-30].<http://www.iyiou.com/analysis/2018093082565>.
- [4] Accenture.Accenture Technology Vision-2017[EB/OL]. (2017-04-14)[2017-04-17].<https://www.accenture.cn/cn-zh/search/results?srk=%E5%B1%95%E6%9C%9B%202017&pg=1&sb=0&filter=>.
- [5] 王盈.数字化转型成主流 Infor 因势而动[J].软件和集成电路,2017(4): 56-59.
- [6] 侯文皓.从制造到智造:灯塔经验助力中国制[EB/OL]. (2019-02-28)[2019-02-28].<https://www.mckinsey.com.cn/%e4%bb%8e%e5%88%b6%e9%80%a0%e5%88%b0%e6%99%ba%e9%80%a0%ef%bc%9a%e7%81%af%e5%a1%94%e7%bb%8f%e9%aa%8c%e5%8a%a9%e5%8a%9b%e4%b8%ad%e5%9b%bd%e5%88%b6/>.
- [7] 顾伟.建筑工程中智能信息化技术的运用探讨[J].智城建设,2019(7): 20-21.
- [8] 袁全.智能化技术在建筑工程中的应用[J].中国设备工程,202(11): 43-45.
- [9] 陈璟毅.新时代建筑工程管理方法智能化应用策略[J].散装水泥,

(下转第 47 页)

4.3 排洪渠迁改方案

现状 2# 排洪渠与主线下穿隧道暗埋段标高存在冲突,为保证防洪排涝要求,2# 排洪渠需进行改建,具体有以下 3 种方案(见图 14):

方案一:原位复建下穿箱涵。拆除现状 2# 排洪渠箱涵,在下穿隧道结构底部复建原规模箱涵,2# 排洪渠排水方向不变。

方案二:向北改线注入现状 1# 排洪渠。拆除 2# 排洪渠过路箱涵,向北注入 1# 排洪渠,扩建 1# 排洪渠箱涵横穿环岛西路,排入环岛西路西侧排洪渠。

方案三:向南改线排入现状 3# 排洪渠。拆除 2# 排洪渠过路箱涵,向南排入 3# 排洪渠,扩建 3# 排洪渠箱涵横穿环岛西路,排入环岛西路西侧排洪渠。

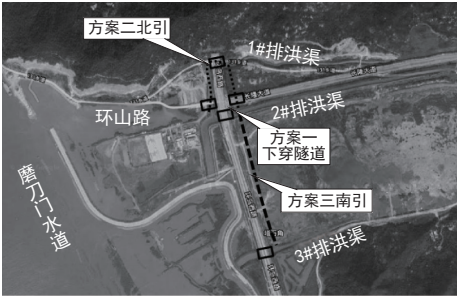


图 14 排洪渠迁改方案
排洪渠迁改方案比选见表 2。

5 结 论

通过对横琴新区环岛西路上位规划、功能定位、交通需求及相关控制性因素的分析,提出了环岛西路总体设计思路(见图 15、图 16),对现状天然的交通瓶颈提供解决方案,使得上位规划得以落地。同时,该项目的方案设计可为类似工程提供借鉴。

表 2 排洪渠迁改方案比选

项目	方案一	方案二	方案三
占地情况	不占用其他用地	占用非建设用地	占用商住用地
水利角度	倒虹吸需下穿隧道结构;清淤困难	清淤方便;存在倒坡	清淤方便;坡度顺畅
施工难度	箱涵埋深大,基坑深度较大	新建排洪渠 185 m	新建排洪渠 580 m
工程造价	较低	较高	最高
比选结论	综合用地性质、行洪需求、施工难度及工程造价,推荐方案二		



图 15 西环隧道北段快速化改造效果图



图 16 西环隧道南段快速化改造效果图

参考文献:

[1] 珠海市横琴新区规划国土局.横琴新区控制性详细规划维护(2017 年)[Z].珠海:珠海市横琴新区规划国土局,2017.
[2] CJJ 129—2009,城市快速路设计规程[S].

(上接第 22 页)

2022,1(216):65-67.
[10] 曹佳毅.勘察设计企业数字化转型的困境和策略[J].建筑设计管理,2019(11):68-69.
[11] 广联达科技股份有限公司.数字化转型建筑产业发展的必然选择[J].中国勘察设计,2020(10):19-25.
[12] JAMES J,MARTIN F.Microservice[EB/OL].(2014-03-25)[2014-03-25].https://martinfowler.com/articles/microservices.html.

[13] 张世基,罗天靖,王坤.基于信息模型的铁路桥梁协同设计研究与实践基[J].铁道标准设计,2023,67(2):66-71.
[14] 李浩,陶飞,王昊琪,等.基于数字孪生的复杂产品设计制造一体化开发框架与关键技术[J].计算机集成制造系统,2019,25(6):1320-1336.
[15] 王建伟,高超,董是,等.道路基础设施数字化研究进展与展望[J].中国公路学报,2020,33(11):101-124.