



数字孪生世界企业联盟
Digital - Twin - World Enterprise Alliance



数字孪生世界白皮书 (2022)



数字孪生世界企业联盟

杭州易知微科技有限公司

2022 年 5 月

版权声明

本白皮书版权属于数字孪生世界企业联盟和杭州易知微科技有限公司并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：数字孪生世界企业联盟和杭州易知微科技有限公司”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。



欢迎关注“浙大数据分析和数据管理国际研究中心”



添加官方小助手，预约案例演示

易知微数字孪生世界

编制说明

2021年8月，在浙江大学数据分析和国际研究中心的指导下，由杭州易知微科技有限公司牵头发起成立了数字孪生世界企业联盟，专注于贯通数字孪生产业上下游，打造数字孪生产业协同创新生态，以数字孪生体为基座，融合上下游产品和技术，将物理世界全方位的数字化，实现一个真实的可以实时感知和管理的数字孪生世界。

为促进生态合作、行业交流、创新发展等工作上的融合共生，由联盟理事长单位杭州易知微科技公司牵头，结合联盟内各成员单位的行业实践，于2022年5月首次编制此数字孪生世界白皮书。

特别说明：本白皮书内所有案例截图均为模拟数据。

主编单位：杭州易知微科技有限公司

参编单位：杭州玳数科技有限公司、杭州云聚数智科技有限公司、浙江英集动力科技有限公司、浙江卓见云科技有限公司、数峦云（杭州）科技有限公司、毕埃慕（上海）建筑数据技术股份有限公司

编写指导（排名按姓名拼音首字母）：

陈为 浙江大学计算机学院教授

杨秦敏 浙江大学控制科学与工程学院教授

周伟华 浙江大学数据分析和国际研究中心主任

编写小组（排名不分先后）：宁海元、阚海明、胡金鑫、王斯凤、张斯洋、相里佳豪、王幸运、古明、林敏、徐辉、杜佳丽、张甫祥等

易知微数字孪生世界

指导老师序

易知微主持编写的这本《数字孪生世界白皮书(2022)》为数字化改革和区域经济发展提供了导览图，是各大企业数字化转型过程中的必备参考。

陈为 浙江大学计算机学院教授

随着经济社会数字化转型的持续推进，数字孪生逐渐成为各界关注的热点。尤其是今年以来以数字孪生为核心技术的“元宇宙”概念的爆发式兴起，使得数字孪生技术得到了包括学术界、工业界等在内的多方重点关注。数字孪生技术打通了物理世界与数字世界的隔阂，实现了物理信息系统中的虚实融合，在智能制造、智能建造、智慧医疗、智慧城市等垂直行业广泛拓展，产生了智能运维、虚拟调试、异常诊断、风险预测、决策辅助、系统优化等诸多应用价值，已成为助力企业数字化转型、提高生产效率、促进数字经济发展的的重要抓手。

《数字孪生世界白皮书(2022)》聚焦数字孪生世界的关键技术、行业场景与应用发展，梳理了数字孪生技术基础设施发展情况，深入分析产业化元宇宙发展趋势，技术体系以及包括城市、工厂、流域、双碳等典型行业的应用场景，旨在为产业界在规划建设数字孪生世界时提供参考借鉴，助力数字孪生世界的技术演进和产业发展。

杨秦敏 浙江大学控制科学与工程学院教授

在企业数字化转型和政府数字化改革大背景下，数据分析带来的决策能力，已经变成每一个组织需要具备的核心能力。对于决策者来说，如何高效的看见和理解数据，并基于数据快速做出决策和指挥，也越来越成为一个基本要求。因此，数据分析的可视化逐渐成为普遍需求，由此进一步演进到数据孪生技术，构建和物理世界一一映射的数字孪生体，实时联动呈现相关的数据和分析，并在数字世界中可以

反向操控物理世界的实体，这是在学术界和工业界正在兴起的数字化新技术。很高兴看到这本《数字孪生世界白皮书(2022)》的诞生，提供了很多数字孪生技术企业在工程实践中的探索，必将加速数字孪生技术趋势的发展。

周伟华 浙江大学数据分析和国际研究中心主任

易知微数字孪生世界

目录

一、数字孪生：概念与展望	1
（一）数字孪生概念	1
（二）数字孪生起源	2
（三）数字孪生五维模型	4
（四）数字孪生与数字经济	5
二、数字孪生技术：数字化基础设施	7
（一）物联网	7
（二）5G 通信网络	8
（三）云计算	8
（四）人工智能	9
（五）建模仿真	10
（六）GIS	10
（七）BIM	11
1、BIM 相关标准	11
2、典型 BIM 产品	13

（八）大数据与数据中台，数据融通的新基建	15
1、数据同步	18
2、数据开发	19
3、数据资产	19
4、数据服务	19
5、典型数据中台产品	20
（九）数据可视化，让数字化价值看得见	20
1、数据看板	21
2、数字驾驶舱	23
3、孪生驾驶舱	25
4、可视化项目方法论：五步法	27
5、典型数据可视化产品	32
三、产业元宇宙：数字孪生的三重世界	34
（一）数字孪生世界	37
（二）数字原生世界	38
（三）数字增强世界	39
四、数字孪生世界：重点行业与典型案例	41

（一）数字孪生世界方法论：V 模型	41
（二）数字孪生城市	43
1、大型综合交通枢纽数字孪生智治应用	48
2、数字孪生赋能智慧港口数字化	54
3、城市智慧停车云脑数字孪生	58
4、数字孪生量子城域网	62
5、景区数字孪生运营大脑	67
6、数字孪生重大赛事智慧场馆	74
（三）数字孪生工厂	79
1、创奇智慧工厂车间孪生驾驶舱	81
2、智慧农业稻米加工厂	84
（四）数字孪生流域	88
1、宁波智慧水利整体智治综合应用	91
2、双溪口水库智慧水利数字化系统	94
（五）数字孪生双碳	96
1、低碳冬奥监测与供电保障	97
2、智慧风电智能化运维	102

3、区域综合能源数智大脑	106
(六) 更多行业的探索	110
1、浙大智慧校园	110
2、武汉市创新地图	115
参考文献	124

一、数字孪生：概念与展望

（一）数字孪生概念

百度百科中的数字孪生 (Digital Twin)¹ 定义，是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。数字孪生是一种超越现实的概念，可以被视为一个或多个重要的、彼此依赖的装备系统的数字映射系统。这个定义基本上道出了数字孪生的本质是基于物联网、传感器、模型、数据、映射、仿真多学科技术的集成应用，核心要解决的是设备全生命周期的管理。

从这个定义也可以看出，数字孪生最初是基于设备全生命周期管理场景提出的，着眼点是物理设备的数字化。将这个概念进一步泛化，可以将物理世界的人、物、事件等所有要素数字化，在网络空间再造一个一一对应的虚拟世界，物理世界和虚拟世界同生共存、虚实交融，万物皆可数字孪生。

数字孪生的概念示意图如下所示：

¹ <https://baike.baidu.com/item/数字孪生/22197545>

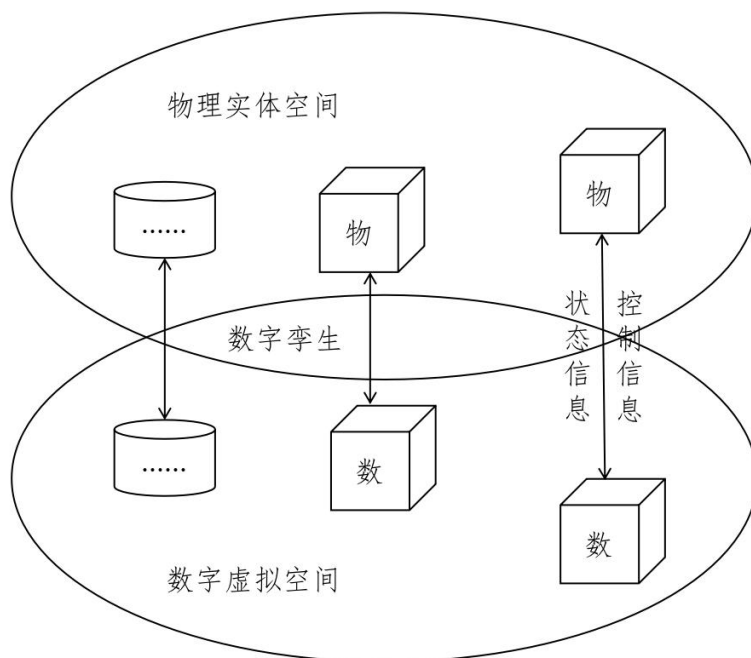


图 1.1 数字孪生概念示意

(二) 数字孪生起源

数字孪生最初源于 2003 年由 Grieves 教授在美国密歇根大学产品生命周期管理课程上提出的“与物理产品等价的虚拟数字化表达”的概念，当时被称作“镜像空间模型”，其定义为包括实体产品、虚拟产品及两者之间连接的三维模型 (Grieves, 2005)，但是直到 2011 年，Grieves 教授才在书中明确应用了“数字孪生体”一词 (Grieves, 2011)。

数字孪生技术早期主要被应用在军工及航空航天领域。2010 年，美国国家航空航天局 (NASA) 在太空技术路线图中首次引入数字孪生的概念，开展了飞行器健康管控应用；2011 年，美国空军研究实验室 (AFRL) 明确提出面向未来飞行器的数字孪生体规范，指出要基于飞行器的高保真仿真模型、历史数据和实时传感器数据构建飞行器的完整虚拟映射，以实现对飞行器健康状态、剩余寿命及任务可达性的预

测 (Tuegel, Ingraffea, Eason, et al, 2011); 美国洛克希德·马丁公司将数字孪生引入到 F-35 战斗机生产过程中, 用于改进工艺流程, 提高生产效率与质量 (孟松鹤, 叶雨玫, 杨强, 等, 2020)。

2006年, 美国国家科学基金会 (NSF) 的 Helen Gill 用“信息物理系统” (Cyber physical system, CPS) 一词来描述传统的 IT 术语无法有效说明的日益复杂的系统。通过计算、通信和控制 (3C) 的集成和协作, CPS 提供实时传感、信息反馈、动态控制等服务, 通过这种方式, 信息世界与物理过程高度集成和实时交互, 以便以可靠、安全、协作、稳健和高效的方式监控物理实体。CPS 更多被定义为计算和物理过程的集成, 已经成为工业互联网和工业 4.0 的核心概念。数字孪生是构建和实现 CPS 的必要基础, 可以提供更加直观和有效的手段, 通过“状态传感、实时分析、科学决策和精确执行”的闭环促进智能制造的发展 (陶飞, 戚庆林, 王力翬, 等, 2019)。

中国信息通信研究院认为数字孪生城市是新型智慧城市建设的起点, 是城市实现智慧的重要设施和基础能力, 是城市信息化从量变走向质变的里程碑², 并从 2018 年开始每年发布数字孪生城市研究报告 (白皮书), 极大的推进了数字孪生城市的概念被广泛接受。数字孪生城市的提出, 也让数字孪生从小尺度的工业设备场景演进到了大尺度的城市复杂场景。

Gartner 自 2016 年起连续多年将“数字孪生”列为未来十大战略技术之一。Gartner 认为数字孪生体是“物理世界实体或系统的数字代表, 在物联网背景下连接物理世界实体, 提供相应实体状态信息, 对变化做出响应, 改进操作, 增加价值”。由于数字孪生具备虚实融合与实时交互、迭代运行与优化、以及全要素/全流程/全业务数据驱动等特点, 目前已被应用到产品生命周期各个阶段, 包括产品设计、制造、服务与运维等。未来世间万物都将拥有其数字孪生体, 并且通过物联网彼此关联, 创造出巨大的价值。

² CAICT 中国信通院: 《数字孪生城市研究报告 (2018 年) 》, 2018 年 12 月发布。

(三) 数字孪生五维模型

数字孪生的首要任务是创建应用对象的数字孪生模型。Grievess 教授最初定义了数字孪生三维模型，即物理实体、虚拟实体及二者间的连接。北京航空航天大学数字孪生技术研究所在数字孪生三维模型的基础上，增加了孪生数据和服务两个新维度，使数据孪生可以进一步在更多领域落地应用（陶飞，刘蔚然，张萌，等，2019）：

$$MDT = (PE, VE, Ss, DD, CN)$$

其中：PE 表示物理实体，VE 表示虚拟实体，Ss 表示服务，DD 表示孪生数据，CN 表示各组成部分间的连接。

根据上式，数字孪生五维模型结构如下图所示：

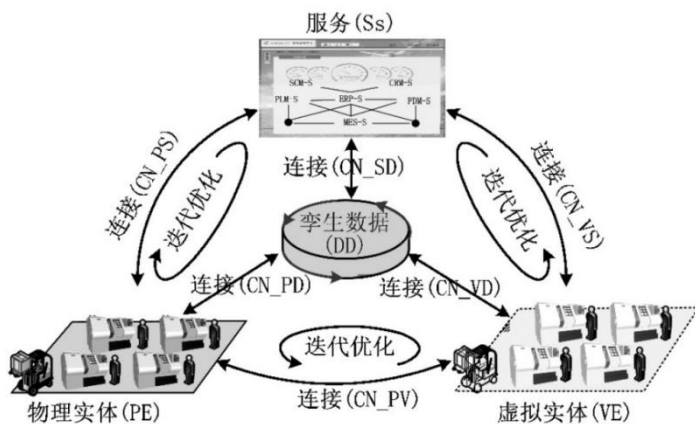


图 1.2 数字孪生五维模型

资料来源：《数字孪生五维模型及十大领域应用》

1、物理实体 (PE)

物理实体是数字孪生五维模型的基础，主要包括各子系统具备不同的功能，共同支持设备的运行以及传感器采集设备和环境数据。对物理实体的准确分析与有效维护是建立数字孪生模型的前提。

2、虚拟实体 (VE)

虚拟实体模型包括几何模型、物理模型、行为模型和规则模型，从多时间尺度、多空间尺度对物理实体进行描述和刻画，形成对物理实体的完整映射。可使用 VR 与 AR 技术实现虚拟实体与物理实体虚实叠加及融合显示，增强虚拟实体的沉浸性、真实性及交互性。

3、服务 (Ss)

服务对数字孪生应用过程中面向不同领域、不同层次用户、不同业务所需的各类数据、模型、算法、仿真、结果等进行服务化封装，并以应用软件或移动端 App 的形式提供给用户，实现对服务的便捷与按需使用。

4、孪生数据 (DD)

孪生数据是数字孪生的驱动，集成融合了信息数据与物理数据，满足信息空间与物理空间的一致性与同步性需求，能提供更加准确、全面的全要素/全流程/全业务数据支持。

5、连接 (CN)

连接模型包括连接使物理实体、虚拟实体、服务在运行中保持交互、一致与同步以及连接使物理实体、虚拟实体、服务产生的数据实时存入孪生数据，并使孪生数据能够驱动三者运行。

（四）数字孪生与数字经济

2020 年 4 月 10 日，国家发展改革委和中央网信办联合发布《关于推进“上云用数赋智”行动培育新经济发展实施方案》，将数字孪生提到了与大数据、人工智能、5G 等并列的高度，成为新的数字化基础设施。

2021 年 3 月，国家《“十四五”规划纲要》明确提出要“探索建设数字孪生城市”，为数字孪生城市建设提供了国家战略指引。此后，国家陆续印发了不同领域的“十四五”规划，为各领域如信息技术、工业生产、建筑工程、水利应急、综合

交通、能源安全、城市发展等如何利用数字孪生技术促进高质量发展做出了战略部署。

2022年1月，国务院印发的《“十四五”数字经济发展规划》中指出：数字经济是继农业经济、工业经济之后的主要经济形态，是以数据资源为关键要素，以现代信息网络为主要载体，以信息通信技术融合应用、全要素数字化转型为重要推动力，促进公平与效率更加统一的新经济形态。数字经济正在推动生产方式、生活方式和治理方式的深刻变革，成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。发展数字经济是把握新一轮科技革命和产业变革新机遇的战略选择。

数字经济可以分为产业数字化和数字产业化。产业数字化方面，要加快重点行业数字化转型提升工程，发展智慧农业和智慧水利，开展工业数字化转型应用示范，加快推动工业互联网创新发展，提升商务一领域数字化水平，大力发展智慧物流，加快金融、能源等领域的数字化转型；数字产业化方面，要增加关键技术创新能力，补齐关键技术短板，强化优势技术供给，抢先布局前沿技术融合创新。要提升核心产业竞争力，加快培育新业态新模式。

数字孪生技术无疑是符合数字产业化趋势的前沿和关键数字技术，也是新型智慧城市和数字乡村建设、产业园区数字化建设、工业数字化转型、新型智慧水利建设、能源数字化升级等各个重点产业数字化领域应用融合创新的基础设施之一。

二、数字孪生技术：数字化基础设施

中国信通院在数字孪生城市白皮书中指出，数字孪生的本质是技术集成³。数字孪生的实现需要依赖诸多基础数字技术的融合创新，这正是这些基础数字技术的蓬勃发展，数字孪生才有机会从小尺度到大尺度都有了更多的应用场景，并变成了新的融合贯通式的数字化基础设施。

（一）物联网

物联网 (Internet of Things, IoT) 是通过智能传感器、射频识别设备 (RFID)、卫星定位系统等信息传感设备，按照约定的协议，把各种设备连接到互联网进行数据通信和交换，以实现对设备的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

2005 年国际电信联盟 (ITU) 在突尼斯举行的信息社会世界峰会 (WSIS) 上正式确定了“物联网”的概念，并随后发布了《ITU Internet reports 2005 — the Internet of things》，介绍了物联网的特征、相关的技术、面临的挑战和未来的市场机遇。

物联网的技术构成主要包括感知与标识技术、网络与通信技术、计算与服务技术及管理支撑技术四大体系。感知和标识技术是物联网的基础，负责采集物理世界中发生的物理事件和数据，实现外部世界信息的感知和识别，包括多种发展成熟度差异性很大的技术，如传感器、RFID、二维码等；网络是物联网信息传递和服务支撑的基础设施，通过泛在的互联功能，实现感知信息高可靠性、高安全性传送；海量感知信息的计算与处理是物联网的核心支撑，服务和应用则是物联网的最终价值体现；管理支撑技术是保证物联网实现“可运行-可管理-可控制”的关键，包括测量分析、网络管理和安全保障等方面（孙其博，刘杰，黎彝，等，2010）。

物联网是将物理世界进行数字化连接，实现实时感知控制能力的“最后一公里”式的基础设施。

³ CAICT 中国信通院：《数字孪生城市白皮书（2021 年）》，2021 年 12 月发布。

（二）5G 通信网络

5G 即第五代移动通信技术，具有高速率、低时延和大连接特点的新一代宽带移动通信技术，是实现人机物互联的网络基础设施。国际电信联盟 (ITU) 定义了 5G 的三大类应用场景，即增强移动宽带 (eMBB)、超高可靠低时延通信 (uRLLC) 和海量机器类通信 (mMTC)。

5G 具有大容量、高速率、低延时和高移动性等典型特性（沈洲，安岗，余明明，2019）。

1) **高速率**。单用户峰值速率超过 1Gbps，可满足工业等客户对于高速数据采集、传输需求，例如高清晰度视频信息的传输。

2) **低时延**。超高可靠与低时延的通信，可将传输时延控制在 10ms(R15 版)，甚至在 1ms (R16 版本) 之内，可以满足工业场景下的实时控制类应用。有专家甚至认为，未来 5G 的应用 80%将集中在工业场景。

3) **大容量**。可提供 1 平方公里范围内超过百万设备的海量连接能力，为万物互联提供通信基础。

4) **移动性**。发挥移动通信无线及漫游切换的优势，为生产区域的无线化、动态化、个性化、广域化发展趋势提供可靠的网络保障。

5G 为工业互联网、物联网和数字孪生提供了海量设备的高带宽低延时双向通信能力，有了这个通信能力，才能真正的实现万物互联和实时感知控制。

（三）云计算

云计算 (Cloud Computing) 是网格计算、并行计算、网络存储等传统计算机技术和网络技术发展融合的产物，是一种新型的数据密集型的超级计算方式，运用了虚拟化技术、数据存储技术、数据管理技术、编程模型等关键技术（罗茂兴，2019）。

1) **虚拟化技术**。虚拟化是针对计算元件的运行基础而言,区别于原始计算模式,云计算主要以虚拟基础作为运行基础而不是真实硬件基础,能够更好的了解用户需求,更快的整合资源信息,同时也提高了资源利用率、运行系统的可靠性和自愈性。

2) **数据存储技术**。云计算在数据储存方面主要采用分布式储存的方式。分布式储存是较为灵活的储存方式,主要是冗余储存,将同一份数据储存多个副本,具有安全性和可靠性特点。

3) **数据管理技术**。要想用户能够体会到高效、快捷的服务体验,关键的步骤是对储存信息进行科学管理,目的是使用户能够在大量数据库中快速找到自己想要的信息,由此基础上发展出了大数据技术。

4) **编程模型**。云计算中的编程模型不需要太复杂,这样反而不利于后台任务的并行执行。简单、易操作是云计算中编程模型的主要特点。

云计算是一种新型的按需付费的商业模式,将硬件、平台以及软件作为服务通过互联网提供给用户。使用云计算服务时,用户无需配置昂贵的硬件和复杂的软件系统,也不需要关心数据存储的位置,可以像电一样可以即插即用。

云计算的快速发展,为各行各业提供了分布式可扩展的数据存储和计算能力,有效整合了各类设计、生产和市场资源,促进产业上下游的高效对接和协同创新,大幅度降低建设投入成本和数字化技术门槛,使得技术资源配置方式发生了重大变革。云计算可以说是数字化改革最重要的底层技术基础设施。

(四) 人工智能

2017年7月中国发布的《新一代人工智能发展规划》,提出人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力,将进一步释放历次科技革命和产业变革积蓄的巨大能量,并创造新的强大引擎,重构生产、分配、交换、消费等经济活动各环节,形成从宏观至微观各领域的智能化新需求,催生新技术、新产品、新产业、新业态、新模式,引发经济结构重大变革,深刻改变人类生产生活方式和思维模式,实现社会生产力的整体跃升。

人工智能已经从早期的模仿人类，单一的单机智能转变为数据驱动，基于网络协同的系统。基于云计算和大数据基础设施之上，人工智能将成为未来智能时代最重要的数字生产力。在线化、数字化、智能化也是走向未来智能时代的必由之路。

数字孪生世界的构建必然要依赖于人工智能的发展。技术方面，人工智能为数字孪生体运行过程中提供了诊断、预测、决策等核心支撑，构成了数字孪生信息中枢的智能引擎。价值方面，人工智能的价值一定更多体现在多跨场景应用中，最终为用户带来便捷和体验升级。

（五）建模仿真

仿真是理论和实验之外认识世界的第三种手段，可以不受时空的限制，观察和研究已经发生或者尚未发生的现象，极大的拓展了人类认识和改造世界的能力。对于一些负载系统或者特殊领域而言，建模仿真技术可以发挥独特的作用，有时候甚至是唯一的手段。数字孪生技术从某个角度也可以说是一种在线数字建模仿真技术。

构建数字孪生的第一步是创建高保真的数字孪生体虚拟模型，真实的再现物理实体的几何图形、属性、行为和规则等。数字孪生体模型不仅要在几何结构上与物理实体保持一致，更重要的是要能模拟物理实体的时空状态、行为、功能等。当前，大多数仿真建模方法都存在灵活性差、配置复杂易出错等缺陷，要实现高置信度的数字孪生体模型，还需要在高保真建模仿真技术上取得进一步发展。

（六）GIS

GIS (Geographic Information System) 是在计算机软硬件系统支持下,对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。

GIS 的概念最早在 1963 年就已经出现，1965 年加拿大建成世界上第一个 GIS。由于迅速增长的三维空间信息需求和新兴智能技术的发展，人们不仅需要精确的地

理位置服务，还对现实空间的三维模拟产生了向往。所以，三维 GIS 成为了目前 GIS 领域中的研究主流。三维 GIS 有着良好的优势来替代传统的二维 GIS，其打破了二维 GIS 在空间信息表达中的缺陷，能够在现实的三维空间中对城市中的各个部分和细节进行精准的刻画，促进城市的数字化、信息化和智能化发展。

（七）BIM

BIM (Building Information Modeling) 是继 CAD 之后整个工程建设领域的第二次数字革命，对建筑行业的生产组织模式和管理方式产生了深远的影响。BIM 的核心是通过建立虚拟的建筑工程三维模型，利用数字化技术，为这个模型提供完整的、与实际情况一致的建筑工程信息库。该信息库不仅包含描述建筑物构件的几何信息、专业属性及状态信息，还包含了非构件对象（如空间、运动行为）的状态信息。

简单的说，BIM 是建筑设施物理和功能特性的数字化表达。基于 BIM 技术，可以将建筑设施的各种信息集成在模型要素上，构建出建筑的数字孪生体。无论是效率上还是数据上，都带来了极大的便利性。

2011 年住建部发布了《2011-2015 年建筑业信息化发展纲要》，首次将 BIM 技术纳入建筑信息化的标准中（王建翔，胡蔚，2021）。并在 2015 年和 2016 年相继推出《关于推进建筑信息模型应用的指导意见》、《2016-2020 年建筑业信息化发展纲要》，再次明确 BIM 成为“十三五”建筑业重点推广的包括 BIM、大数据、智能化、移动通讯、云计算等五大信息技术之首。

1、BIM 相关标准

在建筑信息模型领域，关于数据的基础标准一直围绕着三个方面进行，即：数据语义 (Terminology)、数据存储 (Storage) 和数据处理 (Process)。由国际 BIM 专业化组织 buildingSMART 提出，并被 ISO 等国际标准化组织采纳，上述三个方面逐步形成了三个基础标准，分别是工业基础分类 IFC，信息交付手册 IDM 和国际语义字

典框架 IFD。中国于 2008 年加入 buildingSMART 并成立了中国分部 (buildingSMART China Chapter, bSC)，主席会员单位为中国建设科技集团股份有限公司下属子公司中国建筑标准设计研究院有限公司。

IFC 是建筑行业中认可程度最高范围最广的标准，主要是对于国际间进行数据交互的格式确立的一致标准。在大部分的国际行业协会或者是国家中，都在 IFC 标准的基础上，积极地制定 BIM 的实施规范。对应国际标准为 ISO16739。

IDM 是在交换过程中，对模型的每个阶段以及不同的构建对象，所采用的信息的不同类别以及使用的方法，对应的国际标准为 ISO29481-1 和 ISO29481-2。

IFD 主要目的是对信息的各种名称及称谓进行标准格式的统一，并且对于每一个有关系的信息进行标识码 GUID 的设置，对应的国际标准为 ISO12006-3。

根据住房和城乡建设部建标[2012]5 号文《关于印发 2012 年工程建设标准规范制订修订计划的通知》，立项了 5 项有关 BIM 的国家标准。根据住房和城乡建设部建标[2014]189 号文《关于印发 2015 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》，立项编制 1 项行业标准。具体如下表所示。

表 2.1 国内 BIM 标准

标准类别	标准名称	标准号
国家标准	《建筑信息模型应用统一标准》	GB/T51212-2016
国家标准	《建筑信息模型施工应用标准》	GB/T51235-2017
国家标准	《建筑信息模型分类和编码标准》	GB/T51269-2017
国家标准	《建筑信息模型设计交付标准》	GB/T51301-2018
国家标准	《制造业工程设计信息模型应用标准》	GB/T51362-2019
行业标准	《建筑工程设计信息模型制图标准》	JGJ/T 448-2018

2、典型 BIM 产品

● Revit

Revit 是用于建筑、结构、机电设计和建模的 BIM 软件，出自 Autodesk 公司。既可以对城市规划、场地景观、建筑工程，也可以对铁路、公路、桥梁、桥墩和挡土墙等土木工程结构进行建模，还支持管道、水处理、垃圾处理等工程等建模，是我国建筑业 BIM 体系中使用最广泛的软件之一。

● BDIP

BDIP (Building data integrate platform，建筑数据集成平台)是由毕埃慕公司开发的一款基于 BIM 模型为核心，涵盖规划、设计、招采、施工、验收、运维全过程的管理系统。BDIP 平台支持业主单位、咨询单位、监理单位、施工单位等参建各方的内部管控和外部项目协同管理，自身具备完善的企业管理模块，帮助企业从无到有建立信息化管控体系。同时具备 GIS、AI、IoT、ERP、智慧工地等系统的丰富接口，为已经建立信息化管理体系的企业升级扩展。

BDIP 平台的价值在于可以充分发挥 BIM 模型为数据载体的项目全过程管理，BIM 模型始终作为管理核心承载个阶段管理数据，并为下一阶段管理应用提供上一阶段的结果作为管理依据，直至项目结束后，成为企业内部的数字资产，不断积累经验数据，为后续项目的应用提供依据。

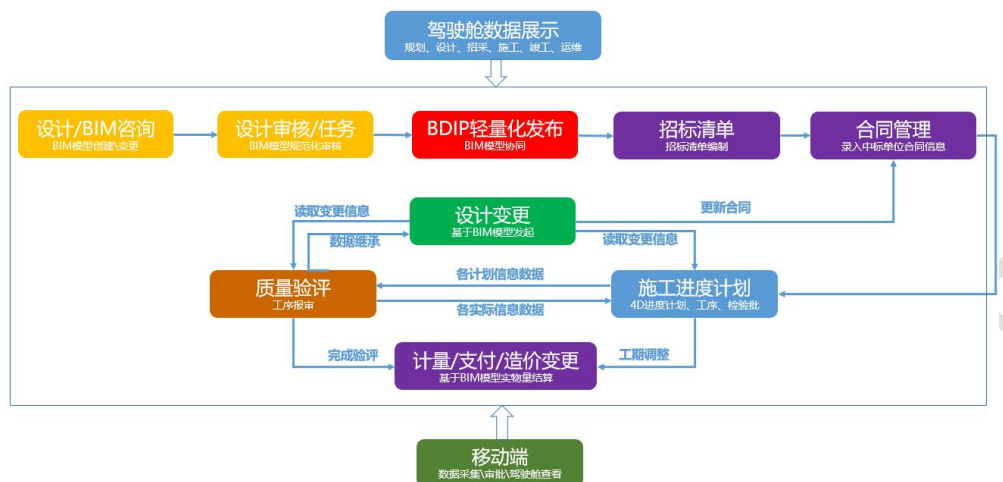


图 2.1 设计-招采-施工-竣工阶段的 BIM 数据流转流程

基于 BDIP 的数字资产和轻量化 BIM 模型工具，结合 EasyV 低代码数字孪生可视化平台，可以轻松实现基于 BIM 的数字孪生驾驶舱，为运营管理阶段提供看得见的数字化价值。



图 2.2 基于 BDIP 数字资产实现轻量化 BIM 数字孪生驾驶舱

（八）大数据与数据中台，数据融通的新基建

大数据是在互联网快速发展的环境下诞生的，具有体量大、异构多源、时效性强的特征。大数据技术的不断成熟，使得全域融合打通各种各样的“数据孤岛”成为可能。将全域海量的异构多源数据集中存储、统一治理并对外提供共享服务，是互联网行业中实践出来的数据中台架构的本质能力，也是一体化智能化公共数据平台在政府数字化改革中的中枢价值体现。

数据中台作为中国企业提出的新概念，近几年陆续有一些文章尝试从不同的角度来定义数据中台。缪翀莺等认为，数据中台从本质上来看，是一种新的数据思路：通过数据治理实现数据资产化，数据通过服务共享实现数据服务化，构建统一的数据处理中间平台，打通业务和数据，减少传统烟囱式的信息化冗余建设，增加共享和复用能力，快速的响应业务需求，实现数据驱动业务创新（缪翀莺，谭华，易学明，2019）。也有一种观点认为，数据中台可以理解成一种基于数据界面的架构，通过数据技术从应用界面将数据复制到数据界面，进行清洗建模形成数据资产，然后对应用界面的系统提供统一的标准服务（李巍巍，2019）。

数据中台的概念不仅包含技术和工具，也涉及到管理理念和组织变革。随着行业实践的不断深入，数据中台概念和定义也还在不断更新迭代。浙江大学王重鸣教授在《管理心理学》中提出，通过“中台结构”实现组织协同和分布式治理模式，对于数字化、多业务的平台型组织来说，是组织设计的一种变革创新实践（王重鸣，2021）。

数据能否产生价值是很多组织关心的问题。当前社会已经进入数字经济时代，很多企业都面临数字化转型，政府也在积极推进数字化改革。数字化转型和数字化改革不仅仅要解决数据量爆发式增长带来的技术挑战和成本压力，更重要的是如何管理、治理并利用数据为组织带来更多的价值。相对于传统的信息化系统来说，数据从产生到价值化的链路是比较长的，要构建高效的数据平台和数据应用系统，需

要解决数据在采集、同步、存储、清洗、加工、挖掘、服务、应用等数据价值化链条上各个环节的挑战。

数据中台概念的提出，就是希望基于新的分布式技术和数据化管理理念，帮助企业更好的解决这些挑战。数据中台涉及到的技术链条非常长，需要进行合理的分层架构设计，并且站在全域的角度统一数据建模，通过共享的公共数据服务避免垂直烟囱式架构带来的重复建设和数据孤岛问题。数据中台，也可以说是一种构建全域化、规范化、实时化、智能化的数据处理架构（李巍巍，2019），目标是为前台的数据应用提供高效的数据共享服务能力，降低数字化应用创新试错的成本。

中台概念，主要包括业务中台和数据中台。简单来说，业务中台聚焦于传统的 OLTP 领域，关注的是业务域的共享和复用能力，数据中台则更关注 OLAP 领域，关注的是分析域的共享和复用能力。

业务中台强调的是在云原生分布式中间件技术基础上，针对业务系统抽象出各个业务域的共享服务中心，以微服务的方式对前端业务界面应用提供服务，赋能前端业务界面应用快速创新试错。在“共享”和“复用”方面，业务中台和数据中台的理念是一致的。

企业在业务中台建设好以后，可以为数据中台提供更加一致的业务数据源。通过业务中台的架构，既可以解决面向最终消费者的高并发业务系统的需求，也可以有效解决业务源数据的一致性问题，降低数据中台对源数据进一步清洗加工和映射的成本。

但数据中台对业务中台并不是一种强依赖关系，企业建设数据中台并不需要以业务中台为先决条件。如果前端业务系统没有按照业务中台的方式建设，而是传统的烟囱式架构，那么源数据进入数据中台以后，就需要花费更大的成本完成清洗加工和映射处理，以确保得到企业全域视角下的统一数据和口径。

数据中台中的数据通过资产化处理以后，可以对外提供服务来体现其价值。这些服务可以被业务应用和数据应用更便捷的调用，在应用中又会产生新的数据，成为新一轮数据循环的源数据。

数据在业务中台、数据中台和数据智能应用之间流转的关系，可以简单的用如下图所示来说明：

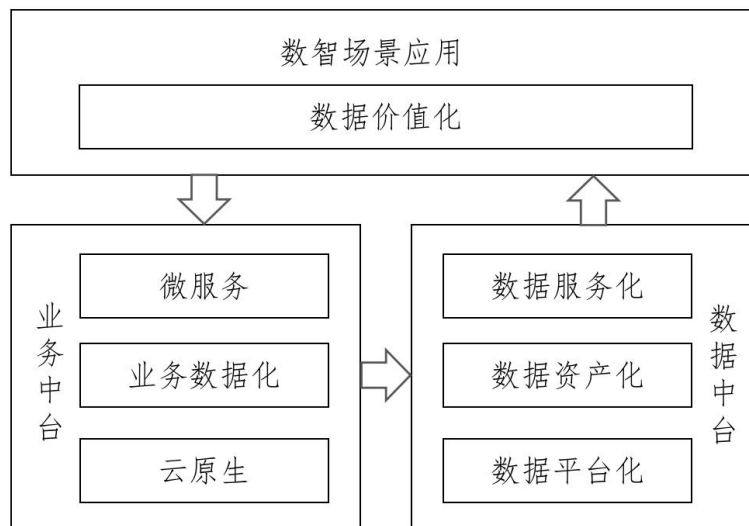


图 2.3 业务中台、数据中台和数智场景应用之间的关系

从逻辑架构上来说，数据中台可以分成三层架构：数据平台化、数据资产化和数据服务化，其中每一层又可以细分为不同的功能模块，如下图所示：

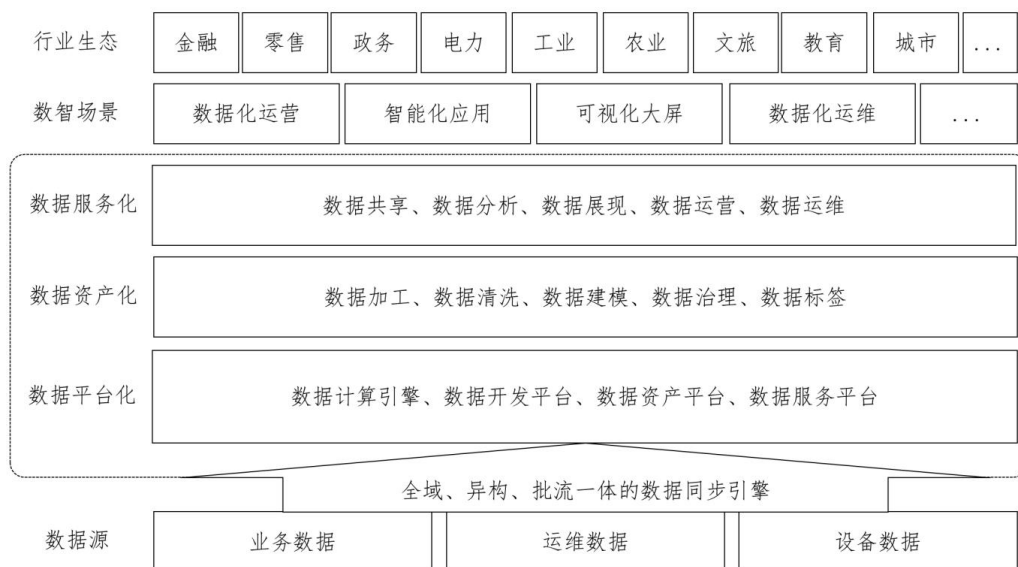


图 2.4 数据中台典型架构

1、数据同步

数据中台的目标是对全域数据进行资产化和服务化处理，包括并不限于业务数据、运维数据和设备数据等。这些数据来源多样，结构各异。因此，针对全域异构数据的采集，需要一个分布式批流一体的数据同步引擎，这个同步引擎最好支持插件式架构，可以针对新的数据源快速的定制开发读写插件，以满足新的异构数据源的接入。数据同步引擎的任务是解决好数据从源端到数据中台的通路问题，这是数据中台建设的第一步。

2、数据开发

数据平台化提供了从数据存储和计算、数据开发、数据资产到数据服务的云原生一站式技术平台。数据平台化为企业落地数据中台提供了一整套标准的生产力工具，降低了实施数据中台的技术难度和成本。

数字平台主要提供了计算和存储能力。对于数据处理和数据治理来说，统一的数据开发工具是降本增效的关键，也是数据中台最核心的入口级工具，根据不同的场景可以进一步区分为离线数据开发、实时数据开发和智能算法开发。

3、数据资产

数据资产化涵盖了数据加工、清洗、建模、标签化等全方面沉淀数据资产的方法和过程，是构建数据中台的核心环节。从相对混乱无序的源数据，到清晰可用的数据资产，这个过程需要大量的人力、物力和财力进行持续的数据治理。数据资产化不是静态的一次性项目，更需要动态的持续运营。

4、数据服务

数据服务化基于数据资产构建统一标准的服务能力，是企业建设数据中台的价值体现。数据作为企业的核心资产，在对外服务的过程中，需要有细粒度的安全管控，详细的使用日志和高效的服务能力。这些都需要构建数据服务平台来落地。比如数据共享 API，提供了将资产数据通过配置的方式对外提供微服务的能力，涵盖了从使用方申请，提供方审批和使用过程中管控的整体解决方案，可以加速数据资产对业务和伙伴的开放能力建设。

5、典型数据中台产品

数栈 DTinsight 是袋鼠云打造的云原生一站式大数据开发治理平台。围绕“数据平台化、数据资产化、数据服务化”三大核心能力，覆盖数据同步、离线开发、实时开发、算法开发、数据资产、数据服务、智能标签、指标管理等整个数据中台生命周期，能够使企业快速高效建设自主可控的数据中台基础设施、构建全域数据共享中心。作为业内典型的独立第三方数据中台产品，数栈 DTinsight 具备云原生、信创兼容、湖仓一体、批流一体、金融级安全、多集群兼容及跨云能力等特点。



图 2.5 数栈 DTinsight 产品总体架构

(九) 数据可视化，让数字化价值看得见

数据可视化，是近年来大数据领域各界关注的热点，属于人机交互、图形学、图像学、统计分析、地理信息等多种学科的交叉学科。

在信息管理、信息系统和知识管理学科中，最基本的模型是“数据、信息、知识、智慧” (Data, Information, Knowledge, Wisdom, DIKW) 层次模型。在 DIKW 模型所定义的数据转化为智慧的流程中，可视化借助于人眼快速的视觉感知和人脑的智

能认知能力，可以起到清晰有效地传达、沟通并辅助数据分析的作用。数据可视化技术综合运用计算机图形学、图像处理、人机交互等技术，将采集或模拟的数据变换为可识别的图形符号、图像、视频或动画，并以此呈现对用户有价值的信息（陈为，沈则潜，陶煜波，2019）。通过对可视化的感知，可以提高阅读和理解数据的效率。使用可视化交互工具如 EasyV 等可以进行更有效率的数据分析，获取知识，并进一步提升为智慧，让数字化价值看得见。

常见的数据可视化从应用场景及构建的复杂度两个视角看，大体可定义为「数据看板」、「数字驾驶舱」、「孪生驾驶舱」三大类型，其特征及对应使用场景如下：

1、数据看板

主要通过常见数据图表、指标型组件、边界轮廓型地图，以精炼简洁的形式对核心业务指标、关键信息进行描述，聚焦于核心的 1 个目标，帮助使用者理解作业进程、洞察业务趋势、快速发现问题，同时也能通过数据的公开和呈现有效的共享信息。

主要特征

- 多以独立的单页面可视化应用为主（或称仪表盘）
- 主要由二维数据图表、轮廓型地图等常用可视化组件构成
- 多通过日常办公电脑、移动设备承载
- 简单、高效呈现关键数据指标

应用场景

1) 业务监控

业务监控是数据看板比较主流的应用场景。通过数据看板大屏，使用者可实时获取关键数据，了解业务进程，洞察发展趋势，甚至发布业务预警。



图 2.6 业务监控数据看板

2) 数据对比分析

分析型数据看板是借助数据可视化能力，洞察实际数据与预期数据间的差异，帮助业务部门分析导致异常的细节点、直击核心问题。



图 2.7 分析型数据看板

2、数字驾驶舱

数字驾驶舱是主要供管理层使用的「一站式」决策支持的管理信息中心系统。管理人员在数字驾驶舱里可以一目了然观察到所有做决策时需要的重要数据。就像架势飞机时所用的仪表盘，它以驾驶舱的形式，通过各种常见的图表形象标示企业运行的关键指标 (KPI)，直观的监测组织运营情况，并可以对异常关键指标预警和分析。

主要特征

- 整体统一的，需要包括大量的、多种维度的数据组合来统一展示业务全貌。
(可以理解为由多个数据看板为基础进一步组合、完善而成)
- 更多交互如多层级下钻等操作
- 多由特定场合下(如汇报室、指挥中心等)，通过大型屏幕显示

应用场景

1) 战略驾驶舱

主要是让使用者快速掌握企业的运营情况，并据此快速做出决策，对过去做出总结或是对未来拟定战略性目标。



图 2.8 战略驾驶舱

2) 分析型驾驶舱

分析型驾驶舱包含了关于多因素及变量之间的基于时间变化的细节对比，主要是让管理者不仅可以看到表层的信息，还可以深入探究表层现象发生的原因。通过钻取联动过滤等操作，从现象出发，沿着数据的脉络去寻找原因。



图 2.9 分析型驾驶舱

3) 指挥运营中心

强调持续、实时的信息汇报。所以对数据的时效性比较高。用于监控关键指标，如发现异常可第一时间告警，并下发调度指令，如防汛指挥调度、城市智能运营中心 IOC 等。

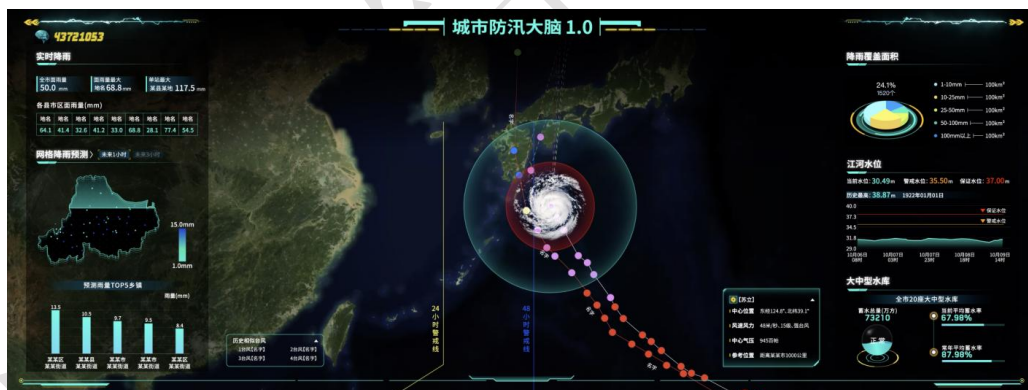


图 2.10 指挥运营中心驾驶舱

3、孪生驾驶舱

采用实时渲染的三维可视化方式让用户在驾驶舱内，一屏总览、总控，不仅可以实时查看对应物理实体的运行状态，还可以发送指令对物理实体进行反向控制，使得线下设备信息与线上展示融为一体。

可以简单理解为三维场景的实时渲染，融合了真实世界运行的数据，形成所见即所得的“数字克隆体”。

主要特征

- 通常需要 GIS+BIM+3D 模型+数据融合，进行实时可视化渲染
- 场景效果复杂，对终端设备配置有特定要求，多由特定场合下（如监控室、指挥中心等）通过大型屏幕显示

应用场景

1) 数字孪生城市驾驶舱

通过构建城市物理世界与虚拟数字空间的一一对应、相互映射、协同交互的复杂巨系统，在虚拟空间中再造一个与物理城市对应的孪生城市，更直观、高效地为实体城市管理服务。



图 2.11 数字孪生城市驾驶舱

2) 数字孪生流域驾驶舱

以物理流域为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动，对物理流域全要素和水利治理管理活动全过程的数字化映射、智能化模拟，实现与物理流域同步仿真运行、虚实交互、迭代优化。



图 2.12 数字孪生流域驾驶舱

3) 数字孪生工厂驾驶舱

以产品全生命周期数据为基础，将车间三维高精度模型、工艺流程、设备属性、设备实时数据，以及工厂运营管理数据等进行融合，直观地展示生产车间的工艺流程，实现车间生产的远程控制管理，提高工厂的运营管理效能。

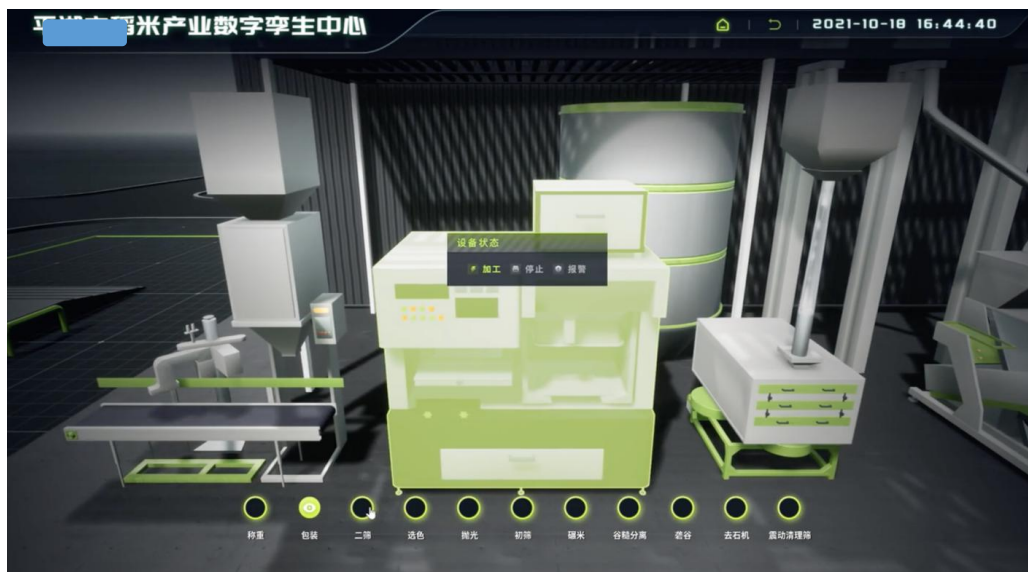


图 2.13 数字孪生工厂驾驶舱

4、可视化项目方法论：五步法

数据可视化的主流实现方式主要以「定制的图表设计、开发」、「BI 报表工具」、「低代码可视化搭建工具」3 种为主，以效率及效果的投入产出比来评判的话，低代码可视化搭建平台已经成为数据可视化项目的主要方式。

易知微基于自主研发的 EasyV 低代码可视化平台，在多年的数据可视化项目实践中，形成了一套成熟的可视化项目方法论，主要分为以下五个步骤：

第一步：数据探查&指标整理

在建设数据可视化项目之前，首要是探查数据并提炼关键指标，一般是建立在对业务指标的体系基础上，围绕数据可视化的主题，罗列出核心指标展示。

常用方法是通过场景化进行指标体系的构建，自上而下业务驱动指标体系建设，所以要在特定场景下做好指标体系建设，需要先选好指标，常用方法是指标分级方法。

主要是根据对应可视化项目的业务流程、目标、受众进行自上而下的指标分级，对指标进行层层剖析，主要分为一类、二类、三类。

且需在此环节明确好取数维度、取数来源（由于该几项都需准备时间，可提前张罗与下面几个设计步骤并行，节提升整体项目效率）。

责任人：数据分析师、产品/项目经理

产出物：指标清单（如下图所示）

模块一	模块二	模块三	模块四	指标	指标口径	时间维度	补充说明	数据来源
总览	大屏展示	基础数据	空气质量	PM2.5	PM2.5	近三日、实时		网上爬取
				PM10	PM10	实时		网上爬取
				PM10	PM10	实时		网上爬取
				PM10	PM10	实时		网上爬取
				PM10	PM10	实时		网上爬取
		环境数据	环境数据	PM2.5	PM2.5	近一个月		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
		环境数据	环境数据	PM2.5	PM2.5	近一个月		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
		环境数据	环境数据	PM2.5	PM2.5	近一个月		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台
				PM10	PM10	实时、昨日		导览平台

图 2.14 指标清单示例

第二步：主题故事线策划

指标整理完成即可进入到主题故事线策划环节，可简单理解为互联网产品交互设计的过程，根据搜集到的指标，通过草稿、界面化的方式回答“该可视化场景，是什么场景下？给什么人？解决什么问题？”三个问题，一般需要重点做到如下几点，帮助分析和理清思路：

- 拆分维度——将需求拆分到最小维度
- 确定优先——选择最佳数据来说明观点。
- 合并维度——对维度元素进行归类，化繁为简。
- 最佳表现——确定用哪种表现形式来体现数据。

责任人：需求分析师、产品经理

产出物：交互原型图（如下图所示）



图 2.15 交互原型图示例

第三步：可视化效果设计

以上两个步骤已将大部分指标分析、场景梳理工作都做敲定，该环节即通过数据组件来表达可视化大屏观看者传达的信息，主要是细节和感受的设计，可简单理解为互联网 UI 设计环节。

优先需要确定视觉风格，可参考如下：

- 紧张：通过数据的实时，组件动效的变化。
- 科技：采用新颖的图表，新颖的动效。
- 丰富：形成层数据丰富，丰富层次感，图表类型多，强烈的空间感。

进而，对每个数据的呈现组件的选择，知道每个数据代表什么，用什么可视化组件展现最好，例如，地图、TOP10、饼图、列表、数字，趋势等图表。但如果在所有的屏上都只放这些元素，展现上会缺乏很多心意，业务差别性也不好体现。所以需要每个需求再剖析和进一步个性化。

责任人：可视化分析师、模型师（按需）

产出物：可视化设计稿（如下图所示）

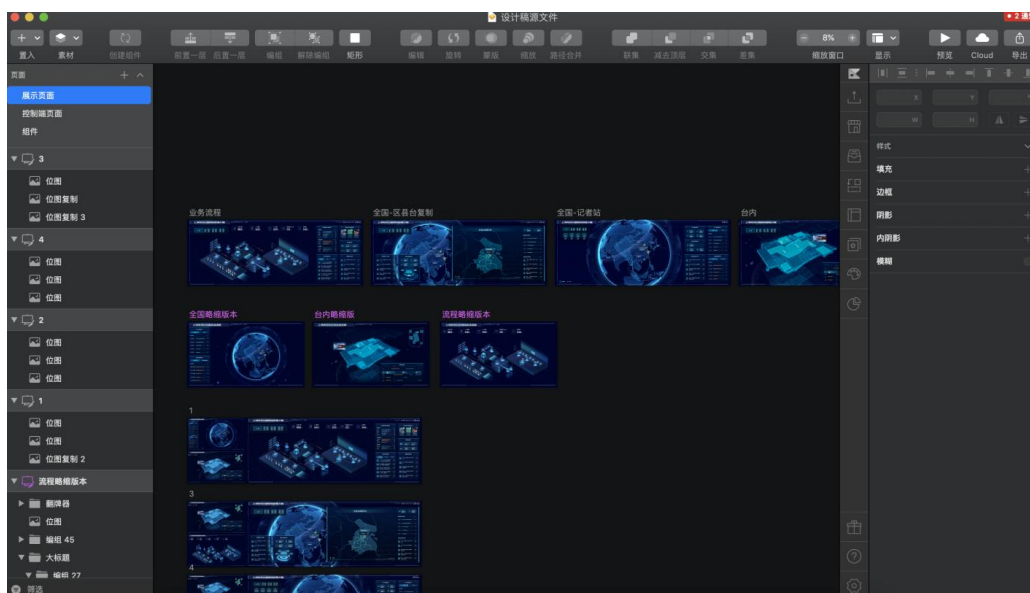


图 2.16 可视化设计源文件示例

第四步：可视化效果搭建

常规软件开发流程即前端开发还原效果图阶段，根据设计效果、切图，通过编程的方式对设计图纸逐步进行实现。

可视化及前端技术发展至今，低代码方式已趋于成熟，市面上类似 EasyV 平台等低代码可视化搭建工具已可有效取代绝大部分前后端定制开发工作。

可视化设计师根据低代码平台预置的可视化组件，通过调整组件样式配置项，对设计效果进行搭建还原后，再交由技术人员进行数据接入（或复杂组件的前端开发）。

责任人：可视化设计师

产出物：EasyV 可视化应用 URL



图 2.17 效果搭建环节示例

第五步：数据接入与发布

效果搭建完成后，针对需要接入动态数据的可视化组件，逐一进行数据接入，通过常见数据库或者 API 等返回数据结果过后，针对组件所需将相应字段进行映射即完成整个的项目配置流程，最后将项目发布成可以访问的 URL 即可。



图 2.18 数据接入示例

若需私有化部署可视化项目，则需在对应网络环境下准备好服务端所需虚拟机，进行本地化部署（项目在开发环境导出至生成环境上传即可）；

责任人：前端工程师、数据开发工程师、运维工程师（按需）

产出物：EasyV 可视化应用 URL

5、典型数据可视化产品

EasyV 是易知微自主研发的低代码数字孪生可视化分析平台，致力于将可视化、低代码和数字孪生技术相融合，将物理世界全方位的数字化，实现一个真实的可以实时感知和管理的数字增强世界。具备纯界面化操作、内置海量模板素材、在线实时数据接入、支持多形态交互、编辑孪生场景、架构灵活的特性，将相较于传统的孪生可视化建设方式，使用 EasyV 低代码开发、可视化维护，可降低 80%以上整体建设成本。



图 2.19 EasyV 低代码数字孪生可视化平台产品架构

EasyV 支持多类型数据源接入，包括 DTable、RDBMS、HTTP API、CSV 静态数据、三维模型数据、音视频流媒体等常见数据类型，且数据源插件化，可快速、

低成本拓展新数据源。提供数据过滤器、数据容器等功能，支持在线轻量化处理数据。

内置丰富的二三维组件，覆盖面广、可用度高，辅助多形态呈现数据。组件开放成熟、齐备的配置项，自定义程度高，且动效精致，视觉效果精美。集成常见第三方库，一键生成三方图表，支持动态数据接入和数据交互配置。支持用户通过自定义组件开发平台根据需求场景进行拓展开发自定义组件。产品提供海量模版、素材、模型，并打通各类型内容的使用链路，用户可通过现成内容快速调用，提升设计、开发和分析效率。

EasyV 引用设计领域成熟编辑概念，图形化拖拉拽操作、图层式管理、快捷键操作编辑，结合组件素材内容快速构建可视化应用。组件样式、数据接入、交互均通过配置项低代码实现，降低可视化开发人员门槛。支持与 Unity3D、UE、EasyTwin 渲染引擎双向通信，实现数据透传，图表交互，快速完成大型数字孪生场景的建设。

通过 EasyV 低代码数字孪生可视化分析平台构建可视化应用，整合全方位多维度各渠道数据，利用大数据、数字孪生等技术实现数字化管理、指挥中心、数字展厅场景。

Gartner 在 2022 年 4 月 25 号发布的《Market Guide for Analytics Platforms, China》报告中，EasyV 低代码数字孪生可视化分析平台和阿里云、百度云、帆软等友商的产品一起入选了增长最快的 ABI platform 领域的代表性供应商，充分证明了 EasyV 在可视化分析领域的产品竞争力。



Table 2: Representative Vendors in Chinese Analytics Platforms Market
(Enlarged table in Appendix)

Vendor Name	Analytics Platform Product	Market Segment
4Paradigm	4Paradigm Sage HyperCycle, 4Paradigm Marketing	AI and data science platform, ABI custom application
Alibaba Cloud	Quick BI, DataV, Machine Learning Platform for AI	ABI platform, AI and data science platform
Baidu Cloud	SugarBI, EasyDL	ABI platform, AI and data science platform
Beijing ZetYun Technology (DataCanvas)	DataCanvas APS, DataCanvas RT	AI and data science platform, ABI custom application
CaptainBI	CaptainBI	ABI platform, ABI custom application
Cennavi	MineData	Location intelligence platform
Chengdu Ruisi Business Intelligence Technology	Ruisi BI	ABI platform, enterprise reporting platform
Datayes	Datayes	ABI custom application
DTSSTACK	EasyV	ABI platform
ESENSOFT	ALL in One BI	ABI platform, enterprise reporting platform
FanRuan Software	FineReport, FineBI	ABI platform, enterprise reporting platform

图 2.20 EasyV 入选 Gartner 中国分析平台市场报告代表性供应商

三、产业元宇宙：数字孪生的三重世界

2021 年 8 月，显卡巨头英伟达 (Nvidia) 的一部纪录片爆出，在 4 月份的公司发布会上，其 CEO 黄仁勋的演讲片段中，有 14 秒融入了数字人替身，虚拟世界中的数字黄仁勋在长达四个月的时间里，“骗”过了所有人，再度点燃了“元宇宙”的概念。

元宇宙，英文 Metaverse，其中，“Meta”表示“元”和“超越”，“verse”表示宇宙 (universe)，这个词诞生于 30 年前 Neal Stephenson 的科幻小说《Snow Crash》。元宇宙可以粗略的理解为一个平行于现实世界的虚拟世界，现实中人们可以做到的事，都可以在元宇宙中实现。2018 年斯皮尔伯格的电影《头号玩家》向人们描绘了元宇宙的一种可能场景。

元宇宙概念的火爆，要从 Roblox 说起。Roblox 是一家大型多人在线游戏创作平台公司，以创造迷你游戏为核心，为玩家提供 3D 数字世界客户端，为开发者提供 Roblox Studio 工具和云服务。用户可以通过购买或者创作游戏等方式获得游戏币，将现实社会中的人际关系映射到虚拟世界中，从而搭建起连接内容生产者和消费者的经济系统。Roblox CEO Dave Baszucki 定义了元宇宙的八大核心要素：身份 (Identity)、朋友 (Friends)、沉浸感 (Immersive)、低延迟 (Low Friction)、多元化 (Variety)、随地登录 (Anywhere)、经济系统 (Economy) 和文明 (Civility)。在元宇宙中用户拥有虚拟身份，与现实身份可以相关也可以毫无关系；用户在元宇宙中拥有朋友，可以进行跨越空间的社交；在元宇宙中用户可以体验现实生活中的一切活动，并且不会存在明显的延迟和不同步；用户可以随时随地进入元宇宙体验其丰富内容；元宇宙拥有自己的经济系统；元宇宙最终会发展成一种虚拟的文明。

从游戏行业的角度来看元宇宙，简单来说就是将物理世界中的社会关系和经济系统映射到数字孪生世界，并且在数字孪生世界中能够独立发展运行，衍生出一个不同于物理世界的全新虚拟世界。这么一看，社交网络，三维游戏，再结合 AR/VR 设备带来的沉浸式交互体验，就天然具备了元宇宙的八大要素，怪不得最近扎克伯格宣称，“在未来五年内，将 Facebook 从社交媒体网络转变为一个元宇宙公司”。不仅仅是 Nvidia、Roblox 和 Facebook，越来越多公司开始和元宇宙概念建立起联系。但对于元宇宙这一概念目前并没有达成统一的认知和理解。

表 3.1 关于宇宙的观点集锦

Roblox CEO Baszucki	元宇宙有八大特征，分别是：身份、朋友、沉浸感、低延迟、多元化、随地登录、经济系统和文明。元宇宙是一个将所有人相互关联起来的 3D 虚拟世界，人们在元宇宙拥有数字身份，可以在这个世界里尽情互动，并创造任何想要的东西，Roblox 只是创造元宇宙的用户的“牧羊人”，不制作也不控制任何内容。
著名分析师 Matthew Ball	元宇宙应该具有一下六个特征：永续性、实时性、无准入限制、经济功能、可连接性、可创造性。元宇宙不同于“虚拟空间”、“虚拟经济”，或仅仅是一种游戏亦或 UGC 平台。在元宇宙里将有一个始终在线的实时世界，有无限量的人们可以同时参与其中，它将有完整运行的经济，跨越实体和数字世界。
Epic Game CEO Tim Sweeney	这将是一种前所未有的大规模参与式媒介，带有公平的经济系统，所有创作者都可以参与、赚钱并获得奖励。
腾讯 CEO 马化腾	虚拟世界和真实世界的大门已经打开，无论是从虚到实，还是由实入虚，都在致力于帮助用户实现更真实的体验

资料来源：公开资料、国盛证券研究所

元宇宙的设想比较宏大，目前更多还处于概念阶段。有观点认为，元宇宙是下一代互联网。那么和互联网一样，元宇宙也可以从消费和产业两个视角来看。

从消费体验的角度，当前火爆的元宇宙概念，最佳体验场还是以游戏和社交场景为主。元宇宙是一个承载虚拟活动的平台，用户能进行社交、娱乐、创作、展示、教育、交易等社会性、精神性活动。元宇宙为用户提供丰富的消费内容、公平的创作平台、可靠的经济系统、沉浸式的交互体验，能够寄托人的情感，让用户在有心理上的归属感。用户可以在元宇宙体验不同的内容，结交数字世界的好友，创造自己的作品，进行交易、教育、开会等社会活动。

从产业发展的角度，元宇宙的实现需要云计算、大数据、人工智能、物联网、5G、VR/AR 等多种技术和基础设施的成熟和集成。腾讯研究院指出，**要构建足够逼真的元宇宙，数字孪生技术是基础**。而元宇宙的发展目标，也一定不仅仅是提供一个不同于物理世界的虚拟文明体验感。随着资本和人才的涌入，元宇宙的火热会带来相关技术基础设施的进一步跨越式发展，这是构建数字孪生世界产业化的巨大机会。

面向产业化的元宇宙，需要构建数字孪生的三重世界。

（一）数字孪生世界

第一重，通过在虚拟数字世界建立用户的数字孪生体，借助传感器，真实世界的动态和感受数据映射到虚拟数字世界中，建立起和真实世界完整映射的数字孪生世界。

在数字孪生世界，物理世界的任何事物都能做到信息可查，轨迹可循。从人、物、设备、设施到建筑、城市等，万物都以数字孪生体的形态在数字虚拟空间一一呈现。在数字虚拟空间，利用数字世界的可重复性、可逆性、全量数据可采集、重建成本低、实验后果可控等特性，通过数据建模、事态拟合，进行某些特定时间的评估、计算、推演，为设计规划方案和管理运营方案提供反馈参考，可以为现实物理城市的规划、建设、运营、应急等方案提供细化的、量化的、变化的、直观化的分析与评估结论。

数字孪生世界，也可以说是元宇宙在“真实世界虚拟化”阶段，这个阶段会需要经历从碎片化的数字孪生到局部的数字孪生的整个物理世界的数字孪生构建过程。

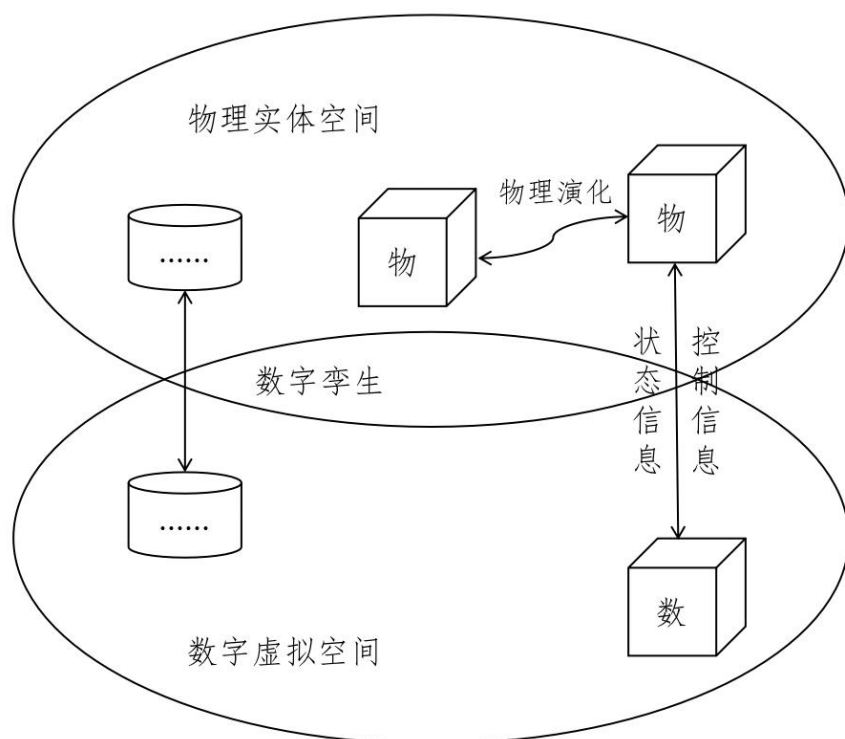


图 3.1 数字孪生世界概念示意

（二）数字原生世界

第二重，在虚拟数字世界里原生出和真实物理世界没有对应关系的事物和活动，使得和真实世界映射的数字孪生体能够独立生长，可以自由回溯，构建出真正的数字原生世界。

数字虚拟空间将逐渐成为人类生活和工作的重要组成部分。今天我们对世界的认知和生活的方式都将被更新或颠覆，例如虚拟化身让生命多了一种新的存在方式，数字化永生成为可能；虚拟社交打破空间局限，促进人与人之间更深入的连接；虚拟购物带来沉浸式的场景体验，买、卖更加高效、便捷且有趣；虚拟教育还原教育的本质，全面激活感知力与创造力；虚拟会议抹去办公室的边界，工作随时随地且

高效协同；虚拟医疗让优质的医疗资源最大程度共享成为可能，治疗事半功倍；虚拟社会让社会分工及协作更加清晰，全面提升生活幸福感，等等。

数字原生世界将带来更多与真实物理世界不一样的可能性。数字原生世界，可以说才是真正的元宇宙，是“虚拟世界本体化”的阶段。

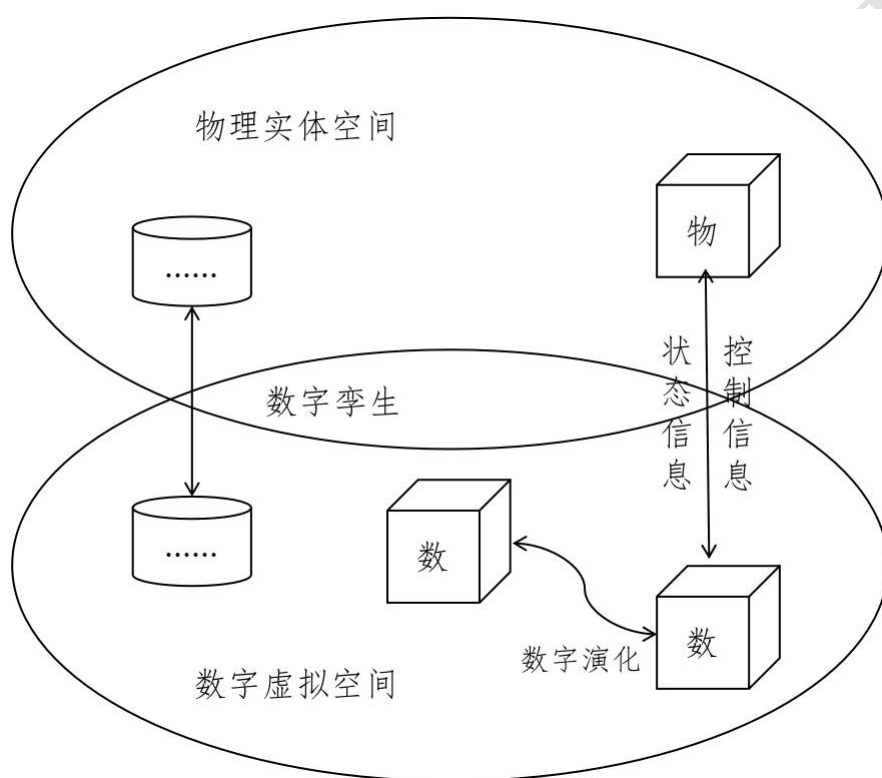


图 3.2 数字原生世界概念示意

（三）数字增强世界

第三重，在物理世界中再次建立起和数字世界中特有的数字孪生体的虚实映射，借助创新的交互和控制方式，从数字原生世界反向对真实物理世界进行增强和优化，实现数字增强世界。

数字世界本质上是服务物理世界而存在，物理世界也会因为数字世界而变得更有序美好。实现数字增强世界是这个本质的必然追求，也是数字化的理想状态。

数字增强世界，是元宇宙进化到“虚拟世界真实化”的阶段。

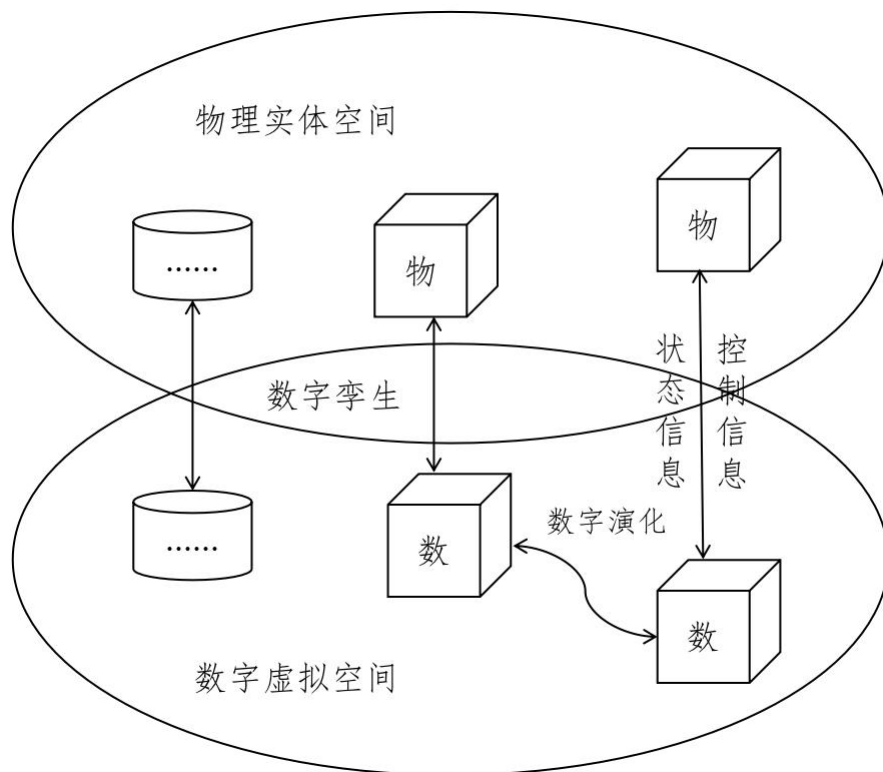


图 3.3 数字增强世界概念示意

四、数字孪生世界：重点行业与典型案例

（一）数字孪生世界方法论：V 模型

数字孪生相较于数据可视化有着更为繁杂的架构。在传统数据可视化的展示价值基础上，数字孪生增加了业务运营价值，尤其在可视管理、模拟演练等场景里价值明显。比如面向复杂体、隐蔽体、综合体的业务运营层面效果突出，所以在数字政府、数字城市等领域应用广泛。

面对越来越纷杂和深度的疑难诉求，数字孪生需要更为清晰的方法论用于将复杂问题简单化，从而将抽象问题有效拆解为具象的目标，再将具象目标转化为易用好用的应用系统，最终将问题有效解决。

基于丰富的数字孪生世界实践经验，易知微整理出了数字孪生世界方法论 V 模型，主要包括模型化、集成化、数字化、系统化、智能化五个阶段的建设。

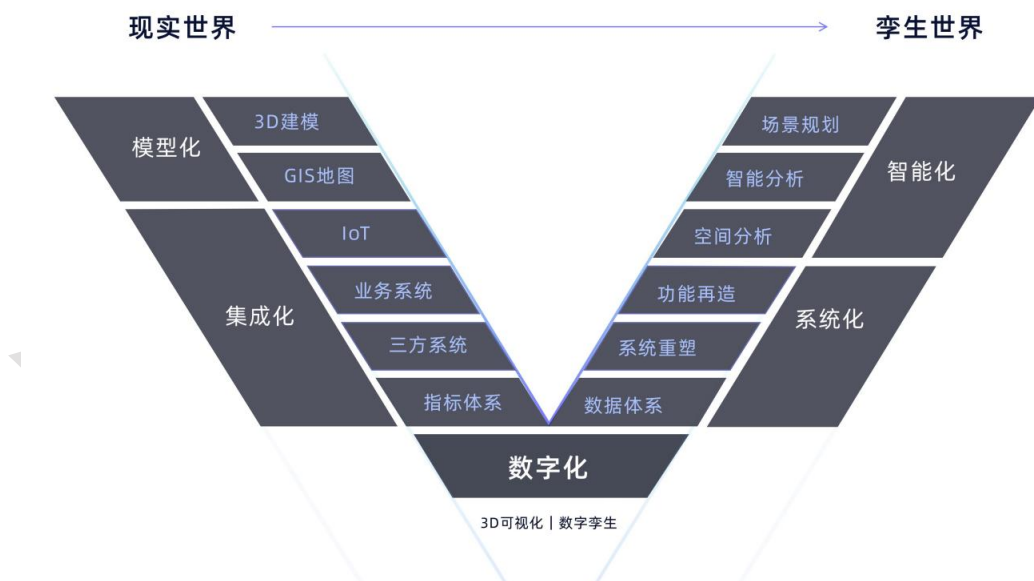


图 4.1 数字孪生世界方法论 V 模型

1) 模型化

数字孪生世界的首要任务是对现实世界进行 3D 建模，建模又可以根据精细程度进行更细粒度的划分。同时也会根据建筑、地表、设备等进行不同类型划分。而 GIS 地图则是 3D 模型的分布底板，所有模型都要跟现实世界进行一一对应才能做到真正的孪生。

2) 集成化

有了模型，下一个重要的步骤是对现有的系统进行统一集成。其中 IoT 包括但不限于摄像头、传感器、定位仪、消防设备、物联网设备、传感设备等等，涵盖了所谓的“天眼”和“地眼”。业务系统则包括 OA 系统、交易系统、账户系统、库存系统等等业务相关的各种系统。除此之外，还会涉及到一些三方系统，诸如其他部门或者其他单位的系统。只有对这些系统的数据做好集成，才能实现更深纬度的数据整合、碰撞等，产生更大的价值。

3) 数字化

如果把模型和系统理解为数字孪生世界的骨骼和肌肉，那么数字化就是数字孪生世界里流淌的血液。我们要做的不单单是要保证血液能够毫无障碍地流遍全身，还要对血液建立更为全面的指标体系。只有有了指标体系，才能对数字孪生世界的健康状况了如指掌。

谈到数字化，我们最容易联想到的是“数据中台”。我们袋鼠云是数据中台行业的领航者，所以如果需要对“数据中台”进行更为全面的了解，可以联系我们。

4) 系统化

有了身躯，下一步要做的就是塑造各项功能，所以在系统化里面我们需要重点对原有系统进行重塑，对所需功能进行再造。比如在某些项目中，我们会新建协同平台，用于解决现实世界跟孪生世界里的数据协同和任务协同，有了协同平台，我们不但能够对人员位置和正在做的任务进行可视化呈现，更能够对人员和任务进行

指挥干预。这种虚实结合的解决方案会极大地提升人员协作效率。除此之外，我们能联想到的还有虚拟交易系统、模拟演练系统、数字沙盘等等

5) 智能化

在数字孪生世界里，很多智能化的场景都可以被更好的落地。在空间分析中，我们可以实现人员轨迹溯源、路线优化、路线推演、空间测量等功能。这些新功能在行业里又会产生非常大的价值。比如人员轨迹溯源功能可应用于公安行业，路线优化可应用于交通行业，空间测量可应用于测绘行业等等。智能分析场景里可以发挥的空间也非常大，在智能分析里，算法的应用随处可见。比如图像对比分析，压力评估等等。在智能化方面，我们能做场景太多太多，实践派们可以充分发挥自己的想象力尽情创造。

在 V 模型中，前半部分更多涉及虚拟世界模型的呈现，也可以称之为实景三维可视化，也是之前很多“数字孪生”项目中存在的一些片面解读，将数字孪生等同于实体的 1:1 三维建模。而要想真正实现虚拟联动的数字孪生世界，更需要的是需要后半部分的数字化、系统化和智能化的建设。

构建数字孪生世界，不是简单的在三维模型层面去“克隆地球”，更是需要更进一步实现“数字化智能化地球”。

（二）数字孪生城市

数字孪生世界很大，不是短时间之内能一步到位，也不是任何一家公司能独立完成整体构建。技术的愿景激动人心，技术的实现还是需要脚踏实地。最初的数字孪生技术，主要是基于单个设备构建全生命周期的数字孪生体，目前技术上已经相对比较成熟，下一步需要在更大规模上实现更复杂的多跨场景应用。

城市是一个开放庞大的复杂系统，具有人口密度大，基础设施密集，子系统耦合等特点。如何实现对城市各类数据的实时监控，围绕城市的顶层设计、规划、建设、运营、安全、民生等多方面对城市进行高效管理，是现代城市建设的核心。数字孪生城市是数字孪生技术在城市规模上的应用，集成了新型测绘技术、地理信息

技术、物联感知技术、数据智能技术、3D 建模技术、可视化交互技术等综合技术支撑体系。通过在数字空间构建物理城市的数字孪生城市，对物理城市进行全要素数字化、全状态实时化、全场景可视化，最终实现运营管理协同化和决策干预智能化。

2018 年《河北雄安新区规划纲要》中指出：坚持数字城市与物理城市同步规划、同步建设，打造具有深度学习能力、全球领先的数字城市。通过创新城市“规划、建设、管理”的新型标准体系、政策体系和流程体系，探索以数字城市的预建、预判、预防来支撑现实城市高质量发展的模式，打造展现多维城市空间的数字平台，建立不同阶段的城市空间信息模型，结合 5G、物联网、大数据、人工智能等新型基础设施的建设，逐步建成与实体城市完全镜像的数字孪生虚拟世界。雄安新区在全球范围内首次提出“数字孪生城市”，将其作为“建设数字城市，打造智能新区”的创新之举（周瑜，刘春成，2018）。

中国科学院院士、中国工程院院士李德仁在 2021（第二十届）中国互联网大会的《基于数字孪生的智慧城市》中指出，数字孪生城市就是要在真三维城市实体模型底座之上，把基础设施包括水电气交通的运行状态，市政管理的医疗、消防的调配情况，人流、车流、物流这些上网，建设数字孪生城市的时候要强调物联网、万物上网、要把 GIS、BIM 和物联网加在一起，构成无处不在、无时不在的真正的数字孪生城市（李德仁，2021）。

2022 年 4 月 21 日，数字孪生城市框架与全球实践研讨会上，中国信通院产业与规划研究所总工程师高艳丽解读了《全球数字孪生城市框架与实践（2021 年）》报告，基于中国信通院多年数字孪生城市研究基础，结合全球数字孪生城市发展态势，进一步总结提炼了数字孪生城市的概念——数字孪生城市是通过数字化技术，将城市的物理空间映射到数字空间，通过模拟、监控、诊断、预测和控制，实现城市物理维度和数字维度同步运行、虚实互动的城市发展新形态。并进一步提出了四大特征和三大愿景，构建了“4+5”数字孪生城市要素框架。

数字孪生城市具备四大技术特征。一是物理城市与数字城市的精准映射；二是数字城市的分析洞察，实现数据驱动的治理；三是数字城市与物理城市的虚实融合，

虚拟服务现实；四是数字城市对物理城市的智能干预，在数字城市仿真，在物理城市执行。

数字孪生城市瞄准三大愿景。一是城市生产运行集约高效：实现实时呈现城市运行基本态势；全面实现无人化作业，实现城市生产“零损害”；更加绿色集约高效地实现城市规划、建设、管理、运行。二是城市生活空间宜居便捷：让居民足不出户享受异地高水平生活服务；随时随地反馈城市问题与需求；实时获取城市预警信息；公共服务惠及更多人群。三是城市生态环境可持续发展：动态了解城市生态环境状况；智能分析资源分配的区域鸿沟；自动化制定资源合理流动与最优化匹配策略；资源布局更合理与发展更可持续。

报告认为，数字孪生城市建设主要涵盖 9 大要素，呈现“4+5”要素框架。基础设施、数据资源、平台能力、应用场景是数字孪生城市的 4 大内部要素，为数字孪生城市提供内生动力。战略与机制、利益相关方、资金与商业模式、标准与评估、网络安全是数字孪生城市的 5 大外部要素，为数字孪生城市提供发展环境和外部支撑。

中国信通院 2021 年度数字孪生城市白皮书中指出⁴，数字孪生城市的建设是一个涉及多环复杂系统工程，吸引了 ICT 设备供应商，电信运营商，人工智能、信息建模、地理信息、模拟仿真等软件服务商纷纷入局，各类型企业以自身核心能力和产品为切入点，横向拓展应用领域，纵向往产业链上下游渗透、延伸，积极构建生态圈，联合打造数字孪生城市场景应用。根据数字孪生城市主要技术环节，初步形成空间地理信息类、BIM 建模类、感知和标识类、数据融合与渲染类、模拟仿真推演类、交互与控制类等主要产业阵营，数字孪生城市完整产业链条进一步得以加强。

中国信通院 2021 年度数字孪生城市白皮书中还整理绘制了核心技术代表企业图谱，其中数字孪生世界企业联盟的成员单位超图入选地理信息建模和交互与控制代表企业，易知微入选数据融合与渲染代表企业。

⁴ CAICT 中国信通院：《数字孪生城市白皮书（2021 年）》，2021 年 12 月发布



图 4.2 数字孪生核心技术代表企业图谱

资料来源：中国信息通信研究院

数字城市与物理城市虚实交互，并行运转，可以在多个方面探索跨区域、跨部门、跨行业高效协同的全场景城市治理新范式。数字孪生世界企业联盟在项目实践中，也整理出了 4P 应用场景和五层工程技术体系：

一是**科学规划 (Plan)**。基于数字孪生城市模型，汇聚多源城市规划相关数据，构建规划算法模型，实现全局最优化。在规划时，利用城市的一草一木，一砖一瓦等部件要素的数字孪生体实现“积木式”自由组装，在数字世界模拟规划方案效果，极大的提升规划效率，实现绿色高效规划模式。

二是**可视管理 (Present)**。提供城市运营治理一张图的全景视角，360 度多维度观测、全量数据分析深度透视，立体感知洞察城市运行规律，实现城市一张图可视管理；

三是**辅助决策 (Predict)**。基于全域数据和智能算法，对城市发展各种场景各种维度的态势提前做出预测，用数据智能帮助管理人员做出科学决策。

四是**干预演练 (Preact)**。利用数字世界的可重复性、可逆性、可控性等特性，在数字城市中可以通过数据建模和事态拟合，对特定事件如突发事件应急提前做出干预演练，为物理世界的执行方案提供细化的、量化的、变化的、可视化的分析和评估。

数字孪生城市的实现依赖于诸多先进技术的发展和应用，其工程技术体系整体上可以分为五层：

1) 地理信息要素层。包括空间数据（与空间要素几何特性有关）和属性数据（提供空间要素的信息），为数字化模型的表达提供空间分析支撑。地理信息数据主要包括地理方面的地形层、道路层、植被层、水域层等。与地理数据一起形成全空间一体化且相互关联的城市地理信息数据底板。

2) 实时感知控制层。主要由智能传感器数据采集、高速数据传送和全生命周期数据管理等。智能感知数据反映设备即时运行动态情况。数据是整个数字孪生技术体系的基础。先进传感器技术及分布式传感器技术使整个数字孪生技术体系能够获得更加准确、充分的实时数据源支撑。同时，植入到物理世界中的诸多传感器也是实现实时反向控制的关键点。5G 技术的发展，使得高性能传感器可以获得高速低延时的双向数据传输能力，提高了数字孪生系统的实时感知控制的能力。

3) 数据智能层。主要基于一体化智能化公共数据平台和云计算基础设施，对跨行业、跨领域、全要素、全流程、全业务的全域多元实时数据进行融合计算，充分利用机器学习和人工智能领域的技术实现数据深度特征提取和建模，挖掘和学习其中蕴含的相关关系、逻辑关系和主要特征，实现对物理世界的仿真、预测和智能干预能力。

4) 全真模型层。主要实现城市物理实体的全要素数字化表达，实现由粗到细、从宏观到微观、从室外到室内不同粒度、不同精度的孪生数字化还原，多维多时空多尺度模型，具有高保真、高可靠、高精度的特征，实现数字空间与物理空间一一映射。数字孪生全真模型是城市统一的“展示窗口”和“决策中心”。

5) 可视化交互层。主要是为用户提供良好的人机交互使用环境，让使用者能够获得身临其境的技术体验，从而迅速了解和掌握复杂系统的特性和功能。结合数据智能和数字孪生城市全真模型，集中可视化呈现全域智能终端信息、城市运行实时状态和数据智能预测结果，并且可以远程控制城市各个场景的运行状态。



图 4.3 数字孪生城市工程技术体系

数字孪生城市对于促进城市数智治理模式升级、提高人民美好生活服务水平、创造安全优良的社会环境具有深远的历史意义。数字孪生城市作为新型智慧城市，站在城市大脑的肩膀上，借助数字化改革的力量，将成为未来城市“多跨场景”的重要应用。

1、大型综合交通枢纽数字孪生智治应用

1) 案例背景

大型综合交通枢纽是城市治理与服务重中之重。北京西站数万旅客滞留、郑州地铁特大暴雨、南京禄口机场疫情等事件暴露出的管理漏洞，是大型交通枢纽管理中必须未雨绸缪、严防死守的关键点。在日常运行中，大型交通枢纽也面临着突发大客流滞留应对难、人流密集疫情防控难、极端天气抢险救援难、治安管控协同联动难等一系列问题。

大型综合交通枢纽是城市管理中一个典型的多跨应用场景，兼具“大型复杂体、潜在风险体、瞬时应急体”特征。某高铁枢纽站总建筑面积 122 万平方米，东西跨度 820 米，是集高铁、地铁、公交、长运、出租车等 10 种交通换乘方式于一体的亚洲最大的铁路枢纽站之一，也是我国最重要的现代化综合交通枢纽之一。该枢纽站涉及到跨领域、跨地区、跨部门、跨层级、跨业务、跨隶属关系的管理协作单位超过 50 家，可以说是一个“麻雀虽小，五脏俱全”的小而典型的数字孪生城市场景。

2) 解决方案

针对大型综合交通枢纽智治面临的问题，运用数字孪生世界 V 模型进行业务拆解，统筹推进技术融合、业务融合、数据融合，通过构建数字孪生数据底座，重点谋划打造了“一图一库五场景”，实现一体协同、整体智治。

一图，就是数字孪生全景运行图。整合两张图、打通九张网，以全景视图和指标图表等形式，直观呈现运营现状、空间安全、保障力量、流量预测、任务管理等情况，既能统揽全局又能精准对焦。

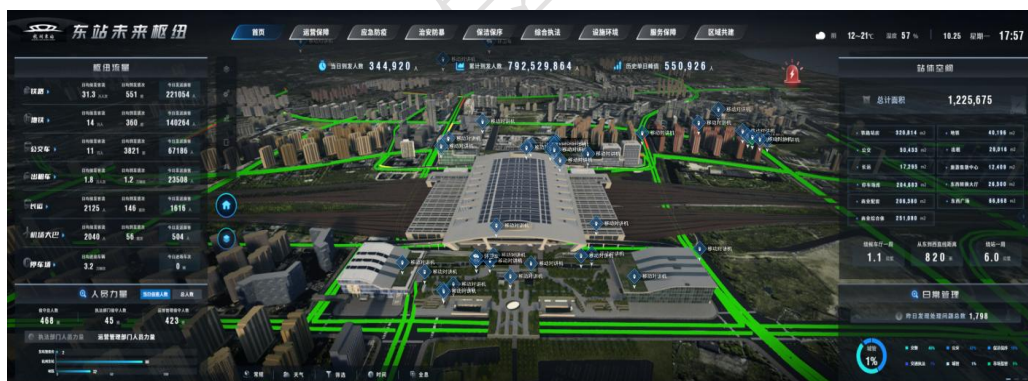


图 4.4 大型交通枢纽数字孪生全景运行图

一库，就是专题数据库，集成了铁路、公安、公交、气象、移动、联通等 30 个系统 2500 多项数据，并与城市一体化智能化公共数据平台连通，存储归集历史与实时的各类数据，通过算法算力，生成治理服务数据。通过数字孪生底座建设，接入了 1 万多个前端感知设备数据、标注了 3000 多个工作点位和 5 万多个设施设备，全部沉淀成为了大型交通枢纽的数据资产。

五场景，以实践应用为切入点，梳理交通枢纽治理领域旅客出行一件事，形成覆盖出行安全、气象防灾、智慧防疫、消防安全、治安防控等五大场景。

一是出行安全。针对突发大客流滞留应对难问题，围绕“畅行就是最大的安全”目标，通过通行大数据的碰撞，有效调节各运力单位间的协同性，将过亿人的换乘压力控制在合理区间，将有限的资源用到极致，让每个人都能有序畅行。

精准预测预判客流是保障出行安全的重要前提。根据多年积累的管理运行数据，结合历史客流数据和当年客流到发趋势数据，预测目标日客流量，并通过热力分布标注，直观展示实时客流情况。

进站保障，主要围绕周边交通疏导、客流管理和重要换乘点位，抓住候车大厅实有人数这个关键数据，对旅客出行安全的保障形成4个管理等级和4个应急等级，联动车站、区、市三级应急体系，按照预案采取从引导分流到紧急安置等应对措施。

同时，针对旅客出站，出租车、长运、地铁形成4级预案，实现精准调度、无缝衔接10种交通方式，保障旅客快速有序疏散。

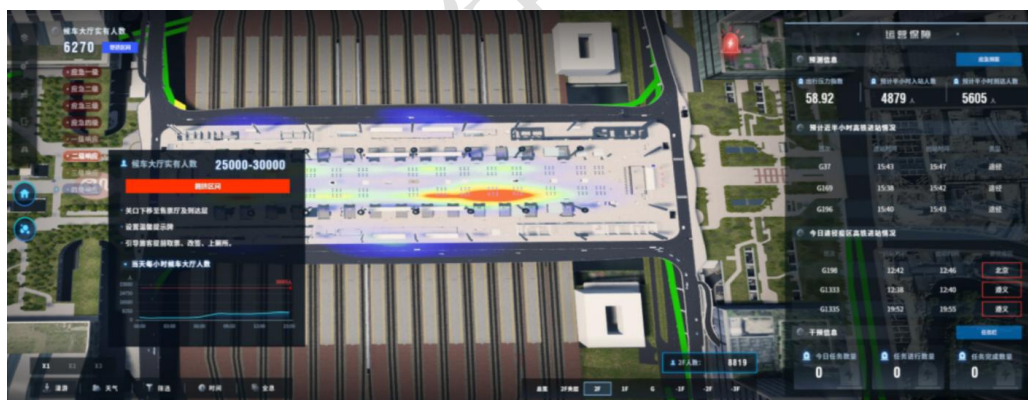


图 4.5 大型交通枢纽数字孪生出行安全场景

二是气象防灾场景。针对极端天气感知难、抢险难的问题，通过将城市气象与站体感知数据结合起来，设置精准的阈值，把不好把控的气象状态等级化，实现“闻数而动”，准备快一步、介入快一步、抢险快一步，天灾面前不犹豫、为防灾抗灾赢得先机。同时以降雨量、降雪量、风速、温度作为关键指标，形成3个专项预案，

并针对枢纽特点，将气象预案与人员滞留预案衔接起来，把保障人民群众生命安全放在首位。



图 4.6 大型交通枢纽数字孪生气象防灾场景

三是智慧防疫场景。针对人流密集疫情防控难问题，通过数字技术、手段、方法，有效联动多个区县市、协同多家防疫单位，实现全程留痕、精密智控，工作人员减负提效，群众方便安心。

如针对重点人员管理的复杂事，通过专属的二维码，集成身份信息、测温信息等，边流转边记录，实现时间、地点、人物、事件、执行动作全程留痕，一次扫码、可溯源可共享，在大客流防疫的背景下，让防疫滴水不漏。针对环境消杀的精细事，通过“消杀码”，前端动态扫码、后台实时监管，消杀监测一码可查。



图 4.7 大型交通枢纽数字孪生智慧防疫场景

四是消防安全场景。针对消防设施监管难、应急救援难等问题，通过打通 1 万多个温感、3000 多个烟感，标记 3 万多个消防设施、100 多个安全出口，并用孪生的方式呈现，实现复杂交通枢纽的快速响应、精准指挥。

作为人流密集的复杂场所，在“防早防小”的同时，基于数字化平台，建立疏散、引导、救援三同步机制，复杂情况也能一体协同，实现安全无盲区、守护全覆盖。同时，在重点消防点位“一点一方案”的基础上，针对车库电动车火灾等新型风险隐患，建立“一事一方案”，提高救援的精准性有效性。

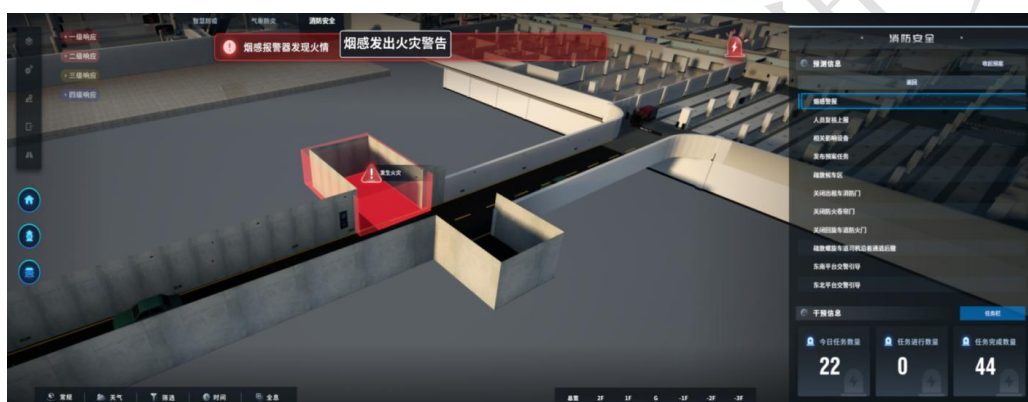


图 4.8 大型交通枢纽数字孪生消防安全场景

五是治安防控场景。针对治安管控覆盖难等问题，通过大规模使用 AI 算法，将传统摄像头变成智能感知的前端设备，不换设备加算法，挖掘了设备潜能、提高了防控效能。目前实验阶段，布局多路智能算力，通过动态布局，平时分布在各重要关口的感知设备，如有突发事件，可集中在一处，聚点成片，提升感知力。



图 4.9 大型交通枢纽数字孪生治安防控场景

3) 建设成果

通过建设数字孪生大型综合交通枢纽智治应用，取得了数字化改革的重要突破，也可以为更大规模的数字孪生城市建设提供样板和经验积累。

一是构建了会思考的数字化系统。通过构建三维数字孪生世界，精准映射交通枢纽物理实体的全空间、全要素和全生命周期，不仅能模拟现在、回溯过去，更能预见未来。通过多维量化、分析多重趋势，以小周期敏感度抓去细微关键信息，构建“算法+预案”模型，通过在数字孪生世界中仿真模拟运行、精准研判、智能匹配资源、可视化指挥调度，可以有效的推动从“模糊感觉拍脑袋”到“精准决策有依据”的新型治理模式的转变。

二是重塑了一体化的运行机制。通过数字孪生底座和共享数据库建设，破除了政府和企业的数据传输边界，打通了信息传输“梗阻”，丰富了数据维度。同时充分利用前端感知设备采集的全生命周期数据，推进了安全风险的即时感知、研判、预警、处置、阻断和消除的全链条管理。通过建设大型交通枢纽智治一体化协同平台，线上提交、研究、会商、解决工作中遇到的实际问题，做到横向协调联动、纵向打通贯通，多跨协同，推动了不同部门机构、数据、队伍深度融合，实现“分散管理”向“一网统管”的转变。

三是再造了智能化的业务流程。以“一件事”视角设计数字孪生应用场景、优化业务流程，改变原来“被动发现、现场会商、多头指挥、滞后处置”的工作方式，

构建“主动感知、系统研判、一键触发、快速响应、动态反馈、自动评价”的智能化闭环，安全防控从“经验决策”转为“大数据决策”，将应急响应主体从单位细化到个体，利用数据平台将应急指挥从多部门下发、模糊指令转变为多指令并联、一键到人、精准调度、实时反馈，推动应急从“被动应对”向“主动干预”转变。

2、数字孪生赋能智慧港口数字化

1) 案例背景

港口是综合交通运输枢纽，是交通强国建设的重要组成部分。“十四五”规划中明确数字化改革与“数字海港”将作为“十大标志性成果”之一。围绕制度重塑、业务重组和流程再造，紧扣横向协同性、纵向贯通性，构建数字化改革工作体系、“数字海港”运行机制和“数字海港”数据服务平台、“四港”云平台等一批重大应用场景，使“数智”成为一流管理和一流技术强港的最重要标志。

智慧港口指以现代信息技术为依托，促进港口的数字化、智能化发展。智慧港口的发展是时代发展的需求。随着经济全球化的发展，我国综合国力的不断提升，港口作为对外贸易的重要途径，承担着越来越多的运输压力，智慧港口的发展为日益增加的港口运输压力提供了新思路，同时也是顺应时代发展的趋势，利用现代科技手段促进我国智慧交通发展的重要方面。

现如今我国智慧港口的发展已取得重大进步，天津港、青岛港、宁波港、大连港等诸多重要港口智能化程度越来越高，大大节约了人力成本，提高了港口运输的效率，加快了我国对外贸易的发展。

2021年全球集装箱港口吞吐量排行榜单，在排名前十的港口中，有九个亚洲港口，七个中国港口，分别是上海港、宁波舟山港、深圳港、广州南沙港、青岛港、天津港和香港港。

改革开放四十年以来，某大型港口集团实现了由内河港、河口港、海港、亿吨大港、东方大港到世界大港的跨越式发展，随着信息化的高速发展，各类信息技术应用助力港口转型升级，可以预见智能化的港口将成为未来港口发展的新业态。

2) 解决方案

为了进一步加快推进智慧港的建设，某大型港口集团这几年做了大量的工作，例如集装箱提重无纸化、智能理货、网上营业厅、云数据处理中心等，但这些成果远远不够，后续将会投入更多的精力来实现智慧化港口的目标。在智慧港口数字化建设中，在数据层面目前普遍面临着一些问题：

一是数据来源广。港口系统数据包括港口集装箱、散杂货、理货生产业务应用相关数据、集卡相关数据、船舶相关数据、码头数据、货代公司数据、船代公司数据等。

二是数据接入难。由于港口业务的独特性，在业务发展的同时也会建设很多港口专用的业务系统，每个业务系统都是根据自己的需求进行建设，服务协议和数据标准不统一，既有结构化数据，又有文档、图片、视频等非结构化数据需要处理。

三是数据呈现散。港口可视化系统普遍存在多套大屏系统网站，整体性不高，给用户和参观受众形成了分散、不统一的感觉，不利于大屏系统整体统一的推介和宣传。

针对以上行业痛点，基于易知微 EasyV 搭建一体化数字孪生可视化平台，满足了智慧港口数字化场景：

一是数据呈现多样化。随着自动化港口的建设和发展，港口物联网设备和系统的自动化程度不断提升，港口数字化和智慧化应用不断发展，原有可视化和数据报表等技术手段已无法满足多种场景的实时数据呈现需求。

二是汇报宣传可视化。智慧港口建设的成果需要通过数据可视化和数字孪生等多种方式进行呈现，以全新的技术手段展现智慧港口的建设成果，借助真实生动的数字化效果，结合应用场景数据融合能力，满足宣传展览、现场讲解、汇报演示等多方位需求。

三是生产经营智能化。融合生产运营各类数据，实现全生命周期运营管理的智慧港口，从货物到港、装卸、转堆、仓储等全周期、全流程、全动态作业仿真，实现港口生产流程和生产要素操作过程全生命运行周期的监控，提高作业效率，加速实现智慧港口大生态圈。

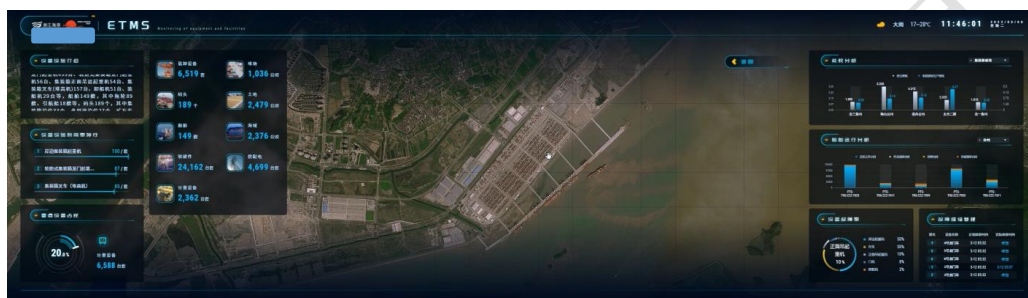


图 4.10 某港口 ETMS 数字孪生可视化

作为是“一带一路”的起点城市，五港整合后，某市陆港在海港资源配置和货物流通方面将发挥其特殊作用，已成为国际级陆港城市。某市智慧陆港的建设通过采集、储存、分析、整合市场、企业、港口等数据信息，致力于将某市陆港打造一个辐射广、更新快、多功能的信息港。某市陆港已实现与某大型港口集团信息的无缝对接，把船期、堆场、口岸等相关物流信息的数据与公司仓储信息、货物信息统合，为开展双重甩挂、物流金融等业务提供强有力支撑；通过完善某市陆港智能卡口建设，完善海关监管区 EDI 数据中心建设等，全方位提供高效便利的港内交通环境。



图 4.11 某市数字孪生陆港业务概念

3) 建设成果

某大型港口数字孪生可视化系统经过几年的持续建设，取得了丰富的应用成果，承担并出色完成了各种级别、规模，面向各类对象的参观接待工作，形象生动的向参观者介绍展示了该大型港口集团各方面的信息和数据，给参观者留下了深刻的印象和良好的体验，也获得了很多口碑和赞誉，吸引许多同行业、相关行业和不同行业的政府部门、企业组织慕名来参观学习取经，成为了该港打造品牌效应、展示企业形象、提升知名度的重要支撑保障。基于易知微 EasyV 数字孪生可视化平台构建的智慧港口，其价值主要体现在以下几个方面：

一、通过作业流程的数字孪生，模拟推演各流程环节，辅助制定优化方案。

二、基于数字孪生港口综合运营平台，打造港区进出口货运产业引擎，联结中区物流金融贸易产业园区，带动后城城市就业及研产销整体互动。结合港口物流产业资源优势，构建“前港、中区、后城”产业整体联动。

三、打造数据集成与服务中台，建立数据汇集和共享机制，通过大数据分析可视化平台，实现港口业务的实时监控和调度控制。

3、城市智慧停车云脑数字孪生

1) 案例背景

截至 2018 年上半年,全国汽车保有量达 2.29 亿辆,伴随汽车保有量的快速增长,行车难、停车难、缴费难、管理效率低已日益成为制约城市经济与社会发展的“瓶颈”。停车难的问题已经快速从一二线城市向三四五线城市蔓延。因此,停车难的问题引起各级政府和领导的高度重视。国家发展与改革委员会等七部 2015 年 8 月颁发了《关于加强城市停车设施建设的指导意见》,首次将吸引社会资本、推进停车产业化纳入国家层面。随着《关于进一步完善城市停车场规划和用地政策的通知》、《城市停车场建设专项债券发行指引》、《关于进一步完善机动车停放服务收费政策的指导意见》等一系列停车产业相关政策的颁布,从土地、投资和收费等多个方面从政府层面加强对停车行业的指导。

2021 年,某集团推出了 1+3+N 数字城市云脑,以停车、社区为场景入口,不断进行智慧生活场景拓展,全域覆盖路内停车、路外停车、共享停车场景,构建集软件开发、建设、运营、管理于一体,全面服务于车主出行、企业转型和政府治理的城市级静态交通管理体系。在此背景下,该集团与易知微开展了本项目建设,共同推进停车交通管理智能化升级,进一步落实智慧精细化管理要求。

2) 解决方案

本项目基于数字孪生技术,整合城市、园区、道路级多源数据,将市区域内的停车服务进行全要素数字化,完整映射到城市信息模型中,关联停车业务场景驱动运营管理。通过“虚实对应、相互映射、协同交互”,促进孪生城市“城市要素数字化和虚拟化、城市运行状态实时化和可视化、城市管理决策协同化和智能化”的“六化发展”。



图 4.12 智慧停车整体架构图

从城市管理角度来说，传统停车场管理存在诸多难点：

一是信息孤岛现象严重。因没有统一的停车行业标准，导致停车系统接口标准不统一、应用管理标准不统一、配套功能不统一、服务标准不统一、收费标准执行状况不统一，造成停车场信息不开放，业务和资源无法共享，形成信息孤岛。

二是项目运营能力比较弱。项目未能真正实现管理效益最大化，无感支付模式等新型的停车场运营模式在推广宣传上力度不够或缺乏持续性，造成拥有先进的停车场管理系统，但依然在用户的实际使用过程中备受质疑，究其原因主要是缺乏有效的可视化运营管理平台，运营人员无法通过更直观的方式了解车场现状。

三是产权和运营权分离。不同停车场产权、运营权的分离及经营的复杂，造成停车场管理分散、管理手段简单，管理效率低下、难整合和调控。

城市级智慧停车是以互联网、物联网、云计算、大数据、支付清算、场景金融技术为核心的城市级一体化静态交通体系。围绕城市级智慧停车需求，整合路外、路内停车、城市诱导、智能充电一体化服务，同时借助大数据、云计算、物联网、GIS、移动互联等新兴技术打造智慧型城市停车平台。智慧停车平台致力于实现停车

资源的统一管理，有效缓解城市停车难，同时依托于榻佳化及开放化的理念，抒查开放、共享的，多品牌共存、多渠道共营的城市停车新生态。

本次项目通过大数据、云计算、人工智能等技术对人、车、场资源进行数据化、可视化、平台化整合，基于数字孪生技术还原城市数字底板，集中化管理平台化运营，实时查看停车场的车位利用情况和车位租赁交易情况，掌握出入车场的车辆详细信息，实现远程的监管，从而有效提高停车资源利用率、周转率，降低管理成本，提质增效。本项目重点建设场景如下：

一是城市运营场景

在智慧交通领域，基于物联网方式对多源数据进行采集和共享，为城市级运营管理提供基础，有效打通城市“眼耳鼻”，形成城市级停车“一张网”格局，对收费缴费、资源增量趋势、设备运营情况、重点车场情况、交易情况、收缴、利用、周转情况，车场情况、泊位情况等运营进行运营管理。

城市行政区域地图在数据大屏上进行展示，地图内所包含的所有的路内、室内车场，通过热力图的效应进行呈现。展现城市各区的停车泊位使用情况（泊位总数、泊位空余数），并以不同颜色展现泊位状态，红色表示空余泊位紧张，黄色表示空余泊位一般，绿色表示空余泊位充足。车场带链接可看即可点可进入到具体的车场详清，包括车场内的车位分布、停车情况进行监控。热力图查看的资源分布包含路内车场、室内（路外）车场、充电桩、诱导屏等资源的分布和使用的紧张情况。

停车难、难停车是大城市面临的普遍问题，停车场是高密度城区基础设施的重要组成部分，对人口、道路、建筑等具有一定空间依赖。在大数据时代背景下，通过定位车场数量渲染地图颜色及变化成果，可以直观反应出车场的热力点分布、区域聚聚等数据信息。

通过对停车资源数据的整合，使用户及决策者对城市级的停车资源状况一目了然。



图 4.13 智慧停车城市运营场景

二是园区停车场景

以数字孪生 3D 可视化场景映射出时空信息的综合态势，将传统的静态平面展示升级为实时感知、动态在线、虚实交互的动态镜像空间。聚合空间内的多源数据，结合业务分析模型，以智能算法关联运营场景，促进运营增值，辅助园区停车服务实现智能化决策。



图 4.14 智慧停车园区停车场景

系统完成了停车场 6 层空间的模型构建，并复刻了停车场内车位的位置，结合停车场的地磁感应等物联网设备能够很好的还原停车场内部的车辆停放状态，为停车场管理人员提供管理的信息化支撑。



图 4.15 智慧停车园区停车空间模型

三是路外停车场景

通过高位相机、视频桩等前端智能识别设备采集停车数据，与静态交通管理平台进行数据交互，实现对路内、路外停车场景的数字化、平台化、可视化管理。

通过点击不同车辆，可对车辆当前信息进行实时监控，包括车牌号、用户基本信息、车场名称、入场时间及地点、车辆停放位置、停放时长、出场时间及地点、出入场图片、折扣方式、折扣金额、支付费用、支付方式等。



图 4.16 智慧停车路外停车场景

3) 建设成果

城市智慧停车云脑数字孪生项目建设已经交付完成，在三个方面取得了重要成果：

一是有效整合城市级停车运营数据，集成采集、处理、发布的城市级停车数据，打造园区、路内、路外资源一张网的局面，盘活停车泊位利用率和周转率，有效提升停车供需管理与使用销量，持续释放停车大数据价值。

二是数字孪生运营平台在停车场智慧运营的应用中，可以体现出平台：数据化业务驱动运营的特点。整合园区、道路多源数据，关联业务场景，以智能算法解析场景组合，辅助运营。

三是基于城市级运营管理平台全面治理停车问题，对解决停车难、停车拥挤等现象起到了一定积极作用，为市民提供更加安全、便捷、舒适的出行体验。

4、数字孪生量子城域网

1) 案例背景

量子通信是指利用量子纠缠效应进行信息传递的一种新型的通讯方式。近年来，量子通信已逐步从理论走向实验，并向实用化发展，成为国际上量子物理和信息科

学的研究热点，美国、欧洲等地区国家推出一系列政策和计划促进量子信息科学的发展与建设。

我国对量子计算领域的投入力度不断加大，2016年《“十三五”国民经济和社会发展规划》中，将量子信息技术视为体现国家战略意志的重大科技项目之一，2020年以来，国家相关部委又制定了一系列推动骨干网、城域网等量子保密通信网络的相关政策、规划。在国家相关政策、规划的基础上，北京、上海、山东、安徽、贵州、浙江等近20个省、自治区、直辖市制定了科技创新规划，以支持量子通信网络建设。

2021年3月召开的十三届全国人大四次会议上，表决通过了《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》（简称《建议》），明确指出“要瞄准人工智能、量子信息、集成电路、生命健康、脑科学等前沿领域，实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目”，体现了量子信息科技在国家发展中的战略重要意义。

2021年某量子城域网建设项目正式启动，应用业界领先的经典量子波分复用技术，实现量子、协商和业务信道的共纤传输，建设覆盖整个城市的量子密钥分发网络，在传统通信网络相结合后，能实现基于量子安全技术的高等级安全通信服务。作为服务“新基建”领域的信息安全基础设施，业主希望依托高新技术，以孪生场景将其量子城域网做到可视、可管、可控，业主和易知微基于此背景达成合作，共同探索量子网络孪生标杆案例。

2) 解决方案

本次项目建设旨在利用数字孪生技术，为量子网络打造、互联互通、实时共享的“神经元”系统，助力量子通信领域实现量子网络可视化，并整合基于建筑空间和位置信息的时空大数据平台，为各应用系统提供三维可视化数字底板共享服务，实现从城市场景-单传输站点场景-站点物理机场景的多级下钻呈现。

该量子城域网建设项目依托底层量子传输硬件设备，融合物联网、GIS、BIM、CIM等技术及基础设施，整合量子网速分发数据，为业主方打造可管、可控、可视的量子网络孪生平台，对量子网络实时传输状态、量子通信情况做到精准监控。

量子网络总览场景

基于 10 大核心站点的城市地理位置分布，将覆盖区域的地形地势、建筑、道路、水系、楼宇等要素进行集成汇聚，基于 GCJ-02 坐标系经纬度转化 WGS84 坐标系经纬度映射到场景中，结合城市规划数据、城市地表网格，对主城区城市建筑群进行 L1 级别的孪生模型还原，构建城市量子传输网，实现量子网络分布全要素数据化表达。对于重点 10 大核心站点的建筑集群，采用 L2 级别的孪生建模技术，做进一步的精细化还原和仿真，利用顶牌交互设计方式展示当前站点信息、量子设备数量、设备健康度分数及站点实时预警数据，通过飞线实时展示各站点间网络传输情况，直观查看量子城域网运行状态。

对应用数据进行综合统计分析，数据结果呈现，基于量子设备网络统计信息，在地图上叠加数量、成码率、告警统计等汇总型数据指标，通过可视化图表、自定义图表实时滚动展示当前各站点的密钥生成量、密钥消耗量以及实时成码率，对各设备实时分发的网络数据能够形成有效快速的监控。



图 4.17 数字孪生量子城域网总览

核心站点场景

地图支持漫游和全局视角的切换,通过镜头的平移和缩放,可定位到具体核心站点,还原站点对应建筑精模,以弹窗展示当前核心站点位置、用户站数量、量子设备数、告警数、密钥生成量、健康度等数据。

点击站点机房,孪生场景整体下钻至核心站点及用户站,通过不同建筑模型对不同站点、用户站进行视觉区分。以核心站点为中心,对站点位置空间进行结构性拓扑,展示前 10 大用户站信息,同时呈现该核心站点的健康度、核心设备、密钥消耗量、密钥生成量等数据,点击切换按钮可切换其余站点,悬浮窗可视化标识展示站点的告警数量、健康度等数据,站点之间则通过动态网络流线展示当前实时网络传输关系及传输情况,打通站点之间的孤岛,实现空间之间的数据连结,通过粒子上升形态的交互设计概念和方式,增强数据实时性体感,实现物理空间与数字空间全要素映射。



图 4.18 数字孪生量子城域网核心站点场景

单用户站机柜场景

通过用户站上方的机柜按钮,可进行三级场景下钻,切换至单个用户站的机柜场景。在虚拟空间构建三维虚拟机柜服务器与实体服务器交互映射,通过虚拟的点击机柜、弹出服务器,展示单台服务器的设备信息,包括设备编码、设备类型、IP

地址、CPU 使用率、GPU 使用率等数据信息，通过三维图表展示描述健康度、核心应用数、应用密钥消耗量、应用成码率等机柜实体运行状态和资源使用信息，对设备的信息精准监测和实时监控。



图 4.19 数字孪生量子城域网单用户站机柜场景

3) 建设成果

通过量子传输可视化平台，利用大数据可视化分析技术、地理信息科学、数字孪生技术等知识与技术手段，还原量子策源地的发展进展和建设成果，提升量子传输的业务和视觉感知。通过接入 8 个核心网站点和 159 个接入网站点，构建量子核心网和接入网，形成物理维度上的实体城市和虚拟信息维度上的数字孪生量子城市虚实结合、联动共生。

此次项目建设，也是响应“十四五”战略下，探索数字中国发展的缩影和成功实践，运用业界领先的经典量子波分复用技术，组网技术全球领先，推动量子计算应用与产业生态体系建设，同时以清晰直观的可视化大屏还原了尖端技术的研究和发展成果，贯彻落实前沿数字技术突破的优先行动，树立国内量子网络孪生可视化建设的标杆。

在如此短的时间内，正是借助于易知微开箱即用 EasyV 平台，通过自研的可视化标准组件素材及灵活的自定义开发组件，实现快速的搭建实时分析可视化应用，通过简单的拖拉拽完成复杂交互、视觉震撼、实时数据的可视化应用搭建，同时基于游戏引擎 UE4 进行孪生场景的开发及探索，利用双引擎架构实现 EasyV 与 UE4 的深度融合，实现三维 GIS 场景分析、建筑模拟仿真及可视化图表呈现，还原量子数字孪生城市。

5、景区数字孪生运营大脑

1) 案例背景

2020 年 11 月，文化和旅游部、国家发展改革委、教育部、工业和信息化部等十部门联合印发《关于深化“互联网+旅游”推动旅游业高质量发展的意见》，提出到 2022 年，建成一批智慧旅游景区、度假区，全国旅游接待总人数和旅游消费恢复至新冠肺炎疫情前水平。明确流量监测监控，科学引导分流、智能导游导览等建设规范。落实“限量、预约、错峰”要求。到 2025 年，国家 4A 级及以上旅游景区、省级及以上旅游度假区基本实现智慧化转型升级。

2021 年 4 月，文旅部发布的《“十四五”文化和旅游科技创新规划》中提出“推进预约、错峰、限量常态化技术研究，研发自主预约、智能游览、线上互动、资讯共享、安全防控等一体化服务和用户智能管理的综合平台”。

为促进常态化疫情防控下旅游业健康发展，确定支持“互联网+旅游”发展的措施，加快推进以数字化、网络化、智能化为特征的智慧旅游发展，旅游行业就此迎来数字化、智慧化的新一轮政策利好。大力推进智慧旅游景区建设正成为信息化发展迫在眉睫的任务。

我国旅游资源丰富，类型众多，进而聚集各种服务而形成了旅游吸引力和旅游接待功能，不同类型的旅游景区有不同责任、利益和使命。我国旅游业正值由世界旅游大国向旅游强国转型的关键期，同时也面临着增长方式和发展目标上的战略调整，面对新形势，我国景区可持续发展面临新挑战。景区附近的停车场还有多少空

车位，最近的洗手间在哪儿，特色餐厅距离当前位置有多远，排队状况如何，去往下一个景点的电瓶车、游船几点能来……，这些细微琐碎的服务需求已经难以再靠传统方式满足。

同时，对于景区管理者来说，旅游管理中也要面对种种问题。如何快速向游客推送景区各类信息，如何获知人流热度以便及时指挥调度，对景区应急安防做出预判分析，如何管理景区的景点、道路、设施相关数据，避免资源浪费，提高景区的营收，这些都是国内更多传统景区转型中亟需攻克的难点。

2) 解决方案

景区数字孪生应用解决方案通过对景区实景的 1:1 比例还原 3D 建模，打造景区场景展示、文化科普、运营管理、安防管理为一体的综合型管理平台，整合景区各项资源。融合智慧景区、智慧车场、智慧灯杆、环境监测等实时数据，为景区数字化提供全要素、全场景、全周期的智慧服务管理平台。从而满足景区管理部门在日常管理、决策分析、形象宣传等多维度的需要。实现“智慧管理、一屏总览、炫酷展示、及时响应”的一站式景区数字孪生解决方案。

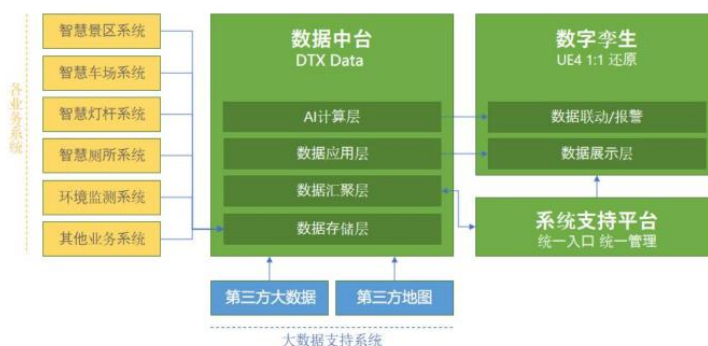


图 4.20 数字孪生智慧景区解决方案架构图

过去，业主系统多是碎片化和二维数据看板方式，现在，升级成一屏统揽的多系统集成和孪生精细化空间关联交集呈现，通过数字孪生场景底座映射定位，在未来 3-5 年内，管理作业也将不会限制在固定的场所，通过研发迭代，预留了实现多元

宇宙的空间计算能力，实现虚实融合的景区 XR 增强内容体验方式来交付项目。数字孪生智慧景区解决方案在以下四个方面做出了创新实现：

一是数字孪生 3D 引擎。平台采用 Unreal Engine（虚幻引擎）实时渲染引擎，拥有次时代游戏引擎的天然仿真优势，实现构建精细化大场景的影视级画质，以及逼真震撼的粒子渲染能力，可以模拟真实世界的物理现象和自然规律，比如昼夜交替、天气季节变幻等。支持城市级大规模建模场景搭建，支持多层级场景交互联动，实现数字世界与物理世界的连接，实现物联感知操控、全要素数字化表达、可视化呈现数字孪生场景。

二是多源数据融合。平台支持所有 GIS 地理信息数据来源，集成城市 GIS/DEM 等高程数据、矢量数据、栅格数据、瓦片数据、卫星遥感/倾斜摄影、工业仿真数据、建筑 BIM/CAD、高精街景地图、激光点云数据、VR 全景数据、照片算法建模、影视建模、游戏建模等方法取得景区的布局、建筑、细节等素材。重点景区 L3 级别还原建筑细节、动态光影，物理仿真，次重点建筑 L2 级别还原，如民房和周边山峦水系，做到基本仿真，实现大城市精细化场景的加载，呈现影视级的渲染效果和高仿真物理引擎，实现 GIS 经纬度的精准互转，并支撑国产操作系统。

三是丰富的交互联动 API。拥有一套前端开发与三维时空交互联动的开放接口，提供一系列三维交互样式 API，兼容主流 JavaScript 前端框架，为前端开发人员提供快速便捷的开发接口，地图风格、模型对象、空间对象、场景对象、可视化组件、可视化应用均可实现自定义配置；用户可以在孪生场景的基础上叠加自己的数据组件，且达到与场景进行双向交互，帮助有开发能力的客户解决孪生三维场景可视化需求痛点。

四是云渲染技术。云渲染技术将渲染计算负载转嫁至服务器，避免终端设备性能孱弱，根据项目需求采用本地化服务器部署，可同时满足 C/S 和 B/S 架构，通过服务器 GPU 分布式渲染，通过像素流的方式分发到终端用户设备，方便管理者在网页上直接使用。

数字孪生智慧景区解决方案主要有如下应用场景：

一是景区综合态势。基于融合地理信息系统，支持对景区进行网格化管理，对景观资源、自然环境、客流、停车、基础设施运维等管理领域的关键指标进行综合监测分析，实现人、事、物统一管理，以景区公共服务设施分布、主要景点分布、景点基本图文信息等数据为基础，将其融合于三维数字孪生平台，实现景区资源基本概况一屏统览。



图 4.21 数字孪生智慧景区综合态势

二是客流量监控。支持对景区售票系统、检票系统、景点实时监控系统等业务系统高度集成，可实时监测入园游客数量、在园游客数量、位置、运行轨迹、密度等信息。并可基于历史客流数据，结合专业的预测模型，设定客流阈值实现超限自动报警，为景区管理者进行流量控制、人流疏导、安全保障等工作提供有力支持。



图 4.22 数字孪生智慧景区客流量监控

三是安防实时监控。支持整合景区现有勤务系统、移动终端、视频监控等系统数据，对景区各类勤务人员的出勤情况、实时位置及在岗状态进行实时监测，为人员管理和指挥调度提供支持。包括视频监控联动查看、游客轨迹跟踪、报警柱实时报警监管、安保人员巡检实时位置及职责查看等。



图 4.23 数字孪生智慧景区安防实时监控

四是资产管理可视化。可直观展示景区文物资源、建筑景观、自然景观等资源的类型、数量、空间分布等信息，并可详细查询单体景观详细资料、修缮记录、视频监控画面等信息，深化细化景区管理部门对景观资源的监管和维护水平，同时也为景区功能区规划提供决策依据。



图 4.24 数字孪生智慧景区资产管理可视化

五是全天候环境监测。支持对绿地、植被、水域等环境要素位置分布、面积等信息进行可视化监测；集成各传感器数据，对景区天气、水质、温湿度、空气质量

等数据进行实时监测分析，对恶劣天气、污染、植被破坏等信息进行可视化预警，提高景区防御自然灾害的能力，同时也为景区环境保护提供决策支持。



图 4.25 数字孪生智慧景区全天候环境监测

六是停车管理。对景区人员、车辆通行情况、车位使用情况、人员密度等信息进行实时可视化监测，可实时显示景区各停车场空余车位状况；支持对人脸识别、车牌识别结果进行分析研判，并对人员车辆异常滞留情况进行可视化告警，帮助管理者实时掌握景区人流、车流态势，为管理者进行车辆指挥、停车资源合理规划提供决策依据。



图 4.26 数字孪生智慧景区停车管理

七是应急指挥预案可视化。支持将预案的相关要素及指挥过程进行多种方式的可视化呈现与部署，支持对景区应急管理资源部署、资源分布、行动路线、重点目标等进行展现和动态推演，提高指挥效率、人员对预案的熟悉程度、增强处置突发事件的能力和水平。



图 4.27 数字孪生智慧景区应急指挥预案可视化

3) 建设成果

2020 年初疫情爆发以来，疫情防控措施逐渐常态化，景区受到疫情影响颇大。数字孪生技术的创新应用直观、充分地展现景区的整体态势，为景区管理者提高景区运行效益以及管理效率，提供数据决策支撑，景区建立综合指挥中心数据驾驶舱，能够通过对景区的景观资源、游客及票务情况、景区基础设施和服务设施等进行全面、透彻、及时的感知，实现对全景区运行状态的实时监控。

数峦云开发的景区数字孪生应用解决方案已落地在南浔、龙之梦、云南古镇等景点，通过景区数字孪生运营大脑建设，主要在以下三个方面做出了应用价值，同时也为景区的快速复苏创造更多的经济价值，推动行业的综合发展。同时也带来了社会、经济、生态效益的良好循环。

一是游客画像数据实时精准化。基于物联网技术，通过景区闸机数据、运营商等数据收集，以及游客分布热力图、各景点实时人流数据、游客趋势分析、游客结构分析、游客来源地分析等。实现景区游客状况的实时监测和不同时间段的游客画像分析。帮助景区管理者实时精准掌控景区游客数据，为景区的运营管理和营销推广提供数据上的支撑和决策基础。

二是景区安保管控全面智慧化。疫情期间，疫情防控常态化。实时监测游客轨迹，监控人员个人信息和个人画像，对突发疫情人流控制起到保障作用。整合勤务系统、移动终端、视频监控等系统数据，对执勤人员统筹安排，提升了应急时间的响应能力；通过接入视频画面和数据，可全面对景区资源进行监控，防止人为破坏；

对景区全天候天气、温湿度、空气质量实时监控，如有恶劣天气，提前启动应急预案。防止意外的发生。

三是景区运营水平全面优化。智慧景区系统、智慧车场系统、智慧灯杆系统、智慧厕所系统、环境监测系统等各子业务系统保证各子系统的正常运营，打破系统壁垒，信息数据互通。管理者可通过大屏数据，进行监控、预警、诊断、分析。实现运营集成化。运营水平全面提升。

6、数字孪生重大赛事智慧场馆

1) 案例背景

2021 年，国务院出台《“十四五”时期全民健身设施补短板工程实施方案》，到 2025 年，形成供给丰富、布局合理、功能完善的健身设施网络。

过去的一年，疫情之下，国家积极应对采取措施，密集推出体育场地建设相关政策，号召广大群众积极参与体育健身活动，引领体育场馆机构及企业继续发展，推动整个体育场馆行业前进。体育场馆是进行体育锻炼的主要场所，也是体育产业发展的物质基础，在供给公共体育服务、构建公共体育服务体系和改善民生的进程中发挥着重要作用。

2) 解决方案

运用 AIoT、大数据、数字孪生等技术，提升重大赛事体育场馆智能化管理水平，加强和提升场馆联动整合应急能力，构建场馆运营管理的关键技术和场景模型，将场馆业务应用向多维度及精准化预测、预警方向深化，强化数据在场馆的智能应用，并有效实现了场馆资源集约化利用和数据共建共享共用。

本项目中的智慧场馆解决方案以卓见云“云数”轻量化平台为基座，利用 Unity、UE 等 3D 开发引擎为手段，在场馆本身建设的软硬件基础上结合物联网、云计算等技术，集成自控系统、消防系统、监控系统等各类子系统采集的数据，实现场馆的空间、设备、管线、环境、监控、监测、报警等可视化运营管理。以“智慧协同，立体可控”为重点，通过有序地在数据大屏上实时动态的展示各类数据和图表，并

对各类报警做出快速定位，业务派发，通知及事件跟踪结果。特别是安防、消防、及重要区域的多维度预警及人员调度。自比赛前、赛中、至比赛结束散场采用数据方式获取各类态势，并能通过孪生数字地图等手段多维度展示，通过指挥大屏将外部和内部采集的各类数据汇总、分析，实时形成赛事演出等各时间重要节点的标识，进行逐步演进、展示，为指挥中心提供动态态势展示帮助。给场馆运营方在数字运营、数字管理、数字协同上实现智慧服务。实现场馆建成后运营和人工成本降低，管控效率提升，事件响应速度敏捷。保障场馆各类活动的顺利举行。



图 4.28 数字孪生场馆整体方案

在智慧场馆建设过程中存在一些典型的困难问题：

一是人员动线复杂。场馆使用需满足不同类型人员的分布式空间和路线管理，包括运动员、观众、裁判、媒体等十多种人员信息和对应活动区域路线确认。并保障比赛期间不同类型人员管控完全隔离。

二是设备种类繁多。场馆接入设备多达上万个，不同设备的协同联动逻辑复杂。

三是数据类型多样。馆运行系统多达三十余种，不同软硬件之间的数据接入标准协议多变不一。

四多跨协同复杂。项目建设需对接协同场馆建设方、运营方、城市大脑、政府部委等相关单位。

数字孪生智慧场馆项目，重点在以下四个方面针对性的提出了解决方案：

一、塑造 3D 场馆画像，展现多维度数据看板

场馆可视化展示结合多媒体技术、网络技术以及三维技术实现了数据处理的虚拟化，通过对物体进行全方位的监控，构建基于现实的 3D 虚拟现实效果，让数据展现更为直观和容易理解。利用 UE4 三维渲染引擎使模型具备逼真的可视化渲染效果，内置多种仿真计算模型，原生支持数据驱动、多级细节显示优化等特性，可支撑三维空间可视化场景的快速构建。基于 3D 虚拟现实的最佳表现对场馆的建筑、设施、道路等相关场景建模，做到模型和现实场馆 1:1 的场景还原效果。让场馆的整体视角更加的直观，使复杂的场馆场景变得易于表达、理解和传播。通过模型的放大、缩小、上升、下降、俯视、仰视、旋转，实现对场景的 360°旋转。

其次通过可视化的界面，多维度的在页面两侧设计场馆人、车、设备、运营专题、事件等相关业务数据看板，通过图表、曲线图、折线图、柱状图、饼形图等多种不同风格呈现数据分析结果。



图 4.29 数字孪生智慧场馆驾驶舱

二、通过物联空间映射，支撑多场景数据感应

通过物联接入平台，对场馆监控、消防、检录闸机、门禁、防疫等几十种场馆设备设施进行接入管理、接入设备数量达上万个，对多源复杂的设备数据进行采集和处理，并提供多场景多设备的接入规范和指导。通过将采集到的数据在孪生场馆驾

驶舱页面进行同步映射，直观了解场馆设备分布、数量以及运行情况；通过三维空间可实时定位所有 IoT 设备所在的空间位置，并可通过数字孪生系统远程设备管控，包括设备的开启，关闭，模式的调整，调取运维管理数据，读取每个 IoT 设备相应的历史维修保养记录信息，以及维修保养计划。

对场馆设备接入孪生平台的设备进行全天候、多门类的数据采集和动态信息的管控。通过人行、车行设备系统，实现人流、停车、检票入场一体化管理，对车辆数据、通行数据、检票数据进行流量分析展示，对比赛使用设备的监控管理，包含赛事显示屏设备、比赛扩声设备、比赛灯光设备、机械吊挂设备、竞赛信息设备、升旗控设备、售检票设备等相关子系统运行状态的监控和管理。通过对全场管设备的统筹管理，直观了解设备分布、数量以及运行情况；远程设备管控，包括设备的开启，关闭，模式的调整等，真正实现了场馆设备“一屏统管”。

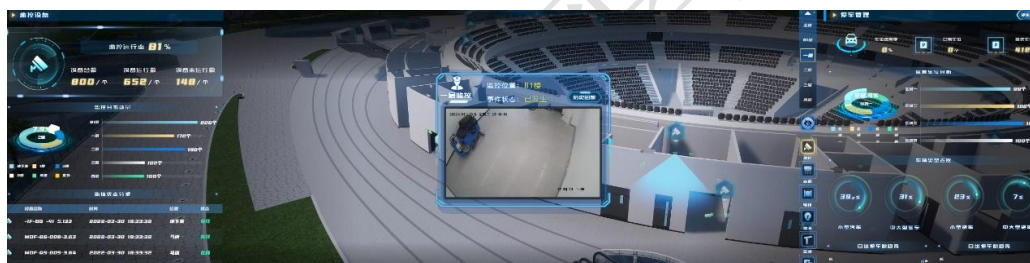


图 4.30 数字孪生智慧场馆设备管理

三、指挥联动“一张图”，事件流程全闭环

数字孪生场馆结合地理信息系统和全球定位系统，建立起适应场馆的应急指挥“一张图”。通过驾驶舱页面对场馆发生的事件进行实时告警，基于事件地点在 3D 模型中的映射，在 3D 模型中展示预警地点和预警标识，点击标识，视角跟踪到具体位置，并展示预警事件信息和内容；对相关预警事件显示事件处理状态。基于 3D 模型，事件处理完成则警告标识消失，支持警告标识手动取消。

通过时空、建筑、设备、人员、事件进行数字化转义，在孪生平台实现应急事件的预警、处置、调度和跟踪，形成事件处理闭环。满足运营与调度指挥等业务需求。数字孪生智慧场馆具备多媒体信息综合处理功能，实现了资源调度、监控信息、事

件报警、设备流程管理的高度集成、高效融合，使各类信息精确显示、高度共享，从而大大提高了管理工作的效率和质量。

支持对场馆内的消防、设备设施故障等突发事件进行不同等级的告警信息。告警等级分为黄色告警和红色告警。黄色告警定义为初级告警，指对场馆设备或事件达到预设告警阈值的数值，进行黄色告警，提示场馆管理人员需要提前做资源协调处理来防止告警事件的发生，把事件控制在发生前就进行完处理闭环，做到预防为主和精准预测。红色告警定义为达到或超过告警阈值的事件告警。

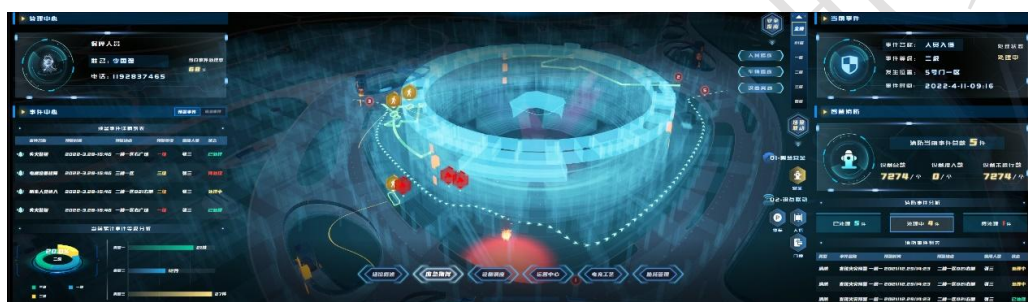


图 4.31 数字孪生智慧场馆应急智慧场景

四、日常赛时双模式并行，场景切换应时应景

按照场馆实际使用场景设置日常运营模式和赛时运营模式，通过将场馆的设备、场景、人员进行日常和赛时的定义，在孪生平台实现双模式自由切换，真正做到根据场馆要求场景做到应时应景契合实时需求。

3) 建设成果

通过可视化应用建设，实现体育场馆的场地、设施、网络等对象感知数据的管理；把对象的运维管理过程进行融合集成，实现场馆信息、设施、信息、运维人员信息之间的互联互通。通过对场馆、设施、运维人员的信息管理与状态监测、日常巡检与故障告警处理等管理手段，提升对运维管理的智慧化管控能力；通过对运维历史数据的分析、实时状态数据的掌控和未来的推演预测，推动体育场馆运维管理向数字化、智慧化转变。平台将承载日常与赛事使用的安全管理和信息管理的高速、

稳定、可靠的运转。通过合理、专业化的系统设计，达到既节省整个方案智能化建设的投资，又能使智能化方案满足要求。

打造智慧化公共场馆，推进体育场馆管理科学化、精准化、智慧化发展。场馆以管理和技术实现双轮驱动，通过场馆主体场景覆盖、流程全程闭环、运营结构全面创新、公共服务全新体验，实现社会效益提升、推动场馆共治共享社会格局。

最终通过“智慧场馆”建设新模式，让体育场馆基层管理机制不断创新，联动线上线下，促进不同场景融合，助力优化升级。

（三）数字孪生工厂

在全球制造业竞争异常激烈的今天，德国为了应对美国和日本制造业的挑战，2013年的汉诺威工业博览会上正式推出提出了“工业4.0”的国家战略。中国虽然已成为全球第一制造大国，但还不是强国，为了迎接挑战，2015年5月，国务院正式印发《**中国制造2025**》，提出了“中国制造2025”的制造强国战略（夏妍娜，赵胜，2016）。

2021年12月28日，工信部等八部门正式发布了《**“十四五”智能制造发展规划**》，从系统创新、推广应用、自主供给、基础支撑等方面对我国智能制造发展做出了更加全面的布局。规划中提出，到2025年，70%的规模以上制造业企业基本实现数字化网络化，建成500个以上引领行业发展的智能制造示范工厂；到2035年，规模以上制造业企业全面普及数字化网络化，重点行业骨干企业基本实现智能化。

数字孪生的技术发展与工程应用起源于制造业，在工业产品中的概念设计、详细设计、加工制造、运维服务和报废回收等全生命周期都发挥着作用（李浩，王昊琪，刘根，等，2021）。对于制造业来说，传统生产车间的各要素主要依赖工人管理，各种数据信息主要依靠人工记录、统计、查询、使用和分析，从而导致数据质量差、使用率低、无法实时跟踪实际生产状态等问题。为了解决这个问题，部分工作采用数字化、系统化管理，大部分数据采集实现了智能化，但是远远达不到实际车间与虚拟车间之间的实时交互和共融（陈川，陈岳飞，曾麟，等，2020）。

针对这个问题,陶飞等人提出了数字孪生车间(陶飞,张萌,程江峰,等,2017),通过整合物理真实空间与虚拟空间各流程、各业务的有效数据,在车间孪生模型和孪生数据的双重驱动下,不断更新和完善物理车间的生产要素管理、生产计划、生产流程等生产相关的活动,从而在满足成本、质量、自身产生效率等限制条件下,达到一种车间生产运营的最佳生产模式。

在孪生数据的驱动下,可以实现工厂的全生产要素在物理工厂、虚拟工厂、工厂服务系统间的迭代运行,最终使物理工厂不断得到进化,直到工厂生产和管控达到最优的一种工厂运行新模式(林晓清,2019)。数字孪生工厂组成要素包括物理实体工厂、数字虚拟工厂,以及在二者之间双向传递的生产过程数据,如生产设备数据、测量仪器数据、生产人员数据、生产物流数据等,过程数据实现了物理工厂和数字工厂之间的关联映射和匹配(卢阳光,2020)。

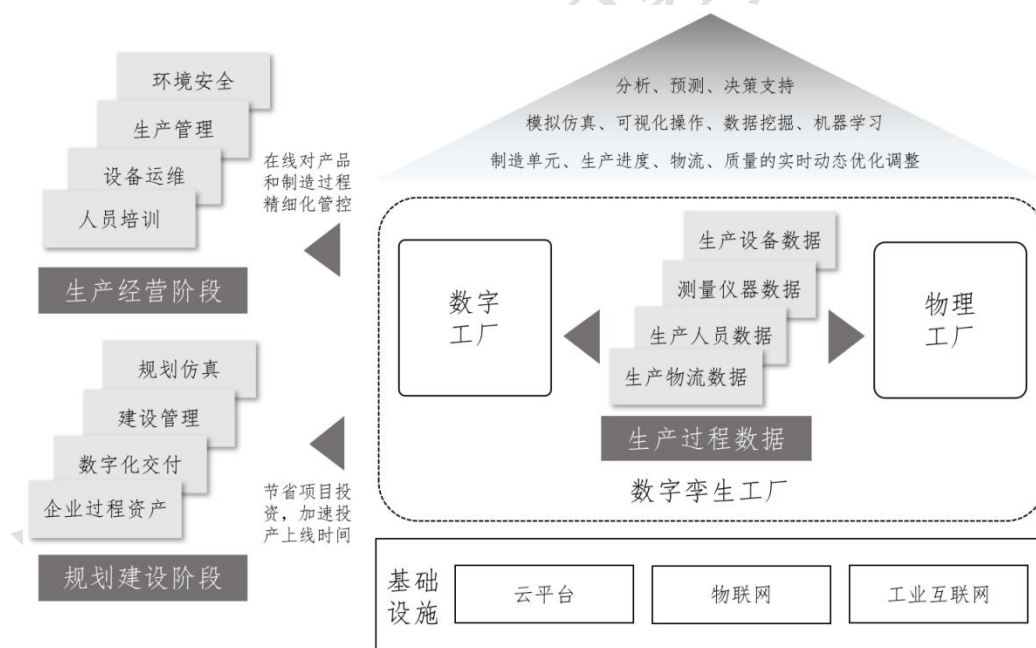


图 4.32 数字孪生工厂的组成要素

1、创奇智慧工厂车间孪生驾驶舱

1) 案例背景

浙江创奇电气有限公司是一家以低压电器产业为核心的现代化企业,全球 Top10 终端电器产品制造商,国内低压电器行业出口的领军企业之一。公司近些年先后获得了“乐清市数字化车间、智能化工厂试点示范企业”、“两化融合管理体系评定证书”、“温州市两化融合试点示范企业”、“浙江制造精品”等荣誉。

随着客户对交期和产品品质要求的不断提高,对生产效率的要求也越来越高,特别是装配业务,仍充斥着大量的人工装配工序,而该工序对人员的技能要求又比较高,面临着成本越来越高招工越来越难的境地,是低压电器行业传统的生产瓶颈。迫切需要通过智能化和数字化的自动装配产线,实现装配自动化和智能化,提高生产效率和产品质量,从而减少对人工的需求,最终实现智能化精益生产管理和运营。创奇大力推进智能制造改革,希望借助数字化手段将其生产调度、业务数据以孪生可视化的形态进行呈现,共同打造智慧工厂典范。

2) 解决方案

智能工厂由网络空间的虚拟数字工厂和物理系统中的物理工厂构成。其中,实体工厂部署了大量的车间、生产线、加工设备等,为生产制造全过程给予硬件基础设施建设和生产制造资源,也是具体生产制造全过程的最终载体;虚拟数字工厂是根据这些生产制造资源和生产制造全过程的数字化模型。创奇根据产品生产制造过程分析,实施建立了小型断路器智能化产线,通过智能化产线实现了前工序自动化装配线、后端检测工序自动线、全自动包装线以及机器人码垛工站组成的产品制造全过程不落地的自动化产线结构。本次智慧工厂车间孪生驾驶舱项目围绕电器生产线的总体设计、工艺流程及布局过程中建立数字化三维模型,并进行模拟仿真,实现规划、生产、运营全流程数字化管理。



图 4.33 创奇数字孪生智慧工厂应用架构图

智慧工厂项目建设中存在如下难点：

一是建设目标高。结合生产现场，采用虚拟环境对工艺规划、物流路径、工艺参数进行仿真验证，通过虚拟制造与物理生产的循环迭代，指导技术决策，优化工艺，缩短研制周期，实现快速制造。

二部门间联动不紧密。工业信息化一般聚焦在工厂的一个或几个特定环节，尚未形成完整的产业生态。本次项目仍需持续推进网络体系建设，加强核心技术标准研制，支持各部门之间的对接

三是数据展示不直观。基本的图表在某些特定的场景下不适用，信息动态变化快成为新的趋势。本次项目中，需要考虑更加合适的展现形式。

本次项目中主要针对以下场景进行应用建设：

一是车间总览

默认为车间总览场景，根据 CAD 图纸对物理车间进行还原建模，实现物理产线到三维产线的数字化，场景内对各产线设备及 AGV 小车进行数据对接，满足在具有多模态、高通量、强关联特征的工业大数据环境中支撑工业应用。

基于 EasyV 低代码数字孪生可视化平台开展离线和在线工艺仿真分析。离线仿真主要通过模拟物理车间、产线的制造工艺过程，通过工艺规划过程逻辑和工艺操作时间、物流频次规模、工位布局等，模拟验证工艺的可行性，分析工艺布局物流调度等科学性和可优化性。

在线工艺仿真主要通过与物理车间实时交互开展，结合具体的工艺执行场景，通过低时延物理实体状态的实时感知，在数字空间中实现生产工艺状态的实时表达，并基于已有生产工艺逻辑模型和工艺知识规则进行校验，实现工艺问题的提前和实时发现。

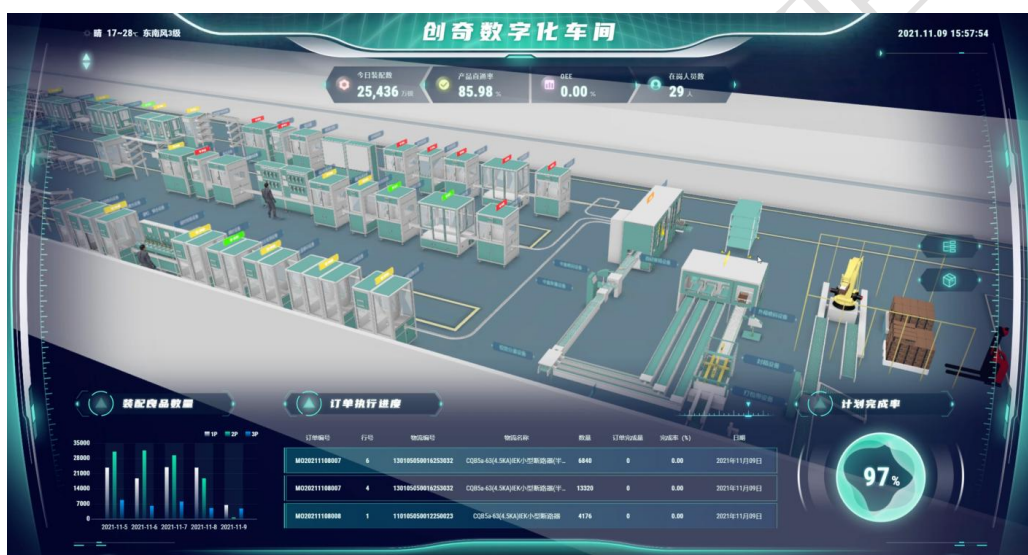


图 4.34 创奇数字孪生车间总览

二是智慧产线

智慧产线的物流建模与仿真:应用计算机辅助技术和虚拟仿真技术，对智能生产线、智能包装线的运行情况进行仿真分析，根据仿真结果对生产系统、包装系统进行优化调整，形成智能工厂系统优化场景。

此外，通过基于数字孪生的电子地图实现车间物流运输路径的拥堵预警；通过装配工艺逆向建模，确保装配精度，规避装配过程问题。



图 4.35 创奇数字孪生车间生产线

3) 建设成果

本项目主要取得了以下成果：

一是数字孪生车间。对车间产线、生产设备等进行三维建模，实现物理产线到三维产线的数字化、监控可视化的转变。

二是生产监控一体化。实时采集设备运行的状态，统一汇总到可视化平台；通过动画仿真模块中模型状态的实时更新，使模拟数据同真实设备状态保持一致，实现车间设备真实运行情况的实时同步监控。

三是数据价值可视化。在大屏展示的基础上，增加车间设备的三维可视化效果，实时掌握车间设备的动态，对现场的生产状态以及企业资产一目了然。

2、智慧农业稻米加工厂

1) 案例背景

2018年，中共中央、国务院印发《关于实施乡村振兴战略的意见》，将数字农业、智慧农业、农村电商等与乡村振兴更加紧密衔接。2019年，《数字农业农村发

展规划(2019—2025年)》发布,从资源体系、生产经营、管理服务、治理体系等角度对农业农村数字化转型进行全方面规划,明确了具体目标以及重点工作任务,系统部署并加快推进数字农业农村建设。2021年“一号文件”中提出,发展智慧农业,建立农业农村大数据体系,推动新一代信息技术与农业生产经营、深度融合。“十四五”规划纲要提出,要加快发展智慧农业,推进农业生产经营和管理服务数字化改造。

“数字农合”肩负着让数字赋能更多农户和企业的使命,以搭建种植业生产管理一体化云平台为基础,面向生产服务和管理分别打造集农业生产、管理、政务于一体的APP端和PC端,统一涉农系统门户,并以企业为纽带,实现涉农服务一键办、涉农信息及时达、涉农数据随时采。通过建设生产体系和供销体系,全面打通数据链路,汇聚“生产—服务—管理”多维数据,构建农户、社会化服务和金融保险机构信用体系和大数据体系,助力地方政府搭建智慧农业与数字乡村智慧决策系统,以数据驱动农村一二三产融合发展,实现传统农业向现代农业的转型跃迁。

2021年某市以“最多跑一次”改革为牵引,在深化“三位一体”改革中,推进农合联数字化转型,构建“三位一体”新型农业社会化服务的数字化平台,构建全国首个数字农合联——某市数字农合联公共服务平台,管理决策方面农合联与我司合作,目的在于通过可视化平台实现对稻米产业全业务流程的监控、管理。该市农合联在可视化平台的基础上,以控制接口及数据预警等方式将已有的业务系统与可视化关联起来,实现真正意义上的数字孪生农业工厂。

2) 解决方案

中国大田农业的发展面临诸多挑战:一是“谁来种田”、“谁能种田”问题逐步凸显;二是生产环节面临的不确定性强。大田农业难以避免受到气象与病虫害的影响,投入容易受到损失;三是小农户与大市场存在协调问题,农产品价格波动大;四是生产方式传统、机械化投入低、生产效率低。

因此,如何通过新一代信息技术力量助力稻田农业发展中所存在的问题,深度利用数字平台整合与挖掘农业大数据、便利农业管理,以智慧农业模型辅助农业生

产效率提升，以数字服务拓展农业服务应用场景，是全面推动大田农业高质量发展所需要解决的重要议题。

通过建立数字孪生驾驶舱，可视化展示区域产业动态，实时感知产业风险，辅助精准施策。孪生系统打通全域生产地块数据、卫星遥感等多方数据源，汇集数字农合联及其生产、供销、等方面关键指标，使得管理者能实时掌控全市土地撂荒、“非农化”、“非粮化”情况，监控各类业务流程，同时平台平台畅通生产主体与部门机构、农服企业、种植专家之间的数据对接，通过数据分析指导农户在种植作业过程中进行精确施肥、用药、用水等，实现了生产服务线上集成、协同供给，有效保证了生产主体顺利完成生产周期，同时对稻米生产过程关键要素及时获取、实时监测、全程可控，确保农事生产全过程规范化、精准化。

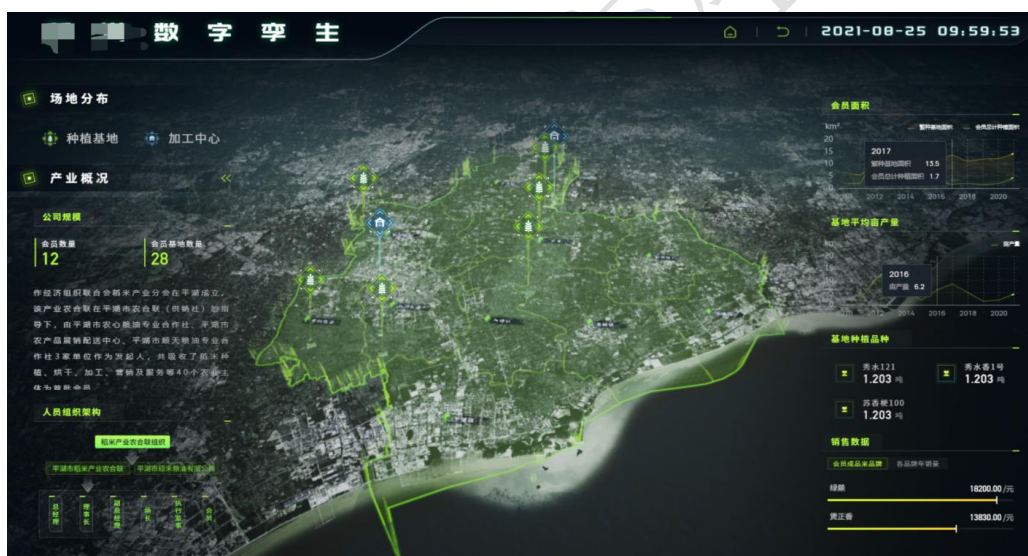


图 4.36 稻米数字孪生驾驶舱

项目中还针对稻米的后加工过程进行可视化管理，针对稻米数字孪生还原加工中心工作场景，各设备可通过交互展示详情信息，实现远程监控。若设备发生预警可自动传达给相关业务系统进行远程控制，通过集成数据采集系统，采用数字化和

虚拟化的方式实时形象地展示车间 AGV 小车、设备、物流的运行状态及人员状态等信息。通过虚拟指令对车间设备进行远程控制或维修。

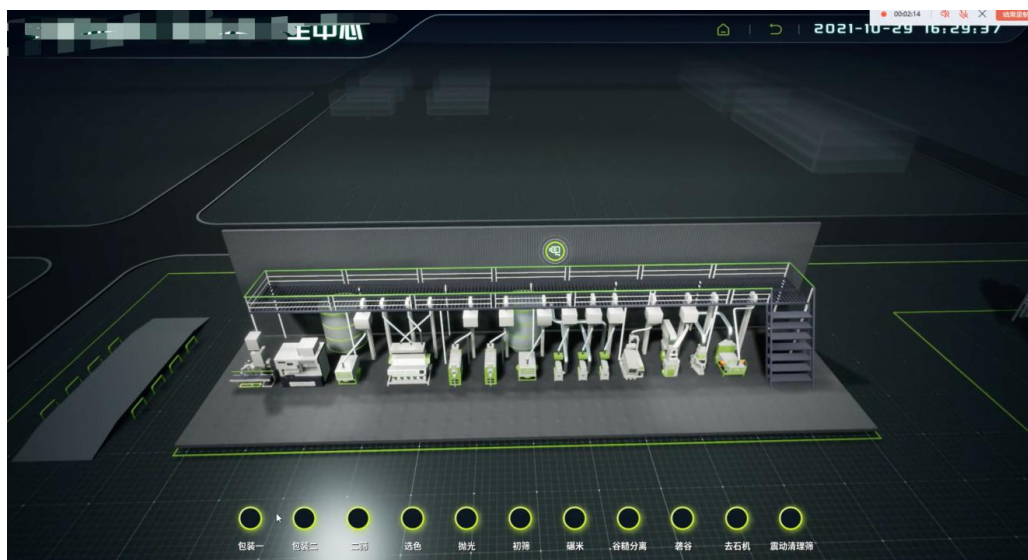


图 4.37 数字孪生稻米加工车间

3) 建设成果

农业生产从“粗放型”向“精准化”转变：通过数字化工具整合涉农资源，线下依托合作社，MAP 及其他涉农机构为加入合作社的农户提供稻米生产服务指导，通过历史灾害、品种特征、土壤信息等数据分析，标准化种植方案，让农业种植从过去“看天吃饭”的经验种植模式，变成“知天而作”的智能现代化种植模式，提升种植质量，实现技术无忧。

管理决策环节:建立动态感知和智能预警机制，利用数据管理和可视化展示技术建设数据驾驶舱，管理部门和农技服务人员可根据全市的地块信息实时掌握产业动态及风险，对种植户进行精准农事农技指导。通过真实的数据，帮助管理部门了解合作社服务情况，并跟踪相关部门的工作指标完成情况，保障制度政策落实到位，为管理决策提供实时的决策依据。

（四）数字孪生流域

智慧水利建设作为推动新阶段水利高质量发展的六大实施路径之一，以数字化、网络化、智能化为主线，以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径，全面推进算据、算法、算力建设，加快构建具有预报、预警、预演、预案功能的智慧水利体系，为新阶段水利高质量发展提供有力支撑和强力驱动。

智慧水利是应用云计算、物联网、大数据、移动互联网和人工智能等新一代信息技术，对水利对象及水利活动进行透彻感知、全面互联、智能应用、泛在服务、信息共享、促进水利规划、工程建设、运行管理和社会服务的智慧化，驱动水治理体系和治理能力现代化的新理念和新模式。

2021年11月，水利部印发了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》和《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》，还同步印发了《智慧水利建设顶层设计和《“十四五”智慧水利建设规划》，系列文件明确了推进以构建数字孪生流域为核心的智慧水利建设时间表、路线图、任务书和责任单。2021年12月23日，水利部召开推进数字孪生流域建设工作会议。水利部党组书记、部长李国英出席会议并讲话，强调要大力推进数字孪生流域建设，积极推动新阶段水利高质量发展。

数字孪生流域，是数字孪生技术与水利融合的新发展路径，综合利用倾斜摄影、实景建模、数值仿真、BIM、GIS等多种技术手段，围绕不同维度、不同场景、不同业务模块建设需求，构建具有不同场景尺度等流域数字孪生基底。通过将数字空间中构建的水利虚拟映像叠加在水利物理空间上，重塑水利基础设施，形成虚实结合、孪生互动的智慧水利发展新形态（赵杏英，毛肖钰，徐红权，等，2021）。数字孪生流域是以物理流域为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动的新一代数字流域，对物理流域全要素和水利治理管理活动全过程实现数字化映射和智能化模拟，与物理流域同步仿真运行、虚实交互、迭代优化。

数字孪生流域是智慧水利的核心，最初始于数字流域的建设和应用。随着数字化转型和产业升级的加速，新时期水利建设目标也愈加明确，李国英部长明确提出

要加快构建具有预报、预警、预演、预案功能等智慧水利体系，推进水利高质量发展。智慧水利建设的主要任务是构建数字孪生流域，包括数字孪生平台基础设施和具有“四预”功能的“2+N”业务应用体系（蔡阳，成建国，曾焱，等，2021）。

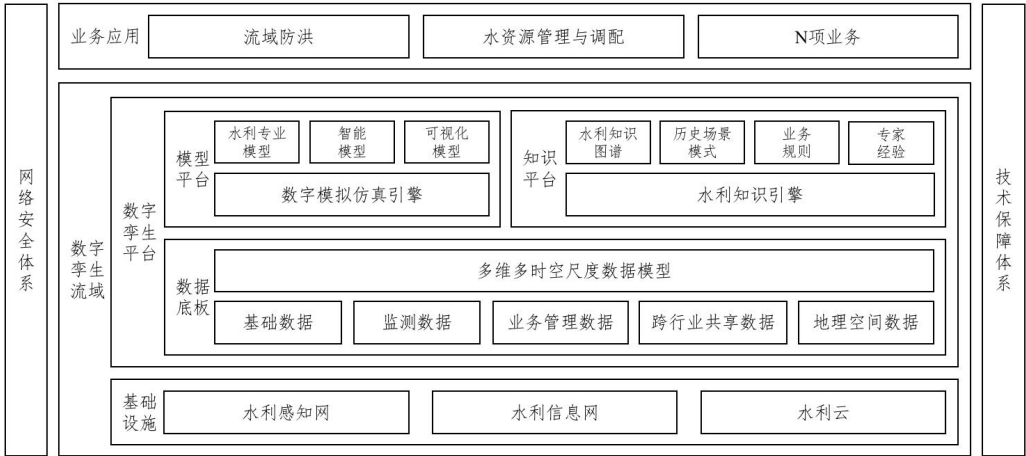


图 4.38 数字孪生流域总体框架

数字孪生流域的本质是充分利用基础及监测数据，结合流域相关领域知识，在虚拟世界中模拟再现水流及涉水相关物理实体和决策要素，虚实结合，更加直观智能的实现模拟预测、防洪应急、资源调配等业务应用，为流域管理决策提供更为智能和精准的技术支持（黄艳，喻杉，罗斌，等，2022）。数字孪生流域构建要素及作用如下图所示。

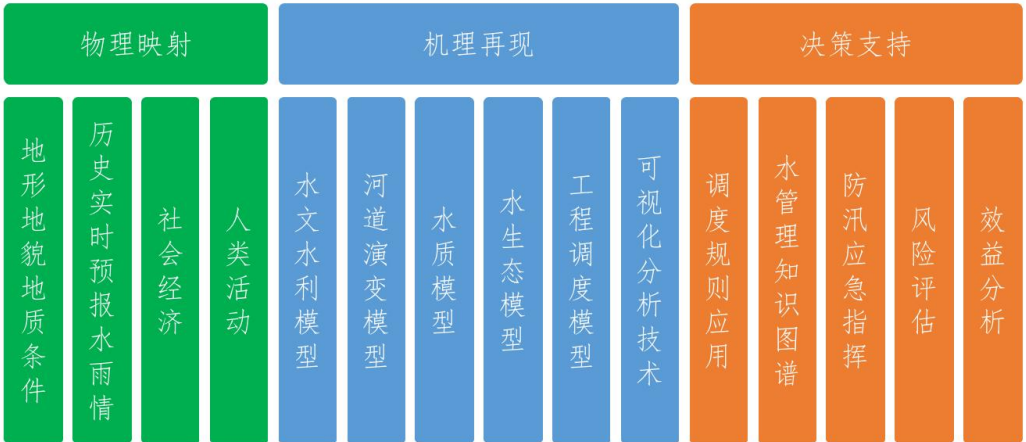


图 4.39 数字孪生流域基本功能及构建要素

当前可以说还处于数字孪生流域建设的规划期，数字孪生流域建设落地有三大挑战和难点需要解决：

一是数据基础弱

1) 物联感知数据、时空数据不足。物联网感知设备存在地上多、地下少，预警设备多、监测设备少的问题，水文监测设施不足，水土保持监测站点在人口密集、人类活动频繁的地区布局明显不足，在水库、堤防、中小型水闸缺乏监测，采集到的数据不全面；时空数据包括供水管网、高程数据、倾斜摄影数据、建筑 BIM 数据等，存在二维数据多三维数据少的问题，在建设数字孪生流域的过程中，模拟仿真缺少时空数据支撑。

2) 感知自动化智能化程度低。监测手段自动化程度不高，仅有部分河流湖泊、大中型水利工程开展了自动化监测采集；新型传感设备、智能视频摄像头、定位和卫星无人机遥感等新技术应用未得到广泛应用；监测仍以单点信息采集为主，存在测不到、测不准、测不全等问题，缺乏点、线、面协同感知；应急监测装备能力低、应急监测手段缺乏。

3) 水利数据多源、异构。水利大数据来源广泛，不同的监测平台得到的数据具有不同的数据结构、存储系统，非结构化数据、半结构化数据、结构化数据并存，且时空数据坐标不统一、编码不统一。

4) 数据多、质量差，数据清洗难度大。水利数据包括历史数据和各类型监测数据，数据量庞大。由于不同观测条件的差异，数据可信度参差不齐，对数据清洗和质量的确提出了很高的要求。

5) 数据收集、存储、管理困难。庞大的数据量的存储与管理需要新型数据库的支持，对海量数据进行管理使用。

二是数据多维时空分析难

1) 水利数据具备时空分布特性，时间、空间双维度下的数据分析具有难度。

2) 水利数据实时性要求高，对数据的处理运算速度有高要求。

3) 云计算能力不足。在水利大数据管理和分析应用中大量非结构化数据,数据挖掘分析和大数据模型运算需要强大的并行计算能力,现有基础软硬件无法提供支撑。

三是场景构建、数据共享难

1) 数据孤岛现象明显。不同的水利部门系统建设时间不同,且系统之间相互独立,跨部门协同困难,且多为非公开数据,使用困难。水利信息化普遍存在分散构建现象,造成建设成果“条块分割”“相互封闭”,无法实现信息资源的有效流动、基础设施的共享应用、业务应用的交互协同,严重制约信息资源整体化效益的发挥。

2) 应用场景构建困难。数字孪生流域应用构建基于 GIS、BIM、IoT、倾斜摄影、卫星影像图等多维时空数据,技术难度高、建设成本大。

3) 前沿信息技术应用水平不高。高新信息技术的潜能尚未得到充分挖掘,水利业务应用系统主要以展示查询、统计分析、流程运转、信息服务等功能为主,大数据、人工智能、虚拟现实等技术尚未等到广泛应用,整体水平不能满足应用需要。

1、宁波智慧水利整体智治综合应用

1) 案例背景

宁波市智慧水利项目作为 2020 年 3 月列入水利部智慧水利先行先试的项目之一,同时也是宁波市数字政府 12 项重大标志性工程之一。

围绕创建全国智慧水利示范城市,项目建设目标期望基本实现智慧感知信息健全、智慧分析能力提升、智慧应用业务协同,实现水利粗放式管理向水利网格化管理、精细化管理转变,促进水利工程向标准化管理转变,促进水利服务向社会化发展,最终达到“看水一张网、治水一张图、管水一平台、兴水一盘棋”的总体要求。

2) 解决方案

宁波智慧水利项目一期通过整合已建的系统,打通业务数据,建立市县两级共建共享共用机制,形成“一云一网一中心两平台”的总体格局,即水利政务云、水利物联网、水利数据中心、应用支撑平台、综合应用平台。

围绕“综合监控、调度指挥、数据管控”构建水利工程、防汛调度、水资源分析、水文分析等四大应用场景，并基于易知微 EasyV 数字孪生可视化平台的低代码能力实现了可视化展示。

一是水利工程场景。构建水利工程现状展示场景，围绕水利工程全局展示以及工程全景信息关联展示两大信息主题，结合 GIS 地图与三维模型，以虚实结合的方式，按流域、行政区划、工程类别综合分析展示各类水利工程的分布情况，并提供具体工程基础信息的查询展示功能，实现水利工程宏观与微观信息的无缝切换。



图 4.40 宁波智慧水利-水利工程场景

二是防汛调度场景。以防汛防台应急事件为驱动，在防汛防台期间，基于动态监测数据，结合大数据建模分析技术，通过信息关联化综合展示，为领导决策提供可视化平台。按照防汛防台“事前-事中-事后”重点关注信息的区分，构建台风、防汛形势、洪涝影响等不同主题的信息场景，基于构建的三阶段洪涝风险预判模型，对不同时空尺度气象预报信息和实时水、雨、工信息进行动态预判，为防汛防台提供全过程、动态化的关联信息展示与指挥决策辅助。



图 4.41 宁波智慧水利-防汛调度场景

三是水资源分析场景。围绕水资源总体态势、水利供需预警分析、实时水质动态分析、供节水大数据链路等信息主题，展现全市降水量、水资源量、供用水量总体

态势，水量水质现状及动态变化过程，以及供节水大数据链路，实现从水量、水质、供水、排水等不同角度全方位、多维度掌控全市水资源状态。



图 4.42 宁波智慧水利-水资源分析场景

四是水文分析场景。围绕水文信息综合监控分析以及水文站网分级分类展示等信息主题，对智慧水文监测体系所获取的数据信息进行深度挖掘以及全局化综合监控分析；按照站网分级分类对水文站网基础信息和监测信息进行专题化的展示和分析，以达到水文监测信息的实时预报预警以及多维度分析展示的目标。充分利用大量的水文实时及专题数据资源，通过各类水文分析计算模型及专题成果，极大提高水文分析的时效性和分析成果的可视化程度，旨在让管理决策者实时直观了解当前雨水情及变化过程、历史曾经发生以及将来可能出现的雨水情及结果。



图 4.43 宁波智慧水利-水文分析场景

3) 建设成果

2021 年，宁波市水利局依托宁波市政务云和市时空云平台搭建“智慧水利”云环境，实现数据“云端”共享、前端设备“云上”管控，全面提升宁波市水利管理智能化水平，顺利完成水利部智慧水利试点建设任务，并取得了以下三点重要成果：

一是实现全流域洪水、区域涝水动态超前预报。通过集成区县（市）洪水风险图成果，构建全流域水文水力模型，计算预报全流域洪涝演进过程。计算结果通过

“智慧水利”实时上传发布，实现数据多部门（交通、城管、气象）交互共享，提供决策支撑。“烟花”台风期间，该模型自动预报 144 次，准确预报各重要断面洪水过程，全市提前 2 天对市域水库和河网进行预泄，掌握抗洪主动权。

二是实现山洪灾害由“监测预警”向“预报预警”转变。构建山洪风险预报预警模型，实时采集气象等核心驱动数据，每 10 分钟自动进行山洪灾害预警分析。相较于传统监测预警，现在预警信息可提前 1-3 小时发布，并新增扁平化直达风险区域行政单位和公众预报预警，从“逐级预警”提升至“同时预警”。“灿都”台风期间，山洪灾害预报预警共计预警 21 个时次，向区县责任人下发提醒短信超 1800 人次，向风险区域公众下发提醒短信 51 万人次，为做好转移工作提供重要支撑。

三是实现区域水利设施联合调度运行。将闸泵调度从原先分散调度转变为同平台统一调度监管，实现区域内各项实时数据一屏展示交互，通过“预报-调度-指令-执行-监管”闭环化管理，使水利调度管理做到有据可依、指令到人、监管到位。“烟花”台风期间，调度排涝量达 3290 万方，有效保障河网防洪排涝效力，助力慈溪中心城区平稳度汛。

2、双溪口水库智慧水利数字化系统

1) 案例背景

双溪口水库既是一个自然综合体，又是一个经济综合体，具有多方面的功能，如调节河川径流、防洪、供水、灌溉、发电、养殖、航运、旅游、改善环境等，具有重要的社会、经济和生态意义。水库的建设及其开发是我国水资源利用的重要手段之一。

传统水利已经难以满足新时代经济社会发展提出的专业化、精细化、智能化管理要求，因此双溪口水库以流域为单元、以江河水系为经络、以水利工程为节点，通过双溪口水库智慧水利数字化系统构建起现代水利基础设施网络平台，满足新时代经济社会发展新要求。

2) 解决方案

数字孪生为媒介，为展现双溪口水库智慧数据驱动运营体系，通过数据大屏全面呈现水库实时服务动态，实现对水位、雨量、闸门、台风、洪水、安全检测等的整体掌控。同时智慧水库可以对水库各部门起到辅助决策作用，以及对内、外领导嘉宾参访接待。其中有两个重点场景。

一是水库智能监管。通过物联网感知设备和 IoT 数据平台，将水库周围各点位的摄像头接入到系统中，实现水库现场情况的实时监控，每个摄像头点位可实时回传的视频监控画面，快速实现第一时间定位风险情况。物联网感知设备还包含对台风监测、洪水监控和 16 个安全监测，通过对数据智能分析和深度挖掘，对物联网感知设备进行实时数据呈现，辅助水库的智能管理。



图 4.44 双溪口水库智慧水利-水库智能监管场景

二是防汛应急预案。利用传感、定位、视频、遥感等技术，实现感知范围全域覆盖。扩大双溪口水库实时在线监测范围，通过卫星、雷达、无人机、视频、遥控船、机器人等多种监测手段的应用，对险情发生时、预警预报时进行快速响应和预案执行，小组人员排班展示，在紧急时刻给决策人员提供人员调动的方案。



图 4.45 双溪口水库智慧水利-防汛应急预案场景

3) 建设成果

双溪口水库管理信息综合展示系统，向用户提供丰富的可视化模板，满足业务监控、风险预警、地理信息、分析雨量、水位等多种业务的展示需求。引擎具备多数据源实时、丰富的视觉效果等特点，通过添加拖拽等可视化编辑的交互方式快速创造出美观酷炫的数据大屏。通过灵活多样的图表形式对数据进行实时的可视化展现，方便快速直观洞察复杂业务背后的数据本质，帮助管理者及时发现问题，指导相关决策。

充分利用大量的水文实时及专题数据资源，通过各类水文分析计算模型及专题成果，极大提高水文分析的时效性和分析成果的可视化程度，旨在让管理决策者实时直观了解当前雨水情及变化过程、历史曾经发生以及将来可能出现的雨水情及结果。实现水库数据信息管理、水库健康综合诊断和预测、水库优化调度三大业务场景，提高水库调度能力。

项目利用智能视频分析技术，引入视频监控、无人机巡检手段，辅助水库高效治理。目前，已实现了对双溪口水库的智能监管，建立规范科学的水库时间处理机制，有效的提升了当地水利部门对双溪口水库长制工作执行效率，并向其他水库进行推广复制。

（五）数字孪生双碳

2020年9月22日，习近平主席《在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话》中郑重承诺“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”（解放军报，2020-09-23）。

双碳指的是“碳达峰”和“碳中和”。“碳达峰”(peak carbon dioxide emissions)是指CO₂排放（以年为单位）在一段时间内达到峰值，之后进入平台期并可能在一定范围内波动，然后进入平稳下降阶段。“碳中和”(carbon neutrality)则是指人为CO₂排放量（化石燃料利用和土地利用）被人为努力（木材蓄积量、土壤有机碳、工

程封存等)和自然过程(海洋吸收、侵蚀-沉积过程的碳埋藏、碱性土壤的固碳等)所吸收,即:实现CO₂的净零排放(王新平,苏畅,文虎,等,2022)。

能源领域碳排放总量大,是实现碳减排目标的关键和重点。从能源活动领域看,能源生产与转换、工业、交通运输、建筑领域碳排放占能源活动碳排放比重分别为47%、36%、9%、8%。我国碳排放的大户依次是电力、工业、交通和建筑,几乎贡献了全国碳排放量90%以上⁵。可以说,“双碳战略”本质上是能源问题,必将推动能源工业转型,增加风电、水电、太阳能等非化石能源在能源结构中的占比,人们在能源消费端的观念也必将随之改变。

1、低碳冬奥监测与供电保障

1) 案例背景

2019年6月23日,北京2022年冬奥会和冬残奥会组织委员会(简称“北京冬奥组委”)正式发布《北京2022年冬奥会和冬残奥会低碳管理工作方案》(简称“低碳管理方案”),提出了北京冬奥会低碳管理目标,从低碳场馆、低碳能源、低碳交通和北京冬奥组委在行动方面提出了18项碳减排措施,从林业碳汇、企业和公众参与方面提出4项碳抵消措施,针对重点排放领域制定相应的碳减排措施,最大限度减少碳排放。北京冬奥组委会同北京市、河北省张家口市以及场馆业主等单位,在北京冬奥会筹办过程中,积极推进各项减碳措施的落实。

2020年5月,国际奥委会、国际残奥委会和北京冬奥组委同步向社会发布了《北京2022年冬奥会和冬残奥会可持续性计划》。

2021年9月,国家重点研发计划“科技冬奥”专项“低碳冬奥监测与碳中和调控关键技术及示范应用”项目启动。该项目由北京理工大学魏一鸣教授牵头,联合清华大学、国家速滑馆、杭州易知微科技有限公司等多所高校及单位,研发低碳冬奥监测与碳中和调控关键技术,实现冬奥会碳排放数据多源采集融合与全景式智能

⁵ CAICT 中国信通院:《数字碳中和白皮书》,2021年12月发布。

管控, 评估冬奥会对京津冀经济社会环境发展的联动促进效应, 最终提出冬奥会碳中和实现路径与方案。

2) 解决方案

通过碳排放“测-算-控-谋”技术体系, 将冬奥碳排放相关的人-机-物-环数据监测、碳排放核算、评估和管控功能集成于一体, 分为人机物环监测、碳排放预测、碳排放管控、碳普惠交互等几大版块, 实时监测场馆能源消耗和碳排放相关数据, 并根据场馆运营相关活动水平, 实时追踪碳排放变化和减排情况, 预测冬奥会期间场馆新增碳排放, 实现北京冬奥碳减排行动评估有据可依、有数可查、有物为证。

冬奥碳测平台运用 BS+CS 双架构, 图表面板通过易知微 EasyV 低代码数字孪生可视化平台搭建, 主孪生场景通过 UE 游戏引擎进行构建, 主要分为四大版块。

一是**减排措施概览**。依托 GIS 地理信息数据, 构建北京、张家口、延庆赛区底图, 在地图上宏观呈现 13 个场馆的地理位置分布, 点击场馆图标呈现该场馆的碳减排措施及技术, 同时结合数据面板呈现能源、场馆建筑、交通、赛事设备、物资、碳抵消的减排技术及减排量, 全方位的监测人员、建筑、设备、物料、环境等活动体的离散动态变化, 将运用低碳措施和技术减少的二氧化碳排放进行量化。



图 4.46 冬奥碳测-减排措施概览

二是数字孪生短道速滑馆。速滑馆以低碳节能的理念和实施方案进行建造，碳测平台则基于 GIS、BIM、CAD 等技术和数据，结合现场数据采集资料，实现短道速滑馆周边场景及场馆 3D 仿真还原，通过场馆功能区、各类用能设备、观众出入口等关键节点的成套智能监测装置，实时监测采集电、热等能源消耗以及人流、场馆环境、天气气象等相关指标的动态数据，测算出碳排放量及趋势，同时预测未来几日碳排放新增量，清晰掌握速滑馆的碳测数据。

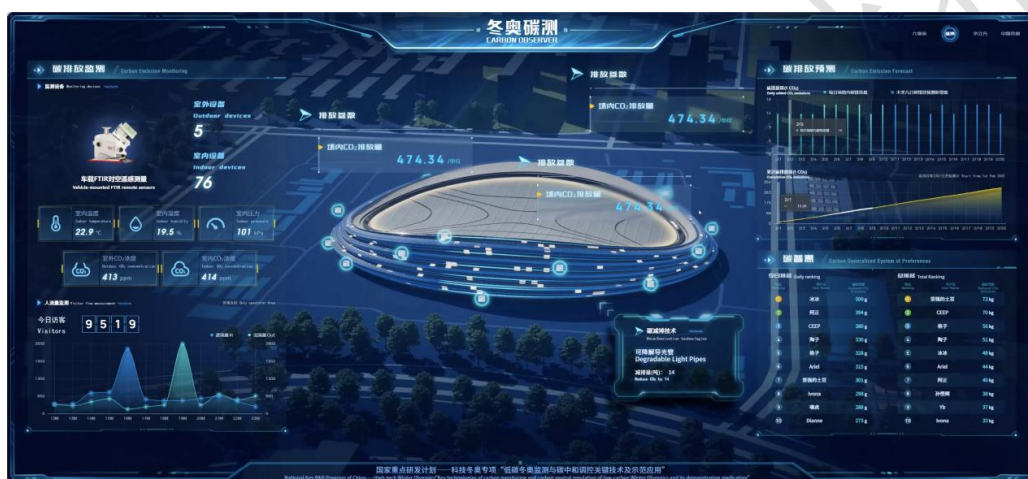


图 4.47 冬奥碳测-数字孪生短道速滑馆

三是数字孪生冰立方。举办冰壶等赛事的“冰立方”，由北京夏季奥运会标志性建筑之一国家游泳中心“水立方”改造而来，“双碳”的理念贯穿建设始终。同短道速滑馆一样，“冰立方”的建设运用数字孪生的技术，对场馆进行了建模还原，同时将加速传感器、应变传感器、环境温度传感器等监测装置点位进行接入及呈现，探测包括不同区域、比赛大厅、嬉水乐园、膜腔等空间位置的实时电耗和实时减排量，并进行分布比较，同时将充电桩、大屏、电梯等运行动力设备的电耗情况及碳排放量进行实时的趋势化呈现。

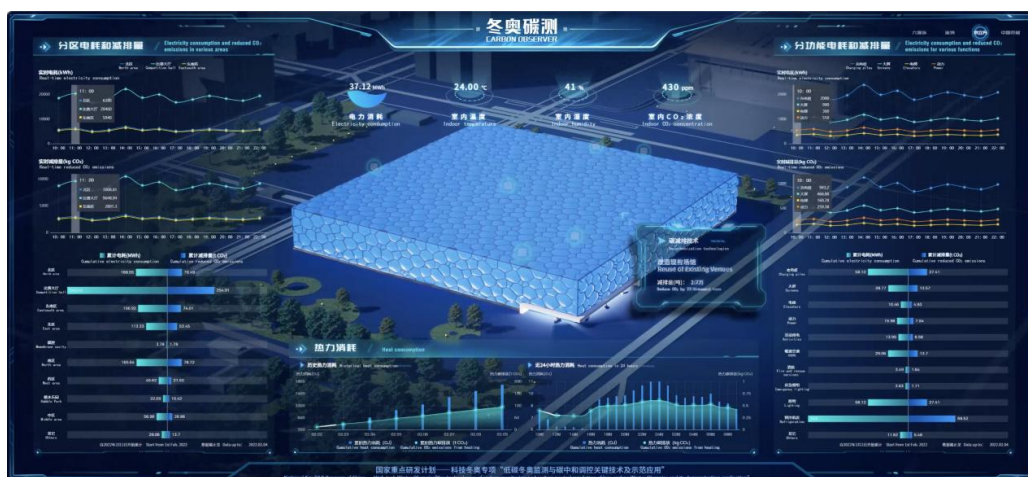


图 4.48 冬奥碳测-数字孪生冰立方

四是低碳技术解决方案。作为“低碳冬奥监测与碳中和调控关键技术及示范应用”的技术核心沉淀，低碳方案库积累了整个示范应用中的低碳技术、材料、设备、系统、方法，以双螺旋结构进行多维可视化呈现。同时，在应用过程中，推行“绿色三星建筑”的概念与目标，对于传统方案和碳中和方案的实施结果进行了比较与统计，还原从建设、运营、管理环节的节能减排实际成果，切实展现了在‘零碳’方面做的努力。



图 4.49 冬奥碳测-低碳技术解决方案

供电保障是冬奥会赛事保障的重要基石，而绿色办奥的理念成为北京 2022 年冬奥会和冬残奥会电网建设及供电保障工作的根本遵循。在北京冬奥会供电保障体系中，北京冬奥电力运行保障指挥平台是整个国网北京电力保障体系的“大脑”，接入不同业务系统，覆盖所有冬奥场馆和供配电网络，负责实施监控和统一调度冬奥赛事期间北京、张家口两地三赛区 25 座场馆电力运行状况，实现融合场馆运行数据、统一平台全景监控、变革保障指挥模式、展示创新发展成果的目标与愿景。



图 4.50 冬奥重大赛事电力运行保障

3) 建设成果

中国以实际行动兑现了“绿色办奥”的庄严承诺：冬奥会全部场馆达到绿色建筑标准、常规能源 100%使用绿电；冬奥会节能与清洁能源车辆占全部赛时保障车辆的 84.9%，为历届冬奥会最高；通过使用大量光伏和风能发电、地方捐赠林业碳汇、企业赞助核证碳减排量等方式，圆满兑现北京冬奥会实现碳中和的承诺。北京冬奥会成为迄今为止第一个“碳中和”的冬奥会。

碳测平台全方位的展示了此次冬奥会的碳减成果，速滑馆采用了 BIM 数字化建造技术，放弃了冗余设计，用钢量节约了 2800 吨左右，采用的索网屋面可较传统建筑节约 75%的钢铁，而水立方变“冰立方”的水冰转换这项技术带来了近 850 吨的减排量。团队评估了北京冬奥实施的 30 多项先进低碳技术和措施，总减排量达到 95 万吨左右。实现冬奥会碳排放数据多元采集融合与全景式管控交互，评估冬奥会对京津冀经济社会环境发展的联动促进效应。

北京冬奥电力运行保障指挥平台实现奥运史上首次电力业务领域数字化、智能化全景监视，全面支撑冬奥测试赛及正式比赛供电保障工作，圆满完成奥运赛事和城市运行保障任务，助力北京冬奥场馆 100%绿电供应，确保首都电网安全稳定运行和电力可靠供应。

2、智慧风电智能化运维

1) 案例背景

2016 年 11 月，国家能源局制定了《风电发展“十三五”规划》。基于规划的方针指导，截止到 2020 年底，风电实现累计并网装机容量超过 2.8 亿千瓦，约占全国总发电量的 6%。

2021 年 10 月 26 日，国务院发布《关于 2030 年前碳达峰行动方案的通知》。通知提出，到 2030 年，非化石能源消费比重达到 25%左右，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 65%以上，到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上，顺利实现 2030 年前碳达峰目标。

风电机组的智能化将是风电行业的重要发展趋势，而风机的智能化发展必须要在传统制造工艺过关的基础上，充分融合互联网技术创新，运用大数据、云计算等新一代信息技术，最终实现远程风机的后台监控和全生命周期管理，确保风机运行状态最优化。数字智慧风电场也因此成为了风电领域的开发热点。

自 2009 年我国成为全球最大的风电装机市场后，我国风电产业迅速发展，风电场装机容量日益增加；风电机组的工作条件十分恶劣，长期暴露工作在风速突变、沙尘、降雨、积雪、潮湿、台风、雷击等恶劣气；如何有效地对风机状态进行监控，保证风电机组稳定、安全和经济运行，已成为当务之急。风电是实现“碳达峰碳中和”双碳发展目标的重要途径，随着风电站规模增大，传统运维模式难以为继，风电运维急需智能化转型。基于此背景下，某风电公司与易知微展开合作，从可视化的角度打造智能化风电运维场景。

2) 解决方案

风电运维存在着以下几个痛点：

一是外部因素影响大，设备运维成本高。风机运营成本中，维修成本占比超 25%，部分场景下维修成本达到一半以上，而风力发电受天气影响因素大，若遇到极端天气，设备出现故障不能及时工作，将极大影响发电效率，造成安全隐患及风险。

二是传统模式效率低、监测难度大。风机故障往往来自于机身内部的核心部件，传统人工方式检测效率低且成本高，无法全面的进行检查管控；而面对风机分布广、核心部件复杂、子系统多的情况，过去的信息收集方式较为零散，较难掌握全部风机的健康状态，增加运维负担。

三是数据庞杂且实时性要求高。数据量庞大，而且相互交错增速快，缺乏统一的规范标准以及存储、计算和管理。电力数据分析结果需要具备实时性，传统的模式无法快速响应。

本次智慧风电建设以数字化、信息化、标准化为基础，以管控一体化、大数据、云平台、物联网为平台，以数字孪生技术为辅助，以计算资源的弹性配置为保障，以异构计算为核心任务，高效融合计算、存储和网络，通过“人-机-网-物”跨界融合，形成边缘+云端结合的全层次开放架构，实现不同层级的智慧，追求不断提升风电智能化水平目标，完成更加友好、安全、高效、可靠的能源供应。

数字孪生让数据更鲜活：数字孪生技术对过程及风机进行虚拟仿真，帮助公司实时了解资产状态、设备响应变化，从而对如何改善业务运营、如何增加资产价值进行辅助决策。

物联网设备实时接入：EasyV 支持多种数据源实时接入，通过标准接口接入设备数据。物联网设备可将传感器和其他连接设备集成到电网，创建「智慧电网」。

智能巡检监测与抢修：支持集成视频监控以及机器人、无人机等前端巡检系统，有效结合视频智能分析、智能定位及研判技术，对故障点位、安全隐患点位等情况进行可视化监测，实现异常事件的实时报警。

基于风电公司的需求，此次智慧风电智能化运维的、建设从公司总览、风电场概况、风机概况三大场景主题进行呈现，打造数字化智慧风电管控平台。

公司总览场景

基于公司业务情况，划分为布局总览、公司概况、公司生产经营信息、业务系统四大模块，以公司布局总览为主视图通过可视化地图展示公司总体规划和布局。



图 4.51 智慧风电管控中心总览

风电场概况场景

风电场概况基于卫星图、二维平面地图呈现风电场和风机的地理位置布局，汇集道路、水系、经纬度、规划图层等公共地理信息，将不同风电场不同风机组的点位根据运行状态进行区分呈现，同时以可视化图表形式展示风电场简介、风电场运行数据、风电场布局总览、风机列表总览、业务系统五大模块。



图 4.52 智慧风电管控中心风电场概况

风机运维场景

通过数字孪生、三维建模等技术手段，将风机的外部轮廓与内部构造进行仿真与还原，接入风机 IoT 感知运行数据，实时反馈风机运行信息及统计数据，同时直观反馈风机故障信息，实现及时预警、实时反应、故障维修的流程闭环。



图 4.53 智慧风电管控中心风机运维场景

3) 建设成果

借助易知微自主研发的 EasyV 数字孪生可视化平台，帮助风电公司将近年的风电建设成果和规划进行了实时动态还原，实现了对内对外的价值落地。

对内统筹管理了风电场及机组的建设、运行、运维成果。通过一张大屏洞悉风电发展全貌，汇集业主、项目、生产、经营、运维、设备等信息，实现了业务梳理、数据汇总、信息管控、问题洞察等方面的高效管控。此外，本次项目建设中可视化场景基于项目现场机组的数据、运行档案等，以及前期做的故障预警模型，形成故障预判预案，根据预案的等级和实施细节，系统生成相应的故障预警工单，项目现场根据故障预警工单进行排查与维修，事后进行反馈与归档，优化预案模型，降低运维成本，形成一个完整的闭环，整体提高机组可靠性和稳定性。

对外通过可视化的还原和科技化的设计，创新性的展示了业务发展成果和发展布局，既能从宏观角度，全面、清晰、高效的呈现规模和成就，同时也能基于具体细节展开进行沟通交流与探讨，打破了以往参观者只能坐在下面听汇报的实际场景，从参观之初即可通过动线的指引移步换景，从将传统的拜访交流变成更加个性化的参观看展，以更有互动感的跟随故事线的方式提升拜访体验。

智慧风电智能化运维，应用了大数据、云计算等技术，融合先进的风电技术与智慧的管理经验，提升企业风电全生命周期数字化运营管理能力。该平台在省级重点研发计划项目“风电场智能运维系统研发及应用”支撑下完成，投运以来降低机组停机时间 20%、降低风场运维成本 15%，提高能源利用效率，带来了良好的经济效益，同时也是发电过程中数字化、信息化和标准化发展的产物，在国家“双碳”政策方针的指导下，充分发挥绿色低碳技术的创新，助力实现中国可再生能源建设的持续迈进。

3、区域综合能源数智大脑

1) 案例背景

双碳战略的政策导向主要在两方面，一是通过增加电能、太阳能和氢能等清洁能源的利用，提高区域综合能源行业清洁化水平，这带来的结果是多能协同运行的复杂性和动态性会超越人脑能够分析和优化的水平。未来的智慧综合能源系统能一定是可以辅助运行管理人员进行决策优化的。二是加快节能设备铺设、设施数字化改造，提高行业发展水平，这就要求技术改造需要在较高水平的专业指导下开展。智慧综合能源大脑的核心技术思想在于通过建立能源系统的“数字孪生”模型，采用 AI 算法在线实时生成能源系统的优化运行策略，是区域综合能源系统的仿真推演沙盘+自动驾驶系统。用数字化赋能能源行业，强化企业的精益运营能力，提高了能源系统的运营效率。

常州高新区为提高区域居民生活舒适性，降低区域碳排放指标，全力打造常州高铁新城区域集中供能系统，旨在通过再生能源的利用，实现区域减碳的目标。本项目依托于常州高铁新城智慧综合能源站集中供冷供热的大背景，位于常州高铁新城核心区内，规划建设能源站 3+X 座，供能能力超过 600 万平方米，供能管网敷设超过 35 公里，为高铁新城 2 万多户居民和 1000 多家企事业单位提供集中供冷供热服务，是长三角地区集中供能规模最大，政府监管机制最健全的区域清洁供能项目。项目先后荣获“住房和城乡建设部科技示范项目”、“中国建筑节能协会绿色示范项目”、“江苏省现代服务业发展重点项目”、“中国投资协会零碳中国优秀案例及技术解决方案项目”等荣誉称号。

2) 解决方案

英集动力携手中节能城市节能研究院共建的常州高铁新城区域能源数字孪生智慧系统，通过搭建“节能云”平台，构建基于 GIS 的能源数智化系统，深度挖掘机理模型和数据价值，实现一体化调度指挥、自主数据分析，进而实现该能源系统的安全高效运行，达到节能减排、提质增效的目的。

本项目主要解决区域能源管理中普遍存在的难点，比如各能源子系统运行维护相对独立，存在数据/信息孤岛，难以统筹优化。对区域集中供冷供热系统，由于网

侧规模大、拓扑复杂，以及粗放式运行管理模式，系统运行过程中普遍存在 10%~20% 的能源浪费。在出现系统隐性故障时，运管人员常依据自身经验关停相关设备，没有系统考虑此操作的后续影响。现有运行模式及隐性故障仅凭运管人员操作经验，不足以满足复杂区域集中供冷供热系统的精益化生产、运输、消费需求，迫切需要对区域集中供冷供热高效管控的关键技术进行深入研究，解决负荷预测失准、水力不平衡度低、隐性故障诊断成功率不高等技术难点。

本项目搭建了高铁新城区域能源管网建模仿真平台，基于地理信息系统，在计算机系统内建立与现实能源系统相对应的全过程仿真模型。仿真平台有静态仿真模拟系统和动态仿真模拟系统，能计算出全网的温度、压力、流量、流速等参数的分布情况，可以辅助管网规划和设计工作，实现对全网运行的软测量。



图 4.54 常州高铁新城智慧能源数字孪生管理平台

结合常州高铁新区与地下换热站、能源站 BIM 模型的三维可视化表现手法，打造了“沉浸式”的感观和交互体验，在 EasyV 低代码数字孪生可视化平台的基础上，通过炫酷的 viHeating® IMAX 可视化智慧供热大屏，多维视角洞察区域综合能源系统全局运行状态，助力企业高效决策。

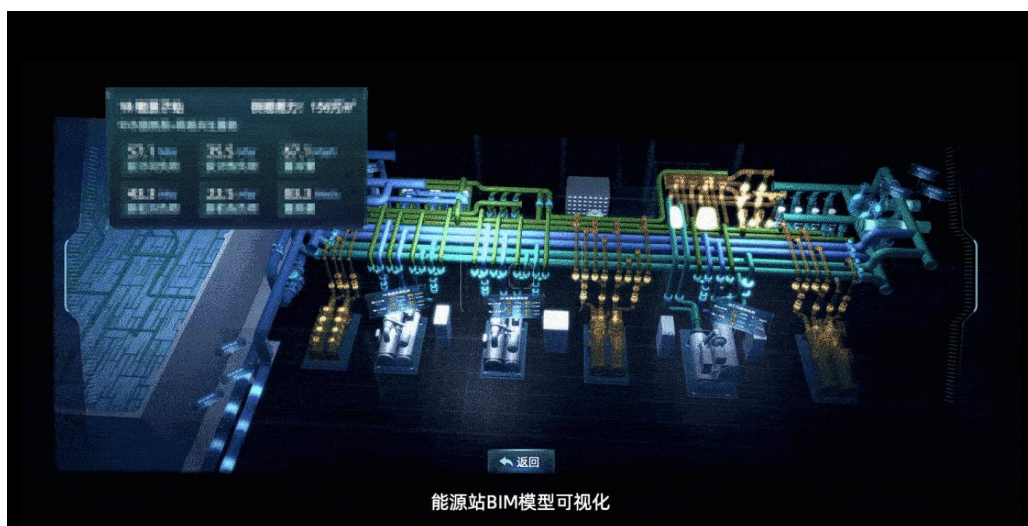


图 4.55 常州高铁新城智慧能源站 BIM 模型可视化效果

采用机理建模+数据双驱动，结合实时运行数据对冷、热、电负荷预测模型进行校正，以调度运行经济成本为目标，通过暖通空调系统多机组协同优化、照明多场景自动远程控制、分布式储能动态储放策略优化、变压器待机能耗及运行台数优化等节能技术手段，实现多能源形式的协同调控，在信息物理映射的层面快速响应热、冷、气、水等综合能源需求，同时通过物联感知、大数据、建模仿真、人工智能等一系列工业和信息技术构建起的信息物理系统，进一步支持建设智慧化综合能源系统的调控体系。这一体系可有效推动多能源形式高效互联、资源整合，并支持解决综合能源系统中非线性、多约束、强耦合的复杂多子系统运行调控和优化决策问题。

3) 建设成果

智慧能源系统是整个能源生命周期的数据、模型及分析工具的集成系统。借助数字孪生技术，围绕能源系统的数字孪生体开展规划、设计、建造、运维、更新的全生命周期管理，将能源系统全生命周期的数据集成于数字孪生体，从而实现复杂开放能源系统的定量化、精细化、科学化管理。

本项目采用聚类学习算法，科学分析用户侧数据，识别用户典型用能模式，综合能源价格、考虑气象、建筑物节能水平等信息，建立冷、热、电多时间尺度负荷预测及用能行为 AI 模型；全年 274 天运行，24 小时不间断供能，四季如春，积极推

动南方集中供暖建设，树立行业应用典范，预计可提升系统综合能效 10%，降低区域能源系统运行费用。

通过区域综合能源数字大脑的建设，取得了以下显著成果：

一是建立了接口设施的标准化体系。通过对区域集中供冷供热高效管控的关键技术进行研究，完成了热、电、水等异质能流的统一建模，提高了系统生产运行管理的专业化、智能化、信息化、科学化水平；

二是兼顾“源网荷储”各环节多用能主体的互动协调。实现了管理与运行过程实时对接，促进管理方式向精益化转变；

三是能源价值信息并实现知识转化。实现“用数据说话”、“依据数据进行决策”、“改进一个过程所需要的所有信息，都包含在数据中”的目标。

（六）更多行业的探索

1、浙大智慧校园

1) 案例背景

目前云计算、物联网、移动互联网等新一代信息技术的蓬勃发展，学校的教育信息化建设逐渐过渡到「智慧校园」。在改革教育的大背景下，「智慧校园」的打造不仅可以提高师生的学习效率，还可以提供优质的服务、建立校园沟通平台，让校园智能化、便捷化。

2018 年 4 月，教育部启动实施《教育信息化 2.0 行动计划》，这是顺应新时代智能环境下教育发展的必然选择，是推进“互联网+教育”的具体实施计划，是充分激发信息技术革命性影响的关键举措，是加快实现教育现代化的有效途径。

无论是信息化 2.0 行动计划还是国家教育事业发展规划、十四五规划、国际《智慧校园总体框架》，都在提倡加速建设智慧校园，推动高效智慧转型。

2) 解决方案

智慧校园建设当前还存在一些明显的挑战：

一是数据壁垒较高。数据壁垒导致应用发展不均衡，由于长期对数据的重视程度不高、对数据价值的认识不够，高校的数据利用与前期规划设计开发脱节，造成了积累数据与实际应用需求存在严重的偏差。

二是数据标准不统一。缺少统一的数据标准与规范，数据来源的入口较多，缺乏有效、统一的整合，给业务带来的必将是数据的不一致，引起数据中心数据管理的混乱。

三是数据交叉分析难。数据壁垒严重，跨系统、跨业务数据获取难。业务的流转离不开业务系统间的数据共享与交换，应构建标准的开放性业务接口，实现多业务之间的数据转换与共享，有利于深度解决数据孤岛问题。我国高校信息化发展了几十年，业务系统进行了多轮的更新与重建。由于各个时期数据标准、数据规范不同，造成了大量历史数据的流失。

四是教学方式、服务管理待升级。教与学是高校生存的生命线，老师和学生作为高校里重要的两类载体，几乎串联起高校所有的活动。面对不同的学科专业、不同的学生群体、不同的知识背景，如何选择合适的点去改进，如何感知学生所想、探寻学生所需，是教育工作者永远摸不透的谜题。近些年管理流程的简化、服务体验的提升，尤其是用户个性化服务的要求，高校实现管理体系的“去行政化”迫在眉睫。大学改革的核心要素应是顺应高校从“管理”走向“治理”的趋势，开展“管理服务治理”和“业务数据治理”，才能真正提升服务对象的用户体验。

浙江大学携手袋鼠云开始智慧校园教育建设，从信息化向数字化，智能化转型。袋鼠云开始进行智慧校园数据中台的建设，并为浙江大学完成了一系列“浙大智慧校园”多场景数据可视化场景。以需求为驱动，打通全业务、全终端、多形态的全域数据，汇聚到大数据平台，借助 EasyV 低代码数字孪生可视化平台，能够灵活接入相关业务系统。保持色调风格统一，针对某一学院或部门需求针对某一主题设计数据可视化大屏，涉及浙大在线教学、科研大脑、行政办事、财务分析、就业指导等多个场景。

在线教学场景

疫情期间监测各个学院的在线教学情况，例如应上课人数、实际到课人数等。通过教务处选课信息完成教学趋势分析预测，为线上教育平台的网上运维提供了预警监测的作用，保障在线课堂后台的运行稳定，让学生上课更顺畅。



图 4.56 智慧校园在线教学

科研大脑场景

对高校科研的横纵向项目进行分析，对各学院项目经费进行管理以及院系的科研情况监测。通过往年数据对比，反馈每年高效科研的同比增长趋势，为第二年的科研分布进行数据支撑。大屏中间可选择展示某一学院总体分析，左屏显示分院系的经费与立项情况，右屏显示新立项目、人才类项目数据，对学校的科研项目和科研成果情况进行统计，指挥科研发展和科研调整。



图 4.57 智慧校园科研大脑

行政办事场景

浙江大学行政办事依照浙江省政府倡导的“最多跑一次”政策，完成校园行政改革。此场景展示总览数据，包括各部门办理情况、历史办理趋势、申办人员类型、热门事件等。图表中的“山峰”峰值越高表明事项比例越高，线条越密表明办理的事项越多。



图 4.58 智慧校园行政办事

财务分析场景

通过数据可视化大屏代替传统的财务纸质汇报，更直观、清晰地展示数据，帮助管理者发现数据背后的规律、辅助决策；帮助非财务专业人员更好的理解当前财务数据。



图 4.59 智慧校园财务分析

就业指导场景

对毕业生升学状况进行追踪，通过海外留学人数、在线签约人数等指标评估教学质量。帮助校领导更好的关注毕业生流向，尤其是「民营 50 强」「重要央企」「西部就业」「选调生」等国家建设人才的分布，真正为社会发展提供人才输出。对浙江大学近 3 年毕业人员去向分布的数据分析可以看到，浙江大学作为浙江省的标杆大学，为浙江省保留人才，为创新创研提供驱动力。



图 4.60 智慧校园就业指导

3) 建设成果

不论任何时期，校园建设都要将“全心全意为师生服务”作为目标，新型智慧校园建设需坚持以人为本，以数据为中心、流程为基础、服务为目标，数字孪生为理念，实现物理、文化、数字空间三位一体，全面服务师生发展、教育教学、管理服务、科学研究。

利用 EasyV 数字孪生可视化平台和技术，促进教育公平，科学决策、精准管理、智慧服务、舆情分析等全面数字化解决学校业务系统的孤岛和数据管理的割裂。提升学校业务数据的一致性和全面性；提高学校业务部门数据多维分析统一，实现数据在校相关业务和组织层级之间的有效集成与交互。

2、武汉市创新地图

1) 案例背景

根据市政府 2021 年十二次（扩大）会议要紧扣产业地图进一步完善创业地图的指使精神，2021 年 3 月颁布的《中华人民共和国国民经济和社会发展十四五规划和 2035 年远景目标纲要》，全文共十九篇，第二篇就明确提出了“坚持创新驱动发展，全面塑造发展新优势”，提出“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑，面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，完善国家创新体系，加快建设科技强国”的总体战略部署。

同时，国内相关城市在创新发展顶层战略设计指引下，为吸引创新要素聚集，长三角、深圳、东莞、浙江、上海、宁波等地分分开展了与创新发展有着紧密联系的机制、体制和平台建设，尤其是在创新平台建设方面取得了实质性的进步，为增强城市科技创新竞争力提供了有力支撑。

为迎接新一轮以创新资源为核心要素的挑战，自 2019 年 12 月 30 日以来，武汉市举行市委经济工作会议，明确提出，要“围绕深入推进全域自主创新，研究编制全市域的‘创新地图’，明确各区加快推进创新发展的空间区域及重点领域，真正把最好的城市空间资源用于创新发展。各功能区、中心城区、新城区都要围绕各自产业特色，保持低成本、便利性创新创业综合优势，加快集聚各类创新要素，完善产业创新生态”。

2021 年 3 月 20 日，市政府第十二次全体（扩大）会议要求“市科技局要紧扣产业地图，进一步完善创新地图”，“对照创新地图梳理产业发展要求，按图索骥开展信息对接、成果对接、项目对接、人才对接等活动”。

为贯彻落实国家和省、市层面“十四五”发展战略部署要求，正在编制的《武汉市科技创新发展“十四五”规划（征求意见稿）》将“坚持创新第一动力，增强发展新动能”的要求落实到科技创新的具体行动中。

2) 解决方案

创新地图是全方位展示创新资源禀赋及未来发展蓝图，实现创新资源与产业项目精准匹配，有效服务市场、政府和公众多类主体，推动经济产业高质量发展；助

力城市高水平治理，是一个综合展现地区或城市现状的创新资源要素，引领未来创新发展互联互通的综合指引。

武汉市创新地图是瞄准武汉市建设国家科技创新中心和“湖北东湖综合性国家科学中心”目标，构建展示“全场景创新武汉”的战略路径。政府统筹各类创新资源实现精细化管理决策的“创新大脑”。全方位服务各类创新主体的支撑平台。

按照“高标准重实效”的基本原则，“武汉市创新地图”的建设体现以下几方面引领性：

一是众筹多方智慧，以系统方法论统领顶层设计，围绕建设“国家科技创新中心”的总体目标，广泛听取各专业部门市区各级创新主管部门创新平台主体以及高校及研究机构的专家意见，系统性开展平台顶层设计，为平台功能实现奠定良好的基础

二是联手国家顶级机构开创“创新地图”多维呈现形式，通过二三维相结合，动态监测与静态展示互为补充，多维提升“创新地图”多元数据表达效果

三是首创跨领域协作模式，开创“创新地图”多维呈现形式，精准助力“双链”深度融合，突出科技创新与产业发展之间的协同合作，从“现状创新资源匹配”和“未来技术创新方向指引”两个方面，双向助力产业发展与创新发展的深度融合

四是对标全球创新领域前沿。建立完善的创新发展监测体系，紧跟全球创新发展动向，通过对各行政区创新资源和要素数据的汇集整理，从多方面研判资源发展态势，为优化武汉市创新发展格局，完善创新支撑体系提供依据。

本项目主要由“全方位展示武汉市创新资源现状地图”、“多层次描绘武汉市科技创新发展蓝图”、“精准化呈现武汉市创新融合导引图”、“全周期服务创新要素聚焦战略图”四大板块所组成：

一是武汉市创新资源现状地图

平台综合运用大数据、移动互联网、云计算技术搭建了全市创新资源现状空间数据库，形成武汉市创新资源现状底图，主要包括“创新实力排名”“创新资源展示”和“创新指标评估”三大子系统。

创新实力排名子系统借助对武汉市创新实力的年度评估,展现当前武汉市参与全球创新竞争的整体能力,据统计 2020 年武汉市在全球创新集群中总体排名由 43 上升至 29 名,首次跻身世界创新集群前 30 强。



图 4.61 武汉市创新地图创新实力排名

创新资源展示子系统主要包括平台为全市 180 个高水平创新人才与单位, 1410 个创新平台, 6259 家重点创新企业, 798 个创新服务机构, 合计 4 大类 14 中类 8647 个创新要素, 提供详细的空间位置、所属行政区、技术领域、产业方向、组建单位等信息查询。



图 4.62 武汉市创新地图创新资源展示

创新资源指标评估子系统对全市各行政区的创新资源分布和综合创新实力，通过“一区一表”的形式横向对比和可视化呈现，为创新主体政府部门和公众提供各类创新资源的多维度评估多指标统计。

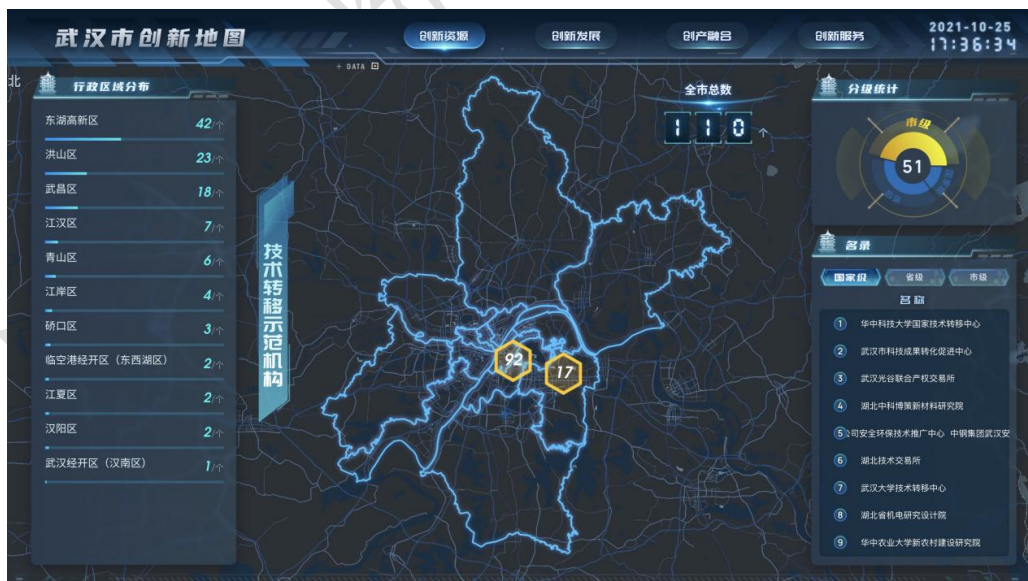


图 4.63 武汉市创新地图创新资源指标评估

二是武汉市科技创新发展蓝图

瞄准“十四五”确定的武汉市国家科技创新中心创建取得突破性进展,东湖综合性国家科学中心基本建成,科技创新为驱动全市经济社会高质量发展核心引擎的发展目标,从区域协同创新格局、全域科技创新格局、创新载体规划布局三个层面,多层次描绘武汉市科技创新发展蓝图,在区域协同层面通过加强与长沙、合肥、南昌等长江中游城市群省会城市协作互动,打造武汉城市圈区域协同创新升级版,重点推动圈内创新联合、产业联动、空间链结、设施联通,发挥“一主引领”作用,深度参与光谷科技创新大走廊建设。

在全域层面构建“一城一核一圈”的全域创新格局,一城为全城创新发展格局通过明确各区创新主导方向和特色,形成优势互补特色凸显全城覆盖的全域创新格局,其中东湖高新区瞄准科技前沿,建设高端人才创新要素,高端产业汇聚的创新发展核心承载区。加强基础研究和应用基础研究,提升创新链整体效能。



图 4.64 武汉市科技创新发展蓝图

三是精准化呈现武汉市创产融合导图

紧扣“立足创新链服务产业链围绕产业链部署创新链”的发展要求,充分对接全市“965”产业体系,针对与创新发展最为紧密的六大支柱企业,六大战略性新兴产业和

五大未来产业进行精细化创新发展对接,从创新资源匹配和技术方向指引两个维度进行无缝衔接,畅通创新资源“最先一公里”。

在创新资源匹配维度针对“光芯片屏端网”新一代信息技术,汽车制造和服务,大健康 and 生物技术等共计 17 个产业分类对应的 697 个创新资源进行匹配,并对各类创新要素的组件单位、建设地点和技术领域进行详细介绍,促进创新链服务产业链的能级和效率。



图 4.65 武汉市创产融合导引图

四是全周期服务创新要素聚焦战略图

以为创新主体提供全周期在线服务为目标,提供“政务链接汇集”和“科技资源评估”三大功能,为营造更优科技创新环境,吸纳科技创新人才起到重要支撑作用,实现创新资源的合理引导与匹配。基于产业布局规划,实现创新主体对应产业园自动选址,评估产业园周边科技创新资源支撑水平。

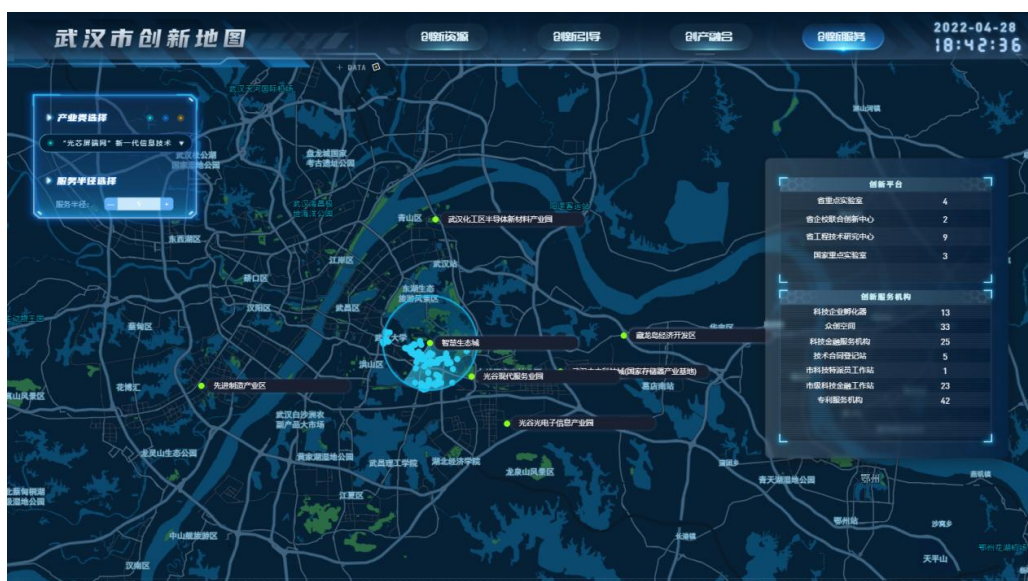


图 4.66 武汉市创新要素聚焦战略图

3) 建设成果

武汉市创新地图市全域推进科技创新、全链融合统筹发展，全面提升创新能级，全力融入国家科技创新战略布局，实现科技创新引领高质量发展的重要举措，对进一步推动武汉市实现科技创新引领高质量发展，加快建设国家中心城市具有重大战略意义。

一是社会价值

这份地图中所涉及的创新资源包括武汉市 178 个高水平创新人才与单位、1410 个创新平台、6259 家重点创新企业和 867 个创新服务机构。有了这份地图，武汉市主要创新资源的详细空间位置、所属区、技术领域、产业方向、组建单位等信息就可以“一网打尽”。同时，创新地图实现了各区创新资源分布和综合创新实力横向对比的可视化呈现，并且提供各类创新资源的多维度评估、多指标统计。

此外，这份地图的编制它重点整合了武汉市现有的“武汉市科学仪器设备开放共享平台”“武汉市科技成果转化平台”“武汉市企业融资对接服务平台”等资源，可提供“生活服务配套查询”和“创新资源评估比较”等服务。

未来，武汉市将瞄准建设“国家科技创新中心”和“湖北东湖综合性国家科学中心”目标，而这份地图的上线，也将有助于全方位展现武汉市创新资源现状、多层面描绘武汉市创新发展蓝图、精准化呈现武汉市创产融合导引格局。

二是企业价值

无论是科技创新的人才寻找工作单位，还是科技创新企业想发展找地方，通过这张地图就能了解到什么地方有什么样的企业，有什么样可发展的空间，对科技人才选择企业，以及科技企业选址和需求合作伙伴，都能有很好的帮助。

规划部门结合近些年科技创新发展规划的研究，将创新产业所需的科研院所、实验室、孵化器等创新研发资源，以及各类产业集聚区，进行了一一匹配和空间落位。“科技创新企业想发展寻求科研技术平台，或者是寻求它相近的上下游企业，或者行业发展的龙头企业，都能在创新地图上进行查询。”

“此外，地图还能满足科技创新企业人才的生活需求。依托现有教育、医疗、交通、绿地等专项空间规划的基础数据，对创新人群较为关注的公共服务和生态环境，提供查询功能，他们会很直观的了解到在什么地方生活更方便，医疗、教育等设施更完善。

参考文献

- Grieves M W. Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises[J]. Int. J. of Product Development, 2005, 2(1/2) : 71-84.
- Grieves M W. Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management[M]. 2011.
- Tuegel E J, Ingrassia A R, Eason T G , et al. Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin[J]. International Journal of Aerospace Engineering, 2011, 2011(1687-5966).
- 陈川,陈岳飞,曾麟,等. 数字孪生在智能制造领域的应用及研究进展[J]. 计量科学与技术,2020,(12):20-25.
- 陈为,沈则潜,陶煜波. 数据可视化(第2版). 北京:电子工业出版社, 2019.
- 蔡阳,成建国,曾焱,等. 加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系[J]. 中国水利,2021,(20):2-5.
- 黄艳,喻杉,罗斌,等.面向流域水工程防灾联合智能调度的数字孪生长江探索[J/OL].水利学报:1-17[2022-04-13].
- 李德仁. 基于数字孪生的智慧城市[J]. 互联网天地,2021,(07):12.
- 李浩,王昊琪,刘根,等. 工业数字孪生系统的概念、系统结构与运行模式[J]. 计算机集成制造系统,2021,27(12):3373-3390.
- 罗茂兴. 云计算发展现状及关键技术进展[J]. 计算机产品与流通,2019,(09):124.
- 李巍巍. 数据中台技术在业务系统中的应用研究.现代信息科技, 2019,3(21):108-110.
- 林晓清. 基于数字孪生理念的智能工厂与案例分析[J]. 数字制造科学,2019,17(04):314-318.
- 卢阳光. 面向智能制造的数字孪生工厂构建方法与应用[D].大连理工大学,2020.
- 孟松鹤,叶雨孜,杨强,等. 数字孪生及其在航空航天中的应用[J]. 航空学报,2020,41(09):6-17.

- 缪翀莺,谭华,易学明. 数据中台的定位和架构分析. 广东通信技术, 2019,39(12):57-62+70.
- 孙其博,刘杰,黎彝,等. 物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报,2010,33(03):1-9.
- 陶飞,刘蔚然,张萌,等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统,2019,25(01):1-18.
- 陶飞,戚庆林,王力军,等. 数字孪生与信息物理系统——比较与联系[J]. Engineering,2019,5(04):132-149.
- 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(01):1-9.
- 沈洲,安岗,余明明. 5G 在工业互联网中的探索和应用[J]. 信息通信技术,2019,13(05):17-22.
- 王建翔,胡蔚. BIM 技术在智慧城市“数字孪生”建设工程的应用初步分析[J]. 智能建筑与智慧城市,2021,(01):94-95+98.
- 王新平,苏畅,文虎,等. 双碳战略下中国能源工业转型路径研究[J]. 技术与创新管理,2022,43(02):141-150.
- 王重鸣. 管理心理学. 上海:华东师范大学出版社, 2021.
- 习近平. 在第七十五届联合国大会一般性辩论会上的讲话[N]. 解放军报, 2020-09-23(03).
- 夏妍娜,赵胜. 《中国制造 2025:产业互联网开启新工业革命》[J]. 理论与当代,2016,(05):53.
- 赵杏英,毛肖钰,徐红权,等. 数字流域多尺度空间地理信息模型构建及应用——以钱塘江流域为例[J]. 人民长江,2021,52(S2):293-297.
- 周瑜,刘春成. 雄安新区建设数字孪生城市的逻辑与创新[J]. 城市发展研究,2018,25(10):60-67.