

# 工厂有了数字“双胞胎” 城市打造“云端之城” “摸不着”的数字孪生 带来“看得见”的效益

叶晓楠 张乾

在工厂园区，“虚拟工厂”向线下工程师反映工厂各个设备的情况，帮助工厂运维者“胸有成竹”地高效管理好实体工厂；在古城西安，数字方舱化身“科技守护者”，一系列数字技术的应用让城墙保护有了一双双“智慧眼”；在“未来之城”雄安，物理城市与数字城市同步规划、同步建设，汇聚城市数据、统筹管理运营的信息“中枢”加快打造……这些生动场景的实现，都离不开数字孪生技术。

数字孪生技术，是指通过建立三维数字化模型，打通物理世界和数字世界，实现虚实融合的复合技术。推动制造业数字化转型、提升城市治理效能、助力文化遗产保护，从制造到消费，从生产到服务，从生活到生态，一个个数字孪生应用场景正在各行各业构建，“摸不着”的数字孪生，正在带来“看得见”的经济效益。业内人士认为，随着技术的不断成熟和应用场景的持续探索拓宽，数字孪生技术将迎来新的发展机遇。

## “虚拟工厂”和实体工厂同步运转

近年来，随着物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术的发展，数字孪生技术在制造业中得到越来越多的应用，通过建立设备、工厂、产品的数字模型，企业能够在虚拟环境中对其进行预测性维护、性能优化和生产流程的实时调整，工厂精益生产、产线优化能力进一步提升。

去年12月10日，在山东省青岛市胶州市九龙街道上合示范区，随着首台超薄零嵌大冰箱的下线，海尔上合冰箱互联一工厂正式宣布投入生产，这家工厂占地面积465亩，年产能200万台，是由海尔旗下卡奥斯孪生制造一体化平台打造的数字孪生工厂。

“卡奥斯孪生制造一体化平台将数字孪生技术应用到家电制造、打造‘虚拟工厂’中，通过工业属性的AI、物联网、大数据等智能引擎，打通工厂设备资产和信息系统间的数据脉络，深入挖掘数据价值，运用孪生技术打造高保真、实时同步的虚拟实体，构建了虚拟技术全方面应用的数字孪生工厂。”卡奥斯数字孪生团队负责人张明向本报记者介绍。

通过数字孪生技术，这座工厂自规划到生产的每个阶段都清晰可见，也就是说，有两座工厂在同步昼夜不停地“运转”，一座是线下的实体生产线，另一座是“云端”的“虚拟工厂”。

在工厂规划阶段，先造出一座“虚拟工厂”。通过孪生制造一体化平台，把人、机、料、法、环全生产要素悉数转化为数字化模型，连每一颗螺丝钉都精确无误地映射至数字世界，从而构建出一个与实体工厂1:1还原的数字孪生工厂。在“虚拟工厂”中，精准模拟生产制造等环节，提供动态的生产过程视图，支持“假设模拟验证”，提前识别生产瓶颈和订单组合效果，降低试错成本，实现高效生产。

张明说：“我们可以在‘虚拟工厂’中对每一个工厂方案先进行验证，包括每一条产线如何改动、如何调整，先在虚拟环境中充分验证、试错后，再选择一个投资最低、产出最高的方案进行‘落地’。经过这些‘云端’实验后，一旦数据能提供支撑，一个实体工厂建设方案就可以‘落地’，这样，项目从开工就可以省去大量的验证环节。”

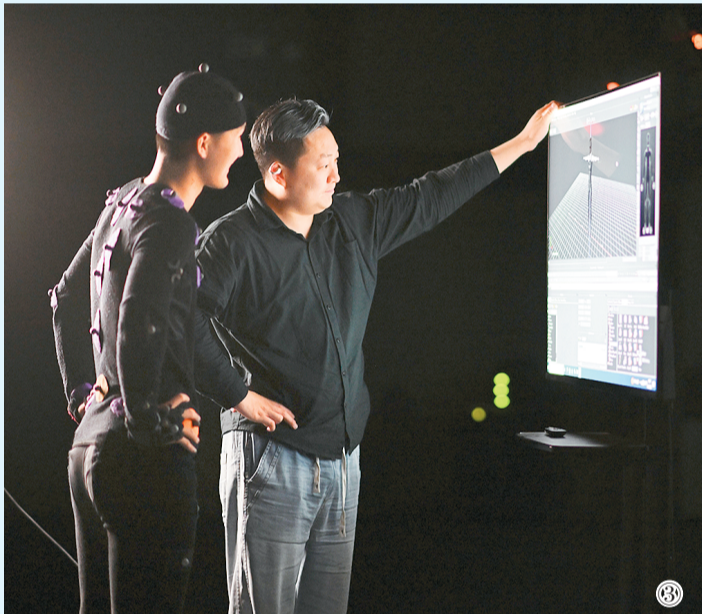
在生产运营阶段，通过一体化平台，订单数据实现了实时汇集，而这一切的关键，正是智能排程系统的运作。在数字孪生工厂中，借助先进的仿真预测技术模拟生产，利用智能排程算法，对生产计划进行实时的动态调整，从而精确地分析和预测生产能力。这种基于数据驱动的决策方式，可以帮助企业精准把握生产进度、资源消耗以及质量状况。同时，通过对生产数据的分析，企业还可以找出资源使用的瓶颈和浪费点，发现潜在的问题，持续优化生产过程。

在实际生产中，经过仿真验证的生产计划可以无缝流转到真实工厂，工人们手持的智能设备和工位上的工位屏能同步展示详细的生产任务信息，并且将生产现场数据实时反馈给数字孪生工厂，从而实现对生产过程全生命周期的全面监控追溯和管理。

“云端”的数字孪生技术，正逐渐显示出“看得见”的经济价值。

“凭借孪生制造一体化平台的能力，工厂在建设阶段时，通过布局规划，发现管道等20多处干涉项，优化建设成本，节约250万元；在产线能力验证和产能爬坡验证阶段，发现某工序的节拍慢，可能会堵塞生产，影响产能，经优化后产能爬坡时间缩短20%。”张明说，孪生制造一体化平台的出现，如同制造业的“超级大脑”，将虚拟生产与物理制造融合，使制造全生命周期的各个环节紧密相连，编织成一张无缝的网，充分释放了生产潜能。

业内专家指出，数字孪生技术为行业的数字化转型提供了强大的技术支撑，能够有效解决行业痛点，助力企业降本增效、提质



图①：在海尔上合冰箱互联一工厂，卡奥斯部署的数字孪生可视化大屏可实时反应工厂产线生产运营状况。

受访者供图

图②：图为西安城墙数字方舱综合管理平台滚动呈现的城墙实时情况。

受访者供图

图③：4月30日，在天津市滨海新区国家动漫园里的大型动作捕捉棚内，身着特定装备的动作捕捉演员（左）和同事在查看电脑生成的虚拟角色动作。

新华社记者 赵子硕摄

图④：8月21日，在广东省深圳市国贸大厦空调机房，物业工作人员在新装的智能物联网控制柜前进行运行抄表。

新华社记者 毛思倩摄

升级。工业和信息化部数据显示，中国已连续三年实施智能制造试点示范行动，培育了421家国家级示范工厂、万余家省级数字化车间和智能工厂，人工智能、数字孪生等技术在中国90%以上的示范工厂得到应用。

## 让城市运行更“聪明”

哪条道路车流量比较大？地下管廊里有没有异常？小区里的垃圾箱有没有满？在雄安新区，被称为“雄安之眼”的城市计算中心，对城市的运行情况了如指掌。城市计算中心是雄安城市管理的智慧中枢，其电子屏上清晰地显示着地下管网数据、道路交通信息乃至整个雄安新区的城市运行数据。

雄安新区设立7年来，除了现实中正在建设的地上城市和地下城市外，还有一座云上的数字城市共生共长。如今，雄安城市计算中心、综合数据平台、雄安城市信息模型平台、物联网平台和视频一张网平台“一中心四平台”建设初具规模，初步构建起“云上一座城”。

在雄安新区的智慧城市建设中，数字孪生技术发挥着重要作用。“雄安每一栋建筑、每一片绿地在现实中的建设过程，都伴随着其在数字世界中的精准映射。”雄安云网科技

有限公司首席技术官袁晓东说，“通过模拟与预测优化城市规划，实时监控基础设施状态，提升公共安全与交通管理效率，监测环境并优化能源使用，同时促进社会服务优化和居民参与，助力雄安新区打造高效、绿色、智能的现代化城市。”

十几个路口，一路绿灯，司机们在雄安新区的良好体验，与智能交通的建设分不开。2020年，5G车路协同示范应用项目成功申报国家发改委和工信部2020年新型基础设施建设工程。自2020年12月开始，陆续在崞岗、雄东、容西和启动区四个片区计约288公里道路开展数字基础设施建设。

据介绍，数字道路基于互联网、大数据、人工智能等新技术，实现对道路交通情况实时监测，将交通资源按需分配，采用动态调度和交通控制技术进行流量调度，从而降低拥堵、提高通行效率。5G车路协同技术以“车—路—云”协同为基础，构建集感知、通信、计算能力为一体的智能基础设施环境，提升城市交通管理和服务水平，为城市的可持续发展注入新活力。

雄安居民的生活也因数字孪生城市的建设而变得更加便捷，从教育、医疗到社区服务，个性化、智能化的社会服务将成为常态。雄安一卡通实现在政务、人社、医疗、交通、文化、旅游、补贴发放等场景对接，打造“一卡通城、跨城互通”的服务网络；多表集

抄系统为新区12万余户近41万块水气热表具提供抄表、缴费服务，打造“水、气、热、电、讯、停车”一站式缴费，为居民提供便捷缴费服务；停车管理系统旨在打造统一的城市停车入口，全力推进交通数字化、停车智能化，以数字城市力量便民利民。

“未来，雄安新区将更加依赖数字孪生城市这个虚拟的‘双胞胎’来进行城市的精细化管理和前瞻性规划。”数字城市公司基础设施智能化事业部数字道路项目负责人多亚军介绍，“交通系统将实现全面智能化，车辆、行人、公共交通工具在数字孪生平台的调度下高效流动，构建‘车路云一体化’的智能网联产业新型基础设施和数据共享环境，提供实时感知、瞬时响应的道路全要素感知数据。”

在城市水务领域，数字孪生技术同样有着创新应用，通过数字技术赋能，共筑城市安澜。

步入山东省青岛市水务管理局的调度指挥中心，智慧水务的中枢——“青岛智慧水务管理平台”尽收眼底。平台上，供排水、水旱灾害防御等十大专题信息得以“一图统览”，河道水利的三维建模和数字孪生水网在线可视化，清晰呈现。“青岛智慧水务管理正向数字化、智能化的时代迈进。”青岛市水务管理局办公室信息化相关负责人牛勇说。

据介绍，这一平台是由海尔集团旗下数

字城市品牌海纳云打造。针对水利水务业务复杂，信息难以全局统览等情况，海纳云融合数字孪生、物联网、人工智能等技术，助力青岛市构建集工程调度、水资源管理、供排水管理、水行政监管等功能于一体的水务业务网，建设“智慧水务一张图”，实现数字信息全面获取、水务要素全面集成、管理行为全面智能。通过数字孪生技术的应用，平台在全面汇聚水库水文数据基础上，集成虚拟现实、水利专业模型、三维数字模型等信息技术，为水务管理提供了一种全面、立体、实时、直观的监测和管理手段，有效提升了水务管理的数字化、智能化水平。

据了解，自今年5月份投入试运行以来，该平台实现对23座水库、51个积水点、214处河道监测点水情进行实时监测预警，提升旱涝灾害应急处理工作效率；并对现有473座小型水库、180余座水闸（橡胶坝）、约1330公里堤防工程及新建水利工程统一监管，及时监测各类水利设施运行动态。

## 新技术为古城墙做“CT”

一座座古建筑被精确扫描，生成高精度的数字模型；历史的韵味与先进科技交相辉映，在数字世界焕发生机。近年来，数字孪生技术逐步走进文化遗产保护领域，创新使文物与建筑在数字空间得到新生，也为文化遗产的保护利用开拓了新视野。

当千年城垣邂逅数字科技，会是怎样的情景？作为陕西西安的文化名片，西安城墙在数字化的帮助下，焕发多彩生机。

客流量浮动、监测点位数据变化、AI风险预警……在西安城墙管委会信息中心，一个个详细的实时数据每天都在大屏幕上滚动呈现。轻击鼠标，虚实结合的数字“城墙”便出现在人们眼前，从外部的砖瓦彩绘到内部的建筑结构，透过“数字方舱”超大屏页面，西安城墙的各种信息映入眼帘。这座“虚拟城墙”便是西安城墙数字方舱综合管理平台的一部分。近年来，西安城墙运用数字孪生、人工智能、大数据、物联网、地球物理等前沿技术，与高校、科研院所和骨干企业共建，打造了一套集文物保护、文旅运营、应急管理、防汛指挥等功能于一体的“文化遗产数字化保护利用综合解决方案”，实现了关键技术突破及文旅数据的融合共享。

“我们现有监测点位8000余处，做到了墙体、古建筑、周边水体、地铁、游人行为等监测全覆盖。”西安城墙管委会工作人员尚楚乔介绍，“倾角仪、梁式测斜仪、测缝计、沉降监测点、水平位移监测点等监测设备及点位遍布城墙，对城墙墙体及附属建筑的安全状况进行监测。”

高质量、高精度的模型数据让西安城墙在数字世界“毫发毕现”。“我们对13.74公里的城墙整体、34栋重点建筑、18个城墙门洞及登城马道构建了厘米级三维数据模型，对1000平方米的彩绘进行了毫米级建模。”西安城墙数字产业创新中心总监赵彬表示，西安城墙数字孪生底座搭建，为城墙历史的永续保存、数字资产的衍生利用及数据可视化使用打下了基础。

2023年，西安城墙管委会与兰州大学联动，运用宇宙射线成像设备给城墙58号马面做了一次“CT”体检，这种无损探测的方式将城墙内部空洞的位置、形状、大小清晰地呈现出来，为“对症下药”开展保护治理提供了重要支撑，也为大型文物古迹考古与保护提供了新思路。“这是一项重大技术突破创新。”赵彬表示，“对城墙全域的‘CT’扫描，使得城墙内部结构在数字模型中清晰可见，便于我们实时掌握和分析城墙文物本体内外数据，做到文物保护心中有数。”

防汛也是城墙智慧化管理的一大亮点。通过视频图像采集，使用AI积水自动告警系统准确识别特定区域积水情况，实现人工智能积水识别。据介绍，以前，每逢降雨都要投入近百人进行全段巡逻和研判，以确保能够在第一时间发现隐患，清除积水。通过人工智能积水识别后，不但能够降低人力投入，还可以在第一时间发现隐患点的准确位置，大大提高了工作效率。

“目前打造的这套系统，一方面是为了推进西安城墙保护管理数字化的进程，实现西安城墙在文物保护、文旅运营、防汛以及应急处置等方面的高质量管理；另一方面，也是希望在西安城墙的场景下，探索数字科技与文化遗产保护传承的融合，实现对不可移动文物的科学化、精细化、系统化保护和管理。”赵彬说。

如今，依托丰富的文化资源遗产及数字孪生相关科技领域的创新成功，西安城墙景区正在共享、科研领域推动文化遗产保护的资源共享。截至目前，西安城墙数字方舱综合管理平台已申报了20余个课题、大赛项目；与高校、科技型企业共建了“文保数据治理创新实验室”“文化遗产数字场景应用创新实验室”“文化遗产数字语桥创新实验室”等项目，在产学研用的深度融合与协同创新中探索文化遗产的保护利用新路径。