一、数字孪生与智能制造的关系

 数字孪生技术是智能制造深入发展的必然阶段，是智能制造的推进抓手和运行体现。数字孪生的核心是分析推理决策，与当前制造业智能化提升的本质内涵是直接呼应的。智能制造是感知、分析、推理、决策和控制的闭环过程，与数字孪生所强调的充分利用物理模型、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的理念一脉相承。以CPS模式为核心的智能制造是面向产品、装备、系统，目前数字孪生技术的应用也已经从传统的产品孪生向产线、车间、工厂的系统级孪生方向发展，已经从传统基于三维可视化模型向直指本质的决策推理模型转变。数字孪生是当前智能制造理念的物化落实的具体体现。

（1）数字孪生与赛博物理系统的关系

赛博物理系统作为智能制造的核心模式，体现了动态感知、实时分析、自主决策、精准执行的闭环过程，支持了装备/系统的自适应、自组织的智能化发展理念，数字孪生是CPS的具体体现，重点是突出虚实融合下的数据处理、仿真分析、虚拟验证及运行决策等，但是与传统的 CPS相比，数字孪生更加强调实时性和闭环这两个特征。

（2）数字孪生与工业物联网/工业互联网的关系

数字孪生是闭环CPS过程的典型体现，具有“虚实同步、以实融虚、以虚控时”特点，工业互联网/工业互联网资源状态及控制的泛在化基础设施能力是支持数字孪生得以实现的基础，同时数字孪生也是工业互联网平台贯通软硬环节的有效支撑。

（3）数字孪生与工业软件/工业APP的关系

工业软件是产品研发过程中知识经验的软件物化，是工业APP所强调的服务化特点的源头支撑。数字孪生闭环过程中的数字孪生体是工业软件的重要体现方式，体现了对物理对象的几何、物理、行为、规则及约束的多维、不同粒度的多空间、推进演化/实时过程/外部干扰的多时间等尺度的综合。

（4）数字孪生与大数据/人工智能的关系

数字孪生体是数字孪生的核心，体现了数据分析、推理决策等，大数据所体现对工业物联/互联支持下海量状态数据和历史运行经验数据的分析处理，人工智能所体现的对案例训练和规则推理，大数据/人工智能是支撑数字孪生体向智能化纵深发展的重要技术。

（5）数字孪生与AR/VR/MR的关系

虽然数字孪生的本质是推理决策，但目前数字孪生比较多的应用领域还是具有三维可视化外在展示需求，从而与目前AR/VR/MR等新型显示及应用技术具有自然的密切关系，能够构建一个更加丰富的全态化拟真展示模型，提升虚拟融合的交互直观度和深度。

（6）数字孪生与设备健康管理的关系

数字孪生在资产密集型行业应用主要是以设备维护为重点的，涉及到以设备健康管理为核心的数字化移交及运行监控。设备性能数字双胞胎用于故障预测、健康管理及预测性维护，并反馈运行信息给设计以优化设计，改善产品性能。