

以数字化交付为导向的 油气储运工程数字化设计技术研究

张一星（国家管网集团工程技术创新有限公司，天津 300450）

摘要：数字化孪生工厂已经成为油气储运工业产业数字化转型重要价值体现，而数字化交付是构建数字孪生工厂的必要手段，发展以数字化交付为导向的油气储运工程数字化设计技术研究已经为工厂设计领域的新课题。

关键词：油气储运工程；数字化设计；数字化交付；数字孪生工厂

1 油气储运工程

油气储运工程是贯穿油气生产、加工、分配、销售等诸多环节的桥梁，它主要包括油气集输、长距离输送、储存与装卸及城市输配系统等工程。

石油和天然气是当前世界各国发展经济必不可少的重要能源。由于全球油气资源分布的极不均衡，需求量差异也非常大，油气资源从产地到用户需要一个庞大的存储运输系统来连接，一旦这个存储运输系统的受阻，不仅对消费国的经济发展产生不利的影响，而且还会给石油天然气生产国的经济造成严重损失。所以，无论是石油天然气生产国还是消费国，历来都把油气储运设施视作国家经济发展的重要保障，尤其在战争时期，油气资源保障更是被看成是取得胜利的关键因素之一。当前，世界各国的经济发展竞争日趋激烈，油气储运设施系统的是否完善不仅影响国家经济建设可持续发展战略，更是制约国内区域经济平衡发展的重要因素。因此，发达国家分成重视对油气储运业的投入和政策保护，并且已经利用其比较完善的油气储运设施在应对市场价格波动带来的能源短缺或过剩局面中争取主动。

油气储运工程一般包括油气田集输工程、油气长距离输送管道工程、地下储气库工程及液化天然气接收（转运）站等。

①石油和天然气由油井流到地面以后，又如何把它们从一口口油井或气井上集中起来，并把油和气分离开来，再经初步加工成为合格的原油和天然气分别储存起来或者输送到炼油厂，这就是通常称之为“油气田集输技术”和“油田地面建设工程”；②油气长距离输送管道工程用管道输送石油、成品油及天然气的工程。一般包括输油气管道、油气管道站场、管道

穿（跨）越及辅助生产设施等工程内容；③地下储气库是用于储存天然气的地质构造和配套设施；④液化天然气接收（转运）站是指接收由海船运来的液化天然气（LNG），将其储存并再汽化后输往用户的中转枢纽。一般都建在港口，设有 LNG 接卸装置、常压低温储气罐及其配套的低温高压泵、LNG 加热再汽化装置和计量设施等。有的还设有将干天然气外输的压缩机组。

2 油气储运工程数字孪生工厂

数字孪生工厂是现代工业与数字化技术融合的应用体现，也是实现智能化建造的必由之路。油气储运工程数字孪生工厂是基于工厂实体对象，对包括设计、采购、施工、投产在内的工厂建设阶段产生的静态数据，生产运行阶段产生的动态数据，依靠数字孪生平台进行有机结合，使数据关联交互，在服务于生产运维的同时，形成数据资产，实现数据增值。数字化工厂是指通过建立现代数字制造体系、网络化配置实现整个制造流程的全面数字化管理。数字化工厂建设需要把现代管理理论、智能生产理论、通信技术、大数据技术、数字孪生技术等深度融为一体，全面整合车间生产设备、生产运行控制系统、产品设计开发系统等各种信息系统，形成由产品设计、生产规划与生产执行所构成的新型生产组织方式。

业界普遍认为石油化工企业数字化转型的关键是建立起一套与物理工厂相对应的、真实可靠的数字化“孪生”工厂，基于工厂的数字化资产信息，开展有组织的、可追溯的、流程化、可视化运维工作。为了构建数字资产平台，工程项目的设计、采购、施工的数字化和交付的数字化是高效和有质量保证的手段。并且目前在国内外大型项目中已被广泛应用。

3 油气储运工程数字化交付要求

油气储运工程数字化设计包含站场、线路等多方面设计成果,设计成果格式封闭,需要一体化载体平台将各类系统中的完整数据抽取出来,做数据清洗融合、模型轻量化等处理,以符合行业数据标准的形式透明开放的交付,成果要求编码齐全、一物一码;属性齐全、符合管道行业相关数据标准;与非结构化设计文档有关联关系。

数据管理依照实体、属性、关联关系方式进行自定义配置和展示,包括三维展示和二维报表。对多个统计维度、多个业务指标的统计分析需求;可集中查看、审核;实现数据的综合管理包括:管线、站场等编码,实现元数据管理、数据溯源等功能;管线建设涉及的文档资料及业务活动历史记录等在线管理;对管线本体及空间数据进行管理;数字化设计成果的抽取、整合,并按数据标准进行存储,数据层透明开放具备良好的集成性和被集成性;基于数据层交付,同时交付定位查询、图表分析、碰撞检查、支持优化和施工仿真、历史查询等多种服务。

通过对油气储运工程站场和线路设计数据抽取、清洗、整合,通过一系列工具和数据标准实现油气储运工程站场、线路及周边静态数据的编码归一、坐标统一。对施工管理、采办等建设期系统进行数据抽取,以编码或坐标方式完成动静态数据的映射。将治理过的数据和模型成果以标准数据接口形式向上层移交。形成适用于项目的应用,包括一体化交付、三维展示、驾驶舱、孪生体快捷更新、状态监测展示等。交付的过程中积累设计数据,形成设计数据资产,有助于打通工程建设期全数据链条,实现数字孪生体模式的竣工交付及数据交互,为运营提供支撑。

4 油气储运工程数字化交付的主要内容

油气储运工程数字化交付是构建数字孪生工厂的必要条件,目前,也是贯穿于静态数字孪生工厂构建过程中的重要手段。油气储运工程数字化交付的内容根据工程建设阶段划分主要包括以下几个方面:

①设计阶段的数字化交付内容主要包括三维数字化设计模型及属性信息、交付标准中要求的结构化数据以及设计成果文件等半结构化、非结构化数据;②采购阶段的数字化交付内容主要包括设备材料在设计阶段不包含的技术属性和产品信息(例如厂家信息、出厂编号、产地、设计寿命、出厂时间等);③施工阶段的数字化交付内容主要包括在设计采购的基础数据上设备材料的施工安装信息(例如焊缝、施工人员

信息、施工过程文件、竣工数据等)。

其中,设计阶段数字化交付的数据是构建数字孪生工厂最初的数据来源,设计阶段数字化交付的数据质量也是构建数字孪生工厂过程中至关重要的影响因素。如何保证数据质量的前提下高效地提供数字化交付所需的数据已经成为工程设计阶段新任务。

设计阶段数字化交付的内容主要包括以下三个方面:

模型交付:①智能 P&ID 二维模型;② 30%、60%、90% 三维设计模型;③竣工模型。

数据交付:①各阶段勘察、设计结构化数据;②施工回流数据。

文件交付:①设计成果文件:施工图设计说明书、设计图纸、数据单等;②成果文件与模型之间的关联关系。

5 油气储运工程数字化设计的基本要求

油气储运工程数字化设计需强调系统设计的数字化,以及实现系统设计与施工图设计的有机结合,实现了智能 P&ID、仪表自控逻辑等系统设计,与三维配管、布线、设备安装的一体化协同,满足了数据传递和多专业协同设计要求。基于以上数字化交付对设计模型、数据以及成果文件的要求,数字化设计平台的建设过程中,应注重设计过程的协同化,设计成果的标准化以及设计数据的集成化,具体表现在以下几个层次:

①设计过程的协同化包括二三维之间的协同设计和各专业之间的协同设计。二三维之间的协同设计主要是智能 P&ID 与三维模型之间的集成关系,保证三维模型与智能 P&ID 二维模型内容上的一致性;各专业之间的协同设计主要是各专业在一个数据库、一个空间内完成三维模型创建,通过数字化手段,解决工程设计中的错、漏、碰、缺等问题;②设计成果的标准化包括设计成果形式的标准化和设计成果内容的标准化。设计成果形式的标准化主要包括智能 P&ID 的标准图例、线型、数据格式、图面规则及图纸模板等内容,三维模型的标准元件外形、ISO 图例符号、平面图出图规则、表单模板及图纸模板等内容,通过标准化的手段,保证设计成果在同一个项目或公司内形成形式上的统一;设计成果内容的标准化主要包括标准化的管道等级库、标准化设备及标准化撬块等内容,通过标准化的手段,使设计成果在内容上统一,最大程度的方便采购和施工,降低工程建设成本和周期;③设计数据的集成化包括设计内部的数据集成化和设

计与采购施工等环节之间的数据集成化。设计内部的数据集成主要是各专业之间的数据集成,通过建立完备的数据模型,保证设计过程中数据的一致性、唯一性和准确性;设计与采购施工等环节之间的数据集成化是基于数字化三维协同设计数据成果和材料编码,实现设计与采购施工等环节之间的业务链贯通,辅助智慧采购和智能建造,并为工程数字孪生工厂构建提供高质量的原生数据。

6 以数字化交付为导向的数字化设计应关注的重点

数字化转型已经成为油气储运行业不可逆转的发展趋势,同时也对工程数字孪生工厂建设提出了更高的要求。为了满足更高的交付要求,数字化协同设计在目标、范围、内容、深度、工具、标准和组织等方面关注重点都应进行调整与适配,关注重点主要有以下几个方面:

①以数字化交付为目的开展数字化设计方面的顶层规划和体系建设,包括工艺计算体系、工艺流程设计体系、三维配管设计体系、材料库管理体系、设计成果交付体系、数据应用体系以及设计管理体系等。各体系之间的规划、设计及应用要以业务发展为导向、以软件工具为基础、以数字化交付为目的进行总体布局 and 开发;②以数字化交付为目的构建数字化设计方面的基础设施与运行环境,包括软硬件环境部署和包括元件库及数据模型、图形库、等级库、模板库、模型库、编码库、支吊架库等在内的数据库,要建立在以工具、知识和数据为核心的协同设计工作环境;③全专业的协同设计包括各专业之间的业务协同和数据协同,目的是尽量减少数据在业务之间的传递环节,降低数据在传递过程中发生错误的概率并压缩数据传递的业务成本。其挑战在于各专业设计软件的统一化和体系化,目前市面上很难找到能完全满足全专业协同设计要求的软件体系。为满足全专业协同设计要求,需要对不同的软件体系进行业务和数据上的集成,集成过程是基于IT的实践,考验的是企业业务整合能力和软件应用开发水平;④数字化模型、结构化数据和非结构化文档三个层面的交付对数字化协同设计提出不同的数据成果要求。数字化模型交付层面,要综合考虑数据资产化及数字孪生工厂等对数字化设计模型格式、模型精度、模型解析复用以及和结构化数据、非结构化文档二三维联动的规范性、完整性、准确性和时效性问题;结构化数据交付层面,需要交付符合数据元标准和数字化交付标准并可直接被数字化模型

和交付平台识别的结构化数据;非结构化文档交付层面,主要考虑文档的与数字化模型之间的关联关系,和非结构化文档的碎片化问题,并时刻关注档案管理对数据形式交付要求。

7 结束语

数字孪生是利用物理模型、传感器更新及运行历史数据,集成多物理量、多尺度的仿真过程。数字孪生通过构建物理车间与虚拟车间之间的有效映射并实时反馈机制,实现物理车间与虚拟车间之间的互联、互通、互操作,数字孪生建立虚拟车间对物理车间的描述、诊断、预测和决策新体系。运用数字孪生技术,能够在不改变原有设备的情况下,克隆出与之对应的完全相同的虚拟设备,这些设备可以完全映射真实的工作场景。在虚拟设备中,执行设置好的程序,通过模拟和测试可以在早期阶段发现故障点,使现场的调试速度更快,风险更低。同时缩短上市时间,降低成本,提高灵活性和生产力。基于数字孪生工厂技术的发展要求,数字化交付的目标、范围和任务及内涵发生了深刻改变。数字化设计作为产生数字孪生工厂原生数据的载体,必须完成自身的更新迭代以满足数字化交付技术的发展要求。

参考文献:

- [1] 张鹤,陈馨,朱志斌.打造数字孪生工厂实现三维可视化全过程管理[J].中国勘察设计,2021(08).
- [2] 林成东,周天驰,张沅,方建中,童江.铜冶炼厂三维数字孪生虚拟工厂平台研究与应用[J].冶金自动化,2021(04).
- [3] 陈川,陈岳飞,曾麟,方向.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).
- [4] 陶飞,张贺,戚庆林,张萌,刘蔚然,程江峰,马昕,张连超,薛瑞娟.数字孪生十问:分析与思考[J].计算机集成制造系统,2020(01).
- [5] 常镜迦.基于大数据的智能工厂数据平台架构设计与研究[J].软件工程,2019(12).
- [6] 卢阳光,马逢伯,漆书桂.数字孪生视角的数字工厂建设[J].信息技术与标准化,2019(06).
- [7] 于勇,范胜廷,彭关伟,戴晟,赵罡.数字孪生模型在产品构型管理中应用探讨[J].航空制造技术,2017(07).

作者简介:

张一星(1987-),男,汉族,辽宁盘锦人,硕士研究生,工程师,主要研究领域油气储运工程设计及数字化。