评述广角

浮法玻璃工厂成形工段管路的数字化设计及应用

郭 飞
(中国建材国际工程集团有限公司,上海 200063)

随着工业互联网(II)、大数据(BD)、人工智能(AI)、云计算(CC)等新一代信息技术(new IT)的迅猛发展,设计的数字化、网络化、智能化特征日益显著,其中最为瞩目的是依托数据网络构建起的智能制造(smart manufacturing)。我国作为制造业大国,拥有数目可观的中小型制造企业,工程设计不单单是依靠经验与已有图纸进行翻版更新,更是对工程实体的全新定义以及数字化赋予工作,因此伴随而来的是技术与设计理念的全新交互。设计工作的发展经历过纸面绘图、计算机 CAD 画图的“旧时代”,在新技术革命的引领下也迎来了新的时代。智能制造与数字化逻辑关系的正确建立成为解决此问题的关键。数字化工厂是实现智能制造的基本条件,工厂数字化是智能制造实现的核心引擎,构建真正的工厂数字化建设方案成为首要研究对象。

玻璃工厂成形工段作为玻璃生产车间最重要的工段,决定玻璃能否合格出厂,其中保护气体管路的合理化设计成为玻璃成形的重要影响因素。传统 CAD 工程图的设计处于初期阶段,现场土建施工与设计工作存在异步性,设计人员无法掌握其他施工流水作业面情况,进而无法判断空间占用关系,导致前期设计与实际建设施工存在出入,不仅浪费大量的人力物力,耽误工期,同时降低了设计质量。保护气体管路的数字化设计是通过参数化、可视化、科学设计三个方面来建立设计思路,以三维数字化建模为手段,以浮法玻璃生产工艺中成形工段保护气体管路设计为例,呈现了一套降本增效的解决方案,如图 1 所示。

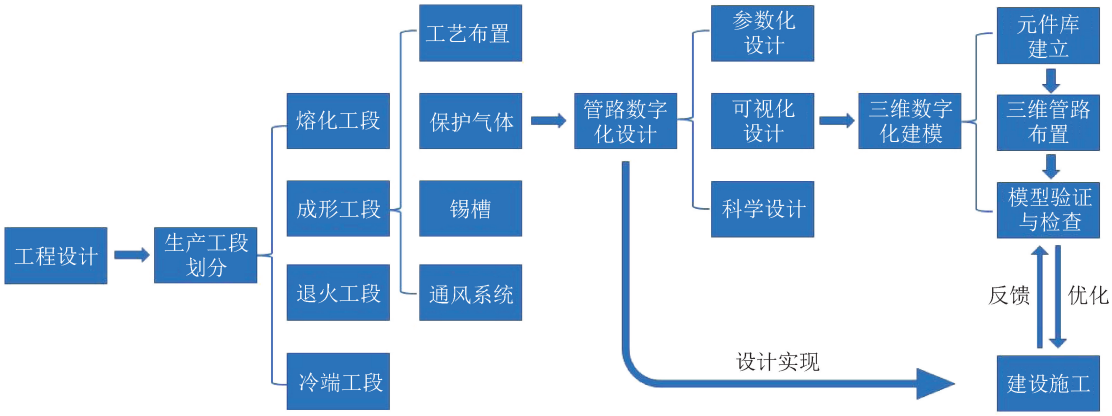

图 1 成形工段管路的数字化设计流程图

基于模型定义(model based definition, MBD)的三维设计是当代设计的主要发展方向,是产品数字化定义的先进方法。MBD 作为企业数字化推广的核心要素,是指通过使用单一数据源建立起来的模型全生命周期描述工程实体的方法。MBD 所具备的要素包括,在设计规则的基础上充分利用原有工程体的几何信息,物理信息在实际工况下的行为表达方式以及进行对应模拟分析实况反馈。涉及到样品本身的属性、材质、状态等与制造装配工艺共同结合到产品的三维模型中并全程作为设计参考的数字化手段。MBD 的运用解决了传统的三维模型孤立实际生产,仅作为样板展示,以及设计生产中“华而不实”的问题,也突破了原本只能通过大量的二维图纸描述工程体的局限性。能够将形位公差、尺寸、安装要求等繁琐的制造信息与工程实体

相结合,作为设计生产制造中的重要依据。

一、参数化设计

参数化设计是一种基于 MBD 的数据化、模块化的设计方法,利用编程通过输入具体参数改变产品特征和属性得到建模实体,也叫程序建模。以保护气体管路配气室中 SO_2 储罐设计为例,其参数化设计界面如图 2 所示,将罐体的长、宽、高、壁厚等外形特征作为基本参数变量,仅需输入相应参数对应的具体数值,即可得到罐体的主体模型,以及对储罐的进、出气口等属性信息进行相应的数据赋予,可一键生成本项目 SO_2 储罐的参数化模型。

通过建立参数化设计思想,可以极大提升目前设计体系的设计效率,输入参数与输出模型间有着精准可控的联系,使得精准复杂形体的设计变得高效便捷。每个项目均有多种备选方案,传统设计的背后是设计师无数次重复工作,利用参数设计能够快速生成多个方案模型,在方案的修改完善中也可以直接根据需求快速进行迭代,满足了不同专业间、设计与施工间的精准对接。每一个项目工程均有大量专业进行配合,传统 CAD 图纸在专业协作和设计与施工交底过程中存在信息更新不及时、部分信息缺失等多种问题,拖延整个设计施工的进度,在参数化设计的支持下,通过单一数据模型的传递,不仅满足了设计精度的需求,同时让施工与设计无差别,极大地减小了返工的概率。

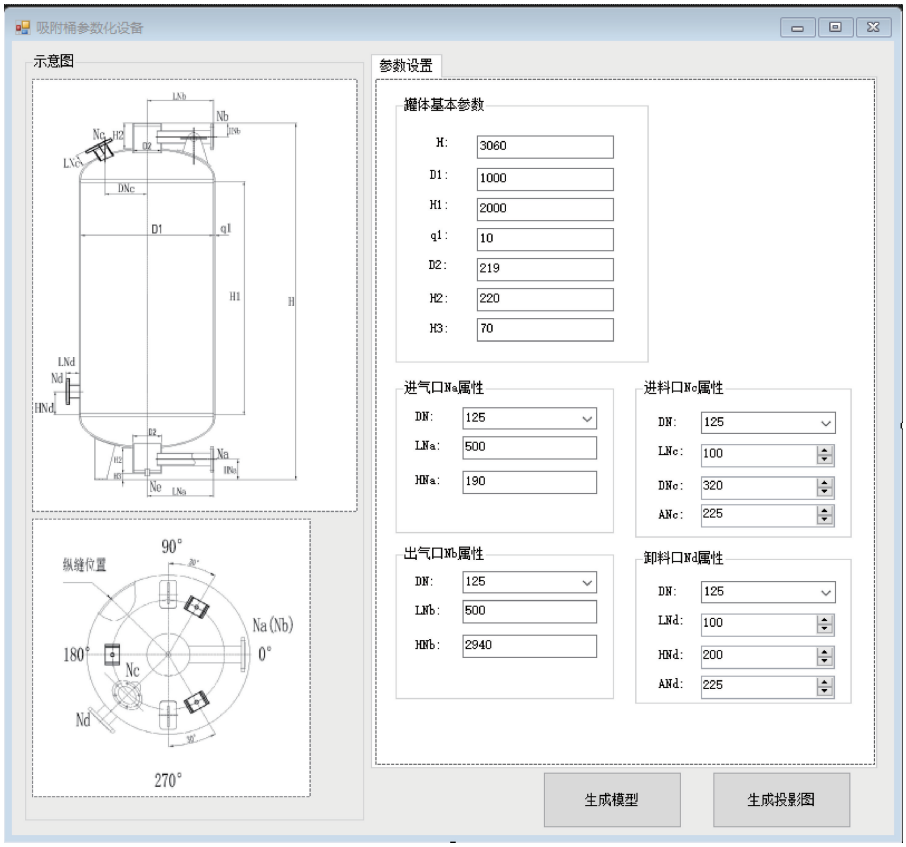

图 2　SO_2 储罐的参数化设计界面

二、可视化设计

建立在参数化模型的基础之上,通过数据-设计-数据的工作模式,构建设计标准化的元件库。此处以内螺纹截止阀为例,通过使用 Solidworks 基础建模软件,按照 MBD 的建模思路,对截止阀的尺寸、形状、装配关系等几何参数进行编辑,使模型能够通过已知经验或物理规律模拟截止阀的实际工况。其次,赋予截止阀相关的制造信息,如图 3 中示例的机床加工模块,不同制造工艺的集合使得本模型可以将更多的物理行为在模

型中显示,以此类推描述内螺纹截止阀的加工、装配、生产、原材料等诸多属性。

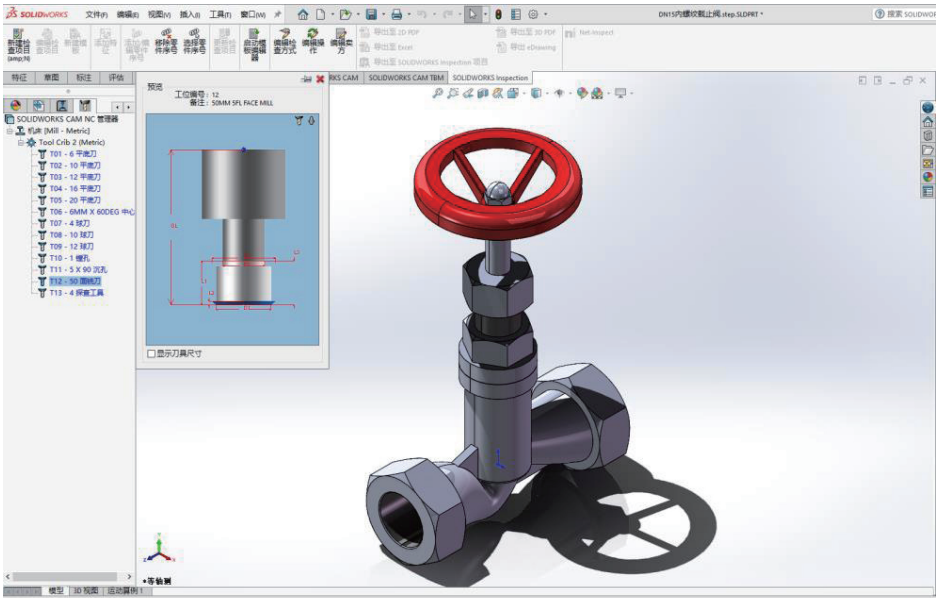

图 3　基于 MBD 的三维建模实体(内螺纹截止阀)

基于已建成的成形工段保护气体管路标准件库、参数化非标准件模型库,按照实际的工业管道组成,结合分部分项工程的划分特点,以模块化分区设计的方式,按照层级装配的概念,从个体设备到管道子系统再到管道母系统,按照层层递进、相互配合的方式进行装配式设计。将保护气体管道分为阀门管件、区域管道、总管道等分项工程模块,待每个分项工程完成后,将其相互搭接,完成管道设计分部工程。管道的起点与终点以不同区域个体设备的预设接口为准,按照分项工程划分原则,分解各区域管道,以区域管道内不同设备串联起的管路为最小单元进行分段建模。以厂区氮氢站引管进入成形工段车间为起点,分别按照相关设计规范、人防规定、防爆等级要求,布置了如图 4 所示的三维管路系统(图 4(a))、保护气体配气室及 SO_2 室(图 4(b))和成形工段内的管路系统(图 4(c))。

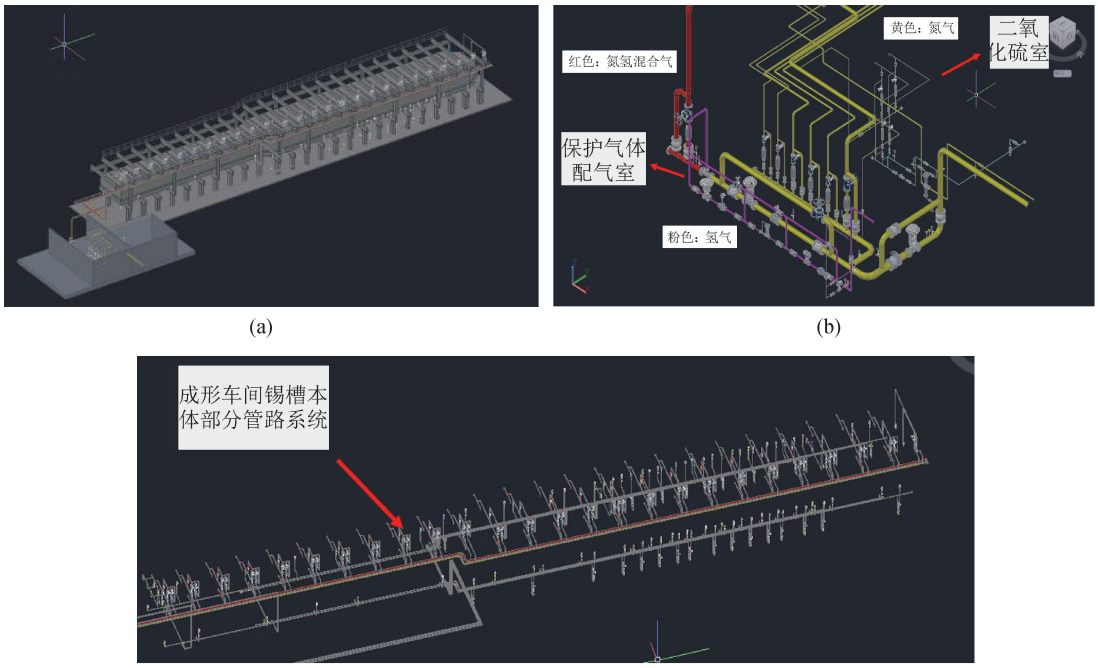

图 4　数字化三维管路(a)、保护气体配气室及 SO_2 室管路(b)和成形工段管路(c)示意图

所有管道子装配体与设备模块建立完成后进行总装配,得到最终三维模型后仍需对模型进行包括管道碰撞检查,管件数据属性参数检查,模型设计检查等多方面的质量检查。管道碰撞检查是各专业协同设计的关键,以设定好的各类管件碰撞条件为基础,对已经完成的三维管道建模与构筑物实体建模的空间关系数据分析后进行比对,对达到碰撞条件的部件进行可视化标识,及时提醒设计人员进行相关参数的修改或者模型的重建。管件数据属性检查主要是对管件数据进行核实,利用 NEW IT 技术,对数据不合理部分进行反馈监督,提醒相关设计人员;模型设计检查是通过物理运行规则提供数据支撑,结合相关规范保证管件、设备之间连接逻辑的合理性、管件和连接件之间参数的匹配性以及垫片压力等配管逻辑的检查。图 5 为利用 Navisworks 进行检查碰撞的图例,通过模块化设计、相关专业参照、实际布管以及模型验证,利用数字化技术对玻璃工厂三维管道布局及参数实现修正和改良,实现最终设计交付。

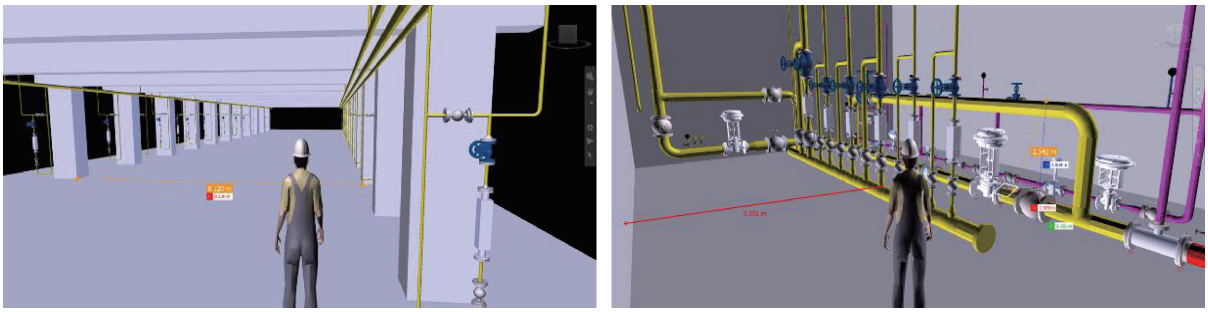

图 5　利用 Navisworks 进行模型检查

可视化设计的实现为设计师在前期设计方案时提供了更直观、清晰的空间关系,极大程度上减少了依靠想象进行空间位置上推断的不合理设计,从而减少了在施工阶段的返工工作。同时在项目前期方案阶段,可以给第三方更为直观的展示,对企业设计能力以及招投标阶段的竞争力的提高有着巨大的帮助。

三、科学设计

传统的工程设计主要由经验丰富的设计师根据多年的从业设计经验,结合实际生产线的建设运营情况,不断摸索总结出设计规律。但随着时代发展,对产品质量和种类也提出了更高层次的要求,传统意义上依靠经验设计的思想愈发不满足现在的设计体系,随着计算机技术的飞速发展,CAE 技术下的仿真模拟成为主流设计的重要辅助工具,将数字化设计生产的各个环节有机地联系到一起,贯穿于工程全生命周期。在本项目的前期实施中,同样需要对管道类别、选型以及合理性进行分析,排除了以往依靠经验设计的不准确性,所有的管道设计都基于科学的应力模拟分析,这是数字化设计体系构建的重要组成部分。基于科学应力分析,可以对设计计算结果进行验证,对管道预生产阶段的实际情况进行模拟,极大保证了设计与生产的相关性。从经验设计到科学设计的转变,数据的积累可以快速进行迭代,为之后项目提供更多数据分析,基于大数据可以进行更为准确的设计分析及应用分析。

四、数字化设计在施工建设方面的应用

(1)管道预制化技术发展,降低施工耗材损耗,节约成本。管道预制化技术是一种半成品加工技术,在缩短施工工期、提高工程安全、提升安装质量、降低生产成本方面发挥着重要作用,具有广泛的推广空间和实用价值,其中设计人员提供准确的设计图纸是实现这一技术的重要前提,本三维数字化设计导出的管段轴测图、单线图、加工图分段合理(由小到大、由局部到整体),管段配件编号、加工、焊接、检验信息、涂装、存储等工艺信息完整,相较于纸质图纸,更易存储,便于日后复核检查,存档更新,施工现场也根据准确的材料量计算节省了大量成本。

(2)三维数字化交付,便于现场施工时提升安装效率。传统施工现场要求能够看懂工程图纸,因图施工,但是由于施工人员流动性大,从业素质参差不齐,对设计内容把握起来难度大,因而施工质量无法得到保障。三维数字化设计可以直接将设计模型发送至施工现场,模型尺寸与实际一致,施工人员可以快速高效地

理解设计意图,准确地进行无差别施工,对施工进度的加快、质量的提高有着极大的帮助。

(3)减少现场安装碰撞造成的返工。用了三维数字化设计技术,设计人员在前期设计阶段对整个工段布局及设计内容有更准确的把控,设计人员可以根据实际三维模型在“虚拟车间”内的布局进行可视化设计,不断调整直至找到最佳的设计方案,让原本考虑不周所造成的施工现场返工现象大大减少。

综上所述,基于 MBD 原则的设计方法,从参数化设计、可视化设计、科学设计及在实际施工建设中的应用等角度进行分析,不仅能够大幅提升现有的设计质量,同时可以作为企业数字化资产进行迭代优化,成为企业数字化转型背后的核心竞争力。对实际施工安装过程中的问题进行了有效的解决,提升了施工质量,缩短了施工周期,降本增效。在设计与工程实践的基础上进一步完善玻璃生产加工全生命周期的技术路径,与上下游供货商、业主之间等进行多维度的数字化合作,以推动“智能制造”的强大引擎在玻璃行业中提速增效。