

基于BIM技术的油气管道隧道智慧建设运营的应用研究

冯 亮

中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊
Email: feng-liang@cnpc.com.cn

收稿日期: 2021年6月18日; 录用日期: 2021年8月3日; 发布日期: 2021年8月19日

摘 要

为有效解决油气管道盾构隧道设计中标准化、精细化设计等问题, 避免复杂盾构设计中因平面设计表达存在局限的问题, 同时为了满足数字化设计及施工移交, 整合数据进行分析, 本文以兰州出站三公里隐患治理工程为例, 以Autodesk公司Civil3D + Revit + Dynamo的BIM系列软件为平台, 对盾构隧道、输油管道以及相关附属设施进行结构细分, 完成一整套以参数化驱动的设计模型。通过对勘察数据的三维化以及三维倾斜摄影, 全方位立体化对盾构隧道的施工设计进行展示。整合盾构施工监控数据, 对掘进参数实时读取, 方便管理人员对项目的整体记录及把控, 为最终实现智慧管道的全方位监控打下良好基础。

关键词

BIM, 盾构隧道, 三维设计, 油气管道, 智慧建设

Application Research on Intelligent Construction and Operation of Oil & Gas Pipeline Tunnel Based on BIM Technology

Liang Feng

China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang Hebei
Email: feng-liang@cnpc.com.cn

Received: Jun. 18th, 2021; accepted: Aug. 3rd, 2021; published: Aug. 19th, 2021

Abstract

In order to effectively solve the problems of standardization and refinement in the design of shield tunnels for oil and gas pipelines, avoid the limitations of two-dimensional expression in the complex shield design, meet the digital design and construction handover and integrate data analysis at the same time, this paper uses Lanzhou Station three kilometers export pipeline latent danger management project as an example, uses Autodesk's BIM series software Civil3D + Revit + Dynamo's as a platform to subdivide the shield tunnels, oil pipelines and related auxiliary facilities, and completes a set of parameter-driven designs model. Through the three-dimensional survey data and oblique photography, the construction design of the shield tunnel is displayed in all directions. Integrate shield construction monitoring data and tunneling parameters in real time, it is convenient for managers to record and control the project as a whole, laying a good foundation for the ultimate realization of comprehensive monitoring of smart pipelines.

Keywords

BIM, Shield Tunnel, Three-Dimensional Design, Oil & Gas Pipeline, Intelligence Construction

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着国民经济发展和能源战略的实施[1] [2], 管道建设的需求与日俱增[3] [4] [5]。管道全生命周期业务的开展成为中石油系统乃至中国油气管道建设的关键技术和重点研究对象[6] [7] [8]。管道全生命周期是从管道建设的需求开始, 到管道规划、设计、采办、施工、运营维护和报废的整个动态过程, 其信息化业务涵盖了“过程中”管道设施上发生或存在的各种事与物[9]。设计阶段作为承上启下的重要一环对管道全生命周期的实现起着决定性作用[10]。管道穿跨越设计作为管道工程设计的重要部分, 需要为管道全生命周期提供更强大的数据基础和更精细化的设计。

相比传统工作方式, 建筑信息模型(BIM)代表更为高效、便捷的先进技术, 通过与云计算、物联网、大数据相结合, 已经在建筑、铁路等众多土木工程领域得到了广泛应用[11] [12] [13], 并且未来实现绿色、

智能的精细化管理, 智慧建筑必将成为建筑行业发展的方向。但是在油气、化工行业领域, 由于其设计软件已经自成体系[14], 当油气管道的设计需要与土木工程结构合并考虑时, 油气化工软件却无法很好地完成双方的结合, 因此需要寻找一条新的解决方案, BIM 技术的产生能够在极大程度上解决两个领域交叉的设计及施工管理困难。

同时由于 BIM 系统数据的完整性全面性[15], 可以为后续的施工及运营管理提供充足的数据支持, 通过对施工现场的数据统计, 尤其是盾构设备的施工数据自动采集, 可以对施工进度与计划进行实时跟踪统计, 并且可以对施工设备的风险通过参数进行预警, 以实现施工期间的全方位监控, 最终实现设计及施工阶段数据的全数字化移交[16]。

本文依托出站三公里油气管道隐患治理工程为例, 其设计在兰州市区人群密集区域, 由一条 3.08 m 直径盾构隧道内的 2 条输油管道以及从一条支线顶管隧道内汇入的 1 条输油管道, 最终 3 条并行敷设在盾构隧道内, 同时盾构隧道依据地面规划完成了 4 个水平转弯, 以及纵断面方向的高程变化。基于此项目的复杂情况, 特考虑引入 BIM 设计及管理流程, 便于项目的施工开展。

2. 工程概况

2.1. 盾构隧道设计

本项目为兰成渝成品油管道、兰郑长成品油管道和兰成原油管道在兰州站出站 3 公里管道隐患治理工程, 项目位于兰州市西固区, 盾构穿越始发井内径 12.5 m, 接收井内径 9 m, 盾构隧道水平长度 2744.62 m, 隧道内径为 3.08 m。对于盾构隧道平面, 由始发竖井出发, 直线掘进 363 m 后, 以 400 m 曲率半径转弯 35.75°, 直线掘进 115.83 m, 再以 350 m 曲率半径转弯 32.8°, 直线掘进 863.11 m, 然后以 500 m 曲率半径转弯 23.57°, 直线掘进 406.17 m, 最后以 300 m 曲率半径转弯 42.28°, 直线掘进 119 m, 到达接收井。同时对于盾构隧道纵断面也随着里程变化, 形成一个 V 型断面, 转角处均采用 1000 m 曲率半径的圆弧过度。

由始发井内安装两根 D508 及 D610 管道进入盾构隧道, 在里程约 850 m 处, 第三根 D610 管道由顶管支洞进入盾构隧道。盾构隧道内每隔 20 m 浇筑 2 个宽 0.5 m 的混凝土支墩用于放置两根 D610 管道, 在支墩中间的 U 型槽内敷设 D508 管道, 其上敷设钢格栅盖板作为检修通道。

2.2. 项目特点与难点

1) 隧道位于兰州市西固区城区, 项目周围人口密集、房屋林立。设计平面路由受到地面建构筑物及规划影响, 需要 4 次水平转弯; 纵断面同时依据施工便利及排水要求设置 V 型断面, 因此盾构中心线为复杂空间曲线;

2) 在人口密集的兰州市区, 土地利用、环保施工及绿色施工要求高, 规划选线、用地规划受限较大;

3) 盾构隧道内空间狭小, 3.08 m 的直径内需放置 2 根 D610 及 1 根 D508 管道, 并需要保留施工安装空间, 同时要考虑管道运行, 安装难度大;

4) 在盾构隧道中途需要打开预留支洞以便接入顶管隧道;

基于以上设计重难点, 为提高设计及施工质量, 方便设计意图准确表达, 以及避免结构碰撞及施工空间布局, 因此本项目引入 BIM 设计。

3. BIM 应用

3.1. 模型命名规则

根据设计师的意图, 对隧道设计图纸进行模型精确建立, 首先要合理划分构件命名规则, 对于 BIM

模型搭建管理，以及后期 BIM 的扩展应用将会提供极大的便利[15]。例如 BIM 模型与倾斜摄影模型的合并，隧道施工数据的对比检查，3dmax 动画制作等。根据本项目隧道施工的特点，以名称简写+尺寸+材质作为命名规则，将竖井、盾构隧道、支洞斜井、管道、支墩、其他附属设施等分别定义了命名规则，以竖井为例，隧道模型部分结构件命名如表 1 所示。

Table 1. Naming rules of departure shaft structure
表 1. 始发竖井结构命名规则

构件编号	名称简写	宽	高(厚度)	半径	材质工艺(简称)	构建编号	族的命名
防洪井圈	FHJQ	600	2330		未说明	FHJQ-2330-C	SFJ-FHJQ-2330-C
暗梁 1	AL1	600	600		未说明	CJ3-AL1-600*600	SFJ-CJ3-AL1-600*600-C
暗梁 2	AL2	600	600		未说明	CJ3-AL2-600*600	SFJ-CJ3-AL2-600*600-C
管道预留洞 1	YLD1	2000	1000		MU20 砖、M7.5 砂浆砌筑	CJ3-YLD1-2000*1000-M U20, M7.5	SFJ-CJ3-YLD1-2000*1000 -MU20, M7.5
管道预留洞 2	YLD2	2000	1000		MU20 砖、M7.5 砂浆砌筑	CJ3-YLD2-2000*1000-M U20, M7.5	SFJ-CJ3-YLD2-2000*1000 -MU20, M7.5
第 3 节沉井	CJ3	600	7250		C40, P6 钢筋混凝土	CJ3-7250-C40, P6	SFJ-CJ3-7250-C40, P6
第 2 节沉井	CJ2	800	7000		C40, P8 钢筋混凝土	CJ2-7000-C40, P8	SFJ-CJ2-7000-C40, P8
第 1 节沉井	CJ1	800	7300		C40, P8 钢筋混凝土	CJ1-7300-C40, P8	SFJ-CJ1-7300-C40, P8
预留洞	YLD	水平 1000	4100		C25 素混凝土	YLD-4100-C25	SFJ-YLD-4100-C25
底板	DB		1000	6400	未说明	DB-1000	SFJ-DB-1000-C
底板外沿	DBVY	未标明	100		同底板	DBVY	SFJ-DBVY
垫层	DC		200	6250	C25 素混凝土	DC-200	SFJ-DC-200-C25
橡胶缓膨胀止水条	ZST	20	30		橡胶	ZST-20*30	SFJ-ZST-20*30

3.2. 盾构隧道模型建立及工程量统计

由于 Revit 主要针对房屋建筑设计为主，对于其他形态结构需要自建族模块的特点[17]，考虑到本项目盾构隧道主要为线性工程，需要精确控制环片、管道、支墩、竖井以及其他附属设施的几何构造问题，因此采用 Civil3D + Revit + Dynamo 结合的方式进行参数化建模，建模思路及详细流程如图 1 所示。

考虑到本项目为空间复杂曲线的特点，则采用具有强大地形以及根据平纵断面创建空间曲线的 Civil3D 软件创建隧道中心线平面路线及纵断面线[18]，并创建隧道简易横断面，以确保可以有位于隧道轴线法平面的定位点，在隧道环片拼装时进行定位，由于盾构环片每环为 1.2 m，因此在 Civil3D 的空间曲线的间隔设置为 1.2 m，以兼顾软件运行效率及精度的要求。通过 Dynamo 将隧道轴线坐标拟合为 NurbsCurve 曲线[19]，最终生成的隧道三维轴线如图 2 所示。

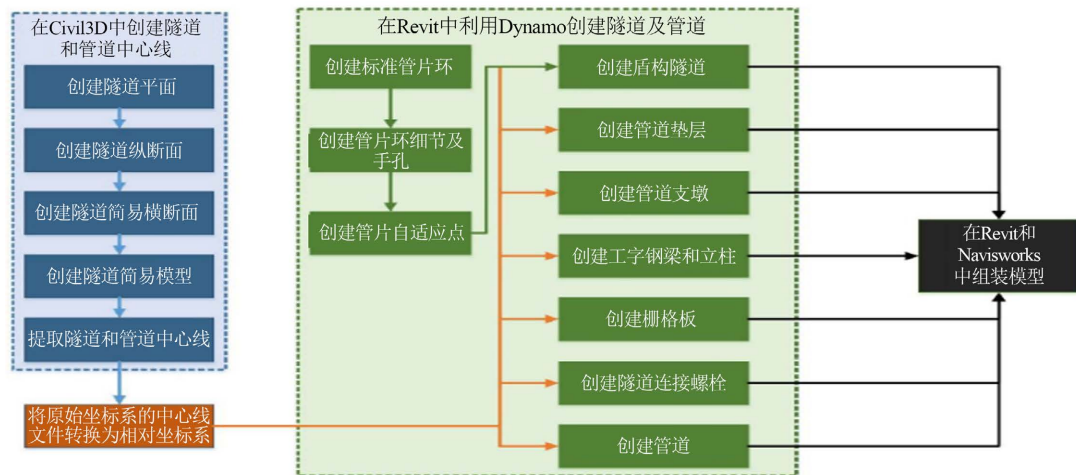


Figure 1. BIM modeling idea process
图 1. BIM 建模思路流程

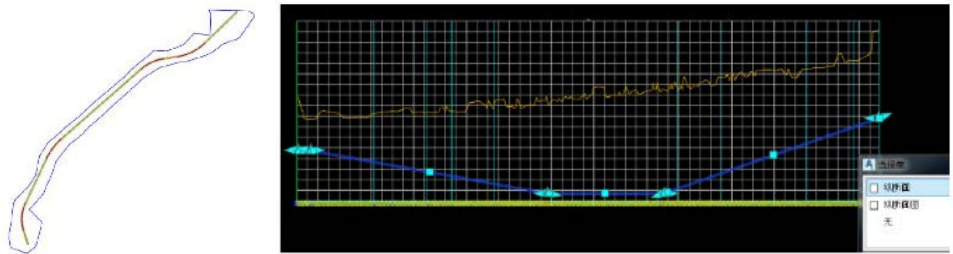


Figure 2. Flat, longitudinal section design of Civil3D software
图 2. Civil3D 软件平、纵断面设计

如图 3 所示，本次设计的盾构环片是由 6 片独立的管片，通过螺栓互相紧固成为一体，在环片设计上需要提前预留螺栓孔、密封槽、管片记号等，因此利用 Dynamo 的参数化程序，在建模上需要分别建立单独的零件块，而后在一个完整的弧面管片上通过布尔运算减去零件块，最终得到所需的管片模型，而后再添加螺栓等零件模型，将其组装成完整一环。另外准备好管道支墩、管道支架等族模块，便于下一步的总装。

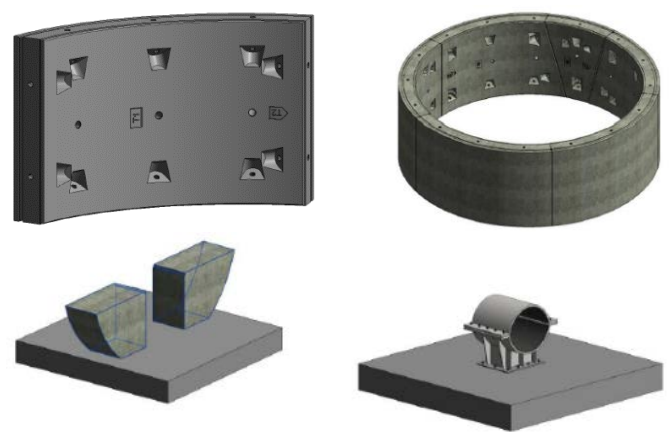


Figure 3. Parametric model of shield loop and attached part
图 3. 盾构环片及附属零件参数化模型

如图 4 所示,所有参数化隧道零件以及隧道中心线均准备完成后,则可以通过 Dynamo 驱动所有组件的参数,并将其组合拼接成一个完整的隧道模型。组装好的模型如图 5 所示。当整体模型组装完成后,采用 Revit 自带的统计功能对于整体工程量进行了统计,可以做到工程量统计的精确高效,如图 6 所示。

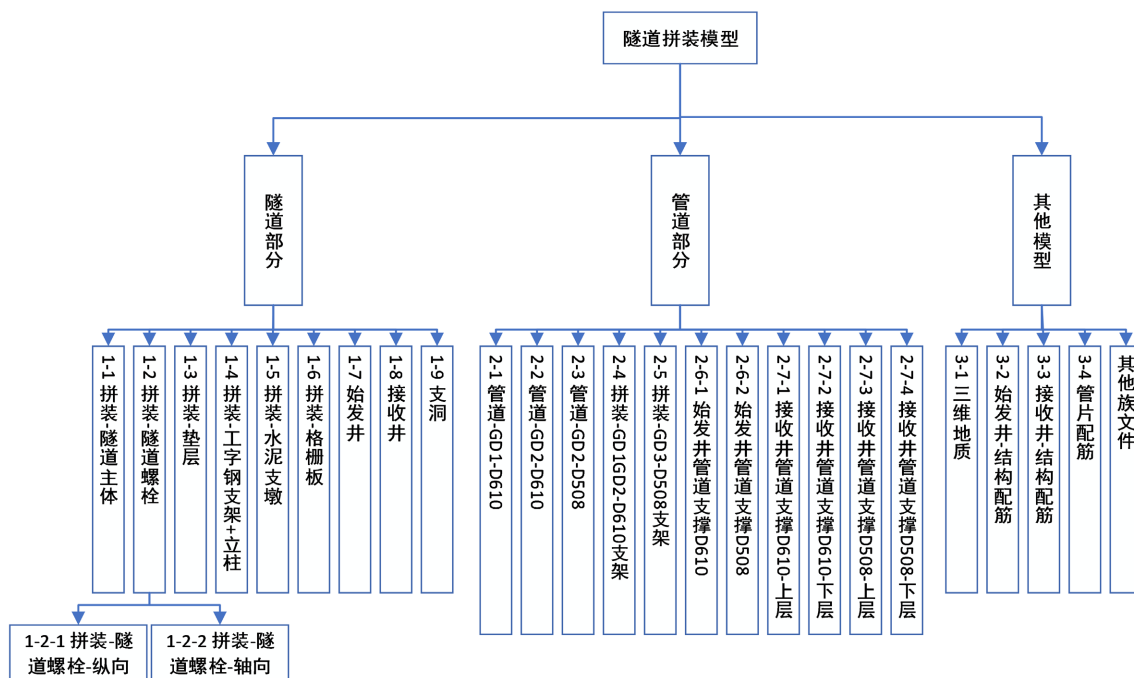


Figure 4. Assembly model of BIM modeling

图 4. BIM 建模拼装模型

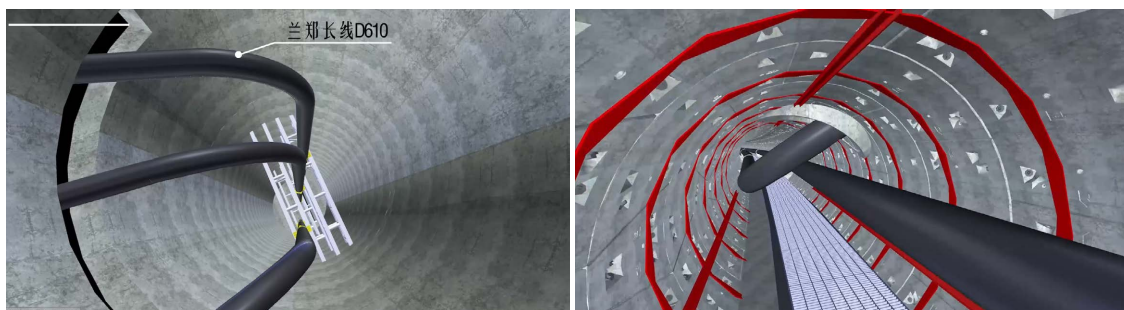


Figure 5. Assembly results of BIM modeling

图 5. BIM 建模拼装结果

3.3. 地质模型及倾斜摄影

如图 7 所示,为了更生动准确体现隧道周边环境的情况,分别用 Revit 软件以及倾斜摄影的方式,分别制作了地层模型、地面建筑物环境的模型,充分表达了盾构隧道设计施工中环境的详细情况。

4. 智慧施工

为了满足管道数字化移交和全生命周期的相关要求[6] [7] [8],通过采用 BIM 软件建立原始模型,配合盾构监控管理,可以将设计施工过程全部记录下来,满足可视化展示,为智能管道、全生命周期管理提供基础。

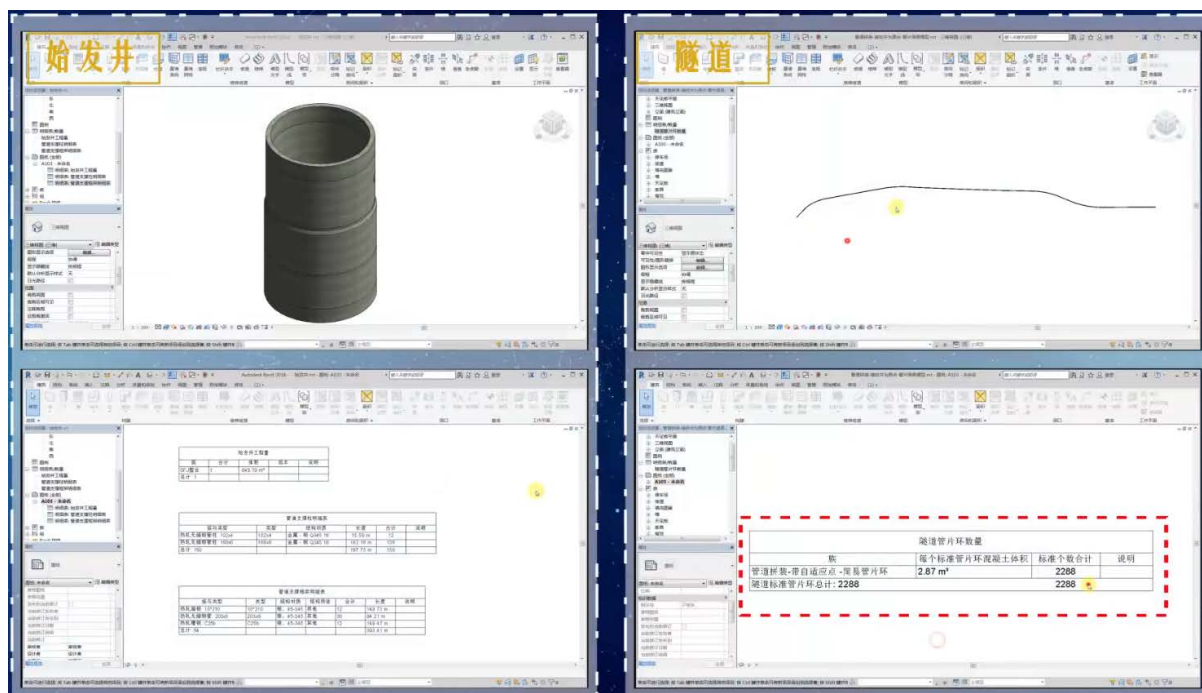


Figure 6. Automatic statistical material table of Revit software

图 6. Revit 软件自动统计材料表

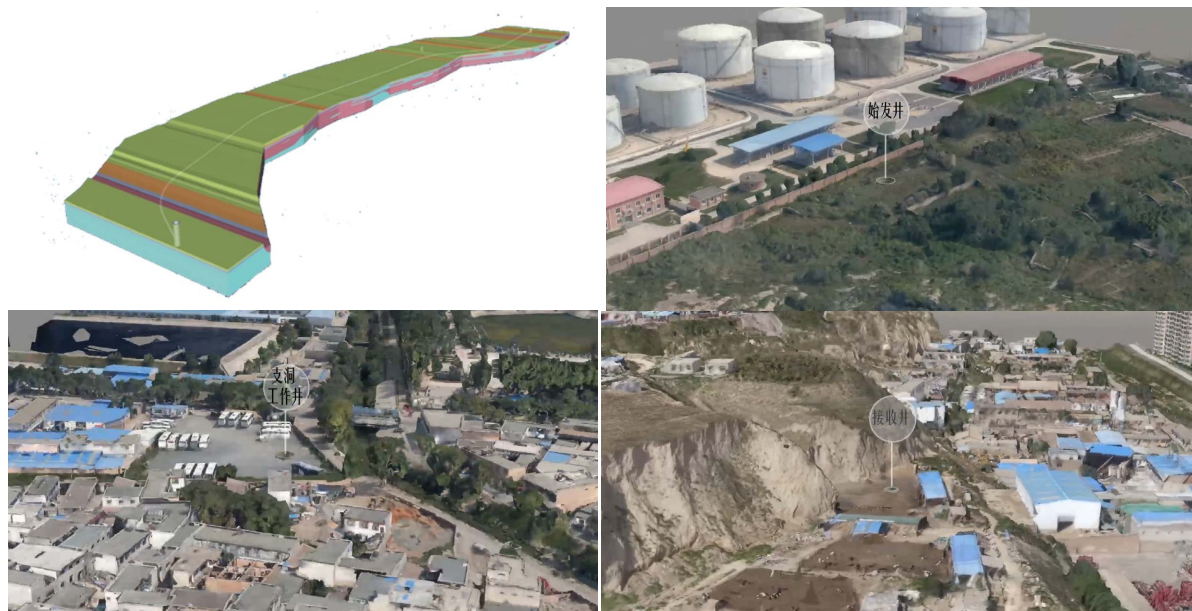


Figure 7. BIM terrain model and on-site tilt photography results

图 7. BIM 地形模型及现场倾斜摄影成果

4.1. 盾构监控管理

如图 8 所示, 盾构监控主要是对盾构机推进参数及位置信息的展示, 主要包括推进参数、掘进姿态、报警信息、三图展示以及信息总览[20]。对盾构机推进过程中各个系统的实时数据进行监控, 包括刀盘、推进系统、渣土改良、注浆系统、盾尾油脂、铰接系统、螺旋机等。将盾构机监控室的数据传送到互联

网，让通过电脑或移动设备随时随地查看盾构机推进参数。将导向系统数据读取到远程监控管理平台进行展示，包括切口、盾尾的垂直水平偏差、以及盾构机转角和坡度等。读取盾构机 PLC 系统中的报警信息，并实时展示在远程监控管里平台，帮助施工管理人员随时掌握盾构机状态。

通过区间平面图、地质剖面图等方式展示盾构机实时位置，帮助管理人员了解盾构机所处地层，以及盾构机与地面建筑之间的位置关系。信息总览将盾构施工相关信息汇总在一起，方便管理人员对项目的整体把控，包括施工工况、风险提示、设备参数、隧道质量、监测分析、安全评估、审阅建议，如图 9 所示。

4.2. “智能化”决策管理

一是系统可以进行历史曲线分析。将盾构施工数据以图形化的方式进行展示。二是系统可以进行盾构功效分析。自动统计盾构机工作状态所对应的时间，可按环、按时间查询，并可录入每个停机阶段的停机原因，方便分析盾构机工作效率，分析影响盾构机施工最大的因素，进而改进施工管理，提供盾构机工作效率。三是系统可以进行施工辅助分析。统计每环推进参数的最大值，最小值，平均值，并形成

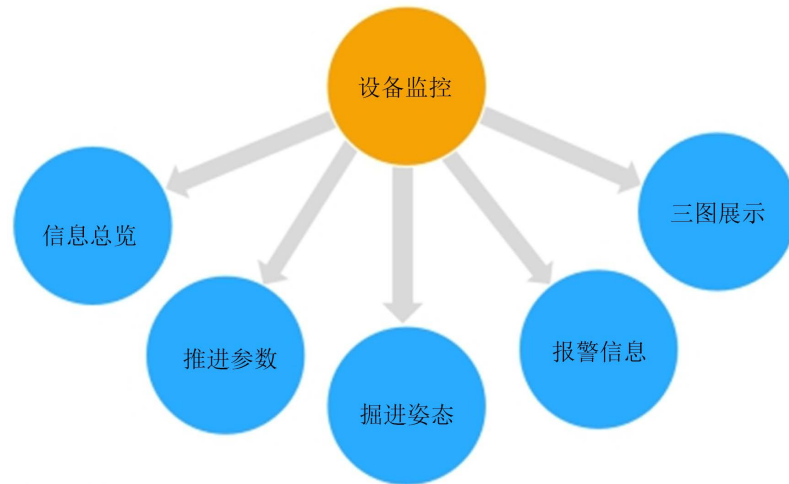


Figure 8. Equipment monitoring management function
图 8. 设备监控管理功能

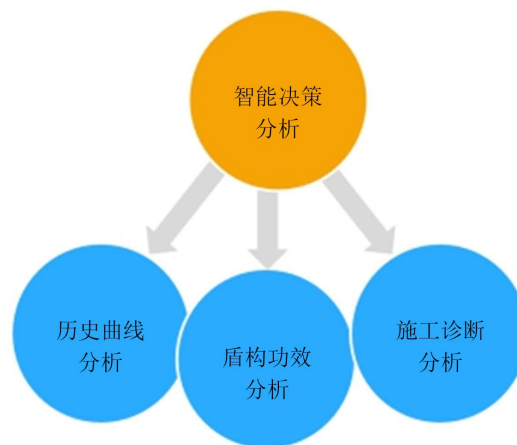


Figure 9. Intelligent decision analysis function
图 9. 智能决策分析功能

曲线,与地质、风险、埋深等信息对应,分析每环施工参数值的变化规律。四是系统可以进行施工诊断分析。将大数据分析结果和盾构施工专家经验结合,形成盾构施工诊断规则库。

5. 总结

本文以兰州站出站三公里油气管道隐患治理工程为例,基于 Autodesk 平台将 BIM 技术应用于项目设计施工建造阶段,对其进行深入探索得出以下结论:

1) 本项目在 BIM 建模时,累计发现设计图纸缺陷错误及碰撞 23 处,将图纸中隐藏的空间问题暴露出来,提高设计质量,减少设计人员现场服务的时间。

2) 通过 Civil3D+Dynamo+Revit 的建模软件体系,突破了往常设计图纸中仅能用平纵断面图的方式进行图纸设计的模式,同时对于隧道内、竖井内管道的布置给出了准确定位,高精度的完成了项目整体布置,同时由于 Dynamo 强大的编程功能,建模效率高,节约大量时间。

3) 通过盾构机监控管理以及“智能化”决策管理,可以将盾构掘进过程中的各个参数实时提取,通过与类似项目工程比对,及时发现施工中的进度质量问题,为安全施工提供保障。

4) 通过 BIM 模型的设计,在设计阶段即保留了组件信息,同时配合本项目采用的盾构监控管理平台,全方位保留了设计施工过程中的全部数字信息,为运营单位的全方位监管提供了充分的资料依据。

在下一阶段,数字化设计还需满足以下要求:

1) 能够满足集团公司的数字化成果移交要求。可基于线路平台上进行数据提交,且在整体线路平台中对穿跨越设计内容通过三维模型进行展示和交互。

2) 在实现高效、精细化设计的基础上,对基础数据、项目参数等设计数据进行存储,且能够整合施工、运营的各个阶段的数据并进行分析,优化设计施工和辅助进行运营管理和决策。

参考文献

- [1] 周总瑛,唐跃刚.从油气资源状况论我国未来能源发展战略[J].自然资源学报,2003,18(2):210-214.
- [2] 贾承造,张永峰,赵霞.中国天然气工业发展前景与挑战[J].天然气工业,2014,34(2):1-11.
- [3] 黄维和,郑洪龙,李明菲.中国油气储运行业发展历程及展望[J].油气储运,2019,38(1):1-11.
- [4] 宋艾玲,梁光川,王文耀.世界油气管道现状与发展趋势[J].油气储运,2006,25(10):1-6.
- [5] 李柏松,王学力,徐波,孙巍,王新,赵云峰.国内外油气管道运行管理现状与智能化趋势[J].油气储运,2019,38(3):241-250.
- [6] 陈朋超,冯文兴,燕冰川.油气管道全生命周期完整性管理体系的构建[J].油气储运,2020,39(1):40-47.
- [7] 董绍华,张河苇.基于大数据的全生命周期智能管网解决方案[J].油气储运,2017,36(1):28-36.
- [8] 董绍华,杨祖佩.全球油气管道完整性技术与管理最新进展——中国管道完整性管理的发展对策[J].油气储运,2007,26(2):1-17.
- [9] 李东,段腾龙,赵振远.全生命周期数字化管道系统在天然气长输管道建设中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(13):70-71+73.
- [10] 王鹏,张效铭,刘洋,王玺,周亮,孙晓森,刘超.以设计为源头的管道全生命周期管理模式探索[J].石油工程建设,2014,40(6):91-92.
- [11] 肖成志,薛鑫磊.BIM 技术应用的研究现状及发展趋势[J].建筑技术,2019,50(7):798-800.
- [12] 王珺.BIM 理念及 BIM 软件在建设项目中的应用研究[D]:[硕士学位论文].成都:西南交通大学,2011.
- [13] 张建平,李丁,林佳瑞,颜钢文.BIM 在工程施工中的应用[J].施工技术,2012,41(16):10-17.
- [14] 李美慧,左传鹏,张苏宁,曲明媚,崔鹤.PDMS 软件在管道设计中的应用[J].当代化工,2019,48(9):2146-2150.
- [15] 中国机械工业联合会.GBT 51362-2019.制造工业工程设计信息模型应用标准[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [16] 欧新伟,陈朋超,任恺,李一博,陈洋西.中俄东线数字化移交及与完整性管理系统的对接[J].油气储运,2020,

- 39(7): 777-782.
- [17] 许志坚, 陈少伟, 罗远峰, 蔚俏冬, 焦柯. 基于 Revit 的正向设计族库建设研究[J]. 土木工程信息技术, 2018, 10(6): 102-106.
 - [18] 任耀. AutoCAD Civil 3D 2013 应用宝典[M]. 上海: 同济大学出版社, 2013.
 - [19] 罗嘉祥. Autodesk Revit 炼金术: Dynamo 基础实战教程[M]. 上海: 同济大学出版社, 2017.
 - [20] 洪开荣. 盾构与掘进关键技术[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.