

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.10.059

基于 CATIA 的地质 BIM 模型研发及应用

陈鑫, 杨晖, 郑璇

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200000]

摘 要: CATIA 凭借其优秀的曲面造型能力, 广泛应用于市政行业, 但其本身并不具备地质建模能力, 相关应用也相对较少。现针对地质数据传递困难、地层建立过程复杂等问题, 基于 CATIA 进行地质 BIM 模型建模方法研究。采用 DACE 工具箱的克里金模型拟合地质界面数据, 结合 CATIA 软件优秀的曲面造型能力建立地形实体和地质界面, 最终提供一种适用性高的地质 BIM 模型创建方法。结合 3DE 平台和 CATIA 的协同设计功能, 保证了地质数据的有效传递, 增强勘察专业与其他专业的工作协同, 较好地解决了岩土相关的实际应用需求。

关键词: BIM; 地质勘察; 地质信息模型

中图分类号: P642

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)10-0225-05

0 引言

BIM (Building Information Modeling) 即建筑信息模型, 是一种在工程项目全生命周期内, 结合各个专业的属性、功能、信息、数据完成三维建筑信息模型并实现信息共享、协同设计的技术^[1]。随着 BIM 技术的日趋成熟, 该技术在建筑行业的设计、施工、管理、运维等各个方面都取得了很好的效果, 同时也在慢慢结合其他的工程相关专业, 包括市政、水电、岩土等。BIM 的特点是参数化设计、三维可视化、协同设计、模拟分析等, 以此减少缺漏碰撞等设计缺陷, 提高工作效率。

住建部于 2016 年发布了《关于推进建筑信息模型应用的指导意见》和《2016-2020 年建筑业信息化发展纲要》, 在此后几年的示范工程建设中, BIM 技术应用已由单点应用逐步发展为与智能化应用相结合^[2]。根据《中国建筑企业 BIM 应用分析报告(2019)》中调研数据显示, BIM 应用主要集中在设计、施工、运维三个阶段, 且以碰撞检查、方案模拟和现场可视化技术交底占比较大, 质量和安全方面的应用同比往年有较大的提高, 具体应用情况数据如图 1 所示^[2]。

现阶段 BIM 应用主要集中在建筑、铁路、道路、水电等工程领域, 相比之下地质工程专业的 BIM 应用尚处于起步阶段, 其原因主要有:

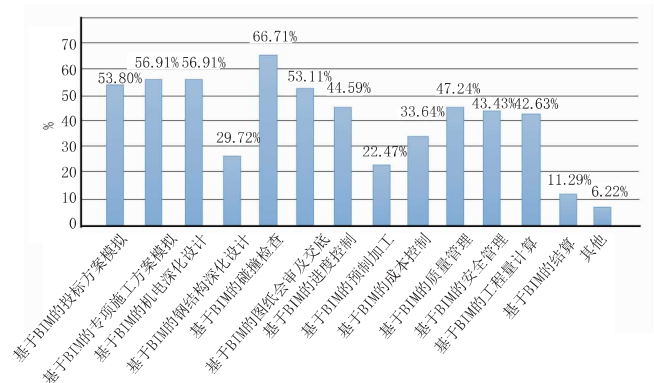


图 1 调查单位 BIM 应用情况柱状图

(1) 地质体因其不确定性和复杂性, 不但需要理论作为基础, 还需要丰富的地质经验, 因此地质模型与实际地质条件的可靠度难以得到广泛的认可。

(2) 地质 BIM 模型仍未有一个统一的数据交换标准, 不利于模型的传递和后期应用。

(3) 现阶段国外的三维地质建模软件产品在功能上能比较稳定与成熟, 但全英文的操作界面和高昂的软件使用费用使其在国内的推广遇到了困难。国内的三维地质建模软件在专业性和成熟度上仍处于完善过程中, BIM 技术在岩土或者地质方面的应用还需优化处理。

在工程地质勘察中, 传统二维勘察存在信息传递不畅, 地质意图表达不明确, 资源调配不均匀, 成果展示不直观等问题^[3]。地质 BIM 模型可真实构建三维立体场景, 以此展现各种地质元素之间的三维空间关系 (相离、相邻、组成、包含、被包含), 克服传统二维环境下难以区分三维空间关系的问题。地质 BIM 在岩土工程勘察中的优势:

收稿日期: 2020-12-21

作者简介: 陈鑫(1992—), 男, 工学硕士, 助理工程师, 从事数字化工作。

(1)表达更加直观,方便不同专业的技术人员交流。

(2)提高岩土工程勘察质量,传统二维剖面独立绘制,相交剖面地层有出入的问题,往往不易发现,然而三维地质的直观性和整体性可有效、便利的解决。

(3)降低成本提高工作效率,同一工程由于设计方案变更需重出剖面过程繁琐,三维模型任意剖切直接出图。

(4)后期可把各个时期不同项目地质数据进行整合,建立地质勘探孔的 BIM 数据库,以电子地图为索引界面经平台整合后,形成“大型地质数据库”。地质数据实现反复调用、共享,让设计人员第一时间找到拟建项目最近的地质资料,不仅可大大缩短项目前期地质资料搜集时间,还可减少不必要重复劳动,提高地质资料的有效性。

1 国内外三维地质建模软件

发达国家自 20 世纪 70 年代开始三维地质建模软件的研发,在 90 年代有稳定的产品问世,并不断地发展成熟。主要软件如表 1 所列。

表 1 国外三维地质建模软件一览表

软件名称	研发厂商	主要技术特点和应用领域
GoCAD	美国 PST 油藏技术公司	基于法国 Nance 大学提出的离散光滑插值理论,该项目得到国际的大力支持,是世界公认的三维地质建模软件
Petrel	美国斯伦贝谢公司	面向油气勘探的以三维地质建模为中心的一体化油藏描述软件
Surpac vision	加拿大 Gemeom 公司	面向数字矿山,集成了地质勘探信息管理、矿体资源模型建立、矿山生产规划及设计、矿山测量及工程量验算、生产进度计划编制等功能

国内从 20 世纪 90 年代开始不断有人研究三维地质建模软件的核心理论与技术,国内此类产品的概况如表 2 所列。

国产三维地质建模软件与国外先进产品相比仍然存在差距,大多只具备地下三维地质建模软件功能,且主要应用于油藏矿山等行业。

CATIA 是达索公司开发的一款集 CAM/CAE/CAD 功能于一体的产品,其拥有强大的曲面造型能力,广泛应用于市政行业。但 CATIA 不是一款专业的地质建模软件,目前国内地质 BIM 建模软件主要基于 Revit 平台,基于 CATIA 平台的地质 BIM 建模软件较少,在市政行业开发的地质应用更加稀缺。

现基于 CATIA 平台进行地质 BIM 模型建模方

表 2 国内三维地质建模软件一览表

软件名称	研发厂商	主要技术特点和应用领域
MapGIS	武汉中地数码集团,中国地质大学	MapGIS 在国内地矿系统的二维应用中占据统治地位,新版本具有三维地质建模能力
Longruan GIS	北京龙软科技有限公司,北京大学	面向数字矿山应用领域,国内煤炭行业市场占有率最高
DeepInsight	北京网格天地软件技术有限公司	主要面向地球物理与油藏描述领域,优势在于复杂地质构造的表达
Creatar	北京超维创想信息技术有限公司,北京大学	主要面向岩土工程勘察、矿产资源储量评价与城市三维地下管理
GeoMo3D	东北大学测绘遥感与数字矿山研究所,中国矿业大学	面向城市规划、采矿、地质、矿山设计与规划、资源勘察与评估、水利工程建设、岩土工程等领域

法研究,利用该软件优秀的曲面造型能力,提供一种适用性高的地质 BIM 模型创建方法。

2 地质数据库技术研究

随着信息技术的急速发展和大数据时代的来临,地质数据具备了大数据的本身特点和社会应用的属性,已成为国家大数据的重要组成部分。地质数据是典型的多源异构复合型数据,具有大数据典型特点,即体量浩大(Volume)、生成快速(Velocity)、模态繁多(Variety)和价值巨大但密度低(Value)^[4]。基于地质数据实现地上地下各类数据资源的一体化集成与服务是当前一个研究热点方向。如何对空间数据进行有效管理和综合应用,特别是空间数据的增量及更新、集成和融合问题,是智慧城市发展不可或缺的元素,也是当前 GIS 发展中的一项课题,具有很重要的研究意义^[5]。

地质 BIM 模型的建立从本质上来说就是应用先进技术对既有地质数据进行重构,从而再现地质结构。因此,既有地质数据的质量和数量对最终模型的准确性是至关重要的。

地质数据库根据业务范围和技术特点,现阶段包含前期的地质勘探数据和后期的三维空间数据。前期的地质勘探数据和后期的三维空间数据通过软硬件将数据集成,共同构成地质数据库,如图 2 所示。

建立和补充完善地质数据库的意义在于对这些数据进行智能处理,从中分析和挖掘出有价值的结构化信息。基于地质成果信息,与后期设计模型和需求叠加分析,提高设计效率和精度,更好地服务经济社会发展。

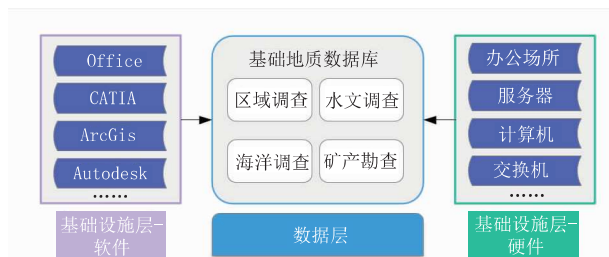


图 2 地质数据架构图示

2.1 地质数据分类

地质数据根据数据来源划分为前期地质勘探数据和后期三维空间数据。前期的地质勘探数据是通过勘探数据成果和测绘成果进行表达,并进行重新组织分为几何信息和非几何信息。用于建立地质 BIM 模型的几何信息主要包括:测绘数据、钻探数据、静探数据等。其中钻探数据包括定义场地地层顺序、钻孔地层信息(深度信息)、钻孔单孔数据(平面属性和钻孔属性信息)。静探数据包括单桥静探和双桥静探,用于建模的是分层统计数据,其定义了某地层在各静探孔的深度信息。

非几何信息大致为原位试验数据或土工试验数据,主要是描述场地岩土体的物理力学性质信息,属于属性信息。

后期的三维空间数据是图形数据的表示与纯粹方式,以及图形元素之间的拓扑关系。常用的空间数据模型包括曲面模型和体元模型。结合其他专业的数据资源,初步实现地质成果多维、地下-地上、地质-地理、时空-属性大数据的一体化存储、管理和辅助决策^[6]。

2.2 地质数据提取

地质 BIM 模型在创建过程中需要根据地质数据成果中钻探数据、测绘数据和后期应用阶段的地层信息数据进行提取。其中包含地层的分层数据处理、钻孔信息提取和关键地层参数的提取等。

2.2.1 分层数据处理

对勘察阶段提供的分层数据进行简化处理,即对地层厚度较薄的夹层或者互层,在创建过程中忽略该地层,将其人为合并至地层性质类似的邻近地层。

2.2.2 钻孔信息提取

根据地质数据成果直接导出各钻孔的基础数据。

2.2.3 关键地层参数选取

根据工程项目的具体需求,确定模型需要添加的地层参数信息。

2.3 地质数据清理

在地质数据被用作地质 BIM 模型建模之前,需

执行地质数据清理,控制数据质量,将数据本身的不确定性降到最低。地质数据以钻孔数据为主的特点,根据三维地质 BIM 模型,在三维空间视角下,方便地质勘察人员检查原有分层数据的合理性,较依靠传统二维剖面进行地质数据正确审核的方法,可大幅提高工作效率和精度。

2.4 地质数据管理

地质 BIM 模型承载地质信息,该信息的解决方案是沿用地质数据结果创建关联属性的地质数据库。与整体模型关联的有工程信息、场地信息、技术方案建议等,与地层模型关联的有场地地层信息等,还有其他钻孔信息、原位测试、室内试验等信息均应在地质数据库内。表 3 所列为数据库的相关表,从中看出基本涵盖了工程勘察阶段所需要承载的地质数据。

表 3 地质数据对应表

序号	表名称	描述
1	GCMC	工程名称
2	ZHMS	场地综合描述数据
3	DCSH	场地地层顺序数据
4	KTDYLBZ	勘探点一览表设置
5	TY	取样数据
6	BGTJJG	标贯统计结果
7	BS	波速数据
8	CJSJ	沉降数据
9	CZLSJ	承载力数据
10	FCTGSJ	分层土工数据
11	WLZB	物理力学指标

3 地质 BIM 建模技术研究

地质 BIM 建模与其他专业 BIM 建模的最大区别之处是,地质 BIM 是自然形态,其他专业 BIM 是人为设计。这决定了两种模型的创建方式不同,地质 BIM 需要通过有限的信息经过专业的推测而得到,这就提升了其建模的难度。同时,从二维到三维,对应的精度要求也相应地要提升,二维情况下各种图件均独立绘制,除非明显错误,一般细节冲突较难发现。但在三维情况下,相关联的平面图件表达信息必须一致,因此对勘察质量提出了较高的要求。

地质 BIM 模型的建立不能超出勘察人员的专业技能,还是依据现有勘察人员的工作方式和习惯,以平面推断为主,辅以三维的建模方式和推断方式,通过钻孔数据和剖面图数据创建地质 BIM 模型。

地质 BIM 建模流程包括地形模型的创建、钻孔

模型的创建、地层模型的创建,整个流程如图 3 所示。

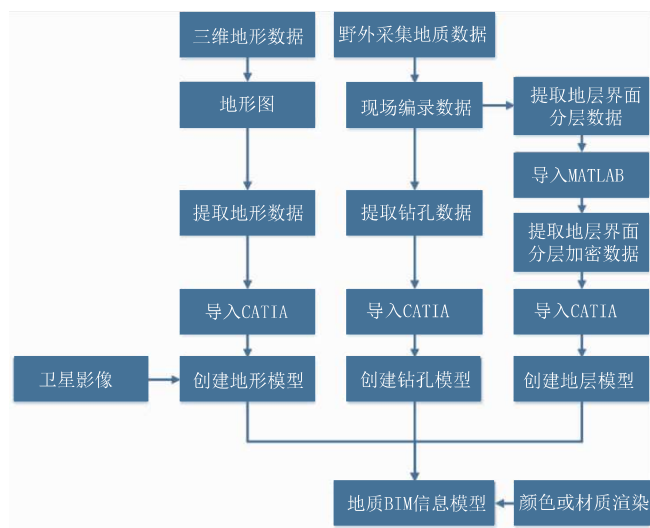


图 3 地质 BIM 模型建模流程图

3.1 钻孔模型建立

钻孔模型的建立主要依靠 CATIA 中用户特征功能(UDF)。用户特征(UserFeature)是 CATIA 中的一种强大的复制工具,可以在不同的上下文当中复制和重用一组设计数据,在实例化的同时可以修改参数。但与超级副本不同的是,用户特征实例化出来的对象是以一种黑盒形式存在,在特征树上显示的是一种独特的特征,隐藏了设计的过程步骤。因此,用户特征可以保护设计者的设计思路及设计知识。

通过创建钻孔模板,并进行工程模板实例化,完成钻孔模型的自动建立,如图 4 所示。



图 4 钻孔模型

3.2 地层模型建立

地质界面的模拟是地层模型建立中最重要的内容之一。由于地质界面的几何形态往往是复杂多变的,不同界面也存在着差异性,现运用 DACE 工具箱的克里金模型进行插值计算^[7],并结合 CATIA 的曲面造型功能,完成地层界面的拟合。

在 CATIA 中新建地层模型的物理产品,插入“3D 零件”,以存放地质分层成果数据。切换至 Terrain Preparation 模块,点击“导入”—“地形文件”,选择 DACE 工具箱处理完成的地质分层成果数据,设置与地形数据偏移相同的几何位置偏移值,最终生成地质界面点云数据,完成地质界面数据导入,运用创建地形功能,选择对应的地质界面点云数据,形成地形,最终完成地层界面的创建,如图 5 所示。

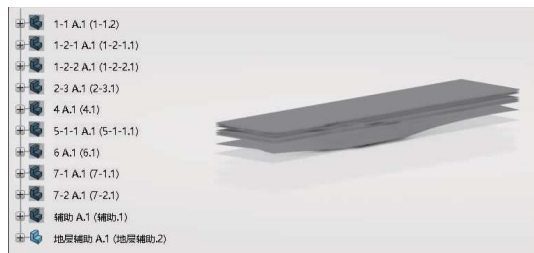


图 5 地层界面图

新建 3D 零件,以储存地层界面和地质体的模型。在地层建模过程中,保证单个地层对应单个 3D 零件。通过导出测试,不同的地层储存于相同 3D 零件中,在其他平台展示时将不能显示分层模型。

在 3D 零件新建几何体用以存储地层模型,切换至 Civil 3D Design 模块,根据生成的地质界面进行地层模型的建立。

4 地质 BIM 模型应用开发

地质 BIM 模型最终需在应用中产生价值,应用范围越广其价值就越大。BIM 贯穿项目全生命周期,在勘察、设计和施工阶段均能发挥作用,比如设计阶段中的碰撞检查、施工阶段中的施工模拟等。

4.1 模型开挖

通过开发实现地质 BIM 模型开挖,通过挖去其他结构专业模型,查看地层内部分布情况。后期衍生应用包括自定义路径开挖、导入外部路径的模型开挖等,如图 6 所示。

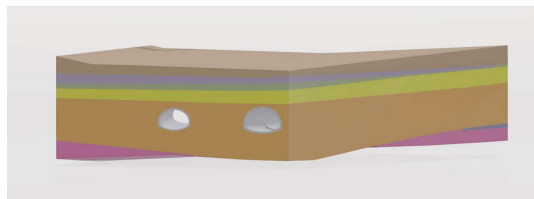


图 6 模型开挖图示

4.2 虚拟桩基

在已有地质体模型任意处生成带有属性信息的虚拟桩基,一方面进行可视化展示,查看地层分布情况,并可将虚拟钻孔与真实钻孔资料做对比,实现模

型准确性检验与校正。另一方面结合该处的地层分布情况,通过经验参数法确立单桩承载力,为后期岩土设计提供依据,如图 7 和图 8 所示。



图 7 部分代码图示

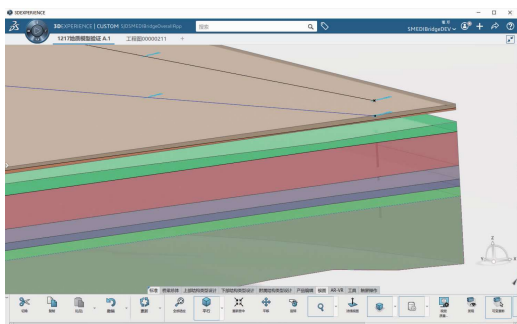


图 8 虚拟桩基图示

5 项目案例

项目为上海市某服务区扩建项目,通过勘察院提供的 32 个钻孔数据,完成地质 BIM 模型,其中主层共 6 层,亚层共 9 层,具体模型如图 9 所示。在勘探深度范围内,地基土分布基本稳定,土层自上而下:①₁、①₂ 层填土为近代填土;②层~⑤层为全新世 Q4 沉积层;⑥、⑦₁、⑦₂ 层为上更新世 Q3 沉积层,场地主要特殊性岩土表现为软土及填土。

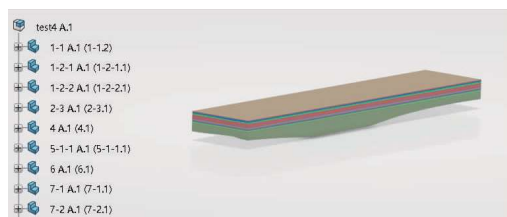


图 9 地质模型

拟建场地地势较为平坦,无影响场地稳定性的大型活动性断裂、显著的地面沉降等不良地质作用。另外,场区浅层存在软土、液化土、明暗浜等不良地质条件,对设计施工存在一定影响,但采取适当的措施进行处理后,可进行项目建设。

6 结论

BIM 技术改善了建筑、市政等行业的信息传递,

实现了工程项目设计、施工、运维阶段的信息化管理,极大提高了工程项目的质量和效率,降低了成本。地质勘察阶段作为设计、施工、运维的前置条件,目前应用相对较为匮乏。本文分析了现阶段常用的地质建模软件的发展情况和建模特点,寻求了一条高效的地质 BIM 模型创建方法。该方法运用了克里金模型生成地层界面,保证模型的有效性和建模质量,还运用了 CATIA 的曲面造型和数据传递的优势,保证了模型数据的有效传递和后期项目实际应用的需求。

(1)研究了地质数据成果中的地质数据分类,较好地解决了地质数据提取、清理和管理等数据处理过程中遇到的问题,形成了一套相对完整的数据集成解决方案。

(2)研究了基于 CATIA 的地质 BIM 模型的关键技术,将克里金模型和 CATIA 的曲面造型能力相结合,弥补 CATIA 平台地质模块的短板的同时,形成了一套地质 BIM 模型建模流程,对勘察 BIM 信息化发展具有重要推动作用。

(3)针对在二维环境下地质成果存在的局限性,完成地质 BIM 模型的展示方案,并运用 3DE 平台和 CATIA 的协同设计功能,保证了模型数据的有效传递,增强勘察专业与其他专业的协同,较好地解决了岩土相关的实际应用需求。

参考文献:

- [1] 于凤树,吕风华,刘宝华,李志刚,刘玉,宫丽玮.基于 BIM 技术地质体三维模型构建关键技术的研究[J].工程勘察,2018,46(8):37-40+50.
- [2] 上海市住房和城乡建设管理委员会.上海市建筑信息模型技术应用与发展报告[R].2020.
- [3] 张军文.水文地质结构三维建模与可视化探究[J].山西建筑,2018,44(23):253-255.
- [4] 段志军.基于城市信息模型的新型智慧城市平台建设探讨[J].测绘与空间地理信息,2020,4(8):138-139+142.
- [5] 刘同文.基于地质大数据的地质综合成果信息平台研究与实现[J].北京测绘,2020,034(6):814-818.
- [6] 刘同文.综合地质信息服务平台的研究及应用[J].地矿测绘,2020,36(2):19-21.
- [7] 谢延敏,于沪平,陈军,阮雪榆.基于 Kriging 模型的可靠度计算[J].上海交通大学报,2007(2):177-180+193.