一种智能油田数字地图和油田三维模型的数字集成方法

祝雁红[1] 韩少君[2]

1. 中国石油工程建设有限公司北京设计分公司， 北京 100085；

2. 中国石油(伊拉克)哈法亚公司， 北京 100034

摘 要：为快速搭建安全、低成本的智能油田三维可视化运营环境，将通过坐标信息构建的油田数字地图划分成有规则的栅格单元，构建栅格数据；设置栅格单元关键、唯一属性信息，为每个栅格单元生成地理信息系统全局唯一标识符(Geographic Information System Globally Unique Identifier, GIS GUID)。计算获得确保三维模型信息唯一的 MD5 码，生成对应三维模型唯一标识符(Model GUID)；通过栅格 GIS GUID 和三维模型 Model GUID，建立地理信息系统(Geographic Information System，GIS)和三维模型的关联关系；实现在 GIS 放大到一定层级后，根据当前栅格信息精确跳转到对应的三维模型。这种智能油田数字地图和油田三维模型的数字集成方法可以降低集成成本，快速构建智能化、数字化油田一体化环境，为油田智能一体化管理提供强有力保障。

关键词：智能油田；数字地图；三维模型；可视化；数字集成方法

DOI：10.3969/ j. issn. 1006-5539. 2025. 01. 005

A digital integration method for intelligent oilfield digital maps and 3D models

ZHU Yanhong[1], HAN Shaojun[2]

1. CPECC Beijing Design Branch, Beijing, 100085, China;

2. PetroChina(Iraq) Halfaya Company, Beijing, 100034, China

Abstract: To rapidly develop a secure and low-cost three-dimensional visualisation operating environment for intelligent oilfields, the following method is proposed. The digital map of oilfield, developed using coordinate information, is divided into regular raster units to form raster data. Key and unique attribute information is set for each grid cell to generate a Globally Unique Identifier(GUID). An MD5 code that ensure the uniqueness of the 3D model information is calculated. The association between the Geographic Information System(GIS) and 3D model is established through the raster GUID and 3D model MD5. This enables precise navigation to the corresponding 3D model when the GIS is zoomed to a certain level, based on the current raster information. This approach allows for independent development of an intelligent oilfield 3D visualisation operating environment without reliance on foreign software, resulting in lower development costs. This method of digital integration between the digital map and oilfield 3D models can reduce integration costs, rapidly develop an integrated intelligent digital oilfield environment,

收稿日期：2024-07-11

作者简介：祝雁红(1973-)，女，新疆乌鲁木齐人，高级工程师，硕士，主要从事石油天然气地面工程设计研究工作。E-mail：zhuyanhong. cpe@ cnpc. com. cn

and provide robust support for the intelligent integrated management of oilfields.

Keywords: Intelligent oilfield; Digital map; 3D model; Visualisation; Digital integration methods

0　前言

近年来,数字化、智能化油田地面运营管理需求不断增长[1-2],构建包含油田数字地图和油田三维模型的三维可视化运营管理环境,是实现数字化、智能化油田生产运营管理一体化[3-6]的重要环节之一。

油田地面工程数字化应在油田数字化交付[7-8]的基础上,统一设计油田的数字化生产运行和维护业务,兼顾油田长期滚动开发和应用功能不断发展的需要。数字化系统宜采用开放、易扩展的架构,包括感知层、传输层、孪生层、应用层和管理层[9]。可视化运营管理环境的主要任务是用实体形象展示智能思维模型数据、业务执行模型数据等其他管理模型数据情况。作为油田数字化整体平台的一部分,可视化运营管理环境是其中的视觉呈现物理模型[10-11],必须兼顾安全性与经济性。

构建包含油田数字地图和油田三维模型的可视化运营管理环境,目前三维地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术在数字油田建设中的应用[12]以及基于 Skyline 技术的油藏管理三维可视化应用研究[13]都是基于 Skyline 平台,在收集地形数据、油井数据、钻井资料、地质资料、地层数据以及其他辅助说明资料的基础上,完成油井、地层等建模,通过程序编写将模型及相关信息集成在 Skyline 平台,使油井立体化、形象化、三维可视化。

国内油田数字地图和油田三维模型的结合停留在三维 GIS 加载三维模型理论阶段,即采用三维 GIS 平台构建油田数字地图,使用 WGS-84 坐标系,直接将 Revit[14]、Bentley、PDMS[15-16]、SP3D[17]等软件所设计的三维模型导入三维 GIS 平台。该方式通过坐标转换将三维模型定位到三维 GIS 具体位置。通过支持大地坐标、空间直角坐标以及平面坐标转换的工具,将三维模型坐标和三维 GIS 坐标进行统一转换。坐标转换需要高精度的三维 GIS 和定位准确的模型,实施成本较高,因三维 GIS 平台和三维模型在不同的系统平台,难以无缝集成,为后期统一应用带来隐患。

在考虑降低成本并使用拥有国内知识产权的高性能 GIS 平台的前提下,针对油田地面工程分布广、数据来源不一等问题,提出一种低成本、无缝集成的智能油田数字地图和油田三维模型的数字集成方法。

1　油田数字地图构建

将油田地面勘察测量、建设数据和卫星影像结合,在 GIS 中构建覆盖全油田范围的数字地图。

1.1　油田数字地图架构

GIS 平台架构包括数据层、存储层、业务支持层、平台层和应用层。

数据层中的数据源包括栅格数据、实体图层矢量数据等。

栅格数据、实体图层矢量数据经过数据湖的存储备份,最终提取存储在存储层。

业务支持层提供 GIS 服务和业务服务,联接存储层和平台层,为 GIS 数据的读取、缓存、图层发布提供 GIS 服务支持,为视频获取、无人机状态获取和图片获取提供业务服务支持。

平台层提供 GIS 基础功能,包括图层、菜单、空间、工具和服务。其中服务包含动态服务、切片服务和实体空间坐标数据的增删改查服务。

应用层提供 GIS 业务应用,包括模型展示、无人机巡检数据和实体数据展示。

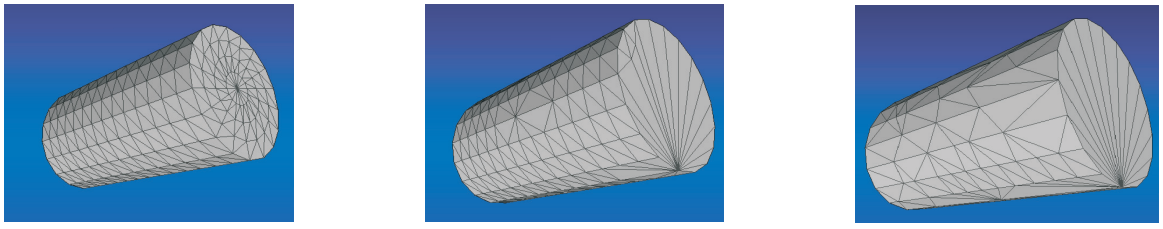
1.2　自主组件 GIS

GIS 平台技术可以采用 ArcGIS 组件,也可以采用自主组件。自主组件 GIS 操作软件开源,可节约成本;支持多种平台地图服务以及多种数据格式;模块化编程,耦合性低。在研究实例中采用了自主组件 GIS[18]。自主组件 GIS 在底图、政区图、影像图、地形图上支持 ArcGIS 切片服务,在专题图、动态图、要素图等功能点支持图片服务、动态服务和要素编辑功能。

2　油田三维模型及数据准备

设计交付的油田三维模型是各专业采用专业设计软件对油田设施的建模。专业设计软件操作复杂,适宜专业设计工程师操作。为了让非专业运维人员简单、方便地查看油田三维模型,需解除油田三维模型对设计工具的依赖,建立更简单的可视化查看平台环境。

首先,解除模型对设计工具的依赖,将模型与原始设计工具进行分离,形成新的模型格式。其次,对带有复杂设计参数的三维设计模型进行模型轻量化改进[19],对三维模型的基本体进行几何参数存储;对于曲面模型,采用三角形面片拟合形状,设定简化力度参数,设定保持模型边界的参数后,优先保持边界,再进行冗余网格精简。比如将简化力度设定为 30%(即简化掉 30% 的三角形面片),设定保持边界,由于原始模型网格存在冗余,算法简化掉 30% 的三角形面片后冗余的顶点数被简化。轻量化简化效果见图 1。



a)原始模型
a)Original model

b)简化力度 30%
b)30% simplified

c)简化力度 60%
c)60% simplified

图 1 轻量化简化效果图

Fig. 1 Lightweight simplified effect diagram

根据原始模型的来源不同,将原始模型压缩 1∶10 ~ 1∶50,去除原始模型中为进行参数化设计而保存的大量冗余数据。同时,对三维模型所带属性数据、采办数据进行转换和解析。根据应用的需要进行数据重组、编辑、发布。构建数字油田三维模型目录结构、分解结构,实现解析数据、关联文件的在线浏览和检索,形成运维阶段可利用的带有静态属性数据的三维运营环境。

3 集成

3.1 划分栅格单元生成 GIS GUID

在集成过程中,先将油田数字地图划分栅格单元[20],然后在各栅格单元上给出相应的属性值。属性值用于表示该栅格单元所对应的地理实体。这种用栅格单元属性值表示地理实体的数据组织形式被称为栅格数据结构。

在栅格数据结构中,点由一个单元网格表示,线由一串有序的相互连接的单元网格表示,在有序的相互链接的单元网格中各网格的属性值相同。聚集在一起相互连接的多个单元网格组成多边形,在该多边形区域内各单元网格的属性值相同,与其区域外的单元网格的属性值不同。栅格数据见图 2,图 2 中空间位置用行与列表示,字母代表不同属性。

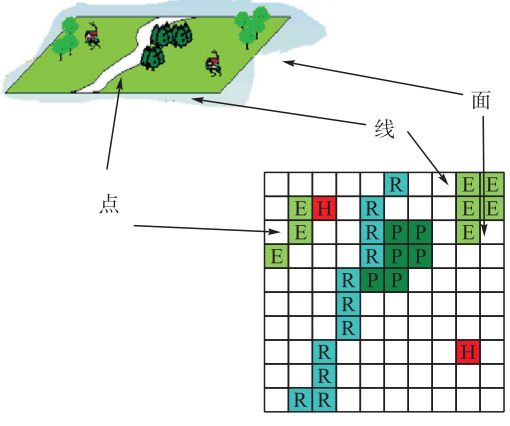


图 2 栅格数据示意图

Fig. 2 Schematic diagram of raster data

为每个栅格单元设置关键、唯一属性信息,并为每个栅格单元 GIS 生成全局唯一标识符(Globally Unique Identifier,GUID),保证其关键性和唯一性。

3.2 生成三维模型文件 Model GUID

通过预定的算法(在研究实例中选择 MD5 算法)对三维模型文件信息进行校验计算,去除模型内容相同的三维模型,获得三维模型内容唯一性的 MD5 码,确保三维模型关键信息的唯一性。

确定三维模型唯一性后,生成每个三维模型文件对应的三维模型唯一标识码(Model GUID);该三维模型可以是 PDS、SP3D、Revit、Bentley、CATIA 等设计软件所设计的油田三维模型。

3.3 建立 GIS GUID 与 Model GUID 的关联关系

根据栅格单元对应的地理位置信息,查找地理位置信息相匹配的三维模型文件,建立数字地图中栅格单元 GIS GUID 和每个三维模型文件 Model GUID 的关联关系,数据关系见图 3。其中,一个或多个栅格单元 GIS GUID 对应一个三维模型文件 Model GUID。GIS GUID 与 Model GUID 可以通过代码编译的形式在配置文件里建立关联关系。

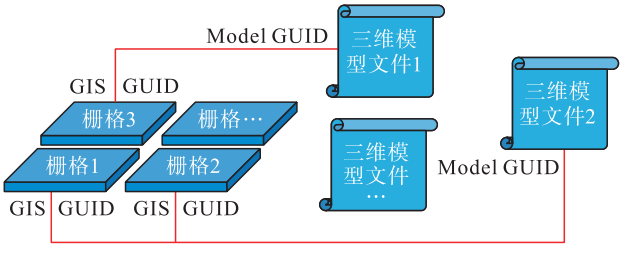


图 3 GIS GUID 与 Model GUID 数据关系示意图

Fig. 3 Schematic diagram of data relations between GIS GUID and Model GUID

将建立的关联关系,在 GIS 中放大到一定层级后,可根据当前栅格单元信息精确跳转到对应的三维模型。为提高切换定位的准确性,减少关联关系的二义性,栅格单元和三维模型的关联关系支持多对一关联,即多个栅格单元能够对应到一个三维模型。例如含有油田处

理站的 GIS GUID 对应处理站三维模型形成的 Model GUID,单井的 GIS GUID 对应单井三维模型形成的 Model GUID。

3.4　GIS 到三维模型切换

当所述数字地图放大到预定层级时,根据所建立的关联关系,将显示界面预定区域中的栅格单元切换为对应的三维模型文件,包括:当数字地图放大到预定层级时,调用 iframe 标签;将显示界面预定区域中的栅格单元的 GIS GUID 作为 iframe 的参数;将 iframe 的参数传递给三维模型页面,通过三维模型页面解析参数以确定相应的三维模型文件并进行切换加载显示。

4　结论

海外智能油田项目中,采用国内自主开发的 GIS 构建的智能油田数字地图和油田三维模型的数字集成方法,降低了集成成本,保证了安全性,快速构建了油田一体化环境。在油田一体化环境中,根据油田井、场实际管理需要,对集成的业务数据进行整体编辑和重组,可将编辑和重组后的数据发布到对应业务系统中去,从而实现油田管理模式的转变,相较于原人工数据查找、人工业务传递等模式,极大地提高了管理效率和生产能力。

参考文献:

[1] 王同良. 油气行业数字化转型实践与思考[J]. 石油科技论坛,2020(1):29-33.
WANG Tongliang. Practice and thinking of oil and gas industrial digitalization transformation [J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020 (1): 29-33.

[2] 付锁堂,石玉江,丑世龙,等. 长庆油田数字化转型智能化发展成效与认识[J]. 石油科技论坛,2020(5):9-15.
FU Suotang, SHI Yujiang, CHOU Shilong, et al. Achievements from digital transformation and intelligent development of Changqing oilfield [J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020 (5): 9-15.

[3] 檀朝东,刘　合,高小永,等. 中国陆上油气田生产智能化现状及展望[J]. 前瞻科技,2023,2(2):121-130.
TAN Chaodong, LIU He, GAO Xiaoyong, et al. Current situation and prospects of intelligent production in onshore oil and gas fields in China [J]. Science and Technology Foresight, 2023, 2 (2): 121-130.

[4] 李　晨,肖逸军,杨云杰. 油气田生产数字化转型理论与实践[J]. 化工管理,2022(20):57-60.
LI Chen, XIAO Yijun, YANG Yunjie. Theory and practice of digital transformation of oil and gas field production [J]. Chemical Engineering Management, 2022 (20): 57-60.

[5] 贾　静,陈　林,付　新,等. 数字化转型背景下油气开发生产组织新模式探索[J]. 西南石油大学学报(社会科学版),2022,24(3):1-9.
JIA Jing, CHEN Lin, FU Xin, et al. Exploration and prospect of the new mode of oil and gas development and production organization under the background of digital transformation [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Social Sciences Edition), 2022, 24(3): 1-9.

[6] 杜　宇. 油田地面建设工程一体化项目管理实践体验[J]. 油气田地面工程,2021,40(9):86-88.
DU Yu. Practical experience of integrated project management of oilfield surface construction engineering [J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2021, 40 (9): 86-88.

[7] 张　华,罗　那.《石油化工工程数字化交付标准》解析与实施[J]. 石油化工设计,2023,40(2):47-52.
ZHANG Hua, LUO Na. Analysis and implementation of Standard of Digital Delivery for Oil Refining and Petrochemical Project [J]. Petrochemical Design, 2023, 40 (2): 47-52.

[8] 来海雷,方西盛. 油田地面工程建设信息化集成与应用探索[J]. 油气田地面工程,2024,43(2):85-89.
LAI Hailei, FANG Xisheng. Exploration on information integration and application in oilfield surface engineering construction [J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2024, 43 (2): 85-89.

[9] 中国石油天然气集团有限公司标准化委员会石油石化工程建设专业标准化技术委员会. 海外油田地面工程数字化设计规范:Q/ SY 06045—2023[S]. 北京:石油工业出版社,2023.
Standardization Technical Committee for Petroleum and Petrochemical Engineering Construction of Standardization Committee of CNPC. Digital design specification for overseas oilfield ground engineering: Q/ SY 06045—2023 [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2023.

[10] 张　晶. 基于用户认知的大数据可视化复杂度研究[D]. 南京:东南大学,2020.
ZHANG Jing. Study on the complexity of big data visualization based on user cognition [D]. Nanjing: Southeast University, 2020.

[11] 周小舟. 基于用户认知的大数据可视化视觉呈现方法研究[D]. 南京:东南大学,2018.
ZHOU Xiaozhou. Research on the visual presentation method of big data visualization based on user cognition [D]. Nanjing: Southeast University, 2018.

[12] 王　钰,高志亮,马智民,等. 三维 GIS 技术在数字油田建设中的应用[J]. 地理空间信息,2009(4):92-95.
WANG Yu, GAO Zhiliang, MA Zhimin, et al. Application of three-dimensional GIS technology to the construction of digital oil field [J]. Geospatial Information, 2009

(4): 92-95.

[13] 郭花利. 基于 Skyline 技术的油藏管理三维可视化应用研究[D]. 西安:长安大学,2010.
GUO Huali. Three-dimensional visualization of reservoir management application and research based on skyline [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.

[14] 吴庆非. Revit MEP 三维设计软件在管道设计中的应用[J]. 科技与企业,2013(17):112.
WU Qingfei. Application of revit MEP 3D design software in pipeline design [J]. Technology and Enterprise, 2013 (17): 112.

[15] 罗志军,侯韶剑. PDMS 在石化管道设计中的应用[J]. 辽宁化工,2018,47(8):792-794.
LUO Zhijun, HOU Shaojian. Application of PDMS in petrochemical pipeline design [J]. Liaoning Chemical Industry, 2018, 47 (8): 792-794.

[16] 王 钰. PDMS 在化工管道设计中的应用[J]. 化工设计通讯,2021,47(9):78-79.
WANG Yu. Application of PDMS in the design of chemical pipeline [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2021, 47 (9): 78-79.

[17] 杨 繁. 三维设计软件 PDMS 与 SP3D 的应用比较[J]. 广州化工,2017,45(21):135-137.
YANG Fan. Comparison of 3D design software PDMS and SP3D [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2017, 45 (21): 135-137.

[18] 杨 超. 组件式 GIS 设计与实现关键技术研究[D]. 西安:长安大学,2012.
YANG Chao. Research on key techniques in COMGIS design and implementation [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.

[19] 何 泉,张 尚,刘 洋,等. Web 端三维可视化方法、电子设备及存储介质:CN202311257390. 6[P]. 2024-01-12.
HE Quan, ZHANG Shang, LIU Yang, et al. Web-side 3D visualisation method, electronic device and storage medium: CN202311257390. 6 [P]. 2024-01-12.

[20] 祝雁红,任新华,蔡峰峰,等. 一种数字集成方法和装置:ZL2020110406680[P]. 2022-10-18.
ZHU Yanhong, REN Xinhua, CAI Fengfeng, et al. A digital integration method and device: ZL2020110406680 [P]. 2022-10-18.

中国石油建成首套 CCUS-EGR 碳捕集模块

2025 年 1 月 3 日,据中国石油工程建设有限公司(CPECC)西南分公司,该公司自主研发的中国石油首套 CCUS-EGR 碳捕集模块,在西南油气田公司天然气净化总厂引进分厂(简称引进分厂)卧龙河气田茅口组气藏 CCUS-EGR 先导试验工程建成,预计每年可捕集约 2.65 万吨二氧化碳,有力推动企业节能减排和绿色低碳建设。

卧龙河气田茅口组气藏 CCUS-EGR 先导试验工程是中国石油 CCUS 四大试验示范及产能项目之一。2024 年 5 至 8 月,CPECC 西南分公司针对引进分厂吸收塔排除尾气压力较低、组分复杂、处理难度大等实际情况,采用 CPC-3 碳捕集专利技术及工艺包研制成化学吸收法碳捕集装置,大大降低碳捕集装置捕集成本。同时,采用"吸收塔顶水洗+微旋流分离组合"工艺,最大程度减少胺液逃逸。

为保障 CCUS-EGR 碳捕集模块的建设进度,CPECC 西南分公司把碳捕集装置、分子筛脱水装置等核心装置设计成模块,采用"以试压包为核心+施工深度预制"的施工方式,实现了以空间换时间、以资源换时间、以管理换时间,实现了成套设备工厂制造、模块异地施工、现场深度预制与土建作业齐头并进以及土建完工、设备吊装无缝衔接。

(周 舟 摘编自中国石油新闻中心 http:// news. cnpc. com. cn/ system/ 2025/ 01/ 10/ 030152356. shtml)