

引用格式: 赵智尧, 廖毅, 李行义. 变电工程项目图结构数据模型研究 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(增刊 1): 111-114. ZHAO Zhiyao, LIAO Yi, LI Xingyi. Research on graph-based data model for substation projects [J]. Southern energy construction, 2024, 11(Suppl. 1): 111-114. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.17.

变电工程项目图结构数据模型研究

赵智尧^{1,2,✉}, 廖毅¹, 李行义¹

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663;

2. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 611756)

摘要: [目的]为打通变电工程全生命周期各阶段之间的数据隔阂, 实现几何模型和工程信息的流转, 提出了基于图结构的变电工程数据模型构建方法。[方法]首先分析模型几何信息和工程数据信息在变电工程各阶段的流转, 将数据模型分为核心模型与场景模型, 其次按照变电工程的土建部分和电气设备来组织图的拓扑结构, 然后将具有树形结构的 IFC 模型之中的部件之间的关系转换为“边”的形式, 模型部件转为“节点”的形式, 构建图结构并导入图数据库, 最后设计电气设备部件级别的变电工程数据模型结构, 并将该模型与核心模型的部件建立关联关系, 形成变电工程图结构数据模型。[结果]测试结果表明变电工程图结构数据模型导入图数据库后可以实现几何模型与工程信息模型的灵活组合和分解, 并可在面对大量几何结构和属性信息的复杂关联关系时实现高效的模型组件信息的修改和查询。[结论]基于图结构的数据模型可以同时承载几何信息和工程信息场景模型。它实现了各阶段对于模型颗粒度调整和工程信息增补和移除的需求, 相比于基于表单管理的 COBie (Construction Operations Building information exchange) 标准可以为用户提供更容易理解的数据流转路径。

关键词: 数据模型; 变电工程; 图论; 信息流转

中图分类号: TM7; TP309.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)S1-0111-04

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.17

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

Research on Graph-Based Data Model for Substation Projects

ZHAO Zhiyao^{1,2,✉}, LIAO Yi¹, LI Xingyi¹

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China;

2. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, Sichuan, China)

Abstract: [Introduction] In order to connect isolated data between various stages of the entire life cycle of substation projects and achieve the flow of geometric model and engineering information, a graph-based data model for substation projects is proposed in this paper. [Method] Firstly, the flow of geometric and engineering information of the model in each stage of the substation project was analyzed, and the data model was divided into core model and scene model. Secondly, the topological structure of graphs was organized according to the civil part and electrical equipment of the substation project. Then, the relationship between the components of IFC model with a tree structure was converted into the form of "edge", the model components were converted into the form of "node", and the graph structure was then constructed and imported into the graph database. Finally, a data model structure for substation projects at the component level of electrical equipment was designed, and the model was associated with the components of the core model to form a graph-based data model for substation projects. [Result] The test results show that the graph-based data model for substation projects can achieve flexible combination and decomposition of geometric model and engineering information model after being imported into the graph database. It can realize efficient modification and query of model component information in the face of complex relationships between a large number of geometric structures and attribute information. [Conclusion] The graph-based data model can simultaneously

收稿日期: 2022-12-12 修回日期: 2023-03-20

基金项目: 中国能建广东院科技项目“基于地理信息数据的三维多细节层次语义模型构建”(EV10031W); 中国能建广东院科技项目“电网工程全生命周期数字孪生仿真模型研究”(ER10551W)

carry geometric information and engineering information scene models. It meets the requirements for adjusting the granularity of models and supplementing and removing engineering information at various stages and can provide users with an intelligible data flow process comparing with the COBie (Construction Operations Building information exchange) standard based on form management.

Key words: data model; substation project; graph theory; information flow

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

数字化技术已经在电网工程的规划、设计、建设和运维等各个阶段进行了应用,并取得了初步的效果,但变电工程各阶段的数据类型和数据格式及其存储方式存在差异。这种差异成为了各阶段间数据流转的壁垒,导致数据和信息只能在单一场景内使用,无法在全生命周期各阶段进行流转。如何建立起变电项目全生命周期数据流转的机制,并通过提升工程各阶段数据管理能力发挥数据资产的价值成为亟待解决的问题^[1]。

设计信息的全生命周期管理可以提高项目的生产效率并节约成本,变电工程项目已经采用了数字化方法建筑信息模型(Building Information Model, BIM)来管理建筑项目^[2]。工程项目会涉及人、机、料、法、环等大量管理信息,其管理过程已经非常复杂,而不同设计软件的 BIM 模型具有不同文件格式标准。BIM 模型的细节和语义信息会随着工程的不断深化而指数级增加,这导致 BIM 模型的引入会进一步增加项目管理的难度^[3]。

除了与工程信息衔接困难, BIM 模型在各专业间的流转也并不轻松。变电项目中需要电气、土建、测量、地质、通信、暖通和给排水等专业共同参与设计、施工和运维阶段。其中部分专业提交的 BIM 模型会达到数百兆字节的体量^[4]。设计协作、施工变更和数字化交付的各个过程如果频繁拷贝如此庞大的模型文件,难免发生数据泄密、模型版本错乱、文件损坏等问题,同时人力成本也较高。

为解决工程项目在全生命周期中几何模型和工程信息难以流转、交互和缺乏可视化流程问题,文章引入图结构的数据组织形式,针对变电工程具体情况提出包含核心模型和场景模型的图结构数据模型。

1 数据流转过程分析

变电工程各阶段的信息、文档和模型之间的联

系目前都依赖于资料员表单化的管理,各种资料之间组织度较低,容易形成各阶段数据孤岛,造成下一阶段提资和收资较多的时间消耗。为此需要一种模型用来对变电工程所具有的数据进行组织,并提出对数据之间的关系进行标准化的方式方法。如果各参与方在不同阶段所产生的数据作为构成数据模型的组成元素,为了使这些数据元素能够实现有序流转,需要将数据元素的几何信息和属性信息映射到数字空间后所形成固定的组织结构和流转规则。

1.1 数据模型

为了防止数据模型在流转过程中像滚雪球一样不断变大,造成后续阶段存在大量冗余数据,本文将每个阶段的数据模型分为核心模型和场景模型。本研究将核心模型定义为“土建设施和电气设备在全生命周期各阶段的几何信息与属性信息的存储结构”,场景模型则定义为“电网工程实施过程中各阶段工程信息的存储结构”。

1.2 数据流转

核心模型中的几何信息和属性信息会随项目推进不断细化,而不同阶段不同场景的信息和数据进行流转,后一阶段的核心模型都会携带有上一阶段场景模型的流转数据,其本质是数据模型在工程进行中不断更新和继承,以适应不同阶段的需求,同时避免数据的冗余对数据模型的使用造成影响。

2 数据模型图数据库构建

上一节介绍了电网工程数据模型的组成部分,本节介绍数据模型图结构数据库构建方法。数据模型包含两个部分:(1)数据模型的核心模型,该层承载了整个变电工程的几何信息;(2)数据模型场景模型的流转部分,其包含流转下一阶段会用到的变电工程信息,以及场景模型的独立部分。在构建数据模型的图数据库前,需要研究数据模型的两个部分之间的组织关系。

2.1 数据模型组织方法

数据模型从结构上可以分为核心模型和场景模型两个部分。其中的核心模型主要用来组织存储变电工程的电气和土建部分的几何模型文件, 比如电气部分中的变压器和电抗器等和土建部分中的主控通信楼和巡维中心等, 而场景模型则组织存储了工程生命周期内各阶段的工程信息。

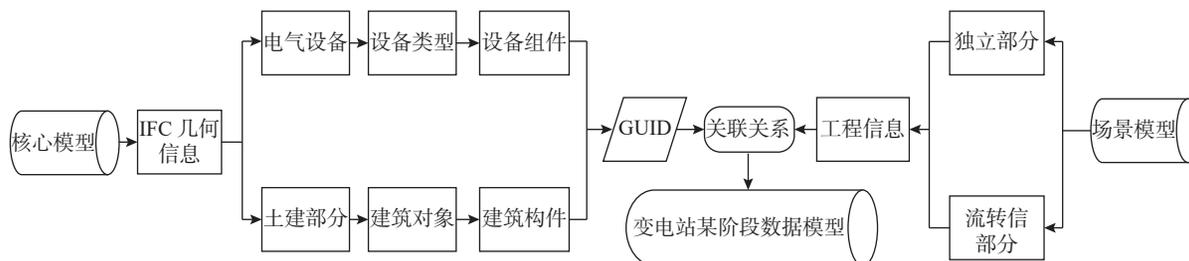


图 1 核心模型与场景模型组织方式

Fig. 1 Organization of core model and scene model

2.2 核心模型构建方法

BIM 模型的几何信息是核心模型承载的主要内容, 因此本文依照 BIM 模型来组织图数据库的核心模型。本文以图数据库 Neo4J 为实验对象。

核心模型依照自上而下的顺序进行构建, 从第一级至第五级, 逐层导入模型的节点信息。变电工程中包含大量的电气设备, 因此在图数据库的第四层, 节点数量已然非常庞大。第五级节点采用 IFC 类作为几何和属性信息的节点单元。

在流转时, 模型的颗粒度会随着工程项目的推进而逐渐提升, 因此模型的细节需要能够跟随进度保持更新。IFC 标准为几何模型提供了一种层次化和语义化的面向对象的组织方式以便于存储和交换。基于此, 不同专业背景的项目参与者能够有效地使用 BIM 数据, 并在电气设备、土建或施工管理中充分交换信息。

2.3 场景模型构建方法

工程信息的流转部分和独立部分需要随着变电工程生命周期的阶段的推进与核心模型进行关联。目前由于工程信息与 BIM 模型存在脱节的情况, 因此 BIM 模型只能辅助工程的实施, 为此本文研究采用图数据库来构建工程信息与部件级 BIM 模型的联系。首先按照电气设备所关联的工程信息建立一个 CSV 格式的表格文件, 其次工程信息类别 ID 与模型组件的 ObjectID 建立两类节点之间的关系, 最

后向每一个工程信息类型节点添加属性信息。

后向每一个工程信息类型节点添加属性信息。

3 实验结果

本文以 Neo4J 为实验平台, 将某开关站作为实验数据来验证图结构数据模型的可用性。首先将开关站所有实体对象, 包括电器设备和土建设备, 实现数据模型框架搭建。按照 2.1 节所提出的方法进行数据组织和关系表建立, 然后导入 Neo4J。然后根据解析后的 IFC 文件, 构建核心模型和场景模型, 并进行数据之间关系的建立。最后进行根据模型组件的信息来查询与其相关联的工程信息和几何信息。

4 灵活的组织方式

采用图数据库存储的变电工程数据模型相比于其他建筑领域采用的非几何信息交换标准, 如 COBie(Construction Operations Building information exchange)^[5], 以及几何信息交换标准, 如 IFC, 具有更灵活的组织方式, 可以融合两者的优点。

本文所提出的数据模型可以通过构建灵活的关系使每一个 BIM 模型的组件和其工程信息一一对应。基于非表格化的存储形式, 以边和节点的数据组织形式使其清晰地获取信息之间的依赖关系, 并且实现 BIM 数据快速检索。同时, 不依赖固定结构的信息交换使得数据模型在出现空值时, 可以通过删除空值节点与上层节点关系的方式实现空值的剔

除。在数据模型流转时,工程信息与模型绑定,因此只要关系进行变更即可,不需要重新填写,减少人工的同时避免出现错误。

5 结论

针对变电工程的生命周期长,参与方多,数据类型复杂等特点,本文以目前研究以图论作为研究基础,提出了基于图结构的变电工程数据模型,并以数据库 Neo4J 为研究和实验对象,提出了一种将 IFC 模型转换为基于图的模型的工作流程。除了制定变电工程数据模型结构和流转方式以外,本文旨在展示使用图数据库和图论概念的潜力,以探索、检查和分析一个或多个 BIM 模型内部的复杂关系,实现工程信息检索的复杂查询,并进行模型组件拓扑分析,如施工现状与 IFC 模型的比较分析。

针对于电气和土建部分本研究的主要目的是通过融入和关联不同数据源,包括各类工程信息和 IFC 格式的 BIM 模型。以图数据库具有的拓扑结构来建立高效的工程信息数据修改、信息增删和 BIM 模型颗粒度修改技术。这一领域的未来研究可能会考虑:(1) 如何从数据模型的场景模型信息中找出与已建 BIM 模型的 COBie 参数冲突的地方;(2) 如何对不符合 COBie 的 BIM 模型进行扩展和修改。

参考文献:

- [1] VARABUNTOONVIT V, SADAMICHI Y, KATO S, et al. Life cycle inventory data development for greenhouse gas emissions of Thailand's electricity grid generation systems [J]. *International journal of emerging electric power systems*, 2008, 9(1). DOI: 10.2202/1553-779X.1841.
- [2] 李舒涛, 吴劲松, 张少峰, 等. 基于 BIM 的电力基础设施运维管理系统 [J]. *南方能源建设*, 2022, 9(增刊 1): 30-35. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.S1.005.
- LI S T, WU J S, ZHANG S F, et al. Electric power infrastructure operation and maintenance management system based on BIM [J]. *Southern energy construction*, 2022, 9(Suppl.1): 30-35. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.S1.005.
- [3] 章剑光, 陈晓宇, 朱松涛, 等. 基于 GIM 模型的智能变电站二次回路三维可视化系统设计 [J]. *电力系统保护与控制*, 2022, 50(19): 179-186. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.220111.
- ZHANG J G, CHEN X Y, ZHU S T, et al. Design of a three-dimensional visualization system for the secondary circuit of an intelligent substation based on a GIM model [J]. *Power system protection and control*, 2022, 50(19): 179-186. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.220111.
- [4] 胡振中, 刘毅, 林超. 基于 BIM 的工程信息技术研究展望 [J]. *工业建筑*, 2022, 52(10): 195-203. DOI: 10.13204/j.gyjzg22073009.
- HU Z Z, LIU Y, LIN C. Research prospect of BIM-based information technologies for engineering management [J]. *Industrial construction*, 2022, 52(10): 195-203. DOI: 10.13204/j.gyjzg22073009.
- [5] EAST E W. Construction operations building information exchange (COBIE): requirements definition and pilot implementation standard [R]. Champaign: Construction Engineering Research Lab, 2007.

作者简介:



赵智尧

赵智尧 (通信作者)

1992-, 男, 博士后, 主要研究方向为数字孪生和地理信息系统(e-mail) zhaozhiyao@gedi.com.cn。

廖毅

1973-, 男, 正高级工程师, 副总工程师, 主要从事输变电工程技术研究及设计工作(e-mail) liaoyi@gedi.com.cn。

李行义

1985-, 男, 土家族, 高级工程师, 主要从事地理信息科学技术研究工作(e-mail) lixingyi@gedi.com.cn。

项目简介:

项目名称 基于地理信息数据的三维多细节层次语义模型构建 (EV10031W)

承担单位 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

项目概述 本项目拟研究顾及几何特征、结构模式、分布组合及语义属性的建筑物参数化描述方法, 实现城市三维建筑物模型从二维地基线、建筑物墙面、建筑物屋顶、建筑物与周围各类地物关系的全覆盖、多层次抽象化描述; 充分挖掘城市建筑物几何结构、语义、属性及拓扑等方面的规律性和复杂关联关系, 定性和定量地分析城市地物之间的影响机理。

主要创新点 (1) 面向三维语义建筑物自动重建的城市语境信息挖掘/解析; (2) 语境信息模型辅助的三维语义模型提取与推测。

(编辑 赵琪)