DOI:10.3969/j.issn.1671-0673. 2025. 04. 017

基于Camunda工作流引擎的矢量地图数据时空对象生成系统设计与实现

郑景飚[1]，曹一冰[1]，霍耀华[2]，杨　松[2]
（1.信息工程大学,河南 郑州 450001；2.河南吉芯空间信息科技有限公司,河南 郑州 450002）

摘要:为解决时空对象生成效率低下、依赖人工等关键问题,提出一种基于工作流并以功能节点为构建工作流的基本单元以实现时空对象数据模型的高效生成的方法。该方法基于Camunda工作流引擎与BPMN流程建模规范,结合流程变量传递、时空对象存储等关键技术完成系统的设计实现,开发基于矢量地图数据生成时空对象所需的功能节点并构建时空对象存储数据库与流程变量数据库,实现基于矢量地图数据生成时空对象的工作流构建系统、工作流发布系统和工作流执行系统。该系统为提升时空对象生成的灵活性和可复用性提供方法与工具的支撑。

关键词:时空对象;工作流;矢量地图数据;功能节点;Camunda工作流引擎
中图分类号:P208　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1671-0673(2025)04-0491-06

Design and Implementation of Spatio-temporal Object System for Generating Vector Map Data Based on Camunda

ZHENG Jingbiao[1], CAO Yibing[1], HUO Yaohua[2], YANG Song[2]
(1.*Information Engineering University*, *Zhengzhou* 450001, *China*;
2.*Henan Jixin Spatial Information Technology Co., Ltd.*, *Zhengzhou* 450002, *China*)

Abstract: To address the key issues of inefficient spatiotemporal object generation and dependence on manual labor, a method is proposed for the efficient generation of spatiotemporal object data models. In this method, workflow is utilized as the approach and function nodes are employed as the fundamental units for workflow construction. It is based on the Camunda workflow engine and the BPMN process modeling specification, and key technologies such as process variable transfer and spatiotemporal object storage are combined to complete the design and implementation of the system. Function nodes necessary for generating spatiotemporal objects based on vector map data are developed, and both a spatiotemporal object storage database and a process variable database are constructed. Systems for workflow construction, workflow publishing, and workflow execution based on vector map data are implemented. Methods and tools are provided by this system to enhance the flexibility and reusability of spatiotemporal object generation.

Key words: spatio-temporal object; workflow; vector map data; function node; Camunda workflow engine

随着人类对现实世界的认知程度逐渐由地表走向宇宙、由静态走向动态、由独立个体走向关联群体,人类对空间认知层次的加深成为地理信息系统(Geographic Information System, GIS)表达分析

收稿日期:2024-03-21;**修回日期:**2024-04-10
基金项目:国家重点研发计划重点专项(2021YFB3900902)
作者简介:郑景飚(1995—),男,硕士生,主要研究方向为地理空间数据建模与应用。E-mail:zhengjb20@126.com

现实世界的壁垒。为有效解决传统地理信息系统应用平台在面对多源时空大数据分析时难以满足管理表达要求的问题，周成虎[1]提出了全空间信息系统，以期更加深入表达地理实体的空间相互联系和相互作用，进而更加形象地表达现实世界。华一新等[2]基于该系统提出了多粒度时空对象数据模型，进一步对现实世界多元关联、多维动态的复杂结构进行表达。获取时空对象数据模型是针对全空间信息系统研究的基础，为此，一种基于可视化交互构建工具的时空对象直接构建方法被提出[3]，并被后人用于高铁网络、作战实体建模的数据源获取工作中[4-5]。矢量地图数据是表达自然资源的有效手段之一，在数据生成方面具有大量业务协同[6]。以矢量地图数据为数据源完成数据转化是当前常用的手段之一[7]，并被陈万鹏[8]用于多粒度时空对象的生成技术研究中。传统的时空对象生成方法需依赖构建工具手动生成，不仅过度依赖人工，且生成效率低下。针对该问题，本文依托工作流的分布式工作方法[9]以期解决当前时空对象数据模型生成过程中过度依赖人工、不可复用等弊端，以提升时空对象生成效率与生成灵活性为需求，结合工作流技术、时空对象存储等关键技术，并以矢量地图数据为例确定时空对象生成的工作流构成。同时面向时空对象生成过程开发了时空对象生成所需的细粒度化工具，以BPMN（Business Process Modeling Notation）建模规范为依据构建了时空对象生成工作流系统，为时空对象高效、灵活生成提供方法和工具。

1 系统设计的基本思路

1.1 设计原则

基于前述BPMN逻辑执行原理和工作流技术完成系统总体设计，目的在于以细粒度化工具为构建定制化工作流的基本组成单元，并通过Camunda工作流引擎驱动实现个性化定制工作流实例运行，完成由矢量地图数据向时空对象生成的流程。将时空对象在生成过程中用到的细粒度化工具封装部署，进而嵌入到系统内作为固定功能节点，使用户能按照生成时空对象的个性化要求灵活选择不同种类功能节点完成自由组建，同时新用户也能选择自己需要的功能节点上传系统并使用，增强系统多人协同开发与既定流程的可复用性。

1.2 系统总体设计框架

为实现矢量地图数据生成时空对象过程中功能节点的封装，使其在前端以服务的形式存在，系统框架以面向服务的体系结构（Service Oriented Architecture, SOA）进行搭建，Camunda工作流引擎内部原生的功能组件通过接口组合，实现分层结构设计。系统框架详细结构如图1所示。

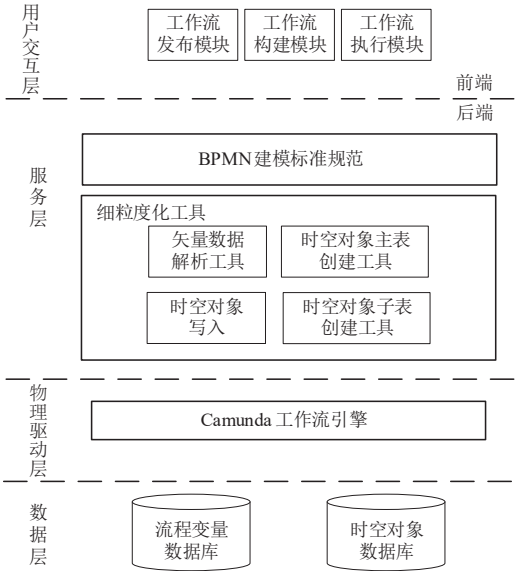


图1 工作流系统总体框架

数据层以PostgreSQL数据库为基础分别存储Camunda工作流引擎在执行BPMN业务流程时形成的流程变量和最终生成的时空对象数据模型，为系统提供了数据基础与存储结构，包括流程变量数据库和时空对象数据库。物理驱动层为系统提供运行框架，以工作流引擎驱动后端所有服务与数据库，在Springboot框架下对服务层中的细粒度化工具服务进行管理，细粒度化工具由BPMN建模规范标准生成定制化工作流后，仍由Camunda工作流引擎监管运行。功能节点在根据既定的建模规范并依照一定业务逻辑在Camunda工作流引擎的驱动下形成业务流程，同时维护该流程的稳定性和模块化结构。服务层是系统功能性的主要体现，通过将细粒度化工具封装成为服务并部署在服务层，使其能以一种可随意拼接组合的功能节点的形式呈现在用户交互层，充分体现工作流运行模式下各个业务流程步骤间高内聚、低耦合的特点。服务层主要包含两类功能，一是已开发的细粒度化工具，通过工具间按照某种业务逻辑调用实现流程创建，而该业务逻辑即为服务层的第二类功能——BPMN建模标准规范。用户交互层用于提供前端可视化界面，系统需要的矢量地图

数据首先由前端可视化界面获得，再由驱动层传递给后端进行业务流程流转。其主要包含工作流发布模块、工作流构建模块及工作流执行模块，分别实现矢量地图数据生成时空对象工作流的创建、上传和运行。并将流程最终输出结果存入数据库，实现时空对象的生成。

2　系统设计的关键技术

2.1　工作流流程数字化描述

一般地，根据现有工作流框架的描述思路，工作流流程实例需以节点以及节点间的逻辑关系为基本流程构建单元进行组建。逻辑关系与其关联的节点相对应，可对应一个或多个，来反映节点间的顺接次序[10]，因此对任意业务流程 W 均有：

$$W = \{N,L\}。$$

其中，N、L 分别为节点和逻辑构成的集合，包含组成该流程可能用到的全部节点和逻辑，即：

$$\begin{cases} N = \{n_1,n_2,\cdots,n_r\}; \\ L = \{l_1,l_2,\cdots,l_t\}。 \end{cases}$$

对于任意的逻辑关系 l_i，需要从两个方面描述，一是该逻辑关系中参与的节点个数 k，可以只由一个节点参与，也可由全部节点均参与，视流程实例的具体业务执行；二是由参与该逻辑对应的具体节点组成的集合 N_k，并满足 $N_k \subseteq N$，$k \in [1,r]$。即：

$$l_i = (k, N_k)。$$

对于任意节点 n_i，作为流程中粒度最小的组建单元，其描述元组应当用节点类别 T_i、节点属性 A_i 和节点内部逻辑 O_i 这 3 部分来描述，即：

$$n_i = (T_i, A_i, O_i)。$$

其中：节点类别主要用于归纳节点功能种类，根据参与用户不同、执行逻辑不同、变量不同等可以分为起止节点、普通节点、特殊节点等；节点属性用于对流程的数字化标识并连接工作流框架汇总的表单和数据库，是流程实例运行的数字化体现，常用的基本流程节点属性包含流程ID、节点名称、参与用户等；节点内部逻辑区别于节点间连接逻辑，用于对节点本身执行逻辑进行表达，例如节点的触发条件，是否返回，是否跳出循环执行等。

2.2　矢量地图数据时空对象生成节点动态组合技术

针对矢量地图数据结构复杂、类别庞大的特点，陈万鹏等以对象类模板为时空对象生成依据，设计实现了流程化的时空对象构建工具[8,11]，为时空对象的生成提供转化方法和固定流程。工作流以分割业务步骤的思想将某业务流程分步执行[12]，在时空对象生成过程中运用工作流的设计思路，对其固有流程分割拆解为工作流中不同功能节点，按需、按序重组构建达到提升流程可复用性的效果。Camunda工作流引擎基于业务流程建模规范BPMN，以流程引擎为核心对所创建的流程实例进行解析、管理和执行。Camunda的主要组件采用分布式部署的方式，能以多个服务器同时运行，实现多用户协同开发。如图2所示，在Camunda工作流引擎的框架下部署时空对象的生成流程，将流程中所分割出的步骤在BPMN建模规范下对应为不同的功能节点，以BPMN建模符号对流程状态进行可视化表达，实现BPMN图形元素与前文所述细粒度化工具的连接挂靠，根据时空对象生成业务的具体需求，选择并组合对应的功能节点，在BPMN建模语言的逻辑下依照特定次序完成定制化流程的创建。

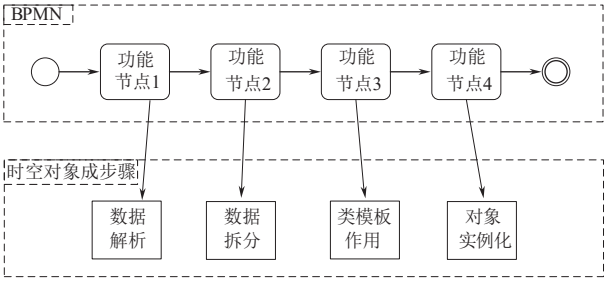


图2　BPMN建模规范下时空对象生成步骤示意图

2.3　工作流框架流程变量传递技术

在时空对象由矢量地图数据生成的过程中，需历经多步骤才能完成全部生成流程，在BPMN建模规则下对应为多个功能节点按序执行，每一个功能节点均需要输入变量和输出变量，上一个功能节点的输出变量可作为下一个功能节点的输入变量，完整流程通过输入源数据并在若干个功能节点中不断转化为流程变量，最终输出为时空对象数据模型。流程变量是整个流程均能访问的变量，能使数据在功能节点之间传输，用于存放业务流程不同步骤之间的过程数据，流程变量与其对应的业务流程深度耦合，不被其他流程实例访问，在同一流程实例内新的流程变量能覆盖旧的流程变量，每一次可用不同类型数据进行覆盖达到表示多种类型的业务过程数据的目的。如图3所示，以某一时空对象生成流程为例，需经历矢量文件解析、时空对象构建、时空对象写入3个步骤。矢量文件解析在输入源数据产生ShpData过程数据后直接存入流程变量；流程变量将ShpData传值时

空对象构建功能节点并作为其输入数据;时空对象功能节点运行其业务将源数据转化为Vector-Data再次传入流程变量使其覆盖更新下一步作为时空对象写入功能节点的数据源,最终在其业务功能下实现数据入库。

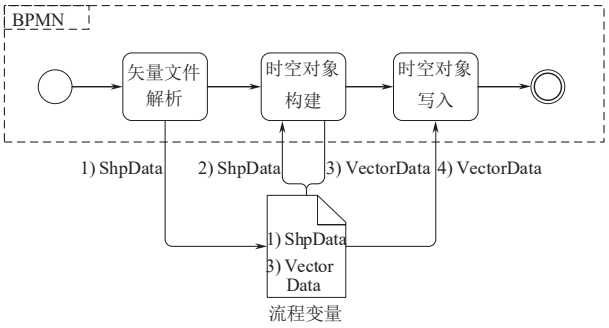


图3 Camunda流程变量工作原理示意图

2.4 时空对象混合式数据存储技术

对时空对象数据模型进行分层管理、逻辑嵌套、物理实现是数据库管理数据的设计理念[13-15]。时空对象经工作流生成后应储存入库,这是系统实现的基础。为实现时空对象数据模型的完整表达,数据库需通过数据表之间的嵌套关系及不同表中相应字段的连接来表达体现时空对象八元组的描述特点,同时使系统满足对时空对象的高效组织与按序管理。矢量数据字段类型繁多,多数属性特征会给予时间变化,因此需在其数据存储结构中体现该特点。时空对象数据模型运用数据表嵌套结构,以主表(Spatio-temporal Object Table)和子表(Child Table)的形式分别表达时空对象基本标识信息与八元组特征值。时空对象类依托单独数据表存储,主表中所储存数据的条数反映源数据中同一类模板下时空对象个数,主表中字段设置用于表达时空对象具体个数及其标识信息,由于标识信息不随时间变化,所以主表中无需设置与时空对象由产生到消亡过程中的变化时刻,从而导致随时间变化的八元组描述字段无法由主表体现,因此需在主表中添加Child Table字段用于和子表建立关联。Child Table属性字段下所存储的值对应为子表表名,将主表中无法表达的随时间频繁变化的元组在子表中统一表达,增加Change_time字段用于存储时空对象在其生命周期内的每一个八元组特征发生变化的时刻,其余八元组特征字段用于记录该时刻下八元组特征的即时值。数据表的嵌套关系如图4所示,通过主表标识子表存储的构建模式对时空对象的生产消亡、周期变化进行完整详备地表述。

Spatio-temporal Object Table

ID	name	Owner_id	Class_id	Start_time	End_time	Child Table
						A
						B

Child Table A

Change_time	Temporal_reference	Spatial_reference	spatial_extent	spatial_form	attribute	…
t1						
t2						

Child Table B

Change_time	Temporal_reference	Spatial_reference	spatial_extent	spatial_form	attribute	…
t1						
t2						

图4 时空对象存储结构示意图

3 系统的实现与应用

基于Camunda工作流引擎的矢量地图数据生成时空对象系统,实现了构建生成流程所需要的工作流构建系统、工作流发布系统与工作流运行系统。在矢量地图数据源确定的前提下,用户在工作流构建系统内完成时空对象生成流程的创建,在工作流发布系统内进行发布进而形成前端的服务,最后由工作流执行系统完成流程实例的运行。

3.1 实验环境

为保障所提实验系统性能以及可行性,并验证研究结果的准确性和有效性,现列出构建实验系统用到的具体软硬件与编译环境,该实验环境的

配置内容如下：硬件环境方面，CPU为i7-12700H，运行内存为64 GB，硬盘容量为2 TB，显卡为RTX 3070 Ti；软件环境方面，操作系统为Windows 10，编译工具为IntelliJ IDEA 2022.2.2和Tomcat，编程语言为Java，数据库为PostgreSQL和OSS。

3.2　Camunda工作流引擎集成技术路线

系统在Springboot框架下集成Camunda工作流引擎、数据库和开发完成的细粒度化工具。其中数据库由两部分组成，一是细粒度化工具在执行其固有业务过程中生成时空对象所依赖的数据库，二是Camunda工作流引擎依照BPMN建模规则在流程创建执行时所需要的流程变量数据库，如图5所示。

Camunda在内嵌的BPMN建模规则作用下驱动细粒度化工具完成业务流程的执行，细粒度化工具实现其内部功能后将结果写入业务流程数据库，结果数据以供其他功能节点调用；Camunda工作流引擎在驱动业务执行过程中捕捉流程变量并写入流程变量数据库，新写入的流程变量数据作为后续功能节点的数据源，待新的功能节点执行完毕后更新流程变量。

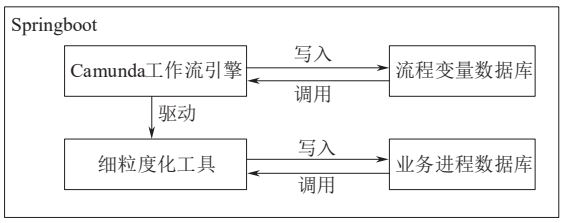


图5　Springboot框架下工作流引擎和数据库集成示意图

3.3　工作流构建系统

工作流构建界面由两部分组成，一是基于BPMN的可视化流程创建符号区，二是功能节点陈列区。流程创建以后端嵌入的BPMN建模规范为指导依照BPMN建模符号的逻辑运行法则对不同功能节点进行组合，在满足功能节点先后连接次序的前提下。用户首先拖拽BPMN符号至空白画布，再在BPMN符号右侧功能节点列表张选择对应的功能节点，使可视化建模图形中具备功能节点包含的业务，如图6所示。

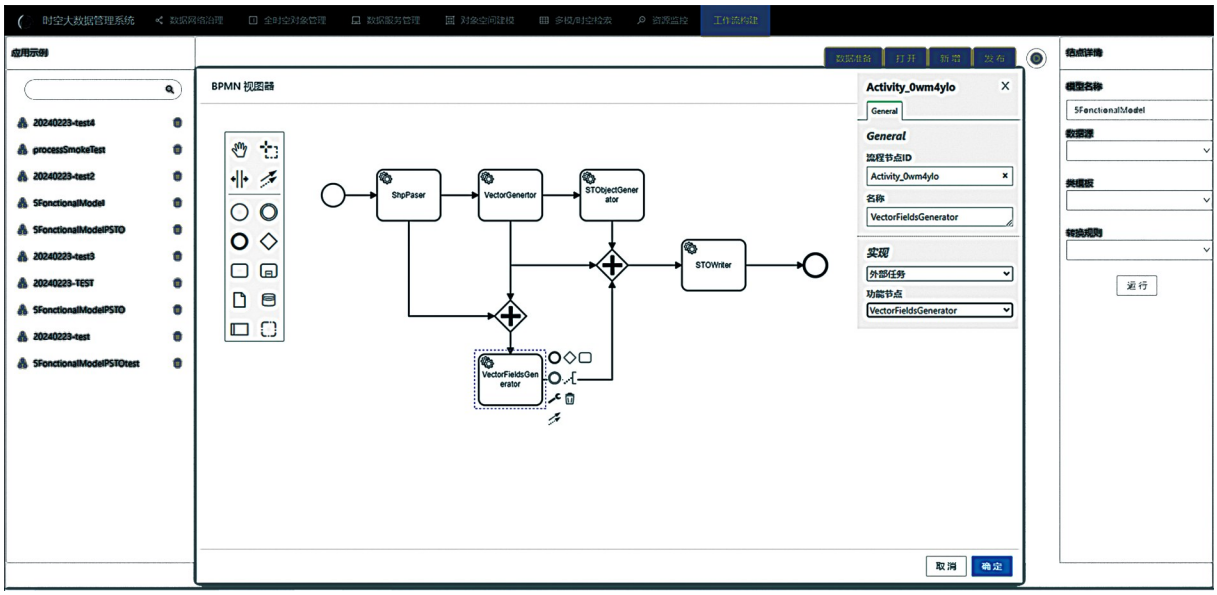


图6　工作流构建系统

以图6为例，用户首先以农田矢量地图数据为数据源，接着选择其在生成时空对象过程中所需要的功能节点，节点名称与对应功能见表1。

表1　功能节点名称与功能对应表

功能节点名称	功能节点功能
ShpParser	Shp文件解析
VectorGenerator	矢量对象生成
STObjectGenerator	时空对象生成
VectorFieldsGenerator	映射集生成
STOWriter	时空对象写入

通过逻辑建模符号，将不同功能节点依照其流程变量前后连接，完成流程创建。

3.4　工作流发布系统

当流程创建完毕后，由发布系统对用户创建的流程进行发布上传，使完整的工作流以服务的形式出现在前端。

当其他用户需要复用此流程时，仅需更换矢量地图数据源，即可实现时空对象生成入库，体现该系统便捷高效、复用性强的优点。发布完成的流程于系统左侧列表陈列，其结果如图7所示。

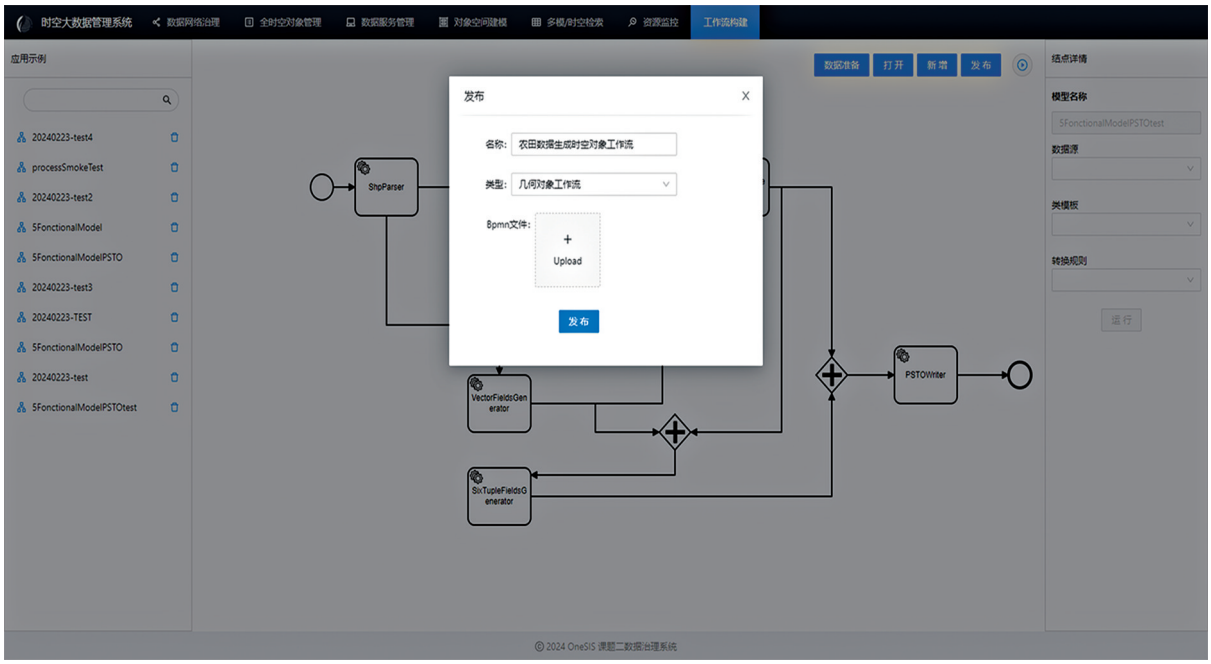


图7 工作流发布系统

3.5 工作流执行系统

在农田矢量地图数据源确定的前提下，执行已创建的流程实例，以农田时空对象生成的工作流为例，如图8所示。

系统能基于当前运行的流程完成功能节点运行状态追踪，便于用户实时监测进程状态。

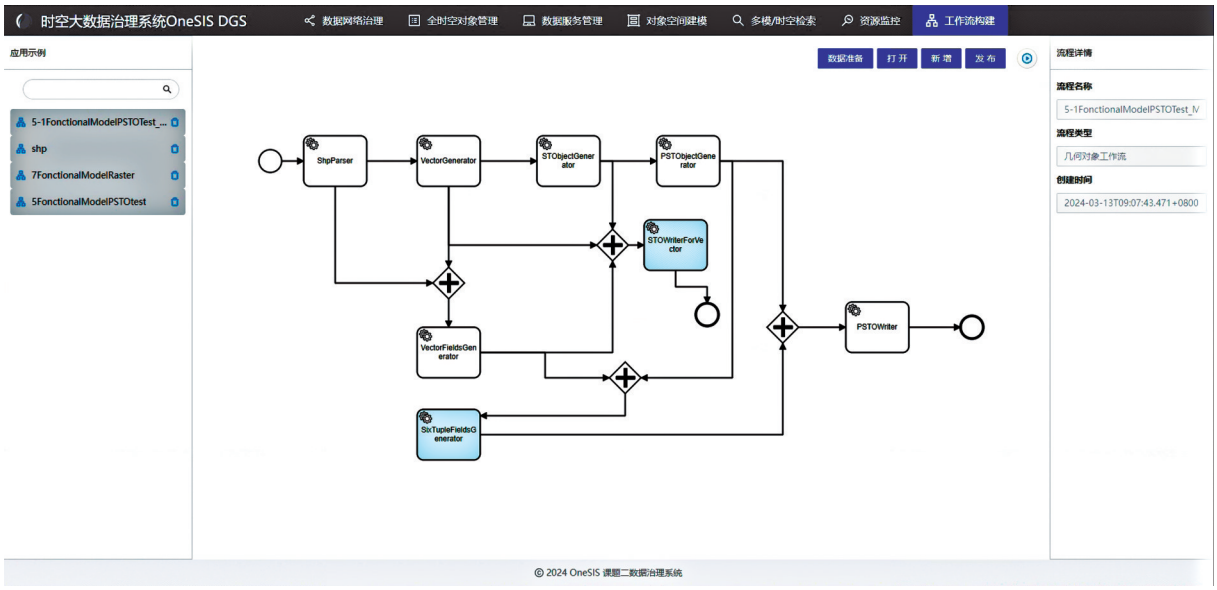


图8 时空对象生成流程实例运行

4 结束语

根据当前矢量地图数据生成时空对象流程固化的缺点，结合工作流技术，通过工作流分步执行和按需组合的工作特点，以Camunda工作流引擎为基础搭建了时空对象生成工作流构建系统、发布系统和执行系统，并在系统后台将生成时空对象的细粒度化工具封装成为功能节点，便于流程创建时调用，使矢量地图数据在工作流的作用下按序生成时空对象，提高了时空对象生成的灵活度和生成效率，同时丰富了时空对象数据模型生成方法，为时空对象描述现实世界提供数据支撑。

参考文献：

[1] 周成虎.全空间地理信息系统展望[J].地理科学进展，2015,34(2):129-131.

（下转第504页）