

引用格式:俞肇元,袁林旺,吴明光,等.地理学视角下地理信息的分类与描述[J].地球信息科学学报,2022,24(1):17-24. [ Yu Z Z, Yuan L W, Wu M G, et al. Classification and description of geographic information from the perspective of geography[J]. Journal of Geo-information Science, 2022,24(1):17-24. ] DOI:10.12082/dqxxkx.2022.210817

# 地理学视角下地理信息的分类与描述

俞肇元<sup>1,2,3</sup>,袁林旺<sup>1,2,3</sup>,吴明光<sup>1,2,3</sup>,周良辰<sup>1,2,3</sup>,罗文<sup>1,2,3</sup>,张雪英<sup>1,2,3</sup>,闫国年<sup>1,2,3\*</sup>

1. 南京师范大学地理科学学院,南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,南京 210023; 3. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,南京 210023

## Classification and Description of Geographic Information from the Perspective of Geography

YU Zhaoyuan<sup>1,2,3</sup>, YUAN Linwang<sup>1,2,3</sup>, WU Mingguang<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Liangchen<sup>1,2,3</sup>, LUO Wen<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Xueying<sup>1,2,3</sup>, LV Guonian<sup>1,2,3\*</sup>

1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 3. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Ministry of Education, Nanjing 210023, China

**Abstract:** Geography is a comprehensive discipline that studies the spatial-temporal pattern, evolution process, and interaction mechanism of various geographic elements. With the evolution of the real world from binary space to the ternary world, it is urgent to deepen and expand the understanding, expression, and mining of geographic information connotation. The existing geographic information expression model of "location + geometry + attributes" is difficult to support the expression of various geographic elements and their laws. From the perspective of geography, based on the concept of the ternary world, we sort out the information elements and the process of their transformation into geographical information and form an information expression system with the "seven elements" of time, place, character, object, event, phenomenon, and scene, and from the geography "seven dimensions" perspective of semantic, spatial location, geometric structure, attribute, interrelationship, evolution process, mechanism of effect to interpret. It realizes the all-around classification and description of the connotation of geographic information from the perspective of geography and provides theoretical support for the multidimensional description and computational analysis of geographic information for comprehensive and integrated research in geography.

**Key words:** geographic information; ternary space; elements of information; dimensions of geographical description; geographic information classification

**\*Corresponding author:** LV Guonian, E-mail: gnlv@njnu.edu.cn

收稿日期 2021-12-22;修回日期:2022-01-04.

基金项目:国家自然科学基金项目(41930104,41930648,41971404)。[ **Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.41930104, 41930648, 41971404. ]

作者简介:俞肇元(1984—),男,安徽南陵人,博士,教授,主要从事时空数据模型与地理信息系统研究。

E-mail: yuzhaoyuan@njnu.edu.cn

\*通讯作者:闫国年(1961—),男,江苏海安人,博士,教授,主要从事地理信息科学和信息地理学研究。

E-mail: gnlv@njnu.edu.cn

**摘要** 地理学是一门研究各种地理要素的时空分布、演化过程,以及相互作用机制的综合性学科。随着现实世界从二元空间向三元世界的演进,对地理信息内涵的理解、表达和挖掘亟待进一步加深与扩展。现有以“位置+几何+属性”的地理信息表达模式难以支撑各种地理要素及其规律的表达。本文从地理学视角出发,立足三元世界理念,梳理了信息要素及其转变成地理信息的过程,形成了以时间、地点、人物、事物、事件、现象和场景“七要素”的信息表达体系,并从地理语义、空间位置、几何形态、属性特性、要素关系、演化过程、作用机制7个地理维度上对其进行解读。实现了地理学视角下对地理信息内涵的全方位分类和描述,为面向地理学综合集成研究的地理信息多维描述与计算分析提供理论支撑。

**关键词** 地理信息;三元世界;信息要素;地理描述维度;地理信息分类

## 1 引言

随着云计算、物联网、虚拟现实等技术的快速发展,地理数据的获取、计算、分析、展示方面事物能力得到巨大的提升,地理信息正变的日益多源化、开放化、网络化、分布化和动态化。面对多源异构地理数据,传统侧重几何的地理信息表达方式易产生信息表达不全面、语义描述不准确、演化过程不清晰等问题。从顶层对信息进行分类和描述,建立符合地理学客观规律,且适用于大数据时代要求的信息要素中地理信息的描述维度是地理系信息科学研究的前沿科学问题。

地理信息表达模式的发展和GIS本身的发展历程密切相关,大致可划分为地图表达、语义GIS、时空GIS和大数据GIS等阶段。在地图GIS阶段,地理信息以“定位+几何+属性”的方式来抽象和描述地理对象<sup>[1]</sup>。其中,定位是对地理对象位置的描述,几何是对地理对象形状、结构的描述,属性则是通过定性或定量的方式对地理对象与现象固有特征的描述。此类地理信息描述,抽象程度较高且主要面向地理数据的管理,难以对地理现象进行有效描述,也难以描述地理要素的演化规律、尺度特征和相互作用关系。GIS在行业领域的推广应用促进了GIS对地理对象语义分析和描述的能力。从而推动GIS进入语义GIS阶段<sup>[2]</sup>,该阶段是以“空间+语义+属性”来集成表达地理信息;地理数据在时空维度上的拓展则进一步推动GIS进入时空GIS阶段<sup>[3]</sup>,该阶段GIS主要用“时空+属性”对地理信息进行抽象表达,但是对于关系和语义的表达仍存不足。大数据时代到来,地理信息的获取分析能力逐渐加强。地理数据无处不在,地理信息的内容也发生了巨大的改变。地理学与信息科学的融合赋予了地理信息新的内涵和表达方式。针对信息革命对地理学的影响与挑战,有学者提出信息地理学概念,从本体论、认识论和方法论层面重新梳理了地理信息科学的发展,形成自然、人文、信息融合的地

理学的新理论体系,但对地理信息究竟应该如何表达和描述仍缺乏明确的方案<sup>[4]</sup>。

地理数据中包含了海量的自然环境、人文社会等信息,现有地理信息表达框架对以人地关系、人类活动的地域空间分布规律<sup>[5]</sup>和区域发展规律<sup>[6]</sup>等描述能力尚较弱。地理信息多维、综合以及动态的特征使得它可以反映地球上各种实体和人类活动。近年来,地理空间的描述开始从以“自然-人文”为基础的二元空间转变成为“自然-人文-信息”有机交融的三元世界。信息地理学等新的学科体系的构建逐渐成为新时代地理学重要的发展方向,使得地理信息的内涵得到了极大地扩充<sup>[4,7]</sup>。因此,地理信息应在地理学视角下进行重新定义:地理信息应能承载和汇聚包括时间、地点、人物、事物、事件、现象、场景在内的信息“七要素”。并应能从地理语义、空间位置、几何形态、属性特性、要素关系、演化过程和作用机制“七维度”上对地理对象和现象进行综合性、集成性的表达和描述<sup>[8]</sup>。

本文立足于地理规律,构建“自然-人文-信息”三元世界向计算机世界的抽象映射的机制,对三元世界中信息“要素”的内涵与分类进行了系统解析,并给出了地理“七维度”的描述体系,进而构建了面向三元世界的地理信息分类与描述框架(图1)。本研究明晰了三元世界中地理信息的要素化、系统化分类,有助于实现地理信息的结构化表达,推动和促进地理信息及其所蕴含的地理规律在高维空间中的精准表达,为地理信息统一、完备的表达模型构造奠定理论基础。

## 2 地理信息的内涵

### 2.1 三元世界

伴随着信息技术的快速发展,传统以“自然-人文”为基础的二元空间已经转变为综合自然、人文、社会等信息,涵盖了包括物理世界、人文社会世界和信息世界的“自然-人文-信息”三元世界<sup>[9]</sup>。物理

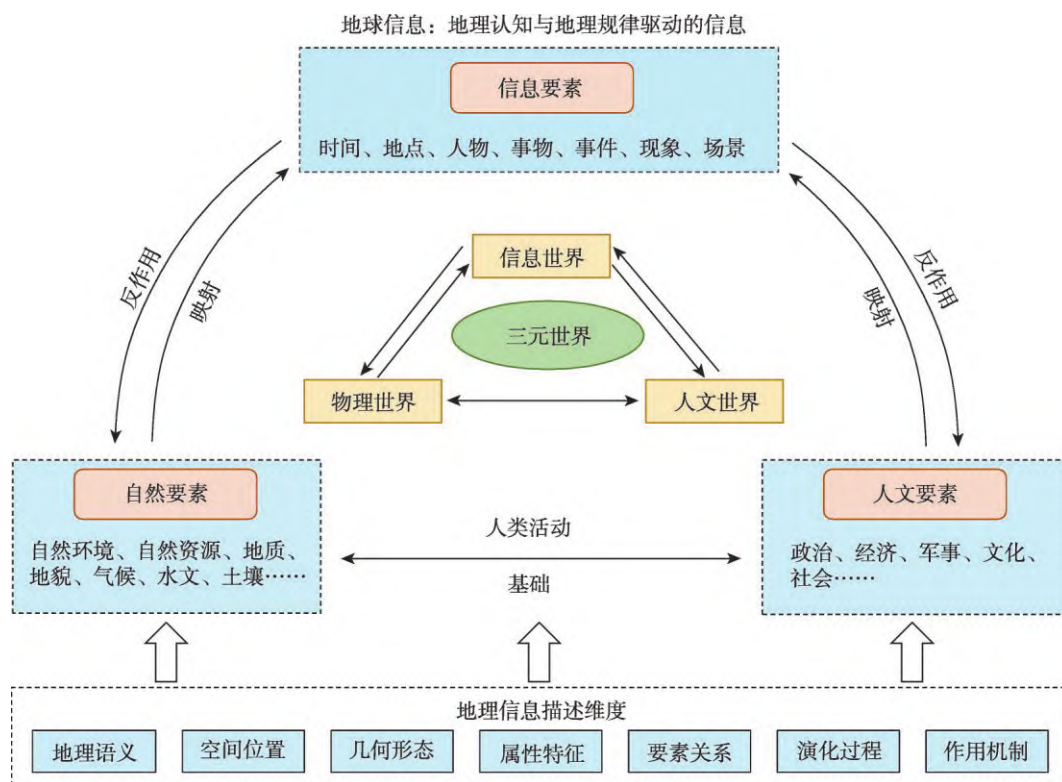


图1 面向三元世界的地理信息分类与描述框架

Fig. 1 Classification and description framework of geographic information for ternary world

世界是指人类生存的自然环境及所包含的物质系统;人文社会世界是指人类行为与社会活动的总和。信息世界则是构建在物理空间与社会空间之上的虚拟空间,是承接现实世界转换而来的自然地理信息和人文地理信息,以数字孪生的方式进行信息要素的存储、管理、表达和分析。从三元世界的观点出发,地理要素可以分为自然要素、人文要素以及信息要素。自然要素包括地质、地貌、气象、气候、水文、土壤、生物等要素;人文要素包括政治、经济、军事、文化、社会、历史等要素;信息要素则包括时间、地点、人物、事物、事件、现象、场景等要素。信息世界能够承载并且映射现实物理世界与人文社会世界,同时,其能够以多情境模拟、数字孪生等方式影响甚至重构现实物理与人文社会世界<sup>[10]</sup>。地理空间中的信息是三元世界中自然、人文、信息的综合描述。自然要素是人文要素的基础,信息要素是自然与人文要素的进一步抽象,所有的自然、人文要素与信息要素相辅相成,都可以用信息要素加以表达。科学技术的发展加速了地理空间、人文社会空间和信息空间在三元世界中的相互融合,拓展了地理信息表达的维度,推动地理

信息表达转向三元世界的全方位表达<sup>[11]</sup>。

## 2.2 信息要素的分类

对现实自然、人文世界进行抽象描述的信息要素大体可归纳为7个要素,即时间、地点、人物、事物、事件、现象、场景<sup>[12]</sup>。信息七要素是对三元世界的顶层抽象,每个要素又可以根据其表达的内容进行进一步的划分。对于地理学研究而言,时间、地点具有更为本质的属性。为此,我们将时间、地点和人物等其余五要素分开进行阐述。对时间、地点要素和人物、事物、事件、现象、场景要素的定义及分类分别见表1和表2。

时间是反映物质存在和运动的持续性和顺序性,是反映物质运动或事件变化的参数,地点是反映物质运动或事件发生的空间和位置。在七要素的描述框架中,时间与地点既可以作为时空参考信息又可按照尺度、连续性、时态/形态和应用领域进行类别划分。以地点要素为例,其可按空间形态、空间参照、空间位置、表达形式、可计算性以及领域性进行类型划分。在空间形态方面,地点要素可以表达为在物理空间、社会空间和虚拟空间中的地



表1 时间、地点要素定义与分类

Tab. 1 Definition and classification of time and place elements

分类维度	时间要素	地点要素
定义	反映物质运动或事件变化过程的参数	反映物质运动或事件发生所在的空间和位置
参照系	日历、时钟、时间坐标、时间参照	地心坐标、参心坐标、空间直角坐标、投影等
尺度	构造尺度、轨道尺度、千年、百年、年代	全球、国家、区域、城市等
连续性	时间点、时间段	连续空间坐标、离散地标/地址
时态/形态	过去, 现在, 将来	物理空间、社会空间、虚拟空间、认知空间
领域性	文学、军事、政治等	文学、军事、政治等

表2 人物、事物、事件、现象、场景要素定义与分类

Tab. 2 Definition and classification of characters, things, events, phenomena and scenes elements

分类维度	人物要素	事物要素	事件要素	现象要素	场景要素
定义	客观存在或虚拟构建的个人或群体	人所认识并可进行描述的一切对象	对人或自然产生影响的客观活动	人所认识并可进行描述的一切活动	一定时空范围内各要素相互联系、相互作用构成的情境
自然性	性别、年龄、身高等	长度、宽度、重量等	时间、地点、范围等	形态、结构、性质等	规模、尺度、性质等
社会性	职业、群体、宗教信仰等	价值、价格、标志、图腾	人物、传播、影响	价值、影响	商业服务、工业生产、休闲娱乐
信息性	现实人物、虚拟人物	自然事物、社会事物、信息事物	自然事件、社会事件、信息事件	自然现象、社会现象、信息现象	自然场景、社会场景、信息场景
时间性	现时人、历史人、生平	现时事物、历史事物	现时、历史、预测、尺度、频率、生命周期	尺度、频率	尺度、连续性
空间性	位置、轨迹、分布	静态、动态、分布	尺度、传播轨迹、影响范围	尺度、范围	尺度、范围
领域性	文学、军事、政治等	文学、军事、政治等	文学、军事、政治等	文学、军事、政治等	文学、军事、政治等

点;在空间参照层面,可以通过几何空间和认知空间来进行地点划分;在空间位置方面,地点要素可以分为地表位置、地下位置、水下位置、建筑物位置等类型。从地点要素的表达形式看,可以通过地名、编码、地址、空间坐标、空间格网、空间方位、空间距离等多种方式进行地点的表达与分类。同时,也可以根据地点要素的可计算性将地点划分为定性地点和定量地点(表1)。

在剩余的5个信息中,人物是指客观存在或虚拟构建的个人或由人组成的群体,事物是指人所认识的并可进行描述的一切对象,事件是指对人或自然产生影响的客观活动,现象是指人所认识并可进行描述的一切活动,场景是指在一定时空范围内各种要素相互联系、相互作用所构成的情境。其中场景要素可以由时间、地点、人物、事物、事件、现象六要素构成,其既是一个独立的信息要素,也可作为容器承载其他信息要素。场景自身也可进行要素的层级嵌套,表现为不同尺度的场景。人物、事物、事件、现象、场景要素既可以按三元世界的自然、社会、信息3个空间进行类别划分,也可按时间、空间2个维度进行划分,并可根据应用

领域划分为不同的领域类别(表2)。

2.3 信息要素的地理“七维度”描述

地理学是研究地球表层系统中人类生存环境的空间格局、演化过程以及人地相互作用的科学<sup>[13]</sup>。信息要素只有转化为地理信息才能更好的为地理学服务。这就要求从地理学视角出发,遵从地理学规律对信息要素进行系统的描述,使其转变为地理信息。地理信息与其他信息有着本质的区别,具有区域性、多维性、多尺度等特点。传统以“定位+几何+属性”为基础的地理信息描述,侧重于空间信息的位置与属性表达,主要利用点、线、面、体等相互独立离散的几何对象对复杂的现实地理世界进行逼近。这种要素描述方式难以支撑复杂连续的地理对象与地理过程的动态表达。在三元世界的地理学研究视角下,地理信息应该以地理场景为基础,通过几何图形、代数方程、时间序列、信息图谱等多种描述手段从地理语义、空间位置、几何形态、属性特征、要素关系、演化过程和作用机制等“七维度”对信息要素进行综合性、集成性与可应用于其上的表达和描述。

### (1) 地理语义

地理语义是指用于描述地理现象的数据对应的现实世界中事物之间的概念、含义和描述关系,可以理解为经过人类处理和认知的地理场景中信息要素的地理特征。地理语义信息要素的地理语义应包含名词解释、分类体系和原理图示意图。其中名词解释是对信息要素中时间、地点、场景等内涵的规范化定义。分类体系是指对信息要素的分类结构及不同类型信息要素在分类体系中位置的界定。原理图则是对信息要素内涵的图形化抽象,是对其本质特征的图形化描述与表达。

### (2) 空间位置

空间位置是对地理对象和现象所处的空间定位特征的描述。空间位置的描述包括空间坐标、地标和地名地址等形式。对空间位置的描述,一方面需要利用空间坐标对各种地物进行精准定位;另一方面也要充分利用地标、地名地址等信息中所蕴含的位置信息。地标、地名地址不仅包含绝对的定位信息,还包含了相对的位置信息,同时还记录了空间标志物、行政级别、区域范围等语义信息<sup>[14]</sup>。

### (3) 几何形态

几何形态是对地理对象和现象几何结构特征的描述,现有地理信息科学可以利用点、线、面、体、像素、体素等多种方式描述几何形态。在地理空间中,点描述点状要素,线描述线状要素,面描述面状要素等;除传统的点线面的对象描述外,还可以通过像素和体素进行几何形态的描述与表达。其中像素描述是二维格网的最小组成部分,体素是一种三维体积像素,表示三维空间中规则格网的最小组成部分。几何形态的表达可以是显示的,也可以是隐式的,可以是连续的,也可以是离散的。几何形态的描述既可以是以几何方式表达,也可以以代数曲面或方程的形式,或以多种关系约束的形式表现。

### (4) 属性特征

属性特征是对地理对象或现象所具有的几何、物理、化学、生物、人文、社会、经济等属性的描述。属性特征主要关注空间实体非空间的状态特征,将时间与空间中的各种要素分割成不同单元进行描述。该描述方法割裂了信息要素间的相互联系,不利于准确的表达信息要素的行为和变化趋势,需要充分考虑地理时空属性,不仅关注空间实体的关系、位置、地点,还将其放到特定的场景,从实体多

要素关联角度对属性特征进行充分表达。属性特征描述不仅仅包含数量表达,还包含类别表达,应对地理对象和现象在不同尺度下性质特征进行描述,还应包含其在自然、人文、信息三元世界中本质性质的结构化、网络化描述。

### (5) 要素关系

要素相互关系用于描述信息要素间在时间或空间上的关系,构建地理空间计算的基本组成,包括空间、时间、时空关系以及自然地理、人文地理、信息地理要素之间的关系。传统地理信息突出空间关系(距离关系、拓扑关系、方位关系)的描述,缺少地质与地貌、气候与水文、地貌与植被等自然要素关系,区域与经济发展、社会关系与社区等人文要素关系,以及自然与人文,人文与信息等不同圈层及其界面之间相互关系的描述。

### (6) 演化过程

演化过程是指信息要素随时间的变化及其规律的表达,对演化过程进行描述首先应该包括对演化过程的时间信息描述,包括时刻点( $t$ )、时间片段( $\Delta t$ 、 $dt$ )或全生命周期过程( $\partial t$ )的描述。其次,应包括要素在所处时间上状态和行为的描述,即对时刻点的状态,以及时间片段和生命周期过程中的行为的描述。

### (7) 作用机制

地理要素间具有相互作用机制。地理相互作用机制包括物理作用、化学作用、生物学作用机制、人文社会与经济学作用机制以及地理信息形成传输和转换机制。这些作用机制主要揭示物质迁移、能量转换以及信息传输的内在规律。现实世界可以通过场景、地图、网络、模型等多样的功能来描述、感知和分析要素间的作用机制。同时,作用机制也可作为地理信息表达的约束和规则。以地理场景为基础,构建在特定时空框架中地域综合体各要素间的相互作用机制,形成各表达要素的组合规则。

## 3 地理信息描述的技术体系

针对信息七要素及其地理七维度表达,需要在地理信息描述的技术体系上进行创新,特别是在数据模型、数据结构、表达模型等层面上要有对应的技术支撑。以七要素和七维度为代表的地理信息表达应该在高维的空间中进行,需要地理规律和地

理相互作用的支撑。同时,还需要构造数据组织、数据分析和数据表达一体化的表达模型,以支撑地理信息的高效表达。面向地理信息的描述体系,分别构建了基于几何代数的高维地理信息数据模型、基于地理规律和地理相互作用的时空数据结构以及“组织-分析-表达”一体化的计算模型。

### 3.1 几何代数高维空间数据模型

自然、人文、物理世界的多维度信息要素表现为显著的高维特性,只有在高维空间中进行表达计算,才能更好地体现地理信息各维度要素之间的要素关系和相互作用机制。几何代数的多维统一与坐标无关特性为构建地理信息的多维统一表达提供了理想的数学理论。几何代数高维空间数据表达模型可支撑多维复杂场景的表达与分析,有助于促进场景和地理信息的融合。几何代数使用 blade 和多重向量结构表达复杂的地理空间,通过几何兼顾对象表达和要素测度。几何代数通过数学空间构造实现对不同数学基础、不同表达体系以及不同要素关系的信息要素在统一的高维空间中的结构化组织与管理。几何代数有机融合了几何表达和代数运算,实现了时间和空间、连续和离散的统一描述,并可通过唯一可逆的几何积运算和丰富的几何代数算子实现高维空间中的统一测度和运算。基于几何代数的高维空间数据模型不仅有助于地理信息的完备化表达,也更利于设计统一高效的地理空间分析算法。

### 3.2 基于地理规律的数据结构

地理信息各要素之间的作用机制与过程存在尺度和作用单元上的差异,以地理规律而非计算机结构化、规则化的数据分块为骨架进行数据组织,更有利于提升数据组织和管理效率。按照地理学第一、第二、第三定律,探索了地理空间分异规律下的数据分割、存储和索引方法,设计了基于“突变-渐变”检测的数据更新方法,大幅提高了矢量地理空间数据存储管理的效率<sup>[15]</sup>。基于地理学定律的数据结构是顾及空间邻近性与异质性的空间数据组织方法,在宏观数据组织层面,以空间邻近性与异质性为切入点研究空间数据模型之间的组织与索引方法,在微观数据组织方面,以空间对象的非结构化特征为切入点发展了空间数据模型内部的物理组织与存储方法,解决了现有空间数据模型与组织方式强调对单个地理要素的特征描述与表

达,割裂地理对象间联系的问题<sup>[16]</sup>。基于地理规律的数据结构利用空间分布模式实现空间分割,实现了叶子节点无重叠,避免多路径搜索,且可以高效支持聚集、随机、规则等空间分布模式及其嵌套,从而能够较好地支撑高维空间数据的一维线性存储,实现对象和关系数据的无缝集成,很好的提升了高维地理信息组织管理的效率。

### 3.3 基于地理相互作用的数据结构

现有空间数据模型强调对单个地理要素的地理特征描述与表达,难以有效刻画地理空间复杂要素间相互作用关系。基于地理相互作用的数据结构既要表达像素、体素,还要表达格点、格边和格面,通过格边和格面来表达单元、体元之间的相互作用。近年来,基于多层级离散表达的全球离散格网的空间方式在自然深化过程模拟中取得显著进展<sup>[17]</sup>。运用全球离散格网,以格点、格边、格元为基本单元,描述地理规律驱动下的各种地理信息要素对象多层级多关系特性,实现了要素之间相互作用关系的计算和分析<sup>[18]</sup>。借鉴地球系统模式的物质迁移、能量转换和信息传递方法,以柏拉图正二十面体为基础,发展了“格点-格边-格面-体元”一体化表达,实现了可同时支持球面三角形\四边形\六边形、球体四面体\五面体\六面体格网的地球空间统一表达方法,并利用 Morton 编码对参考菱形块进行全局编码,构建了全球离散格网中地理坐标与格网编码的快速转换算法,实现了数据组织管理与模型模式耦合运行的一体化格网支撑<sup>[18-19]</sup>。在全球和区域尺度的板块构造与地质运动模拟、海洋运动和海洋模式模拟、中高层大气的时空特征分析与演化模拟等方面进行了应用实践。

### 3.4 “组织-分析-表达”一体化的计算模型

现有信息技术在地理信息的组织管理、分析和表达的不同流程中,分别使用不同类型的数据组织、分析模型和表达模型。不同模型设计的侧重点存在明显的不同,导致地理信息在完整的信息计算流程中往往需要进行复杂的转换。现有 GIS 大多采用瓦片方式进行数据组织管理,并通过数据管道和渲染管道并行转换的方式来衔接底层数据和表达渲染逻辑,容易导致矢量 GIS 运行效率低下、瓦片数据组织数据量暴增和计算资源浪费等问题。作者团队仿照人类眼脑的工作机制,考虑地理信息的表达应兼顾形象与逻辑思维认知模式,提出了融



合形象思维与逻辑思维的数据组织模式,形成了图形表达和代数计算共同作用下的双重编码,构建了基于地理认知的顾及整体与局部关系的关系计算的模板化方法,突破矢量地图数据传输、自适应、综合以及高效渲染瓶颈。在此基础上,构建了“数据组织+计算+渲染”一体化的T-Mesh数据结构及与之相匹配的计算模型,解决了海量数据的高效LoD与几何、拓扑计算效率问题<sup>[20-23]</sup>。

## 4 结论

本文立足于三元世界理念,对自然与人文要素信息进行了抽象,构造了自然要素和人文要素向信息要素的映射机制,形成了信息要素的综合分类和表达“七要素”框架,即时间、地点、人物、事物、事件、现象和场景。对其分类的视角进行了系统的归纳,有助于厘清三元世界条件下,自然和人文社会世界向信息世界的转化模式与映射途径。信息七要素的系统分类也有助于优化信息空间中要素的表达模式,可以进一步通过引入语言学视角,将信息要素作为基本语言单元,进而从结构化的语言分析的视角对信息要素的结构进行细化,有助于形成面向大数据和泛在信息的要素的结构化表征和信息处理模式。

从地理过程和地理规律的视角出发,从地理语义、空间位置、几何形态、属性特征、要素关系、演化过程和作用机制7个维度进行信息要素的表达,实现了从信息要素向地理信息的转变。通过对时间、地点等要素的系统定义和精细化分类,完成了对多重尺度、多重维度、多重属性、多重空间中地理信息的结构性梳理,有助于解决信息要素向地理信息转换的基本概念框架与结构模式问题,也有助于解决信息要素表达不全面,缺乏地理学特性等问题。本文所提出的地理信息描述的七维度,有助于建立以地理学为基础的地理信息描述体系,拓展了地理信息的多学科、多领域、相互交融的抽象描述和技术体系。

面向信息“七要素”分类和地理“七维度”描述,本文还提出并发展了面向三元世界中地理信息的关键技术体系。包括用于进行高维信息表达的几何代数GIS数据模型、基于地理学定律和地理要素相互作用机制的新型GIS数据结构和“组织-分析-表达”一体化的计算模型。对上述关键技术的深入

研究和迭代更新有助于形成面向三元世界表达与分析的新型分析型GIS的关键技术体系,提升GIS支撑时空大数据分析和应用的能力。

## 参考文献(References):

- [1] 肖乐斌,钟耳顺,刘纪远,等.GIS概念数据模型的研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2001,26(5):387-392,418. [Xiao L B, Zhong E S, Liu J Y, et al. Spatial conceptual data model of GIS[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001,26(5):387-392,418. ] DOI:10.3321/j.issn:1671-8860.2001.05.003
- [2] 周俊生,曲维光,许菊红,等.基于语义解析的中文GIS自然语言接口实现研究[J].中文信息学报,2014,28(6):62-69. [Zhou J S, Qu W G, Xu J H, et al. Implementing NLIs to GISs using semantic parsing[J]. Chinese Journal of Informatics, 2014,28(6):62-69. ] DOI:10.3969/j.issn.1003-0077.2014.06.009
- [3] Yin L, Shiode N. 3D spatial-temporal GIS modeling of urban environments to support design and planning processes[J]. Journal of Urbanism, 2014,7(2):152-69. DOI:10.1080/17549175.2013.879452
- [4] 李新,郑东海,冯敏,等.信息地理学:信息革命重塑地理学[J].中国科学:地球科学,2021,1-4. [Li X, Zheng D, Feng M, et al. Information geography: The information revolution reshapes geography[J]. Scientia Sinica Terrae, 2021, 1-4. ] DOI:10.1007/s11430-021-9857-5
- [5] 樊杰.中国人文地理学70年创新发展与学术特色[J].中国科学:地球科学,2019,49(11):1697-719. [Fan J. The progress and characteristics of Chinese human geography over the past 70 years (in Chinese) [J]. Scientia Sinica Terrae, 2019,49(11):1697-719. ] DOI:10.360/SSTe-2019-0213
- [6] 陆大道.变化发展中的中国人文与经济地理学[J].地理科学,2017,37(5):10. [Lu D D. The changing humanistic and economic geography in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017,37(5):10. ] DOI:CNKI:SUN:DLKX.0.2017-05-001
- [7] 陈发虎,李新,吴绍洪,等.中国地理科学学科体系浅析[J].地理学报,2021,76(9):5. [Chen F H, Li X, Wu S H, et al. Disciplinary structure of geographic science in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021,76(9):69-73. ] DOI:10.11821/dlxb202109001
- [8] 闫国年,袁林旺,俞肇元.地理学视角下测绘地理信息再透视[J].测绘学报,2017,46(10):8. [Lu G N, Yuan L W, Yu Z Y. Surveying and mapping geographical information from the perspective of geography[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017,46(10):1549-56. ] DOI:10.11947/j.AGCS.2017.20170338

- [9] 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. [Zhou C H. Prospects on pan-spatial information system[J]. Progress in Geography, 2015, 34(2):129-131. ] DOI:10.11820/dlkxjz.2015.02.001
- [10] 郭仁忠,应申.论 ICT 时代的地图学复兴[J].测绘学报, 2017,46(10):10. [Guo R Z, Ying S. The rejuvenation of cartography in ICT Era[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017,46(10):1274-83. ] DOI:10.11947/j. AGCS.2017.20170335
- [11] 郭仁忠,陈业滨,应申,等.三元空间下的泛地图可视化维度[J].武汉大学学报·信息科学版,2018,43(11):8. [Guo R Z, Chen Y B, Ying S, et al. Geographic visualization of pan-map with the context of ternary spaces[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018,43 (11):8. ] DOI:10.13203/j.whugis20180373
- [12] Lu G N, Yuan L W, Yu Z Y. Information Geography: A new fulcrum of geographic ternary world[J]. Science China Earth Sciences, 2021:64. DOI:10.1007/s11430-021-9859-9
- [13] Chen F H, Fu B J, Xia J, et al. Major advances in studies of the physical geography and living environment of China during the past 70 years and future prospects[J]. 2019, 62(11):37. DOI:10.1007/s11430-019-9522-7
- [14] 陈东,程承旗,童晓冲,等.多尺度地名地址空间区位编码模型研究[J].地球信息科学学报,2016,18(6):726-733. [Chen D, Cheng C Q, Tong X C, et al. Research on the multi-scale spatial location coding model for address[J]. Journal of Geo-information Science, 2016,18(6):726-733. ] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00727
- [15] Yuan L W, Yu Z Y, Luo W, et al. A 3D GIS spatial data model based on conformal geometric algebra[J]. Science China-Earth Sciences, 2011,54(1):101-112. DOI:10.1007/s11430-010-4130-9
- [16] Yu Z Y, Li D S, Zhang Z F, et al. Lossy compression of Earth system model data based on a hierarchical tensor with Adaptive- HGFDR (v1.0) [J]. Geoscientific Model Development, 2021,14(2):875-887. DOI:10.5194/gmd-14-875-2021
- [17] Lin B X, Zhou L C, Xu D P, et al. A discrete global grid system for earth system modeling[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2018,32(4):711-737. DOI:10.1080/13658816.2017.1391389
- [18] Zhou L C, Lian W J, Lu G N, et al. Efficient encoding and decoding algorithm for triangular discrete global grid based on Hybrid Transformation Strategy[J]. Computers Environment and Urban Systems, 2018,68:110-120. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.11.005
- [19] Zhou L C, Lian W J, Zhang Y D, et al. A topology preserving gridding method for vector features in discrete global grid systems[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2020,9(3):168. DOI:10.3390/ijgi9030168
- [20] Wu M G, Chen T S, Zhang K, et al. An efficient visualization method for polygonal data with dynamic simplification[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2018,7(4):138. DOI:10.3390/ijgi7040138
- [21] Wu M G, Lu G N, Zhang K. A similarity-based approach for improving the efficiency of drawing spatiotemporal point features[J]. Cartographic Journal, 2020,57(1):57-69. DOI:10.1080/00087041.2018.1500767
- [22] Wu M G, Zhang P B, Lu G N, et al. Chain-based polyline tessellation algorithm for cartographic rendering[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2017,44 (6):491-506. DOI:10.1080/15230406.2016.1183145
- [23] Wu M, Sun Y, Li Y. Adaptive transfer of color from images to maps and visualizations[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2021:1-24. DOI:10.1080/15230406.2021.1982009