

基于Voronoi模型的海南岛旅游资源集合体 空间边界提取

张桐艳^{1,2}, 王英杰^{1,2}, 张生瑞³, 王莹莹⁴, 虞 虎^{1,2,5}, 王 凯¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国海洋大学管理学院, 青岛 266100; 4. 山东农业大学
资源与环境学院, 泰安 271018; 5. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要: 旅游资源是旅游业发展的物质条件, 是开展各项旅游活动的载体和基础。旅游资源分类方法和评价理论研究已取得了较大的进展, 但在旅游资源调查与规划实践中, 以有研究通常将一个景区或大规模地理实体与小规模实体在同一个标准下衡量与对比, 未考虑旅游资源的地理空间尺度特征。不同尺度的旅游地域空间, 旅游资源评价、规划方法及其开发方向都不同。本文目的是通过梳理不同尺度旅游资源空间单元概念, 对最难界定的集合体进行空间识别。基于集合体的概念认知, 利用空间语义关系构建本体概念模型, 提出了不同类型旅游资源集合体的空间边界提取方法。鉴于此, 以海南岛为例进行实证研究, 运用空间语义关系构建3种不同类型的旅游资源本体概念模型, 在此基础上对不同类型旅游资源集合体进行条件约束判断, 并利用泰森多边形与缓冲区分析方法对其进行空间识别。与规划范围结果对比发现, 该方法可较好地近似表达旅游资源集合体空间边界及空间关系。每种类型的集合体空间语义关系存在树状层次结构, 包含2个层次, 空间形态呈多边形和带状分布。研究方法具有可操作性, 能够为旅游规划与管理提供科学参考。

关键词: 旅游资源集合体; 空间边界; 空间关系; 语义关系; 本体; 海南岛

DOI: 10.11821/dlxb202106016

1 引言

旅游资源是构成旅游业发展的基础。旅游资源的认知是旅游开发的要点和前提, 是旅游资源价值评价、规划管理、合理保护的依据。国内对于旅游资源理论研究和实践中取得了较大的进展, 如对旅游资源的界定、国家统一标准的旅游资源普查、分类与评价指标体系的建立等^[1], 以及GIS与大数据在旅游资源中的应用^[2-6]。但总体来看, 旅游资源学研究仍是薄弱领域, 早期对旅游资源评价的研究多以概念定性描述为主, 如“三三六”评价^[7]、“六字七指标”评价^[8-9]等。随后有学者在国家标准基础上, 借鉴旅游资源特征值评价法的长处, 建立不同类型旅游资源评价指标体系^[10-14]。之后, 区域性旅游资源定量评价研究也越来越多^[15-20]。在旅游资源空间结构研究中, 常把旅游资源与景点、景区

收稿日期: 2020-06-15; 修订日期: 2021-04-18

基金项目: 新世纪版《中华人民共和国国家大地图集》编研项目(2013FY112800); 海南省旅游资源普查与规划信息库项目(2018Y88M2001AL) [Foundation: "Atlas of the People's Republic of China (New Century Edition)" Research, No.2013FY112800; The Project of Hainan Province Tourism Resources Survey and Planning Information, No.2018Y88M2001AL]

作者简介: 张桐艳(1987-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 博士生, 研究方向为旅游资源与地学信息图谱。

E-mail: zhangtyan.17b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 王英杰(1961-), 男, 陕西西安人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为旅游GIS、地图制图学与地理信息系统、旅游资源开发与规划。E-mail: wangyj@igsnrr.ac.cn

1553-1569 页

概念混淆,将景点、景区作为区域的旅游资源^[21-26]。在旅游资源调查实践中,常将旅游产品作为旅游资源,调查对象并不是在同一尺度下,从而影响旅游资源评价的科学性和合理性。

与其他自然资源相比,旅游资源具有多尺度、多类型、多级别等基本特性,使之在概念界定与结构判别方面一直存有争议。多尺度性表现为不同类型或同一类型旅游资源在空间尺度上差异较大,小者如山石、字画,大者如山谷、宫殿。多类型表现为旅游资源的类型多样,几乎涵盖了自然环境和社会环境中的各种因素,不论是特殊的自然现象,还是有特色的人文社会习俗皆可纳入旅游资源中。多级别表现为旅游资源质量不一,质量不同的旅游资源对游客吸引力不同,产生的社会和经济效益差异较大。不同尺度、不同类型、不同级别的旅游资源之间存在套叠关系,如山中包括山谷、山峰;山峰上又有寺庙和山石,五级旅游资源中嵌套三级或者二级旅游资源等。旅游资源所具有的特殊性决定了其识别与开发的难度较高,极易导致旅游资源的片面开发,造成资源的浪费。不同尺度的旅游地域空间,旅游资源评价和规划内容与方法也不同。因此,在不同研究尺度下,由于旅游资源空间结构的不同,从而表现出的旅游资源空间布局模式与产品组合也不同,进而导致旅游开发方向也不同。旅游资源的空间分布结构与区域旅游业的布局、规模等空间属性直接相关,在一定程度上影响着区域旅游业的发展战略。系统、科学地分析旅游资源的空间特征和分布规律,对构建区域旅游业的有效空间模式、指导区域旅游业合理规划开发具有现实意义。

对于不同尺度旅游资源,学者们从不同视角进行了定义。《旅游资源分类、调查与评价》国家标准中定义了旅游资源单体的概念:可作为独立观赏或利用的旅游资源基本类型的单独个体,包括“独立型旅游资源单体”和由同一类型的独立单体结合在一起的“集合型旅游资源单体”^[27]。旅游资源组合体指占据一定地理空间旅游资源的集合体,是旅游资源分类体系中某一类资源单体的集群,是区域旅游资源系统组成的基本单位^[28]。叶康丹在组合体旅游资源评价中,根据旅游资源的类型、质量的大小、规划距离的远近,将其概括为独立体、主辅体、组合体、联合体4种类型^[29]。席建超等提出旅游资源群的概念,指占据一定地理空间同类旅游资源的集合体,是旅游资源分类体系中某一类旅游资源单体的集群^[30]。王占利等提出旅游资源群落,指地域上相互毗邻、具有一定价值、彼此联系较多的景区集合^[31]。群落内可分为若干景区,景区又分为几个资源单体。陈鹰认为旅游资源集合体是指占据一定地理空间,由一类或者几类旅游资源单体按照一定的结构功能结合形成的旅游资源组合,是旅游资源分类体系中同类或异类旅游资源单体的集群^[32]。李雪瑞提出旅游资源组合体指在一定地域内由若干个地理位置相近、资源优劣等级相似的资源个体按照一定的景观结构、功能组合形成的依存度极高、不可分割的旅游资源组合,是资源个体间吸引向性总和形成的整体性的旅游资源体。它包括单个景点的多要素组合形式,以及更大尺度风景区资源种类的配合情况,由此形成了该景点、景区、风景名胜区或旅游区的群体价值特征^[33]。在区域旅游资源系统中,旅游资源是以个体集群的形式——“旅游资源群”的形式而存在。旅游资源集群不是一个个旅游资源单体的简单相加,而是占据一定地域、环境、空间的有机集合,与单体相比具有放大效应,其结构以及内外部特征对区域旅游规划具有重要意义^[34]。旅游资源集合区作为旅游资源在特定的地理空间中重要的存在形式,已经成为区域旅游规划的重要影响因子^[35]。有学者对集合区界定、特征和分类进行了概述^[37];还有学者对集合区进行了评价^[36-37],并对集合区的生态位作了进一步研究^[37]。沈慧贤论述了由于旅游资源集合区位于不同的行政管辖范围内所导致的各行政区内开发与管理范围不一致的问题,造成了区域旅游发展

的马太效应^[38]。杨财根定义了旅游资源集合区的概念,并简单概述了集合区分析的目的是找出城郊森林公园存在的不同资源集合区,以便对旅游资源进行进一步的评价和功能划分,如哪些资源应该重点保护,哪些资源可以开发成何种旅游产品等^[39]。总体来讲,学者们从概念上对不同尺度旅游资源进行了区分,而对于旅游资源集合区(体)的研究偏少。从研究内容方面,多数学者围绕旅游资源集合区的概念界定、特征与分类的描述、主观定性评价为主;研究方法大多数以定性描述与评价为主,缺少量化研究,而对于如何科学、定量地划定旅游资源集合体空间边界还未做探究。

旅游资源集合体是旅游开发的基本空间单元,尤其是景区开发的重点。面对不同尺度旅游资源空间单元界定与划分时,集合体又是最难界定的,因此,如何识别空间边界就显得尤为重要。本文重新梳理和界定旅游资源不同尺度空间单元,对旅游资源集合体的概念与特征进行定义,采用空间语义关系描述旅游资源集合体与单体之间及内部单体之间的关系。借用“本体”的思想构建旅游资源本体概念模型,对不同类型旅游资源集合体空间边界作条件约束,并以海南岛为实证研究,尝试对旅游资源集合体空间边界进行提取。该方法为旅游开发规划、资源保护等提供科学依据,以丰富现有旅游资源学、旅游规划的理论与方法体系。

2 旅游资源集合体认知与概念界定

2.1 旅游资源空间单元认知

旅游资源中具有景观特征的那部分旅游景观资源,称为旅游景观^[40]。旅游资源是旅游景观的前提或条件,而旅游景观则是旅游资源的派生物或发展方向,两者是源与流的关系。以旅游开发活动为条件,旅游资源可转化为旅游景观^[41]。旅游景观系统具有规模差异,将其分为大尺度、中尺度、小尺度景点和更小尺度景物。大尺度规模为不少于10 km²的世界级、国家级风景名胜區,中尺度规模一般为50 km²可供游览的自然风景区域及保护区,小尺度规模多为市、县级风景区,更小尺度则多为一个单一要素或单体^[42]。景观具有“空间”或“地段”的概念,是在“天然界线”内的“自然地理综合体”^[42]。因此,旅游资源在空间上也必然存在规模差异性,表现为点状、线状与面状几何形态,同时它又兼具多尺度性(大小差异)、叠加性(空间叠置)、结构性以及动态性等特点。

本文按照空间尺度将旅游资源划分为单体、集合体、聚集区和组合区4类不同空间单元体系。单体是最小的且不能再分割的空间存在,构成了旅游资源的最基本类型,如山峰、佛塔等;集合体在地域上是一个有机体或综合体;聚集区是旅游资源高集聚集群,占据一定的地理空间,由多类型的单体与集合体组成;组合区是由多类型的单体、集合体、聚集区组合形成的具有一定空间结构的旅游区域,组合区是从旅游资源管理的角度进行划分,可以是行政区或跨行政区区域、旅游区及其他地理空间区域(图1)。

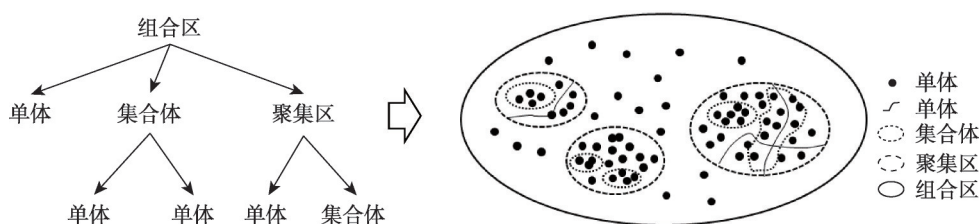


图1 旅游资源空间尺度关系

Fig. 1 Relationships between the spatial scales of tourism resources

2.2 旅游资源集合体及其特征

2.2.1 概念 旅游资源集合体,即在地域上构成一个有机体,由若干的旅游资源基本类型(单体)构成的一个资源综合体,集合体在地理上有清晰或相对模糊的界线,可以认为是具有构成关系、衍生关系、伴生关系等的一个资源本体,可作为未来旅游开发景区。因此,旅游资源集合体可以是单一的自然景观或人文景观,也可以是自然与人文复合景观。它是由不同单体镶嵌组成的地理综合体,受气候、地貌、土壤、植被等因素影响,可能与所赋存的环境、景观密不可分,具有异质性和明显的视觉特征,在空间关系上具有尺度性和可测量性,存在一定的空间边界,在时间关系上具有动态性,兼具经济、生态、文化和美学等多重价值。

依据旅游资源分类,集合体可以表现为不同景观,可看作一个独立的山体,一个自然带中的森林或草原,一个海岸,一条河流,一个湖泊,一个岛屿,一个溶洞,一个建筑群,一个园林,一个公园等。集合体可以为独立的自然景观或人文景观,也可以是由自然与人文要素综合作用形成的综合体。

2.2.2 特征

(1) 本体性:指地理各要素的相互联系、相互制约,有规律地结合而成的相对一致性的整体,表现为功能完善的地理综合体或景观。由多个单体有机组合成的综合体。单体作为不能分割的最小单元,是构成本体的基本要素,本体多为有综合体或多个综合体构成的旅游资源类型组合,旅游资源之间具有空间语义关系。

(2) 边界模糊性:旅游资源的空间性还表现为空间上界限的模糊性,尤以自然旅游资源为主,部分非实体类人文旅游资源,尤其具有广域性的旅游资源,也较难确定其空间边界。但大部分旅游资源有其准确的空间定位和空间边界。

(3) 结构层次性:集合体由若干单体组合而成,单体赋予了集合体丰富的内涵。结构性表现为单体之间的排列组合关系,层次性体现为集合体比单体高一等级。大规模尺度集合体中包含小规模尺度集合体,如一个山体也包含一片森林和动物资源,一片森林依附于山体存在,森林赋予了山体的更多的观赏价值,如海南的橡胶林。若山地高差较大,则有垂直带谱。不同尺度规模的集合体也存在包含关系,即存在嵌套关系。旅游资源集合体是由旅游资源单体组成的,但是其整体功能不等于旅游资源单体的简单相加,而表现出旅游资源单体所不具备的结构、功能和特征。

(4) 空间尺度性:是指从空间构成上空间尺度特征差异较大,集合体由单体构成,在空间上表现出不同的尺度大小关系,表现为相邻、叠加等空间关系。如山体中包含山谷、山峰,山峰上又有寺庙和山石。

(5) 功能性:旅游资源核心功能是其吸引功能,是通过开发后吸引旅游者的客观存在物。集合体可以通过开发利用形成未来景区,对旅游者产生吸引力,体现了旅游资源集合体可开发利用价值。

3 基于空间语义关系描述旅游资源集合体

基于旅游资源集合体的本体性、结构性和空间性的特点,以及集合体的空间几何形态,集合体表现为不同空间拓扑关系和语义关系,拓扑关系有相交关系、相接关系、包含关系等,语义关系有共生、衍生、伴生等。

3.1 集合体空间拓扑关系描述法

空间关系是指地理实体之间存在的具有空间特性的关系。在GIS中,常将地理实体

之间的空间关系按照空间特性分为距离关系、度量关系和拓扑关系。而拓扑关系是指拓扑变换下的拓扑不变量。例如：地理空间实体之间的相邻、包含、相交等^[43]。在旅游资源本体中，拓扑关系通常概括为相交（包括穿越）、包含（内部、重叠）、相接和相邻4种形式。

旅游资源在空间上表现为点状、线状或面状几何形态。将单体的空间几何形态表示为点状和线状，集合体作为地理综合体而言，空间中包含若干单体，几何形态表示为多边形面状、线状或条带状。地文景观多为面状地理实体，水域景观在几何形态表现为点状、线状或面状，面状水景有湖、海、冰川，线状水景有江河、溪流，点状水景有泉、瀑布。集合体空间拓扑关系可以划分为两类，即集合体与单体之间、集合体之间空间拓扑关系。因此旅游资源集合体与单体的空间关系包括点与面、线与面的拓扑关系，集合体与集合体之间的空间关系是面与面之间的拓扑关系（图2）。

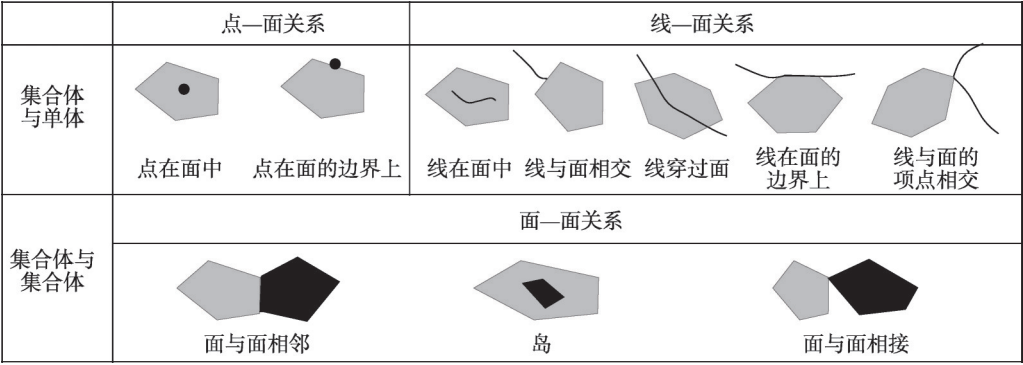


图2 旅游资源集合体拓扑关系

Fig. 2 Topological relationship of tourism resource aggregation

(1) 相交关系：是指两种或多种旅游资源集合体在空间上相交关系，特指线与面的相交，这种因相交关系而产生的地物可以成为另一类集合体。如河口、三角洲是河流与海或河流与湖相交形成的地物（图3）。

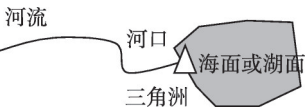


图3 河流与湖泊空间关系
(相交关系)

Fig. 3 The spatial relationship
between rivers and lakes
(intersectional relationship)

(2) 包含关系：不同尺度的旅游资源之间往往具有构成关系，如面状集合体包含多个线状和点状单体，因此集合体尺度越大，单体相对越丰富，如山峰、山坡、山谷或河谷构成了山体。点一面关系表现为点在面中，在旅游景观中表现为秀、幽、奥以涵居多，建筑物常选在山麓、山谷、山间小盆地的古树茂林或幽谷中，如雁荡山的灵岩寺、北京的潭柘寺等。面与面之间拓扑关系中的岛，在地理实体上表示为空间叠加关系，可以解释为包含关系，如山体中的森林景观，相对高差大的山体中包含植被垂直带谱（图4）。

(3) 相接关系：一种旅游资源在另一种旅游资源的边缘地带，空间关系包括点一面、线一面、面一面关系。其中，点在面的边界上，在旅游景观中表现为雄、险、旷以露居多，建筑物在山顶、山脊、明坡（岸坡）上，如岱庙建在泰山南麓冲积扇上，岱顶有玉皇庙，九华山天台，峨眉山金顶等。

(4) 相邻关系：两种旅游资源在地理空间中是邻接关系，如湖光山色，湖泊与山体的关系是两个面状地理实体相邻接。

3.2 集合体语义关系描述法

旅游资源集合体的语义关系，是依据旅游资源的属性特征、成因机制及周围生态环境特征描述旅游资源之间形成的构成、成因和演化等关系，主要包括共生关系、衍生关系、伴生关系和构成关系。

(1) 共生关系：是指两种或两种以上的旅游资源在某一地域的共生体，彼此相互依存关系，任何一种资源离开其他资源都不能独立存在。已知某类旅游资源存在，则另一类旅游资源必然存在，反之亦然。如大型树林，可能就是野生动物栖息地；红树林，就有生物海岸。

(2) 衍生关系：某类旅游资源的发生和演化，形成了其他类型的旅游资源，这两类旅游资源的演变时序构成了成因关系，某类旅游资源在成因上需依附于其他类旅游资源。如火山因地壳构造运动，后期形成了由玄武岩、火山碎屑、火山熔岩以及形成的锥、坑、丘、火山湖等景观（图5）。

(3) 伴生关系：在不同时期所形成的景观，彼此并没有成因关系，但在空间上是相邻关系，这类旅游资源亦可称为伴生景观，如沙漠和戈壁、湖泊和湿地等。根据自然地理实体地带性分布规律，不同类型的自然旅游资源存在伴生分布的空间特征，如沙漠与沙地、戈壁，绿洲与沙漠等。

(4) 构成关系：某类旅游资源是其他类型旅游资源组成要素，是整体与部分的关系（图6）。如河流主要由河床、河心岛（或滩）、边滩、河岸、河道、洪积平原、阶地等构成；再如山体，是由山峰、山坡、山沟、山麓等构成的本体；佛教寺院是由多进院落构成，有金刚、菩萨、大雄宝殿等。

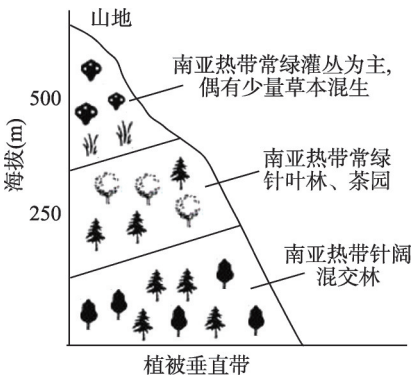


图4 山地与植被垂直带空间关系(覆盖关系)
Fig. 4 The spatial relationship between mountains and vegetation vertical zone (coverage relationship)

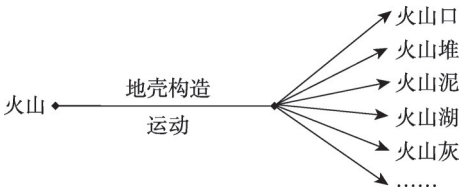


图5 旅游资源之间的衍生关系
Fig. 5 The derivative relationship between tourism resources

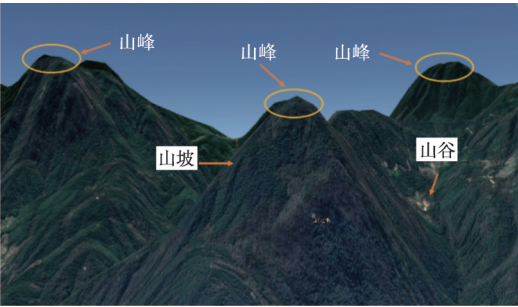


图6 旅游资源之间的构成关系
Fig. 6 The constituent relationship between tourism resources

4 旅游资源集合体空间边界提取与类型划分

4.1 基于空间语义关系的旅游资源本体概念模型构建

本体 (Ontology) 概念在哲学中的定义是“对世界上客观存在物的系统地描述，即存在论”，是客观存在的一个系统的解释或说明，关心的是客观现实的抽象本质^[44]。在哲学领域，认为本体是由概念和关系组成，有学者利用本体对某种概念化体系进行规范说明^[45]，也有学者将本体论应用到地理实体中，依据其独特的空间属性，将关系类型分为：空间关系、时间关系及概念关系（分类、分元、实例、概念属性关系）3类。通过

构建地理本体概念模型,用来获取地理实体空间范围^[46-47]。还有学者将地理本体与旅游相结合,构建以“地理位置、旅游空间、旅游资源、旅游参与者、旅游行为及几何要素”为核心的旅游地理本体,为旅游地理信息的深度挖掘和知识发现提供基础^[48-51]。以上研究都属于传统意义上的一般本体,其逻辑结构多表示为类(概念)、属性、个体(实例)三元组,常见的语义关系为从属、父子、实例、属性关系等。

旅游资源集合体在地理空间中是一个有机整体,在空间语义关系上构成了一个完整的地理综合体。本文对传统意义上的本体模型进行改进,构建面向集合体空间语义关系的旅游资源本体概念模型,用于科学识别旅游资源集合体。因此在构建旅游资源本体概念模型时(图7),本文首要考虑和关注的是其空间拓扑关系与语义关系,而不像一般本体主要是考虑父类——子类这种继承关系。

4.2 不同类型旅游资源集合体约束条件确定

4.2.1 旅游资源集合体类型划分

(1) 依据旅游资源的属性,将旅游资源集合体按大类划分为自然景观类集合体和人文景观类集合体(表1)。自然类集合体依托自然景观,人文类集合体由各种社会环境、人民生活、历史文物、文化艺术、民族风情和物质生产等人文景观构成。

(2) 按旅游资源类型细分。① 地文景观类:主要是在自然环境的影响下,地球内力作用和外力作用共同作用形成的,直接受地层和岩石、地质构造、地质动力等因素的影响而产生的景观。② 水域风光类:属于自然景观但重点突出江河、湖海、飞瀑流泉等水

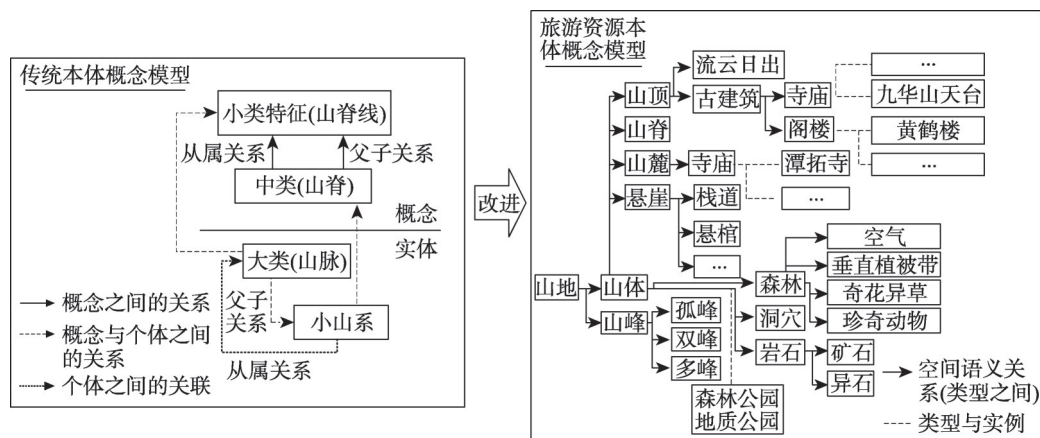


图7 基于空间语义关系的旅游资源本体概念模型(以山地型旅游资源为例)

Fig. 7 The conceptual model of mountain tourism resource ontology based on spatial semantic relationships

表1 旅游资源类型与集合体类型对应关系

Tab. 1 The correspondence between tourism resource types and aggregation types

旅游资源大类	旅游资源类型	集合体类型	集合体范例
自然景观类	地文景观类	山地型、海岸型、岛屿型	五台山, 华山, 广东肇庆七星岩, 云南路南石林, 贵州的织金洞, 黔灵山麒麟洞, 鄱阳湖口石钟山等
	水域风光类	湖泊型、河流型	西湖, 洞庭湖, 黄果树瀑布, 天山天池, 青海湖
	生物景观类	森林型、草原型	新疆巴音布鲁克草原, 东北长白山原始森林
人文景观类	历史遗址类	古代建筑	颐和园, 圆明园, 紫禁城, 秦始皇兵马俑, 布达拉宫
	建筑物类	现代建筑	台北101大厦, 东方明珠, 广东电视塔, 央视演播大厦
	博物馆类	博物馆	国家博物馆, 上海博物馆
	公园类	主题公园、森林公园、园林	奥林匹克公园

域景观。③ 生物景观类：各类由动植物为主体所组成的景观。④ 历史遗址类：依托由古代流传，保存至今，具有历史意义的资源而产生的景区。⑤ 建筑物类：通常指设计具有独创性，唯一性，具有纪念意义等重要意义的建筑物。⑥ 博物馆类：如首都博物馆、国家博物馆等。⑦ 公园类：包括主题公园、森林公园、园林等。

4.2.2 不同类型集合体约束条件确定 山地型景观常伴有水体景观、生物景观及人文景观，常见为：① 山水组合，包括山与江河，山与瀑布，山与湖、潭、溪、泉，山与冰、雪；② 山与植被组合，特点是海拔高的山地垂直带谱明显，山的海拔决定植被具有不同的垂直带谱；③ 山与人文景观组合，一些人文景观如建筑群往往与山势相协调，构成一个风景区的主体景点。水体型景观常伴有气象气候景观、生物景观及人文景观，常见为：① 水与气象气候组合，有形的水体、水态结合适宜的气象气候条件形成海滨风光和冰雪风光。② 水与植被组合，虽然山、水、植被常常共同作用，构成山水型自然景观，但确有一些风景区，其内部主要风景是由水与植被组合而成的。如在一些热带海滨，生长于海水中的红树林形成另一种热带奇观。③ 水与人文景观组合，一些历史遗迹或建筑设施依河流两岸而建。

以上景观组合在空间上常常表现为不同的关系，也是构成本体的基本要素。按集合体空间语义关系，确定其约束条件如表2所示。人文实体景观类集合体空间边界清晰，且易获取，因此，本文只对自然景观类集合体空间边界约束条件进行研究。依据“空间语义关系+本体构成要素数量”对不同类型旅游资源集合体进行条件约束，旅游资源集合体空间边界界定规则如下：规则1：按“旅游资源单体规模+空间语义关系”确定主体景观（景源），为第一级景观；规则2：以第一级景观空间语义关系确定辅助景观，为第二级景观；规则3：依据主体景观比例的30%确定集合体中包含的所有本体要素。

4.3 集合体空间边界提取

4.3.1 基于Voronoi图模型的空间边界近似表达 旅游资源存在尺度差异性，因此空间数据的几何形态也有所差异。但目前对旅游资源普查时，采集到的空间数据都是点状目标，而且目前也缺乏有效方法实现旅游资源空间边界的近似表达，因而难以准确描述旅游资源的各类空间关系。本文利用Voronoi图实现旅游资源边界近似，由此建立旅游资源的近似空间关系^[52-53]。以下将详细论述该方法。

Voronoi图是把图论和几何求解混合起来的一种图案。它把空间的邻接定义为多边形邻接，采用等距离原则确定任一物体所处Voronoi多边形的边界线，从而使地图的3种基本图形数据点、线和面纳入某种邻接物的集合^[54]。Voronoi图是由点集目标所生成的互不重叠的二维平面多边形，可以很好地描述空间邻近关系^[55]。平面Voronoi图可以看作是在欧式几何距离下，将点集 $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 中的每个点看作生长核，向外以相同的速率扩张，直到彼此相遇为止而在平面上形成的图形（图8）。

平面中的点集 P 中任意点 p_i 的Voronoi图定义为：

$$V(P_i) = \{x | |p_i - x| \leq |p_j - x|, \forall j \neq i\} \quad (1)$$

式中： x 表示集合 P_i 中的元素； $V(P_i)$ 是一个凸多边形。由 $V(P_i)$ ($i \geq 1$)确定的平面分割方法称为点的Voronoi图，又叫泰森多边形^[53]。

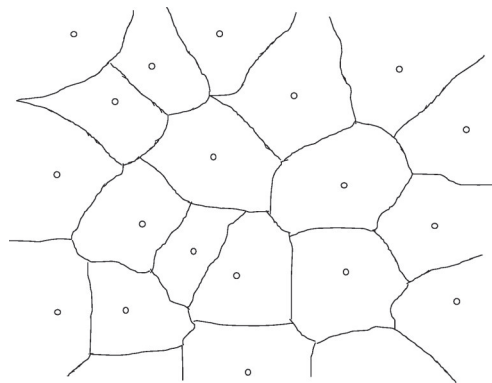


图8 点集目标的Voronoi区域

Fig. 8 The Voronoi region of the point set target

表2 不同类型集合体的约束条件

Tab. 2 Constraint condition for different types of aggregation

集合体类型	空间语义关系描述	本体构成元素	主体景观(景源)
山地型	集合体之间具有包含关系，大集合体中包含一个或两个小集合体，以及若干单体，形态上表现为面状集合体，结构为嵌套型集合体。	山峰、瀑布、湖泊、潭、溪、泉、冰、雪；植被、动物；寺庙、岩石、地质构造	山体(山峰、山谷、山坡等)
海岸型	集合体之间具有邻近关系，集合体之间在空间上具有相接和相邻关系，集合体内部包含若干单体，形态上表现为线状集合体，结构为组合型集合体。	沙滩、近海海域，山体，气象景观	沙滩或基岩景观
岛屿型	集合体中包含若干单体，集合体与单体的空间关系可以是构成关系或成因关系，形态上表现为面状集合体，结构为独立型集合体。	植被、动物、山体、海域，建筑	岛屿本身
湖泊型	这类集合体之间具有邻近关系，集合体之间在空间上具有相接和相邻关系，集合体内部包含若干单体，形态上表现面状集合体，结构为组合型集合体。	山地、瀑布、河流、植被	湖体本身
河流型	集合体之间具有邻近关系，集合体之间在空间上具有相接和相邻关系，集合体内部包含若干单体，形态上表现为线状集合体，结构为组合型集合体。	山地、植被、瀑布、湖泊	河流本身
森林型	集合体之间具有包含关系，大集合体中包含一个或两个小集合体，以及若干单体，形态上表现为面状集合体，结构为嵌套型集合体。	山地、植物、动物、气象景观	山地

4.3.2 空间边界提取方法 旅游资源集合体几何形态有线状和面状，依据不同类型旅游资源的属性或特征，空间边界的界定也不相同。

(1) 面状集合体。目标：利用泰森多边形构建空间区域。提取流程：① 选择要识别与提取的集合体；② 构建旅游资源本体，筛选符合语义关系的单体；③ 将筛选出的单体构建 Voronoi 图（泰森多边形），利用区域划分算法进行边界提取泰森多边形；④ 将泰森多边形合并形成一个旅游资源集合体边界。

(2) 线状集合体。目标：利用不同类型资源的属性特征构建缓冲区。提取流程：① 选择要识别与提取的线状集合体；② 构建旅游资源本体，筛选符合空间语义关系的单体；③ 将筛选出的单体构建不同距离的缓冲区；④ 提取缓冲区范围。

5 实证研究

本文选择海南岛为实证研究案例，对旅游资源集合体进行空间边界提取与类型划分。由于旅游资源集合体边界近似表达的准确性与资源点分布情况密切相关，因此旅游资源点密度越大则由此生成的泰森多边形对集合体边界近似的精度越高。为获取较高精度的旅游资源集合体空间边界近似结果，本文采用课题组空间信息采集系统APP，实地调查共获取了海南岛 10260 个资源单体的详细信息，包括旅游资源单体名称、类型、所属行政区、坐标、得分、等级等信息。选取地文景观和水域景观作为实证研究对象，提取其空间语义关系，构建旅游资源本体，利用 ArcGIS 软件提取集合体的空间边界。

依据海南岛的地形地貌特征，选取了地文景观类中的山岳型、海岸型和水域景观类中的河流型的旅游资源集合体，利用空间语义关系描述了集合体与单体间的关系，并提取集合体中包含的单体。因本文所实证研究的集合体空间尺度较大，所包含的单体较多，表3中只列举了其包含的主要单体的空间关系，即优良级旅游资源单体（五级、四级）。从表3中可以看出，3类旅游资源集合体与单体之间的空间关系基本呈现包含关系

表3 不同类型旅游资源集合体空间语义关系

Tab. 3 The spatial semantic relationships between different types of tourism resource aggregation			
类型	集合体	单体	空间语义关系
山岳型	五指山	五指山主峰、五指山昌化江峡谷河段、五指山水满河段、五指山蝴蝶牧场、龙凤瀑布、太平山瀑布、海南省民族博物馆、南国夏宫度假村	包含关系、衍生关系
		昌化江之源瀑布、阿陀岭主峰、太平山沟谷河段、五指山红峡谷河段	相邻关系、伴生关系
		五指山热带雨林	包含关系、伴生关系
河流型	昌化江	牙胡梯田、南木水库、佳西村红峡谷	相邻关系、伴生关系
		五指山革命根据地纪念园、五指山中心革命根据地历史陈列馆、白沙起义纪念馆	包含关系、衍生关系
		五指山昌化江峡谷、昌化江乐东风景河口段、五指山昌化江中游河段	包含关系、共生关系
		尖峰岭林区	包含关系、伴生关系
		琼崖纵队司令部旧址	相邻关系、衍生关系
海岸型	亚龙湾	亚龙湾热带雨林、亚龙湾蝴蝶谷、亚龙湾红峡谷、亚龙湾玫瑰谷、青梅港红树林、	相邻关系、伴生关系
		亚龙湾沙滩、亚龙湾近岸带海域	包含关系、共生关系
		亚龙湾海底珊瑚礁、非诚勿扰拍摄地、亚龙湾高尔夫球场、亚龙湾沙丘遗址	包含关系、衍生关系

和相邻关系，在空间上反映了点在面中、点在面的边界上、线在面的边界上。从语义关系上来看，主要体现衍生关系和伴生关系，说明了集合体与单体之间是在不同时期所形成的景观，以及单体在成因上是否依附于集合体，彼此之间是否有成因关系。其中，五指山属于山岳型集合体，共包含13个优良级单体，3种类型空间语义关系，即包含+衍生、相邻+伴生、包含+伴生关系；昌化江属于河流型集合体，共包含11个优良级单体，五种类型空间语义关系，即相邻+伴生、包含+衍生、包含+共生、包含+伴生、相邻+衍生关系；亚龙湾属于海岸型集合体，共包含11个优良级单体，3种类型空间语义关系，即相邻+伴生、包含+共生、包含+衍生关系。

为进一步描述旅游资源集合体的空间语义关系，不仅要体现集合体与单体的关系，还要体现单体之间的空间语义关系。本文在上述空间语义关系基础之上构建了旅游资源本体，通过结构树的形式表示集合体与单体、单体与单体之间的空间语义关系。从图9可以看出，旅游资源集合体具有层级结构，每种类型的集合体都有两层结构，第一层结构体现集合体与单体之间的空间语义关系，第二层结构体现单体之间的空间语义关系。五指山一级单体包含5个，二级单体包含7个。其中昌化江峡谷由五指山主峰和昌化江河流共同作用形成，龙凤瀑布位于昌化江上游源头，太平山瀑布发源于太平山，太平山山麓处有蝴蝶牧场和南国夏宫度假村，黎峒文化园中建设黎祖大殿，阿陀岭生长着大量的热带天然林（图9a）。昌化江一级单体包含7个，二级单体包含4个。其中乐东风景河段位于昌化江下游河口段，尖峰岭有大量原始森林，形成了尖峰岭林区，革命根据地历史陈列馆位于革命根据地纪念园内，为后期建设的（图9b）。亚龙湾一级单体包含6个，二级单体包含6个。其中非诚勿扰拍摄地隐藏于亚龙湾热带森林中，亚龙湾热带雨林区内发育着溪流，形成较为特色的蝴蝶谷、红峡谷与玫瑰谷3个河谷，亚龙湾近岸海域海底发育着世界上最大、最完整的软珊瑚族群以及硬珊瑚、热带鱼类等海洋生物，亚龙湾沙丘遗址位于亚龙湾海域西北20 m的沙丘上，保存了新石器时代、汉代陶瓷残片等（图9c）。

根据旅游资源集合体空间语义关系，选取与其相关联的本体要素，按单体类型数量比例对不同类型集合体进行约束。五指山、昌化江与亚龙湾中旅游资源单体主类数量统

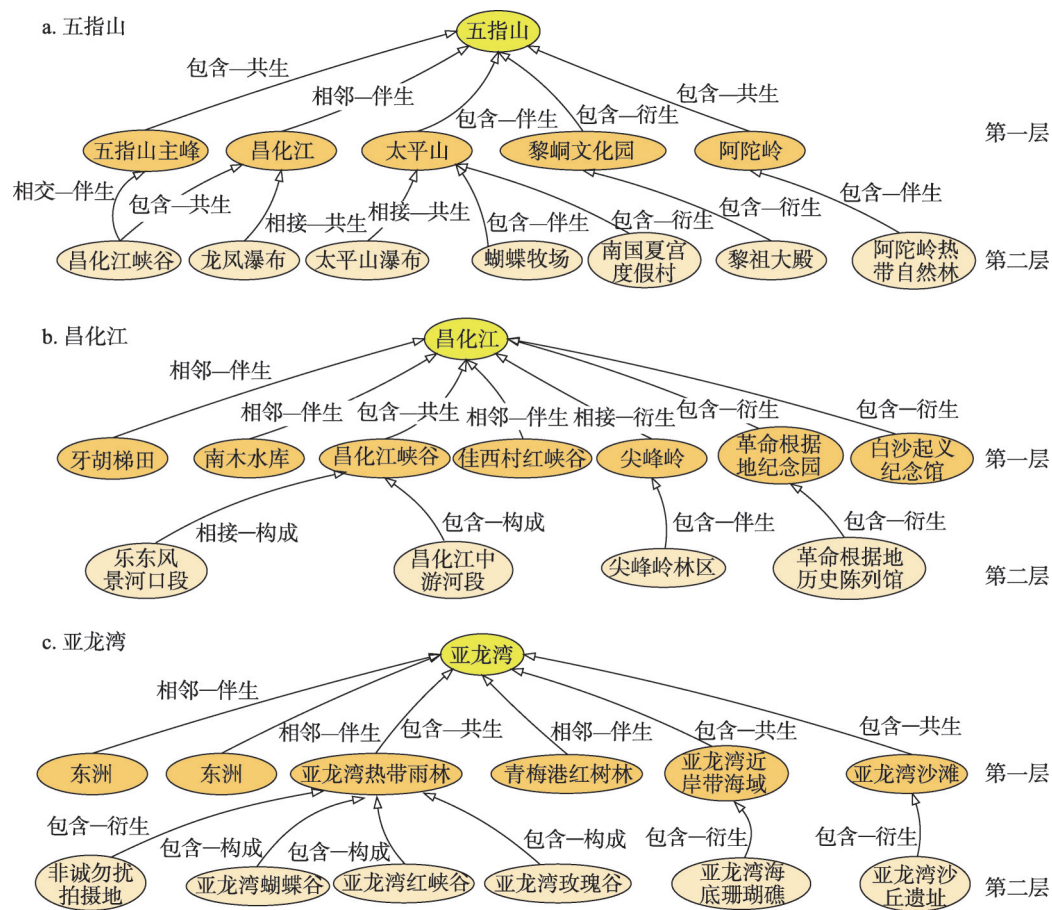


图9 基于空间语义关系的旅游资源本体

Fig. 9 Tourism resource ontology based on spatial semantic relationships

计与排序，确定集集体主类景观比例（图10）。由图10和表4可以看出，五指山中地文景观最多，其次为水域景观和生物景观，空间形态表现为嵌套型，所包含的本体要素主要有山地、水体与植被，符合山岳型集集体条件；昌化江中水域景观和地文景观最多，属于河流型集集体，空间形态表现为组合型，所包含的本体要素主要有水体和山地，符合河流型集集体条件；亚龙湾中生物景观、水域景观和海洋海岸景观数量较多，空间形态表现为为组合型，所包含的本体要素主要有沙滩、基岩、近海海域、海底生物、植被，符合海岸型集集体条件。

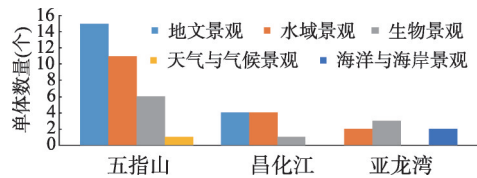


图10 旅游资源集集体中的单体类型分布

Fig. 10 The monomer type distribution in tourism resource aggregation

表4 旅游资源集集体类型

旅游资源集集体	类型	空间形态	本体要素类型构成
五指山	山岳型	嵌套型	山地、水体、植被
昌化江	河流型	组合型	水体、山地
亚龙湾	海岸型	组合型	沙滩、近海海域、海底生物、山地、植被

试验选取点状和线状单体矢量数据为基础数据,依据空间语义规则分别对五指山、昌化江与亚龙湾所包含的单体进行筛选,利用 ArcGIS 软件中的空间分析工具分别生成旅游资源集合体的泰森多边形和缓冲区与缓冲区(图 11)。可以看出,五指山空间边界形态呈不规则多边形(图 11a),昌化江和亚龙湾空间边界形态呈条带状(图 11b、11c)。

将识别出的集合体空间边界与规划中的范围进行对比验证,由于资料限制,本文只对五指山和亚龙湾进行对比。① 对比海南省热带森林旅游发展总体规划中提出的五指山国家森林公园旅游片区、五指山度假旅游区、五指山自然保护区发现,五指山国家森林公园旅游片区规划范围大于识别出的五指山集合体空间范围,五指山自然保护区规划面积 87 km²,小于识别的五指山集合体面积 946 km²,五指山度假旅游区空间范围由若干多边形面状区域组成,其东界、西界与南界与本文识别结果基本吻合(表 5);② 将识别出的亚龙湾集合体与《三亚市旅游发展总体规划(2008—2020)》(简称规划)中亚龙湾景区进行对比(图 12)。由图 12a 可知,亚龙湾国际旅游度假区规划范围与识别结果东西界基本吻合,涵盖了整个亚龙湾海岸,但规划中未把近海域部分划进亚龙湾度假区;图 13b 表示亚龙湾现状景区,范围小于识别结果,因现状区域沙滩、海水等资源优质,形成了旅游资源密集区。

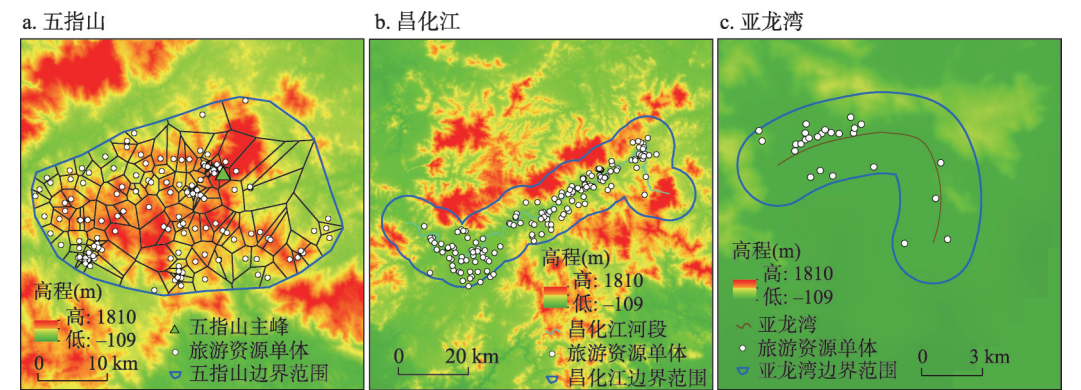


图 11 旅游资源集合体空间边界近似

Fig. 11 An approximation of the spatial boundaries of tourism resource aggregation

表 5 五指山集合体识别范围与规划范围对比

Tab. 5 A comparison between Wuzhishan aggregation and planning area

	识别范围		规划范围	
	五指山集合体	五指山国家森林公园旅游片区	五指山自然保护区	五指山度假旅游区
空间边界	五指山市通什镇、南圣镇、毛阳镇、保亭县什玲镇、琼中县上安乡、长征镇、红毛镇	五指山市全部(包括琼中什运乡、红毛镇、上安镇全部)以及营根镇和长征镇部分地区	未知	北界: 琼中县营根镇 南界: 五指山市南圣县 西界: 五指山市毛阳镇 东界: 琼中县上安乡
面积(km ²)	946	未知	87	未知

6 结论与讨论

本文在本体论和空间关系理论的基础上,考虑利用空间语义关系描述旅游资源之间的关系,构建旅游资源本体概念模型,深入剖析不同类型旅游资源集合体空间、语义关系及关联规则。在此基础上,以海南岛为实证研究,尝试构建旅游资源集合体本体模型,并在此模型驱动下选取表征空间语义关系的单体,结合 ArcGIS 软件空间邻域分析方

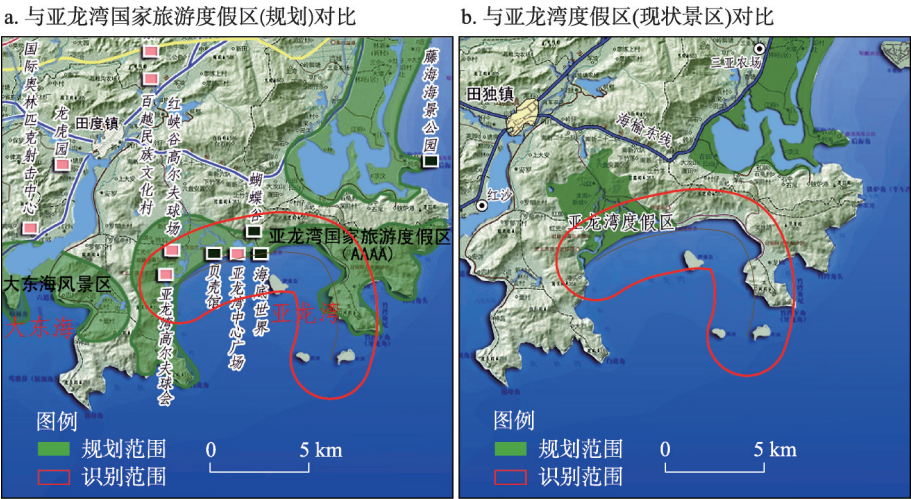


图 12 亚龙湾集合体识别范围与规划范围对比图

Fig. 12 A comparison between Yalongwan aggregation and planning area

法提取不同类型集合体空间边界，进而与规划结果进行对比与验证。与主观定性界定集合体方法相比，本文提出的基于本体概念模型方法的集合体边界识别在实操性和客观性方面有较大提升。本文的科学价值主要有：

(1) 通过文献梳理对旅游资源的概念与特征进行认知，探讨旅游资源的空间尺度效应，划分不同尺度旅游资源空间单元。结合旅游资源的概念认知和特征分析，得出了4种不同尺度旅游资源空间单元，特别是对集合体的概念与特征进行了界定。利用空间拓扑关系和语义关系描述法，描述了不同几何形态旅游资源之间的关系，讨论了集合体与单体之间4种不同的空间拓扑关系和4种不同的语义关系。空间拓扑关系包括相交关系、包含关系、相接关系、相邻关系；语义关系包括共生关系、衍生关系、伴生关系、构成关系。目前关于旅游资源集合体的研究仍是旅游资源学中研究的“盲点”，本文在旅游资源本底普查的基础上，从空间语义关系上把握旅游资源集合体特征，扩充了旅游资源的概念、特征及相互关系等内涵，丰富了旅游资源的理论研究。厘清不同尺度旅游资源关系，也是科学评价旅游资源的基础。

(2) 基于空间语义关系构建旅游资源本体，并在本体概念模型基础上对集合体进行类型划分与空间边界提取。不同几何形态的资源实体采用不同的空间边界提取方法，针对点状类实体，采用泰森多边形方法提取其空间边界，对线状实体采用缓冲区分析方法提取空间边界。本文借鉴本体论方法，利用空间语义关系重构了旅游资源本体概念模型，并将其应用到旅游资源集合体空间边界的识别，拓展和丰富了领域本体应用研究。应用旅游资源本体概念模型，结合区域环境特征，可快速、有效地对旅游资源关联单体进行推理与判断，提高旅游资源普查工作效率，对区域旅游资源本底普查具有实践指导意义。

(3) 以海南岛为例，选取3种不同类型集合体，并对其边界提取的合理性与可行性进行实证研究，通过旅游资源本体概念模型进行条件约束，并利用voronoi图模型、缓冲区方法提取了不同类型的旅游资源集合体空间边界。研究发现，每种类型的集合体空间语义关系存在树状层次结构，山岳型集合体在空间形态上呈多边形，河流型和海岸型集合体在空间形态上呈带状。通过与规划对比验证，该研究方法具有可操作性。该方法的实现不仅为旅游资源集合体空间边界范围的科学界定和形象化概念分类表达提供了一种

全新的解决思路,还为旅游资源保护与开发提供空间边界参考,有助于提升旅游规划与管理科学性,为不同尺度旅游资源开发与规划提供了理论指导。

此外,本文只探讨了实体类旅游资源集合体的空间识别,对于没有具体地理实体,但具有广域性分布特征且有清晰记载但已消失的人文类非物质旅游资源未做探索。这类实体多表现为神话传说、名人轶事、文化典故和历史事件等,具有时间序列性,后期还可以采用事件本体进一步深化非实体类旅游资源的相关研究。

参考文献(References)

- [1] Guo Laixi, Wu Bihu, Liu Feng, et al. Study on the tourist resources classification system and types evaluation in China. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(3): 294-301. [郭来喜, 吴必虎, 刘锋, 等. 中国旅游资源分类系统与类型评价. *地理学报*, 2000, 55(3): 294-301.]
- [2] Wang Yingjie, Zhang Tongyan, Li Peng, et al. Research on the application status and trends of GIS used in tourism resources in China. *Journal of Geo-Information Science*, 2020, 22(4): 751-759. [王英杰, 张桐艳, 李鹏, 等. GIS在中国旅游资源研究与应用中的现状及趋势. *地球信息科学学报*, 2020, 22(4): 751-759.]
- [3] Li Peng, Wang Yingjie, Yu Hu, et al. Study on method of tourism spatial planning based on GIS grid analysis: An example of Qingdao. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 813-827. [李鹏, 王英杰, 虞虎, 等. 基于GIS格网化分析支撑的旅游空间规划技术方法研究: 以青岛市为例. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 813-827.]
- [4] Zhang Bin. Study on tourism resources analysis and development potential of southwest Guizhou based on geographic information data [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2019. [张斌. 基于地理信息大数据的黔西南州旅游资源分析及开发潜力研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2019.]
- [5] Sun Qiang, Li Yiwen. Research On The Development Potential Of Chengdu Tourism Resources Based On Big Data And GIS//Urban Planning Society Of China. Urban Planning Society Of China. Vibrant Urban And Rural Living: Proceedings Of 2019 China Urban Planning Annual Conference (13 Landscape Planning). Beijing: China Architecture Publishing House, 2019. [孙强, 李艺文. 基于大数据和GIS的成都旅游资源开发潜力研究//中国城市规划学会. 活力城乡 美好人居: 2019中国城市规划年会论文集(13风景环境规划). 北京: 中国建筑出版社, 2019.]
- [6] Yu Hu, Liu Qingqing, Li Peng. Evaluation of regional tourism resources information collection and development potential based on ArcGIS technology: A case study of Penglai City. *China Ancient City*, 2017(12): 47-52. [虞虎, 刘青青, 李鹏. 基于ArcGIS技术的区域旅游资源信息采集与开发潜力评价: 以蓬莱市为例. *中国名城*, 2017(12): 47-52.]
- [7] Lu Yunting. Four topics in tourism planning and development research-four "Changes" in tourism planning. *Tourism Tribune*, 1993, 8(4): 9. [卢云亭. 旅游规划开发研究四题: 旅游规划要突出四“化”. *旅游学刊*, 1993, 8(4): 9.]
- [8] Huang Huishi. Evaluation of tourism resources. *Tourism Essay*, 1986(1): 41-43. [黄辉实. 旅游资源的评价. *旅游论丛*, 1986(1): 41-43.]
- [9] Wei Xiaolan. Experience of deepening the management of tourism industry. *Tourism Tribune*, 1998(5): 11-13. [魏小安. 关于旅游行业管理工作深化的体会. *旅游学刊*, 1998(5): 11-13.]
- [10] Zhu Xiaoxiang. Study on tourism resources and evaluation of ancient villages in China [D]. Zhengzhou: Henan University, 2005. [朱晓翔. 我国古村落旅游资源及其评价研究[D]. 郑州: 河南大学, 2005.]
- [11] Lu Jia. Study on classification, evaluation and development of tourism resources in low mountain and hilly area: Taking the hilly area of southwest Hunan as an example [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2013. [鲁佳. 低山丘陵区旅游资源分类、评价与开发研究: 以湘西南低山丘陵区为例[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.]
- [12] Hou Xiaofei. Study on the evaluation of tourism resources in Famous Historical and Cultural Villages in China [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2011. [侯晓飞. 中国历史文化名村旅游资源价值评价研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2011.]
- [13] Xie Yaqiu. Study on the optimization of tourism resources evaluation index system: Taking the evaluation of tourism resources around Chaohu Lake in Hefei as an example [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016. [谢雅秋. 旅游资源评价指标体系优化研究: 以合肥环巢湖地区旅游资源评价为例[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.]
- [14] Xu Chunxiao, Hu Ting. On value-estimating model and measurement of type-based weighting of cultural tourism resources. *Tourism Science*, 2017, 31(1): 44-56, 95. [许春晓, 胡婷. 文化旅游资源分类赋权价值评估模型与实测. *旅游科学*, 2017, 31(1): 44-56, 95.]
- [15] Qiu Fangdao, Wu Guanghe. A study on regional combination type and exploitation mode of natural resources in Gansu Province. *Arid Land Geography*, 2003, 26(4): 329-333. [仇方道, 伍光和. 甘肃省自然资源地域组合类型与开发模式

- 研究. 干旱区地理, 2003, 26(4): 329-333.]
- [16] Fang Youjun, Cheng Yushen, Zhou Min. Fuzzy-cluster-analysis-based method evaluation of regional tourism resource in Hangzhou. *Economic Geography*, 2007, 27(6): 1034-1036, 1041. [方幼君, 程玉申, 周敏. 基于模糊聚类的区域旅游资源条件评价: 以杭州市为例. *经济地理*, 2007, 27(6): 1034-1036, 1041.]
- [17] Wang Xiaode. Study on tourism resources evaluation and development model of Three Gorges Golden Tourism Belt [D]. Chongqing: Southwest University, 2007. [王孝德. 三峡黄金旅游带旅游资源评价与开发模式研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.]
- [18] Zhang Zhibin, Fan Fanghui. Fuzzy cluster analysis based evaluation of regional tourism resources and development countermeasures: A case study on Pinghang city. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(10): 182-187. [张志斌, 樊芳卉. 基于模糊聚类的区域旅游资源评价及开发对策研究: 以甘肃省平凉市为例. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(10): 182-187.]
- [19] Ma Ling. Comprehensive evaluation and analysis of tourism resources: A case study of Zhengning County, Gansu Province. *Developing*, 2009(5): 100-102. [马玲. 旅游资源的综合评价与分析: 以甘肃省正宁县为例. *发展*, 2009(5): 100-102.]
- [20] Sun Wen. Evaluation of County tourism resources and countermeasures of development: A case of Zhashui County in Shaanxi Province[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012. [孙文. 县域旅游资源评价及开发模式研究: 以陕西省柞水县为例[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.]
- [21] Zhao Jinjin. Study on spatial structure of tourism economy based on tourism transportation accessibility in Shandong Province. *Resource Development & Market*, 2016, 32(10): 1263-1268. [赵金金. 基于交通可达性的山东省旅游经济空间格局研究. *资源开发与市场*, 2016, 32(10): 1263-1268.]
- [22] Xu Hui, Yang Jieming, Yu Xiaoling. Spatial pattern of high quality tourism resources and the influence mechanism in Xinjiang. *Areal Research and Development*, 2016, 35(1): 96-101. [许辉, 杨洁明, 喻晓玲. 新疆优质旅游资源空间格局及影响机制. *地域研究与开发*, 2016, 35(1): 96-101.]
- [23] Chen Qinchang, Xia Lihui, Jiang Li, et al. Spatial pattern of the important tourism resources of the six provinces in Central China. *Journal of Central South University of Forestry & Technology(Social Sciences)*, 2017, 11(3): 63-68. [陈勤昌, 夏莉惠, 蒋莉, 等. 中部六省重要旅游资源赋存的空间格局分析. *中南林业科技大学学报(社会科学版)*, 2017, 11(3): 63-68.]
- [24] Jing Fengrui, Sun Hu, Yuan Chao. Spatial structure analysis of tourism resource attraction in Chengdu. *Resources Science*, 2017, 39(2): 303-313. [敬峰瑞, 孙虎, 袁超. 成都市旅游资源吸引力空间结构特征. *资源科学*, 2017, 39(2): 303-313.]
- [25] Zhu Litao, Su Huimin, Zhang Ping, et al. A Study on the spatial distribution of religious sites in Qinghai Province and the impact on tourism. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2018, 45(5): 625-633. [朱利涛, 苏惠敏, 张萍, 等. 青海省宗教场所旅游资源的空间格局及影响因素研究. *浙江大学学报(理学版)*, 2018, 45(5): 625-633.]
- [26] Tang Jianxiong, Liu Lianxin, Huang Jiangmei, et al. Analysis of tourism spatial structure and optimization strategy in Hainan Province. *Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences)*, 2017, 11(2): 42-48, 66. [唐健雄, 刘炼鑫, 黄江媚, 等. 海南省旅游空间结构分析与优化策略. *中南林业科技大学学报(社会科学版)*, 2017, 11(2): 42-48, 66.]
- [27] Department of Resource Development of State Bureau of Tourism Administration, Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences. *Criterion of General Investigation of Tourism Resource in China(Pilot Edition)*. Beijing: China Tourism Press, 1993. [国家旅游局资源开发司, 中国科学院地理研究所. 中国旅游资源普查规范(试行稿). 北京: 中国旅游出版社, 1993.]
- [28] Shao Qiwei. *China Tourism Dictionary*. Shanghai: Shanghai Dictionary Publishing House, 2012. [邵琪伟. 中国旅游大辞典. 上海: 上海辞书出版社, 2012.]
- [29] Ye Kangdan. Study on combination of tourism resource evaluation system [D]. Nanchang: Nanchang University, 2014: 29. [叶康丹. 组合体旅游资源评价体系研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2014: 29.]
- [30] Xi Jianchao, Ge Quansheng, Cheng Shengkui, et al. Tourism resource population: Conception, spatial structure, exploiting potentiality: A case study of the Han Buddhism temple tourism resource. *Resources Science*, 2004, 26(1): 91-98. [席建超, 葛全胜, 成升魁, 等. 旅游资源群: 概念特征、空间结构、开发潜力研究: 以全国汉地佛教寺院旅游资源为例. *资源科学*, 2004, 26(1): 91-98.]
- [31] Wang Zhanli, Li Jialin, Deng Junguo, et al. The grey compound evaluation on the tourism resource communities of Tanghe river valley. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2006, 21(3): 287-290, 295. [王占利, 李加林, 邓俊

- 国,等.唐河流域旅游资源群落的灰色组合评价.河北林果研究,2006,21(3):287-290,295.]
- [32] Chen Ying, Ye Chiyue. Evaluation of resources in regional tourism planning. *City Planning Review*, 2006, 30(4): 29-32. [陈鹰,叶持跃.略论区域旅游规划中的资源评价问题.城市规划,2006,30(4):29-32.]
- [33] Li Xuerui. Study on the classification and index system of tourism resources integrated evaluation [D]. Nanchang: Nanchang University, 2010: 20. [李雪瑞.旅游资源整合评价分类方法与指标体系研究[D].南昌:南昌大学,2010:20.]
- [34] Chen Ying. Study on evaluation system and methods of tourism resources: A case of Zhejiang Province, China [D]. Shanghai: Fudan University, 2006: 64-65. [陈鹰.旅游资源评价体系、方法与实证研究[D].上海:复旦大学,2006:64-65.]
- [35] Chen Ying, Huang Leichang, Wang Xiangrong. Ecological niche of tourism resources concentrative region in regional tourism planning. *City Planning Review*, 2007, 31(4): 37-41. [陈鹰,黄磊昌,王祥荣.区域旅游规划中旅游资源集合区生态位的研究.城市规划,2007,31(4):37-41.]
- [36] Chen Chuankang. Evaluation of the exploitation of the tourist resources in China: Some suggestions and measures to be taken. *Human Geography*, 1991, 6(2): 24-36. [陈传康.中国旅游资源的开发评价、途径和对策.人文地理,1991,6(2):24-36.]
- [37] Chen Ying, Ye Chiyue, Huang Leichang, et al. Assessment on the concentrative region of tourism resources combined loosely in geography: A case study of Xiangshan County of Zhejiang. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2008, 35(4): 475-480. [陈鹰,叶持跃,黄磊昌,等.低地域结合度旅游资源集合区的评价研究:以浙江省象山县为例.浙江大学学报(理学版),2008,35(4):475-480.]
- [38] Shen Huixian, Zheng Xiangmin. Discussion on matthew effect in the development of regional tourism and the reply of stakeholder: A case study of mount Tai Mu National Scenic Area. *Journal Beijing International Studies University*, 2008, 30(7): 66-70. [沈慧贤,郑向敏.论区域旅游发展中的马太效应与利益相关人的应对:以太姥山国家风景名胜區为例.北京第二外国语学院学报,2008,30(7):66-70.]
- [39] Yang Caigen. Study on tourism planning of suburban forest park Based on leisure tourism [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009: 48. [杨财根.基于休闲旅游的城郊森林公园旅游规划研究[D].南京:南京林业大学,2009:48.]
- [40] Wang Degang. Tourism resources and tourism landscape. *Tourism Forum*, 1998, 1(1): 11-14. [王德刚.旅游资源与旅游景观.旅游论坛,1998,1(1):11-14.]
- [41] Chen Xingzhong, Wang Minglin, Gan Mingfen. *Tourism Landscape Principles*. Chendu: Sichuan Science and Technology Publishing Press, 2002. [陈兴中,汪明林,干鸣丰.现代旅游景观学.成都:四川科学技术出版社,2002.]
- [42] A. Reichling, Wang Chao. The research object of comprehensive physical geography. *GeoJournal*, 1985(2): 16-18. [A.雷伊切林,王超.综合自然地理学的研究对象.地理译报,1985(2):16-18.]
- [43] Deng Min, Liu Wenbao, Feng Xuezhi. A generic model describing topological relations among area objects in GIS. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, 34(1): 85-90. [邓敏,刘文宝,冯学智. GIS 面目标间拓扑关系的形式化模型.测绘学报,2005,34(1):85-90.]
- [44] Liu Liu. Construction of knowledge graph of Jilin based on geographic ontology [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017: 49-50. [刘蓓.基于地理本体的吉林地域知识图谱的构建[D].北京:北京交通大学,2017:49-50.]
- [45] Gruber T R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 1993, 5(2): 199-220.
- [46] Zhan Jinfeng, Yang Bin, Li Maojiao, et al. Definition scope of arid valley in the upper reaches of Minjiang river based on GIS and geographic ontology. *Geography and Geo-Information Science*, 2015, 31(2): 65-69, 127. [詹金凤,杨斌,李茂娇,等. GIS 和地理本体在岷江上游干旱河谷范围界定中的应用研究.地理与地理信息科学,2015,31(2):65-69,127.]
- [47] Yang Bin. Research on the Application of Geographical Ontology in Digital Mountain and Digital Classification. Beijing: Geological Publishing Press, 2014. [杨斌.地理本体在“数字山地”及数字化分类中的应用研究.北京:地质出版社,2014.]
- [48] Hong Y, Kang M J, Li R J, et al. Tourism geography ontology model design and research of the Zhangjiajie instance. *Geography and Geographic Information Science*, 2016, 32(3): 95-99.
- [49] Moreno A, Valls A, Isern D, et al. Sigtire destination: Ontology based personalized recommendation of tourism and leisure activitie. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2013, 26(1): 633-651.
- [50] Sparks B A, Perkins H E, Buckley R. Online travel reviews as persuasive communication: The effects of content type, source, and certification logos on consumer behavior. *Tourism Management*, 2013, 39: 1-9.
- [51] Vicient C, Sánchez D, Moreno A. An automatic approach for ontology-based feature extraction from heterogeneous textualresources. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2013, 26(3): 1092-1106.

- [52] Zhang Yu, Wang Qi, Wu Wenzhou, et al. A weighted voronoi diagram-based retrieval approach for point-like toponym information. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(11): 1919-1926. [张宇, 王琦, 吴文周, 等. 点状地名信息的加权泰森多边形检索法. *测绘学报*, 2017, 46(11): 1919-1926.]
- [53] Zhao Renliang. Research on Voronoi diagram to calculation of spatial relationship [D]. Changsha: Central South University, 2002: 15. [赵仁亮. 基于 Voronoi 图的空间关系计算研究[D]. 长沙: 中南大学, 2002: 15.]
- [54] Alani H, Jones C B, Tudhope D. Voronoi based region approximation for geographical information retrieval with gazetteers. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, 15(4): 287-306.
- [55] Jones C B, Purves R S, Clough P D, et al. Modelling vague places with knowledge from the web. *International Journal of Geographical Information Science*, 2008, 22(10): 1045-1065.

Extracting the spatial boundary of tourism resource aggregation in Hainan Island based on the Voronoi model

ZHANG Tongyan^{1,2}, WANG Yingjie^{1,2}, ZHANG Shengrui³,
WANG Yingying⁴, YU Huboundary^{1,2,5}, WANG Kai¹

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information Systems, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Management, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China; 4. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; 5. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Tourism resources are the material condition for tourism development and the carrier and foundation of various tourism activities. In the last few years, great progress has been made in classification methods and evaluation theories for tourism resources. However, in the investigation and planning of tourism resources, scenic areas or large-scale geographic entities and small-scale entities are usually measured and compared under the same standard, without considering the spatial scale of tourism resources. For different scales of tourism geographic entities, the evaluation and planning of tourism resources are conducted using different methods. This paper proposes to identify the aggregation of tourism resources by grooming spatial units of tourism resources with different scales. Based on the concept cognition of tourism resource aggregation, we constructed an ontological model by establishing the spatial semantic relation and proposed a method to extract the spatial extent of tourism resource aggregation and classify its types. We chose Hainan Island as a case study to conduct empirical studies, construct three different types of tourism resource ontology using spatial semantics, and investigate spatial recognition in tourism resource aggregation using the Tyson polygon and buffer analysis methods. The results show that the approach can be widely applied to approximate the spatial boundary and relation of tourism resource aggregation, and the spatial semantic relationship of each type of aggregation is characterized by a tree-like hierarchical structure consisting of two levels, namely, polygonal and band-shaped spatial shapes. The spatial structure belongs to a composite landscape, which is mostly represented by the combination of mountains and water or mountains, water and biological landscape. This research method can provide a scientific basis for tourism planning and management.

Keywords: tourism resource aggregation; spatial boundary; spatial relation; semantic relation; ontology; Hainan Island