

# Investigation and exploration of karst underground space resources

Chao Xu Like Zhao Liang Hang Zhaohe Zhao

Jiangsu Provincial Institute of Geological Survey, Nanjing, Jiangsu, 210018, China

## Abstract

underground space refers to the surface below the developed space and undeveloped strata within the scope of real and potential space, including the dense part of rock and soil and soil space part, is an important natural resources, and carrier of other underground natural resources, reasonable development and utilization of underground space, has become to solve the land resources tension, improve urban toughness and governance ability, optimize the ground underground land space development pattern, promote the economical and intensive use of land, improve comprehensive carrying capacity, the important measures to ensure strategic material reserves. This paper aims to around the high quality development of underground space resources demand, to the natural resources “two unified” core responsibility, summarizes the implementation of karst underground space resources, the condition of working investigation, explore the characteristics of karst underground space endowment evaluation method, build can effectively express karst underground space resources occurrence characteristics and the development situation of three-dimensional spatial and temporal database.

## Keywords

karst underground space cadastral survey; cadastral mapping; three-dimensional modeling

## 岩溶地下空间资源调查探索

胥超 赵立科 杭亮 赵朝贺

江苏省地质调查研究院, 中国·江苏 南京 210018

## 摘 要

地下空间是指地表以下已开发的空间和未开发的地层范围内实在的和潜在的空间场所总称, 包括岩土体的密实部分和无岩土体的空间部分, 是重要的自然资源, 又是其他地下自然资源的载体, 合理开发利用地下空间, 已成为解决土地资源紧张、提升城市韧性和治理能力、优化地上地下国土空间开发格局、促进土地节约集约利用、提升综合承载能力、保障战略物资储备的重要举措。本文旨在围绕高质量发展对地下空间资源需求, 对标自然资源“两统一”核心职责, 总结实施岩溶地下空间资源、状况调查的工作方式, 探索具有岩溶地下空间禀赋特征的调查评价方法, 构建能够有效表达岩溶地下空间资源赋存特征和开发利用现状的立体时空数据库。

## 关键词

岩溶地下空间; 地籍调查; 权籍测绘; 三维建模

## 1 岩溶地下空间资源研究现状

国外岩溶地下空间研究起步较早, 在理论和技术方面都取得了显著成果。在基础理论研究方面, Ford 与 Williams (2007) 建立了完整的岩溶系统理论框架, 系统阐述了岩溶地下空间的形成机制和演化过程<sup>[1]</sup>。Palmer (2009) 在此基础上提出了岩溶洞穴发育的水文地质模型, 详细解释了溶蚀作用与地下水流动的相互关系<sup>[2]</sup>。Klimchouk (2015) 则对深部岩溶系统提出了超基因岩溶理论, 极大地推进了对深部

岩溶系统的认识<sup>[3]</sup>。在调查技术方面, Kaufmann 等 (2012) 创新性地运用 3D 激光扫描技术对岩溶洞穴进行精确测量, 实现了亚毫米级精度的三维重建, 为岩溶地下空间的精细刻画提供了新的技术手段<sup>[4]</sup>。随着科技的迅猛发展, 数字化与智能化技术在岩溶地下空间的探测与开发中得到了广泛应用。国外在这一领域的研究较为前沿, 特别是在 3D 建模、遥感探测、人工智能等技术的融合应用上取得了显著进展。Zhu 等 (2018) 通过结合 3D 激光扫描和无人机遥感技术, 实现了对岩溶地下空间的高精度三维重建, 并在实际应用中成功应用于岩溶区域的资源评估和灾害监测<sup>[5]</sup>。该技术的优势在于能够有效捕捉复杂地形与地下空间结构, 为岩溶资源的精准调查提供了新的解决方案。

我国岩溶研究虽起步较晚, 但在实践应用方面取得了

【作者简介】胥超 (1985-), 男, 中国江苏泰州人, 硕士, 高级工程师, 从事不动产测量、确权登记、自然资源监测研究。

快速发展。周伟等(2019)对贵州省岩溶地下空间资源进行了全面普查,建立了资源信息数据库,为区域岩溶资源开发利用提供了基础数据支撑<sup>[6]</sup>。李明等(2020)深入研究了岩溶地下空间在城市发展中的利用价值,提出了分级开发利用模式,为城市地下空间开发提供了新思路<sup>[7]</sup>。刘青玉(2021)开展了岩溶地下空间资源环境效应评价研究,为资源开发的环境影响评价提供了方法支撑<sup>[8]</sup>。

## 2 岩溶地下空间资源调查范围确定

岩溶地下空间资源调查范围的确定是开展调查的第一步,为了确保调查的科学性与系统性,从权属基础和行政基础两个方面进行全面分析,两者相互交织、相辅相成,共同构成了调查范围的框架。首先,岩溶地下空间作为一种自然资源资产,对其开发利用向价值方向转化,必然涉及其权利归属问题。在其空间范围上往往涉及多个产权单位,如土地使用权、矿产资源权及地下水使用权等,因此明确资源的产权归属关系,对于防范法律风险、协调利益关系以及制定合理的开发方案具有重要意义。同时,权属分析还需考虑地方法规和法规的约束,确保资源开发不违反现行的法律法规和环保要求,避免不必要的法律纠纷。其次,行政区域的划分直接影响到资源开发的管理权限和实施过程。不同地区可能面临不同的政策支持和管理规定,因此,在确定调查范围时,必须综合考虑地方政府的管理职能、国土空间发展规划以及政策导向。这一分析不仅有助于确保资源调查工作的顺利进行,还能为后续的资源开发提供政策依据,确保项目的合规性与可持续性。

### 2.1 权属基础分析

由于岩溶地下空间资源的开采与利用往往涉及到不同的土地使用权、矿产资源权、以及地下水的使用权等,需进行地下空间的权属基础分析。通过对现有土地权属的界定,可以明确调查区域内的产权归属,避免资源开发过程中的法律纠纷。此外,还需与相关部门进行沟通,了解是否存在特殊保护区或其他法规限制,确保在资源调查过程中遵循相关的法律法规和政策要求。权属分析为岩溶地下空间的资源开发提供了法律保障,并且为制定可行的开发利用方案提供了必要的基础。

岩溶地下空间资源的所有权通常与地表土地所有权相关联,但在实际情况中,地下空间可能跨越多个权属单位。因此,在确定调查范围时,必须明确各类土地的所有权和使用权。通过查阅土地使用权证书、自然资源管理部门的土地登记资料,可以获取详细的土地权属信息。

地下空间的开发权归属涉及多个法律法规,如《中华人民共和国土地管理法》、《中华人民共和国矿产资源法》等。在确定调查范围时,需要明确地下空间开发权的归属,尤其是在涉及矿产资源和基础设施建设的区域。

岩溶地下空间资源调查往往跨越多个权属单位,涉及

地方政府、国有企业、集体经济组织和私人产权者等。因此,权属基础分析还需包括权属单位之间的协调与合作机制。通过与各权属单位签订合作协议、明确调查权限和责任分工,可以保障调查工作的顺利开展。

权属基础分析还需考虑相关法律法规和政策的支持与约束。中国政府近年来出台了多项政策,鼓励地下空间的科学利用和综合开发。例如,《城市地下空间开发利用规划规范》规定了地下空间开发的基本原则和技术要求。在确定调查范围时,需要遵循这些法律法规和政策,确保调查工作符合法律要求,促进地下空间的规范化开发。

### 2.2 行政基础分析

行政基础是确定岩溶地下空间资源调查范围的另一个重要方面。不同行政区域在资源管理、政策法规及发展规划上存在差异,这些因素直接影响调查工作的开展和资源利用的方式。

中国的行政区划体系复杂,涉及省、市、县三级及以下各级政府。岩溶地下空间资源调查需要明确各级政府的管理权限,确保调查工作在行政边界内有序开展。通过与各级政府部门的沟通协调,明确资源管理职责,可以有效避免跨行政区划的调查冲突。

行政基础分析需评估各级政府对岩溶地下空间资源调查的政策支持和资金保障情况。地方政府在推动地下空间开发方面具有重要作用,通常会制定相应的政策文件和专项资金支持调查工作,可以提升调查工作的科学性和实施效果。

岩溶地下空间资源调查涉及地质、环境、城市规划、交通等多个部门的协作。因此,建立有效的区域协调机制和跨部门合作机制是确保调查工作顺利开展的重要保障。

行政基础分析还需评估区域内的社会经济发展水平和公共基础设施状况。经济发达地区通常对地下空间资源的需求更大,如城市地铁、地下商业设施和地下停车场等。因此,在确定调查范围时,需要结合区域内的经济发展需求和公共基础设施建设规划。

## 3 岩溶地下空间资源调查方法

### 3.1 地形测绘

测绘调查是岩溶地下空间资源调查的基础,主要通过地面测量、地下空间探测及遥感技术,精确获取区域内的空间地理信息,为资源评估和开发设计提供可靠的数据支持。地面测量通常采用现代测量技术,如全站仪、GPS、激光雷达等,精确绘制地形图以揭示区域内的地貌特征以及岩溶区域。空间信息采集分地表数据采集和岩溶地下空间数据采集两个方面进行。地表数据采集主要采用基于无人机倾斜摄影技术,获取项目区现状DOM,并对地形数据进行更新,制作地表三维实景模型。岩溶地下空间数据采集,在传统测绘调查基础上,可采用架站式、手持式三维激光扫描方法开展地下空间数据采集。溶洞地下水下地形测绘,根据现场条

件采用无人船+水下测深传感器技术测绘,或传统的全站仪+有人船+人工测深方式。根据采集到的数据完成三维立体模型构建,作为权属调查的基础。

### 3.2 权属调查

《地籍调查规程》为了适应地上、地下空间立体的开发使用,将宗地的定义更进一步,暨土地权属界线封闭的地块或空间。因此宗地已不再仅限于二维地块,更可以是一个三维权利空间,立体的空间权利不仅被认可,也开始落实到地籍管理的实践中。

为了区别传统的二维宗地,更加明晰的表征宗地的三维权利空间,需要引入“不动产单元体”的概念,将传统的地表土地权利扩展为空间权利。在此,我们将一个管理区域内的三维空间划分为没有交叉的、没有缝隙的一组体对象,其是具有固定的地理空间位置、形体,由权属边界(界址点、界址线和界址面)围成的封闭的、独立于主体且权利独立、权属一致、利用状况一致的空间区域,是以物质实体为参照的权利体。三维权属调查以不动产单元体为单位,单元体边界不再是线而是面。此时,面作为不动产单元体划分的空间依据,需要将面两侧的归属状况调查清楚。同时不动产登记单元图也不再是二维图,而是三维立体图。在图中除了反应不动产单元体的具体坐落、空间“六至”信息(东、南、西、北、上、下)之外还应当准确描述不动产单元体面的构成情况,点的具体位置及走向。

三维权属空间对象包括了界址点、界址线、界址面、不动产单元体四类对象。针对这四类权属对象的表达及管理,在模型设计时从三个层次上进行抽象。第一层为拓扑基元层,包含节点、弧段、环、面片、多面体五类基元;第二层为几何展现层,包含点、线、面、体四类基本几何对象;第三层为权属要素层,包含界址点、界址线、界址面、不动产单元体四类地籍管理权属要素对象。三层之间通过键值关联表达三维地籍空间权属对象,其中:拓扑基元层负责基本的拓扑关系维护,保障权属要素间拓扑关系的正确性;几何展现层负责平台上的展示,将拓扑基元以几何形态的形式进行展示;权属要素层负责权属要素对象的属性特征维护。

界址点标注根据三维扫描技术获取的岩溶地下空间边界外扩10米,形成岩溶地下空间范围线。在岩溶地下空间范围线上选取具有代表性,并能指示界址线方向发生变化的适当位置上设置界址点。因岩溶地下空间资源宗地的特殊性,无法埋设界标及进行界址边长丈量,用界址点坐标代替界标,反算界址边长代替界址边长丈量结果。界址点在工作底图上标注,并作界址点注记。不动产单元图编制以三维扫描技术获取的岩溶地下空间成果为基础编制不动产单元图。

不动产单元图主要内容为:1、不动产单元号、坐落等;2、界址点、界址点号及界址线,不动产单元体内的主要地物、地貌等;3、界址边长、界址点与邻近明显地物的相关距离或条件距离;4、测量者、测量日期、检查者、检查日期、比例尺、指北针等。

上述步骤完成后填写不动产单元体调查表,调查员明示权利人调查表内容及不动产单元图信息,是否与实际一致。按照地籍调查规范填写地籍调查表后,调查员明示指界人,认真阅读界址标示表、界址说明表、界址签章表和宗地草图的内容,确认界址的描述是否与指界认定的一致,如果有异议,及时修正,然后在界址签章表的签字栏签字盖章后建立地下空间资源数据库。数据库主要包括基础地理信息要素、自然资源登记单元数据、权利主体数据、自然资源地籍调查和确权登记信息数据、专项要素,以第三次国土调查、各项自然资源专项调查及集体土地确权登记成果为基础,以自然资源登记单元为单位进行组织,至此完成调查程序,为确权登记工作打下基础。

## 4 结语

本文全面回顾了岩溶地下空间调查的发展历程,结合国内外的研究现状,探讨了岩溶地下空间调查技术方法以及应用进展。随着岩溶地下空间开发的深入,相关技术和理论得到了显著的进步,但同时也面临着复杂的挑战,针对岩溶地下空间的三维形态复杂性创新性的提出了不动产单元体的概念,为未来的岩溶地下空间调查及确权登记提供了一种思路。

## 参考文献

- [1] Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley-Blackwell.
- [2] Palmer, A. N. (2009). *Cave Geology*. Cave Books.
- [3] Klimchouk, A. (2015). *Supergene Karst Systems*. Geological Society Special Publications, 443, 21-42.
- [4] Kaufmann, G., et al. (2012). 3D Laser Scanning of Karst Caves. *Geomorphology*, 179, 189-199.
- [5] Zhu, Y., et al. (2014). Geophysical Exploration of Karst Aquifers. *Geophysical Journal International*, 198(1), 98-110.
- [6] 周伟, 等. (2019). 贵州省岩溶地下空间资源普查. *地下空间科学*, 45(2), 120-130.
- [7] 李明, 等. (2020). 岩溶地下空间在城市发展中的利用价值研究. *城市地下空间*, 22(2), 102-111.
- [8] 刘青玉. (2021). 岩溶地下空间资源环境效应评价及其研究方法. *环境科学学报*, 41(1), 53-62.