

doi: 10.12097/gbc.2023.11.001

基于自然资源统一管理的地表基质模型、分类及调查研究

裴小龙^{1,2}, 祝晓松^{1*}, 冯欣¹, 刘航¹, 俞伟渭³, 吴桐¹, 倪舒博¹

PEI Xiaolong^{1,2}, ZHU Xiaosong^{1*}, FENG Xin¹, LIU Hang¹, YU Weiwei³, WU Tong¹, NI Shubo¹

1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000;

2. 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室, 北京 100055;

3. 浙江大学地球科学学院, 浙江 杭州 310007

1. Langfang Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China;

2. Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Beijing 100055, China;

3. School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310007, Zhejiang, China

摘要: 基于自然资源统一管理的需要, 自然资源部提出了“地表基质”的概念, 并组织开展典型地区地表基质试点调查工作。目前, 地表基质三级分类体系仍未形成统一认识和标准, 严重制约着地表基质数据调查、野外填图、成果应用等工作。鉴于此, 通过辨析地表基质内涵, 明确了地表基质的理论意义和应用价值, 综合考虑国土城镇空间、生态空间和农业空间规划的数据利用需求, 建立了基于调查-分类-应用的地表基质垂向空间层次模型, 可实现与岩石、砾质、土质、泥质 4 类地表基质数据的有机结合, 进而提出三级分类体系方案。该方案以《地表基质分类方案(试行)》二级类型为基础, 与现有分类体系充分衔接, 并以现有的研究基础和现行技术标准为依据, 在命名上遵守自然科学术语从先的惯例, 通过科学编号, 形成具有科学性、统一性、操作性、应用性和规范性的三级体系, 具有应用的可行性, 可为开展地表基质理论研究和调查应用提供借鉴和参考。

关键词: 自然资源统一管理; 地表基质; 三级分类; 模型; 国土空间规划; 地质调查工程

中图分类号: P622^{+.1}; P96 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2024)09-1530-14

Pei X L, Zhu X S, Feng X, Liu H, Yu W W, Wu T, Ni S B. Research on ground substrate modeling, classification and survey based on unified management of natural resources. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(9): 1530-1543

Abstract: Based on the needs of unified management of natural resources, the Ministry of Natural Resources of China has put forward the concept of "ground substrate" and has organized a pilot survey of surface substrate in typical areas. At present, the three-level classification system of ground substrate has not yet formed a unified understanding and standard, which seriously restricts the work of ground substrate data investigation, field mapping and application of results. In view of this, this paper clarifies the theoretical significance and application value of ground substrate by analyzing the connotation of ground substrate, comprehensively considers the data utilization needs of national urban space, ecological space and agricultural spatial planning, and establishes a spatial hierarchy model of ground substrate based on survey-classification-application, which can realize the organic combination with four types of ground substrate data: rock substrate, gravel substrate, soil substrate and mud substrate, and then proposes a three-level classification system scheme. Based on the secondary type of the *Ground Substrate Classification Scheme*, this scheme is fully connected with the existing classification system, and based on the existing research basis and current technical standards, it abides by the convention of natural science terminology in naming, and forms a scientific, unified, operational, applicable and normative three-level system

收稿日期: 2023-11-01; 修订日期: 2024-04-25

资助项目: 自然资源综合调查指挥中心科创基金项目《黑河下游地下水-土壤-植被相互作用及生态效应研究》(编号: KC20220010)、中国地质调查局项目《辽河平原梨树黑土脆弱区 1: 5 万地表基质调查》(编号: DD20242037)

作者简介: 裴小龙 (1988-), 男, 硕士, 工程师, 从事生态地质方面的研究。E-mail: 457934728@qq.com

* 通信作者: 祝晓松 (1988-), 男, 工程师, 从事生态地质和矿产地质方面的研究。E-mail: 986671669@qq.com

through scientific numbering, which has the feasibility of application and can provide reference for the theoretical research and investigation and application of ground substrate.

Key words: unified natural resources management; ground substrate; three-level classification; modelling; territorial spatial planning; geological survey engineering

生态文明建设的不断深入和推进对新时代自然资源管理提出了更高要求(黄勤等, 2015; 黄贤金, 2019)。要以自然资源科学和地球系统科学为理论基础, 不断加强自然资源系统性和整体性认识, 统筹山水林田湖草系统治理, 健全完善国家自然资源管理体制, 组建自然资源部, 实行“两统一”职责, 加快建立“自然资源统一调查、评价、监测制度”(常新等, 2018; 葛良胜等, 2020; 陈军等, 2022)。2020 年 1 月, 自然资源部(2020a)发布的《自然资源调查监测体系构建的总体方案》(以下简称《总体方案》)构建了自然资源三层分类模型, 并首次提出了“地表基质”的概念。该概念的提出是自然资源科学理论和管理实践相结合的创新成果。它以地球系统科学和自然资源学为理论基础, 以自然资源管理为服务对象, 重构现有自然资源分类体系, 着力解决概念交叉、层级不清、数据混乱等问题(姚晓峰等, 2022; 祝晓松等, 2023; 袁国礼等, 2023), 如地球系统科学中的“地球关键带”、地质学中的“松散沉积物”、农学中的“土壤”等概念的混用问题。地表基质调查是自然资源统一调查监测体系中一项基础性和战略性工作, 而地表基质分类又是该项工作开展的基础和前提(殷志强等, 2020; 葛良胜等, 2022)。2020 年 12 月, 自然资源部(2020b)发布《地表基质分类方案(试行)》(以下简称《分类方案》)。该方案针对构成地表基质的主体物质进行分类, 提出岩石、砾质、土质和泥质 4 类三级体系。作为开展全国地表基质调查工作的指引和基础, 《分类方案》明确将地表基质划分为岩石、砾质、土质、泥质 4 个一级类和 14 个二级类, 但对三级分类仅提出参考建议, 缺乏明确的分类方案。殷志强等(2020)建议分类体系应考虑地表基质理化性质、地质景观属性等, 并提出四级分类方案。刘清俊等(2023)以岩性、主要矿物、风化物及成因作为分类指标, 提出了三级分类方案。可见, 目前地表基质调查技术标准尚未建立, 三级分类体系仍处于探索阶段, 尚未形成统一的认识(孙禧勇等, 2022; 张凤荣, 2023)。这导致地表基质调查在填图工作中, 因专业技术人员的专业背景、研究方向、研究程度等不同, 三级分类出现标准不统一等问题。

因此, 基于自然资源统一管理的需要, 构建科学可行的地表基质三级分类体系是完善自然统一调查监测体系中的一项重要性和紧迫性工作(郝爱兵等, 2020; 张凤荣, 2021)。

浙江省宁海县位于中国南方亚热带典型红壤区, 区内植被茂盛, 岩石风化和土壤形成速率高(杨金玲等, 2013), 地表基质形成作用过程复杂, 空间分层特征明显, 在该区开展地表基质调查研究具有典型性和代表性。因此, 本文基于自然资源统一管理的需要, 剖析了“地表基质”概念提出的历史背景, 对地表基质与其他学科的相近概念进行了辨析, 明确了地表基质的科学内涵和研究价值, 创新性地建立了基于调查-分类-应用的地表基质垂向空间层次模型, 综合考虑国土“三区”空间规划的数据支撑需求, 提出了三级分类体系方案, 并以浙江省宁海县地表基质调查为例, 对三级分类方案进行应用研究, 旨在为典型地区开展地表基质调查研究提供借鉴和参考。

1 地表基质内涵辨析

1.1 地表基质科学内涵

《总体方案》首次提出“地表基质”概念, 并将其定义为地球表层孕育和支撑森林、草原、水、湿地等各类自然资源的基础物质。该定义明确了地表基质的空间属性、功能属性和资源属性特性。“地球表层”体现了其空间属性, “孕育和支撑”体现了其功能属性, “基础物质”体现了其资源属性。《分类方案》对地表基质的定义进行了拓展和丰富, 将“地表基质”定义为: 当前出露于地球陆域地表浅部或水域水体底部, 主要由天然物质经自然作用形成, 正在或可以孕育和支撑森林、草原、水等各类自然资源的基础物质。该定义对其空间属性的出露位置进行了限定, 丰富了其自然属性和形成过程, 特指“主要由天然物质经自然作用形成”。可见, 地表基质是覆盖在地球浅表, 由地质作用和自然环境演化共同作用形成的基础物质, 具有维系地球生态系统功能和人类生存的功能。

1.2 地表基质概念辨析

地表基质是基于自然资源统一管理的需要而提

出的概念,对其概念的理解与辨析是开展地表基质工作的关键和前提(葛良胜等,2022)。从空间属性看,地表基质出露地球表层浅部,处于岩石圈、土壤圈、水圈、生物圈、大气圈层等相互作用最频密的空间,是多门类自然资源之间相互作用和密切联系的纽带。从功能属性看,地表基质指具有孕育和支撑各类自然资源的能力,是维系地球生态系统功能和人类生存的物质基础。从资源属性看,地表基质是由天然物质形成的基础物质,强调自然属性和资源特征。

在概念上应注重与相近词义的辨析,避免造成调查内容和数据的混乱,如地球系统科学中的“地球关键带”、地质学中的“第四纪沉积物”、林草学中的“立地条件”、土壤学中的“土壤”等(丁国瑜等,1964;刘占锋等,2006;安培浚等,2016;钱凤魁等,2016)(表1)。从表1可知,各个概念都是基于学科研究的需要而提出的,研究对象视领域不同有所侧重,尤其体现在研究对象的空间位置上(图1)。地表基质在功能上与土壤更具相似性(葛良胜等,2023),但比土壤研究范围更广,可以更全面地表征赋存在地球表层的物质,体现地表物质演化过程的系统性和空间异质性(许炯心,1997;陈玉福等,2003)。

2 地表基质垂向空间层次模型

2.1 地表基质垂向空间层次模型构建

为实现自然资源的精细化描述和综合性管理,自然资源管理部门构建了自然资源分层分类模型,地表基质层作为该模型的第一层起着重要的基础支撑作用(图2)。根据上文对地表基质概念及内涵解读可以看出,地表基质层具有其空间属性,在垂向上

具有明显的分层、分带特征,这与土壤的分层特征具有相似性(李保国等,1998)。王敦领等(1988)认为,模型是从现实世界中抽象出来的概念,简化自然界以便更好地了解它。因此,基于理论研究和实践应用需求,参照土壤层次模型(洪棉棉等,2008;王纪杰等,2011),结合地表基质空间特征,构建地表基质层次模型,包括土壤层、沉积层和基岩层(图2)。

土壤层一般位于地表基质最上层,是一层具有有机质成分的松散岩石层,由各种颗粒状矿物质、有机物质、水分、空气、微生物等组成,对其研究参照土壤学、生态学等。沉积层一般位于土壤层下部,上临界面为土壤层的最下部,下临界面为新鲜基岩的最上部,由一层全部脱离母质岩石的全风化层(而非形成土壤)、半风化层和微风化层组成,这与地质学的概念一致。基岩层位于地表基质的最底层,是沉积层之下完整的岩石,其底界应与地球关键带保持一致,其研究主要参照地质学等。

2.2 地表基质调查对象

地表基质是自然资源科学管理、国土空间规划的重要支撑,地表基质的调查对象和内容要以服务管理需求为目标(林坚等,2018;张雪飞等,2019;岳文泽等,2020)。从学科看,地表基质是一个创新概念,因此在研究对象、调查内容、调查技术、成果应用等方面要尽量做到与其他学科的紧密结合和无缝衔接,这与《总体方案》关于做好衔接调查指标与技术规程的要求一致。本文提出的地表基质分层模型可以很好地解决农业、生态和城镇空间的数据支撑问题,实现与岩石、砾质、土质、泥质4种地表基质类型数据的有效结合(图3)。

表1 地表基质相近概念辨析

Table 1 Identification of similar concepts in the ground substrate

名称	所属学科	特征	功能属性	空间属性
地球关键带	地球系统科学	指岩石圈、水圈、土壤圈、生物圈和大气圈五大圈层交汇的异质性区域	供给资源产品、支持物质和能量的循环和流动、调控自然生境等	从未风化基岩面到植被冠层的连续体域
第四纪沉积物	地质学	呈松散状态沉积的物质,具有较大孔隙	记录环境变迁和地质事件、成壤作用形成土壤等	在山丘、丘陵及剥蚀平原的地表
立地条件	林草学	自然环境因素的总和,包括地形、土壤、水文、生物、人为活动等环境因素等	水源涵养、水土保持、生物多样性保护等	土壤层至大气圈层的环境空间
土壤	土壤学	陆地表面由岩石风化和有机物分解形成	保持水分、供给植物养分、调节气候和环境等	陆地表疏松层
地表基质	自然资源学	出露于地球陆域地表浅部或水域水体底部,具有岩石、砾质、土质、泥质等特征	孕育和支撑自然资源	范围覆盖固体地球表面,包括陆域和海域全部国土空间

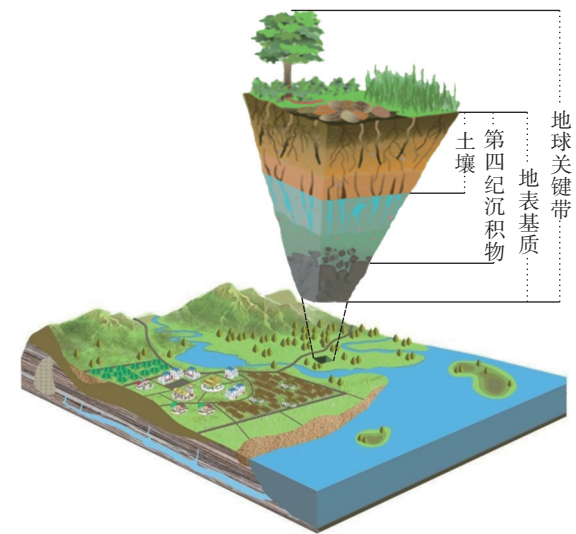


图 1 地表基质与相近概念空间关系示意图

Fig. 1 Schematic representation of the spatial relationship between the ground substrate and the similar concepts

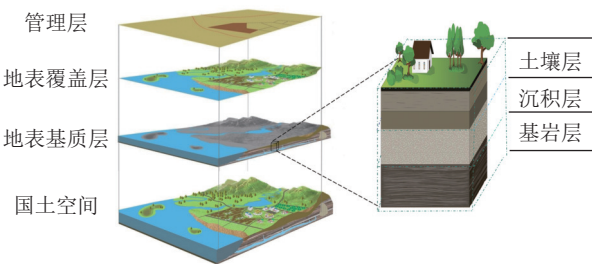


图 2 地表基质垂向空间层次模型

Fig. 2 Spatial layered model of the ground substrate

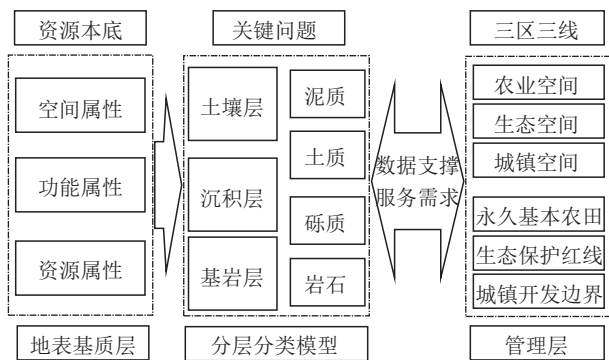


图 3 地表基质模型逻辑框架

Fig. 3 Logical framework of the ground substrate model

农业空间指以农业生产为主体的功能空间, 主要包括永久基本农田、一般农田等农业生产用地及其他用地。因此, 农业空间应重点调查土壤层部分, 调查对象主要是土质和泥质类基质, 调查内容要与“第三次土壤普查”衔接, 主要包括土壤类型、性状、立地条件、利用状况等(国务院, 2022)。生态空间指

以提供生态服务或生态产品为主的功能空间, 包括森林、草原、湿地等, 在各类生态系统中, 生物群落与环境之间不断进行着物质交换和能量流动。沉积层作为地球关键带中联系上层土壤和下层新鲜基岩的过渡带, 是生态系统、风化过程、景观演化和流域水文学的关键组成部分, 在环境中具备重要的水文、生态和生物化学功能, 相关研究也逐渐证实了沉积层在陆地生态系统循环中的关键作用(安培浚等, 2016; 骆占斌等, 2022)。因此, 在生态空间应重点调查沉积层及以上部分, 调查对象主要是砾质、土质、泥质类基质, 调查内容主要包括地表基质类型、分布、结构、理化和生物性状、水文条件、生态景观属性等。城镇空间是以城镇居民生产、生活为主体功能的国土空间, 包括城镇建设空间、工矿建设空间及其他开发建设空间。因此, 在城镇空间开展地表基质调查工作, 应以解决工程地质问题为出发点, 注重查明工程地质条件, 调查深度应以基岩层及以上为主, 调查对象主要为岩石、砾质和土质类基质, 调查内容主要包括地表基质类型、分布、结构、理化性质、工程地质条件等(张永蕾等, 2021; 周侃等, 2021)。

3 地表基质三级分类体系

3.1 调查、模型与分类

地表基质调查是基于空间模型的建立而进行数据收集的, 而数据资料的收集也是建立和优化模型的过程, 地表基质分类又是体现数据体系性、科学性和完整性的重要环节。调查、模型、分类是实现地表基质数据科学性的重要过程。本文提出的地表基质层次模型有效实现了与岩石、砾质、土质、泥质 4 种地表基质类型数据结合, 在应用层面, 可为国土“三区”空间提供数据支撑。岩石类、砾石类地表基质要注重对城镇空间规划的数据支撑, 砾石类、土质类、泥质类地表基质要注重对生态空间规划的数据支撑。因此, 地表基质三级分类应在地表基质分层模型基础上, 充分考虑数据的应用价值, 对不同类型地表基质其分类依据应有所不同。

3.2 分类原则

主要包括: ①科学性。科学分类是地表基质调查的基础, 分类方案要以信服的科学依据为支撑(彭令等, 2022), 应以现有的研究基础和现行技术标准为依据, 如《岩石分类和命名方案》(GB/T 17412.1.2.3—1998)和《中国土壤分类与代码》(GB/T 17296—

2009)等标准,要保持分类体系的系统性、完整性和科学性。②统一性。三级分类方案应以《分类方案》提出的二级分类方案为基础,注重与现行概念分类的衔接和统一,尽可能与传统习惯用法一致,遵守自然科学术语从先的惯例(陈国光等, 2020)。③操作性。分类是野外填图的前提,分类力求简明和通俗易懂,避免概念晦涩难懂和发生歧义,尽量做到见名便知其意,符合自然界的联系,具有可操作性。④应用性。地表基质是基于管理的需要提出的,要以支撑管理服务的理念进行类型划分,切勿过度追求学术上的科研意义,而忽略管理需要的实际应用。

3.3 三级分类体系

3.3.1 岩石类

岩石是天然产出的具有一定结构构造的矿物集合体,少数由天然玻璃或胶体或生物遗骸组成,位于

地表基质分层模型的基岩层,其数据主要用于支撑国土生态和城镇空间规划。研究认为,岩石是地表基质衍生的物质基础,地质建造是地质环境的物质载体(贾磊等, 2022),不同类型地质建造的土壤地球化学、地貌景观、工程岩组、水文地质等基准特征和发育规律明显不同,而同类建造具有相似的地质环境基准特征(Hahm et al., 2014; Lukasz et al., 2016; 王京彬等, 2020)。因此,岩石基质三级分类应以地质分类为基础,以地质建造类型为依据,兼顾地质属性和工程条件特征,注重岩石风化成土过程,并进行科学简化。主要以《火成岩沉积岩变质岩岩石分类和命名方案》(GBT17412.1.2.3—1998)等标准为依据,从岩性组合的角度,可将火成岩三级类型划分为 6 类基质,沉积岩划分为 5 类基质,变质岩划分为 4 类基质(表 2)。

表 2 岩石三级分类
Table 2 Three-level classification of rock substrate

一级类		二级类		三级类	
编号	名称	编号	名称	描述	描述
A	岩石	A1	火成岩	是由岩浆喷出地表或侵入地壳冷却凝固形成的岩石	A11 酸性岩类 SiO ₂ 含量为63%~75%
					A12 中性岩类 SiO ₂ 含量为52%~63%
					A13 基性岩类 SiO ₂ 含量为45%~52%
					A14 超基性岩类 SiO ₂ 含量小于45%
					A15 碱性岩类 指富含碱性矿物的火成岩
					A16 火山碎屑岩类 火山喷发所产生的各种碎屑物质经过短距离搬运或沉积形成的岩石
		A2	沉积岩	在地壳表层条件下,母岩经风化作用、生物作用、化学作用和某种火山作用的产物,经搬运、沉积形成成层的松散沉积物,而后固结而成的岩石	A21 陆缘碎屑岩类 沉积物经过风化、侵蚀、运输等过程,在陆缘区域沉积形成的岩石类型
					A22 泥质岩类 主要由粘土矿物所组成的沉积岩石
					A23 蒸发岩类 由湖盆、海盆中的卤水经蒸发、浓缩,盐类物质依不同的溶解度结晶而成化学沉积岩
					A24 碳酸盐岩类 由方解石、白云石等自生碳酸盐矿物组成的沉积岩
					A25 特殊岩类 包括铝质岩、铁质岩、锰质岩、磷质岩、硅质岩等内源沉积岩,系指组成岩石的沉积物是由生物、化学和生物化学作用形成
		A3	变质岩	在变质作用条件下,由地壳中已经存在的岩石变成的具有新的矿物组合及变质结构与构造特征的岩石	A31 长英质变质岩类 由长英质岩石在高温高压下发生变质作用形成的岩石类型
					A32 泥质变质岩类 指由原始沉积岩(如泥岩、页岩等)在经变质作用,具有细粒、片理、层理等特点的岩石
					A33 基性变质岩类 指由基性岩经过变质作用形成,具有细粒、块状晶粒、片理等特点的岩石
					A34 钙质变质岩类 指由富含钙的岩石经变质作用而形成的一种新的岩石

3.3.2 砾质类

砾质是由地表岩石经风化、搬运、沉积作用后形成的岩石碎屑物、矿物碎屑物或二者的混合物,且砾体积含量大于或等于 75%,位于分层模型中的沉积层。在地表基质分类中,将大于 2 mm 的矿物颗粒称为砾(张甘霖等,2013),砾广泛存在于地表基质层中,主要在土壤层下部的沉积层中大量出现,而某些地区的地表层也会出现大量砾石(李燕等,2006)。研究发现,地表基质中的砾大小、含量和形态的 3 种属性特征对降雨径流、土壤侵蚀、水文循环有着重要的影响(李燕等,2006;符素华等,2010),进而影响农业生产、土地退化、生态保护等资源环境问题。因此,在砾质分类时,需要充分考虑砾粒的 3 种主要属性特征。二级分类时,以砾粒的大小和含量作为分类依据,将其分为巨砾、粗砾、中砾、细砾 4 类。三级分类时,综合考虑分类原则的可操作性和实用性,以及砾对资源环境的主要影响因子。本文提出以砾的形态作为分类依据,包括棱角状、次棱角状、亚圆状、圆状 4 种形状,划分成具有不同粒径、含量和形态的 16 种砾质(表 3)。

3.3.3 土质类

土质是指由不同粒级的砾(体积含量<75%)、

砂粒和粘粒按不同比例组成的地球表面疏松覆盖物,主要起孕育森林、草原、农作物等资源的作用,位于分层模型中的土壤层。根据土质的定义可知,土质是由不同粒径的矿物颗粒按不同级配混合形成的多元类型基质,其功能与土壤近乎一致。因此,对土质进行划分时,要以《中国土壤质地分类》作为重要参考和依据(邓时琴,1986;吴克宁等,2019),并结合土壤层数据对国土“三区”空间规划的支撑需求。基于科学性和统一性的分类原则,本文提出,土质二级和三级分类应以土粒级配为依据,将土质的二级划分为粗骨土、砂土、壤土和粘土 4 类,三级划分为 15 种基质(表 4)。

需要说明的是:①颗粒组成问题(表 5)。《分类方案》提出分类依据的颗粒组成包括砾粒、砂粒、粘粒 3 种。1987 年拟定的中国土壤质地分类中,颗粒组成包括砂粒、粗粉粒和细粘粒 3 种。考虑到粗骨土是重要的土质基质,并基于分类的统一性原则,本文提出颗粒组成中应考虑砾粒和粗骨粒。同时建议将粘粒替换为细粘粒,划分土质的颗粒组成应包括砾粒、粗骨粒、砂粒、粗粉粒和细粘粒 5 种。②粒径占比问题(表 6)。考虑到砾粒粒径的特殊性,与其他

表 3 砾质三级分类

Table 3 Three-level classification of gravel substrate

一级类		二级类		三级类			
编号	名称	编号	名称	描述	编号	名称	描述
B	砾质	B1	巨砾	巨砾体积含量 $\geq 75\%$	B11	棱角状巨砾	具尖锐的棱角, 棱线向内凹进
					B12	次棱角状巨砾	棱和角均稍有磨蚀, 但仍清晰可见
					B13	亚圆状巨砾	棱角有明显的磨损, 棱线略有向外凸出, 但原始轮廓还清晰可见
					B14	圆状巨砾	棱角已经全部磨损消失, 棱线向外突出呈弧状, 原始轮廓均已消失
		B2	粗砾	粗砾体积含量 $\geq 75\%$	B21	棱角状粗砾	具尖锐的棱角, 棱线向内凹进
					B22	次棱角状粗砾	棱和角均稍有磨蚀, 但仍清晰可见
					B23	亚圆状粗砾	棱角有明显的磨损, 棱线略有向外凸出, 但原始轮廓还清晰可见
					B24	圆状粗砾	棱角已经全部磨损消失, 棱线向外突出呈弧状, 原始轮廓均已消失
		B3	中砾	中砾体积含量 $\geq 75\%$	B31	棱角状中砾	具尖锐的棱角, 棱线向内凹进
					B32	次棱角状中砾	棱和角均稍有磨蚀, 但仍清晰可见
					B33	亚圆状中砾	棱角有明显的磨损, 棱线略有向外凸出, 但原始轮廓还清晰可见
					B34	圆状中砾	棱角已经全部磨损消失, 棱线向外突出呈弧状, 原始轮廓均已消失
		B4	细砾	细砾体积含量 $\geq 75\%$	B41	棱角状细砾	具尖锐的棱角, 棱线向内凹进
					B42	次棱角状细砾	棱和角均稍有磨蚀, 但仍清晰可见
					B43	亚圆状细砾	棱角有明显的磨损, 棱线略有向外凸出, 但原始轮廓还清晰可见
					B44	圆状细砾	棱角已经全部磨损消失, 棱线向外突出呈弧状, 原始轮廓均已消失

表 4 土质三级分类
Table 4 Three-level classification of soil substrate

一级类		二级类		三级类	
编号	名称	编号	名称	描述	描述
C 土质	粗骨土	不同粒级砾含量(体积计)25%~75%	C11	重粗骨土	筛除砾质后,粗骨粒质量含量≥60%
			C12	中粗骨土	筛除砾质后,粗骨粒质量含量30%~60%
			C13	轻粗骨土	筛除砾质后,粗骨粒质量含量<30%
	砂土	不同粒级砾含量(体积计)<25%,筛除砾质后,砂粒含量(质量计)≥55%	C21	极重砂土	筛除砾质后,砂粒质量含量>80%
			C22	重砂土	筛除砾质后,砂粒质量含量70%~80%
			C23	中砂土	筛除砾质后,砂粒质量含量60%~70%
			C24	轻砂土	筛除砾质后,砂粒质量含量55%~60%
	壤土	不同粒级砾含量(体积计)<25%,筛除砾质后砂粒含量(质量计)<55%,细粘粒<30%	C31	砂粉土	筛除砾质后,砂粒质量含量≥20%,粗粉粒≥40%,细粘粒质量含量<30%
			C32	粉土	筛除砾质后,砂粒质量含量<20%,粗粉粒≥40%,细粘粒质量含量<30%
			C33	砂壤土	筛除砾质后,砂粒质量含量≥20%,粗粉粒<40%,细粘粒质量含量<30%
			C34	壤土	筛除砾质后,砂粒质量含量<20%,粗粉粒<40%,细粘粒质量含量<30%
	粘土	不同粒级砾含量(体积计)<25%,筛除砾质后细粘粒含量(质量计)≥30%	C41	轻粘土	筛除砾质后,细粘粒质量含量30%~35%
			C42	中粘土	筛除砾质后,细粘粒质量含量35%~40%
			C43	重粘土	筛除砾质后,细粘粒质量含量40%~60%
			C44	极重粘土	筛除砾质后,细粘粒质量含量≥60%

颗粒的粒径大小不在一个级上,笔者认为,砾粒在占比中应按体积计,其他颗粒按质量计,与《分类方案》保持一致。在砂土与壤土的划分依据上,《分类方案》提出以砂粒占比的 55% 为依据,《中国土壤质地分类》中提出以砂粒占比的 50% 为依据(吴克宁等, 2019)。笔者考虑到,砂粒是砂土的主要颗粒组成,在砂土中砂粒应取其多,壤土中应取其少,建议砂粒占比以 55% 为依据,其他级配占比与《中国土壤质地分类》保持一致。③颗粒级配问题。本文提出的土质质地分类,只提出了分类依据的 4 种颗粒组成,在占

比总和上出现不足 100% 的问题。这是由于土质颗粒中除上述颗粒外,还有中粉粒(0.01~0.005 mm)、细粉粒(0.005~0.002 mm)、粗粘粒(0.002~0.001 mm)等次要粒级的含量未列出。这是因为次要粒级颗粒在土壤中表现出的特性尚不足以影响土质质地等级的归属,而且其含量占比相对少(邓时琴, 1986)。

3.3.4 泥质类

泥质是由海湾、湖沼或河湾中水流缓慢的环境中有微生物参与作用的条件下形成的一种特殊沉积物,具有天然含水量大于液限、天然孔隙比≥1.5,具有流变性的特点。泥质作为一类特殊的地表基质,因长期处在静水或缓慢的流水水体底部,其水环境特征是泥质的重要属性特征。裴小龙等(2020)研究发现,pH 值可影响地表基质中生物学化学性质及营养物质的有效性、作物对营养元素的吸收、生长发育等,而对微生物的种类、数量和活性有明显的限制作用。可见,泥质中酸碱度的含量对水环境等有重要影响,直接影响自然资源要素的生长状况(闫晓兵, 2006; 张富元等, 2012; 朱伟等, 2013)。因此,本文提

表 5 砾、土颗粒的粒径划分

Table 5 Particle size classification of gravel and soil particles

mm			
巨砾粒	粗砾粒	中砾粒	细砾粒
≥256	≥64	≥4	≥2
粗骨粒	砂粒	粗粉粒	细粘粒
≥1	≥0.05	≥0.01	<0.001

表 6 土质质地分类
Table 6 The texture classification of soil substrate

质地组	质地名称	颗粒组成和级配				
		砾粒(体积计)	粗骨粒	砂粒	粗粉粒	细粘粒
粗骨土	重粗骨土		≥60%			
	中粗骨土	25%~75%	30%~60%	—		—
	轻粗骨土		<30%			
砂土	极重砂土			>80%	—	
	重砂土			70%~80%		
	中砂土			60%~70%		
	轻砂土			55%~60%		
壤土	砂粉土			≥20%		<30%
	粉土			<20%	≥40%	
	砂壤土	<25%	—	≥20%		
	壤土			<20%	<40%	
粘土	轻粘土					30%~35%
	中粘土					35%~40%
	重粘土			—	—	40%~60%
	极重粘土					>60%

出的三级类型以酸碱度为依据,将泥质划分为 9 种(表 7)。

4 浙江宁海县地表基质类型及空间分布特征

宁海县位于宁波市境南部沿海,北纬 29°06'~29°32'、东经 121°09'~121°49',属于亚热带季风气候,年均降水量 1480 mm,年均气温 16.4℃。该区位于太平洋陆缘火山岩带的西南部浙闽粤中生代火山岩带北段,火山活动十分强烈,先后经历了燕山期和喜马拉雅期 2 次构造岩浆活动。岩石建造以中生代中酸性火山岩为主,其次为新生代基性火山岩,常见的岩石类型有花岗岩、玄武岩、流纹岩、砂岩等,沉积物以冲湖积、冲海积为主,土壤类型以红壤为主。

通过资料分析和野外调查,本次查清了宁海县的主要地表基质类型(表 8)和空间分布特征(图 4)。从基质类型看,区内主要包括 4 种一级类、8 种二级类和 13 种三级类基质。岩石类基质以火成岩和沉积岩基质为主,砾质类以亚圆状的中砾和细砾基质为主,土质类以砂土、壤土、粘土基质为主,泥质以酸性和中性淤泥基质为主。从空间分布看,岩石、砾质、土质、泥质分别占区内面积的 64.9%、2.4%、24.7%、8.0%。岩石基质以火成岩与沉积岩为主,广

布山区地带,岩石上部一般覆盖少量砾质和土质,从坡顶至坡脚,土质质地变细,由粗骨土—壤土,上坡、中坡以残积碎屑层为成土母质,风化层相对较厚,而下坡、坡脚以坡积物为成土母质,风化层相对较薄。砾质主要分布于沟谷与山前地带,以亚圆状中砾和亚圆状细砾为主,主要为冲洪积物,表层夹杂少量砂土、壤土,土地利用类型以生态用地和城镇用地为主。土质以壤土为主,广布于平原区,主要为冲湖积和冲海积类型,整体土质厚度较大,一般大于 10 m,表层壤土厚度 0.2~1.0 m,土质疏松,顶部含植物根系及少量腐殖质,局部夹杂少量砂砾石,土地利用类型以农业用地和城镇用地为主。泥质以淤泥为主,分布于潮滩区和水下岸坡区,呈软塑—流塑状态,多见贝壳,偶见砾石,土地利用类型主要为生态用地,潮滩区的植被以芦苇、互花米草和海三棱藨草为主。

本次研究以宁海县地表基质调查为例,对提出的三级分类方案进行应用研究,旨在为全面开展地表基质调查工作提供借鉴和参考。岩石基质类以地质学岩石分类为基础,强调目前生态地质调查成果表达的地质建造方法,通过科学归并和简化,解决了岩石分类复杂和繁多的问题。砾质分类强调其大

表 7 泥质三级分类

Table 7 Three-level classification of mud substrate

一级类		二级类			三级类		
编号	名称	编号	名称	描述	编号	名称	描述
D	泥质	D1	淤泥	湖沼、河湾、海湾或近海等水体底部有微生物参与条件下形成的一种近代沉积物,富含有机物,天然含水量大于液限	D11	酸性淤泥	pH<7
					D12	中性淤泥	pH=7
					D13	碱性淤泥	pH>7
		D2	软泥	生物遗骸质量含量<30%的深海泥质沉积物	D21	酸性软泥	pH<7
					D22	中性软泥	pH=7
					D23	碱性软泥	pH>7
		D3	深海粘土	远洋沉积物中生物遗骸质量含量<30%的细粒泥质沉积物之总称	D31	酸性深海粘土	pH<7
					D32	中性深海粘土	pH=7
					D33	碱性深海粘土	pH>7

表 8 宁海县地表基质三级类型

Table 8 Tertiary type of ground substrate in Ninghai County

一级类		二级类		三级类	
编号	名称	编号	名称	编号	名称
A	岩石	A1	火成岩	A12	基性岩
				A13	中性岩
				A14	酸性岩
		A2	沉积岩	A21	陆源碎屑岩
B	砾质	B3	中砾	B33	亚圆状中砾
		B4	细砾	B43	亚圆状细砾
C	土质	C2	砂土	C22	重砂土
				C24	轻砂土
		C3	壤土	C32	粉土
				C34	壤土
		C4	粘土	C41	轻粘土
D	泥质	D1	淤泥	D12	中性淤泥
				D13	碱性淤泥

小、含量和形态的 3 种典型特征,注重生态地质属性,在成果表达上简明清晰,实现了见名便知其意的效果。土质类在功能属性上与土壤极相似,参照《中国土壤质地分类》,依据土质颗粒组成和含量进行了分类,实现了与现有土壤数据的衔接和补充,利于现有土壤数据资料的改化和利用,避免重复开展调查。泥质作为一种特殊的地表基质类型,属于静水或缓慢的流水环境中的沉积物,以 pH 值为划分依据,可直观表达泥质的水环境特征,易于成果表达。

从示范应用效果看,笔者提出的三级分类方案可以很好地与地质学、土壤学、生态学等学科衔接,实现了研究对象、调查内容、调查技术、成果应用等方面的紧密结合,有益于成果表达和应用研究,具有科学性和应用性。

5 讨论

5.1 地表基质层的深度与底界

根据《总体方案》,地表基质层位于自然资源立体模型中非常重要的位置,对上支撑和孕育地表覆盖层,对下控制和影响地下资源层。目前,对于地表基质的陆域和水域界面已经明确,但对其深度范围及底界问题仍存在争议。有的研究者认为地表基质的深度在 50 m 以浅(葛良胜等,2020),其他研究者认为 30 m 以浅足以反映基质层状况(殷志强等,2020),也有研究者认为潜水层底板应该作为地表基质层底界(姚晓峰等,2022)。笔者认为,地表基质的深度并非一个绝对概念,应该从概念本质进行探讨和明确。

地表基质在空间上位于地球陆域地表浅部或水域水体底部,在功能上其基础物质能够孕育各类自然资源,支撑人类活动,其在调控自然生态环境的同时,还供应着经济社会发展所需的资源。地表基质过程涉及岩、土、气、生、水等要素,其中发生着土壤形成与演化、水和溶质的运移与转化、气体迁移与转化、微生物活动、土壤、水文等复杂的相互作用,物质和能量发生着密切的转移转化。可见,地表基质层是地球多圈层交互作用最强烈的地带,其与地球

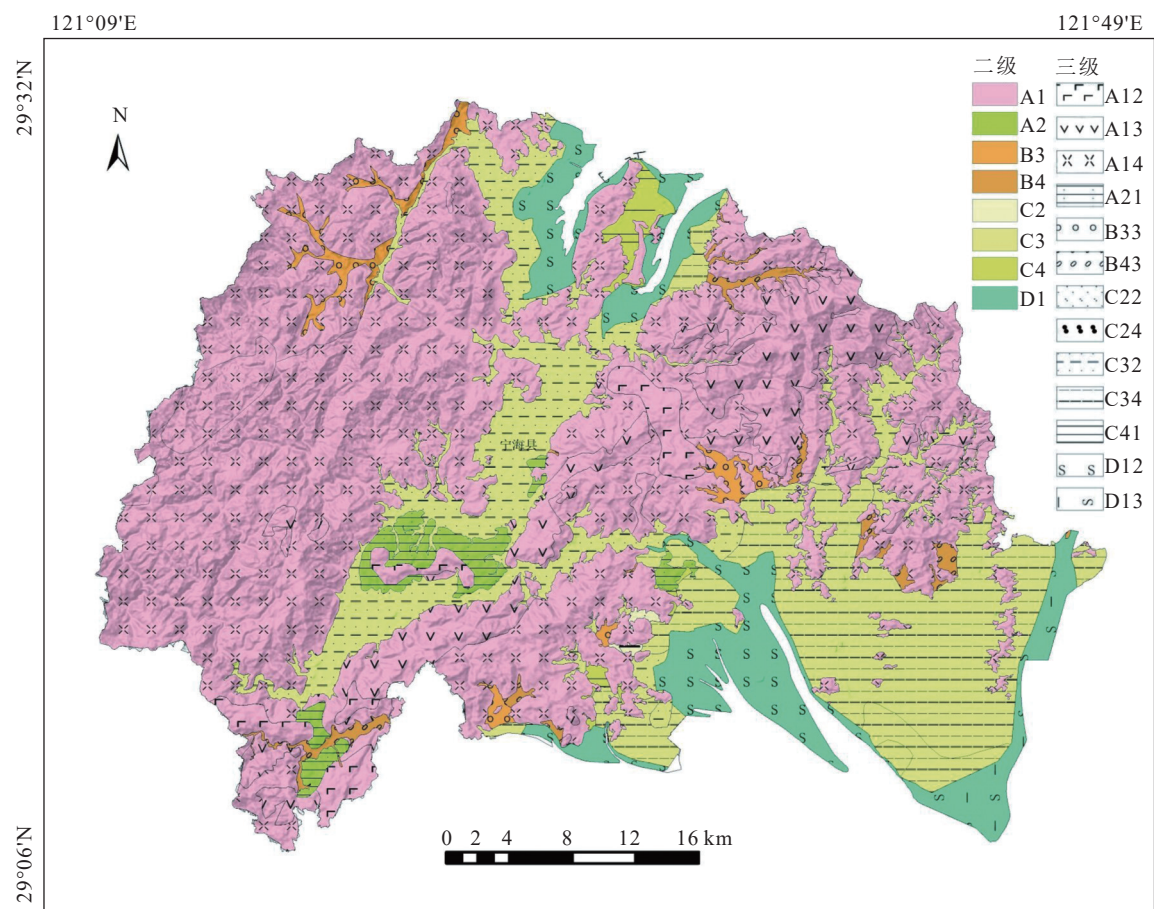


图 4 宁海县地表基质类型空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of ground substrate types in Ninghai County

关键带的核心内容研究极具相似性。因此,本次研究认为,地表基质底界应与地球关键带底界保持一致(图 1),强化地表基质调查与地球系统科学研究的统一性。目前,对于地球关键带的底界定义依然模糊,若地下环境中存在多个层级的含水层,则地球关键带的底部界线难以界定(Martin et al., 2021; 杨顺华等, 2024)。当前具有共识的是地球关键带边界是从地表植被冠层到含水层底界(自由循环的地下淡水含水层,不包括深部卤水和承压含水层)的地球“外表皮”(蒲俊兵, 2022)。

5.2 地表基质的结构、演化与特征

在自然环境中,受地形、降水、水文等因素的影响,地表基质空间结构和物质组成在空间上往往不是均质的,表现为空间分布上的复杂性和不均匀性,具有明显的空间异质性特征。地表基质空间异质性由地表基质空间结构和物质成分组成控制,并由进入地表基质的能量和物质通量驱动,内部通量和空间结构共同演化,以响应能量和物质通过地表基质

空间模型的传递和转化(Rasmussen et al., 2015)。地表基质空间异质性为促进各资源要素寻求和占据适宜生态条件、形成多元空间格局提供了基础条件,进而深刻影响农业生产、生态条件和人类活动。

因此,地表基质垂向空间层次模型具有动态演化特点,自山区至盆地表现为高度异质性(图 5)。山区主要是沉积层和基岩层,部分地区土壤尚未发育形成,如荒漠区、岩溶区等特殊地区,地表基质空间层次结构较简单,类型以砾质和岩石为主,在与植被生态相互作用过程中积累的有机碳含量较低,主要为物质供给区和生态脆弱区。山前至平原区主要是土壤层、沉积层和基岩层,类型以土质、砾质、岩石组成为主,结构复杂度较高,有机碳含量较高,是重要的能量转化与积累区。滨海至海洋盆地中心主要是土壤层,类型以泥质和土质组成为主,结构复杂度下降,有机碳含量下降。能量和物质的循环和储存是通过入渗和补给、初级生产和碳循环、物理和化学风化、侵蚀、泥沙运输等过程发生的(Rasmussen et

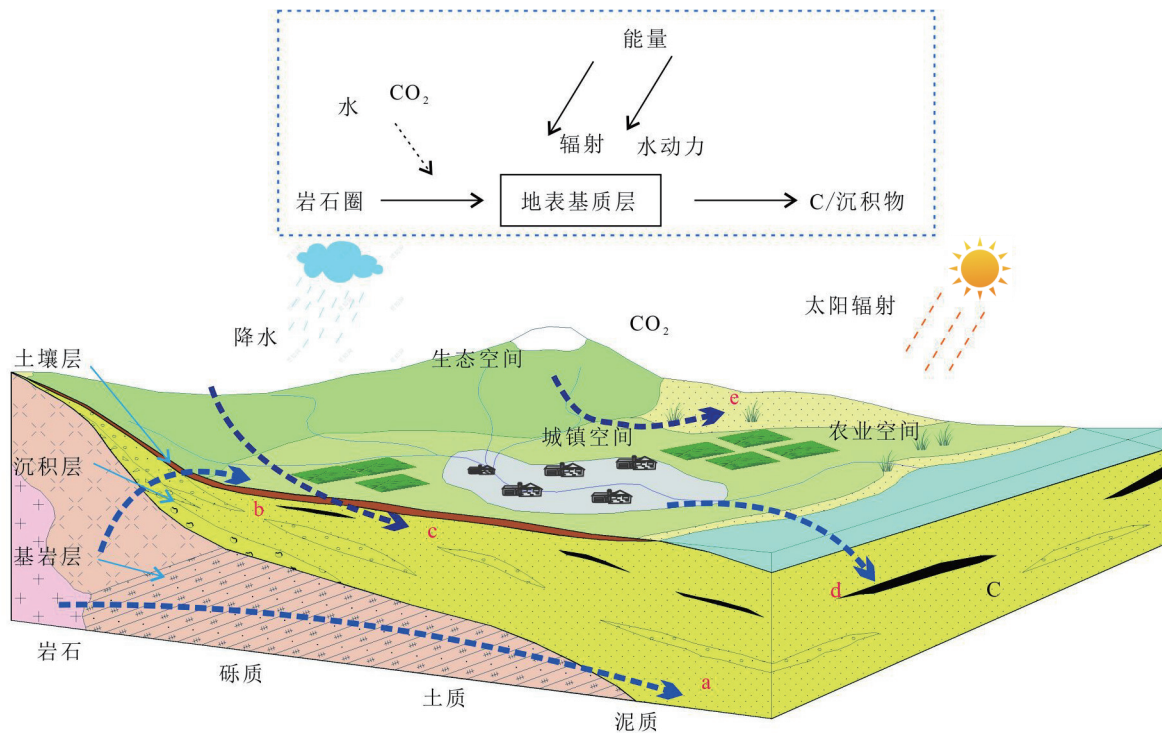


图5 地表基质模型演化示意图(据 Rasmussen et al., 2015 修改)

Fig. 5 Schematic evolution of ground substrate modeling

a—基质演化过程; b—风化剥蚀; c—沉积输运; d—以碳为介质的能量转化; e—基质退化

al., 2015)。不同组合对水、碳和能量的响应机制,造成了地表基质不同的生产力(Chorover et al., 2011),进而表现出对农业空间、生态空间和城镇空间的支撑。

6 结 论

本文基于自然资源统一管理和国土空间规划的需要,通过对地表基质的科学内涵进行深入辨析,构建了地表基质垂向空间层次模型,由此提出了三级分类方案建议,并以宁海县地表基质调查为例进行了应用研究。主要结论如下。

(1)地表基质是基于自然资源统一管理的需要而提出的新概念,具有空间属性、功能属性和资源属性三大特征,不同于其他学科中“土壤”、“地球关键带”、“第四纪沉积物”等相近概念。

(2)根据地表基质空间属性特征及其国土“三区”规划数据支撑需求,建立了“土壤层—沉积层—基岩层”垂向空间层次模型。认为土壤层主要地表基质类型为泥质和土质,其数据应以支撑农业空间为主;沉积层的主要地表基质类型为砾质,其数据应以支撑生态空间为主;基岩层的地表基质类型为岩石,

以支撑城镇空间为主。

(3)在地表基质垂向空间层次模型基础上,基于科学性、统一性、操作性和应用性的分类原则,提出了地表基质三级分类方案,岩石类划分为3个二级类和15个三级类,砾质类划分为4个二级类和16个三级类,土质类划分为4个二级类和15个三级类,泥质类划分为3个二级类和9个三级类。通过宁海县地表基质调查应用研究,认为该方案具有可行性。

致谢: 成文过程中得到中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心首席科学家李铁锋教授级高级工程师的宝贵意见,在此致以衷心感谢。

References

- An P J, Zhang Z Q, Wang L W. 2016. Review of earth critical zone research[J]. *Advances in Earth Science*, 31(12): 1228–1234 (in Chinese with English abstract).
- Chang X, Zhang Y, Song J N. 2018. Looking at the new era of land spatial planning from the establishment of the Ministry of Natural Resources[J]. *China Land*, (5): 25–27 (in Chinese with English abstract).
- Chen G G, Zhang X D, Zhang J, et al. 2020. Discussion on natural

- resources classification system[J]. *East China Geology*, 41(3): 209–214 (in Chinese with English abstract).
- Chen J, Wu H, Zhang J X, et al. 2022. Building natural resources surveying and monitoring technological system: Direction and research agenda[J]. *Acta Geographica Sinica*, 77(5): 1041–1055 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y F, Dong M. 2003. Spatial heterogeneity in ecological systems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, (2): 346–352 (in Chinese with English abstract).
- Chorover J, Troch P A, Rasmussen C, et al. 2011. How water, carbon, and energy drive critical zone evolution: The Jemez–Santa Catalina Critical Zone Observatory[J]. *Vadose Zone Journal*, 10(3): 884–899.
- Deng S Q. 1986. Suggestions to amend and supplement the classification system of soil texture in China[J]. *Soils*, 18(6): 304–311 (in Chinese).
- Ding G Y, Kao W M, Huang S Y, et al. 1964. Colour characteristics of quaternary sediments from the North China Plain and their geological significance[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (2): 143–159 (in Chinese).
- Fu S H, Lu B J, Ye Z H. 2010. Effects of rock fragments on runoff and soil erosion[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 24(2): 15–18 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Hou H X, Xia R. 2022. Construction of Technical System for Ground Substrate Survey of Natural Resources[J]. *Geomatics World*, 29(5): 20–27 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Xia R. 2023. High-standard farmland construction: Ground substrate survey-based solutions[J]. *Natural Resource Economics of China*, 36(5): 4–13 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Yang G C. 2020. New field of natural resources survey and monitoring: Ground substrate survey[J]. *Natural Resource Economics of China*, 33(9): 4–11, 67 (in Chinese with English abstract).
- Hahn W J, Riebe C S, Lukens C E. 2014. Bedrock composition regulates mountain ecosystems and landscape evolution[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3338–3343.
- Hao A B, Yin Z Q, Peng L, et al. 2020. A discussion of the classification of natural resources based on the combination of academic–legal principles and management[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 47(6): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Hong M M, Wang F F, Yang H, et al. 2008. Application of attribute hierarchical model on soil quality assessment[J]. *Environmental Science Survey*, (2): 72–75 (in Chinese with English abstract).
- Huang Q, Zeng Y, Jiang Q. 2015. Progress and prospect of the study on “making great efforts to promote ecological civilization construction”[J]. *China Population, Resources and Environment*, 25(2): 111–120 (in Chinese with English abstract).
- Huang X J. 2019. Unified management of natural resources: A new era, new characteristics, and new trend[J]. *Resources Science*, 41(1): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Jia L, Liu H, O Y Y, et al. 2022. Division scheme of surface substrate mapping units of mountainous–hilly area in South China based on geological formations research: example from Xinhui–Taishan area in Pearl River Delta[J]. *Northwestern Geology*, 55(4): 140–157 (in Chinese with English abstract).
- Li B G, Li W D, Shi Y C. 1998. Some distribution features of textural layers of regional soils in a fluvio-genic plain[J]. *Acta Pedologica Sinica*, (4): 433–440 (in Chinese with English abstract).
- Li Y, Gao M, Wei C F, et al. 2006. Spatial distribution of rock fragment and its influences on soil hydrological processes[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, (5): 271–276 (in Chinese with English abstract).
- Lin J, Wu Y X, Wu J Y, et al. 2018. Construction of the spatial planning system: with discussions on the relationship between spatial planning, territorial spatial regulation, and natural resources supervision[J]. *City Planning Review*, 42(5): 9–17 (in Chinese with English abstract).
- Liu Q J, Liu Y X, Wang Y, et al. 2023. A proposed scheme for third-level classification of ground substrate[J]. *Urban Geology*, 18(1): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Liu Z F, Fu B J, Liu G H, et al. 2006. Soil quality: concept, indicators and its assessment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, (3): 901–913 (in Chinese with English abstract).
- Lukasz P, Jonathan D P, Pavel S. 2016. Root, rock, and regolith: Biomechanical and biochemical weathering by trees and its impact on hillslopes—A critical literature review[J]. *Earth–Science Reviews*, 159: 142–159.
- Luo Z B, Fan J, Shao M A. 2022. Progresses of weathered bedrock ecohydrology in the Earth’s critical zone[J]. *Chinese Science Bulletin*, 67(27): 3311–3323 (in Chinese with English abstract).
- Martin J B, Covington M, Toran L, et al. 2021. Carbonate Critical Zone Research Coordination Network Workshop Report[R]. Virginia: Karst Waters Institute, Leesburg.
- Ministry of Natural Resources. 2020a. Notice of the ministry of natural resources on issuing the overall plan for the construction of the Natural Resources Investigation and Monitoring System [EB/OL]. (2020–01–17)[2024–01–09]. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html (in Chinese).
- Ministry of Natural Resources. 2020b. Notice of the general office of the ministry of natural resources printing and distributing “The ground substrate classification scheme (trial)” [EB/OL]. (2020–12–22)[2024–01–09]. <http://gi.mnr.gov.cn/202012/t202012222596025.html> (in Chinese).
- Pei X L, Han X L, Qian J L, et al. 2020. Soil fertility assessment indicators from the perspective of natural resources comprehensive observation[J]. *Resources Science*, 42(10): 1953–1964 (in Chinese with English abstract).
- Peng L, Wang Y N, Yin Z Q, et al. 2022. Current status of natural resources classification and unified classification of natural resources for the future[J]. *Geological Bulletin of China*, 41(12): 2106–2113 (in Chinese with English abstract).
- Pu J B. 2022. Earth’s critical zone and karst critical zone: Structure, characteristic and bottom boundary[J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 41(5): 230–241.
- Qian F K, Zhang L L, Jia L, et al. 2016. Site condition assessment during prime farmland demarcating[J]. *Journal of Natural Resources*, 31(3): 447–456 (in Chinese with English abstract).
- Rasmussen C, Pelletier D J, Troch A P, et al. 2015. Quantifying

- topographic and vegetation effects on the transfer of energy and mass to the critical zone[J]. Vadose Zone Journal, 14(11): 1–16.
- State Council of the People's Republic of China. 2022. Circular of the State Council on the third national soil census[OL]. (2022–02–16)[2024–5–9]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-02/16/content_5673906.htm (in Chinese).
- Sun X Y, Xu W, Wang M J. 2022. Investigation and study on stratification and classification of ground substrate layer[J]. China Land, (7): 34–36 (in Chinese with English abstract).
- Wang D L, Yuan G D, Gong Z T. 1988. Some insights on soil systematic classification and soil survey[J]. Soils, (1): 49–52 (in Chinese).
- Wang J B, Wei X F, Zhang H Q, et al. 2020. The eco-geological survey based on geological formation, exemplified by integrated geological survey of National Ecological Civilization Demonstration Area in Chengde City, Hebei Province[J]. Geology in China, 47(6): 1611–1624 (in Chinese with English abstract).
- Wang J J, Chen C R, Yu Y C, et al. 2011. Advances in application of models in soil quality evaluation[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 39(7): 115–118 (in Chinese with English abstract).
- Wu K N, Zhao R. 2019. Soil texture classification and its application in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 56(1): 227–241 (in Chinese with English abstract).
- Xu J X. 1997. Areal variation in the relation between chemical and mechanical denudations in the monsoon-influenced eastern China[J]. Scientia Geographica Sinica, (3): 10–16 (in Chinese with English abstract).
- Yan X B. 2006. Ecological environment construction and water resources protection and utilisation in Silt River Basin[J]. Shanxi Water Resources, (1): 38–39 (in Chinese with English abstract).
- Yang J L, Zhang G L, Huang L M. 2013. Rock weathering and soil formation rates of a forested watershed in the typical subtropical granite area[J]. Acta Pedologica Sinica, 50(2): 253–259 (in Chinese with English abstract).
- Yang S H, Song X D, Wu H Y, et al. 2024. A review and discussion on the Earth's Critical Zone research: status quo and prospect[J]. Acta Pedologica Sinica, 61(2): 308–318 (in Chinese with English abstract).
- Yao X F, Yang J F, Zuo L Y, et al. 2022. Discussion on connotation and survey strategy of the ground substrate[J]. Geological Bulletin of China, 41(12): 2097–2105 (in Chinese with English abstract).
- Yin Z Q, Qin X G, Zhang S J, et al. 2020. Preliminary study on classification and investigation of surface substrate[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 47(6): 8–14 (in Chinese with English abstract).
- Yuan G L, Hou H X, Liu J Y, et al. 2023. Introduction to the methods of ecology-geological survey for servicing ecological civilization: Example from ecology-supporting sphere survey[J]. Northwestern Geology, 56(3): 30–38 (in Chinese with English abstract).
- Yue W Z, Wang T Y, Zhen Y L. 2020. Unified zoning of territorial space use control derived from the core concept of "Three types of spatial zones and alert-lines"[J]. China Land Science, 34(5): 52–59, 68 (in Chinese with English abstract).
- Zhang F R. 2021. Supporting the technical system for the unified survey of natural resources: An analysis of "The Surface Substrate Classification Scheme (Trial)" [N]. China Natural Resources News, 2021–1–8(3) (in Chinese).
- Zhang F R. 2023. On key survey elements and priority areas for the surface substrate layer[J]. China Land, (2): 40–41 (in Chinese with English abstract).
- Zhang F Y, Zhang W Y, Zhang X Y, et al. 2012. Key technique and scheme of classification and nomenclature for deep sea sediments[J]. Earth Science(Journal of China University of Geosciences), 37(1): 93–104 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G L, Wang Q B, Zhang F R, et al. 2013. Criteria for establishment of soil family and soil series in Chinese soil taxonomy[J]. Acta Pedologica Sinica, 50(4): 826–834 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X F, Wang C S, Li M. 2019. Demarcating ecological space and ecological protection red line under the framework of territory spatial planning[J]. Geographical Research, 38(10): 2430–2446 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y L, Luan Q L, Xiong C S, et al. 2021. Spatial heterogeneity evaluation and zoning of production-living-ecological space based on multi-source spatial data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 37(10): 214–223 (in Chinese with English abstract).
- Zhou K, Li J Y, Wang Q. 2021. Evaluation on agricultural production space and layout optimization based on resources and environmental carrying capacity: A case study of Fujian Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 41(2): 280–289 (in Chinese with English abstract).
- Zhu W, Min F L, Lu Y Y, et al. 2013. Subject of "mud science and application technology" and its research progress[J]. Rock and Soil Mechanics, 34(11): 3041–3054 (in Chinese with English abstract).
- Zhu X S, Pei X L, Wang W, et al. 2024. Spatial heterogeneity characteristics of ground substrate in hilly area and its impact on vegetation ecology[J]. Geological Bulletin of China, 43(9): 1544–1554 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安培浚, 张志强, 王立伟. 2016. 地球关键带的研究进展[J]. 地球科学进展, 31(12): 1228–1234.
- 常新, 张杨, 宋家宁. 2018. 从自然资源部的组建看国土空间规划新时代[J]. 中国土地, (5): 25–27.
- 陈国光, 张晓东, 张洁, 等. 2020. 自然资源分类体系探讨[J]. 华东地质, 41(3): 209–214.
- 陈军, 武昊, 张继贤, 等. 2022. 自然资源调查监测技术体系构建的方向与任务[J]. 地理学报, 77(5): 1041–1055.
- 陈玉福, 董鸣. 2003. 生态学系统的空间异质性[J]. 生态学报, 23(2): 346–352.
- 邓时琴. 1986. 关于修改和补充我国土壤质地分类系统的建议[J]. 土壤, 18(6): 304–311.
- 丁国瑜, 高维明, 黄述银, 等. 1964. 华北平原第四纪沉积物的颜色特征及其地质意义[J]. 地质科学, (2): 143–159.
- 符素华, 路炳军, 叶芝茜. 2010. 地表砾石对降雨径流及土壤侵蚀的影响

- 响[J]. 水土保持学报, 24(2): 15–18.
- 葛良胜, 侯红星, 夏锐. 2022. 自然资源地表基质调查技术体系构建[J]. 地理信息世界, 29(5): 20–27.
- 葛良胜, 夏锐. 2023. 高标准农田建设: 基于地表基质调查的解决方案[J]. 中国国土资源经济, 36(5): 4–13.
- 葛良胜, 杨贵才. 2020. 自然资源调查监测工作新领域: 地表基质调查[J]. 中国国土资源经济, 33(9): 4–11.
- 国务院. 2022. 国务院关于开展第三次全国土壤普查的通知[OL]. (2022–02–16)[2024–5–9]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-02/16/content_5673906.htm.
- 郝爱兵, 殷志强, 彭令, 等. 2020. 学理与法理和管理相结合的自然资源分类刍议[J]. 水文地质工程地质, 47(6): 1–7.
- 洪棉棉, 王菲凤, 杨晖, 等. 2008. 属性层次模型在土壤环境质量评价中的应用[J]. 环境科学导刊, (2): 72–75.
- 黄勤, 曾元, 江琴. 2015. 中国推进生态文明建设的研究进展[J]. 中国人口·资源与环境, 25(2): 111–120.
- 黄贤金. 2019. 自然资源统一管理: 新时代、新特征、新趋向[J]. 资源科学, 41(1): 1–8.
- 贾磊, 刘洪, 欧阳渊, 等. 2022. 基于地质建造的南方山地-丘陵区地表基质填图单元划分方案——以珠三角新会台山地区为例[J]. 西北地质, 55(4): 140–157.
- 李保国, 李卫东, 石元春. 1998. 冲积平原上区域土壤质地层次的某些分布特征[J]. 土壤学报, 35(4): 433–440.
- 李燕, 高明, 魏朝富, 等. 2006. 土壤砾石的分布及其对水文过程的影响[J]. 中国农学通报, 22(5): 271–276.
- 林坚, 吴宇翔, 吴佳雨, 等. 2018. 论空间规划体系的构建——兼析空间规划、国土空间用途管制与自然资源监管的关系[J]. 城市规划, 42(5): 9–17.
- 刘清俊, 刘雨鑫, 王颖, 等. 2023. 地表基质三级分类方案探讨[J]. 城市地质, 18(1): 1–8.
- 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 2006. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. 生态学报, 26(3): 901–913.
- 骆占斌, 樊军, 邵明安. 2022. 地球关键带基岩风化层生态水文研究进展[J]. 科学通报, 67(27): 3311–3323.
- 裴小龙, 韩小龙, 钱建利, 等. 2020. 自然资源综合观测视角下的土壤肥力评价指标. 资源科学, 42(10): 1953–1964.
- 彭令, 王英男, 殷志强, 等. 2022. 自然资源分类现状与面向未来的统一分类研究[J]. 地质通报, 41(12): 2106–2113.
- 蒲俊兵. 2022. 地球关键带与岩溶关键带: 结构、特征、底界[J]. 地质科技通报, 41(5): 230–241.
- 钱凤魁, 张琳琳, 贾璐, 等. 2016. 基本农田划定中的耕地立地条件评价研究[J]. 自然资源学报, 31(3): 447–456.
- 孙禧勇, 许玮, 王明建. 2022. 地表基基层层分类调查研究[J]. 中国土地, (7): 34–36.
- 王敦领, 袁国栋, 龚子同. 1988. 关于土壤系统分类和土壤调查的某些见解[J]. 土壤, (1): 49–52.
- 王纪杰, 陈昌仁, 俞元春, 等. 2011. 不同模型在土壤质量评价中的应用研究进展[J]. 贵州农业科学, 39(7): 115–118.
- 王京彬, 卫晓锋, 张会琼, 等. 2020. 基于地质建造的生态地质调查方法——以河北省承德市国家生态文明示范区综合地质调查为例[J]. 中国地质, 47(6): 1611–1624.
- 吴克宁, 赵瑞. 2019. 土壤质地分类及其在我国应用探讨[J]. 土壤学报, 56(1): 227–241.
- 许炯心. 1997. 地表物质迁移的构成特征及其地域变化[J]. 地理科学, 17(3): 10–16.
- 闫晓兵. 2006. 淤泥河流域生态环境建设与水资源保护利用[J]. 山西水利, (1): 38–39.
- 杨金玲, 张甘霖, 黄来明. 2013. 典型亚热带花岗岩地区森林流域岩石风化和土壤形成速率研究[J]. 土壤学报, 50(2): 253–259.
- 杨顺华, 宋效东, 吴华勇, 等. 2024. 地球关键带研究评述: 现状与展望[J]. 土壤学报, 61(2): 308–318.
- 姚晓峰, 杨建锋, 左力艳, 等. 2022. 地表基质的内涵辨析与调查思路[J]. 地质通报, 41(12): 2097–2105.
- 殷志强, 秦小光, 张蜀冀, 等. 2020. 地表基质分类及调查初步研究[J]. 水文地质工程地质, 47(6): 8–14.
- 袁国礼, 侯红星, 刘建宇, 等. 2023. 服务生态文明的生态地质调查工作方法浅析——以地表基质调查为例[J]. 西北地质, 56(3): 30–38.
- 岳文泽, 王田雨, 甄延临. 2020. “三区三线”为核心的统一国土空间用途管制分区[J]. 中国土地科学, 34(5): 52–59.
- 张凤荣. 2021. 支撑自然资源统一调查技术体系: 对《地表基质分类方案(试行)》的解析[N]. 中国自然资源报, 2021–01–08(3).
- 张凤荣. 2023. 论地表基基层层重点调查内容和优先调查区域[J]. 中国土地, (2): 40–41.
- 张富元, 章伟艳, 张霄宇, 等. 2012. 深海沉积物分类与命名的关键技术和方案[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 37(1): 93–104.
- 张甘霖, 王秋兵, 张凤荣, 等. 2013. 中国土壤系统分类土族和土系划分标准[J]. 土壤学报, 50(4): 826–834.
- 张雪飞, 王传胜, 李萌. 2019. 国土空间规划中生态空间和生态保护红线的划定[J]. 地理研究, 38(10): 2430–2446.
- 张永蕾, 栾乔林, 熊昌盛, 等. 2021. 基于多源空间数据的“三生”空间异质性评价与分区划定[J]. 农业工程学报, 37(10): 214–223.
- 周侃, 李九一, 王强. 2021. 基于资源环境承载力的农业生产空间评价与布局优化——以福建省为例[J]. 地理科学, 41(2): 280–289.
- 朱伟, 闵凡路, 吕一彦, 等. 2013. “泥科学与应用技术”的提出及研究进展[J]. 岩土力学, 34(11): 3041–3054.
- 祝晓松, 裴小龙, 王伟, 等. 2024. 山丘区地表基质空间异质性特征及其对植被生态影响[J]. 地质通报, 43(9): 1544–1554.
- 自然资源部. 2020a. 自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知[EB/OL]. (2020–01–17)[2024–01–09]. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.
- 自然资源部. 2020b. 自然资源部办公厅印发《地表基质分类方案(试行)》的通知[EB/OL]. (2020–12–22)[2024–01–09]. <http://gi.mnr.gov.cn/202012/t202012222596025.html>.