

DOI: 10.12401/j.nwg.2023065

# 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

袁国礼<sup>1</sup>, 侯红星<sup>2</sup>, 刘建宇<sup>3</sup>, 王泉<sup>4</sup>, 郭晓宇<sup>5</sup>, 贾颜卉<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000; 3. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 4. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 5. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:** 服务生态文明是新时期赋予地质调查工作的新使命, 广义上相关调查工作都可称之为生态地质调查。由于处于初期摸索阶段, 缺少成熟的技术规范支撑, 生态地质相关调查工作内容不是十分清晰。因此, 梳理相关概念的内涵、厘清工作思路、明确调查内容对于实现任务目标具有重要的意义。笔者以表生地质过程对地表生态发育的制约作用为线索, 从地球系统科学的角度探讨生态地质调查的任务与目标, 并提出生态地质学属于“地质+”范畴。基于陆地生态系统不同地质-地貌单元的表生地质过程, 以地表基质调查为例, 从剥蚀区到沉积区将陆地生态系统划分为浅山-丘陵区、河流-湖泊-湿地区、平原-盆地区。根据不同调查单元的表生地质特征, 分别阐述相关调查内容、调查手段及布署原则。在此基础上, 探讨地表基质调查的成果表达方式与应用, 以期为其他相关生态地质调查工作提供借鉴和参考。

**关键词:** 生态地质; 表生地质过程; 地表基质; 生态文明; 地质调查

中图分类号: P69; X14

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)03-0030-09

## Introduction to the Methods of Ecology-Geological Survey for Servicing Ecological Civilization: Example from Ecology-Supporting Sphere Survey

YUAN Guoli<sup>1</sup>, HOU Hongxing<sup>2</sup>, LIU Jianyu<sup>3</sup>, WANG Quan<sup>4</sup>, GUO Xiaoyu<sup>5</sup>, JIA Yanhui<sup>1</sup>

(1. School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China; 3. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China; 4. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 5. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

**Abstract:** In the new era, serving ecological civilization is a new duty entrusted to China geological survey. In a broad sense, all related geological survey can be called the eco-geological survey. Due to lacking of technical standards to support the work in the initial exploration stage, in fact, the content of eco-geological survey work is still unclear. So, it is greatly significant for achieving the objectives to sort out the connotation of relevant con-

收稿日期: 2022-12-16; 修回日期: 2023-04-18; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 中国地质调查局项目“松嫩平原齐齐哈尔地区黑土地表基质调查”(DD20220855), “太行山西段生态修复支撑调查”(DD20208069), “全国地球关键带遥感地质调查”(DD20190526), 国家自然科学基金项目(42872100)联合资助。

作者简介: 袁国礼(1971-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事环境地球化学及生态地质方向研究。E-mail: [yuangl@cugb.edu.cn](mailto:yuangl@cugb.edu.cn)。

cepts, clarify work ideas, and determine survey contents. In this case, tasks and objectives of eco-geological survey will be discussed on the basis of the theory of Earth system science, in which the clue between geology and ecology is the constraints of supergene geological process on the surficial ecological development. Therefore, it is proposed that ecological geology belongs to the category of "Geology +". Based on the surface geological processes of different geological and geomorphic units in terrestrial ecosystems, this study selects ecology-supporting sphere survey as an example, and divides the terrestrial ecosystem into three types from erosion area to sedimentary area, for example, shallow mountain-hill area, river-lake-wetland area, and plain-basin area. According to the geological characteristics of different survey units, detail explanations are stated respectively for the survey content, survey methods, and methods. Consequently, the expression of achievements and their applications are discussed, which will provide a reference for other related ecology-geological survey works.

**Keywords:** ecological geology; supergene geological process; ecology-supporting sphere; ecological civilization; geological survey

基于“绿水青山就是金山、银山”的国家发展战略需求,“山水林田湖草沙”为自然资源调查的主要对象与内容(王建恒, 2020; 马震等, 2021; 周妍等, 2021)。目前,地质调查系统已开展了生态地质调查、地表基质调查、生态修复支撑调查等一些相关调查工作(葛良胜等, 2020; 聂洪峰等, 2021a, 2021b),虽然他们的调查内容各有侧重,但都是以科学利用土地资源、保护与治理生态环境、优化自然资源布局为目标,意义重大。

与传统的地质调查工作相比,由于生态地质工作处在初期摸索阶段,缺少统一的部署思路和技术规范支撑(董和金, 2000; 王京彬等, 2020; 李文明等, 2022)。在前期工作中,一些学者也开展了很多有益尝试,并试图从不同的专业角度建议工作思路。例如,从地质建造类型出发调查成土母质类型及其生态环境特征(贾磊等, 2022);以地质灾害为基础调查相关的地质条件及成因(彭建兵等, 2022);以目前出现的生态问题为重点调查与之相关地质要素及成因(赵平, 2018);以具体的生态特征划分单元,调查影响生态特征的地质与气候相关要素(段星星等, 2020);以影响生态植被发育的成土成壤过程为线索,调查成土母质及土壤的地质及地球化学特征(肖春蕾等, 2021)。尽管上述方法具有一定的借鉴和指导意义,但对于面积性地质调查工作而言,上述方法或多或少具有一定的局限性,或侧重于解决点上问题、或侧重研究成因与演化、或侧重于生态问题、或调查内容的不确定。此外,前人对相关概念的内涵、工作内容、调查要素以及工作方法等阐述也不尽相同,甚至出现混淆,这些都给目前的调查工作带来一定的困惑,给预定目标的实现带来不确定性。基于前期的工作经验,笔者认为

实现地质调查目标,需要进一步厘清概念内涵、厘定工作思路、界定地质调查工作内容,在此基础上才能制定具体的工作方案与技术标准。

虽然生态地质相关调查工作主要服务于生态文明建设,但从地质调查角度看,其调查对象主要为表生过程所涉及的地质体以及地质体相关要素,广义上也可认为是服务生态的地质调查(刘建宇等, 2022)。因此,相关调查工作既要充分体现地质调查工作的本质并与传统地质调查工作相衔接性,又要体现其特色且有效服务生态文明建设。笔者以地球系统科学理论为基础,试图阐述生态地质相关的概念内涵,梳理相关工作之间的关系。同时,借鉴传统专项地质调查成熟的布署思路和技术标准,以目前开展的地表基质调查为例,从区域性或面积性地质调查的视角探讨生态地质调查工作之思路并提出拙见,以期抛砖引玉。

## 1 相关概念内涵及延伸

涉及到生态地质工作,“地球关键带(Earth's Critical Zone,简称关键带)”是一个不可避免的概念,因为与很多相关的概念由此衍生而来(朱永官等, 2015)。自2001年地球科学家提出地球表层过程的系统科学框架以来(NRC, 2001),关键带的概念内涵逐渐清晰。一般认为,关键带是由地球表层各部分和相互作用过程组成的一个综合系统,其空间范围自植被冠层延伸至地下水层,对维系地球生态系统功能和人类生存至关重要(Banwart et al., 2012)。目前关键带研究报道较多,重点研究地球表层介质之间的相互作用过程,涉及生态学、土壤学、地质学、地球化学、水文学、地貌学、地球物理学等,甚至有些学者将其拓展

到外星球(马腾等, 2020; 杨顺华等, 2021)。一个地区生态特征仅仅是关键带各要素之间复杂的物理、化学和生物过程耦合作用的一种表现形式, 关键带的核心是地球表层介质之间的多重交互作用过程(朱永官等, 2015), 而这些不是调查工作所能解决的问题, 需要长期的监测与系统性的研究。由此可见, 关键带调查就缺少具体的对象与内容, 从地质调查角度实操难度较大, 目前也未见实质性的面积性调查工作报告。

前苏联学者 Troll 和 Trofimov 先后于 20 世纪 30 年代和 90 年代提出“生态地质学(Ecological Geology)”相关概念(Trofimov et al., 1994), 中国学者也在 20 世纪 90 年代有所传播(顾承启, 1994), 但因地质界对该概念内涵尚未形成统一的认识, 相关进展缓慢甚至一度停滞(林景星等, 2003)。结合近年来实际生态地质调查工作经验, 聂洪峰等(2021a, 2021b)提出生态地质学是研究生态问题或生态过程的地学机理、地质作用过程及其环境条件的一门交叉学科, 将地质作用过程与生态空间分布、生态问题及其演变规律视为一体, 按层级和维度获取生态-土壤-水-风化带-岩石信息, 评估生态状况, 识别生态问题、诊断其成因、评价生态适宜性并提出基于自然的生态保护修复方案。该概念有其认识上的先进性, 它突出了表生地质过程的重要性, 并将地质学与生态学有机地融合在一起, 反映了生态-地质系统之间的相互作用与响应。如同前文所述的关键带, 生态地质学概念强调生态系统与地表地质过程之间的作用与反馈机制, 这需从生态学和地质学机理双向思考。就目前生态地质调查工作性质而言, 很难完整地演绎或展现该概念的全部内涵。

基于地质调查工作的特点, 中国学者提出了“地表基质层”这一概念, 并于 2019 年开展地表基质调查试点工作(葛良胜等, 2020), 目前已在中国东北黑土地地区、南方红壤地区和滨海湿地地区开展面积性调查示范工作。然而, 由于学者们对地表基质层概念内涵的理解不同, 目前还没有明确的定义。正因为如此, 地表基质概念的英文译名也不一致, 例如, 有将其译为 Surface Substrate Layer、Ground Substrate Layer 等(侯红星, 2021); 也有部分学者从服务生态系统角度考虑建议将其译为 Ecology-Supporting Sphere。一些学者认为, 地表基质层的顶面为地面, 而其底界为理论上表生地质作用所能达到的深度, 两界面之间的物质组成为基质层, 也是为关键带的主要物质组成, 它决定了生态系统的本底特征(殷志强等, 2020)。也

有一些学者认为, 地表基质的下限深度为能够影响到地表植被生长的地下深度, 该深度以浅的物质组成支撑植被的生长(侯红星, 2021)。该概念的优点在于, 没有过多地强调生态与地质过程的作用与反作用, 而是突出基质层的物质组成与结构特征, 虽然弱化了地质过程与生态发育交互作用过程, 但重点在于揭示支撑生态发育的基质层的特征, 因其内容相对具体, 对具体的面积性地质调查工作具有较强的指导意义。

综上所述, 目前与生态地质相关的概念内涵都各具特色, 或注重于地质条件本底特征、或注重于生态-地质作用过程、或注重于生态发育的物质基础。因为目前的生态地质调查工作主要集中于陆地或海岸带生态系统, 笔者建议将生态特征这一抽象的概念简化为更为直观的地表植被特征。那么从地球系统科学视角, 生态地质调查可以理解为在一定气候条件下, 重点调查支撑地表植被生长的支撑层的地质条件并评价其支撑潜力(承载力), 而不同于生态特征或生态问题本身的调查(刘建宇等, 2022)。因此, 生态地质相关调查可理解为服务于生态文明的地质调查工作, 属于“地质+”范畴(袁国礼, 2022)。据此, 以地表基质调查为代表的生态地质调查工作所涉及的内容显得较为具体, 主要包含 3 个方面: ①调查植被支撑层的物质组成与结构特征(或地表基质层)。②研究支撑层的地质成因及形成过程。③在特定的气候条件下, 评价支撑层的植被适宜性和承载力。由此, 地质学与生态学之间的关系界定清晰, 既有利于相关地质调查工作的开展, 也有利于生态地质学的研究与发展。

## 2 基本工作思路与主要研究内容

### 2.1 基本工作思路构建

与传统的专项地质调查不同, 生态地质相关调查处在初期阶段, 目前缺少直接对应的学科体系支撑, 需要学科交叉与融合。学科交叉与学科融合有利于解决实际问题, 目前地球系统科学这一概念被广泛使用(徐冠华, 2017; Gao et al., 2022), 但该概念的内涵过于宏大、学科边界也比较模糊。学科交叉融合应该有主次之分、有确切的内涵和具体的分工, 具体问题还需要具体学科知识来解决。如前文所述, 生态地质的重点在于研究表生地质过程, 评价地质条件的植被承载力。其中, 生态学应为地质学的应用或服务对象, 这样学科交叉就显得主次分明、融合有度。换言之,



针对生态环境问题,在特定的气候条件下研究其地质成因,结合气候特征从自然地质条件的角度探讨生态保护与修复方案。

前期的生态地质调查工作主要集中于低山和丘陵区,聚焦于生态问题区的地质条件调查研究(肖春蕾等, 2021)。近年来,地表基质调查工作主要集中于平原地区(例如黑土地地区),聚焦于揭示基岩层结构与组成(侯红星等, 2021)。尽管侧重点不同,但生态地质相关的调查工作需要一个相对统一的工作思路,这样才能有序开展工作部署。如果从表生地质作用过程考虑,低山丘陵区是以剥蚀作用为主,其成土母质主要为基岩或近源搬运物质风化而成;而平原地区剥蚀作用相对较弱,其成土母质为远距离搬运沉积而成(图1)。由此可见,不同地貌单元的表生地

质过程和物质组成不同,而生态系统的发育又主要受这些表生过程的影响甚至控制。如果以表生地质过程中的物质搬运迁移的源汇特征为线索,陆地生态系统可划分为以下3种主要类型:①低山-丘陵区:该地区为剥蚀区,以物质搬运迁出为主,表生地质过程主要为基岩风化成土作用。②河流-湖泊-湿地地区:该地区为冲-洪积或沉积区,以物质搬运汇入为主,表生过程主要为沉积(或堆积)作用。③平原-盆地地区:剥蚀程度较弱,物质保持相对稳定,表生地质过程主要为表层松散冲洪积物或沉积物的再风化作用。此外,还有一些特殊的地貌景观区,例如戈壁、沙漠等,在此不做论述。不同类型地区的表生地质过程制约着植被发育的支撑层的成因与特征不同,因此需要相应的工作思路 and 知识体系作为支撑。

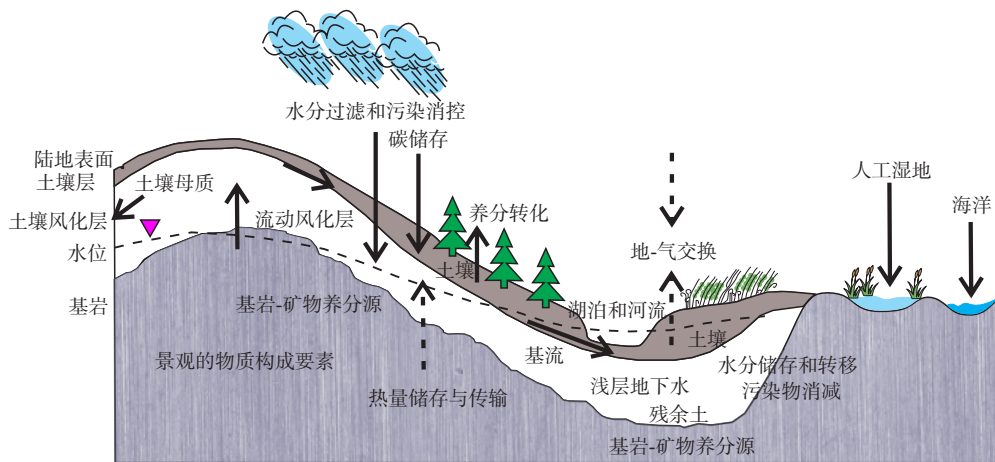


图1 陆地生态系统中地表物质组成分布结构示意图(据朱永官等, 2015 修改)

Fig. 1 Schematic diagram of composition and distribution structure of surface materials in terrestrial ecosystem

(1)在低山-丘陵区,支撑植被发育的土层和风化破碎带主要为原地风化形成产物,这种情况下需要调查基岩风化与上覆土壤的物质组成及空间分布特征,研究在区域气候条件下不同类型基岩风化成土过程,揭示风化剥蚀作用过程中物质搬运、元素迁移与富集机制,并以区域内基岩风化成土特征为基础划分生态地质单元,评价其自然植被承载力(耕、乔、灌、草、湿、荒)。

(2)在河流-湖泊-湿地区,支撑植被发育的是阶地和滩地松散沉积物,调查沉积物的物质组成与空间结构特征,研究沉积物演变过程、推演演化趋势,揭示水动力作用过程中物质搬运、元素迁移与富集机制,并以表层沉积物类型和水文地质条件为基础划分生态单元,评价其自然植被承载力。

(3)在平原-盆地区,支撑植被发育的为松散沉积

物再风化土壤层,调查土壤土层及下覆松散沉积物的物质组成与空间结构特征,研究松散沉积物的风化成壤过程,揭示雨水淋滤、侵蚀作用过程中物质搬运、元素迁移与富集机制。对于湿润地区以土壤质地和地球化学特征为基础划分生态地质单元,对于干旱地区则以土壤质地与水文地质条件为基础划分生态地质单元,评价其自然植被承载力。

在上述调查研究基础上,按照耕、乔、灌、草、荒优先序列,以植被承载力评价结果为阈值,判别研究区是否存在人为活动所致生态问题。具体为,如研究区自然植被与阈值存在较大差异,则可以理解为研究区没有展现自然承载力、存在人类活动所致生态问题,或称之为人为生态问题区。对于人为生态问题区,研究该区人为影响因素并提出相应的治理与规划方案,恢复自然生态。对于那些自然植被与阈值相近的

地区,则可以理解为目前的生态特征为自然承载力的展现。这些地区的生态问题可以理解为受自然条件的制约,或称之为自然生态问题区。对于自然生态问题区,首先考虑其气候因素的制约,其次研究其支撑层的影响;如为支撑层的影响,则反演地质过程、揭示关键影响因素,提出基于自然的治理方案,延缓其退化趋势,以达到防治效果。

## 2.2 主要研究内容及目标

基于上述工作思路的阐述,生态地质工作任务目标和研究内容就比较清晰,主要包括以下4个方面:

(1)研究特定气候条件下不同地质-地貌单元的表现地质过程,包括地表基质层物质的风化、剥蚀与搬运过程,揭示基质层(基岩)成土或成壤能力、成壤厚度与土壤层结构。

(2)研究表生地球化学过程,包括物质的迁移、元素的富集与贫化,揭示土壤元素特征,例如营养元素和问题元素等。

(3)研究基质层(植被支撑层)的地质条件,划分生态地质单元,评价其自然植被支撑潜力,评价其宜耕、乔、灌、草、湿或荒。

(4)研究生态问题的成因,针对人为影响因素,提出合理的规划或修复方案;针对地质成因,反演地质过程,揭示关键地质因素,推演未来演化趋势,遵循自然规律,提出具有针对性的规划或保护方案。

由上述研究内容可见,以基质层调查为代表的生态地质工作需要调查岩、土、水、气、生等地质要素,需要研究风化、剥蚀、搬运、迁移、沉积等表生地质作用过程,因此该项工作涉及到岩石学、矿物学、地球化学、水文地质学、土壤学和地理学等相关知识的综合应用。在此基础上,还需要进一步开展生态适应评价,提出基于生态问题成因的保护与修复建议,涉及生态学和土地科学相关知识。因此,生态地质调查工作需要地球系统科学理论知识的全面支撑,也是交叉学科知识的具体应用。

## 3 调查方法与技术手段

### 3.1 调查方法

依据前文所述研究思路和研究内容,生态地质调查重点是要揭露生态(植被)支撑层的物质组成与结构特征及其生态承载力。主要包括四部分内容,工作区的气候景观属性、植被生态特征、植被支撑层(基质层)的空间分布特征、支撑层的理化性质(侯红星等,

2021)。针对不同需求的生态地质相关调查,虽然总体研究思路和内容大致相同,但各自的具体调查要素和分析指标尚需要梳理与细化,在此不做赘述。笔者以黑土地地表基质调查为例,介绍相关调查要素与指标体系。基质层调查重点在于揭示植被支撑层的机构及物质组成,即地面以下物质组成与结构(表1)。针对所需调查内容,除特殊的生态相关要素外,优选传统的地质调查手段可以达成目标(侯红星等,2021)。例如采用遥感解译自然景观、植被分布,采用地球物理方法揭示基质层的分层与厚度,采用槽探和钻探方法可以揭示基质层的物质组成与空间分布,采用地球化学手段可以分析物质成分组成等。尽管如此,由于不同地貌景观区对地下信息的暴露程度不同,调查手段也各有侧重,不能一概而论。笔者重点从植被支撑层野外调查的角度阐述调查手段的选择与应用。

#### 3.1.1 低山-丘陵区

该地区的土壤层一般为基岩直接风化而成的原地残积或坡积物,土壤层与基岩直接接触且一般厚度不会太厚,通常情况下基岩以上部分就构成了植被支撑层。由于地形坡度相对较陡,经雨水常年冲刷,冲沟相对发育。正是由于冲沟的切割,基岩以上基质层的结构与物质组成特征被冲沟充分揭露,因此沿冲沟开展野外调查,可以观测到基岩和基质层的结构及物质组成特征,可避免过度采用其他手段。

#### 3.1.2 山前过渡带

作为一种特殊的地形地貌区,山前过渡带介于山区和盆地之间,多数为覆盖于基岩之上的山前冲洪积物,具有一定厚度。该地区的基质层一般没有直接暴露地表,需要采用一定手段进行揭示。除地表调查外,需要采用洛阳铲、背包钻、汽车钻等手段揭示不同深度的物质组成与结构特征,采用电法和微动等地球物理手段调查地下不同层位厚度、横向和纵向延伸情况以及冲洪积物与下伏基岩的界面等。由于该地区的沉积物组成变化较大,调查密度相对要密。

#### 3.1.3 河流-湖泊-湿地

该地区的水系较为发达,以沉积作用为主,除极少数地点外,积水区对植被的支撑作用不明显,因此主要调查非积水区的植被支撑层特征。例河流区的阶地、沿湖沼泽地和湿地的周边地区。这些地区需要借助洛阳铲、背包钻、汽车钻等手段揭示不同沉积相的物质组成以及它们的平面和垂向分布特征。同样是由于该地区的沉积相变化频繁,调查密度需要相对加密。

表1 地表基质调查内容-要素指标体系表(据中国地质调查局“地表基质调查工程”提供修改)

Tab. 1 Surface substrate survey content-element index system of black soil (Provided by the surface matrix investigation project from the China Geological Survey)

| 调查内容 | 要素     | 地质-地貌类型  |  |   |                      | 获取手段                 |
|------|--------|--|--|---|----------------------|----------------------|
|      |        | 低山-丘陵区(基岩区)  | 山前过渡带                                  | 平原-盆地区  | 河流-湖泊-湿地             |                      |
| 景观属性 | 地质景观   | 不同基质形成的地层单位、构造单元、沉积相等  |  |   |                      | 收集资料<br>野外调查         |
|      | 地理景观   | 地貌特征(高原、平原、盆地、山地、丘陵、荒漠、岩溶区等; 低山、丘陵、漫川漫岗、平原、坳谷等); 地形特征(陡坡、缓坡、平地等) |  |   |                      | 收集资料<br>遥感解译<br>野外调查 |
| 时空结构 | 平面特征   | 二级分类、岩性、形成时代、风化特征等   | 二级分类、砾质类型、形成时代、成因类型、砾石含量、原岩成分等         | 二级分类、土壤质地、形成时代、土壤类型、土地利用类型等   | 二级分类、泥质类型、形成时代、成因类型等 | 收集资料<br>野外调查         |
|      | 垂向特征   | 风化壳厚度  | 垂向分层、厚度、结构特征等                          | 垂向结构特征、黑土层厚度、耕层厚度、有效土层厚度、障碍层深度及厚度、成土母质  | 垂向分层、厚度、结构特征等        |                      |
|      | 最大调查深度 | 基岩顶面   | 50 m                                   | 50 m  | 水体以下2 m              |                      |
| 理化性质 | 物理特征   | 土壤物质组成与质地、岩石风化程度等  | 土壤的质地、成土母质物质组成与结构; 胶结或松散程度、胶结物成分、持水能力等 | 土壤含水率、结构、质地、容重、孔隙度; 成土母质的结构及物质组成等   | 颜色、物质组成              | 收集资料<br>野外调查<br>分析测试 |
|      | 化学成分   | 主量元素、部分营养元素、有益元素   | 主量元素、部分营养元素、有益元素                       | 土壤化学指标: pH、阳离子交换量、全盐量、有机碳、全碳、黏土矿物等<br>土壤养分指标: 全氮、全磷、全钾、Se等<br>基质层元素指标: 主量元素、部分营养元素、有益元素 | pH值、有机质等             | 收集资料<br>分析测试         |
| 生态属性 | 表观生态   | 地表水类型、分布; 植被类型、覆盖度; 侵蚀类型、侵蚀程度等                                   |  |   |                      | 收集资料                 |
|      | 内部生态   | 地下水水位、水质   |  | 地下水水位、水质等   |                      | 收集资料<br>野外调查<br>分析测试 |
|      | 气候环境   | 气候带类型(热带雨林气候、干燥气候、温带多雨气候等), 年、月平均温度变化, 年积温, 年平均降雨量、蒸发量、年均风速等     |  |   |                      | 收集资料                 |

### 3.1.4 平原-盆地

该地区一般为曲流河的泛滥平原沉积相, 质地为细粒的泥沙, 厚度较大且相对稳定。由于地质历史时期河流的改道等原因, 其中分布有一些河流相的沙砾透镜体。这些地区需要借助洛阳铲、背包钻、汽车钻等手段揭示基质层的物质组成以及它们的平面和垂向分布特征, 对于某些特殊层位可以追加地球物理方法揭示其分布特征。由于沉积相相对稳定, 调查密度可以相对放稀。

### 3.2 技术手段与布署原则

如上文所述, 地表基质野外调查手段主要包括地面调查、洛阳铲、背包钻、汽车钻和地球物理调查等5种手段。由于不同手段揭示的深度和内容不同, 因此需要充分利用其特点, 开展综合性的有效布署。

#### 3.2.1 地面调查

地面调查与传统地质调查一样, 需要根据调查比例尺要求, 按照一定距离或面积布署调查点, 主要调查地面及其以上的要素特征, 包括景观特征、生态特征、土壤类型、土地利用类型等。在基质层调查内容

中,地面调查揭示的是地表(0 m,一般为0~25 cm)及其上覆要素(自然或人工)的特征。

### 3.2.2 洛阳铲调查

洛阳铲调查主要用于揭示2 m以浅基质层的物质组成与结构特征,重点在于调查农作物及一般植物根系所涉及的土壤层的物质组成特征,其调查点位布署应与地面调查点位相匹配。

### 3.2.3 背包钻调查

背包钻调查主要用于揭示10 m以浅的基质层物质组成与结构特征,重点在于揭示成土母质的特征,其点位布署需要考虑成土母质的地质成因,按地质成因单元开展布署。原则上,在同一单元内沿平面上物质组成最大变化方向布署背包钻,在成因单元边界或物质组成变化较大地区加密布置点位,而在相对稳定地区减少点位,最大限度的揭示成因单元内组成物质的平面和垂向演变特征。

### 3.2.4 汽车钻调查

汽车钻调查主要用于揭示50 m以浅基质层的物质组成与结构特征,重点用于研究成土母质的地质成因的演化过程,为全面理解研究区生态演变历史和未来演变趋势服务。其布署原则与背包钻相似,主要部署在山前过渡带、盆地和平原区。

### 3.2.5 地球物理调查

地球物理方法主要用于揭示地表基质特征层位的平面延伸以及厚度变化情况、揭示松散堆积层与下覆基岩之间的接触面,布署原则与汽车钻类似,地球物理资料需要联合汽车钻的钻孔岩心记录开展解译工作。通过前期实践,发现电法和微动是较为有效的地球物理方法。

## 4 成果表达方式与应用

传统的地质调查成果一般以图件形式表达,例如区域地质、水文地质、工程地质等领域的调查。与生态环境相关的专项地质调查,例如环境地质调查、土壤地球化学调查、地质灾害调查等,也是借鉴传统的地质调查方法,采用图件方式表达成果。因此,服务于生态文明的地质调查的成果图件应该从实际需求出发,既要客观的表达调查要素的具体特征,又要具有实用性和针对性。与其他专项地质调查不同,以地表基质调查为代表的生态地质调查是在三维空间开展调查并且调查要素拥有不同的属性,相关信息很难通过一张二维平面图表达清楚,因此需要一定的探索

和创新。基于前期实践经验,笔者以地表基质调查为例,建议按分层分属性的制图原则制图表达,在此简要介绍相关构成原则和表达形式,以供参考。

### 4.1 分层制图,以主图+镶图(或套图)形式展示

如前文所述,不同的调查手段揭示不同深度的物质组成与结构特征,因此建议按照不同的深度进行分层制图(0 m、2 m、10 m、50 m),每个层位采用主图+镶图的形式表达。

(1)0 m图件主要表达地表(0~25 cm)土壤分布及其上覆生态层和管理层的主要特征,特殊景观区的特征单独表示,如裸岩区、沙漠区等。主图需要表达地表土壤类型(建议划分到土壤学分类的亚纲级)分布以及土壤质地等要素特征;镶图表达与生态相关一些要素,按属性分类分别用多个镶图表达,例如土壤含水率分布、有机质含量分布、土壤容重分布、生态特征分布、管理层(耕地、林地、草地、建设用地等)分布特征。

(2)2 m图件主要表达2 m深基质层的物质组成及分布特征以及2 m以浅的垂向物质组成变化特征。主图需要表达2 m深基质层的物质组成及基岩平面分布特征;镶图采用柱状图形式表达不同地区0~2 m基质层物质组成的垂向变化特征以及联孔剖面特征,另外可以采用平面图或柱状图形式表达一些与生态相关的要素,例如不同深度有机含量、潜水面、重要地球化学指标等。

(3)10 m和50 m图件的构图原则、要素与2 m图件类似,重点表达与生态相关的基质层特征。以上图件中,当表达内容深度超过基岩顶面时,直接以基岩内容表达。

### 4.2 分层制图,以图集形式展示

该方式与上述制图原则相同,还是按照不同的深度逐层表达调查内容,虽然表达内容上存在主次之分,但上述主图和镶图的内容都采用单独图件形式表达,这样选取表达的要素可以更加丰富、内容可以更加具体。按照0 m、2 m、10 m、50 m调查深度构成4套分图册,并统合为一套图集。

作为调查工作的重要成果,在调查基础上需要开展地表基质的生态适宜性评价,因此除上述基础图件外还需要绘制适宜性评价图。虽然调查工作主要目标为服务于生态文明建设,但调查成果最直接的应用应该更多地服务于自然资源的“三生”空间管理,服务于“三条红线”的划定,服务于农林牧业生产、服务于生态保护与修复等。另外,作为一项公益性调查,



其成果可能更多地作为一些基础资料服务于其他专项工作或研究使用或参考。

## 5 发展趋势与展望

### 5.1 加快统筹设计、制定系列性规范标准

在中国目前有一批生态地质相关调查项目正在执行当中,例如生态地质调查、地表基质调查、生态修复支撑调查等,由于缺少国际上相关经验借鉴,尚未形成统一的思路和规范标准。虽然上述工作的名称与具体内容有所差异,但都是服务生态文明这一大目标,为避免相互重复与冲突,亟待具有统筹性的思路和指导方案,编制出系列性的规范标准,形成全国“一张网”的格局,更好地服务与中国生态文明建设。

### 5.2 加强数据库平台建设,实现智能化管理

参照前期其他专项调查数据库管理经验(何文娜等,2020),以GIS软件为平台建立生态地质调查数据库,统一数据库格式,避免分散;通过数据库平台管理者或应用者可以多维度的调取数据,选择相关要素自动生成图件。

### 5.3 引进模型软件开发、实现立体化表达

生态地质相关调查涉及到不同层圈和不同属性的自然资源要素,如何同时展现这些要素是个难题。立体化表达方式可以有效解决该问题,在三维立体空间上可以有效地将不同空间、不同属性要素表达出来,这就要求针对性地开发相关软件。通过软件的处理,将三位空间要素分布特征可视化,并可多视角的观看。

### 5.4 建立监测体系,加强综合研究

地表地质要素之间是相互作用,换言之,表生地质过程与生态发育过程具有一定的耦合作用,只有通过长期的观测或监测,积累足够的数据库,才能有效的分析和总结相关规律。如前文所述,生态地质调查工作不是简单的调查工作,关键在于揭示表生地质过程对生态(或植被)发育的制约,尤其地质成因的生态问题,只有加强综合研究才能深入揭示关键地质要素的影响与效应,提出合理的是建议与规划。

## 参考文献(References):

董和金. 关于城市生态地质环境研究[J]. 中国地质, 2000, (05): 33-35.

DONG Hejin. Research on Urban Ecological Geological Environment[J]. *Geology in China*, 2000, (05): 33-35.

段星星, 邱德明, 白金. 浅析生态地质调查思路——以黄河源为例[J]. 地质评论, 2020, 66(S11): 159-160.

DUAN Xingxing, QIU Deming, BAI Jin. Thoughts on ecological geological survey: taking Yellow River headwaters as an example[J]. *Geological Review*, 2020, 66(S11): 159-160.

葛良胜, 杨贵才. 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, 2020, 33(09): 4-11+67.

GE Shengliang, YANG Guicai. New Field of Natural Resources Survey and Monitoring: Ground Substrate Survey[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2020, 33(09): 4-11+67.

顾承启. 俄罗斯地质生态制图概况[J]. 中国地质, 1994, (08): 29-30.

GU Chengqi. General Situation of Geological and Ecological Mapping in Russia[J]. *Geology in China*, 1994, (08): 29-30.

何文娜, 朱长青, 李仰春, 等. 基于ArcGIS的智能地质图综合[J]. 地球物理学进展, 2020, 35(2): 728-734.

HE Wenna, ZHU Changqing, LI Yangchun, et al. Intelligent geological map generalization based on ArcGIS[J]. *Progress in Geophysics*, 2020, 35(2): 728-734.

侯红星, 张蜀冀, 鲁敏, 等. 自然资源地表基质层调查技术方法新经验——以保定地区地表基质层调查为例[J]. 西北地质, 2021, 54(03): 277-288.

HOU Hongxing, ZHANG Shuji, LU Min, et al. Technology and Method of the Ground Substrate Layer Survey of Natural Resources: Taking Baoding Area as an Example[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(03): 277-288.

贾磊, 刘洪, 欧阳渊, 等. 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——以珠江新会-台山山区为例[J]. 西北地质, 2022, 55(4): 140-157.

JIA Lei, LIU Hong, OUYANG Yuan, et al. 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*, 2022, 55(4): 140-157.

林景星, 张静, 史世云, 等. 生态环境地质学——21世纪新兴的地球学科[J]. 地质通报, 2003, (07): 459-469.

LIN Jingxing, ZHANG Jing, SHI Shiyun, et al. Ecoenvironmental geology—a rising branch of earth science during the 21st century[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, (07): 459-469.

刘建宇, 聂洪峰, 宋保芳, 等. 内蒙古阴山北麓的风蚀沙化作用及其生态地质效应[J/OL]. 中国地质: 1-16[2022-07-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20211027.1953.002.html>.

LIU Jianyu, NIE Hongfeng, SONG Baofang, et al. The Wind Erosion, Land Desertification and Ecogeological Effects in the Northern Piedmont of Yinshan Mountain in Inner Mongolia. [J/OL]. *Geology in China*: 1-16[2022-07-09].

李文明, 李健强, 徐永, 等. 西北生态地质调查研究进展与展望



- [J]. 西北地质, 2022, 55(3): 108–119.
- LI Wenming, LI Jianqiang, XU Yong, et al. Progress and Prospects of Ecological Geological Survey in Northwest China[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(3): 108–119.
- 马腾, 沈帅, 邓娅敏, 等. 流域地球关键带调查理论方法: 以长江中游江汉平原为例[J]. *地球科学*, 2020, 45(12): 4498–4511.
- MA Teng, SHEN Shuai, DENG Yamin, et al. Theoretical Approaches of Survey on Earth's Critical Zone in Basin: An Example from Jiangnan Plain, Central Yangtze River[J]. *Earth Science*, 2020, 45(12): 4498–4511.
- 马震, 夏雨波, 李海涛, 等. 雄安新区自然资源与环境-生态地质条件分析[J]. *中国地质*, 2021, 48(03): 677–696.
- MA Zhen, XIA Yubo, LI Haitao, et al. Analysis of natural resources and environment eco-geological conditions in the Xiong'an New Area[J]. *Geology in China*, 2021, 48(03): 677–696.
- 聂洪峰, 肖春蕾, 戴蒙, 等. 生态地质调查工程进展与主要成果[J]. *中国地质调查*, 2021a, 8(01): 1–12.
- NIE Hongfeng, XIAO Chunlei, DAI Meng, et al. Progresses and main achievements of ecogeological survey project[J]. *Geological Survey of China*, 2021a, 8(01): 1–12.
- 聂洪峰, 肖春蕾, 任伟祥, 等. 生态地质研究进展与展望[J]. *中国地质调查*, 2021b, 8(06): 1–8.
- NIE Hongfeng, XIAO Chunlei, REN Weixiang, et al. Progress and prospect of ecogeological research[J]. *Geological Survey of China*, 2021b, 8(06): 1–8.
- 彭建兵, 兰恒星. 略论生态地质学与生态地质环境系统[J]. *地球科学与环境学报*, 2022, 44(6): 877–893.
- PENG Jianbing, LAN Hengxing. Ecological Geology and Eco-geological Environment System[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 2022, 44(6): 877–893.
- 王建恒. 寻山水林田湖草监测之道——新时代自然资源统一调查监测制度体系建设探究[J]. *资源导刊*, 2020, (02): 54–55.
- WANG Jianheng. Seeking the Way of Monitoring Mountains, Rivers, Forests, Fields, Lakes and Grasses - Exploring the Construction of the Unified Investigation and Monitoring System of Natural Resources in the New Era[J]. *Resource Guide*, 2020, (02): 54–55.
- 王京彬, 卫晓锋, 张会琼, 等. 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*, 2020, 47(6): 1611–1624.
- WANG Jingbing, WEI Xiaofeng, ZHANG Huiqiong, et al. The ecogeological 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*, 2020, 47(6): 1611–1624.
- 肖春蕾, 聂洪峰, 刘建宇, 等. 生态-地质作用模式: 诠释表生地质过程与生态特征的耦合[J]. *中国地质调查*, 2021, 8(06): 9–24.
- XIAO Chunlei, NIE Hongfeng, LIU Jianyu, et al. Ecological and geological interaction model: The coupling of supergene geological processes and ecological characteristics[J]. *Geological Survey of China*, 2021, 8(06): 9–24.
- 徐冠华. 关于地球系统科学学科建设的几点意见[J]. *科学通报*, 2017, 62(30): 3409–3412.
- XU Guanhua. On the development and education of the discipline of Earth system science[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2017, 62(30): 3409–3412.
- 杨顺华, 张甘霖. 什么是地球关键带[J]. *科学*, 2021, 73(5): 33–36+4.
- YANG Shunhua, ZHANG Ganlin. What is the Critical Zone?[J]. *Science*, 2021, 73(5): 33–36+4.
- 殷志强, 秦小光, 张蜀冀, 等. 地表基质分类及调查初步研究[J]. *水文地质工程地质*, 2020, 47(06): 8–14.
- YIN Zhiqiang, QIN Xiaoguang, ZHANG Shuji, et al. Preliminary study on classification and investigation of surface substrate[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2020, 47(06): 8–14.
- 袁国礼. 生态地质调查与生态修复机理诊断 (P358)[A]. 施俊法编. 新时代地质工作方略[M]. 北京: 地质出版社, 2022.
- 赵平. 新时代生态地质勘查工作的基本内涵与架构[J]. *中国煤炭地质*, 2018, 30(10): 1–5.
- ZHAO Ping. Fundamental Connotation and Framework of Eco-geological Exploration in New Era[J]. *Coal Geology of China*, 2018, 30(10): 1–5.
- 周妍, 陈妍, 应凌霄, 等. 山水林田湖草生态保护修复技术框架研究[J]. *地学前缘*, 2021, 28(4): 14–24.
- ZHOU Yan, CHEN Yan, YING Lingxiao, et al. A technical framework for ecosystem conservation and restoration[J]. *Earth Science Frontiers*, 2021, 28(4): 14–24.
- 朱永官, 李刚, 张甘霖, 等. 土壤安全: 从地球关键带到生态系统服务[J]. *地理学报*, 2015, 70(12): 1859–1869.
- ZHU Yongguan, LI Gang, ZHANG Ganlin, et al. Soil security: From Earth's critical zone to ecosystem services[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1859–1869.
- Banwart S, Menon M, Bernasconi S M, et al. Soil processes and functions across an international network of Critical Zone Observatories: Introduction to experimental methods and initial results[J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2012, 344(11-12): 758–772.
- Gao B, Li M, Wang J, et al. Temporally or spatially? Causation inference in Earth System Sciences[J]. *Science Bulletin*, 2022, 67(3): 232–235.
- National Research Council (NRC). Basic Research Opportunities in Earth Science[M]. Washington, D. C. : National Academies Press, 2001.
- Trofimov VT, Ziling DG. Ecological geological in the program of “University of Russia” [Z]. *Geoecologia*, 1994, 3, 119–120.