

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2024.07.008

引文格式: 杨劲松, 陈彭, 杨柯, 陈阳阳, 李俊华, 陈洪云, 董秋瑶, 曹静. 2025. 第四纪地质学视角下地表基质调查进展与思考[J]. 华东地质, 46(3): 314-327. (YANG J S, CHEN P, YANG K, CHEN Y Y, LI J H, CHEN H Y, DONG Q Y, CAO J. 2025. Progress and thought of ground substrate survey from the perspective of Quaternary geology[J]. East China Geology, 46(3): 314-327.)

第四纪地质学视角下地表基质调查进展与思考

杨劲松^{1,2}, 陈彭³, 杨柯⁴, 陈阳阳⁴, 李俊华³, 陈洪云^{1,2}, 董秋瑶^{1,2}, 曹静^{1,2}

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061; 2. 中国地质调查局第四纪年代学与水文环境演变重点实验室, 河北石家庄 050061; 3. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北廊坊 065000; 4. 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 150081)

摘要: 地表基质调查是自然资源综合调查的全新业务领域, 对生态文明建设和区域经济高质量发展具有重要意义。文章结合国内外基础地质调查和土壤调查等领域的研究动态, 梳理了地表基质的概念及分类, 总结了地表基质调查在调查内容及深度、工作流程和方法等方面取得的进展, 并基于第四纪地质学视角, 从地表基质理论方法、调查区域和成果总结等方面提出了思考及建议: 第四纪地质学可为地表基质调查提供基础的地学理论框架, 尤其有助于增进对砾质、砂质、土质和泥质等地表基质类型的科学认识; 在调查区域选取方面, 建议优先选取冲积平原区(如华北平原、三江平原)和大型沉积盆地(如汾渭盆地、四川盆地)等第四系覆盖区开展地表基质调查工作; 在成果总结方面, 应加强第四纪年代学研究和环境代用指标分析, 提升对地表基质形成及演化规律的整体认识, 进一步完善图面表达形式, 增强调查成果的可读性和科学性。

关键词: 地表基质; 第四纪地质; 理论方法; 调查区域; 成果总结

中图分类号: P534.63; P56

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2025)03-314-14

为了深入贯彻落实党中央关于“加快建立自然资源统一调查、评价、监测制度”的决策部署, 2020年自然资源部正式发布了《自然资源调查监测体系构建总体方案》(下文简称《总体方案》)(自然资源部, 2020)。《总体方案》明确指出: 监测体系围绕土地、矿产、森林、草原、水、湿地、海域海岛等七类资源展开, 科学构建自然资源立体时空模型, 对地表基质层、地表覆盖层和管理层进行统一组织和精细化综合管理。其中, 地表基质层指地表以下一定深度内的地表基质综合体,

是联系自然资源要素的时空纽带, 也是表生地球系统科学和地球关键带的核心区域(郝爱兵等, 2024; 李晓亮等, 2022)。

《总体方案》还指出: 逐步在全国开展地表基质调查工作, 重点查明岩石、砾石、沙、土壤等地表基质的类型、理化性质及地质景观属性。地表基质调查更注重对地表物质理化性质的获取, 加强了与表层地球系统的综合研究, 拓展了地质工作的调查研究内容和服务方向(郝爱兵等, 2024; 殷志强等, 2023)。这项工作是自然资源调查监测

* 收稿日期: 2024-07-15 修订日期: 2024-10-31 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质科学院青年英才项目“黄河下游全新世古洪水事件及其水文学研究(编号: YK202308)”、中国地质调查局“海河平原 1: 25 万地表基质调查(编号: DD20242042)”“松嫩平原海伦水土侵蚀区 1: 5 万地表基质调查(编号: DD20242396)”和国家自然科学基金“黄土粉砂层 L9 和 L15 中水溶态硫酸盐特征及其成因机制(编号: 42307555)”项目联合资助。

第一作者简介: 杨劲松, 男, 1987 年生, 副研究员, 博士, 主要从事第四纪地质调查与环境演变研究工作。Email: yangjinsong@mail.cgs.gov.cn。

通信作者简介: 陈彭, 男, 1982 年生, 正高级工程师, 博士, 主要从事生态地质与地表基质调查研究工作。Email: cpeng@mail.cgs.gov.cn。

工作的新领域,与区域地质调查、生态地质调查、土壤调查和土地质量地球化学调查具有密切联系,但又存在明显区别(李响等, 2023; 聂洪峰等, 2021; 裴小龙等, 2024; 姚晓峰等, 2022; 袁国礼等, 2023)。本文结合笔者相关工作经验和国内外研究动态,综述了地表基质调查现状和进展,重点对第四纪地质学视角下地表基质调查的融合发展提出思考及建议,以期为后续地表基质调查及相关工作提供参考。

1 地表基质的概念及分类

《总体方案》首次提出了地表基质的概念,指“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”。《地表基质分类方案(试行)》(下文简称《分类方案》)(自然资源部, 2021)将地表基质的概念进一步明确为“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”,更加强调了地表基质的天然性、支撑性和潜在性

(葛良胜等, 2022; 郝爱兵等, 2020)。

地表基质是多学科交叉的一个新概念,前人对地表基质与风化壳(地学)、土壤(农学)、立地(林草学)和底质(生态学)等相似概念进行了辨析(董天钰等, 2023; 姚晓峰等, 2022; 袁国礼等, 2023)。其中,土壤是联系地表基质层与地表覆盖层的重要因素,属于调查的重要内容和切入点(殷志强等, 2020a; 自然资源部, 2021)。相对而言,地表基质调查比土壤调查的范围更广,深度更深,更应侧重于地质成因、成土过程及其对地表覆盖层的约束(刘玖芬等, 2024; 殷志强等, 2023; 张凤荣, 2023)。根据最新的土壤调查综述文章(Cahyana et al., 2023; Chen et al., 2022),前期相关工作主要集中在表土层(<30 cm),对下伏的成壤母质(>2 m)及其相关年代等地质信息关注不够(图1)。国内前期开展的土壤调查、土地质量地球化学调查和土壤时空变化研究中,也存在类似的问题(李括等, 2019; 张甘霖等, 2020; 朱阿兴等, 2018)。而地表基质更加强调表生过程和多圈层相互作用,相关调查工作能较好地弥补以上不足,有利于增强对地表圈层的系统认识。

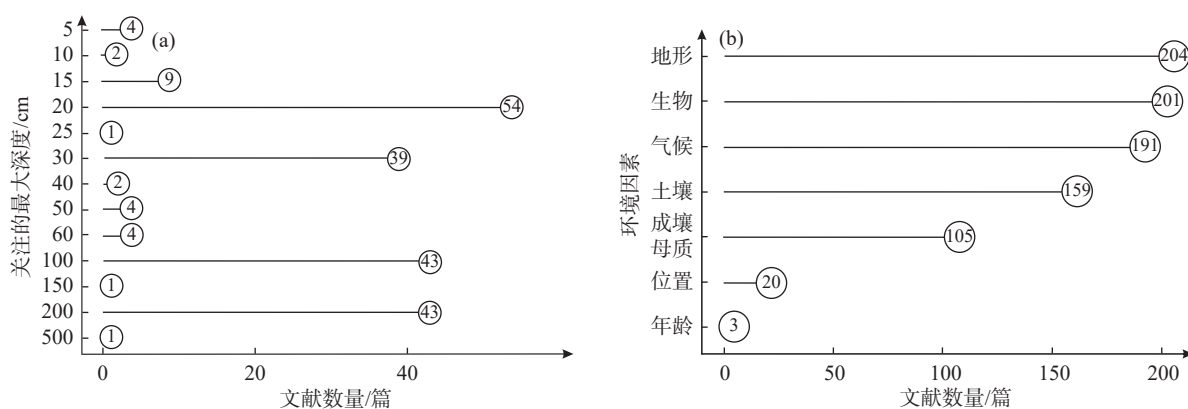


图1 土壤调查中关注的最大深度(a)及与环境因素(b)相关的文献数量分布图(据 Chen et al., 2022 修改)

Fig. 1 Distribution of the number of related literature on maximum depth (a) and environmental factors (b) in soil surveys (modified from Chen et al., 2022)

实际上,土壤调查与区域地质调查工作密不可分,对相关调查成果的验证受到了学界的长期关注(Gruber et al., 2019; Juilleret et al., 2012; Miller et al., 2008; Miller and Lee Burras, 2015)。近年来,随着研究工作的逐步深入,国外众多学者开始关注土体(solum)以下的地质作用过程。例如, Juilleret et al.(2016)提出将母质层(subsolum, 通常

厚度>2 m)的概念纳入土壤调查分类系统,指出需要加强对土壤层-基质层的综合分析,并强调了风化强度、岩性和结构特征等在分类系统中的重要性。在此基础上, Simon et al.(2021)为了更好地联系母质层与土壤层,从传统地质调查的思路和方法着手,提出了“Subsolum geological substrate, SSGS”的概念,进一步深化了土壤学与地

质学的统一联系。研究者充分考虑了基质中不同粒径沉积物或岩石的理化性质,建立了较为完善的分类体系。颇为巧合的是,SSGS 这一概念的提出时间与《总体方案》的发布时间相近,其科学内涵、理论框架也与地表基质基本吻合,表明浅部地表圈层是当前国内外学术界共同关注的热点与前沿之一。

关于地表基质的分类,尽管《总体方案》和《分类方案》中已提出了岩石、砾质、土质和泥质等 4 类三级的分类体系,但还存在类型划分标准不统一、地质含义不明确、科学性不强等问题(陈彭等, 2024; 郝爱兵等, 2024; 殷志强等, 2020)。在此基础上,部分学者结合实际工作经验,细化了地表基质分类方案(表 1)。整体而言,目前一级方案中的岩质、砾质、砂质、土质和泥质已基本达成共识,能较好地涵盖地表基质的科学内涵。二级方案中应注重地表基质在地质成因方面的规律性总结,适当加强与地质建造和沉积相等传统地学概念的联系,便于理解和传播,如:冲积砂、风积砂、海积砂等。三级方案可在二级方案的基础上,进一步细化、分解不同的地质成因类型,例如,二

级方案中的河流相砂质,可细分为河漫滩粉砂、河道中-粗砂等。在野外调查和研究中,应结合地表基质层的颜色、岩性和结构等易于识别的特征,丰富三级方案中关于地表基质的相关描述。总之,地表基质分类方案应在确保科学性、一致性和延续性的基础上,兼顾野外调查时易于识别、方便归纳和公认共识等特性。

2 地表基质调查现状

随着地表基质调查工作的逐步推广,中国地质调查局已先后围绕华北山前平原过渡区(侯红星等, 2021; 乔衍溢等, 2023; 王献等, 2023)、东北黑土区(艾晓军等, 2023; 陈彭等, 2023; 侯红星等, 2022; 霍东等, 2024; 刘洪博等, 2022; 邵兴坤等, 2024; 周业泽等, 2022)、北方农牧交错区(邵海等, 2023; 殷志强等, 2020a, 2020b, 2022, 2023)和长三角宁波陆海过渡区(祝晓松等, 2024)等典型地区开展了试点调查工作。此外,以河北省(陈龙等, 2022, 2023; 孙勇刚等, 2023; 张闯等, 2023)和湖北省(朱晁亭等, 2023)为代表的省级地勘单位也开展了一些示范调查项目。这些工作主要对地表基质调查内容及深度、工作流程和调查方法等进行了初步分析和有益探讨。

2.1 调查内容和深度

根据《总体方案》和《分类方案》要求,地表基质调查重点内容包括基质类型、空间分布、理化性质、景观属性和生态功能等(自然资源部, 2020, 2021)。葛良胜和杨贵才(2020)认为,地表基质调查的重点是厘清与地表基质层有关的要素和时空-物质属性结构,科学地构建地表基质调查的要素-属性结构模型和指标体系。侯红星等(2021b, 2022)认为,指标体系可进一步划分为通用性指标、区域性指标和特殊性指标等 3 个层次,其中通用性指标重点包括“时空结构、理化性质、景观属性、生态环境、其他”等 5 个一级指标体系,而区域性指标和特殊性指标应结合工作区的特色与需求,增加相应的调查内容。随着地表基质调查和研究的进一步推广与深入,地表基质层垂向结构特征及其与植被生态的支撑潜力已愈发受到关注。殷志强等(2023)指出,地表基质调查工作应以地球多圈层相互作用为主线,调查监测圈层之间相

表1 地表基质(一级)分类方案表 Table 1 Classification of ground substrate (first-level)	
地表基质分类方案	参考文献
岩石、砾质、土质、泥质	自然资源部, 2020, 2021
岩石、砂砾、土质、泥质、特殊基质	侯红星等, 2021a
土壤层、沉积层、风化破碎层、基岩层、地下水	孙禧勇等, 2022
岩石、砾石、砂、土壤	孙禧勇等, 2022
泥质、岩石、风化壳	董天钰等, 2023
岩石、砾质、土质	刘清俊等, 2023
岩石、松散沉积物、人工埋埋物	殷志强等, 2023
岩石、砾质、砂质、土质、泥质	陈彭等, 2024
岩质、砾质、沙质、土质、泥质	郝爱兵等, 2024

注:受篇幅所限,该表仅体现了地表基质一级分类差异,详细分类请根据参考文献查阅原文。

互联系的关键指标, 主要调查地表基质层的垂向结构、地表基质的本底特征和理化性质等。袁国礼等(2023)认为, 地表基质调查内容应涵盖物质组成与结构特征、地质成因与形成过程、植被适宜性和承载力评价等方面。陈彭等(2024)通过建立统一深度范围内固定深度的地表基质垂向构型, 辅以理化性质分析, 加深了对区域地表基质的规律性认识。此外, 地表基质调查中涉及岩、土、气、生、水等多种要素, 地表基质中附属物质(如水、有机质、生物和微生物等)也是调查内容之一(裴小龙等, 2024; 吴鹏等, 2024)。综上可知, 当前地表基质调查内容主要综合了地质学、生态学、土壤学和微生物学等多学科方向, 重点围绕地表基质特征、垂向构型及其与上覆植被的关系等方面展开相关的调查工作。

地表基质层具有明显的空间属性特征, 在开展相关调查时, 需根据不同深度层次来区分调查内容并有所侧重。目前, 关于地表基质调查的深度尚存在一些争议, 但前期调查中主要集中在 50 m 以浅, 结合不同的划分依据, 对地表基质调查内容提出了不同深度的分级建议(表 2)。

表 2 地表基质调查建议深度表
Table 2 Recommended depths for ground substrate survey

调查深度/m	划分依据	参考文献
0、2、10、50	土壤层、基质层、生态层	袁国礼等, 2023
10、30、50	生物活动层、生态支撑层、空间利用层	周业泽等, 2022
2、5、50	生产层、生态层、生活层	殷志强等, 2023
2、10、20	表层、中层、深层	刘玖芬等, 2024
2、10、20、>20	浅层、中深层、深层、超深层	郝爱兵等, 2024

理论上, 从覆盖层经过土壤层、风化壳、成土母质到基岩界面, 是对地表基质调查深度最直观的理解(贾磊等, 2022), 但对于不同区域, 应综合地质地貌特征、土壤类型和成壤模式等因素, 因地制宜确定相应的调查深度。在植被盖度较高的覆盖区, 考虑到地下水对覆盖层林、草、湿等资源的重要性, 其底界应至少大于区域平均潜水面(姚晓峰等, 2022), 如坝上地区的调查深度选在非饱

和包气带以上约 30 m 处(陈龙等, 2022)。在基岩裸露区, 主要参考风化的基岩表层深度, 如在广东珠三角新会—台山地区的地表基质调查工作(贾磊等, 2022)。郝爱兵等(2024)基于地下水变温带深度、农作物和植被根系深度、表生岩溶发育深度、风化壳厚度和潜水位埋深等因素, 建议地表基质调查的深度一般不超过 20 m。该划分方案较科学, 综合考虑常用的背包钻所能达到的深度有限, 建议调查深度在不超过 20 m 的情况下, 重点关注 10 m 以内的浅表层。此外, 对于水域地表基质调查, 结合前人在水域调查中的探索经验(张闯等, 2023), 调查过程中可参考湖泊及海洋调查相关工作方法, 受限于活塞重力钻施工条件, 调查深度集中在 1 m 以浅。

2.2 工作流程和方法

地表基质调查作为一项新型的基础性、公益性调查工作, 相关的工作流程及方法已日趋完善。例如, 侯红星等(2021b)提出“资料概化、遥感解译、综合编图、剖面测量、地球物理调查、地球化学调查、工程施工、采样测试、综合研究”的地表基质调查方法体系; 葛良胜等(2022)指出地表基质调查与基础地质(区域地质)调查、专项地质(水工环、生态、农业)调查、国土调查、土壤调查等具有明显区别, 并以工作流程为牵引、以调查内容为核心, 对其技术方法体系进行了系统论述。随着地表基质调查的逐步推广, 研究者对这一方法体系又进行了补充和完善(陈龙等, 2022; 刘洪博等, 2022; 孙勇刚等, 2023; 袁国礼等, 2023)。结合近几年来地表基质调查工作取得的相关进展, 本文依据工作流程对相关方法和技术手段进行了简要梳理。

(1)预研究。地表基质调查作为一项基础性、公益性和战略性调查工作, 应该从实际需求出发, 梳理区域特色与地方需求(袁国礼等, 2023)。在此基础上, 收集相关资料并开展必要的预研究工作。除了传统区域地质调查中收集的地质、地理、气象和水文等资料外, 地表基质调查还应关注地表植被、土壤、农业等基本情况。在综合分析前人成果的基础上, 绘制地表基质调查草图, 编制项目设计(姚晓峰等, 2022)。遥感技术能在短时间内获取大范围的地表覆盖特征, 为地表基质野外调查提供技术支撑, 这在一定程度上减轻了地表

基质调查工作的负担(霍东等, 2023; 王雁亮等, 2021)。此外, 深度学习、人工智能等新方法可显著提高调查效率, 如李泽钰等(2024)通过融合遥感与三调数据, 利用卷积神经网络的深度学习算法对区域地表基质类型进行了量化统计, 编制了地表基质分类分布图, 为野外调查提供了重要参考。

(2) 路线部署。地表基质调查工作的部署思路, 前期主要基于土壤普查和土地质量调查中的网格法开展地表基质调查工作。例如, 刘洪博等(2022)在东北黑土地调查中认为, 地表基质调查中点位布设方法应结合不同的区域特征, 利用网格法采样; 王献等(2023)在华北山地-平原过渡区运用统计学方法, 对此类地区合理的网格布点密度进行了分析与讨论。虽然网格法的调查点分布较规则、均匀, 能客观地反映区域内地表基质的分布特征, 但是由于网格法的平均调查点数量较多, 工作负荷较高, 且缺少必要的专业路线分析, 不利于后期成果的总结与分析。实际上, 区域地质调查的路线部署方法同样适用于地表基质调查, 即以穿越法为主, 追索法为辅, 重视 PRB 过程和数字填图技术(胡健民等, 2020; 李超岭等, 2003; 杨劲松等, 2022)。同时, 路线调查还应结合区域特色和地方需求, 针对性地部署相关工作, 尤其对于地表生态环境问题突出的区域, 可适当增加调查路线的数量, 提高调查精度。

(3) 野外调查。地表基质调查工作中由于天然露头较为有限, 主要依靠地质钻探和地球物理勘探等技术手段开展相关工作。苏兴涛等(2023)研发了电动背包式钻机、 $\Phi 60/40$ mm 单管冲击钻进、 $\Phi 50$ mm 双管冲击钻进、 $\Phi 208$ mm 中空螺旋钻进等取样器具及配套钻进工艺, 并在北京、内蒙古巴彦淖尔、浙江宁波和西藏那曲等地区, 针对岩石、砾质、砂泥质和冻土等开展了野外试验及应用。由于地表基质调查区多数为覆盖区, 自然露头较少, 若完全依靠钻孔揭露, 实物工作量大, 经费成本高。调查过程中物探具有经济、快速、高效等优势, 能够有效地指导钻探工作部署。在开展钻探工作之前, 应根据区域地质资料, 选取合适的物探方法, 初步刻画剖面中的地表基质结构及空间展布情况, 然后再辅以必要的钻孔来对比验证(代铮等, 2024; 高奇等, 2024; 黄子莹和魏芳, 2023; 黄子莹和杨倩, 2022)。

(4) 测试分析。野外调查结束后, 采用常规的地质分析方法开展测试分析工作, 查明地表基质的理化性质。例如: 光薄片鉴定(获取岩性特征)、粒度分析法(获取颗粒组成)、X 射线衍射(获取矿物成分)、微体古生物法(获取古生态信息)等是较常见和便捷的测试方法(葛良胜等, 2022)。刘玖芬等(2024)对比了已有相关调查结果, 根据各指标在垂向上的变化规律, 提出 4+N 型地表基质分层测试指标体系, 即 4 类必测模块和 N 类选测模块。其中, 必测模块包括物理特征、矿质(营养)元素、重金属元素和碳等四大类, 选测模块包括地表基质成土年代、演化特征、盐碱化和元素形态等。该测试指标体系具有较好的适用性和推广性, 进一步推动了地表基质调查的标准化和规范化。考虑到地表基质与成壤过程和古生态演变关系紧密, 笔者建议在工作区可选取代表性钻孔或剖面开展必要的年代学和古生态学测试分析, 便于更加客观地认识地表基质分布规律、形成机理及其与植被生态约束的相互关系。

(5) 成果集成。在区域调查和数据分析基础上, 开展综合研究, 面向多样化应用服务需求, 形成系列图、表、文、库相结合的数据成果(葛良胜等, 2022)。其中, 地表基质系列图件是调查成果的主要载体, 但目前对于图件内容和形式尚在讨论中。邵海等(2023)认为系列图件应包括地表基质厚度空间分布图、地表基质与地表覆盖层耦合关系图和地表基质图。陈彭等(2024)强调地表基质图中应包括平面分布特征和垂向结构属性。鉴于地表基质调查成果服务对象的多样化, 应当结合服务对象特征, 在专业图件基础上进行一定创新表达, 合理编制图件说明书和成果报告, 方便专业交流、科普宣传和管理规划等社会各界人士查阅及使用。

3 思考及建议

地表基质调查与传统地质调查在调查对象、工作流程和调查方法方面具有一定的相似性, 尤其是在广泛的第四纪松散沉积物覆盖区, 其工作思路和方法可借鉴前期覆盖区区域地质调查经验(李响等, 2023; 姚晓峰等, 2022)。第四纪地质可为地表基质调查提供重要指导, 同时地表基质调

查也可以作为第四纪地质应用和推广的重要方向之一, 两者在理论方法、调查区域和成果总结等方面能够相互借鉴、共同发展。

3.1 理论方法

第四纪地质学是研究第四纪地质历史时期(2.58 Ma 以来)的沉积物、生物、气候、地层、构造运动和地壳发展规律的学科(曹伯勋, 1995)。在现有的地表基质分类方案中, 除了岩石外, 其余砾、砂、土、泥等地表基质类型均属于第四纪沉积物。在这些区域开展地表基质调查, 第四纪地质学可为其提供一定的地质理论基础和技术方法参考。

(1) 气候环境代用指标分析能够帮助查明地表基质的特征及发育规律。现有地表基质调查的测试指标, 如粒度、元素、有机质、容重、磁化率等(葛良胜等, 2022; 刘玖芬等, 2024), 均是第四纪地质学研究中的常规测试内容, 不仅能反映沉积物的理化特征, 也是分析区域地质规律和时空演化的基础。此外, 孢粉、植硅体等第四纪古生态指标的测试分析, 能够进一步挖掘地质历史时期古生态系统变化的规律和机理, 为现今和未来区域生态承载力评价提供重要参考(Alverson and Oldfield, 2000; Blois et al., 2013)。

(2) 沉积环境分析为地表基质的分类组合和成因解释提供地学依据。不同沉积地质作用形成了不同类型的松散沉积物, 对应的砾质、砂质、土质和泥质等地表基质与沉积相之间具有明显的对应关系(表 3)。前期工作表明, 不同地貌区表生地质过程的差异导致了地表基质在成因和特征方面也存在一定差异(殷志强等, 2020b; 袁国礼等, 2023), 部分学者提出了基于地貌单元分区开展地表基质调查和分类工作的建议(李洪宇等, 2024; 王建伟等, 2024)。因此, 结合区域地貌特征, 深入开展沉积环境重建工作, 有助于进一步加强对地表基质的科学认识(邵兴坤等, 2024)。

3.2 调查区域

随着地表基质调查工作的持续开展, 后续工作区的选取至关重要。有学者从土壤侵蚀的角度指出“土石山区”应该是地表基质调查的优先区(张凤荣, 2023), 但笔者更倾向于将冲积平原区(如华北平原、三江平原等)和大型沉积盆地(如汾渭盆地、四川盆地等)作为地表基质调查的优先区和重点区。

表3 不同成因的第四纪沉积物与地表基质(砾质、砂质、土质、泥质)之间的对应关系

Table 3 Corresponding relationship between Quaternary sediments and ground substrate (gravel, sand, soil and mud)

第四纪沉积物	代号	砾质	砂质	土质	泥质
洪积物	pl	√	√	√	√
冲积物	al	√	√	√	√
风积物	eol		√	√	
冰碛物	gl	√	√	√	
湖积物	l		√		√
海相沉积物	m		√	√	√
沼泽沉积物	h		√	√	√
残积物	el	√	√	√	
坡积物	dl	√	√	√	
化学沉积物	ch			√	√

首先, 这些区域是重要的农耕区和粮食主产区, 选取这些区域优先开展地表基质调查工作, 将有助于保障粮食安全, 助力高标准农田建设, 支撑我国农业高质量发展(葛良胜和夏锐, 2023)。其次, 虽然这些区域经济较发达, 但生态环境问题相对突出(Guo, 2016), 尽早查明自然条件下地表基质对覆盖层生态环境的支撑服务作用, 有助于增强人们的生态环境意识, 及时采取相关保护措施。最后, 虽然这些区域已开展了大量相关调查, 如第三次全国国土调查(晏磊和吴海平, 2021)、水文地质调查(Wu et al., 2020)和多目标地球化学调查(朱立新和马生明, 2002)等, 但前期区域地质调查工作较薄弱, 1:5 万区域地质调查工作尚未全覆盖, 严重制约了区域生态文明建设和经济高质量发展(胡健民等, 2020)。

总之, 选取这些区域开展地表基质调查, 是对传统地质调查工作的细化与完善, 有助于加深对区域地质过程的总体认识, 为区域可持续发展和生态环境建设筑牢地质根基。建议在后续的地表基质调查工作部署中, 应结合当前区域地质调查较薄弱的覆盖区, 选取第四系发育的典型区, 协同推进地表基质调查工作。

3.3 成果总结

第四纪地质工作主要包括地层年代划分、沉积环境重建以及古气候演化等, 能够为地表基质调查提供关键的时空框架与成因解释。基于当前

地表基质调查相关成果及进展,建议后续相关工作中应在全面调查的基础上,加强区域第四纪年代学和古环境研究,提升对地表基质物质组成、结构演化及生态环境效应的科学认知。

时代,是地表基质的重要属性,是不可回避的地质要素之一,也是科学认识地表基质规律和特征的基础。同一地质过程的不同时期,由于气候变化、人类活动等因素的差异性影响,相应的生态系统也存在明显差异。例如,第四纪研究表明早、中、晚全新世的生态系统曾发生过多轮转变,甚至在百年尺度中也存在明显的生态突变记录(Huang et al., 2022; 赵艳等, 2017)。此外,年代学研究结果为地表基质的形成和演化研究提供了必要的基础数据。例如,中国科学院南京土壤研究所利用光释光单颗粒测年技术,结合成土背景信息及统计模型,在东北黑土地年龄研究中取得了重要进展,提出了黑土形成的加积新模式,深化了对区域黑土地形成演化的科学认识(Yang et al., 2023; Zhang et al., 2023)。

详细可靠的测年工作能够细化填图单元,丰富图面内容,深化成因演化认识。建议后续工作中选择区内代表性钻孔或剖面,依据样品的性质和预估年代范围选取适宜的测年方法(Li et al., 2021)(图2)。值得注意的是,由于年代样品意义重大,且费用昂贵,建议在条件允许的情况下,调查人员应加强与第四纪地层学及年代学工作者的合作与交流,确保年代样品能更有效地解决相关问题。

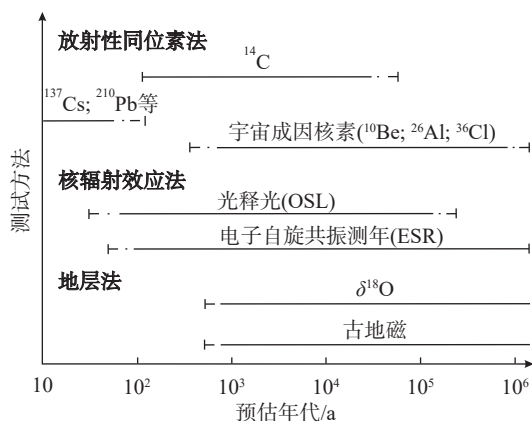


图2 第四纪地质学常用的测年方法及其对应的年代范围(据 Li et al., 2021 修改)

Fig. 2 Commonly used dating methods and their corresponding age ranges in Quaternary geology (modified from Li et al., 2021)

利用第四纪以来的古生态和古环境重建分析,能够有效提升对地表生态系统时空演化规律的整体认识。地表基质异质性直接影响着地表覆盖层植被的类型和空间格局,但两者之间的关系还有待进一步研究(殷志强等, 2023),而古生态、古环境的分析重建可以为现今地表生态系统的适宜性和发展方向提供参考和依据。例如,殷志强等(2022)在承德市地表基质调查中,利用孢粉分析结果指出距今 6 000~2 000 a 与现今气候类似的暖湿气候条件下,优势乔木树种有桦、栎、松、胡桃、榆、落叶松及鹅耳枥等,灌木以山杏、沙棘和杜鹃花为主,草本主要为蒿、藜、禾本科等孢粉组合,为该地区覆盖层的科学绿化提供了理论依据。

除了加强对上述科技创新成果的总结外,后续成果表达中可以适当增加第四纪地质相关图件,揭示不同类型地表基质的构型特征和组合方式,丰富图面信息。鉴于第四纪地质作用对地表基质在成因特征和空间展布上具有明显的控制及影响(殷志强等, 2022; 袁国礼等, 2023),可以在镶图中增加区域地貌图和岩相古地理图。此外,随着信息化水平的不断提升,增加三维地表基质空间展布图,分层次、系统性表达地表基质相关调查成果,将极大地提升图件整体的可读性。

4 结论

(1)地表基质是地球表层系统重要的组成部分,是当前国内外学者共同关注的热点,应进一步加强不同学科之间相关进展的对比分析,重点关注土壤层与母质层的相互联系。

(2)地表基质调查作为新兴的基础性、公益性地质调查工作,是一项综合地质学、生态学、土壤学和微生物学的多学科交叉工作,其调查内容和深度应兼顾区域特色与可实现性,重点以浅表层调查为主。地表基质调查工作的流程及方法可充分借鉴基础地质调查和专项地质调查的宝贵经验,突出地质工作的特色与优势。

(3)第四纪地质学与地表基质调查相互联系,协同发展。第四纪地质学可以为地表基质调查工作提供理论依据,前期第四纪地质学的相关工作成果也是地表基质调查的全面化、规范化推广与发展的重要参考。建议优先选取冲积平原区(如

华北平原、三江平原)和大型沉积盆地(如汾渭盆地、四川盆地)等第四系覆盖区逐步推广地表基质调查工作,弥补前期地质调查工作的不足。借鉴第四纪地质学的思路和方法,加强年代学、古生态和古环境相关研究,有助于提升地表基质调查成果的质量,进一步丰富成果的表达方式。

致谢: 中国地质科学院地质研究所王永研究员、中国地质科学院地质力学研究所李振宏研究员、中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心于俊博高级工程师、廊坊自然资源综合调查中心戚甲豪助理工程师在本文成文过程中进行了有益讨论,匿名审稿专家和责任编辑对本文提出了建设性的修改意见,在此一并表示感谢!

References

- AI X J, CHEN Z S, GENG G S, LUO X H. 2023. Distribution patterns and influencing factors of effective soil layers in the surface matrix of black soil in Liaoyang-Dandong area: taking Fengcheng City as an example[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 27(3): 54-59,65 (in Chinese with English abstract).
- ALVERSON K, OLDFIELD F. 2000. PAGES—past global changes and their significance for the future: an introduction[J]. *Quaternary Science Reviews*, 19(1-5): 3-7.
- BLOIS J L, ZARNETSKY P L, FITZPATRICK M C, FINNEGAN S. 2013. Climate change and the past, present, and future of biotic interactions[J]. *Science*, 341(6145): 499-504.
- CAHYANA D, SULAEMAN Y, BARUS B, DARMAWAN, MULYANTO B. 2023. Improving digital soil mapping in Bogor, Indonesia using parent material information[J]. *Geoderma Regional*, 33: e00627.
- CAO B X. 1995. *Geomorphology and Quaternary geology*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- CHEN S C, ARROUAYS D, MULDER V L, POGGIO L, MINASNY B, ROUDIER P, LIBOHOVA Z, LAGACHERIE P, SHI Z, HANNAM J, MEERSMANS J, RICHER-DE-FORGES A C, WALTER C. 2022. Digital mapping of *GlobalSoilMap* soil properties at a broad scale: a review[J]. *Geoderma*, 409: 115567.
- CHEN L, GUO H Q, SHANG X Y, LI F, ZHANG C, LIU Z, DONG S. 2023. Change trend and determinants of organic carbon storage in ground substrate of Xinle City[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (3): 34-40 (in Chinese with English abstract).
- CHEN P, HOU H X, MA J C, LU M, QIN T. 2023. Investigation and research idea on black soil surface matrix in low mountain and hilly regions: a case study of Zalantun area[J]. *Natural Resource Economics of China*, 36(2): 81-89 (in Chinese with English abstract).
- CHEN P, HOU H X, MA J C, SUN H, JING Y. 2024. Exploration of classification standards and map compilation methods for ground substrate: a case study of Yalu River Basin in Inner Mongolia[J]. *Geological Survey of China*, 11(2): 51-61 (in Chinese with English abstract).
- CHEN L, SUN Y G, SHANG X Y, XUE L, ZHANG C, LIU Z, YANG K. 2022. Geological survey method for the ground substrate survey of natural resource: taking Zhangbei demonstration zone as an example[J]. *Henan Science and Technology*, 41(21): 99-102 (in Chinese with English abstract).
- DAI Z, GUO H Y, ZHANG Y, TIAN C, SHAN X L. 2024. Comparison between common devices and fusion devices of high-density electrical method: taking the investigation of surface matrix of black soil in Lishu area as an example[J]. *Nature Science*, 12(3): 609-617 (in Chinese with English abstract).
- DONG T Y, LIU X H, CHANG M, XING L Y, WANG R. 2023. Analysis on the essential connotation and research direction of surface substrate[J]. *Northwestern Geology*, 56(4): 213-217 (in Chinese with English abstract).
- GAO Q, LI X B, LIU H Y. 2024. Application of comprehensive geophysical method to ground substrate survey in the area of Shaanxi Hancheng[J]. *Geographical Science Research*, 13(2): 348-354 (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).
- GRUBER F E, BARUCK J, MAIR V, GEITNER C. 2019. From geological to soil parent material maps: a random forest-supported analysis of geological map units and topography to support soil survey in south Tyrol[J]. *Geoderma*,

- 354; 113884.
- GUO L Z. 2016. Study on ecological and economic effects of land and water resources allocation in Sanjiang Plain[J]. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 4(2): 110-119.
- HAO A B, YIN Z Q, LI H Y, LU Q Y, PENG L, SHAO H, JIANG Q D, ZHAO X F, LIU J F, PANG J M, YANG K, CHEN P, KONG F P, HOU H X, LU M. 2024. The scientific connotation and theoretical framework of ground substrate[J]. *Acta Geologica Sinica*, 98(11): 3225-3237(in Chinese with English abstract).
- HAO A B, YIN Z Q, PENG L, YANG G C, LI Z H, ZHAO W. 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).
- HOU H X, GE L S, SUN X, KONG X B, LU W H, QIN T, KONG F P, YANG H B, YANG K. 2022. A study on the application of ground substrate in the survey and evaluation of China's black soil resources: based on ground substrate survey in Baoqing, Heilongjiang Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 37(9): 2264-2276 (in Chinese with English abstract).
- HOU H X, GE L S, SUN X, LU W H, LU M, QIN T, YANG H B, YANG K, KONG F P. 2021a. Discussion on the contents of ground substrate investigation and the index system of elements and attributes[J]. *Open Journal of Natural Science*, 9(4): 433-442 (in Chinese with English abstract).
- HOU H X, ZHANG S J, LU M, ZHANG Z Y, SUN X, QIN T, WANG X, ZHANG J L, SHAO X K, WANG W. 2021b. Technology and method of the ground substrate layer survey of natural resources: taking Baoding area as an example[J]. *Northwestern Geology*, 54(3): 277-288 (in Chinese with English abstract).
- HU J M, CHEN H, QIU S D, WANG G C, LIU S Y, WANG J B. 2020. Thoughts, principles and methods of regional geological survey in covered area (1 : 50 000)[J]. *Earth Science*, 45(12): 4291-4312 (in Chinese with English abstract).
- HUANG Z Y, WEI F. 2023. Application of comprehensive physical exploration in the demonstrative survey of surface matrix layer of natural resources in Hebei Province[J]. *Hebei Geology*, (2): 32-36 (in Chinese).
- HUANG Z Y, YANG Q. 2022. Feasibility analysis of ground penetrating radar in the investigation of ground substrate layers of natural resources[J]. *Hebei Geology*, (3): 41-44 (in Chinese).
- HUANG S X, ZHANG K, LIN Q, LIU J B, SHEN J. 2022. Abrupt ecological shifts of lakes during the Anthropocene[J]. *Earth-Science Reviews*, 227: 103981.
- HUO D, CHEN Z S, AI X J, WANG Q, CHEN X, YU X J. 2023. Application of remote sensing interpretation in the investigation of ground substrate in the black soil of Liaoyang-Dandong Region[J]. *Agriculture and Technology*, 43(15): 115-119 (in Chinese).
- HUO D, CHEN Z S, AI X J, WANG M H, YU X J, WANG Q. 2024. Thoughts on ground substrate investigation as technical support for black soil protection: a case study of Taian County[J]. *Agriculture and Technology*, 44(15): 56-61 (in Chinese).
- JIA L, LIU H, OUYANG Y, ZHANG W, DOU L, LIU Z N, MO B, CHEN E, ZHANG T J. 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).
- JUILLERET J, DONDEYNE S, VANCAMPENHOUT K, DECKERS J, HISSLER C. 2016. Mind the gap: a classification system for integrating the subsolum into soil surveys[J]. *Geoderma*, 264: 332-339.
- JUILLERET J, IFFLY J F, HOFFMANN L, HISSLER, C. 2012. The potential of soil survey as a tool for surface geological mapping: a case study in a hydrological experimental catchment (Huewelerbach, Grand-Duchy of Luxembourg)[J]. *Geologica Belgica*, 15(1-2): 36-41.
- LI Z Y, LI L, LIU N, TANG X H, WANG J J. 2024. Remote sensing interpretation of surface substrates using multi-source data and image segmentation: a case study in the northern area of Dianjiang[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, (S1): 166-171 (in Chinese with English abstract).
- LI W P, LI X X, MEI X, ZHANG F, XU J P, LIU C R, WEI C Y, LIU Q S. 2021. A review of current and emerging approaches for Quaternary marine sediment dating[J]. *Science of the Total Environment*, 780: 146522.
- LI H Y, LIU X H, LIU J F, ZHAO X F, ZHANG W B, LI F J. 2024. Geomorphology-based classification of ground substrate texture in Xinjiang[J]. *Geoscience*, 38(3): 706-717 (in Chinese with English abstract).
- LI K, PENG M, ZHAO C D, YANG K, ZHOU Y L, LIU F, TANG S Q, YANG F, HAN W, YANG Z, CHENG X M, XIA X Q, GUAN T, LUO J L, CHENG H X. 2019. Vicennial implementation of geochemical survey of land quality

- in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 26(6): 128-158 (in Chinese with English abstract).
- LI X L, WU K N, FENG Z, BAI Y P, LIU Y N, LI X. 2022. Research progress of land surface system classification: from land type to earth's critical zone type[J]. *Progress in Geography*, 41(3): 531-540 (in Chinese with English abstract).
- LI C L, YU Q W, YANG D L, QIU L H, ZHU Y H, GE M C. 2003. Research on PRB digital mapping techniques[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(4): 377-383 (in Chinese with English abstract).
- LI X, ZHOU X H, XIANG Z Q, JIANG R, TU B, ZHOU D, LU M. 2023. Simply discussion on the work of ground substrate survey: taking Hainan Island as an example[J]. *Geological Bulletin of China*, 42(1): 68-75 (in Chinese with English abstract).
- LIU H B, KONG F P, ZHAO J, HE J B, LIU B W. 2022. Exploration and experiment of surface substrate investigation technique: a case study of black soil investigation in Baoqing County, Heilongjiang Province[J]. *Geomatics World*, 29(6): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- LIU Q J, LIU Y X, WANG Y, WANG L F, YAN G X. 2023. A proposed scheme for third-level classification of ground substrate[J]. *Urban Geology*, 18(1): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- LIU J F, ZHAO X F, HOU H X, QIN T, CHEN Z S, XU L M, YANG K, KONG F P, LIU X H, LU B, LI Z Q, LIU J, BAO R Y, HAO A B. 2024. Exploration on the stratification of the ground substrate survey and the design and construction of its testing indicator system[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 43(1): 16-29 (in Chinese with English abstract).
- MILLER B A, LEE BURRAS C. 2015. Comparison of surficial geology maps based on soil survey and in depth geological survey[J]. *Soil Horizons*, 56(1): 1-12.
- MILLER B A, LEE BURRAS C, CRUMPTON W G. 2008. Using soil surveys to map Quaternary parent materials and landforms across the Des Moines Lobe of Iowa and Minnesota[J]. *Soil Survey Horizons*, 49(4): 91-96.
- MINISTRY OF NATURAL RESOURCES. 2020. Circular of the Ministry of Natural Resources on the issuance of the overall program for the construction of the natural resources survey and monitoring system (NRSMS) (NRSMS [2020] No. 15)[J]. *National Land & Resources Information*, (2): 13-22 (in Chinese).
- MINISTRY OF NATURAL RESOURCES. 2021. Circular of the General Office of the Ministry of natural resources on the issuance of the surface matrix classification program (trial) (MNR[2020]59)[J]. *National Land & Resources Information*, (2): 34-37 (in Chinese).
- NIE H F, XIAO C L, DAI M, LIU J Y, SHANG B X, GUO Z C, HE P, OUYANG Y, LEI T C, LI W M, ZHOU C F, JIANG Q G. 2021. Progresses and main achievements of ecogeological survey project[J]. *Geological Survey of China*, 8(1): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- PEI X L, ZHU X S, FENG X, LIU H, YU W W, WU T, NI S B. 2024. Research on ground substrate modeling, classification and survey based on unified management of natural resources[J]. *Geological Bulletin of China*, 43(9): 1530-1543 (in Chinese with English abstract).
- QIAO Y Y, HUO R B, LU M, WANG X, ZHAO K M, ZHANG P W, LIU Y. 2023. Vertical distribution characteristics of ground substrate based on transition probability matrix: a case study of Dingxing County, Hebei Province[J]. *Geology and Resources*, 32(6): 789-798 (in Chinese with English abstract).
- SHAO X K, HOU H X, RENG B Z, SHI L F, ZHAN Z D, XI G Y, LI J H, CAO L Y, GAO Y. 2024. Sedimentary characteristics analysis and paleoenvironmental restoration of the ground substrate in Baiquan County, Qiqihar area, Songnen Plain[J]. *Geological Bulletin of China*, 43(9): 1498-1514 (in Chinese with English abstract).
- SHAO H, WANG Y N, YIN Z Q, XING B, JIN A F, PANG J M, WANG R F. 2023. An exploration on investigation and mapping of ground substrate in Ruyi River Basin, Bashang Plateau, Chengde City[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 50(2): 150-159 (in Chinese with English abstract).
- SIMON A, WILHELMY M, KLOSTERHUBER R, COCUZZA E, GEITNER C, KATZENSTEINER K. 2021. A system for classifying subsolum geological substrates as a basis for describing soil formation[J]. *CATENA*, 198: 105026.
- SU X T, RAN L J, ZHU Q, FENG Y W, ZHANG Y X, ZHANG S Y, SUN X Y. 2023. Method and application research on drilling sampling techniques of surface substrate[J]. *Geological Review*, 69(6): 2239-2246 (in Chinese with English abstract).
- SUN X Y, XU W, WANG M J. 2022. Investigative study on stratification and classification of surface matrix layers[J]. *China Land*, (7): 34-36 (in Chinese).
- SUN Y G, ZHANG C, SHANG X Y, CHEN L, LIU Z, DONG S. 2023. Exploration and study on physiochemical properties of different ground substrate types: taking the Saihanba

- demonstration area in Hebei Province as an example[J]. Resource Information and Engineering, 38(2): 13-16 (in Chinese with English abstract).
- WANG Y L, HOU H X, WANG W, SUN X, LI D H. 2021. Application of remote sensing technology in the ground substrate survey[J]. *Open Journal of Natural Science*, 9(6): 880-891 (in Chinese with English abstract).
- WANG X, LU M, HOU H X, SUN X, WANG H H, QIAO Y Y, LIU Y. 2023. Analysis of spatial heterogeneity of soil substrate in mountainous plain transition area: a case study of eastern Yi County of Hebei Province[J]. Geological Survey of China, 10(3): 60-66 (in Chinese with English abstract).
- WANG J W, SONG L D, TONG Z Q, LIU H, YANG H X, GAO B. 2024. Method and practice of ground substrate structure survey based on geomorphic division: a case study of Changchun Region[J]. Geology and Resources, 33(3): 355-364 (in Chinese with English abstract).
- WU A M, HAO A B, GUO H P, LIU J T, ZHANG E Y, WANG H, WANG X F, WEN X R, ZHANG C G. 2020. Main progress and prospect for China's hydrogeological survey[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 8(3): 195-209.
- WU P, YANG Y J, ZHANG M S, HAN X. 2024. Practice and investigation of the technical procedure for surface matrix survey: utilizing the surface survey of Weinan municipality in Shaanxi Province as an illustrative example[J]. Geology of Shaanxi, 42(1): 7-12 (in Chinese with English abstract).
- YAN L, WU H P. 2021. How to carry out the unified survey of natural resources after the third national land survey[J]. Natural Resource Economics of China, 34(3): 21-24, 79 (in Chinese with English abstract).
- YANG J S, JIANG G L, ZHAO H, WANG C M, ZHAO H M, JI Y P, ZHANG R, HAN S H. 2022a. Geological mapping practice and exploration of Quaternary alluvial-pluvial fans along the Daqing Mountain, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 41(2-3): 262-270 (in Chinese with English abstract).
- YANG F, LONG H, GONG K Y, SHI Y H, ZHANG J R, ZHANG A M, YANG N, CHENG P, PAN X M, ZHANG G L. 2023. Onset time and accretionary formation of mollisols in Northeast China[J]. *Science Bulletin*, 68(18): 1999-2002.
- YAO X F, YANG J F, ZUO L Y, ZHANG T T, CHEN J, ZHANG C G. 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, CHEN Z R, LI X, WEI X F, SHAO H. 2023. Connotation, layering, mapping and supporting objectives of the integrated survey of ground substrates[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 50(1): 144-151 (in Chinese with English abstract).
- YIN Z Q, HAO A B, WU A M, REN J W, ZHOU P, WEI X F, PENG L, LI X, SHAO H, PANG J M. 2022. The key progress in Chengde and the national proposal of the integrated survey of natural resources[J]. Geological Bulletin of China, 41(12): 2087-2096 (in Chinese with English abstract).
- YIN Z Q, QIN X G, ZHANG S J, WEI X F, HOU H X, HE Z X, LU M. 2020a. Preliminary study on classification and investigation of surface substrate[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 47(6): 8-14 (in Chinese with English abstract).
- YIN Z Q, WEI X F, LIU W B, LI X, XING Y M, CHEN L, WANG R F, YANG R, MA G W, PENG C. 2020b. Progresses and main achievements of comprehensive geological survey project of natural resources in Chengde[J]. Geological Survey of China, 7(3): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- YUAN G L, HOU H X, LIU J Y, WANG Q, GAO X Y, JIA Y H. 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).
- ZHANG F R. 2023. Discussion on key investigation contents and priority survey areas of ground substrate layer[J]. China Land, (2): 40-41 (in Chinese).
- ZHANG G L, LONG H, YANG F. 2023. Understanding the formation time of black soils[J]. *The Innovation Geoscience*, 1(1): 100010.
- ZHANG G L, SHI Z, ZHU A X, WANG Q B, WU K N, SHI Z H, ZHAO Y C, ZHAO Y G, PAN X Z, LIU F, SONG X D. 2020. Progress and perspective of studies on soils in space and time[J]. Acta Pedologica Sinica, 57(5): 1060-1070 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG C, WANG R, SHANG X Y, YANG Y, CHEN L, DONG S, LIU Z, YANG K. 2023. Exploration of surface matrix investigation methods in water areas: a case study of Hengshui Lake[J]. Land & Resources Herald, 20(2): 109-113 (in Chinese with English abstract).
- ZHOU Y Z, QIN T, SUN Y H, CHEN H D. 2022. Progress and achievements of the ground substrate layer survey in black soil[J]. *Open Journal of Natural Science*, 10(4): 405-411

(in Chinese).

ZHAO Y, LIU Y L, GUO Z T, FANG K Y, LI Q, CAO X Y.

2017. Abrupt vegetation shifts caused by gradual climate changes in central Asia during the Holocene[J]. *Science China Earth Sciences*, 60(7): 1317-1327.

ZHU X T, LUO H, LI Y, XU C, LI P, WENG M Z, ZHOU F.

2023. Exploration of comprehensive evaluation of surface substrate quality: taking Wuhan Yangtze new town as an example[J]. *Resources Environment & Engineering*, 37(4): 412-419 (in Chinese with English abstract).

ZHU L X, MA S M. 2002. Discussion on the method of soil geochemical anomaly interpretation in alluvial plain[J].

Geology and Exploration, 38(S1): 143-147 (in Chinese with English abstract).

ZHU X S, PEI X L, WANG W, ZHANG Z Y, SUN W T, NI S B, GONG W X, 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).

ZHU A X, YANG L, FAN N Q, ZENG C Y, ZHANG G L.

2018. The review and outlook of digital soil mapping[J]. *Progress in Geography*, 37(1): 66-78 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

艾晓军, 陈占生, 耿国帅, 罗学辉. 2023. 辽阳—丹东地区黑土地地表基质有效土层分布规律及影响因素——以凤城市为例[J]. *河北农业科学*, 27(3): 54-59, 65.

曹伯勋. 1995. 地貌学及第四纪地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.

陈龙, 郭海全, 尚晓雨, 李锋, 张闯, 刘泽, 董硕. 2023. 新乐市地表基质有机碳储量变化趋势及影响因素[J]. *黑龙江农业科学*, (3): 34-40.

陈彭, 侯红星, 马骏驰, 鲁敏, 秦天. 2023. 低山丘陵区黑土地地表基质调查研究思路——以扎兰屯地区为例[J]. *中国国土资源经济*, 36(2): 81-89.

陈彭, 侯红星, 马骏驰, 孙浩, 荆元. 2024. 地表基质分类标准与编图方法探索——以内蒙古雅鲁河流域为例[J]. *中国地质调查*, 11(2): 51-61.

陈龙, 孙勇刚, 尚晓雨, 薛良, 张闯, 刘泽, 杨科. 2022. 坝上地区自然资源地表基质调查地质测量方法探讨——以张北示范区为例[J]. *河南科技*, 41(21): 99-102.

代铮, 郭皓雨, 张月, 田超, 山显磊. 2024. 高密度电法常用装置与融合装置对比——以梨树地区黑土地地表基质调查为例[J]. *自然科学*, 12(3): 609-617.

董天钰, 刘晓煌, 常铭, 邢莉圆, 王然. 2023. 浅析地表基质的本质内涵及研究方向[J]. *西北地质*, 56(4): 213-217.

高奇, 李新斌, 刘瀚元. 2024. 综合物探在陕西韩城地表基质调查中的应用[J]. *地理科学研究*, 13(2): 348-354.

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, 67.

郝爱兵, 殷志强, 李洪宇, 鲁青原, 彭令, 邵海, 江奇达, 赵晓峰, 刘玖芬, 庞菊梅, 杨柯, 陈彭, 孔繁鹏, 侯红星, 鲁敏. 2024. 地表基质的科学内涵与理论框架[J]. *地质学报*, 98(11): 3225-3237.

郝爱兵, 殷志强, 彭令, 杨贵才, 李展辉, 赵伟. 2020. 学理与管理相结合的自然资源分类与议[J]. *水文地质工程地质*, 47(6): 1-7.

侯红星, 葛良胜, 孙肖, 孔祥斌, 卢卫华, 秦天, 孔繁鹏, 杨华本, 杨柯. 2022. 地表基质在中国黑土地资源调查评价中的应用探讨——基于黑龙江宝清地区地表基质调查[J]. *自然资源学报*, 37(9): 2264-2276.

侯红星, 葛良胜, 孙肖, 卢卫华, 鲁敏, 秦天, 杨华本, 杨柯, 孔繁鹏. 2021a. 地表基质调查内容及要素-属性指标体系探讨[J]. *自然科学*, 9(4): 433-442.

侯红星, 张蜀冀, 鲁敏, 张中跃, 孙肖, 秦天, 王献, 张金龙, 邵兴坤, 王伟. 2021b. 自然资源地表基基层调查技术方法新经验——以保定地区地表基基层调查为例[J]. *西北地质*, 54(3): 277-288.

胡健民, 陈虹, 邱士东, 王国灿, 刘士毅, 王家兵. 2020. 覆盖区区域地质调查(1: 50 000)思路、原则与方法[J]. *地球科学*, 45(12): 4291-4312.

黄子莹, 魏芳. 2023. 综合物探在河北省自然资源地表基基层示范性调查中的应用[J]. *河北地质*, (2): 32-36.

黄子莹, 杨倩. 2022. 探地雷达在自然资源地表基基层调查中的可行性分析[J]. *河北地质*, (3): 41-44.

霍东, 陈占生, 艾晓军, 王乔, 陈雪, 于小健. 2023. 遥感解译在辽阳—丹东地区黑土地地表基质调查中的应用——以宽甸满族自治县为例[J]. *农业与技术*, 43(15): 115-119.

霍东, 陈占生, 艾晓军, 汪敏骅, 于小健, 王乔. 2024. 地表基质调查对黑土地保护技术支撑的思考——以台安县为例[J]. *农业与技术*, 44(15): 56-61.

贾磊, 刘洪, 欧阳渊, 张伟, 窦磊, 刘子宁, 莫滨, 陈恩, 张腾蛟. 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.

李泽钰, 黎立, 刘娜, 唐秀华, 王金捷. 2024. 基于多源数据和图像分割的地表基质遥感解译方法——以垫江北部地区

- 为例[J]. 测绘通报, (S1): 166-171.
- 李洪宇, 刘晓煌, 刘玖芬, 赵晓峰, 张文博, 李福杰. 2024. 基于地貌区划的新疆地表基质质地分类方案[J]. 现代地质, 38(3): 706-717.
- 李括, 彭敏, 赵传冬, 杨柯, 周亚龙, 刘飞, 唐世琪, 杨帆, 韩伟, 杨峥, 成晓梦, 夏学齐, 关涛, 骆检兰, 成杭新. 2019. 全国土地质量地球化学调查二十年[J]. 地学前缘, 26(6): 128-158.
- 李晓亮, 吴克宁, 冯喆, 白羽萍, 刘亚男, 李潇. 2022. 陆地表层系统分类研究进展——从土地类型到地球关键带类型[J]. 地理科学进展, 41(3): 531-540.
- 李超岭, 于庆文, 杨东来, 邱丽华, 朱云海, 葛梦春. 2003. PRB 数字地质填图技术研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 28(4): 377-383.
- 李响, 周效华, 相振群, 蒋仁, 涂兵, 周岱, 鲁敏. 2023. 地表基质调查的工作思路刍议: 以海南岛为例[J]. 地质通报, 42(1): 68-75.
- 刘洪博, 孔繁鹏, 赵建, 何金宝, 刘博文. 2022. 地表基质调查技术方法探索与实验——以黑龙江省宝清县黑土地调查为例[J]. 地理信息世界, 29(6): 1-5.
- 刘清俊, 刘雨鑫, 王颖, 王立发, 闫广新. 2023. 地表基质三级分类方案探讨[J]. 城市地质, 18(1): 1-8.
- 刘玖芬, 赵晓峰, 侯红星, 秦天, 陈占生, 徐立明, 杨柯, 孔繁鹏, 刘晓煌, 卢兵, 李子奇, 刘佳, 包茹意, 郝爱兵. 2024. 地表基质调查分层及分层测试指标体系设计与构建[J]. 岩矿测试, 43(1): 16-29.
- 聂洪峰, 肖春蕾, 戴蒙, 刘建宇, 尚博谔, 郭兆成, 贺鹏, 欧阳渊, 雷天赐, 李文明, 周传芳, 姜琦刚. 2021. 生态地质调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 8(1): 1-12.
- 裴小龙, 祝晓松, 冯欣, 刘航, 俞伟渭, 吴桐, 倪舒博. 2024. 基于自然资源统一管理的地表基质模型、分类及调查研究[J]. 地质通报, 43(9): 1530-1543.
- 乔衍溢, 霍润斌, 鲁敏, 王献, 赵凯明, 张盼望, 刘勇. 2023. 基于转移概率的河北省定兴县地表基质垂向分布特征分析[J]. 地质与资源, 32(6): 789-798.
- 邵兴坤, 侯红星, 任柄璋, 时凌峰, 詹泽东, 西广越, 李俊华, 曹龙宇, 高远. 2024. 松嫩平原齐齐哈尔地区拜泉县地表基质特征及其古环境恢复[J]. 地质通报, 43(9): 1498-1514.
- 邵海, 王英男, 殷志强, 邢博, 金爱芳, 庞菊梅, 王瑞丰. 2023. 承德坝上高原如意河流域地表基质调查与编图探索[J]. 水文地质工程地质, 50(2): 150-159.
- 苏兴涛, 冉灵杰, 祝强, 冯跃文, 张永兴, 张思源, 孙小艳. 2023. 地表基质钻探取样技术与应用研究[J]. 地质论评, 69(6): 2239-2246.
- 孙禧勇, 许玮, 王明建. 2022. 地表基质层分层分类调查研究[J]. 中国土地, (7): 34-36.
- 孙勇刚, 张闯, 尚晓雨, 陈龙, 刘泽, 董硕. 2023. 不同地表基质类型理化性质探索与研究——以河北塞罕坝示范区为例[J]. 资源信息与工程, 38(2): 13-16.
- 王雁亮, 侯红星, 王伟, 孙肖, 李东辉. 2021. 遥感技术在地表基质调查中的应用[J]. 自然科学, 9(6): 880-891.
- 王献, 鲁敏, 侯红星, 孙肖, 王浩浩, 乔衍溢, 刘勇. 2023. 山区平原过渡区土质地表基质空间异质性特征分析——以河北省易县东部地区为例[J]. 中国地质调查, 10(3): 60-66.
- 王建伟, 宋立东, 佟智强, 刘浩, 杨洪祥, 高博. 2024. 基于地貌单元分区的地表基质结构调查方法与实践——以长春地区为例[J]. 地质与资源, 33(3): 355-364.
- 吴鹏, 杨运军, 张满社, 韩旭. 2024. 地表基质调查技术方法体系的实践与探索——以陕西省渭南市域地表调查为例[J]. 陕西地质, 42(1): 7-12.
- 晏磊, 吴海平. 2021. 国土“三调”后如何开展自然资源统一调查[J]. 中国国土资源经济, 34(3): 21-24, 79.
- 杨劲松, 姜高磊, 赵华, 王成敏, 赵红梅, 吉云平, 张润, 韩书华. 2022a. 内蒙古大青山山前第四纪冲洪积扇填图实践与思考[J]. 地质通报, 41(2-3): 262-270.
- 姚晓峰, 杨建锋, 左力艳, 张婷婷, 陈骥, 张翠光. 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, 陈自然, 李霞, 卫晓锋, 邵海. 2023. 地表基质综合调查: 内涵、分层、填图与支撑目标[J]. 水文地质工程地质, 50(1): 144-151.
- 殷志强, 郝爱兵, 吴爱民, 任金卫, 周平, 卫晓锋, 彭令, 李霞, 邵海, 庞菊梅. 2022. 承德自然资源综合调查主要进展与全国自然资源综合调查总体思路[J]. 地质通报, 41(12): 2087-2096.
- 殷志强, 秦小光, 张蜀冀, 卫晓锋, 侯红星, 何泽新, 鲁敏. 2020a. 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.
- 殷志强, 卫晓锋, 刘文波, 李霞, 邢英梅, 陈亮, 王瑞丰, 杨瑞, 马光伟, 彭超. 2020b. 承德自然资源综合地质调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 7(3): 1-12.
- 袁国礼, 侯红星, 刘建宇, 王泉, 郭晓宇, 贾颜卉. 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.
- 张凤荣. 2023. 论地表基质层重点调查内容和优先调查区域[J]. 中国土地, (2): 40-41.
- 张甘霖, 史舟, 朱阿兴, 王秋兵, 吴克宁, 史志华, 赵永存, 赵玉国, 潘贤章, 刘峰, 宋效东. 2020. 土壤时空变化研究的进展与未来[J]. 土壤学报, 57(5): 1060-1070.
- 张闯, 王苒, 尚晓雨, 杨阳, 陈龙, 董硕, 刘泽, 杨科. 2023. 水域地表基质调查方法探索——以衡水湖为例[J]. 国土资源导刊, 20(2): 109-113.
- 赵艳, 刘耀亮, 郭正堂, 方克艳, 李泉, 曹现勇. 2017. 全新世气候渐变导致中亚地区植被突变[J]. 中国科学: 地球科学,

- 47(8): 927-938.
- 周业泽, 秦天, 孙永辉, 陈宏达. 2022. 黑土地地表基基层调查工作进展与成果[J]. 自然科学, 10(4): 405-411.
- 朱晔亭, 罗红, 李煜, 徐聪, 李朋, 翁茂芝, 周峰. 2023. 地表基质质量综合评价探索——以武汉市长江新城为例[J]. 资源环境与工程, 37(4): 412-419.
- 朱立新, 马生明. 2002. 冲积平原区土壤地球化学异常解析方法探讨[J]. 地质与勘探, 38(S1): 143-147.
- 祝晓松, 裴小龙, 王伟, 张中跃, 孙伟涛, 倪舒博, 公为鑫. 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.
- 朱阿兴, 杨琳, 樊乃卿, 曾灿英, 张甘霖. 2018. 数字土壤制图研究综述与展望[J]. 地理科学进展, 37(1): 66-78.
- 自然资源部. 2020. 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(自然资发[2020]15号)[J]. 自然资源通讯, (2): 13-22.
- 自然资源部. 2021. 自然资源部办公厅关于印发《地表基质分类方案(试行)》的通知(自然资办发[2020]59号)[J]. 自然资源通讯, (2): 34-37.

Progress and thought of ground substrate survey from the perspective of Quaternary geology

YANG Jinsong^{1,2}, CHEN Peng³, YANG Ke⁴, CHEN Yangyang⁴, LI Junhua³, CHEN Hongyun^{1,2},
DONG Qiuyao^{1,2}, CAO Jing^{1,2}

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, Hebei, China; 2. Key Laboratory of Quaternary Chronology and Hydro-Environmental Evolution, China Geological Survey, Shijiazhuang 050061, Hebei, China; 3. Langfang Center of Natural Resources Integrated Survey, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China; 4. Harbin Center of Natural Resources Integrated Survey, China Geological Survey, Harbin 150081, Heilongjiang, China)

Abstract: Ground substrate survey is a new field in integrated surveys of natural resources. It holds significant importance for the construction of ecological civilization and the high-quality development of regional economies. Based on advancements in related geological survey and soil survey, this paper reviews the progress in the ground substrate survey. It clarifies the concept and classification of ground substrate, and summarizes the survey content, investigation degree, work flow and methods. Furthermore, from the perspective of Quaternary geology, the article offers contemplations and recommendations regarding the principle, survey areas, and achievement expression. Quaternary geology can provide a fundamental geological theoretical framework for the ground substrate survey, especially in the ground substrate of gravel, sand, soil, and mud. In terms of regional selection, it is recommended to give priority to alluvial plains (e.g., North China Plain and Sanjiang Plain) and sedimentary basins (e.g., Fenwei Basin and Sichuan Basin) where the Quaternary deposits are widely distributed. The article also suggests strengthening the Quaternary research, including the geochronology and paleoenvironmental analysis, to deepen our understanding on the formation, evolution, and historical patterns of ground substrates. In addition, it calls for the diversification of map expression to strengthen the readability and scientificity.

Key words: ground substrate; Quaternary geology; theory and methodology; survey area; achievement expression