

承德坝上高原如意河流域地表基质调查与编图探索

邵海, 王英男, 殷志强, 邢博, 金爱芳, 庞菊梅, 王瑞丰

An exploration on investigation and mapping of ground substrate in Ruyi River Basin, Bashang Plateau, Chengde City

SHAO Hai, WANG Yingnan, YIN Zhiqiang, XING Bo, JIN Aifang, PANG Jumei, and WANG Ruifeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202112021>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

地表基质分类及调查初步研究

Preliminary study on classification and investigation of surface substrate

殷志强, 秦小光, 张蜀冀, 卫晓锋, 侯红星, 何泽新, 鲁敏 水文地质工程地质. 2020, 47(6): 8-14

承德坝上高原东部月亮湖湖面萎缩原因及应对建议

Shrinkage reasons and countermeasures of Moon Lake area in the eastern part of Bashang Plateau, Chengde City

殷志强, 赵磊, 刘文波, 李瑞敏, 邵海, 彭超, 田钰琛 水文地质工程地质. 2020, 47(6): 57-64

黑河流域中游盆地地表水与地下水转化机制研究

Study on the conversion mechanism of surface water and groundwater in the middle reaches of the Heihe River Basin

祁晓凡, 李文鹏, 崔虎群, 康卫东, 刘振英, 邵新民 水文地质工程地质. 2022, 49(3): 29-43

基于地表水循环遥感观测的黑河流域水平衡分析

Water balance analysis based on remote sensing observation of surface water cycle in the Heihe River watershed

闫柏琨, 李文鹏, 甘甫平, 郑跃军, 祁晓凡, 白娟, 郭艺, 吴艳红, 王龙凤, 马燕妮 水文地质工程地质. 2022, 49(3): 44-56

学理与法理和管理相结合的自然资源分类刍议

A discussion of the classification of natural resources based on the combination of academic-legal principles and management

郝爱兵, 殷志强, 彭令, 杨贵才, 李展辉, 赵伟 水文地质工程地质. 2020, 47(6): 1-7

西藏波密冰川覆盖区大型河流与断裂带地下水转化关系

Transformation characteristics of the large-flow river and groundwater in the fault zone in the glacier-covered area of Bomi in Tibet

马剑飞, 李向全, 张春潮, 付昌昌, 白占学, 王振兴 水文地质工程地质. 2021, 48(5): 23-33



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202112021

邵海, 王英男, 殷志强, 等. 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, 2023, 50(2): 150-159.
SHAO Hai, WANG Yingnan, YIN Zhiqiang, *et al.* An exploration on investigation and mapping of ground substrate in Ruyi River Basin, Bashang Plateau, Chengde City[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2023, 50(2): 150-159.

承德坝上高原如意河流域地表基质 调查与编图探索

邵海^{1,2,3}, 王英男⁴, 殷志强^{1,2}, 邢博^{1,2}, 金爱芳^{1,2}, 庞菊梅^{1,2}, 王瑞丰⁵

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055; 3. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学), 四川成都 610059; 4. 自然资源部国土整治中心, 北京 100035; 5. 河北省山区地质环境重点实验室, 河北承德 067000)

摘要: 地表基质调查与编图是当前自然资源调查监测体系中的全新领域, 但如何开展还缺乏统一的行动指南。在总结地球关键带理论和地表基质调查研究现状的基础上, 充分借鉴区域地质、工程地质、第四纪地质、水文地质、环境地质等调查与编图表达方式, 以承德坝上高原如意河流域为研究区, 探索建立了基于地球关键带理论的地表基质调查与编图编制方法。基于野外调查结果, 将如意河流域划分为玄武岩、安山岩、凝灰岩、流纹岩、冲洪积砂砾石、残坡积砂砾石、风积沙、湖积淤泥和沼积淤泥等 9 种地表基质类型, 研究了不同类型地表基质的分布特征、调查和监测指标, 编制了风积沙厚度空间分布图、地表基质与地表覆盖层耦合关系图和地表基质层图。地表基质厚度空间分布图可展布不同类型地表基质厚度的空间分布特征, 地表基质与地表覆盖层耦合关系图可直观刻画地表基质的剖面结构特征和理化性质对地表覆盖生态要素的约束作用, 地表基质图能系统地反映地表基质与地表覆盖层的结构、展布、特征和耦合关系。地表基质系列图件是岩-土-水-生等地球关键带多圈层交互作用在地质图上的反映。该研究可为在全国范围开展地表基质调查与编图提供参考。

关键词: 地表基质; 地表覆盖层; 编图; 如意河流域; 坝上高原

中图分类号: X141

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2023)02-0150-10

An exploration on investigation and mapping of ground substrate in Ruyi River Basin, Bashang Plateau, Chengde City

SHAO Hai^{1,2,3}, WANG Yingnan⁴, YIN Zhiqiang^{1,2}, XING Bo^{1,2}, JIN Aifang^{1,2},
PANG Jumei^{1,2}, WANG Ruifeng⁵

(1. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China; 2. Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China; 3. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geo-environment Protection (Chengdu University of Technology), Chengdu, Sichuan 610059, China; 4. Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China; 5. Hebei Key Laboratory of Mountain Geological Environment, Chengde, Hebei 067000, China)

收稿日期: 2021-12-10; 修订日期: 2022-05-30

投稿网址: www.swdzgcdz.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(41977258); 中国地质环境监测院研发基金项目(20220107); 中国地质调查局地质调查项目(DD20190310; DD20221761); 河北省重点研发计划项目(20374207D)

第一作者: 邵海(1986-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事工程地质调查与地表基质研究。E-mail: jcyshaohai@mail.cgs.gov.cn

通讯作者: 殷志强(1980-), 男, 博士, 正高级工程师, 主要从事第四纪地质环境演化与地表基质研究。E-mail: yinzhiqiang@mail.cgs.gov.cn

Abstract: The investigation and mapping of ground substrate is a whole new field of natural resources survey and monitoring system in the current situation, which has not been evolved into a unified guideline on action. In this paper, based on the summarization of the current situation of the Earth's critical zone theory and ground substrate survey, fully drawing on the investigation methods and map expression styles of regional geology, engineering geology, Quaternary geology, hydrogeology, environmental geology, etc., and taking Ruyi River Basin in Bashang Plateau of Chengde City as the research area, we establish the method of the investigation and mapping of ground substrate based on the theory of the Earth's critical zone. Based on the field investigation results, the ground substrate in Ruyi River Basin can be divided into nine types as follows: basalt, andesite, tuff, rhyolite, alluvial-proluvial gravel, eluvial-proluvial gravel, aeolian sand, lacustrine silt and marsh silt. The distribution characteristics as well as the investigation and monitoring indicators in different types of ground substrates are also studied. The spatial distribution map of aeolian sand thickness, coupling relationship profile between the ground substrate and the ground covered layer, and ground substrate map are draw. The spatial distribution map of ground substrate thickness can show the spatial distribution characteristics of the thickness of different types of surface substrate layers. The coupling relationship profile of ground substrate and surface covered layer can directly describe the constraint of the profile structural characteristics and physical and chemical properties of ground substrate on the ecological elements of the covered layer. The ground substrate map can systematically reflect the structure, distribution, characteristics and coupling relationship between ground substrate and ground covered layer. The series maps of ground substrate are the reflection of the interaction of multiple cycles in the Earth's critical zone, such as the rock, the soil, the water, and the organism. The results of this study can provide references for the nationwide investigation and mapping of the ground substrate.

Keywords: ground substrate; surface covered layer; mapping; Ruyi River Basin; Bashang Plateau

地球关键带理论的提出,首次为地球系统科学研究提供了一个可以操作的实体框架^[1]。地球关键带是岩-水-土-生-气相互作用的环境,塑造着地球的表层;在空间分布上表现为非均质各向异性,在垂直剖面上表现为界面分层性^[2-4]。在垂直剖面上,地球关键带上部边界为植物冠层,下部边界为含水层的基岩底板,自上而下依次穿越了植物冠层、地表面、土壤层、包气带和饱水带^[1]。地球关键带的垂向结构主要受大气-植被界面、植被-土壤界面、包气带-饱水带界面、弱透水层-含水层界面、含水层-基岩界面5个界面控制^[5]。地球关键带作为人与自然相互作用最显著的区域,被视为地球上最大的生态系统^[6]。地球关键带理论包含了系统性、互馈性和耦合性等方面核心理念^[6]。流域是陆域水文循环的基本空间单元,具有独立性、完整性和敏感性的特征,地球关键带研究多以流域为基本单元^[5,7]。

地表基质是指地球表层孕育和支撑森林、草原等各类生态要素的基础物质^[8],其调查对象为岩石、砾质、土质、泥质和特殊基质^[9]。地表覆盖层是指在

地表基质上,按照自然资源在地表的实际覆盖情况,将地球表面划分为作物、林木、草、水等若干覆盖类型,其调查对象为森林、草原、湿地、耕地、水域等^[8]。地表基质是地球关键带的主要载体并影响着森林、草原、湿地等地表覆盖层的形成演化过程和稳定性,地表基质与地表覆盖层的耦合关系主要受地球关键带的植被-土壤界面、包气带-饱水带界面影响^[10-11]。研究基于地球关键带理论的地表基质与地表覆盖层耦合关系,需开展地表覆盖层、地表基质相关调查^[12]。地表基质孕育支撑地表覆盖层,调查地表基质的数量、质量、生态特征、开发利用状况和演化机理以及与地表覆盖层的耦合互馈机制,可以为区域生态文明建设中的生态保护、粮食生产和固碳增汇等提供地学解决方案^[10,13]。以往的地质编图没有或较少考虑地表覆盖层的情况,而地表基质编图更加注重地表基质与地表覆盖层耦合关系的研究,能更好的揭示生态环境变化的地质控制因素与演化特征。目前,地表基质调查尚在试点阶段,地表基质编图还没有形成统一的技术要求,各地表基质调查团

队正探索制定地表基质调查与编图方法。

地表基质系列图件是地表基质调查成果的主要载体,而已有的区域地质、第四纪地质、水文地质、土地利用、地球化学等大量成果资料,是地表基质图件编制的基础。本文以承德坝上高原东部如意河流域为例,探索提出了地表基质调查内容和思路、地表基质系列图件的编图方法,对地表基质调查方法体系的建立具有一定参考价值。

1 研究区地质环境及研究方法

1.1 气候环境与地质地貌

如意河流域位于承德坝上高原东部(图 1),属于坝上高原水源涵养和防风固沙生态单元,生态功能极其重要。如意河流域面积为 196.7 km²,海拔 1 250 ~ 1 700 m,如意河道长约 65.1 km。如意河流域地势由东北向西南倾斜,地貌类型为侵蚀剥蚀山地和剥蚀堆积平原,区域构造属棋盘山中凹陷构造单元^[7],为典型的森林-草甸草原过渡带。如意河流域近 20 a 年均降水量 468 mm、年均气温-0.7 ℃。地下水补给类

型为降雨-入渗型,随季节变化明显;地下水总体流向与如意河流向一致,为东北-西南流向,地下水埋深较浅,一般为 2 ~ 4 m。如意河流域分布土壤类型为灰色森林土、草甸土、风沙土、栗钙土、黑土、沼泽土。如意河流域地表覆盖主要乔木树种为华北落叶松、樟子松、油松、云杉、白桦、榆树、蒙古栎等林木,主要灌木树种为杞柳、沙棘、黄柳等。如意河流域的草原以多年生草本植物为主,主要由草甸草原和干草原组成^[14]。

如意河流域出露地层从老到新主要为白垩系张家口组(K_{1z})角砾凝灰岩、流纹质凝灰岩、流纹岩,白垩系义县组(K_{1y})气孔杏仁状安山岩、斑状安山岩,新近系汉诺坝组(N_{1h})致密块状橄榄玄武岩、气孔状橄榄玄武岩、橄榄辉石玄武岩及安山质玄武岩,第四系(Qh)洪积亚砂土及细砂夹砂砾石、风积粉细沙、湖沼积淤泥及碳质泥土、冲洪积砂砾石夹亚砂土(图 1);其中玄武岩和风积沙的分布范围较广,玄武岩具有多期次喷发、气孔发育分层明显等特点^[15]。

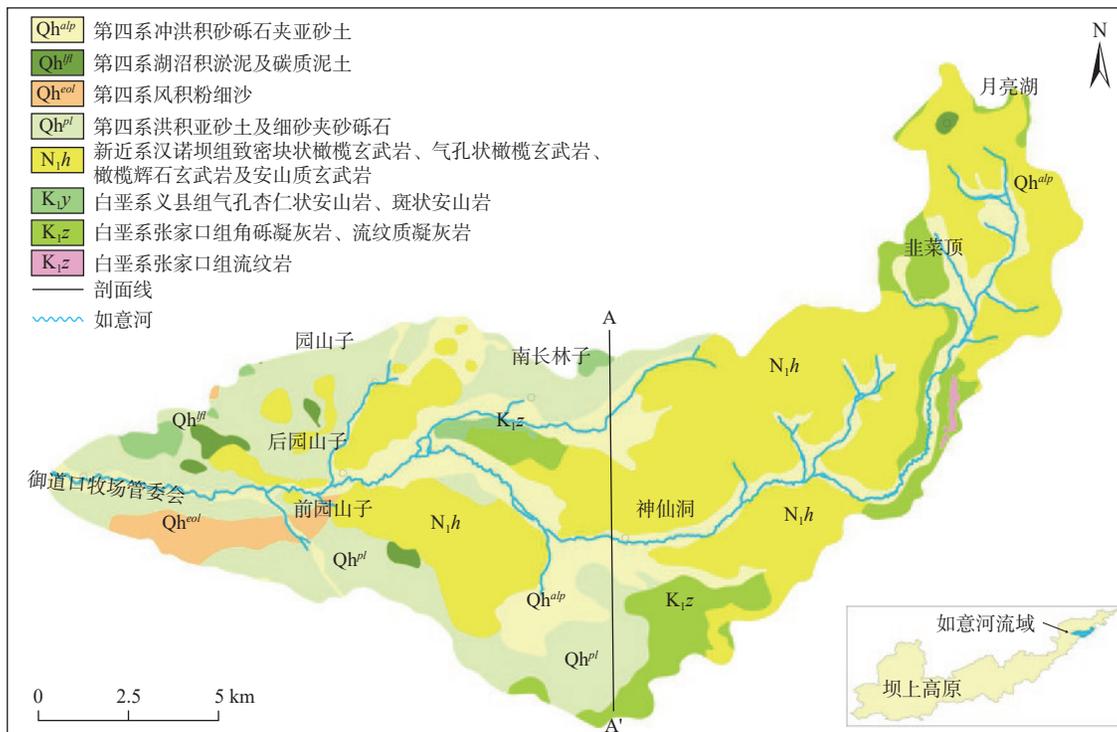


图 1 如意河流域位置及地质简图

Fig. 1 Location and regional geological map of Ruyi River Basin

1.2 调查研究方法

采用遥感解译、穿越路线、追索路线调查和典型

地表基质剖面解剖的方法,在如意河流域内选择 1 条自南至北具有典型性的剖面路线,剖面路线穿过了岩

石、砾质、土质、泥质等地表基质和森林、草原、水面等地表覆盖。在剖面路线穿过相近的地貌单元内开展地表覆盖层植被样地样方调查,对穿过的天然露头 and 人工露头进行剖面测绘,对重要的地质边界开展物探、钻探和槽探确定地表基质厚度和剖面结构特征,并采集样品^[6]。

对如意河流域地表基质进行调查与编图,按照流域面上调查(1:5万)-流域重点区调查(1:1万)-典

型地表基质剖面(1:100)3种尺度开展,从不同尺度深化对地表基质与地表覆盖层耦合关系的认知,为运用地球关键带理论研究地表基质与地表覆盖层的耦合关系提供依据(图2)。地表基质调查编图的区域地质数据来源于1:5万区域地质图,土地利用类型数据来源于国土三调2020年10月份时点数据,地表基质数据通过编调结合的方式,以野外调查实测数据为主。

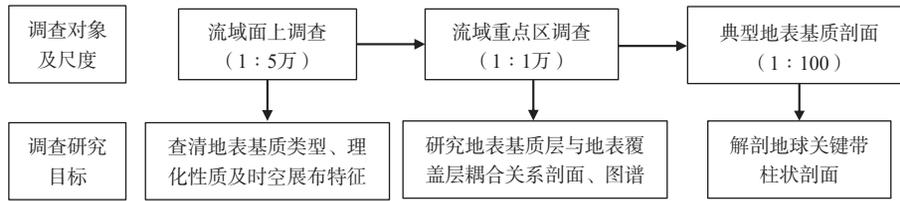


图2 如意河流域地表基质调查尺度及内容

Fig. 2 Survey scale and content of the ground substrate survey, Ruyi River Basin

2 地表基质与地表覆盖层耦合关系调查

2.1 地表基质和地表覆盖类型划分

如意河流域砾质分布很少,且按不同粒级体积含量得到的二、三级分类在野外调查填图的可操作性、应用性不强。在如意河流域野外调查填图中发现砂质与砾质通常发育在一起,故将砂砾作为地表基质的一级分类,对应于砾质^[7]。笔者在借鉴已有地表基质

分类研究的基础上,通过综合分析如意河流域区域地质、第四纪地质图件和水文地质、工程地质钻孔数据,结合遥感解译和地质调查验证确定地表基质的边界范围,划分了玄武岩、安山岩、凝灰岩、流纹岩、冲洪积砂砾石、残坡积砂砾石、风积沙、湖积淤泥和沼积淤泥等9类三级分类地表基质,其相应特征和分布情况见表1。

表1 如意河流域地表基质分类特征、调查和监测指标

Table 1 Classification characteristics, survey and monitoring indicators of ground substrate in Ruyi River Basin

地表基质三级分类	分布情况及特征描述	调查指标	监测指标
玄武岩	呈面状分布于流域的上中游,在非菜顶至神仙洞一片分布集中,坡度大于20°	岩性、颜色、产状、结构面类型、结构面密度、坚硬程度、风化程度、结构类型、完整程度等	含水率、渗透性等
安山岩	零星分布,面积较小		
凝灰岩	分布面积较大,在非菜顶一带沿如意河河道两岸分布,一般上部发育一层厚度为30 cm左右的灰色森林土		
流纹岩	出露面积较小,范围较集中	颜色、砾径、砾石含量、磨圆度、分选性等	含水率、渗透性等
冲洪积砂砾石	主要分布在如意河干支流两岸,沿河流两岸呈带状分布,其中砾质以中砾、细砾为主,砂土以细砂、粉砂为主,上部发育草甸土和风沙土		
残坡积砂砾石	出露较分散,呈条带状或透镜状分布,在玄武岩基质、风积沙层中零星分布		
风积沙	分布范围最广,呈片状分布,集中分布在如意河流域中下游,上部一般有25 cm左右的含有机质风积沙,土壤养分含量较低		
湖积淤泥	分布在月亮湖等几个湖泊底部	颜色、气味、水深、水动力条件等	酸碱度、重金属和有机污染物类型、含量、活性等
沼积淤泥	主要分布在月亮湖南部、如意河源头一片,为沼泽草地和沼泽地		

2.2 地表基质调查监测内容

地表基质调查是基础地质调查的范畴,强调的是

自然属性和生态属性。海南岛开展的地表基质调查将地表基质调查建议指标分为基础调查、特征调查和

评价指标^[18]。本文对如意河流域地表基质划分到三级分类,对地表基质的调查指标和监测指标按岩石、砾质、土质和泥质提炼出共性指标。地表基质监测与地表基质调查相衔接,通过对不同类型地表基质进行连续观测、定期复测和专项观测等活动,实时刻画流域地表基质理化性质、数量质量、生态和地质景观等变化情况,分析动态变化和预测趋势^[19]。地表基质调查填图和监测为地球关键带理论提供基础数据^[5]。调查填图是研究地表基质的组成、结构和空间分布的基础,回答“地表基质是什么”的科学问题;监测是研究地表基质随时空变化的基础,监测地表基质与母岩-母质-土壤-植被及作物的关系,回答“地表基质是如何变化”的科学问题。江汉平原建立的地球关键带监测网,对岩-水-土-生-气等地表基质和地表覆盖要素开展监测,但只有部分监测内容和指标达到了原位实时在线监测^[20]。

本文在如意河流域开展地表基质调查和监测指标选取的分析,以流域的一个完整水文年为监测周期,进行地表基质理化性质的长时间实时序列监测。对玄武岩、冲洪积砂砾石等,监测含水率、渗透性等指标;对风积沙,监测含水率、温度、电导率等指标;对湖积淤泥等,监测酸碱度等指标(表 1)。

3 地表基质系列图件编制讨论

地表基质系列图件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。地表基质厚度空间分布图可展布不同类型地表基质厚度的空间分布特征,地表基质与地表覆盖层耦合关系图可直观刻画地表基质的剖面结构特征和理化性质对地表覆盖生态要素的约束作用,地表基质图能系统地反映地表基质与地表覆盖层的结构、展布、特征和耦合关系。地表基质厚度空间分布和地表基质与地表覆盖层耦合关系图是编制地表基质图的基础。

3.1 地表基质厚度空间分布图的编制

厚度是地表基质重要的理化性质指标之一^[21],以如意河流域分布较广的风积沙为例,采用电测深法对如意河流域中游的风积沙厚度进行 800 m×500 m 网格格式扫面测量,精细测量风积沙与下伏基岩的界线,调查点空间分布见图 3。一共获取风积沙厚度数据 152 组,同时通过地面调查和开挖探槽方式对风

积沙厚度数据进行验证,其数据真实客观。将 152 组风积沙厚度数据分为 136 组样本数据集、16 组验证数据集。基于 152 组风积沙厚度数据,应用径向基函数人工神经网络插值方法编绘如意河流域中游风积沙厚度空间分布图(图 3)。样本数据和验证数据的精度分析结果表明如意河流域中游风积沙厚度(D)空间分布与实际厚度分布情况较为吻合。

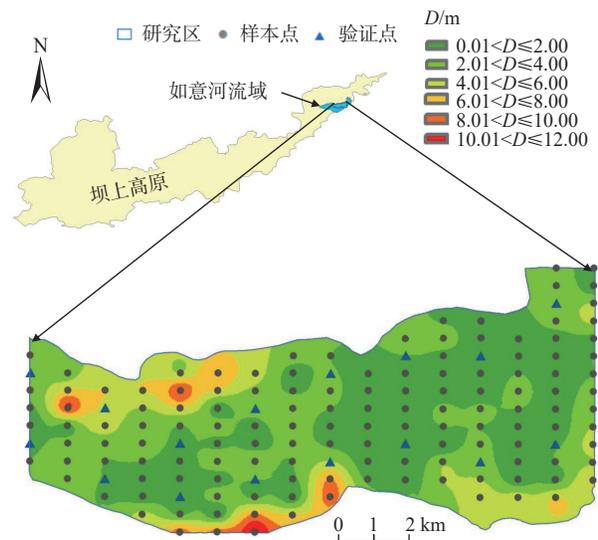


图 3 如意河流域中游风积沙厚度空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution map showing aeolian sand thickness in the middle reaches of Ruyi River Basin

3.2 地表基质与地表覆盖层耦合关系图的编制

地表基质与地表覆盖层耦合关系剖面图是地表基质调查的基础工作,也是地表基质调查的重要内容和手段。通过地表基质与地表覆盖层耦合关系剖面图的编制,可直观地刻画典型剖面的地表基质结构、岩石性质、成土母质性质、土壤性质及分布、植被及作物的立地条件和空间展布特征等信息,有利于总结地表基质对地表覆盖生态要素的约束作用,分析岩-土-水-林-草等地球关键带多圈层交互作用。笔者以地球关键带理论为指导,研究地表基质的什么性质影响地表覆盖植被的类型和分布、哪些特征决定哪些地表覆盖生态要素的变化、地表基质中发生的哪些表生地质作用和地质过程对地表覆盖生态要素起主要控制作用。

以简化的区域地质图为底图,同时确保每种类型地表基质都有调查点控制。用高密度电法、电测深法探测基岩起伏面埋深。在地表基质剖面图基础上,考虑耦合成土母质、土壤类型和地表覆盖植被类型等,

探索地质调查、物探、钻探相结合的联合剖面表达空间结构, 编制地表基质与地表覆盖层耦合关系剖面图(图4)。地表基质的物性差异是物探解释的重要参数, 不同类型地表基质孔隙度不同, 而地层孔隙度与电阻率具有相关性, 孔隙度越大电阻率相对较高^[22]。

基岩表现为视电阻率相对低阻异常, 而上部的风积沙层则具有视电阻率高阻异常。高密度电法测量采用温纳 α 装置, 通过反演解释剖面 A-A' 成果数据, 识别风积沙的厚度和岩土层界线。

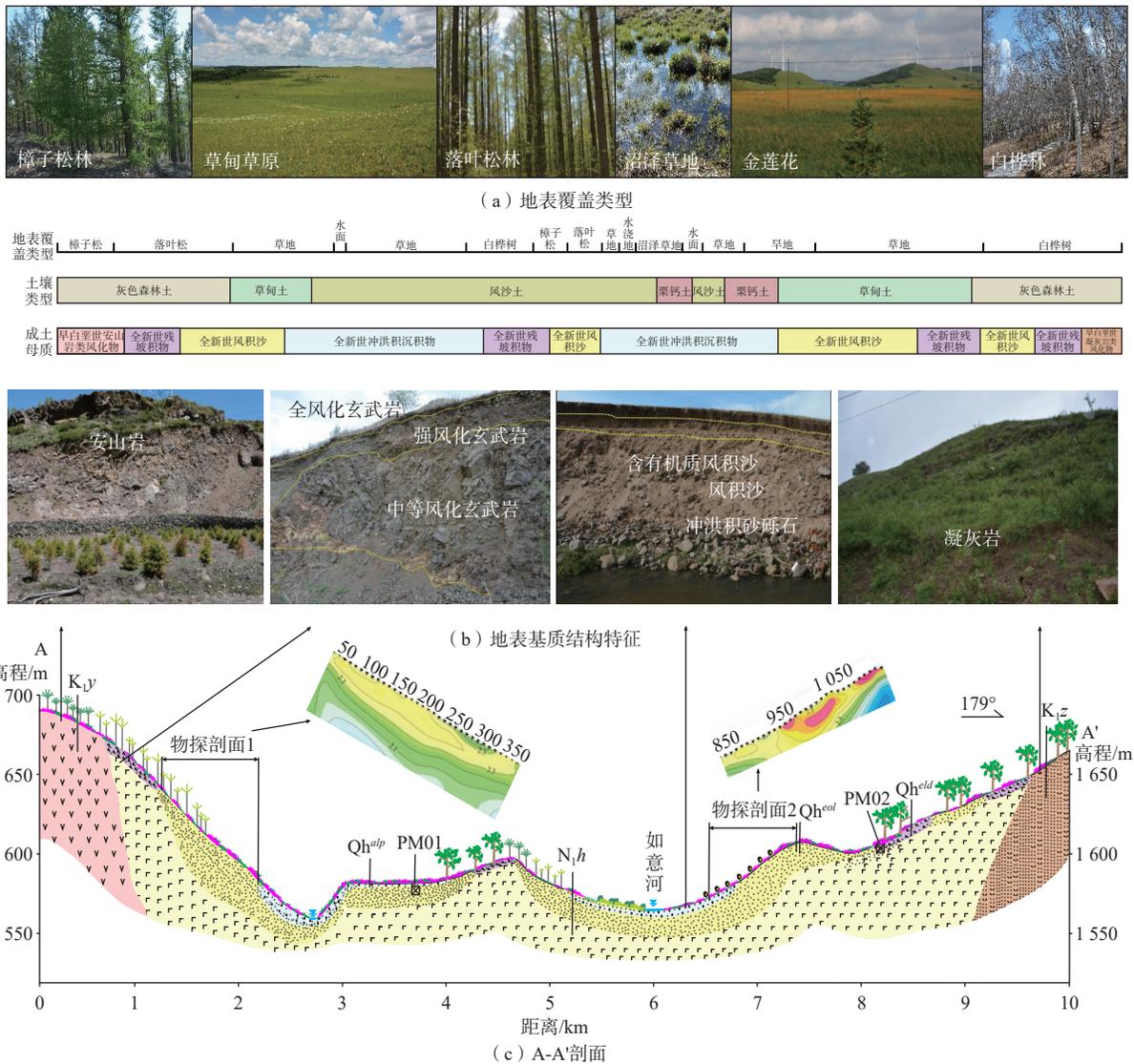


图4 地表基质与地表覆盖层耦合关系图

Fig. 4 Coupling relationship between the ground substrate layer and ground covered layer

土壤是地球关键带中物理、化学、生物和能量流动转化的最重要载体之一^[5], 土壤也是地表基质与地表覆盖层耦合关系中的一个重要要素。对地表基质与地表覆盖层耦合关系剖面图中的柱状剖面 PM01 和 PM02 进行结构分层及理化性质分析(图5), 研究地表基质土质厚度、粒径、含水率等对地表覆盖植被作物的影响。柱状剖面 PM01 位于如意河流域中游神

仙洞北 1.6 km, 坡向朝南, 坡度 32°。地表覆盖草地及零星灌丛, 植被覆盖度为 20%, 草群平均高度为 15 cm, 草本植被根系主要集中分布在 20~30 cm 深度范围。地表基质特征为: 0~30 cm 为含有有机质风积沙, 含水率为 3.2%; 30 cm 以下为风积沙。如图 5(a) 所示, 该处风积沙厚度为 15 m, 风积沙下部为气孔状玄武岩。风积沙是在风积母质上发育成的土壤, 成土作用微

弱。风积沙上的植被稀疏，覆盖度较小，多以沙生植被为主。柱状剖面 PM02 位于如意河流域中游神仙洞西南 2 km，为修路取土形成的陡坎，坡向朝北，坡度 86°。地表覆盖白桦林、草地，植被覆盖度为 98%，草群平均高度为 65 cm，草本植被根系主要集中分布在 20~50 cm 深度范围，部分为 85 cm，达到红黏土层。地表基质特征：0~50 cm 为灰色森林土，含水率为 6.5%；50~80 cm 为风积沙，含水率为 7%；80 cm 以下为红黏土，含水率为 8.6%，如图 5(b) 所示。灰色森林土颜色深暗，土层薄，淀积层发育不明显，土体有机质含量较高，一般大于 5%。红黏土的成土母质为碳酸盐类岩石，颜色呈褐红色，黏粒含量高，塑性指数为 23，渗透性差，可视不透水层。对风积沙、红黏土等地表基质样品进行取样和粒度分析，风积沙中值粒径 (D50) 为 198.78 μm，红黏土 D50 为 42.38 μm，风积沙的 D50 是红黏土的 5 倍左右。对比 PM01 与 PM02，PM01 的风积沙较厚，1 m 范围内的含水率为 2%~4%，地下水位大于 10 m，且风积沙透水性好、持水性差。PM02 风积沙下部为透水性差的红黏土层，起到隔水的作用，故能生长一些深根性的草本植物和白桦。

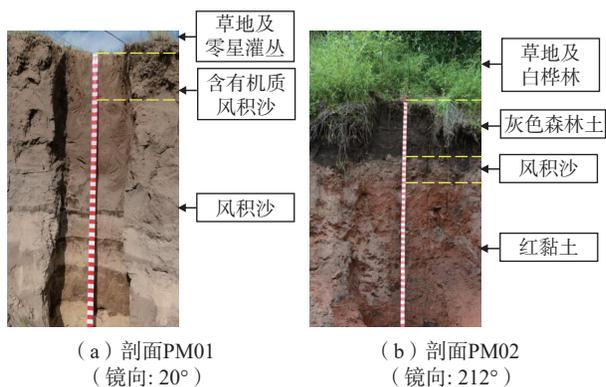


图 5 地表基质典型剖面图
Fig. 5 Profile of the ground substrate

3.3 地表基质图的表达

如意河小流域海拔落差小，气候气象条件相似，通过在如意河流域地表基质调查填图的探索实践，初步形成了地表基质图的编制方法。地表基质图首先要表达岩石、砾质、土质、泥质和特殊基质等地表基质基础物质的分布和特征，其次要表达地表基质支撑地表覆盖生态要素的分布和特征，最后形成岩-土-水-生等地表基质与地表覆盖层耦合关系的综合图件。地表基质野外手图采用 1:1 万数字化地形图进行地

质观测内容标绘，按 1:5 万表达地表基质图面，以地表基质分类为依据，每一类型地表基质需要有一个钻孔或剖面，采用“主图+镶图、平面图+剖面图”的综合图面表达方法，客观反映地表基质分布、特征和规律 [23]。地表基质主图以代号、颜色、花纹的形式进行表达，反映不同类型地表基质的空间分布，主图数据来源于野外实测和资料编绘；在地表基质图上通过剖面柱状图的形式表达地表基质垂向剖面结构，对每种地表基质类型至少表达一组垂向剖面。对水文工程地质钻孔等不同钻孔数据进行归一化整编改化，钻孔柱状图表达了不同类型地表基质的垂向剖面结构特征；剖面图刻画的是地表基质的结构特征和对地表覆盖生态要素的约束机制。

在如意河流域地表基质图中，以镶表的形式将地表基质三级分类及分布特征进行说明：地形起伏度镶图反映地形切割深度；土地利用类型镶图反映土地利用状况、程度与分布情况；土壤类型分布镶图在小流域单元可反映土壤的微域分布特征；水文地质镶图表达区域地下水和含水岩组的情况；地下水水质 TDS 等值线镶图反映地下水中溶解性总固体含量的空间分布情况；土地质量地球化学综合等级镶图是在土壤质量地球化学等级基础上，考虑灌溉水和大气环境评价的综合等级 (图 6)。

4 结论

(1) 如意河流域地表基质调查编图按照流域面上调查-流域重点区调查-典型地表基质剖面解剖 3 种尺度展开，从不同尺度深化对地表基质与地表覆盖层耦合关系的研究。

(2) 划分如意河流域地表基质有玄武岩、安山岩、凝灰岩、流纹岩、冲洪积砂砾石、残坡积砂砾石、风积沙、湖积淤泥和沼积淤泥 9 种类型，研究不同类型地表基质的分布特征、调查和监测指标。

(3) 地表基质与地表覆盖层耦合关系图，可直观刻画地表基质的剖面结构特征和理化性质对地表覆盖生态要素的约束作用，为研究岩-土-水-生等地球关键带多圈层交互作用提供支撑。

(4) 基于地球关键带理论的地表基质系列图件的编制，能系统地反映地表基质与地表覆盖层的结构、展布、特征和耦合关系，为区域生态文明建设中的生态保护、粮食安全等提供地球科学依据。

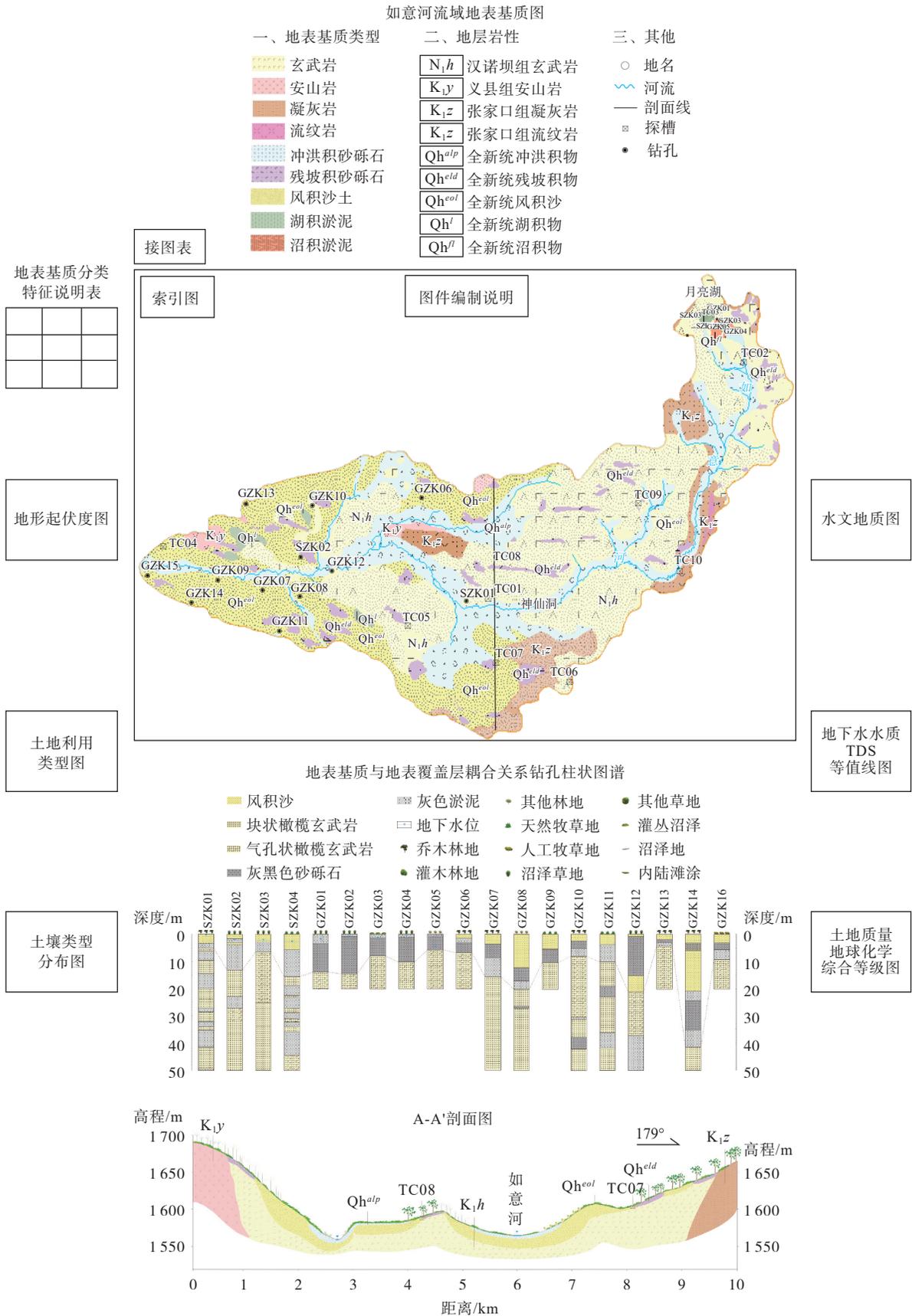


图 6 如意河流域地表基质图示意图

Fig. 6 Schematic diagram showing ground substrate layer map of Ruyi River Basin

参考文献 (References) :

- [1] ZHANG Ganlin, SONG Xiaodong, WU Kening. A classification scheme for Earth's critical zones and its application in China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2021, 64(10): 1709 – 1720.
- [2] HOLBROOK W S, MARCON V, BACON A R, et al. Links between physical and chemical weathering inferred from a 65-m-deep borehole through Earth's critical zone[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 4495.
- [3] BANWART S A, NIKOLAIDIS N P, ZHU Yongguan, et al. Soil functions: Connecting Earth's critical zone[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2019, 47: 333 – 359.
- [4] GIARDINO J R, HOUSER C. Principles and dynamics of the critical zone[M]. Amsterdam: Elsevier, 2015.
- [5] 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. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 李金发. 认清经济新形势 顺应改革新趋势: 加快中国地质调查工作的调整与改革[J]. *中国地质调查*, 2016, 3(1): 1 – 6. [LI Jinfa. Recognizing the new economic situation and adapting to the new trend of reform-speeding up the adjustment and reform of geological survey in China[J]. *Geological Survey of China*, 2016, 3(1): 1 – 6. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 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 Jingbin, WEI Xiaofeng, ZHANG Huiqiong, et al. 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*, 2020, 47(6): 1611 – 1624. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 自然资源部. 自然资源调查监测体系构建总体方案[Z/OL]. (2020-01-17)[2021-12-10]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content_5470398.html. [Ministry of Natural Resources. Generalscheme for construction of natural resources survey and monitoring system[Z/OL]. (2020-01-17)[2021-12-10]. (in Chinese)]
- [9] 自然资源部. 自然资源部办公厅印发《地表基质分类方案(试行)》的通知[Z/OL]. (2020-12-22)[2021-12-10]. http://gi.mnr.gov.cn/202012/t20201222_2596025.html. 2020. [Ministry of Natural Resources. Notice of the general office of the ministry of natural resources printing and distributing the ground cover layer classification scheme(trial)[Z/OL]. (2020-12-22)[2021-12-10] (in Chinese with English Abstract)]
- [10] 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(6): 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(6): 8 – 14. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 郝爱兵, 殷志强, 彭令, 等. 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*, 2020, 47(6): 1 – 7. [HAO Aibing, YIN Zhiqiang, PENG Ling, et al. A discussion of the classification of natural resources based on the combination of academic-legal principles and management[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2020, 47(6): 1 – 7. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 殷志强, 邵海, 庞菊梅, 等. 承德资源环境承载力综合地质调查与评价2021年延续报告[R]. 北京: 中国地质环境监测院, 2020. [YIN Zhiqiang, SHAO Hai, PANG Jumei, et al. Continuation report of comprehensive geological survey and evaluation of Chengde resources and environment carrying capacity in 2021[R]. Beijing: China Institute of Geo-Environment Monitoring, 2020. (in Chinese with English Abstract)]
- [13] 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. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 张月丛, 成福伟, 张娜, 等. 承德生态恢复与居民福祉[M]. 北京: 经济管理出版社, 2020. [ZHANG Yuecong, CHENG Fuwei, ZHANG Na, et al. Ecological restoration and residents' welfare in Chengde[M]. Beijing: Economic Management Press, 2020. (in Chinese with English Abstract)]
- [15] 孙厚云, 卫晓锋, 孙晓明, 等. 御道口汉诺坝玄武岩偏

- 硅酸矿泉水形成机制及其地质建造制约[J]. 地球科学, 2020, 45(11): 4236 - 4253. [SUN Houyun, WEI Xiaofeng, SUN Xiaoming, et al. Formation mechanism and geological construction constraints of metasilicate mineral water in Yudaokou, Hannuoba basalt area[J]. Earth Science, 2020, 45(11): 4236 - 4253. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 卫晓锋, 王京彬, 孙厚云, 等. 基于地质建造探索承德市土地利用优化路径[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(6): 15 - 25. [WEI Xiaofeng, WANG Jingbin, SUN Houyun, et al. Exploration of land use optimization path based on geological formation in Chengde City[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(6): 15 - 25. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 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(3): 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(3): 277 - 288. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 李响, 周效华, 相振群, 等. 地表基质调查的工作思路刍议——以海南岛为例[J]. 地质通报, 2023, 42(1): 68 - 75. [LI Xiang, ZHOU Xiaohua, XIANG Zhenqun, et al. Discussion on the contents of ground substrate investigation and the index system of elements and attributes[J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(1): 68 - 75. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 中国地质调查局. 地质调查支撑自然资源综合调查总体设计(2021—2030年)[M]. 2021. [China Geological Survey. The overall design of comprehensive survey of natural resources supported by geological survey(2021-2030)[M]. 2021. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 李俊琦, 马腾, 邓娅敏, 等. 江汉平原地球关键带监测网建设进展[J]. 中国地质调查, 2019, 6(5): 115 - 123. [LI Junqi, MA Teng, DENG Yamin, et al. Progresses on monitoring network construction of Earth's critical zone in Jianghan Plain[J]. Geological Survey of China, 2019, 6(5): 115 - 123. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 侯红星, 葛良胜, 孙肖, 等. 地表基质调查内容及要素-属性指标体系探讨[J]. 自然科学, 2021, 9(4): 433 - 442. [HOU Hongxing, GE Liangsheng, SUN Xiao, et al. Discussion on the contents of ground substrate investigation and the index system of elements and attributes[J]. Open Journal of Nature Science, 2021, 9(4): 433 - 442. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 白超琨, 侯红星, 付宪军, 等. 综合物探方法在河北保定地区地表基质层试点调查中的应用[J]. 自然科学, 2021, 9(4): 414 - 425. [BAI Chaokun, HOU Hongxing, FU Xianjun, et al. Application of comprehensive geophysical method to ground substrate layer pilot survey in the area of Hebei Baoding[J]. Open Journal of Nature Science, 2021, 9(4): 414 - 425. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 石建省, 马荣, 马震. 区域地球多圈层交互带调查探索研究[J]. 地球学报, 2019, 40(6): 767 - 780. [SHI Jiansheng, MA Rong, MA Zhen. Regional investigation of the Earth's critical zone[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2019, 40(6): 767 - 780. (in Chinese with English abstract)]

编辑: 汪美华
刘真真