

黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查实践与思考

杨运军, 张满社, 黄薇, 韩旭, 焦锐, 张亚峰, 许锋

陕西省矿产地质调查中心, 陕西 西安

收稿日期: 2022年4月25日; 录用日期: 2022年5月24日; 发布日期: 2022年5月31日

摘要

为顺应新时期自然资源职能使命和管理信息化客观需求, 更好贯彻“山水林田湖草”生命共同体理念, 2020年陕西省地质调查院选择黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)开展自然资源综合调查试点, 项目通过充分调研对接、野外调查、图件编图和分析研究等, 初步取得一批阶段性成果及认识: ① 摸清了“山水林田湖草”等自然资源“家底”数据, 初步实现了自然资源调查监测“一张图”; ② 依据自然资源要素禀赋特征和本底条件, 揭示了地球各圈层土地、矿产、水、森林、草原、湿地、沙苑、地质遗迹、地热等自然资源要素之间内在联系和互馈机制; ③ 探索推进地调转型升级和“自然资源调查方法体系”研究, 为陕西省自然资源调查方法研究实践提供了依据和科技支撑范式。

关键词

晋陕豫金三角, 自然资源综合调查, 实践

Practice and Thinking on Comprehensive Investigation of Natural Resources in the JinShaan-Yu Golden Triangle (Shaanxi Section), Middle Reaches of Yellow River

Yunjun Yang, Manshe Zhang, Wei Huang, Xu Han, Rui Jiao, Yafeng Zhang, Feng Xu

Shaanxi Center of Mineral Geological Survey, Xi'an Shaanxi

Received: Apr. 25th, 2022; accepted: May 24th, 2022; published: May 31st, 2022

文章引用: 杨运军, 张满社, 黄薇, 韩旭, 焦锐, 张亚峰, 许锋. 黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查实践与思考[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(5): 712-723. DOI: 10.12677/ag.2022.125071

Abstract

In order to comply with the functional mission of natural resources in the new era and the objective needs of management informatization, and better implement the concept of “landscape, forest, field, lake and grass” life community, Shaanxi Geological Survey Institute selected the JinShaan Yu Golden Triangle (Shaanxi section), middle reaches of Yellow River to carry out the pilot of comprehensive survey of natural resources in 2020. Through full survey and docking, field survey, map compilation, analysis and research, etc., a number of phased achievements and understandings have been preliminarily obtained: ① the “family background” data of natural resources such as “landscape forest field lake grass” have been investigated, and the “one map” of natural resources survey and monitoring has been preliminarily realized; ② according to the endowment characteristics and background conditions of natural resource elements, this paper reveals the internal relationship and mutual feeding mechanism among natural resource elements such as land, minerals, water, forest, grassland, wetland, shayuan, geological relics and geothermal in each circle of the earth; ③ explore and promote the transformation and upgrading of geological survey and the research on “natural resources survey method system”, which provides a basis and scientific and technological support paradigm for the research and practice of natural resources survey methods in Shaanxi Province.

Keywords

JinShaan-Yu Golden Triangle, Comprehensive Survey of Natural Resources, Practice

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

党的十八大以来习近平总书记从生态文明建设战略提出“山水林田湖草是生命共同体”理念，十九大把自然资源管理上升到国家战略，并赋予自然资源部“两统一”职能。随着自然资源管理工作进入了一个新的发展阶段，实现了从要素管理到综合化、系统化管理的转变，亟须有一套权威统一的自然资源现状数据作为支撑，这对自然资源“一张底图”提出了新要求[1] [2] [3]，为适应自然资源需求增长和生态环境保护的要求，需要尽快形成一套全面系统自然资源本底数据，重点解决各类自然资源要素数据交叉重叠的现状，构建自然资源要素调查-评价-管理一体化体系，实现自然资源综合管理，协同有效服务当地政府决策、经济社会绿色和谐发展。

自然资源部印发了《自然资源调查监测体系构建总体方案》等系列文件，奠定了自然资源调查基本框架[4] [5] [6]。全国“三调”工作基本完成，为全面开展自然资源调查提供了依据。习总书记在黄河流域生态保护与高质量发展座谈会上发表的重要讲话，为黄河流域自然资源调查提供了根本遵循，陕西省委关于《在黄河流域生态保护和高质量发展中展现陕西担当》讲话为自然资源工作指明了方向。为更好贯彻“山水林田湖草”生命共同体理念，2020年陕西省地质调查院开展了“黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查”探索与实践，为进一步摸清我省山水林田湖草多门类自然资源家底，更好支撑服务自然资源统一管理、国土空间规划、用途管制和黄河流域生态保护与修复，推进自然资源治理体系与治理能力现代化建设提供了支撑服务范式。

2. 研究区概况

研究区位于渭河流域东部陕西省渭南市，与山西运城市、河南三门峡市毗邻，区位优势明显，属国务院批准的黄河中游晋陕豫金三角省际交界合作区核心地带，位于中国东西国土空间格局分界线“美丽中国中脊带”的关键地段[7]，辖 2 区(临渭、华州)、2 市(渭南、韩城)、7 县(潼关、大荔、澄城、合阳、蒲城、富平、白水)。东西宽约 150 km，南北纵深 182 km，总面积 13144 km²，占渭河盆地陕西段约二分之一(图 1 所示)。晋陕豫金三角(陕西段)属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候，四季分明，年平均降水量 537.5~1028.4 毫米，历来是优越的农业生态区，黄河流经金三角东部与渭、洛三河交汇金三角，有林地面积 36.7 万公顷，截止 2020 年底，森林覆盖率为 27.2%。作为黄河流域中游陕西段重要经济带和秦岭山地向关中平原及渭北高原过渡的关键区域，生态功能突出，生物多样性丰富，自然资源类型多样，文化根基深厚，石质高山、土石低山丘陵、黄土高原和土质平原地貌发育，总体具有独特的“一带两屏多廊道”地理山水格局，制约着区内自然资源禀赋特征及本底条件。面临绿色可持续发展理念和秦岭北坡与黄土高原南缘矿山生态保护、水源涵养、水土流失、生态环境脆弱、关中城市群水资源节约集约利用、污染防治等矛盾，沿黄经济区协同联系度不高，也严重影响了晋陕豫金三角(陕西段)经济发展。因此，开展黄河流域晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查，尽快摸清资源家底，查明多门类自然资源分布、数量、质量、资源潜力、开发利用状况和动态变化情况，同时可探索推进地调转型升级和“自然资源调查方法体系”研究，为开展全省自然资源调查提供实践依据和理论基础。

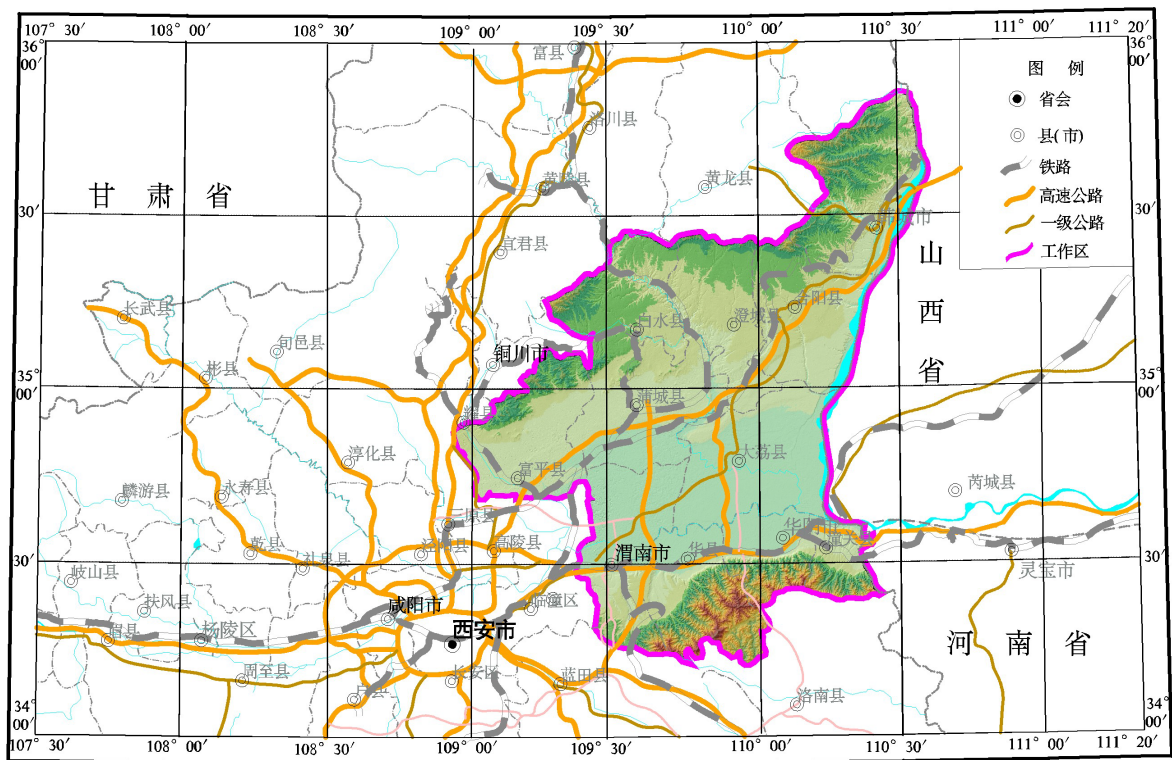


Figure 1. Traffic geomorphic map of the JinShaan Yu Golden Triangle (Shaanxi section), middle reaches of Yellow River
图 1. 黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)交通地貌图

3. 总体目标任务

开展黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查项目试点是顺应新时期自然资源职能使命和

管理信息化客观需求，项目总体目标任务如下：

紧密围绕黄河流域生态保护和高质量发展对自然资源工作的要求，树立“山水林湖田草”生命共同体理念，应用地球系统科学理论，在全面收集梳理以往自然资源要素类、自然环境类、经济社会类及第三次全国国土调查资料的基础上，开展晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查，基本查明土地、矿产、水、森林、草原、湿地、沙苑、地质遗迹、地热等自然资源要素分布、数量、质量、资源潜力、开发利用状况和动态变化情况，建立自然资源综合调查数据库；探索自然资源综合调查技术方法体系，为晋陕豫金三角(陕西段)自然资源管理、国土空间规划、用途管制、生态保护与修复等提供技术支撑。

4. 主要进展及认识

项目实施以来坚持问题导向和需求导向，通过调研对接、野外调查、图件编制和分析研究等工作，初步摸清了自然资源多门类自然资源家底，取得一批阶段性成果及认识，为推进陕西省自然资源调查研究实践提供了依据和支撑范式。

4.1. 初步形成自然资源调查“一张图”

1) 按照《自然资源调查监测体系构建总体方案》要求，充分应用卫星遥感技术，集成自然资源基础调查和专项调查成果数据，对地表覆盖层、地表基质层和地下资源层自然资源信息进行分层分类。地表覆盖层主要包括林草湿地，地表水、土地资源；地表基质层是地球表层孕育和支撑森林、草原、水、湿地、生物乃至人类等各类自然资源要素的基础物质；地下资源层包括矿产资源、城市地下空间等；

2) 通过开展地表基质调查和矿产、土地、森林、草原、湿地、水、地热、地质遗迹等专项补充调查，基本查明了各自然资源要素分布、数量、质量、资源潜力、开发利用状况和动态变化情况，集成“山水林湖田草”数据，形成了黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)地球多圈层“山水林湖田草”等自然资源“家底”数据；

3) 编制了自然资源多门类基础图件，初步实现了自然资源调查监测“一张图”，探索了自然资源综合调查支撑自然资源管理支撑模式。

4.1.1. 林业资源专项调查

1) 梳理了研究区林业资源质量、数量、类型及蓄积量等现状数据，包括林地面积 367325.59 公顷，非林地面积 1131114.73 公顷，合计 1498440.32 公顷，活立木总蓄积 10266544.8 m³ (渭南市林业局)；2) 初步了解了不同地质建造(成土母质 - 土壤)对林业及植被的控制因素及内在影响机理；3) 结合合阳县林业碳汇现状及潜力调查评价，寻求开展合阳县林业生态碳汇能力试点，从而推动林业碳汇项目开发，探索我省生态产品价值实现机制，为碳达峰、碳中和目标提供支持。

4.1.2. 地质遗迹专项调查

全面了解了研究区地质遗迹分布、数量及价值体系，结合旅游资源现状与开发利用规划，对区内地质遗迹重点保护区 8 处及一般保护区 16 处进行了综合价值(科学性、稀有性、完整性和系统性、观赏性、通达性、可保护性等)评估。结合重点地质遗迹独特的自然文化景观及禀赋特征研究，为深入传承弘扬黄河文化，打造具有影响力保护区示范和全域黄河生态文化旅游带提供地学支撑。

4.1.3. 湿地资源专项调查

全面了解了湿地资源现状、变化特征及湿地与生物多样性之间的依存关系，服务生物多样性富集、生态旅游和自然生态安全筑牢屏障，为湿地资源有效保护和管理、打造生物多样性生态走廊和实现生态价值实现机制先行区提供了基础数据。划分湿地分为 4 地类 8 个湿地型，总面积 81143.9 公顷，占全市

土地面积的 6.2%，全省湿地总面积 30.8 万公顷的 26.3%，居全省之首。湿地内包括古树名目等野生动植物资源丰富，动物资源包括鱼类 53 种、两栖类 5 种、爬行类 18 种、鸟类 309 种、兽类 36 种。

4.1.4. 土地资源专项调查

1) 汇集区内土地资源面积、分布、土地质量及利用现状和变化情况，开展了土地质量地球化学、特色土地资源开发利用、重要土地质量问题调查和初步评价工作，为土壤修复、生态保护恢复、农业产业布局、后备土地资源储备潜力和高质量农田发展提供地质支撑。

2) 通过开展华阴市富硒土地采样试点和健康地质调查，初步查明了主要土壤微量元素的分布特征及健康元素硒的分布范围，为地方富硒土地资源利用、特色优势现代产业体系发展和特色农业种植提供了地质依据。

3) 以大荔县特色农业及韩城市花椒园为例，初步查明了渭南市特色农业布局及分布特征，助推沿黄城市群因地制宜推进县域农业发展体系及生态宜居美丽乡村建设。

4.1.5. 地表基质专项调查

通过开展地表基质调查，摸清了地表基质层时空分布、数量、类型、物质组成、基本状态、理化性质、地表景观及利用现状等，编制完成了地表基质图，初步建立了地表基质分类标准体系。结合主干路线调查和遥感解译手段，划分为岩石、砾质、土质三大类并参考成因及时代细分为 46 类(表 1)。探讨了地表基质与地质建造、农林土壤生境之间的内在联系。

Table 1. Classification of surface matrix
表 1. 地表基质类别划分

| 一级类 | 二级类 | 三级类 | 四级类 | 基质代号 | 成土母质及建造(组合) |
|-------|--|------------------------------------|--|--|--|
| 岩石(A) | 岩浆岩(A1) | 侵入岩(A1 ₁) | 花岗岩(A1 ₁ ¹) | A1 ₁ ¹ K | 金堆城花岗斑岩、华山黑云母二长花岗岩 |
| | | | | A1 ₁ ¹ J | 蓝田黑云母二长花岗岩 |
| | | | | A1 ₁ ¹ Pt ₂ | 小河叶理化二长花岗岩 |
| | | | | A1 ₁ ¹ Pt ₁ | 潼峪片麻状二长花岗岩 |
| | | | A1 ₁ ¹ Ar ₃ | 太峪岭二长花岗质、翁岔铺英云闪长质片麻岩 | |
| | | | A1 ₁ ² ε | 东吉口正长岩 | |
| | | | A1 ₁ ² Pt ₂ | 荞麦山石英正长斑岩 | |
| | | | A1 ₁ ³ Pt ₁ | 箭峪岭片麻状闪长岩 | |
| | | | A1 ₁ ⁴ Pt ₁ | 罗斑花岗伟晶岩 | |
| | | | 火山岩(A1 ₂) | 中基性熔岩(A1 ₂ ¹) | A1 ₂ ¹ Pt 2 ¹ |
| | A2 ₁ ¹ N ₁ | 保德组，砂砾岩建造、泥岩建造 | | | |
| | A2 ₁ ² E ₃ | 白鹿原组，砂岩 - 泥岩建造 | | | |
| | A2 ₁ ² T _{2,3} | 延长组，砂岩 - 泥质岩建造 | | | |
| | A2 ₁ ² T ₂ | 二马营组，砂岩 - 泥岩建造 | | | |
| | A2 ₁ ² T ₁ | 刘家沟组，砂岩建造 | | | |
| | A2 ₁ ² P ₁₋₂ | 石盒子组，砂岩 - 泥岩建造 | | | |
| | A2 ₁ ² ε ₂ | 霍山组，石英砂岩建造 | | | |
| | A2 ₁ ² Pt 2 ¹ | 高山河群，石英砂岩 - 白云质砂岩建造 | | | |
| | 砾质(A2 ₁ ³) | 粉砂岩(A2 ₁ ³) | A2 ₁ ³ P ₁ | 山西组，含煤粉砂岩建造 | |

Continued

| | | | | |
|-------|----------------------------|---|---|---|
| | | | A ₂ ¹ N ₂ | 静乐组, 泥岩建造 |
| | | | | 蓝田组, 粘土岩建造; 灞河组, 砂质泥岩建造 |
| | | | A ₂ ¹ N ₁₋₂ | 冷水沟组, 泥 - 砂砾岩建造 |
| | | | | 寇家村组, 泥岩 - 砂岩建造 |
| | 粘土质 岩石(A ₂) | 泥质岩(A ₂ ¹) | A ₂ ¹ E ₂ | 红河组, 泥岩建造 |
| | | | A ₂ ¹ T ₁ | 和尚沟组, 泥质岩建造 |
| | | | A ₂ ¹ P ₃ T ₁ | 孙家沟组, 泥岩 - 粉砂岩建造 |
| | | | A ₂ ¹ C ₂ | 太原组, 含煤泥质页岩建造 |
| | | | | 本溪组, 含铁、铝土质页岩建造 |
| | | | A ₂ ¹ ∈ ₂₋₃ | 馒头组, 砂质泥岩建造 |
| | | 白云岩(A ₂ ¹) | A ₂ ¹ ∈ ₄ O ₁ | 三山子组, 白云岩建造 |
| | | | A ₂ ¹ Pt ₂ ² | 官道口群, 白云岩建造 |
| | 碳酸盐岩 (A ₂) | 灰岩(A ₂ ²) | | 赵老峪组, 灰岩建造 |
| | | | | A ₂ ² O |
| | | | | 马家沟组, 灰岩建造 |
| | | | | 贾汪组, 泥灰岩建造 |
| | | | A ₂ ² ∈ ₃ | 张夏组, 灰岩建造 |
| | | | | 太华岩群, 斜长角闪片麻岩 - 变粒岩建造 |
| | 变质岩 (A ₃) | 区域变质岩 (A ₃ ¹) | 片麻岩(A ₃ ¹) | A ₃ ¹ Ar ₃ |
| | | | | 石英岩(A ₃ ¹) |
| | | | | 涑水岩群, 斜长角闪片麻岩 - 磁铁石英岩建造 |
| | | | | 铁铜沟组, 石英岩建造 |
| 砾质(B) | 巨砾(B1) | | B1Qh ^{al} | 全新统冲积, 砂砾石、卵石 |
| | 粗粒(B2) | | B2Qp ^{pl} | 更新统洪积, 含砾粗砂、砂砾石层、亚砂土 |
| | 中砾(B3) | | B3Qp ^{alp} | 更新统冲洪积, 粉砂土、粉细砂夹砂砾石 |
| | 细砾(B4) | | B4Qp ^{pl} | 更新统洪积, 砂砾石、砂质粘土 |
| 土质(C) | 粗骨土(C1) | | C1Qh ^{pl} | 全新统洪积, 含砾砂质粘土 |
| | | | C1Qp ^{al} | 更新统冲积, 砂夹粘土、亚粘土、砂及砂砾石 |
| | | | C1Qp ^{pl} | 更新统洪积, 黄土状亚砂土、粉砂土夹砂砾 |
| | 砂土(C2) | | C2Qh ^{sol} | 全新统风积, 细砂、粉砂土 |
| | | | C4Qh ^{al} | 全新统冲积, 砂土、亚粘土、含砾砂质粘土 |
| | 黏土(C4) | | C4Qh ^c | 全新统沼泽化学沉积, 砂质粘土、腐殖质泥炭 |
| | | C4Qp ^{sol} | 更新统风成黄土, 亚砂土, 夹古土壤及钙质结核 | |
| | | C4Qp ^{all} | 更新统冲湖积, 粘土、含砾砂质粘土 | |
| 泥质(D) | 淤泥(D1) | | C4Qp ^{al} | 更新统冲积, 砂质粘土、砂 |
| | | | D1Qh ^w | 现代水库, 静水水体底部的粘土、淤泥 |

1) 在空间上地表基质层分布和类型受地形地貌格局和相应地质建造本底共同制约, 调查区在漫长地质过程中造就了类型多样的地质建造和渭北黄土梁峁、关中渭河断陷盆地、秦岭北麓山地等独特的地貌自然景观区, 丰富的地质建造类型和自然景观区共同控制、改造和孕育了数量类型不一的地表基质层。不同建造类型和岩石结构制约着地表基质层风化程度、沉积厚度和空间展布: 秦岭北麓山地地表基质层以各具特征岩石组合及代表原地风化物质层为共性; 渭河盆地以新生界不同粒级的松散沉积建造为优势, 砾-砂-土-泥质是地表基质层主要类型; 渭北黄土梁峁黄土景观区则以新生界沉积建造+乔山-黄龙山古生代沉积建造为典型, 三者共同塑造了相应的地表基质类型和空间格局。

2) 时间上地表基质层纵跨新太古代-元古代-中生代-新生代, 不同地质时期地表基质层体现并保留了色彩各异的建造类型、物质记录和地貌格局。总体呈现显著的三分特征: 南部新太古代-元古代深变质岩建造、岩浆岩建造及中生代岩浆岩建造等建造类型共同形成和维系着秦岭北麓现今水系河流、山地形态、水源涵养功能、林业碳库资源、生物多样性格局和得天独厚的多金属矿产资源禀赋; 渭河断陷盆地以新生代不同结构粒级组成的松散沉积建造为优势, 砾-砂-土-泥质为主体的地表基质层是关中平原地貌、城市人口聚集区、丰富的土地资源、地表地下水水资源、清洁能源和农业产业赖以存在和发展的物质基础; 渭北黄土梁峁黄土自然景观区新生界沉积建造+乔山-黄龙山古生代沉积建造共同作用下地表基质类型, 则塑造了独特黄土梁峁黄土地貌旅游景观, 并蕴含着丰富的能源矿产。渭北高原、渭河盆地和秦岭山脉之间相互联系依存, 共同筑牢了“一带两屏多廊道”山水格局和生态屏障。

4.1.6. 矿产资源专项调查

1) 厘清了各类矿产资源家底、地质潜力和开发利用现状, 建立了矿产资源统一本底数据库和“一张图”建设, 支撑矿产资源集约化管理、矿山生态保护与修复、能源资源安全。全市已探明的矿产资源 24 种, 矿产地 180 处。其中能源矿产 2 种, 矿产地 42 处; 金属矿产 11 种, 矿产地 75 处; 非金属矿产 9 种, 矿产地 31 处; 水汽矿产 2 种, 矿产地 32 处。

2) 聚焦“双碳”目标, 对新兴能源进行了初步评估, 研究区属于我国太阳能资源 C 类丰富区, 水平面总辐射年总量最高为 5076.0 MJ/m² 最低值为 4485.6 MJ/m², 测算出渭南市的太阳能资源理论总储量约为 6.35 亿 kW/a 或 5.56 万亿 kWh/a。截止“十三五”末渭南市可再生能源装机规模达到 193.3 万 kW, 其中风电 38 万 kW, 光伏 147 万 kW, 生物质发电规模 5.4 万 kW, 水电 2.9 万 kW, 占全市发电总装机的 19.28%。

4.1.7. 水资源专项调查

1) 开展了水资源补充调查, 查明了地下水、地表水资源的分布、质量、水资源总量及开采潜力, 调查区地表水资源 6.16 亿方、地下水 9.28 亿方, 渭、洛河流域地表水总为 IV 类水质, 地下水中、深层水质尚好。2) 采用定额法预测了渭南市 2025 年和 2035 年水资源总需水量, 分析了渭南市的水资源可供水量, 为“以水定城”发展理念提供数据支撑。3) 初步建立了地下水水量数值模型, 划分了含水层和水流边界条件, 揭示了地下水赋存规律与地下水流状态, 支撑服务水资源配置格局、节约集约利用等水资源管理和地质环境保护。

4.1.8. 地热资源专项调查

1) 总结了区内中深层地热能地热资源现状, 区内地热资源以临渭区-二华-大荔孔隙型层状(5 个次级地热田)和渭北岩溶型层状热储(2 个次级地热田)为主, 统计了目前渭南市开采地热流体量、可采热量。

2) 对区内 32 眼中深层地热水井用途、热储层、开采利用情况进行了统计分析。

3) 查明了浅层地温能的分布规律, 对地热资源开发利用潜力及开发适宜性进行了评价, 促进因地制宜用好地热清洁能源和节能减排。研究区有浅层地温能利用工程 19 处, 包括地下水源工程 7 处, 地埋管

11 处，污水源 1 处，浅层地热能供暖面积占市政供暖面积的 9.8%，大于陕西省的总占比 4.9%水平，为地方清洁资源综合利用开发提供了支撑。

4.2. 揭示了地球系统各圈层自然资源要素内在联系

依据自然资源要素禀赋特征和本底条件，基于自然资源科学和地球系统科学理论体系，探索并揭示了地球各圈层土地、矿产、水、森林、草原、湿地、沙苑、地质遗迹、地热等各要素之间内在联系和互馈机制，为自然资源管理利用开发、国土空间适宜性科学划定、生态保护与修复提供重要基础背景信息(图 2(a))。

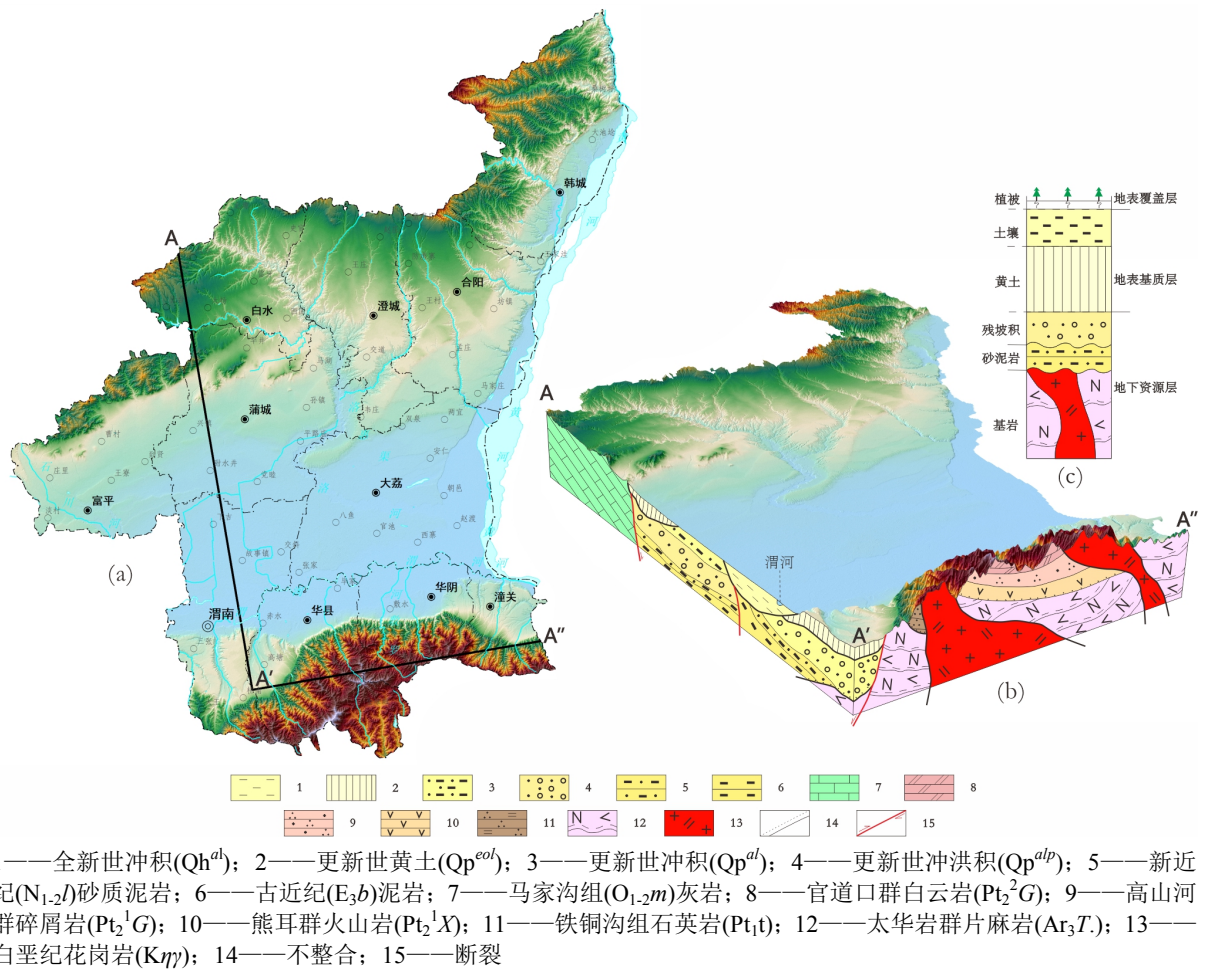


Figure 2. Schematic diagram of spatial composition of natural resource elements in key zones of the earth

图 2. 地球关键带自然资源要素空间构成示意图

4.2.1. 地表基质层是联系自然资源要素的时空纽带

地球系统近地空间大气圈、水圈、生物圈(含人类)和岩石圈等多圈层之间是多因素相互影响相互作用和不断演替形成的图景(毕思文, 2003), 其时空上是以地表基质层为纽带的有机整体, 是自然资源调查工作的研究基础和主体框架。

漫长地史变迁和物质演替过程中, 秦岭北麓及黄土高原南缘乔山、黄龙山脉源源不断为渭河盆地提供碎屑物源, 渭河及其支流发生的沉积作用形成以河床为中心向两岸垂向加积侧向迁徙物质记录, 共同

塑造了渭河盆地内不同时期不同类型地质建造，也奠定了岩石圈近表相应的地表基质层，二者直接或间接控制地表覆盖层生物圈(林草湿地、农作物及生物多样性格局)、岩石圈浅部(地表基质层、油气能源、矿产资源、耕地、水资源、受活动构造-沉积-水多重因素共同作用地热资源等地下资源)，自然资源各要素在空间上呈不同形态分布于岩石圈内或上界面(地表)。不同地球圈层因成土(成岩)母质、节理、裂隙、坡度、基岩裸露度各异的时空分布规律和地表地下资源息息相关。已有研究表明：矿产资源多分布于地表-地下10千米深度的岩石圈以浅；水资源主要赋存于地表-地下5千米深度以内，越靠近地表岩石的空隙发育富水性越好但水质变化大；浅层热能主要赋存在恒温层至200米以浅，岩溶-孔隙型水热型地热资源主要赋存深度在3千米以内，水圈则为地热资源地下水循环提供了通道；地质构造为地质遗迹发育和塑造奠定了内在基础；大气圈(气温积温、降雨量、风能太阳能、光照，雾霾)对气候和地形地貌具改造作用；岩石圈浅表形态约束着地形地貌格局，地形地貌则一定程度制约了水圈、大气圈、气象气候等自然禀赋，是孕育了人文历史和生态文明的源泉。地球不同圈层之间相互影响作用互馈，是研究自然资源要素之间内在机理的根本因素(图2(b)、图2(c))。

4.2.2. 地质作用是地球关键带自然资源要素耦合互馈机制的根本动力

地球关键带是指岩石、土壤、水、空气、生物乃至人类在近地表环境中发生的复杂相互作用，在调控自然生境的同时，对于维系和支撑经济社会发展所需的资源供应具有不可替代的重要作用[8] [9] [10] [11] [12]。地质演化时期来自地球内部构造岩浆活动、火山作用、沉积作用、变形变质作用和成矿作用过程中形成了色彩各异的地质建造(矿产)，为自然资源要素提供了物质来源和赋存空间，构成了山水林田湖草系统的基础，对自然资源分布与开发格局具有框架性的制约作用。在横向上，关键带包括风化松散层、植被、生物、河流、湖泊、地表基质；在纵向上，关键带自上边界植物冠层向下穿越了地球表面、土壤层、包气带、含水层，直到基岩下边界。来自地球内部动力和外部水流动力、气候环境等营力在时空因素共同作用下，在地表形成了“山水林田湖草沙”地球关键带物质能量载体及其人类赖以生存的物质基础和生态系统。与人类联系最为密切的近地表部分-地球关键带孕育着跨越不同自然人为地带、丰富多样的自然资源格局、自然生态环境和人文资源，最终塑造了区内“一带两屏多廊道山水格局”。

4.2.3. 地质建造对植被控制因素

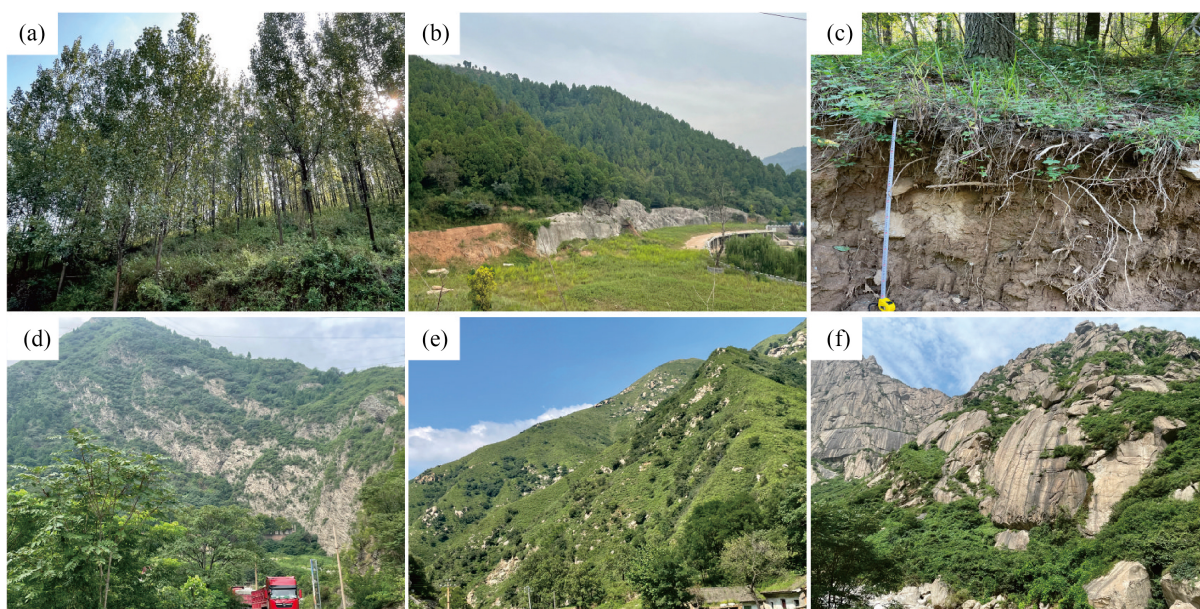
基于不同地貌分区地球圈层的地表基质层自身变化特征与其它自然资源要素(土地、水、生物多样性等)、环境要素相互制约关系及互馈机制探索研究，初步了解了不同地质建造(成土母质-土壤)对植被(农业、林业)的控制因素及内在影响机理。

不同圈层多门类自然资源之间是相互作用和密切关联的，而这种联系主要是通过地表基质层来实现的。地表基质层对包括基岩、松散沉积物及其他相关资源孕育发挥着关键支撑作用，是出露于地球地表浅部孕育和支撑森林、草原、水、生物等各类自然资源要素的基础物质层。直接控制着农学中“土壤”及水文地质学中的包气带及部分含水层、林草学中的“立地条件”[13]，间接控制着林草湿发育和分布。不同基岩组合因建造裂隙和风化土壤层差异、蓄水能力和养分供给能力不同直接控制着地表植被发育和类型，在地势平缓渭河盆地沟谷松散堆积层中蓄水能力和养分供给能力较强，植被也最发育，以深根乔木最为典型；不同基岩建造组合间裂隙和风化土壤层直接控制着地表植被发育和类型，按植被发育从优到差总体排序如下：新生代松散沉积(乔木)-古生代~中生代沉积建造植被(乔木-灌木-草被)-新太古代片麻岩建造(灌木-乔木-草被)-中元古代花岗岩建造(灌木-乔木-草被)-中生代花岗岩建造(灌木-草被)(图3)。

4.2.4. 自然资源调查应用实践与延伸

汇集山水林田湖草生命共同体自然资源本底所承载的文化遗产、人文要素，评价体系和人地交互研

究基础，是自然资源调查支撑服务生态文明建设应用实践和延伸，为构建高效一体化自然资源调查监测技术体系提供了研究范式。



(a) 更新世(Qp^{alp})滑坡体植被；(b) 三叠纪延长组(T_{2-3y})沉积层植被；(c) 更新世(Qp^{alp})洪积扇植被；(d) 新太古代太华岩群(Ar₃T)片麻岩植被；(e) 中元古代花岗岩(Pt_{2ηγ})植被；(f) 白垩纪花岗岩(Kηγ)植被

Figure 3. Effects of different geological formations on vegetation control

图 3. 不同地质建造对植被控制

山水林田湖草系统保护开发利用需要顺应地质规律，创新驱动，坚持人地和谐共生是人与自然和谐共生的基础和根本遵循。围绕自然资源分布现状及开发利用状况，强调地球系统的整体性及其他自然科学、人文社会科学之间的交叉集成融合；通过水-土-气相互作用、人-地耦合与相互作用研究，分析控制影响因素及演化趋势，提出自然资源合理开发利用对策与保护区划建议，破解资源人地开发利用和保护中诱发原因和矛盾，推动地方经济绿色可持续发展，打造新型城乡宜居生产生活康养带，是自然资源调查应用延伸范畴。

4.3. 自然资源调查工作方法探讨

1) 以地球系统科学理论为指导，以现代信息技术为支撑，以数字高程模型为基底，综合运用地面调查、高分辨率遥感影像、样品测试、大数据信息技术等新技术方法是开展自然资源基础调查和专项调查的理论基础[2]。

2) 在充分搜集、汇集以往土地、森林、草原、湿地、水、地下资源、地质遗迹、地表基地质理气象等成果资料基础上，对各类自然资源信息进行分层分类，切实掌握自然资源家底现状及动态变化情况，加强对制约自然资源要素地球多圈层岩石圈及其表层、水圈、大气圈、生物圈等圈层相互作用研究，结合开展重点地球关键带多圈层交互作用调查，建立自然资源“一张图”数据库信息服务系统和自然资源“三生”空间的各类自然资源信息分层分类立体时空模型，是影响自然资源调查综合因素和关键步骤。

3) 通过自然资源本底调查与资源环境承载能力耦合关系综合评价，从多维度针对自然资源的现状、开发利用情况、环境承载、动态变化等内容进行一体化调查监测，探讨不同类型自然资源之间相互作用

和互馈机理，基于自然资源本底禀赋调查评价体系和人地交互研究基础上，为构建高效一体化自然资源调查监测技术体系提供了研究范式和实践，支撑服务自然资源部门科学决策和“两统一”职责，为自然资源管理、国土空间规划、用途管制、生态保护与修复提供科学依据(技术路线图见图4)，是自然资源综合调查的应用延伸。

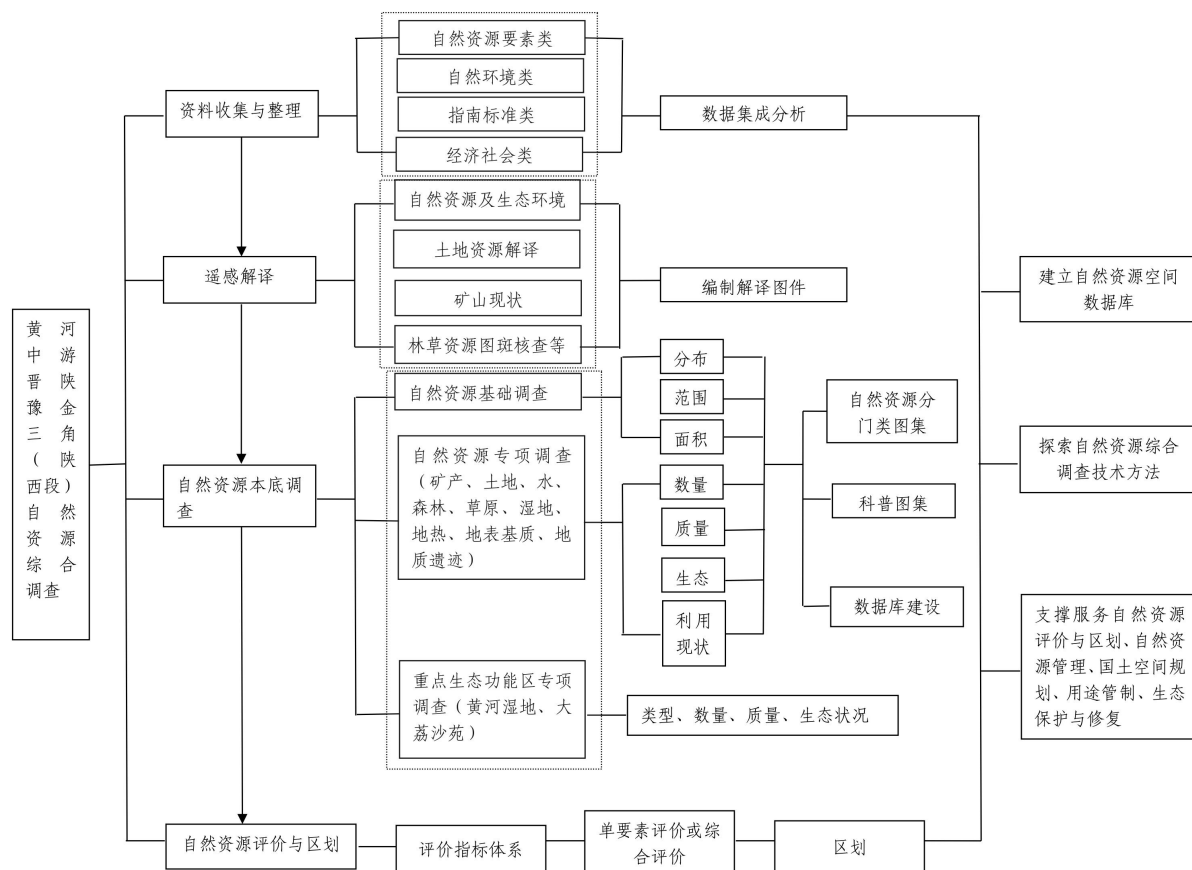


Figure 4. Technical roadmap for comprehensive survey of natural resources in the Golden Triangle (Shaanxi section) of Shanxi, Shaanxi and Henan in the middle reaches of the Yellow River

图 4. 黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查技术路线图

5. 结论

通过开展“黄河中游晋陕豫金三角(陕西段)自然资源综合调查”试点探索与实践：

- 1) 初步摸清了“山水林湖田草”等自然资源“家底”数据，实现了自然资源调查监测“一张图”。
- 2) 依据自然资源要素禀赋特征和本底条件，揭示了土地、矿产、水、森林、草原、湿地、沙苑、地质遗迹、地热等各要素之间内在联系和互馈机制，助推山水湖林田草“生境聚落”战略和生境组合清单建立。
- 3) 汇集山水林田湖草生命共同体自然资源本底所承载的文化遗产、人文要素，评价体系和人地交互研究基础，探索了自然资源调查方法体系研究和应用实践，为更好支撑服务自然资源管理提供了范式。

综合“山水林田湖草”调查研究试点，初步探索形成了自然资源综合调查服务生态文明建设工作模式，取得的一系列数据、成果和认识为新时期自然资源管理提供了坚实基础，必将在生态文明战略中发挥重要作用，从而全面支撑国土空间规划、用途管制、生态保护与修复、加快推进新型城镇化建设等，

对促进人与自然和谐共生、推进地方经济社会实现高质量可持续发展路径具有现实意义。

参考文献

- [1] 施俊法. 论地质调查与自然资源综合调查的逻辑[J]. 地质调查动态, 2020(14): 1.
- [2] 李倩. 我国将构建自然资源统一调查监测体系[J]. 国土资源, 2018(8): 14-15.
- [3] 吴凤敏, 胡艳, 陈静, 等. 自然资源调查监测的历史、现状与未来[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(10): 42-47.
- [4] 自然资源调查监测体系构建总体方案[Z]. 自然资源部, 2020.
- [5] 葛良胜, 夏锐. 自然资源综合调查业务体系框架[J]. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2254-2269.
- [6] 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(9): 4-11+67.
- [7] 王心源, 郭华东, 骆磊, 等. 从“胡焕庸线”到“美丽中国中脊带”: 科学认知的突破与发展方式的改变[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(9): 1058-1065.
- [8] 王立伟, 张志强, 安培浚, 等. 基于文献计量的地球关键带研究态势分析[J]. 世界科技研究与发展, 2017, 39(2): 202-208.
- [9] 安培浚, 张志强, 王立伟. 地球关键带的研究进展[J]. 地球科学进展, 2016, 31(12): 1228-1234.
- [10] 毕思文. 地球系统科学——21 世纪地球科学前沿与可持续发展战略科学基础[J]. 地质通报, 2003, 22(8): 601-612.
- [11] 殷志强, 秦小光, 张蜀翼, 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.
- [12] 殷志强, 卫晓锋, 刘文波, 等. 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, 2020, 7(3): 1-12.
- [13] 顾云春, 李永武, 杨承栋. 森林立地分类与评价的立地要素原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-143.