

浅议生态地质调查

汪振立

江西应用技术职业学院, 江西 赣州
Email: wzhl2004@163.com

收稿日期: 2020年10月30日; 录用日期: 2020年11月23日; 发布日期: 2020年11月30日

摘要

生态地质调查是为生态文明建设服务的一项基础性工作。其目的,是要维持生态系统稳定运行、健康运行、绿色运行;其任务,是从生态系统的视角对全球各区域生态地质环境的生态功能做出评价。生态地质调查评价的内容,其主体对象应当包括生态系统生物成分的生产者、消费者、分解者;其客体对象应当包括生态系统的非生物成分,重点是与生态有关的各个地质要素。工作部署中可分为植物群落生态地质调查、动物群落生态地质调查、微生物群落生态地质调查、人类聚落生态地质调查、人为地质作用生态后果调查等五大内容。预期成果图件应包含生态地质条件图、生态地质评价图、生态地质预测图、生态地质建议图四大部分。所依据的基础理论主要是地质学、生态学、地球系统科学、生态系统生态学理论;方法技术主要是地质调查方法与农林调查、生态调查等相关学科的方法技术相结合。

关键词

生态地质调查, 目的任务, 调查内容, 预期成果, 方法和理论依托

A Brief Discussion on Ecology Geological Survey

Zhengli Wang

Jiangxi College of Applied Technology, Ganzhou Jiangxi
Email: wzhl2004@163.com

Received: Oct. 30th, 2020; accepted: Nov. 23rd, 2020; published: Nov. 30th, 2020

Abstract

Ecological geological survey is a basic work for the construction of ecological civilization. Its purpose is to maintain the stable, healthy and green operation of the ecosystem. Its task is to evaluate the ecological function of the ecological and geological environment from the perspective of eco-

system. The subjects of investigation and evaluation include producers, consumers and decomposers of the biological components of the ecosystem. The objects include the abiotic components of the ecosystem, emphasis on the various geological elements related to ecology. The deployment of work can be divided into five major contents: the ecological geological survey of plant community, animal community, microbial community, human settlement, and man-made geological effect. The map of expected results includes the map of ecological geological conditions, evaluation, prediction and suggestions. The basic theories are geology, ecology, earth system science and ecosystem ecology. Methods and techniques combine methods of geological and agriculture, forestry, ecology and other related disciplines.

Keywords

Ecological Geological Survey, Purpose of the Task, The Contents of Investigation, Expected Results, Basic of Methods and Theories

Copyright © 2020 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

2019年3月5日,自然资源部中国地质调查局印发了《生态地质调查技术要求(试行)》[1],标志着中国的生态地质调查工作将陆续展开。

上世纪30年代末K. Troll即提出了“生态地质学”的概念,但研究进展较慢,工作做得较早较多的是解体前的苏联和继承的俄罗斯,上世纪九十年代即开展了大量的生态地质研究和填图工作,美、加、澳、英等进展也较快[2]-[12]。

我国从上世纪九十年代开始做过少量尝试,如大巴山区、黄河源区、杭嘉湖平原等生态地质环境调查以及一些理论探讨[13]-[22]。正式命名“生态地质调查”并推出《技术要求》尚属首次。一方面说明这方面的工作将逐渐多起来;另一方面说明要有一个探索的过程才能形成统一的《规范》。

笔者从1978年开始对地质与生物之间的关系产生兴趣;1979年提出“生物地质”的命题,并进行持续性探讨;1992年开设“农业地质”课;2004年起开设“生态地质”课[23];2010年编印校内教材《生态地质环境学》,2013年出版校本教材《生态地质》[24],2016年出版“十二五”职业教育国家规划教材《生态地质(第二版)》[25]。做过一些相关课题研究[26]-[36],目前也在参与生态地质调查试点项目工作。经40年断续而持续的探索,形成了一些粗浅的认识,加上近一年多的试点项目工作实践,认为对“生态地质调查”的界定、设计,思路应当拓宽一些,故谈一点自己对新时期“生态地质”、“生态地质调查”中国化的理解和思考,与地学同仁们商榷,并藉此向业界专家们请教。

2. 基本认识

2.1. 趋势的理解

人类文明经历了原始文明、农业文明、工业文明三个阶段。原始文明约在石器时代,人们必须依赖集体的力量才能生存,物质生产活动主要靠简单的采集渔猎,为时上百万年。在农业文明阶段,铁器的出现使人类改变自然的能力产生了质的飞跃,为时约一万年。工业文明,即18世纪英国工业革命开启了人类现代化生活,为时约三百年。

三百年的工业文明以人类征服自然为主要特征，世界工业化的发展使征服自然的文化达到极致，一系列全球性的生态危机说明地球再也没有能力支持工业文明的继续发展，需要开创一个新的文明形态来延续人类的生存，这就是“生态文明”。

2015年4月25日《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》、2015年10月29日十八届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》和2016年3月16日十二届全国人大四次会议通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中关于“坚持绿色发展，着力改善生态环境”章节、2016年8月26日政治局会议通过的《“健康中国2030”规划纲要》中关于“建设健康环境”的篇章，体现了党和国家对生态文明建设的政策导向。

从1992年6月3日至14日巴西里约热内卢联合国环境与发展大会通过的《21世纪议程》，到1997年12月在日本京都由联合国气候变化框架公约参加国三次会议制定的《京都议定书》，再到2015年12月12日巴黎气候变化大会通过的《巴黎协定》，体现了人类历经全球变化和全球气候变化的劫难后向往生态文明的全球大趋势。

如果说农业文明是“黄色文明”，工业文明是“黑色文明”，那生态文明就是“绿色文明”。

“绿色文明”所依托的，首先是“绿色”的生态地质环境。如何管护“绿色”的生态地质环境，维持生态系统的正常运行，将是全球地学工作者长期的、繁重的任务。因此，我国的生态地质调查必定逐步展开、深入，并将从局部的调查走向全面的填图。若干年后，生态地质调查将成为地学界常态化的一项工作。

2.2. 概念的理解

生态—指生物在一定的自然环境下生存和发展的状态。

生态环境—就是“由生态关系组成的环境”的简称，是指与人类密切相关的，影响人类生活和生产活动的各种自然(包括人工干预下形成的第二自然)力量(物质和能量)或作用的总和。

生态地质环境—指的是以人类为主体，由地质环境、生态环境与人类社会-经济环境相互作用而组成的具有有机联系的整体；是由地球表层岩石圈、土壤圈、水圈、生物圈、大气圈和人类圈若干组成部分结合成的多因子、多变量，且具开放性、复杂性的人类生存发展的基本场所与具有一定空间概念的客观实体(张森琦等，2007)。

生态地质学——是研究生物与其依存的地质环境之间相互作用关系的学科，是以研究和评价地质环境对生态平衡的影响和制约、地质环境与生态环境之间的关联性规律，是以生-地系统为对象，研究维持生态平衡时与地质相关的诸环境因子的发生和发展、组成和结构、调节和控制、改造和利用的学科，是地质学、生态学、农学、医学、环境科学等多学科相互交叉、有机融合的边缘学科。

生态地质研究，内容非常丰富，涵盖面非常宽泛，服务面非常广阔，落到实处，是要做好点上高精度、面上广覆盖的生态地质调查。

生态地质调查——查清不同地质环境生物群落现状；研究地质环境影响、制约不同生物群落的生存和发展状态的地质学影响机理；对项目区各地质单元、地质要素的生态功能做出评价，并对其生态价值、生态后果做出预测；对不同类型地质环境的合理利用、科学管护提出建议。

生态地质学是一门新兴的学科；生态地质环境是生态文明建设的载体；生态地质调查是摸清生态地质环境的家底，是服务于生态文明建设的一项新生的基础性工作。

2.3. 原理(机理)的理解

按照系统论的基本思想方法，应将所研究和处理的对象当作一个系统，分析系统的结构和功能，研

究系统、要素、环境三者的相互关系和变动的规律性，并用系统观点看问题，世界上任何事物都可以看成是一个系统。研究生态地质环境问题，宏观上也需要从地球系统去看生态系统。生态系统由非生物成分和生物成分两大部分组成，其中非生物成分为岩石、土壤、水分、阳光、温度、空气等，即生态地质学研究的客体对象——地质环境的主要成分。生物成分又分为生产者、消费者、分解者。它们三者的分工(见图 1)，简单地说，生产者(主要是各种绿色植物，也包括化能合成细菌与光合细菌，它们都是自养生物)把地质环境中简单的无机物转化成复杂的有机物，养活消费者和分解者；分解者(是一类异养生物，以各种细菌和真菌为主，也包括屎壳郎、蚯蚓等腐生动物)把复杂的有机物分解为简单的无机物，返回到地质环境中，故又称还原者；消费者(依靠摄取其他生物为生的异养生物，包括了几乎所有动物和部分微生物)在生态系统中为非必备成分，但能加快生态系统的物质循环。因此，研究生物的各种生态格局和生态过程的地质学影响机理，要拓宽思路，系统、关联、整体地看待生态地质环境，以利较准确地看到生态地质问题的本质、根源。

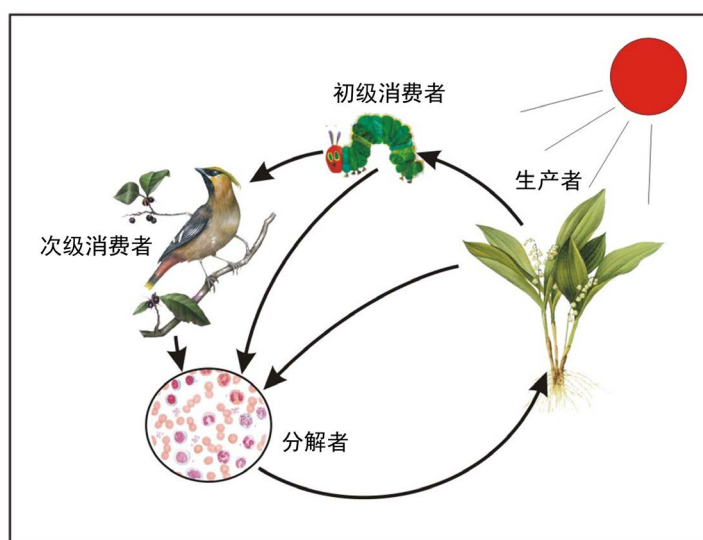


Figure 1. The relationship between producer, consumer and decomposer
图 1. 生产者、消费者和分解者的关系

生态地质学目前尚未建立自身的理论体系；生态地质调查工作主要以地质学、生态学、地球系统科学、生态系统生态学的理论为指导。

地球系统科学是把地球看成一个由相互作用的地核、地幔、岩石圈、土壤圈、水圈、大气圈、生物圈和人类圈等组成部分构成的统一系统，是一门重点研究地球各组成部分之间相互作用的科学。研究目的是了解地球系统所涉及的过程，各组成部分之间的联系和相互作用，维持充足的自然资源供给，减轻地质灾害，调节全球环境变化并使危害降到最小，获取在全球尺度上对整个地球系统的科学理解。

地球系统科学的研究步骤由四部分构成：现象的观测和数据的积累；对观测数据进行分析和解释，从物理、化学和生物学的规律出发，建立有关地球过程的定量关系；在前两项的基础上建立概念模型和数学(数值)模型(和实验)；验证模型，并用它对未来的变化趋势进行统计预测和预报[37]。

生态系统是一定空间范围内，由生物群落与其环境所组成，具有一定格局，借助于功能流(物种流、能量流、物质流、信息流和价值流)而形成的稳态系统。

生态系统之间矿物元素的输入和输出以及它们在岩石圈、土壤圈、水圈、大气圈之间以及生物间的流动和交换称为生物地球化学循环(biogeo chemical cycle)，即物质循环(cycling of material)。物质循环的

动力来自能量；物质是能量的载体，保证能量从一种形式转变为另一种形式。因此，生态系统中的物质循环和能量流动是紧密相联的。

生态地质环境是生态系统的一个重要子系统。生态地质环境不仅是生态系统的重要组成部分，而且涉及生态系统物能传输的各个环节：生态系统的4个基本成分，即非生物环境、生产者、消费者和分解者，都与生态地质环境有着交叉部分。地质环境涵盖了非生物环境的地下部分；绿色植物(生产者)是生态地质环境的基本要素之一；地质环境是许多动物(消费者)的栖息地和微生物(还原者)活动的主要场所，为有机质的分解提供了条件。

生态地质学体现了生态系统生态学的研究思想。生态系统生态学的核心是强调生物与其物理环境间的统一关系，强调生物与岩、土、水、大气等要素间的物质、能量、信息流通及相互制约和相互依存关系。生态地质学的基本任务就是研究生物与地质体的成生联系、相互作用及其协同演化效应。

按照生态系统生态学的层级系统理论划分生态系统的层级系统结构，生物圈是最大的生态系统，是一个多层次的独立体系。层级系统是按照系统各要素特点、联系方式、功能的共性、尺度大小以至能量变化范围等多方面特点划分的等级体系。一般可分为十一个层级，即全球(生物圈, biosphere)、区域(生物群系, biome)、景观(landscape)、生态系统(ecosystem)、群落(community)、种群(population)、个体(organism)、组织(tissue)、细胞(cell)、基因(gene)、分子(molecular) [38]。即研究相关问题，从宏观到微观，或从微观到宏观，分层分区域研究。

有些问题，需要从宏观到微观，如果不从全球出发，找不到变化的原因。相反，就地找到的解释，其实并不见得就是真正的原因。有些问题，需要从微观到宏观，许多现象往往先从某个地点发现，先用局部原因解释，等到更多地点、甚至到处都有发现，才意识到是全球现象[39]。这样一种理念，在地球系统科学、生态系统生态学、生态地质学的研究思路都是相通的、普遍适用的。

按照这样一种理念，安排生态地质调查的内容，即生态系统的4个基本成分都是调查对象。但其中主体调研对象是生物，客体调研对象是地质环境。在实际操作中，往往先从生物的生态格局调查入手，反查地质环境。即项目区内的生态格局为什么是这样或那样？地质环境在起什么作用？从它们的相互关系、交互关系探究生态地质学影响机理，并用于指导解决生产生活中的实际问题。

3. 目的任务

生态地质学的研究目的，是了解岩石圈近地表部分和土壤圈、水圈、大气圈(下部)的生态功能；主要研究任务是揭示各种生态格局和生态过程的地质学影响机理，并从地质学角度提出相应的生态保护、管控措施。

生态地质调查的目的，是要维持生态系统稳定运行、健康运行、绿色运行；是为人类的生产生活服务，为社会的绿色发展、可持续发展服务，为生态文明建设合理利用地质环境提供科学依据。

为达此目的，确定它的任务：大而言之，要从生态系统的视角对全球各区域生态地质环境的生态功能做出评价；小而言之，要对项目区各区域、各地质单元、各地质要素的生态功能、生态价值做出评价，要对项目区人为地质作用的生态效应做出评价并对其生态后果做出预测。在调查、评价、预测的基础上，为项目区政府部门对管辖区国土空间统筹规划，为当地居民生产生活对地质环境的适应、调控、改良、管理等提出合理化建议。

4. 调查内容

生态地质学的主体研究对象是生物，客体研究对象是地质环境。同理，生态地质调查的主体调查评价对象是生物，客体调查评价对象是地质环境。

由此看来,生态地质调查的内容,其主体对象应当包括生态系统生物成分的生产者、消费者、分解者;其客体对象应当包括生态系统的非生物成分,重点是与生态有关的各个地质要素。实际运行的生态地质调查,调查范围调查内容都在探索中,见仁见智,各有侧重,欧美偏重于地球化学调查,我国也关注地球化学,如开展多目标区域地球化学调查等,但鉴于影响生态的地质环境因素非常复杂,故较多关注生态地质环境/背景的综合调查。

现有的《生态地质调查技术要求(试行)》,作为试点调查阶段的基本要求,有一个不断修订、充实、完善的过程。目前的生态地质调查,拟考虑包含5个方面的内容(见表1)。

Table 1. Contents of ecological geological investigation
表 1. 生态地质调查内容

植物群落生态地质调查	动物群落生态地质调查	微生物群落生态地质调查	人类聚落生态地质调查	人为地质作用的生态效应、生态后果调查
1) 自然植物群落生态地质调查 2) 人工植物群落生态地质调查 ① 人工经济林调查 ② 景观植被(集镇、城市的乡土植物、人布植物)调查 3) 农田作物生态地质调查 ① 粮食作物生态地质调查 ② 油料作物生态地质调查 ③ 蔬菜作物生态地质调查 ④ 瓜、果、棉、茶、烟、花卉等经济作物产地生态地质调查 4) 草场(草地、草甸)生态地质调查 5) 林地生态地质调查 6) 湿地生态地质调查 7) 水生植物生态地质调查 8) 珍稀植物的原生地质环境调查	1) 野生动物群落生态地质调查 2) 畜牧业生态地质调查 3) 水产养殖业生态地质调查 4) 珍稀动物的原始栖息地、固定栖息地生态地质调查	1) 土壤微生物生态地质调查 2) 水体微生物生态地质调查 3) 空气微生物生态地质调查 4) 特殊微生物群落生态地质调查 5) 人为地质作用后地质环境微生物群落变化情况调查	1) 乡村聚落生态地质调查 2) 集镇聚落生态地质调查 3) 城市聚落生态地质调查 4) 特殊聚落生态地质调查 ① 地方病聚落地质背景调查 ② 优越聚落地质背景调查 ③ 重污染聚落地质环境调查	1) 大型工程生态地质调查 ① 矿山生态地质调查 ② 水利工程生态地质调查 ③ 工业园区生态地质调查 ④ 路桥生态地质调查 2) 地质环境人为污染及其对人畜和作物危害调查评价 ① 工业污染生态地质调查 ② 农业污染生态地质调查 ③ 生活污染生态地质调查 ④ 战争污染生态地质调查

4.1. 植物群落生态地质调查

生态系统中居于主导地位的、也是与地质环境关系最密切的是生产者——绿色植物。因此,研究生物与地质环境关系,应当首先研究植物与地质环境之间的关系。

原生地质环境的自然植被,代表了植物长期以来对地质环境的选择、适应或耐受。因此,研究植物与地质环境的关系,首先从原生地质环境的自然植被入手。

人工植物群落是模仿自然植物群落种植的、具有合理空间结构的植物群体。调查研究人工植物群落,主要研究它是否符合自然规律。

地球生物圈现存植物大约有 35 万种,与人类关系最密切的,是那些养活人类的农作物——粮、棉、油、果、蔬、茶、烟、花卉等作物。对它们的研究,于人们的生产生活有较直接的实际意义。

对自然植物群落生态地质调查,主要查清项目区自然植被的生态格局,不同地质单元、不同地质要素,某些植物种群、某些植物群落的分布有何差异,查明相应地质环境的适宜性、优越性、脆弱性。

农林作物和其他人工植物群落依然要遵循自然植物群落的生长繁衍规律,只是人为种植在某地后,对地质环境的适应性如何、与乡土植物关系如何?需要针对性比较调查评价,如植物种群产地的适宜性调查、优质经济作物产地的优越性调查、农作物生态敏感区/脆弱区调查、人布植物与乡土植物的相容性调查、珍稀植物的原生地质环境调查等。

查清某些植物(作物)原生地质环境、优势地质环境特性,探明优势地质环境作用于植物(作物)的生态

地质学影响机理, 有利于科学、合理地利用或改良、改造相近的地质环境, 有利于科学、合理地规划利用国土空间, 更好地造福于人类。

4.2. 动物群落生态地质调查

野生动物生境的三大要素——食物、隐蔽物和水, 都受到地质环境的影响、制约; 野生动物的生境根据 1998 年世界自然保护联盟(IUCN)生境类型划分标准, 分为八种类型(森林、灌丛、荒漠与半荒漠、草本植被、湿地植被、高山植被、水体、其他), 各种类型的生境都打上了自然地质作用或人为地质作用的印记。因此, 野生动物的生长繁衍都受到地质环境的制约; 从野生动物驯化饲养的家禽家畜也受到地质环境直接或间接的影响。

生态地质调查中, 主要针对一些地域性强、对地质环境有特定要求的有代表性的动物种类、外来种的适应性等。野生动物生态地质调查中, 主要对典型的、有代表性的动物生境调查, 例如秦岭羚牛为什么相对固定在秦岭较小的区域活动? 吕梁山区的褐马鸡为什么只在花岗岩分布区栖息? 大熊猫生境为什么主要在花岗岩、变质岩区而不在石灰岩区? 泰山赤鳞鱼为什么“东不过麻塔, 西不过麻套”? 平果没六鱼为什么“只上水, 不落水”? 家禽家畜调查中如巴马香猪、泰和乌鸡、西林水牛等为什么只分布在相对固定的区域, 换个地方就会产生变异? 牧区生态地质调查主要针对草原、草甸生物群落生物量、载畜量与地质环境关系; 水产养殖业调查, 主要是库塘湖泊调查, 如地域性特有种、优势种的地质环境适宜性调查等。

查清某些动物的原始栖息地、固定栖息地生态地质环境特征, 探明其生态地质学影响机理, 对这些动物的种质保护、扩大驯养、科学管控等, 都将起到重要作用。

4.3. 微生物群落生态地质调查

微生物数量巨大、种类繁多, 作为生态系统中的分解者, 作为地表层圈物质循环的还原者, 是联系大气圈、水圈、岩石圈、土壤圈及生物圈各圈层间物质与能量交换的重要纽带, 被称为地球关键元素生物地球化学循环过程的引擎。微生物可以促进许多地质地球化学过程, 主要表现在对岩石和矿物风化、元素迁移和聚集、有机质降解以及矿床形成等方面; 还表现在部分控制大气成分, 参与有机物和无机物循环并影响其全部分布, 从而对地球形成以来物质在上部岩石圈、土壤圈、水圈、大气圈中的分布起到重要的控制作用。

从地质学观点看, 地球表面环境的化学性质受到微生物的控制和改造。从微生物学角度看, 地球化学条件显然也控制了微生物的生长和发育。

从大的时间尺度上看: 在地球表层的成岩作用、成矿作用上, 在地球的演化史上, 都有微生物的巨大贡献。从大的空间尺度上看: 在岩石圈的上部、土壤圈、水圈和生物圈的全部、大气圈的下部, 微生物几乎无所不在。这些地球表层物质循环中的分解者是连接生物群落和无机环境的桥梁。

35 亿年以来, 微生物在地球演化史上一直起着重要作用; 在现实中, 微生物一如既往与地质环境共同作用于植物、动物, 作用于人类。故生态地质调查不能缺少作为生态系统分解者的微生物生态地质调查。

微生物生态地质调查, 主要关注地质环境中微生物的利与害。

某些有益微生物对农作物有增产提质效应, 如根瘤菌等; 某些微生物对土壤 pH 有选择性, 如立枯丝核菌适于 pH 较高的土壤环境繁殖, 引起水稻秧苗患立枯病, 所以水稻育秧时, 苗床一般选择酸性土壤, 或人为调低土壤 pH 值; 有些微生物的生物作用会加重、强化、放大某些有毒有害元素对环境的污染, 例如霉菌使砷化物甲基化形成剧毒的三甲基砷; 有些微生物的同化作用、降解作用, 又可用于修复被污染的地质环境。因此, 生态地质调查评价, 必须关注微生物在地质环境中的作用。

土壤微生物调查, 重点是农田、菜地、果园、中药材种植地、水井周边、垃圾填埋场、棕地; 水体

微生物调查,重点是水井、鱼塘,种植水生果蔬的水田、池塘,还有可供开发的矿泉、温泉、冷泉等;空气微生物调查,主要是特定地质环境如溶洞、天坑、医院等,即与人类生产生活关系较密切地质环境中重点微生物群落分布情况、活跃程度调查。

查清与人类活动关系密切区域地质环境微生物特征,有利于人类生产生活中趋利避害,利用不同生态地质环境的固有特性,抑制某些有害微生物,或更多繁殖某些有益微生物,让微生物更好地为人类的生产生活服务。

当然,目前尚不具备条件,即生态地质调查的初始阶段,相关人员的认识、理论指导、方法技术都有一个逐步到位的过程。但微生物与地质环境的相互作用,微生物和地质环境与动植物的交互作用,决定了生态地质调查的发展方向,必定包含与人类生产生活关系最密切的那一部分微生物群落的生态地质调查。

4.4. 人类聚落生态地质调查

地质学看起来距离人类健康很远,但是,岩石和矿物组成了我们这个星球的基础并且包含了绝大部分自然存在的化学元素。许多元素在少量时对于植物、动物和人类健康是必需的。这些元素大多通过食物、饮水和空气进入人体。岩石经过风化过程形成土壤,在土壤上面生长着作物和动物。饮用水在岩石和土壤中的运移构成水循环的一部分。大气中大部分的灰尘和部分气体来自于地质过程。总之,通过食物链,通过吸入大气中的灰尘和气体,人类的健康与地质发生直接的联系[40]。

生态地质学研究生物与地质环境相互作用关系,核心是研究地质环境对人类生产、生活、生存、生长繁衍的地质学影响机理。所以,生态地质调查一定包含人类聚落生态地质调查。

人类聚落生态地质调查,调查评价内容非常丰富、非常复杂。将来的面上填图,所有的聚落都是生态地质调查的对象;但目前重点是特殊聚落的生态地质调查:地方病聚落生态地质环境调查中,对地球化学性地方病,重点关注地球化学异常;自然疫源性(生物源性)地方病,重点关注有利于疫源微生物衍生、爆发的地质环境;优越聚落生态地质环境调查,如长寿地区、地方病病区的健康岛、双胞胎村等,重点关注生态地质环境的优越性;重污染聚落生态地质环境调查,主要是地质环境病高发区、“癌症村”等,重点关注生态地质环境的敏感性、脆弱性、毒害性。

4.5. 人为地质作用的生态效应、生态后果调查

随着社会的进步和科学技术水平的提高,人类工程活动作为影响地壳表层地质环境演化规律和演化速率的一种地质营力,其作用强度极大地增强,有时甚至超过了自然地质营力的作用强度。因此,有人将人为地质作用视为与内动力、外动力相并列的第三种地质营力。人为地质作用影响所及,几乎涉及到了包括沉积成矿作用在内的所有外动力地质作用方式,并已涉及到了内动力地质作用。人为地质作用已经深刻地、彻底地、永久性地改变了地球的气候、地理、生物以及水文环境。因为这种改变如此巨大,所以地学界提出了“人类世”、“人类圈”、“智慧圈”等新名词。

人类的工程活动对地质环境系统的作用和影响分正面作用和负面作用,正面作用也称为益化作用,可以改善地质环境造福人类。负面作用也称为恶化作用,可以恶化、破坏地质环境,危害人类。如植树造林防治水土流失和土地沙漠化,兴建水利工程防治洪涝灾害,以及各种地质灾害防治工程等均属前者,是改善地质环境造福人类的益化作用;而乱砍滥伐、滥采(矿)、滥牧、无处理排污、生化武器和核武器使用等则造成土壤侵蚀、土地沙化、草原退化、森林枯竭和环境的严重污染则为后者,并给人类带来无穷无尽的灾难。

因此,对大型工程实施后的地质环境,对人为污染的地质环境,都应当进行生态地质调查,对其生

态功能、生态效应做出评价, 对其生态后果做出预测, 对其生态正常运行、绿色运行的维护、管控提出科学建议, 划出生态红线和生态蓝线, 达到约束、规范人为地质作用, 减少、消除人为地质灾害的目的。

大型工程生态地质调查, 主要考虑对周边地质环境生态功能的影响, 影响半径有多大, 探讨以半径多少公里为一环, 多少公里为二环、三环, 针对环境污染程度和影响范围大小导出一个计算公式; 对地质环境人为污染(如工业三废污染、农业的农药污染、化肥污染以及生活排污、垃圾填埋、战争遗毒等)及其对人畜和作物危害调查评价, 要对生态后果做出预测, 提出预警, 拟订解决措施。

5. 预期成果

开展一项调查工作, 必先设定目标, 期间具体研究思路、调查内容、工作方法、技术手段等, 都围绕既定目标运转。

5.1. 成果图件

所谓一图胜千言, 或曰一图胜万字, 图件是成果反映最简明、最直观的载体, 复杂的理性关系, 业内业外的人都能一目了然, 便于归纳, 也便于应用。所以, 生态地质调查的各类成果, 都尽可能编制成图件。

生态地质图是地质—生态状况的图示数学模型, 它综合反映在岩石圈组成部分状况评价(反映岩石圈生态功能)的地形底图上。

生态地质图的分类, 国外有多种分类方式, 如: ① 按内容划分; ② 按照实际用途划分, 即划分为通用图和专题图; ③ 按照比例尺划分, 即概略图(1:100 万以下)、小比例尺图(1:100 万~1:50 万)、中比例尺图(1:20 万~1:5 万)、大比例尺图(1:2.5 万以上); ④ 根据增补资料的特点划分, 即固定信息内容的图和不断补充信息的图。

本文倾向于按内容划分, 图件编制拟从 4 个方面考虑(见表 2)。

Table 2. Maps of ecological geological investigation

表 2. 生态地质调查成果图件

生态地质条件图	生态地质评价图	生态地质预测图	生态地质建议图
1) 成土母岩分布图	1) 生态地球化学分区图		1) 农田种植规划建议图
2) 地貌形态类型图(地形地势图)	2) 粮、棉、油、果) 蔬、茶、烟、花卉适宜性分区图	1) 项目区各地质单元生态价值预测图	2) 果园种植规划建议图
3) 土壤地球化学分布图	3) 经济林适宜性评价图	2) 生态地质脆弱带及其影响下的生态发展趋势预测图	3) 经济作物规划建议图
4) 农田、果园、森林分布及其变化图	4) 矿山开发生态效应评价图	3) 人为地质作用生态效应) 生态后果预测图	4) 林地规划建议图
5) 生态地质问题分布图(自然地质灾害分布图、废弃矿区分布图等)	5) 废弃矿山生态后果评价图	4) 特定地质环境特殊微生物群落生态效应) 生态后果预测图	5) 人类聚落注意事项建议图
6) 地质单元(地质要素)与生态格局对照图	6) 废弃矿区修复效果评价图	5) 特殊地类(沙漠、荒漠、半荒漠、冰川、岛屿、水体)生态效应、生态后果(生态风险)预测图	6) 矿区生态修复) 管护建议图
7) 人为地质作用与生态过程对照图	7) 优越生态地质环境评价图		7) 优越地质环境开发利用建议图
8) 湿地分布图	8) 湿地生态功能评价图		8) 脆弱性生态地质环境规避或改造、改良、管控建议图
9) 特殊聚落分布图	9) 草场(草地、草甸)生态功能评价图		9) 湿地生态地质开发利用建议图
10) 生态遥感解译图	10) 生态地质脆弱性评价图		10) 特殊生态地质环境旅游开发建议图
11) 生态地球动力图	11) 区域地质与区域生态格局评价图		11) 特定地质环境特殊微生物群落利用) 管控建议图
12) 生态地球化学图	12) 珍稀植物的原生生态地质环境评价图		12) 珍稀植物的原生生态地质环境保护、种质资源保护、优势地质环境开发利用建议图
13) 生态地球物理图(地磁图、地震图、火山分布图等)	13) 珍稀动物的原始栖息地) 固定栖息地生态地质评价图		13) 珍稀动物的原始栖息地、固定栖息地生态地质环境保护、种质资源保护) 优势地质环境开发利用建议图
14) 特殊地类(沙漠、荒漠、半荒漠、冰川、岛屿、水体等)生态资源图	14) 特定地质环境特殊微生物群落生态效应评价图		14) 特殊地类(沙漠、荒漠、半荒漠、冰川、岛屿、水体)生态利用、生态保护与管控建议图
	15) 特殊地类(沙漠、荒漠、半荒漠、冰川、岛屿、水体)生态效应评价图		

5.1.1. 生态地质条件图

生态地质条件图,亦可称生态资源图,即反映项目区内地质环境对生物的生存发展而言,具备哪些条件、或显示有多少资源。

生态地质条件图主要反映岩石圈的整套参数或某些特性,描述岩石圈各组成部分对于生物圈(人类、动物界、植物界以至生态地质整体)作用的可能性。例如有毒物质对岩石圈的污染、地质作用的破坏、地球物理场的不均匀性、对于生物来说各种资源的丰缺一等。在这些图上,所有必要的数以分别制图方式描绘出来;关于对居民生存或生态系统的生态状况是否有利、是否舒适或安全程度不做总体评价。生态地质条件图的图例由若干部分组成,其中主要的两个部分,一是关于岩石圈及其组成部分生态地质性质的信息,二是关于生态系统及其生物组成部分(植物、动物、微生物,有时重点是人类)状况的信息。

在按内容为合成图的生态地质条件图上,用制图方式反映现时生态地质状况所有的一套必要的参数。这种图是综合描述项目区生态地质状况的主要图件。这种类型的分析图一般只具有关于对完成既定任务最有特色和最重要的一个生态地质状况特点的信息。根据项目区生态资源的差异,生态地质条件图的内容可以是各种各样的,按实际、按需要分类,其数量不受限制。

5.1.2. 生态地质(分区)评价图

生态地质评价图是对地质环境生态功能进行分区评价,在这种图上,一般是用按现状将其排成若干级别(类型)的方法对生态地质条件的现状在某一范畴内做出评价。在作为预测评价和自然保护建议基础的生态地质图中,这是最重要的一种类型。在这些图上,以现有的生态地质信息为基础,从对人类生产生活如何利用以及是否安全,从生态系统发挥作用的角度对其做出评价。在分区图的图例中,与条件图一样,必须具备两组信息:关于岩石圈及其组成部分的生态地质信息和关于生态系统及其生物组成部分的信息。这个信息的原则区别在于:在条件图上是事实特征,具有罗列性质;而在分区评价图上,是对这些特性进行生态功能评价,并将岩石圈及与其有关的生态系统的生态状况带的生态地质条件划分等级(或类别)。

生态地质分区评价图按内容可以是合成图和分析图。分析图最好再从不同角度分为生态资源分区图、生态地球动力分区图、生态地球化学分区图和生态地球物理分区图,即对不同地质单元、地质要素及其相关因子做分区、分类评价。

5.1.3. 生态地质预测图

生态地质预测图反映自然环境的自然动态过程中(主要是在地区经营开发和自然系统运行过程中)生态地质条件变化的时空预测。根据所有的参数、条件、可能的自然和人类作用总和,在这些图上,可以反映综合的、也可以反映部分的(某种单因素在一定种类作用下的)生态地质条件变化及其生态效应、生态后果的预测。

5.1.4. 生态地质建议图

生态地质建议图一般做成合成图,它的任务就是以图表形式反映建议,以便整体解决出现的同生态地质条件特点有关的生态课题,例如从生态地质角度提出国土空间合理利用的建议、生产经营活动无害化的建议、小到区域生态保护和大到保护生物圈的建议等。

上述生态地质调查 5 大内容,成果图件 4 大部分,是以发展的眼光,从长远、整体、综合各种因素考虑,是从系统性角度条理化叙述(罗列)。在某个调查项目/区域内,不可能面面俱到。具体实施,要看项目的设计、经费的安排,循序渐进,按实际需要针对性选择上述某个或某些调查内容、设计相应的预期成果。

传统地质调查，多以图幅为单位立项运行，也有以流域为单位立项运行。生态地质调查的成果，主要供地方政府应用。因此，生态地质调查项目，则以行政区划立项为宜，以利项目管理运行，也有利于成果的转化应用。

5.2. 报告编制

成果报告是对调查区生态地质条件分类、生物群落与地质环境相互作用过程及其存在主要生态地质问题、生态地质功能评价、生态价值和生态后果预测、调查评价成果在项目区生产生活中合理利用建议、典型解剖后的机理研究和理论升华的全面体现。

《生态地质调查技术要求(试行)》明确规定：“生态地质调查成果报告编写提纲按照附录 B 执行。”在按《技术要求》规范编写的基础上，笔者认为报告要注重经验教训的总结、创新方法技术的归纳与规范、地质环境与生态格局变化中生态过程的生态地质学影响机理探讨、沿用相关学科成熟理论上生态地质学自身理论建设的探索。

目前的《技术要求》，作为初级阶段的基本准则，尚需不断修订、充实、完善，初级阶段的各项目调查报告，应当为此作出自己的贡献。在经过若干的试点调查、重点调查，不断探索、不断积累、不断升华的基础上，出成果、出经验、出范例、出基准，以利国家层面筛选、比较、归纳，为面上的生态地质填图提供较成熟的规范规程。

6. 方法技术创新和理论建设

6.1. 借用相关学科领域的方法技术

在对传统地质调查方法技术改造创新的基础上，大胆、随机、灵活地借用、融合相关学科成熟的调查方法技术：

- 1) 生态调查方法技术
- 2) 农林调查方法技术
- 3) 畜牧渔业调查方法技术
- 4) 微生物调查研究方法技术
- 5) 流行病学现场调查方法技术

鉴于生态地质调查内容、指标要素的复杂多样性，决定了实际调查评价的方法应是传统地质工作方法与多学科多行业的方法技术的多重组合。

如某一项目区有多个不同的地质建造，承载多个不同的生物群落，形成不同的生态格局。在调查评价林地时，要结合林业调查评价方法；调查评价农用地时，要结合农业调查评价方法。要做出正确的评价，即要在已有的各种地质资料、农业资料、林业资料基础上开展实地调查，采集岩样、土样、水样、植物样，从岩石地球化学、土壤地球化学、生物地球化学角度分析其元素迁聚、物质循环的作用关系。还要调查土壤质地、土壤结构，实测土壤固液气三相比、土壤温度、土壤水分、土壤电导率、氧化还原电位、土壤 PH 值、土壤紧实度、空气温度、空气湿度、露点温度、二氧化碳等参数；林地还要调查植被盖度、郁闭度，实测光照强度、光量子、总辐射等参数。调查人类聚落生态地质问题，如某区域出现一个地方病、多发病的病岛，则要结合生态调查、流行病学现场调查方法技术，从食物链各个环节追索地质环境→地方病(多发病)的致病物质流。不同地质建造所承载的生态格局差异，如从地层岩性、地形地貌、植物群落(农作物)、人类聚落追踪到微生物，即要结合微生物调查研究方法技术，探查微生物与地质环境、与植物、与动物如何相互作用、交互作用于人。系统的化学分析数据、物理测试参数，经过科学的数理分析，论证地质环境影响生物的生态地质学影响机理，找到解决的办法。

此外,涉及到特殊地类生态地质调查、人为地质作用剧烈区生态地质调查、棕地生态地质调查等等,则要与更多学科、更多行业的方法技术相结合。总之,要以生态地质问题为导向,随机结合、有机整合,在不断探索中实现融合,逐步形成系统的生态地质调查方法。

6.2. 沿用相关学科成熟的理论

由于生态地质学不是一门独立的学科而是地质学的一门新兴的分支学科,所以它的逻辑结构应该包括用于解决生态问题的地质学逻辑结构的单元和生态学自身的逻辑基础。生态学自身的逻辑基础指的是一种逻辑的支点,它使生态地质学可能应用其它学科的理论、思想和定律(V. T. Trofimov, 2001)。可用于生态问题的地质逻辑结构单元包括水文地质学、工程地质学、环境地质学、地球化学、地球物理学、矿山地质学、新构造学、地震大地构造学、地貌学、地史学和古生物学、岩石学、矿物学以及新兴的农业地质学、医学地质学等。同时,由于生态地质学是地质学与生物学、环境科学等多学科的交叉、融合的边缘学科,要解决的是各学科不能独立解决的生态地质环境问题,因此,可用于生态地质环境问题的其他学科逻辑结构单元还包括生物学、生物化学、生物地球化学、环境学、毒理学、环境毒理学、生态学、生态毒理学、环境生态学、土壤学、土壤肥科学、土壤环境学、植物学、植物地理学、植物生理学、植物生态学、植物营养学、动物学、动物生理学、动物生态学、动物营养学、气象学、海洋学、水文学、农学、林学、医学、地方病学等等相关学科的理论、思想和定律。当然,各单元渗入的多少,依生态地质学自身的特征以及研究中所遇到的生态地质环境问题的复杂程度而定。

作为一门新的学科,生态地质学有以下特征:

- 1) 从地质学的角度看生物在不同地质环境下生存、发展状态的差异;
- 2) 从生物学、农学、医学、毒理学、环境科学的角度看地质环境对不同生物生存状态(生态格局、生态过程、生态问题)的影响、制约;
- 3) 从宏观到微观,从微观到宏观,展示地质环境对生物界的基础性、依存性、决定性作用及其相互作用。从宏观到微观,用地球系统科学、生态系统生态学的视角看生物的生存发展状态;从微观到宏观,先从某个点研究,先用局部原因解释,等到许多点都有雷同发现,就找出了区域性甚至全球性的普遍规律;
- 4) 以地质学的理论、定律为主线,生态系统生态学的思想观点为依托,在地球系统科学的大框架下研究现代地质作用产生的生态地质环境问题与效应,多学科的研究方法反串、交替、渗透、综合应用;研究生物的生存状态(生态格局、生态过程),使用地质学的方法,从根子(地质环境)上找原因;研究地质问题,又使用生物学、生态学的方法,如利用指示植物去找矿、找水、划分地质界线;研究地方病(地球化学性疾病、生态环境地质病)则是地质学、生物学、医学、毒理学、环境科学各学科研究方法综合应用;研究生物群系、生物群落与地质环境的协同演化,则遵循地球系统科学和生态系统生态学的研究思路。原来不同学科分头研究无从理解的一些现象,地质学、生态学及其他相关学科的理论、方法有机融合即可给出全新的答案。

因此,笔者认为,生态地质学虽然尚未形成自身的系统理论,但作为众多学科交叉的边缘学科,基于生态地质学自身的逻辑支点,依托相关学科的理论、方法,灵活应用,即可游刃于各学科之间,更有效地解决地球村日益恶化的生态地质环境问题。

生态地质学要形成一套自身的、系统的理论,会有一个较长的过程。学科形成的初级阶段,主要是参考、借用相关学科的方法技术指导生态地质调查,依托相关学科的理论、思想和定律指导实用问题研究,在大量的生态地质调查、长期的实用问题研究中,不断积累、不断提炼、不断升华,逐步建立一个相对独立的生态地质理论体系——这将是今后业内几代人持续努力才能逐步完成的系统工程。

7. 多学科联合调查评价

生态地质调查,将是复杂的系统工程,涉及多学科的基础知识、理论指导、方法技术,任何一个学科领域的专业工作者单打独斗,都不可能全面完成任务;需要地球科学、生命科学不同领域多学科的专门人才协同作战,才能完整实现设计目标。

因此,接受任务后,在按项目要求设计调查内容的基础上,项目组应按调查内容融合相关学科专门人才,形成多学科专门人才联合组成的团队,优势互补,形成多棱多向的合力,以求解决多学科边缘的复杂问题。

8. 人才培养

- 1) 地质工作者的知识更新
- 2) 地质教育知识面要拓宽

美国国家航空与航天局(NASA) 1988年出版《地球系统科学》一书,1991年开始,NASA即以大学为基地,开始实施地球系统科学教育计划(ESSE),包括斯坦福大学、加州大学洛杉矶分校及普林斯顿大学等著名学府入选的首批共22所大学参加了ESSE第一阶段的4年计划。1995年,另有23所大学加入了ESSE第二阶段计划。由此,美国在地球系统科学研究领域储备了人才,取得先机。

人类生存环境是当今世界面临的重大问题,也是新一代地质填图工作首要涉足的领域,因而国家级地质生态图则应运而生,诸如俄、美、加、澳、英等各地质大国将其列为国家级中、大比例尺地质图的构成部分[8]。

我国鲜明地命名为“生态地质调查”的项目工作目前刚起步,还在试点阶段。从试点调查,到面上调查;从重点的点上调查,到面上的生态地质填图,将是今后长期的、大量的、常态化的工作。我们的地质队伍,需要有知识的储备、人才的储备。所以,我们一部分地质工作者需要加强生态地质相关知识的学习、更新;地学相关的一些院校,应当设立生态地质专业,需要加强生态地质人才的培养,以适应今后生态文明建设对生态地质工作的需求。

9. 展望

生态文明是人类向往的一个全新的文明形态,地质环境是生态文明的空间载体,地质环境友好是生态文明建设的基础。要打好地质环境友好这个基础,需要先摸清全球生态地质环境的家底。

人类从工业文明走向生态文明,是一个漫长的历史过程。生态地质调查作为生态文明建设的基础性工作,将贯穿生态文明建设的整个历史过程。

鉴于生态地质调查是一项庞大、复杂、涉及面广、费时漫长的工作,具体的实施中,要区分轻重缓急,从易到难、循序渐进。三年试点调查工作之后,生态地质调查将逐渐在面上铺开,从长远考虑,可分近期、中期、远期规划,由点到面、由浅入深,如:

近期规划:选择重点区域,针对生产生活中急需解决的生态地质问题,如生态地质敏感区/脆弱区调查、优越生态地质环境调查、大型工程活动前后人为地质作用生态后果的评价性/预测性调查等。在这个过程中,形成生态地质调查规程规范,为生态地质填图打好基础。

中期规划:选择经济发展较快的区域,为区域性国土空间规划提供科学依据的中、大比例尺生态地质填图。

远期规划:国土全疆域生态功能分区的生态地质填图,为全国国土空间规划或区域性国土空间规划提供生态地质适宜性的科学依据。

像前苏联、俄罗斯 1:50 万、1:100 万那种小比例尺填图、概略图,对我国意义不大。我国中东部、西部人类活动较多的疆域,应以中、大比例尺为宜,如面上按 1:5 万填图,重点区域按 1:2.5 万填图;生态地质问题明显区则应针对实际需要做到 1:1 万或更大比例尺的详查;西部人类活动少、生物稀少的疆域,比例尺可小一些,如 1:10 万或 1:25 万不等。

随着全疆域生态地质填图的推进、完成,系统、完整的生态地质数据库建立,形成相对透明的生态地质环境图集,国家、地方相关部门对人类聚落和工、农、牧、渔、林各业如何规划布局,如何趋利避害,如何改良、改造、管控、保护、开发,国土空间依不同生态地质条件合理利用、不同生态地质资源充分利用,让生态地质环境友好、人与自然和谐相处便有个明确的方向。

盼望在地质学界同仁的努力下,新兴的生态地质学逐渐成熟,新生的生态地质调查工作顺利推进。

管窥之见,期待读者同仁教正。

参考文献

- [1] 自然资源部中国地质调查局. 生态地质调查技术要求(1: 50000) (试行) [S]. (DD 2019-09).
- [2] Trofimov, V.T. (2001) Ecological Geology—A Novel Branch of Geological Sciences. *Earth Science Frontiers*, **8**, 27-35.
- [3] Trofimov, V.T. and Ziling, D.G. (1994) Ecological Geology in the Program of “Universities of Russia”. *Geoecologiya*, **3**, 117-120. (In Russian)
- [4] Trofimov, V.T. 生态地质图生成的理论方法基础(英文) [J]. 地学前缘, 2008, 15(6): 199-207.
- [5] Trofimov, V.T. 生态地质条件评估的方法、原理和标准(英文) [J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 533-542.
- [6] B. T. 特罗菲莫夫, 刘吉成. 地质循环科学在生态地质学逻辑结构中的作用和地位[J]. 国土资源信息化, 1998(5): 26-29.
- [7] Trofimov, V.T., Andreeva, T.V. 生态地质系统类型及其在生态系统结构中的地位和调查任务[J]. 地学前缘, 2010, 17(2): 425-438.
- [8] 顾承启. 俄罗斯地质生态制图概况[J]. 中国地质, 1994(8): 29-30.
- [9] M. B. 科切特科夫, 等. 关于俄罗斯地质生态制图的构想[J]. 四川地质科技情报, 1998(4): 43-45.
- [10] A. B. 奇若夫, 等. 论地质生态制图方法[J]. 四川地质科技情报, 1998(4): 46-48.
- [11] 刘燕平. 俄罗斯的生态地质研究和填图工作[Z]. 资源网, 2007-01-29.
- [12] 吴传璧, 刘燕平. 生态地质调查工作——俄罗斯的状况与启示[J]. 国土资源情报, 2003(12): 36-42.
- [13] 姜月华, 冯小铭, 郑善喜, 张德宝, 王润华, 袁旭音, 王爱华, 兰善先, 陶于祥, 沈辉, 冯小铭. 杭嘉湖平原 1:5 万生态地质环境调查试点[C]//“十五”地质行业获奖成果资料汇编. 2006: 129-130.
- [14] 王长生, 王大可. 试论 1:5 万生态地质调查[J]. 中国区域地质, 1997, 16(1): 56-59.
- [15] 王长生, 王大可. 生态地质学的创立及其在大巴山区的初步应用[J]. 大自然探索, 1998(4): 68-70.
- [16] 张森琦, 郭宏业, 李善平, 尚小刚, 曹文炳, 程捷, 王永贵, 辛元红, 石维栋, 庄永成, 周金元, 李永国, 王占昌, 黄勇. 黄河源区 1:25 万生态环境地质调查[C]//“十五”地质行业获奖成果资料汇编. 2006: 153.
- [17] 陈树旺, 邢德和, 丁秋红, 郑月娟, 高飞, 等. 生态地质调查评价——以辽宁铁岭地区为例[J]. 地质与资源, 2012, 21(6): 540-545.
- [18] 陈梦熊. 论生态地质环境系统与综合性生态环境地质调查[J]. 水文地质工程地质, 1999, 26(3): 3-6.
- [19] 何政伟, 黄润秋, 孙传敏, 吴柏青, 韩玲玲, 贺奋勤, 孙渝江, 尹建忠, 刘少军, 赵银兵. 浅议“生态地质学”[J]. 地学基础研究, 2003, 3(20): 69-72.
- [20] 林景星, 王绍芳, 翟红, 等. 生态环境地质学概述[J]. 环境保护, 1999(9): 37-39.
- [21] 张森琦, 王永贵, 朱桦, 许伟林, 辛元红, 石维栋. 关于生态环境地质学几个理论问题的探讨[J]. 青海环境, 2007, 17(2): 65-70.
- [22] 周爱国, 孙自勇, 马瑞. 干旱区地质生态学导论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [23] 汪振立. “生态地质”课程教学初探[J]. 中国地质教育, 2012(1): 17-20.

- [24] 汪振立. 生态地质[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [25] 汪振立. 生态地质(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [26] 汪振立, 邓通德, 胡正义, 徐明, 胡堪东, 幸清明. 脐橙品质与自然土壤中稀土元素相关性分析[J]. 土壤, 2010, 42(3): 459-466.
- [27] 汪振立, 邓通德, 王瑞敏, 邵文军, 徐明, 廖万琪. 岩石-土壤-脐橙系统中稀土元素迁聚特征[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1382-1394.
- [28] 汪振立, 魏正贵, 陶冶, 等. 岩石-土壤-铁芒萁系统中稀土元素的分布、迁移、和累积[J]. 地质通报, 2002, 12(21): 881-889.
- [29] 汪振立, 徐明, 邓通德, 贺小雄, 陈水木, 欧阳锦盛, 幸青明. 自然土壤环境下脐橙植物体稀土累积特征[J]. 中国稀土学报, 2009, 27(5): 704-710.
- [30] 邓通德, 汪振立. 影响脐橙品质的稀土主成分分析[J]. 广东农业科学, 2010, 37(4): 95-97.
- [31] 邓通德, 汪振立, 徐明. 通径分析法探讨脐橙品质与稀土元素的相关性[J]. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2009, 9(4): 16-17.
- [32] 张冬梅, 汪振立, 罗六保, 邓通德. 对新鲜果蔬中维生素 C 的测定结果影响因素研究[J]. 江西化工, 2010(1): 73-76.
- [33] 罗六保, 汪振立, 张冬梅, 邓通德. 常见果蔬组织破坏后 Vc 的损失速率试验[J]. 应用化工, 2010, 39(5): 679-681, 686.
- [34] 周国华, 朱立新, 喻劲松, 王徽, 马生明, 汪振立, 申昌优, 廖万琪. 赣南烟草化学组成及岩土地球化学特征[J]. 物探与化探, 2001, 25(1): 22-28.
- [35] 魏正贵, 宛寿康, 张巽, 洪法水, 赵贵文, 陶冶, 汪振立, 谢先求. 感耦等离子体发射光谱法研究土壤-铁芒萁系统中稀土元素的分布、累积和迁移特征[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 863-866.
- [36] 魏正贵, 尹明, 张巽, 洪法水, 李冰, 陶冶, 赵贵文, 汪振立, 谢先求. 稀土元素在赣南非稀土矿区和不同稀土矿区土壤-铁芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)系统中的分布、累积和迁移[J]. 生态学报, 2001, 21(6): 900-906.
- [37] 毕思文. 地球系统科学[J]. 科学, 2006, 58(2): 46-49.
- [38] 蔡晓明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 11-30.
- [39] 汪品先. 我国的地球系统科学研究向何处去[J]. 地球科学进展, 2003, 18(6): 837-851.
- [40] Olle Selinus, Bnan Alloway, Jose A. Centeno, Robert B. Finkrlman, Ron Fuge, Ulf Lindh, Pauline Smedley. 医学地质学[M]. 郑宝山, 等, 译. 北京: 科学出版社, 2009: 8.