

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.03.010

西北地区矿山地质环境调查与防治研究

徐友宁,张江华,何芳,刘瑞平,陈华清,乔冈,柯海玲

(中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054)

摘要:矿产资源是经济社会发展的重要物质基础,具有资源与环境的双重属性。矿产资源开发与地质环境协调保护是实现金山银山保护绿水青山的重要途径。西北地区成矿地质条件良好,矿产资源的开发是区域经济社会发展的支柱性产业之一。但是西北地区干旱少雨,水资源短缺,生态环境脆弱,矿产资源开发与生态环境保护存在突出性、结构性矛盾。在保护生态环境的前提下开发矿产资源,成为实现矿业高质量、可持续发展的重要前提。笔者回顾了 20 年来,西北地区矿山地质环境调查评价、理论研究的探索,典型矿山环境调查评价、成果转化与应用等方面的成果,针对矿山生态环境保护方面存在的问题,提出了对策建议,旨在为生态脆弱区矿山地质环境调查、防治研究提供借鉴。

关键词:矿山地质环境;分类体系;调查研究;方法技术;西北地区

中图分类号:P66;P642.5

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)03-0129-11

Investigation and Preventive Research of Mine Geological Environment in Northwest China

XU Youning, ZHANG Jianghua, HE Fang, LIU Ruiping, CHEN Huaqing, QIAO Gang, KE Hailing

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The development and utilization of mineral resources is an important material basis for economic and social development. The geological environment of mines has dual attributes of resources and environment. The coordinated protection of mineral resources development and geological environment is an important way to realize the protection of mountains and mountains. The development and utilization of important mineral resources for development is an important material basis for the sustainable development of human society. The metallogenic geological conditions in Northwest China are good, and the development of mineral resources has played a pivotal role in regional economic and social development. However, the northwest region is arid and less rainy, lacks water resources, and has a fragile ecological environment. There are prominent and structural contradictions between the development of mineral resources and the protection of the ecological environment. The development of invaluable assets under the premise of protecting lucid waters and lush mountains has become an important proposition for the high-quality and

收稿日期:2021-02-15;修回日期:2022-05-23;网络发表日期:2022-08-15;责任编辑:姜寒冰

基金项目:中国地质调查局项目“黄河中游大型资源基地生态地质调查与修复研究”(DD20221774-050404)、“熊耳山-伏牛山矿集区生态修复支撑调查”(DD20208079)及自然资源部陕西典型矿山地质环境野外科学观测研究站联合资助。

作者简介:徐友宁(1963-),男,研究员,主要从事矿山环境调查与研究工作。E-mail:ksdzhj@sohu.com。

sustainable development of the mining industry. This paper reviews the theoretical research on the prevention and control of mine geological environment in Northwest China, exploration of survey and evaluation methods, typical survey results, transformation and application of results in the past 20 years, and puts forward countermeasures and suggestions for the current problems in mine ecological protection. The study provides reference for the investigation and prevention of mine geological environment in ecologically fragile areas.

Keywords: mine geological environment; classification system; investigation and evaluation; method and technology; Northwest China

2021 年 10 月,中共中央、国务院印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》明确要求:“统筹推进矿区生态环境综合整治,开展矿区生态环境综合整治,对历史遗留矿山生态破坏与污染状况进行调查评价,实施矿区地质环境治理、地形地貌重塑、植被重建等生态修复和土壤、水体污染治理,按照‘谁破坏谁修复、谁修复谁受益’原则盘活矿区自然资源,探索利用市场化方式推进矿山生态修复。强化生产矿山边开采、边治理举措,及时修复生态和治理污染,停止对生态环境造成重大影响的矿产资源开发;统筹推进采煤沉陷区、历史遗留矿山综合治理,开展矿区污染治理和生态修复试点示范。落实绿色矿山标准和评价制度,加快生产矿山改造升级”。

矿山地质环境是资源与环境的同一体,矿产资源是人类生存与发展的物质基础,而环境则是人类生存与发展的必要条件。资源与环境互相影响、互相转化。矿产资源开发活动触发和产生了一系列矿山地质环境问题,一方面是原生地质环境条件决定的,另一方面是矿产资源开发人为活动使其复杂化。大规模、高强度的矿产资源开发活动已成为影响和改变矿区地质环境的最活跃、最主要的地质作用力,成为加剧矿区地质环境变化的“催化剂”。矿山地质环境具有资源和环境双重属性,良好的地质环境质量有利于矿业的正常生产,恶化的地质环境影响和制约矿山正常生产。在大多数情况下,矿产开采造成的地质灾害已经超过了自然因素引发的地质灾害。矿产资源开发活动叠加在矿山原生地质环境上,并且与原生地质环境发生相互作用,导致原生矿山地质环境随矿业活动时间、强度而呈现复杂的、动态的变化。矿山地质环境变化一旦超出了矿区地质环境的容量,就会产生突发性的地质灾害和累积性的土壤环境重金属污染等矿山地质环境问题,危及矿山正常生产和人居生存环境的安全。

为了实现矿区的高质量发展,在合理开发利用矿产资源的同时,亟需减少、减轻矿业开发对矿山地质环境的负面影响,保障矿区环境的良性循环,促进生态文明建设。

矿山地质环境调查评价工作是矿山地质环境防治领域的基础性工作,在矿山地质环境防治中发挥的作用愈来愈重要。矿山地质环境调查评价工作是一项集实用性、基础性、公益性、前瞻性(制定矿山地质环境保护规划的基础)、交叉性(各种学科知识的综合运用)和系统性(资源毁损、地质灾害和环境污染)六位一体的地质工作。

西北地区矿产资源蕴藏丰富,潜力巨大,矿业经济是各省区的重要支柱产业,是保障“一带一路”倡议的物质基础。由于气候干旱缺水,生态环境脆弱,崩塌、滑坡、泥石流、水土流失、土地沙化、草地退化等区域性自然问题普遍存在。由于历史认识的局限性,以往矿产资源开发利用时,只重视了矿业的经济效益,忽视了矿山地质环境损害的负面效应,加之技术、人才、资金等因素的制约,加剧了矿区地质环境的破坏程度。另一方面,干旱-半干旱矿山地质环境恢复治理工作与成效较其他地区更加困难,适应于温暖、湿润气候区的生物技术措施由于缺水导致成效差,所以,研发生态脆弱区矿山地质环境治理恢复的关键技术和示范具有重要意义。

1 矿山地质环境调查研究及防治回顾

1.1 矿山地质环境调查评价

2000 年以来,中国地质调查局部署了一系列矿山地质环境调查工作,涉及全国性矿山地质环境调查与评估、全国性图件编制、区域性矿山地质环境综合研究、典型矿山环境地质问题专题调查和矿山地质环境调查方法研究等项目,是国土资源大调查拓

展的新的、特色业务领域之一。

西北地区的矿山地质环境工作早于全国专项工作。2001 年,中国地质调查局西安地质调查中心(以下简称“西安地质调查中心”)开始了“西北地区不同类型矿产资源开发环境地质调查”工作,开启了矿山地质环境调查工作。2003~2009 年,西安地质调查中心承担了《大型矿山地质环境调查技术要求》和《典型矿区地质环境调查方法》2 个规范的编制任务;先后开展了“陕西潼关金矿区环境地质专题调查”、“陕西大柳塔煤矿区环境地质专题调查”、“小秦岭金矿带矿山地质环境调查评价”等典型矿山地质环境调查工作,详细查明了矿山环境地质问题及其形成因素。同时,还开展了“全国不同类型矿山地质环境研究”、“中

国矿山环境地质图”及《1:5 万矿山地质环境调查评价规范》等综合研究、标准研制工作。2010~2015 年,针对西北地区干旱-半干旱条件,西安地质调查中心实施了《西北地区典型矿山地质环境治理的关键技术示范》工作,通过总结矿山治理技术示范,形成了干旱-半干旱地区矿山地质环境治理模式,申报建立了国土资源部矿山地质环境陕西潼关野外观测研究基地(2021 年更名为“自然资源部陕西典型矿山地质环境野外科学观测研究站”)。2012~2015 年,实施了生态脆弱区“青海矿业开发地质环境效应研究”项目;2016~2018 年,开展了宁东大型煤炭基地及秦岭东部钼、钒、铅锌矿带矿山地质环境调查工作,支撑服务国家重要生态屏障的生态文明建设(图 1)。

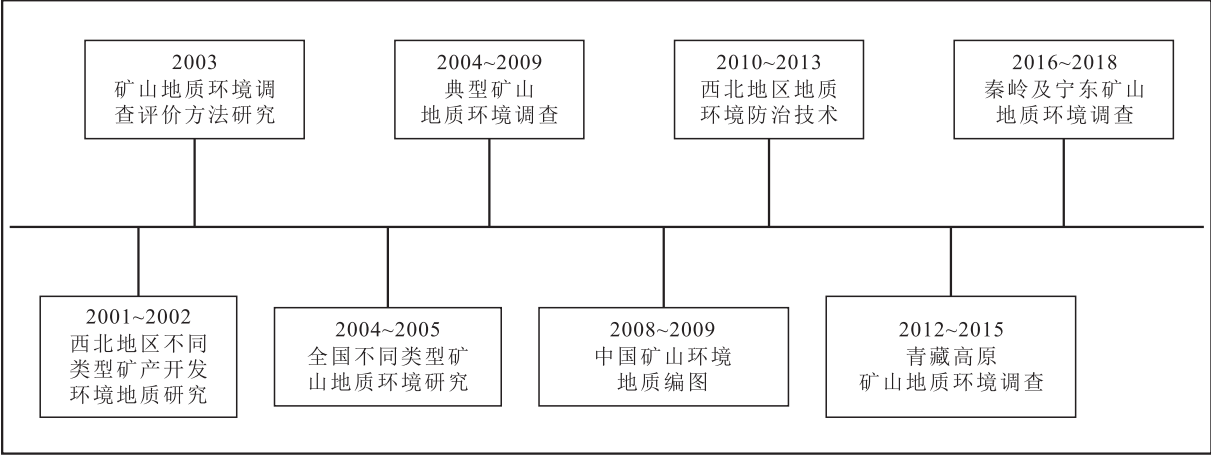


图 1 西安地质调查中心承担的主要矿山地质环境调查评价项目图

Fig. 1 Map of mine geo-environmental survey and evaluation work hosted by Xi'an Center of CGS

1.2 矿山地质环境防治

2001 年以来,原国土资源部、财政部通过探矿权、采矿权两权价款费用,开展了历史遗留矿山地质环境综合治理工作,内容包括了矿山地质灾害防治、采煤塌陷区治理、废弃土地复垦、煤矸石山治理等。2009~2016 年,原国土资源部进一步加大了矿山地质环境治理工作力度,西北地区大约有 300 余处矿山是这一政策的受惠对象。例如,陕西潼关及铜川资源枯竭型城市地质环境治理、陕西铜川焦坪煤矿区、紫阳瓦板岩矿区、凤县铅锌矿区、甘肃厂坝铅锌矿区、华亭煤矿区、窑街煤矿区、宁夏石嘴山煤矿区、青海三江源砂金矿区 and 新疆乌鲁木齐市六道湾煤矿区等。

2007 年,原国土资源部发布了《矿山环境保护

与综合治理方案编制规范(DZ/T223—2007)》的行业标准,从管理及规范上推进矿山地质环境防治工作。截止 2014 年 6 月,西北五省区全部建立了矿山地质环境恢复治理保证金制度,完成了省区级矿山地质环境保护与治理规划(2006~2015 年),健全完善监督管理制度,建立技术支撑体系,加快生产及历史遗留矿山地质环境治理恢复,历史遗留的矿山地质环境问题逐步得到治理,矿山地质环境质量整体转好。

另外,国家矿山公园建设将矿山地质环境综合治理与保护珍贵的矿业遗迹结合起来。甘肃白银火焰山国家矿山公园和青海格尔木察尔汗盐湖国家矿山公园是原国土资源部首批批准建设的国家矿山公园。随后,甘肃金昌金矿国家矿山公园、宁夏石嘴山

国家矿山公园、甘肃玉门油田国家矿山公园、新疆富蕴可可托海稀有金属国家矿山公园及陕西潼关小秦岭金矿国家矿山公园也相继获得建设资格。2011年开始,随着绿色矿山建设工作的开展,西北地区共申请绿色矿山 111 个,其中陕西省 22 个,甘肃省 27 个,青海省 8 个,宁夏回族自治区 14 个,新疆维吾尔自治区 40 个。国家矿山公园和绿色矿山建设促进了区域矿山地质环境防治工作。

2 矿山地质环境理论与方法研究

矿山地质环境研究工作经历了实践到理论再到实践的过程,创建了矿山环境地质问题分类体系、矿山环境地质问题评价指标体系、矿山环境地质编图理论与方法、矿山环境地质问题的形成机理研究、矿山地质环境治理关键技术、标准规范以及全流程一体化研究。

2.1 矿山地质环境问题分类体系研究

2001 年,中国地质调查局开始在国土资源大调查中部署矿山地质环境调查工作,标志着中国基础性、公益性、系统性的矿山地质环境调查工作的开始(徐友宁,2008)。面对矿产资源开采产生的众多环境问题,西安地质调查中心矿山地质环境团队将矿山地质环境问题归为 3 大类、23 项指标,以指标指数作为划分地质环境问题危害程度等级的依据,给出 2 类指标评价指数的计算方法,以及各指标相应的权重。再用模糊数学综合评判法评定矿山地质环境问题的历史、现状及其发展趋势的影响程度。在考虑矿山区位条件和恢复治理难度的基础上,最终给出矿山地质环境问题的综合评价等级,该等级也同时反映了矿山地质环境恢复治理的优先顺序(徐友宁等,2003)。之后的研究多在此分类的基础上深化,例如基于 ArcGIS 技术、模糊综合评判法,对区域地质环境评价的指标体系建立、等级划分、量化赋分、权重确定以及地质环境评价区划等进行了探讨(李美忠,2018)。另外用 23 个因素为评价目标建立了以指标加权分值分析法、模糊综合评价法、灰色局势决策分析法等数学方法为评价手段的矿山地质环境问题综合评价指标体系(郝志贤,2015)。同时对 23 项指标做了精简,构建了矿山地质环境问题现状综合评价体系(赵朝贺等,2013)。2011 年,原国土资源部发布《矿山环境保护与综合治理方案编制规

范》,将矿山地质环境问题分为地质灾害、含水层破坏、地形地貌景观破坏、土地资源占压与破坏等(图 2)。随着生态文明建设的加强,研究者更注重高质量发展视角的绿色矿山建设评价指标体系研究,构建了一批融合“环保、高效、安全、节约集约利用、健康地质”理念的矿山地质环境现状评价指标体系(雷明等,2019;尹刚伟,2019)。

2.2 矿山地质环境问题调查评价体系研究

建立科学、实用的矿山地质环境问题评价指标体系,具有促进矿山地质环境监管及预警重要作用。矿山地质环境调查内容和对象的复杂性,导致调查方法错综复杂,要充分借鉴和吸收环境地质、灾害地质、生态环境、环境科学等多学科的调查研究方法。2003 年,西安地质调查中心编制了《大型矿山地质环境调查技术要求》(徐友宁,2008);2004 年,原国土资源部环境司制定了《全国矿山地质环境调查技术要求》(张进德等,2007);2014 年,中国地质调查局颁布了《矿山地质环境调查评价规范(1:50 000)》,促进了矿山地质环境调查与评价工作。游占军等(2006)从传统的地质调查方法考虑调查技术原则与技术方法;徐友宁等(2008)提出了调查工作程序涉及资料收集、遥感解译、野外调查、资料整理、综合研究、图件编制、数据库建设等工作,对调查方法做了详细的阐述,以传统的地质调查方法和先进技术相结合,调查与研究结合,一般性调查与重点解剖相结合,调查与动态监测相结合,野外调查与试验研究相结合的原则,调查数据化、评价量化、结果科学化、过程规范化。之后的调查技术多在此基础上发展与延伸(韩颖韬,2017;李嘉,2018),例如,奥维互动地图和 91 卫图助手在矿山地质环境调查中的应用(林洪等,2021)。

矿山地质环境评价方法是在矿山环境地质问题调查的基础上,定性和定量地评价矿山地质环境质量优劣或矿山环境地质问题的严重程度。按照评价目标、对象的不同,可分为矿山环境地质问题评价(徐友宁,2008)、矿山地质环境风险评价(王显炜等,2009;陈华清等,2015)和矿山地质环境质量评价(LIU Ruiping et al.,2020)。依照评价阶段可分为矿山地质环境历史评价、现状评价和预测评价。按照评价问题的数量多少可分为单问题评价、多问题综合评价等(徐友宁等,2003;武强,2006)。

(1) 矿山地质环境问题评价:以矿山地质环境问

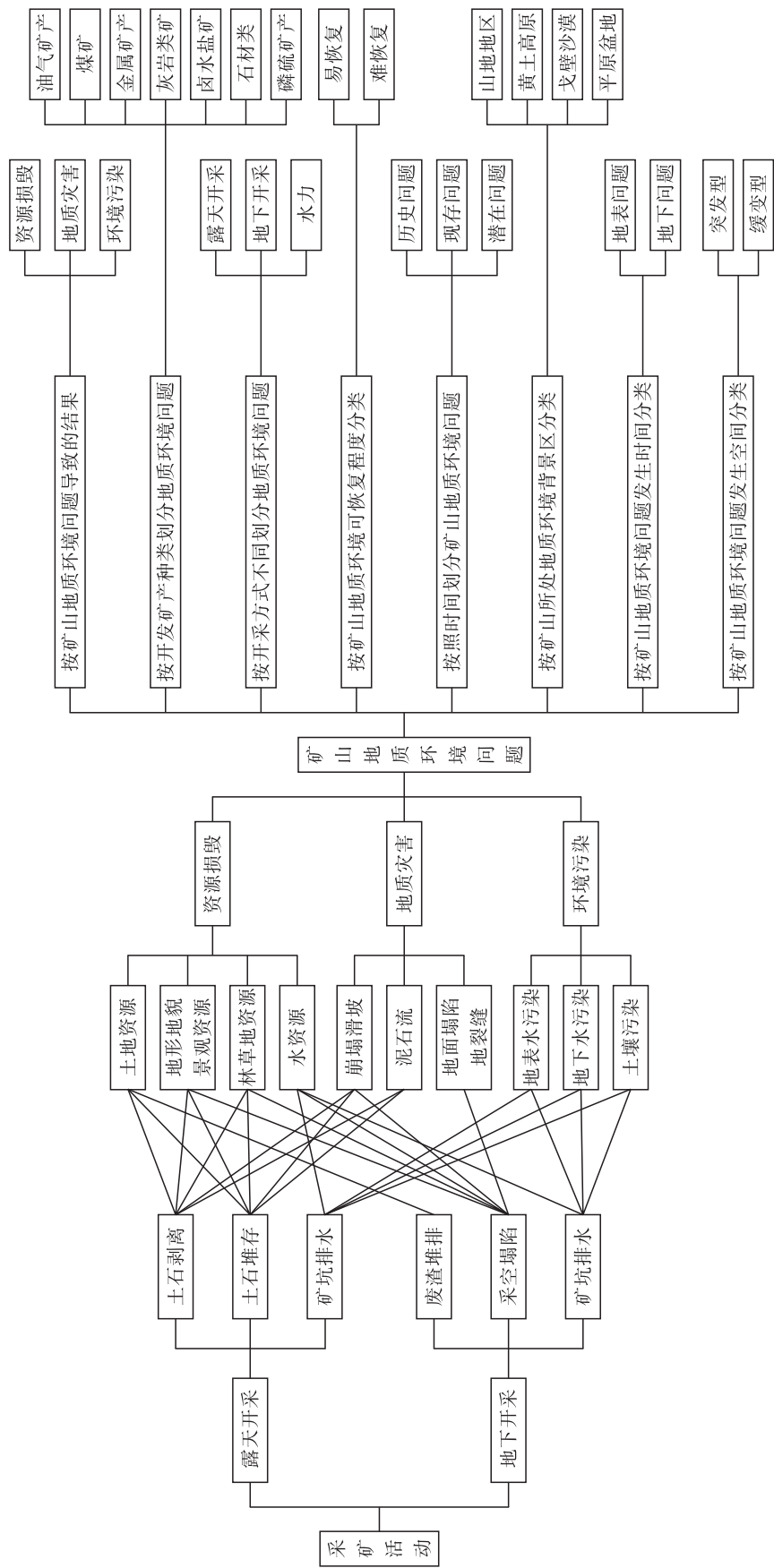


图2 矿山地质环境问题分类图
Fig.2 Classification map of mine geological environment problems

题作为评价的对象,在划分矿山地质环境问题种类指标等级的基础上,直接以“问题”的多少、严重程度作为评价对象,将其评价结果分级(徐友宁等,2003;魏迎春等,2004;LIU Ruiping et al.,2021)。

(2)矿山地质环境质量评价:以矿业开发导致的主要地质环境问题作为主要评价对象,同时考虑了矿山地质环境背景、植被、气象水文、矿业开发的强度、开发方式及人口密度等因子(张进德等,2007;LIU Ruiping et al.,2018),评价划分矿产资源开发区地质环境质量分级。

(3)矿山地质环境风险评价:结合矿山地质环境影响评价与地质灾害风险评价的理论基础上,对生命安全和财产损失的潜在后果开展量化评价。对矿山开发所引起地质环境问题的风险性进行评价,可以指导矿山科学地开采、有针对性地保护矿区地质环境,从而实现矿区资源开发利用和地质环境保护协调发展的绿色矿业之路(刘静,2019)。

无论何种评价,最关键的问题是确定矿山地质环境问题的指标等级,主要有3种方法:①直接引用国家或行业标准,如崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等灾情指标。②依据有关资料设定的指标,如土地压占与破坏、水资源破坏、水土流失、土地沙化等指标。③依据矿山地质环境调查数据制定有关比率指标或绝对指标(徐友宁等,2014)。目前,矿山地质环境评价方法较多,包括指标加权分值综合评价法(何芳等,2008;徐友宁等,2010)、地球化学累积基线法(LIU Ruiping et al.,2013)、模糊数学综合评判法、灰局势评判法、环境污染指数法、层次分析法(郁文等,2021)等。

2.3 矿山地质环境编图技术研究

由于矿山地质环境调查研究的目的、对象、范围及用途的差异,需要针对性地编制不同尺度和内容的矿山地质环境图系。重点是中、小比例尺图件的图面“点”、“线”、“面”如何更科学地表达问题,规范省区、区域性、全国性等中、小比例尺图件的编制。

西北地区矿山地质环境调查始于2001年,矿山地质环境图件的编制是调查成果的重要组成部分。2001~2018年,随着编图思路的创新和经验的积累,先后完成了“西北地区区域性图件”、“典型矿山地质环境调查图件”及“全国矿山地质环境图件”的编制工作。2014年7月,发布的《矿山地质环境调查评价规范》(DD2014-05)对图件编制的基本要

求,图件类型、常用图例进行了规范。编图时力求将收集的资料、野外实地调查成果、采样分析成果在平面图上展示出来,编制了各类基础性图件、评价性图件、预测性图件、防治性图件。

区域性矿山图件:通过创新编图思路、表达方式、嵌表内容、图式图例,编制了6张区域性矿山地质环境问题及防治系列图件,解决了点状矿山的面积规律性表达,形成了集科学性、美观性、实用性为一体的小比例尺编图方法。

典型矿山图件:在国内外尚无大比例尺典型矿山地质环境编图方法的背景下,编制了陕西潼关金矿区1:2.5万、1:5万、1:12.5万基础性、评价性和对策性系列图件84张、图集1本,在图件种类、表达形式、图面结构、图式图例等方面进行了积极创新,体现客观性、科学性、易读性和实用性。典型矿山图件还包括小秦岭金矿区、陕西大柳塔煤矿区、青海典型矿区、宁东煤炭基地、秦岭典型矿区等图件,涵盖实际材料图、遥感影像解译图、地质环境问题现状图、污染评价类图件、矿山地质环境质量评价类图件、矿山地质环境预测评价类图件、对策性图件和防治规划性图件等。

全国矿山图件:主要为《中国矿山环境地质图》(1:400万),是中国第一份中英文对照版的反映中国矿山环境地质问题严重程度分布规律的综合评价性图件。该图首次依据地质环境条件,将影响矿山环境地质问题形成的地质环境背景划分为6大地质环境区和30个地质环境分区,主图反映了不同类型矿产资源开发造成的土地占用与破坏、废水废渣排放及地质灾害等矿山环境地质问题的分布及其严重程度,划分了矿山环境地质问题严重区122处、较严重区209处、较轻区184处。嵌图表达了中国大中型煤矿山、金属矿山、非金属矿山、矿山土地占用与破坏严重点、大中型崩塌滑坡泥石流及地面塌陷地裂缝灾害点的分布,矿山崩塌、滑坡、泥石流发生次数变化情况(1955~2005年)等内容。

2.4 矿山地质环境问题的形成机理、治理技术及标准研究

科技创新是推进地质调查工作转型升级的两大引擎之一。西安地质调查中心矿山地质环境领域通过创新工作机制,聚合高层次人才,加强干旱-半干旱地区矿集区矿山地质环境的重大科技问题攻关,围绕卡脖子关键性防治技术问题的研究和科技平台

建设,取得了多项创新性成果。

(1)构建了不同类型矿产、不同开采方式、不同地质环境条件下,矿产资源开发矿山地质环境问题的分类体系以及影响和控制的主要因素。形成了矿渣型泥石流形成机理及防治技术,生态环境脆弱区资源开发生态环境演化机制,金属矿山土壤重金属累积的环境风险评价技术,废弃尾矿渣场土地复垦安全经济的技术方法,构建了矿产资源勘探、开发、闭坑不同阶段矿山地质环境问题的模型和绿色勘探开发防治理论,创新、发展和丰富了矿山环境地质学,为矿产资源绿色开发利用提供了理论依据。

(2)构建了矿山地质环境问题及效应链:①采空岩移塌陷-崩塌滑坡-泥石流地质灾害链。②矿硐排水-废渣堆场浸淋水-地表水污染-地下水污染-土壤污染及其人体健康效益;构建了金属矿区重金属地球化学累积风险的评判模型等。

(3)通过野外调查、直槽式放水模拟试验,研究了矿渣型泥石流启动机理及临界参数,提出了堵溃型矿渣型泥石流形成模式,据此构建了拦渣、疏浚行洪通道的矿山泥石流防治技术。

(4)创新了尾矿渣场复垦还田安全经济的技术方法,形成了 2 项发明专利和 1 项新型实用专利:一种尾矿渣场复垦还田隔离层的制造方法,一种含有毒重金属的尾矿渣场复垦还田安全经济的方法等和一种含有毒重金属的尾矿渣场复垦还田的隔离层。

突出干旱-半干旱、高寒、高海拔地域特色,构建了西北地区矿山地质环境治理模式。发明专利“蛇纹岩废渣场植被恢复的无土化基质改造方法”。

(5)制定矿山地质环境动态监测技术要求、矿山地质环境评价指南、矿山地质环境编图指南、矿山地质环境恢复治理技术规范、矿山地质环境损害鉴定赔偿管理办法等,为科学调查、依法监管、合理赔偿提供技术依据。

2.5 矿产资源勘探、开发及闭坑一体化研究

在生态文明高度建设的今天,矿产资源的勘探开发再也不能重蹈“先开发、后治理”的老路,必须走资源开发与环境保护并重的绿色矿业之路。应树立全新的资源勘查评价、开发理念,在矿产资源评价与勘查过程中,注重提取矿山开采前的环境背景信息,为评价资源开发对水土、植被生态的累积影响提供历史背景资料。将矿床环境模型和矿山环境地质问题的响应模型有机结合,为开发前预防、开发中治理、开发后恢复提供理论依据。提出源头预防-过程治理-闭坑恢复的全流程、一体化、绿色开采利用的新理念(图 3)。构建了基于源头保护的矿产资源开发利用方案。在综合评估矿体埋藏特征、开采技术条件、安全采矿的因素基础上,编制矿产资源开发利用方案,充分考虑开采对地质环境影响因素,从而实现矿产资源开采从源头减轻地质环境的负面影响,将现今的被动治理变为明天的主动防治。

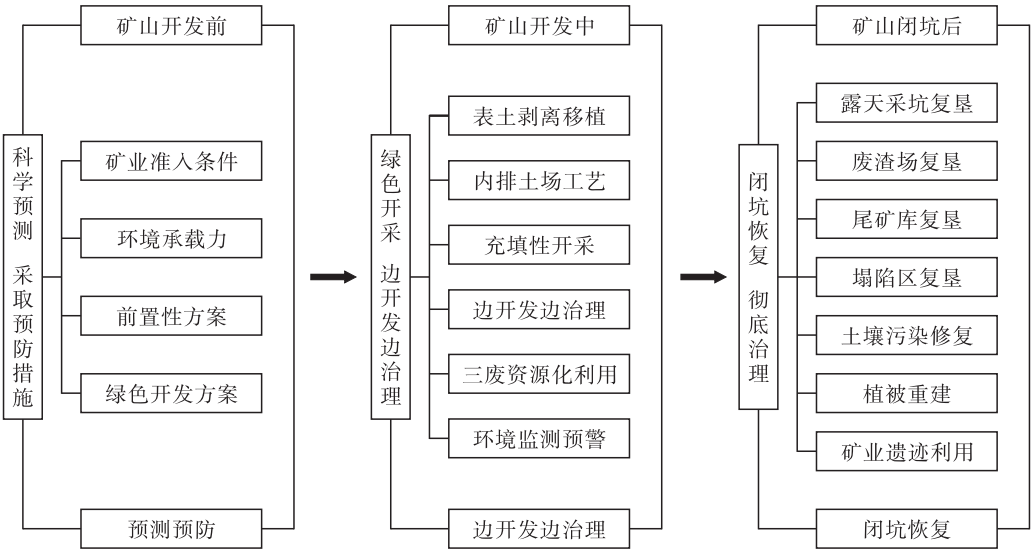


图 3 矿产资源开采全过程一体化防治图

Fig. 3 Integrated prevention and control of the whole process of mineral resource mining

3 典型矿山地质环境调查成果

3.1 小秦岭金矿区

小秦岭金矿带是中国重要的岩金产地。20 世纪 80 年中后期至 90 年代末,小秦岭金矿带是中国矿业秩序混乱、环境破坏严重的典型区带之一。2004~2005 年、2007 年、2009 年,西安地质调查中心在国内外无规范、无参照的情况下,开展了包括陕西潼关县、河南灵宝市在内的小秦岭金矿带矿山地质环境调查研究,同时承担了国家自然科学基金面上项目 1 项和原国土资源部公益性行业科研专项 2 项,为 1:5 万矿山地质环境调查技术评价规范的制定奠定了重要基础。全面系统地查明了小秦岭金矿带主要矿山地质环境问题,获取了 30 000 余个第一手实际调查数据,形成了一批原创性成果;研究了矿渣型泥石流启动的临界条件,构建了堵溃型、矿渣型

泥石流成灾模式,提出了固渣、排水、疏浚行洪通道的防治新理念,丰富了矿渣型泥石流防治理论与技术;系统地揭示了金矿区水土环境重金属污染的严重性及其人群健康环境效应,创新矿区土壤重金属累积影响的评判方法,为矿区水土污染早期预警提供理论支撑;创新形成尾矿渣场安全、经济的复垦还田技术方法,支撑了潼关县尾矿渣土地复垦示范工程,丰富和发展了土地复垦技术。

3.2 青藏矿山

3.2.1 矿山地质环境问题分布特征

2012~2015 年,实施了青藏高原矿山地质环境调查。调查表明,受高原气候寒冷、缺土缺水等自然条件的制约,较为严重、且难以恢复治理的矿山地质环境问题是露天采矿造成的地形地貌景观、高寒草甸破坏问题。截止 2015 年,青海大型矿山土地损毁面积累计 142 km²,占矿业开发全过程土地损毁的 51.8%(表 1)。

表 1 青海矿山地质环境问题分布及特征表

Tab. 1 Distribution and characteristics list of geological environmental problems in Qinghai-Tibet mines

不同阶段	破坏方式	影响程度	代表性矿区
勘探、在建阶段	道路、探槽、钻井平台、工矿场房、实验场	勘探阶段 约占 25.9%	大场金矿、上庄磷矿、夏日哈木镍矿
生产阶段	露天采、场沙金开采区挖损土地草地、堆煤场、废渣堆、煤矸石堆压占草地,矿山矿部及生活区占用草地等	生产阶段 约占 51.8%	德尔尼铜矿、木里煤矿、大通煤矿、尕大坂铜铅锌矿、默勒煤矿、江仓煤矿
闭坑阶段	露天采矿场、矿区、矿区道路等	闭坑阶段 约占 22.3%	红金台砂金矿、拉脊山采石场

3.2.2 矿山地质环境影响程度

青海、西藏全区有 35 个地质环境影响严重区、16 个影响较严重区。矿山地质环境问题严重区主要分布在德尔尼铜矿、甲玛矿区、罗布莎矿区、大场金矿、木里煤矿、江仓煤矿和默勒煤矿,主要是矿山地质灾害、植被草甸及地形地貌景观损毁和含水层破坏等。矿山开采产生的地质环境影响较轻;青海省煤炭资源开采采空区占全省总面积的 0.02%,总体矿山地质环境质量良好,发展趋势总体在可控,但部分矿区问题严重,亟待综合防治。

3.3 宁东煤炭基地

3.3.1 矿山地质环境问题分布特征

宁东煤炭基地突出的矿山地质环境问题主要是地下煤炭资源开采地面塌陷、地裂缝地质灾害,以及

地面塌陷造成的草地资源损毁。地面塌陷、地裂缝主要分布于马莲台煤矿、任家庄煤矿、羊场湾煤矿、梅花井煤矿、枣泉煤矿、石沟驿煤矿、清水营煤矿、任家庄煤矿、灵新煤矿和金凤煤矿区等。截止 2018 年,宁东煤炭开采区形成的采空区面积合计为 101.15 km²,其中,可观察到的地面塌陷面积达 25.73 km²。

3.3.2 矿山地质环境问题影响程度

宁东煤矿区地面塌陷、地裂缝矿山地质灾害问题严重,土地损毁类型包括堆煤场地、矸石场、其他废渣场等,压占损毁土地面积合计为 13.86 km²,主要以矸石山压占土地为主,评价等级均为严重;宁东煤矿区规划总面积为 3 484 km²,目前采空区占全区面积的 2.9%,宁东煤矿区总体地质环境质量良好,但局部问题严重。

3.4 陕西大柳塔煤矿区

2005年,开展了以陕西大柳塔煤矿为核心的370km²的矿山地质环境调查。调查表明:①地面塌陷、地裂缝的影响范围大,但相对于人口密集区,其塌陷对农牧业生产、地表建筑物的破坏程度相对较轻。②采煤对矿区地下水位变化影响显著,部分泉水枯竭,但沙地植被生态影响有限。③河水受到硫化物、氟化物普遍污染,河流底泥重金属累积较为严重,农田土壤虽具有较大的重金属环境容量,但累积污染不容忽视。④调查区及主要采煤塌陷区土地沙漠化逐年减轻,其原因主要为年均降雨量的增高、“退耕还草围栏圈养”的国家政策以及神华宁东公司有利的矿区生态环境保护工作。其中煤矿塌陷区地质环境调查结论为政府科学决策神府国家级亿吨煤炭生产基地开发提供了科学依据,同时通过调查实践系统总结了矿山地质环境调查与评价方法。

4 成果转化与服务

西安地质调查中心矿山地质环境团队积极践行将论文写在祖国大地上的行动,利用丰富的地质调查、科学研究成果,打造了地质调查-科学研究-成果转化-科普宣传四位一体模式,以地质调查为基础,以科学研究为提升手段,以社会服务为转化途径,支撑服务矿产资源绿色开发和高质量发展。

4.1 服务地方

20年来,积极转化地质调查和科学研究成果,先后成果转化23项,对资源枯竭型城市转型发展、废弃矿山地质环境治理发挥了重要作用。2010年编制的《陕西省铜川源枯竭型城市矿山地质环境治理重点工程实施方案》、《河南灵宝资源枯竭型城市矿山地质环境治理重点工程实施方案》及2011年编制的《陕西潼关金矿区地质环境治理示范工程实施方案》获中央财政治理经费累计7.25亿元。2006~2008年,针对潼关县历史遗留的矿渣型泥石流隐患、澄城县尧头煤矿及蒲城县烽火煤矿地面塌陷地质灾害和韩城市桑树坪煤矿煤矸石山自燃等问题,提交了相关的矿山地质环境恢复治理可行性方案,得到中央财政3600万元的经费支持,有力地促进

了历史遗留矿山地质环境问题的解决和矿区环境的改善。制定土壤重金属污染修复与监测任务,并指导治理示范工程的实施。2020年7月以来,完成了紫阳县蒿坪河流域废弃石煤矿污染场地调查及综合治理方案,为促进南水北调工程汉江上游水源水质安全发挥了积极作用。

4.2 科研平台

依托地调科研成果,2011年,获批了原国土资源部野外科学观测研究基地——陕西潼关矿山地质环境野外基地(2021年更名为自然资源部陕西典型矿山地质环境野外科学观测站),围绕地质灾害、水土环境污染、生态修复问题,持续获取矿山地质环境变化数据,开展矿山地质环境变化机理科学研究、防治的关键技术试验,为矿山地质环境科技创新提供了重要的平台。

4.3 深化研究

推动了矿渣型泥石流和土壤重金属污染防治的科学研究工作。以地质调查项目为基础,2009年获取国家自然科学基金面上项目《矿渣型泥石流启动机理及临界条件研究》,深化了矿渣型泥石流防治技术的深度研究;2008年与2012年分别获批原国土资源部公益性行业科研专项《金矿区农田土壤重金属污染风险评估及阻断研究》和《矿集区地球化学环境累积效应与预警方法研究》,深化研究了金属矿区土壤重金属污染及其环境效应,丰富和发展了金属矿山水土环境污染防治理论与技术。

4.4 团队建设

20年来,西安地质调查中心通过一系列矿山地质环境项目的实施,培养了一批高水平的青年技术人才,累计发表相关专业论文200余篇,出版专著5部,授权发明专利13项,主编及参编技术标准7项,获省部级科学技术二等奖4项。以项目为依托,与中国矿业大学、长安大学、西北工业大学、西安科技大学、中国地质科学院等高校、科研机构联合培养研究生共20余名。

5 建议

矿产资源开发利用是中国经济社会发展的重要物质基础,矿产资源绿色开发利用是实现资源开发

地质环境保护协调发展的重要之路,是建设生态文明的重要举措。20 年来,团队开展矿山地质环境防治研究、西北各省区开展了众多矿山地质环境防治工作,均取得了重要成效,积累了丰富生态环境脆弱区矿山地质环境保护与治理经验保护。但是面对生态环境脆弱、经济基础较差的局面,在矿山地质环境保护的源头,需要构建基于开采源头地质环境主动防治理论,创新干旱-半干旱矿山地质环境防治理论与技术,引导实施可推广的矿山地质环境治理工程;地方政府应积极探索引进社会资金参与或主导废弃矿山地质环境治理,破解既缺资金又缺管理创新的制约矿山地质环境治理的困局;编制出台适合于西北地区的矿山地质环境监测规范,治理与验收技术要求等。

致谢:谨以此文庆祝中国地质调查局西安地质调查中心成立 60 周年。

参考文献(References):

陈华清,杨敏,张江华,等. 基于抗灾能力的矿渣型泥石流风险评估评价方法——以小秦岭金矿区为例[J]. 地质通报, 2015,34(11):2009-2017.

CHEN Huaqing, YANG Min, ZHANG Jianghua, et al. A tentative discussion on the risk evaluation of slag debris flow based on disaster-resisting capability: A case study of the Xiaoqinling gold mining area[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(11): 2009-2017.

中华人民共和国国土资源部. 矿山环境保护与综合治理方案编制规范(DZ/T 0223-2011)[S]. 2011,1-4

郝志贤. 矿山环境地质问题综合评价指标体系探析[J]. 化工矿物与加工,2015,(10):58-60.

HAO Zhixian. Analysis of comprehensive evaluation index system for mine environmental geological problems[J]. Industrial Minerals & Processing, 2015, (10): 58-60.

何芳,徐友宁,袁汉春. 矿山环境地质问题综合评价客观权值确定方法探讨[J]. 中国地质,2008,35(2):337-344.

HE Fang, XU Youning, YUAN Hanchun. Method for the determination of objective weigh-values in the comprehensive evaluation of mine environmental geological problems [J]. Geology in China, 2008, 35 (2): 337-344.

青海矿业开发地质环境效应调查项目成果报告[R]. 中国地

质调查局西安地质调查中心,2016.

秦岭及宁东矿产资源集中开采区地质环境调查项目成果报告[R]. 中国地质调查局西安地质调查中心,2019.

王显伟,徐友宁,杨敏,等. 国内外矿山土壤重金属污染风险评估方法综述[J]. 中国矿业,2009,18(10):54-57.

WANG Xianwei, XU Youning, YANG Min, et al. Review on risk assessment methods for soil heavy metal contamination in mines at home and abroad[J]. China Mining Magazine, 2009, 18(10): 54-57.

魏迎春,徐友宁. 矿山地质环境量化评价模型研究[J]. 华南地质与矿产,2004,(4):47-50.

WEI Yingchun, XU Youning. Research of quantificational assessment model of mining environments[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2004, (4): 47-50.

武强. 矿山环境理论与实践[M]. 北京:地质出版社,2006: 1-354.

徐友宁,徐冬寅,张江华,等. 地表水污染综合评价时污染物权值确定方法[J]. 西安科技大学学报,2010,30(03):280-287.

XU Youning, XU Dongyin, ZHANG Jianghua, et al. Determination of contamination weights in comprehensive assessment of surface water[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2010, 30 (03): 280-287.

徐友宁,袁汉春,何芳,等. 矿山环境地质问题综合评价指标体系[J]. 地质通报,2003,22(10):829-832.

XU Youning, YUAN Hanchun, HE Fang, et al. Comprehensive evaluation index system of the environmental geological problems of mines[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(10): 829-832.

徐友宁,张江华,柯海玲,等. 矿业活动区农田土壤重金属累积风险的评判方法——以小秦岭金矿区为例[J]. 地质通报,2014,33(8):1097-1105.

XU Youning, ZHANG Jianghua, KE Hailing, et al. An assessment method for heavy metal cumulative risk on farmland soil in the mining area: A case study of the Xiaoqinling gold mining area[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(8): 1097-1105.

徐友宁. 矿山地质环境调查研究现状及展望[J]. 地质通报, 2008,27(8):1235-1244.

XU Youning. Investigation and research on the mine geological environment: present status and outlook[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8): 1235-1244.

- 尹刚伟. 矿山主要环境问题及环境质量评价指标体系构建[J]. 世界有色金属, 2019, (24): 254-256.
- YIN Gangwei. Construction of main mine environmental problems and environmental quality evaluation index system[J]. World Nonferrous Metals, 2019, (24): 254-256.
- 游占军, 谢明忠. 矿山环境地质调查工作方法的探讨[J]. 中国煤田地质, 2006, (S1): 33-35+52.
- YOU Zhanjun, XIE Mingzhong. Discussion on Working Methods of Mine Environmental Geological Survey [J]. China Coalfield Geology, 2006, (S1): 33-35+52.
- 郁文, 丁国轩, 樊小鹏, 等. 基于层次分析-模糊综合模型的矿山地质生态环境评价研究[J]. 三峡生态环境监测, 2021, 6(2): 26-35.
- YU Wen, DING Guoxuan, FAN Xiaopeng, et al. Evaluation of Mine Geo-ecological Environment Based on Analytic Hierarchy Process-Fuzzy Synthetic Model[J]. Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges, 2021, 6(2): 26-35.
- 张进德, 张德强, 田磊. 全国矿山地质环境调查与综合评估技术方法探讨[J]. 地质通报, 2007, 26(2): 136-140.
- ZHANG Jinde, ZHANG Deqiang, TIAN Lei. Methods of investigations and integrated assessments of the nationwide mine geoenvironment [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (2): 136-140.
- 赵朝贺, 杨化超, 胡奎, 等. 矿山地质环境综合评价体系研究[J]. 煤炭工程, 2013, (11): 114-119.
- ZHAO Chaohe, YANG Huachao, HU Kui, et al. Research on comprehensive evaluation system of mine geological environment [J]. Coal Engineering, 2013, (11): 114-119.
- 中国地质调查局. 矿山地质环境调查评价规范(1:50000) (DD2014-05)[S]. 2014, 1-25.
- Liu Ruiping, Xu Youning, Zhang Jianghua. The Relationship and Influencing Factors Water-Gas Interface Mercury Emission Flux and Water Suspended Mercury of a Gold Mining Area River[C]. Environmental Earth Sciences, 2018: 407-415.
- Liu Ruiping, Xu Youning, He Fang, et al. Environmental impact by heavy-metal dispersion from the fine sediments of the Shuangqiao River, Xiaoqinling gold area, China[C]. Advances Materials Research, 2012, 518-523: 1929-1935.
- Liu Ruiping, Xu Youning, Rui Huichao, et al. Migration and speciation transformation mechanisms of mercury in undercurrent zones of the Tongguan gold mining area, Shaanxi Loess Plateau and impact on the environment [J]. China Geology, 2021, 2(02): 311-328.
- Liu Ruiping, Xu Youning, Zhang Jianghua, et al. Effects of heavy metal pollution on farmland soils and crops: A case study of the Xiaoqinling Gold Belt, China[J]. China Geology, 2020, 3(03): 403-411.