

中国西北地区
矿山环境地质问题调查与评价

Survey and Assessment on Environmental Geology Problems
of Mine in Northwest China

徐友宁 何 芳 袁汉春 张江华 陈社斌 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是在2001~2002年西北地区不同类型矿产开发环境地质研究项目成果基础上撰写的,书中较全面地论述了西北地区矿产资源开发引发的种种环境地质问题,建立了矿山地质环境质量综合评价体系,给出了西北地区矿山地质环境综合评价结果及分区,提出了西北地区矿业可持续发展的对策建议,给出了矿山地质环境信息系统建设及图件编制的思路、方法。

本书可供从事矿山环境地质问题研究的工程技术人员、大专院校师生及政府行政管理部门参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国西北地区矿山环境地质问题调查与评价/徐友宁等著. —北京:地质出版社,2006.4
ISBN 7-116-04720-4

. 中... . 徐... . 矿山 - 环境地质学
- 研究 - 西北地区 . TD167

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第030182号

ZHONGGUO XIBEI DIQU KUANGSHAN HUANJING DIZHI WENTI
DIAOCHA YU PINGJIA

责任编辑:孙亚芸

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324569(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm

印 张:10.5 图版:2页

字 数:250千字

印 数:1—800册

版 次:2006年4月北京第一版·第一次印刷

审 图 号:GS(2006)072号

定 价:32.00元

ISBN 7-116-04720-4/P·2644

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

序

矿业是人类赖以生存和发展的主要产业之一，古时的人们便已学会挖煤采玉，汲盐淘金，但因规模相对较小，在巨大的地球上凿几个眼眼，挖几个洞洞，无伤大雅，所以人们只管开挖，很少关心其他问题。随着人类经济活动的日益增强，特别是20世纪后期以来，由于我国经济飞速发展的需要，采矿业发展迅猛，其速度之加快，其规模之增大，不仅使开采理论和开采技术捉襟见肘，而且使管理理念和管理制度明显滞后，从而引发了一系列严重的矿山环境地质问题，在西北尤其如此。因为大西北蕴藏着中国第一的油、气、煤、盐资源，蕴藏着十分丰富的有色金属和贵金属，还因为这里是西部大开发的主战场之一，进行着规模宏大的矿山开发。但某些不计后果的掠夺开发方式，严重影响着水文生态系统，破坏着农田宅地，污染着水土大气环境、诱发着地沉地裂和山体崩塌，催生了新的水土流失和滑坡泥石流等，出现了一系列令人揪心的矿山环境地质问题。

值得庆幸的是，包括青年学者徐友宁在内的西安地质矿产研究所的专家们在五年前便能觉察此事，并在国土资源部中国地质调查局的支持下，开展了“西北地区不同类型矿产开发环境地质研究”。他们通过深入现场考察取样，在室内化验分析，从众多杂乱的现象中寻找规律。正是有这种“从实际中来，到实际中去”的理论密切结合实际的研究方法，才能获得系统深入的规律性认识，获得创新性成果。他们对西北地质环境的分区、对矿山环境地质问题的分类、对不同工业类型矿业开发、不同开采方式、不同地质环境、不同开发规模所引起的不同地质环境问题的分析和论述、对西北矿业的可持续发展以及矿山地质环境图件编制提出的途径和方法建议等，都证明作者们进行了创造性劳动，获得了可喜的成果。

我参加过西安地质矿产研究所组织的年度工作汇报会，听取过徐友宁所作的汇报，从那时起便建议他们早日出书，把他们的研究成果公诸于世，以便推进该领域的科学研究，同时可以作为大学生、研究生学习有关课程以及教师和广大科技人员工作的参考书。现在，这本书就要出版问世了！我有幸阅读了书稿，并乐于为序。



2006年3月于古城西安

李佩成：中国工程院院士，长安大学教授。

前 言

矿产资源开发利用是一把双刃剑，一方面矿产资源开发会极大地促进国民经济和社会发展，另一方面，不合理的开发往往会引发矿区及毗邻地区地质灾害、水土环境污染和生态环境破坏等。诚然，矿产资源开发不可避免会对矿区地质环境造成负面影响，但只要采取相关措施，就可以将负面影响降低到最低程度。只开发不治理，无视开发中产生的环境地质问题，必然导致矿区生态环境恶化，矿山地质灾害频发、环境污染加重，严重威胁矿山正常生产和人居生态环境安全，阻碍地区社会经济的可持续发展。所幸的是，随着环境保护的理念日益深入人心，矿山地质环境保护受到了政府的高度重视。2006年1月20日，国务院关于加强地质工作的决定指出：“要强化地质灾害和地质环境调查监测，全面推进矿山环境地质调查工作”。

西北地区矿产资源丰富，但是大多数矿区面临水资源短缺、生态环境脆弱的局面，在西部大开发中，如果继续沿袭“先开发、后治理”的落后矿业开发模式，严重的矿山环境地质问题必然加剧脆弱的生态环境的恶化。因此，必须走可持续发展的绿色矿业之路，建立资源节约型、环境友好型矿山。

在国家实施西部大开发战略的背景下，2000年西安地质矿产研究所领导和有关科技人员意识到矿山地质环境调查工作的重要性，积极立项申请开展矿山地质环境调查工作，在中国地质调查局的大力支持下，于2001~2002年承担并完成了《西北地区不同类型矿产开发环境地质研究》（项目编号：20011230003）。

矿山地质环境调查评价工作是地质工作者主动为社会发展和国民经济建设服务的一项新的业务领域，在前无经验可借鉴的情况下，通过探索性、创新性的调查研究工作，完成了6个省区100余处典型矿山地质环境的剖析，取得了重要认识和成果。本书是在《西北地区不同类型矿产开发环境地质研究成果报告》基础上，通过增减、补充完善，编撰而成。

全书共分七章，第一章介绍了西北地区社会经济、自然地理，划分了四类地质环境分区。第二章简述了西北地区矿产资源的分布特点、开发利用现状、开发利用中存在的主要问题等。第三章介绍了矿山环境地质发展研究现状，建立了矿山环境地质问题分类系统，着重论述了不同工业类型矿产资源开发、不同开发方式及不同地质环境分区内矿山环境地质问题及其特点，分析了导致矿山环境地质问题严重的主要因素。第四章为矿山地质环境质量评价，建立了矿山地质环境质量评价指标体系、评价等级、评价的数学模型等，设定并示范评价了某矿区六个矿山的地质环境质量等级，以及运用三种方法进行评价的过程，分析其评价结果的一致性和差异性，最后给出了西北地区矿山地质环境质量现状评价、预测评价和综合评价结果及其分区。第五章提出开发矿产资源也要遵循热力学的“熵增原理”，绿色矿业就是“趋利而避害”（熵增），“粗方式、掠夺式”开发实为“趋害而避利”（熵减），论述了西北地区矿产资源开发必须走绿色矿业之路的必要性和重要性，提

出了保护与修复矿山地质环境的对策与建议。第六章给出了建立区域矿山地质环境数据库的原则和方法，以及所建立的数据库的功能特点。第七章论述了编制矿山地质环境图件的基本要求、主要图件及编制方法。

在本书付印之际，衷心感谢中国地质调查局水环部殷跃平主任、张作辰处长的大力支持和业务指导，感谢国土资源部规划司鞠建华副司长、地质环境司陈小宁处长、刘建伟处长的指点，感谢中国地质环境监测院王瑞久研究员、张进德主任以及中国矿业大学武强教授的帮助，感谢提供资料的西北六省区国土资源厅地质环境处、矿产资源管理处以及矿山企业领导和工程技术人员，感谢武征、孙愿、赵子长等同志的先期工作，衷心感谢西安地质矿产研究所领导的大力支持。

全书由徐友宁主撰并统稿，同时执笔第三章、第五章，陈社斌执笔第二章，袁汉春执笔第四章，张江华执笔第六章，何芳执笔第一章和第七章。项目组李育敬、刘瑞平等为本书的完成做了许多工作。西北大学的岳乐平教授、长安大学李英教授对书稿提出了许多有益的建议，谨此深表谢意。

本书存在许多难尽人意之处，谬误也难免，有赐教者，将不胜感激。



2006年6月

目 录

序

前 言

1	区域概况与地质环境分区	(1)
1.1	社会经济	(1)
1.2	自然地理	(2)
1.2.1	地形地貌	(2)
1.2.2	水资源	(2)
1.2.3	气候	(4)
1.3	地质环境分区	(4)
1.3.1	秦岭山地型地质环境分区	(6)
1.3.2	黄土高原型地质环境分区	(6)
1.3.3	戈壁沙漠型地质环境分区	(7)
1.3.4	其他山地型地质环境分区	(8)
2	矿产资源开发利用现状	(10)
2.1	矿产资源及其分布	(10)
2.1.1	矿产资源概况	(10)
2.1.2	矿产资源分布特点	(11)
2.2	矿产资源开发利用现状	(16)
2.2.1	矿山经济概况	(16)
2.2.2	矿产资源开发利用现状	(17)
2.2.3	矿产资源开发效应	(18)
2.3	矿产资源开发中存在的主要问题	(20)
2.3.1	矿业结构不合理, 资源综合利用率低	(20)
2.3.2	矿山科技水平及“三率”指数有待提高	(21)
2.3.3	缺乏区域规划及合理布局, 矿业开发秩序混乱	(21)
2.3.4	资源储备不足, 后备资源短缺	(22)
3	西北地区矿山环境地质问题	(23)
3.1	矿山环境地质研究现状	(23)
3.1.1	矿山环境地质学沿革	(23)
3.1.2	矿山环境地质发展现状	(24)
3.1.3	需要加强研究的主要内容	(24)
3.2	矿山地质环境与环境地质	(25)

3.2.1	矿山地质环境	(25)
3.2.2	矿山环境地质	(26)
3.2.3	矿山环境地质问题	(27)
3.3	矿山环境地质问题分类	(29)
3.3.1	按矿山环境地质问题导致的结果分类	(30)
3.3.2	按矿产资源的工业类型分类	(33)
3.3.3	按开采加工方式分类	(33)
3.3.4	按矿山所处区域地质环境背景条件分类	(33)
3.3.5	按矿山地质环境可恢复程度分类	(33)
3.3.6	按矿山地质环境调查评价的时间段分类	(34)
3.3.7	按矿山环境地质问题发生时间分类	(34)
3.3.8	按矿山环境地质问题产生的空间位置分类	(34)
3.3.9	按矿山企业规模、性质分类	(35)
3.4	不同工业类型矿产开发的主要环境地质问题	(36)
3.4.1	油气类矿产开发中的主要环境地质问题	(37)
3.4.2	煤炭开发中的主要环境地质问题	(39)
3.4.3	金属类矿产开发中的环境地质问题	(45)
3.4.4	灰岩类矿产开发中的环境地质问题	(51)
3.4.5	卤水盐矿类开发中的环境地质问题	(52)
3.4.6	石材类矿产开发中的环境地质问题	(53)
3.4.7	磷硫类矿产开发中的环境地质问题	(55)
3.5	不同开采方式产生的矿山环境地质问题	(55)
3.5.1	地下开采矿山环境地质问题	(55)
3.5.2	露天开采矿山环境地质问题	(55)
3.5.3	水力开采矿山环境地质问题	(56)
3.6	不同地质环境分区的矿山环境地质问题	(57)
3.6.1	秦岭山地区矿山环境地质问题	(58)
3.6.2	黄土高原区矿山环境地质问题	(59)
3.6.3	戈壁沙漠区矿山环境地质问题	(60)
3.6.4	其他山地区矿山环境地质问题	(60)
3.7	不同规模企业矿山环境地质问题	(61)
3.7.1	国有大中型矿山环境地质问题	(61)
3.7.2	小型矿山环境地质问题	(61)
3.8	导致矿山环境地质问题严重的主要因素	(64)
3.8.1	矿山地质环境防治法律政策不够完善	(64)
3.8.2	矿山地质环境恢复治理资金投入不足	(64)
3.8.3	地质环境保护观念淡薄	(64)
3.8.4	区域生态环境脆弱因素	(64)
3.8.5	缺乏矿山生态环境恢复治理示范性工程	(65)

4	矿山地质环境质量评价	(66)
4.1	矿山地质环境质量评价	(66)
4.1.1	矿山地质环境质量评价的意义	(66)
4.1.2	矿山地质环境质量评价分类	(67)
4.2	矿山地质环境评价指标体系	(67)
4.2.1	评价指标的要求	(67)
4.2.2	评价指标体系	(68)
4.3	评价指标等级确定	(69)
4.4	地质环境质量评价流程	(72)
4.5	矿山地质环境质量综合评价模型	(72)
4.5.1	要素指标加权分值综合评价法	(72)
4.5.2	模糊数学多层次综合评判法	(73)
4.5.3	综合评价指标权值的确定	(74)
4.5.4	评价指标熵熵权加权综合评价	(76)
4.6	矿山地质环境质量综合评价举例	(76)
4.6.1	评价指标权值的确定	(80)
4.6.2	矿山地质环境质量综合评价	(88)
4.7	西北地区矿山地质环境评价	(96)
4.7.1	矿山地质环境历史及现状评价	(96)
4.7.2	矿山地质环境质量预测评价	(96)
4.7.3	矿山地质环境质量综合评价	(97)
5	西北地区矿业可持续发展的对策建议	(106)
5.1	矿山环境地质问题防治的紧迫性	(106)
5.1.1	矿山环境地质问题防治现状	(106)
5.1.2	矿山环境地质问题防治的紧迫性	(107)
5.2	加强矿山地质环境保护的法规建设	(110)
5.2.1	矿山地质环境保护法规建设的重要性	(110)
5.2.2	加强执法和监管力度	(110)
5.2.3	充分发挥公众监督作用	(111)
5.2.4	矿山环境地质问题防治资金	(112)
5.2.5	提高矿山地质环境保护的水平	(112)
5.3	绿色矿业是西北地区矿业可持续发展的必由之路	(113)
5.3.1	历史上矿产资源开发的三种模式	(113)
5.3.2	实现绿色矿业的主要途径	(114)
5.3.3	西北地区矿业可持续发展必走绿色矿业之路	(117)
5.4	矿山地质环境防治措施	(118)
5.4.1	提高矿产资源的综合利用程度	(118)
5.4.2	减少土地破坏和占压	(119)
5.4.3	矿山地面塌陷与复垦	(120)

5.4.4	水资源保护及水污染防治	(130)
5.4.5	矿山崩塌、滑坡灾害防治要点	(135)
5.4.6	抑制水土流失	(136)
5.4.7	预防矿区的沙漠化	(136)
5.4.8	尾矿库的预警措施	(138)
5.6	西北地区矿山地质环境防治建议	(139)
5.6.1	地质环境恢复治理原则	(139)
5.6.2	矿山地质环境恢复治理区建议	(139)
5.6.3	不同地域矿产资源开发地质环境防治建议	(144)
5.6.4	不同开采方式矿山地质环境防治建议	(144)
5.6.5	乡镇及个体矿山地质环境防治建议	(145)
6	区域矿山地质环境数据库	(146)
6.1	数据库的属性构建	(146)
6.1.1	基础数据的构建	(146)
6.1.2	属性结构的构建	(146)
6.1.3	图形、属性编辑	(146)
6.2	管理系统的功能	(147)
6.2.1	管理系统开发	(147)
6.2.2	系统特点	(147)
6.2.3	管理系统功能特点	(147)
7	矿山地质环境图件及其编制	(149)
7.1	图件的基本要求	(149)
7.2	主要图件及其类型	(149)
7.3	图件编制	(149)
7.3.1	矿山地质环境调查实际材料图	(149)
7.3.2	矿山环境地质问题现状图	(150)
7.3.3	矿山环境地质问题预测图	(150)
7.3.4	矿山地质环境防治与恢复治理图	(151)
7.4	存在的问题	(151)
	参考文献及资料	(152)

1 区域概况与地质环境分区

1.1 社会经济

中国西北地区（包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆五省区及内蒙古集宁—二连浩特以西地区）地域辽阔，面积近 $311 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占全国国土面积的三分之一。人口有 11720 多万，仅占全国总人口的 9.06%，其中少数民族占 20% 左右，除陕西省外，各省少数民族占总人口的比例均高于全国平均值 8%。

西北地区土地资源丰富，可利用土地 $86.71 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，其中可耕地占 21%，宜牧宜林占 79%，可灌溉面积近亿亩，热量和光照充足，发展农牧业有很大潜力。该区森林覆盖面积小，仅有 $11.34 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，覆盖率除陕西为 23% 外，青海、宁夏、新疆均不到 1%，全区平均为 2.5%。区内自然植被密度小、品种少，生长状态差，生态自然恢复能力差，生态环境脆弱。

西北地区经济水平整体较低，2003 年新疆人均 GDP 为 9768 元，超过了全国人均 GDP（9073 元/人），内蒙古人均 GDP 为 9035 元，与全国人均 GDP 接近，陕西、甘肃、宁夏、青海 4 省区人均 GDP 均低于全国人均 GDP（表 1-1），整个西北地区人均 GDP 为 7378 元，低于全国人均 GDP 的 18.68%。2003 年，全国完成治理工业污染投资 221.83 亿元，人均完成治理工业污染投资 17.17 元，这期间只有宁夏人均完成治理工业污染投资为 20.25 元，超过全国均值 17.17 元/人，其余 5 省人均完成治理工业污染投资均少于全国值，其中陕西最少，为全国均值的 8.3%（表 1-1），整体属于贫困地区。但西北地区资源丰富，人均占有资源量较多，发展潜力很大。全区石油、天然气、煤炭、有色金属、电力、化工、纺织、水泥等产业发展很快，其中矿业开发在该区国民经济中占有相当大的重，如 1999 年新疆矿业总产值占该区工业总产值的 33.8%，位居全国之首。矿业及相关工业成为西北地区经济发展的主要支柱。

表 1-1 2003 年全国和西北六省区国内生产总值及完成治理污染投资对比表

内容	全国	陕西	甘肃	宁夏	青海	新疆	内蒙古
人口/万人	129227	3690.0	2603.0	580.0	534.0	1934.0	2380.0
国内 GDP 生产总值/亿元	117251.9	2398.6	1304.6	385.3	390.2	1877.6	2150.4
人均国内 GDP 生产总值/元·人 ⁻¹	9073.0	6500.0	5012.0	6644.0	7307.0	9768.0	9035.0
完成治理工业污染投资/万元	2218281	5267.8	35739.6	11747.0	2403.0	26508.8	27697.9
人均完成治理工业污染投资/元·人 ⁻¹	17.17	1.43	13.73	20.25	4.50	13.71	11.64

资料来源：中国统计年鉴（2004）。

全区交通网络刚刚建成，铁路主要有陇海、兰新、兰青、包兰、宝成、宝中、西康、西榆等干线，青藏铁路将建成通车。公路网已基本形成，等级公路一般可达县市，而地方公路可达乡镇。

1.2 自然地理

1.2.1 地形地貌

西北地区在地形上位于中国阶梯状地貌的第一、第二阶梯之上。西南部的青藏高原，平均海拔在 4000m 以上，为第一阶梯。昆仑山和祁连山以北、以东的黄土高原和内蒙古高原海拔在 1000m 以上，为第二阶梯。山脉主要走向为北西向至近东西向，如西部的阿尔泰山、天山、昆仑山，西南部的巴颜喀拉山和唐古拉山，中部的阿尔金山和祁连山，东部的阴山，南部的秦岭，极个别为南北向，如贺兰山等。主要山脉之间分布巨大的内陆盆地，如塔里木、准噶尔和柴达木三大盆地及一些地堑型盆地，如河西走廊、银川、渭河盆地等。塔里木盆地北为天山山脉，南为昆仑山，东为阿尔金山，西为帕米尔高原，海拔 800 ~1300m，面积 $55.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，西高东低，由盆地边缘向中心，依次为戈壁、绿洲、沙漠，成环带状分布。准噶尔盆地海拔 500 ~1000m，面积 $22.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，东高西低，盆地中部多固定沙丘，南缘冲洪积扇构成较宽阔平原。阿尔金山和祁连山分别是青海柴达木盆地北缘、甘肃河西走廊南缘的分界。柴达木盆地海拔 2700 ~3000m，由盆地边缘至中心，依次有戈壁、丘陵、平原和湖泊分布。河西走廊为一狭长平地，平均海拔 1400m 左右，以东为阿拉善高原和鄂尔多斯高原，一般海拔 1000 ~2000m，沙漠草原广布。沿黄河及其支流渭河分布有一系列断陷盆地，主要有宁夏的银川盆地，面积 $0.65 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；河套盆地，面积 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；渭河盆地，面积 $1.91 \times 10^4 \text{ km}^2$ 等。东部地区的黄土高原以六盘山为界分为陇西黄土高原和陕甘宁蒙黄土高原，海拔平均 1000 ~2000m，为塬、梁、峁、沟、壑等独特的黄土地貌。

西北地区分布着我国主要沙漠区，如塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、库姆塔格沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠以及毛乌素沙漠等，决定了西北地区干旱性气候及水资源的特殊性。

1.2.2 水资源

水资源是人类赖以生存的基础自然资源，可开发利用的水资源包括地表水和地下水。地表水是由大气降水及地下水补给两部分汇入河川湖泊等形成的，其时空分布很不均匀，河流相对集中。西北地区地表水系发育，大致可分为内陆水系和外流水系两类。内陆水系主要分布在新疆、青海、甘肃等省，已命名的河流共 689 条，其中新疆 570 条、青海 63 条、甘肃 56 条，一般为短小的季节性溪流，仅在高山冰雪融水补给区，发育了一些长年内陆河流，如塔里木河、伊犁河、黑河、石羊河等。外流水系包括长江和黄河的上游及额

尔齐斯河。长江和黄河两大水系源头位于青海省南部，流经青海、甘肃、宁夏、陕西，流域面积近 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，黄河主要支流有湟水、大通河、渭河、泾河、洛河、无定河等，河网密度一般小于 0.3 km/km^2 。长江水系自源头段的沱沱河、通天河至汉江、嘉陵江及白龙江支流，流域内河网密度一般都超过 0.3 km/km^2 。额尔齐斯河发源于新疆阿尔泰山，注入北冰洋，国内流量约为 $103 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，主要支流有哈巴河、布尔津河、克郎河、卡拉额尔齐斯河等。西北地区地表水资源总量为 $2189.13 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，开发利用已超过 80%，进一步开发利用的潜力有限。

地下水资源是由降水入渗和地表水入渗补给形成的，其丰富程度与区域降水量有密切关系。而地形地貌和地质条件控制着地下水储水构造的形成，决定着地下水资源在相近气候条件下的丰富程度：强烈上升的山区基岩地区，地下水资源分布不均一，主要赋存于风化裂隙中，含水层薄，绝大部分地下水转化为地表水；黄土丘陵地区，地下水资源较为贫乏，无论是天然资源和开采资源都较贫乏，天然资源模数一般为 $(1.4 \sim 2.0) \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{a} \cdot \text{km}^2)$ ，陇西地区不足 $1 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{a} \cdot \text{km}^2)$ ，丘陵区西北部地下水水质较差，东南部较好，塬区较好，梁峁区较差，黄土塬区地下水资源相对较为丰富；广大的山区分布有众多的小型山间盆地或河谷平原，有较厚的松散堆积物，可形成地下水资源的丰富地段，但一般范围较小，资源总量有限；大型河谷断陷盆地面积在 1000 km^2 以上的有新疆塔城盆地、伊犁盆地、银川盆地、关中盆地和汉中盆地等，含水层厚度大，地下水资源丰富，资源模数都在 $20 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{a} \cdot \text{km}^2)$ 以上，地下水水质一般都较好；干旱内陆盆地边部的山前冲洪积平原，例如天山南北麓平原、祁连山山前平原、柴达木盆地南侧平原等，分布有巨厚的粗颗粒沉积物质，含水层厚度大，山区有较多的降水和冰雪融水量，形成地表及地下径流，补给山前平原地下水，天然资源和储存资源均很丰富，补给模数一般为 $5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{a} \cdot \text{km}^2)$ ，有利于地下水的开采，浩瀚的沙漠，地下水主要靠降雨下渗和凝结水补给，只要有足够的降雨量就会形成沙漠孔隙水，沙丘中的地下水一般水质较好，如巴丹吉林沙漠地下水矿化度小，沙漠下部的冲湖积层，由于接受周边地下水的侧向补给，往往形成有供水意义的承压含水层。西北地区地下水天然资源总量为 $1124.25 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，可采资源为 $471.04 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，在数量上虽比地表水资源少，但分布面积广，水量和水质相对稳定，受气候因素影响较小，其利用开发程度不足 25%，尚有较大的开发潜力。但

，地下水资源是经过数百年至数千年形成的，与地表水不同，应属不可再生资源类型，因此，必须贯彻可持续开采方针。

西北地区内陆湖泊众多，主要分布于青海、新疆两省区，以咸水湖和盐湖居多。新疆面积大于 1 km^2 的湖泊有 139 个，多为咸水湖和盐湖，只有少数吞吐型湖泊为淡水湖，如博斯腾湖、天池等。青海是我国著名的多湖省份，全省湖水总面积为 $1.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，湖水面积在 1 km^2 以上的天然湖泊近 300 处。内蒙古、甘肃、宁夏境内湖泊面积较小，多属咸水湖或盐湖，其中内蒙古的居延湖最大，面积近 50 km^2 。陕西境内多为淡水湖或咸水湖，陕西神木县境内红碱淖面积最大，为 46 km^2 。多年来，由于气候干旱、蒸发量大、降雨量少，加之人类生产活动的影响，导致区内大部分河流径流量减少，致使湖泊和周边的湿地面积日趋缩小，有些业已干枯，如罗布泊、台特马湖、玛纳斯湖、艾丁湖等区呈盐漠景观。青海湖是我国最大的内陆咸水湖，1956 ~ 1986 年，青海湖面积从 4589.3 km^2 萎缩到 4304.5 km^2 ，平均每年缩小 9.3 km^2 ，目前湖水面积约为 4200 km^2 ，最大水深约 29m。

西北地区的现代冰川也是十分重要的水资源类型。分布于昆仑山、天山、阿尔金山、祁连山等山脉中，冰川总面积约为 9838.85km²，占全国冰川面积的 17.47%。天山主峰托尔峰周围有我国最大的山体冰川，作为“固体水库”是内陆河流的主要补给源。

1.2.3 气候

西北地区的气候类型主要属干旱—半干旱型大陆气候，仅东部受夏季风的影响，属半湿润—湿润型季风气候，在秦巴山区，具有夏季高温、冬季严寒、年温差和日温差大的特点。自南向北、自东向西，东南亚季风影响迅速渐弱，而为干燥的中亚冬季风所控制，并受到高原气候的影响，从而形成了本区具有干旱型气候的基本特征。气候分区跨越了亚热带的秦岭山地、暖温带的陕西关中平原、温带半干旱半湿润的黄土高原、干旱—半干旱的内陆盆地和高原及高山区。区内平均气温和温差变化极大：阿尔泰山、天山、祁连山和青海南部等高山区年平均气温在 0℃ 以下，其余大多地区为 0℃~8℃；塔里木盆地和黄河河谷平原为 8℃~10℃，关中平原为 12℃~13℃；最高的是吐鲁番盆地，年平均气温 14℃，最高气温达 48℃，为全国最热的地区。

西北地区年降水量平均为 210mm，但时空分配极不均匀，总的变化趋势是自东南向西北逐渐减少。降水量最大的为陕西大巴山地区南部，年降水量大于 1000mm；最小的是塔克拉玛干沙漠，西部年降水量小于 50mm，中部小于 25mm；新疆的托克逊年降水量仅为 3.9mm。

地形对水量的影响十分显著，山区降水量较多，盆地中心较少。如新疆山区降水量占自治区降水资源总量的 84%，秦岭北麓年降水量达 800~900mm，天山南北麓和阿尔泰山降水量为 400~600mm。降水的季节分配明显，年降水量的 60%~80%集中在 6~9 月，具有季风性气候特征。区域降水量空间变化最大的是陕西陕南和陕北相差 566mm，其次内蒙古东西部相差 199mm，新疆南北相差 146mm。总体上，大致以延安—六盘山—天—同仁—玉树一线为界，其东南部降水量大于 500mm，而西北广大的内陆盆地和沙漠降水量大多小于 200mm。

西北地区的蒸发量与降水量的变化正好相反，蒸发量由东南向西北增大：陕西关中年蒸发量为 900~1200mm，陕北为 1000~1400mm，宁夏为 1400~2000mm，柴达木盆地为 2000~3500mm，阿拉善沙漠和内陆盆地中部可达 4000mm 以上。由此可见，西北地区绝大部分地区年蒸发量明显大于年降水量，个别地区蒸发量是降水量的数十倍。因此，蒸发量大是西北地区干旱气候的主要控制因素。

1.3 地质环境分区

西北地区地形复杂，地貌类型多样，有高原、中高山地、盆地和戈壁、沙漠等。考虑地形地貌、水资源、气候条件及植被发育等因素，以区域自然地理环境为基础，结合矿产资源分布以及区域环境地质问题，主要从影响矿产资源开发角度出发，将西北地区区域地质环境大致划分为秦岭山地型、黄土高原型、戈壁沙漠型及其他山地型等四个一级区（图 1-1）。

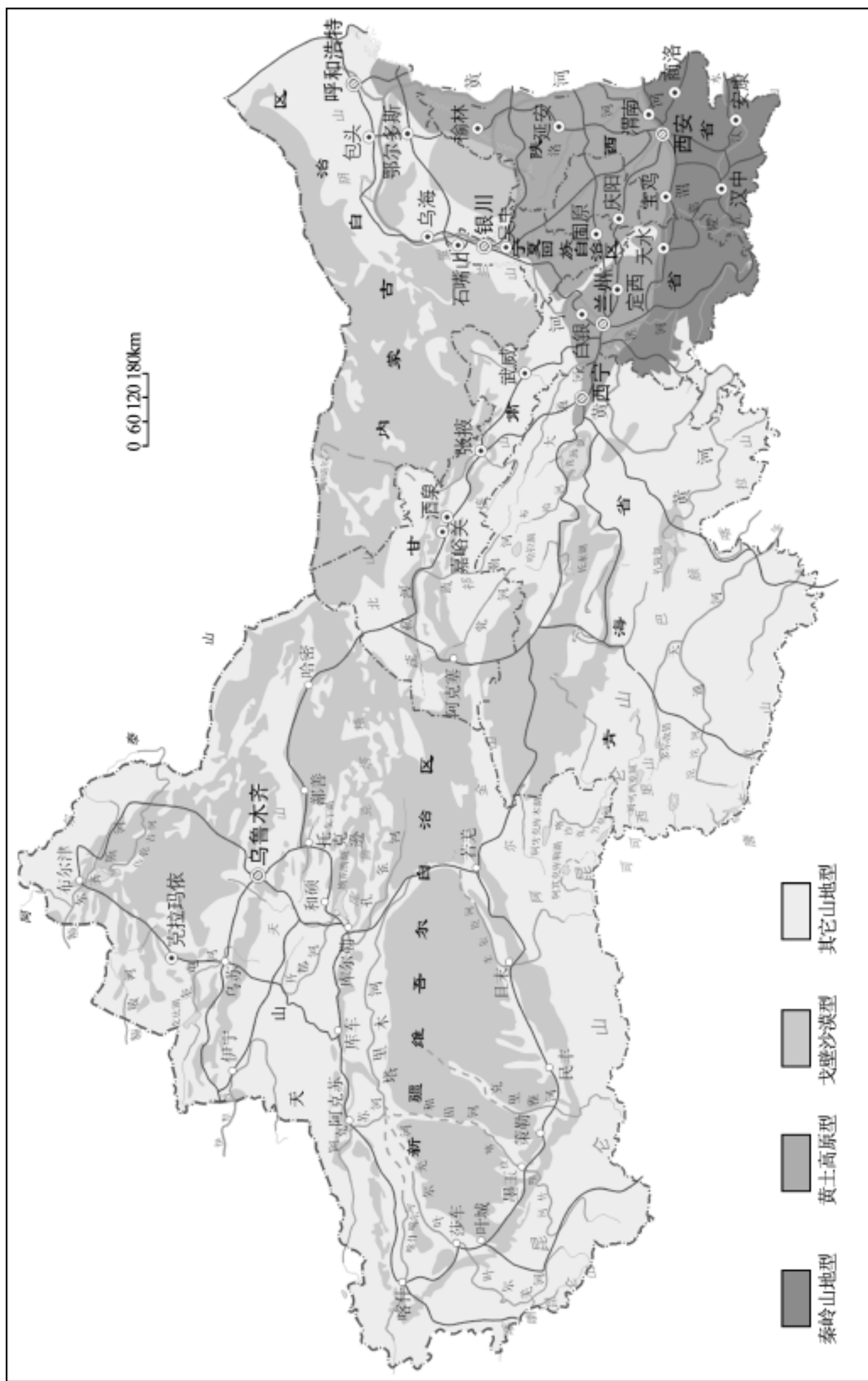


图 1-1 西北地区地质环境分区略图

1.3.1 秦岭山地型地质环境分区

秦岭山地型地质环境分区，位于西北地区的东南部，包括陕西省南部的秦岭、大巴山、米仓山，以及甘肃南部的中高山地，属季风性温湿气候，年降雨量为 600 ~1000mm，水资源相对丰富。地表水主要为长江流域的嘉陵江、汉江及其支流，地下水以基岩裂隙水为主。植被覆盖率高，植被类型多样，主属落叶阔叶林区。西部的陇南地区土地总面积为 27915km²，林地、草地分别占土地总面积的 39.09%、24.91%，林地覆盖率较高的有两县、徽县、康县、文县，分别为 72%、62%、63% 和 47%。东部秦岭秦巴山区森林覆盖率为 28.8%。然而，近年来随着人类活动加剧，对植被的破坏不断加大。据安康地区计，从 1949 年到 1985 年间，森林植被覆盖率由 36.5% 下降到 27%。该区汉江、嘉陵、白龙江等上游支流为水土流失严重区(陇南全区水土流失面积已达 15984km²，占土地面积的 67.3%，占甘肃省长江流域面积的 68%)。该区由于地形切割较深，降雨较大，是区域性崩塌、滑坡、泥石流地质灾害高发区，其中陕西凤县、城固、安康，甘肃舟曲、武都、文县以及西礼盆地为泥石流、滑坡、崩塌强烈发育区。

本区主要矿产为金属和非金属类固体矿产。金属矿产主要有金矿(如小秦岭地区金矿、凤县八卦庙金矿、太白县双王金矿、略阳县铍厂沟金矿、镇安县二台子金矿等)、铅锌矿(如成县厂坝铅锌矿、邓家山铅锌矿、洛坝铅锌矿，凤县铅硐山铅锌矿、银硐子银铅锌矿、八方山多金属矿、二里河铅锌矿、银母寺铅锌矿等)、汞锑矿(如旬阳县青桐沟汞锑矿、公馆汞锑矿以及文县崖湾锑矿等)以及略阳铁矿、煎茶岭铜镍矿床等。非金属矿产有建材、冶金、化工等类型，如汉中—安康地区建筑用水泥灰岩，饰面用瓦板岩、大理岩、花岗岩等，冶金用白云岩、化工用硫铁矿等。水泥灰岩有汉中市石堰寺石灰岩矿、镇安县海棠山石灰岩矿、西乡县盖仙寺石灰岩矿等。瓦板岩主要集中产于陕西省的紫阳、镇巴、平利等县，如紫阳县三胜寨瓦板岩矿等。饰面用大理岩如留坝县青桥铺大理岩矿等，冶金用白云岩如勉县阜川唐家湾白云岩矿、宁陕县平河梁白云岩矿等，化工用硫铁矿如西乡县五里坝硫铁矿、平利县凤凰尖黄铁矿区、镇安县月西硫铁矿等。

1.3.2 黄土高原型地质环境分区

黄土高原型地质环境分区，主要分布在陕西北部、甘肃东部、青海东部和宁夏南部，为沟、壑、梁、峁、塬地貌。黄土厚度一般不足 200m，不同地区其基底岩性不同，有古生代碳酸盐岩，中、新生代的砂岩、泥岩等，主要分布于高原周边及沟壑中。黄土高原位于半干旱气候区，年降水量一般小于 400mm，相对于西部干旱区，湿润度尚有利于自然植被恢复。历史上的过渡开垦，使原有的阔叶林已遭破坏，次生林保留的也不多。目前，仍有许多地方进行陡坡垦荒，成为水土流失严重区。水资源不足是黄土地区生态环境恶劣的主要因素，也是制约生态环境改善的一个至关重要的因素。区内地下水的赋存状态主要受构造和地貌条件的控制：在基岩隆起的山地，一般为基岩裂隙水、碳酸盐岩岩溶裂隙水，而在山前和盆地内一般为第四纪沉积物砂砾石潜水 - 承压水、中新生界碎屑岩类砂岩孔隙水。碳酸盐岩岩溶裂隙水主要存在于渭北台塬南部、甘肃平凉一带。岩溶地下水位标

高在 380 ~800m 之间。在广大黄土覆盖的地区存在有黄土潜水，由于地形切割强烈、沟壑纵横、降水入渗条件差，形成地表径流就近排泄于沟谷之中，地下水水位埋深大于 80m，仅在冲沟的洼地中有少量地下水，单井出水量小于 $10\text{m}^3/\text{d}$ ，这在极端缺水的地区是唯一的人畜饮用水源。六盘山以东黄土高原和陕北黄土高原南部为黄土塬区，黄土层厚度在 100 ~200m 之间，含水层主要位于中更新统黄土的古土壤及古钙结核及与第三系红层接触的界面中，埋深和富水性与塬面大小有关，塬面越大，埋深越浅，富水性越好，可作为当地人畜饮水及少量浇灌用水水源。陕北的油气、煤产地大多处于干旱缺水、水土流失严重区，矿山的开采活动，过渡使用有限的水资源，造成地下水位下降，致使水资源矛盾更为突出，生态环境问题已成为制约地区经济发展的主要因素。

本区的地质灾害主要为水土流失、土地沙化、滑坡、崩塌、泥石流等。陕西府谷—佳县、吴堡—白于山区无定河流域，甘肃陇西中部、渭河流域、祖厉河流域、临洮一带和陇东，宁夏彭阳、预旺和西吉葫芦河以西黄土丘陵地区、固原县清水河以东和西吉县北部，内蒙古鄂尔多斯市的准格尔旗、东胜市东部，呼和浩特市清水河县和林格尔县南部，为水土流失强烈、中强发育区。仅陕、甘两省每年因水土流失而输入黄河的泥沙量达 $13 \times 10^8 \text{t}$ ，大约占黄河泥沙量的 80%。大量的泥沙加剧了黄河河床地质环境的恶化。而陕西米—延安、铜川、蓝田、宝鸡为滑坡、崩塌强烈发育区，青海西宁—民和盆地为泥石流、滑坡、崩塌强烈发育区。

黄土高原区的主要矿产有石油天然气、煤炭和非金属矿产。油田主要有庆阳、靖边、安塞、吴旗、延川、富县等油田。大型煤矿主要有甘肃窑街煤矿、华亭煤矿，陕西渭北铜川—韩城煤矿（王石凹、焦坪、东坡、陈家山、下石节、黄陵店头等煤矿），以及神木县大柳塔、活鸡兔、哈拉沟、石圪台、榆家梁等煤矿，内蒙古的马家塔、补连塔、上湾等煤矿等。非金属矿产主要为水泥用灰岩类、水泥配料用黄土等，大型矿山有陕西耀县宝鉴山石灰岩矿、五台山黄土矿，铜川市崖窑沟石灰岩矿、库当沟黄土矿，甘肃永登县大闸子水泥用灰岩矿、平凉市三道沟石灰岩矿。

1.3.3 戈壁沙漠型地质环境分区

戈壁沙漠分区的地貌类型包括戈壁、沙漠、沙地，及周边的低山丘陵，共同构成了干旱内陆盆地。区内主要有新疆的三大盆地（准噶尔、塔里木和吐哈盆地）、河西走廊、青海柴达木盆地、宁夏银川盆地及陕西北部地区和内蒙古西部的阿拉善地区等。根据水动力条件和地貌形态，可将盆地分为两种类型：一种是汇流型盆地，地表水和地下水由四周山地向盆地中心汇集，如准噶尔盆地、塔里木盆地和柴达木盆地；另一种是单斜式盆地，地表水和地下水由一侧山地向平原区径流，如河西走廊。塔里木盆地和准噶尔盆地主要接受来自周边山区的 5700 多条河流补给，但近年来由于上游过量用水、水库截留蓄水，造成下游河床干枯、湖泊萎缩、水体咸化，致使沙漠化加剧。而灌区则因地下水位升高，土壤严重盐渍化。各大盆地中心的沙漠区降水稀少，蒸发量大。年平均降水量由东部的毛乌素沙漠东南部的 400mm，向西北逐渐减少，内蒙古阿拉善地区为 50 ~150mm，新疆塔克拉玛干沙漠中部已减至 25 mm 以下。与此同时，蒸发量又不断增大，柴达木盆地蒸发量为 2000 ~3500mm，阿拉善沙漠和内陆盆地中部可达 4000mm 以上。致使植被生存条件更加

恶化，形成大量的戈壁滩和流沙区。西北地区沙漠总面积为 $49.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占全国沙漠总面积的 69%。戈壁总面积为 $41.75 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占全国的 73.3%。戈壁沙漠中除小面积绿洲外，大部分土地无法利用。

本区的地质灾害主要有荒漠化，表现为土地沙化、盐渍化和草地退化等。准噶尔、塔里木盆地、腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、毛乌素沙地等及其周边地区为土地沙化强烈发育区；柴达木盆地东部为沙漠化、盐渍化强烈发育区。塔里木河中上游水资源过度开发，致使下游缺乏涵养水源，河流长时间处于断流状态，致使天然胡杨林和人工林大量死亡。准噶尔盆地因人为砍伐林木，梭梭灌木林面积减少了 68% 以上。新疆全境草地的退化和沙漠化面积已达 $21.33 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占草地面积的 37.2%。青海度以上草地退化面积已达 $7.33 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占草地总面积的 20.1%。宁夏灵武磁窑堡—白土岗和盐池局部，中卫北部、陶乐等区域土地沙化发育强烈。据陕西、宁夏两省（区）初步统计土地沙化面积达 $1.93 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。由于土地沙化，使许多良田和绿洲被风沙淹没。鄂尔多斯高原的神府东胜矿区，土地沙化、荒漠化面积已超过 $4.17 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占全区面的 86% 以上。

本区主要矿产有石油天然气、煤炭以及非金属盐类等，如新疆克拉玛依油田、塔里木油田、吐哈油田，青海柴达木石油天然气以及甘肃玉门油田等。宁夏石嘴山、陕蒙接壤地区的煤炭资源。甘肃、新疆戈壁区金属矿产主要为有色金属、黑色金属及稀有金属，如甘肃省白山堂铜矿、公婆泉铜矿、辉铜山铜矿，新疆黄山铜镍矿、鄯善县梧桐沟铁矿、哈密市天湖铁矿、哈密市磁海铁矿。盐类矿产如青海省察尔汗钾镁盐矿等。

1.3.4 其他山地型地质环境分区

包括天山、阿尔泰山、昆仑山、阿尔金山、祁连山、阴山及三江源头山区，海拔大部分在 2000m 以上，属中高山区。区内山高、坡陡、谷深、岩石裸露。该区位于我国温带荒漠带内，为干旱—半干旱气候区，年降水量可达 200 ~ 400mm，是西北干旱地区相对湿度较大的区域。降水形式多为暴雨，在植被稀疏的环境下，存储能力差，因而恢复再生能力也较差。阿尔泰山、天山、昆仑山、阿尔金山、祁连山、阴山等山区地下水主要为裂隙水，富水性一般，泉流量小于 1L/s，单井涌水量多小于 $100 \text{ m}^3 / \text{d}$ ，山区降水入渗形成的裂隙潜水，经短距离地下径流大多排泄至沟谷中。山区沟谷汇集的地面径流和地下径流出山口后大量渗漏补给盆地地下水，因此盆地周边的山区是盆地地下水的重要补给源区。

本区的主要地质灾害有滑坡、崩塌、泥石流、冻融、土地盐渍化、草地退化等。新疆天山、昆仑山为泥石流、滑坡、崩塌强烈发育区，巴颜喀拉山区为冻融强烈发育区，新疆阿尔泰山区为雪崩强烈发育区。长江和黄河上游地区生态环境非常脆弱，崩塌、滑坡、泥石流等产生大量的碎屑松散物后，加剧了水土流失；青海“三江”源头及新疆阿尔泰山砂金开发区水土流失亦较严重。

区内矿产主要为金属和非金属。金属矿产如甘肃省金川铜镍矿、白银铜矿、镜铁山铁矿，内蒙古四子王旗白乃庙铜矿、白云鄂博铁矿，新疆富蕴县蒙库铁矿、喀拉通克硫化铜镍矿等。非金属类矿产种类齐全，化工、冶金、建材类非金属均有。水泥用灰岩如宁夏青铜峡市水泥用灰岩矿，新疆乌鲁木齐市艾维尔沟水泥用灰岩矿、吐鲁番市桃树园子水泥用