

前 言

能源资源是国民经济和社会发展的重要物质基础，攸关国计民生和国家安全，是须臾不可忽视的“国之大者”。党的十八大以来，习近平总书记多次对提升能源资源保障能力和加强矿产资源勘查开发做出重要论述和指示批示，创造性地提出“四个革命、一个合作”能源安全新战略，强调“能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题”“矿产资源勘查开发事关国计民生和安全”，要求转变能源资源利用方式，全面提高能源资源利用效率，为新时代我国能源资源高质量发展提供了根本遵循。

党中央、国务院高度重视能源资源开发利用和安全保障工作，多次就能源资源开发利用和绿色转型发展进行顶层设计和战略部署。“十四五”规划纲要明确指出“推进能源资源一体化开发利用”“加强战略性矿产资源规划管控，提升储备安全保障能力，实施新一轮找矿突破战略行动”，要求“加快发展方式绿色转型，提高矿产资源开发保护水平”。党的二十大报告强调“提升战略性资源供应保障能力”“确保粮食、能源资源、重要产业链供应链安全”，提出“推进各类资源节约集约利用”“加强煤炭清洁高效利用，加大油气资源勘探开发和增储上产力度”。2024年，党的二十届三中全会审议通过《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》，进一步提出“完善战略性矿产资源探产供储销统筹和衔接体系”“完善资源总量管理和全面节约制度”“健全煤炭清洁高效利用机制”等多项改革任务，为新征程深化能源资源改革指明了方向。

为贯彻落实习近平总书记重要指示批示精神和党中央、国务院决策部署，各地各部门相继部署一系列扎实举措。2022年，国家发展和改革委员会、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》，指出“积极扩大非常规资源勘探开发，加快页岩油、页岩气、煤层气开发力度”。自然资源部等部门与省级部门协同发力，全力推动新一轮找矿突破战略行动，助推我国能源资源保障能力持续提升。2024年9月，国家发展和改革委员会等部门发布《关于加强煤炭清洁高效利用的意见》，提出“加强煤与煤层气、战略性金属矿产等共伴生资源综合勘查”“加强煤与共伴生资源协同开发”，同时要求“统筹矿井水综合利用”“煤矸石分质分类利用处置”。主要产煤省份也相继出台政策文件以加快发展煤炭与共伴生能源资源开发利用。2022年，内蒙古自治区人民政府印发《内蒙古自治区矿产资源总体规划(2021—2025年)》，强调“加强锗、铝等煤系共伴生资源的评价、综合勘查，促进资源优质优用、梯级利用、综合利用”“综合开发利用煤共伴生资源，保护性开发准

格尔矿区富铝煤，推动粉煤灰提取氧化铝示范项目建设”。2023 年，山西省人民政府办公厅印发《关于煤系地层矿产资源综合开发的意见》，提出“全面推进综合勘查”“合理推进共伴生矿产出让”“统筹推进综合开采”，积极推进综合利用和积极探索新机制新模式等政策措施，推动“煤炭开采与利用方式变革，构建煤炭与共伴生矿产资源一体开发新格局”。2024 年，陕西省自然资源厅等七部门发布《关于持续推进绿色矿山建设的通知》，强调“加大政策支持力度”“煤炭开采企业抽采的煤成(层)气免征资源税”“开采共伴生矿、低品位矿、尾矿减免征资源税”。

近年来，全球经济艰难前行，国际地缘政治局势动荡，贸易保护主义蔓延，关键矿产资源的重要性日益凸显。随着新一轮科技革命和产业变革步伐加快，新兴产业发展、能源转型和碳中和目标等驱动关键矿产需求快速增长。国际能源署(IEA)数据显示，2024 年，全球锂需求同比增长近 30%，镍、钴、石墨和稀土等处于 6%~8% 的高位增长区间。然而，重要矿产资源，特别是战略性矿产资源具有储量有限、分布不均、产能集中等特点，产业链供应链安全极易受地缘政治事件或市场波动影响。为抢占未来产业高地，全球主要国家和地区持续出台发展关键矿产及供应链的法律法规及政策，将关键矿产提升至国家战略层面，以保障矿产资源供应安全。澳大利亚于 2023 年发布《2023—2030 年关键矿产战略》，更新了《关键矿产清单》，优先支持关键矿产项目；2025 年通过《澳大利亚未来制造法案 2025》，为 31 种关键矿产的加工与精炼活动提供 10% 的税收抵免。2024 年，美国通过《关键矿产一致性法案》，扩大了关键矿产范围，将美国能源部列出的关键材料正式纳入关键矿产的法律定义；欧盟通过《关键原材料法案》，列出了 34 种关键材料，旨在确保欧洲工业关键原材料的安全和可持续供应，增强战略自主性，大幅降低对单一国家的依赖。早在 2016 年，我国就将包括石油、天然气、煤炭、煤层气等能源矿产，以及铁、铝、锂等金属矿产共 24 种矿产确定为战略性矿产。2025 年 7 月 1 日起施行的《中华人民共和国矿产资源法》从法律上构建了全面系统的矿产资源安全保障体系，将保障国家矿产资源安全作为重中之重。

随着社会经济的快速发展，我国已成为全球矿产资源最大的生产国、消费国、进口国，矿产资源总产量占全球总量的近 30%，超过 30 种矿产消费量位居全球第一，2024 年矿产品进口总额达 7.6 万亿元。作为全球第二大经济体，我国能源资源消费总量巨大。主要能源矿产方面，2024 年全国能源消费总量 59.6 亿 tce，煤炭消费量占能源消费总量的比例为 53.2%，石油表观消费量 7.56 亿 t，天然气表观消费量 4260.5 亿 m³；大宗金属矿产方面，铁矿石消费量超过 14 亿 t，铝土矿消费量超过 2 亿 t。与此同时，战略性新兴产业的快速发展推高了对重要矿产资源的需求。作为全球最大的锂电池生产国和消费国，我国锂消费量约 85 万 t 碳酸锂当量，全球占比约为七成；钴消费量约 12.26 万 t，约占全球钴消费的 60%。近年

来,我国加强矿产资源综合勘查开发工作,突破矿产资源综合利用技术,有力促进了矿产资源增储上产,提高了国内矿产资源保障能力。然而,受现有资源禀赋限制,我国矿产资源长期自给能力有限,对外依存度较高,供需矛盾突出,石油、天然气、铀、铁、铬、铜、锂等战略性关键矿产储量和产量明显不足,24种战略性矿产中有21种依赖进口。面对国际形势日益复杂和新兴产业迅猛发展的态势,亟须加强矿产资源综合勘查、综合评价、开发利用,提高矿产资源自给能力,有效抵御矿产资源供应风险。

我国矿产资源丰富,共伴生矿床多,超六成的矿产伴生程度大于50%,利用前景可观,对保障矿产资源供应安全具有重要作用。我国煤炭资源丰富,在形成过程中富集大量共伴生矿产资源,具有种类多、分布广泛、储量丰富、利用价值高等特点,在目前已发现的173种矿产中,有85种矿产与煤系共伴生或直接相关联。煤系共伴生矿产资源不仅赋存保障国家能源安全的煤层气、铀等能源矿产,还共伴生稀土、镓、锗、锂、铌、钼等战略性金属,以及高岭土、耐火黏土、硅藻土、膨润土和石墨等非金属矿产。因此,加强煤与共伴生能源资源的综合勘查评价和一体化绿色开发利用前景广阔,是提高资源综合利用水平、实现煤炭行业高质量发展的重要举措,对支撑战略性新兴产业发展,保障国家能源资源安全供给具有重大意义。2025年,“煤炭与共伴生能源资源一体化开发技术”入选中国科学技术协会发布的2025十大工程技术难题,彰显了煤炭与共伴生能源资源开发利用在弥补战略矿产短缺、提升资源开发效益、支撑绿色低碳转型中的核心战略价值。

整体来看,我国煤系共伴生能源资源矿产开发利用水平稳步提升,取得了一定的积极成效,已成为矿业经济发展和资源供应保障的重要组成部分。例如,煤与煤层气、煤与高岭土等协同开发实现规模化生产,镓、锗、锂等战略性金属元素提取技术取得突破,多种共伴生非金属矿产已经生产利用。然而,我国煤炭与共伴生能源资源一体化开发利用整体上仍处于探索发展初期阶段,在理念认知、体制机制、技术工艺、经济性等方面还有诸多挑战,距离实现一体化绿色开发还存在一定差距。迫切需要开展煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发战略研究,从理念更新、机制完善、技术突破到效益优化等方面系统化构建全链条协同解决方案,为破解一体化开发利用中的核心瓶颈、释放煤系共伴生资源战略潜力、保障国家能源资源安全与煤炭行业高质量发展提供顶层设计与实施路径支撑。

本书以中国工程院战略研究与咨询项目成果为背景,以我国能源资源安全保障和煤炭与共伴生能源资源高效绿色开发的现实需求为基础,界定煤炭共伴生能源资源核心概念与分类体系,在深入剖析煤炭与共伴生能源资源一体化开发的战略背景、资源概况、开发现状及存在突出问题的基础上,建立一体化开发的技术经济评价模型及指标体系,提出煤炭与共伴生能源资源一体化开发的战略蓝图、

目标路径及技术体系,进一步提出矿权制度优化、共探共采机制、科技创新投入等政策保障措施,以期为我国煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发提供理论支撑与实践指引。

全书共分八章,第一章从国家重大战略需求、能源资源供需现状、能源资源未来需求趋势三方面,剖析煤炭与共伴生能源资源一体化开发的宏观战略背景,阐述一体化开发的重要性、必要性与紧迫性,明确研究的现实依据。第二章从概念与分类、能源资源特征、赋存分布状况三方面,界定煤炭共伴生能源资源的核心概念与分类标准,分析其资源特征与赋存规律,构建一体化开发研究的基础认知框架。第三章为开发现状与存在问题。一方面,从煤-能源矿产开发、煤-金属矿产开发利用、煤-非金属矿产开发利用、煤-水矿产开发利用四方面,系统梳理煤炭与共伴生能源资源的开发利用现状;另一方面,从政策体系和体制机制、关键技术及核心装备、规模化开发的经济性、环境保护与生态修复、专业人才培养五方面,精准识别一体化开发过程中存在的突出问题,明确研究需突破的核心方向。第四章首先分析国外煤炭与共伴生能源资源协同开发案例;其次聚焦国内案例,分别从煤炭与能源矿产协同开发、煤炭与金属矿产协同开发、煤炭与非金属矿产协同开发、煤炭与水协同开发四维度,总结不同类型协同开发的实践经验,为后续研究提供实践支撑。第五章构建一体化开发的评价模型,明确开发模式分类与指标体系设计,针对煤炭与煤层气开发、煤-铝-镓-锂开发、煤-铝土矿-其他矿产开发三类典型场景,开展技术经济性分析,为一体化开发战略的制定提供量化依据。第六章提出一体化开发的战略蓝图,明确总体战略目标与阶段目标,规划涵盖资源综合勘查、矿区系统规划、绿色协同开发、建设运营协同、探索合作新机制五大战略路径,形成统领一体化开发实践的顶层设计。第七章分协同勘查技术、协同开发技术、绿色低碳技术三大技术体系阐述能源资源一体化相关技术。第八章从矿权制度优化、共探共采机制、激励兼容机制、科技创新投入、复合型人才五方面,提出推进煤炭与共伴生能源资源一体化开发的政策保障措施,为战略与技术体系的落地提供制度支撑。

本书各章节编写人员如下。前言:康红普、王保强、陈佩佩、蒋招梧。第一章:康红普、王双明、谢和平、张亚宁、焦小森;第二章:任辉、宁树正、严晓云、黄少青、陈子瞻、张艳、王安建、张亚宁;第三章:康红普、王保强、陈佩佩、蒋招梧、张亚宁;第四章:康红普、张亚宁、刘跃东、黄炳香、赵兴龙、李全生、方杰、张凯;第五章:赵毅鑫、王兵、张亚宁、杨青帅、陆峰、巴昭璐、李德超、温家奇;第六章:康红普、任世华、张亚宁、郑德志、任仰辉、焦小森;第七章:康红普、黄炳香、赵兴龙、韩晓克、吴占伟、王保强、陈佩佩、张亚宁、焦小森;第八章:康红普、王双明、谢和平、王保强、陈佩佩、蒋招梧;全书由康红普、王保强、陈佩佩、蒋招梧、张亚宁统稿,康红普审定。

本书得到中国工程院战略研究与咨询项目“煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发战略研究”(2023-XZ-19)的资助。本书的出版得到中国工程院、中国煤炭科工集团有限公司、中国煤炭地质总局、中国矿业大学(北京)、中国矿业大学、中国地质科学院等单位的大力支持;在资料收集和现场考察过程中,得到国家能源集团、中国核工业集团有限公司、晋能控股装备制造集团等单位的支持;洪伯潜院士、张铁岗院士、彭苏萍院士、袁亮院士、刘炯天院士、蔡美峰院士、凌文院士、顾大钊院士、武强院士、金智新院士、王国法院士、陈湘生院士、葛世荣院士、潘一山院士、赵跃民院士等,以及吴吟、刘峰、张宏、杨仁树、王家臣、王佟、郭焦锋、贺佑国、刘见中、王虹、王海军、雷毅、吴拥政、梁运涛、吴立新、王洪磊等专家在项目研究过程中给予了无私帮助与指导,在此一并表示衷心的感谢!



2026年5月

目 录

前言	
第一章 煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发的战略意义	1
第一节 国家重大战略需求	1
一、中央政策顶层设计	1
二、部委及地方政策响应	2
第二节 能源资源供需现状	4
一、能源资源消费特征	4
二、能源资源绿色开发现状	4
三、能源资源自给能力评估	5
第三节 能源资源未来需求趋势	7
一、煤炭一定时期仍为主体能源	7
二、油气需求仍有增长	9
三、战略性矿产资源成为新需求增长极	10
第二章 煤炭共伴生能源资源概况	13
第一节 概念与分类	13
一、科学定义	13
二、分类体系	13
第二节 能源资源特征	15
一、资源丰度与分布	15
二、经济价值潜力	17
第三节 赋存分布状况	19
一、总体分布情况	19
二、典型矿产分布特征	28
第三章 煤炭与共伴生能源资源开发现状与存在问题	44
第一节 开发利用现状	44
一、煤-能源矿产开发	44
二、煤-金属矿产开发	46
三、煤-非金属矿产开发利用	48
四、煤-水矿产开发利用	49
第二节 存在的问题	50

一、政策体系和体制机制尚不健全完善·····	51
二、关键技术及核心装备亟待攻关研发·····	51
三、规模化开发的经济性仍需提升·····	52
四、环境保护与生态修复挑战严峻·····	52
五、专业人才培养滞后·····	53
第四章 典型案例分析·····	54
第一节 国外煤炭与共伴生能源资源协同开发·····	54
一、煤基资源回收稀土·····	54
二、煤炭与特种金属隔离开采·····	56
三、铀污染原位修复·····	56
第二节 煤炭与能源矿产协同开发·····	58
一、成庄矿煤炭与煤层气协同开发·····	58
二、塔然高勒矿煤-铀协同开发·····	63
三、大保当井田富油煤开发·····	68
四、新街台格庙矿区煤与天然气协同开发·····	70
第三节 煤炭与金属矿产协同开发·····	76
一、准格尔矿区煤-铝-镓-锂协同开发·····	76
二、吕梁县煤-铝-铁-镓协同开发·····	81
第四节 煤炭与非金属矿产协同开发·····	84
一、鲁塘矿区煤炭与石墨一体化开发·····	84
二、查干诺尔矿区煤炭与石墨一体化开发·····	87
第五节 煤炭与水协同开发·····	90
一、神东矿区矿井水开发利用·····	90
二、榆神矿区煤-水-热共采及高矿化度矿井水处理技术·····	97
第五章 煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发技术经济性评价·····	107
第一节 煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发模式·····	110
一、煤炭与共伴生能源资源同时开采：煤与瓦斯协同开采·····	110
二、煤炭与共伴生能源资源前后开采：先抽采瓦斯，再进行煤炭开采·····	111
三、煤炭与共伴生能源资源产业链开发：粉煤灰中提取铝、镓、锂资源·····	112
第二节 煤炭与共伴生能源资源一体化开发经济评价体系·····	113
一、项目经济评价指标体系·····	113
二、考虑时间价值的煤炭与共伴生能源资源开发项目动态评价模型建模思路·····	116
第三节 煤炭与煤层气一体化绿色开发经济评价·····	118
一、煤炭与煤层气一体化绿色开发模式识别·····	119
二、煤炭与煤层气一体化绿色开发技术经济评价关键参数·····	120

三、煤炭与煤层气一体化绿色开发技术经济评价实例分析	123
四、煤炭与煤层气共采效果评价	126
第四节 煤-铝-镓-锂一体化绿色开发经济评价	126
一、煤-铝-镓-锂一体化绿色开发经济评价关键参数	126
二、煤-铝-镓-锂一体化绿色开发技术经济评价实例分析	129
三、煤-铝-镓-锂一体化绿色开发效果评价	130
第五节 煤-铝土矿-其他矿产一体化绿色开发经济评价	131
一、煤-铝土矿-其他矿产一体化绿色开发经济评价关键参数	132
二、煤-铝土矿-其他矿产一体化绿色开发技术经济评价实例分析	133
三、煤-铝土矿-其他矿产一体化绿色开发效果评价	134
第六章 煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发战略	135
第一节 战略蓝图	135
第二节 战略目标	136
一、总体目标	136
二、阶段目标	137
第三节 战略路径	138
一、资源综合勘查：筑牢一体化绿色开发的地质基础	138
二、矿区系统规划：构建科学高效的开发布局	139
三、绿色协同开发：践行生态优先的开发理念	139
四、建设运营协同：提升产业链整体效能	140
五、探索合作新机制：激发一体化绿色开发内生动力	140
第七章 煤炭与共伴生能源资源一体化绿色开发技术体系	141
第一节 协同勘查技术	141
一、煤系能源资源共伴生富集规律	141
二、资源综合评价技术	142
三、环境承载力评价技术	145
四、煤炭与共伴生能源资源数字化勘查技术	146
五、煤炭与共伴生能源资源协同勘查技术	149
第二节 协同开发技术	153
一、共性科学问题	153
二、分区错时原理	154
三、协同开发模式	156
四、协同开发方式	159
五、水位调控技术	162
六、协同开发矿产类型及工艺与设备的兼容技术	165

七、安全相关技术	166
八、环境影响协同控制技术	167
九、生物协同开发技术	169
十、煤炭原位生物制氢技术	171
十一、深部煤与煤层气物理流态化共采技术	173
十二、化学协同采矿技术	174
第三节 绿色低碳技术	176
一、生态低损勘查技术	176
二、生态保护开采技术	179
三、多源固废处置与利用技术	182
四、矿区水资源保护及生态环境修复技术	183
五、沉陷区治理及利用技术	186
六、废弃矿井资源协同开发与利用技术	187
七、矿井全生命周期生态环境天-地-井监测及预报技术	188
八、二氧化碳封存技术	190
九、煤矿区 CO ₂ 驱替煤层气技术	194
第八章 政策保障	197
第一节 矿权制度优化	197
第二节 共探共采机制	197
第三节 激励兼容机制	198
第四节 科技创新投入	198
第五节 复合型人才培养	199
参考文献	200

第一章 煤炭与共伴生能源资源一体化 绿色开发的战略意义

矿产资源是国民经济和社会发展的重要物质基础，事关国计民生和国家安全。推进能源资源一体化绿色开发是践行资源节约集约利用国家战略、培育绿色低碳发展新动能和保障国家能源资源安全的重要举措。我国是全球最大的矿产资源生产国、消费国和进口国，虽然我国矿产资源种类丰富，但各类矿产资源储量和结构不均衡，多个关键矿种对外依存度较高。未来一定时期内，煤炭仍将是我国的主体能源，油气需求也仍有增长，战略性新兴产业的蓬勃发展推动战略性关键矿产成为新的需求增长极。我国煤炭资源丰富，在形成过程中富集大量共伴生矿产资源，具有种类多、分布广泛、储量丰富、利用价值高等特点。加强煤炭与共伴生能源资源的综合勘查评价和一体化开发是提高资源综合利用水平的重要举措，对支撑战略性新兴产业发展、保障国家能源资源安全供给具有重大意义。

第一节 国家重大战略需求

一、中央政策顶层设计

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确提出“推进能源资源一体化开发利用”“提高矿产资源开发保护水平，发展绿色矿业，建设绿色矿山”。此后，党中央、国务院多次在重大会议和重要文件中从多个角度对能源资源一体化绿色开发利用做出重要指示。

党的二十大报告中指出“实施全面节约战略，推进各类资源节约集约利用”。习近平总书记在中央财经委员会第九次会议上强调“要把节约能源资源放在首位，实行全面节约战略”。《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》提出“健全生态环境治理体系，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”。《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》提出“牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念……协同推进降碳、减污、扩绿、增长，维护国家生态安全，抓好生态文明制度建设，以高品质生态环境支撑高质量发展，加快形成以人与自然和谐共生现代化为导向的美丽中国建设新格局，筑牢中华民族伟大复兴的生态根基”。《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意

见》提出“加强资源节约集约高效利用。完善资源总量管理和全面节约制度，加强水、粮食、土地、矿产等各类资源的全过程管理和全链条节约”“加强矿产资源勘查、保护和合理开发，提高开采效率，加强低品位资源利用”。一系列顶层政策从能源资源节约集约利用、绿色低碳发展的角度对能源资源一体化绿色开发利用提出新的要求。

能源资源安全是国家安全的重要基石，我国资源禀赋与能源需求持续增长的矛盾决定了必须通过一体化开发破解供给瓶颈。2021年10月，习近平总书记在考察调研胜利油田时强调“要发展实体经济，能源的饭碗必须端在自己手里”。2023年7月，习近平总书记在江苏考察时指出“能源保障和安全事关国计民生，是须臾不可忽视的‘国之大者’”。2025年7月，习近平总书记在山西考察时强调“要在扛牢国家电煤保供责任前提下，推动煤炭产业由低端向高端、煤炭产品由初级燃料向高价值产品攀升，同时着眼于高水平打造我国重要能源原材料基地，配套发展风电、光伏发电、氢能等能源，构建新型能源体系”。习近平总书记关于能源资源安全的重要论述深刻阐释了推进能源资源一体化开发利用、保障能源资源安全稳定供应对经济社会平稳健康发展的重要意义。

二、部委及地方政策响应

各部委和地方政府紧密衔接国家顶层设计，陆续出台专项实施方案、下位规划和指导意见等，细化实施路径、探索差异化场景创新等，形成了“中央统筹、部委协同、地方落地”的能源资源一体化绿色开发多层次政策体系布局。

2021年，自然资源部会同有关部门，围绕加强重要能源矿产资源国内勘探开发和增储上产，全面启动新一轮找矿突破战略行动，重点提出亟须开展难选冶、共伴生矿产综合利用技术攻关，在共伴生、难选冶矿产综合利用新技术方面寻求突破，切实提升矿产资源节约与开发综合利用水平，盘活、释放、新增一批矿产资源。随后，自然资源部陆续印发《在新一轮找矿突破战略行动中做好部分战略性矿产共伴生、低品位资源再评价工作方案》《在新一轮找矿突破战略行动中做好部分战略性矿产共伴生、低品位资源再评价技术要求》等，并在2024年1月启动部分战略性矿产共伴生及低品位资源再评价工作，加快摸清资源家底、促进增储上产、提高矿产资源供应保障能力和资源节约集约开发利用水平。2024年4月，自然资源部等七部门联合印发《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》，提出到2028年底，绿色矿山建设工作机制更加完善，持证在产的90%大型矿山、80%中型矿山要达到绿色矿山标准要求。2024年9月，国家发展和改革委员会等部门印发《关于加强煤炭清洁高效利用的意见》，提出“加强煤与煤层气、战略性金属矿产等共伴生资源综合勘查”“加强煤与共伴生资源协同开发”。2024年7月，自然

资源部印发了《矿产资源开发利用方案编制指南》，明确综合考虑矿床的规模和品位、矿产资源开发的可行性，采矿技术条件和成本等，在开采主要矿种的同时，对具有工业价值的共生和伴生矿产进行综合开采、合理利用。

山西、安徽、辽宁、河南及内蒙古等地也出台文件，推动煤炭开采利用方式变革，构建煤炭与共伴生矿产资源一体化开发新格局，提升优势矿产资源综合利用水平，加快矿山绿色低碳发展。2022年1月，山西省自然资源厅印发《山西省全面推进绿色矿山建设指导意见》，提出“到2025年底前，全省部、省级发证矿山达标率95%以上”“基本建成管理规范、节约高效、环境优美、矿地和谐的绿色矿业发展新格局”。2022年3月，安徽省发展和改革委员会、安徽省能源局印发《安徽省煤炭工业发展“十四五”规划》，提出加强低品位、共伴生矿产资源的综合利用。2022年8月，内蒙古自治区人民政府印发《内蒙古自治区矿产资源总体规划(2021—2025年)》，提出强化对具有工业价值的共伴生矿产的利用，在技术可行、经济合理的条件下，必须综合回收。2023年3月，辽宁省自然资源厅发布实施《辽宁省绿色矿山建设专项规划(2021—2025年)》，科学设定了6项预期性目标：到2025年底前，要实现全省新建矿山投产1年后100%进入项目库；有效生产绿色矿山建成率达到75%；绿色矿山建成数量要达到420个；出台全省绿色矿山管理办法；在省内要树立20个绿色矿山典范企业；制定省级菱镁矿绿色矿山建设规范。2023年3月，山西省人民政府办公厅印发《关于煤系地层矿产资源综合开发的意见》，制定了“全面推进综合勘查”“合力推进共伴生矿产出让”“统筹推进综合开采”“积极推进综合利用”等政策措施，特别提出“煤炭勘查项目要统筹共伴生矿产资源勘查，提交煤和共伴生矿产资源综合勘查实施方案，并按照相应矿种勘查规范实施勘查”。2023年9月，河南省自然资源厅印发《关于进一步完善矿产资源勘查开采登记管理的通知》，“鼓励现有采矿权人开展综合勘查和综合利用工作”“允许现有矿山(砂石土类矿产除外)在矿区范围内以及垂直投影的上下部，按照相关原则开展综合勘查工作，对共伴生矿产资源应当综合回收利用，涉及需要进行出让收益处置的，按照有关规定办理”。2024年12月，陕西省自然资源厅等七部门联合印发《关于持续推进绿色矿山建设的通知》，提出“到2026年底，新建、改扩建、生产矿山全部开展绿色矿山建设，绿色矿山建设格局基本形成，持证在产的50%大中型矿山要达到绿色矿山标准要求。到2028年底，绿色矿山建设工作机制更加完善，持证在产的90%大型矿山、80%中型矿山要达到绿色矿山标准要求”。2025年1月，山西省人民政府印发《山西省加快经济社会发展全面绿色转型行动方案》，提出“提高绿色煤炭供给能力”“到2028年底，持证在产的90%大型矿山、80%中型矿山达到绿色矿山标准”。2025年3月，山东省自然资源厅等八部门联合印发《山东省绿色矿山建设管理办法》，明确进一步

规范绿色矿山的建设与申报、评估与核查、监督与管理等工作，加快推动山东省矿业绿色、高质量发展。

第二节 能源资源供需现状

一、能源资源消费特征

我国是世界上最大的矿产资源消费国，全球统计的 40 种矿产资源中，我国有 30 多种矿产消费量居世界第一，其中，战略性关键矿产消费总量居世界第一位，锂、钴、稀土消费量分别占全球总消费量的 65.9%、42.8%和 57.0%^[1,2]。

我国经济从高速增长阶段逐步转向高质量发展阶段，矿产资源消费结构正在从传统大宗矿产向新能源关键矿产转变。消费结构转型是当前我国矿产资源消费最显著的变化，呈现“传统大宗稳规模、新能源矿产提占比”的鲜明特征。煤炭、铁矿石等传统大宗矿产的消费总量已趋于稳定或进入下降通道。而服务于新能源、新一代信息技术、高端装备制造等战略性新兴产业的战略性关键矿产需求呈现爆发式增长。锂、钴、镍作为动力电池的核心原料，其消费量随着新能源汽车产业的蓬勃发展而急速攀升；稀土因其独特的磁、光、电性能，在永磁电机、军工装备、精密仪器等领域不可或缺；此外，用于半导体芯片的高纯石英、铟、镓等矿产的战略地位也日益突出。我国矿产资源消费的重心正从“黑色”重化工业向“绿色”高科技产业加速转变。

伴随着我国基础设施建设水平不断提升、城市化率持续提高、百姓住房持续改善和社会财富快速积累，我国重要大宗矿产资源消费增速已经开始放缓，战略性新兴产业的蓬勃发展对战略性关键矿产正在形成巨大需求。长期来看，除煤炭、铁矿等少数矿产消费将在“十五五”期间进入峰值平台区外，铜、铝等大部分矿产消费仍将增长，锂、钴、镍等发展清洁能源所需的战略性矿产需求仍将快速增长。

二、能源资源绿色开发现状

近年来，随着绿色发展理念在矿业行业日益深入人心，我国矿业领域迎来前所未有的变革。矿山绿色开发在转变资源利用方式、提高资源利用效率、协调资源开发与生态保护关系、推进企业履行社会责任等方面取得明显成效，推动矿业迈向高质量发展新台阶。

从 2017 年国土资源部等六部门联合印发《关于加快建设绿色矿山的实施意见》开始，到 2024 年自然资源部等七部门联合印发《关于进一步加强绿色矿山建

设的通知》，7年间，绿色矿山建设的相关政策在不断调整中日臻完善。在政策引导下，经过多年实践探索，我国绿色矿山制度体系不断健全，标准体系初步建成，示范引领作用显著。绿色矿山建设推动绿色逐步成为矿山高质量发展的鲜明底色，稳步提升了矿产资源开发利用质量和效益。资源消耗低、环境污染少的绿色矿业发展新局面正在形成。根据全国绿色矿山名录管理信息系统公布的国家级绿色矿山名录(截至2025年3月底)及《自然资源部关于将辽宁首钢硼铁有限责任公司翁泉沟硼铁矿移出国家级绿色矿山名录的公告》(2025年第26号)、《自然资源部关于将辽宁铁法煤业(集团)有限责任公司晓明矿移出国家级绿色矿山名录的公告》(2025年第29号)等相关资料，截至2025年8月，全国已建成国家级绿色矿山超过1000家，省级绿色矿山超过3100家。绿色矿山数量较2020年翻番，矿山吨矿综合能耗平均下降18%，矿井水重复利用率超过90%，在煤炭与金属矿石产量稳中有降的情况下，产业增加值反而同比增长7.5%。

煤炭是我国的主体能源，“双碳”目标下，我国煤炭行业绿色低碳转型持续推进，建成国家级绿色矿山282座，取得了显著成效。煤矿开采工艺和装备水平明显提升。露天矿工艺设计持续优化，标准规范不断完善，开采工艺正由单斗-卡车间断工艺向半连续、连续工艺转变，且逐渐向综合开采工艺方向发展。在井工矿开采上，充填开采、煤与瓦斯共采、无煤柱开采等煤炭绿色开采技术得到推广，煤炭资源回收率显著增加。矿区生态修复治理效果显著，通过在矿区生态重建理论方面的探索与实践创新，涌现出一批绿色矿山建设样板。呼伦贝尔大草原深处的伊敏露天矿通过腐殖土回收、地下水恢复、放坡覆土、恢复植被物种等治理手段，实现“开矿不见矿、矿在美中藏”；黄土高坡上的平朔矿区坚持同步规划、同步实施、同步发展，形成了“剥离、开采、回填、复垦”一体化绿色矿山建设模式；青藏高原海拔高处的木里矿区通过构建水系连通、引水代填，让多年的开采“伤疤”实现两年见绿。2024年，煤炭原煤入洗率达到68%，大型矿区煤矸石综合利用率、矿井水综合利用率、土地复垦率分别达到74.1%、74.2%、57%，大型煤炭企业原煤生产综合能耗、原煤生产综合电耗分别下降到7.9kgce/t、23.7kW·h/t。

在国家和地方出台的绿色矿山政策支持下，我国能源资源绿色开发水平持续提升，取得了很大成绩，但在政策体系、企业内生动力、经济效益等方面仍存在许多问题与挑战，全面提升生态治理水平、加快能源资源绿色低碳开发利用依然需要久久为功。

三、能源资源自给能力评估

我国是全球最大的矿产资源生产国和进口国，矿产资源总产量占全球总量的近30%，拥有全球最大矿产资源产业规模，总产量和总产值均为世界第一。全国

矿石年开采总量(原矿量)超过 300 亿 t, 煤、钨、锡、锑、钼、金、稀土、磷、钒、钛、铀、锆、镓、石墨等的产量多年保持全球第一。我国虽然矿产种类丰富, 但各类矿产资源储量规模和结构不均衡, 储量在全球的占比远低于消费量, 赋存条件较为复杂, 多个关键矿种对外依存度较高, 煤炭、稀土等少数几个矿种的资源优势与大多数战略性矿产国内供应短缺并存, 整体自给能力有限。

我国矿产资源赋存条件复杂, 大型单一富矿不足, 共伴生、低品位矿多, 多数矿产资源呈“贫、细、杂”的特性, 开发利用难度大, 技术工艺装备要求高, 建设投资和生产经营成本相对较高, 导致大量难利用矿产资源处于“呆滞”状态, 无法动用。在目前已发现的 173 种矿产中, 有 85 种与煤系共伴生或直接相关联, 80%以上矿床由 2~10 种元素组成, 给开发、选冶等带来较大困难。不仅铀、镓、锆、铍、铋、钴和稀土元素等稀有、稀土和分散元素主要以共伴生矿产形式出现, 铁、铜、铅、锌、金、银、萤石、重晶石、硫、磷等大宗矿产品以共伴生形式产出同样很多, 以铅、锌为例, 在其总储量中, 单一矿分别仅占 2%和 1%, 以其为主的矿占 48%和 34%, 而共伴生矿的储量占 50%和 65%。总体看, 超六成的矿产伴生程度大于 50%^[3]。

相较于我国矿产资源消费量全球 32%的占比, 我国矿产资源储量占比相对较低, 仅占全球的 7%。虽然主要矿产的资源储量在开发强度持续加大的情况下总体保持增长, 但不少矿产的储量增幅有所下降, 优质储量不足, 部分矿产增储上产乏力或有下降趋势^[4]。除钨、钼、锑、锡、稀土、钒、钛、石墨、萤石、钽等矿产外, 我国大多数常用矿产资源储量全球占比均低于 20%, 尤其是石油、天然气、铜、铝、钴、镍等全球占比不足 5%。此外, 品位下降现象日趋显著, 部分矿产资源品质随开采深度增加而逐步降低, 同时资源分布的不均衡性使得部分地区过度开采, 而其他地区资源却未能得到有效开采利用, 优质资源逐渐耗竭^[5]。在我国已知铜矿资源中, 品位超过 0.4%的矿床已基本得到大规模开发, 剩余矿床品位普遍较低, 且伴有较多的共生矿, 开采经济价值相对较低。近年来, 一批始建(改、扩建)于 20 世纪 50~60 年代的国有大中型骨干矿山陆续进入中晚期, 产能逐渐下降。根据中国地质科学院矿产资源研究所的统计, 2011~2024 年, 我国探矿权数量从 3.6 万个减少至 1.2 万个, 采矿权数量更是从 10.1 万个减少至 3.0 万个。资源供需矛盾依然十分突出, 与建设矿业强国和保障国家能源资源安全供给要求差距还很大。

我国矿产资源对外依存度较高。2024 年, 我国进口原油 5.53 亿 t、天然气 1.32 亿 t, 对外依存度分别达 71.9%和 43.6%。在大宗矿产品中, 除煤炭外, 其他大部分矿产资源均较为短缺, 铁矿石、铜、铝土矿、钾盐的对外依存度在 50%以上。特别是对我国国防安全、经济安全和战略性新兴产业发展起至关重要作用的战略

性矿产资源，供应缺口日益增大，进口数量不断增多，国内矿产资源保障能力呈持续减弱趋势。24 种战略性矿产中有 21 种依赖进口，石油、锂、铜、铬、镍、钴等 12 种战略性关键矿产对外依存度超过 70%。俄乌冲突、巴以冲突等事件加快了全球地缘政治格局重塑，更增加了我国能源资源安全供应风险。以锂资源为例，全球近 90% 的锂需经马六甲海峡运输至中国，该海峡一旦局势紧张，供应链可能面临“中断”风险。此外，中欧班列途经的乌克兰顿巴斯地区、中缅油气管道所在的东南亚区域，均存在潜在的地缘冲突隐患。

第三节 能源资源未来需求趋势

一、煤炭一定时期仍为主体能源

煤炭是我国能源安全的“稳定器”和“压舱石”，在很长一段时期内将发挥重要兜底保障作用。我国能源禀赋以煤炭为主，其储量占化石能源储量的 94.22% (图 1-1)^[6]，是我国相对丰富的能源，也是自主可控的能源。

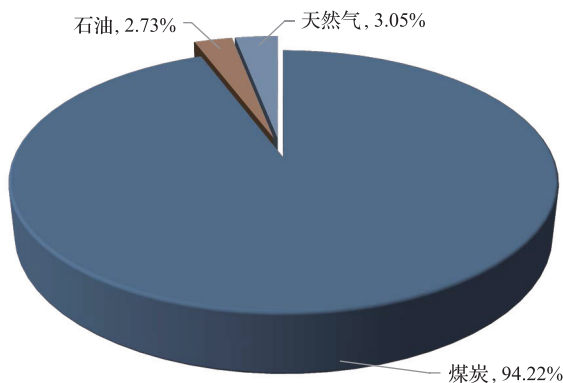


图 1-1 中国化石能源储量构成^[6]

煤炭在我国能源生产和消费结构中长期占主导地位。“十四五”以来，我国新增煤炭产能 6 亿 t/a 左右，煤炭产量年均增长 4.5%^[7]。2024 年，全国原煤产量达 47.8 亿 t，同比增长 1.2%，占全国一次能源生产总量的 66.6%。国内煤炭自给率始终在 90% 以上，原煤占我国一次能源生产总量的比例始终保持在 65% 以上。煤炭消费超预期增长，由“十三五”时期的每年 40 亿 t 左右提升至 2024 年的近 50 亿 t，年均增长 5% 以上。煤炭对我国能源安全的兜底保障作用进一步凸显。尽管风电、太阳能等可再生能源装机容量持续增加，但煤电仍是我国电力供应的坚实保障力量。2024 年，煤电机组保持安全高效运行，全年累计发电 6.3 万亿 kW·h，以占全国 35.7% 的装机规模贡献了全国 54.8% 的发电量。

践行能源安全新战略,加快规划建设新型能源体系,煤炭要继续为国家能源安全兜“三重底”^[8-11]。

一是为化石能源进口兜底。我国油气对外依存度持续居于高位,在国际能源博弈和地缘政治冲突不断加剧的背景下,化石能源进口安全风险增加,进口一旦受到严重影响,要求煤炭快速弥补供应缺口。从油气进口来看,全球油气供应链重构风险加剧、油气进口安全风险增加。我国通过中俄(东北)油气通道、海上油气通道增加了俄罗斯和美国石油、天然气的进口。俄罗斯已成为我国第二大石油供应国和第三大天然气供应国(管道气和液化天然气),但是,俄乌冲突加大了全球能源市场对俄油气出口限制的悲观预期。同时,自2019年我国将从美国进口液化天然气的关税从25%降低到10%以来,我国对美国液化天然气的进口量呈现快速增长趋势,2021年美国成为我国第二大液化天然气供应国。然而,中美关系由“战略合作伙伴”转为“战略竞争对手”,中美将长期处于“缠斗”状态,中美能源合作也持续承压,我国油气进口风险呈增大趋势。在中美关系复杂多变、地缘政治格局动荡调整的新形势下,国际油气市场存在一定的风险因素,我国油气安全保障面临的挑战不断加大。若马六甲海峡禁航将导致我国原油进口量减少3.6亿~4.2亿t,超过我国年度原油需求量的50%。从煤炭进口来看,我国煤炭进口主要来源于印度尼西亚、澳大利亚及俄罗斯。2022年1月印度尼西亚煤炭出口禁令影响我国当月煤炭进口的60%。2023年恢复澳大利亚煤炭进口,煤炭进口量达到4.74亿t,同比增长61.8%,比2020年增加1.7亿t^[12]。俄乌冲突、巴以冲突、伊以摩擦等地缘政治热点问题持续发酵,不排除国际能源博弈和地缘政治冲突还会发生的可能性,一旦进口受限,需要国内煤炭立即补缺。

二是为可再生能源出现波动兜底。在“双碳”目标下,我国将大力发展可再生能源,而可再生能源具有间断性和波动性,其出力年际波动最大超过20%。在储能技术实现突破和大范围推广应用之前,需要火力发电削峰填谷。近年来,我国可再生能源开发利用规模稳居世界第一,为能源绿色低碳转型提供强大支撑。发电装机实现快速增长,水电、风电、光伏发电、生物质发电稳居全球首位。随着可再生能源快速增长,风电和光伏发电的年均新增装机继续保持较高的水平。据预测,到2030年,全国可再生能源电力装机容量将占全国总装机容量的60%左右。可再生能源装机规模快速增长,电力系统对各类调节性资源需求迅速增长,为保证能源安全稳定供应,必须增加煤炭供给调节能力。

三是为能源消费超预期增长兜底。从发展趋势看,我国经济基础稳、优势多、韧性强、潜能大,长期向好的支撑条件和基本趋势没有变,但仍面对外部压力加大、内部困难增多的复杂严峻形势,经济增长的不确定性和波动性加大了能源需求的波动性,能源需求总量超预期增长部分大多由煤炭补充。2024年,全国能源

消费总量达 59.6 亿 tce,同比增长 4.3%,而 2020 年能源消费总量同比增长仅 2.2%。在可再生能源、油气已按最大能力供应的情况下,能源需求总量超预期增长只能由煤炭来补充。在百年未有之大变局、国际地缘政治动荡、中美战略竞争博弈愈演愈烈的背景下,我国经济增长不确定性增大,必将进一步传导到能源需求不确定性。据国务院发展研究中心估算,“十四五”期间,我国经济的潜在增长率为 5%~5.5%。在我国整个能源体系中,油气潜力有限、新能源供应不稳定,一旦出现经济增速超预期,必然会出现能源消费超预期增长的情况,届时只能由煤炭来补充能源缺口。宏观经济形势变化导致需求波动,煤炭需求变化或将更加明显。

可以预见,较长时期内煤炭仍是我国主体能源。随着碳达峰碳中和积极稳妥推进,煤炭在我国能源消费结构中的占比将持续下降,但煤炭消费量仍将保持稳定或略有增长,其他能源暂不具备大规模替代煤炭的条件,经济社会发展仍然需要较大的煤炭生产和消费来支撑,甚至在 2035 年之前,我国煤炭消费量很难有大幅度下降。

二、油气需求仍有增长

当前,我国石油消费的平台期特征日渐明显,天然气消费重新步入中高速增长轨道。我国石油和天然气消费量将分别在 2025~2030 年、2035~2040 年达峰,峰值为 7.9 亿~8.0 亿 t、6200 亿 m³。

2024 年,我国石油表观消费量 7.56 亿 t,成品油消费总量 3.9 亿 t,同比下降 1.7%,成品油消费由升转降。随着经济结构调整、能效水平提升以及交通运输方式和用能结构的演变,我国石油石化市场进入变革重塑期,石油需求增长动能转变,呈现“成品油降、化工用油增”的特点。

根据中国石化集团经济技术研究院有限公司 2025 年发布的《中国能源展望 2060(2025 年版)》,我国石油消费将在 2025~2030 年达到峰值,化工用油增长是主要托举因素。2024 年,我国近 20 年以来第二次出现石油消费下降。有三种原因造成石油消费下降:一是国内房地产仍处于深度调整的探底期,国内大循环不畅,使得制造业与工业领域供需失衡,有效需求依然不足,对经济增长的支撑边际作用减弱。二是中国的汽车工业发展阶段进入增长后期,汽车保有量已超 200 辆/千人,保有量增速由 2020 年前的 10%左右下降至当前的 3%~5%,其中燃油车保有量增速仅为 2%,呈现出明显拐点特征。三是新能源和液化天然气汽车迅猛发展,加速替代汽柴油车,导致成品油消费提前达峰。

预计“十五五”期间,我国石油消费总量将维持在 7.7 亿 t 以上的峰值平台期。新能源汽车开启对传统燃油车存量市场冲击,2025 年燃油车保有量达峰,交通用

油小幅下降。多套乙烯装置投产,拉动化工用油持续增长,抵消成品油消费下降。

“十五五”期间,国内经济恢复程度、新能源汽车发展速度及化工项目投产情况决定了石油消费在一个平台期内上下波动的幅度和峰值出现的时点,预计峰值规模在 7.9 亿~8.0 亿 t。2030 年之后,随着化工用油增长放缓和达峰下降,我国石油消费总量的下降速度将逐步加快。预计 2030~2040 年,年均下降 2%左右,化工用油增长抵消部分交通用油下降,化工用油占比基本与交通持平;2040~2050 年,年均下降 4%左右,交通和化工用油呈现双双下降趋势,化工用油占石油消费一半左右;2050~2060 年,年均下降 5%左右,在循环再生、CO₂ 资源化利用等技术应用下,化工用油呈现快速下降,2060 年石油消费降至 3 亿 t 以下。

我国人口基数大、产业链完整,是世界第二大经济体,工业化、城市化仍有较大发展空间,这些因素共同影响着我国未来天然气消费增长趋势^[13]。

近中期,天然气需求已重新步入中速增长的轨道。我国天然气市场具备强大的韧性。随着可再生能源的快速发展和碳达峰目标的压力增大,以及进口天然气成本的下降,天然气在小锅炉、小窑炉治理等方面将继续发挥重要作用。预计到 2030 年,天然气消费量将达到约 5690 亿 m³,占一次能源消费的比例约为 10.6%。

中远期,天然气的主要替代空间将被电力所占据,而氢能也将在部分应用场景中取代天然气,从而削弱天然气需求的增长动力。建材、轻工业等行业的工业小锅炉散煤治理工作已基本完成,剩余的可替代空间相对有限,这将导致天然气需求增长放缓,并逐渐进入平台期。随后,一些原本使用天然气的行业将逐步转向电能替代,同时氢能技术取得突破,在难以脱碳的领域加速渗透,如氢能重卡、工业氢燃料等规模将不断扩大,天然气需求将进入下行阶段。

我国天然气消费结构将继续呈现多元化、多层次的发展趋势。各类天然气消费领域将根据自身特点和市场需求,实现稳定增长或快速发展。其中,工业和发电领域将成为天然气消费最具发展潜力和影响力的部门。在工业领域,天然气作为煤炭的减量替代需求增长迅速,特别是在一些积极推动工业“煤改气”的地区,这一趋势尤为明显。而在发电领域,天然气的利用同样至关重要,尤其在气电调峰保供方面发挥着重要作用。

预计我国天然气需求将在 2035~2040 年达峰,峰值约为 6200 亿 m³,届时将占一次能源消费的比例为 11.4%。到 2060 年,天然气消费量仍将保持在约 4200 亿 m³,占一次能源消费的比例约为 9%。

三、战略性矿产资源成为新需求增长极

2023 年,习近平总书记在四川、黑龙江等地考察调研时提出,要整合科技創新资源,引领发展战略性新兴产业和未来产业,加快形成新质生产力。战略性新兴产业是以重大技术突破和重大发展需求为基础,对经济社会全局和长远发展具