

院士科普书系

大地中的宝藏

——实说中国矿产资源

程裕淇 朱裕生 宋国耀 著

清华大学出版社
暨南大学出版社

(京)新登字 158 号

图书在版编目 (CIP)数据

大地中的宝藏——实说中国的矿产资源/程裕淇,朱裕生,宋国耀
著.—北京:清华大学出版社;广州:暨南大学出版社,2001.12

(院士科普书系/路甬祥主编)

ISBN 7-302-04959-9

.大... .程... 朱... 宋... .矿产资源—概
况—中国 . P617.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 079819 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

暨南大学出版社(广州天河,邮编 510630)

<http://www.jnu.edu.cn>

责任编辑: 卓支中

印 刷 者: 印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 6 字数: 113 千字

版 次: 2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04959-9/G·229

印 数: 0001~0000

定 价: 0.00 元

《院士科普书系》编委会(第二届)

编委会名誉主任 周光召 宋 健 朱光亚

编委会主任 路甬祥

编委会委员 (两院各学部主任、副主任)

陈佳洱 杨 乐 闵乃本 陈建生 周 恒

王佛松 白春礼 刘元方 朱道本 何鸣元

梁栋材 卢永根 陈可冀 匡廷云 朱作言

孙 枢 安芷生 李廷栋 汪品先 陈 颢

王大中 戴汝为 周炳琨 刘广均 杨叔子

钟万勰 关 桥 吴有生 刘大响 顾国彪

陆建勋 龚惠兴 吴 澄 李大东 汪旭光

陆钟武 王思敬 朱建士 郑健超 胡见义

陈厚群 陈肇元 崔俊芝 张锦秋 刘鸿亮

方智远 旭日干 周国泰 王正国 赵 铠

钟南山 桑国卫

编委会执行委员 郭传杰 常 平 钱文藻 罗荣兴

编委会办公室主任 罗荣兴(科学时报社)

副主任 周先路(中国科学院学部联合办公室)

白玉良(中国工程院学部工作部)

蔡鸿程(清华大学出版社)

周继武(暨南大学出版社)

总 策 划 罗荣兴 周继武 蔡鸿程

总 责 任 编 辑 周继武 蔡鸿程 宋成斌

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有 6000 余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起,是人类文明的发源地。

15 世纪之前,以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期,中国的科学技术在世界上一直领先长达 14 个世纪以上。在那个时期,影响世界文明进程的重要发明中,相当部分是中华民族的贡献。

后来,中国逐渐落后了。中国为什么落后?近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答:中国落后,是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌,更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命,通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了 80 多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了 50 年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的发展中大国里,再用 50 年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

的目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。

1999 年 12 月 23 日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是 20 世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来,生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力;而“科学技术是第一生产力”,因此,科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看,人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

知识经济时代,知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本,不仅仅是一种物质的形态,知识同时还是一种精神的形态。知识,首先是科学技术知识,将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域,同时还将渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说,在新的历史时期,一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的

大事。

对于我们科技工作者来说,我们的工作应当包含两个方面:发展科技与普及科技;或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作,不仅是普及科学知识,更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下,1998年春由科学时报社(当时叫“中国科学报社”)提出创意,暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划,会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部,共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月,中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子,《院士科普书系》编委会正式成立,各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”,在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”,得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里,有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议,开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题,普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物,于科技知识中融入人文教育,不是一件容易的事。不少院士反映:写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中,科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题,科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言,指出科普是科教兴国的基础工程,勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识”,充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视,对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程,成熟一批出版一批;另一方面随着科学技术的进步和创新,不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此,《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程,不但需要院士们积极投入,还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议,帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量,使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面,我们也要以此为起点为开端,参与国际竞争与合作,勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

作 者 的 话

人口、资源、环境是当今世界面临的三大问题。矿产资源是自然资源的一部分,是我国在社会主义市场经济条件下现代化建设的重要物质基础。这是制约一个国家经济、社会发展的重要因素,标志着一个国家的国力大小。当前和近期内,我国社会生产所需的 80% 的原材料和 94% 左右的能源来自矿产资源,而其需求量还将不断增长。这就要求我们正确认识矿产资源的一些基本特征,充分了解我国矿产资源的形势和开发利用中的问题,掌握我国主要矿产资源类别、特征及其分布,这样才便于我们以地区的矿产特色为基础规划地区经济的发展,并针对我国矿产资源赋存条件方面与开发利用中存在的问题,提出一些改进措施或解决问题的建议,力争实现最大限度地合理开发利用。所有这些,既是研究我国矿产资源问题者涉及的领域和课题,也是广大读者所关心和要求了解的知识性问题。

本书正是针对上述的客观要求而编写的。这本小册子包括 4 章。第 1 章简要介绍有关矿产资源的一些基本知识。第 2 章先对我国矿产资源的基本情况(含基本地质特征)、它在国民经济中的地位及其对国民经济发展的保证程度作概括论述,再对我国 10 类矿产的资源情况、地质特征与富集区分布进行较全面的介绍。第 3 章在扼要叙述我国矿产资源

分布的区域特征的基础上,立足于矿产资源对地区经济发展起到重要导向作用的观点,综合考虑地区内矿产资源的具体情况、开发利用现状及其发展趋向与远景等因素,简要论述了我国三个经济地带的 9 个二级矿产资源经济区的区域发展背景、发展方向。第 4 章列述了我国矿产资源开发利用中存在的几个基本问题(包括具体资源条件和矿床地质特征所导致的与开发过程中产生的问题),并提出了针对性改进意见。

本书侧重于实际资料的引用分析,其中涉及地质特征或现象的,一般仅作必要的阐明,不进行理论探讨。其主题集中到矿产资源的综合开发利用跟国民经济持续发展的关系上。

全书的编写提纲由程裕淇、朱裕生共同议定。朱裕生写成初稿,再由程裕淇统编并进行删简或修改;宋国耀负责编写过程中的具体工作。书中所引用的,大部分为 1994 年底的统计数据,也有一部分是 1998 年底的地质资料。

限于作者在收集和分析资料方面的局限性,难免有疏漏和不足之处,恳请读者指正。

程裕淇

2000 年 5 月

目 录

1	认识矿产资源	1
1.1	矿产资源	2
1.2	矿产	3
1.3	成矿作用	13
2	我国矿产资源现状	16
2.1	我国矿产资源的基本情况	18
2.2	我国矿产资源在国民经济中的地位	23
2.3	我国矿产资源对国民经济发展保证程度的 估计	25
2.4	我国矿产资源分类概述	27
3	我国矿产资源经济区	85
3.1	我国矿产资源分布的区域特征	86
3.2	矿产资源经济区	96
4	我国矿产资源的合理开发利用及其 稳定供应的对策	113
4.1	矿产资源开发利用面临的基本问题	114

4.2	依靠科学技术进步合理利用和开发	
	矿产资源	120
4.3	实现矿产资源稳定供应的对策	126
参考文献		130
附录 A 名词解释		132
附录 B 矿石矿物的合理利用		137

1

认识矿产资源

矿产资源是自然资源的一部分。它是大自然赋予人类的宝贵财富,是我国社会主义现代化建设的重要物质基础。当前和近期内,我国社会生产和发展所需 80% 左右的原材料,以及 94% 左右的能源,均来自矿产资源,而其需求量还在不断增长。

人类社会的生产力发展史,实际上也包含着—部开发利用矿产资源等自然资源的历史。科学技术的进步和社会需求的多样化,使得开发利用矿产资源的范围不断扩大,矿产品种类也不断增多。

矿产资源具有自然资源和经济资源的基本特征,除少数矿产可以人工合成外(像

我国社会生产和发展所需 80 % 左右的原材料, 94 % 左右的能源, 均来自矿产资源。

金刚石), 一般是不能再生的。在我国国民经济持续发展过程中, 及时发现、合理规划利用和保护矿产资源, 是我们的重大职责。

1.1 矿产资源

矿产资源是由赋存于地壳中的各类矿产组成的。它是大自然赋予人类的自然资源的重要部分。它一方面是社会财富的重要组成部分, 另一方面又是国民经济持续发展和提高人民生活水平的必要物质基础。

同其他自然资源相比, 矿产资源(除了利用其物理性质的非金属矿物, 如金刚石、压电石英等可以人工合成以外)的最大特点是, 在人类的短暂历史中, 基本上是不能再生的。而矿产资源规模的大小、组分的简单与复杂、所处的地区和空间部位, 以及一些矿产(矿床、矿体、矿层)的贫与富, 都是客观存在, 不以人们的意志为转移的。但一定矿产资源发现得早晚、发现和勘查它所需的科技和资金投入, 以及可能达到的利用程度, 则取决于人们的主观努力和科技发展程度。例如: 通过采矿、选矿、冶矿等技术的改进, 可以使在目前科学技术条件下还不能开采利用的那些潜在资源成为可供销售获利的矿产; 通过有关的基础研究和应用研究, 可使原有的一些矿产品开发出新的用途, 从而增加其经济价值, 甚至还可发现包括新材料和新能源在内的一些新的矿产资源; 通过科学研究, 还可发现和制造一定的矿产品的代用品等等。

最大限度地合理开发利用有限的矿产资源,满足社会可持续发展是人类社会长期奋斗的一个目标。

但科学研究和技术改进需要一定的时间,才能取得相应的成果。在可以预见的将来,可供选用的代用品毕竟含有较大的局限性;而客观存在的矿产资源的供应量,从本质上来讲也有其相对的有限性。因此,最大限度地合理开发利用有限的矿产资源,以满足社会可持续发展的需要就十分必要,这也是人类社会长期奋斗的一个目标。

对一个国家政府中管理矿产资源的机构来讲,不仅要了解和掌握本国的矿产资源情况,以及有关矿床、矿田的资源 and 地质特征,还要负责开发好、管理好、保护好本国的矿产资源,使有限资源的开发利用能发挥最大限度的经济效益、社会效益和环境效益。同时,要制定合理的矿产资源政策;立足本国,走向世界,以弥补本国资源的不足;坚决走资源节约型矿业经济发展的道路;充分依靠科学技术进步,向自然“索取”潜在的矿产资源。只有这样,才能在矿产资源供需范畴对社会的可持续发展作出可贵的贡献。

1 2 矿产

矿产是泛指一切当今科学技术和经济条件下可供人类开发利用的天然矿物(矿物质)或其集合体——岩石。

矿产可以有不同的宏观分类。按其基本属性而言^[1],它可以是无机物质(如金、银、铜、铁等),其绝大部分为固体矿产;也可以是有机物质(如煤、石油和天然气),其中有相当比例的流体(液体和气体矿产)。当然,天然气也可以是无机成

走资源节约型矿业经济发展的道路;依靠科学技术进步,向自然“索取”潜在的矿产资源。

因。还可采用另一原则而划分为金属与非金属两大类。若再把煤和油气从非金属中划分出来,这样就有金属矿产、非金属矿产、可燃性有机矿产三大类。本节参考了通用的实用分类法主要内容,并考虑到矿产资源的一些新的情况,将划分为 2.4 节所述及的 10 大类,即:

能源矿产(油气、煤炭、铀矿、地热等);

黑色金属与冶金辅助原料矿产(铁矿、锰矿、铬铁矿、耐火黏土、菱镁矿、萤石);

有色金属矿产(广义的,包括铜矿、铝土矿、铅矿、锌矿、镍矿、钨矿、锡矿、钼矿、锑矿、镁矿、钴矿、铋矿、汞矿);

稀土金属矿产;

贵金属矿产(金矿、银矿、铂族矿产);

化工矿产(硫矿、磷矿、钾盐矿、硼矿、盐矿);

建材及其他非金属矿产(水泥石灰质原料矿产、玻璃硅质原料矿产、饰面用石材矿产);

水气矿产(地下水、矿泉水、二氧化碳气、硫化氢气、氧气、氢气);

海洋矿产资源;

气体水合物。

此外,从矿产所具有资源利用的特性而言,它还可划分为这样的两类^[4]:一类是利用其物质组分的矿产,这构成现有矿产中的绝大部分,如铁、铜、煤炭、硫、磷等矿产;另一类是利用其物理(物理化学)性质的矿产,如云母、压电石英、宝石、石棉等,也包括了现代尖端工业所利用的具有特殊性能

矿产需具有一定的规模(数量上的要求)和物质组分(即质量指标和要求,一般用“品位”来表达)才能开采利用。

的矿产,(就今所知,绝大部分为非金属矿产,而且还是固体)。随着科学技术的发展,预期还将增加新的矿产种类。

矿产需具有一定的规模(数量上的要求)和物质组分(即质量指标和要求,一般用“品位”来表达)才能开采利用。它占有一定的空间,构成不同形态的“矿体”。对一部分固体矿体来说,形态清晰、边界明确,可称为有形矿体。其中,呈层状形态(称为矿层)而又分布达一定面积的,则构成相应的“矿田”(如煤矿田,简称煤田,油矿田简称油田)。有一些矿体的界限是根据所采样品中 useful 物质含量(即品位)变化而(在图件上)圈定的(如金矿体和银矿体),实际上难以辨别其宏观边界,可称为无形矿体。流体矿产分布范围常有变化,无固定的空间和矿体形态。

不同性质和形态的矿体,在地质学上称为矿床。矿床通常产出于地壳的表面和地下不同深度的地壳中,是在不同地质历史时期,经过不同的地质作用、并在一定的时间内形成的。“矿床”不仅是地质学范畴的一个概念性的抽象名词,更重要的是具有具体的物质内容,即可供开采利用的矿体。

固态的矿床一般由有用的矿物(如铜矿床中的含铜矿物)和不同数量没有经济价值的其他矿物所组成,前者称为矿石矿物,后者称为脉石矿物。从矿床中的矿体(矿层)开采出来的,大多是含有这两类矿物的混合体矿石。一小部分的矿石几乎全部由矿石矿物组成,其有用物质(如铜矿中的Cu)含量较高或很高(例如Cu品位较高或很高),称为富矿。更多的矿石含有一定或很多的脉石矿物,因而所含有用物质

不同性质和形态的矿体称为矿床。“矿床”是具有具体的物质内容,即可供开采利用的矿体。

较少(即品位较低),通常称为贫矿。矿石的富与贫只是一种相对的概念。不同的矿种采用各自的有用物质含量(如铜矿的 Cu 百分比含量)区分指标,更多的情况是由富到贫划分为二三个或更多类别的含有不同有用物质含量的矿石(如一级、二级、三级铝土矿)。

不同矿种矿床中可能含有实际可利用的矿石矿物的种类多少不等。以主要金属矿产的不同矿种为例:银矿最多,有 11 种;钨矿最少,为 5 种(见表 1-1)。不同矿种的不同矿石矿物的有用物质含量(大多为相应的元素,如铜矿物的 Cu 含量)的差别也很大(见表 1-1)。

由于矿石中还含有不同数量的脉石矿物,故一般还需经过以选矿为代表的加工技术处理来提高其有用物质的含量。由此生成的“精矿”(如铜矿石经过选矿后的铜精矿)还需通过进一步或一系列的技术加工处理(如铜精矿的冶炼)才能生产出进入市场的一系列矿产品。在矿石的一系列加工技术处理过程中,一般不仅渐次提高了相应产品的有用物质含量,同时也会使矿石中原有的有用物质的含量有所流失。

其实,固体矿产矿床的脉石矿物,在一定的情况下也是有经济价值的,只是它或它们的用途不同于共生的矿石矿物而已(如钨、锡和铅、锌矿床中的萤石就视为脉石矿物)。液态和气态的矿床,分别由有用的液体(如石油)和其他液体、有用的气体(如天然气)与其他气体混合组成。在原则上它

主要金属矿种矿石矿物成分及含量表。

表 1-1 主要金属矿种矿石矿物表

矿物类别	矿物名称	矿 物 成 分	主要利用元素含量/ (%)
金 矿 物	自然金	Au	80 ~ 98 (Au)
	银金矿	Ag, Au	50 ~ 80 (Au)
	金银矿	Au, Ag	10 以上 (Au)
	碲金矿	Au, Te ₂	41 .3 ~ 42 .7(Au)
	叶碲金矿	Pb ₅ Au(Te, Sb) ₄ S _{5-8.5}	7 .51 ~ 10 .16(Au)
	碲金银矿	Ag ₃ AuTe ₂	25 .42(Au)
	黑铋金矿	Au ₂ Bi	65 .36(Au)
	铜金矿	Au, Cu	77 .90 ~ 91 .06 (Au)
	方金锑矿	AuSb ₂	44 .74(Au)
银 矿 物	自然银	Ag	96 ~ 98 (Ag)
	锑银矿	Ag ₃ Sb	72 .66(Ag)
	角银矿	AgCl	75 .0(Ag)
	辉银矿	Ag ₂ S	87 .06(Ag)
	硫砷银矿	Ag ₃ AsS ₃	65 .42(Ag)
	硫锑银矿	Ag ₃ SbS ₃	59 .76(Ag)
	硫锑铜银矿	(Ag, Cu) ₁₆ Sb ₂ S ₁₁	75 .5(Ag)
	淡红银矿	3Ag ₂ S, As ₂ S ₃	65 .4(Ag)
	浓红银矿	3Ag ₂ S, Sb ₂ S ₃	60 .9(Ag)
	辉锑银矿	AgSbS ₂	36 .72(Ag)
铁 矿 物	自然铁	Fe	91 .71 ~ 99 .16(Fe)
	磁铁矿	Fe ₃ O ₄	72 .4(Fe)
	赤铁矿	Fe ₂ O ₃	70 .0(Fe)
	镜铁矿	Fe ₂ O ₃	70 .0(Fe)
	褐铁矿	Fe ₂ O ₃ nH ₂ O	30 ~ 40 (57 .1) (Fe)
	针铁矿	Fe ₂ O ₃ nH ₂ O	62 .9(Fe)
	菱铁矿	FeCO ₃	48 .2(Fe)

矿石矿物中 有用物质含量较高或很高，称为富矿。反之称为贫矿。矿石的富与贫只是一种相对的概念。

续表

矿物类别	矿物名称	矿 物 成 分	主要利用元素含量/ (%)
锰 矿 物	方锰矿	MnO	77.4(Mn)
	软锰矿(黝锰矿)	- MnO_2	63.2(Mn)
	褐锰矿	Mn_2O_3	69.6(Mn)
	黑锰矿	Mn_3O_4 (Mn, Fe) Mn_2O_4	72(Mn)
	硬锰矿	$n\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	60 ~ 80 (MnO_2) (Mn)
	锰铜矿	$\text{Cu}_3\text{Mn}_4\text{O}_9$	57 (Mn_2O_3) (Mn)
	水锰矿	$\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (一 和 一)	62.4(Mn)
	菱锰矿	MnCO_3	47.8(Mn)
铜 矿 物	自然铜	Cu	85 ~ 89 (Cu)
	黄铜矿	CuFeS_2	34.56(Cu)
	斑铜矿	Cu_5FeS_4	63.3(Cu)
	辉铜矿	Cu_2S	79.86(Cu)
	蓝辉铜矿	Cu_{2-x}S	78.11(Cu)
	黝铜矿	$4\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{SbS}_3$	23 ~ 45 (Cu)
	黑铜矿	CuO	79.85(Cu)
	铜蓝	CuS	66.5(Cu)
	赤铜矿	Cu_2O	88.8(Cu)
	孔雀石	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57.5(Cu)
	蓝铜矿	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55.3(Cu)
铅 矿 物	自然铅	Pb	99.71(Pb)
	方铅矿	PbS	82 ~ 86 (Pb)
	铅矾	$\text{Pb}[\text{SO}_4]$	68.30(Pb)
	硫锑铅矿	$\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$	54 ~ 55 (Pb)
	白铅矿	PbCO_3	77.5(Pb)
	黄铅矿	$(\text{Pb}_2\text{O})\text{SO}_4$	84.8(PbO(Pb))

绝大多数固体矿床实质是一种特殊的岩石类型。主要表现在某些组分特别丰富、形成过程特殊而复杂。

续表

矿物类别	矿物名称	矿物成分	主要利用元素含量/(%)
锌 矿 物	自然锌	Zn	99(Zn)
	闪锌矿	ZnS	43~67(Zn)
	红锌矿	ZnO	80.3(Zn)
	菱锌矿	ZnCO ₃	52(Zn)
	异极矿	Zn ₂ SiO ₄ ·H ₂ O	53.7(Zn)
	水锌矿	Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆	60(Zn)
钨	黑钨矿	(Fe,Mn)WO ₃	76.4(WO ₃)
	白钨矿	CaWO ₄	80.6(WO ₃)
	钨锰矿	MnWO ₄	76(WO ₃)
	钨铜矿	CuWO ₄	76.3(WO ₃)
	钨铁矿	FeWO ₄	(WO ₃)
锡 矿 物	自然锡	-Sn	86.02(Sn)
	黝锡矿	Cu ₂ SnFeS ₄	(Sn)
	硫锡铅矿	Pb·SnS ₂	30.51(Sn)
	黄锡矿	Cu ₂ Fe·SnS ₄	25~27.61(Sn)
	锡石	SnO ₂	69~78(Sn)
	硫锡矿	SnS	78.73(Sn)
锑 矿 物	自然锑	Sb	95.15~98.0(Sb)
	辉锑矿	Sb ₂ S ₃	70~71 [*] (Sb)
	锑华	SbO ₃	(Sb)
	硫锑铅矿	PbSb ₂ S ₄	25.7(Sb)
	锑银矿	Ag ₃ Sb	22.0~27.88(Sb)
	重锌锑矿	ZnSb ₂ O ₆	80.49(Sb ₂ O ₅)(Sb)

汇总于潘兆橐主编的《结晶学及矿物学》(地质出版社,1985)。

们也可根据相应有用物质含量和质量的差别而划分为不同级别的初级矿产品(如石油的原油)。其具体的划分指标和

固态矿床一般由有用的矿物和没有经济价值的其他矿物组成,前者称为矿石矿物,后者称为脉石矿物。

原则,同一般固体矿产矿床划分矿石时所采用的有一定的差别。

不同矿床的物质组分(矿物、元素等等)及其具体的形成过程,虽很不相同,但对于绝大多数固体矿床来讲,它们在实质上只是一种特殊的岩石类型。它们的特殊性主要表现在:某些组分特别丰富(如一般的沉积岩、火成岩和变质岩中也会含有少量或微量的黄铁矿,而作为主要矿产资源之一的黄铁矿床中黄铁矿含量则特别丰富);具体的形成过程特殊而又复杂。其实,它们大多仍分别主要形成于三大岩类^[1](沉积岩、火成岩或岩浆岩、变质岩)的形成地质环境,因而可类比三大岩类而主要划归为三大成因类别:其一,同沉积岩类比的外生矿床或沉积矿床,主要由地球表面的外生作用的沉积作用生成;其二,同火成岩或岩浆岩类比的内生矿床,主要由地球内部岩浆活动所衍生的岩浆侵入—火山喷发作用形成;其三,同变质岩类比的变质矿床,主要由不同的变质作用和有关的混合岩作用形成。这三大类别还可根据具体形成地质条件的不同而进一步的划分。此外,还可划分出不属于三大类的三个小类(详见表 1-2),这是一个简要的矿床成因分类。当然,还可根据更具体的形成地质条件、成矿物质来源、成矿作用方式、成矿物理化学条件、矿物的组合等情况的差别或结合矿产产出地区特征而作进一步的详细分类(在此从略)。此外,也可按不同用途而提出相应的实用分类。

程裕淇在 1976 年对全国铁矿的类型做了专门划分,具体如下。

与基性、基性—超基性岩浆侵入活动有关的岩浆晚

固体矿床大多主要形成于三大岩类(沉积岩、火成岩或岩浆岩、变质岩)的形成地质环境。

期矿床。例如:四川西昌攀西的钒钛磁铁矿床(称为攀枝花式或大庙式铁矿)。

与中酸性岩浆侵入活动有关的接触交代热液型铁矿床。例如:湖北大冶的铁山、张福山和程潮等铁矿床(可称为大冶式铁矿)。

与中基性(偏基性或偏酸性)钠质火山侵入活动有关的铁矿床(含海相火山侵入活动)。例如:云南大红山铁矿床。

表 1-2 矿床类型划分表

矿床类型	成矿地质作用类别	序号	成矿地质作用	主要矿种
外生矿床	表生沉积作用	1	陆相表生风化作用成矿	铝、镍、金、宝石及黏土等
		2	表生机械沉积作用成矿	金、铂、金刚石、金红石、铌—钽铁矿、锆石等
		3	陆相碎屑沉积作用成矿	铜(银)等
		4	蒸发沉积作用成矿(陆相、海陆交互相、海相)	石膏—石盐矿、石膏—杂卤石(钾芒硝)矿、石盐—杂卤石矿、芒硝、自然硫、天然碱、硼砂等
		5	海相化学沉积作用成矿	铁、锰、铝、磷等
		6	生物化学沉积作用成矿(炭质或沥青质黑色页岩)	钒、镍、钼、铜、银、磷等
		7	生物沉积作用有关的可燃有机岩沉积成矿	腐植类:泥炭、褐煤、烟煤和无烟煤等
		8		腐泥类:藻煤、石煤及油页岩等
		9		沥青类:石油、天然气及石油的衍生物石蜡等

一个简单的矿床成因分类表。

续表				
矿床类型	成矿地质作用类别	序号	成矿地质作用	主要矿种
内生矿床	岩浆侵入—火山喷发作用	10	基性—超基性岩浆侵入成矿	铁、铜、铬、镍、钛、钒、铂、金、石棉、金刚石等
		11	基性和中基性岩浆侵入—火山喷发作用成矿	铁、锰、铜、铅、锌、银等
		12	中酸性—酸性岩浆侵入—火山喷发作用成矿	铜、钼、铅、锌、银、金等
		13	酸性岩浆侵入火山喷发作用成矿	锡、钨、铅、锌、汞、铌、钽等
		14	碱性岩浆侵入作用成矿	铁、钽、蛭石、金等
外生矿床	变质作用	15	接触变质作用成矿	石墨、红柱石、砂线石、蓝晶石、大理岩及铁等
		16	区域变质作用成矿	铁、铜、金、铅、锌、磷、石墨、滑石、菱镁矿等
		17	混合岩化作用成矿	铌、钽、硼、宝石等
	其他	18	热水(热卤水)成矿作用成矿	金、锑、汞、砷、铅、锌等
		19	复合叠加成矿作用成矿	金、铜、铅、锌、银、非金属等
		20	成矿作用(成因)不明	主要矿产居多

浅海沉积赤铁矿矿床。例如：鄂西火烧坪、长潭河和河北宣化龙关等地的铁矿床。

海陆交替相及湖相沉积铁矿床。例如：含煤地层中

地球内部的物质迁移富集过程是既漫长而又十分复杂的。

的菱铁矿矿床。

变质沉积铁矿床。我国辽宁鞍山、河北东北部(冀东)等地的铁(贫)矿(称为鞍山式铁矿床)均属此类。

残积型及其他表生型铁矿床。

1 3 成矿作用

作为矿产基本物质单元的矿物和矿物质,一般由一定的元素(如自然金、自然铜)或其化合物(如分子式为 Fe_2O_3 的赤铁矿)、络合物组成。也有少量为互化物(合金)。因此,矿产的最基本物质组成是元素。构成不同矿产的元素和物质可泛称为成矿元素和成矿物质。成矿物质基本上都来自地球本身。但作为地球组成物质的各元素的各自总含量同全球已知矿产所含相应元素的总量之间没有一定的对应比例,只有通过一定的有利地质条件下的不同地质作用的活动,才能使相应的成矿物质、成矿元素迁移富集成可供开采利用的相应的矿产,这种作用泛称为成矿作用。如地球的 Cu 和 Sn 的含量虽分别只有 0.014% 和 0.0017%,但仍可通过成矿作用各自富集成许多巨大的矿床。

其实,地球内部的物质迁移富集过程是既漫长而又十分复杂的。在地球的整个演化历史长河中,首先形成了不同成分的各圈层。地壳作为当前科学技术条件下可开发利用矿产的赋存圈层,又进一步经历了一系列的内部物质,尤其是成矿物质的迁移富集,终于在其不同的部位,形成了大小不等的不同种类矿产的矿床和矿田。

成矿作用分为五大类：即外生、内生、变质、热卤水成矿和叠加成矿作用。

对应于 1.2 节所述的矿床成因分类,可将成矿作用分为五大类:即外生(沉积)成矿作用、内生成矿作用、变质成矿作用、热卤水(或热水)成矿作用和叠加成矿作用。

外生成矿作用是指地壳表层的岩石圈、水圈、大气圈和生物圈在地球外部营力作用下(主要指太阳能影响下的相互作用),使成矿元素、成矿物质迁移富集而形成外生矿床的成矿作用。外生成矿作用基本上是在常温常压的条件下在陆地或大陆架进行的,或在不同于陆地的温度压力条件下在不同深度的海底进行的。其成矿物质主要来自当时地表的矿物、岩石、裸露的矿床、火山喷发物质,甚至星际物质(陨石等)。

内生成矿作用是指地球内部热能和动力导致形成的地质作用和伴生的成矿作用。内生成矿作用主要是岩浆侵入乃至喷发(至地表)活动有关的成矿作用;也包括温泉和现代深海成矿黑烟囱伴生的成矿作用。主要在高于地表温度压力条件下,在地表以下不同深度、不同压力、不同温度、不同的地质构造条件下进行。它所形成各类内生矿床的成矿物质,基本上都来自地球内部。

变质成矿作用泛指原有岩石经历了不同类型变质作用后导致形成不同类型变质矿床的成矿作用,也包括使原有矿床经过变质作用而改变其矿物组成和品位的成矿作用。变质成矿作用是在地壳中不同深度和部位、不同的高温 and 高压条件下进行的。其成矿物质一般主要是原岩或原有矿床的组分。

热卤水成矿作用是由热卤水的活动导致物质迁移富集

同沉积岩类比的外生矿床或沉积矿床,主要由地球表面的外生作用的沉积作用生成。

成矿的一种地质作用。其形成途径有二。其一,富含黏土质沉积物在深埋过程中,温度提高到 $90 \sim 130$ 时,孔隙水的盐度提高,淋取了沉积物中的成矿物质,形成富含矿质的卤水溶液,它聚集在卤水富集地带或沿裂隙上升到海底分别沉积成矿。其二,海水与地壳发生对流循环作用过程中,受热的海水与岩石发生交换反映获取成矿物质,在循环过程中接近水岩界面时,由于压力迅速降低,或与海水混合发生沸腾,导致部分金属卸载而形成浸染状矿化。当热卤水继续上升,达到水岩界面之后,金属开始沉积,聚集于卤水富集地带中形成层状矿体。该类作用形成的矿床统称为热卤水沉淀矿床。

叠加成矿作用又称复合成矿作用,这是在先期形成矿床或含矿建造的基础上又叠加了后期成矿作用的一种地质作用,使早期形成的矿床遭受不同程度的改造和变化。由此形成的新矿床称叠加矿床。

2

我国矿产资源现状

我国幅员辽阔,已知矿产资源条件较好,矿产种类齐全,探明的总储量规模可观,是世界上为数不多的几个矿产资源大国之一。目前矿产资源的开发利用规模名列前茅,有“矿业大国”之称。我国历史悠久,在古代文献中^[12],记述了许多矿产和开发利用的史实。例如:在古人的文化遗址,发现有 2.8 万年以前开始的旧石器时代石镞;1 万年前开始的新石器时代,曾开采凝灰岩和煌斑岩制作石器(山西怀仁鹅毛口);至商代晚期已制作石质医疗用具——砭镰(河北藁城台村遗址);较早的玉器制作于新石器时代(河南新郑和河

我国是世界上为数不多的几个矿产资源大国之一。目前矿产资源的开发利用规模名列前茅,有“矿业大国”之称。

武安);西周时已开始烧制砖瓦;春秋战国时代在漆器彩绘中已开始应用丹砂、雄黄、红土和白土等矿物或矿物质;约在4700年前开始开采利用铜矿,进入我国史前的铜器时代;春秋时期开始开采利用铁矿,是铁器时代的标志。

新中国成立以来,我国矿产的勘查和开发利用事业有了长足的发展,通过这些工作不仅基本上了解我国矿产资源现状和潜力,同时获取的成果也基本上满足了国内经济建设对矿产资源的需求。现已发现168种矿产,其中,有探明储量的151种(包括能源矿产7种,金属矿产54种,非金属矿产87种,以及地下水、矿泉水和二氧化碳气体等)。已发现矿床、矿点20万余处,其中,经详细勘查和求得储量的有2万多处,分布在全国各地,可按其空间位置划分相应的富集区。

一个国家对矿产品的需求变化,跟其所经历的工业化发展情况密切相关。在不同的工业化阶段,矿产品的需用程度,一般都要经历上升——平稳——缓慢下降三个阶段。我国现阶段还处于工业化发展初期的中后阶段,工业化仍在继续进行,对以原材料为主的矿产品和能源的需求量继续增长,再加上人口增长,将进一步提高矿产品的消耗量。所以我国在今后的一段时期内,对矿产品的需求仍将不断增加。因而对我国矿产资源的基本情况及其在国民经济中的地位进行全面分析,对今后需求进行预测推断并估计不同矿产类别的保证程度,是当前矿产资源管理工作的一项重要任务和

本节引用的矿产储量和相关数据引自《1996年中国矿产资源报告》(宋瑞祥主编,地质出版社,1997)。

对我国矿产资源的基本情况 & 开发利用的某些问题的基本认识。

矿产问题研究中的一个重要课题(这将在 2.1 ~ 2.3 节中分别论述)。2.4 节还将全面概述我国 10 大类矿产各矿种(矿组)的资源以及地质特征及其富集地区等情况。

2.1 我国矿产资源的基本情况

综合分析新中国成立以来的矿产勘查和矿产开发利用情况,并与世界矿产资源现状比较,使我们对我国矿产资源的基本情况以及开发利用等方面的某些问题,取得了一些基本认识,现分述于后:

(1) 矿产资源总量丰富,矿种齐全,但人均占有量少

我国已发现 168 种矿产,可说矿种齐全,其中 17 种(组)的人均拥有量超过世界人均拥有量,而其余的则都低于这个数值(图 2-1)。已探明的矿产资源总量较大,约占世界的 12%,仅次于美国和前苏联,居世界第 3 位。但是人均占有量少,为世界人均占有量的 58%,退居世界第 53 位。

(2) 既有优势矿产,也有短缺矿产

以 44 种主要矿种的已探明储量和预测的矿产远景为依据^[10],对照世界范围的矿产资源情况,已可大致说明我国矿产资源形势在世界上的地位。44 种主要矿种中: 具有世界性优势的矿产有石膏、钛、钒、铌、钽、钨、锑、钼、膨润土、锡、芒硝、重晶石、菱镁矿、锂、石棉和石墨等 16 种,其探明储量居世界第 1 位或第 2 位,人均占有量超过世界人均水平;

具有优势的矿产有煤、银、萤石、铍、滑石等 5 种,其探明储量居世界第 2 或第 3 位,但人均占有量低于世界人均水

具有优势的矿产有煤、银、萤石、铍、滑石等 5 种，其探明储量居世界第 2 或第 3 位，但人均占有量低于世界人均水平。

我国已发现 168 种矿产只有 17 种(组)的人均拥有量超过世界人均拥有量,而其余的则都低于这个数值。

平; 较丰富的矿产有铁矿、铝土矿、锌矿、铅矿、汞矿、硫矿、磷矿、硼矿、珍珠岩、高岭土共 10 种,其储量居世界前列,但人均占有量偏低; 探明储量不足的矿产有石油、天然气、锰矿、铜矿、镍矿、金矿、耐火粘土共 7 种; 短缺的矿产有金刚石、铂族金属、钴、铬铁矿、钾盐、天然碱等 6 种。

(3) 主要矿产储量供需保证程度各不相同

根据我国经济发展趋势对矿产资源需求的分析说明,当前我国 44 种主要矿产供需情况差别较大。其中:自给有余,可供出口的矿产有煤、钨、锡、铅、锌、膨润土等 25 种;基本自给的有天然气、高岭土、硫等 6 种;属严重不足或短缺矿产有石油、富铁矿、锰、铬、镍、金、银、钴、石棉、钾盐、金刚石、铂族元素等 13 种。

(4) 44 种主要矿产的矿床虽大小不等,但大多具有一定的共同地质特征

既有不少规模巨大的矿床,也有中、小型矿床的矿种,如铝土矿、硫铁矿、磷矿及钨、锡、钼、锑、锂、银、云母、菱镁矿、石墨、北方的煤炭等。有些大宗矿产的矿床规模则以中小型为主,大型、超大型矿床偏少(图 2-2),如金、铜、铅锌,以及南方煤炭,难于规模开发,单个矿区难以形成较大产能,影响资源开发总体效益。至今我国还未发现超大型的富铁矿(5 亿吨级)和富铜矿(5 兆吨级)。

50 年来的矿产勘查工作说明,我国矿产资源具有如下的主要总体地质特征:其一,单一矿种的矿床较少,多数是多种有用组分伴生在同一矿体中(可称为伴生矿床),或两种以上矿产(矿种)共生在同一地质建造或地质体中(可称为共生

我国虽是一个矿产资源大国,但一部分矿种缺乏超大型矿床,单一矿种的矿床较少,用量大的一些矿产贫矿多而富矿少,显得赋存条件的先天不足。

大中小型矿床规模比例

新元等 1998 年资料修改)

矿床)。前者如包头的白云鄂博铁矿,伴生了一些稀有元素;四川攀枝花铁矿伴生了钒、钛等 10 多种元素;湖南柿竹园矿产中钨、锡、钼、铋相互伴生;不少磷矿也有一些伴生等等。后者如一些含煤的沉积建造中,还共生了耐火粘土、铝土矿、黄铁矿等;广东云浮大降坪地区有黄铁矿和铁矿矿物的共生等。其二,一些需用量大的矿种如铁、铜、锰、磷等,存在富矿少、贫矿多、综合利用存在问题较多等特点。如全国铁矿石平均品位为 33.5%,比世界平均水平低 10 个百分点以上;锰矿平均品位仅 22%,不及世界商品矿石工业标准的 48% 的一半;全国磷矿平均品位仅为 16.95%,而且胶磷矿多;铜矿品位 Cu 大于 1% 的储量约占总量的 1/3,平均品位小于 1%,远低于智利、赞比亚等世界主要产铜国的铜矿品位等等。其三,同一矿体或同一地区的矿床往往前后经历多次成矿作用,使有用物质进一步富集或增加更多的有用组分,同时也使有用矿物和组分的组成更为复杂,增加了综合利用的难度。

(5) 现有经济发达区与资源富集区分布不够协调

已勘查的 2 万余处矿床分布在全国各地,但由于各地区地质成矿条件的不同,导致一些矿产的分布具有明显的地域差异。例如:74% 的煤炭保有储量集中于晋、陕、内蒙和新疆,而经济较发达、用煤量大的东南部地区则较紧缺,形成了北煤南调、西煤东运的局面;我国磷矿中 70% 的保有储量集

矿产资源是国民经济建设的重要物质基础,又是一种基本上不可再生的资源,对国家的兴衰至关重要。

中于云、黔、川和鄂西,因而南磷必须北运;我国铁矿主要集中于辽、冀、晋、川等省,其中一部分铁矿的开发利用同样受交通运输等外部条件的制约。此外,我国现有一些尚未开发利用的大型、超大型矿区,由于主要分布于西部边远地区,开发利用难度较大。

从上述我国矿产资源的基本情况,说明我国虽是一个矿产资源大国,但人均占有量少,有不少短缺矿种,一部分矿种缺乏大型、超大型矿床,单一矿种的矿床较少,共生矿床、尤其是伴生矿床、组分复杂的矿床较多,用量大的一些矿产贫矿多而富矿少,显得先天赋存条件不足,同时也存在着现有经济发达区与资源富集区分布不够协调的问题。这都应该引起我们的重视,并采取对应的措施(参阅 4.3 节),以便能更好地合理利用我国矿产资源、发挥其优势,尽可能满足社会主义建设对矿产资源的需求。

2.2 我国矿产资源在国民经济中的地位

矿产资源是国民经济建设的重要物质基础,又是一种基本上不可再生的资源,对国家的兴衰至关重要。人类社会经济发展的全部历史,可以说在一定程度上也是开发利用矿产资源等自然资源的历史(见表 2-1)。在我国经济建设中,94% 以上的能源,约 80% 的工业原料,70% 以上的农业生产资料来自矿产资源,30% 以上的农业用水和饮用水来自矿产资源范畴的地下水。以矿产资源为劳动对象的产业——矿业,处在整个社会产业体系的最前缘,是启动整个国民经济

我国虽是一个矿产资源大国,但一部分矿种缺乏超大型矿床,单一矿种的矿床较少,用量大的一些矿产贫矿多而富矿少,显得赋存条件的先天不足。

发展的基础产业。

表 2-1 人类社会的历史阶段与矿产资源的关系

人类社会发展的历史阶段	开发利用的主要矿产品
旧石器时代	应用岩石制作石器
新石器时代	制作陶土和玉石等
青铜器时代	铜、锡、铅、铁、金等
铁器时代	铁、铜、金、锡、银等
产业革命蒸汽技术时代	有色、黑色金属、非金属和煤等燃料矿产
技术革命原子技术时代	石油、有色、黑色,非金属及其各种合金
新技术革命电子时代	稀有放射性元素及其发展合金等新材料
信息时代	金属材料、无机非金属材料、复合材料: 电子材料、光电材料、超导材料、激光加工材料

矿业产值不仅在工业总产值中占有一定的比重,同时也推动了相关能源和原材料工业的发展。

随着国民经济的持续发展,开采利用矿产资源的矿业跟相关产业同步增长,在国民经济总值中占有相应的比重(见表 2-2),其变化也较稳定,大致在 1% 左右浮动。从表 2-2 可知,五年间矿业总产值增长 1.08 倍(均按当年值),矿业总产值占全国工业总产值在 5.1% ~ 5.7% 之间变化,矿业与相关能源原材料生产总值占全国工业生产总产值的比重在 24.4% ~ 27.2% 之间。由此可见,矿业产值不仅在工业总产值中占有一定的比重,同时也推动了相关能源和原材料工业的发展。

表 2-2 1988 - 1992 年矿业及相关能源原材料产值在
工业生产总产值中的比重

年度	矿业生产 总值 / 亿元	相关产业 生产总值 / 亿元	工业生产 总值 / 亿元	矿业生产总值 在工业生产总 值中的比例/ (%)	矿业与相关能源 原材料生产在工 业生产总值中的 比例/ (%)
1988	931.05	3507.80	18224.00	5.1	24.4
1989	1190.41	4680.08	22017.06	5.4	26.70
1990	1351.97	5160.07	23924.36	5.7	27.20
1991	1577.58	5843.00	28248.01	5.7	26.30
1992	1935.97	7928.66	37065.00	5.4	26.60

注:均为村及村以上产值的当年价(引自《中国自然资源丛书·矿产卷》^[13], P40,表 1~8,1996)。

自改革开放以来,我国矿产品进出口贸易发展迅速:1986 年其进出口贸易总额为 162.27 亿美元,到 1996 年增至 501.15 亿美元,为 1986 年的 3.088 倍,年均增长 11.94% (图 2-3)。在全国所有产品进出口贸易中,矿产品的进出口

在全国所有产品进出口贸易中,矿产品的进出口总额一直保持在 15 % 左右。

总额一直保持在 15 % 左右。一些重要矿产和某些涉及到环境、政治、军事问题的特殊矿产的供应与进出口贸易,还往往影响到国家的军事、经济安全。

6 年矿产品进出口贸易额

(国矿产资源年报汇总)

2 3 我国矿产资源对国民经济发展保证程度的估计

21 世纪初我国处于加速实现工业化的中期阶段。这个阶段的基本特征是物质生产和物质财富的积累走向高度发达,基础设施建设得到加强与完善,矿产品的消耗强度迅速增长,矿产品的年绝对需求量将有大幅度增加。看来,我国矿产资源到下个世纪初的供需形势趋于紧张,特别是某些关系到国计民生大宗矿产保证程度偏低或过低,将对国民经济持续发展起到制约作用。例如:石油受资源短缺的限制,依赖进口补充的局面难以改变;富铁矿、铜矿、铬铁矿的短缺程度也不会减少,将依靠进口补充其不足。按当前国民经济高速发展的需求,全国矿产资源管理部门 在开展矿产资源对国民经济建设保证程度论证基础上^[10],对全国主要矿产在

原系地质矿产部资源司,现为国土资源部储量司领导下进行此项工作。

全国主要矿产在 2010 年以前的供需形势分析为短缺的矿产有：铬、钴、铂、钾盐、金刚石、天然碱 6 种。

2010 年以前的供需形势已作了详细分析，其概略结果如下：

2010 年属资源短缺的矿产有：铬、钴、铂、钾盐、金刚石、天然碱 6 种；

2010 年不能保证，部分需长期进口补充的矿产有石油、天然气、铁、锰、铜、镍、金、银、硫、硼等 10 种；

2010 年基本可以保证，但可利用矿区在储量或品种上存在不足，需要国内找矿或进口解决的矿产有铝、耐火粘土、磷、石棉等 4 种；

2010 年可以保证，并有部分矿种的矿产品（或其加工产品）可以出口换汇的主要有菱镁矿、钼、铍、汞、钒、铌、钽、锂、芒硝、煤、钛、萤石、钨、锡、锌、铅、锑、重晶石、滑石、高岭土、石墨、膨润土、珍珠岩、石膏等 24 种。前 5 种矿产已探明的储量丰富，潜在资源量大，可以长期出口换汇；后 19 种矿产资源潜力大，找矿前景较好，可满足国民经济发展中国家对这些矿产的要求。以上 24 种矿产可称为我国的优势矿产。

至 2020 年时，我国经济发展进入第三步战略目标的中期阶段，其经济水平将接近世界平均水平，达到中等收入的国家标准。预计我国已探明的 44 种主要矿种中，可以保证需求的在 2000 年降至 29 种，2010 年下降至 23 种，到 2020 年时可以保证需求的仅 6 种，特别是绝对值需求量较大的石油、铁、铜、铝、硫、磷等主要矿产的缺口加大，其进口量将从 2010 年的 2 亿吨左右扩大到 2020 年的 2.5 亿 ~ 3 亿吨，矿产资源的供需矛盾有可能出现加剧的趋势。

我国石油资源量较大,总量达 940 亿吨。但迄今资源探明程度仍低。

2.4 我国矿产资源分类概述

能源矿产

能源矿产矿物在一次性能源的生产和消费中占主导地位,主要由煤、石油、天然气等构成,此外还有煤层气、石煤、油页岩、铀、钍、地热和气体水合物(未来能源)等。煤和石油、天然气矿产在当今世界和中国的一次能源消费中占绝对优势,分别为 93% 和 95% 左右。

中国能源矿产资源矿种齐全,储量较丰富。其中煤炭资源居世界第三位,石油资源居第九位。能源资源主要分布在西部和北部,约占总量的 80% 以上。除煤炭外,石油、天然气已探明储量对经济建设的保证程度偏低。

(1) 油气资源

石油资源量较大,据刘增洁、文世澄、曹新元等提供的资料、预测我国潜在油气资源总量达 940 亿吨。但迄今资源探明程度仍低。陆上探明的石油地质储量仅占全部资源量的 20%,近海海域的探明程度更低,仅为海域资源量的 2.7%;陆上探明的天然气储量仅占潜在资源量的 3%,近海 7 个盆地天然气探明资源量仅占近海总资源的 1.74%。

引用的数据来源同 2.3 节,其中不同矿产的资源量、地质储量、探明储量、保有储量等数字引自 1997 年出版的《1996 年中国矿产资源报告》,并根据“四舍五入”的原则,将一部分计量单位作了适当的调整。

四川盆地和陕甘宁盆地天然气资源总量占全国天然气总资源量的 $1/3$ 。属最大的气田。

油气矿产埋藏深浅不一。油藏类型多种多样,探明储量中的稠油和低渗透油层占有相当比例。

全国陆上石油天然气资源主要分为五个大区:

东部地区有 56 个含油气盆地和含油气地区。主要是松辽盆地、渤海湾盆地、二连盆地、江汉盆地、苏北盆地等。东部地区预测石油资源量占全国陆上预测总资源量的 $2/5$ 弱。截至 1994 年,东部地区石油探明地质储量占全国累计探明储量的 80%,其地质工作程度较高。

西部地区有 27 个含油气盆地和含油气地区,占全国陆上预测总资源量的 28%。天然气预测资源量为 11.114 万亿米³,约占全国陆上预测总资源量的 $1/4$ 。主要盆地有塔里木盆地、准噶尔盆地、吐哈盆地、柴达木盆地、酒泉盆地。其中新疆的三大盆地总面积为 74 万公里²,约占全国沉积盆地的 $1/6$,占陆上石油总资源量的 25%,天然气总资源量的 30%。

中部地区的四川盆地和陕甘宁盆地总面积 50 多万公里²,含气广泛,产气地域较大,层位多,天然气资源总量占全国天然气总资源量的 $1/3$ 。具有大型天然气田形成的有利条件,也是我国目前探明天然气储量最多的地区,属最大的气田。

南方含油气区处于江南隆起地区,大面积分布着古生代沉积岩,尚有小型新生代沉积盆地和大中型中生代沉积盆地,但勘探程度较低,到目前为止,只发现一些小型油气田。这一地区将成为我国石油天然气的资源远景区。

中国有 300 多万公里² 的辽阔海域,推断油气资源丰

1996 年全国石油产量 1.57 亿吨, 当年净进口原油 221 万吨, 净进口成品油 1165 万吨。

富, 具有良好的发展前景, 但勘探程度低。

油气勘查是从 20 世纪 50 年代末和 60 年代初开始的, 相继发现了大庆、胜利、辽河、大港、江汉等油田, 使石油储量和原油产量大幅度上升, 并在东部地区建起我国石油工业的基础。

40 多年的油气勘查表明, 截至 1994 年底, 全国勘查油田 352 个。1996 年底全国累计探明石油地质储量 170 亿吨, 天然气地质储量 12128 亿米³。

海洋石油勘查已取得丰硕成果。东海自从 1993 年对外合作招标以来, 对外合作勘查正在大规模地进行。自营勘查取得重大进展, 探明了平湖气田和宝云油气田, 发现一批含油气构造。在渤海湾海域探明了 2 个亿吨级大油田, 同时在渤海湾海域和北部湾海域探明了由中小型油田组成的可以联合开发的油田群。珠江口盆地东部在已探明的油田周围又发现新的高产含油区块, 含油面积和石油储量不断扩大。

1996 年全国石油产量 1.57 亿吨, 比 1995 年增产 5.52%; 当年消费量高达 1.71 亿吨, 比 1995 年增长 6.44%; 当年净进口原油 221 万吨, 净进口成品油 1165 万吨, 开创 1973 年以来我国大量出口原油以来首次净进口原油的纪录。外贸逆差高达 21.31 亿美元。

我国油气富集区有:

松辽富集区。已知有大庆油田及其外围、吉林油田。

环渤海富集区。辽河、大连、华北、冀东、大港、胜利油田和渤海海上油田。

新疆富集区。主要有准噶尔、吐鲁番和塔里木三大

我国煤炭资源总体特征是数量大、分布广，地区赋存不均衡。

盆地所属的油田。

陕甘宁富集区。已知有玉门、长庆和延长油田。

中原富集区。河南和中原油田是区内的主干油田。

川滇黔富集区。主要为区内的四川盆地油气田和西南海相碳酸盐岩区的天然气。

南海富集区。已勘查圈定的有莺歌海和琼东南盆地、珠江口盆地、中沙—南沙区盆地等。

东海富集区。按长江、浙东、台北、台西 4 个拗陷推断和圈定的几个油田、油气田，有待进一步做勘查工作。

(2) 煤炭资源

总体特征是数量大、分布广，地区赋存不均衡。煤炭资源极为丰富，分布广泛又相对集中，除上海以外的所有省、市、自治区均有煤炭资源，但储量丰度十分悬殊。绝大部分探明储量集中在华北、西北、西南，其中晋、陕、内蒙古三省区占 64%；而秦岭—大别山一线以南、京广线以东的 9 省市是我国经济发达、耗煤的主要地区，但其资源却比较贫乏。

资源探明程度东部高西部低，总体上不高。东部地区由于开发早，新中国成立后又进行了大规模的勘查工作，资源的勘查程度较高。东北、华北、中南以及京津地区的勘查（精查）储量占 56.5%，其他地区勘查工作程度较低。

资源赋存东部深西部浅，全国露采煤炭不多，且以褐煤为主。探明储量中有一半以上属于暴露、半暴露煤田。煤层以中厚为主，巨厚煤层较少，适合于露天开采的储量少。

煤系地层共（伴）生矿多。主要是煤层气、硫铁矿、耐火粘土、高岭土、膨润土、硅藻土等矿产，综合开发的价值高，经

中国最大的矿务局大同矿务局的产量超过 3000 万吨,共有 16 个矿务局原煤产量超过 1000 万吨。

济意义重大。

煤炭是我国的主要能源,建国以后经 50 年的大规模而又系统的煤田地质勘查,到 1994 年底,据“96 中国矿产资源报告”(以下简称报告)全国累计探明 10311 亿吨,保有储量 10087 亿吨。其中生产矿井和在建矿井保有储量 1925 亿吨,占保有储量的 19.1%;尚未利用精查储量 856 亿吨,占 8.3%;需要进一步提高工作程度,进行勘探工作的储量 7237 亿吨,占 72.2%。

煤炭种类比较齐全。据统计,各种煤储量如下:褐煤占 12.8%,长焰煤占 12.5%,不黏煤占 12.8%,弱黏煤占 1.7%,气煤占 13.8%,肥煤占 3.5%,焦煤占 9.3%,瘦煤占 4.0%,贫煤占 5.6%,无烟煤占 11.9%,未分类煤占 12.1%。

中国煤炭资源分布广泛,在全国 2100 多个县中的 1200 多个县有预测储量。进行煤矿开采的县就有 1100 多个。

中国原煤产量的构成主要是两部分:一是国有重点煤矿,另一部分是地方煤矿。

地方煤矿按所有制和管理体制分为地方国有煤矿(包括省、地、县国有煤矿)和集体、个体煤矿。据《'95 中国能源白皮书》统计,全国现有 104 个矿务局,614 个生产矿井。中国最大的矿务局大同矿务局的产量超过 3000 万吨,共有 16 个矿务局原煤产量超过 1000 万吨(表 2-3)。

表 2-3 原煤产量在 1000 万吨以上的矿务局统计表

煤矿名称	1993 年 产量/ 万吨	1994 年 产量/ 万吨	煤矿名称	1993 年 产量/ 万吨	1994 年 产量/ 万吨

全国铀矿资源分布较广。目前已探明上百个铀矿床。

开滦矿务局	1760	1754	铁法矿务局	1000	1105
峰峰矿务局	1016	1034	鸡西矿务局	1007	1040
大同矿务局	3175	3152	鹤岗矿务局	1130	1155
平朔煤炭公司	1032	1050	徐州矿务局	1262	1279
阳泉矿务局	1408	1056	淮南矿务局	1150	1241
西山矿务局	1413	1590	淮北矿务局	1423	1449
晋城矿务局	1032	1004	兖州矿务局	1200	1461
阜新矿务局	1062	933	平顶山矿务局	1715	1719

资料来源：《’95 中国能源白皮书》，国家计委交通能源司，1994 年。

地方国有煤矿以中小型为主，有一定机械化开采水平。集体煤矿点多面广，开采工艺和技术装备水平均较低，多数矿井产量很小。

根据煤炭资源形成的地质构造条件，已知资源和推测的资源潜力，可将全国划分为以下几个煤炭富集区：

东北及内蒙古东部（简称蒙东）富集区。由海拉尔、“三江”、蒙东、辽西、辽东等含煤区组成，主要煤田有扎赉诺尔、伊敏、霍林河、胜利、鸡西、七台河、双鸭山、鹤岗、阜新、本溪、抚顺等，煤种有褐煤、气煤、焦煤、肥煤。

晋陕蒙（蒙指内蒙古西部）宁（夏）富集区。由山西、鄂尔多斯、宁北等含煤区组成，主要煤田有准格尔、河东、府谷、渭北、大同、宁武、沁水、西山、霍西等煤区。煤种有无烟煤、贫煤、瘦煤、焦煤、肥煤等。

豫西富集区。包括河南境内的义马、新安、登封、偃龙、新密、临汝、平顶山、禹县 8 个煤田，以及山西境内的垣

铀矿是目前世界的主要核能矿产,发展核能,是根本上改变我国以煤为主的能源结构的一个重要途径。

曲、平陆两个煤产地。煤种有无烟煤、贫煤、瘦煤、焦煤、气煤等。

鲁西富集区。包括济荷、临沂、淄博、黄河北、莱新、滕韩、丰沛 7 个煤田。煤种齐全,从低变质长焰煤到高变质无烟煤均有分布,以气煤、肥煤居多,其次为无烟煤、贫煤、瘦煤。

京津唐富集区。包括开滦、京西、下花园、兴隆和南票煤田。煤由深成变质与岩浆热变质叠加而成,煤种有无烟煤、焦煤、肥煤和气煤。

两淮富集区。包括淮南、淮北和永夏 3 个煤田。煤种齐全,埋藏较深。

川滇黔富集区。包括川南、六盘水、毕节、织纳、曲靖、昭通等煤田。煤种有无烟煤、贫煤、焦煤和气煤等。

(3) 铀矿资源

全国铀矿资源分布较广。目前已探明上百个铀矿床,广泛分布在全国多个省区,已划出成矿区带和圈定了可望突破的成矿远景区。主要矿床类型有:

与酸性岩浆侵入作用有关的铀矿床,主要分布在华南褶皱系和天山—大兴安岭褶皱系等地区。

与酸性火山喷发作用有关的铀矿床,赋存在东部沿海火山岩带、天山—大兴安岭褶皱系,华北地台和塔里木盆地等地区。

与陆相碎屑沉积作用有关的铀矿床,分布在全国各地的中、新生代陆相红色碎屑建造盆地中。

与生物化学沉积作用有关的碳硅泥岩铀矿床,主要

全国可采地热资源总量达 4399300×10^{15} 焦耳,折合标准煤 1510 亿吨。

产于扬子地台与华南褶皱系接壤带及褶皱系内部的拗陷带内,其次在南秦岭海西—印支褶皱系中也有富集地段。

此外在煤层、碳酸盐岩石、磷块岩、石英岩、夕卡岩、混合岩和伟晶花岗岩(白岗岩)中也发现有工业价值的铀矿床。

铀矿是目前世界的主要核能矿产,是现代能源供应系统中可以替代化石燃料,避免空气污染和缓解运输紧张、并能提供大量二次能源——电力和热能的重要能源。发展核能,是根本上改变我国以煤为主的能源结构的一个重要途径,因而提高我国铀矿资源保证程度,是做好当前矿产资源工作的一项基本任务。

(4) 地热资源

全国地热资源丰富,分布较为广泛,开发潜力很大。据统计,估算全国可采地热资源总量达 4399300×10^{15} 焦耳,折合标准煤 1510 亿吨。已发现的地热点 3000 余处,完成钻探地热井 2000 余口,每年累计放热总量 104×10^{15} 焦耳。经普查、勘探的地热田 500 多处(其中经详查和勘探的有 100 多处),查明可开采利用的地热流体总量 $1705500 \text{ 米}^3/\text{天}$,可利用的热能相当于每年 326 万吨标准煤的发热量。我国的地热田以低温、小型为主。在已发现的地热田中,热能大于 10000 千瓦($1 \text{ 千瓦} \cdot \text{时} = 3.6 \text{ 兆焦}$)的中型地热田 40 余处,主要分布于华北平原、东南沿海及西藏、云南等地;大于 90 的中高温地热田 40 余处,主要分布于东南沿海及西藏、云南地区。

据不完全统计,全国已利用地热点 1100 处,每年利用热量 90×10^{15} 焦耳,约相当于每年利用 310 万吨标准煤。其中

1996 年进口铁矿石就耗去外汇 13.21 亿美元,在某种程度上制约了我国国民经济的发展。

用于地热发电 6 处,发电装机容量 30400 千瓦(1 千瓦·时 = 3.6 兆焦),其中西藏羊八井装机容量最大。

近年来的勘查成果说明,华北平原、沿海地区、西藏和西南地区地热资源具有很大的开发潜力;福建、广东、海南等地已发现多处温度在 45 ~ 90 °C 适宜医疗保健用的地热矿水田;河北中部、苏北、河南郑州和开封、陕西西安和云南昆明等地 1000 ~ 2000 米深度内,蕴藏有极丰富的温度在 40 ~ 90 °C 的地热资源,并已陆续开发利用。

为改变以煤为主的能源结构现状,必须发展其他能源生产,因而增加有关矿产资源的保证程度是我国矿产资源工作中的重要任务。

黑色金属与冶金辅助原料矿产

新中国成立 50 年来,我国有探明储量的黑色金属和冶金辅助原料矿产达 22 种,查明的矿产地有 3609 处。

黑色金属矿产包括铁矿、锰矿、铬矿、钛矿、钒矿等,共有矿产地 2416 处;冶金辅助原料矿产包括菱镁矿、耐火粘土、萤石、蓝晶石、红柱石、夕线石、熔剂用石灰岩、冶金用白云岩、铸型用砂岩、冶金用脉石英、铁矾土、铸型用粘土、耐火用橄榄岩、熔剂用蛇纹岩等,共有矿产地 1193 处。黑色金属与冶金辅助原料矿产虽然多达 20 余种,但对我国冶金工业发展起主导和重要作用的只有 6 种,即铁矿、锰矿、铬矿、耐火粘土、菱镁矿和萤石。

(1) 铁矿

多组分共生铁矿石,约占总储量 $1/3$,由于组分多、成分复杂,增加了开发利用的成本。

全国铁矿勘查程度较高,截至 1994 年底,累计探明储量 517 亿吨。保有铁矿石储量 479 亿吨,其中储量 227 亿吨的铁矿产地共计 1893 处。

铁矿产地虽遍布全国,但储量相对集中。全国铁矿产地广布于 28 个省、自治区、直辖市的 660 多个市县(旗)。辽宁、四川和河北三省的保有储量约占全国的一半。山西、安徽、山东、湖北、内蒙古自治区、云南、河南和北京等 8 省(自治区、直辖市)居次要地位,其他省(自治区),保有储量都不足 10 亿吨。

已知铁矿以贫矿为主,富矿很少。据统计,能直接入炉的富铁矿石保有储量极少,占全国总保有储量的 3.28%。而且大多零散分布在一些矿区中,能单独开采的大型富矿区只有鞍山弓长岭二矿区和海南石碌铁矿。

全国铁矿类型多、矿石类型复杂。世界上已有的铁矿类型,中国都已发现。但具有工业利用价值较大的矿床类型主要是跟区域变质成矿有关的鞍山式磁铁矿、攀枝花式钒钛磁铁矿、大冶式铁矿床、梅山式铁矿床和内蒙古白云鄂博稀土铁矿床等。主要矿石类型有: 磁铁矿矿石(保有储量中占全国总保有储量的一半以上),易选,是目前开采的主要矿石类型; 钒钛磁铁矿矿石(保有储量占全国总保有供应量的约 14.1%),成分复杂,选冶工艺要求高;“红矿”,即赤铁矿、菱铁矿、褐铁矿及混合矿的统称,这类矿石一般选矿难度大,其中部分选矿问题虽已解决,但精矿生产成本较高。此外,还有多组分共(伴)生铁矿石,约占总储量 $1/3$,涉及一批大中型矿区;主要伴生组分有钒、钛、稀土、铌、铜、锡、钼、铅、

锰矿储量在 1000 万吨以上的省有 8 个,占全国总保有储量的约 94 %。

锌、钴、金、铀、硼和硫等。由于组分多、成分复杂,故这类矿石的选冶等加工利用技术条件复杂,增加了开发利用的成本。

随着工业生产的高速增长,全国铁矿石的产量从 1957 年的 1936 万吨增加到 1996 年的 26210 万吨。同时由于我国富铁矿的贫乏和钢铁企业的飞速发展,每年进口的富铁矿石量和各类铁矿石总量也不断增加,如富铁矿石的进口量就从 23 万吨增加到 4387 万吨,而铁矿石的自给率也从 98.8% 下降到 86%。仅 1996 年进口铁矿石就耗去外汇 13.21 亿美元,在某种程度上制约了我国国民经济的发展。

我国已知铁矿资源富集区有以下主要地区:

鞍山—本溪区(辽宁)。典型矿床有东鞍山、西鞍山、齐大山、弓长岭、南芬等。主要矿床类型为鞍山式磁铁矿。

冀东—密云区。典型矿床有河北水厂、司家营、大石河、北京石人沟、沙厂等。主要矿床类型为鞍山式磁铁矿。

攀枝花—西昌区(四川)。典型矿床有攀枝花、太和、白马、红格等。主要矿床类型为攀枝花式钒钛磁铁矿。

五台—岚县区(山西)。典型矿床有山羊坪、袁家村、尖山等。主要矿床类型为鞍山式磁铁矿。

南京—马鞍山—庐江区。典型矿床有梅山(南京)、安徽的凹山、姑山、罗河等。主要矿床类型的生成跟中基性钠质火山侵入活动有关。

内蒙古白云鄂博区。典型矿床有白云主矿、东矿等。

参阅 1.2 节表 1-2。

90%的锰矿石用于钢铁工业,其次用于化工、电池等行业。1994年产钢9261万吨,约消耗463万吨成品锰矿。

这是物质组分特殊的含铈稀土铁矿。

湖北大冶及附近地区。典型矿床有铁山、程潮、张福山等。主要矿床的形成跟中酸性岩浆侵入活动有关。

太行山南部地区(河北以及山西和河南)。典型矿床有邯钢所属的几个矿山。矿床的生成大致同中基性岩浆侵入活动有关。

此外,相对比较集中的地区还有山东莱芜地区,河南的许昌、舞阳地区,云南中部的一些地区,甘肃的酒泉地区,新疆东部地区和海南石碌地区等。

(2) 锰矿

截至1994年底,全国累计探明锰矿石储量65239万吨。经历年开采和储量核实,保存有锰矿石储量59404万吨。在21个拥有锰矿储量的省(市、区)中,储量在1000万吨以上的省(市、区)有8个,占全国总保有储量的约94%。其中的90%集中在中国南部的广西、湖南、贵州、云南和四川5省区。

我国锰矿资源特点:

贫矿多,富矿少;碳酸锰矿多,氧化锰矿少。全国锰矿石平均品位只有21.4%,品位大于30%的锰矿石保有储量仅占总保有储量的6%强。

以中小型矿为主。中国的大型锰矿(储量大于2000万吨)仅有5处:辽宁的瓦房子,广西的下雷和木圭,湖南的后江桥和民乐。中型锰矿(200万~2000万吨)有50处,小型锰矿157处。由于受资源条件制约,中国尚无大型生产矿山。

我国主要锰矿床的类型有:

1996 年全国生产成品锰矿石量 440 万吨以上, 同年消费量达 600 万吨, 不足部分消耗外汇 13355.3 万美元。

海相化学沉积成矿类型。主要集中在扬子地台区和华南褶皱系。

区域变质作用成矿类型。主要分布在地台区(华北地台)和地槽区(松潘—甘孜)。

与岩浆活动有关的热液类型。我国东部地区都有分布。

表生风化作用成矿类型。主要分布在华南褶皱系和扬子地台。

锰矿的开发主要集中于广西、湖南和贵州等。据统计, 全国正在开采和进行基建的矿区 123 处, 年生产规模接近 340 万吨。其中, 国家重点锰矿山 12 座, 占用矿区 17 处, 生产能力 110 万吨/年以上。此外尚有 106 处开采矿山(点)由地方中小企业或乡、镇、个体开采, 生产能力已大大超过国有大中型矿山。

全国 90% 的锰矿石用于钢铁工业, 其次用于化工、电池等行业。1994 年产钢 9261 万吨, 约消耗 463 万吨成品锰矿。锰矿石产量还不能满足冶金工业的需要, 还需靠进口矿石补充。

1996 年全国生产成品矿石量 440 万吨以上, 同年消费量达 600 万吨, 不足部分由进口补充, 消耗外汇 13355.3 万美元。

全国的锰矿资源富集区有:

贵州遵义—松桃区。典型矿床有遵义铜锣井、白虎山和松桃杨立掌。

湖南花垣—湘潭—道县区。主要矿床有花垣县民

我国铬铁矿资源贫乏,产不足需,长期依赖大量进口。

乐、桃江县响涛源、湘潭、洞口县江口、道县后江桥等。

广西桂平—平乐区。主要矿床有桂平县木圭、荔浦、平乐县二塘、银山岭等。

广西大新一靖西区。主要矿床有大新县下雷、靖西湖润等。

辽宁—建昌地区。典型矿床有瓦房子锰矿。

(3) 铬铁矿

截至 1994 年底,全国累计探明铬矿石储量仅约 1321 万吨,矿产地 56 处,保有矿石储量 1124 万吨,主要分布于西藏(占全国总保有储量 39.8%)、新疆(占全国总保有储量的 16.1%)、内蒙古(占全国总保有储量的 15.5%)和甘肃(占全国总保有储量的 14%)。北京、青海和河北共占全国总保有储量的 14.3%。矿石类型中,冶金级矿石储量占全国总储量的 55.6%,主要在西藏和青海,化工级矿石储量主要分布在内蒙古和甘肃,耐火级矿石储量新疆最丰富。

目前我国尚未发现探明储量达 500 万吨以上的大型矿床。全国探明的中型矿(100 万~500 万吨)只有 3 处(罗布莎、大道尔吉和贺根山),保有储量 560 万吨。全国探明的小型铬铁矿共 41 处,其保有储量占全国总储量的 50%。

资源富集区有:

西藏雅鲁藏布中段富集区。典型矿床有罗布莎、香卡山等。

新疆西准葛尔地区。典型矿床为萨尔托海。

北祁连西段。典型矿床有甘肃大道尔吉、青海玉石沟等。

全国所需耐火粘土的很大部分是由集体矿山和民采提供的,而国有矿山产量仅占总产量的 18% 左右。

内蒙古中部地区。典型矿床有赫格拉、索伦山察汉胡勒、察汉奴鲁土木阿布格等。

我国铬铁矿资源贫乏,产不足需,长期依赖大量进口。1996 年国产铬铁矿仅占当年消费量的 9%,进口铬铁矿 76.44 万吨,消耗外汇 12434.5 万美元。进入 21 世纪以后,钢铁和其他的行业需用铬铁量还将增加,总计达 110 万吨/年,年进口量将在 90 万吨左右。

(4) 耐火粘土

截至 1994 年底,全国共有耐火粘土矿产地 329 处,保有储量 21 亿吨。但全国资源总量不少于 100 亿吨。

除西藏、青海、上海、天津等尚未发现外,其余的省(市、区)都有耐火粘土矿床分布。山西、内蒙古、河北、吉林、河南及山东 6 个省区集中了全国保有储量的 71%。

已知耐火粘土矿床中,呈单一矿床和共生矿产出的各占 30%;而共、伴生于其他矿床(如煤矿、铝土矿、铁矿等)中的却高达 40%。硬质粘土较多,高铝粘土和软质(含半软质)粘土较少;中低档矿多,优质矿少。全国共有硬质粘土探明总储量近 14 亿吨,占总储量的 65%;高铝粘土储量占总储量的 16%;软质粘土及半软质粘土占总储量的 19%。在高铝粘土储量中,特级品占 71%,I 级品占 22%;硬质粘土中,特级品仅占 3%,I 级品占 35%;软质及半软质粘土中,I 级品占 17%。耐火粘土是我国的优势矿产,以出口为主。高铝粘土是中国耐火粘土矿出口的主要品种,在国际上享有盛誉,竞争力强。全国每年出口熟料 54 万~86 万吨,占全国高铝粘土产量的 40%~50% 以上。

耐火粘土是我国的优势矿产,以出口为主。高铝粘土是中国耐火粘土矿出口的主要品种,在国际上享有盛誉,竞争力强。

耐火粘土矿床以跟陆相和海相沉积成矿作用有关的矿床为主,其次是跟陆相表生风化成矿有关的矿床。据统计,目前全国 273 个可以利用的矿区中,已建生产能力达 440 万吨/年,预计到 2000 年全国产能可达 670 万吨/年,2010 年达 940 万吨/年。全国所需耐火粘土的很大部分是由集体矿山和民采提供的,而国有矿山产量仅占总产量的 18% 左右。

按矿床类型和已知矿床在各地的分布特点,耐火粘土可划分为以下几个富集区:

黄河中下游地区。保有储量占全国总量的 6%。典型矿床有山西太湖石、大同,河北赵各庄、白马山,内蒙古大青山,河南巩义、焦作,山东王村等。

长江中上游地区。主要包括云、贵、川、鄂、湘等五省区。该区保有储量占全国总量的 15%。典型矿床有贵州清镇红花寨、修文小坝,湖北恩施铁厂坎、宜城西山,湖南湘潭谭家山等。

东北地区。该区保有储量占全国总量的 10.3%。典型矿床有辽宁红阳、锦山南票,吉林舒兰等。

除上述集中区外,广东、广西、甘肃、江西等均有上千万吨探明储量。

(5) 菱镁矿

截至 1994 年底,全国 27 处矿产地的累计探明储量 31 亿吨,总保有储量 30 亿吨。菱镁矿储量高度集中于辽宁和山东两省,分别占全国总储量的约 86% 和 10%。

已有 27 处产地中,大型(储量大于 0.5 亿吨)超大型矿床产地 11 处,保有储量 29 亿吨;中型(储量 0.1 亿~0.5 亿

全国所需耐火粘土的很大部分是由集体矿山和民采提供的,而国有矿山产量仅占总产量的 18% 左右。

吨)产地 5 处。大中型产地开采条件一般较好,适于露采、机械化作业和规模经营。

我国菱镁矿矿石质地优良,在国际上具有很强的竞争力。菱镁矿储量中,含 MgO 43% 的一、二级品共占总储量的 53%。其中,一级品以上的占总保有储量的 38%,二级品储量占 16%,资源条件十分优越。据“报告”公布,1994 年全国菱镁矿矿石产量达 787 万吨,1996 年出口达 269 万吨,换取外汇 46587 万美元。预计在 2000—2010 年,菱镁矿的探明储量完全可以满足国民经济发展和出口的需求。

菱镁矿形成的成矿地质条件多样,而我国以区域变质作用成矿形成的晶质菱镁矿床(辽宁海城—营口)、岩浆期后热液成矿作用形成的晶质菱镁矿床,以及超基性岩中陆相表生风化的非晶质菱镁矿床为主。我国菱镁矿可划分以下两个富集区:

辽宁海城—营口菱镁矿富集区。本区储量占全国总量的 85%,典型矿床有海城桦子峪、营口青山怀等。

山东莱州湾菱镁矿富集区。本区储量占全国总量的 10%,典型矿床有掖县优游山、粉子山等。

(6) 萤石

至 1994 年底,全国萤石(矿物量)累计探明储量达 1.44 亿吨,保有储量 1.14 亿吨,分布于 24 个省、市、自治区的 198 个矿产地中,此外还有少量以矿石量计的萤石储量与矿区。萤石矿主要分布在内蒙古、湖南、浙江、福建、江西和广东等 6 省区。其储量约占全国的 90%,全国 24 个大型产地(CaF_2 保有储量大于 100 万吨者)中,就占有 20 处。特别

我国菱镁矿矿石质地优良,在国际上具有很强的竞争力。储量中,含 MgO 43% 的一、二级品共占总储量的 53%。

是湖南拥有的储量最多,占全国总量的 45%,但以伴生萤石为主。萤石矿产资源高度集中于几个省、区,有利于建成几个综合性生产基地。矿床的主要特征是:

大中型矿床多。现有 99 个大中型矿床,保有储量约占全国总量的 93%,矿床规模大、有利于大型开采,实现规模经营。

共(伴)生矿储量大。萤石储量中,约有 38% 的萤石或约有 59% 矿石以共生形态出现,且多与锡钨等多金属或与铅锌等硫化物矿床共(伴)生,这类矿床 CaF_2 含量低(6.83% ~ 31.04%)。独立主矿床开采时,仅小部分随主矿的开采得以回收,损失和丢失现象严重。

贫矿多,富矿少。全国探明储量中,单一萤石矿床 CaF_2 的平均含量约 50%。若包括伴生萤石矿床,则全国 CaF_2 的平均品位仅 27% 左右。富矿(CaF_2 65%)储量仅占全国总储量约 9%。大部分萤石矿床需经选矿加工方可获得成品矿,这就相对提高了矿石的单位成本,影响了开发利用的经济效益。

全国单一萤石矿山和以萤石为主矿的矿山的建成生产规模共计达 240 万吨/年(矿石)以上。其中浙江约 95 万吨,广东 25 万吨,福建 22 万吨,湖北 17 万吨,内蒙古 12 万吨,江西 12 万吨及湖南约 10 万吨。

萤石矿山以地方乡镇集体企业为主。全国萤石矿产量为 140 万吨,其中地方矿山占全国产量近 85%。国有矿山回收率较高,而乡镇矿山很低(一般在 20% 左右),浪费严重。

萤石是我国的优势矿产,内销和出口旺盛。当前出口萤

铜、铅、锌、铝土矿、镁、镍、钴、钨、锡、钼、锑、汞、铋等 13 种属广义的有色金属矿产,其中铝,铅,锌,钼,镍较为丰富。

石约占年产量的 60% 以上。近年出口数量增加,1987 年近 130 万吨,换得外汇约 13 亿美元。

按萤石矿床的成矿地质构造环境和自身的特征,全国可划分为以下几个萤石矿产资源富集区:

东部沿海地区。北起胶东半岛,经安徽、浙江、福建,至广东及广西,已知有大中型矿床 40 余处和众多小型矿床。其中,浙江省萤石储量居全国第二位,是中国目前最大的萤石生产和出口基地。典型矿床有浙江武义杨家,遂昌湖山和武义后树等。

中南富集区。萤石矿产分布于湖南、湖北、河南三省,已知有大中型矿床 9 处,其中湖南柿竹园矿是目前我国最大的伴生萤石矿。典型矿床有湖北红安、湖南衡南和柿竹园等。

内蒙古中部富集区。分布于白云鄂博—二连浩特一线。典型矿床有苏莫查干敖包,白云鄂博伴生萤石矿等。

云贵川富集区。区内有大中型矿床 6 处和诸多小型矿床。典型矿床有贵州必康、大厂等。

目前我国在冶炼钢铁过程中用于熔剂的萤石仅 1.5 公斤/吨,全国共消耗 10 余万吨;炼铝消耗 13 万吨;化工生产消耗 22 万吨;建筑工业用约 30 万吨;全国消费量共有 75 万吨左右。预计 21 世纪,萤石矿产可以满足要求。在国际贸易中,萤石是我国重点出口的矿产品,出口量为 130 万~150 万吨/年。国内使用和向国外出口合计为 200 万~230 万吨/年,按现有保存储量推算,可以满足到 2020 年的需求。

总之,冶金工业的发展和高性能冶金产品的需求越来越

我国铜矿品位大体上跟美国、加拿大、菲律宾铜矿相近,远低于智利、赞比亚、扎伊尔、波兰的铜矿品位。

旺的形势,对铁、锰、铬、耐火粘土、菱镁矿和萤石等黑色金属及冶金辅助原料矿产的需求量越来越大。我国的铁矿资源并不贫乏,但以贫矿为主,富矿较少,需进口国外富矿弥补不足。从总体和长远来看,在一定时期内的铁矿资源供需还可大部分保证。耐火粘土,菱镁矿和萤石属我国的优势矿种,除满足国内需求外,尚可出口换汇。锰、铬属我国的短缺矿种,需进口才能满足我国冶金工业发展的需求。

有色金属矿产

铜、铅、锌、铝土矿、镁、镍、钴、钨、锡、钼、锑、汞、铋等 13 种属广义的有色金属矿产。其中铝,铅,锌,钼,镍的资源丰富或较为丰富,钨,锡,锑,镁,汞是我国传统的出口优势矿产;我国的铜矿以贫矿为主,中小矿居多;钴、铋的潜在资源量较足。全国已知有色金属矿产地共 3970 处(1994 年统计),已探明的储量可基本上满足了我国当前有色工业发展的需要。

(1) 铜矿

截至 1994 年,全国累计探明铜矿总储量近 7176 万吨(铜金属,下同),保有储量近 6252 万吨,其中 A + B + C 级储量约占 43%。

已知铜矿产地,分布于除天津以外的所有省、市、区,其中江西、云南和西藏三省区的储量,占全国总储量的 80%。

我国铜矿成矿地质条件较为优越,矿床类型齐全,找矿潜力较大。近年来在西南地区有重大发现。

铜、铅、锌、铝土矿、镁、镍、钴、钨、锡、钼、锑、汞、铋等 13 种属广义的有色金属矿产,其中铝,铅,锌,钼,镍较为丰富。

我国铜矿资源特点是:

大型铜矿少。我国仅有 500 万吨以上的大型铜矿 2 处,即江西德兴铜矿和西藏玉龙铜矿两处。在国内探明的 900 多个铜矿产地中,大型矿床仅占 2.7%,中型占 8.9%,小型占 88.4%(表 2-2)。

含铜品位低。全国铜矿平均品位为 0.87%。含铜品位大于 1% 的铜矿床铜储量约占全国总储量的 1/3 强。大型铜矿中,品位大于 1% 的矿床总储量仅占 13%,而中小型铜矿占 46.7%。我国铜矿品位大体上跟美国、加拿大、菲律宾铜矿相近,远低于智利、赞比亚、扎伊尔、波兰的铜矿品位。

伴生组分多。铜矿床中铜多与其他一些金属元素矿物和非金属矿物相伴生或共生。在 900 多个铜矿床中,只开采铜的单一矿仅占 27%,同时开采利用其他共生、伴生有用物质组分的综合矿占 73%。全国伴生金产量的 76% 来自铜矿,32.5% 的银从铜矿中提取,这表明铜矿中的共、伴生金银具有较大经济价值。全国有色金属矿山副产的硫精矿,80% 来自铜矿山。除此之外,从中还可回收铅、锌、钼、钴、铂族金属及铁精矿等。

截至 1994 年全国已开采利用的矿区 398 处,保有储量共约 3140 万吨。已建成德兴、永平、铜绿山、铜山口等几个大型露天矿,1996 年合计保有储量达 1040 万吨左右(其中德兴 792 万吨、永平 131 万吨、铜绿山 79 万吨、铜山口 40 万吨),其余的均为地下开采矿山。1994 年铜的采选能力(金

国外共有 54 处。

全国伴生金产量的 76% 来自铜矿, 32.5% 的银从铜矿中提取, 这表明铜矿中的共、伴生金银具有较大的经济价值。

属含量) 近 38 万吨, 冶炼综合能力约 78 万吨, 精炼铜近 74 万吨(包括进口粗铜和杂铜生产的 30 万吨在内)。

经过 50 年的铜业建设, 中国铜工业取得了长足进步。铜的产量从 1953 年约 4 万吨增加到 1994 年的近 74 万吨, 年均递增率 6.22%。同时, 铜的消费量从 1953 年的 3.59 万吨增加到 1994 年的 100 万吨左右, 年均递增率 8.9%。消费增长速度高于生产增长速度, 因而供需矛盾比较突出。据国家统计, 1996 年进口铜精矿达 82.48 万吨, 耗汇 3.93 亿美元; 进口粗铜 13.3 万吨, 用汇 2.43 亿美元; 进口废杂铜 79.73 万吨, 耗汇 3.42 亿美元。估计 2000 年至 2010 年需求量将以较高速度增长, 届时, 国内铜产量跟需求量相比仍有很大差距(图 2-4)。

图 2-4 2000—2010 年我国铜需求量与铜产量预测对比图

(根据宋瑞祥主编的 1996 年中国矿产资源报告, P87)

我国的铜矿床可划分为下列 7 个主要类型:

同钙铁镁质基性—超基性岩浆侵入活动有关的铜镍铂硫化物型矿床。以甘肃金川白家嘴子、吉林红旗岭、新疆哈密黄山、富蕴喀拉通克等铜镍矿床为代表。

同中酸性浅成岩浆侵入作用有关的铜钼矿。以江西德兴、西藏玉龙、山西铜矿峪、黑龙江多宝山为代表。

同中酸性浅成岩浆侵入成矿有关的铁铜矿床。以湖北铜绿山、安徽铜官山等矿床为代表。

同基性—中基性(局部富钠)海底火山喷发有关的铜

1996 年进口铜精矿、粗铜和废杂铜耗汇分别为 3.93、2.43 和 3.42 亿美元。

锌矿床。以辽宁红透山、甘肃白银厂、新疆阿舍勒等铜矿为代表。

同陆相火山喷发作用有关的铜矿床。以福建紫金山、江西银山为代表。

同海相沉积作用有关的低级区域变质铜矿床。以内蒙古霍各乞、云南东川式铜矿为代表。

同陆相碎屑沉积作用有关的铜矿。云南六苴为典型代表。

根据上述铜矿特征及区域分布情况,可将全国铜矿床划分以下 8 个铜矿资源富集区:

长江中下游区。典型矿床有湖北大冶铜绿山,江西德兴铜厂、永平天排山、九江城门山,安徽铜陵冬瓜山等。

西藏昌都区。典型矿床有江达玉龙、察雅马拉松多等。

川西南—滇中区。典型矿床有四川会理大铜厂、九龙李伍、会理拉拉厂,云南大姚六苴、东川等。

金川—白银区。典型矿床有甘肃金川白家嘴子、白银厂等。

中条山地区。典型矿床有山西垣曲铜矿峪、闻喜篦子沟等。

内蒙古满洲里地区。典型矿床有乌奴格吐山、八大关等。

青海海南区。典型矿床有铜峪沟、德尔尼、赛什塘等。

滇西北区。主要有羊拉、雪鸡坪、白秧坪和全满等铜

截至 1994 年底,五省、区铝土矿占全国累计探明储量的 90%,如此集中分布,有利于建设大型氧化铝基地。

矿床。

此外,全国铜矿储量较为丰富的产地或地区还有:内蒙古自治区霍各乞,黑龙江多宝山,广东曲江大宝山,新疆阿舍勒和福建紫金山等。

(2) 铝土矿

截至 1994 年底,全国铝土矿累计储量达 24 亿吨,保有储量近 23 亿吨,其中 A + B + C 级储量接近总储量的 1/3,主要分布在 19 个省市自治区。其中山西、贵州、河南、广西、山东五省、区储量约 21 亿吨,占全国累计探明储量的 90%,约有一半储量分布于山东、郑州、中州、山西、贵州及平果六大氧化铝基地。铝土矿资源集中分布,有利于建设大型氧化铝基地。

我国铝土资源基本特点:

大型矿床少。在已查明的 306 处铝土矿床中,储量在 5000 万吨以上的矿床仅有 5 个,多数矿床储量都为 500 万 ~ 2000 万吨,还有不少储量在 500 万吨以下的小型矿床。

沉积型矿床居多。坑采储量比重较大,适合于露天开采的约占 30%,介于露采和坑采之间的约占 40%,其余 30% 宜坑内开采。且多数沉积型矿床矿层薄,缓倾斜,矿体顶底板围岩不稳固,坑采难度大。

水硬铝石型矿石居多。铝土矿保有储量中,一水硬铝土矿约占 98%,属于高铝高硅低铁难溶的矿石,铝硅比偏低,溶出性能差,生产成本高。

全国已开发利用矿区的储量约占保有储量的 16% 强,可供利用的储量接近 74%,目前暂难利用矿区储量约占 10%。

我国铅锌矿石品位锌高于铅。铜锌比,国外平均为 1 : 1.2,我国则为 1 : 2.5。这对开发利用是有利的。

截至 1994 年,已开采利用的铝土矿区 59 处,其中重点矿山 17 处,拥有铝土矿生产能力 445 万吨,实际采矿量为 207 万吨。加上民采矿石,全国铝土矿产量约为 660 万吨。

到 1994 年底,全国已形成氧化铝生产能力 213 万吨/年,产量 158 万吨。全国六大氧化铝基地建成后最终可形成 615 万吨/年的生产规模。

全国铝土矿资源富集区有 4 个:

晋中—晋北区。典型矿床有孝义西河底、交口毕家掌、柳林三家山、保德县天桥等。

豫西—晋南区。典型矿床有河南渑池曹瑶、灵宝杨家峪、四范沟、新安贾沟、石寺、偃师县夹沟、巩义竹沟和山西平陆下坪等。

黔北—黔中区。典型矿床有遵义团溪,清镇猫场、林歹,修文干坝、小山坝、贵阳斗篷山等。

桂西—滇东区。典型矿床有苹果那豆、田阳古美、田东游昌、德保隆华等。

我国铝土矿资源丰富,已探明的储量可以满足国内经济建设的需要,直至 2010 年还可以基本保证。但是,我国铝土矿多为一水硬铝型,在提炼金属铝过程中,耗能大、生产成本低、经济效益低,其成品的销售在国际市场上缺乏竞争力。因此,进口一定数量易于提炼的三水型铝土矿是有利于我国铝工业发展的。

(3) 铅锌矿

全国铅锌矿产资源比较丰富,矿床类型齐全,开采的经济效益较好。截至 1994 年底,累计探明铅储量 4199 万吨

铅锌矿石中伴(共)生的有用元素达 50 种,主要有银、铜、金、镉、镓、铟、硫和氟等,有利于综合利用。

(金属量,下同),锌为 10742 万吨;保有铅总储量 3376 万吨,保有锌储量近 8848 万吨,其中 A + B + C 级储量分别为 1/3 弱和 1/3 强。

铅锌矿产地分布广,但又相对集中于南岭地区、川滇地区、滇西兰坪地区、秦岭—祁连山区及狼山—渣尔泰地区。

我国铅锌矿产资源的基本特点如下:

矿石品位锌高于铅。矿石中的铅锌比,国外平均为 1 : 1.2,我国则为 1 : 2.5。从当前世界铅锌的消费趋势和价格看,锌均优于铅。这一比值对矿产资源的开发利用是有利的。

伴生有用组分多。铅锌矿石中伴(共)生的有用元素达 50 种,主要有银、铜、金、镉、镓、铟、硫和氟等,有利于综合利用。

在铅锌矿田范围内,往往还有与其成因上相近,成矿作用相似,受类似构造控制的其他金属矿床同时出现,共同形成具有明显分带的矿床系列。像湖南水口山铅锌矿区的金、银矿床;江西银山铅锌矿区的铜金银矿床。

截至 1994 年底,全国已开发利用铅矿区 305 处,利用储量 1840 万吨,占总保有储量的 54.5%;可利用矿区 259 处,合计保有储量约 1110 万吨,接近总保有储量的约 1/3。1994 年采选综合生产能力为 34 万吨/年,冶炼综合能力为 48 万吨/年。

截至 1994 年底,全国已开发利用锌矿区 314 处,利用保有储量约 5210 万吨,占总保有储量的 59%;可利用锌矿区 275 处,合计保有储量近 3000 万吨,约占总保有储量的

预计到 2010 年镍仍属不能保证的矿产,需进口补充才能满足我国 21 世纪初国民经济的需求。

34%。锌矿采选综合能力及冶炼综合能力分别为 74 万吨/年和 105 万吨/年。

铅锌矿产可划分以下 4 个铅锌资源富集区:

南岭地区。包括湘南、粤北和桂东,典型矿床有湖南桃林、桂阳和广东凡口等。

川滇地区。包括川西南和滇北。典型矿床有云南兰坪金顶、会泽,四川会东、会理等。

西秦岭地区。包括甘南和陕南。典型矿床有甘肃厂坝、小铁山,陕西铅硐山等。

狼山—渣尔泰山和燕辽地区。典型矿床有内蒙古的东升庙、甲生盘、白音诺尔、霍各乞和河北的蔡家营等。

(4) 镍矿

截至 1994 年底,全国累计探明镍储量近 868 万吨(金属量);镍总保有储量 792 万吨,其中 A+B+C 级 370 万吨。

已知镍矿储量分布在 18 个省、区的 87 处矿产地中。主要集中在甘肃,占全国总保有储量的 2/3 弱;其次,在新疆、云南、吉林、湖北、四川、陕西、青海 7 省、区的中小型矿产地中,合计保有储量占全国总保有储量的 1/3 强。

我国镍矿资源特点如下:

以硫化镍矿和富矿为主。全国硫化镍矿保有储量占镍矿总储量的 83% 左右,其余为其他镍矿。全国富矿储量约 530 万吨(指含镍大于 1% 的硫化镍矿石),占总储量的 67%,主要分布于甘肃金川矿区。截至 1992 年底,已建和在建矿山保有储量约 510 万吨,占全国保有储量的约 2%,平均品位大于 1%。

钨矿为我国的优势矿产。钨矿储量超过世界其他国家储量基础总和。

适合露天采的硫化镍储量少。全国适合露采的镍矿床仅有红旗岭 1 号矿体和白家嘴子 1 号矿区浅部,两矿露采储量占全国可利用矿区储量的 10% 左右。

主要矿床类型有铜镍硫化物型(甘肃金川白家嘴子)和陆相表生风化壳(云南墨江最典型)两类。

截至 1994 年底,已利用镍矿产地 20 处,合计保有储量约 500 万吨。主要开采矿区是甘肃白家嘴子 1 号、7 号矿区,其次是吉林红旗岭 1 号和 7 号岩体。生产矿区已建镍矿石生产规模近 250 万吨/年。

1997 年共进口镍精矿及相关镍矿石类 14410 吨,消耗外汇 7274 万美元。

全国主要镍矿富集区有:

甘肃金川地区。储量占全国总量的 60% 以上。

川滇地区。储量占全国总量的 13%,典型矿床有四川杨柳坪、力马河和云南金坪白马寨等。

新疆区。探明储量占全国总储量的 11.4%,典型矿床有哈密黄山、富蕴喀拉通克等。

预计到 2010 年镍仍属不能保证的矿产,需进口补充才能满足我国 21 世纪初国民经济的需求。

(5) 钨矿

钨矿为我国的优势矿产。截至 1994 年底,累计探明储量达 638 万吨(WO_3 ,下同),保有储量接近 532 万吨,其中 A + B + C 级储量约占 43%。

已知钨资源广布于全国 22 个省、市、自治区。但主要集中在湖南(180 万吨)和江西(115 万吨);其次为河南、广西、

钨矿床中 useful 组分多达 30 多种,主要有锡、钼、铋、铜、铅、锌、金、银等。对提高经济效益十分有利。

福建、广东、甘肃、黑龙江;其余省(市、区)很少。

华南地区是中国乃至世界最著名的钨矿产富集区,其中尤以江西、湖南最为丰富。前者以黑钨矿为主,后者则白钨矿占多数。秦岭祁连地区,成矿条件好,自 20 世纪 70 年代以来,已发现一些大型钨矿床,找矿前景乐观,有可能成为我国第二个钨资源开发利用基地。

我国钨矿资源特点如下:

储量十分丰富,矿床类型齐全。据统计,我国钨矿储量已超过世界其他国家储量基础总和。我国钨矿类型也很多,只有现代热泉沉积矿床和含钨卤水—蒸发岩矿床国内尚未发现。

成分以白钨矿居多。白钨矿及混合钨矿储量所占比例正逐年增加。而占产量 90% 以上的黑钨矿储量所占比例正在逐渐减少,可利用储量已不多。白钨矿储量占 52%,混合钨矿占 23%,黑钨矿占 25%。白钨矿及混合钨矿由于选矿问题未彻底解决,至今仍未得到很好利用。

共(伴)生组分多,综合利用价值大。据统计,钨矿床中 useful 组分多达 30 多种,主要有锡、钼、铋、铜、铅、锌、金、银等。这些共(伴)生组分,都有综合利用价值,对提高经济效益十分有利。

品位低,开采成本高。据中国钨业协会统计资料,在保有储量中,原矿品位大于 0.5% 的仅占 20%;而在白钨矿的工业储量中,原矿品位大于 0.5% 的仅占 2% 左右。与国际相比,我国白钨矿质量处于劣势。

伴生钨所占比例较大。全国伴生钨矿储量约占总量

1997 年度出口钨精矿等有关产品共 2.3058 万吨,换取外汇 1.304 亿美元。在国际市场上占有举足轻重的地位。

的 25%。

我国钨矿可划分为三种主要类型:

中酸—酸性岩浆侵入作用期后的岩浆热液型钨矿床(包括大脉型及层控热液型)。以江西西华山、福建行洛坑、湖南沃溪为代表。

与中酸性岩浆侵入成矿有关的钨矿床。以江西阳储岭为代表;

与中酸—酸性岩浆侵入成矿有关的白钨矿床。以湖南瑶岗仙为代表。

截至 1994 年底,中国钨矿已开发利用产地 171 处,保有储量 330 万吨,可采储量 200 万吨以上,占全国保有可采储量的 88.8%。

开采利用矿区已形成钨矿采矿能力 817 万余吨/年(矿石)或 2.4547 万吨/年(金属),选矿能力 833.33 万吨/年(矿石)或约 2.5 万吨/年(金属)。

1994 年,中国钨精矿产量达 5 万吨以上,较 1993 年增长 18%,但仍未达到历史水平。其中湖南占 53% 强,江西占 31% 强,钨矿开采正由江西转向湖南。

1997 年度出口钨精矿等有关产品共 2.3058 万吨,换取外汇 1.304 亿美元。我国已成为世界上钨矿出口大国,在国际市场上占有举足轻重的地位。

我国已知钨矿主要分布于以下几个钨矿资源富集区:

华南地区。包括江西、湘南、粤北、桂东和闽西,占全国总储量的 70% 以上。典型矿床有江西的西华山、盘古山、大吉山、漂塘,湖南的瑶岗仙、柿竹园,广东的石人嶂、瑶岭、

全国锡矿资源丰富,探明储量居世界前列。

锯板坑、莲花山,广西的大明山和福建的行洛坑等。

秦岭地区。储量占全国的 12%。典型矿床有河南三道庄、骆驼山等。

北祁连地区。典型矿床有塔儿沟、野马滩等。

除以上集中区外,主要钨矿还有黑龙江翠宏山、新疆白石头等。

钨是我国的优势矿产,可以出口换外汇。预计至 2010 年不仅能满足国内需求,还可以继续出口换汇。

(6) 锡矿

全国锡矿资源丰富,探明储量居世界前列。截至 1994 年底,累计探明储量 543 万吨,其中 A + B + C 级占 64% 强;锡矿探明产地 297 处,保有储量 387 万吨,其中 A + B + C 级占 43% 弱。

全国锡矿分布于 15 个省、自治区。截至 1994 年,云南省保有储量 125 万吨,广西保有储量 112 万吨,广东保有储量 42 万吨,湖南保有储量 39 万吨,内蒙古保有储量 33 万吨。共占总储量的 96.54%。

我国锡矿资源特点如下:

原生矿多,砂锡少。全国砂锡储量 40 万吨,原生锡 346 万吨。

组分简单的矿少,综合矿多。原生锡矿中,锡石硫化物型多金属矿床的储量约占总量的 80%。这种类型矿床中伴生有铜、铅、锌、锑、钨等 20 多种元素,可综合回收利用,但回收工艺流程难度大。

全国 1994 年已开发利用矿区 182 个,保有储量 270 万

1997 年度,我国共出口锡及有关制品 4.5837 万吨,换取外汇 2.2791 亿美元。至 2010 年资源的优势将继续发挥。

吨,占全国锡矿总储量的 48% 左右。其中可采储量约 89%。

1994 年,全国锡矿采选综合能力接近 4 万吨/年(金属量):冶炼综合能力为 9 万吨/年以上。

云南、广西为中国最大的产锡基地,年产量约占总量的 80%。1994 年,云南锡业公司产锡精矿 1.84 万吨,大厂矿务局产锡精矿 0.82 万吨。全国锡金属产量 6.78 万吨/年。

1997 年度,我国共出口锡及有关制品 4.5837 万吨,换取外汇 2.2791 亿美元。至 2010 年,我国已经探明的储量和保有锡矿储量可以满足国内需求,继续可供出口换外汇,锡矿资源的优势将继续发挥。

我国锡矿资源富集区如下:

滇南区。典型矿床有个旧、马关都龙等。

桂西区。典型矿床有南丹大厂等。

粤湘赣南地区。典型矿床有广东银坪山、大顶、锡山,江西红水寨、大余下垅、会昌岩背,湖南桂阳大顺隆、临武香花岭等。

(7) 钼矿

我国钼矿资源比较丰富。截至 1997 年底,全国探明储量的大中小型钼矿区 233 处,累计探明钼金属储量 885 万吨;保有钼金属储量 851 万吨,其中 A + B + C 级工业储量约占 40%。钼矿广布于全国 29 个省(市、区),但储量相对集中于河南、陕西、吉林等 8 个省区,其储量合计约占总储量的 82%。

我国钼矿资源主要特点如下:

大中型矿床多。全国共有储量规模在 1 万吨以上的

陕西金堆城、辽宁杨家杖子、河南栾川是中国三个重要的钼业基地,产量约占全国钼精矿总量的 80% 以上。

大中型钼矿区 64 个,1994 年保有储量 824 万吨,占保有总储量的 98%。

贫矿多富矿少,但易采易选。全国钼平均品位大于 0.1% 的大中型钼矿床共 25 个,储量 330 万吨,占全国累计探明总储量的 1/3 强。共(伴)生钼矿床储量较少,约占全国总储量的 22%,品位较低,且多为难选矿,产量少。

目前已开采利用钼矿区 100 处,保有储量占总保有储量的 1/3 强。可(规划)利用矿区 81 处,其保有储量也占总保有储量的 1/3 强。

1994 年,全国钼矿采出矿石量 1100 万吨,折合金属量约 2.83 万吨。陕西金堆城、辽宁杨家杖子、河南栾川是中国三个重要的钼业基地,其产量约占全国钼精矿总量的 80% 以上。

1997 年度出口钼矿砂,钼精矿及相关产品总量达 2.755 万吨,换取外汇 1.4274 亿美元,成为我国出口的优势矿产品之一。

我国有以下两个钼矿资源富集区:

金堆城—栾川地区。典型矿床有陕西的金堆城、黄龙铺,河南的栾川上房沟、南泥湖、嵩县雷门沟等。

华北地台北缘区。典型矿床以辽宁锦西杨家杖子、兰家沟,吉林大黑山,河北丰宁撒岱沟等矿床为代表。

(8) 铋矿

截至 1994 年底,全国累计探明铋矿储量 343 万吨(铋金属,下同),保有储量 221 万吨(其中 A+B+C 级占 1/3 弱)。

全国有 16 个省区有铋矿产地,其中以湖南探明储量最

锑和金银常常共生,形成单独的锑金共生矿床。

多,占全国总量的 $1/4$ 强,其次为广西、贵州、云南和甘肃等。上述五省区合计储量占全国总量的 $4/5$ 强。

我国锑矿资源的特点如下:

以层控一层状和脉状矿床为主,其储量分别约占全国总储量的 32% 和 26%;跟火山岩类有关的似层状矿床资源潜力较大,是一个有远景的工业类型。

单一锑矿和多金属矿中伴(共)生锑储量分别占全国总量的 40% 和 34%。以锑为主的伴(共)生矿床中锑储量仅占 26%。

锑和金银常常共生,形成单独的锑金共生矿床。如湖南沅陵沃溪乌溪锑金矿床,桃江板溪、安化渣滓溪锑金矿床和广东梅县嵩溪银锑矿等。

截至 1994 年,全国已利用锑矿区 65 处,占有锑保有储量的 $2/3$ 强。可利用的锑矿区 37 处,其保有储量约占总保有储量的 $1/8$ 强。

1994 年度锑矿砂、精矿及有关产品出口 5.9364 万吨,换取外汇 1.15 亿美元。

我国锑矿资源富集区有:

湘中区。典型矿床有安化渣滓溪、桃江板溪、新化锡矿山、新邵龙山等。

黔东南—桂北区。典型矿床有贵州的半坡、榕江县八蒙和广西的大厂、五圩箭猪坡等。

黔西南—滇东南区。典型矿床有贵州晴隆、云南文山木利等。

据已知锑矿资源的保有储量推算,至 2010 年的资源保

稀土金属又称稀土元素,是白色、灰白色金属、化学性质很活泼,彼此间性质很相似。

证程度较高,可以满足国内和对外出口的需求,可继续发挥
锑矿资源的优势。

除上述 8 种外,尚有镁、钴、铋、汞 4 种有色金属。它们在国民经济的消费量较小,目前产量不高,因而在此不再叙述。

有色金属是我国继能源矿产、黑色金属矿产之后的第三类重要的矿产资源。它的产量的高低,品级的优劣直接影响到矿业的效益,是制约国民经济发展的的重要因素。有色金属矿产在全国分布极不均匀,在相对集中地区内,无论是规模性地开发利用,还是小规模开采都是发展地方经济物质基础,是有些地区脱贫致富的主要依托。

稀土金属

稀土金属又称稀土元素，系指镧、铈、镨、钕、钷、铽、钆、铒、铥、镱、镱、镱等，是镧系元素及钇、铕元素的总称。一般分为轻、重稀土两组：

轻稀土。又称铈族稀土,常用 Ce 或 LREE 表示。包括:镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)和铕(Eu)共 7 个元素;

重稀土。又称钇族稀土,常用 Y 或 HREE 表示。包括:钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)和钇(Y)。

稀土元素是白色、灰白色金属,质地软,化学性质很活泼,彼此间性质很相似,但随着原子序数的增加,各稀土元素

我国稀土资源丰富,可以继续出口,发挥我国稀土矿产优势在国际交往中的作用。

的性质出现有规律的变化,使元素间存在较小的差异,引起稀土元素在自然界的分离,使它以类质同象形式加入其他矿物中的能力各不相同。据此,可以利用 LREE 组分(配分)的变化来解说成矿过程的地质和物理—化学条件。稀土矿床中可开发利用稀土元素的主要工业矿物有:

含铈族(镧、铈、钕)的矿物。有氟碳铈矿、氟碳钕钙矿和独居石等。

富含钐和铈的矿物。有铈铈矿、黑稀金矿及硅铈铈矿。

含铈族(铈、镨、钕及铕)的矿物。有铈易解石,黑稀金矿、褐铈矿、磷铈矿及氟碳钙铈矿等。

我国稀土资源丰富,可以继续出口,发挥我国稀土矿产优势在国际交往中的作用。

贵金属矿产

贵金属包括金、银,铂族(铂、钯、钨、铑、钌、铱)等元素,在国际上金既可用作硬通货,视为一个国家经济实力强弱的标志,又可制作金器、首饰满足整个社会需求。金、银、铂在空间和电子等尖端技术领域应用较广,用量日益增大。贵金属无论在历史上,还是当今社会,其拥有量可表示一个国家、一个家庭或个人财富的多寡,所以都受到政府和人民大众的重视。

(1) 金矿

截至 1994 年底,我国各类金矿累计探明储量 5400 吨以

在国际上金可用作硬通货,视为一个国家经济实力强弱的标志。

上,保有储量接近 4200 吨,其中岩金最多,其次为伴生金,砂金最少。

我国金矿分布广泛,各省、区均有探明储量。岩金保有储量以山东最丰富(580 吨):储量大于百吨的有河北、陕西、贵州、河南、辽宁、吉林、黑龙江、湖北等省。砂金保有储量以黑龙江最多,次为四川、陕西、内蒙古、江西、甘肃、青海等省区。

我国金矿资源的主要特点如下:

金矿品位多为中等。全国岩金平均品位 6.56 克/吨,已开发利用的岩金矿区平均品位 7.57 克/吨,可供建设利用的岩金矿区平均品位 7.19 克/吨。全国已开发利用的砂金矿平均品位 0.34 克/米³。

小型矿床多,大中型矿床少,超大型矿床更少。全国大型金矿产地占金矿产地数的 88%。储量大于 60 吨的矿产地仅 5 处。大于 100 吨的超大型矿床有金山、焦家、玲珑、老王寨和烂泥沟等。至今,全国尚未发现超过 2000 吨级的特大型金矿床。

1994 年,我国拥有岩金矿山 329 个,其中 500 吨/日以上的矿山 24 个,200 ~ 500 吨/日的矿山 53 个,产金能力 67 吨/年;砂金采金船 151 条,其中 250 升以上规模的 10 条。

1997 年,中国黄金产量(成品金 + 含量金)已超过 180 吨。其中:黄金矿山金约 166.21 吨,1997 年度进口黄金耗费外汇 9.0932 亿美元,出口黄金首饰换取外汇 10.6746 亿美元。

我国金矿资源富集区有:

1997 年,中国黄金产量已超过 180 吨。

胶东区。典型矿床有莱州市焦家、招远县玲珑、河西、乳山县金青顶等。

小秦岭区(含豫西)。典型矿床有陕西潼关县桐峪、潼峪和河南灵宝县文峪、杨砦峪等。

黑龙江区。典型矿床有呼玛县韩家园子、兴隆沟、漠河县老沟、桦南、嘉荫县团结沟、黑河罕达气等。

华北—吉东区。典型矿床有河北迁西金厂峪、宣化小营盘,山西繁峙县义兴寨,内蒙古敖汉旗撰山子、赤峰市红花沟,吉林桦甸市夹皮沟、安图县海沟、珲春市小西南岔、柳林河子等。

陕甘川交界区—祁连山区。典型矿床有陕西太白县双王、八卦庙、马鞍桥,勉县汉江,四川松潘漳腊、青川白水,甘肃肃北马庄山和寒山、天水柴家庄,青海祁连天蓬河、乐都高庙、格尔木锡铁山等。

长江中下游区。典型矿床有湖北鸡冠嘴、江西德兴银山、景德镇藏湾、湖南常德沧浪坪等,区内伴生金占有重要地位。

黔桂滇交界区。典型矿床有贵州的紫木幽和烂泥沟等。

除以上集中区外,主要金矿还有云南墨江金厂,青海可可西里、浙江遂昌银坑山、西藏申扎崩纳藏布、新疆阿希等。

根据近几年全国黄金消费量的增长速度(每年 8% ~ 9%)推测,从现在至 2010 年黄金矿山建设所需储量有较大增长,但在 2000 年前提交的黄金勘查储量只能满足同期矿山建设的需要。进入 2000 年后到 2010 年间的黄金建设所

1997 年度产银 1300 吨, 若将其他银产品出口额和进口额相比, 外汇顺差 503 万美元。

需储量保证程度不高。

(2) 银矿

截至 1994 年底, 我国各类银矿累计探明储量约达 12.26 万吨, 保有储量约 11 万吨。共生银储量占 $1/6$ 强; 以银为主要开发对象的独立银矿 (银品位大于 150 克/吨) 储量为占 $1/4$ 弱; 还有一小部分是含银矿床的储量。

全国 22 个省 (市、区) 都有银矿储量, 江西和四川、云南最多; 储量大于 3000 吨的省、区有河南、广东、广西和辽宁; 储量大于 2000 吨的省区有内蒙古、湖南和陕西。

我国银矿的主要特征如下:

独立银矿多集中在少数大型、超大型矿区内。全国有大型矿 12 处, 占全国总量的 $1/6$; 超大型矿产 5 处, 占全国总储量 $2/5$ 强; 其余均为中小型矿床的储量。

伴生银资源丰富, 产地分布广泛, 储量相对集中。

但富伴生银矿少。银品位大于 50 克/吨的富伴生银储量占伴生银矿保有储量的 $1/4$, 银矿品位小于 50 克/吨的伴生银矿保有储量占 $3/4$ 。伴生银矿多赋存在铅锌矿和铜矿中。

已开发利用的矿区 40 余处, 占银矿储量的 $2/5$ 弱, 其中独立银矿储量大于共生银矿。已开发利用大中型矿区有广东凡口、河南桐柏、陕西柞水、吉林山门、湖北竹山、云南乐马厂等。生产矿山的生产能力为 445 吨/年, 在建及扩建生产能力为 58 吨/年。

1997 年度产银 1300 吨, 比 1996 年增加 13.64%, 同年进口银 125 吨, 耗外汇 2149 万美元。若将其他银产品出口

近年来,我国白银年消费量稳步增长,其增长率达 5%。按此测算,白银在 2010 年属基本可以保证的资源。

额和进口额相比,外汇顺差 503 万美元。

我国银矿富集区有:

赣北区。典型矿床有贵溪鲍家、上犹焦里、万年等。

陕南—鄂西北区。典型矿床有陕西柞水银洞子、湖北竹山银洞沟等。

豫南区。典型矿床有桐柏破山、罗山等。

华北—吉西区。典型矿床有河北的丰宁牛圈和承德姑子沟、山西灵邱支家地、内蒙古林西大井子、吉林四平山门等。

南岭地区。典型矿床有广东的仁化凡口、潮州厚婆坳、廉江庞西洞,广西博白金山和湖南江永铜山岭等。

江浙区。典型的矿床有浙江遂昌银坑山、天台大岭口、南京栖霞山等。

近年来,我国白银年消费量稳步增长,其增长率达 5%。按此测算,白银在 2010 年属基本可以保证的资源。

化 工 矿 产

化工矿产包括硫、磷、钾盐、硼、钠盐、芒硝、锑等矿产。随着国民经济的高速发展和人民生活水平的不断提高,工农业对化工矿产的需求量剧增,因此,它的开发和应用受到各级政府的重视。进入 21 世纪后,化工矿产面临着新的发展机遇,预计有关的矿业和相关产品的发展将出现新的高潮。

目前我国已探明储量的化工原料非金属矿产共有下列 25 种:自然硫、硫铁矿、钠硝石、明矾石、芒硝、重晶石、毒重

化工矿产包括硫、磷、钾盐、硼、钠盐、芒硝、锗等。化工非金属矿共有 25 种。

石、天然碱、电石用石灰岩、制碱用石灰岩、化肥用石灰岩、化工用白云岩、化肥用砂岩、含钾砂页岩、化肥用橄榄岩、化肥用蛇纹岩、泥炭、盐矿、钾盐、镁盐、砷盐、溴矿、碘矿、硼矿、磷矿。

(1) 硫矿

我国的硫矿资源(包括自然硫、硫铁矿即黄铁矿、伴生硫铁矿 3 类)比较丰富。截至 1994 年底,累计探明储量硫铁矿 48 亿吨(矿石量),自然硫和伴生硫 65 亿吨(硫量)。

硫矿资源以硫铁矿为主,主要分布在四川、安徽、内蒙古、广东、云南和贵州等省区。伴生硫铁矿主要分布在江西、陕西、吉林、甘肃、青海和安徽等省,产地共 484 处。

自然硫产地仅有 10 处,99% 以上的储量集中分布在山东泰安地区,其余零星分布在新疆、青海、西藏等省区。

我国硫矿的资源特点如下:

以硫铁矿为主要硫源。国外硫的主要来源为油气副产品的回收硫和以弗拉斯法开采的自然硫,而中国无论从资源还是从开发利用现状来看,均以硫铁矿为主。

贫矿多、富矿少。中国含硫 35% 以上的富硫铁矿很少,大部分为中低品位矿石。

适合露天开采的产地少。目前开采条件较好的产地不多,仅有广东云浮、英德等少数矿区可露采,绝大多数需地下开采。

硫矿是基本化工原料矿产之一,其直接用途主要是制取硫酸和硫磺。据统计,世界硫消费量的 70% 左右,以硫酸的形式用于制取化肥,以满足农业发展化肥及其他部门的需

硫矿是基本化工原料矿产之一,其直接用途主要是制取硫酸和硫磺。

要。目前新建、扩建了广东云浮,内蒙古炭窑口,安徽向山,四川周家,湖南七宝山、城步,以及山西阳泉等一批大、中型矿山。硫铁矿生产能力大大增加,已初步形成了广东、四川、安徽、内蒙古、山西五大硫铁矿生产基地,其生产能力约占全国的 $1/2$ 。广东云浮是中国最大的硫铁矿矿山,其生产能力达 300 万吨/年。

1994 年,全国硫铁矿产量约 1800 万吨。若包括各类硫折合标矿产量,则为 1930 万吨,其中化工系统产量占全国总量的 $1/4$,有色金属工业及冶金工业系统占 $1/3$,乡镇企业及其他部门占 $2/5$ 。从世界范围看,中国的硫产量占世界第 3 位,居美国、加拿大之后。

1994 年,全国的硫产量达 1530 万吨,位居美国和原苏联之后。从制酸原料看,中国主要为硫铁矿制酸(占 82%),冶炼烟气制酸(占 12%)。由此可知,硫铁矿成为我国工业发展的基础原材料之一。

我国硫矿的资源富集区有:

川滇黔区。主要矿床类型为煤系地层中的硫铁矿,典型矿床有四川大树,川南、周家、新华和贵州四面山等。

粤北湘南区。典型矿床有广东云浮、阳春、罗定、海丰等。

长江中下游区。典型矿床有安徽黄屯、向山、新桥、何家小岭,江西德兴银山、九江城门山等。

山东区。典型矿床有泰安等。

内蒙古区。典型矿床有炭窑口、东升庙等。

除了上述集中区外,硫铁矿产地还有河北兴隆高板河、

硫铁矿成为我国工业发展的基础原材料之一。当前保有储量难以满足 2010 年的需求。

河南灵宝、甘肃金川、山西阳泉等。

进入 21 世纪后,随着工农业生产的持续发展,对硫矿的需求量将会更大。当前保有储量难以满足 2010 年的需求,属 2010 年不能保证的矿种。

(2) 磷矿

截至 1994 年底,探明的磷矿产地共有 425 处,累计探明储量接近 163 亿吨(矿石),保有储量 159 亿吨。

26 个省(自治区)有探明储量,主要集中在云南、贵州、四川、湖北和湖南 5 省,其中大型磷矿产地及富矿高度集中在我国西南部地区。

我国磷矿资源特点如下:

类型齐全,但以海相化学沉积成矿有关的磷块岩矿床为主。

产磷层位较多,以寒武纪和震旦纪地层为主。

难采矿多,适于规模性开采的矿床少。全国磷矿大部分成矿时代较早,岩化作用强,矿石胶结致密坚硬,且许多矿体呈倾斜的薄层至中厚层状产出,给矿山开采带来一系列技术难题。

矿石品位较低,以贫矿为主,富矿很少。全国磷矿 P_2O_5 平均品位在 17% 以下;品位大于 30% 的富矿储量仅占全国总量的 7%;3/4 左右的储量品位占 12% ~ 14%。

难选矿多,易选矿少。全国磷矿大部分为中低品位矿石,且以胶磷矿为主。这类矿石颗粒细微,嵌布紧密,属世界上至今尚未完全解决选矿问题的难选矿石。

分布不均衡。主要集中在南方,北方缺少有规模的

我国磷矿大部分成矿时代较早,矿石胶结致密坚硬,给开采带来一系列技术难题。

磷矿基地。

磷是植物生长必不可少的营养元素之一,世界上有 90% 的磷矿用于制取各种磷肥,磷矿是农业生产不可缺少的矿产资源。

世界近年磷矿石总产量约在 1.6 亿吨。美国、原苏联、中国和摩洛哥为四大磷产国,产量均超过 1000 万吨(P_2O_5)。到目前为止,全国磷矿山将近 1000 个,实际生产能力约 2000 万吨/年(折合标矿 1579.8 万吨)。磷矿石产量超过百万吨的有湖北、云南、四川、贵州和湖南 5 省,其合计产量占全国总产量的 95%。

我国主要磷矿富集区有:

黔中富集区。成矿时代为震旦纪陡山沱期和早寒武世梅树村期,典型矿床有开阳、翁安超大型磷矿。

鄂西富集区。成矿时代为震旦纪陡山沱期,典型矿床有荆襄、宜昌、保康等大型磷矿。

滇东富集区。成矿时代为早寒武世梅树村期,典型矿床有昆阳、海口、晋宁等。

川中南区。典型矿床有什邡、马边、雷坡等。

湘西富集区。典型矿床有石门东山峰、浏阳永和等。

除以上富集区外,中国主要磷矿产地还有江苏锦屏、陕西略阳、河北矾山、湖北大司和黄梅等。

我国磷矿资源丰富,但矿贫,开发条件受到制约。所以,至 2010 年只能达到基本可以保证的程度。

(3) 钾盐

钾盐矿产资源是我国的短缺矿产。截至 1994 年底,累

磷是植物生长必不可少的营养元素之一,世界上有90%的磷矿用于制取各种磷肥,磷矿是农业生产不可缺少的资源。

计探明储量4.6亿吨(KCl,下同),保有储量为4.57亿吨(折合 K_2O 储量2.89亿吨),其中97%的储量分布在青海柴达木盆地,其余分布在云南、山东、新疆、四川和甘肃等省区。

我国钾盐资源的基本特点如下:

我国以现代盐湖钾盐矿为主。如青海柴达木盆地和新疆、甘肃等省区的钾盐矿。还有云南、山东的钾盐沉积矿床;四川自贡邓井关的地下卤水钾盐矿,数量极少。我国的钾盐成矿时代与国外差别很大,世界上著名的钾盐矿主要产于第四纪以前。

钾盐矿都与钠盐矿共生,特别是现代盐湖钾盐矿,常同镁盐、硼酸盐、锂盐、天然碱、芒硝等多种组分共生,但可供综合利用。

已探明的资源不多。探明储量又以现代盐湖型为主,高度集中分布在青海柴达木盆地,且以卤水矿为主。多数具有共(伴)生矿产,成分复杂,新疆罗布泊钾盐同样属现代盐湖型钾盐矿。

我国钾盐的主要类型有:

现代盐湖型钾盐矿床。如青海察尔汗盐湖钾盐矿床。

古代盐湖型钾盐矿床。云南勐野井钾盐矿床是典型的代表。

从更大范围的钾资源而言,中国拥有比较丰富的不溶性钾资源,如明矾石、钾长石、含钾砂页岩等。近年来,从不溶性钾资源中提取钾肥的技术已解决,全面利用这类分布广泛的矿产,将在一定程度上弥补国内钾盐资源的不足。

钾盐是我国的短缺矿产,也是植物生长必不可少的肥料。世界上钾盐产量的 95 % 用于农业。

国内目前大规模开发建设的钾盐矿仅有青海察尔汗盐湖钾镁盐矿(青海钾肥厂)。青海钾肥厂一期工程(年产 20 万吨 KCl)已于 1992 年竣工并通过验收。

1994 年,我国钾肥产量约为 20 万吨(折合 100 % 的 K_2O)。1997 年度,进口钾肥达 580 万吨(KCl 和 K_2SO_4),消耗外汇 7.89 亿美元。

我国钾盐的资源密集区有:

青海柴达木盆地。矿床类型为现代盐湖型,典型矿床有察尔汗、大浪滩、昆特依等。

云南江城区。矿床类型为古代内陆湖相沉积矿床,典型矿床为勐野井钾盐矿。

罗布泊地区。近年来已发现亿吨级的资源量、以 K_2SO_4 为主的现代盐湖型钾盐矿,但还没有进行正规勘查。

钾盐是植物生长必不可少的肥料。世界上钾盐产量的 95 % 用于满足农业生产的需求。目前农业使用的钾肥品种约 95 % 是氯化钾,硫酸钾约占 5 %,极少量是硝酸钾、碳酸钾等品种。

农用氮、磷、钾肥料世界平均比例为 1 : 0.47 : 0.34,而我国目前为 1 : 0.28 : 0.1。若要赶上世界水平,我国钾肥供需缺口巨大,靠进口难以满足需求,只有另辟找钾思路,实现钾盐找矿的重大突破。

(4) 硼矿

截至 1994 年底,我国硼矿累计探明储量接近 5000 万吨(B_2O_3 ,下同),保有储量 4800 万吨。

硼矿资源主要分布在辽(宁)东—吉(林)南区域变质硼

1997 年度出口硼精矿及其相关制品 2606 吨, 换取外汇 214 万美元。进口 63.574 万吨, 耗去外汇 3085 万美元。

矿成矿带、青藏高原盐湖沉积硼矿成矿带和江苏六合冶山成矿带, 以及广西钟山黄宝硼矿成矿带等三个成矿带中。辽东—吉南成矿带地质勘查程度虽较高, 但近几年仍有新矿床(体)发现。青藏盐湖成矿带勘查程度低, 但成矿地质条件优越, 潜在远景还很大。

我国硼矿资源特点如下:

以区域变质成矿和盐湖沉积型硼矿类型为主。前者硼矿储量占全国总量的 $1/2$ 强, 后者硼矿储量占总量的 $1/3$ 弱, 其他类型所占硼矿储量不多。

硼矿石品位较低。硼矿的平均品位不到 10% (含 B_2O_3), 而国外的硼矿 B_2O_3 含量一般可达到 20% ~ 45%。

目前我国的硼矿山主要集中在辽宁省。另外, 全国有乡镇及个体小硼矿 100 余家, 这些小矿没有固定的生产能力。

全国现有生产硼砂、硼酸的化工厂约 30 家, 生产能力分别为 20 万吨和 3 万吨左右。

1997 年度出口硼精矿及其相关制品 2606 吨, 换取外汇 214 万美元。进口 63.574 万吨, 耗去外汇 3085 万美元。两者逆差 2871 万美元。

硼矿供需矛盾一直紧张。预计 21 世纪初将更加紧张, 进入 2010 年属不能保证的资源一类。

(5) 盐矿

截至 1994 年底, 有探明储量的产地有 151 处, 累计探明储量达 4034 亿吨, 保有储量多达 4030 亿吨。

已探明储量主要分布在青海柴达木盆地, 占全国总储量的 $4/5$ 强, 其湖盐储量超过 3000 亿吨。截至 1994 年底, 盐

我国盐矿资源十分丰富,分布广泛而相对集中。

矿保有储量超过百亿吨的省份有青海(3263 亿吨)、四川(214 亿吨)、云南(142 亿吨)、江西(116 亿吨)、湖北(111 亿吨)。

按盐矿类型统计,我国岩盐矿储量为 726 亿吨;截至 1994 年,湖盐矿储量达 3275 亿吨,地下卤水盐矿储量为 30 亿吨。

我国盐矿业已利用和可利用产地的估算可采储量为 512 亿吨。

我国盐资源的主要特点如下:

盐矿资源十分丰富(探明储量仅是一部分),分布广泛而相对集中。

全国范围内,除福建、黑龙江省外,其他省、区均有盐矿(点)分布,至今已有 17 个省、区具有探明储量。现代盐湖主要分布在青海、新疆、西藏、内蒙古等省、区;岩盐矿相对集中在云南、四川、湖北、江西、江苏等地;地下卤水盐矿,则主要分布在山东莱州湾的沿海地带。

大多数产地为内陆湖相沉积盐矿,有共(伴)生组分可供综合利用。但单层矿层薄,埋藏深。按共(伴)生矿产种类可以分为钾镁盐—石盐矿床、芒硝—石盐矿床、硼锂盐—石盐矿床、天然碱—石盐矿床等,这些共(伴)生矿产多可以综合利用。

截至 1994 年底,全国已知开发利用的盐矿区共 79 处,形成年产原盐 1560 万吨的生产能力。海盐生产能力在 2300 万吨/年左右(台湾省未统计)。

我国原盐资源富集区如下:

我国水泥石灰质原料矿石质量较好,一般符合制造高标号水泥的要求。

青藏高原区。主要矿床类型为现代盐湖型,典型矿床有茫崖镇大浪滩、大柴旦、小柴旦、察尔汗,西藏扎布耶茶卡等。

川滇藏东区。主要矿床类型为岩盐型和地下卤水型,典型矿床有四川威西、自贡、万县,云南一平浪,西藏芒康、察雅等。

长江中下游区。主要矿床类型为岩盐型和地下卤水型,典型矿床有湖北的应城、潜江、利川,湖南澧县等。

进入 21 世纪,由于玻璃、合成洗涤剂、啤酒等消耗纯碱较多的产品迅速增长,致使石灰制碱业用盐量增幅较大,国内盐需求量增长较快。由于我国盐资源丰富,安排的生产能力远远超过工业的需求。盐类仍可属可以保证的资源。

据上可知,除钾盐和硼矿外,硫、磷盐是我国的优势矿产。预计至 2010 年,已探明的储量可以满足化工生产发展的需求,还有部分可以出口换汇。

建材及其他非金属矿产

建材及其他非金属矿产共有 100 余种,主要有金刚石、石墨、硅灰石、滑石、石棉、云母、沸石、石膏、水泥用灰岩、玻璃用材(石英岩、砂岩、砂、脉石英等),硅藻土,高岭土,膨润土、饰面用花岗岩、饰面用大理石等。本书只对其中重点矿产略作介绍。

(1) 水泥石灰质原料矿产

水泥石灰质原料矿产包括水泥用石灰岩、水泥用大理岩

矿石质量好的矿层首推石炭系石灰岩,其 CaO 平均含量在 52% 以上。

和泥灰岩 3 种。截至 1994 年底,水泥石灰质原料矿产地共有 1165 处,保有储量 452 亿吨,其中 A + B + C 级储量占总量的 $\frac{2}{3}$ 。

按 1994 年统计,在水泥石灰质原料矿产储量中,以水泥用石灰岩占绝大多数,保有储量占水泥石灰质原料总储量的 93% 弱;水泥用大理岩居第二位,保有储量占总储量的 7% 弱;泥灰岩保有储量仅占总储量的 0.22%。

我国水泥石灰质原料矿产的特点如下:

矿石质量较好,一般符合制造高标号水泥的要求。据统计, CaO 高于 51% 的矿产地超过一半。但也有少部分含钙低,含碱高,特别是北方粘土质和硅质原料含碱高,给生产低碱水泥带来困难。矿石质量好的矿层首推石炭系石灰岩,其 CaO 平均含量在 52% 以上。其次为志留系、三叠系和泥盆系的石灰岩。

成矿时代长,北老南新。除前震旦纪和白垩纪外,所有时代都有石灰岩产出。点多量大的首推石炭纪,占总储量约 24%;其次是三叠纪、寒武纪和二叠纪,三者共占 51%。

矿床以沉积型为主,区域变质成矿为辅。沉积型中以海相型为主,湖相为辅,海相型占总储量的 93% 强,变质沉积型占 7% 弱。

1994 年我国共有水泥矿山 1.3738 万个,大中型水泥厂的水泥产量为 1.4825 亿吨,小型水泥厂的产量为 2.7294 亿吨。全国水泥产量总计为 4.21 亿吨。若每吨水泥用水泥石灰岩按 1.2 吨矿石折算,全国水泥用石灰岩生产能力至少应为 5 亿吨/年。

水泥是进出口贸易交往中的重要商品,4年中水泥外贸顺差增长5.09倍,是经济效益高的矿产品。

我国水泥用石灰岩富集区有:

长江中下游区。主要包括苏、浙、皖、赣、鄂、湘六省,储量占全国的1/4,主要为化学或生物化学沉积型。典型矿床有江苏江宁茨山、浙江长兴桂阳山、安徽伞形山、江西万年大河山等。

晋冀鲁豫区。储量占全国的2/5弱。矿床主要为化学或生物化学沉积、机械沉积、重结晶型等。典型矿床有河北邯郸峰峰、获鹿王屋、唐县白合和山西大同七峰山、稷山等。

陕西富集区。储量占全国的1/10强。矿床主要为化学或生物化学沉积型。典型矿床有耀县宝鉴山、泾阳蔡家沟、乾县五峰山等。

闽粤桂区。储量占全国的12.7%。主要矿床类型为化学或生物化学沉积型。典型矿床有福建永安、广东花都市赤泥、广西兴安平角山等。

水泥是进出口贸易交往中的重要商品,1994年出口水泥及有关制品达420万吨,换取外汇1.5688亿美元;进口136万吨,耗去外汇7280万美元,顺差为8408万美元。

1997年度出口水泥达1169万吨,换取外汇4.4572亿美元;进口水泥16.8736万吨,耗去外汇1769万美元,顺差4.2803亿美元,4年中水泥外贸顺差增长5.09倍,是经济效益高的矿产品及其矿产品加工业。

我国水泥石灰质原料矿产资源丰富,预计2010年仍可满足需求。总之,属优势矿产。

(2) 玻璃硅质原料矿产

玻璃硅质原料国有矿山 45 座, 矿石生产能力约占总量的 $1/5$; 乡镇和民采矿山 1318 个, 采矿能力约占总量的 $4/5$ 。

玻璃用石英岩、玻璃用砂岩、玻璃用砂和玻璃用脉石英都是制造玻璃的主要原料, 统称玻璃硅质原料矿产。我国玻璃硅质原料矿产资源丰富。截至 1997 年, 累计探明储量约 40 亿吨, 保有储量约 40 亿吨。

保有储量中, 以玻璃石英岩储量最多, 占全部玻璃用硅质原料的 57% 左右; 玻璃用砂储量次之, 约占 27%; 玻璃用砂岩约 14%; 最少的是玻璃用脉石仅占 1% 左右。矿产广布于全国 27 个省、市、区, 以华北地区的石英岩、石英砂岩和东南沿海的海砂为主。

我国玻璃用硅质原料矿产资源的特点如下:

各个地质时期都有硅质原料矿产形成。砂矿多产于第四系, 岩矿主要赋存于元古宙和泥盆纪岩层中。

矿石类型齐全, 石英岩类储量占半数以上。矿石类型包括伟晶岩石英、脉石英、石英岩、石英砂岩和石英砂等, 而以石英岩类最多, 石英砂岩次之, 石英砂居第 3 位。海相沉积石英砂岩矿床的矿石粒度和有益成分含量均适合浮法玻璃生产要求, 是浮法生产的理想原料。

玻璃硅质原料国有矿山和民采点在 1994 年已达 1363 处, 采矿能力约为 2300 万吨/年。其中国有矿山 45 座, 矿石生产能力约占总量的 $1/5$; 乡镇和民采矿山 1318 个, 采矿能力约占总量的 $4/5$ 。

1997 年度在国际贸易中, 玻璃硅质原料的贸易顺差达 2086 万美元。

我国玻璃硅质原料资源富集区有:

青(海)东北(部)富集区。储量约占全国总量的

玻璃用硅质原料属国家的优势矿产。1997 年贸易顺差达 2086 万美元。

43%。典型矿床为大通卧牛掌。

粤琼富集区。储量约占全国的 15%。典型矿床有广东珠海下栅、湖阳田心和海南文昌龙马、东方八所等。

辽宁富集区。储量约占全国的 7%。典型矿床有本溪小平顶山、庄河蓉花山等。

山东富集区。储量约占全国的 5%。典型矿床有泊南蛮山等。

陕西富集区。储量约占全国的 5%。典型矿床有汉中哑姑山等。

此外在内蒙古、浙江、福建、江西、河南、湖南、四川等省、区,都有 5000 万吨以上的储量。

全国现有玻璃硅质原料可开发利用矿产地的可采储量为 14 亿吨。按每吨玻璃消耗 0.6 吨硅质原料成品矿,而成品矿选矿回收率按 70% 计,贮运等损失按 10% 计,可采储量能够满足 2010 年前玻璃工业建设的需求,但缺少优质平板玻璃的原料供应基地。总之,玻璃用硅质原料属国家的优势矿产。

(3) 饰面用石材矿产

天然石材包括花岗石、大理石两大类,“花岗石”和“大理石”都是商业名称。前者泛指可成材的酸性—中性—基性—超基性的侵入岩、火山岩类岩石和部分变质岩;后者泛指可成材的碳酸盐类岩石及某些含有碳酸盐的硅酸盐岩石。

全国饰面石材资源丰富。截至 1994 年底,大理石产地 122 处,保有储量 5 亿米³ 以上;花岗石产地 158 处,保有储量约 7 亿米³。

我国饰面用石材 1997 年度,进出口贸易顺差达 4.8722 亿美元,是国际贸易中重要的换汇矿产品。

过去,中国对石材资源未就独立的矿产做专门勘查,在市场经济的导向下,近年储量增长极快。截至 1994 年底,有探明储量的石材产地广布于中国的 27 个省、市、区。产地分布广泛,但储量相对集中于华东、华北和中南三区。

我国饰面用石材矿产的主要特点如下:

花色优美,品种繁多,已形成产品系列。中国已发现的大理石有 400 多个品种,经外贸编号出口的就有 100 多种。颜色(白、黑、红、灰、绿、黄、肉色)齐全,花纹千姿百态。较著名的品种中,白色的有“汉白玉”、“蜀白玉”、“苍山白”、“雪花白”,黑色的有“晶墨玉”、“双峰黑”,红色的有“南江红”、“铁岭红”、“红皖螺”,灰色的有“云灰”、“杭灰”,绿色的有“丹东绿”、“莱阳绿”,黄色的有“松香黄”、“木纹黄”,肉色的有“红奶油”、“纹脂奶油”等。

已知的我国花岗石主要品种有 100 多个,外贸编号出口的有 60 多个。颜色可分为红、黑、灰、稀有彩色四大类别。其中红色约占 52%,灰色约占 30%,黑色约占 18%,稀有彩色仅发现在个别产地。较著名的品种,红色的有“柳埠红”、“岑溪红”、“四川红”、“三峡红”,黑色的有“太白青”、“丰镇黑”、“济南青”;稀有彩色的有“天山蓝宝”、“米易绿”、“万年青”、“沂南青”等。

石材资源以中档为主,高档较少。能够与国际市场上名牌产品媲美的红色、蓝色、白色石材资源在质量、数量上还很不足。

1997 年度,进出口贸易顺差达 4.8722 亿美元,是国际贸易中重要的换汇矿产品。

全国地下水资源总量约居世界第 6 位,但按人口、耕地平均占有量仅为世界人均的 25%,居第 109 位。

据初步估计,我国一些可利用矿产地范围内大理石和花岗石都接近为 4 亿米³。它们的成荒率分别为 20% 和 30%,故现有可采储量也可以保证 2010 年的需求。

水 气 矿 产

水气矿产包括地下水、矿泉水、二氧化碳气、硫化氢气、氧气和氢气共 6 种矿产,目前经勘查有探明储量的有地下水、矿泉水和二氧化碳气 3 种。

中国地下淡水补给资源总量 8700 亿米³/年,平原、盆地等地区地下水储存资源约 23 亿米³,地下水可采资源为 2900 亿米³/年,1997 年保有地下水储量 3450 亿米³/日。

地下水资源分布的地区差异甚大,北方 15 个省(自治区、直辖市)地下水补给资源约 2600 亿米³/年,占全国的 21%;西北地区的面积占全国的 1/3,地下水补给资源为 100 亿米³/年,占全国总量的 19%;南方地区的面积占全国总量的 40%,地下水补给资源为 6100 亿米³/年,约占全国总量的 49%。东南及中南地区面积仅占全国的 13%,地下水补给资源为 2600 亿米³/年,占全国的 21%。这清楚地显示全国的地下水资源分布由北向南、由西向东逐渐增加的情况。

全国地下水资源总量约 28700 亿米³/年,居世界第 6 位,但按人口、耕地平均占有量仅 2400 米³,为世界人均的 25%,居世界第 109 位,耕地亩均占有量为世界平均值的 75%。

二氧化碳气为一种非烃类天然气,在食品、化工等工业中应用广泛。

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,地下水供需矛盾甚为突出,水资源短缺已经成为北方和西部地区社会和经济发展的最大制约因素。进一步寻找丰富的地下水将成为解决北方和西部地区水资源短缺的基本途径。

饮用天然矿泉水是从地下水深处自然涌出的或经人工揭露、未受污染可饮用的地下矿泉水,目前已勘查评价的天然矿泉水点约 3500 处。各省、市、自治区,均有矿泉水资源。数量最多的为广东省;数量较多的有河北、山东、上海、吉林、四川、福建、广西等省市。已勘查的矿泉水主要分布在东部地区,西部地区较少。已勘查的 3500 多处饮用天然矿泉水中,现已开发建厂的有近 900 处,其产量以每年 35% 的速度递增。

二氧化碳气为一种非烃类天然气,在食品、化工等工业中应用广泛。目前已在松辽盆地、江苏黄桥、广东三水、天津大港油田和中国南海等地发现。1997 年保有储量已达约 140 亿米³。目前江苏黄桥气田开发中已取得较好的经济效益。

海洋矿产资源

海洋面积是地球表面积的 70%,我国领海约 300 万平方公里,蕴藏有人类生存所必须的巨大资源。其中矿产资源包括:石油、天然气、气体水合物、磷灰石、海底砂矿(金、铂、锡、金刚石等)、铁锰结核、富钴结壳、金属硫化物、多金属软泥……等等,海水自身含有钠盐、镁盐及其他盐类,各种微量

富钴结壳是一种海底矿产资源,赋存在水深 1500 ~ 2500 米,富含 Co、Ni 和 Pt 等贵金属。钴的价值是锰的 30 倍。

元素。据预测推断石油可采储量 1350 亿吨,多金属结核资源量达 3 万多亿吨^[18],天然气水合物 $(1.8 \sim 21) \times 10^8$ 亿米³^{[17]、[19]},成为未来矿物能源和矿产资源的来源。

铁锰结核。它广泛产于 3000 ~ 6000 米深海的洋底海床上,粗略估计可达 10^{12} 吨^[18]。主要成分是由 Mn、Ni、Co、Cu 等组成。我国经联合国批准在太平洋^[19] 建立有商业开采权的远景区,成为我国新的资源补给区。

富钴结壳

它是一种海底矿产资源,比锰结核更有开采价值。它赋存在水深 1500 ~ 2500 米,靠近大陆,化学成分以 Fe、Mn 为主,开采成本低;富含 Co、Ni 和 Pt 等贵金属。钴的价值是锰的 30 倍,仅结壳中钴的价值可高于结核中锰、镍、铜的价值之和。人们将铁、锰结核作为一种钴矿产进行研究,称其为富钴结核。对富钴结壳研究已成为当前海洋矿产研究中的热门内容。我国目前在 CC 区已开展对富钴结壳进行专门研究和开发前的准备工作,未来有可能成为我国急缺资源的新的来源之一。

气体水合物

气体水合物是一种不同于煤炭和石油、天然气的全新概念上的能源矿产。它是一种冰状的白色结晶固体,赋存于水深超过 300 ~ 500 米的大洋海底沉积物体。成分由水分子和甲烷等气体组成的包笼化合物。水分子构成紧包多面体薄壳,甲烷(及少量乙烷/丙烷)固化气体则充填于多面体内。其化学成分可用 $H_2O \cdot xM$ (M 代表甲烷等气体)表达。

海底气体水合物可以认为是 21 世纪的能源资源。据估

二氧化碳气为一种非烃类天然气,在食品、化工等工业中应用广泛。

计,全世界气体水合物的潜在蕴藏量约为 2×10^{16} 米³^[19],约为陆地能源总量的 2 倍。但其开发利用技术还有待进一步研究。

我国海域面积约 300 万公里²,各种矿产资源极为丰富。除前面已叙述的石油、天然气以及海底锰结核、富钴结核及气体水合物外,有关其他矿产资源,目前还在探索研究中,不再作介绍。

3

我国矿产资源经济区

综合分析第 2 章所述我国各类矿产富集区的分布情况可以看出,这些资源富集区中各矿种及其组合的区域性分布特征相当明显;不同地区的矿产资源组合和配套特点各异,可供矿业开发利用的矿产资源也有差别。再结合国家计委所划分的我国东、中、西三大经济地带(简称东、中、西部)的已知矿产资源情况进行对比分析,说明东、中、西部各有特定的矿产资源基础,这也是发展区域经济的重要物质基础。如进一步参照宋瑞祥主编的《1996 中国矿产资源报告》中的有关论述,还可从矿产资源的具体(组合、分布等)情况、开发利用现状以

东部集中了我国国民经济总产值的 58% 强,但仅保有矿产资源潜在价值的 10%。

及发展方向与远景等因素综合考虑,对三个经济地带进一步划分为 9 个一级矿产资源经济区和 32 个二级矿产资源经济区(详后)。每一矿产资源经济区具有各自的矿产资源特征及其优势,这种优势已经或将转化为经济优势,促进地区经济的持续发展。在矿产资源经济区内,应以矿产资源的开发为龙头,不断扩大原有的或形成新的经济增长地带,实现国民经济和地区经济间的协调发展,促进全国生产力布局合理化,并为整个国民经济可持续发展创造条件。

我国社会主义市场经济条件下矿产勘查工作的进一步发展和不同矿种新矿床、新矿田的持续发现,使我们对我国矿产资源情况的了解更接近于客观实际,还有可能对原已划分的矿产资源经济区范围有所调整,对其内涵和发展前景提出一些新的认识。

3 1 我国矿产资源分布的区域特征

矿产资源区域分布特点

经过 50 年来的勘查和开发,我国矿产资源状况已经基本摸清,东部矿产资源相对不足和中、西部矿产资源相对丰富(表 3-1)^[8],而当前矿产开发布局偏重于东部的基本事实已成定局(表 3-2)。东部地区集中了我国国民经济总产值的 58% 强,但仅保有矿产资源潜在价值的 10%。中、西部地区国民经济合计总产值仅 42% 弱。而保有矿产储量潜在价值达 90%。

我国东、中、西部矿产储量分布、主要矿产品产量对比表
(1994)。

表 3-1 1994 年我国东、中、西部矿产储量分布对比表

矿 种	地区占全国比重/ (%)			矿 种	地区占全国比重/ (%)		
	东部	中部	西部		东部	中部	西部
煤	5 52	56 .19	38 29	镍矿	1 27	88 94	9 .79
石油	28 32	42 .79	28 9	金矿	28 37	47 48	24 .15
铁矿	47 48	27 .85	24 .67	银矿	28 .77	45 33	25 90
锰矿	46 87	21 .86	31 27	钨矿	17 .68	74 59	7 .73
铜矿	9 .11	50 .37	40 52	锡矿	43 29	8 .65	48 06
铅矿	28 .78	31 .06	40 .16	硫铁矿	22 97	36 94	40 09
锌矿	26 55	31 .63	41 82	磷矿	8 80	38 07	53 13
铝土矿	19 82	58 .82	21 36	钾盐	0 28		99 72

表内数字系指 A + B + C + D 级储量的比例。

表 3-2 1994 年我国东、中、西部主要矿产品产量对比表

矿 种	东部/ (%)	中部/ (%)	西部/ (%)
煤炭	21 26	57 24	21 50
石油	42 86	46 08	11 06
铁矿石	58 42	29 60	11 98
钢	61 33	26 42	12 25
10 种有色金属	29 53	31 06	39 41
磷肥	31 83	36 10	32 07
硫酸	43 35	32 82	23 83

表 3-1、表 3-2 引自《'96 中国矿产资源报告》P171 ~ 172。

据《'96 中国矿产资源报告》，东部地带包括京、津、冀、辽、沪、苏、浙、鲁、闽、粤、桂、琼 12 个省、市、区；中部地带包括晋、内蒙古、吉、黑、皖、赣、豫、鄂、湘 9 个省区；西部地带包括川、渝（重庆）、黔、滇、藏、陕、甘、宁、青、新 10 个省区。但是，按照党和国家有关“西部大开发”的战略部署，从地理范围看，“西部”除包括上述 10 个省区外，还加上了广西和内蒙古。这 12 个省、市、区的土地面积共 683 万公里²，占全国陆地国土面积的 71 %。（据中国电视报 2000 年 4 月 20 日第 1 版的《西部开发，商机无限》）（苑文刚）。

要尽快有计划、有步骤地规划开发中、西部的矿产资源富集区,缩小地区经济发展的差距。

表 3-1 说明东部地区矿产资源相对不足,需用的矿物原料要从内地和国外补充。矿产资源的开发规模是东重西轻。1992 年全国矿业经济总量东、中、西的分布为 37 .65 %、46.73% 和 15 .62% ,东、西不平衡差为 58 .52% ;与矿业相关的后续产业分别为 62 .24%、25 .79%、11 .97% ,东西不平衡差为 88 .02%。矿产品和原材料的异地加工,东中西比例目前已达 6 3 1,这就决定了矿石或原材料的长途运输 。据统计仅铁路运输,主要矿产原材料平均运输里程达 802 公里,运量超过 12 亿吨(表 3-3)。缓解这类不合理布局的基本途径是尽,快有计划、有步骤地规划开发中、西部的矿产资源富集区,建立和发展以矿产资源为龙头的新的经济增长点和新的经济区,缩小地区经济发展的差距。

表 3-3 主要矿产、原材料平均运输距离

材料名称	铁 路		水 路	
	平均运距/ 公里	运量/ 万吨	平均运距/ 公里	运量/ 万吨
煤	544	65943	2622	9474
焦炭	800	3647		
石油	753	6912	1895	7398
钢铁	1014	9737	9647	1202
金属矿石	470	10188	3992	4321
非金属矿石	569	9437	6094	1180
矿建材料	512	11254	894	957
水泥	500	4871		

据《中国统计年鉴,1995》整理。

统计数据根据《'96 中国矿产资源报告》。

三大经济带的综合对比和矿产资源的开发利用。

三大经济带的综合对比和 矿产资源的开发利用

我国矿产资源的开发利用和经济发展,早已存在着中、西部跟东部的差距(图 3-1),因而东、中、西三大地带的经济协调发展和加快矿产资源的开发利用,一直是政府利用宏观调控推动地区经济发展的基本问题^[11]。

东部地带是我国经济最繁荣发达的地区。东部由于地处太平洋西岸、西连经济欠发达的内地和具有良好的工农业基础,是我国现代经济增长和发展的最有利、最集中的地区。1994 年东部国内生产总值占全国的 58% 强(图 3-1)。这一地带经济技术基础雄厚,内外交通发达,信息交换顺畅,矿产资源的开发利用程度高,商品经济发达,吸引外资能力强,在经济发展中具有主导和龙头作用。

经济发展主要指标的综合对比

。1995》整理^[8]。)

东部地带针对其经济特点和优势,在国际交往中具有较大的竞争力,可发展外向型经济。该带内矿产资源的保有储量不足,矿产人均占有量低于全国平均水平,但人均消费量却很高(图 3-1)。因此,应充分利用国内外两种矿产资源、两个市场,发展高附加值、高技术含量的矿产品后续工业,加大出口力度,这是发展区域矿业经济的途径;限制发展有关的

影响我国三大经济地带经济发展主要指标的综合对比。

高耗能、高耗材的原材料加工工业,扩大高科技应用领域和高科技产品的生产,实现产品结构升级。关于能源方面,在稳定石油生产的同时,要扩大天然气生产,加强沿海大陆架的油气勘查;维持原煤生产能力和布局;要逐步向高效洁净能源方面发展,扩大核电生产能力。钢铁工业要依靠区位优势,充分利用两种资源,扩大生产能力,加强国内资源的开发和保护,不断提高经济效益。还要加强黄金勘查开发,执行稳产、高产和高效并举的方针;发展优质陶瓷和非金属矿产深加工;控制并改造小水泥厂、小化工厂等高耗能工业,努力向集约化发展。

当前,东部地带矿业总产值占带内国民生产总值的 41% (图 3-1),这仍然是发展带内经济的主体。看来已有资源经济区的格局在促进区内经济可持续发展中将继续发挥作用。

中部地带是我国经济比较发达和正在成长的地区,区内生产总值占全国的 27.23%,经过 50 余年的建设,工业生产已具相当规模。该地带处于东、西两带之间,有双向受益的机遇,向东可提供能源、原材料并接受其先进技术,向西实行经济联合,转移技术。本带在我国生产力布局中处于“承东启西”的战略地位。

中部地带各类矿产资源中,储量占全国近一半或一半以上的有煤、石油、金、银、铜、镍、钨、铝(表 3-1)等 20 多种,其中尤以能源矿产最为重要。带内矿业开发有利条件甚多,其中资源丰富和市场广阔是最根本的。为加速区内经济发展,要大力改造、扩建现有的矿业基地,利用交通优势,发展能

西部地带矿产开发重点是陕北、川滇黔接壤区的煤炭和新疆几个盆地的油气资源。

源、有色金属、化工等大运量工业;利用长江水资源优势,发展能源和原材料生产;积极吸引和接纳东部地区的技术和资金,发展本地区的资源深加工工业、配套产业及基础设施建设;加快产业结构的升级,充分发挥矿产资源经济区的潜在效益,努力避免经济的单一化、低级化和二元结构;加强环境保护,走可持续发展的矿产资源开发利用道路。

西部地带地广人稀,经济欠发达,是需要加强开发的地区,同时也是少数民族聚居区和贫困地区相对集中的地带,工业基础薄弱,交通不便,带内生产总值仅占全国的 14.4%。西部地带虽然曾作为“三线”地区进行过重点建设,建成一批高水平、高技术的矿业和原材料加工基地,但技术、经济的总体水平比东、中部低,二元经济结构特征还比较突出。

从已知资料分析,西部地带矿产资源丰富,资源潜力大。能源矿产资源有较大找矿前景;金属矿产丰富,如铬铁矿、铜矿、金矿、银矿、铅锌矿、稀有金属矿产均较富集;磷矿、云母、石棉、石膏、玉石等非金属矿产占有重要地位,有大规模开发的矿产资源条件。

西部地带矿产开发重点是陕北、川滇黔接壤区的煤炭和新疆几个盆地的油气资源。在其西南地区要利用水能、矿产资源配套好的优势,大力发展相应的能源、重化工工业;大力开发有色金属,积极筹备大规模勘查和开发西南

一线地区指东部沿海和东北地区;三线为川、黔、陕、甘、青、宁、桂、鄂、湘、晋 10 个省区;二线为其他省区。

近 80 % 的能源资源分布于西部和北部,开发利用的难度较大,而 60 % 的能源消费在经济发达的东南部。

“三江”地区矿产资源富集区;抓好现有冶金、有色金属基地建设,适当发展加工业,组成完整的矿产资源产业体系。在其西北地区,可利用欧亚大陆桥的交通优势、沿边优势及黄河中上游水能优势,扩大沿线、沿边、沿河矿产资源和地下水勘查开发;抓住时机,加快勘查开发陕甘川接壤区矿产资源;积极建成我国第二个产金的巨型基地,创造条件积极筹备勘查开发青海柴达木和新疆罗布泊的盐类矿产资源;利用沿边优势,发展矿产品贸易;利用区内和中西亚石油优势,发展石油化工工业。按当前已勘查的矿产资源建立几个示范性矿产源经济区,用以推动少数民族聚居区的经济发展和改变贫困现状。

能源矿产的区域分布

能源矿产总量多,但人均储量占有量少。我国煤炭储量在世界上占有重要地位,石油与天然气的资源量也较大,但探明储量却仅为资源总量的一小部分(煤炭 19%、石油 17%、天然气 3%)。各种能源矿产品种较为齐全,地区分布特征明显,资源相对集中,并有相应的探明储量,其中油气资源勘查和开发任务最为繁重,其他能源已得到不同程度的开发利用。但地域分布同目前经济发展布局不匹配,近 80 % 的能源资源分布于西部和北部地区,总体上开发利用的难度较大,而 60 % 的能源消费在经济发达的东南部地区。

全国圈定油气富集区 8 个;煤炭资源富集区 7 个,按能

非金属矿产在全国的空间分布,跟金属矿产的分布有很多相似点(图 3-3 和图 3-4)。

源矿产的组合特征,全国共同圈定能源矿产资源组合富集区共 23 个(图 3-2)。

金属矿产的区域分布

金属矿产区域分布极不均衡,高度集中区和贫乏区(或短缺区)并存,东、中、西部差异甚大,南北两侧反差明显(图 3-3)。表 3-1 中中、西部探明储量占 40% 以上的有铜、铅、锌、锡、硫铁矿、磷矿、钾盐 7 种,而东部仅 3 种(铁、锰、锡)。根据多年勘查资料的综合研究,全国已圈定铁矿资源富集区 7 个、锰矿 4 个、铬铁矿 4 个、铜矿 5 个、铅锌矿 3 个、铝土矿 4 个、镍矿 3 个、钨矿 2 个、钼矿 2 个、锡矿 2 个、锑矿 3 个、汞矿 2 个、金矿 7 个、银矿 6 个,合计达 54 个(各区的特征第 2 章已详述)。这些资源富集区多数是由 2 个或 2 个以上的区在空间上叠合、交叉出现。这种空间分布格局决定了“矿产资源组合分布”的区域性特征。随着矿产资源的进一步开发利用,也将决定新的矿产资源经济的地理分布范围和资源经济区的分布格局。

非金属矿产的区域分布

非金属矿产在全国的空间分布,跟金属矿产的分布有很多相似点(图 3-3 和图 3-4)。我国有探明储量的非金属矿产共 87 种。在工农业生产中应用广泛、国内外占有一定地位

中国及其毗邻海区能源矿产分布示意图。

的有磷矿、硫矿、菱镁矿、萤石、石墨、滑石、高岭土等，矿床在区域上集中分布的特征明显：

磷矿主要集中于黔中、鄂西、湘西的震旦系磷矿带和滇中、黔西、川西的寒武系磷矿带。广大北方粮食产区除河北和辽宁探明少数磷矿床外，其他省区几乎未找到像样的磷矿床。

我国硫矿资源包括硫铁矿、自然硫和伴生硫三大矿源。其中以硫铁矿为主要产地的有华南的湘粤交界集中区、

菱镁矿主要集中于辽宁省。辽宁营口大石桥矿区规模和质量居世界之首。

长江中下游集中区,华北地台西端的内蒙古狼山集中区。这些硫铁矿都是与火山岩有关的地层中的矿产。我国的沉积型硫铁矿主要集中于川、黔、滇和山西、河南的煤系地层中,其中以川南硫铁矿规模最大,开发前景良好。

菱镁矿主要集中于辽宁省。辽宁营口大石桥矿区规模和质量居世界之首,山东掖县的大型菱镁矿次于大石桥矿床。以上两矿均建成我国重要的菱镁矿开采加工和出口的基地。

我国萤石矿资源很丰富。主要集中在湖南郴县和衡阳,浙江武义、永康和德清,福建邵武,云南个旧和湖北红安等地,其中浙江东风、银子山、庚村等矿床最为著名,是我国最大的生产和出口基地。在内蒙古四子王旗的苏莫查干敖包萤石矿,规模为超大型,是世界上最大的独立萤石矿床。

石墨为我国优势矿产。石墨资源包括晶质鳞片状和非晶质土状两种,全国以晶质鳞片状石墨为主。矿区主要分布于黑龙江、山东、内蒙古、四川等省(区);而非晶质土状石墨矿分布于湖南、吉林和陕西。山东南墅石墨矿的鳞片大,世界著名,为我国石墨出口的老基地。黑龙江鸡西柳毛和萝北云山石墨矿规模巨大,储量超过马达加斯加的石墨矿储量,居世界第一位,为我国石墨的新出口基地。两地出口换汇已成地区经济发展的增长点。

滑石属我国优势矿产,集中分布在辽宁范家堡子和山东栖霞李博士乔两个特大型优质滑石矿,带动了两地经济

矿产资源的存在对规划相应矿产资源经济区起了重要导向作用。

发展;广西龙胜古坪和鸡爪优质大型滑石矿,已建成我国重要的滑石出口基地,推动了地方经济的发展;江西广丰溪滩的黑滑石,规模巨大,但质量较差,是有待开发利用的潜在资源经济区。

我国是世界上最早应用高岭土的国家。“高岭”一词就是我国江西景德镇附近一个盛产这种矿产的村名。我国高岭土资源量丰质优,主要分布于南方。著名产区有江苏苏州、江西临川、湖南醴陵和衡阳、广东茂名、福建东宫下和江苏徐州(在煤系中发现;可作为涂布级填料的大型优质高岭土矿)。

全国重晶石产地在 1997 年已有 109 处,集中分布在贵州东部、湖南南部、广西北部、甘肃南部、陕西南秦岭地区,其探明储量占全国累计探明储量的 30.37%^[13],呈南多北欠的分布格局。我国重晶石质优量大,在国际上有竞争力,有可能成为出口换汇的优势矿产品。

3.2 矿产资源经济区

矿产资源的探明储量是矿业开发的物质基础;一定矿种的探明储量也是确定一定矿产资源经济区的物质基础。因此,一定矿产经济区的建立和发展,大多肇始于有关矿床、矿田分布区及其附近。这也就说明了矿产资源的存在对规划相应矿产资源经济区所起的重要导向作用。

在具体的矿产开发规划中必须优先开采地表和近地表矿产,优先发展属国家级的原材料生产采掘业。

但一定范围内的同类矿产,由于自然地理和人文地理等条件(包括市场条件)的差别,又决定了它们开发的早晚甚至开发利用的可能程度(可行性)。而规划矿产资源经济区时,也不应局限于对矿产综合开发,乃至一系列加工利用阶段的一些情况的考虑和分析,还需遵循有利于地区经济和整个国民经济协调发展的原则^[11]。在具体的矿产开发规划中,当然必须优先开采地表和近地表矿产,优先发展属国家级的原材料生产采掘业,优先发展市场对路、经济效益高、生产周期短的矿产品生产,实现经济效益、社会效益、环境效益三者的最佳结合,充分发挥区位优势的作用。

以上所述不仅是以往划分各级矿产资源经济区的基本依据,也可用以指导已划分矿产资源经济区的必要调整,以及新的矿产资源经济区或经济增长区的规划。

现将 9 个二级矿产资源经济区的区域发展背景、发展方向分别叙述于后(参阅表 3-4)。其中,两个二级区属中部经济地带;3 个二级区属西部经济地带;两个属东部经济地带;1 个跨中、东两个经济地带,1 个兼跨西、东两个经济地带。

在“区域发展背景”中,对相应矿产资源经济区的矿产资源基本情况及其开发利用等人文地理条件,进行了扼要的叙述和论证,为“发展方向”的论述提供了依据。

规划矿产资源经济区时,需遵循有利于地区经济和整个国民经济协调发展的原则。

该表说明了 9 个二级矿产资源经济区的区域发展背景、发展方向。

表中还介绍了经济区中矿产资源的基本情况。

表中还介绍了经济区中矿产资源开发利用的人文地理条件。

表中的矿产资源经济区分别有属于中部经济地带,西部经济地带,东部经济地带,以及跨中、东两个经济地带和兼跨西、东两个经济地带。

东北亚经济区同蒙古、俄罗斯、朝鲜等国家接壤,具有国际交往的有利条件,延长加工产业链,增加边贸。

东北矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区包括黑龙江省、吉林省和内蒙古东部(简称蒙东)四盟市,属中部经济带。主要特点如下。 属东北亚经济区中心地带,同蒙古、俄罗斯、朝鲜等国家接壤,具有国际交往的有利条件。 矿产资源有煤、油气、铜、金、铅、锌、银、石墨、夕线石、沸石、硅藻土、滑石、硅灰石、石灰岩等,以能源为主,分布集中,质量较好。 工农业基础雄厚,已建成全国著名的粮食、石油、煤炭、机械、建材工业基地。 产业结构、产品结构还不合理,初级产品多。

(2) 发展方向

发展方向如下。充分发挥矿产资源优势,调整产业结构,延长加工产业链,内外结合,提高经济效益;加强国际交往,增加边贸。改善投资环境,吸收和引进区外的资金、人才、先进技术和 methods,提高矿产资源的综合利用率和经济效益。继续对金、银、铜、富铅锌等金属,夕线石、硅灰石、硅藻土等非金属矿产,以及能源矿产(石油气、煤炭、铀)进行勘查,提高资源的保证程度。重点发展油气开采、石油加工及石化工业,以及煤炭开采、煤电、煤化学工业。发展以铜(钼)、金、银矿产开发为主的有色金属工业和以石墨、夕线石、硅灰石、硅藻土、沸石等为主的新型建材工业。

(3) 二级矿产资源经济区

环渤海经济区以发展知识、技术密集型产业和新兴第三产业为重点,使本区成为亚太经济区的重要组成部分。

蒙东油气煤炭区

松辽盆地油气区

兴安有色、贵金属区

东北“三江”煤炭、建材区

环渤海矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区包括冀、鲁、辽、京、津五省、市,属东部经济带。主要特点如下。 本区东濒黄海和渤海,北通东北,南接华东,西靠西北、华中,地理位置优越。 矿产资源主要有煤、石油、铁、金、钼、菱镁矿、硼、金刚石、石墨、滑石、玻璃硅质原料、石灰岩等。已发现矿产 130 余种,矿种较多。 能源工业、钢铁工业、制盐业及化学工业发达,是全国重要的加工基地和对外贸易窗口。 科技文化发达,科技实力明显优于许多其他经济区。当前面临的主要问题是:淡水资源严重不足;工业结构不合理,高物耗、大运量、污染严重的传统工业占优势。

(2) 发展方向

以发展知识、技术密集型产业和新兴第三产业为重点,同时发展外向型经济,逐步提高集约化程度,使本区成为亚太经济区的重要组成部分。加强对矿产资源的勘查,提高资源的保证程度。重点发展的资源型产业包括: 发展钢铁工业,抓好鞍本、冀东、邯郸、山东的老基地的建设,开辟新的钢铁基地,发展有色金属原材料产业和扩大贵金属的产量;

黄河中游经济区已探明的煤炭保有储量占全国的 60 %。经济发展已有一定规模和基础,但水平尚低。

进一步扩大胜利油田、渤海海上油气田的开发规模,利用渤海沿岸的海盐、盐卤等资源,积极发展海洋化工; 开发利用区内石墨、滑石、玻璃硅质原料、石灰岩、花岗石等建材非金属矿产资源,发展以新型材料为主的建材工业基地。

(3) 二级矿产资源经济区

辽南钢铁、化工、建材区

辽西冀北有色、贵金属、钢铁、建材区

太行煤炭、钢铁工业区

渤海湾盆地陆、海油气区

胶东有色、贵金属、非金属区

黄河中游矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区包括山西、河南、内蒙古中西部、陕北榆林地区,除榆林地区外都属中部经济带。主要特点如下。 主要有煤、石油、天然气、铁铝土矿、钼、铜、铅锌、铌、硫铁矿、耐火粘土、石膏、天然碱、石灰岩等矿产资源。尤以煤炭举世闻名,已探明的煤炭保有储量占全国的 60 %。 经济发展已有一定规模和基础,但水平尚低。 位于环渤海地区背缘部,欧亚大陆桥贯穿其中。存在的主要问题是:资源开发的初级产品多,经济效益低;交通运输跟矿产资源经济发展的矛盾日益突出;矿产资源的开发利用对环境的破坏越来越明显。

(2) 发展方向

在逐步扩大优势资源开发规模的同时,搞好资源的综合

长江中下游经济区保有储量占全国 60% 以上的有钨、重稀土和萤石。区位条件优越,对外联系方便、带内总体技术水平较高。

开发、综合利用,加强矿产勘查,提高资源保证程度。提高矿产资源的附加值,变资源优势为经济优势,向高效益矿产资源发展,促进地区经济发展。重点发展的产业有石油、天然气、煤炭等能源工业,电力,煤化学化工工业,钢铁工业,铜、铅、锌、铝有色和贵金属工业,硫、盐类化学工业,建材工业等。

(3) 二级矿产资源经济区

晋陕内蒙古接壤部煤炭区

包头狼山钢铁、有色金属矿业和化工区

晋南豫西煤炭、有色金属区

长江中下游矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区包括皖、赣、湘、鄂、江、浙、沪七省、市,跨中、东两个经济带。主要特点如下。 主要矿产资源有煤、铁、铜、铅、锌、钨、锡、锑、金、银、硫铁矿、磷、萤石、高岭土、膨润土、水泥灰岩等百余种。保有储量占全国 60% 以上的有钨、重稀土和萤石。 区位条件优越,对外联系方便、带内总体技术水平较高,并有正在建设的三峡工程支撑。 经济社会发展水平高,经济实力雄厚。

(2) 发展方向

将发展形成为内外开放、内外结合的新型综合经济区。加强地勘工作,提高区内优势矿种的保证程度和增加后备开采基地。重点发展的矿产资源产业有: 以煤炭为主的能

东南沿海经济区濒临海洋,毗邻港澳台,区位优势突出,发展外向型经济具有优先条件。

源工业; 钢铁工业; 以铜、铅、锌、金、银为主的有色金属工业; 以磷、硫、石化、盐化为主的化学工业; 以石膏、高岭土、玻璃硅质原料、水泥石灰岩等为主的建材工业; 非金属矿产的深加工工业。

(3) 二级矿产资源经济区

江浙建材、非金属区

湘南、湘西、赣南有色金属、稀土金属区

湘北鄂西磷盐化工、建材区

皖、赣北、鄂东煤炭、钢铁、有色和贵金属、建材工业区

东南沿海矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区包括福建、广东、海南三省,属东部经济带。基本特点如下: 濒临海洋,毗邻港澳台,区位优势突出,发展外向型经济具有优先条件。 矿产资源相对不足。主要是海上油气、铁、铜、铅、锌、钨、锡、硫铁矿、萤石、重晶石、玻璃用砂、石灰岩、花岗石等。仅钛铁砂矿和高岭土矿产较为丰富,探明储量占全国总储量 50% 以上。银、金等贵金属矿产有待开发。 经济实力较雄厚,经济效益高。 产业结构特点是,第三产业比重大、工业的轻型化发展趋势明显,能源和原材料工业比重较小。 本区开放时间早,外向型经济特性明显。

(2) 发展方向

以外向型经济为导向,把本区建成结构和布局合理、经济效益较高、内外型经济结合的资源经济体系。

以外向型经济为导向,把本区建成结构和布局合理、经济效益较高、内外型经济结合的资源经济体系。重点发展的矿产资源型产业有:海上油气的能源工业;以铜、金、银、铅、锌、钨、锡为主的有色金属工业;以石化、硫化为主的化学工业;以高岭土、花岗石、大理石等为主的建材工业和非金属矿产加工业。

(3) 二级矿产资源经济区

南海油气区

粤北有色金属区

海南黑色和贵金属、建材区

川、滇、黔、桂矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区包括四川、云南、贵州、广西四省、区,跨西、东两个经济带。基本特点如下。 自然资源富集程度高,组合多样,矿产资源有待进一步勘查开发。主要矿产资源有铁、钒、钛、煤、铜、铝、锌、银、锡、磷、石灰岩等。具有探明储量的矿产有 100 余种,已发现矿产地 2 万余处,有探明储量的约 5000 余处。保有储量超过全国 30% 以上的有天然气、锌、磷、硫铁矿和银矿五种。 经济总量规模小、总体水平低。本区 1994 年国内生产总值占全国的 12.3%。人均国内生产总值相当于全国平均水平的 63.7%。 产业结构层次低,二元经济反差大。 交通、通讯等基础设施水平低。 地处内陆,与多国相邻接界,有利开展边境贸易。

川、滇、黔、桂经济区以开发优势矿产资源为重点,即以水电、煤炭为主的能源、以钢铁等为主的黑色和有色业,多种化学和以水泥、玻璃、石材等为主的建材工业。

(2) 发展方向

以开发优势矿产资源为重点、产业结构升级转换为目标,把本区建设成为全国最重要的能源、矿物原材料生产基地。加强地勘工作,探明更多的矿产资源,把本区建成结构和布局都比较合理的综合经济区。重点发展的矿产资源型产业有; 以水电、煤炭为主的能源工业; 以钢铁、各种铁合金、银、铝、锡、铅、锌、锑、铜等为主体的黑色和有色冶金工业; 以煤气、磷、硫、盐为原料的多种化学工业; 以水泥、玻璃、耐火材料、高级石材等为主的建材工业。

(3) 二级矿产资源经济区

川东能源盐化工建材区

攀西、六盘水煤炭、钢铁、有色和贵金属化工区

西南“三江”有色和贵金属区

红水河流域有色金属、建材区

乌江流域煤炭、有色金属、化工区

西藏矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区属西部经济带,地理位置特殊,战略地位重要。地质勘查程度低,已探明的矿产资源少,主要有铜、铬、铅、锌、钼、锡、金、盐类、硼、石膏、刚玉、高岭土、石灰岩等。边境线长,边贸额小,尚处于较低层次状态。经济社会发展水平低,工农业基础薄弱。

(2) 发展方向

陕、甘、宁、青经济区自然条件的优势与劣势并存,以开发利用优势矿产资源为重点、促进产业结构升级转换为目标,建成材料及加工基地。

在进一步开展矿产勘查工作的同时,发展高效益型产业,使本区国民经济和社会发展达到较高水平。重点发展的矿产资源型产业有:以铬为主的黑色金属工业;以铜、铅、锌、钼、金等为主的有色金属工业,重点开发玉龙铜矿、甲玛多金属矿、崩纳藏布金矿等。以硼、盐类为主的化学工业。以石膏、高岭土、石灰岩等为主的建材工业。

(3) 二级矿产资源经济区

藏东有色金属区

陕、甘、宁、青矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

本区包括陕、甘、宁、青四省、区,属西部经济带。主要特征如下。自然条件的优势与劣势并存,有利条件和不利条件反差较大。主要是自然条件较差,但自然资源特别是能源、矿产资源、可开发利用土地资源丰富,水资源总量少而时空分布又不均。在已探明的矿产资源中,镍、铂、锂、钾盐、镁盐、钠盐、石盐、硅石等矿产储量居全国首位。还有煤、油、铜、铅、锌、钼、锑、金、银、硼、膨润土、铬、汞、石灰岩、饰面用大理石等几十种矿产储量在全国名列前茅。本区矿产资源潜在总值占全国的31%。经济规模小,总体水平低。

产业结构层次不高,工业中采掘业、原材料工业等附加值低的初级产业所占的比重过大。

(2) 发展方向

以开发利用优势矿产资源为重点、促进产业结构升级转

开展从基础地质到矿产详查多层次地质矿产勘查工作,进一步摸清资源家底。

换为目标,把本区建成全国重要的能源、原材料生产基地,以及跟东部合理分工的加工制造基地。开展从基础地质到矿产详查多层次地质矿产勘查工作,进一步摸清资源家底。重点发展以煤、油气为主的能源工业,以铜、镍、铅、锌、金为主的有色金属工业,以煤化、石化、盐化为主的化学工业,以石棉、玻璃硅质原料、膨润土为主的建材工业。

(3) 二级矿产资源经济区

陕甘宁盆地油气区

陕南甘南有色贵金属、建材区

黄河上游干流煤炭、有色金属区

柴达木盆地及周边贵金属、油气、盐湖化工、建材区

新疆及邻区矿产资源经济区

(1) 区域发展背景

此区属西部经济带。主要特点如下。 地域广大,自然资源丰富,尤其是矿产资源潜力大,主要有石油、天然气、煤、铁、铜、镍、金、稀有金属、蛭石、盐类、膨润土、石棉、宝玉石、石灰岩等,探明储量的潜在总值占全国的第6位。 区位条件较好与多国接壤,随着新欧亚大陆桥的建成,将明显提高本区的区位优势,有可能向外向型经济发展。 经济社会发展已有一定基础,但总体发展水平不高。 地质矿产勘查和矿业开发基础薄弱,矿产资源潜力大。

(2) 发展方向

在注重国内、外两个市场的导向下,以开发优势资源为

新疆及邻区经济区以开发优势资源为重点,建成能源、矿物原材料基地和对外贸易窗口。

重点,把本区建设成为我国重要的能源、矿物原材料基地和对外贸易窗口。重点发展的矿产资源产业: 以油气、煤为主的能源工业; 以铜、镍、铅、锌、金、稀有金属为主的有色金属工业; 以石化、盐化为主的化学工业; 以铬、铁为主的黑色冶金工业; 以石棉、石膏、蛭石、陶土、石灰岩等为主的建材工业以及宝玉石业。

(3) 二级矿产资源经济区

北疆能源有色金属区

东疆河西走廊西段能源钢铁有色金属化工区

南疆油气建材区

4 我国矿产资源的合理开发利用及其稳定供应的对策

矿产资源是不可再生而又是相对有限的自然资源,是人类赖以生存和发展的物质基础,可为发展国民经济和提高人民生活水平提供必要的物质条件,还可支撑现代工业体系的形成和促进地区经济的发展。因此,必须开发好、管理好、保护好矿产资源,力争做到最大限度地合理开发利用有限的矿产资源,以满足社会持续发展对它的需求,取得最佳的综合效益。这不仅是十分必要的,也是人类社会的一个长期奋斗目标^[5]。作为政府部门的矿产管理机构,还要采取合理的矿产资源政策和依靠科学技术进步,及时解决开 利用和矿

我国矿产资源丰富,矿种齐全,探明储量的潜在价值居世界第 3 位。

业发展中存在的问题,并促成潜在资源(包括代用品)的发现和开发。

我国矿产资源丰富,矿种齐全,探明储量的潜在价值居世界第 3 位。但是,人均拥有量远在世界人均水平之下,且在资源和地质特征方面也有一些影响到资源的合理利用和充分有效供应的问题(见 2.1 节)。通过新中国成立以来对矿产资源的大规模开发,虽已初步建成矿业大国,但在矿业发展中还存在着矿产后备资源不足和严重影响到取得较好综合效益的一些亟待解决或改进的问题(详见 4.1 节)。这都必须及早提出对策,采取针对性措施(见 4.2~4.3 节)。

4.1 矿产资源开发利用面临的基本问题

我国矿产资源开发利用中存在的问题,有的是具体的资源条件和矿床的地质特征所导致的,有的是开发利用过程中产生的,现分别简略论述于后。

(1) 一些需用量大的矿产的矿山后备资源深感不足

这些矿种绝大多数属 2.1 节论述中的“探明储量不足的矿产”或“短缺的矿产”范畴。如在 1996 年底,石油总的储采比为 14.25,表明我国石油后备资源严重不足(国外平均储采比为 46)。全国 26 处油区中,保证年限不足 15 年的有 23 处,已进入采油的中晚期阶段。又如金属矿山的保有储量也较为紧张。其中铁、锰矿山在 10 年以内将有 10% 的矿

文中引用数据来自《'96 年中国矿产资源报告》。

在 1996 年底,石油总的储采比为 14.25,表明我国石油后备资源严重不足(国外平均储采比为 46)。

山陆续闭坑。在 195 个大中型铁矿山中,可采年限在 10 年以下的就有 26 座。在 38 座锰矿山中,可采年限小于 10 年年限的有 4 座。在 20 座铬矿山中,在 2000 年前可能消失 6 座;铜矿山有 21.9% 的开采矿山可采年限在 10 年以内,而有 7.8% 的矿山将在 5 年内闭坑。其他有色金属和贵金属矿山的保有储量情况大体相似。一旦老矿山闭坑,新矿山尚未建立,必将导致矿产品市场供给不足,从而制约国民经济的进一步发展^[11]。

(2) 一些需用量大的主要矿种富矿少、贫矿多,大型矿床偏少、超大型矿床更少

这在 2.1 节(表 2-2)中已有所论述。比较突出的是约占铁矿储量一半的鞍山式变质沉积矿床平均 Fe 含量只有 30% 弱,富铁矿所占保有储量比例极小(约 2%)。又如含 $\text{Cu} > 1\%$ 的富铜矿只占保有储量的 1/3 强;含 $\text{Pb} + \text{Zn} > 10\%$ 的铅锌矿只占总保有储量的约 1/6;含 $\text{S} > 35\%$ 的硫铁矿只占总保有储量的约 1/3;含 $\text{P}_2\text{O}_5 > 30\%$ 的磷矿只占总保有储量的 7%。富矿的缺少,除需通过选矿等加工技术获取人造富矿从而增加矿产品的成本以外,往往还需进口富矿,也同样影响到矿冶业的经济效益。

又如根据第 2 章表 2-2 统计的 11 种矿种中,大型矿床矿区占矿区总数 10% 以下的有 6 种,其中 5 种仅在 5% 左右。超大型矿床更少。据陈毓川、朱裕生等 1996 年统计^[10],铜等 52 个矿种的大型、超大型矿床仅占总数的 5% 左右。至今我国还没有发现超大型富铁矿(5 亿吨级)和富铜矿(500 万吨级)。世界上储量超过 200 吨级的超大型金矿床有 48 个,

在我国今后的矿产勘查中,寻找大型、超大型矿床和高品位富矿是一个重要的勘查方向。

而我国大于 100 吨级的单个勘查区仅 6 个,还没有一个超过 200 吨的勘查区。大型和超大型矿床的矿山可进行规模性生产,经济效益好。

看来在我国今后的矿产勘查中,寻找大型、超大型矿床和高品位富矿是一个重要的勘查方向^[10]。

(3) 对矿产资源伴生有用组分的综合利用和一些难选低品位贫矿的开发利用大多重视不够,利用水平有待加强

我国多组分伴生的伴生矿床较多(参阅 2.1 节),但长期以来,除国家抓的少数大型矿山(如金川、白云鄂博、攀枝花等)和为数不多的其他矿区以外,一般都对伴生组分的综合利用重视不够,甚至根本没有开展这方面的研究和生产工作。

据对 1845 个矿山的调查统计(程永长、高万里,1996)^[13],只有 2% 的矿山综合利用率达 70%;有用组分利用率在 25% 以下的矿山就占 75%。我国有色金属矿伴生元素的综合利用水平相对较高,但跟国外采、选、冶先进指标比较,还有很大差距。例如:伴生金的选矿回收率一般为 50%~60%,银为 70%~80%,比国外的回收率约低 10%。在铜、铅、锌精矿中,伴生 20 多种有价值元素,而通过冶炼回收的只有其总量的 50%,国外工业发达国家冶炼厂的伴生金属采选总回收率平均在 80% 以上,比我国高 30 个百分点。我国冶炼烟气二氧化硫利用率只有 65%,而日本、美国、加拿大的冶炼尾气二氧化硫利用率达 90% 以上。

此外,对一些品位低、难选矿石(如轻微变质的微颗粒贫

见参考文献[13],p51~52。

我国有色金属矿伴生元素的综合利用水平相对较高,但跟国外比较,还有很大差距。

铁矿)的开发利用重视不够,或根本没有进行过这方面的试验研究工作。

(4) 矿产资源开采损失浪费严重,回收率普遍偏低

根据统计^[15],全国煤矿采矿回采率不到 50%,地方小采矿煤矿回采率更低,损失甚大。若连同采矿贫化率、选矿回收率一并计算,则由于采矿总回采率的过低(表 4-1,表 4-2)造成的损失更大。

主要有色金属矿山采矿回收率平均为 53% 左右(见表 4-1),它比发达国家低 10% ~ 20%,个体采矿的回采率为 10% ~ 20%,相应的损失量巨大。

表 4-1 中国矿山企业“三率”平均情况表^[13]

矿 种	采矿回采率 / (%) (1)	采矿贫化 率/ (%) (2)	选矿回收 率/ (%) (3)	采选总回收率/ (%) (4) = (1) × (3)
9 种有色金属	53		62 . 5	33
其中:国营矿	65		70	45 . 5
乡镇矿	24 . 5		40	9 . 8
铜	51	12 . 07	84	42 . 84
铅锌	46	11 . 78		
其中:国营铅 锌矿	70			
乡镇铅锌矿	10			
钨	45	17 . 94	81	36 . 45
锡	42		65 . 4	27 . 47
钼	63	7 . 42	82 . 5	51 . 98
铝	29	5 . 7		
镍	67	11 . 05	78	52 . 26
锑	65	3 . 97	89	57 . 85

主要有色金属矿山采矿回收率平均为 53 % 左右,它比发达国家低 10 % ~ 20 % ,个体采矿的回采率为 10 % ~ 20 % 。

续表

矿 种	采矿回采率 / (%)(1)	采矿贫化 率/ (%)(2)	选矿回收 率/ (%)(3)	采选总回收率/ (%)(4) = (1) × (3)
其中:乡镇锑矿	50	28 .07	70	35
铁矿	93 .08		73 .28	68 .21
其中:露天开采	95 .21			
地下开采	80 .37	3 .91		
锰矿	78 .79		72 .01	56 .74
铬矿	93 .26			
耐火粘土	46 .6	7 .54		
菱镁矿	92 .28			
萤石	84 .11		70 .04	63 .96

资料来源:原地矿部矿管局 1989 年以来对 "三率"调查总结,见《中国自然资源丛书·矿产卷》P50 ~ 51,1996。

表 4-2 我国 1989 年部分矿产资源开发损失估算表^[13]

矿种	年产矿石 量/ 万t	采矿回采 率/ (%)	年损失资 源量/ 万t	国外先进采矿 回采率/ (%)	非正常损 失量/ 万t	非正常损失 折价/ 万元
煤矿	10 54 亿t	34	20 .46	60	13 .44 亿t	7526400
铜	3214	51	3087 .96	85	2520 .96	94672 .83
铅锌	939	46	1102 .3	85	936 .6	98779 .56
钨矿	843	45	1030 .33	85	881 .57	39587 .667
锡矿	685	42	945 .95	85	825 .07	36152 .79
钼矿	865	63	508	85	355 .35	10027 .85
铝土矿	185	29	452 .93	85	420 .28	11259 .79
镍矿	288	67	141 .85	85	91 .03	6166 .98
锑矿	69	65	37 .15	85	24 .97	2987 .75
铁矿	1 72 亿t	93 .08	1280	95	380	39900
锰矿	105	78 .79	28 .27	90	16 .6	1162
总计						786 .71

资料来源:地矿部矿管局 1989 年以来对 "三率"调查总结,见《中国自然资源丛书·矿产卷》P50 ~ 51,1996。

矿业开发严重影响环境质量如地震、破坏和占用土地、破坏地下水源、废水废气污染环境等。

(5) 矿业开发严重影响环境质量

我国由于矿产资源的开发利用所引发的环境问题更为突出,据方磊^[15]和宋健^[9]的资料叙述,全国矿业开发影响的环境问题如下。其一,破坏地形地貌并诱发滑坡、地震等灾害。据统计,全国因采矿引起的地面塌陷面积达 8.7 万公顷。导致山体开裂、滑坡及泥石流。据湖北省抽样调查,在 80 处山体开裂中,由采矿引起的就占 31 处。诱发地震,如山西大同煤矿顶板塌陷诱发的较大地震有 41 次,最高震级为 3.4 级,震中裂度为 7 度。其二,破坏和占用土地。露天开采矿直接破坏大量土地,产生的废石、尾矿占用大量土地。露天矿大矿平均占地 270 ~ 300 亩(1 公顷 = 15 亩),小矿占地达几十至几百亩。全国固体矿产采选生产的各种固体废弃物累计存量已达 1.4 万 ~ 2.0 万 km²,并以每年 200 km² 的速度增加,至 2000 年这一速度将达到每年 340 km²。其三,破坏地下水源。由于矿山疏干排水,往往使地下水水位大幅度下降,导致区域地下水水位下降,出现大面积的疏干,使地表和地下水的动态平衡遭受破坏,严重者可导致水源枯竭、河水断流。其四,矿山废水污染环境。矿井中大量废水(包括疏干排出的矿山废水,渗出酸性矿山水)年排放量已达 36 亿吨,而酸性矿山水造成地表水和地下水水源的污染。其五,排放废气污染环境。矿业废气年排放量已达 5414 万 m³,其中煤矿行业在 4000 万 m³ 以上。西南的云、贵、川等地硫铁矿土法炼硫磺产生的废气,造成周围寸草不生、鱼虾绝迹,上百平方公里内农作物大幅度减产。有的矿山附近形成酸雨,造成森林及农作物大面积死亡。其他有

缺乏一部适应我国国情的《矿业法》会影响到我国矿产开发秩序的建立和矿业的健康发展。

关人身安全、危及生命,断绝水源,人畜饮水困难,农田受害等问题还未列入。总之随着矿业的发展,对环境的破坏和污染必将与日俱增。

(6) 矿业管理工作亟待加强

我国现行矿业管理体制,还缺乏市场经济条件下对矿产开发的“三率”进行监督,以及对乡镇矿业的发展进行正确引导的有效途径与手段,也存在矿产资源管理立法不够完善的问题。如《矿产资源法》相应配套法规尚不完整,缺乏适应社会主义市场经济条件下矿产资源管理的具体规定,更缺乏一部适应我国国情的《矿业法》。这些都会影响到我国矿产开发秩序的建立和矿业的健康发展。一旦这些工作做好了,就可为矿产资源的可持续供给提供保障的条件。

4.2 依靠科学技术进步合理利用和开发矿产资源

针对上述我国矿产资源开发利用中存在的问题,以及由于资源赋存条件所导致资源供需方面的矛盾,这里主要从科学技术进步的角度出发,提出如下建议,以促使我国矿产资源有可能得到最大限度地合理开发利用,缓解一部分矿产供应日趋紧张的局面。

(1) 重视多组分伴生矿床的综合利用,以及低品位矿床、难选(冶)矿床的开发利用

首先必须由矿产资源主管部门制订关于解决上述矿床综合利用和开发利用问题的全国科学研究、工业试验和工业

力争及早使我国伴生矿床的伴生组分都能开发利用,这是最大限度地合理利用矿产资源的一项重要措施。

开发利用的全面规划及分阶段的实施计划,然后再渐次贯彻落实,以便及早取得成效。

十几年来由国家狠抓的三大矿山矿石伴生组分的综合利用工作确已取得很大的成效。其中,甘肃金川镍矿已是有色金属综合利用的范例,目前除回收镍外,还回收了铜、钴、钼、金、银、铈、铀、钨、钼、钨等多种元素。20世纪90年代以来,有价元素的综合回收由原来的7种增加到14种。四川攀枝花钒钛磁铁矿综合回收了铁、钒、钛等主要组分。内蒙古白云鄂博铁矿回收了钛和稀土以及一些其他组分。看来,推广这些矿山做好伴生元素综合利用工作的经验,力争及早使我国每一个伴生矿床中的有益伴生组分都能做到不同程度的开发利用,这是达成最大限度地合理利用矿产资源的一项重要措施。

我国一些矿床的保有储量中,由于品位低或难选冶等不同原因,在当前的科学技术条件下实际上尚难以开发利用,如在铁、锰、铜的保有储量中都占其总量的一半以上,其中铁、锰所占的比重更大。又如碳酸盐锰矿和一些铁锰贫矿的选矿技术问题迄今未解决,因而还不能开采利用。此外,还有一些赤铁贫矿,微粒磁铁贫矿等,虽已通过勘查计算了储量,但因选矿技术没有过关而大多列为暂不能利用的“表外矿”。因此,必须进行相应的、不同层次的一系列选矿(冶炼)科技攻关工作,力争及早突破科技难关,变难用为能用,发挥相应矿产应有的资源效益。这是提高矿产资源保证程度的有效途径之一。

(2) 继续狠抓矿产资源的二次开发利用

必须进行不同层次的一系列选矿(冶炼)科技攻关工作,变难用为能用,发挥相应矿产应有的资源效益。

这就是所谓“二次资源”的开发利用问题。二次资源是工业废弃物的有用组分和废旧工业品,它包括赋存和残留于采矿、选矿、冶炼、加工后的废石、废渣、废液(即所谓“三废”),以及尾矿的有用矿物组分和废旧工业品。二次资源的开发利用是我国一项重大的技术经济政策,也是国民经济和社会发展一项长远的战略方针。它对于节约资源、改善环境、提高经济效益、促进经济增长由粗放型向集约型转变,实现资源优化配置和可持续发展都具有重要意义。据当前我国的冶炼水平,回收一吨废钢铁可炼好钢 850 公斤,节省铁矿石 2~3 吨,焦炭 1 吨,石灰石 5 吨;回收一吨废杂铜,可提炼电解铜 850 公斤,节约铜矿石 150 吨,电能 260 千瓦·时;回收一吨废杂铝,可提炼电解铝 900 公斤,节约铝矾土 4.2 吨,纯碱 800 公斤,电极 600 公斤,电能 2 万千瓦·时;另外,废金属还是载能体,合理地利用废金属进行生产可节约大量能源。因此,加强二次资源的综合利用,是缓解我国资源短缺的有效途径,也是关系到有限资源可持续利用的重大措施。当前废钢铁回收已占同期钢产量的 21%(葛振华,1998),再生铜占全国铜消费量的 23%,再生铝产量占同期精炼铝的 6.5%,再生铅占全国铅消费量的 23.8%。由此可知,再生有色金属的利用潜力也很大。此外,综合利用工业废渣生产建材产品,不仅能节省大量的土地资源,减少污染,节约数亿元的废渣处置费用,而且可填补新型墙体材料的空白。二次资源的开发利用对实现我国经济腾飞具有十分重要的作用。总之,二次资源的开发利用可以节约资源、降低成本、提高经济效益,并获取较好的环境效益(表 4-3)。

二次资源的综合利用,是缓解我国资源短缺的有效途径,也是关系到有限资源可持续利用的重大措施。

表 4-3 再生资源替代原始资源的环境效益

环 境 效 益	铝	钢铁	纸张	玻璃
减少能源消费/ (%)	90 ~ 97	47 ~ 74	23 ~ 74	4 ~ 32
减少空气污染/ (%)	95	85	74	20
减少水质污染/ (%)	97	76	35	
减少矿物废料/ (%)		97		80
减少用水量/ (%)		40	58	50

资料来源:转原中国地质信息院曹新元等编写的《21 世纪初期我国矿产资源形势及对策研究》。

1995 年全国工业废渣开发利用量达 2 .86 亿吨,为 1985 年的 2 .34 倍,10 年累计综合利用废渣 20 亿吨,利用率由 1985 年的 25% 上升到 43%。其中,全国煤矸石综合利用量达 5600 万吨,为 1985 年的 1 .5 倍,10 年累计利用煤矸石 5 亿多吨,利用率已达 38% 左右;公用粉煤灰综合利用量达 5188 万吨,为 1985 年的 6 .7 倍,10 年累计利用粉煤灰 2 .34 亿吨,利用率由 1985 年的 20 .7% 上升到 45% 以上(详见表 4-4,表 4-5)。

表 4-4 全国工业“ 三废 ”综合利用产值与利润统计

年 度	1985 年	1993 年	1994 年	1995 年
产值/ 亿元	28 .0	134 .0	157 .0	190 .0
利润/ 亿元	约 7 .0	30 .0	41 .5	47 .0

据葛振华编写的《我国二次资源综合利用现状与对策建议》,1998。

通过工业“三废”的转化可做到“变废为宝”，实现“三废”的资源化，促使经济发展由粗放型向集约型转变。

表 4-5 全国工业固体废弃物利用统计表

项目 \ 利用量	1985 年		1990 年		1995 年		10 年累 计/ 万吨	增长 倍数
	利用量 / 万吨	利用率 / (%)	利用量 / 万吨	利用率 / (%)	利用量 / 万吨	利用率 / (%)		
工业废渣总量	12200	25 .0	17000	29 .3	28600	43 .0	200000	2 .34
煤矸石	3700	38 .0		38 .0	5600	38 .0	50000	1 .5
粉煤灰	770	20 .7	1900	26 .5	5188	45 .0	23400	6 .7
冶炼废渣	2690	83 .4			4965	92 .0	3900	1 .85
化工废渣	1500	40			2600	64 .0	17000	1 .7

据《中国资源综合利用发展战略论文集》，1997。

综上所述,说明通过工业“三废”的转化可做到“变废为宝”,实现“三废”的资源化,促使有关的经济发展由粗放型向集约型转变。这项有关开发利用资源的方针政策必须长期贯彻执行。

(3) 通过试验研究和生产实践不断提高矿产资源采选总回收率

这就要求在矿业主管单位的倡导和组织下,由有关的试验研究单位和相应的矿山密切配合,科技实践与改进管理相结合,共同总结降低“采矿贫化率”、提高“采矿回采率”和“选矿回收率”,达到提高资源“采选总回收率”的技术和管理措施。同时提出推广的建议,为增进矿产的资源效益作出贡献。

(4) 重视开拓矿石矿物应用的新领域

在科学技术飞速发展的今天,人们对矿石矿物用途进行基础和应用基础研究,就可能扩大其应用范围或发现新的用途。例如,不久以前人们还把稀土元素视为一般的金属,通

通过探索研究认识到稀土元素可制造永磁材料和超导材料后,稀土元素就成为当代的“稀缺元素”。

过探索研究认识到它们可制造永磁材料和超导材料后,就成为当代的“稀缺元素”^[20]。又如经研究发现:锂可用作“可充电高功率电池”和熔融碳酸盐燃料电池;铂族元素中的钯、铑可用于航天工业、远程通信和计算机方面等等。20世纪初世界上可利用的非金属矿产仅60余种,随着深加工技术的发展,非金属矿物的许多优良性能被深刻揭示,应用领域越来越广泛,目前已达200多种。20多年前,硅灰石和透辉石仅是普通的变质矿物,70年代以来已成为现代陶瓷、玻璃、冶金、橡胶和涂料工业的新型原材料等等。看来,今后通过实验研究,矿石矿物的应用领域将有更大的拓宽,甚至发现新的矿种。

(5) 加强在成矿远景区带的区域成矿研究,重视与矿产勘查的密切结合,注意发现新的矿床类型

加强对地质研究程度较低的我国成矿远景区带(如西南的三江地区)的区域地质、尤其是区域成矿背景和条件的预测研究(包括成矿系列的类比研究),指出找矿方向,同时重视和做好科研及其后续矿产勘查(主要是普遍找矿)的接力赛,就有可能多、快、好、省地发现客观存在的隐伏矿与深部矿床。通过合理而有效地勘查,就可不断提供新的矿产资源。在矿产勘查中,要应用新理论新观点观察地质现象,对本地区可能赋存的新矿种、新类型矿床做推断分析。例如近年来国外在海洋中发现的海底水气化合物这种新的燃料矿产^[17],我国在川西地区发现的大水碓金矿床,在长江中下游地区发现的铌矿床等,都是在矿产勘查中发现的全世界或一个地区的新矿种、新类型矿床的实例。

看来,今后通过实验研究,矿石矿物的应用领域将有更大的拓宽,甚至发现新的矿种。

(6) 矿产品代用品的研究与推广使用

随着科学技术的不断发展,一些传统主要金属矿产品已被代用品所替代。例如,一部分钢铁、铜、铅、锌及铝的制品被塑料、复合材料、橡胶、陶瓷等新型材料替代。这样就使得金属耗用材料在工业生产中的需用量不断下降。如美国每辆旅行车生产中,1990 年跟 1980 年相比,钢铁由 72.7% 下降到 68.9%,塑料由 6% 上升到 13.3%。铜在电缆中正逐步被光学纤维取代,使铜在这一领域中的需求量在 1985—1990 年间下降了 20% ~ 40%。代用品的增加,在不久的将来有可能逐步缓解某些矿产品的供需矛盾。为此,从节省矿产资源和适当缓解矿产品供需矛盾的观点出发,应大力提倡研制与推广使用矿产品的代用品。

4.3 实现矿产资源稳定供应的对策

我国是矿产资源的消费大国。进入 21 世纪后,为了促进国民经济的持续发展,如何保障矿产资源的持续稳定供应是我国社会主义建设中的一件大事,是一种战略考虑。为此,提出如下建议。

(1) 采取合理的矿产资源政策

建议采取的矿产资源政策,至少包括三点,即: 立足本国,走向世界,实行国内外资源互补的方针(即执行利用两种资源的方针); 依靠科学进步,合理利用已有矿产资源,并向自然“索取”潜在的资源; 走资源节约型矿业经济发展的道路。

铜在电缆中正逐步被光学纤维取代,需求量在 1985—1990 年间下降了 20% ~ 40%。

为了执行两种资源的方针,须及早筹建我国全球矿产品的供应体系,尤应从有条件的周边国家开始,其他有关问题将在后面作论述;至于依靠科技进步方面在 4.2 节已作专门讨论,不再论述;关于方针的第 3 点,主要涉及经济学范畴的讨论,在此从略。

(2) 积极开展合理的矿产品国际贸易

在出口方面要充分发挥我国某些矿产的优势,力争最大限度地建立并扩大其高级产品(即高附加值矿产品)的国外市场,以换取我国一些资源不足和严重缺乏的国外矿产品,增加到国外进行风险矿产勘查的投资。以往我国钨、锡、锑、稀土等小宗金属矿产和菱镁矿、石墨等丰富的非金属矿产虽曾长期出口换汇,但以原矿为主,不仅获取外汇总额相对较小,且不善于控制出口数量,往往由于数量过大而导致价格下跌,造成巨大经济损失。例如,锑在 1993 年前由于我国大量出口,国际市场金属价格在 1600 ~ 1700 美元/吨、矿石在 15 ~ 17 美元/吨的低价位上徘徊;1994 年初开始,由于限制了锑的出口,锑价迅速上升,至 1994 年底锑金属上升到 6000 美元/吨,锑矿石上升到 26 美元/吨。为此,不断加强优势矿产品的出口管理是十分必要的。与此同时,还需要加速发展矿产品深加工技术,加强相应矿产品的生产规模的管理,使之及早达到合理的出口额度。只有这样,才能取得优势矿产的最佳出口经济效益。这也是节约优势矿产品、增加换汇、提高经济效益的重要途径。

石油、富铁矿石、铜、钾盐等十几种大宗矿产,需要从国外大量或适量进口才能满足国内需要的。当然,也要加强规

不断加强优势矿产品的出口管理是十分必要的。这样才能取得优势矿产的最佳出口经济效益。

划和管理,以免因量大而刺激国际市场价格的暴涨。

此外,对国内资源不足但精加工(炼油、冶炼)能力过剩的矿产,可采取出口成品、进口原料等措施,以提高我国外贸的国际支付能力。

(3) 加强储量不足和短缺矿产以及富矿比例过低矿产的勘查工作,并有计划、有步骤地开展相应矿种的国外风险勘查。

总的来讲,我国地质特征复杂多样,成矿地质条件比较优越,矿产资源潜力仍较大,目前绝大多数矿产的探明储量很可能仅是相应潜在总量的一部分。例如,石油、天然气、金、铜等矿产的储量仅为潜在资源量的 $1/2 \sim 1/3$ 。我国除东部地区以外的广大地区,地质勘查程度还比较低,西南三江地区、甘川陕地区、青海柴达木及其周边地区、新疆等许多地区矿产资源量丰富。我国地质找矿力量雄厚,只要合理组织,有重点地进行矿产勘查,并加强高新技术的运用,则实现地质找矿的重大突破,提高相应矿产的保证程度,是有一定把握的。

开展国外勘查必须做好准备工作。首先是地区的选择,除具备优越或较好的地质和资源条件以外,还须考虑政治甚至经济方面的因素。其次是“区域地质调查先行”。当然还必须要有德才兼备的领导和有一定勘查经验、了解国外情况的一专多能的技术骨干。只要规划和开展得当,就可以获取相应的海外矿产资源来弥补国内的不足。

(4) 适当拓宽矿产勘查和矿业开发方面的国际合作

20 世纪 80 年代以来,随着国际关系的缓和趋向,国际矿

为了保证我国矿产的稳定供应,预防突发事件,要建立国家矿产储备制度,可用天数一般在 70 ~ 100 天之间。

产勘查与开发的合作日益活跃。我国抓住时机,首先开展海上油气方面的国际合作,并已初见成效;现已开始扩展到陆上少数矿种和地区。看来只要条件适当,还可继续扩大,以弥补我国资金和某些科技领域的不足。对有些国外矿产勘查项目,也可采取国际合作的方式开展工作。

(5) 建立我国国家矿产储备制度

为了保证我国矿产的稳定供应,预防突发事件的影响,有必要建立国家矿产储备制度。按照某些发达国家的经验,储备资源的可用天数一般在 70 ~ 100 天之间,供急缺时使用。其实美国对某些矿产的储存额度,远较此大。

(6) 制定矿业法,建立符合市场经济机制运行的矿业新秩序

我国矿产资源的勘查、开发和销售等方面的管理要进一步改革,以适应社会主义市场经济和国际竞争的大致需要,其重点大致包括以下几个方面:

制订矿业法,实行依法治矿、依法管矿、依法开矿,使我国矿业更快地发展起来。

建立全球矿产资源和矿产工业信息系统。

在市场经济体制下,为我国更好地利用两个市场、两种资源提供各种信息服务,为我国 21 世纪国民经济的持续发展提供信息保证。

此外,关于依靠科学进步合理利用和开发矿产资源的建议,已在 4.2 节中进行了专门论述,不再重述。

对有些国外矿产勘察项目也可采取国际合作的方式开展工作。

参 考 文 献

- [1] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,宋天锐.再论矿床成矿系列问题.中国地质科学院院报,1983.6:1~64
- [2] 程裕淇.最大限度地合理开发利用矿产资源.中国地质,1986(11)
- [3] 程裕淇,李廷栋.略论我国矿产资源的形势、问题和对策.见:中国资源潜力、趋势与对策.北京:北京出版社,1993
- [4] 程裕淇,闻广.区域成矿分析若干问题.中国区域地质,1982(2)
- [5] 程裕淇.关于我国矿产资源问题的思考.见:中国科学院第九期院士大会学术报告摘要汇报.中国科学院学部联合办公室,1998
- [6] 程裕淇.关于矿产资源的几个问题.见:共同走向科学——百名院士系列报告集:下册.北京:新华出版社,1997:351~362
- [7] 宋叔和主编.中国矿床.北京:地质出版社,1989
- [8] 宋瑞祥主编.96年中国矿产资源报告.北京:地质出版社,1997
- [9] 宋健主编.现代科学技术基础知识.北京:科学出版社,1994
- [10] 陈毓川,叶天竺,张洪涛,朱裕生等.中国主要成矿区带矿产资源远景评价.北京:地质出版社,1999
- [11] 朱裕生.开展新一轮地质矿产调查评价若干问题的思考.中国地质.1998(11)
- [12] 蔡长金,陆荣军,宋湘荣.中国金属矿物志.北京:冶金工业出版社,1994
- [13] 程永长,高万里.中国自然资源丛书.矿产卷.北京:中国环境科学出版社,1996
- [14] 裴荣富,钟自然,吴良士.中国钨矿资源经济评价.北京:中国科学技术出版社,1993
- [15] 方磊.中国环境与发展.北京:科学出版社,1992

制订矿业法,实行依法治矿、依法管矿、依法开矿,使我国矿业更快地发展起来。

- [16] 曹新元,陈小宁,彭利生.21 世纪初期中国资源形势分析.见:走向 21 世纪的地学与矿产资源.北京:地质出版社,1997
- [17] 吴必豪,刘玉山,马开义.气体水合物——21 世纪的新型能源矿产.中国地质科学院矿床地质研究所所刊.1997(1):138~142
- [18] 潘家华.21 世纪新兴的海洋矿产产业——大洋富钴结壳.中国地质科学院矿床地质研究所所刊.1997(1):143~148
- [19] 刘淑琴.大洋中的多金属结核.中国地质科学院矿床地质研究所所刊.1997(1):149~154
- [20] 成金华.市场经济与我国资源产业的发展.武汉:中国地质大学出版社,1997

附录 A

名词解释

岩浆岩 又称“火成岩”。它是岩浆在地下或喷出地表后冷却凝结而成的岩石。

沉积岩 过去曾称为“水成岩”。它是由成层沉积的松散沉积物固结而成的岩石。

变质岩 岩浆岩或沉积岩,受到后来的构造运动、岩浆活动或地壳内热流变化的影响,使它的矿物成分和结构构造(乃至化学成分)发生了不同程度的变化而形成的岩石。

矿产储量 一般指矿产的蕴藏量。实际工作中矿产储量的表示方式有矿石

矿产储量一般指矿产的蕴藏量。

储量(简称矿石量)、金属储量(简称金属量)或用组分储量、有用矿物储量等,多数以重量(吨,公斤,克拉)计,少数以体积(立方米)计。它的简称是“储量”,矿山部门常称“矿量”。地质勘查时期获得的矿产储量是矿产地质工作的一项主要成果,也是制订国民经济发展规划和计划,进行矿山建设的主要依据。目前计算和统计的储量尚未扣除未来和加工时的损失及贫化的量。

探明储量 指经过一定的地质勘查工作而圈定、计算出的矿产储量。它被划分出相当可靠和精度渐次降低的 A、B、C、D 四级,以区别于依据一般地质条件预测的、其质和量、赋存状态及开采利用条件均不明的地质储量。探明储量是进行矿山建设、制订国民经济和地区经济发展计划、合理规划工业布局的主要依据。

保有储量 截至一定年度的矿产探明储量,扣除后来的勘查和开采损失量,以及根据新的地质勘查成果将原有储量数字进行修改以后的实际储量数。

表外矿 又称“暂不能用储量”或“表外储量”。系指不符合当前的工业技术经济条件,暂时不能被开采利用的储量。属下列因素之一者都属表外矿:有用组分(或有用矿物)的含量低(低于一定的含量指标);矿体厚度小;矿山开采技术条件或水文地质条件特别复杂;目前对这类矿产的加工技术方法尚未解决。这类储量只是在勘查能利用储量的同时顺便了解,而不需要进行专门的勘探工作。

矿产普查或矿产资源普查 又称找矿。这是指在一定

选矿回收率指矿产品中某一有用成分的重量与入选原矿中同成分重量的百分比。

地区内,为寻找和初步评价发展国民经济需要的矿产而进行地质工作,目的是发现各种矿产,并作出初步评价。

矿产勘探或矿床勘探 在矿产普查基础上,或在矿山建设、生产建设过程中为查明一个矿床的工业价值的综合评价,或保证矿山的顺利建设和生产而进行的矿床调查研究,以及其他必要的地质工作和工程施工的总称。

超大型矿床 是矿床规模级别中的最高级别名称。原全国储量委员会制订(1981)的“矿床规模划分标准”,把矿床规模划分为小型,中型,大型三级。但三分法的划分并不能完全反映矿床规模的具体情况,在实际工作中又提出了比大型矿床规模(工业可开采的储量)更大的等级名称——超大型矿床。其内涵是中型矿床上限与下限比值乘以大型矿床的下限值作为超大型矿床的下限值。也可以认为,超大型矿床至少是大型矿床下限值的5倍。

矿产资源潜力 这是对一定地区内尚未发现的矿产资源的总体预测。它是根据区域地质和构造特征、已知矿产分布规律等进行粗略地质综合研究后的预测,其可靠程度很低,仅作为部署矿产普查工作的参考依据。

矿产资源经济区 在宏观布局的基础上,以矿产资源为导向、围绕地区矿产资源特征和配套优势,为了对矿产资源进行有计划的合理开发利用而划分的经济发展地区。

矿产资源潜在价值 矿产资源自身特有的,通常不被人们意识到的经济价值。矿产资源在未开发以前或未进入市场之前,它不是商品,只具有开发加工前可能的经济价值,属

采矿回采率指某一采区实际采出的矿石总量跟此采区保有的矿石总量的百分比。

于形成商品以前的经济价值。

采矿回采率 又称矿石采收率。系指某一采区实际采出的矿石(或金属)总量跟此采区保有的矿石(或金属)总量的百分比。

采矿贫化率 简称“贫化”,或“品位降低率”。由于地质条件和采矿技术等方面的原因,使采下来的矿石中混入废石,或者由于部分有用组分溶解和损失而引起的矿石品位降低的现象称“采矿贫化率”。矿石贫化降低了选矿回收率和精矿的产量,增加了生产费用等。采下来的矿石品位降低率与矿体(或矿块)平均品位的百分比称“贫化率”。该指标是检查采矿工作质量和分析采矿方法是否合理的一项重要技术指标。

选矿回收率 简称“回收率”。指选矿产品(一般为精矿)中某一有用成分的重量与入选原矿中同一有用成分重量的百分比。其值越大,标志某一有用成分的回收率愈高。

采选总回收率 是指保有储量扣除了采矿回采率和选矿回收率所造成的损失以后、实际选矿产品(精矿)量对保有储量的百分比。

储采比 可采储量与年开采量的比值。

矿产资源储备 将金属、非金属、燃料等矿产,矿产品或相应的原材料储存起来,准备必要时应用。

废物资源化 对工业废弃物中的有用组分的提取利用和对废旧工业品的再利用的总称,它包括赋存和残留于采矿、选矿、冶炼和加工后的废石、废渣、废液和尾矿的有用矿

高附加值产品指产品的利润并不来自产量和生产规模的扩大,而是由于产品深加工后价值的提高。

物组分,以及废旧金属等的回收利用,它是资源综合利用的一项技术经济政策。

高附加值产品 又称高价值产品。这类矿产品的利润,并不来自产量和生产规模的扩大,而是由于产品深加工后价值的提高。例如钢铁企业生产的钢材为了能获得高额利润,就需生产特殊用途的耐腐蚀钢、合金钢材等产品,因为它价值更高,获利更大,后者比前者的产品价值更高,因而称高附加值产品。

附录 B

矿石矿物的合理利用

矿产资源属自然资源的一部分,是自然界赋予人类的宝贵财富。当前社会生产所需的 80 % 的原材料、94 % 左右的能源来自矿产资源,“ 大地中的宝藏 ”名副其实。矿产是由不同矿种和矿石矿物组成的集合体,不同矿种其矿物各不相同。矿石矿物在自然界中已发现有 4000 余种。当前经常利用的不过 2000 多种。随着高科技的发展,人类进入知识经济和生态文化的新世纪,对矿石矿物的应用范围不断扩大。当前高科技的迅速崛起,对矿石矿物开发利用的力度随着加大,致使原来视为不能用、无使用价值、甚至视 废物的

矿石矿物的开发利用和自身的价值已成为大家关注的热点。

“垃圾”成为有用的原材料。因此,矿石矿物的开发利用和自身的价值已成为大家关注的热点。

对矿石矿物的开发利用历史悠久,早在新石器时代(约一万年到四千年前)人类已认识了“黄金”。在出土墓藏或遗址中见有金的制品和金器的最早年代为商代早期,距今有三千年到三千五百年,例如:河北崇城县台西村商代中期宫殿遗址 14 号墓中出土了金块、金片;河南辉县琉璃阁的殷代墓藏中出土金块、金箔、金叶等金器(栾世纬,金矿床地质及找矿方法,四川科学技术出版社,1987)。由于黄金以自然元素单质矿物存在,即自然金的形式出现,具有引人注目的颜色和光泽,又在砂矿中广泛分布,使它比其他金属更易被人发现和利用,所以称“黄金实质上是人类所发现的第一种金属”(《马克思、恩格斯全集》13 卷,46 页,人民出版社,1965)。在商代甲骨文中就有金的记载,至春秋中期已能将黄金与铜金属区分开来(朱活,古钱新探,1984),又据《国藩》云:“金起于汝汉,珠起于赤野……(先王),以珠为上币,以黄金为中币,以刀布为下币”。在《山海经》中记载了“金”的产地 105 处。说明金矿床在古代已发现、开采和应用。到汉代新莽时期提出黄金的储备,其总量约达 179200kg(夏湘蓉等,《中国古代矿冶开发史》,地质出版社,1980)。从此黄金成为货币、首饰、储备的矿物资源,随着生产的发展和技术水平的提高,黄金在工业上应用范围逐步扩大,目前发展到开发应用的鼎盛时期。其他矿石矿物也随着生产力和技术水平的应用价值

世界上已发现的 4000 余种矿物中,有工业意义的大约占 1/2,而实际被利用的比这个数字还要小。

而提高。

世界上已发现的 4000 余种矿物中,有工业意义的大约占 1/2,而实际被利用的比这个数字还要小。矿石矿物的开发利用价值往往由成矿和组成矿物元素自身的特点来决定。据有关资料统计,人类在古代应用的元素仅 18 种,而其相关矿物或化合物比此数要多;到 18 世纪前也只有 25 种;在 18 世纪的整整 100 年内,增至 29 种;在 19 世纪内增加到 61 种;到 20 世纪,人们已利用了 84 种元素及数百种同位素;现在在世界范围内各国勘查和开采的矿种已达 160 种以上,发现的矿物达 4000 余种。随着社会的发展和知识经济时代的到来,矿物在生产和生活中正以不同形式被广泛应用。

(1) 直接利用矿石矿物的物质组分

利用物质组分,是构成现代开采和应用矿石矿物的主体,在整个矿产品的总产值中所占比例最大。如铜、铁、铅、锌、钨、锡、银、金、铋、钼等等。这些矿产(矿物)除了以自然元素存在形式外,一般需要经过冶炼或提取才能应用。从矿物中提取的金属元素是国民经济发展生产的原材料。如钢铁是衡量一个国家综合国力的指标之一。钢铁的增长和发展拉动了其他矿产资源的开发利用。据统计,炼 1 万吨钢材需要消耗锰 770kg、铬 220kg、硅 220kg、镍 83kg、钨 9kg、钒 3.2kg、钛 1.8kg,以及少量其他元素。又如制造一辆坦克需应用近代 30 余种金属,制造一架飞机也需要十几种金属。由此可知,只有寻找、开发和冶炼矿产资源,才有可能满足经

制造一辆坦克需应用近代 30 余种金属,制造一架飞机也需要十几种金属。

济建设所需求的原材料。

矿物及其冶炼产品跟人们的生活密切相关:镍、铬制成的不锈钢合金是生活中的清洁用具;镁由于具有在空气中与氧化合并燃烧发强光的特点而成为人们现代生活的必备照相用品;利用铅的低熔特点(熔点 325)制作的熔断保险丝是现代家庭的必需品;银是制作摄影胶卷和餐具的原料;锌的化合物用来在农业上制造杀虫剂;钾盐(KCl , K_2SO_4)可用来制作农作物的主要肥料,氮、磷、钾是农肥的三要素,对粮食及其他作物的增产起决定性的作用,是农业增产、保持粮食稳产高产的物质基础。总之,对矿物的开发利用是发展国民经济的基础工作,又是改善人民生活、提高生活质量的必要工作。

非金属矿物主要作为原材料,或利用它的特殊性能作特殊用途。在炼钢时加入适当的萤石既有助熔作用,降低熔炼温度和增加炉渣的流动性,又有较强的脱硫和脱磷作用,促进硫、磷等有害杂质的排除,熔炼出合格的钢材。石灰岩(CaCO_3)可用来制造电石、碱和漂白粉,是化工生产中的重要原料。以硼为原料制造的碳化硼的硬度与金刚石硬度接近,可做高级研磨材料和高硬度切削工具,成为金属加工技术中的关键材料。冰洲石(CaCO_3),方解石的一种)具有最高的双折射率和偏光性能,用于国防工业和制造特种光学仪器。应用砷的化学性质(具有毒性)可制造农药杀虫剂、制革药剂和木料防腐剂,砷是防治农作物病虫害的必要原料,也

高岭土既是制造陶瓷的原料,也可作造纸填料和建筑涂料和电子元件、坩埚、高压电瓷的原料。

是延长某些原材料使用寿命制作保护剂的理想原料。大家熟知的高岭土,具有较好的吸水性、可塑性、悬浮性,强粘结力,高的耐火度、好的绝缘性、化学稳定性和烧结性,因此,无论是工业还是日常生活中它都是重要的原材料。它既可作为制造陶瓷的好原料,也可作为造纸填料和建筑涂料,还可作为电子元件、光学玻璃坩埚、高压电瓷的原料。

无论是从矿物中提取金属元素,还是利用非金属矿物做原料制作工业器材和生活用品,矿石矿物价值越来越高,因而普遍受到各级政府的重视。随着科学技术水平的提高和工业发展的需要,预期将会增加不少新的矿产种类和发现矿物的新用途,它们在工业上和人民生活中的使用范围将会大大拓宽。

(2) 直接或间接利用矿石矿物的物理性质

矿石矿物的物理性质多样,其物理性质有一定的差异,各种元素之间的熔点和比重也各异。例如:熔点最高者达 3370 (W),最低为 - 38.87 (Hg);比重最大者达 22 克/厘米³ (Os),最低者为 0.534 克/厘米³ (Li)。工业和科学技术领域可直接利用这类物理性质和矿石矿物的其他特性。

表 B-1 列出典型矿种的主要矿物的物理特性和应用范围。从中可以说明:矿石矿物的应用是极为广泛的,它涉足工业、农业、生活和科学研究的各个方面。对于一个地区或某个行政区,不仅要了解区内的矿产资源状况,还要了解其

所谓“高科技”系指高效益、高智力、高投入、高竞争、高风险、高潜能的科学技术领域。

主要矿种矿石的应用范围。

主要矿物的矿种和物理特性。

公认的 21 世纪高技术领域,每项高技术都跟矿石矿物有直接和间接的联系。

和矿石矿物联系最紧密的高技术是新材料技术、新能源技术和海洋技术。

高新技术领域的开发研究,也将会使矿石矿物的应用范畴拓展到新的境界。

许多新材料是矿石矿物直接应用及其深加工后形成的材料。

新能源的主要标志是核能的开发、太阳能的应用和合成新能源的民用化。

优质饰面花岗岩类,采出的荒料价值甚低,一旦加工成饰面材料后,其价值是荒料的数百倍。

矿石矿物的用途,以便据此进行开采利用。有的矿石矿物是毛矿(或毛料、或荒料),属价值甚低的初级产品,但一旦深加工后,其价值就有可能上升几倍、几十倍,甚至几千倍、几万倍。像优质饰面花岗岩类,采出的荒料价值甚低,一旦加工成饰面材料后,其价值是荒料的数百倍。又如膨润土的自身价值不很高,但是加工成涂料后,身价提高数十倍。对矿石矿物的用途了解后,并对它做深加工,将大大提高它的经济价值,也为合理利用矿产资源开拓新途径。

由于矿石矿物的种类很多,其他像金属中的分散元素矿产、燃料矿产,非金属矿产中冶金辅助原料、化工原料、陶瓷原料等不再详述,可以参阅有关专业参考资料。

矿石矿物是地壳中矿物质通过成矿作用富集起来的,是在现有经济技术条件下可以被利用的地质体,认识和识别矿石矿物是开采利用矿产资源的首要步骤。按地壳丰度(即地壳中元素的平均含量)铁的含量达 5800×10^{-6} ,据此计算全球铁的总量可达 1656480 万亿吨,而目前全世界的铁矿探明储量为 3500 亿吨,仅为总量的 $1/473$ 万。其他像黄金全球已探明的储量仅 4 万余吨,是地壳总量的 $1/285$ 万,铝只有 $1/1185$ 万。由此可见,当前我们认识的矿石矿物和已被利用的矿产资源,只是地壳物质的极少部分。其识别能力和利用程度也随着经济的发展和科技进步而提高。所以,对矿物利用的潜力可以说是无限的。

(3) 高科技的发展促进矿石矿物的利用

现代科学技术给人类提供的知识和方法,正在改变着矿

对矿石矿物的识别能力和利用程度随着经济的发展和科技进步而提高。

石矿物开发利用和深加工的水平,拓宽它的应用范围。特别在高科技领域内应用的新材料体系中,矿石矿物的利用和深加工已成为支柱产业。

所谓“高科技”系指高效益、高智力、高投入、高竞争、高风险、高潜能的科学技术领域。其中的高潜能是指总体上对国家的政治、经济、文化、军事及整个社会的进步具有重大影响,具有鲜明和强劲的渗透力、扩散性和巨大的潜力。矿石矿物在高科技领域中的应用属“高潜能”这个范畴。其他的分支范畴同矿石矿物的关系也较密切。

当前科学家公认的列入 21 世纪重点研究开发的高技术领域有生物技术、信息技术、航天技术、新材料技术、新能源技术和海洋技术。虽然每项高技术都跟矿石矿物有直接和间接的联系,但是联系最紧密的是新材料技术、新能源技术和海洋技术三个领域。这三个领域的开发研究,将会使矿石矿物的应用范畴拓展到新的境界。

新材料技术是高技术的物质基础,主要包括超导材料、人工合成材料、单晶材料、高温材料、陶瓷材料、超微粒材料、高性能结构材料、纤维材料、非晶体材料、特种功能材料等。其中的超导材料、高温材料、陶瓷材料、超微粒材料、特种功能材料跟矿石矿物的关系极为密切,它们是矿石矿物的直接应用及其深加工后形成的材料,其他的几种材料跟矿石矿物有直接和间接的联系。

新能源技术是高技术的支柱,这个领域包括核能技术、

海洋矿产资源中富钴结壳的潜在资源量达 10 亿吨。

太阳能技术、磁流体发电技术、地热能技术、海洋能技术、燃煤新技术等。新能源的主要标志是核能的开发、太阳能的应用和合成新能源的民用化。这一能源领域的发展将打破以石油、煤炭为主体的传统能源观念,开创能源的新时代。

海洋技术又叫海洋工程,包括对深海生态—地质的调查、深海挖掘、海水淡化、海水中微量元素的提取及对海洋中生物资源、矿物资源、化学资源、动力资源等的开发研究利用。其中的深海挖掘和海水淡化是海洋技术进展的主要标志。深海生态—地质调查、矿产资源调查、动力资源(含海底天然气水合物等新能源)是当代高技术综合水平的体现和海洋技术发展的基础之一。海洋矿产资源中富钴结壳的潜在资源量达 10 亿吨(潘家华,1997)、大洋多金属结合潜在资源量达 3 万亿吨,气体水合物的潜在资源量(换算成甲烷气体)约为 $(1.8 \sim 2.1) \times 10^{16} \text{ m}^3$ (,1995),相当于全世界煤、石油和天然气等再生和非再生燃料总量的两倍。这些矿产资源 and 新能源的调查以及将来的开采,都要借助高技术。

由此可知,矿石矿物的利用需用高技术进行深加工,以炼制深加工矿产品,形成新材料,进而推动新技术的发展。

新材料中的金属材料一直占绝对优势,仅在有色、稀有金属方面研制出的高纯高韧铝合金、高强高模铝锂合金、高

据新一轮国土资源大调查背景材料之六——《我国海洋地质工作展望》。

陶瓷的最大缺点是脆性。目前先进陶瓷制作过程中已找到许多增韧的方法,其韧性将逐步提高。

温铝合金、高强高韧高温钛合金,以及众多的稀有金属合金的原料,都是从矿石矿物炼制出来的相关元素经深加工的高科技产品。目前新型金属功能材料、新型铁氧体、钕铁硼稀土永磁合金、超细金属隐身材料、储氧材料及活性生物医用材料,正在向高功能化和多功能化方向发展。制作这些材料对矿石矿物的质和量、深加工的技术要求远比一般的冶炼技术高。由此可知,新型金属材料的生产和制作工艺的改进,对矿石矿物的质和量、品种都提出了新的要求。只有建立在新材料研制基础上评价、选择和合理开发利用矿石矿物,才有可能促进新型金属材料的研制。

陶瓷材料是人类最早利用自然界提供的原料制成的材料。随着人类社会的发展,从以粘土、石英、长石等矿物原料配制的陶器发展到传统的瓷器,继而发展到先进陶瓷,直到现在的纳米陶瓷。这一发展过程可以用图 B-1 展示,传统陶瓷和先进陶瓷的性能和制作技术对比见表 B-2。

陶瓷的最大缺点是脆性。目前先进陶瓷制作过程中已找到许多增韧的方法,其韧性将逐步提高^[9]。先进陶瓷按其使用矿物种类、化学成分及其电磁、声、光、热、弹性等性质,可分为先进结构陶瓷和功能陶瓷两大类。先进结构陶瓷是按矿物种类或人工合成矿物划分的,主要有:模来石($3\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$);氧化铝(Al_2O_3),是铝土矿的提炼产品;氧化锆(ZrO_2 即斜锆石);人工合成化合物氮化硅(Si_3N_4)、碳化硅(SiC)和硼化物(BN)。它是工业上广泛应用的陶瓷产品。先进功能陶瓷是利用矿物和人工合成化合物的电、磁、声、光、热、弹性等性质及其相互之间的耦合效应配制而成的。

陶瓷加工的变化和性能改变示意图和传统陶瓷和先进陶瓷制作技术对比表。

图 B-1 陶瓷加工的变化和性能改变示意图^[9]

表 B-2 传统陶瓷和先进陶瓷制作技术对比表^[9]

制作工艺类别	传 统 陶 瓷	先 进 陶 瓷
原材料	粘土、石英和长石等天然矿物	深加工矿物和人造矿物按化学组分分类,有模来石 ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$)、氧化铝 (Al_2O_3)、氧化锆 (ZrO_2)、氮化硅 (Si_3N_4)、碳化硅 (SiC) 等
制作成型	浇浆铸造、陶土制坯、手捏	应用橡压床、热等静压机、热力机
烧结	窑	同上
主要产品	陶器、瓷器	涡轮部件、核反应堆材料、汽车件、机件、人工骨等
产品的显微结构鉴别	光学显微镜、显微照片	电子显微镜、电子显微照片
特性	脆性	韧性提高

这类陶瓷跟电子技术的关系密切。主要有电容器陶瓷(利用云母类矿物的绝缘性和弹性)、压电陶瓷(利用石英等矿物和人造矿物的压电性)、超导陶瓷(利用 Nb-Zr、Nb-Ti、 Nb_3Sn 和 Bi 等的超导性)等数十种。它们中的大多数已形成市场,例如:电容器陶瓷年产达 500 亿只,且每年以 15% 的速率增长。

电子材料是指电子技术和微电子技术中使用的材料,具体有半导体(像锗石中炼制的纯“锗”)材料,磁性材料(磁铁

某种矿物的性能一旦开发出来,将原来的高潜能推测设想变成了社会进步的动力,它的效益将载入史册。

矿、钴、镍及其合金等)、压电材料(压电石英和电气石等),其中主要是半导体材料,用它制作晶体管、集成电路、固态激光器、探测器等器件。半导体是用硅石矿物为原料炼制的单晶硅制作的,它是迎接信息时代到来的主要贡献者。大家知道,1946年世界上第一台电子计算机(ENIAC)制造出来时,它占地 150m^2 ,重达 30 多吨,耗电几百千瓦小时,所完成的计算工作相当于目前高级一点的袖珍计算器所能完成的任务。至 1967 年,应用单晶硅制成的第一台大规模集成电路计算机仅是第一台(ENIAC)计算机体积的 $1/30$ 万,重量仅为 $1/6$ 万。随着微电子技术水平的不断提高,电子计算机的微型化进展迅速,体积小、重量轻、价廉、性能高的计算机推动着“信息革命”,相应地电视机频道可多达 100 多个,改善了人民的生活。总之某种矿物的性能一旦开发出来,将原来的高潜能推测设想变成了社会进步的动力,它的效益将载入史册。

光电子材料是将光信号代替电信号作为信息交换的公共载体所所用的材料。1960 年世界上第一台红宝石激光器制成,开始了光电子材料的研究。这一领域的材料的应用范围包括光通信、光计算、激光加工、激光医疗、激光印刷、激光影视、激光仪器、激光受控热核反映、激光分离同位素、激光制导等许多方面。对矿物矿石来说,关键是有多少矿物可以制造高性能、小型化、集成化的激光器件。据目前所知,有多种矿物具有这些性能,其中,红宝石、砷化镓(镓的化合物)和大多数稀土金属是主要材料。

超导材料是指在一定的物理化学环境下物质的电阻完

稀土金属系列中钕是制造激光器的最佳材料,用掺钕的钇铝石榴石制作激光器,体积更小、效率更高、工作性能稳定。

全消失的超导电性相关的材料。目前已发现的超导材料中都是“低温”环境下实现的,主要是多种金属合金,如铌锆合金 $[\text{Nb}-(25-33)\text{Zr}]$ 、铌钛合金 $[\text{Nb}-(35-55)\text{Ti}]$ 、铌锡合金 (Nb_3Sn) 、钒镓合金 (V_3Ga) 、铌锗合金 (Nb_3Ge) 等。低温超导材料主要在核磁共振、磁悬浮火车和加速器等高技术领域应用。超导材料都是稀土、稀有和分散元素矿床(少数是有色金属矿床)的矿石采冶加工和深加工的矿产品合成的。我们可以推测,无论是现在还是将来,超导材料基本来源是矿石矿物及其高技术的深加工产品。大部分矿石矿物属原材料和基础材料的组成部分,仅有一小部分直接作为新材料应用(如锆石、宝石、金刚石、水晶、冰洲石、云母、石棉、电气石、光学萤石等),所以在高科技领域中矿石矿物是新材料的物质基础。矿石矿物在工程制造中的应用有以下几方面。

(1) 矿石矿物在激光技术中的应用

激光器是20世纪跟原子能、半导体、电子计算机齐名的四项重大发明之一。近30年来,以激光器为基础的激光技术得到迅速发展,已普遍在农业生产、能源动力、军事、医疗卫生、通信和信息处理等领域中应用,并取得很好社会效益和经济效益。它在军事上已成为先进武器的装置之一。世界上第一台激光器先是用刚玉中渗入铬离子的晶体工作物质,后来才选择了红宝石晶体作第一台激光器的工作物质。目前在实验研究中已研制出由钡-镧-铜氧化物、钡-钇-铜-氧体系、铋系、铈系、稀土金属系为材料的激光器,并且已达到性能高、体积小、集成化的目的。在稀土金属系列中钕是制造激光器的最佳材料,用掺有钕的钇铝石榴石制作的激光

从矿石矿物中选取特殊性能的物质制作高能燃料,是发展航天工业、开拓第四环境的物质条件之一。

器,体积更小、效率更高、工作性能稳定。综上所述,在矿产资源中已有相当多的矿石矿物成为制作激光器的原料,随着高技术的发展,今后将会应用更多的矿石矿物作原料制作先进的激光器。

(2) 矿石矿物是新能源的原料

常规能源是在一定历史时期和科学技术水平下被人们广泛使用的能源,如煤、石油、天然气等。新能源是指目前尚未被人类大规模利用,还有待进一步研究试验与开发利用的能源。例如太阳能、核聚变能、地热能、海洋能等。而有些古老能源,若采用先进的方法加以广泛应用,或以高技术获得能源则也称之为新能源。也有一些能源虽然具有潜在的能量,但较难被人们普遍采用,如火箭和宇宙飞船使用的固体能源,在当前只能作为燃料使用。在当代高技术的应用前提下,洁净烧煤技术(它包括:燃烧前的处理和净化技术;燃烧中的净化技术;燃烧后烟气净化和颗粒控制技术)将改变燃煤污染的传统概念,是未来开发新能源的途径。核能和核聚变能称清洁能源;气体水合物相当于全世界煤、石油、天然气等燃料总储量的二倍,是潜在的新型能源。所有这些能源,其原料都是能源矿产和某些金属矿产。应用高技术开发当代的新能源将对人类的发展和我国国民经济持续发展做出巨大贡献。

(3) 火箭和航天工业中广泛应用特殊性能的矿石矿物和相关的高能燃料

火箭和航天器的动力靠高能、小体积和安全的燃料推向太空,这类燃料目前已有多种。锂矿石中的锂能生产热核所

需要采用更新的技术和微观的观察手段来研究矿石矿物,发现它们的特殊用途。

需的锂-6,是火箭和航天飞机的燃料之一;从硼矿物中提炼出的硼跟氢、锂、铍等制成的化合物属高能喷气燃料。据此认为,从矿石矿物中选取特殊性能的物质制作高能燃料,是发展航天工业、开拓第四环境(陆地、海洋、大气层属第一、二、三环境,外层空间称第四环境)的物质条件之一。

(4) 矿石矿物是制造火箭、航天器关键部件的原材料

火箭和航天器是多种部件构成的整体,但其中有些关键部件需要用特殊性能的特种材料构成。据气动力加热实验可知^[9],在大气中飞行时,航天器的上升入轨时短时间热载荷峰值温度可达 2760℃、其头锥端部温度为 2200℃,机体外表热区可达 1400℃。机翼前缘和控制面温度很高,机内燃料温度为 -253℃。在这种高温和温度差的条件下,航天器需采用新型热结构、隔热结构和其他先进材料制造机体。目前已研制了耐高温的先进碳热结构和面板、碳化硅/钛复合材料,新型陶瓷纤维材料、铜和铍材及各种主动冷却结构。这类特种材料基本上由石墨、硅石、高岭土、钛矿物、铜矿物、铍矿物等矿石矿物的冶炼、深加工和特殊加工的产物。为达到预期和最佳气动效果和推进效益,喷气管需用钨银(渗入 Ag 为 10%~15%)合金(耐温高达 3315℃),钽合金、锆合金、钎合金、氮化硼等特种材料制造喷嘴;应用铍、钎合金制作外壳和重返大气层的飞行器前沿保护层。镍做高温涂料层和仪器、高温部件的热屏蔽层;用蓝晶石为原料合成的可纺红柱石纤维和金属——纤维增强陶瓷部件制作导向翼。虽然对这些材料的要求甚高,但应用当代高技术对矿石矿物进行炼制和深加工,可以满足当前火箭和航天飞机的需求。空间探

从矿石矿物中选取特殊性能的物质制作高能燃料,是发展航天工业、开拓第四环境的物质条件之一。

测范围不断扩大和航天器向宇宙空间不断延伸,不断对制作航天器的材料提出新的要求。为此,需要采用更新的技术和微观的观察手段来研究矿石矿物,发现它们的特殊用途。同时,应用其他学科的理论和方法开发新的人工合成矿物(新材料),研制重量小、寿命长、性能高、坚固耐用的航天器,可促进对宇宙做更为广泛的观察研究,进一步开发人类的第四空间——外层空间。

(5) 核裂变及核能利用中矿石矿物的作用

目前核能主要用于发电,统称核电站。核电站的核心是核反应堆,它是一个维持和控制核裂变反应的装置,用来实现核能—热能转变。核反应堆中的裂变物质是低浓度的裂变物质(纯铀-235 或钚-239)作燃料,用安全控制手段,缓慢地释放能量。核电站的安全保障靠三道屏障(以压水堆为例)。第一道屏障是燃料包壳。用金属锆合金管,将核燃料芯块密封包裹起来,使核燃料裂变产生的裂变碎片密封住。压力壳是第二道屏障。它是反应堆冷却剂的压力边界,一旦燃料包破坏使放射性物质漏入水中,仍能密封在它的回路系统中。第三道屏障是安全壳。它是用钢筋混凝土建造的建筑物(高约 60m,内径 60m,壁厚 0.9m),有良好的密封性,即使发生极限事故,仍能保持核电站的安全。核电站中核反应堆的起动、停堆和功率控制依靠控制棒,它由强吸收中子能力的材料(硼、镉,铪镉银合金、钆)制作。自然界中具有裂变性质的重元素“铀”做燃料,1 公斤铀裂变释放的能量约等于 2700 吨标准煤全部燃烧释放能量的总和。另外,保护屏障和控制棒都要涉及到锆、镉、铪和非金属元素硼,这些元素组

1 公斤铀裂变释放的能量约等于 2700 吨标准煤全部燃烧释放能量的总和。

成的矿石矿物都是由一定成因的矿床提供的。由此可知,一个完整而先进的核电站将使用数十种金属、非金属元素,涉及的矿石矿物达数百种之多。所以,核电站是众多矿石矿物耦合作用组合而成的。

自然界中天然形成的 4000 多种矿石矿物中,真正开发利用的仅为它的 $1/3$ 左右,对其工业应用做过详细研究的,可能更少。作为基础原材料使用的矿石矿物也不过数百种。近代国民经济的高速发展和科学技术的进步,对原材料的应用提出了新的要求,随之拓宽了矿石矿物的应用范围,发现了许多矿石矿物的特殊性能和特殊用途。同时在人工物理化学环境下,人工合成了不少新矿物(如模来石等)和元素化合物、高分子化合物。进入了新能源、新材料、微电子技术和航天技术发展的高技术阶段,出现了知识密集、技术密集、资金密集、效益丰厚的新兴产业,进而提出对矿石矿物应用的新要求和新领域。也就是要求合成更多的人造矿物和化合物(含合金),炼制高纯质物质,不断满足国民经济发展和高技术发展的需求。我国目前正处于工业化的中期阶段,国民经济的高速发展在很大程度上仍然要依靠消耗大量矿产资源来实现。在高新技术的拉动下,矿物原料的新用途和新工艺,原料用量的增长,将开拓矿石矿物利用的新领域。因此,开展新矿物合成的研究探索,是进入 21 世纪开拓矿石矿物在高新技术领域中应用范围的有效途径。

《院士科普书系》第 1, 2, 3 辑总目录

《院士科普书系》第1辑目录

- | | | | |
|----|------------------------|------------|--------|
| 1 | 对称与不对称 | 李政道 著 朱允伦 | 柳怀祖 编 |
| 2 | 来自微观世界的新概念——单分子科学与技术 | | 白春礼 著 |
| 3 | 第三种科学方法——计算机时代的科学计算 | | 石钟慈 著 |
| 4 | 计算机怎样解几何题——谈谈自动推理 | | 张景中 著 |
| 5 | 机会的数学 | | 陈希孺 著 |
| 6 | 信息世界漫谈 | | 李衍达 编著 |
| 7 | 从绿叶到激光光盘——颜色与化学 | | |
| | | 袁渭康 主编 田 禾 | 陈孔常 著 |
| 8 | 人类认识世界的帮手——虚拟现实 | | 汪成为 著 |
| 9 | 海陆空天显神威——惯性技术纵横谈 | | 丁衡高 著 |
| 10 | 21 世纪的绿色交通工具——电动车 | 陈清泉 | 詹宜巨 著 |
| 11 | 坐飞机去——现代民用运输航空 | | 管 德 著 |
| 12 | 悄悄进行的破坏——金属腐蚀 | | 曹楚南 编著 |
| 13 | 千秋功罪话水坝 | | 潘家铮 著 |
| 14 | 九曲黄河万里沙——黄河与黄土高原 | | 张宗祜 著 |
| 15 | 沉默的宝藏——盐湖资源 | | 张彭熹 著 |
| 16 | 今日水世界 | 刘昌明 | 傅国斌 著 |
| 17 | 节水农业 | 山 仑 黄占斌 | 张岁岐 编著 |
| 18 | 产业大观 | | 朱高峰 著 |
| 19 | 动物的运动 | | 钦俊德 著 |
| 20 | 菌物世界漫游 | | 裘维蕃 著 |
| 21 | 地球上最重要的化学反应——光合作用 | | 沈允钢 著 |
| 22 | 运筹帷幄,决胜千里——从生态控制系统工程谈起 | | 关君蔚 著 |
| 23 | 梳理人、事、物的纠纷——问题分析方法 | | 肖纪美 著 |
| 24 | 消除血肉之灾——创伤防治 | | 王正国 主编 |
| 25 | 征战癌王 | | 汤钊猷 著 |

《院士科普书系》第2辑目录

- | | | | |
|----|----------------------|-----------------|----------|
| 1 | 人类认识世界的五个里程碑 | 席泽宗 | 主编 |
| 2 | 人造小太阳——受控惯性约束聚变 | 王淦昌 | 著 |
| 3 | 中子——打开原子能时代的金钥匙 | 丁大钊 | 著 |
| 4 | 加速器与科技创新 | 谢家麟 | 编著 |
| 5 | 我们生活在磁的世界里——物质的磁性和应用 | 章 综 | 主编 李国栋 著 |
| 6 | 稀土元素——您身边的大家族 | 苏 锵 | 著 |
| 7 | 奇异的光——激光 | 姚建铨 | 编著 |
| 8 | 人类的灾难——核武器与核爆炸 | 乔登江 朱焕金 | 编著 |
| 9 | 变幻流动的科学——多相流体力学 | 林宗虎 | 著 |
| 10 | 模糊性——精确性的另一半 | 刘应明 任 平 | 著 |
| 11 | 神奇的表面工程 | 徐滨士 | 著 |
| 12 | 空天技术与材料科学 | 傅恒志 朱 明 杨尚勤 | 著 |
| 13 | 泥土中的铝——科技腾飞的使者 | 邱竹贤 | 著 |
| 14 | 能源世界之窗 | 朱亚杰 | 孙兴文 著 |
| 15 | 石油树结奇异果 | 汪燮卿 刘济瀛 | 著 |
| 16 | 神奇的地热 | 汪集旸 孙占学 | 编著 |
| 17 | 海底矿产 | 金庆焕 | 著 |
| 18 | 21 世纪的铁路 | 王梦恕 干昆蓉 | 编著 |
| 19 | 数字地球与测绘 | 宁津生 陈 军 晁定波 | 编著 |
| 20 | 信息化社会的基石——计算机 | 周兴铭 徐 明 | 著 |
| 21 | 教电脑识字——浅谈汉字识别 | 吴佑寿 | 著 |
| 22 | 天堂的种子——热带作物 | 黄宗道 | 编著 |
| 23 | 面对大自然的报复——防灾与减灾 | 马宗晋 康 平 高庆华 苏桂武 | 编著 |
| 24 | 岩溶——奇峰异洞的世界 | 卢耀如 | 著 |
| 25 | 妇女保健 | 宋鸿钊 | 著 |

《院士科普书系》第 3 辑目录

- 1 21 世纪的阳光产业——生态农业 金鉴明 卞有生 编著
- 2 工业发展的面包——芯片 沈绪榜 编著
- 3 我们身边的超声世界 应崇福 著
- 4 地下城市 钱七虎 卓衍荣 编著
- 5 坚韧的盾牌——中国筑城史话 杨秀敏 徐 飞 邬建华 编著
- 6 生态系统浅说 阳含熙 李 飞 著
- 7 还我大自然——地球敲响了警钟 李星学 王仁农 编著
- 8 胆石病——一个外科学家的实录 黄志强 著
- 9 飞行的金属 刘业翔 李洪桂 上官正 张永键 著
- 10 玻璃丝的神通——浅谈光纤通信 赵梓森 著
- 11 黄道婆走进现代纺织大观园——纺织新技术、新工艺和新设备
季国标 梅自强 周 翔 邢声远 编著
- 12 射线束和材料改性 黄祖洽 著
- 13 化学污染——破坏环境的元凶 陈荣悌 赵广华 著
- 14 癌症有那么可怕吗——认识癌症,为了防治 吴 旻 著
- 15 揭开核武器的神秘面纱 经福谦 陈俊祥 华欣生 著
- 16 人类的诞生与进化 吴汝康 著
- 17 氮循环——维系地球生命生生不息的一个自然过程
朱兆良 邢光熹 编著
- 18 探索地球内部的奥秘 曾融生 陈运泰 编著
- 19 黄河——我们的母亲河 任美铨 著
- 20 金矿——人类最早认识和利用的矿产
涂光炽 刘秉光 王秀璋 著
- 21 石油——人类文明社会的血液 李德生 罗 群 著
- 22 核能——无穷的能源 欧阳予 主编 于仁芬 缪宝书 编著
- 23 营造绚丽多彩的光世界——发光学趣谈 徐叙瑗 编著
- 24 先进制造技术 姚福生 郭重庆 吴锡英 刘培权 编著

25	返回式卫星	林华宝	著
26	脑的奥秘	陈宜张 杨露春 王文清 唐孝威	编著
27	贵金属——周期表中一族璀璨的元素	陈 景 张永俐 李关芳	编著
28	纺织新境界 —— 纺织新原料与纺织品应用领域新发展	郁铭芳 孙晋良 邢声远 季国标	编著
29	农药化学	陈茹玉 杨华铮 徐本立	编著
30	工程抗震的新发展	周锡元 吴育才	编著
31	材料世界的天之骄子——航空材料	曹春晓 郝应其	编著
32	离子的喷泉——电子回旋共振离子源	魏宝文 赵红卫	著
33	大地中的宝藏——实说中国的矿产资源	程裕淇 朱裕生 宋国耀	编著
34	溶剂萃取	汪家鼎 骆广生	编著
35	光子学技术——信息化时代的支撑技术	王启明 魏光辉 高以智	编著
36	月球——人类走向深空的前哨站	欧阳自远 邹永廖 李春来	编著

另有 4 部书稿因为选题结构等原因,调整作为科技书在清华大学出版社出版,它们实际上也是《院士科普书系》的组成部分。

1	神通广大的射线装置——带电粒子加速器	方守贤 梁岫如	编著
2	聚变能及其未来	王乃彦	编著
3	病毒与脑	洪 涛 王得新	编著
4	糖生物学与糖工程	张树政	主编