

创新2050：科学技术与中国的未来

中国至2050年
矿产资源科技发展
路线图

中国科学院矿产资源领域战略研究组

前言

中国科学院于2007年10月启动18个重要领域至2050年科技发展路线图的研究工作以来，固体矿产资源组根据路南祥院长和院规划战略局“路线图战略研究报告要体现战略性、方向性和一定的可操作性”的要求，开展了“中国至2050年固体矿产资源科技发展路线图”的研究工作。主要工作包括：

1) 全面收集与项目相关的国内外研究资料和研究报告，为制定发展路线图提供基础资料和有关依据。

2) 根据我国社会经济发展的阶段性特点和资源消耗速度，通过资料调研和相关分析，对我国未来资源需求进行了预测。

3) 根据我国地质特点，对我国矿产资源潜力进行了评估。

4) 召开项目组内部学术交流会5次、项目组以外同行高级专家研讨会2次，参加院组织的交流研讨会2次。通过交流，积极吸收有关研究成果，统一认识，促进了项目的研究工作。

5) 根据我国未来资源消耗需求、我国固体矿产资源、潜力及国内外科技发展趋势，明确了至2050年我国固体矿产资源领域发展战略总目标和分阶段目标，提出了与发展目标相协调的主要科技发展方向、可能或必须突破的重大科学技术问题以及相应的政策措施。

本报告的研究领域限于固体矿产资源，不含油气资源。众所周知，固体矿产资源种类繁多，我国目前已发现的固体矿产已达约170种，探明储量的已达约160种。因此，本研究报告除部分内容较关注铁、铜、铝等重要矿产资源外，总体而言，是将不同矿种的固体矿产资源作为一个整体描述的。

项目组由胡瑞忠任组长(中科院地球化学研究所)、刘建明任副组长(中国科学院地质与地球物理研究所)。其他成员包括毕献武、张乾、冯新斌、宋谢炎、陶谈(中国科学院地球化学研究所)、霍明国、马凤山(中国科学院地质与地球物理研究所)、周少平(中国科学院资源环境科学与技术局)、李浩然(中国科学院过程工程研究所)、李春来(中国科学院国家天

文台)、孙卫东(中国科学院广州地球化学研究所)、熊永兰(中国科学院国家科学图书馆兰州分馆)、黄朋(中国科学院海洋研究所)。本研究报告的前言、摘要、结论、后记、我国矿产资源形势、至2050年科技发展路线图总体描述由胡瑞忠执笔,至2050年科技发展路线图的成矿理论和成矿规律部分由胡瑞忠、毕献武执笔,找矿预测和矿产勘查部分由刘建明、胡瑞忠执笔,矿产资源高效清洁利用部分由李浩然、冯新斌执笔,资源、替代和循环利用部分由刘建明执笔,矿产资源的全球化配置部分由刘建明、霍明国、张乾执笔,实现目标所需要的政策由胡瑞忠、周少平、冯新斌执笔。报告由胡瑞忠和刘建明统编定稿。

欧阳自远院士、秦蕴珊院士、叶大年院士、霍裕生院士、滕吉文院士、符棕斌院士、李文华院士、丁仲礼院士、傅伯杰研究员、范蔚茗研究员、常旭研究员、王京彬研究员、李院士研究员、郭进义研究员、陈衍景教授、高谦教授、方维宣研究员、宋永胜研究员、曾志刚研究员和曹效业副秘书长、潘教峰局长、张凤处长、王文远副处长,对完善本研究报告提出了许多宝贵意见和建议,在此向他们表示衷心感谢。

目 录

前言

摘要

第一章 我国矿产资源形势

第一节 矿产资源需求量大

第二节 已探明矿产资源的保障能力不足

第三节 矿产资源利用水平低，环境问题突出

第四节 资源危机型矿山日趋增多

第五节 找矿潜力巨大

第二章 至2050年科技发展路线图

第一节 至2050年科技发展路线图总体描述

第二节 成矿理论和成矿规律

第三节 找矿预测和矿产勘查

第四节 矿产资源高效清洁利用

第五节 资源替代末日循环利用

第六节 矿产资源的全球化配置

第三章 实现目标所需要的政策

第一节 加快行业科技创新体系建设

第二节 加强矿产资源科技创新人才培养和人才队伍建设

第三节 强化科技创新投入

第四节 加强科技基础条件平台建设

第五节 规范矿山管理，加强矿业法治建设

第六节 重视全球矿产资源的统筹规划

第七节 新型资源产业开拓的鼓励政策和法规

第八节 技术创新成果交叉与转化应用的鼓励政策和法规

第四章 结论

摘要

矿产资源是社会经济发展的重要物质基础。开发利用矿产资源是现代化建设的必然要求。我国矿产资源工作的基本现实矛盾是，一方面对矿产资源的需求量很大，已探明的主要矿产严重短缺；另一方面，我国矿产资源找矿潜力巨大，矿产资源利用水平不高，与矿业开发有关的环境问题突出，对矿床的研究、勘查和开发程度偏低。如何挖掘我国矿产资源的巨大潜力，提高矿产资源利用效率，从而缓解我国已探明的主要矿产资源严重短缺的局面，确保矿产资源开发利用与生态环境建设协调发展，我们认为除合理利用国际资源、降低单位产值对矿产品的消耗量、提高矿业管理水平以外，还需要在系统认知我国岩石圈独特演化历史的基础上，重点解决巨量成矿物质聚集过程、矿床的时空分布规律、成矿模型与找矿模型的关系等与成矿理论和成矿规律研究有关的三大科学问题；重点突破覆盖区和深部矿产资源探测、矿产资源高效清洁利用、矿产资源替代和循环利用等三个重要技术方向，并加强相关技术集成、试验示范和应用。

近中远期的战略安排是：2020年前，确定我国主要成矿区带的成矿规律和找矿远景；突破元素野外现场精确测定技术，航空物探技术，成矿信息高精度提取技术，东部地区深至2000m左右高分辨地球物理探测技术；提高重点矿山的矿产资源采、选、冶回收率和共伴生矿床综合利用率；开展紧缺矿产替代资源技术的先导性研究和开发；突破废旧金属高效回收利用技术，积极改善我国矿山生态环境状况。2020-2030年，建立我国大陆成矿理论体系，突破西部地区地下2000m以内矿产资源高效高精度探测技术；突破低品位矿和尾矿高效清洁利用技术；突破非水溶性何资源的肥料化技术；基本恢复历史遗留废弃矿山生态环境，基本控制环境污染。2030-2050年，揭示地球系统与成矿系统的关系；突破地下3000-4000m矿产资源探测技术，形成矿产资源高效清洁利用的整套核心技术；突破硅酸盐纤维替代大宗金属材料技术；基本建成我国可持续的矿产资源、供给和利用体系，确保矿产资源开发利用与生态环境建设协调发展。

大致的指标是：2020年前，我国东中部地下2000m以内资源探明率达50%；

矿产资源总回收率达50%，矿产资源综合利用率达45%，能耗下降20%， “三废”排放量降低30%，历史遗留废弃矿山生态环境恢复率达45%和污染环境修复率达30%以上，新建矿山土地复垦率达100%；重要矿产资源替代和循环利用率达 20% - 40%。2020-2030年，我国西部地下2000m以内资源探明率达50%；矿产资源总回收率达70%，矿产资源综合利用率达60%，能耗下降30%， “三废”排放量降低50%，历史遗留废弃矿山生态环境恢复率达65%和污染环境修复率达50%以上，重要矿产资源替代和循环利用率达30%-50%。2030-2050年，我国地下3000-4000m以内资源探明率达70%；矿产资源总回收率达80%，矿产资源综合利用率达80%，能耗下降50%， “三废”排放量降低80%，基本控制矿产资源采、选、冶等生产环节对生态环境的破坏和污染；重要矿产资源替代和循环利用率达40%-60%。

第一章

我国矿产资源形势

矿产资源是人类经济社会发展的重要物质基础。据统计，人类95%以上的能源、80%以上的工业原料和70%以上的农业生产原料都来自矿产资源。随着世界各国工业化的推进，预计在未来数十年，全球对矿产资源的需求会继续大幅增长。如何满足可持续发展对矿产资源的需求，已成为世界关注的焦点之一。

我国矿产资源种类齐全，总量较大。已发现矿产171种，其中探明储量的159种，已探明的储量约占世界总量的12%，仅次于美国和俄罗斯居世界第三位；有20多种矿产的探明储量居世界前列，其中钨、锡、锑、稀土、钛、镁等12种矿产的探明储量居世界第一位，煤、钒、钼、锂等7种矿产的探明储量居世界第二位，汞、硫、磷等5种矿产的探明储量居世界第三位；并有进一步找矿的巨大潜力。但是，我国矿产资源需求量大，已探明储量的保障能力不足，矿产资源利用水平低，对外依存度高，矿业开发造成的环境问题突出，资源危机矿山日趋增加，矿产资源形势十分严峻。

第一节 矿产资源需求量大

随着工业化、城镇化步伐的加快，我国已进入人均矿产资源用量快速增长的工业化中期发展阶段。20世纪90年代以来，我国经济高速增长，GDP由1990年的1.85万亿元人民币增加到2008年的30.07万亿元人民币。与经济的高速增长相对应，我国主要矿产的消费也快速增长(图1-1)。从1990年到2006年，铝的消费增长了约12倍，粗钢增长了约7.5倍，铜增长了约5.1倍(表1-1)。但是，我国人口多，大部分矿产资源的人均消费量均低于世界平均水平，与发达国家相比就更低。如我国虽然是世界第一大钢消费国，但是人均消费量仅为世界人均量的88%，不足日本的1/5，作为世界第一大铜消费国，人均铜消费量仅为世界的59%，不足美国人均消费量的14%；作为世界第二大铝消费国，人均铝消费量仅相当于世界人均水平的67%，不足美国人均消费的13%。因此，如果至2050年我国铁(钢)、

铜、铝等主要矿产品的人均消费量能达到美国和日本等发达国家目前的水平，则我国对矿产资源的需求将十分巨大。较乐观的估计，我国对钢、铜、铝等主要矿产品的需求在2025年之前将继续快速增长，然后进入较平稳增长的需求状态。我国钢、铝、铜等大宗矿产品的需求总量有可能在2025年前后分别达到7亿t、1500万t、700万t，比2008年分别增长约40%、45%、75%。

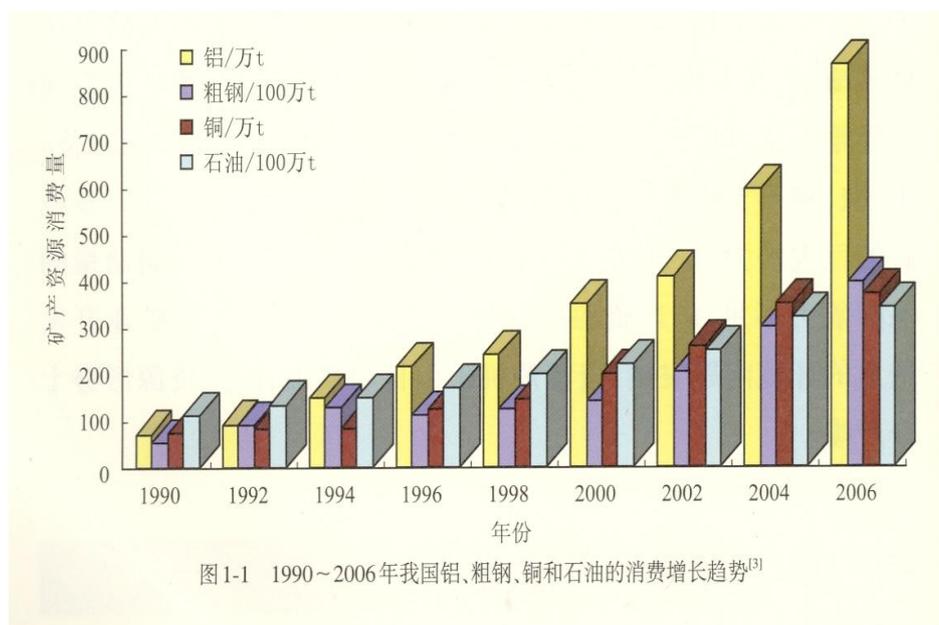


表1-1 1990~2006年我国铝、粗钢、铜消费增幅^[3]

年度	铝/万t	粗钢/万t	铜/万t
1990	72	5300	73
2006	865	39600	372
增幅(倍)	12.0	7.5	5.1

第二节 已探明矿产资源的保障能力不足

与我国对矿产资源的巨大需求不相协调的是，我国已探明矿产资源尤其是大宗矿产的保障能力严重不足。我国人口多，人均资源探明储量仅为世界平均量的58%，排世界第53位。我国储量大的多为一般矿产，主要战略性矿产的储量严重偏低，如铁、铜、铝、钾盐的人均探明储量只分别约占世界人均探明储量的35%、17%、11%和不到5%。据预测，我国目前已

探明储量的45种主要矿产，到2010年可以满足需求的只有23种，到2020年仅9种(表1-2)。铁、铜、铝、钾盐、锰、铬、贵金属、铀等关系国计民生和国家经济安全的大宗矿产目前已相当紧缺。近年来，我国铁、铜、铝、锰、铬、镍、钾盐等大宗矿产的供需缺口不断加大，2007年它们的对外依存度已分别高达约52% ~ 97%。1990年以来我国矿产品进出口贸易逆差不断加大(图1-2)，2007年达到约1000亿美元，矿产品进口额已高达我国当年进口总额的31%。如果大宗矿产品的需求过度依赖国外，将严重威胁我国的经济安全。因此，矿产资源的紧缺已经成为制约我国社会经济发展和国家安全的重要“瓶颈”。

表1-2 我国探明储量的45种主要矿产对2020年需求的保证程度^[3]

类别	矿种数	主要矿种
短缺矿产	5	铬铁矿、钴、铂、钾盐、金刚石
不能保证	21	铁、锰、铜、铅、锌、铝土矿、锡、金、银、铋、萤石、硼、重晶石、石油、铀、镍、锑、耐火材料、硫、水泥灰岩、高岭土
基本保证	10	煤、钛、钨、钼、磷、玻璃硅质原料、石材、石膏、硅藻土、石棉
可保证	9	天然气、稀土、菱镁矿、钠盐、芒硝、膨润土、石墨、滑石、硅灰石

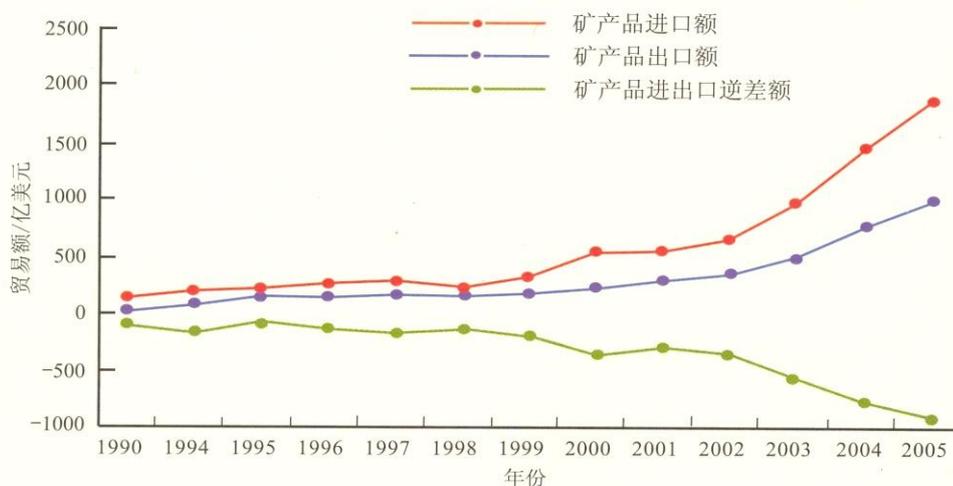


图1-2 近年来我国矿产品进出口贸易逆差变化趋势^[6]

第三节 矿产资源利用水平低，环境问题突出

我国已有矿床的资源禀赋较差，“三多三少”的特征非常明显。贫矿多富矿少：铁矿平均品位仅33%，比目前铁矿石供应大国平均水平低20%—30%；铜矿的平均品位仅0.87%，不及世界主要生产国矿石品位的1/3；锰矿平均品位仅22%，不到世界商品锰矿石工业标准的一半；铝土矿几乎全为一水硬铝石，三水铝石和一水软铝石很少。中-小型矿床多，大型-超大型矿床少：以铜矿为例，我国迄今发现的铜矿产地共900余处，其中大型-超大型矿床仅约占3%，中型矿床占9%，小型矿床则多达88%。共伴生矿床多，单一矿种的矿床少：约80%的矿床中都有共伴生元素，开发利用的139个矿种中，有87种部分或全部来源于共、伴生矿床。这种禀赋特征加上管理和科技等方面的原因，导致我国矿产资源利用领域还存在诸多严峻问题，主要表现为：①利用水平低：矿产资源总回收率和共伴生矿产资源、综合利用率平均仅分别为30%和35%左右，比国际先进水平低20%，资源浪费十分严重。②对环境扰动大：矿业活动形成的大量废渣（截至2006年底全国尾矿或固体废弃物累计存量已高达约220多亿吨、废水和废气没能得到有效利用和治理，对环境造成了严重污染。因此，我国的矿产资源利用还有很大的改进空间。

第四节 资源危机型矿山日趋增多

新中国成立以来，经过近60年的努力，我国矿业得到长足发展，已建立起比较完善的矿业开发体系。我国目前有大型矿山企业500余个，中型矿山企业近1400个。但是，经过长期开采，大批大中型矿山保有储量趋于枯竭。20世纪末，我国25种主要金属矿产的415个大中型矿山，约50%面临资源危机，全国45种主要矿产中约有一半的资源储量消耗速度大于增长速度。针对大批大中型矿山保有储量面临严重危机的形势，温家宝总理指出，在危机矿山努力探寻新的接替资源，具有经济社会双重效益，是当前一项极为紧迫的任务。

第五节 找矿潜力巨大

除富铁矿、铬、铂族金属、金刚石、钾盐等资源前景不甚明朗外，我国其他矿产均有较大找矿前景。主要依据是：①全球三大主要成矿域（环

太平洋成矿域、古亚洲成矿域、喜马拉雅-特提斯成矿域)在我国都有分布,说明我国具有较好的成矿地质条件;②我国已发现矿床(点)20多万处,但经过勘探评价的矿床只有2万多个,绝大多数矿床(点)有待进一步研究、评价或勘查,众多物化探异常还有待进一步查证;③我国西部地区地质矿产工作程度低,不仅其深部矿产资源前景未摸清,其地表或近地表还有巨大找矿潜力未拉掘;④我国东部地区植被和红土覆盖区广泛分布,还存在很多找矿盲区;⑤世界上一些矿业大国矿床的勘探开采深度已达2500-4000m,而我国已有矿床的勘探开采深度大都小于500m,因此已有矿山的深部和外围还有很大找矿潜力。基于以上事实,可以认为只要加强研究和勘查,在我国再发现一大批新矿床、再增加一大批新储量是完全可能的。