论中国 21 世纪矿产资源可持续开发利用的途径*

——兼论矿床学研究的新方向

On the Ways of Sustainable Development and Utilization of Mineral Resources for China in 21st Century: New Aspects of Mineral Deposit's Study

李志明[1,2] 刘家军[1] 张长江[3] 计智锋[4]

(1 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室，贵州 贵阳 550002; 2 中国科学院研究生院，北京 100039; 3 石油地球物理勘探局第五地质调查处，河北 固城 072656; 4 石油勘探开发科学研究院，北京 100083)

Li Zhiming[1,2], Liu Jiajun[1], Zhang Changjiang[3] and Ji Zhifeng[4]

(The Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2. The Postgraduate Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. No.5 Division Research Institute, Bureau of Geophysical Prospecting, Gucheng 072656, Hebei, China; 4. The Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

摘 要 矿产资源作为人类赖以生存和发展的重要物质基础，其对可持续发展战略的实现起着关键性作用。文章论述了矿产资源可持续开发利用的实质，分析了我国矿产资源开发利用的现状，提出了实现我国 21 世纪矿产资源可持续开发利用的途径，最后论述了矿床学研究的新方向。

关键词 矿产资源 可持续开发利用 途径 矿床学研究 新方向 中国

矿产资源是自然界不可再生的重要物质资源，它是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础，即使在人类进入信息社会和知识经济时代的今天，70%的农业生产资料与矿产资源有关，80%以上的工业原料取自矿产资源，95%左右的能源为矿物能源（朱训等，1999）。所以矿产资源本身能否可持续开发利用，对我国可持续发展战略目标能否实现起着决定性的作用。然而我国矿产资源的相对不足和高强度消费，以及开发矿产资源造成的生态环境恶化，将严重影响到本世纪我国经济和社会的健康发展，加上我国矿产资源利用率不高，生态基础脆弱与生态环境不断恶化，使得实现可持续发展面临严峻的挑战。据地质矿产信息院的研究资料，我国矿产资源的保障形势日趋严峻（郑易生等，2001）。很显然，如何确保我国 21 世纪矿产资源的可持续开发利用已是目前亟待研究并解决的重大问题。实质上这是矿床地质学正面临着两个具有挑战性的问题，一是能否为我国 21 世纪社会经济发展提供充足的矿产资源？二是能否在矿山环境保护中发挥作用？不过，这种挑战必将为矿床学发展提供新的机遇。

1 矿产资源可持续开发利用的实质

1987 年，世界环境与发展委员会（WCED）将可持续发展定义为：“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其自身需要的能力构成危害的发展”。其内涵包括了诸多方面，如保护环境、防止土地、空气和水的质量发生退化、自然资源的有效开发和利用、降低温室气体的排放率、提高资源的再生利用以及废弃

* 基金项目：国家重点基础规划研究项目（编号：G1999043208）资助。
第一作者简介 李志明，男，1968 年生，主要从事矿床地球化学、环境地球化学等。

物的保护、最小化和安全处置（Lambert，2001）。所以，可持续发展的本质是要在保护环境的前提下，科学、合理、有效地开发利用资源，以促进社会经济的发展，提高人类的生存质量。在一定的历史时期，由于人类对某种矿产资源的认识、开发利用水平有限，对一代人甚至几代人来说，地球所赋予的矿产资源的质量保持不变，蕴藏总量是不再增加的，矿产资源的持续开采过程也就是矿产资源的耗竭过程。因此，从该意义上讲，矿产资源在一定的历史阶段具有内在的不可持续性。但是，在实践中，矿产资源的不可再生特征并不是像看上去的那样一成不变，如随着勘探和开发技术的提高，被前人视为岩石或废石及废渣的“ 非工业矿产 ”，可变成我们这代人或下代人可开发利用的工业矿产。另外，矿产资源作为可耗竭资源，可划分为可回收的和不可回收的可耗竭资源两大部分。其中前者包括所有的金属矿产和除了能源矿产以外的大部分非金属矿产，这些资源虽然再生能力极弱，但当它被人类开采使用之后，其实并没有真正耗竭，只是赋存形式和存在地点发生了改变，只要技术条件可行和经济利益可取，完全可以回收重新得到利用，并为子孙后代继续再生利用；对于不可回收的可耗竭资源主要指煤炭、石油、天然气等能源矿产，尽管这些资源既不能再生，又不能回收，但它们有多种替代能源作支撑，如太阳能、风能、生物能和地热能等，并且这些替代能源都属于可再生能源。这是矿产资源又具有可持续性的一面。但需指出的是：如果不合理地开发利用，即使是可再生的资源如水资源，也会出现难以可持续开发利用的局面。所以，矿产资源可持续开发利用的实质应包含多方面的内容：首先，是科学、合理地开发利用，主要表现应是回收率高，损失率低，注重资源节约与综合利用；其次，这种开发利用应符合生态原则，以不污染环境、不破坏生态为原则（都沁军等，2000）；第三，二次资源的回收再循环利用率高，替代能源得到合理、科学地开发利用；第四，后备矿产资源的研究与勘探力度要大。

2　我国矿产资源可持续开发利用的途径

2.1　矿产资源开发利用现状

迄今我国已发现矿产 168 种，其中 130 多种已进行了开发利用（朱训等，1999），矿产开发总规模居世界第 3 位，其中煤炭、水泥、钢、磷、硫铁矿和 10 种有色金属的产量已经分别位居世界第 1 至第 5 位（焦城中，2000）。但是，这种开发“ 成绩 ”是建立在巨大的资源浪费和严重的环境污染和生态破坏基础上的。据对 1845 个应进行矿产资源综合利用的矿调查，其中只有 2%的矿山综合利用的有价组分种类在 75%以上；有 75%的矿山综合利用的有价组分种类不足 2.5%。在发达国家，矿产资源的利用率一般在 50%以上，而我国仅在 30%左右，如果加上冶炼损失，则低得更多。仅就采选而言，我国有色金属矿损失的金属竟达 1/4~1/3；黑色金属矿损失达 1/5~1/2（郑易生等，2001）。另外，一些地方对矿产资源进行掠夺性开采，资源浪费更加惊人，如兰坪金顶铅锌矿，在 1989—1994 年的 5 年中采矿 31 万 t，而消耗的资源量却达 500 万 t（曲格平，1994）；在甘肃铅锌矿产地陇南，全民、集体和个体一起轰采，浪费和损失的金属量在 60 万 t 以上，不仅破坏了资源开发的整体性，而且使滑坡、泥石流频繁发生（张坤等，1999）。目前，煤炭能源效率只有 30%，比国际先进水平低 10%（郑易生等，2001），我国单位能源所创造的工业生产总值只相当于法国、美国的 10.61%，前西德的 9.09%，日本的 7.65%，即使与其它发展中国家相比，也是较低的，仅相当于印度的 50%（据世界资源研究所,1993）。

我国在对矿业及相关行业产生的废渣综合开发利用以及废旧物资再生利用方面，尽管近年来已取得较大进展，但与国际先进水平仍有较大差距。1999 年，全国工业固体废弃物产生量 7.8 亿 t，累计堆存量已超过 70 亿 t，占地 5 万多公顷。据专家估算，全国每年产生的可利用而未被利用的固体废弃物资源价值达 250 亿元，可再生利用而没有利用的再生资源价值 300 亿元❶。可见，我国开发利用矿产资源的方式是非可持续的，国民经济的“ 高速增长 ”是靠巨大的矿产资源消耗维持着的，不但造成了严重的浪费，而且加剧了生态环境的恶化。

❶中国环境报，2001 年 9 月 24 日第 4 版.

2.2 实现矿产资源可持续开发利用的途径

目前，我国矿产资源非可持续的开发利用现状，恰恰说明实现我国矿产资源可持续开发利用具有广阔的前景，尤其在矿产资源综合利用、矿业废渣合理开发利用以及废旧物资的再生利用等方面潜力很大。对我国来说，在 21 世纪实现矿产资源可持续开发利用的途径应包括以下几个方面：①充分利用我国“综合矿多的优势”，全面实行矿产资源综合利用战略，真正做到回收率高，损失率低，注重资源节约和综合利用，使全面提高资源、环境、经济和社会效益的辨证统一得到体现。像我国铅锌矿中伴生的银，其储量占全国银储量的 60%以上；金矿总储量中，伴生金储量也达 27.9%（朱训等，1999），通过综合利用可大大缓解这些矿产保证程度越来越低的局面。②对矿业及相关行业产生的“废渣”进行科学、合理地开发利用。俄罗斯近年把矿业及相关行业产生的“废渣”称为“人工矿床”（王占岐等，2001），目前我国这类“废渣”的累积量近百亿吨，可见“储量”之大。开发利用得当，无疑也具有巨大的资源、环境、经济和社会效益。目前综合利用这些“废渣”的科学技术条件已基本成熟，并在许多矿山已取得了良好的效益。如，江西铜业公司德兴铜矿尾矿再选，年回收硫精矿 1000 t、铜 9.2 t、金 33.4 kg，产值 1300 万元；河南银铜坡金矿（尾矿存放超过 200 万 t）与澳大利亚玻格林资源司合作回收金，产值达 2 亿元以上（刘劲鸿，2000）。③进一步提高废旧物资的再生利用水平。在当前技术条件下，钢铁、有色金属、塑料、玻璃等来源于矿产的资源性产品具有相当高的循环再生利用价值，再生利用水平的提高，除可以减轻对矿产资源的压力外，还可以节约能源，减少环境污染，对实现可持续发展具有重要意义（郑易生等，2001）。随着经济建设的发展，废旧物资的再生利用的潜力将更大，当再生利用达到一定规模后，对矿产资源的开采量会大大降低。④进一步加强后备资源的研究与勘探。这包括对未知矿产地的勘探与评价、非传统矿产资源的开发利用研究、新的可再生资源代替可耗竭资源的研究开发等。⑤适当利用国外资源。这是我国矿产资源的状况所决定的，但在矿石种类、数量方面，国家应根据国内本身的产量和需求，统筹安排，避免不必要的浪费。⑥建立矿产资源开发利用过程中的环境保护评价体系，避免生态环境的破坏。

3 矿床学研究的新方向

进入 21 世纪，实现人类、社会、资源与环境的协调发展，已成为时代发展的主旋律。这就需要矿床学研究者应从传统的思想框架中解放出来，应用新的矿产资源观及可续发展的理念，围绕实现我国矿产资源可持续开发利用的途径，去开拓矿床学研究的新方向，主要包括以下几个方面：

（1）“人工矿床”的研究：所谓“人工矿床”主要指矿业活动过程中产生的废石、尾矿和废渣等有用资源。随着全球矿产资源向贫、细、杂的趋势发展和科学技术的进步，矿石工业品位必将呈逐步降低的趋势。因此，以前矿产资源开发利用过程中产生的“人工矿床”将成为新的工业矿床。另外，“人工矿床”长期堆放不仅占用大量的土地，而且会导致大量有用组分流失，同时它们中的有害组分的迁移会造成严重的环境污染和生态问题。目前已开展的一些研究实例（刘劲鸿，2000）表明，开展“人工矿床”的研究，是目前确保我国矿产资源可持续开发利用最现实、最有效的手段，其具有集资源、环境、经济和社会效益为一体的战略意义。因此，矿床学研究者应及时把“人工矿床”的研究作为一个重要的研究方向，调查“人工矿床”中有用组分的品位，求出有用组分的储量；查明有用组分及有害组分的赋存状态等情况，为“人工矿床”的资源化、无害化和能整体利用提供科学依据。

（2）共、伴生及非传统矿产资源的研究　我国矿产资源的特点之一是共、伴生矿床多，有时共、伴生矿产品的价值甚至比主矿的价值更高，如攀西铁矿石中的伴生组分的价值是主矿铁价值的 10 倍，矿石总价值相当于富铁矿石的 5 倍多（杨桂和等，1997）。我国共、伴生矿产资源利用率低的一个重要原因是对共、伴生矿产资源的研究力度不够，缺乏系统的评价工作，从而导致从开采至冶炼均忽视了对它们的综合利用。我国有的冶炼厂在冶炼铜、铅、锌等多金属中，可回收多达 18 种伴生元素，回收技术工艺过关，并且经济合理（杨桂和等，1997）。所以，对共、伴生矿产资源的系统、全面的研究与评价已刻不容缓。与此同时，非传统矿产资源研究为可持续发展的重要课题（赵鹏大，2001），故对非传统矿产资源的研究

也已成为 21 世纪矿床学研究的重要内容。

（3）基础理论、成矿预测和找矿方法研究　随着找矿勘探由地表进入地下，找矿难度越来越大，故基础理论、成矿预测和找矿方法研究显得越来越重要。应重视总结已有矿产的成矿规律，不断完善成矿理论，提倡理论指导找矿和综合方法找矿。在找矿实践中，重视开展重点成矿区、成矿带的系统研究，从实践中总结出规律性的认识，以提高成矿预测和找矿效果。同时进一步加强各种找矿方法，尤其是进行地下盲矿体探测方法的试验研究。

（4）加强海洋矿床学研究　浩瀚的海洋有着丰富的矿产资源，有其特有的产出条件和勘查开发技术，对现代海洋矿床学的研究无疑能给经典矿床学带来新的活力（翟裕生，1999）。在海洋矿床资源方面，我国的区位条件优越，有利于资源富集（陈学雷，2000）。因此。通过海洋矿床学的研究，不仅会丰富成矿理论，为陆上找矿提供新的找矿思路，而且可为矿产资源的可持续开发利用提供丰富的后备资源。事实上，海上能源矿产已经成为我国能源矿产的重要组成部分。

（5）环境矿床学及常温和低温矿床地球化学研究　研究矿床对其周围环境的自然的和人为的影响程度；进行矿床的环境评价；寻找经济-环境综合效益好的矿床类型（即超大型矿床，见：赵振华，1999）；为减免对地表生态环境的污染，矿床开采将更多地采用地下作业，到达地表的只有初级产品或半成品，这就要求更加精确的矿床地质研究（翟裕生，1999）。研究矿床在表生条件下的变化机理，查明矿床中有害物质的赋存状态、扩散方式和途径及其对矿山环境的污染过程；多学科合作，建立矿床环境质量评价指标体系，积极开展有关矿山环境保护的矿床学研究（翟裕生，2001）。

（6）矿产资源的深层次开发研究　如用新的可再生资源替代不可再生的矿产资源的研究；利用目前的高新技术，研究与挖掘矿产资源（包含普通的岩石、矿物）的有用性，为开发新型矿产资源做好基础研究工作；依据某些矿产资源的形成条件，利用人工控制技术，把一种资源转变为另一种更具经济、环境及社会效益的资源的研究，等等。

参　考　文　献

朱训，尹惠宇，项仁奎，等. 1999.中国矿情（第二卷，金属矿产）. 北京: 科学出版社. 1~12.

郑易生，王世汶. 2001.中国环境与发展评论（第一卷）. 北京：社会科学文献出版社. 204~218.

Ian B. Lambert. 2001. Mining and sustainable development: considerations for minerals supply. Natural Resources Forum, 25:275~284.

都沁军，郝英奇. 2000.论矿产资源可持续开发利用. 地质与勘探, 36(6):1~3.

焦城中. 2000.中国现代化进程中断的危机与我们的对策-论中国矿产资源战略的大调整. 吉林地质, 19(2):4~13.

曲格平.1994.中国环境与资源的形势和对策.中国人口、资源与环境，4(3):4~8.

张坤，任勇. 1999.欠发达地区环境与经济协调发展机制研究. 北京：中国环境科学出版社. 15~52.

王占岐，魏民. 2001.国内外“人工矿床”研究现状与前景. 地球科学进展, 16(2):235~237.

刘劲鸿. 2000.合理开发利用尾矿是矿业经济增长的新途径.中国地质, 11:21~25.

杨桂和，刘波，沈守文. 1997.再论矿产资源综合利用的系统功能与社会经济效益. 成都理工学院学报, 24(4):108~115.

赵鹏大. 2001.非传统矿产资源研究：可持续发展的重要课题. 中国地质, 28(5):1~10.

翟裕生. 1999.关于矿床学研究前景的探讨. 矿床地质, 8(2):146~152.

陈学雷. 2000.海洋资源开发与管理. 北京：科学出版社. 31~60.

赵振华. 1999.从超大型矿床研究对中国矿产资源的思考. 科学通报,

翟裕生. 2001.矿床学的百年回顾与发展趋势. 地球科学进展, 16(5):719~725.