

由高纯石英找矿问题引发的 矿产资源分类新思考

——筑牢新质生产力与资源安全之基

文 / 王登红 王 岩



第一作者简介 王登红，二级研究员，博士生导师，中国地质科学院矿产资源研究所所长，战略性新兴产业矿产调查工程首席科学家，《中国矿产地质志》总主编，李四光地质科学奖获得者，获2023年“大国工匠年度人物”提名。主持项目达40余项，提出并创新锂矿、稀土矿等“三稀”矿产成矿理论，研发系列创新技术，在四川甲基卡、广东大宝山、江西九龙脑等地取得十几处找矿新突破；主编《中国矿产地质志》十余卷志书，填补了我国矿产资源领域大型专业志书空白。获国家科技进步奖二等奖1项，省部级一等奖6项、二等奖1项，中国地质学会十大科技进展2项，以及侯德封奖等多个奖项。公开发表论文500余篇，出版专著40余部，培养硕/博士研究生50余名。带领的团队获自然资源部高层次科技创新人才工程科技创新团队、金桥奖集体一等奖。

缘起

1990年起，笔者在导师陈毓川先生指导下，先后对广西大厂锡矿和新疆阿舍勒铜矿开展野外实地调查，以查明硅质岩、硅质页岩、石英岩、次生石英岩、碧玉、铁碧玉等以石英为主要组成矿物的岩石的成因。作为金属矿床学硕、博士研究生，笔者起初未能深刻理解导师的用意——为什么反反复复去研究自然界最常见的矿物而且是非金属矿物石英呢？直到1996年，笔者在承担“阿尔泰成矿省的成矿系列与成矿规律”专题研究任务时，才意识到金属矿产与非金属矿产若是同一次成矿作用的产物，完全可以归属于同一个“矿床的成矿系列”，并非如诸多矿床学教科书那样对金属矿产与非金属矿产分别介绍。同期，时任地质矿产部矿床地质研究所（后改为中国地质科学院矿产资源研究所）的王裕先研究员实现了石英提纯到99.99%、总杂质含量 $< 40 \times 10^{-6}$ 的技术指标，然而因缺乏项目支持，相关“废石”与尾矿资源无法得到及时且充分的利用。直至2020年后，高纯石英的国内短缺问题受到广泛关注，可曾经有可能从中提取高纯石英的石英废石堆却早已消失，实在令人唏嘘。

那么，对于矿产资源的管理来说，这又有什么启示呢？

“高纯石英”是选出来的还是找出来的

高纯石英是半导体、光伏、精密光学、光纤通信及高端照明等高新技术产业不可缺少且无法替代的重要功能材料，已成为支撑战略性新兴产业发展的重要基础，对国民经济和科学技术发展起到重要的支撑作用。近年来，国家高度重视高纯石英的找矿问题，设立了不少项目；企业更是等米下锅，无

论是业界龙头企业还是民间资本均对高纯石英项目兴趣浓厚，经常有人带着样品到科研院所进行纯度测试。但是，在实际找矿工作中，地质人员遇到的往往不是“找石英”的问题而是石英是否“高纯”的问题。由于纯度要求高，在野外靠经验、靠肉眼已经难以满足取得直接找矿突破的需要，而一般的实验室也难以达到99.995%这样的测试精度。如何圈定矿体更是成为难题，因为高纯石英还不是一个矿种，也没有相应的勘查规范，边界品位如何确定，共生伴生组分、有害物质、可采厚度等基本的评价指标都没有现成标准可参照。因此，对于“高纯石英是选出来的还是找出来的”这样的问题，也无须多费笔墨，因为，矿（无论什么类型的矿）既是“找”出来的，也是“选”出来的，二者不可偏废。

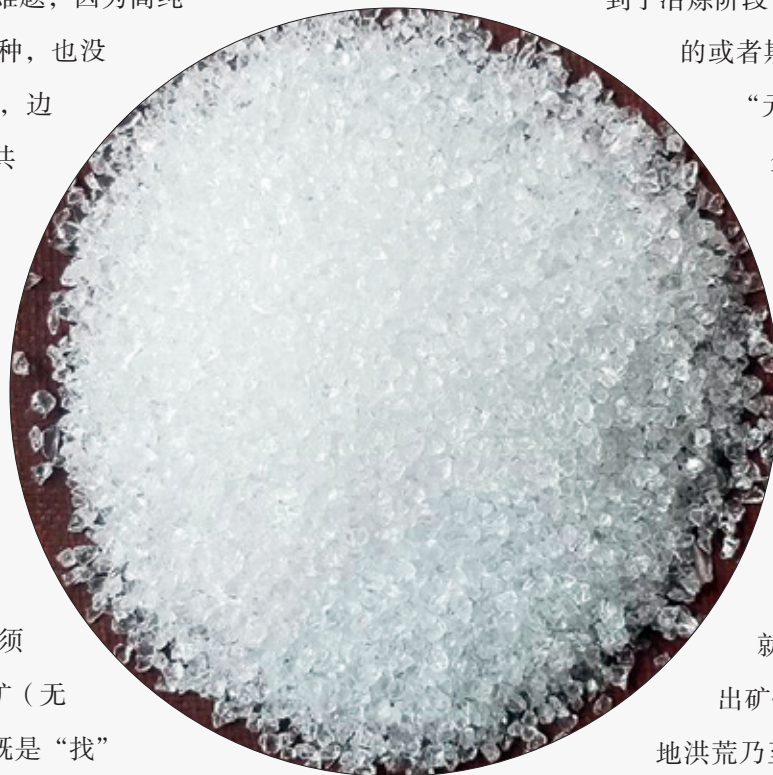
矿产资源究竟是什么

正如“高纯石英究竟是矿产资源还是矿产品”一样，矿产资源究竟是什么？答案不可能唾手而得。地质勘查与找矿工作，找的是什么？勘探的又是什么？采矿采的是什么？选矿选的是又是什么？简言之，选矿选的是矿物，采矿采的是矿石，（勘探矿探的是矿体，而找矿找的就是矿产（资源）。这既是矿业产业链不同阶段的概要区分，也是分工

明确的具体体现。其中，找矿就是要寻找到有用的资源，而并不一定要查明矿体的形态、产状、长度、宽度、厚度、品位、储量、共生伴生组分、开发利用条件、盈利水平等具体参数，这些参数则属于“勘探”工作所必需。同样，采矿工人面对的是五颜六色、各种结构构造的矿石（集合体），选矿工人则需要把颜色、形态单一而明确的矿物一一分离出来。

到了冶炼阶段，冶金专业人员面对的或者期望获得的是单一的“元素”，如铁、铜、金、银、锑、铝、锡等，而不再是矿物了。换句话说，冶炼就是破坏矿物得到元素，选矿就是破坏矿石得到矿物，采矿就是破坏矿体得到矿石，勘探就是从地质体中区分出矿体，而找矿就是从天地洪荒乃至宇宙星空中找到有益于人类的矿产资源。那么，什么是矿产资源呢？

《矿产资源法》本身没有给出“矿产资源”的定义，《地球科学大辞典》《矿产资源工业要求手册》等权威性工具书将“矿产资源”定义为“赋存于地壳内或其表面、由地质作用形成的呈固态、液态或气态的具有现实和潜在经济意义的天然富集物”，而《矿床学》教科书将“矿产”定义为“自然界产出的有用矿物资源”，并指出“矿产在地壳中的集中产地即是矿床”，并下定义“矿床是指地壳中由地质作用形成的，其所含有用矿物资



＞高纯石英砂

源的质和量，在一定的经济技术条件下能被开采利用的地质体”。显然，这些定义已经不完全符合现实，更不能满足发展战略性新兴产业对于矿产资源的新需求。比如，氦气、低氘水、地热就不是矿物资源，而干热岩（字面上是岩石）也不是矿物资源，而金刚石、铜镍硫化物矿床及铂族金属矿有一部分可能在地幔中就形成了，只是由于构造运动、岩浆活动被带到地壳内而“就位”的。因此，从内涵的角度，对于矿产资源、矿床等概念的重新认识，是社会发展的客观需求；而从外延的角度，假如自然界由动物、植物、矿物三大类组成，那么，除了动物资源、植物资源之外的其他自然资源，也不妨纳入到“矿产资源”的大框架，包括太阳能、风能、水能。太阳能、风能、水能除了与地质作用密切相关之外，其转化为“工业化利用”的途径离不开其他矿产资源的支撑。例如，太阳能光伏板用到大量的矿产资源，而风力发电机同样离不开金属矿产，包括巨大的铁塔、使用稀土的发电机，以及传输电能的电线。这些特征，与常规矿产资源的开发利用并无二致。换句话说，正是太阳和风让稀土、稀有金属等以往用量不大的关键小金属有了广阔的用武之地。

先找矿还是先选矿

矿产资源是经济社会发展的重要物质基础。人类社会的发展历史实际上就是对矿产资源进行开采开发利用的历史，从水资源到非金属到金属，也基本上代表了人类文明的演化历史。科学技术作为第一生产力，必然也体现在矿产资源勘查开采、开发利用的历史中。如果说人与其他动物的区别在于利用工具，而石头有可能就是最早的工具——既可以打击野兽，也可以砍砸坚果。那么，原始人类在选择什么样的石头来打击野兽、砍砸

坚果甚至用于“钻木取火”呢？可能性较大的就是燧石——石英岩。石英岩带有刃口，比较锋利，也易于拾得。这实际上就是一个找矿、选矿互相制约、互相促进的过程。选择性地利用某些特殊的石头，不就是最直接最朴实的“选矿”吗。显然，认识到不同的石头具有不同的功能，这一过程无疑是漫长的，但其本质就是一个“认识—实践—再认识—再实践”的过程，符合历史唯物主义，也符合辩证唯物主义。因此，要严格区分“先找矿还是先选矿”，不但在历史上难以区分，在现实中也似无必要。之所以区分出“找矿”与“选矿”，诚然是社会分工越来越细的具体体现。随着科学技术的发展，人类使用的工具更是名类繁多，绝不是一块石头砍砸到底的。这就必然带出找矿、采矿、选矿的技术分类，也必然引出矿产资源的分类问题。

金属矿产还是非金属矿产

恩格斯指出：“分类是科学研究的最高境界。”猿人利用石头打击野兽、砍砸坚果、切分食物，石头起到的就是投枪、斧头、菜刀等作用，此时的石头无论是花岗岩、沉积岩还是变质岩，抑或本身就是一块铁矿石，起到的就是“金属工具”的作用，满足人类生存的基本需要。古人也可以利用石头来垒墙建屋挡风遮雨，石头起到了当今建材“非金属”的作用，满足人类改善生活质量的新需求。可见，我们目前对于矿产资源的分类，实际上也是人类在认识自然改造自然的过程中逐渐形成的客观认识，是人类文明的标志性成果之一。1994 年 3 月 26 日我国颁布的《中华人民共和国矿产资源法实施细则》（国务院 152 号令）给出了 168 种矿产的分类细目，代表了我国 20 世纪 90 年代对于矿产资源认识、研究的时代水平。进入 21 世纪，尤其是第三次、第

四次工业革命的快速发展，战略性新兴产业在中国受到高度重视，以新能源汽车为代表的七大战略性新兴产业经过不到 20 年的发展正在成型，并且在国际舞台上占有了一席之地，有的已经领先国外。但是，我们不能满足于此。

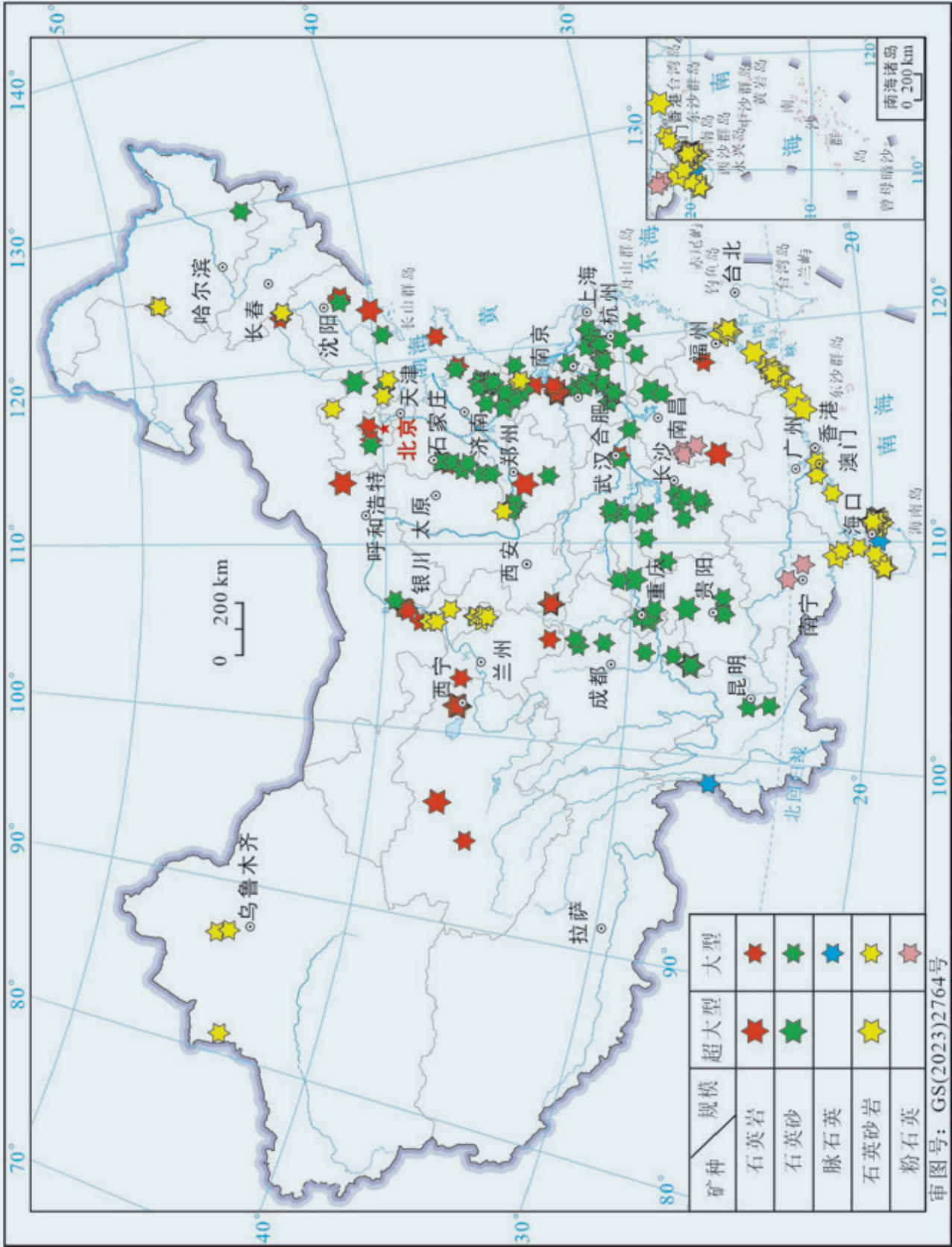
发展新质生产力是推动高质量发展的重要着力点。那么，发展新质生产力尤其是要发展未来产业，究竟需要什么样的矿产资源来保障呢？仍然以“石英”为例。石英的化学成分是二氧化硅，因此，纯的石英不含金属元素；但是，用石英作为原料可以制造出“工业硅”，其成分 98%~99.99% 是硅，已经具备金属的特点（与锗、铅、锡相近，具有半导体性质），因此又被称为“金属硅（结晶硅）”，其至少有 60% 用于生产铝合金。此时，硅算不算是一种矿产资源呢？属于金属矿产，还是非金属矿产？同样，石墨的化学成分是碳，但石墨本身也具有金属物质的导电性等特点，而“石墨烯”更是比金属还“刚强”，其强度比世界上最硬的钢铁还要强 100 倍。同样，金刚石的化学成分也是碳，其硬度完全超过金属矿物，可以切割金属物质，简直是比金属还金属。可见，这些非金属矿产起到了金属难以起到的作用。与此相反，钢铁主要由铁这种典型的金属元素制成，但钢铁的主要用途难道不是“建筑材料”吗？在建筑行业，金属材料被越来越多地采用（目前全球用于建筑的钢材的产量占总钢材的 50% 左右），盖楼房已然是先构建钢铁的框架结构而不是先砌砖墙；而在冶金行业，非金属也正在被越来越多地利用，即便是炼钢的高炉也离不开非金属耐火材料。因此，在现代各行各业，已经难以以生产资料来严格区分冶金、建材、有色这样的传统行业。作为生产资料的矿产品，也必然面临重新“定位”的选择。在发展新质生产力、未来产业的新阶段，

对于矿产资源进行重新认识，进行再分类，自然也是社会发展、科学技术进步的客观需要。

什么是“尚未入列的矿产资源”

原国土资源部 2000 年 5 月 27 日发布第 8 号公告，新增了辉石岩、辉长岩和正长岩 3 个矿种；2011 年 12 月 3 日发布第 30 号公告，新增页岩气为新矿种；2017 年 10 月 17 日有关部门向国务院呈报了《国土资源部关于将天然气水合物列为新矿种的请示》，国务院于 11 月 3 日批准同意将天然气水合物列为新矿种，并于 2017 年 11 月 16 日向社会公布。至此，全国已发现矿产总数达 173 种。除此之外，我国还有绿泥石、钾硝石、蛋白土、皂土、砂石（砂、卵石、碎石）、绢英岩 / 绢云片岩、观赏石、砚石（含印章石）等赋存于地壳内或其表面的、由地质作用形成的呈固态、液态或气态的具有现实和潜在经济意义的天然富集物，完全符合“矿产资源”的定义，而且有的已经开发利用，但没有被《中华人民共和国矿产资源法实施细则》附录列入，本文称为“尚未入列的矿产资源”。显然，随着经济社会的发展和科学技术的进步，除了“砖瓦黏土”这样因为环境保护和土地保护的需要而禁止开采并已经从矿产资源目录中去掉（相当于“出列”）的矿产资源之外，肯定还有不少矿产资源没有“入列”，比如“天然氢”。另外，氦作为惰性气体在现代工业制造业和医学、军工等领域十分重要，但同样属于惰性气体的氖、氩、氙却没有被“入列”。此外，据悉“高纯石英”有可能作为独立矿种。

对于已经是独立矿种的部分矿产资源，由于种种原因尚无“储量”，实际上并非技术问题而可能是历史原因造成的。比如，铪（Hf）主要伴生在锆石中，但以往的地质勘查过程中很少分析测试



中国可能用作高纯石英原料矿的大型石英类矿产产地分布简图

铅的含量，乃至铅的资源家底不清。也有一部分矿产资源实际上是管理方式没有及时更新造成的。比如稀土元素，在 20 世纪六七十年代，单独分析每个稀土元素的含量在技术上难度比较大而且昂贵，因此采用的是“配分法”，即只测定稀土元素的总含量，再根据个别样品或者组合样品中每个元素所占的百分比，加以换算得到各个元素及其氧化物的含量。但随着分析技术的突破，一般的实验室在 20 世纪八九十年代就可以直接测定单个元素的含量，完全没有必要再用“配分法”换算。

矿产资源分类的三性原则

由于矿产资源具有“自然属性、社会属性和经济属性”，对于矿产资源的合理分类也必然要考虑到这三大属性。但是，以哪个为主，却是公说公有理婆说婆有理，目前的分类更多是考虑到自然属性和社会属性。自然属性强调的是其地质特征和产出规律，社会属性强调的是用途的不同和行业分类，而经济属性则实际操作难度大。近年来，高科技矿产、关键金属、战略性新兴产业矿产等新名词、新概念的提出，也是更多地考虑到了其社会属性和经济属性，而淡化了自然属性。

“高纯石英”实际上也淡化了其自然属性，因为高纯石英可以来自于石英岩、石英砂、脉石英、石英砂岩、粉石英等“自然属性”不同的原材料，强调的是其“社会属性”（即在战略性新兴产业中十分重要）和“经济属性”（即价格昂贵）。尽管在现行管理体制下，要兼顾三大属性，在矿种及亚矿种分类问题上“一碗水端平”还是十分困难的，肯定会增加管理难度，但这些无疑是社会发展和技术进步所不可避免的，应该加以重视，加强研究，及早部署，以免一些珍贵的矿产资源被浪费掉了，或者高价值矿产被低水平、低端化

利用了也还不知道问题出在哪里。

制定矿产资源目录清单的必要性

正如前文讨论的，“高纯石英”因为不是独立矿种，不可能有探明的储量，也就不可能摸清其资源家底。此外，随着战略性新兴产业的快速发展，同位素是否也应该作为矿产资源加以强调？因为不同的同位素在地壳中的分布规律、赋存状态乃至开采利用的方式是不同的，经济价值、战略意义也是完全不同的。例如，氦-3 和氦-4，锂-6 与锂-7，等等。天然铀作为金属元素，由 3 种同位素组成，但铀矿作为能源矿产，最关键的是铀-235，尽管铀-235 只占 0.71%，但它能够为热中子所裂变，是现今原子能的能源。铀-238 和铀-234 只能为快中子所裂变，可用于快中子反应堆。低氘水与普通矿泉水在价格上也可相差几十倍。前述的稀土元素也是如此，只有圈定单个稀土元素的矿体，才能真正实现精细化管理。再如，以氦为代表的惰性气体，对于需要隔绝氧气、水汽的操作环境尤其是高端制造业尤为重要，而我国的氦气主要靠从美国等国家进口，受制于人。氦之外的惰性气体在某些场合也可以部分替代氦，但其却不是矿种，不被认为是“矿产资源”，自然也无法开展找矿工作，更谈不上资源保障。

毫无疑问，矿产资源为国家所有。对于中国这么大的国家来说，“家里有矿，心中不慌”。同时，中国的制造业名列世界前茅，制造的产品销往全世界，为人类命运共同体的建设作出了巨大贡献。因此，中国进口矿产品或原材料，并不只是满足中国作为最大的发展中国家的基本需要，也在满足全世界的需要，比如新能源汽车、光伏板、锂电池乃至芯片也在大量出口。可以说，没有哪一种矿产资源是人类可以轻视的，而矿产资源

又是不可再生的，必须珍惜。但是，不同国家对于矿产资源的名称、目录是不完全一样的，其中，以美国地质调查局每年发布的《矿产品概要》最为流行，但严格来说这是“矿产品概要”而不是矿产资源分类。

科学制定当前和今后一段时期内矿产资源的目录清单，理清不同矿种的轻重缓急，对矿产资源进行合理分类，助力找矿及高质量开发利用，不但是当务之急，也是国家安全和国计民生的基本保障。

本文由中国地质调查局地质调查“中国矿产地质志（编号：DD20221695，DD20190379）”“战略性新兴产业矿产地质调查工程（编号：DD20230034）”和科技部科技基础资源调查专项“中国战略性新兴产业矿产资源数据整编及图集编纂课

题（编号：2022FY101702）”项目联合资助。

第一作者单位 / 中国地质科学院矿产资源研究所

（本文编辑：何陈临秋）

