

文章编号:0258-7106(2002)04-0419-05

人工矿床勘查开发的若干问题及我国的现状*

杜国银

(中国地质大学,北京 100083)

王勇毅

(中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘 要 文章对人工矿床及矿山二次资源的概念进行了讨论;初步提出了人工矿床的 3 种成因类型,即:技术成因型、技术-自然成因型、稀缺成因型(或市场成因型);分析了人工矿床勘查评价的范围、内容和规范要求;对人工矿床勘查开发技术经济评价的特点、评价准则与评价内容要求进行了论述。并对人工矿床的资源现状进行了分析。提出今后需要深入研究的领域及方向,包括人工矿床的成矿机理、成矿规律、人工矿床勘查开发技术、人工矿床的评价规范制定等。

关键词 地质学 人工矿床 成因类型 勘查评价 技术经济

中图分类号:P624.6

文献标识码:A

人工矿床是人类活动与地球表生成矿作用的产物,其特殊之处是人的活动参与了成矿作用过程,产生了特定的地球物质流和物质的再分配。由于人工矿床的非传统性及成矿过程中包含了当代环境变迁和资源更替等人-地关系的基本问题,因此,其研究日益受到学术界重视。早在 20 世纪 80 年代末,前苏联就提出了人工矿床的概念,开展了有关人工矿床研究与评价方法的讨论(阿赫马诺夫,1997)。原美国矿业局成立了专门的研究院,任务是研究包括人工矿床在内的非传统矿产资源矿床类型和矿石类型。近几年,围绕非传统矿产资源发现与利用的国际学术会议频繁举行,仅 1998 年至 1999 年就举行多次。国内在有关学者的倡导下,正在积极推动非传统矿产资源发现与开发的基础研究(Zhao et al., 2000a; 2000b)。

与人工矿床相关的研究表现为两个方面:一是从矿产综合利用的角度出发,着重研究尾矿、废石中有益组分的提取技术、工艺、设备和产品方案,属于工艺矿物学和矿业工程学的范畴(李章大,1992);另一方面是关于矿山固体废物环境地球化学和环境物质流的研究(Dennis, 1996; Kevin, 1996),侧重从环境科学角度研究矿山固体废物的物质演化(王亚平等, 1998; 2000)。可见,这两方面的研究最初并不是从矿床学和矿床勘查学的角度研究问题的,不少研究尚未涉及人工矿床的概念。当然,由于这些研究工作的对象与人工矿床的研究对象相同,故为人工矿床概念的提出奠定了基础,并提供了人工矿床研究的某些方法论。目前,需要从矿床地质学基本理论出发,在建立人工矿床科学概念的基础上,系统研究人工矿床的成矿机理、成矿规律、矿床特征及矿床勘查开发评价理论和实用技术方法。本文从人工矿床和矿山二次资源的概念出

发,探讨了人工矿床的研究意义、矿床类型、资源现状、勘查评价和技术经济评价等问题。

1 人工矿床的概念及研究意义

1.1 基本概念

人工矿床 矿山生产过程中的各类废弃物,经过一定时间的堆积,在自然因素和人工因素的双重作用下,在特定的技术经济条件下具备二次开发的可能,成为矿山生产的接替矿产资源或非传统矿业开发的矿产资源。这类经人工活动而形成的矿物资源富集体被称为“人工矿床”(artificial deposit)或“技术成因矿床”(technologic deposit)(赵鹏大, 2000)。人工矿床有其特定的成矿机理和致矿因素,有确定的矿床形态、产状,是一个特殊的矿床类型。但人工矿床是具有经济价值的成矿物质富集体,所以并非所有矿山废弃物堆积体都是人工矿床。

矿山二次资源 是具有可回收和再利用价值的矿山尾矿、废石等固体废料、废水(液)、废气、余热、余压、土地、水域、地下空间资源以及矿山生态环境要素的总称。从产业经济和资源科学的角度来看,矿山二次资源是综合利用产业和环保产业经营的对象,具备资源的基本属性;同时它又是矿山环境污染和灾害产生的重要因素,是影响矿业可持续发展和矿区社会经济可持续发展的障碍。因此,矿山二次资源及其利用是一个资源与环境密不可分的问题。可见,矿山二次资源是一个涵盖范围更广的概念,人工矿床是其重要的组成部分。

1.2 人工矿床的研究意义

人工矿床是在非传统矿产资源理论指导下提出的系列成

* 本文得到国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放实验室基金资助

第一作者简介 杜国银,男,1956 年生,博士,副教授,主要从事矿产勘查评价和矿产资源经济与矿业环境经济研究。

收稿日期 2001-10-08;改回日期 2002-04-03。李 岩编辑。

矿预测新理论、新概念之一,其研究意义体现在对地学、环境科学、矿床勘查与评价及矿业后经济发展等多学科理论与实践的创新。

人工矿床的研究拓展了传统矿床地质学的研究领域

传统矿床学的研究对象是以地球运动为背景的地质成矿事件,研究地壳变动与成矿的关系以及成矿事件中的物质运动规律。人工矿床学则以原生矿床开发过程中物质的运动、富集及成矿事件为研究对象,研究人类开发活动中成矿物质的运动规律与成矿规律。人工矿床的研究要以原生矿床的研究为基础,把矿床物质组成及性质特点的研究从地质成矿过程拓展到“人工”成矿过程。

人工矿床的研究为矿床勘查与评价提供了新的研究领域 人工矿床的勘查与评价是一个崭新的课题,传统找矿勘探地质学及其工作规范不能完全套用于人工矿床的勘查与评价。人工矿床的开发利用必然引发勘查、评价、开采、加工等生产中新的方法、手段和新的工作规范的产生,从而推动矿床勘查评价学的发展。

人工矿床的研究是矿山生态环境综合整治的基础 矿山生态环境综合整治包括二次资源利用,矿区环境治理与生态恢复。人工矿床的研究将为综合利用物质和环境治理要素的确定提供依据。

人工矿床是矿业后经济和矿业可持续发展的重要物质基础 矿山闭坑后矿区经济如何实行可持续发展是摆在我国一些老矿区和矿业城市面前的现实问题。根据非传统矿业经济的概念,矿业后经济是围绕矿业城市的城镇化建设,以资源的二次开发利用,矿区生态环境治理为矿业后经济发展初期的主要内容。所以,人工矿床的研究是这一时期经济发展的重要资源条件之一。

2 人工矿床成因类型和地质勘查与评价

2.1 人工矿床成因类型

按人工矿床形成的主要条件,可以把人工矿床划分为以下3种成因类型。

技术成因型 (technology forming) 此类人工矿床主要是在矿山生产技术、工艺和科技进步因素的影响下,使原生矿床中在评价时不具有工业价值的围岩、脉石矿物以及其他伴生组分由于赋存状态、物理性质和品位的变化,在其采出后经过一定时期积累而形成的具有二次利用价值的矿物原料富集体。按其特点又可分为技术成因Ⅰ型和技术成因Ⅱ型。

技术成因Ⅰ型:主要是由于矿山生产中所用的技术方法和工艺流程的改进,使原本不具有或暂时不具有工业价值的物质组分在废弃堆积后形成具有工业利用价值的人工矿床。如果这类物质在矿山生产过程中顺便回收,没有形成人工堆积体,则此类物质属于原生矿床综合利用的范畴;若形成人工矿床则需要二次勘查评价与开发。

技术成因Ⅱ型:技术成因Ⅱ型是由于科技进步的原因使

原生矿床开发过程中被抛弃的物质找到了新的用途,具备了开发利用价值,使废弃物堆积体上升成为人工矿床。

技术-自然成因型 (technology-nature forming) 原生矿床开发过程中的废弃物经过长时间的堆积,在空气、水等地表营力的作用下,使废弃物中的低品位有用组分产生风化、分解、运移等物理化学变化,并在废弃物堆积体的适当部位富集成为矿体,即成为具有二次开发价值的人工矿床,如某金矿尾矿库,富集部位金品位高达12 g/t,是原生矿床品位的3~4倍。

稀缺成因型 (scarce forming) 或市场成因型 原生矿床中的有些组分虽然符合工业利用的标准,但由于市场的原因,此类矿产的市场已饱和,或者不具备竞争力,因此在矿床开发过程中作为废弃物堆放在废石场或进入尾矿库。一旦此类矿产品出现市场稀缺,生产有利可图,则废石场或尾矿库就成为具有开发价值的人工矿床。如河南栾川大型辉钼矿-白钨矿共生矿床,钼的开采价值大,而钨矿的市场一直饱和,白钨矿随选矿尾矿进入尾矿库;如果钨矿市场看好,则该矿尾矿库便是一大型的人工钨矿床。

2.2 人工矿床的勘查评价

人工矿床的勘查评价从技术上讲比原生矿床的勘查简单得多。但从规范的角度考虑,仍需制定符合人工矿床勘查特定需要的勘查评价规范及相应的适用技术。

人工矿床勘查评价范围 与传统矿床勘查评价相比,人工矿床的勘查评价是以资源与环境为中心展开的。对资源的勘查评价包括:①人工矿床全部物质组分的可用性和可处置性评价。人工矿床开发的目标是不能有二次污染的,必须实行无废料生产,在勘查评价中应查明哪些组分具提取和利用价值,哪些组分无价值;能利用组分的最佳用途和提取方式,不能利用组分的合理处置方式。②人工矿床资源评价不仅包括矿床本身资源的评价,还应包括与矿床相关的生态环境资源的评价,这类资源包括承载矿体的土地资源,与矿床相联系的水资源及生物资源等。③人工矿床资源的可利用性和可加工性评价。应加强非传统用途,非传统工艺,非传统方法的评价。人工矿床环境评价的特点是针对现实矿山环境问题的勘查评价,其勘查内容包括人工矿床环境污染破坏的种类和影响范围,人工矿床开发利用过程中二次环境污染及其预防和解决措施的评价等等。

人工矿床勘查评价规范 人工矿床要达到规模化、产业化开发的程度,必须解决一系列勘查评价和开发的技术规范和技术标准的制定问题。目前在人工矿床的开发利用上,有的由于产品没有相应的国家标准而使利用的方案不能实施,有的因为缺乏安全、环保的规范,而使勘查和开发工程不能实施。在人工矿床勘查评价规范建设方面需要研究的内容包括:①不同类型和不同环境下人工矿床勘查手段和勘查工程的布置,勘查程度规范;②人工矿床采样、样品制备、试验分析的内容与操作规范;③人工矿床开发产品规格、产品质量标准的规范;④人工矿床勘查的技术经济评价工作规范;⑤人工矿床资源的分类、分级和综合评价规范。

人工矿床勘查开发的环境评价 人工矿床的环境评价应该与勘查评价和开发利用评价融为一体,它是根据人工矿床的环境现状,在矿床勘查评价过程中把环境影响的种类、范围、环境治理过程与资源开发利用过程进行综合考虑,协同处理的资源环境、经济联合评价过程。所以人工矿床的环境评价突出现实性、生产性和可实施性,而不是原生矿床评价中的只作环境的预测性评价。

3 人工矿床技术经济评价的特点与要求

3.1 技术经济评价准则

人工矿床技术经济评价的基本准则是在经济可行的前提下资源的充分利用和环境的彻底治理。在此两条准则要求下,人工矿床勘查开发的经济可行性是直接经济效益、后续经济效益和间接经济效益的总和。这是因为利用人工矿床的主要目的是获得长期的资源和环境效益,在开发治理过程中尽可能使不可再生的矿产资源得到充分回收,增强非再生资源的持续可供性。另一方面,是使环境污染得到彻底治理,使生态环境资源恢复再生产功能。这样,矿区不可再生资源耗尽后,再生资源能接替上,从而保障矿区社会可持续发展的基本条件。人工矿床开发的经济评价应该是直接经济效益和后续经济效益以及其他间接经济效益的总和。直接经济效益以保本为原则;如果后续经济效益和间接经济效益十分显著,远远大于直接经济效益的亏损,则在直接经济效益不好的情况下,也应采取措施促成人工矿床开发项目的实施。

3.2 技术经济评价特点

人工矿床勘查开发的技术经济评价是一种综合考虑资源的环境、技术、经济与社会可持续发展的联合评价体系,它体现了矿业后经济发展对矿产投资项目评价的要求和特点。人工矿床的开发利用及其相应的环境整治处于传统矿床开发结束,矿区新的产业和新的矿业经济发展有待形成的过渡时期,它为矿业后产业形成与经济发展提供了必要的生态环境条件和可持续的资源基础。因此,人工矿床的利用在矿区社会经济发展过程中起着承前启后的作用。从这一角度探讨人工矿床技术经济评价的内容,其评价要解决的问题是可持续性、联合性和系统性。

3.3 人工矿床技术经济评价的要求

在进行人工矿床勘查开发的技术经济评价时,主要应做到以下几点:①全组分评价原则,即要求在对具有经济价值的组分进行工业利用的技术经济评价时,对其他没有工业价值的组分应进行处置性评价。因为人工矿床开发要求无废料、无污染,并对原有的环境破坏进行治理。所以在进行技术经济评价时,应坚持全组分评价。②突出生态环境效益和矿床开发后续效益的原则。人工矿床开发与治理的目的是获得可持续发展的生态资源与环境基础,其效益着重体现于长期性、后续性及整体性。所以技术经济评价的重点应突出这几类效益的评价。人工矿床的技术经济评价也需要规范化、制度化,

按照规范标准开展评价,评价工作应由具备资质条件的机构进行。③人工矿床的技术经济评价应兼顾公益性项目和商业性项目评价的要求,这是因为人工矿床的开发利用既具有公益性(环境治理)又具有商业性(获得矿产品及其他产出)。从这一要求出发,需要单独制定人工矿床技术经济评价的规范和标准。

4 我国人工矿床现状

4.1 资源总量背景

我国矿业生产历史悠久,经过新中国50多年的大规模矿山开发,积存了数量庞大的矿山尾矿与固体废料,据1995年—1996年国家环境保护总局、地质矿产部、国家土地管理局及国家统计局对全国主要矿种开展的“全国矿山生态环境破坏及重建调查”资料,被调查的1173家大中型以上国有矿山企业,历年固体废物累计产生量就达133.87亿吨。其中废石产生量以煤矿为最大,其次是铁矿、铜矿与磷矿;尾矿以铁矿产生量最大,其次为铜矿、煤矿。随着开采强度和难度的加大,矿山每年排放的废石、尾矿有加速增加的趋势。据原冶金、有色、煤炭、化工等部门对国有矿山的统计,我国冶金矿山年排放废石3.2亿吨,尾矿5000多万吨,累计堆存废石90多亿吨,尾矿21亿吨;有色矿山累计堆存废石约21.5亿吨,尾矿15.3亿吨;全国煤矸石堆存量约30亿吨,粉煤灰11亿吨以上;化工矿山废石堆存30.78亿吨,尾矿3120.66万吨。我国具有一定规模的尾矿库约有1500座,相应的废石场亦在1500处以上。而大量乡镇矿山排放的废石、尾矿还未统计在内,可见我国矿山尾矿和废石排放量的巨大,这为人工矿床的形成提供了充足的物质基础。

4.2 矿床物质组分

我国矿产资源综合利用的总体水平较低。20世纪中期投产的矿山,由于生产初期的技术水平较落后,加之矿山受计划经济影响,产品单一,因此,有大量主要有用组分和伴生有用组分进入了尾矿和废石。如铜绿山铜铁矿,前期尾矿铁品位26%左右,铜品位1%左右。大冶铁矿初期剥离的废石, w_{Fe} 达30%以上。小秦岭金矿区尾矿 w_{Au} 在3~5 g/t之间,比有些原生金矿的品位还高。这是我国人工矿床物质组成的第一大特征。第二大特征是人工矿床是原生矿床中共、伴生矿产的最大容纳场所。我国矿山企业在生产过程中,由于各种原因,不少共、伴生矿产暂时不能利用,有的随废石一块堆放,有的随尾矿进入了尾矿库,最典型的如白云鄂博稀土磁铁矿山,大部分随铁矿采出的稀土元素矿石存放在废石场,这一废石场可认为是典型的人工矿床。栾川钼矿为辉钼矿与白钨矿共生,钨的储量亦达大型规模,由于市场原因,钨矿生产一直不景气,该矿生产过程中的白钨矿全部进入尾矿库,可以说,栾川钼矿尾矿库实际上是一含白钨矿品位很高的人工矿床。人工矿床物质组分的第三大特征则是把原生矿中的脉石矿物转化成了人工矿床中的矿石矿物。经过选矿过程中的破

碎、磨矿、分选等工序,原生矿中的脉石矿物在粒度、嵌布特征、富集程度等方面发生了深刻变化,并具备了开发利用的工艺性质。据李章大对 95 个金属矿山尾矿资源的分析和 26 个矿山尾矿样品的组分研究结果^①,我国金属矿山尾矿的矿物成分主要为石英、长石、方解石(白云石)、辉石、角闪石、云母、石榴石(或橄榄石)、绢云母、高岭石、粘土矿物、绿泥石(蛇纹石)、硅灰石等,微量未选净的磁(赤)铁矿、黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿等金属矿物。化学成分主要为硅、铝、钙、镁、钾、钠、铁、钛(锰)、硫的氧化物。矿物多为粒径 $< 0.5 \text{ mm}$ 的细小颗粒。与传统的建筑用砂、建材粘土、陶瓷、玻璃原料的组分很接近,可说是一种已经加工成微细颗粒的天然混合物。

4.3 资源管理现状

人工矿床的载体主要是尾矿库和废石堆放场。大中型国营矿山企业一般都有正规的尾矿库和废石场,有利于人工矿床的形成和管理。乡镇小矿的尾矿库和废石场大多不规范,乱排乱放的现象比较普遍,不利于人工矿床的形成。对于已形成规模的尾矿库和废石场,目前主要从安全和灾害防治角度制定了相应的管理制度,但尚缺乏从环境保护和综合利用的角度出发的政策和法规。据统计,我国各行业危病尾矿库约占 30%至 50%,每年都发生垮塌事故,需投入大量人力、财力进行治理维护,所以要从根本上解决矿山尾矿、废石的环境问题,从资源角度探索利用、治理与管理的综合模式势在必行。

人工矿床的勘查评价及其开发利用是矿产勘查评价的新领域,本文的讨论仅涉及这一领域的几个主要方面,相关的问题还有待深入研究。尤其是在解决人工矿床勘查、开发的技术和开发的方式、评价规范标准等方面,还需要进行系统的研究。

References

- Arhmalov. 1997. Research and assessment methods of artificial deposit [J]. *Geol. Sci. & Techn. Dev.*, 9: 1 ~ 3 (in Chinese).
- Dennis S K. 1996. The material flow concept for materials [J]. *Nonrenewable Resources*, 5(4): 211 ~ 233.
- Kevin S. 1996. Material flow analysis for an industry: a case study in packaging [J]. *Nonrenewable Resources*, 5(4): 235 ~ 247.
- Li Z D. 1992. Development and utilization of China metal mine trailings [J]. *Geol. and Explor.*, 28(7): 25 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y P, Bao Z Y and Wang S M. 1998. Environmental influence of mine solid wastes and the environmental influence of Daye Tong Lu Shan mine trailings [J]. *Geochem. Bull. Min. & Petr.*, 17(2): 92 ~ 101 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y P, Zhang M C and Wang S M. 2000. Research of artificial deposit: Example for Daye Tong Lu Shan mine [J]. *Mineral Comprehensive Utilization*, 5: 34 ~ 37 (in Chinese with English abstract).
- Zhao P D and Chen J P. 2000a. Important issues of sustainable development: Research of nontraditional mineral resources [J]. *J. China Univ. of Geosci. (English edition)*, 11(2): 95 ~ 99.
- Zhao P D and Chen J P. 2000b. Discussion on nontraditional mineral resources [J]. *J. China Univ. of Geosci. (English edition)*, 11(3): 215 ~ 219.
- Zhao P D. 2000. A new resource strategy: Discovery and development of nontraditional mineral resources [M]. *Academic Review: Resources, Environment and Sustainable Development*. Wuhan: Press of China Univ. of Geosci. 28 ~ 48 (in Chinese).
- 阿赫马诺夫. 1997. 人工矿床的研究与评价方法 [J]. *地质科技动态*, (9): 1 ~ 3.
- 李章大. 1992. 我国金属矿山尾矿的开发利用 [J]. *地质与勘探*, 28(7): 25 ~ 30.
- 王亚平, 鲍征宇, 王苏明. 1998. 矿山固体废物的环境效应及大冶铜绿山尾矿的环境效应 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 17(2): 97 ~ 101.
- 王亚平, 张明晨, 王苏明. 2000. 人工矿床的研究——以大冶铜绿山为例 [J]. *矿产综合利用*, 5: 34 ~ 37.
- 赵鹏大. 2000. 新资源战略: 非传统矿产资源的发现与开发 [M]. 院士论谈: 资源、环境与可持续发展. 武汉: 中国地质大学出版社. 28 ~ 48.

① 李章大. 1992. 尾矿资源整体开发利用可行性和对策 [A]. 资源综合利用发展对策论文集 [C]. 国家计委, 国家科委, 中国科学院编. 北京. 174 ~ 178.

Several Problems Concerning Exploration and Development of Artificial Deposits and Current Resource Situation of Such Deposits in China

Du Guoyin

(China University of Geosciences,
Beijing 100083, China)

Wang Yongyi

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of
Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

The artificial deposits refer to the deposits formed from such waste heaps discarded in mining activities as tailings and waste rock fillings. These deposits possess the value of redevelopment under suitable technical and economic situations. This paper deals with the concepts of the artificial deposit and the second mine resources, and advances three models for the formation of the artificial deposits, namely deposits of technological origin, those of technological-natural origin, and those of scarce type or marketing origin. The technical situations, the appraisal of the deposit exploration and development, the feasibility of the deposit development and the criteria or principles for the appraisal are studied. The current resource situations of artificial deposits in China are also described. Further researches include ore-forming mechanism, exploration and development technique, assessment norms or standards.

Key words: artificial deposit, metallogenic model, exploration appraisal, techniques and economics

2002 年矿产资源研究所获得丰硕成果

由共青团中央、全国青联、中国青年科协联合主办的第五届中国青年科技创新奖于今年 5 月 23 日揭晓。矿产资源研究所侯增谦研究员荣获本届优秀青年科技创新奖。该奖项自 1992 年始评以来,每年共评选出 100 名优秀青年科技创新奖,这是我国青年第一次荣获该奖。

第九届侯德封矿物岩石地球化学青年科学家奖 6 名获奖人名单于 2002 年 6 月 2 日在北京揭晓。矿产资源研究所王登红研究员荣获此奖。该奖自 1986 年举办首次评选活动以来,每两年举办一次,迄今已有 44 名从事矿物学、岩石学和地球化学研究的优秀青年科技工作者获奖。

7 月 8 日,矿产资源研究所研究员、中国工程院院士郑绵平在中组部中宣部人事部科技部联合召开的全国“杰出专业技术人才”表彰大会上,被授予“杰出专业技术人才”荣誉称号,并受到党和国家领导人的接见。这次共表彰了 50 位“全国杰出专业技术人才”,郑绵平院士是国土资源部系统唯一获此殊荣的人。

11 月 31 日,国土资源部为了宣传国土资源领域为国民经济和社会发展作出的重大贡献,推动国土资源科技创新与科技进步,对“九五”以来我部优秀成果进行了奖励。这是自 1999 年后恢复请奖的第一次部科技成果奖励。经国土资源科学技术委员会评定,国土资源科学技术奖一、二等奖共 50 项,其中一等奖 8 项,二等奖 42 项。矿产资源研究所获奖 4 项,其中一等奖 2 项。

为建立以优秀学术带头人和优秀管理人才为代表的科技创新队伍,2002 年度,经过同行专家评审和综合评定会议两轮筛选,在国土资源部所属 60 余个单位中评选出部百名优秀青年科技人才首批人员 19 名中,2 名是矿产资源研究所评审遴选的,他们是吕庆田研究员和王登红研究员。

(矿产资源研究所科技处供稿)