从白云鄂博稀土资源开发利用谈稀土再认识

杨占峰

(包头稀土研究院,内蒙古 包头 014030)

摘 要: 本文回顾了白云鄂博主、东矿体的发现、勘探和开采历史,总结了白云鄂博稀土矿的选矿和冶炼分离工艺的研究和工业实践过程,概述了稀土功能材料的科研开发历程,指出白云鄂博矿资源研究和综合利用与我国稀土工业的产生和发展有着紧密联系,并提出了稀土行业当前与未来发展中需要进一步认识的问题。

关键词: 白云鄂博; 资源; 稀土利用; 稀土再认识

中图分类号: TD954 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)03-0001-07

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.03.001

Recognition of Rare Earth from the Development and Utilization of Bayan Obo Rare Earth Resource

YANG Zhan-feng

(*Baotou Research Institute of Rare Earths*, *Baotou* 014030, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: Retrospecting the history of discovery, exploration and exploitation for the main and east ore body in Bayan Obo, this paper summarizes the research and industry practice on beneficiation and hydrometallurgy of Bayan Obo rare earth mine. It also overviews the research and development course of rare earth functional materials, points out that the research and comprehensive utilization of Bayan Obo rare earth resource interrelates with the generation and development of rare earth industry in China, and proposes some problems that need to be further understood in the current and future development of rare earth industry.

Key words: Bayan Obo; resource; rare earth utilizing; recognition of rare earth

白云鄂博矿床是世界最大的稀土矿床,矿床自西向东依次由西矿、主矿、东矿和东部接触带等矿体组成,矿区面积达48 km^2,是铁、稀土、铌等多元素共伴生的大型矿床,主要稀土矿物为氟碳铈矿和独居石。

白云鄂博矿的发现、勘探和开采及综合利用与我国稀土工业的产生和发展有着紧密联系,本文循着白云鄂博主、东矿体的开发历史,回顾了中国稀土产业的形成与发展历程,并提出了稀土行业当前与未来发展过程中需要进一步认识的问题。

1 白云鄂博矿床的开发利用

1.1 白云鄂博矿床的发现与勘探(1927年—)

白云鄂博矿床由我国地质学家丁道衡发现。1927年,丁道衡先生随中瑞西北科学考察团考察,7月3日在路经白云鄂博附近时,发现有铁矿石散布,便追索至白云鄂博,并进行了简单的地质踏勘工作,绘制了1∶20 000地形地质图,随后编写了调查报告《绥远白云鄂博铁矿报告》,发表在1933年出版的《地质汇报》上,首次将白云鄂博矿公之于众。矿

收稿日期: 2016-03-01

作者简介: 杨占峰(1963-),男,内蒙古和林格尔县人,博士,正高级工程师,主要从事矿产资源开发和稀土应用研究。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物学家何作霖先生在丁道衡带回的白云鄂博岩矿标本中发现了两种稀土矿物，分别命名为“白云矿”和“鄂博矿”，并撰写了《绥远白云鄂博稀土类矿物的初步研究》科学报告，报告中阐述了白云鄂博矿物中稀土的存在，并刊登在1935年《中国地质学会会志》第14卷第2期，从此向世人揭开了白云鄂博稀土矿的神秘面纱。

1944年6月，日伪华北开发公司资源调查局曾派地质人员对白云鄂博进行了长达70余天的地质调查研究，提交了《绥远百灵庙白云鄂博附近铁矿》报告，指出对镧、铈等矿物应引起特别注意。

新中国成立后，1949年12月召开的全国钢铁工业会议决定对白云鄂博进行资源调查。1950年5月18日，矿床地质学家严坤元带领“中央人民政府白云鄂博地质调查队”（后改称为“地质部华北地质局241地质勘探大队”）进驻白云鄂博，展开了新中国成立以来最大规模的白云鄂博地质勘探工作，完成钻孔145个，探槽140条，探矿坑道653 m，采样19 500余个。1954年12月28日，完成了《内蒙古白云鄂博铁矿主、东矿地质勘探报告》。1955年3月28日，全国储委会议15号决议书批准该报告。按与前苏联的协定，准时送达列宁格勒设计院进行开采设计。

1963年，国家科委为合理利用白云鄂博矿产资源，在北京召开了第一次“415”会议。根据会议精神成立的105地质队对白云鄂博矿床的矿石物质成分、稀土及稀有元素的赋存状态、分布规律、资源情况展开全面的勘察工作。105地质队经过三年地质勘查工作，于1966年提交了《内蒙白云鄂博铁矿稀土稀有元素综合评价报告》，同时著有《白云鄂博矿区矿床地质特征与成矿规律研究》、《白云鄂博矿区矿石矿物志》等极具价值的文献。

1.2 白云鄂博矿床的设计与开采（1955年—）

根据全国储委批准的白云鄂博铁矿石储量、地质条件及赋存特征，规划主、东矿采用露天开采方式，开采规模为年生产铁矿石1 200万t，匹配中央批准包钢年产钢316.5万t的规模。原“苏联国立采矿设计院（列宁格勒分院）”于1955年完成了白云鄂博主、东矿开采的初步设计。设计中明确：开采出的铁矿石供应包钢高炉炼铁，开采出的铁矿围岩中的稀土矿和铌矿则按有用矿物进行分类堆存。

按照白云鄂博矿的矿床规模，国家“一五”规划在包头建设钢厂。1954年，包头钢铁公司成立，1957年白云鄂博主矿正式开采。1959年9月26日，当时我国最大的容量为1 513 m^3的包钢一号高炉顺利出铁，时任中共中央副主席、国务院总理周恩来亲自为高炉出铁剪彩。

1.3 白云鄂博矿床稀土资源研究与开发（1933年—）

白云鄂博大型稀土矿床被发现以来，国内外相关领域的科研人员无不对此兴趣浓厚，特别是地质工作者，以拥有一块白云鄂博矿石标本而感到自豪，甚至以亲眼目睹一次白云鄂博矿为人生愿望，若能亲自参与相关的研究工作更是倍感荣幸。

日伪时期曾有矿样移送研究单位，勘探时期前苏联专家全程指导并拥有全部资料，开采初期有大量矿样送往我国有关钢厂做试验研究，计划经济时期聂荣臻副总理、方毅副总理亲自督导，举全国科研之力开展白云鄂博资源综合利用攻关。白云鄂博矿的矿样全部含有稀土，样品获得者都能开展简单的分析研究，然而真正开展大规模的稀土研究是在白云鄂博投产以后。改革开放后的30多年来，稀土资源的开发利用才取得实质性突破[1]。

1.3.1 矿床地质研究

白云鄂博矿床地质研究从未间断。中国科学院地质研究所和地球化学研究所、地质部地质科学研究院、冶金部地质研究所、包头冶金研究所、天津冶金地质研究院、贵阳地球化学研究所和北京大学等十几个单位分别从基础地质、稀有元素及稀土矿物学、地球化学、矿石物质成分、同位素地质及成矿机理等方面进行了研究，曾出版《白云鄂博矿物学》、《白云鄂博矿床地球化学》、《白云鄂博矿床地质特征和成因论证》等系列著作。

1958—1959年，中国科学院和苏联科学院与白云鄂博矿山组成合作地质队，由何作霖教授和索科洛夫教授任队长，以稀土物质成分分析和利用为重点，着重开展了白云鄂博的矿床地质、地层构造、矿物岩石学、地球化学、成矿规律等方面的科学研究，查明了矿区主要稀土矿物种类和分布；研究了主要稀土矿物和矿石类型中稀土元素的含量；划分了铁、稀土矿石类型；对矿区稀土的利用做了初步评价，指出白云鄂博系一综合性矿床。同时编写了《内蒙古白云鄂博铁－氟－稀土和稀有矿床研究总结报告》，为后来全面开展白云鄂博稀土资源研究和开发利用奠定了坚实的基础。

1.3.2 成立专业研究机构

1960年10月29日，聂荣臻副总理视察包头时

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

指示成立稀土、稀有研究中心，随后成立了包钢冶金研究所（包头稀土研究院前身），陆续从北京钢铁研究院、有色金属研究院、黑色冶金设计院、矿冶研究院等 4 个单位调入 318 人，开始专门研究白云鄂博矿的资源开发和综合利用。同时配套建设了稀土选矿和稀土湿法冶金试验厂，即 704 厂和 8861 厂。

1962 年 6 月 10 日，冶金部部长吕东在部务会上传达时任国务院副总理、国家科委主任聂荣臻关于建立包头稀有稀土研究所的指示，开发包头稀土必须建设一个国家级研究机构。1963 年 4 月 1 日，包钢冶金研究所更名为包头冶金研究所，划归冶金工业部直接领导管理，同时把 704 厂和 8861 厂划归包头冶金研究所作为科研试验厂。

1.3.3　稀土选矿研究

在研究白云鄂博稀土矿物之前，我国的稀土矿物研究仅限于海滨砂中独居石范围，系统的稀土矿物研究几乎处于空白状态，没有可借鉴的经验。包头冶金研究所成立之前，国家科委已组织中科院上海冶金陶瓷研究所、中科院长沙矿冶研究院、中科院长春应用化学研究所和冶金工业部有关科研单位对矿物的加工提取做了大量研究。在国家部委的领导下，全国最大的稀土专业研究机构——包头冶金研究所联合国内企业和其他研究院所，以白云鄂博矿床的利用为目的，从矿物分析入手，逐步系统地开展了选矿、冶金和材料应用研究。

1969 年，用重选法从白云鄂博矿的浮选泡沫中选出品位 30%（REO，下同）左右的稀土精矿。1976 年，包头稀土院、北京有色院广东分院、包钢选矿厂、包钢有色三厂进行了工业试验，得到品位≥60% 的稀土精矿。1982—1983 年，包头冶金研究所和包钢选矿厂用 N－羟基环烷酸酰胺为稀土矿物的捕收剂，得到稀土品位 71.07%，回收率为 73.59%[2] 的稀土精矿。1984—1986 年，包头稀土研究院黄林旋等研制出 H_{205} 稀土捕收剂，不仅在浮选效果上与 N－羟基环烷酸酰胺基本相同，同时还去除了浮选时使用的氟硅酸钠有毒药剂，达到了有利于环保的目的。至今，H_{205} 系列已成为我国稀土选矿中不可或缺的捕收剂。

1.3.4　稀土钢研究

遵照聂荣臻元帅把稀土用到钢中的指示，1963 年成立的包头冶金研究所设立了总共 100 多人的新稀土钢种研究室和金属物理研究室两个基本研究室。1978 年冶金部稀土在钢铁中应用领导小组成立，领导小组办公室设在包头冶金研究所。研究人员与国内稀土钢生产研究基地包钢、鞍钢、武钢、大冶钢厂和上钢三厂等合作解决了稀土在钢中应用的两大难题。一是稀土在钢中应用的机理；二是稀土加入方法。促进了稀土在钢铁中应用的逐步发展，稀土在钢中的应用研究和稀土钢生产取得很大成绩。80 年代后期，我国稀土钢年产量一度达到 100 万 t 以上，可正常供应 64 个钢号产品[3]。这些研究成果也推动了白云鄂博稀土在铁、有色金属和其他领域中的应用研究。

1.3.5　稀土分离研究

1967 年，采用 P_{204} 萃取法从包头稀土精矿碳酸钠焙烧硫酸浸出液萃取铈钍，制取 99% 氧化铈和混合氯化稀土产品。

1979—1982 年，完成 P_{507} 盐酸体系轻中稀土全萃取连续分离工艺实验，得到镧、铈、镨、钕、钐、钆六种单一稀土产品（纯度为 99.00% ～99.95%）和 91% ～99% 的氧化铕。1983 年稀土院和包钢稀土三厂在该厂建立试验车间并进行工业试验，1985 年转入生产运行，该工艺得到国内许多萃取分离厂采用，促进了我国单一稀土深加工产品的发展。

1.3.6　稀土金属与合金研究

包头稀土研究院于 1963 年针对白云鄂博矿开展了稀土氯化物熔盐电解制取稀土金属的研究。1972—1978 年，进行了稀土氧化物熔盐电解制取稀土金属的小型试验和扩大化试验。1983—1984 年，完成了“氧化物电解法连续制取钕－铁合金和金属钕”。1998—2001 年，完成了“万安培熔盐电解关键技术与成套设备的研制”。2005 年完成“25 kA 氟化物体系熔盐电解氧化钕工艺及设备研究开发”，氧化物电解生产金属钕工艺助推了我国钕铁硼行业的发展。

1.3.7　钕铁硼磁性材料研究

1983 年底，日本公布钕铁硼专利后，冶金部组织了以北京钢铁研究总院和包头稀土研究院作为组长单位的攻关团队，在一年内就完成了攻关任务，磁能积达到 38 MGOe。1985 年冶金部军工办决定在包头稀土研究院建设年产 40 t 钕铁硼中试车间，1987 年项目建成投产，标志着中国钕铁硼产业的诞生。1989 年谢宏祖团队提出了钕铁硼无氧生产工艺理论，同年，实验室规模钕铁硼永磁体磁能积达到 52.2 MGOe，超过了日本，成为当时国际上的最高水平。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.3.8 其它稀土材料研究

随着白云鄂博矿稀土分离、冶炼技术的突破及工艺技术的成熟和推广，稀土在各个领域中的应用不断拓展和深入。

1969年开始了稀土储氢材料的研究，1976年陆续研制出$LaNi_5$等多种储氢合金，1980年试制了我国第一辆使用$LaNi_5$储氢合金的汽车。

1969—1982年开展了铬酸镧发热材料的研究，1999年建设了“大尺寸等直径铬酸镧发热元件中试生产线”。

1988—1992年三基色荧光粉研究取得突破。

1987—2000年，持续开展稀土磁致伸缩材料的研究，并建立了中试生产线。非晶材料、靶材、抛光粉、磁制冷材料等一系列功能材料都陆续取得重大的突破。稀土元素的神奇作用在更广泛的领域里得到了拓展。

2 我国稀土产业的形成与发展

2.1 稀土产品出现与推广应用(1959年—)

1959年底，包钢稀土试验厂生产出第一炉稀土硅铁合金，标志着我国工业规模自制的第一个稀土产品诞生[4]。

H_{205}特效浮选药剂的工业化应用标志着白云鄂博稀土选矿技术的突破，也标志着从白云鄂博稀土矿中能够提供满足分离使用的各种品级的稀土精矿产品，该成果在白云鄂博矿综合回收稀土和其它地区稀土矿浮选生产中得到广泛应用。

北京大学教授徐光宪院士的稀土串级萃取理论的工业化应用使得稀土萃取分离技术提高到国际领先水平。单一萃取分离指标(品位和回收率)可以达到预先设计和人们所希望要求的指标。该理论在全国的推广应用使得我国稀土产业得到快速发展。

稀土产品在铸铁炼钢、有色冶金、玻璃陶瓷、橡胶塑料、石油化工、纺织印染等各个领域的应用推广，为稀土产业的形成奠定了基础。

2.2 稀土产业的形成(1986年—)

白云鄂博稀土资源科研的技术突破诞生了众多稀土应用产品。稀土产品的广泛应用和大量出口带来了巨大的市场需求，稀土企业如雨后春笋般蓬勃发展。稀土下游材料企业对原料的需求拉动了稀土矿的开采和分离厂的建设。随着稀土选、冶、分离技术的推广应用，我国四川和山东的轻稀土矿、南方以中重稀土为主的离子型矿、海滨沙矿和独居石矿逐步开发并形成规模生产。

2.2.1 矿产品加工

依托白云鄂博丰富的稀土资源，包钢为整个稀土下游用户提供稀土精矿粉和氧化物产品，创造了巨大的财富。

1997年，稀土行业的第一个上市公司“稀土高科”在上交所正式挂牌，标志着白云鄂博成为全国乃至全球最具竞争力的稀土原料基地。

2.2.2 单一氧化物和各种盐类制造

1997年，内蒙古稀土高科技股份有限公司年产3 000 t白云鄂博稀土氧化物分离工程开工。2002年3月，包头市京瑞新材料有限公司成立，主营产品为发光材料用荧光级氧化铕、氧化铽和氧化镝，其中氧化铕的产能为100 t/a。

2.2.3 金属和合金制造

1997—2001年，完成了万安培熔盐电解关键技术与成套设备的研制工作。2002年建立了包头瑞鑫稀土金属材料股份有限公司，利用白云鄂博资源形成了每年8 000 t稀土金属的产能。

2.2.4 功能材料

1990年，包头稀土研究院、南开大学、天津18所合作开展了镍氢电池的研究，并在广东中山开发区建立稀土储氢合金中间试验厂，1993年与中山开发区合资成立包钢中山天骄公司，生产稀土储氢合金。1984年，13所采用包头稀土研究院研制的2:17钐钴材料，装配在海空导航用微电机，性能超过原样机的15%～20%。2000年，成立“包头市蒙稀磁业有限公司”，专业生产钐钴永磁材料。

在1987年包头稀土研究院建立第一条年产40 t钕铁硼磁性材料生产线的基础上，2009年成立“包钢稀土磁材材料有限责任公司”，设计能力年产1万t磁体。

1995年，世界最大的稀土抛光粉企业包头天骄清美稀土抛光粉有限公司成立，利用白云鄂博资源形成近5 000 t稀土抛光粉产能。

1974年，荷兰的飞利浦公司成功研制了灯用三基色荧光粉之后，稀土发光材料产业飞速发展，中国稀土发光材料产能从1982年的1.2 t发展到2010年的8 000 t。

2.3 稀土产业的快速发展(2000年—)

进入21世纪，稀土产业迎来了快速发展期，由于我国经济快速发展的拉动及稀土下游产业需求不断增加，以钕铁硼产业为代表的稀土新材料产业的

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

快速发展引领了整个稀土行业的迅猛发展。

这一时期中国不仅成为钕铁硼磁体最大生产国，也成为世界钕铁硼磁体的最大消费市场。世界各国消费钕铁硼磁体的产业，例如光电子产业、医疗设备(MRI) 产业也在加速向中国转移。国内电动自行车产业、光电子产业及其他低端稀土永磁应用产业(如包装、装饰等行业) 也在高速发展。未来新能源汽车行业的发展对稀土永磁材料的需求将持续增大。

稀土应用领域不断拓展，应用产业规模不断扩大。稀土除在冶金、玻璃、陶瓷、石油化工、纺织印染等传统领域中应用外，在新材料、新能源和环保等产业的应用量也不断扩大。稀土磁性、催化材料产量年均增幅超过 15%，稀土磁性、发光、储氢等主要功能材料产量占全球总产量 70% 以上。国产汽车尾气催化剂和器件、稀土脱硝催化剂、高端稀土激光晶体、闪烁晶体、超高纯稀土金属和化合物和高性能稀土合金等关键制备技术取得突破也为稀土新材料应用注入了强劲动力。

经过 21 世纪十几年的发展，我国稀土产业集中度大幅提高，稀土冶炼分离企业从 99 个压缩到 59 个，冶炼分离产能从 40 万 t 缩减到 30 万 t，扭转了稀土矿山企业“多、小、散”的局面，六家稀土大集团主导市场的格局初步形成。稀土产品结构进一步优化，以资源开采、冶炼分离和初级产品加工为主的产业结构加快向以中高端材料和应用产品为主的方向转变，80% 以上的稀土产品被用于制造磁性、催化、储氢、发光、抛光等功能材料。

2.4　稀土行业的治理整顿(2011 年—)

2011 年是我国稀土行业不平凡的一年，稀土价格的非理性暴涨引发了非法开采猖獗，加工、贸易、出口等环节出现混乱局面; 稀土原料价格的上涨抑制了下游稀土的应用，下游应用企业积极寻求替代品，降低对稀土的依赖度，给整个稀土行业的发展带来了不利的影响。国外稀土资源的重启也将使我国在世界稀土领域的地位和影响力下降。

2011 年 5 月，国务院颁布了《国务院关于促进稀土行业持续健康发展的若干意见》(国发〔2011〕12 号) ，工业和信息化部、国土资源部、环境保护部等国务院有关部门相继出台了实施稀土开采、生产管理办法、环保和行业准入等政策措施。

2012 年 4 月 8 日，中国稀土行业协会成立，进一步促进稀土行业健康发展。

2012 年后，中国政府先后启动了国家稀土战略收储、稀土大集团组建，打击稀土行业违法违规行为专项行动，稀土矿产品和冶炼分离产品销售环节实行稀土增值税专用发票等一系列治理整顿政策和措施，对加强稀土行业的监管保护起到重要作用。但稀土原料产品产能过剩、行业集中度低，加上受欧债危机及中国经济减速影响，2012 年我国稀土行业呈现持续震荡走低的态势，全球稀土消费量跌破 10 万 t(REO) 。2013 —2014 年，受国内外宏观经济形势影响，稀土市场需求不足，稀土价格回弹乏力，中国稀土行业经受了较大的下行压力。2015 年后，面对取消稀土出口配额、调整关税和国内外市场持续低迷等形势变化，工信部会同有关部门，积极推进稀土资源税改革、加快大集团组建步伐、进一步打击违法违规行为、发展下游应用产业和稀有金属立法等重点工作。2016 年制定了《稀土行业发展规划(2016—2020 年) 》，为稀土行业“十三五”期间的发展指明了方向。

近年来，稀土行业认真贯彻落实《国务院关于促进稀土行业持续健康发展的若干意见》的要求，加强资源保护，积极推进上游产业重组，整顿流通秩序，实施稀土清洁冶炼工艺，提升装备技术，保持生产活动的稳定，为行业转型升级蓄积了发展力量，同时稀土开采、生产、出口秩序好转，行业发展保持良好势头。

3　对我国稀土产业发展的再认识

中国的稀土应用开发从白云鄂博的矿物研究开始到现在已走过近 60 年的历史，广大稀土科研人员在稀土地质勘探、采矿、选矿、分离冶炼等方面的技术突破和稀土在传统领域及新材料领域的应用研究极大地推动了行业的进步。随着我国战略性新兴产业、“中国制造 2025”、“互联网 + ”等国家战略的陆续实施，智能制造、高端装备、新能源、节能环保等新兴产业将加快发展，稀土作为支撑相关产业发展的重要元素，发展空间广阔。

稀土产业不同于其他传统工业，人们对刚刚发展了几十年的稀土产业的认识和把控还有待于进一步提高。如何把我国稀土产业的资源优势转化为经济优势和国力优势并且达到可持续发展，需要认真总结和研究，需要分析过去成功的经验，结合目前的形势和任务，对稀土行业的过去、现在和未来进行再认识。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

所谓再认识就是对稀土产业发展树立“创新、协调、绿色、开放、共享”的新理念。提出稀土发展新思路、新任务，结合当前面临的实际问题对稀土产业链的“资源、科研、生产、应用、市场”等各个方面进行重新审视。

3.1 稀土不稀的认识

自1957年白云鄂博矿床开采以来，一直按照铁矿开采，露天采场境界内圈定的铁矿体以外的含稀土围岩在开采过程中都按照稀土矿单独堆存起来，被开采的铁矿体选矿顺序是先选铁矿物再选稀土矿物。由于稀土的用量有限，稀土选矿只选出很小部分稀土精矿，大部分稀土矿物被排到尾矿库。白云鄂博铁矿石中稀土平均含量为6%，围岩中白云岩稀土平均含量为4%，按年生产铁矿石1 000万t计算，每年铁矿石和围岩中产出的稀土氧化物总量约100万t。

目前采纳的白云鄂博矿床储量数据仍是20世纪50年代的勘探数据，因受限于当时铁矿石的需求量和勘探技术手段，整个矿床并未完全勘探清楚，铁矿体外围和地表500 m以下就未做详细的勘查工作，因此，20世纪50年代勘探的稀土储量数据并不完整。

白云鄂博中重稀土绝对储量大。白云鄂博是一个以氟碳铈矿和独居石矿为主的轻稀土矿床，但由于其总体稀土含量高，储量大，重稀土资源不可小觑。白云鄂博铁矿石中仅钇、铕、钆、铽四种元素含量(质量分数)就超过500×10^{-6}，部分中重稀土元素含量还超过了我国南方离子型矿。

无论依据《中国的稀土状况与政策》白皮书中的储量数据，还是美国地质调查局公布的储量数据，白云鄂博储量都在千万吨以上。按照目前10万t/a处理量计算，是个不折不扣的百年矿山。

稀土在地壳中的丰度之和为236.3 mg/kg，远大于众所周知的有色金属铜、锌、铅、锡的丰度。随着稀土元素应用领域的不断扩大，特别是重稀土元素在高科技领域应用中的不可替代性，世界各国都在加快对稀土资源的勘探和开发，新的稀土资源也在不断被发现。由此可以得出：稀土并不稀少，只是赋存状态不同。因此，未来稀土行业发展必须树立绿色协调的稀土资源开发理念。

3.2 元素平衡利用的认识

稀土各元素在稀土独立矿物中是以类质同象方式存在，采选时无法将其分离。通过萃取分离技术的突破使得配分相对稳定的十几个稀土元素被同时分离成单一产品。由于下游应用领域对稀土各元素的需求量与稀土元素在矿物中的自然配分不一致，含量较少的镨、钕、镝、铽等元素在下游应用的拉动下，产销基本平衡，价格不菲；而配分含量达到75%以上的高丰度镧铈等稀土元素大量积压，价格低廉，从而大大降低了白云鄂博稀土资源的整体价值。如果高丰度稀土元素新的应用领域得不到扩展，用量得不到提升，各元素之间产销不平衡的问题将会严重影响整个稀土行业的可持续健康发展。因此，稀土元素平衡利用和协调开发的认识很重要。

3.3 稀土是添加剂的认识

无论稀土元素曾被比喻成“工业味精”还是“工业维生素”，稀土就是一种添加剂或是助剂，特别是在高端材料应用领域仅需要少量或微量使用。利用稀土元素的特殊电子结构和物理化学性能去影响或改变其他物质的性质，起到对其它物质改善或变性的作用。在传统应用领域或是新材料应用领域大比例加入或单一使用稀土元素的情况并不多见。稀土资源的价值主要通过添加稀土的材料或应用稀土材料的器件的应用端来体现，因此，做大稀土产业的出路在于促进稀土应用领域的扩大和产业链的延伸。稀土原料产业应与下游应用行业共同推进，树立开放、共享和协同发展的理念很重要。

3.4 依靠科学研究扩大稀土应用领域的认识

稀土的发展要靠需求拉动，必须以研究开发为手段，为稀土元素在日常生活及高端应用中确立应有的位置和作用。稀土的特殊性能在新材料的研究和开发过程中具有极其重要的价值。稀土在新材料中所起到的作用研究仅仅是开始，很多神奇的作用还未被显现，有待开发，加强稀土应用的科研开发将在我国新材料发展中发挥重要作用。

在寻求稀土在各领域中应用的科学发现和技术突破过程中，特别是针对白云鄂博资源的深度挖掘方面，科研人员需要沉下心来，对过去的工作进行审视，梳理已经解决或者尚未解决的问题。在此基础上，运用新发现和新技术将宝贵的稀土资源转变成为可以满足人们社会生活需要的新产品。

稀土的创新研究要为国内稀土产业的发展提供有力的科技支持，需要政府主导，要纳入国家战略。要联合国内外研究院所、学校、各方面专家，充分发挥现有国家重点实验室和国家工程中心等平台的引领作用，逐步将科研成果转化为现实生产力，实现工

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

业化生产，体现稀土资源的战略价值。总之，推动稀土应用的发展，离不开科学创新的理念。

3.5　稀土产业规模小，经不起炒作的认识

稀土产业目前规模还很小，全国仅有十几万吨交易量；不管是生产、储存、交易还是国内使用、出口，其量和价都经不起炒作，过度的炒作必然带来行业的灾难，稚嫩的稀土产业需要通过各方精心的培育和自身不断的科技创新理性发展。

3.6　加大科普宣传的认识

稀土知识普及不够是稀土发展被忽视的问题，造成对稀土应用推广许多不利的认识误区。在广大消费端群体中，必须通过科普的方式宣传稀土知识，消除以往的认识误区。

一是稀土有放射性的误区，自然界存在的稀土元素都不是放射性元素。但稀土矿物往往会与钍镭等放射性元素伴生赋存，但通过稀土分离工艺和对非稀土杂质的限制，稀土元素都已成为纯度级别较高的单一稀土产品，放射性元素都已留在废渣中按照国家相关规定进行了妥善保管和处置，所以稀土产品是没有放射性的。

二是稀土有毒的误区，人们的日常生活难免会接触到稀土应用产品，许多人要问：稀土对人体有害吗？虽然说没有明确拿到稀土对人体无害的证据，但稀土应用产品在人们日常生活中从未见到对人体有害的案例。特别是一些植入人体的人造医疗用品和添加稀土的药品，没有报道过稀土有毒、有害等作用。恰恰相反，近年来，稀土在医药、农业、养殖业和日常生活使用品中的应用越来越多了。

三是稀土只能用到高科技领域的误区，没有什么东西必须用到高科技的，在哪里最能体现价值就可以用到哪里，让市场平衡稀土的应用。

四是稀土用到低端日常用品是浪费的误区，富余元素大量堆存得不到利用才是最大的浪费，低牌号的铈铁硼磁材因价廉物美被应用于日用品造福百姓有什么不好？将镧、铈添加到农用肥料、饲料中，增产、增收有什么不好？

五是稀土产品价格贵用不起的误区，稀土含量最大的元素是镧和铈，1 t 镧铈氧化物 1 万多元，1 t 镧铈金属仅 3 万多元，比铜、锌、铅、锡、钴、镍、钼、铌等常见元素价格都低。何况所用之处都是加入少量。

六是稀土的开发生产一定会带来环保问题的误区，任何一个矿种的开发利用都会考虑环境问题，并采取保护措施。措施的执行结果是不同的，不能把为获取利益不遵守环保法规的“黑稀土”导致的后果与行业本身的清洁生产混为一谈，不能抹杀稀土行业冶炼分离生产为环保所作出的努力和取得的成绩。按照规范的工艺组织生产，稀土产业链是完全可以达到清洁环保的。

七是稀土用完了怎么办的误区。稀土不稀已回答了这一问题，何况多数稀土元素是可回收再利用的。稀土抛光材料、稀土磁性材料、稀土储氢材料、稀土催化材料及稀土发光材料使用后的产品中的稀土元素都可以循环再利用。然而这些看似很简单的问题普通消费者并不一定都清楚，必须通过科普的途径广而告之。

4　结束语

稀土产业是一个新兴产业，产业发展过程中涉及资源、科研、生产、应用和市场推广，乃至人才培养、资本投入等方方面面的问题，行业发展的巨大空间期待着各行业参与共同开发。本人在 2014 年 8 月 8 日包头稀土论坛上曾谈过，把稀土加到钢、铜、铝、镁等金属材料中，把稀土加到高分子材料、复合材料中，用稀土高效节能电机代替工业用传统的异步电机，中国稀土产业年稀土消耗量达到 100 万 t (REO) 就为期不远了。我们坚信只要每一个环节坚持“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念，中国稀土强国之梦必将实现。

参　考　文　献

[1] 林东鲁，李春龙，邬虎林. 白云鄂博特殊矿采选冶工艺攻关与技术进步 [M]. 北京：冶金工业出版社，2007.

[2] 黄林旋. 稀土矿物新型捕收剂——N－羟基环烷酸酰胺 [J]. 稀土，1983，(1)：66－68.

[3] 周兰聚. 钢中稀土加入工艺技术研究与应用 [J]，山东冶金，2004，26(1)：40－43.

[4] 崔臣. 内蒙古稀土(集团)公司产业状况和未来发展规划 [J]，稀土信息，2004，(9)：5－9.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net