

矿产资源综合利用在我国 铁矿石生产中的应用^①

李永徽

(冶金部马鞍山矿山研究院, 安徽马鞍山, 243004)

提 要 根据矿产资源现状及综合利用意义,扼要地对我国铁矿石资源综合利用所取得的选矿试验成果和在生产中的应用进行了综述,对其今后发展前景进行了探讨。

关键词 矿产资源 综合利用 铁矿石 选矿 尾矿

1 前言

当今世界的两大主题是和平与发展。人口膨胀、资源短缺、环境恶化是当今世界面临的三大挑战。而资源问题是可持续发展的核心问题。1986年3月19日我国人大制订了《矿产资源法》,1996年8月31日国务院又批转了国家经贸委等部门关于开展资源综合利用的意见,明确了资源综合利用是我国国民经济和社会发展中的一项长远战略方针,搞好资源的综合利用对于节约资源、改善环境、提高经济效益、促进经济增长方式由粗放型向集约型转变,实现资源优化配置和可持续发展都具有重要意义。如何提高矿产资源综合利用水平,为经济、社会的可持续发展提供良好的资源保证,是我们当前所面临的一个重要课题。

2 矿产资源综合利用的目的与意义

地球上的矿产资源是有限的,随着人类的开发利用,世界各国均存在资源日趋减少、品位不断下降的事实。据统计,到2000年,全世界将消耗现已查明的铁矿储量的1/5,钴矿储量的1/2,铅、锌、钨等矿储量的大部分,我国的铁、锰、铜、钾盐、金刚石等已知储量不能满足2000年的建设需要。因此,根据目前国际矿产资源态势及环境保护需要,对于贫、杂、难选冶的矿产,以及过去当作表外矿、废石、尾矿、粉矿和矿渣丢弃的废弃物的研究已迫在眉睫。前苏联、日本、美国、加拿大等国家都投入大量资金,从事矿产资源综合利用的研究和二次资源(废弃物)的开发。目前美国、日本的多金属矿山综合利用率达到76%~90%。近10年来,我国对矿产资源的综合利用与深加工的基础研究非常重视。如冶金部已将尾矿综合利用研究列入“九五”攻关项

^① 收稿日期:1997-08-06 审回日期:1997-09-05

目等。

矿产资源在自然界常常不是简单的一个个单一元素形成的矿床,而是以一种为主多种有用元素共生在一起的“一矿多矿”,因此要综合考虑,即综合找矿、综合评价、综合开发、综合利用。

综合利用矿产资源是一个包括技术、经济、政治、社会、环境等诸多因素的综合性概念,涉及矿石采、选、冶、加工的全过程。它通过对矿产资源的综合开采和采出矿石或废石的综合利用和回收,来获取最大的资源效益、经济效益、生态效益和社会效益,是促进新技术的开发和社会生产力持续发展的迫切需要和必然选择。

3 我国矿产资源的现状和特点

我国是世界上矿产种类比较齐全,储量规模较大的少数国家之一。从第30届国际地质大会资料获悉,截至1994年底我国矿产资源基本状况是已发现矿产168种,矿产地20多万处,已探明储量151种,矿产地2.3万处。我国目前有95%以上的一次性能源、89%以上的工业原料和大部分农业生产资料均来自于矿产资源。我国已探明矿产资源总量较大,约占世界的12%,其总值为91.66万亿元,为世界第三资源大国,仅次于美国和俄罗斯。但是我国人均占有量仅为世界人均占有量的58%,居世界第53位。

我国矿产资源的基本特点是:总量丰富但资源相对不足;分布广泛但分布不均;有贫有富,贫矿多,难选矿多;综合矿多,其中80%的铁矿属贫矿类型矿床;规模有大有小,以中小型为主;有丰有欠;一些重要矿产探明储量不足,一些矿紧缺矿种(如铁、锰、铜、钾、硼、铬、金刚石、铂等),到2020年我国将出现矿产资源全面紧张的严重局面。

目前,我国矿产资源消费量是1949年的40~50倍,铁矿达100多倍,我国矿产资源使用从1949年的40~50种发展到现在的156种,我国的资源无论在储备还是开发利用和消费上与世界平均水平和发达国家水平相比都有较大差距。

铁是工业发展的基础,是衡量一个国家工业发展程度的标志之一,因此本文着重阐述铁资源的综合利用。

4 我国铁矿及其特性

铁是宇宙、地球、地壳中的常量元素,是克拉克值最大的元素之一,是地球内分布最多的化学元素,其地球丰度为32.5%(氧29.1%,镁16.2%,硅13.4%,硫3.8%),地壳的铁丰度为5.8%,铁具亲铁、亲硫、亲氧的三重性,其副族元素还包括钴、镍称为铁系元素。铁在地壳中所发生的一切成矿作用过程中,往往以化合物形式富集而形成内生、外生和变质矿床。

地球上的铁矿物已发现约300多种,常见的有170余种,在当前技术条件下,我国具有工业利用价值的铁矿物主要是:磁铁矿(Fe 72.4%, O 27.6%)(包括钛磁铁矿、钒磁铁矿、钒钛磁

铁矿、铬铁矿)、钛铁矿(FeTiO_3)、赤铁矿(Fe 69.94%, O 30.06%)(包括镜铁矿、鲕状或肾状赤铁矿)、褐铁矿($\text{FeO}(\text{OH})$)(包括针铁矿、纤铁矿)和菱铁矿(FeCO_3)。

铁矿石根据矿物组分、结构、构造和采、选、冶等特点分为两大类:1)自然类型铁矿石;①根据含铁矿物种类可分为:磁铁矿石以及由其中两种或两种以上含铁矿物组成的混合矿石;②按有害杂质(S 、 P 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 V 、 Ti 、 Co 、 Ni 、 Sn 、 F 、 As)含量高低,可分为高硫铁矿石、低硫铁矿石、高磷铁矿石、低磷铁矿石等;③按结构、构造可分为浸染状矿石、网脉浸染状矿石、条纹状矿石、条带状矿石、致密块状矿石、角砾状矿石以及鲕状、豆状、肾状、蜂窝状、粉状、土状矿石等;④按脉石矿物可分为石英型、闪石型、辉石型、斜长石型、绢云母绿泥石型、矽卡岩型、阳起石型、蛇纹石型、铁白云石型和碧玉型铁矿石等。2)工业类型铁矿石:即表内矿石和表外矿石。

我国不同成因类型铁矿储量所占比例为:受变质沉积型 57.7%,接触交代-热液型 12.7%,岩浆晚期型 11.6%,与火山-侵入活动有关类型 4.74%,风化淋滤型 1.09%,沉积型 8.66%,其它类型 3.4%。我国不同类型铁矿石探明储量所占比例:磁铁矿石 55.4%,赤铁矿石 18.1%,钒钛磁铁矿石 5.3%,混合矿石 2.3%,菱铁矿石 14.4%,褐铁矿石 1.1%,镜铁矿石 3.4%。

我国铁矿资源不仅储量大,总储量接近 500 亿吨,大小产地 1760 处,而且矿产类型较多,有的矿产类型如白云鄂博铁矿还是我国特有的铁、稀土、铌等多金属共生矿床,其中的稀土矿已探明的工业矿量约为全国稀土矿量总和的 5 倍多。但是,我国铁矿资源中,贫矿多富矿少,共生、伴生矿多,矿石组份比较复杂,矿物嵌布粒度大多较细,给选矿造成一定困难。我国铁矿资源虽然总储量排在世界前列,但人均占有量却很少,远不如前苏联、巴西、澳大利亚,也不如加拿大和印度,因此,在开采和综合利用上更须注意科学性与合理性。

据 1990 年资料可知,我国含共(伴)生组份的铁矿储量为 148.2 亿吨,占全国探明总储量的 27.89%。共(伴)生有益组份多的铁矿类型,主要是接触交代-热液型,岩浆晚期型和与火山-侵入活动有关型的矿床,有益组份主要有: V 、 Ti 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Co 、 Ni 、 Se 、 Sb 、 W 、 Sn 、 Mo 、 Au 、 Ag 、 Cd 、 Ga 、 In 、 U 、 B 、 Ge 、 Nb 、 S 、稀土、石灰石和煤等 30 余种,其中最主要的是 Ti 、 V 、 Nb 、 Cu 、 S 和稀土等,不同类型铁矿中共(伴)生组份资料见(表 1)。

5 我国铁矿石资源的综合利用

由于铁元素的地球化学性质所产生的某些铁矿的基本特点之一就是共生或伴生较多的有用组份,当铁矿床中的伴生元素达到一定含量指标时,即应注意综合利用与评价(表 2)。因而铁矿石的综合利用就是一个必须解决的问题。我国首先开展这一工作的是大冶铁矿(1958 年),但影响深远的则是攀枝花和白云鄂博铁矿的综合利用。

(一)以沉积变质为主,热动力变质-热液作用多次叠加改造的白云鄂博铁矿综合回收稀土

白云鄂博铁矿是一个以铁、稀土、铌、萤石为主的多金属共生矿。其特点是以贫、细、杂、难选而闻名于世。氟碳酸盐类的氟碳铈矿和磷酸盐的独居石是国内外提取稀土元素最主要的两种矿物。该矿主、东矿稀土矿物主要是上述两种矿物,它们分别占国内总储量的 60%~70%和

30%~40%，另外尚有少量的磷铜锆矿、氟碳钙铈矿、氟碳钡铈矿、方铈矿和黄河矿等 12 种稀土矿物，是我国最主要的稀土资源。

表 1 我国各类型铁矿共(伴)生组份一览表

Table 1 Elements associated with ore in various types of iron deposit in China

矿床类型		分布地区	主 要 矿 物		铁及共生、伴生组份		
			矿石类型	脉石矿物	TFe 品位(%)	共生组份	伴生组份
沉积铁矿		湖北、四川、湖南、河北、陕西、广西、贵州	赤铁矿与菱铁矿互为主次	绿泥石(鲕绿泥石)、石英、粘土矿物	20~50	Ga	
受变质沉积铁矿		辽宁、河北、山西、陕西、海南、安徽、甘肃	磁铁矿(赤铁矿、假象赤铁矿)、赤铁矿、菱铁矿	石英、角闪石、辉石、绿泥石(或有较多长石)	<35(个别富矿达 55~60)	重晶石(个别矿床)	
岩浆晚期铁矿	分异型铁矿	四川、陕西、新疆、河北	钛磁铁矿、钛铁矿、硫化矿物	辉石(钛辉石)、斜长石、橄榄石、角闪石	22~35	V ₂ O ₅ 、TiO ₂	Ni、S、Co、Sc 等
	贯入型铁矿	河北	含钛磁铁矿、钛铁矿、硫化矿物	斜长石、辉石、绿泥石、角闪石、磷灰石	20~45	V ₂ O ₅ 、TiO ₂	
接触交代-热液铁矿		遍及全国，安徽、山东、河北、湖北、福建、新疆、广东等最多	磁铁矿、假像赤铁矿(少数矿区有菱铁矿或镜铁矿)，次为黄铁矿、黄铜矿	透辉石(阳起石)、石膏子石、绿泥石	30~60	S、Cu、Co	Au、Ag、W、Sn 等
与动火山关侵入铁活矿	陆相火山岩	长江中下游	磁铁矿(赤铁矿)、假象赤铁矿、黄铁矿	透辉石、阳起石、石膏子石、硬石膏、磷灰石	40±		S、P、V ₂ O ₅
	海相火山岩	云南、新疆	磁铁矿与赤铁矿互为主次，有些矿区有菱铁矿、假像赤铁矿	石英、斜长石、铁绿泥石		Cu、Co	S、P、V ₂ O ₅
风化淋滤型铁矿		广东、广西、贵州、山东	褐铁矿(少量赤铁矿)	石英、方解石、粘土矿物	35~60		
其他类型		内蒙、吉林	磁铁矿、赤铁矿、铌铁矿、易解石、独居石、氟碳铈矿等	萤石、钠辉石、钠闪石、白云石、石英	32~36	REE、Nb	CaF ₂

资料引自《中国铁矿志》，1993

表 2 铁矿石中伴生组份(部分)综合利用参考指标

Table 2 By-products of iron ore

元素或组份	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Mo	S	V ₂ O ₅	U	Sn	TiO ₂
含量(%)	0.02	0.1~0.20	0.1~0.2	0.2	0.5	0.02	2~4	1~2	0.005	0.1	5

资料引自《中国铁矿石选矿生产实践》，1992

为合理利用白云鄂博稀土资源，从 50 年代后期起，一些院校科研单位结合对稀土矿进行了大量的选矿试验。如其中的弱磁-强磁-浮选工艺试验研究成功(表 3)，对铁、稀土的综合回收是白云鄂博中贫氧化矿选矿技术上的重大突破，也是 30 多年来包头矿选矿研究和技术攻关史上最重大的成绩。目前白云鄂博稀土矿年生产能力已达数万吨，产品有品位从 30%到 68%的各种品级的氟碳铈矿-独居石混合稀土精矿及品位 68%的氟碳铈矿精矿。已经成为我国重要的钢铁、稀土和铌的重要生产基地。

表 3 白云鄂博矿稀土浮选尾矿多元素分析结果

Table 3 Analysis of tailing from floatation of Baiyunebo Fe-REE ore

元素或组分	TFe	Nb ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	F	P	K ₂ O	Na ₂ O	S	REE
含量(%)	24.49	0.20	14.08	1.29	16.05	3.16	8.81	0.74	0.60	1.79	1.06	6.17

资料引自《矿产保护与利用》,1997.1

(二)岩浆晚期分异攀枝花钒钛磁铁矿综合回收钛铁矿

攀枝花铁矿石的特点:1)磁选尾矿矿物组成复杂,浸染粒度不一,含 Fe 13%~15%、TiO₂ 7.5%~9%、Co 0.013%~0.016%、MgO>3.0%、CaO 0.3%~0.4%,主要金属矿物为钛铁矿(粒度 0.1mm~1.7mm)、钛磁铁矿和硫化物;钛普通辉石和斜长石是主要脉石矿物;硫化物主要是磁黄铁矿;少量富含钴、镍矿物。2)分布于钛铁矿中的 TiO₂ 占 82.5%。3)钴 52.7%分布于硫化物中,其中约 50%分布于 0.04mm 粒级。4)0.315mm 粒级含 TiO₂ 低,可作为尾矿预先除去。5)钛铁矿含 TiO₂ 50.50%,含 MgO 4.87%。分析研究表明,采用不同选矿流程可获得不同品级的钛精矿,为此一些院所进行了重选-电选;强磁-浮选;重选-强磁-浮硫钴-电选等流程试验得到了品位为 TiO₂>46%的优质钛精矿,增加年经济效益 734.85 万元的成就。

(三)矽卡岩型铁矿综合回收铜、硫、钴

矽卡岩型含铜、铁矿床在我国铁矿石的工业储量中,占有相当重要的位置(占总储量的 8%,富矿储量的 40%),其特点是:金属矿物除磁铁矿和赤铁矿外,还伴生有以铜为主的硫化矿和贵金属矿物,如黄铜矿、辉钴矿、金、银等。该矿石分原生矿、氧化矿和混合矿。根据其含铜高低又分为高铜矿石和低铜矿石。

对该类型的共生铜、硫、钴的分离回收主要选矿流程有(1)浮选-磁选(如湖北大冶铁矿,大洪山铁矿、新疆雅满苏铁矿、江苏冶山铁矿等)。(2)磁选-浮选(如湖北程潮铁矿、云南大红山铁铜矿)。(3)磁选-重选-浮选(如鲁中铁矿)。通过以上选矿流程研究,可分别获得相应的精矿:Cu 12%~18.91%、Fe 64.36%~65.90%、CoO 0.185%~0.298%、S 39.88%;回收率 Cu 45%~70%、Fe 86.42%、CoO 19.60%~41.76%、S 93.22%。

(四)高、中温热液交代型宁芜式铁矿综合回收硫、磷

上海梅山铁矿是一富铁高硫、磷的矿床,矿石含 S 达 2.5%,经磁选-重选-浮选流程使硫品位从 30.60%提高到 42.39%;铁品位由 46.81%降到 42.68%,减少铁损品位 4.13%。该矿为深化综合利用,还建成一座年产两万吨的硫酸厂可回收含铁 64%、S<0.5%、SiO₂ 12%的硫酸渣,可使金属回收率提高 1.5 个百分点,一年创产值 912 万元。

马钢南山铁矿中伴生硫、磷矿物,采用弱磁-中强磁-硫浮选-磷浮选流程,从尾矿中获得磷矿品位 16.20%~16.47%,回收率 89.76%~81.05%,硫精矿品位 42.79%~45.05%,回收率 84.07%~82.39%,达到了预期设计指标,每年可回收磷精矿 20 万吨、硫精矿 6 万吨。

6 我国铁矿石废弃尾矿的综合利用

凡有矿产资源且进行选矿加工的国家都有大量尾矿产生。据有关资料报导,世界各国每年

采出的金属、非金属矿石、煤、粘土等在 100 亿吨以上。排出的废石和尾矿约 400 亿吨,其中尾矿约 50 亿吨。我国根据铁矿石、辅助原料矿石、有色金属、稀有金属矿石及黄金、化工矿石等的产量,每年排出的尾矿量也高达 5 亿吨以上。因此尾矿是一种相当大的二次资源,其综合利用具有相当大的意义。

废弃尾矿是指选出铁矿物及其它有用组份后的最终尾矿。由于我国铁矿石绝大多数需经选矿方能进入高炉冶炼,以致积存大量尾矿。据冶金部 1989 年资料,我国 34 个铁矿床每年处理铁矿石 1.064 亿吨,选矿排出的尾矿达 6223 万吨,尾矿库存放总量已达 5 亿立方米以上,既占据大量土地,又污染环境,成为国家和矿山企业亟待解决的问题。

铁矿尾矿利用包括两方面内容:一是尾矿再选再回收有用矿物,其精矿供冶金应用。如辽宁歪头山铁矿,广东连南铁矿、新丰铁矿、安徽姑山铁矿、范塘铁矿,山东威海市铁矿,太钢峨口铁矿等。通过尾矿再选工艺使各矿尾矿铁精矿品位及回收率都得到提高,达到尾矿再利用目的;二是尾矿的直接应用,通过有关矿山及院所研究使尾矿用作建材、轻工、化工、肥料、新材料和造地复田。通过对尾矿的提纯,超微细粉碎、表面改性处理等方法,研制出高质量的陶瓷原料、填料以及油漆、涂料、塑料等。

例如马钢姑山铁矿利用高硅、铁尾矿制做空心楼板、砖及装饰面料;黄梅山铁矿利用高硅、铝的细粒尾矿研制出高质量墙地砖;马鞍山矿山研究院利用“鞍山式”铁矿细粒尾矿和碎大理石、花岗岩以水泥为粘结剂研制成人造大理石;对凹山选厂含钙、镁、磷的磁选尾矿进行生产肥料和土壤改良剂的研究;歪头山尾矿经强磁选处理获得含 SiO_2 90%、 TFe 0.6% 的绿色玻璃原料;首钢与地科院利用大石河和水厂铁矿尾矿研制出墙地砖、陶瓷及玻璃,还研制成铁系陶瓷釉料等。

虽然我国铁矿资源尾矿综合利用进行了研究工作,取得许多成绩,但是我国大多数铁矿资源尾矿还未被利用或处在实验阶段。

7 我国铁矿石资源综合利用前景与展望

矿产资源的综合利用与深加工途径很多,但需要根据矿石性质、元素赋存状态以及所处区域的外部条件等选择合理的利用方法,才能提高矿产资源综合利用与深加工水平。

1) 我国铁矿三大综合利用基地:包钢、攀钢、武钢及其相应矿山在伴生元素的选矿综合回收方面已取得了一定的成就,特别是包钢的稀土、攀钢的选钛、武钢大冶的铜、硫、钴等,但是存在分选技术难度大,回收率不高等问题,其中包钢白云鄂博矿石中的铈、攀枝花矿石中的钴、铬、镍、铂、钽、镓以及武钢程潮铁矿的铜、钴等资源还有待综合回收。

2) 我国贫铁矿石中难选的弱磁性铁矿石占 32%,含多种金属约 100 多亿吨,为选矿的综合回收和尾矿再生增加了难度,但也提供了广阔应用前景。

3) 尾矿是可供利用的再生资源。我国铁尾矿库存放的尾矿总量已超过 5 亿立方米,目前每堆放 1 吨尾矿的管理费已高达 2 元~3 元,每年需耗资 1.25 亿元以上。最近我国完成的《全国环境保护工作纲要》规定包括铁矿尾矿在内的固体废料综合利用率要达到 45%,可见铁矿石

尾矿的再选和利用十分必要,意义重大。它是跨行业、多学科的资源综合利用的大型研究课题,具有广阔的前景。

4)在铁矿石加工选冶过程中,往往产生大量的尾矿水和粉尘对周围环境造成严重污染,尤其是浮选尾矿水中的有害组分严重污染水源,因此对废水和粉尘污染的治理也势在必行,不可忽视。

8 结束语

矿产资源是人类生存和社会发展的物质基础,又是一种不可再生的天然原料资源。我国矿产资源虽然丰富,但贫矿多、富矿少;共、伴生复合矿多,单一矿少,分布不均衡,而随着矿石产量的增加,采、选、冶、运的难度越来越大,生态环境遭受破坏的程度也越来越严重。因此,合理利用矿产资源,保护人类赖以生存的环境,其重要性越来越显得突出。

二十一世纪面临矿产资源短缺,必将开发利用贫、细、杂的矿产资源,综合开采利用包括围岩在内的矿产,尽可能进行无尾矿或少尾矿选矿、节约矿产资源、延长资源服务年限、减少开采成本、提高经济效益,这将是二十一世纪矿产资源综合利用的主要方向。

矿产资源综合利用是一项功在当代,利及千秋的事业。未来强国是属于拥有矿产资源、合理利用矿产资源并重视环境保护的国家。

参考文献

1. 涂光炽,等. 谈矿产资源的综合找矿、综合评价、综合开发与综合利用. 矿产综合利用,1982,(1)
2. 刘英俊,等. 元素地球化学. 科学出版社,1984,10
3. 黄宝茅. 资源综合利用与环境保护. 第五届全国选矿新技术、新产品交流会论文集,1997,6
4. 《中国铁矿石选矿生产实践》编委会. 中国铁矿石选矿生产实践. 南京大学出版社,1992,3
5. 《中国铁矿志》编委会. 中国铁矿志. 冶金工业出版社,1993,12
6. 《第五届全国矿产资源综合利用学术会议》筹备组编. 第五届全国矿产资源综合利用学术会议论文集. 冶金工业出版社,1996,10
7. 《中国矿床》编委会. 中国矿床(中). 地质出版社,1994,11
8. 中国地质矿产信息研究院. 中国矿产. 中国建材工业出版社,1993,7

COMPREHENSIVE UTILIZATION OF MINERAL RESOURCES IN CHINA'S IRON ORE PRODUCTION

Li Yonghui

(Maanshan Mining Research Institute, MMI, Anhui, 243004)

Abstract

In view of the present state and future situation of China's mineral resources, the achievements obtained in the mineral processing tests in the comprehensive utilization of China's iron ore resource and their application in production are reviewed and their future development prospects are discussed.

Key words: mineral resource comprehensive utilization iron ore mineral processing
tailings