

我国金红石矿资源分布、开发及技术现状

吴贤*, 张健, 康新婷, 黄瑜

(西北有色金属研究院, 陕西 西安 710016)

摘要:天然金红石是制取钛白粉、海绵钛、四氯化钛等钛系列产品的优质原料。我国金红石矿资源丰富,广泛分布于湖北、山西、河南、陕西、安徽、江苏、广东、广西、海南等多个省区。原生金红石矿是我国金红石矿的主要工业类型,其占金红石资源总储量的86%,而金红石砂矿仅为14%。目前,我国开发利用的金红石矿主要是海滨砂矿,原生金红石矿仅限小规模开发,其主要原因是因为我国原生金红石矿品位低、粒度细、矿物组成及互相嵌布关系复杂,一些主要伴生的有用矿物与金红石矿物的可选性差别较小,采用单一选矿方法难于分离。金红石矿开发采用的选矿技术主要有重选、磁选、浮选、电选和酸浸,其选矿工艺是由以上两种或两种以上选矿技术组成的联合工艺。选矿工艺复杂,流程长,建厂投资大,经济效益低下,是我国金红石矿开发存在的主要障碍。

关键词:金红石; 选矿技术; 重选; 磁选; 浮选; 电选; 酸洗

中图分类号: TD954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7076(2007)-0146-05

金红石是已知70多种含钛矿物中最重要的钛矿物之一,含 TiO_2 90%~99%,比重为4.2~4.3、硬度6~6.5。天然金红石是制取钛白粉、海绵钛、四氯化钛等钛系列产品的优质原料。用金红石为原料,采用氯化法生产高档钛白粉具有增白能力强、高分散性、化学性质不活泼、白度、遮盖力好等优良指标,而广泛用于涂料、塑料、搪瓷、橡胶、油墨和化纤等行业^[5]。近年来随着我国钛工业的飞速发展,对其原料金红石需求量急剧增加,因此加速该种矿产资源的开发,势在必行。

1 我国金红石矿资源分布现状

金红石矿主要分为原生金红石矿和金红石砂矿两大类型。到目前为止,我国已发现金红石矿床、矿化点88处,分布于17个省、市、区,以湖北、河南、陕两、江苏、山西及山东为主(占全国总储量的96%)。经过勘查的有50处,探明储量大约 $1530 \times 10^4 \text{ t}$ (金红石 TiO_2)。其中大型矿床9个,储量约 $1400 \times 10^4 \text{ t}$ 。占总储量的91%;中型矿床10个,储量 $84 \times 10^4 \text{ t}$,占总储量的5.4%^[1]。大型矿床中,岩矿型矿床6个,占总储量的89%左右。砂矿型矿床3个,占总储量的11%左右。选矿回收率较高粗粒型矿床1个,仅占总储量的6%。断续开

发的有9处。上述矿床,其中有9处是近期内(1985~1995)发现或勘查的,新增储量 $700 \times 10^4 \text{ t}$ 。我国金红石矿大部分为低品位的原生矿,其储量占全国金红石资源的86%,砂矿为14%^[2]。

1.1 原生金红石矿的分布

我国天然金红石矿主要是原生金红石矿,已上平衡表的矿区有20多个,再加上一些尚未上平衡表的伴生、共生矿区共30多处,主要分布在湖北、山西、河南、陕西、安徽、江苏等省区^[3]。

湖北省枣阳市大阜山金红石矿和山西省代县碾子沟金红石矿是目前国内已发现的规模最大的两个产地,其占全国金红石矿资源总储量的97%。现在我国已探明的金红石矿有:湖北枣阳大阜山金红石矿,是目前国内地质工作程度最高的金红石矿,此矿床既有原生矿又有砂矿。70年代初期累计探明原生金红石矿 TiO_2 储量 $556.93 \times 10^4 \text{ t}$ (B+C+D级),其原矿品位平均 TiO_2 含量为2.32%;金红石砂矿 TiO_2 储量为 $10 \times 10^4 \text{ t}$, TiO_2 含量为0.6%~1.71%^[4]。

山西省代县碾子沟金红石矿,是我国金红石矿的主要产区,矿石储量居全国第二位。该金红石矿主要由义成沟、张山沟、碾子沟、羊延寺和刘家沟5个矿区组成。已探明的矿石储量为 $6934 \times 10^4 \text{ t}$, TiO_2

收稿日期: 2006-11-09; 修订日期: 2007-01-19

作者简介: 吴贤(1962-),女,陕西人,学士,高级工程师;研究方向:选矿、湿法冶金

* 通讯联系人 (E-mail: xby.wuxian.163.com)

储量为 250 多万 t, 远景矿石储量可达 3 亿多 t。其原矿 TiO_2 平均含量为 1.92 %^[5]。该矿虽然矿石品位低, 但金红石嵌布粒度较粗, 且矿石易采、易选, 储量丰富, 金红石纯度高, 杂质少, 开发利用条件较好, 可综合回收钛铁矿、磁铁矿。

河南省金红石矿床自北向南可划分为方城、西峡、新县三个较大的金红石成矿带。河南方城一带金红石矿, 已详查 TiO_2 储量 $397 \times 10^4 \text{ t}$, 已控制储量达 $1000 \times 10^4 \text{ t}$, 预测整个矿区资源总量可在 $5000 \times 10^4 \text{ t}$ 以上, 其 TiO_2 平均品位为 2.22 %。河南西峡八庙金红石矿, 仅水峡河段已探明金红石 TiO_2 储量 $45 \times 10^4 \text{ t}$, 平均品位 2.86 %, 预计整个矿区远景金红石储量 $2250 \times 10^4 \text{ t}$ ^[6]。河南新县金红石矿, 已探明储量 TiO_2 $81.57 \times 10^4 \text{ t}$, 其平均品位为 1.65 %。

陕西省安康市镇坪县发现金红石矿, 目前已探明 TiO_2 储量 $63.0184 \times 10^4 \text{ t}$, 矿石 TiO_2 含量 3.33 % ~ 6.3 %, 平均品位 4.16 %。安康大河熊山沟金红石矿 TiO_2 储量为 $14.98 \times 10^4 \text{ t}$, 平均品位 3.62 %。陕西商南县金红石矿, 已探明 TiO_2 储量 $60 \times 10^4 \text{ t}$, 预测远景储量 $150 \sim 200 \times 10^4 \text{ t}$, 矿石平均品位 1.91 %。陕西户县大石沟金红石矿和蓝田县古庄沟金红石矿均有一定规模, 但品位低、粒度细, 目前难以利用。

四川会东新山金红石矿, 为一特大型原生矿床, 现已探明 D 级储量 1740 多 $\times 10^4 \text{ t}$, TiO_2 平均品位高达 4.17 %, 矿体巨厚, 出露地表, 覆盖层薄, 开采比低, 适宜露天开采。

江苏省新沂市、东海县金红石矿是区域变质榴辉岩型原生金红石矿床。矿石中富含石榴石、绿辉石和磷灰石等, 其 TiO_2 平均品位高达 3.3 %。新沂市北沟镇白石村探明的金红石储量超亿吨。新沂市阿湖镇金红石总储量 $61.532 \times 10^4 \text{ t}$, 含量 2.4 % ~ 6.9 %, 产出率 88 %。东海县的金红石矿, 经详查可上平衡表的金红石 C + D 储量为 $507.493 \times 10^4 \text{ t}$, 平均品位 TiO_2 为 3.39 %^[7], 主要分布在陆湖、青龙山、安峰、石湖、曲阳一带, 有大大小小 200 多个榴辉岩体, 其中以安峰乡毛北岩体为最大, 南北 2200 多米长, 东西 100 ~ 300 m 宽, 储量达 250 多 $\times 10^4 \text{ t}$, 已查明的 1 号矿体, 矿石中金红石含量为 2.3 %, 最高达 5.28 %, 深芷厚度仅为

1 m。另外据化工部郑州物探大队资料, 赣榆县石桥镇芦山脚下的榴辉岩型金红石矿, 推测金红石资源量在 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 以上。该类矿床特点: 规模大, 矿体厚, 品位高, 储量集中, 露头矿, 交通方便, 开采条件优越。

安徽省大别山南部潜山、太湖一带不仅分布有金红石砂矿, 而且发育有超高压变质榴辉岩型的巨型原生金红石成矿带, 金红石矿体产于榴辉岩中, 矿石中 TiO_2 一般含量为 1.6 % ~ 3.68 %。据估计大别山地区原生金红石矿储量可达千万 t 以上^[8]。

山东省诸城市上崔家沟金红石矿, 属近年来新发现的一种榴辉岩型金红石。具有规模大, 矿化均匀、便于开发利用的特点, 初步计算, 金红石的地质储量大于 $20 \times 10^4 \text{ t}$, 可达大型金红石矿床规模。其金红石 TiO_2 含量为 1 % ~ 2 %。

此外, 近年河北省保定市涞水县也发现了大型金红石矿属原生矿, TiO_2 含量为 3.87 %; 湖北省黄石市罗田县—英山县一带也蕴藏着大量榴辉岩型金红石资源, 其金红石矿品位高, TiO_2 含量为 2.5 % ~ 4 %。近日媒体报道, 在内蒙古发现世界首例新成因类型的大型金红石富矿床, 并伴生有钛铁矿, 其金红石品味为 4 % ~ 15 %, 平均品位为 8 %, 比我国已探明的原生金红石矿的品位高 3 ~ 5 倍; 现有资料表明, 该金红石矿资源量超过 20 万吨, 远景资源量高于 50 万吨。

1.2 金红石砂矿分布

金红石砂矿包括海滨砂矿和残坡积风化壳型金红石矿。全国共有金红石砂矿 27 处, 均属小规模矿床^[9]。海滨砂矿型金红石矿主要分布在海南、广东、广西、福建等省。其中海南有 28 个锆英石矿中伴生有金红石矿, 平均金红石含量为 1 ~ 2 kg m^{-3} , 总储量 $1.9 \times 10^4 \text{ t}$ 。风化壳型金红石矿主要分布于河南、山东、湖北、湖南、陕西等省区, 其次为广东、广西、福建、安徽、江苏等省区。河南方城柏树岗金红石矿为其中规模最大者, 其次为陕西省商南金红石矿和山东莱西县南墅与石墨矿伴生的金红石矿。此外还有安徽潜山黄铺古井金红石矿、河南新县红显边金红石矿、山东诸城市上崔家沟金红石矿、湖北枣阳大阜山金红石矿、

湖南湘阴的望湘、岳阳的新墙河、华容的三郎堰。其中河南省金红石砂矿表内储量(218.45×10^4 t), 占全国同类储量(256.86×10^4 t)的85%, 山东省(17.68×10^4 t)占6.9%, 湖北省(9.24×10^4 t)占3.6%, 湖南省(6.99×10^4 t)占2.7%, 安徽省占1.15%, 海南省占0.58%。该类矿床虽然规模较小, 储量低, 但由于具有易采、易碎、易选等特点, 目前是我国金红石矿开发的主要矿石类型。

2 我国金红石矿开发现状

目前, 我国金红石矿的开发利用尚处于初级阶段, 年产量大约2500 t, 且90%来自砂精矿。金红石砂精矿的主要产地为广东、广西和海南, 没有一定的生产能力。我国原生金红石因品位低、粒度细、矿物组成复杂且可选性差^[10], 回收率低, 至今未被大规模开发利用, 造成国内金红石矿资源紧缺的局面。湖北枣阳大阜山金红石矿于1972年首先开采利用, 是我国原生金红石矿开发最早的。至1988年, 该矿累计生产2000余吨金红石精粉, 选矿回收率仅有21%~26%。由于该矿金红石品位低、粒度细、且与钛铁矿连生, 生产规模太小, 选矿技术不过关等原因, 致使企业于90年代初停止生产。河南西峡金红石矿, 当地于1987年和1988年先后投入500多万元兴建了三座金红石选厂。但由于该金红石矿物组成复杂, 金红石嵌布粒度细, 分选难度大, 选矿工艺研究不过关, 致使建起的三座金红石选矿厂均不能产生经济效益而停产。山西省代县金红石矿于1986年建成, 1987年试生产, 设计生产能力为300 t精粉/年, 现生产能力已增加至年生产精粉700~800 t。此外在山东省和安徽省也有少量生产, 年产量仅几百吨。

3 金红石矿的选矿技术现状及采用的设备

金红石矿是由多种矿物组成的复杂矿, 其精矿产品要求 TiO_2 含量超过87.5%以上。因此金红石矿的选矿工艺必须采用多种选矿方法: 如重选、磁选、浮选、电选、酸洗等组成的联合选矿工艺, 才能获得高质量的金红石精矿产品。

3.1 重选

重选是根据矿物的密度不同而进行分选的方法, 具有生产成本低, 对环境污染少的优势。重选最适合于处理砂矿型金红石矿, 但在分选原生金红石矿, 重选作为富集手段, 往往是必不可少的。在金红石矿选别中, 重选脱泥、抛尾作为粗选作业, 常采用螺旋溜槽: LL-600, LL-900, LL-1200 mm \times 720 mm等设备可以抛弃大部分的矿泥; 采用摇床作业, 可以把石英、电气石、石榴子石以及一部分白钛石作为尾砂分选出去, 金红石富集在摇床中矿和精矿中。如: G-S摇床主要用于金红石砂矿选别^[11], YF-T2L细砂摇床和YF-T3L矿泥摇床可用于原生金红石矿的选别。此外近几年研制出的处理细粒、微细粒矿石的先进新型设备-离波摇床是一种以多种力场作用为分选机制的新型摇床^[12], 它对于多种矿石的金红石选别效果都很好, 尤其用于处理细粒、微细粒原生金红石矿, 取得了更佳的选别效果。

3.2 磁选

磁选是根据矿物的磁性及磁性的强弱, 将磁性矿物与非磁性矿物及强磁性矿物与弱磁性矿物彼此分离而进行分选的方法。采用磁选作业可将导磁的钛铁矿、褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿等上磁矿物和非导磁的金红石矿物分离。在生产实践中, 我们可以看到有少量的金红石进入磁性产品中, 这种金红石的颜色呈黑色。经分析, 这种金红石含氧化铁为2%以上, 具有弱磁性, 通常把这种金红石称铁质金红石。在金红石矿选别中, 若与其他选矿方法配合, 磁选可以有效地用于金红石矿的预选和精选。用于金红石选别的磁选设备主要有CRG54永磁双辊磁选机、885单盘磁选机和双盘磁选机、PC-2 580 mm干式磁选机、CTB-69永磁筒式磁选机^[12], 还有江西赣州冶金研究所研制的Slon立环脉动高梯度强磁机、长沙矿冶院研制的SHP仿琼斯强磁机。

3.2 磁选

3.3 电选

电选是建立在矿物导电率基础上, 根据各种矿物表面导电性不同进行分选的选矿方法。由于硅酸盐、锆英石、白钛石不导电, 所以电选能较容易地实现导电矿物金红石与非导电矿物有效分离, 进一步提高金红石精矿的品位和降低杂质含量。用于电选生产的设备有120 mm \times 1500 mm双辊电选机^[11]、DSG6高压双辊电选机^[13], YD-3, YD-

3.3 电选

3B 高压电晕电选机。YD-3B 是 YD-3 改造后电选机,在技术经济指标方面相对原有的 YD-3,有明显的提高。为了满足选钛扩能的要求,长沙砂冶研究院在“八五”攻关中借鉴国外电选设备的先进技术,研制成功了大型、高效、先进的 YD31200-23 型新一代国产电选机。该机整体结构紧凑,占地面积小,单机处理能力大,具有比 YD-3B 和美国 HIP (25)231-200 型电选机更优的分选性能。

3.4 浮 选

浮选是分选细粒金红石、降低金属损失的有效方法,具有发展前途。与国外相比,我国金红石资源主要为原生金红石矿,其粒度嵌布细,与脉石关系紧密,因此不能采用国外普遍采用的重选、电选、磁选联合工艺流程。浮选工艺是解决我国细粒金红石矿选别难的关键作业。许多研究单位在这一领域已作了大量的研究工作,取得了不少成果,寻找高性能捕收剂和无污染的浮选药剂制度是我国金红石浮选研究的重点^[14]。羧酸、苄基膦酸、苯乙烯膦酸、烷基胺、二甲基膦酸、烷基-羟基二膦酸、烷基羟膦酸水杨羟膦酸等是金红石的捕收剂。苄基膦酸是金红石浮选的有效捕收剂,其选择性优于脂肪酸类捕收剂,它对金红石捕收作用强,对含钙矿物无捕收性,对石榴石捕收性差,借助调整剂氟硅酸钠,金红石与石榴石可实现分离,缺点是其价格昂贵、毒性大。烷胺双甲基膦酸毒性小,对金红石的捕收性强,可作为苄基膦酸的代用品。有人研究采用六偏磷酸钠作为调整剂,代替氟硅酸钠,实现了高效无污染浮选。如对榴辉岩型金红石矿而言,宜选用中等碳链长的烷基双甲基膦酸作捕收剂,六偏磷酸钠作调整剂抑制石榴石等脉石,不抑制金红石,从而有效实现榴辉岩金红石的浮选。国家建材局地质研究所采用由一定比例羟膦酸和石油磺酸钠组成的组合药剂作捕收剂,在硫酸作调整剂的前提下,有效实现金红石与云母、石英、绿泥石等脉石浮选分离^[15]。马光荣^[16]研究采用羟膦酸钠为捕收剂,六偏磷酸钠和羧甲基纤维素作脉石抑制剂有效处理变质岩微细粒金红石矿。常采用的浮选设备主要有 SF-1.2, SF-2.8, 3A4 槽等浮选机。

3.5 酸 洗

由于金红石精矿产品要求 S 0.05%, P

0.05%,且要求 TiO₂含量超过 87.5%以上^[17],而金红石矿经重选、磁选、电选和浮选联合选别后,其粗精矿金红石单矿物含量仅为 60%以上,还有许多硅酸盐、碳酸盐、铁矿物等杂质矿物粘附在金红石边缘及裂隙,为除去这些杂质,提高精矿质量,必须采用酸洗工艺。

4 结 语

我国金红石矿资源丰富,分布广泛,主要工业类型是原生金红石矿,其矿物组成复杂、嵌布关系紧密,且金红石粒度分布细,使得选矿工艺复杂、不过关。从而导致我国金红石矿资源得不到有效开发和综合利用。加强金红石矿的选矿工艺和综合利用研究,提高精矿质量和降低生产成本是我国金红石矿资源开发和可持续发展的必然趋势。

参考文献:

- [1] 李钟模. 国内外金红石矿资源开发利用现状 [J]. 化工矿物与加工, 2006, 2: 46.
- [2] 张 云, 管永诗, 田玉珍. 我国金红石资源开发利用现状 [J]. 矿产保护与利用, 2000, 5: 27.
- [3] 张 瑛, 李闻光. 我国金红石矿产资源特点及开发利用 [J]. 中国化工, 1997, 4: 19.
- [4] 雷必春. 湖北枣阳金红石储量全国之冠 [J]. 地球, 1992, 3: 10.
- [5] 陈光荣. 山西省代县金红石矿资源及开发建议 [J]. 中国地质, 1995, 8: 18.
- [6] 张青普. 开发利用我省金红石资源的几点建议 [J]. 河南建材, 2003, 3: 46.
- [7] 杨小芹, 马树江. 论连云港市金红石资源的开发利用 [J]. 江苏地质科技情报, 1995, 6: 10.
- [8] 吴维平, 江来利, 张 勇, 等. 安徽大别山金红石矿资源勘查、开发及利用现状 [J]. 安徽地质, 2003, 13(1): 66.
- [9] 曹谏非. 钛矿资源及其开发利用 [J]. 化工矿产地质, 1996, 18(2): 127.
- [10] 郭秉文. 我国原生金红石矿选矿进展 [J]. 矿产综合利用, 1992, 6: 26.
- [11] 刘付毓. 金红石的选矿工艺 [J]. 广东有色金属, 1997, 4: 14.
- [12] 岳铁兵, 魏德州, 曹进成, 等. 细粒金红石矿浮选工艺研究 [J]. 化工矿物与加工, 2005, 3: 1.
- [13] 王占歧. 海滨砂矿中金红石矿综合利用研究 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1998, 23(6): 624.
- [14] 朱建光. 金红石和钛铁矿的浮选 [J]. 有色矿冶, 1997, 3: 28.

- [15] 丁 浩. 原生金红石矿浮选研究综述 [J]. 矿产保护与利用, 1993, 4: 36.
- [16] 马光荣. 变质岩微细粒金红石浮选研究 [J]. 有色金属: 选

矿部分, 1989, 3: 12.

- [17] 胡爱珍, 田光耀. 金红石最终精矿提纯方法的探索 [J]. 地质实验室, 1992, 8(3): 153.

Distribution , Exploiture and Actualities of Technique of Rutile Mineral Resources in China

Wu Xian * , Zhang Jian , Kang Xinting , Huang Yu (*Northwest Institute For Non-ferrous Metal Research , Xi an 710016 , China*)

Abstract : Natural rutile is a kind of high quality material which is used to make titanium white , sponge titanium , titanium tetrachloride , etc. Rutile mineral resources is abundant in our country , especially in Hubei , Shanxi , Henan , Shan xi , Anhui , Jiangsu , Guangdong , Guangxi , Hainan provinces etc. Original rutile is the main industrial type of rutile mineral , and it accounts for 86 % of the total reserve of rutile , while the rutile placer is only 14 % . At present , rutile developed is mainly beach placer. However original rutile is only developed in a small way , due to its low grade , small size , complicated mineral component and mutual dissemination. Be-

sides , it is difficult to separate original rutile with single processing method because of a small selectance between valuable associated mineral and rutile mineral. The main techniques applied in the mineral processing of rutile are gravity separation , magnetic separation , flotation , electric separation and acid leaching. And the technics about processing is carried on with two or more than kinds of single technology. It is too complex processing technology , long circuit , big investment fund and low economic benefit , which is the main obstacle the development of rutile mineral exists.

Key words : rutile ; mineral processing technology ; gravity separation ; magnetic separation ; flotation ; electric separation ; acidleaching