第36卷第7期 东北大学学报(自然科学版) Vol.36,No.7
2015年7月 Journal of Northeastern University(Natural Science) Jul. 2015

doi:10.3969/j.issn.1005-3026.2015.07.014

瑞木红土矿摇床铬铁矿粗精的磁选富集

刘三平[1],畅永锋[1],路殿坤[1],蒋开喜[2]
(1. 东北大学 材料与冶金学院,辽宁 沈阳 110819;2. 北京矿冶研究总院,北京 100044)

摘 要:瑞木红土矿中存在含铬尖晶石矿物,在进行矿浆管道输送和高压浸出之前需要先经过铬矿选矿处理,以减轻对管道和高压釜的磨损.目前瑞木红土矿项目选矿得到的铬铁矿精矿其铬铁质量分数比($w(Cr_2O_3)/w(FeO)$)仅为2.3,不能满足冶金级铬铁矿的要求.针对瑞木红土矿项目摇床分选所得的铬铁矿粗精矿开展了工艺矿物学和磁选提高铬铁质量分数比的研究.筛分实验和矿物提纯实验结果表明,去除细颗粒矿物以及分离脉石矿物是提高铬铁矿铬铁质量分数比的有效途径.对筛分后的+0.074 mm的粗精矿进行磁选分离,所得到的铬铁矿精矿铬铁质量分数比为2.59,铬回收率为63.89%.

关 键 词:红土矿;铬铁矿;工艺矿物学;磁选;富集
中图分类号:TD 923 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-3026(2015)07-0976-05

Magnetic Separation and Enrichment of Rough Chromite Concentrate from the Ramu Laterite Project

LIU San-ping[1], *CHANG Yong-feng*[1], *LU Dian-kun*[1], *JIANG Kai-xi*[2]
(1. School of Materials & Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy, Beijing 100044, China. Corresponding author: LU Dian-kun, E-mail: ludk@smm.neu.edu.cn)

Abstract: As the existence of chromium related spinel ores may cause serious wear on the pipe and autoclave during the pipe transportation and high pressure acid leaching procedure, it is necessary to remove the chromium containing minerals from the nickeliferrous laterite ore from Ramu, Papua New Guinea. The main problem in the beneficiation of chromite in the Ramu project is that the $w(Cr_2O_3):w(FeO)$ of chromite concentrate is merely 2.3, which can not meet the standard of metallurgical chromite product. This paper presents the results of detailed characterization of process mineralogy and magnetic separation of rough chromite concentrate obtained from tabling separation procedure of the Ramu project. The screen classification and purification tests show that the $w(Cr_2O_3):w(FeO)$ of the rough chromite concentrate could be further enhanced by eliminating the fines and other gangue minerals. The magnetic separation of the +0.074 mm rough chromite concentrate increased the $w(Cr_2O_3):w(FeO)$ to 2.59 with 63.89% recovery of chromium.

Key words: laterite; chromite; process mineralogy; magnetic separation; enrichment

红土矿是陆基储量最大的含镍矿物资源,约占镍资源储量的70%左右[1].随红土矿的矿物成分不同和产品方案不同,工业上一般采用火法工艺直接生产镍铁[2],或采用硫酸体系湿法浸出得到镍钴浸出液再后续分离精炼[3],正在研究中的处理工艺包括硫化焙烧-浮选[4]、硫酸化焙烧-浸出[5]、氯化焙烧-浸出[6]、氯化物体系直接浸出[7]及碱浸处理[8]等.

瑞木红土矿项目位于巴布亚新几内亚的马当省,是目前中国企业在海外投资金属矿产资源最大的项目之一.该矿为典型的湿型红土矿,矿产资源量1.432亿t,其中镍143万t,钴14万t.经综

收稿日期:2014-06-10
基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(51434001).
作者简介:刘三平(1973-),男,湖南岳阳人,东北大学博士研究生;蒋开喜(1963-),男,江苏姜堰人,北京矿冶研究总院研究员,东北大学兼职博士生导师.

AcroPDF - A Quality PDF Writer and PDF Converter to create PDF files. To remove the line, buy a license.

合分析该矿物类型特点及当地经济基础条件，瑞木红土矿项目最终选择高压酸浸处理工艺，产出镍钴混合氢氧化物沉淀中间产品再运回中国进行后续加工.

受风化成矿特点影响[9]，瑞木红土矿的典型特征是含有一定量的铬，大部分铬以含铬尖晶石存在. 由于含铬尖晶石质硬、难溶，在管道化矿浆输送过程和高压浸出过程中会严重磨损管道及釜体内壁[10-11]，为此，对露天开采出来的红土矿首先进行了铬铁矿选矿处理. 这可有效缓解管道和釜体的磨损问题，同时也可弥补我国铬铁矿严重短缺的不足.

瑞木红土矿项目选铬工艺主要采用水力旋流器分级、螺旋溜槽粗选、摇床精选和磁选，但目前该工艺所产出的铬铁矿精矿铬铁质量分数比不高，磁选后 Cr_2O_3 与 FeO 质量分数比为 2.3，无法达到冶炼铬铁合金所要求的铬铁矿精矿要求（铬铁质量分数比大于 2.5）. 为此，本文针对瑞木红土矿经摇床精选后得到的铬铁矿粗精矿开展研究，主要是查明其中的矿物组成和相对含量，阐明影响铬铁质量分数比进一步提高的矿物学因素，在此基础上探讨提高铬铁质量分数比的可能途径.

1　实验原料及方法

1.1　实验原料

铬铁矿粗精矿来自瑞木红土矿选铬工艺中摇床精选后得到的粗精矿中间产品，其铬铁质量分数比为 1.87，化学成分列于表 1.

表 1　铬铁矿粗精矿的化学成分（质量分数）

Table 1　Chemical composition of rough chromite concentrate (mass fraction)　%

Cr_2O_3	FeO	SiO_2	TiO_2	MnO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O
49.07	26.23	4.24	0.13	0.55	10.02	8.82	0.15	0.016	0.019

1.2　实验方法

针对该铬铁矿粗精矿主要进行了如下实验：①对该矿物进行筛分分级，分析不同粒级矿物的产率和成分变化情况；②对矿物进行矿相定量分析和反光显微镜镜下观察，分析影响产品铬铁质量分数比的矿物学因素；③对矿物进行细磨或化学提纯处理，在显微镜下选取典型铬铁矿尖晶石样品，分析提高铬铁矿铬铁质量分数比的可能性；④铬铁矿粗精矿磁性富集探索实验.

2　实验结果及讨论

2.1　铬铁矿粗精矿筛分分析

将铬铁矿粗精矿充分混匀、缩分，得到代表性样品，之后进行筛分分级，各粒级矿物的产率、成分和铬铁质量分数比数据见表2. 从分析结果中可以看到，铬铁质量分数比随粒度而变化的趋向很明显，通过筛分除去细级别矿物有利于提高产品的铬铁质量分数比.

表 2　铬铁矿粗精矿筛分分析结果

Table 2　Screen analysis of rough chromite concentrate

粒度范围/mm	产率/%	$w(Cr_2O_3)$/%	w(FeO)/%	$w(Cr_2O_3)/w$(FeO)
>0.45	2.27	52.06	22.13	2.35
0.20～0.45	38.13	53.32	24.41	2.18
0.104～0.20	27.97	49.75	27.55	1.81
0.074～0.104	18.72	46.10	27.96	1.65
0.050～0.074	9.30	42.46	31.93	1.33
<0.050	3.61	36.21	42.66	0.85

2.2　铬铁矿粗精矿杂质矿物组成及嵌布特征

采用重砂定量方法并参考定量化学分析数据和选择性溶解结果确定了铬铁矿粗精矿中各主要矿物的相对含量（质量分数）：辉石类硅酸盐为主的脉石矿物约 8%，磁铁矿、赤铁矿及褐铁矿共约 4%，铬尖晶石类矿物约 88%.

矿物在反光显微镜下的分析结果如图 1 所示：铬尖晶石自身绝大多数呈单体状态；硅酸盐脉石主要呈单体状，少量在铬尖晶石内部呈包裹状态（见图 1a 和 1b）；磁铁矿往往在边缘交代铬尖晶石（见图 1c），部分在内部填充铬尖晶石（见图 1d）；个别情况下见磁铁矿单体，并有亮白色赤铁矿细脉沿其解理交代（见图 1e）；褐铁矿一般粘附在铬尖晶石表面或在其内部裂隙中充填（见图 1f），其量比磁铁矿少，影响小.

AcroPDF - A Quality PDF Writer and PDF Converter to create PDF files. To remove the line, buy a license.

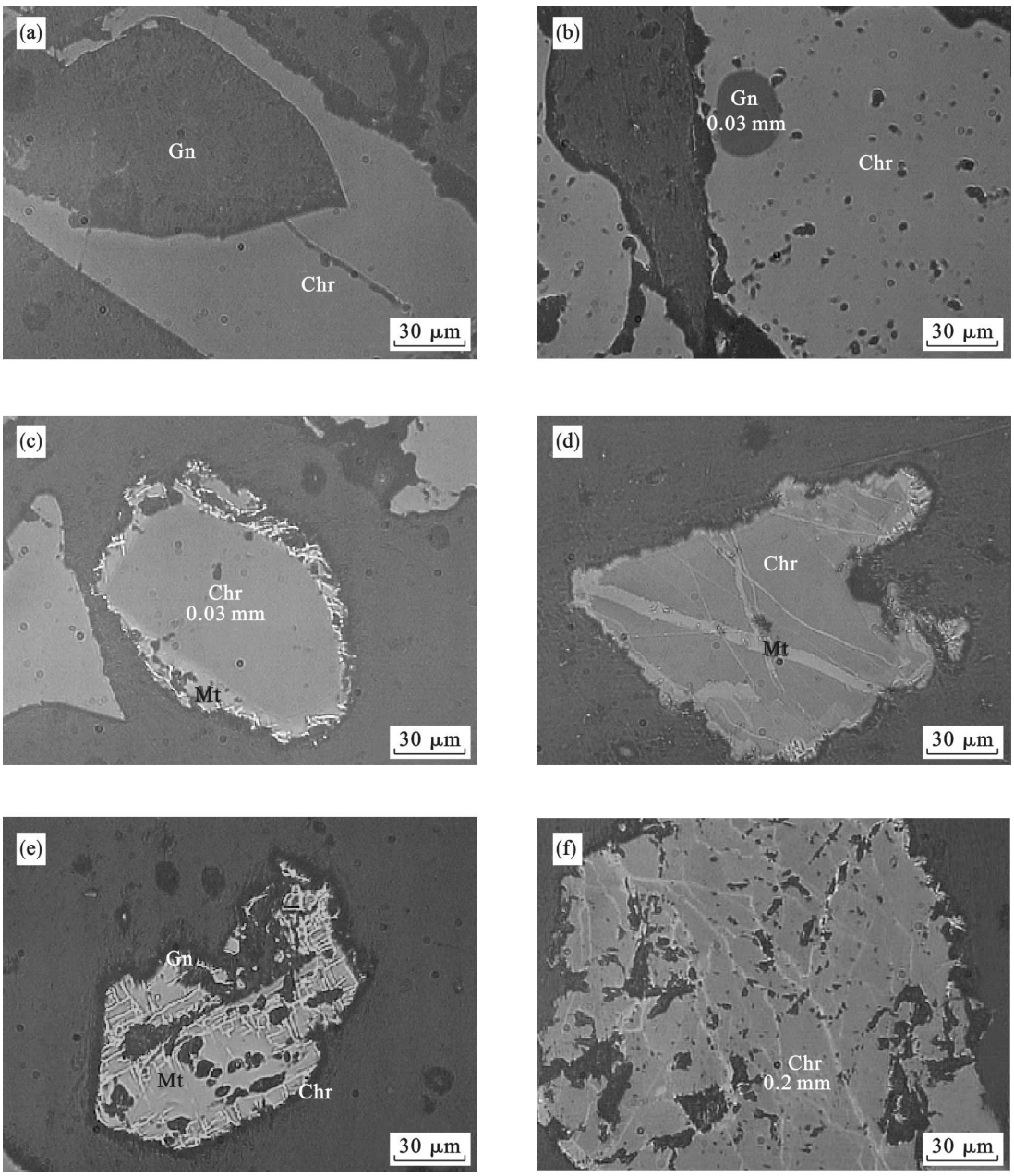

图 1 铬铁矿粗精矿反光显微镜下分析结果

Fig. 1 Microstructure of rough chromite concentrate under reflection microscope

(a)—铬尖晶石(Chr)包裹的较粗粒脉石(Gn);(b)—被铬尖晶石(Chr)包裹的细粒脉石(Gn);(c)—铬尖晶石(Chr)边缘为磁铁矿(Mt)交代;(d)—磁铁矿(Mt) 在铬尖晶石(Chr) 内部充填;(e)—混入粗精矿中的磁铁矿(Mt)颗粒,有赤铁矿(亮白色)细脉沿其解理交代;(f)—磁铁矿和褐铁矿细脉(亮度不同的灰白色)沿铬尖晶石(Chr)边缘和内部裂隙交代充填.

因此,从矿物组成可以看出,提高产品 Cr 含量和铬铁质量分数比的途径可从以下两个方面考虑:一是尽可能除去脉石(其量比磁铁矿和褐铁矿多);二是通过磁选尽可能除去含 Fe 较高的铬尖晶石,以及它与磁铁矿、褐铁矿的连生体. 据嵌布特征的分析证明这也是可能的.

2.3 铬铁矿粗精矿提纯实验

对铬铁矿粗精矿进行细磨、化学法除硅酸盐脉石及铁矿物等方式处理,并在反光显微镜下提取铬尖晶石矿物,不同方法提取所得样品的名称及相应 Cr,Fe 分析结果列于表 3.

由表 3 数据可见,原粗精矿铬铁质量分数比约 1.87,简单物理提纯(除去全部单体脉石)所得产物铬铁质量分数比可达到 2.55,细磨化学提纯产物铬铁质量分数比可达 2.57 ~ 2.72 左右. 因此,从理论上说,提高产品的铬铁质量分数比是可能的.

AcroPDF - A Quality PDF Writer and PDF Converter to create PDF files. To remove the line, buy a license.

表 3　铬铁矿粗精矿提纯处理实验结果

Table 3　Purification results of rough chromite concentrate

样品类型	$w(Cr_2O_3)$/%	$w(FeO)$/%	$w(Cr_2O_3)/w(FeO)$
铬铁矿粗精矿原样	49.07	26.23	1.87
镜下提取的铬尖晶石	56.84	22.26	2.55
化学除铁后镜下提取的铬尖晶石	55.61	21.64	2.57
细磨、化学除脉石及铁矿物后镜下提取的铬尖晶石	55.88	21.75	2.57
细磨、化学除脉石及铁矿物放大实验样品	56.96	20.92	2.72

2.4　铬铁矿粗精矿磁选富集实验

对混合均匀的铬铁矿粗精矿进行磁选富集实验，改变磁场强度，磁选产品的产率和 Cr，Fe 分析结果见表 4.

表 4　铬铁矿粗精矿磁选富集结果

Table 4　Magnetic separation results of rough chromite concentrate

磁场强度/mT	产率/%	$w(Cr_2O_3)$/%	$w(FeO)$/%	$w(Cr_2O_3)/w(FeO)$
0～110	13.10	36.45	46.80	0.78
110～185	6.67	52.06	28.74	1.81
185～402	47.37	53.10	23.24	2.29
402～465	27.35	53.09	20.69	2.57
465～560	5.51	21.42	12.90	1.66

从磁选结果中可以看到两种现象：一是中低磁场强度下所得强磁性产品的铬铁质量分数比很低，说明磁铁矿对铬铁质量分数比的影响明显，含 Fe 高的铬尖晶石的磁性较强；二是中高磁场强度下得到的以脉石为主的磁选尾矿中铬铁质量分数比也很低，说明部分含 Fe 脉石的存在也是影响铬铁质量分数比的重要因素. 据此可以认为，以低磁场强度除去强磁性组分及以适当的中高磁场强度选出铬铁矿并抛除部分脉石应该是获得合格产品的基本工艺路线.

2.5　筛分－磁选富集实验

上述磁选实验表明磁选处理可获得铬铁质量分数比大于 2.5 的铬铁矿精矿产品，但其产率仅 27.35%. 为增加磁选产品的产率，再次调整条件进行磁选. 由前述筛分实验结果，小于 0.074 mm 的矿物铬铁质量分数比低，而且细级别矿物的存在对磁选不利，故可先将其筛分除去，然后再进行磁选. 粒度大于 0.074 mm 铬铁矿粗精矿磁选富集结果见表 5.

表 5　+0.074 mm 铬铁矿粗精矿磁选富集结果

Table 5　Magnetic separation results of +0.074 mm rough chromite concentrate

磁场强度/mT	产率/%	$w(Cr_2O_3)$/%	$w(FeO)$/%	$w(Cr_2O_3)/w(FeO)$
0～110	10.90	—	—	—
110～185	11.17	53.19	26.81	1.98
185～265	6.39	53.45	24.88	2.15
265～434(+0.104 mm)	50.19	54.72	21.09	2.60
265～434(−0.104 mm)	10.62	50.99	21.24	2.41
434～550	5.68	55.56	19.53	2.84

预先筛分除去细粒级的矿物后，在 265～550 mT的中高场强条件下磁选得到三种产品，均具有较高的铬铁质量分数比. 将此三种产品合并在一起，按产率计其加权铬铁质量分数比为 2.59，直接磁选产率为 50.19% + 10.662% + 5.68% = 66.49%，粗精矿的产率则为 66.49% × (1 − 12.91%) = 57.85%，筛分－磁选处理铬铁矿粗精矿时铬的总回收率为 63.89%.

3　结　　论

1）铬铁矿粗精矿的主要组成有价矿物为铬尖晶石、磁铁矿、褐铁矿，脉石矿物为含少量 Fe 的辉石类矿物.

（下转第 995 页）

AcroPDF - A Quality PDF Writer and PDF Converter to create PDF files. To remove the line, buy a license.