

## 钒钛磁铁矿剥离废石特性与综合利用实践

龙敏<sup>1</sup>, 龚明斌<sup>1</sup>, 杨耀辉<sup>2</sup>, 徐妍博<sup>2</sup>, 陈超<sup>2</sup>

(1. 重钢西昌矿业有限公司, 四川 西昌 615041; 2. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 自然资源部战略性矿产综合利用工程技术创新中心, 四川 成都 610041)

**摘要:** 这是一篇矿业工程领域的论文。钒钛磁铁矿铁矿采选过程中产生大量剥离废石, 主要分为三类: 剥离土物料、剥离岩石物料和表外矿。由于风化、雨淋等作用, 废石中的有毒有害元素会对周围环境造成二次污染。废石资源的回收再利用大有裨益, 能够提高资源利用率并有效减少土地占用和环境污染。因此, 本文对三种剥离废石的特性进行了系统分析, 并以此为依据, 对其综合利用途径分别进行分析和总结。剥离土物料和剥离岩石物料可以根据其风化程度, 作为尾矿坝筑坝材料、建筑砂石用料等, 变废为宝; 表外矿可以通过预选提高品位, 进行回收利用。本文能够为钒钛磁铁矿剥离废石的进一步综合利用提供参考借鉴, 从而大幅提高钒钛磁铁矿资源综合利用水平。

**关键词:** 矿业工程; 钒钛磁铁矿; 废石; 综合利用; 表外矿

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.02.028

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2024)02-0170-06

**引用格式:** 龙敏, 龚明斌, 杨耀辉, 等. 钒钛磁铁矿剥离废石特性与综合利用实践[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(2): 170-175.

LONG Min, GONG Mingbin, YANG Yaohui, et al. Characteristics and comprehensive utilization practices of stripping waste rocks from vanadium-titanium magnetite[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(2): 170-175.

钢铁被广泛应用于建筑、机械、道路、制造业等各行各业, 是一种重要的金属材料<sup>[1]</sup>。在铁矿开采过程中, 无论是露天开采还是井下开采, 都会产生大量的矿体表面围岩与不能作为矿石使用的夹石, 即采矿剥离废石。而我国铁矿资源“贫、细、杂”的特点进一步加剧了铁矿剥离废石的排放问题<sup>[2]</sup>。

四川拥有丰富的钒钛磁铁矿资源<sup>[3]</sup>, 采选过程中会产生大量废石, 某钒钛磁铁矿每年产生 1000 万 t 以上的剥离废石<sup>[4]</sup>。由于风化、雨淋等作用, 废石中的有毒有害元素会进入周边环境, 从而造成二次污染<sup>[5-6]</sup>。因此, 如何将废石资源进行充分的回收再利用, 提高资源利用率并有效减少土地占用和环境污染, 是矿山科技工作者亟需研

究的重要课题<sup>[7-8]</sup>。目前, 我国常见的废石综合利用方式主要是废石再选、废石充填、生产砂石骨料建筑材料以及用作水泥原料等<sup>[9]</sup>。

### 1 矿山剥离废石特性

矿区矿岩体上部为巨厚的第四系、第三系沉积物覆盖、下部发育海西期基性岩(分早期含铁辉长岩体和晚期脉岩)。剥离废石主要分三类, 一是上部含粘土及花岗岩等砾石的剥离土物料, 二是含铁 15% 以下以辉长岩为主的剥离岩石物料, 三是含铁 15%~20% 的表外矿。

#### 1.1 剥离土物料

##### (1) 剥离土物料分布特点

矿区西部出露有三叠系下统泥质砂岩; 矿区

收稿日期: 2022-06-02

基金项目: 中国地质大调查项目“金属矿产资源节约与综合利用调查”(DD20230039)

作者简介: 龙敏(1984-), 男, 高级工程师, 主要从事测量技术和工程项目管理工作。

东部、北部的地层为第四系下中更新统冰碛的粉质粘土、卵砾石土、块碎石土及第三系昔格达组粘土岩、第四系上更新统冰水堆积的卵砾石层。

### (2) 物料特性

粉质粘土：黄褐色、红褐色，稍湿，可塑。包含约 10% 的角砾，角砾由强风化的长石、粉砂岩组成，粒径 0.3~2 cm，呈棱角状-次圆状。

含角砾粉质粘土：黄色、灰黄色，稍湿，可塑。含 15%~30% 的角砾，角砾由强风化的花岗岩、粉砂岩组成，粒径 0.3~2 cm，呈棱角状-次圆状。

角砾土：黄褐色、黄绿色、黄色，中密，稍湿。角砾含量 55%~75%，主要由强-全风化的花岗岩、辉长岩及少量粉砂岩组成，粒径 0.2~2 cm，呈棱角状-次圆状。普遍含 10%~20% 的碎石，碎石粒径 3~8 cm，由强风化的花岗岩、辉长岩组成，呈棱角状。粉质粘土及细砂充填。

碎石土：灰绿色、青灰色、灰色、黄褐色，中密，稍湿。含量 55%~75%，主要由强-全风化的花岗岩、辉长岩及少量粉砂岩组成，粒径一般 3~12 cm，含少量粒径 > 20 cm 的块石，呈棱角状-次圆状。主要由角砾、细砂及粉质粘土充填。

块石土：青灰色为主，密实，稍湿。含量 70%~80%，主要由强-全风化的花岗岩、辉长岩组成。粒径 20~40 cm 为主，个别粒径 > 50 cm，呈棱角状-次圆状。主要由碎石、角砾、细砂及粉质粘土充填。

以上的各类土在采场分布规律性较差，厚度变化较大，土和石含量变化大，砾石的粒径变化大。因此在剥离过程中多种土混合采掘和堆存。设计境界内剥离土物料达到 8886 万 t，占总剥离量的 25%，其比重为 1.9 t/m<sup>3</sup>。剥离土物料由于其本身的物理力学性质较差，适宜简单分台阶堆存，研究表明：对于单台阶高度的要求是堆载预压前台阶高度不大于 13 m 才能满足台阶稳定性分析；堆载预压后台阶高度不大于 18 m 才能满足

台阶稳定性分析；总体边坡角仅能达到 8.2°。如此低的单台阶高度和总体边坡角，不仅大大降低排土效率，同时单位面积土地受土容量也大幅度降低，还存在旱季作业扬尘和雨季水土流失的风险。

### 1.2 剥离岩石物料

通过综合利用实验表明，可以将其分为两大类，其一是含铁 10% 以下，在现有技术经济条件下，选矿利用价值不大；其二是铁含量在 10%~15% 辉长岩为主的极低品位矿，在现有技术经济条件，选矿有一定利用价值。所含主要矿物硅酸盐矿物、金属氧化物（主要是钛磁铁矿、钛铁矿）、硫化矿物、磷酸盐矿物等组成。普氏硬度系数 f 一般为 12~15，体重平均为 2.9 t/m<sup>3</sup>。

### 1.3 表外矿

钒钛磁铁矿工业类型以 TFe 的含量可划分为富矿（Fe1）、中矿（Fe2）、贫矿（Fe3）、表外矿（Fe4）四种类型，其中表外矿含铁 20%~15%<sup>[10,11]</sup>，含量最低，重钢西昌矿业有限公司设计开采境界内总量有 4140 万 t。表外矿主要矿物也为硅酸盐矿物、金属氧化物（主要是钛磁铁矿、钛铁矿）、硫化矿物、磷酸盐矿物等组成，只是含量随铁含量、类型有所变化<sup>[12]</sup>。总体上来看，虽然表外矿的有价元素含量普遍低于表内矿，但部分表外矿仍具有一定的利用价值<sup>[13-14]</sup>。综合利用研究和矿山实践表明，其中有 50% 左右的表外矿的可选性好，可以直接进入选厂作为原矿加以利用，另外 50% 选矿难以直接利用。

某铁矿石表外矿多元素化学分析结果见表 1，此样品含 TFe 17.75%，含 TiO<sub>2</sub> 8.46%。矿石主要为稠密浸染状、稀疏浸染状等构造。这就造成表外矿的选别难点主要有以下两点：一是有用矿物含量较少，难以获得高品质精矿；二是铁、钛氧化物嵌布粒度较细，钛磁铁矿与钛铁矿、脉石矿物以及硫化物难以完全解离，要获得较高的解离度需细磨，细磨的同时会产生过磨、泥化、脉石夹杂等现象，降低了铁精矿品质<sup>[15-16]</sup>。

表 1 表外矿化学多项分析结果/%

Table 1 Multiple chemistry analysis results of off surface ore

TFe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
17.75	8.81	14.89	5.97	0.31	28.35	12.32	9.47	0.14
Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	ZnO	Cu	Ni	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Co	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0.74	8.46	0.21	0.017	0.007	0.003	0.10	0.010	4.10

## 2 综合利用探讨

上述三种剥离废石露天设计境界内总量较大,除表外矿中 50% 可作为选厂原矿加以利用,其余如不能综合利用,将被堆存起来,不仅造成资源的浪费,还会对周边环境产生巨大不利影响。本部分将依据上述三种剥离废石的特性,分别针对其综合利用问题进行探讨。

### 2.1 剥离土物料

第四系表层土由于不含石料,且有部份耕作土。其中耕作土用作复垦,其余第四系表土可作复垦垫层,将排土场和尾矿坝台阶平台和坡面均用表土覆盖,种草植树,进行生态修复。

其余的剥离土物料可分为两类,总量达到 4676 万  $m^3$ ,一类是直接运到排土场堆存,这类物料一般含有 2 m 以下砾石、块石,且石料含量、尺寸变化较大,利用难度较大。另一类是经松动爆破铲装,由汽车运到破碎站经由皮带输送,由排土机进行排土堆存。这类物料的石料粒径较小,一般低于 350 mm,石料含量较均匀。经现场实验研究,堆载厚度小于 1.5 m,经 20 t 振动碾压 6 次的条件,可获得密实度大于 95%,承载力大于 150 KPa 的土石混合层。通过对小麻柳尾矿坝坝体结构及筑坝材料进行研究,充分利用破碎后的剥离土物料,既解决筑坝材料问题,又可减少剥离土物料在排土场容量和土地占用。

小麻柳尾矿库设计库容 1.03 亿  $m^3$ ,原设计初期坝全石料 4685 万  $m^3$ ,为透水坝,现采场石料无法满足,需另建采石场,投资巨大。通过优化坝体结构,考虑在左右坝体底部及上游侧一定厚度范围内拟采用新鲜石料分层碾压填筑,保证坝体透水要求。其余采用经破碎的剥离土物料分层填筑,同时考虑下部的排土场反压对尾矿坝稳定性的作用。通过研究计算,可以采用底部石料厚度控制在 15 m,坝体其余部位则直接利用经破碎后剥离土物料分层碾压填筑,坝体总量减少为 2592 万  $m^3$ ,其中全石料减少为 551  $m^3$ ,综合利用剥离土物料 2041  $m^3$ 。不但现有采场能满足需求,综合利用采场剥离物料,同时大幅度的节约投资,仅减少工程量和综合利用剥离土物料节约投资 1.5 亿元以上。

### 2.2 剥离岩石物料

剥离岩石物料分为两类,一类是含铁 10% 以

下的选矿暂不能利用的,另一类是含铁 10%~15% 的,称之为极贫矿。极贫矿(岩石)资源量超过矿区资源储量的四分之一。由于早期受选别技术和生产经济技术指标限制,该部分极贫矿资源一般作为弃土抛弃,造成资源损失与浪费。

对于含铁 10% 以下的,又可分两类,一类风化程度较高,另一类风化程度较低。风化强度较高的只能堆存于排土场。

对于风化程度较低的剥离岩石物料,综合利用的思路是:由于铁品位较低,主方向可以考虑加工为建设用砂石料,变废为宝<sup>[7]</sup>。如尾矿坝筑坝、排土场反压平台填筑、拦石坝、水沟、挡墙、路基、基础换填等建构物的建设材料。具体来说,将石料破碎为建设用石子的粒径上限,再进行干式磁选,尽可能降低磁选尾矿品位,磁选粗精矿再次细碎为建设用砂的上限再次进行磁选,磁选尾矿经过加工得到建设用砂,磁选精矿作为选矿原料。经系统的选矿实验研究,确定了原则流程为三段一闭路破碎筛分+干式磁选+高压辊磨+湿式磁选,干式磁选的粒度上限为 25 mm,其尾矿经筛分得到两种产品 0~5 mm 和 5~25 mm,前者经洗砂作业制取建设用砂,后者经整形作业得到建设用石子。湿式磁选的粒度上限为 5 mm,磁选精矿的铁品位可以达到 20% 以上,产率达到 40%~50%。

钒钛磁铁矿采选废(弃)石、尾砂用作普通混凝土砂石集料,其的性能达到 I 类建设用砂石的质量要求,废(弃)石、尾砂集料的表观密度比普通集料的堆积密度高 10% 左右,堆积密度比普通集料高 3%~7%。利用该集料可以配制出强度等级为 C60 以及 C60 以下强度等级的混凝土;该混凝土具有良好的力学性能和耐久性,废(弃)石集料泵送混凝土的密度比普通集料混凝土高 10% 左右,但满足普通混凝土表观密度的要求。黄濛等研究发现,以钒钛磁铁矿废(弃)石集料为原料生产的混凝土性能具有良好的抗氯离子渗透性、抗冻性、抗腐蚀性,且耐久性不低于普通集料混凝土,废(弃)石集料混凝土收缩率比普通集料混凝土低 30% 左右<sup>[4]</sup>。

### 2.3 表外矿综合利用实践

含铁 20%~15% 的钒钛磁铁矿表外矿主要的综合利用难点在于有用矿物含量低,因此目前的回收利用主要以预选回收有价值组分从而提高入选

原矿品位为主。

2008 年初，攀钢公司在工业实验的基础上进行了表外矿、极贫矿综合利用可行性研究，然后建设了年处理 400 万 t 表外矿和极贫矿的选矿厂，可生产铁品位为 54% 的铁精矿 50.17 万 t、TiO<sub>2</sub> 品位为 47% 的钛精矿 11.36 万 t，每年可节省表内矿用量 200 万 t，每年可减少排土场占用容积 300 万 m<sup>3</sup> 以上<sup>[18]</sup>。

2014 年攀西某公司建成低品位难选表外矿综合利用项目（一期），年综合利用表外矿 200 万 t，回收入选矿石（TFe 品位 25%）60 万 t，生产砂石料 100 万 t，实现了低品位难选表外矿的高效回收利用。通过五年多的生产实践，该工艺对钛磁铁矿回收效果较好，铁金属回收率达到 50% 以上，具有很高的回收利用价值，表外矿综合利用指标见表 2。

表 2 表外矿综合利用技术指标  
Table 2 Technical index of comprehensive utilization of off surface ore

时间	原矿			精矿（回收矿石）				尾矿		
	处理量/万t	品位/%		产量/万t	品位/%		TiO <sub>2</sub> 回收率/%	产量/万t	品位/%	
		TFe	TiO <sub>2</sub>		TFe	TiO <sub>2</sub>			TFe	TiO <sub>2</sub>
2015年	165.56	16.90	7.12	50.25	26.74	9.16	39.05	115.31	12.61	6.23
2016年	227.12	17.27	6.99	69.09	29.34	9.59	41.74	158.03	11.99	5.85
2017年	200.89	16.47	6.23	63.45	27.59	9.03	45.78	137.44	11.34	4.94
2018年	239.06	15.57	6.07	66.61	28.49	9.24	42.41	172.45	10.58	4.85
2019年	187.18	16.55	6.97	59.89	28.61	10.25	47.05	127.29	10.58	5.43
2020年	176.23	15.56	7.08	54.8	23.96	9.33	40.98	121.43	11.77	6.06
2021年	189.35	15.49	6.87	56.3	24.3	9.62	41.64	133.05	11.76	5.71
2022年	170.63	15.32	6.35	53.1	25.7	9.3	45.58	117.53	10.63	5.02

磁选尾矿中 TiO<sub>2</sub> 含有 5%，通过粗粒磁选尾矿回收钛铁矿实验表明，磁选尾矿通过隔粗、强磁回收 TiO<sub>2</sub> 品位 8% 的粗钛矿，再经过全粒级钛铁矿强磁浮选技术可以得到合格的钛精矿。2020 年建成该生产线，每年可新增钛精矿 1.5 万 t。

在“多碎少磨”的原则下，高效辊压超细碎技术应运而生，利用高压辊磨对太和铁矿表外矿、低品位难选矿的实验研究表明，高压辊磨后用湿法磁选抛尾，可以将入磨原矿品位由 18.00% 左右提高到 38.64%，极大提高表外矿综合利用水平<sup>[19]</sup>。

### 3 结 论

(1) 总体而言，剥离废石主要分三类，一是上部含粘土及花岗岩等砾石的剥离土物料，二是含铁 15% 以下以辉长岩为主的剥离岩石物料，三是含铁 15%~20% 的表外矿。剥离土物料在采场分布规律性较差，厚度变化较大，土和石含量变化大，砾石的粒径变化大，因此在剥离过程中多种土混合采掘和简单堆存；剥离岩石物料其中的铁含量在 10%~15% 辉长岩为主的极低品位矿，在现有技术经济条件，选矿有一定利用价值；表

外矿铁含量低，储量大，表外矿主要矿物也为硅酸盐矿物、金属氧化物（主要是钛磁铁矿、钛铁矿）、硫化矿物、磷酸盐矿物等组成，虽然表外矿的有价元素含量普遍低于表内矿，但部分表外矿仍具有一定的利用价值，综合利用难点除了品位低以外，细磨时也易过磨。

(2) 通过创新技术研发和实践，剥离废石实现了综合利用，这不仅提高了资源利用率，而且减少了固废排放和土地占用，利于矿山可持续发展，增加资源量，推进循环经济发展。

(3) 剥离土物料可用作复垦和复垦垫层，将排土场和尾矿坝台阶平台和坡面均用表土覆盖，种草植树，以修复生态环境；剥离岩石物料中风化强度较高的只能堆存于排土场、风化程度较低的主要考虑加工为建设用砂石料；表外矿目前的回收利用主要以预选回收有价组分从而提高入选原矿品位为主，钒钛磁铁矿表外矿综合利用技术不但可高效选别回收钒钛战略资源，而且高效回收钒钛资源后废渣可制取完全符合国家标准的人工（机制）建设用砂和建筑规格石料，减少废渣排放的同时资源化循环利用大宗工业废渣。

## 参考文献:

- [1] 王海军, 张国华. 我国铁矿资源勘查现状及供需潜力分析[J]. *中国国土资源经济*, 2013, 26(11):35-9.
- WANG H J, ZHANG G H. Analysis on the status quo of iron ore resource exploration and the potential of supply and demand in China[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2013, 26(11):35-9.
- [2] 韩跃新, 孙永升, 李艳军, 等. 我国铁矿选矿技术最新进展[J]. *金属矿山*, 2015(2):1-11.
- HAN Y X, SUN Y S, LI Y J, et al. New development on mineral processing technology of iron ore resources in China[J]. *Metal Mine*, 2015(2):1-11.
- [3] 严伟平, 曾小波. 攀西地区钒钛磁铁矿资源开发利用水平评估方法研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(6):79-83.
- YAN W P, ZENG X B. Study on the evaluation method of development and utilization level of vanadium-titanium magnetite mine in Panxi district[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(6):79-83.
- [4] 黄濛, 袁宇鹏, 刘伟, 等. 攀西钒钛磁铁矿采选废石集料混凝土性能实验研究[J]. *四川建材*, 2021, 47(10):1-2+10.
- HUANG M, YUAN Y P, LIU W, et al. Experimental study on the performance of Panxi vanadium titanomagnetite mining waste aggregate concrete[J]. *Sichuan Building Materials*, 2021, 47(10):1-2+10.
- [5] 蓝卓越, 高天锐, 吕晋芳, 等. 矿山废石对环境的污染及其综合利用研究现状[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(3):126-31.
- LAN Z Y, GAO T R, LYU J F, et al. Research status of environmental pollution and comprehensive utilization of mine waste rocks[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2021, 41(3):126-31.
- [6] 胡庭先, 徐争启, 赵永鑫. 攀枝花钒钛磁铁矿采选废石中重金属浸出实验研究[J]. *地球科学进展*, 2012, 27(S1): 350-2.
- HU T X, XU Z Q, ZHAO Y X. Experimental study on leaching of heavy metals from mining waste rock of Panzhihua vanadium titanium magnetite [J] *Advances in Earth Science*, 2012, 27(S1): 350-2.
- [7] 文涵睿, 杨晓军, 何剑. 攀西钒钛磁铁矿采选工艺与二次资源利用现状[J]. *矿产综合利用*, 2014(6):10-4.
- WEN H R, YANG X J, HE J. Current situation of mining and separating technologies and comprehensive utilization of vanadium-titanium magnetite resources in Panxi[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2014(6):10-4.
- [8] 寿立永, 严鹏程, 韩鹏飞, 等. 陕西某水泥用灰岩矿废石综合利用实验[J]. *矿产综合利用*, 2020(5):142-7.
- SHOU L Y, YAN P C, HAN P F, et al. Experimental study on comprehensive utilization of waste rock in a cement limestone mine in Shaanxi province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(5):142-7.
- [9] 龚树峰, 肖晶晶, 冀瑞峰, 等. 某超贫矿废石综合利用探索及实践[J]. *现代矿业*, 2021, 37(9):29-30.
- GONG S F, XIAO J J, JI R F, et al. Exploration and practice of comprehensive utilization of waste rock in an ultra lean mine[J]. *Modern Mining*, 2021, 37(9):29-30.
- [10] 王勇, 孙亚明. 攀钢表外钒钛磁铁矿中钛的可选性分析[J]. *金属矿山*, 2011(10):154-7.
- WANG Y, SUN Y M. Analysis on washability of titanium recovery from sub-marginal vanadium-titanium magnetite ore of pansteel[J]. *Metal Mine*, 2011(10):154-7.
- [11] 陈福林, 杨晓军, 蔡先炎, 等. 攀西地区白马辉长岩型超低位钒钛磁铁矿选铁实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(6):26-30.
- CHEN F L, YANG X J, CAI X Y, et al. Experimental study on iron separation of baima gabbro-type ultra-low-grade vanadium-titanomagnetite in Panxi area[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(6):26-30.
- [12] 陈福林, 杨晓军, 杨道广, 等. 甘肃某低品位钒钛磁铁矿工艺矿物学研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(6):64-8+42.
- CHEN F L, YANG X J, YANG D G, et al. Research on process mineralogy for a low grade vanadium titanomagnetite in Gansu province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(6): 64-68.
- [13] 付冠文. 浅析钒钛磁铁矿矿区表外矿综合利用的实践[J]. *中国矿业*, 2010, 19(8):62-5.
- FU G W. Analysis of the titanomagnetite obsa ore mining area of comprehensive utilization of practice[J]. *China Mining Magazine*, 2010, 19(8):62-5.
- [14] 陈德明, 付自碧, 杨保祥. 钒钛磁铁矿表外矿的矿物组成及磁选实验研究[J]. *四川有色金属*, 2006(1):6-9.
- CHEN D M, FU Z B, YANG B X. Research on mineral composition and magnetic concentration of magnetite with vanadium-titanium[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, 2006(1):6-9.
- [15] 陈碧, 王勇. 白马表外矿选矿工艺实验[J]. *现代矿业*, 2019, 35(12):133-7+69.
- CHEN B, WANG Y. Ore Dressing process test of baima off-surface ore[J]. *Modern Mining*, 2019, 35(12):133-7+69.
- [16] 吴本羨, 孟长春. 攀枝花钒钛磁铁矿工艺矿物学[M]. 四

川: 四川科学出版社, 1998.

WU B X, MENG C C. Process mineralogy of Panzhihua vanadic titanomagnetite[M]. Sichuan: Sichuan Science Press, 1998.

[17] 龙涛, 余斌. 露采剥离废石资源化节约综合利用研究综述 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2007(2): 14-6+34.

LONG T, YU B. Commentary of study on mullock of open-pit mine stripping resources rational and saving utilization[J]. Nonferrous Metals(Mine section), 2007(2): 14-6+34.

[18] 郭明彬. 攀钢表外矿和极贫矿综合利用研究进展[J]. 金

属矿山, 2008(10):5-8+47

GUO M B. Progress in the research of comprehensive utilization of sub-marginal ore and ultra-lean ore of pan steel[J]. *Metal Mine*, 2008(10):5-8+47.

[19] 付冠文. 浅析重钢对超贫铁矿资源的综合利用及发展方向[J]. *中国矿业*, 2010, 19(6):88-91.

FU G W. Heavy steel on lean iron comprehensive utilization of resources and the development orientation[J]. *China Mining Magazine*, 2010, 19(6):88-91.

## Characteristics and Comprehensive Utilization Practices of Stripping Waste Rocks from Vanadium-Titanium Magnetite

LONG Min<sup>1</sup>, GONG Mingbin<sup>1</sup>, YANG Yaohui<sup>2</sup>, XU Yanbo<sup>2</sup>, CHEN Chao<sup>2</sup>

(1.Xichang Mining Co., of Chongqing Iron and Steel Co., Ltd., Xichang 615000, Sichuan, China; 2.Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Technology Innovation Center for Comprehensive Utilization of Strategic Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** This is an article in the field of mining engineering. The vanadium and titanium magnetite iron ore mining process generates a large amount of stripped waste rock, which is divided into three main categories: stripped soil material, stripped rock material and off-site ore. Due to weathering, rain and other effects, the toxic and harmful elements in stripped rock will cause secondary pollution to the surrounding environment. The recycling of stripped rock resources is of great benefit, which can improve the utilization rate of resources and effectively reduce land occupation and environmental pollution. Therefore, in this paper, the characteristics of three kinds of waste rock are systematically analyzed, and based on this, the comprehensive utilization ways are analyzed and summarized. The stripped soil and stripped rock materials can be used as tailings dam construction materials and construction sand and stone materials to turn waste into treasure. The off-balance sheet ore can be recycled by pre-concentration to improve its grade. This paper can provide reference for further comprehensive utilization of vanadium titanium magnetite stripped waste materials, so as to greatly improve the comprehensive utilization level of vanadium titanium magnetite ore resources.

**Keywords:** Mining engineering; Vanadium-titanium magnetite; Waste rocks; Comprehensive utilization; Off-surface ore