

## 云南镇雄区域硫磺矿渣资源特征及评价

崔宁<sup>1,2,3</sup>, 张佳文<sup>1,2</sup>, 蔡剑辉<sup>1,2</sup>, 方景玲<sup>1,2</sup>, 魏友华<sup>4</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 4. 成都理工大学管理科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**以云南镇雄县区域的硫磺矿渣为研究对象,通过分析区域地质背景、区内硫铁矿及硫磺矿渣的特征,对镇雄矿渣分布区的矿渣样品进行化学组分分析,并对区域矿渣量进行了估算;通过构建区域硫磺矿渣综合评价指标体系,对云南镇雄硫磺矿渣资源进行了综合评价。结果表明:研究区内硫铁矿分布广泛,储量大,区内的硫磺矿渣呈层状构造、叠瓦状构造和混杂堆积,开发利用条件较好;硫磺矿渣中有价成分Fe、Ti具有较好的综合利用前景,但有害元素S、P过高,应关注除S、除P;黑树和坡头的矿渣量较大,占整个镇雄矿渣量的80%以上;镇雄各分布区矿渣资源较为平衡,其中黑树和母享的综合评价指数较高,可以作为下一步区域矿渣示范研究的典型区域。

**关键词:**云南镇雄;硫磺矿渣;矿渣组分特征;资源量估算;综合评价

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.01.005

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)01-0021-06

云南镇雄县位于云南省东北部及长江支流赤水河上游,处在云贵川三省结合部,东以赤水河为界且与四川叙永相邻,南连贵州毕节、赫章,西毗彝良,北抵威信。区内数百年来采用“土法炼硫”的工艺,以硫铁矿(黄铁矿、磁黄铁矿等)为原料,无烟煤为燃料,通过冶炼炉焙烧制取硫磺,导致巨量硫磺矿渣的堆积。硫磺矿渣中含铁、钛等元素,可供再次利用,因此,对区内的硫磺矿渣进行系统的资源特征研究及资源评价,对于实现区内的资源综合利用具有重要意义。

### 1 区域地质背景及资源特征

云南镇雄大地构造位置位于扬子准地台之滇东台褶带内的昭通-镇雄拗陷区<sup>[1]</sup>。区内出露地层主要有中二叠统茅口组,上二叠统峨眉山玄武岩组、龙潭组、长兴组,下三叠统飞仙关组一、二段及三段,下三叠统永宁镇组,第四系。受长期多旋回构造运动

作用<sup>[2]</sup>,区内形成了以东西向和北东-南西向为主,局部伴随旋扭构造的构造体系。其中,以北东-南西向多字形构造最为发育,分布广泛。区内岩浆活动强烈,以基性喷发为主,侵入活动微弱<sup>[3]</sup>。岩石类型主要为大陆拉斑玄武岩,柱状节理发育,纵向可分三、四个旋回,数十个小旋回,每个旋回从下至上为火山角砾岩(凝灰岩)、致密状玄武岩、孔状杏仁状玄武岩或斑状玄武岩。火山角砾岩(凝灰岩)的分布与硫铁矿在成因上关系密切<sup>[4]</sup>,川滇黔铅锌矿带与玄武岩在空间分布上具有明显一致性,矿床(体、化)分布与玄武岩空间位置对应较好<sup>[2]</sup>。

镇雄及周边地区矿产资源丰富,主要有铁、铜、铅、锌、锑、银、煤炭、硫铁矿、大理石、水晶、石灰石等30余种。该区是我国铅锌银资源基地之一,分布富铅锌银矿床(矿点、矿化点)400余个<sup>[2]</sup>。此外,该区煤炭和硫铁矿分布广泛,储量巨大。

#### 1.1 区内硫铁矿特征

区内硫铁矿的矿床类型为火山沉积型矿床。矿

收稿日期:2016-01-07;改稿日期:2016-02-28

基金项目:国土资源地质大调查项目(12120113086700)资助

作者简介:崔宁(1986-),女,博士,主要研究方向为定量地学与资源评价。

通讯作者:张佳文(1955-),男,教授级高级工程师,Email:Zhangjiawen1955@sina.com。

体受地层控制,含矿岩系为上二叠统峨眉山玄武岩组底部火山碎屑岩(凝灰岩)。矿体呈层状、似层状产出,厚度较稳定,变化范围1.36~2.24 m,平均厚度1.77 m,少有夹层。按结晶程度,硫铁矿矿石结构可分为自形结构、半自形结构、他形结构。其中半自形结构为该硫铁矿矿石结构的主要结构,大部分花斑状黄铁矿石和部分稠密浸染状黄铁矿石均为此种结构。常见构造有:聚晶团块状构造、花斑状构造、浸染状构造、致密块状构造等<sup>[5]</sup>。

### 1.2 区内硫磺矿渣特征

从区域上看,硫磺矿渣主要分布在镇雄县以勒镇—唐坊镇以东的大部分区域。研究证明,废渣中的主要金属矿物为赤铁矿、锐钛矿、磁黄铁矿,脉石矿物为莫来石、石英、歪长石、石膏和透闪石等,但经过900℃-1100℃高温,矿物结构发生了变化。通过野外调查研究发现,该区内废渣中矿物以隐晶质-非晶质状态存在,肉眼及放大镜无法辨认。根据废渣形态和炼硫工艺流程推断,原生矿物中保留有长石、石英、部分灰岩加热形成的氧化钙、煤炭燃烧形

成的氧化铝、新生成的磁铁矿和少量未完全反应的硫化亚铁。

自然状态下,矿渣呈一种松散的角砾状胶结的渣状物,类似于炉渣,其中角砾多是原岩中不含矿石或未经高温加热部分,棱角状,无分选、磨圆,胶结物为蜂巢状及渣状,气孔发育。矿渣的构造受人工生产方式、地形、建造规模影响,平面上呈平台状,锥状及楔状,从堆积方式看:是一种松散的人工堆积物。经野外调查发现,该区域内矿渣主要为层状构造、叠瓦状构造和混杂堆积,分布于沟谷。

## 2 硫磺矿渣样品采集及分析

### 2.1 样品采集及分析

在云南镇雄及周边矿渣分布区分别采集样品,每个样品称取10g,采用PW2404 X射线荧光光谱仪、AB-104L和EA-3000碳硫氯分析仪以及PHS-25A酸度计对采集样品进行主量元素及微量元素全分析,分析结果见表1。

表1 硫磺矿渣样品化学分析结果/%

Table 1 The chemical analysis results of sulphur slag

采样点	编号	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	S	V*	Cr*	Co*	Ni*	Cu*	Zn*	Pb*
仁和笔花	DRH-H1	25.72	0.229	6.48	7.02	2.25	449	146	89.5	160	291	233	57.6
	DRH-H2	26.26	0.544	3.78	7.03	0.780	436	116	95.1	107	402	326	34.4
仁和李家寨	DRH02-H1	24.65	0.413	4.46	7.41	0.718	558	153	114	84.4	335	198	31.1
	DRH02-H2	24.89	0.308	4.68	7.01	0.619	439	153	91.5	76.4	319	167	37.4
镇雄母享	DMX01-H1	32.20	0.208	4.76	6.89	1.36	373	62.8	72.1	57.6	280	244	59.7
	DMX01-H2	24.54	2.31	3.08	5.74	1.89	392	65.4	50.8	48	196	231	61.4
镇雄黑树	DCK01-H1	26.66	0.117	1.47	6.11	1.33	361	103	121	110	406	349	41.1
	DHS03-H1	20.78	0.117	1.47	6.11	1.33	382	100	67.5	64.5	184	120	47.5
	DHS03-H2	26.77	0.146	2.29	4.46	1.48	417	143	56.2	66.6	243	207	65.1
镇雄坡头	DSH5-1	28.12	0.365	3.75	5.81	1.04	390	103	105	97.7	327	328	253
	DPT01-H1	24.17	0.426	1.81	6.49	1.57	368	111	34.2	46.4	153	129	26.1
镇雄大湾	DPT02-H1	28.70	0.650	4.24	5.94	1.05	348	145	104	130	425	159	44.2
	DDW02-H1	31.09	0.787	2.68	5.70	0.546	256	96.5	71.5	108	428	219	19.4
威信高田	DGT01-H1	27.98	0.213	6.31	3.95	0.695	375	346	48.2	88.3	258	129	106
	QLK01-H1	22.89	0.405	2.50	4.67	1.06	341	268	41	65.1	257	121	46
毕节林口	QLK02-H1	25.88	0.210	5.42	3.95	1.79	432	318	69.4	132	283	147	41.2
	DLK01-H1	16.77	0.043	2.36	5.43	0.174	664	299	16.6	37.4	133	53.2	26.8
毕节团结	DLK02-H1	32.58	0.177	5.37	4.32	0.403	350	188	45	89.4	235	119	21
	DTJ01-H1	29.37	0.399	2.51	4.13	0.400	889	486	44.9	84.8	202	104	31
平均值		26.32	0.43	3.76	5.72	1.05	432.63	179.09	70.39	87.03	281.95	188.59	55.26

\* 单位为10<sup>-4</sup>。

由表 1 可以看出,云南镇雄及周边区域硫磺矿渣中  $Fe_2O_3$  和  $TiO_2$  的含量相对稳定,且大于边界品位,故具有二次回收利用的价值。而 V、Cr、Co、Ni、Cu、Pb、Zn 元素的平均含量分别为  $432.63 \times 10^{-6}$ 、 $179.09 \times 10^{-6}$ 、 $70.39 \times 10^{-6}$ 、 $87.03 \times 10^{-6}$ 、 $281.95 \times 10^{-6}$ 、 $188.59 \times 10^{-6}$ ,品位较低,利用价值不高。

### 2.2 区域矿渣组分特征分析

根据样品元素分析结果,对云南镇雄县黑树镇、母享镇、坡头镇、大湾镇、花郎乡的硫磺矿渣进行深入研究,分析各分布区采集的矿渣基本化学样中的有价元素和有害元素。以乡镇为评价单元,按照分布区,取区内采集样品中所含化学元素的平均值进行区域矿渣组分特征研究。矿渣中的有价元素 Fe、Ti 及有害元素 S、P 的含量分析见表 2。

表 2 矿渣中有价有害元素分析/%

Table 2 Analysis of valued and harmful elements in slag

分布区	TFe	$TiO_2$	S	$P_2O_5$
黑树	30.40	5.80	1.87	0.34
母享	32.03	6.40	1.35	0.93
坡头	30.10	6.57	1.17	0.43
大湾	34.07	5.70	0.55	0.79
花郎	29.56	4.68	2.50	0.82
最小值	29.56	4.68	0.55	0.34
最大值	34.07	6.57	2.5	0.93
平均值	31.232	5.830	1.487	0.662
均方差	1.834	0.744	0.738	0.260
变化系数	5.87	12.76	49.61	39.30

由表 2 可以看出,镇雄各分布区内有价元素 TFe 含量变化范围为 29.56% ~ 34.07%,平均值为 31.232%,均方差为 1.834%,变化系数为 5.87%;有价元素  $TiO_2$  含量的变化范围为 4.68% ~ 6.57%,平均值为 5.830%,均方差为 0.74%,变化系数为 12.76%。根据矿产类型中变化系数规定,<80% 为稳定型,本研究区内硫磺矿渣中有益组分 TFe 和  $TiO_2$  的变化系数均<80%,故其均属于稳定型,因此,回收该研究区矿渣中的 Fe、Ti,流程可相对稳定。而矿渣中有害元素 S 和  $P_2O_5$  的含量较高,故在回收 Fe、Ti 的过程中,应关注有害元素 S、P 的去除问题。

此外,对镇雄各分布区矿渣中 TFe、 $TiO_2$ 、S、 $P_2O_5$  含量之间进行两两相关性分析,可以得出:TFe 与

$TiO_2$  的相关系数为 0.5331, TFe 与 S 的相关系数为 0.0004, TFe 与  $P_2O_5$  的相关系数为 0.6520,  $TiO_2$  与 S 的相关系数为 0.24,  $TiO_2$  与 S 的相关系数为 0.1150, S 与  $P_2O_5$  的相关系数为 0.3948。由此可以推断,镇雄各分布区矿渣中 TFe、 $TiO_2$ 、S、 $P_2O_5$  含量两两之间均无明显相关性。

### 2.3 区域矿渣量估算

#### 2.3.1 估算方法

本文采用传统几何法进行矿渣量估算,依照矿渣赋存状态,分别进行统计计算。

##### (1) 矿石体积估算

矿渣体积采用平行断面法估算,计算公式为 (1):

$$\left. \begin{aligned}
 &V = \frac{L}{2}(S_1 + S_2), S_1 \text{ 与 } S_2 \text{ 形状相似且其面积相对差} \\
 &\frac{|S_1 - S_2|}{S_1} < 40\% \text{ 或有一对应边相对;} \\
 &V = \frac{L}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}), \text{ 两断面矿体形态相似且} \\
 &\text{面积相对差 } \frac{|S_1 - S_2|}{S_1} > 40\%; \\
 &V = \frac{L}{6}(S_1 + 4S_m + S_2), \text{ 两断面矿体形态不同又无} \\
 &\text{一边相当;} \\
 &V = \frac{L}{2}S, \text{ 矿体形态呈椎体;} \\
 &V = \frac{L}{3}S, \text{ 矿体形态呈楔形体。}
 \end{aligned} \right\}$$

式中,  $V$  为矿体体积,单位为  $m^3$ ;  $S_1$ 、 $S_2$  为两个断面上矿体面积,  $S_m$  为  $\frac{L}{2}$  处平行断面上的矿体面积,  $S$  为矿体边缘断面面积(为单个剖面上向另一断面上以线尖灭或点尖灭或以柱状外推时的面积),单位为  $m^2$ ;  $L$  为两断面间距,单位为  $m$ 。

##### (2) 资源量估算

$$Q = V * D \quad (2)$$

式中,  $Q$  为矿石资源量,单位为  $t$ ;  $V$  为体积,单位为  $m^3$ ;  $D$  为矿石体重,单位为  $t/m^3$ 。

#### 2.3.2 估算结果及误差分析

分矿段、矿体选取有代表性的样品 11 件进行小

体重测试,估算结果见表3。湿度对资源量的估算有一定影响,故对样品测试后得到的小体重平均值进行校正,校正后的矿石体重参数为 2.13 t/m<sup>3</sup>。

表3 小体重估算

Table 3 Estimation of volumetric weight

矿渣编号	小体重 D/(t·m <sup>-3</sup> )	含水率/%
ZX-XT1	1.83	7.44
ZX-XT2	2.28	4.39
ZX-XT3	1.79	6.38
ZX-XT4	2.26	7.36
ZX-XT5	2.52	4.43
ZX-XT6	1.99	8.38
ZX-XT7	1.91	6.39
ZX-XT8	1.97	7.42
ZX-XT9	2.16	6.39
ZX-XT10	1.87	8.40
ZX-XT11	2.04	6.42
平均值	2.06	6.67

表4 资源量估算结果(单位:10<sup>4</sup> t)

Table 4 Estimation of sulphur slag (Unit:10<sup>4</sup> tons)

分布区	矿渣量	占比/%
黑树	333.132	15.83%
母享	46.86	2.23%
坡头	1715.5	81.52%
大湾	4.69	0.22%
花朗	4.26	0.20%
总计	2104.442	100%

勘探线间距及剖面面积数据取自 1:2000 区域地质图数据,运用公式 1 确定各分布区矿渣堆的体积,然后运用公式 2 对云南镇雄各分布区矿渣资源

表5 层次分析确定的指标权重

Table 5. Index weight table for this paper

评价指标	地理面积	矿渣量	矿渣平均分布量	矿渣中元素含量					
				TFe	V	Co	Zr	TiO <sub>2</sub>	S
权重	0.0285	0.0394	0.0387	0.2516	0.0648	0.0794	0.0875	0.2158	0.0981

(3)模糊数学法

采用“越大越好”原则统一极性,对越小越好的指标进行极性转换。极性转换公式为:

$x^* = x_{max} - x$  (4)

式中,x 为原来指标值,x\* 为转换后的指标值,x<sub>max</sub> 为原指标值中的最大值。

其次是构造隶属函数,本文采用正态函数构建隶属度函数,公式如下所示:

$f(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-p}{c}\right)^2\right]$

量进行估算,估算结果见表4。

进行矿渣量估算时,矿渣体积估算采用平面断面法,将所有矿渣均视为均匀块体,坡角和矿渣安息角不一致,因此在估算数值上会存在一定误差。

3 硫磺矿渣资源综合评价

3.1 评价方法及模型构建

(1)综合指数法

根据实际工作经验,本文选取多种方法组合实现对区域硫磺矿渣资源评价,构建了基于模糊综合法的硫磺矿渣资源综合评价模型,模型公式如下。

$F^* = \sum_{j=1}^m F_j W_j$  (3)

式中,F\* 为评价对象综合指数,F<sub>j</sub>为每一指标评定值,W<sub>j</sub>为各指标权重,m 为各评价指标个数。

各指标的权重采用专家-层次分析法来确定。由于 2.2 和 2.3 已对区域硫磺矿渣的有用组分及有害组分、区域矿渣量进行了定量化分析,但是对于这些量化数据并没有一个确定的评价标准,故本文选取模糊数学法对指标评定值进行估算。

(2)层次分析法

根据硫磺矿渣资源评价指标体系分层构建指标的两两比较矩阵,将两两比较矩阵取判断矩阵 n 个列向量归一化后的算术平均值作为个指标值的权重。通过计算,得出本研究的指标权重见表 5。

表6 矿渣资源评价指标数据  
Table 6 Evaluation index data of sulphur slag

分布区	地理面积 /km <sup>2</sup>	矿渣量 /10 <sup>4</sup> t	矿渣平均分布量 /(t·m <sup>-2</sup> )	矿渣中元素含量/%						
				TFe	V	Co	Zr	TiO <sub>2</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
黑树	85.79	333.13	3.88	30.4	396.33	76.23	523.67	5.8	1.87	0.34
母享	100.1	46.86	0.47	32.03	375.33	81.3	534.67	6.4	1.35	0.93
坡头	70.3	1715.5	24.4	30.1	358	69.1	536	6.57	1.17	0.43
大湾	182	4.69	0.03	34.07	256	71.5	435	5.7	0.55	0.79
花朗	59.32	4.26	0.07	29.56	412	79.3	473	4.68	2.5	0.82

(2) 评价参数估算

本文对综合评价模型划分“优”、“良”、“中”、“差”四个评价集。按照公式6计算各评价集的分界点,评价集划分结果见表7。

$$x_1 = \frac{7}{8}x_{\min} + \frac{1}{8}x_{\max} \quad x_2 = \frac{1}{2}x_{\min} + \frac{1}{2}x_{\max} \quad x_3 = \frac{1}{8}x_{\min} + \frac{7}{8}x_{\max} \quad (6)$$

式中,  $x_1$  为“差”与“中”两个评价级的分界点;  $x_2$  为“中”与“良”两个评价级的分界点;  $x_3$  为“良”与“优”两个评价级的分界点;  $x_{\min}$  为评价指标值的最小值;  $x_{\max}$  为评价指标值的最大值。

表7 评价集划分结果

Table 7 Evaluation results

评价指标	差	中	良	优
地理面积	<74.655	74.655 ~ 120.66	120.66 ~ 166.665	>166.665
矿渣重量	<218.165	218.165 ~ 859.88	859.88 ~ 1501.595	>1501.595
矿渣密度	<3.07625	3.07625 ~ 12.215	12.215 ~ 21.35375	>21.35375

表8 各指标评价集综合指数

Table 8 Comprehensive Index of each set

分布区	指标评价等级				评价结果	综合评价指数
	差	中	良	优		
黑树镇	0.026603808	0.423453727	0.338072209	0.144753767	中	2.466742956
母享镇	0.10591856	0.164143218	0.419729882	0.285493482	良	2.835368571
坡头镇	0.205223678	0.164834158	0.312162762	0.190453831	良	2.233195604
大湾镇	0.212293926	0.197192045	0.195838035	0.188854846	差	1.949611507
花朗乡	0.384360268	0.192854199	0.073733375	0.045105723	差	1.17169168

由表8可以看出,镇雄各矿渣分布区的矿渣资源较为均衡,黑树镇和母享镇的综合评价指数较高,可作为下一步进行示范研究的典范区域。

## 4 结 论

(1) 云南镇雄区内硫铁矿分布广泛,储量巨大。区内硫磺矿渣堆积于地表或沟谷,呈层状构造、叠瓦

评价指标	差	中	良	优
TFe 含量	<30.12375	30.12375 ~ 31.815	31.815 ~ 33.50625	>33.50625
V 含量	<275.5	275.5 ~ 334	334 ~ 392.5	>392.5
Co 含量	<70.625	70.625 ~ 75.2	75.2 ~ 79.775	>79.775
Zr 含量	<447.625	447.625 ~ 485.5	485.5 ~ 523.375	>523.375
TiO <sub>2</sub> 的含量	<4.91625	4.91625 ~ 5.625	5.625 ~ 6.33375	>6.33375
S 含量*	<0.24375	0.24375 ~ 0.975	0.975 ~ 1.85625	>1.85625
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量*	<0.07375	0.07375 ~ 0.295	0.295 ~ 0.51625	>0.51625

\* 已经按照公式5进行了极性转换。

### 3.2.2 评价结果及分析

运用3.2.1的估算参数及3.1构建的评价模型,对镇雄各个矿渣分布区的矿渣资源进行评价。按照隶属度最大原则对每个分布区进行等级划分,将优、良、中、差分别赋值4、3、2、1,获得对各分布区的综合评价指数,评价结果见表8。

状构造和混杂堆积,交通便利,开发利用条件优越。

(2) 区内硫磺矿渣中有益组分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 的变化系数均 < 80%, 属稳定型。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 的含量相对稳定,平均含量分别为 26.32 wt% 和 5.72 wt%, 且均大于边界品位。故研究区的 Fe 和 Ti 具有回收价值,但有害元素 S 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 过高,应加强脱除 S、P 技术研究。

(3)通过对镇雄各分布区矿渣量进行估算,该区域矿渣总量达  $2104.442 \times 10^4 \text{t}$ ,其中黑树和坡头的矿渣量较大,占整个镇雄矿渣量的 80% 以上。以此推断,若每回收 1 吨含铁 60% 以上的铁精矿约需硫磺矿渣 3~4t,那么该区域常年堆积的硫磺矿渣就相当于一个大型的磁(赤)铁矿床,综合利用价值十分可观。

(4)通过对镇雄区域矿渣资源评价得到该研究区内有 2 个评定为良,1 个评定为中,2 个评定为差。黑树镇和母享镇的综合评价指数较高,可作为该区域矿渣示范研究的典型地区。

参考文献:

[1]云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990,1-728.  
 [2]王峰. 滇东北铅锌多金属矿区成矿规律与资源潜力分析[J]. 云南冶金,2010,39(4):3-9.  
 [3]武显东,王宗起,罗金海,等. 2014. 滇东北东川下田坝 A

型花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报,33(6):860-873.  
 [4]张志国,黄兴林,李冬春,唐利波. 云南省镇雄县堰塘硫铁矿资源储量核查报告[R]. 云南中林地质勘察设计有限公司,2010:1-68.  
 [5]黄兴林,李冬春,唐利波. 云南省镇雄县黑树庄硫铁矿资源储量核查报告[R]. 云南中林地质勘察设计有限公司,2010. 1-86.  
 [6]张佳文,崔宁,尹冰,等. 我国矿山固体垃圾现状与资源潜力[J]. 矿产综合利用,2014(1):6-9.  
 [7]王亚莹,蔡剑辉,张佳文,等. 云南镇雄县黑树地区硫磺渣工艺矿物学研究[J]. 矿床地质,2014,33(S1):1091-1092.  
 [8]中华人民共和国国土资源部. 铁、锰、铬矿地质勘查规范[M]. 北京:地质出版社.  
 [9]GB/T13908-2002 固体矿产地质勘查规范总则[P]. 2002.

Characteristics and Assessment of Sulfur Slag in Zhenxiong, Yunnan

Cui Ning<sup>1,2,3</sup>, Zhang Jiawen<sup>1,2</sup>, Cai Jianhui<sup>1,2</sup>, Fang Jingling<sup>1,2</sup>, Wei Youhua<sup>4</sup>

- (1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, China;
- 2. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Beijing, China;
- 3. China University of Geosciences( Beijing ), Beijing, China;
- 4. College of Management, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China)

**Abstract:** This paper selected sulfur slag in Zhenxiong, Yunnan as the research object. Through the analysis of regional geological background, the characteristics of sulfur and sulfur slag, it analyzed the chemical composition of sulfur slag samples. And then, it estimated the amount of sulfur slag in this region. Then, it made the comprehensive assessment by building the regional sulfur slag comprehensive evaluation index system. The results indicated that sulfur ore was widely distributed and had huge reserves. The structure of sulfur slag in research areas was layer structure, imbricate structure or mixed accumulation, which was piled up in the earth's surface. Adding the convenient traffic, sulfur slag could be developed and used more easily. The valuable components such as Fe and Ti in mixed slag had good comprehensive utilization prospect, but the harmful elements such as S and P, whose contents were too high, should be attention to get rid of them. The amount of slag in Heishu and Potou is larger, which is more than 80% of the whole. The slag resources distribution of Zhenxiong is relatively balanced. The comprehensive evaluation index of Heishu and Muxiang is higher, so they could be used as the typical area of the demonstration research.

**Keywords:** Zhenxiong; Yunnan; Sulfur Slag; Characteristics of Slag Composition; Resource Estimates; Comprehensive Assessment