فلوتاسیون تفریقی سنگهای معدنی سرب و روی

گروه‌بندی آزمایشی سنگهای معدنی وروش فلوتاسیون آنها

نوشتهٔ

M. Roy

استاد مدرسه عالی ملی معدن پاریس و رئیس تحقیق فلوتاسیون انجمن معدنی ومتالواژی پناروپا پاریس

ترجمه مهندس محمدعلی کاظم‌زاده ـ وزارت اقتصاد

عوامل اساسی مؤثر در فلوتاسیون سنگهای معدنی سرب و روی عبارتند از: وفور ونوع سولفورهای آهن ـ اندازه اکسیده شدن کانیها خاصیت اسیدی یا بازی گانگ (همرو) ووجود یاعدم وجود کانیهای مس. براساس این عوامل نگارنده طبقه‌بندی سنگهای معدنی‌را پیشنهاد میکند ومعرفهائیکه برای فلوتاسیون تفریقی هر گروه بکار برده میشود ازنظر میگذراند.

۱ـ مقدمه

آزمایشگاههای انجمن معدنی ومتالورژی پناروپا وانجمن کانیها وفلزات درپاریس درعرض دو سال روی نمونه‌های متنوعی از کانیهای سرب وروی تحقیق کرده است. گروه‌بندی کانیها وفرمول معرفهای مستعمل درفلوتاسیون تفریقی کمک و راهنمائی برای آزمایشهای مقدماتی روی نمونه‌های جدید خواهد کرد. این کانیها را تقریباً از ٤ معدن درفرانسه، اسپانیا، ایتالیا، آفریقای شمالی، برزیل، وآرژانتین آورده‌اند. هنگام تطبیق ارقام ملاحظه شد که نگاهی بمقالات منتشره برای مشاهده سایر کانیها که متعلق بگروههای مشابه میباشند مفید خواهد بود و لذا باین ترتیب مشاهدات بدست آمده بانتایج سایر مقالات تطبیق گردید.

کوشش کنونی درمورد عمومیت دادن و تقسیم‌بندی حاصل نتایج آزمایشها است. برای سهولت از سنگهای معدنی که حاوی مقادیر قابل ملاحظه و قابل بازیابی ازکانیهای مس باشند صرفنظر میشود. بنابراین این تقسیم‌بندی منحصر به سنگهای معدنی سولفوره سرب و روی میشود اعم از آنکه غیراکسیده و یا اکسیده باشند. باصرفنظر از عوامل ساختمانی این گزارش براساس مینرالوژی و شیمی سنگهای معدنی و فرمول معرفها برای فلوتاسیون تفریقی تنظیم شده است.

مهمترین عواملی که در وضع سنگهای معدنی مؤثرند عبارتند از :

(۱) - وفور ونوع سولفورهای آهن .

(۲) - اندازه اکسیداسیون .

(۳) - خاصیت اسیدی یا بازی گانگ .

(٤) - وجود یا عدم وجود کانیهای مس ونوع آنها .

املاح محلول بعنوان عامل مستقلی ذکر نشده زیرا فرض شده است که آنها نتیجه‌ای از عوامل فوق‌الذکرند . سایر نکات‌احتیاجی بتفسیرندارند اماچند کلمه‌ای درباره گانگ‌بایستی گفته شود . کلمه «بازی» به گانگی‌اطلاق میشود که‌حاوی‌مقادیر کافی‌از سنگ‌آهک‌یا کلسیت باشد تااسید را خنثی کند وسولفات‌آهنی که‌از اکسیده شدن ایجاد شده بصورت هیدرات رسوب دهد . دراین روش سولفات کلسیم ایجاد میشود که همانطوریکه بعداً خواهیم دید قابل اهمیت است .

بااستفاده ازآب موجودیکه درآن هوا دمیده شده فعل‌وانفعال بصورت زیر نوشته میشود :

$$۲FeSO_٤ + ۲CaCO_۳ + ۳H_۲O + \frac{۱}{۲}O_۲ \longrightarrow ۲Fe(OH)_۳ + ۲CaSO_٤ + ۲CO_۲$$

سولفات سرب و روی نیز فعل‌وانفعال مشابهی میدهند . تمام این‌فعل‌وانفعالات کم‌وبیش برحسب شرائط کامل‌اند . بایستی متذکر شد که ایجاد رسوب هیدرات روی مستلزم pH زیادتری است وبنابراین در یک مقیاس بزرگتر گانگ کنترل کننده املاح‌محلول وهمچنین آلودگیهای سطحی سولفورها میباشد مثلاً اسفالریت (ZnS) ، مارماتیت (ZnS. FeS) وسولفورهای آهن وقتی درمحیط اسیدی اکسیده شوند بصورت درخشان درمیآیند وخاصیت شناوری زیادتری دارند درحالیکه اگر درمحیط خنثی‌اکسیده شوند تمایل دارند که بااملاح قلیائی (مخصوصاً باسولفورهای آهن) آلوده شوند .

۲- تقسیم‌بندی پیشنهادی

تقسیم‌بندی پیشنهادی درموردیکه کانیهای مس وجود داشته باشد تحقق نمیباید مگر آنکه کانی مس بسیار جزئی باشد . تقسیم‌بندی پیشنهادی بشرح ذیل است .

الف - سنگهای معدنی اکسیده نشده .

(۱) گالن - اسفالریت‌یا گالن - مارماتیت .

(۲) گالن - اسفالریت‌با گالن - مارماتیت بعلاوه مقادیر اضافی از سولفورهای آهن (پیریت $FeS_۲$ ، مارکاسیت ($FeS_۲$) ، پیروتیت $Fe_{۱-x}S$) . این‌دسته‌را میتوان بتقسیمات جزئی برحسب مقادیر سولفورهای آهن به «کم» ، «متوسط» و «زیاد» تقسیم کرد .

ب - سنگهای معدنی اکسیده با گانگ‌اسیدی

(۱) سنگهای معدنی اسیدی ضعیف .

(۲) سنگهای معدنی اسیدی قوی (گالن ـ اسفالریت ـ انگلزیت $pbSO_4$) .

ج ـ سنگهای معدنی اکسیده با گانگ‌بازی (گالن ـ اسفالریت ـ سروزیت $pbCO_3$ ، احتمالاً اسمیت زونیت $ZnCO_3$) .

(۱) بدون سولفورهای آهن .

(۲) باسولفورهای آهن .

د ـ سنگهای معدنی حاوی کانیهای مس از منشاء ثانوی .

این طبقه‌بندی براساس فلوتاسیون تفریقی استوار گشته و درهرقسمت دشواری جداشدن از (۱) به (۲) افزایش مییابد . از نظر زمین‌شناسی ومینرالوژی ، سنگهای معدنی تشکیل شدهٔ در حرارت زیاد حاوی ماریاتیت وپیروتیت‌بایستی‌درنظر گرفته‌شود ولی‌بطور جداگانه ذکرنخواهندشد معذالک بعضی‌از مشخصات خاص ماریاتیت در قسمت ٥ این گزارش ذکر شده است . بعضی از مسائل خاص مربوط به‌ارسنوپیریت (FeAsS) وجدا شدن پیریت از ارسنوپیریت نیز وجود دارد که دراینجا صرفنظر میشود و نیز از ذکر بعضی سنگهای معدنی غنی از خاك رس یا مارن که در سنگهای ثانوی یافت میشود مثلاً در تونس اغماض شده است .

الف ـ سنگهای معدنی اکسیده نشده

تجربه نشان میدهد وقتیکه سنگ معدنی اکسیده نشده باشد ، نوع گانگ عملاً اهمیتی ندارد و مقدار املاح محلول موجود خیلی کم است .

۳ـ سنگهای خالص معدنی گالن ـ اسفالریت یا گالن ـ ماریاتیت (دسته الف نوع ۱) .

حالت این نوع سنگها ساده‌ترین حالت است . چنین سنگهای معدنی بحد وفور وجود ندارند ولی از میان آنها ذخائر معدنی Joplin و pend oreille در oregon را میتوان نام برد . بنظر میرسد که ذخائر ناحیه Broken Hill باین نوع نزدیکترند . درشرکت پناروبا این‌چنین سنگ معدنی را بانتیجه رضایتبخشی مورد عمل‌فلوتاسیون قرار میدهند . دراین سنگهای معدنی اسفالریت فعال‌نبوده وسنگ معدنی بدون افزایش راسب کننده[1] ویا بامصرف مقداری سیانور بمقدار چند گرم در تن شناور میشود .

در مسیر سرب و در مسیر روی احتیاجی بافزودن مواد قلیائی نیست . از اینجا واضح میشود که عمل قلیائی‌ها وراسب کننده‌ها در فلوتاسیون تفریقی بیشتر برای اینست که تأثیر زیان‌آور املاح محلول را خنثی سازد و روی سولفورهای آهن اثر کند و اما بایستی مواد قلیائی و راسب کننده بمقدار حداقل مصرف شود . جدا شدن سرب و روی دراین چنین سنگهای معدنی همانطوریکه در جدول ۱ نشان داده شده بحد اعلا است .

عیار سرب پرعیار شده ۸۰ درصد سرب با ٥/. تا ۳ درصد روی و عیار روی پرعیار شده به ٦۰ درصد روی (درحالت اسفالریت) با ٥/. تا ۱ درصد سرب میرسد .

۱- Depressant

جدول I

سنگهای معدنی اکسید نشده: فرمول معرفهای عادی ونتایج فلوتاسیون

نسبت سولفورهای آهن	مواد قلیائی	راسب کننده	سایر معرفها	محصول کنسانتر*
هیچ	Na_2CO_3 ۰	NaCN ۰ تا ۲۰	—	Rb ۷۵ تا ۸۰ Zn ۰٫۵ تا ۳
	CaO ۰ تا ۲۰۰	—	$CuSO_4$ ۲۵۰ تا ۵۰۰	Zn ۵۲ تا ۶۲ Pb ۰٫۱ تا ۰٫۵
کم	Na_2CO_3 ۰ تا ۱۰۰	NaCN ۰ تا ۱۰۰	—	Pb ۶۰ تا ۷۸ Zn ۰٫۷ تا ۵
مسیر سرب				Zn ۵۲ تا ۶۰
مسیر روی	CaO ۰ تا ۷۵۰	$ZnSO_4$ ۰ تا ۲۰۰	$CuSO_4$ ۳۰۰ تا ۶۰۰	Pb ۰٫۶۵ تا ۳
متوسط	Na_2CO_3 ۰ تا ۱۰۰۰ یا CaO ۰ تا ۵۰۰	NaCN ۳۰ تا ۱۰۰	—	Pb ۶۰ تا ۷۸ Zn ۲٫۵ تا ۷
مسیر سرب				Pb ۵۲ تا ۶۰
مسیر روی	CaO ۵۰۰ تا ۲۵۰۰	$ZnSO_4$ ۰ تا ۳۵۰	$CuSO_4$ ۳۰۰ تا ۶۰۰	Zn ۰٫۶۵ تا ۳
زیاد	CaO ۲۰۰ تا ۵۰۰**	NaCN ۱۵۰ تا ۳۰۰**	Na_2SO_3 یا $NaHSO_3$ ۰ تا ۵۰۰	Pb ۵۵ تا ۷۰ Zn ۳ تا ۸
مسیر سرب				Zn ۴۸ تا ۵۷
مسیر روی	CaO ۵۰۰ تا ۲۵۰۰	$ZnSO_4$ ۰ تا ۹۰۰	$GnSO_4$ ۴۰۰ تا ۸۰۰	Pb ۱ تا ۳

۴ـ سنگهای معدنی اکسیده نشده حاوی پیریت یا سایر سولفورهای آهن (دسته الف نوع ۲) .

این نوع سنگهای معدنی اقسام متعدد دارند. ازمیان آنهائیکه حاوی سولفورآهن زیادی میباشند میتوان ذخائر معدنی Cassandra در یونان (حاوی پیریت) ، Sullivan درکانادا (حاوی پیروتیت) و Mount Isa در استرالیا (حاوی پیریت وپیروتیت)را نام برد. جدول ۱ نموداری از فرمول معرفهای متداول

*عیار بمقدار زیادی برحسب اینکه کانی روی مارماتیت یااسفالریت باشد تغییر میکند.

** درخرد کن

و نتائج فلوتاسیون حاصله را نشان میدهد . البته از بعضی حالت‌های خاص بایستی صرفنظر شود تا باین ارقام برسیم .

اثر زیاد شدن محتوی سولفور آهن اینست که مصرف قلیائی و راسب کننده را زیاد میکند و ضمناً درجه کمال جدا شدن سرب و روی را پائین میآورد . سنگهای معدنی غنی از سولفورهای آهن باسنگهای معدنی اسیدکه درقسمت ٦ این گزارش ملاحظه میشود چندین نکته مشترك دارند زیرا سولفورهای آهن همیشه در حین خرد شدن تمایل باکسیده شدن دارند وتولید اسید و املاح فرو میکند و خصوصاً این وضع در موردیکه سنگ معدنی حاوی مارکاسیت یا پیروتیت که بیشتر و زودتر از پیریت اکسیده میشود باشد بیشتر تحقق مییابد . سولفات فرو برای گالن راسب کننده است و همچنین جاذب گرانتات‌ها (Xanthate) وسیانور میباشد . اگر سولفات فرو اکسیده وهیدرولیز شده وبه هیدرات فریك‌تبدیل گردد درمقابل گرانتات‌ها وسیانور بی‌اثر میشود واثر راسب کنندگی خود را روی گالن از دست میدهد . بهرحال قراردادن قبلی پولپ درمعرض هوا بندرت مفیداست زیرا مقدار جدیدی سولفات فرو بوسیله اکسیداسیون‌سولفور درهمان زمانیکه سولفات فرو در پولپ ازبین میرود ایجاد میشود .

در سنگهای معدنی غنی از سولفورهای آهن اغلب آهك به‌آسیاب گلوله‌ای اضافه میشود تاایجاد محیط اسیدی را که باعث ازدیاد خاصیت شناورشدن سولفورهای آهن میشود خنثی سازد (رجوع شود به قسمت٦) اما مقدار مصرف آن بایستی دقیقاً کنترل شود والاگالن راسب میشود . بایستی متذکر شدکه مقدار pH پولپ اغلب معرف خوبی برای تعیین مقدار مصرف آهك نیست زیرا خود سنگ‌معدنی نیز آهك را مصرف میکند . دربعضی حالتها راسب نمودن خوب پیریت بدون ازدیاد مقدار pH بالاتر از ٧ یا ٧٫٥ حاصل میشود . همانطوریکه درجدول نشان داده شده اغلب وقتیکه سنگ معدنی از سولفور آهن غنی باشد مقادیر زیادی سیانور مصرف میشود و این زیادی مصرف بعلت کمی pH و همچنین بعلت مصرف آن توسط املاح‌فرو میباشد . ومعلوم نیست که سیانور بمقدار زیادی هدر نرود چون بیشتر اوقات‌نتائج حاصله بامصرف ٠٫٥ گرم یا ٠٫٣ گرم در تن یکی است . عمل اصلی سیانور اغلب فعال نمودن گالن است و کم کردن آن ممکن است بازیابی سرب را چندین واحد پائین آورد . این عمل ممکن است مربوط بتاثیر تمیزکردن سطح گالن باشد . سولفور سدیم یا بی‌سولفیت سدیم راسب کننده‌های خوبی برای ذخائر غنی از سولفور آهن وبرای سنگهای معدنی اسیدی مذکور دربخش‌های ٦و٧ این گزارش میباشند .

جدول ١ کلکتورها را نشان نمیدهد زیرا اینها خیلی متغیرند . بهرحال کاملاً مشهود است که هرچه آهك در مسیر سرب بیشتر مصرف شود کلکتور قویتری هم از نظر کیفیت وهم از نظر مقدار بایستی مصرف شود . ممکن است برای مسیر سرب باآهك کم Aerofloat یا باآهك زیادتر وآمیل گزانتات بکار برد درحالیکه نتائج هر دو تقریباً یکی است . نکته دیگر اینکه برای خنثی ساختن عمل راسب کنندگی گالن بوسیله املاح آهن یا آهك اغلب توصیه میشود که کلکتور به‌آسیاب گلوله‌ای اضافه شود . این‌عمل تقریباً در آسیابهای انجمن پناورویا عمومیت دارد و آمیل گزانتات بکار برده میشود وثابت شده است که اعتقاد به

سلکتیویته نداشتن آن واقعیت ندارد . اثر مفید این افزایش احتمالاً مربوط به‌حفاظت سطح گالن و رسوب املاح فعال شده چون گزانتات غیر محلول است .

افزایش گزانتات در آسیاب اخیراً در Mount isa نتائج رضایت بخشی داشته است . مادام که سنگهای معدنی اکسیده نشده باشد گالن بطور کامل در مسیر سرب شناور میشود ومقدار روی قسمت برعیار شده سرب کم است . مواد باطله (Tailing) همچنین فقط حاوی چند دهم درصد سرب میباشد . نسبت اسفالریت وسولفور آهن موجود در سرب پرعیار شده ونسبت سولفور آهن در روی پرعیار شده بامقدار سولفور آهن موجود در سنگ معدنی ، همانطوریکه در جدول ۱ نشان داده شده ، ازدیاد مییابد . فلوتاسیون پیریت بعلت وضوح مورد بحث نیست زیرا تولید اشکالاتی نمیکند .

۵- سنگهای معدنی مارماتیت

مارماتیت نوع تیره‌ای از اسفالریت است که حاوی سولفور آهن در محلول منجمد میباشد . بوسیله عده‌ای از مورخین گفته شده که دارای خواص پیروتیت است اما در جزئیات آن مطالعه نشده است . شناور شدن مارماتیت معمولاً مشکلتر از اسفالریت است واین امر شاید مربوط باشکال فعال نمودن آن باشد مثلاً اغلب مشاهده میشود وقتیکه درآن واحد سنگ معدنی حاوی اسفالریت روشن وتیره (متمایل به‌مارماتیت) است کانی روی که قسمت پرعیار شده سرب را آلوده میسازد از نوع اسفالریت روشن است . مارماتیت هم بامشخصات خیلی مختلفی مشاهده شده است ودربعضی از سنگهای معدنی بطور عادی تغلیظ میگردند و در بقیه تغلیظ آن مشکل است وکانی نسبت به آهک و نسبت به تغییرات کوچک در روش فعال شدن بسیار حساس میباشد . هرگاه کاندیسیون دو دفعه انجام گردد یعنی اول باسولفات مس و بار دوم بوسیله آهک صورت پذیرد نتائج بهتری بدست میآید . در این طریق میزان پرعیار شدن مس و آهن در حین کاندیسیون مرحله اول بالا است . در بسیاری حالات نیز معلوم گشته است که عمل کاندیسیون برای مدت کوتاهی باسیانوریاآمونیاك قبل از عمل کاندیسیون باسولفات مس مفید میباشد .

ب ـ سنگهای معدنی اکسیده باگانگ اسیدی

اکنون سنگهای معدنی که دارای خواص اسیدی معینی میباشند مورد مطالعه قرار میگیرد . خاصیت اسیدی‌مربوطاست به‌وجود مارکاسیت یا پیروتیت وتاحدودی به‌اکسیداسیون درحضورگانگ‌اسیدی که قادر به‌خنثی کردن اسید وایجاد رسوب سولفات فرو نباشد .

۶- سنگهای معدنی اسیدی ضعیف (دسته ب نوع ۱) .

وقتیکه این نوع سنگ معدنی اکسیده وبیشتر اسیدی میشود خاصیت شناور شدن گالن بازمان کم میشود در حالیکه همین خاصیت در مورد پیریت زیاد میگردد . مثلاً در مورد نمونه‌ای که در آزمایشگاه نگهداری شده بود ملاحظه گردید که ظرف یکسال یازده سرب ۱ واحد و عیار سرب در قسمت برعیار شده ۵ واحد تحت شرائط مشابه فلوتاسیون کم شده ولی در فلوتاسیون اسفالریت تأثیری پیدا نشده بود . اندازه

آلتراسیون سنگ معدنی را بوسیله خرد کردن نمونه در آب مقطر، و تجزیه املاح محلول و اندازه گیری pH محلول بخوبی میتوان مشخص کرد. خرد کردن بایستی در آسیاب گلوله‌ای که گلوله های آن سیلیسی است انجام شود زیرا در آن حالت سولفات مس اتفاقی خود را نشان میدهد. در آسیاب گلوله‌ای که گلوله های آن آهن است مس رسوب کرده و مقدار معادلی از آهن به محلول داده میشود.

در اثر آلتراسیون سنگ معدنی، خاصیت شناور شدن پیریت زیاد میشود تا حدیکه بخوبی گالن شناور میگردد. این اثر را ممکن است بطور مصنوعی روی سنگ معدنی که اکسیده نیست با اضافه کردن اسید با سولفات فرو به آسیاب خرد کن ایجاد کرد. ظاهراً سطح پیریت نه فقط از املاح اصلی که خاصیت شناور شدن را کم میکند پاك میشود بلکه باین های‌آهن نیز شناور میگردد. دراینحالت پیریت بوسیله‌آهک با دشواری زیاد راسب میشود و سیانور در مرحله اولیه تغلیظ (roughing stage) اثر کمی دارد و اثر آن بیشتر در مرحله تمیز کردن (cleaning) پیدا است همچنانکه در مورد سنگهای معدنی حاوی مقادیر زیادی سولفور آهن عمل میشود دراینمورد نیز کربنات سدیم با آهک بایستی به آسیاب خرد کن برای خنثی کردن اسید یته آن اضافه کرد. کربنات سدیم این مزیت را دارد که از فعال شدن اسفالریت بوسیله املاح سرب ممانعت میکند اما آهک در راسب کردن سولفور آهن مؤثرتر است.

کلکتورسلکتیومثل آئروفلوت ۳۱ (Aerofloat) معمولاً به‌آسیاب گلوله‌ای‌اضافه میشود و گزانتات باآن مخلوط ویا بطور جداگانه بکار برده میشود. سولفیت‌ها و بی‌سولفیت‌ها نیز معرفهای خوبی هستند که جانشین سیانور شده ویا باآن بکار برده میشوند. دریک سنگ معدنی متاسولفیت سدیم ($Na_2S_2O_5$) بمقدار ۵۰۰ گرم در تن بکار برده شده است. بعقیده plante و Sutherland سولفیت‌ها اثر راسب کنندگی‌خود را روی پیریت در پولپ اسیدی نگه میدارند درصورتیکه که سیانور این عمل‌را انجام نمیدهد. تدبیر دیگری دریکی‌ازآسیاب‌های Montevecchio درساردنی‌بکاربرده شده بانیتریت میباشدپیریت‌سنگ‌معدنی که ۷ تا ۸٪ میباشد همراه باگالن شناور میشود وبعدکم‌وبیش درمرحله تمیزکردن ازهم جدا میشوند وبقیه که ازپیریت عاری شده روی باعیار خیلی زیاد (۶۱٪ روی) میدهد. این فلوشیت خیلی جالب است و ارزش آزمایش دارد.

۷- سنگهای معدنی خیلی اسید (دسته ب نوع ۲)

این سنگهای معدنی مخصوصاً درگودالهای بزرگ وعمیقی که امکان محیط اسیدی زیادی وجود دارد یافت میشود وچنین سنگهائی در معادن Laurium یونان و در Garthagena اسپانیا عمل میشود. املاح‌محلول میتواند بالغ‌برچندین کیلوگرم در تن شود. مقدار pH ممکن‌است حدود ۴ یا ۵ وسنگ معدنی ممکن است حاوی گوگرد آزاد حاصل از اکسیداسیون پیریت باشد. در چنین محصولی، سرب تااندازه‌ای به سولفات تبدیل شده وشناور شدن آن مشکل است. اما اسفالریت ومارماتیت خیلی تمیز است زیرا در اثر اکسیداسیون، سولفات روی محلول حاصل شده است. اگر نسبت املاح محلول خیلی زیاد نباشد ممکن است سنگ معدنی را شسته وپس‌ازگرفتن غبار آن (Deslime) سنگ معدنی شسته شده را تحت فلوتاسیون

تفریقی قرار داد . این چنین عملی درمورد آسیاب گیلمن (Gilman) شرکت روی New Jersey توضیح داده شده است . قابلیت شناور شدن پیریت کم میشود اما معمولا بطور غیرعادی بالا باقی میماند .

درصورتیکه شستن مشکل باشد تدبیر بهتر اینست که درپولپ اسیدی ودرحضور تمام املاح محلول تمام مواد معدنی را بامصرف aerofloat یا minerec و یا اگر اسیدیته محلول خیلی زیاد نباشد بامصرف گزانتات بعنوان کلکتور شناورکرد ممکن است سولفیت را برای راسب کردن قسمتی از پیریت بکار برد . محصول پرعیار شده بعداً درمحیط قلیائی باجزاء مشکله خود جدا میشود . عمل آخر ساده نیست وزمان طولانی جهت کاندیسیون لازم دارد تا پیریت واسفالریت راسب شود . این نوع سنگهای معدنی معمولا حاوی مقدار معینی انگلزیت (مخصوصاً در Slime) میباشند که معمولاً باز یافت آن امکان پذیر نیست .

اسید وسولفات فرو موجود در پولپ سولفوره شدن را غیر ممکن میسازد .

ج - سنگهای معدنی اکسیده باگانگ بازی

اول سنگهای معدنی عاری از سولفورهای آهن مورد بررسی قرار میگیرد و بعداً آنهائیکه حاوی سولفور آهنند در قسمت ۲ ، ۱ مطالعه خواهد شد . سنگهای معدنی عاری از سولفور آهن حاوی سروزیت‌اند و معمولاً باز یافت سرب باندازه سنگهائیکه فقط حاوی گالن‌اند نیست .

۸- گالن - اسفالریت - سروزیت بدون سولفورهای آهن (دسته ج نوع ۱) .

دو ناحیه معدنی بخاطر داشتن این نوع سنگ معدنی مشهورند یکی ناحیه Zellidja - Tonisist در مراکش ودیگری ناحیه شرقی آلپ شامل معادن Raibl و Gorno (ایتالیا) ، Bleiberg (اتریش) و Mezica (یوگسلاوی) . صفت مشخصه این سنگهای معدنی دشواری جدا شدن سرب وروی است . اسفالریت (مخصوصاً ذرات ریز) تا انتهای شناور شدن سرب بطور صعودی شناور میشود و راسب کننده‌های عادی مثل سیانور ومخلوط سیانور وسولفات روی تقریباً بدون اثر است .

احتمالاً اسفالریت بوسیله ین های سرب مشتق از سولفات سرب که باقیماندهٔ موجود در سنگ معدنی است فعال میشود . Pallanch درگزارش معروفی طرز عمل را در Midvalc توضیح داده وپیشنهاد کرده که سولفات کلسیم برای اسفالریت فعال کننده است . نگارنده مقاله این حقیقت‌را برای کانیهای خالص مشاهده نکرده وتصور میکند که سولفات کلسیم ، سولفات روی را درصورت عدم وجود ین کربنات که باعث ایجاد رسوب غیرمحلول کربنات سرب میشود ، حفاظت میکند . اثر بد سولفات کلسیم وقتی آشکار میشود که سنگ معدنی اسفالریت - سروزیت دارای گانگی غیراز کلسیت باشد* . دونوع ازاین قبیل سنگهای معدنی آزمایش شده یکی با گانگ کوارتز ودیگری با گانگ سیدریت وهماتیت ودرهردوحالت سرب پرعیار که‌مقدار روی‌آن کم میباشد بدست آمده است . یکی‌از آنها سرب پرعیار شده بعیار ۷۱ تا ۷۲ درصد سرب و۱/٤ تا ۲/٤ درصد روی ودیگری ۷٤/٥ درصد سرب و۳/٦درصد روی داده است که باسنگهای معدنی اکسیده با گانگ سنگ آهک یا دلومیت بمیزان ۸ تا ۱۰ درصد روی درقسمت سرب پرعیار شده فرق دارد .

* این سنگهای معدنی بخاطر سهولت از طبقه‌بندی خارج شده است .

راسب کردن اسفالریت بااستعمال سولفات‌روی یاسولفیت سدیم یا معرفهائیکه رسوب دهنده خوبی برای ین های سرب مثل سولفور سدیم یا روی فلزی میباشند امکان‌پذیر است ولی سولفور سدیم نقص بزرگی دارد که بعداً ذکر خواهد شد. استعمال پودر روی توسط Thomas و Parsons توصیه شده ولی تابحال در آزمایشگاههای پناروبا آزمایش نشده است.

دو طریقه مختلف در مورد سنگهای معدنی دسته ج نوع ۱ میتوان اعمال کرد. بعضی از معادن طریقه اول وبرای برخی دیگر طریقه دوم رجحان دارد. کانیها بنظم وترتیب زیر شناور میشوند:

گالن - اسفالریت - سروزیت

یا

گالن - سروزیت - اسفالریت

نسبت کانیها درانتخاب طریقه مؤثر است اگر مقدار سروزیت کم باشد معمولاً بهتر است آنرا همراه با گالن شناور گردد درغیر اینصورت طریقه اول معمولاً ارجح است. دربعضی حالات نسبت اسمیت سونیت فلوتاسیون آنرا تجویز میکند واین ترتیب در مراکش و ساردنی بمورد عمل درآمده است. طریقه بکار برده شده هرچه باشد عمل مسیر سوم مشکل است زیرا تحت تأثیر معرفها و تغییر شرائط دو مسیر دیگر قرار میگیرد.

۹- فلوتاسیون بنظم وترتیب گالن - اسفالریت - سروزیت (دسته ج نوع ۱).

اول طریقه گالن - اسفالریت - سروزیت را درنظر میگیریم فلوتاسیون معمولاً در مسیر خنثی انجام میشود. کربنات‌سدیم اغلب بکاربرده نمیشود زیرا درآنصورت بازیادی سولفات کلسیم بدون استفاده، ایجاد رسوب میکند وآهک لازم نیست. مقدار معینی از سیانور سدیم و سولفات روی معمولاً بکار برده میشود. سولفات روی در راسب کردن اسفالریت مؤثر است اما خیلی زیاد نبایستی مصرف شود زیرا مصرف معرف سولفوره کننده در مسیر سروزیت زیاد میشود. کلکتور سبکتری مثل aerofloat یا Ethylxanthate را بکار میبریم واگر بخواهیم به‌آسیاب گلوله‌ای اضافه کنیم ممکن است گزانتات بکاربرد. افزایش کلکتور به‌آسیاب گلوله‌ای فلوتاسیون گالن را خیلی زیاد تشدید میکند وکف با ته رنگ آبی میدهد که مشخص شناور شدن گالن است. بنظر میرسد که این افزایش نیز اسفالریت فعال را باراسب کردن ین های سرب و روی فعال بصورت فرم نامحلولی، راسب کند.

اسفالریت بدون افزایش قلیائی بعداً شناور میشود. از افزایش اضافی سولفات مس بایستی اجتناب کرد چون بنظرمیرسد که باعث صدمه به‌فلوتاسیون سروزیت گردد که مربوط به‌وجود سولفات کلسیم درسنگ معدنی ونیز درآب است ومخصوصاً اگر آب مجدداً در مسیر بگردش درآید این اثر نمایان‌تر است. معمولاً کاندیسیون باسیلیکات سدیم مهم است. هیدروسولفور سدیم بهتر از سولفور سدیم است که معمولاً باآمیل گزانتات مرحله بمرحله اضافه میشود.

۱۰- فلوتاسیون بترتیب گالن - سروزیت - اسفالریت یا گالن بعلاوه سروزیت - اسفالریت - (دسته ج نوع ۱) .

اکنون طریقه گالن - سروزیت - اسفالریت را درنظر میگیریم . سروزیت یا با گالن ویا فوراً بعد از گالن بوسیله سولفوره کردن درحضور سیلیکات سدیم شناور میشود اگر میبایستی با هم شناور شوند بعضی اوقات بهتر است که سولفور سدیم به آسیاب گلوله‌ای اضافه شود . آمیل گزانتات بفراوانی مصرف میشود و اضافه کردن بآسیاب برای جلوگیری از راسب شدن گالن توسط سولفور سدیم است . اشکال این طریقه اینست که سولفور سدیم دربعضی سنگهای معدنی تمایل به راسب کردن اسفالریت بطور دائم دارند . این امر بیشتر درعمل مشاهده میشود تا در آزمایشگاه . اگر سولفات روی بکار برده شود ویا اگر سنگ معدنی حاوی اسمیت سونیت باشد عمل راسب شدن بیشتر ازدیاد مییابد . در هردوحالت سولفور روی کلوئیدی در پولپ ایجاد میشود و ظاهراً اکتیوه کردن اسفالریت در مسیر روی باایجاد رسوب سولفیت مس حاصل از سولفات مس اضافه شده بتأخیر میافتد . تأثیر دیگر معرف ترکیبی بکار برده شده گاهی فعال کردن گانگ است . سولفور سدیم جذب میشود و افزایش بعدی سولفات مس و گزانتات گانگ را بداخل کف میآورد . درنتیجه فلوتاسیون اسفالریت دارای بازیابی وعیار کم خواهد بود .

درحالت‌های نهائی اسفالریت کاملاً غیر شناور میگردد ویا محصول پرعیار شده دارای چنان عیار کمی است که قابل ارزش نیست . چندین راه علاج هست ولی کاملاً رضایت‌بخش نیستند . یکی اینست که پولپ‌را غلیظ کنیم وقسمتی ازآب آنرا خارج‌سازیم . دیگر اینکه سولفات فرو اضافه کنیم که سولفورهای محلول را راسب گرداند . ممکن است صلاح باشد که این روش باروش اول ترکیب گردد . طریقه مؤثرتر دیگر اینست که پولپ‌را از ذرات ریز عاری‌و کلوئیدهای زیان‌آور را دور سازیم . بهرحال این روش متضمن از دست‌دادن ذرات ریز اسفالریت میباشد . مصرف کلکتور تفریقی مثل Sodium aerofloat بعضی اوقات برای بالابردن عیار روی درقسمت پرعیار شده مفید است .

۱۱- اسفالریت که بشدت فعال شده باشد (دسته ج نوع ۱) .

دراینجا نوعی‌سنگ معدنی‌را که ازآنچه درقسمت قبلی بحث شد قابل تمیز نیست وتقریباً یک‌حالت نهائی ازهمان نوع میباشد درنظر میگیریم . محتوی روی درمرحله اول تغلیظ سرب ممکن است به ۲ تا ۳ درصد برسد . این سنگهای معدنی را بهمان دو روشی که در بالا تشریح گردید عمل میکنند و مشاهدات گوناگون‌حاصله نیز دراینجا معتبر است . نظر باینکه مقدار روی شناور شده باسرب در مرحله اول تغلیظ خیلی زیاد است هرنوع راسب کننده‌ای که بکار رود عیار نهائی سرب درقسمت پرعیار شده ارتباط زیادی باعملیات تمیز کردن دارد .

بهترین معرف برای راسب کردن اسفالریت دراین نوع سنگهای معدنی از یکطرف سولفور سدیم وازطرف دیگر سولفیت سدیم یا بی‌سولفیت میباشد که ممکن‌است نصف به‌آسیاب ونصف قبل‌از شناور شدن بمیزان ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ گرم در تن اضافه کرد . افزایش‌مقدار کمی سیانور وسولفات روی به‌آسیاب نیز ممکن

است مفید باشد . صفت مشخصه سولفیت‌ها اینست که عمل راسب کردن اسفالریت را که در مسیر سرب قابل ملاحظه است . بعد از فعال کردن بوسیله سولفات مس بکلی ازبین‌میبرد . این‌عمل بوسیله Pallanch که‌بعقیده ما اولین کسی بود که مصرف این معرفها را توصیه کرده مشاهده شده است . دربعضی حالات فلوتاسیون اسفالریت حتی درحضور سولفیت‌ها بهتر شده است .

۱۲- گالن - اسفالریت - پیریت - سروزیت (دسته ج نوع ۲) .

مقداری از این نوع سنگهای معدنی درآسیاب‌های انجمن پناورویا و انجمن Pertusola شده است واحتیاج بکار خیلی دقیقی دارد چون اشکالات زیادی دراین قسمت دست بدست هم داده‌اند . دو طریقه امکان‌پذیر است : ۱- گالن - اسفالریت - پیریت - سروزیت و ۲- گالن بعلاوه سروزیت - اسفالریت - وپیریت اگر مورد نظر باشد .

طریقه‌اول کلاسیکتر است چون سولفورها اول‌و کانیهای اکسیده بعداً شناور میشوند . اما دو نقص دارد یکی چهار مسیر فلوتاسیون لازم دارد ودیگر اتلاف سروزیت در پیریت کنسانتره ممکن است زیاد باشد طریقه دوم را در دو مسیر میتوان اجرا کرد و بنابراین درصورتیکه این طریقه مورد عمل واقع شود رجحان دارد ، لکن با دو اشکال مواجه میشود . یکی سولفوره کردن سروزیت در حضور پیریت است اگر پیریت قابلیت شناور شدن زیادی داشته باشد یا اگر قسمتی از آن اکسیده شده باشد ویا همراه باسارکاسیت باشد ممکن است از عمل سولفوره کردن ممانعت کند . اشکال دیگری که درقسمت ۱ بسط داده شده است اثر راسب کنندگی سولفور سدیم روی اسفالریت است . برای رفع این اشکالات استعمال سیانور وآهک بعنوان راسب کننده پیریت وافزایش مرحله بمرحله‌ای سولفور سدیم‌وآمیل گزانتات برای‌شناور شدن گالن وسروزیت مفید است . مقدار آهک بعلت اثر راسب کننده‌ای که روی این کانیها دارد بایستی محدود باشد . وقتیکه سولفوره کردن امکان نداشته باشد طریقه اول بکار برده میشود وفرمول معرفها کلاسیک هستند . وقت بیش از این اجازه نمیدهد که جزئیات بیشتری ذکر گردد .

د - سنگهای معدنی حاوی کانیهای مس از منشاء ثانوی

باستثنای حالتی که سنگهای معدنی حاوی مقادیر قابل بازیافت از مس باشد ، درحضور کانیهای مس ، امکان فعال شدن اسفالریت ناشی میشود . وقتیکه سنگ معدنی اکسیده نشده باشد حضور کالکوپیریت تأثیری‌ندارد .چندین‌مثال ازاین‌نوع وجود دارد مثلا روی سنگ معدنی‌حاوی سرب وروی ومس مطالعه شده که‌درآن بلورهای اسفالریت مملو از ذرات ریز وپراکنده کالکوپیریت است . دراین سنگ معدنی اسفالریت تمایل خاصی به شناور شدن نشان‌نمیدهد وبخوبی میتوان آنرا باافزایش مقدار کمی سیانور راسب کرد . درحضور کانیهای مس از نوع ثانوی از قبیل کالکوپیریت یا کولیت و کانیهای اکسیده مس مثل مالاکیت وآزوریت وضعیت کاملا متفاوت‌است .این کانیها منبع‌سهل‌الوصولی از ین های مس هستند وتمایل دارند که اسفالریت را فعال کنند و همچنین بسهولت مورد حمله سیانور واقع میشوند وآنرا باانرژی مصرف میکنند . درحضور این کانیها افزایش سیانور ممکن است اول‌اثر راسب کننده بعد اثر فعال کننده قوی روی

اسفالریت داشته باشد وعلت آن اینست که مقدار کمی ین سیانور آزاد لازم است تا از تجزیه کمپلکس سیانوژن مس جلوگیری کند. هنگامیکه این سیانور آزاد مصرف وناپدید میگردد مس درحالت محلول بصورت فعال کننده درمیآید. آنچه دربالا ذکر شد نشان میدهد که عمل روی این کانیها مواجه بااشکالات جدی است.

بهترین معرف برای راسب کردن اسفالریت ترکیبی از سیانور وسولفور سدیم یا سیانور و سولفیت میباشد. شرائط بسیار شبیه است بآنچه که در بخش ۱۱ توضیح داده شده است وباحتمال قوی فعال کردن مربوط به ین های سرب میباشد. دربعضی حالات افزایش تدریجی مقدار کمی سیانور در حین فلوتاسیون مفید است و شخص را مطمئن میسازد که اثر راسب کنندگی از بین نرود. این روش بطور وضوح درگزارش Piedboeuf و Fortemps راجع به روش کار در روی سنگ معدنی مس و روی معدن Kipmshi در کنگو بلژیک تشریح شده است.

اظهار نظر نهائی

بدست آوردن نتیجه قطعی از این مطالعه مختصر وسریع ممکن نیست وخواننده درمییابد که این موضوع بسیار پیچیده است وبالنتیجه بسیاری از نکات تاریک مانده است. نویسنده مقاله معتقد است که اصلاحات قابل ملاحظه‌ای برای نحوه عمل روی سنگهای معدنی که تغلیظ آن دشوار است ممکن است ازاین تحقیقات بدست آید.

نویسنده مقاله نسبت به انجمن پنارویا ونسبت به انجمن کانیها وفلزات بخاطر اجازه چاپ این مقاله اظهار حق‌شناسی میکند ونسبت به همکاران و دستیاران خویش سپاسگزار است.