روشهای آرایش کانه‌های طلا

حسین نعمت‌الهی

دانشکده فنی

مقدمه

طلا فلز بسیار گرانبهایی است که در مقادیر مختلف در بشتر نقاط جهان یافت‌شده است. با توجه به مصارف پولی و زینتی کمیابی وهمچنین فساد ناپذیری طلا، از زمانهای قدیم بشر در جستجوی آن بوده است. بهمین دلیل قیمت طلا نسبت بسایر مواد معدنی همیشه گرانتر بوده است.

در زمینه کانه‌آرائی، بمنظور جداکردن طلا ازسنگهای دربرگیرنده آن مطالعات زیادی انجام شده است. در ابتدا طلای کشف شده بصورت تکه‌ای یارگه‌ای بوده که با سنگ جوری دستی از ناخالصیهای همراه جدا می‌شده است. باکشف کانسارهای آبرفتی، که طلای آن معمولا بصورت ذرات دانه ریز است، از روشهای پرعیار کردن ثقلی برای جدا کردن طلا استفاده شده است. درمورد کانسارهائی متشکل از کنگلومراهای طلا دار، برای دستیابی بدرجه آزادی مناسب، سنگ معدنی طی مراحل خاصی خرد می‌شد تا ابعاد مورد نظر بدست آید. روشی که پس از آن مورد توجه قرار گرفت، روش ملقمه کردن توسط جیوه بود، که در بعضی مواردجایگزین روش ثقلی گشت ودر موارد دیگر بعنوان روش تکمیلی، پس از جدا کردن ثقلی، مورد استفاده قرار گرفت. بالاخره برای جدا کردن طلا از روش هیدرومتالورژی استفاده شد که در آن طلا در محلولی از سیانورحل شده، سپس توسط روی ته نشین می‌گردد. از روشهای ثقلی، ملقمه کردن وسیانوراسیون در پایان قرن نوزدهم در معادن طلای جهان استفاده می‌شده است.

قیمت طلا تاسال ۱۹۶۸ درحد هراونس (۳۱/۱۰ گرم)، ۳۵ دلار تثبیت وکنترل شده بود. تولید روز افزون طلا بتدریج منجربه‌از بین‌رفتن سود حاصل از آن ودر نتیجه تعطیل شدن بعضی معادن گردید. این‌امر باعث کند شدن مطالعات در زمینه کانه‌آرائی طلا نیز گردید. در سال ۱۹۶۸، قیمت طلا آزاد شد وازآن‌به بعد علی رغم بعضی نوسانات، بطور منظم قیمت طلا در حال افزایش بوده است. بالا رفتن قیمت طلا باعث گسترش کارهای‌اکتشافی شده، امکان راه اندازی معادن جدید وهمچنین بازگشائی معادن قدیمی همراه با توسعه تحقیقات در زمینه کانه‌آرائی طلا فراهم گردید.

۱ ـ مشخصات طلا

طلا در طبیعت‌معمولا بصورت مجموعه‌هائی‌شبکه‌وار، شاخه‌ای یارگه‌ای یافت می‌شود، حال آنکه بلورهای اکتائدریا کوبیک آن بسیار نادر است. طلا اکثرا در رگه های کوارتزی همراه با پیریت، کالکوپیریت یا آرسنوپیریت دیده می‌شود.

رنگ طلا زرد بوده، بخوبی از بعضی کانیها مثل **پیریت وکالکوپیریت** متمایز است. گاهی نیز رنگ آن بعلت وجود نقره متمایل به سفید می‌شود. در کانسارهای آبرفتی طلا بصورت پولکهائی با ابعاد مختلف دیده می‌شود. قابلیت کشش وچکش خواری آن بسیار زیاد است.

جرم مخصوص طلا معادل ۱۹گرم برسانتیمتر مکعب است (جرم مخصوص کانیهای طلا دار نیز عمدتا زیاد است) بهمین علت‌روشهای آرایش ثقلی برای جدا کردن آن از دیر زمان رایج بوده است. سطح طلا در تماس با جیوه توسط‌آن پوشیده می‌شود. از این خاصیت نیز می‌توان در جدا کردن طلا بروش ملقمه کردن استفاده نمود. سطح طلا بطور طبیعی آبران (هیدروفوب) است لذا براحتی می‌توان آنرا بروش فلوتاسیون ازکانیهای‌همراه (بجز سولفورها که جدایش قدری مشکلتر می‌گردد) جداکرد. بالاخره طلا در محلولهای رقیق سیانور ودر محیط قلیائی حل‌می‌شود. این خاصیت نیز منجر به پیدایش روش لیچینگ‌طلا (سیانوراسیون) شده است که در حال حاضرمتداولترین‌روش بدست‌آوردن طلا از سنگ معدنی است. ترکیبات دیگری‌نیز مثل تیواوره‌وتیوسولفاتها می‌توانند طلا را در محیط‌اسیدی حل کنند [۶]. انتظار می‌رود که در سالهای آینده‌از این ترکیبات در صنعت استفاده شود.

۲ ـ کانیهای طلا [۱]

در طبیعت عمده ترین کانی طلا، طلای فلزی است که معمولا با مقداری نقره همراه است وبا این عنصر مجموعه

نامحدودی از محلولهای جامد را تشکیل می‌دهد (ازجمله electrum که دارای ۳۰ تا ۴۵% نقره است و küstelite که دارای ۸۰% نقره است). معمولا طلا شامل مقدار کمی مس و همچنین بیسموت، پلاتین و جیوه است. گاهی نیز بلورهائی از آن‌حاوی پالادیوم است که porpezite نامیده می‌شود.

طلا در بسیاری ازنقاط بصورت توده های کوچک شناخته شده است. در ذخائر غیر اقتصادی در سنگهای مختلف مثل‌سنگهای آذرین ،رسوبی ودگرگونی بصورت خیلی دانه ریز وپراکنده‌وجود دارد احتمالا منشاء بعضی آبرفتهای طلا دار از این نوع است.

ذخائر قابل توجه طلا معمولا بصورت رگه‌ای دیده می‌شود که درشرایط بسیارمتفاوتی تشکیل‌شده‌اند. درسنگهای آذرین نفوذی از تشکیلات پگماتیتی ـ فوماتولیتی تا آخرین فاز رگه‌های هیدروترمال همراه‌استیبین‌دیده می‌شود. بهمین علت کانیهای همراه آن حتی در محدوده یک کانسار بسیار متغیرهستند.

در کانسارهای‌موجوددرسنگهای نیمه آذرین ،معمولا طلا بصورت تلورور (مانند sylvanite بفرمول شیمیائی $(Au,Ag)Te_2$ krennerite بفرمول شیمیائی $(Ag,Au)Te_2$ calaverite، بفرمول شیمیائی $AuTe_2$ montbrayite، بفرمول شیمیائی Au_2Te_3) و خیلی بندرت بصورت سلنیوریافت می‌شود، ولی در این مورد هم بخش عمده آن بصورت‌آزاد است. در این قبیل کانسارها که معمولا نقره هم دارای عیار بیشتری است، طلا بصورت مخلوط با نقره(با درصد زیادی از نقره) بوده، بهمین‌دلیل دارای رنگی درخشانتر است. مع‌الوصف طلا در اکثر حالات بصورت ناتیو(ونه بصورت نقره زراندود یا الکتروم) یافت می‌شود. بخش عمده‌نقره‌دراین‌حالت بصورت سولفور یااملاح‌سولفوره است. کانیهای همراه‌طلابسیار متفاوت هستند، از جمله شامل پیریت، کالکوپیریت، برنیت، فاهلور غنی از نقره، اسفالریت، استفانیت، پیرسئیت، نقره یاقوتی و غیره می‌گردد. درداخل تلورورهای طلامعمولا" طلای آزاد با منشاء اولیه وجود دارد. در انواع دگرگون شده، چنانچه این دگرگونی ناشی از هوازدگی باشد، غالبا تلورورها تولید طلای ثانویه می‌کنند که معمولا"بصورت ذرات خیلی دانه‌ریز یا خرده‌ای شکل دیده می‌شود.

در کانسارهای رسوبی، طلابطور عمده در آبرفتها یافت می‌شود. در این حالت، طلا از تخریب کانسار دیگری بوجود آمده‌است. این‌عمل‌ممکن است ناشی ازتخریب‌مکانیکی یا انحلال شیمیائی طلا باشد. طلا می‌تواند در محلولهای خیلی غلیظ‌فری سولفات وهمچنین بصورت کلرور در حضور MnO_2 و NaCl، در اسید سولفورو حل شود. سینتیک‌این واکنشها بخوبی‌شناخته شده نیست. بعلاوه‌طلامی‌تواند توسط مواداحیا کننده (بقایای‌مواد آلی، سولفورها، فروسولفاتها) یاحتی خودبخود راسب شود. چنانچه این‌امر توسط $FeSO_4$ انجام شده باشد، طلای بوجود آمده می‌تواند همچنان بحالت تعلیق باقیمانده وبا جریانهای محیط حمل شود، زیرا $Fe(OH)_3$ تشکیل شده بعنوان یک کلوئید نگهدارنده عمل می‌کند. این پدیده در نواحی اکسیداسیون وسمانتاسیون بخوبی مشخص است. بدون شک اکثر نمونه های botryoidal وبعضی ازبلورهای مشخص در آبرفتها بدون هیچ فشار اضافی برشد خود ادامه می‌دهند. طلای آبرفتی تقریبا همیشه دارای رنگی تیره‌تر ازطلای اولیه است. این امر عمدتا در اثر لیچینگ سطحی نقره است که بصورت Ag_2SO_4 یا Ag_2CO_3 بحال محلول‌است، ولی بطور موضعی ممکن است این‌امر ناشی‌ازادامه‌رشدبلورها باشد. در حین عملیات آسیاکردن، لایه‌هائی از لیمونیت، کلرور نقره وغیره مشخصات آنراتغییرمی‌دهند، بخشی‌از سطح طلا حالتی مشابه زنگ‌زدگی داردکه درحقیقت توسط لایه هائی‌از کانیهای‌اکسیده‌آنتیموان پوشیده شده است.

۳ ـ کانه‌های طلا

در این بخش سعی می‌شود کانه‌های طلا را از نظر کانه‌آرائی طبقه‌بندی‌کرد. نظربانیکه‌روش سیانوراسیون دارای بیشترین کاربرد در آرایش طلا است، این طبقه بندی عمدتا برمبنای مشکلاتی که انواع مختلف کانه‌های طلا در این‌روش بوجودمی‌آورند، پایه‌گذاری شده است [۳] و [۴].

۳ ـ ۱ ـ کانه‌های طلای آبرفتی

کانه‌های‌طلای آبرفتی از ماسه یا مجموعه ای از مواد تشکیل شده‌اندکه ممکن‌است‌بصورت ذرات مجزا یا سخت شده دیده شوند طلا درآنها بصورت آزاد با عیار خیلی کم وجود دارد. این نوع کانه‌ها اززمانهای قدیم شناخته شده وطلای موجود در آنها به روشهای سنتی (ثقلی) جدا می‌شده‌است.

۳ – ۲ – کانه های طلای آزاد

در این نوع کانه‌ها ، طلا بحالت آزاد دیده می‌شود . کانیهای سولفوره در آنها کمتر مشاهده می‌گردد و درصورتیکه وجود داشته باشند عمدتا بصورت پیریت هستند . روش آرایش رایج برای این قبیل کانه‌ها ، روش سیانوراسیون است که می‌توان یک مرحله آرایش اولیه (ثقلی) برای جدا کردن ذرات احتمالا دانه درشت طلا ، درمسیر آن پیش بینی کرد . چنانچه بخش عمده طلا بصورت ذرات دانه درشت باشد ، می‌توان این نوع کانه را بروش ثقلی آرایش داد . ملقمه کردن مستقیم کانه که در گذشته برای بازیابی طلا در این نوع کانه مورد استفاده قرار می‌گرفت ، درحال حاضر تقریبا متروک شده‌است .

۳ – ۳ – کانه های طلا همراه با سولفورهای آهن

در این نوع کانه ها ، طلا بصورت آزاد وپراکنده در داخل سولفورها وجود دارد . بعضی سولفورها (بخصوص پیروتیت) در سیانور حل شده ، باعث افزایش مصرف سیانور می‌شوند . بعلاوه از انحلال نیز جلوگیری می‌کنند . روش رایج در این قبیل موارد ، استفاده از یک مرحله هوادهی در حضور آهک ، قبل از مرحله سیانوراسیون است . پیریت رایجترین سولفور این طبقه از کانه‌های طلا است . درچنین شرایطی روش آرایش شامل یک مرحله فلوتاسیون سولفورها و طلای آزاد و سپس سیانوراسیون محصول پرعیار شده‌است . ممکن است قبل از مرحله سیانوراسیون ، آسیا کردن مجدد کانه ضروری باشد . در صورتیکه طلا بصورت خیلی دانه ریز در داخل پیریت پراکنده باشد ، تشویه سنگ معدنی باعث آزاد شدن ذرات طلا خواهد شد .

۳ – ۴ – کانه های طلا همراه با سولفورهای آرسنیک یا آنتیموان

در این نوع کانه‌ها ، معمولا طلا بصورت بسیار دانه ریز در داخل سولفورها پراکنده شده است . وجود آرسنیک و آنتیموان ، این کانه‌ها را در مقابل سیانوراسیون مستقیم مقاوم می‌سازد . بهمین دلیل برای آرایش آنها ابتدا با فلوتاسیون سولفورها ، طلا را یک مرحله پرعیار می‌کنند . آنگاه پس از تشویه ، محصول پرعیار شده طلا را بروش سیانوراسیون بازیابی می‌کنند .

۳ – ۵ – کانه‌های تلورور طلا

در این کانه‌ها ، بخشی از طلا بصورت تلورور بوده و بخش دیگر بصورت ناتیو در داخل سولفورها پراکنده است . آرایش این نوع کانه‌ها ، پیچیده تر از انواع قبلی است و معمولا شامل مراحل فلوتاسیون سولفورها ، سیانوراسیون ، تشویه بخش باقیمانده در مرحله سیانوراسیون وبالاخره سیانوراسیون مجدد آنست . بعلاوه ممکن است باطله بخش فلوتاسیون نیز حاوی مقداری طلا باشد که در این صورت بایستی یک مرحله سیانوراسیون نیز برای آن بخش پیش بینی کرد .

۳ – ۶ – کانه‌های طلا با گانگ کربن‌دار

این کانه‌ها حاوی مواد کربن‌دار بصورت آلی ومعدنی هستند . کربن موجود در کانه باعث راسب شدن طلای حل شده در محلول سیانور می‌شود وبدین ترتیب بخشی از طلا بهمراه باطله تلف می‌شود . برای آرایش این کانه‌ها ، بایستی قبل از سیانوراسیون یک مرحله اکسیداسیون کانه ، یا یک مرحله فلوتاسیون برای جداکردن مواد کربن‌دار در نظر گرفت و یا از سوختهای نفتی بمنظور پوشش سطح مواد کربن‌دار ، استفاده نمود .

۳ – ۷ – کانه‌های طلا همراه فلزات مبنا

بخش عمده طلای تولید شده در جهان از این نوع کانه‌ها بدست می‌آید . دراین نوع کانه ها ، معمولا طلا همراه محصولات پرعیار شده سولفورهای فلزات مبنا (مس، سرب ، روی) بازیابی می‌شود . چنانچه باطله فلوتاسیون نیز شامل طلا باشد ، می‌توان آنرا بطور جداگانه ، به روش سیانوراسیون بازیابی کرد .

۴ – روشهای آرایش طلا

۴ – ۱ – روشهای ثقلی

میزان آرایش کانه‌های طلا با استفاده از روشهای ثقلی بستگی بنوع کانه دارد . در مورد کانسارهای آبرفتی ، روشهای ثقلی می‌توانند تنها روش آرایش کانه طلا باشند ، حال آنکه در مورد انواع دیگر کانه‌های طلا ، این روشها بعنوان آرایش اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند . با توجه به قدمت بهره‌برداری کانسارهای آبرفتی ، روشهای آرایش آنها نیز اززمانهای قدیم شناخته شده‌اند . این روشها شامل استفاده از لاوک ، سطح شیب دار ، جیگ‌ها ، میزهای لرزان ،

مارپیچ‌ها و غیره بوده‌اند. بهره برداری از این نوع کانسارها در بسیاری از نقاط در مقیاس غیر صنعتی انجام شده است، بهمین دلیل وسائل مورد استفاده دارای تنوع خیلی زیادی هستند. تحولی که در این زمینه در سالهای اخیر بـوجود آمده است، استفاده از مخروط‌های Reichert اسـت. همچنین برای پوشش سطح میزها از موکت کبریتی استفاده می‌شود که نسبت به پوشش های قبلی راندمان بهتری دارد. با استفاده از این روشها می‌توان ذرات دانه ریز طلا (ذرات کوچکتر از ۱۰۰ میکرون) را بازیابی کرد [۲].

در مورد سایر انواع کانسارهای طلا، نیز که روش آرایش اصلی آنها سیانوراسیون یا فلوتاسیون است، گاهی از روشهای ثقلی بعنوان مرحله‌آرایش‌اولیه‌استفاده می‌شود. علل استفاده ازروشهای ثقلی در مورداین کانسارها بشرح زیـــر است:

ـ سرعت انحلال ذرات دانه درشت طلا در محلول سیانور کمتر از ذرات دانه ریز است، بعنوان مثال زمان لازم برای انحلال ذره‌ای بقطر۱۵۰ میکرون بیش‌از ۴۴ ساعـــت است (زمان توقف رایج در رآکتورهای سیانوراسیون ۸ تا ۳۶ ساعت است) لذا برای جلوگیری از خارج شدن ذرات دانه درشت طلابهمراه باطله سیانوراسیون، جدا کردن این قبیل ذرات بایستی بروش دیگری (ثقلی) انجام گیرد.

ـ فلوتاسیون ذرات دانه‌درشت طلا مشکل‌تر از ذرات دانه ریز است.

ـ با توجه به خاصیت چکش خواری وقابلیت نورد (تورق) طلا، ذرات دانه درشت آن در حیـن عملیات آسیا کردن بسختی می‌شکنند و بیشتر تمایل به له شدن دارند. همچنین درمسیرهای آسیا کردن، به‌علت وزن مخصوص زیاد، این ذرات، به ته ریز کلاسیفایرها منتقل می‌شوند و مجددا" به آسیا برمی‌گردند. برای اجتناب از این امر در صورت‌امکان بهتر است، در بین مراحل آسیا کردن هم مراحل آرایش ثقلی پیش‌بینی گردد.

ـ سطح ذرات طلاممکن‌است از لایه‌ای از اکسیدآهن (زنگ) ویا سایر ترکیبات پوشیده شده باشد ودر نتیجه‌جدا کردن آنها را بروشهای‌سیانوراسیون وفلوتاسیون با اشکالاتی مواجه‌نماید. این پوشش ممکن‌است‌درحین‌عملیات آسیا کردن تشکیل شده باشد. با استفاده از مراحل آرایش ثقلی می‌توان این قبیل ذرات را جدا کرد.

۴ ـ ۲ ـ ملقمه کردن

کشش سطحی درفصل مشترک طلا ـ جیوه، که خیلی کمتر از این کشش درفصل مشترک آب ـ طلا است، تماس این دوفلز با یکدیگر واختلاط‌آنهاراتسهیل می‌کند وبدین‌ترتیب تشکیل مجموعه ای از ترکیبات بنام ملقمه را می‌دهد. ایـن ترکیبات بصورت یک سری پیوسته از $AuHg_2$ تا Au_8Hg هستند. در حقیقت این مخلوطها بصورتهای زیر مشاهده می‌شوند:

ـ محلولی از طلا در جیوه (۰/۱ % طلا)،

ـ یک یاتعدادی ترکیبات جامد طلا ـ جیوه،

ـ ذرات جامد طلای آزاد که سطح آنها توسط دو ترکیـب فوق پوشیده‌شده است و بیکدیگر چسبیده‌اند.

محدودیتهای روش ملقمه کردن عمدتا بشرح زیر است:

ـ این نوع‌اختلاط تنها با طلای آزاد امکان‌پذیـــر است،

ـ طلا بایستی بخوبی آزاد شده باشدو سطح ذرات آن توسط لایه‌ای از اکسید آهن یا مواد شیمیائی مورد مصرف در فلوتاسیون پوشیده نشده باشد،

ـ چنانچه طلاخیلی دانه ریز باشد، ممکن است در سطح آب یا جیوه شناور شود،

ـ حضور بعضی‌از سولفورها بخصوص آرسنیک ممکـن است در حین ملقمه کردن ایجاد اشکالاتی نماید. مهمترین اشکال دراین شرایط، تشکیل قطره های خیلی کوچک جیوه است که بازیابی آنها غیر ممکن است.

در حال حاضر کاربرد این روش برای آرایش مستقیم کانه های طلا بطور کلی متروک شده‌است. این امر عمدتـــا بعلـــت وجود خطرات ناشی از کارکردن با جیوه است. از این روش تنها برای بازیابی طلا از محصولهای پرعیار شده ثقلی یافلوتاسیون استفاده می‌شود. این کار معمولا بطریقـه غیر پیوسته در داخل رآکتوری مشابه آسیا انجام می‌پذیرد. ملقمه بدست آمده توسط پوست خاصی (پوست بزکوهـــی) فیلتر می‌شودتا جیوه اضافی آن از پوست عبور کند. بخش باقیمانده برروی پوست تادرجه حرارت ۳۵۰ تا ۴۰۰ درجـه سانتیگراد حرارت داده می‌شود تاجیوه موجوددر آن تبخیر شود. طلای بدست آمده طی مراحل دیگری تصفیه می‌شود و جیوه نیز تقطیر می‌شود و مجددا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روشهای‌جدید، تمایل کلی درجهت جایگزینی روش ملقمه کردن با روش سیانوراسیون یا ذوب مستقیم محصول پرعیـار

شده (ثقلی یا فلوتاسیون) می‌باشد.

۴ – ۳ – فلوتاسیون

باتوجه به‌آبرانی طبیعی طلا وهمراهی آن درحالات متعدد با سولفورها، براحتی می‌توان آنرا بروش فلوتاسیون آرایش داد. بسته بنوع کانه طلا، شرایط ومراحل آرایش بصورتهای مختلفی انتخاب می‌گردد:

– طلا بهمراه سولفورها (که ممکن است سولفورهای مزاحم سیانوراسیون یا سولفورهای بی‌اثرباشند) فلوته می‌شود. محصول پرعیارشده‌را می‌توان طی مراحل آسیا کردن مجدد، سیانوراسیون، تشویه (در صورت همراهی سولفورهای مزاحم سیانوراسیون) بازیابی کرد. گاهی از اوقات لازمست باطله فلوتاسیون را نیز برای تکمیل عملیات سیانوره کرد.

– فلوتاسیون ممکن است پس از سیانوراسیون سنگ اولیه پیش بینی شود. دراین روش (که بخصوص در افریقای جنوبی رایج شده است) بازیابی طلای موجود در پیریت افزایش می‌یابد.

– بااستفاده‌ازفلوتاسیون‌تفریقی می‌توان تلورورهای طلا را از پیریت جدا کرد.

– کانیهای کربن‌دار رانیز می‌توان قبل‌از مرحله سیانوراسیون، بروش فلوتاسیون جدا نمود.

شرایط فلوتاسیون مشابه شرایط مورد استفاده برای سولفورها است. بعنوان مثال کلکتورهای مناسب دی‌تیوفسفاتها، دی‌تیوکربناتها (آمیل، بوتیل)، مرکاپتانها و کف سازهای مناسب راروغن‌کاج، اسیدکرزیلیک، فوزوکرزول تشکیل‌می‌دهند. گاهی‌نیز از مواد متفرق کننده مثل سیلیکات سدیوم برای‌رسها استفاده می‌شود. pH مورد استفاده معمولا بین ۷ و ۱۰ قرار دارد و بوسیله کربنات سدیوم یاسودتنظیم می‌شود (آهک ممکن است‌باعث‌بازداشت طلا وپیریت شود). بالاخره ممکن است استفاده‌از فعال کننده هائی مثل سولفات مس، سولفور سدیوم، نیترات سرب، دی‌اکسید گوگرد و هیپوسولفیت ضروری باشد.

فلوتاسیون طلا وسولفورهای همراه آن، عملی ساده و اقتصادی است. با اینحال بایستی دقت شود که با مراحل بعدی عملیات هماهنگی لازم را دار باشد. چنانچه بعداز مرحله فلوتاسیون از سیانوراسیون برای بازیابی طلا استفاده شود، حضور کلکتورها وسایر مواد شیمیائی ممکن است برروی انحلال طلادرمحلول سیانور تاثیر بگذارد، بخصوص کلکتورها چون بصورت لایه‌ای‌سطح‌ذرات‌را می‌پوشانند، سرعت انحلال را کاهش می‌دهند. همچنین اگر روش بازیابی طلای حل شده، استفاده از زغال فعال باشد، ممکن است مواد شیمیائی مورد مصرف در فلوتاسیون، مانع جذب طلا برروی زغال فعال شوند. برای‌رفع این اشکالات ممکن است مراحل اکسیداسیون، آسیاکردن مجددمحصولات‌پرعیارشده‌ویا تشویه آن‌پیش‌بینی شود.

اگر پس ازمرحله سیانوراسیون، فلوتاسیون پیش‌بینی شده‌باشد، حضوریونهای CN^- ممکن است سولفورها بخصوص پیریت رابازداشت کرده، از فلوته شدن آن جلوگیری کند. این اشکال رانیز می‌توان بااستفاده از SO_2 در محیط اسیدی برطرف کرد.

اشکالاتی که در رابطه با ذرات طلا ممکن است پیش آیند نیز شامل پوشیده شدن سطح آنها توسط ترکیبات دیگر است که می‌توان آنهارابا استفاده از سولفات مس یادی‌اکسید گوگردفعال کرد همچنین درابعادبزرگترازحدود ۲۰۰ میکرون، فلوتاسیون طلا مشکل بوده و مستلزم استفاده از کلکتورهای قویتری می‌باشد (این اشکال رامی‌توان‌باپیش بینی یک مرحله آرایش ثقلی رفع کرد). بالاخره‌باتوجه به‌راندمان وزنی رایج (حدود ۱%) که‌مقدارناچیزی‌است، عملیات شستشو رابایستی با دقت وکنترل زیادی انجام داد.

۴ – ۴ – سیانوراسیون

روش سیانوراسیون، که‌درحال حاضر دارای بیشترین کاربرد برای آرایش طلا است، از اوائل قرن بیستم رواج‌پیدا کرده است وبتدریج اصلاحاتی نیزبرروی‌آن انجام‌گرفته‌است. سیانوراسیون روشی ساده، باکارآئی زیاد است. با تغییرات جزئی در شرایط محیط می‌توان کانه های بسیار متفاوتی را با این روش‌آرایش داد.

رابطه‌ای‌که برای واکنش طلا و سیانور مورد قبول‌واقع شده است بقرار زیر می‌باشد:

$$4Au+8CN^-+O_2+2H_2O \rightleftharpoons 4Au(CN)_2^-+4OH^-$$

بطوریکه در رابطه فوق ملاحظه می‌شود، حضور اکسیژن برای‌انجام واکنش ضروری است. نحوه تامین اکسیژن بسادگی بادمیدن هوا بداخل محلول امکان‌پذیر است. برای اجتناب از هیدرولیزسیانور سدیوم وتشکیل گاز اسید سیانیدریک (که گازی فوق العاده سمی است)، واکنش حتما بایددر محیط قلیائی (pH حدود ۹ تا ۱۱/۷) انجام شود. برای قلیائی کردن محیط، معمولا" از آهک استفاده می‌شود.

گاهی هم برای جلوگیری از اشکالات ناشی از رسوب شدن سولفات کلسیوم ، بجای آهک از سود که ماده گرانتری است استفاده می‌شود . میزان مصرف آهک بسته بنوع کانه بسیار متفاوت است واز ۱ تا چند کیلوگرم به ازاء هر تن کانه تغییر می‌کند .

سیانور مورد استفاده در اکثر حالات سیانور سدیوم است وبندرت از سیانور کلسیوم نیز استفاده می‌شود . میزان مصرف رایج آن ۲۰۰ گرم تا ۵ کیلوگرم بازاء هر تن کانه است . میزان مصرف سیانور آزاد در محلول بین چند ppm تـــا ۵۰۰ ppm متغیر است .

مدت زمان لازم برای سیانوراسیون بنوع کانه وابعاد ذرات طلا بستگی دارد . در شرایط صنعتی ، زمان توقف بیـن ۱۶ و ۴۰ ساعت متغیر است ، ولی در صورت لزوم می‌توان زمانهای توقف طولانی‌تری انتخاب کرد . زمان توقف را می‌توان با جدا کردن ذرات دانه درشت طلا بروش ثقلی کاهش داد . بدین ترتیب تلفات طلا در باطله سیانوراسیون نیز کاهش می‌یابد .

تاثیر درجه حرارت محیط برروی سینتیک واکنـــش جزئی است ومعمولا واکنش در درجه حرارت محیط انجـــام می‌پذیر .

درمورد کانه هائی‌که در مقابل سیانوراسیون مستقیم مقاوم هستند ، لازم است با استفاده از یک مرحله آرایش اولیه ، کانه را برای مرحله سیانوراسیون آماده ساخت . این مرحلـه شامل تشویه کانه یا آرایش آن بروش تر است . با توجه بـــه هزینه زیاد تشویه ، از این روش تنها در مورد محصولهـــای پرعیار شده فلوتاسیون که شامل سولفورهای آهن ، آرسنیک یا آنتیموان باشد ، استفاده می‌شود . بدین ترتیب ذرات بسیار دانه ریز طلای موجود در داخل سولفورها آزاد می‌شوند . بعلاوه با استفاده از تشویه ، در درجه اول آرسنیک ودر درجه بعـد آنتیموان که برای عملیات سیانوراسیون مضر هستند ، حذف می‌شوند . همچنین بعضی سولفورها مثل پیروتیت که می‌توانند در محلول سیانور حل شوند ، اکسیده می‌شوند . بالاخره مواد آلی مانند فلوکولانها وکلکتورها وهمچنین مواد کربن‌دار موجود در کانه ، که باعث جذب طلای حل شده برروی خود می‌شوند ، از بین می‌روند .

عملیات تشویه ، در شرایط اکسیداسیون کنترل شده و مناسب با کانه مورد استفاده در درجه حرارتی بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد انجام می‌شود . استفاده از درجـــه حرارتهایی بیش از این حد زیان آور است چون باعث کاهش تخلخل کانه می‌شود وبدین ترتیب از نفوذ سیانور بداخـــل آن وتماس با ذرات طلا جلوگیری می‌کند استفاده از درجـــه حرارتهای زیاد بخصوص در حضور آنتیموان ، باعث ذوب شدن بعضی ترکیبات آنتیموان می‌شود که ممکن است ذرات طلا را احاطه نموده واز انحلال آنها درمحلول سیانور جلوگیری کند .

مواد تشویه شده در صورت لزوم مجددا توسط آسیا خرد می‌شوند . در اکثر حالات ، یک مرحله شستشوی اسیدی یا قلیائی برای حذف یونهای مزاحم ، بخصوص مس وآرسنیک باقیمانده در نظر گرفته می‌شود . سپس محصول بدست آمده به رآکتورهای سیانوراسیون منتقل می‌شود .

روش دیگری که بعنوان آرایش اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد ، روش تر است . دراین روش می‌توان :

ـ بعضی مواد مثل پیروتیت وبطور کلی سولفورها را با یک مرحله اکسیداسیون بکمک هوا و در حضور آهک از بیـــن برد . بدین ترتیب مصرف اکسیژن مورد نیاز در مرحلـــــه سیانوراسیون کاهش می‌یابد .

ـ بعضی از عناصر مانند مس راکه می‌توانند با سیانور ترکیب شده ، باعث افزایش مصرف آن شوند ، با یک مرحلـه شستشوی اسیدی یا قلیائی می‌توان حذف کرد یا آنها را تبدیل به ترکیبات کمپلکسی نمود . با استفاده از روش مشابهی کانیهای آرسنیک دار و آنتیموان دار نیز حذف می‌شوند .

ـ در صورتیکه ذرات طلای آزاد توسط قشری از اکسید آهن یا ترکیبات دیگر پوشیده شده باشند ، معمولا با یک مرحله شستشوی اسیدی می‌توان آن قشر را از بین برد .

ـ با استفاده از سوختهای نفتی می‌توان سطح مواد کربن‌دار موجود در کانه را پوشاند واز جذب طلای حل شده درسیانور توسط آنها جلوگیری کرد (لازم به تذکر است که مواد کربن‌دار را بروش فلوتاسیون نیز می‌توان خارج نمود) .

عمل سیانوراسیون به روشهای مختلف انجام می‌شود .

۴ ـ ۴ ـ ۱ ـ سیانوراسیون در داخل رآکتور

سیانوراسیون بطور رایج توسط یک سری رآکتور انجام می‌شود . کانه ، پس از خرد شدن بصورت پالپ بداخـــل رآکتورها هدایت می‌شود ودرآنجا با محلول سیانور در تماس قرار می‌گیرد .

تا این اواخر در بیشتر نقاط ، سیانوراسیون برروی بخشهای دانه درشت ودانه ریز بطور جداگانه انجام می‌شد . بخشهای دانه درشت توسط رآکتورهای ساکن وبخشهای دانه ریز

توسط رآکتورهای غیر ساکن جدا می‌شوند.

رآکتورهای ساکن متشکل از ستونهائی هستند که مواد دانه درشت درآن انباشته می‌شوند. محلول سیانور از قسمت فوقانی بداخل آن وارد شده، پس از عبور از لابلای مواد از قسمت تحتانی خارج گردیده، مجددا بداخل ستون بازگردانده می‌شود. در حال حاضر ازاین روش استفاده نمی‌شود، بلکه کانه بطورکامل تا ابعاد کوچکتر خردشده ودر یک سری رآکتور غیر ساکن تحت تاثیر محلول سیانور قرار می‌گیرد.

اختلاف انواع رآکتورها در نحوه بهم زدن مواد در داخل آنهاست. رایجترین رآکتورهای مورد استفاده بشرح زیر هستند:

– رآکتورهای Pachucas

این رآکتورها بشکل استوانه های بلندی هستند که قسمت تحتانی آنها مسطح یا مخروطی شکل است. بهم زدن مواد در این نوع رآکتورها با دمیدن هوا انجام می‌پذیرد. بدین منظور مجراهائی برای دمیدن هوا در قسمت تحتانی آن پیش بینی شده است.

– رآکتورهای Dorr

این رآکتورها بشکل استوانه کم ارتفاع هستندکه قسمت تحتانی آنها مسطح است. درداخل آنها محوری توخالی قرار گرفته است که برروی آن در قسمت تحتانی تعدادی پارو، ودر قسمت فوقانی تعدادی پره نصب شده است. بهم زدن مواد با دمیدن هوا از داخل محور که از بخش تحتانی آن خارج می‌شود، انجام می‌گیرد. پاروهای تحتانی از ته نشین شدن مواد جلوگیری می‌کنند و پره های فوقانی باعث پراکنده شدن ذراتی، که در اثر دمیده شدن هوا بسطح پالپ رسیده اند، می‌شوند.

– رآکتورهای مجهز به بهم زن

این رآکتورها مجهز بیک بهم زن مکانیکی (مارپیچی) هستندکه باعث تعلیق و پراکنده شدن هوا در رآکتور می‌شود. دربعضی انواع آن، در اطراف بهم زن مجراهائی برای دمیدن هوای بیشتر پیش بینی شده است.

در حال حاضر رآکتورهای مجهز به بهم زن که دارای مصرف کم انرژی بوده واحتمال تشکیل منطقه های ساکن نیز در آنها کمتراست بیشترین کاربرد را دارا می‌باشند.

رآکتورها در بیشترین حالات بطور دائم و بصورت سری ودر بعضی حالات نیزبطور غیر دائم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴ – ۴ – ۲ – سیانوراسیون توده‌ای

این روش که ازمدتها قبل برای کانه‌های مس واورانیوم روشی شناخته شده بود، از حدود ۱۰ سال قبل بسرعت برای کانه‌های طلا نیز مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به حجم سرمایه‌گذاری وهمچنین هزینه کم این روش نسبت بروشهای کلاسیک، می‌توان کانه‌های کم عیار یا باطله های معادن قدیمی را نیز پرعیار کرد. درحال حاضر با استفاده ازاین روش، کانسارهائی با عیار ۲ و حتی ۱ گرم در تن را مورد بهره‌برداری قرار داده اند.

دراین روش، توده‌ای از کانه، که وزن آن ممکن است از چنددهزار تن تا یک میلیون تن تغییر کند، برروی بستر غیر قابل نفوذی (از جنس رس، پلاستیک، آسفالت، . . .) قرارداده می‌شود. محلول سیانور توسط دو شهائی برروی این توده پاشیده می‌شود و بطور آزاد از میان توده عبور می‌کند. با پیش بینی زهکشی مناسب برروی بستر، محلول سیانور غنی شده از طلا جمع آوری می‌شود و به بخش بازیابی طلا منتقل می‌گردد. این عمل تا زمانی که انحلال طلا در محلول متوقف شود، یا سرعت انحلال خیلی کند شود، ادامه می‌یابد و ممکن است بسته به حجم توده و سینتیک واکنش از چند روز تا چند ماه تغییر کند.

درصورت استفاده از این روش، امکان پرعیار کردن اولیه کانه بروشی دیگر وجود ندارد. در نتیجه کانه بایستی بطورطبیعی قابل آرایش با این روش باشد. بدین منظور باید کانه دارای مشخصات زیر باشد:

– ابعاد ذرات طلا باید حتی المقدور کوچک باشد، چون ممکن است انحلال ذرات دانه درشت مستلزم زمانی بسیار طولانی باشد (۱ تا ۲ سال)،

– ذرات طلا یا در اثر تخلخل کافی خود کانه و یا پس از مرحله سنگ شکنی باید بتوانند با محلول سیانور در تماس قرار گیرند،

– میزان عناصری که قابل حل شدن در محلول سیانور هستند (مثل As,Cu,Zn,Fe,Sb یا موادی که باعث اختلالاتی در سیانوراسیون طلا می‌شوند، بایستی در کانه کم باشد،

– میزان کانیهای سولفوره که در حین عمل تولید اسید می‌کنند ودر نتیجه مصرف آهک را افزایش می‌دهند بایستی کم باشد،

ـ بالاخره بایستی قابلیت عبور محلول سیانور از توده کانه مناسب باشد. بدین منظور بایستی میزان نرمه و همچنین رس در آن کم باشد.

درمقایسه، بازیابی طلا بروش توده‌ای معمولا حدود ۷۵% بازیابی بدست آمده توسط رآکتورها است.

بازیابی طلای حل شده در محلول سیانور:

پس ازمرحله سیانوراسیون، طلای‌حل‌شده در محلول سیانور بایستی بازیابی‌شود. برای این منظور دو روش‌موجود است:

الف ـ ته‌نشین کردن‌طلا توسط روی

بدون‌شک، یکی‌ازعوامل‌موثردرتوسعه‌روش‌سیانوراسیون امکان ته‌نشین کردن طلاازمحلول‌سیانورتوسط‌پودر روی بوده که دراواخر قرن نوزدهم شناخته‌شده‌است. ته نشین کردن شامل مراحل زیر می‌شود:

ـ جدا کردن محلول غنی شده، از ذرات جامـــد باطله،

ـ صاف کردن محلول غنی شده،

ـ هواکشی محلول تحت خلاء جزئی،

ـ ته‌نشین‌کردن‌طلادرمحلول‌بااستفاده از پودرروی،

ـ بازیابی طلای ته‌نشین شده (توسط‌فیلترپرس).

بعضی از عناصر (بخصوص مس) ممکن اســـت در واکنشهای ته‌نشینی ایجاد اختلال نمایند وباعث کاهـــش سینتیک واکنش وهمچنین بازیابی طلا شوند.

ب ـ جذب طلا برروی زغال‌فعال

موادی که دارای کربن فعال هستند، می‌توانند طلا رابرروی خودجذب‌کنند. برمبنای این خاصیت، روش بازیابی طلا توسط‌زغال‌فعال پایه‌گذاری شده است.

قابلیت زغال فعال برای جذب طلا، با توجـــه، به‌اشکالاتی که در سیانوراسیون کانه‌های طلای کربن‌دار پیش آمده بود، در قرن نوزدهم شناخته شده بود، مع‌الوصـــف کاربرد وتوسعه استفاده ازآن در ۱۰ سال اخیر بوده اســت. این امرمدیون‌روشی است که ZADRA برای بازیابی و استفاده مجدد از زغال (بجای سوزاندن آن) ارائه نموده است. زغال مورد استفاده از چوبهای سخت (مثل درخت فندق) یا قسمتهای سخت گیاهی (مثل پوسته‌هستند گیاهان) بطریقه‌خاصی‌تهیه‌می‌شودتا تخلخل ودر نتیجه ظرفیت جذب آنها افزایش یابد. دانه بندی مناسب برای زغال مـــورد استفاده ۰/۸ تا ۳ میلیمتر است.

یکی از مزایای زغال فعال اینست که در صورت لزوم می‌توان‌پس‌از مرحله انحلال، آنرا مستقیما با پالپ در تماس قرار داد. پس از مرحله سیانوراسیون، پالپ (که مشتکل از ذرات دانه ریز کانه است) به یک سری رآکتور از نـــوع Pachucas یا نوع مجهز به بهم زن مکانیکی منتقـــل می‌شود. بهر یک از رآکتورها، زغال فعال افزوده می‌شود و در زمان‌خروج پالپ‌از رآکتورها، این زغال توسط سرندهائی جدا می‌شود. زغال باقیمانده برروی هر سرند، در خلاف جهت پالپ حرکت می‌کند و به رآکتور قبلی انتقال یابـــد. بدین ترتیب پالپ عبور کرده از سرند پس از آخرین‌رآکتور، تشکیل‌باطله‌را می‌دهد و زغال باقیمانده برروی سرند مربوط به اولین رآکتور، تشکیل محصول پرعیار شده را می‌دهد. با استفاده ازاین روش، نیازی‌به‌جدا کردن و صاف کردن محلول غنی شده، پس از مرحله سیانوراسیون نیست. این امـــر بخصوص‌در موردکانه‌هائی که بسختی ته‌نشین شده و ازصافی می‌گذرندمزیت قابل توجهی محسوب می‌شود [۱۱]. در روش‌سیانوراسیون‌توده‌ای، جذب طلای حل شده برروی زغال در داخل ستونهای ساکن انجام می‌پذیرد.

بازیابی طلا از زغال نیز بروشهای متعددی انجام می‌شود. اولین روش که‌توسط ZADRA[۵]ارائه شده است، استفاده ازمحلولی شامل ۱ % سود و ۰/۱ % سیانور سدیوم در حرارت جوش ودر فشار متعارفی یا بیشتر است. یکی از اصلاحاتی که‌برروی این روش انجام شده است، افزایـــش حدود ۱۰ % اتانول‌بمحلولی شامل۲ % سود است. در روشی که در آفریقای جنوبی رایج شده است، پس از اینکه زغـــال غنی شده در تماس با محلولی شامل۵ % سیانور سدیوم و ۱% سود، قرار گرفت آنگاه از آب خالص استفاده می‌کنند.

پس ازاین مرحله، طلا بروش الکترولیـــز بـــر روی کاتدهائی از نوع سیمهای فولادی منتقل می‌شود. گاهی از اوقات نیز طلای موجود در محلول را با استفاده از پودر روی ته نشین می‌کنند.

در مقایسه بین دوروش ته نشین کردن طلا توسط پودر روی و جذب آن برروی زغال فعال، روش دوم بخصوص در شرایطی که جدا کردن وصاف کردن محلول غنی شده، بعلت وجودموادرسی ونرمه، بسختی انجام پذیرد، همچنین در صورت وجود مس در محلول، ویا هنگامی که عیار کانه کم باشد، مناسب تر از روش اول است. بعکس، چنانچه همراه کانه، نقره نیز وجود داشته باشد، روش ته‌نشین کردن توسط

پودرروی مناسبتر است. هزینه عملیات و سرمایه گذاری برای روش جذب برروی زغال فعال معمولا کمتر از روش ته‌نشینی است. یکی دیگر ازمزایای زغال فعال که‌کاربرد خیلی جدید آنست، امکان استفاده از آن در حین عملیات سیانوراسیون است، زیرا در صورت وجود مواد کربن دار در کانه، کربن فعال مانع ازجذب‌طلای حل شده برروی مواد کربن‌دار خواهد شد، بدین‌ترتیب این‌قبیل‌کانه‌ها را می‌توان‌بدون‌اینکه نیازی به جداکردن اولیه مواد کربن‌دار باشد، آرایش داد.

۵ ـ تاثیر ناخالصیهای همراه طلا برروی روشهای آرایش آن

علاوه برخواص ویژه طلا، خواص بعضی کانیهای موجود در کانه (سولفورها، اکسیدها، کانیهای گانگ) تاثیر زیادی درانتخاب روش‌آرایش دارند. بنابراین شناسائی کامل کانه طلا ازنظرکانی شناسی، بخصوص در حالاتی که روشهای رایج آرایش نتایج رضایت بخشی ندهند، امری الزامی‌است. تاثیر کانیهای مختلف بشرح زیر است:

۵ ـ ۱ ـ کانیهای مس، سرب و روی

تجارب نسبتا قدیمی LEAVER و WOOLF نشان داده‌اند که اکثر کانیهای طلا دار خود نیز کم وبیش‌در سیانورحل می‌شوند. این امر باعث مصرف بیش از حد سیانور می‌شود. بنظر DORR و Bosqul(۷) چنانچه نسبت مولرمس به‌سیانور معادل ۴ باشد، انحلال آن در مقابل طلا به بیشترین حد خود می‌رسد. برای اجتناب ازاین امر، اکثر اوقات قبل‌از سیانوراسیون‌یک مرحله آرایش اولیه لازم است.

درمواردی‌که‌فلزات‌مبنای موجوددرکانه‌مورد بازیابی قرار گیرند، معمولا طلا در حین‌عملیات متالورزی فلزات مبنا بازیابی می‌شود.

۵ ـ ۲ ـ کانیهای آرسنیک وآنتیموان

مشابه آنچه در فوق گفته شد، باستثنای میسپیکل، این دسته از کانیها کم وبیش در محلولهای سیانور حل می‌شوندوبدین‌ترتیب‌مصرف موادشیمیائی‌راافزایش می‌دهند. بعلاوه این انحلال، سینتیک انحلال طلا را کاهش می‌دهد وبالاخره ازانحلال آن بطور کامل جلوگیری می‌کند. علت‌این بازدارندگی علاوه برکاهش اکسیژن در محیط، عمدتا ناشی از تشکیل لایه‌ای از ترکیبات آرسنیک وآنتیموان برروی ذرات طلا است.

اشکال‌دیگری که حضور آرسنیک بوجود می‌آورد، در مرحله‌راسب کردن‌طلا از محلول سیانورتوسط پودر روی‌است. زیرادر این مرحله‌گاز AsH_3 تولید می‌شودکه فوق‌العاده سمی است واحتیاج‌به‌تاسیسات اضافی برای تهویه‌موثر محیط دارد.

یکی از حالات خاص وقابل توجه، همراه بودن طلا با میسپیکل‌است. دراینحالت‌معمولا طلابصورت بسیار دانه‌ریز ودر حد غیر قابل رویت توسط میکروسکپ وجود دارد و بطور مستقیم قابل بازیابی توسط محلول سیانور نیست.

در حضور آرسنیک یا آنتیموان، معمولا روش‌آرایش اولیه، فلوتاسیون است. محصول پرعیار شده اولیه تشویه می‌شود، بدین‌ترتیب‌ازیک‌طرف طلا برای مرحله سیانوراسیون آزاد شده، ازطرف دیگر آرسنیک‌و بخش عمده آنتیموان حذف می‌شود. درجه حرارت وهوادهی کوره، بخصوص درحالتی که کانه حاوی‌آنتیموان باشد، بایستی بطور دقیق کنترل شود، تا از ذوب جزئی این فلز که ممکن است باعث پوشش سطح ذرات طلا گردد، جلوگیری شود.

۵ ـ ۳ ـ سولفورهای آهن

سولفورهای‌آهن یعنی پیریت، مارکازیت و پیروتیت در حین سیانوراسیون تمایل به‌تجزیه شدن دارند. در بین این کانیها، پیروتیت‌بیشترین اشکال راتولید می‌کند. تجزیه و وانحلال این کانیها باعث افزایش مصرف اکسیژن و کاهش سینتیک انحلال طلامی‌شود. بعلاوه ممکن است برروی سطح ذرات طلا، لایه ای از AuS تشکل‌شود که از انحلال آن جلوگیری نماید و همچنین یونهای Fe^{++} موجود درمحیط می‌توانندطلای حل شده را رسوب دهند. معمولا می‌توان این اشکال را با یک مرحله اکسیداسیون در محیط‌قلیائی قبل از مرحله سیانوراسیون برطرف کرد.

قابلیت انحلال پیریت در محلول سیانور کم است ولی دراین حالت‌نیزمانندحالت میسپیکل، طلا معمولابصورت دانه ریز در داخل آن پراکنده است. در این صورت می‌توان بایک مرحله فلوتاسیون وسپس تشویه وبالاخره سیانوراسیون، طلا را جدا کرد.

۵ ـ ۴ ـ اکسیدهای آهن

گاهی از اوقات در حین سیانوراسیون، بعضی از هیدروکسیدهای آهن می‌توانند تشکیل شده، بصورت‌قشری

ذرات طلا را بپوشانند. این امرباعث کاهش سینتیک انحلال طلا می‌شود. درحالت طبیعی نیز ممکن است ذرات طلاتوسط چنین لایه‌ای پوشیده شده‌باشند که در این صورت جدا کردن آنهابروش فلوتاسیون بسیار دشوار است. این اشکال را گاهی می‌توان‌با یک مرحله فعال کردن توسط دی‌اکسید گوگرد و یا شستشو با اسید رقیق برطرف کرد.

۵ – ۵ – مواد کربن‌دار

مواد کربن‌دار ممکن است بصورتهای مختلف مانند گرافیت، بقایای مواد آلی، اسید هوسیک وغیره در کانه وجود داشته باشند. این مواد باعث راسب شدن طلای حل شده در سیانورمی‌شوند، وبدین ترتیب بازیابی آنرا کاهش می‌دهند. بااستفاده از روشهای خاص (اکسیداسیون، جدا کردن کربن) کم و بیش می‌توان این اشکال را برطرف کرد. همچنین بعضی از انواع رسها می‌توانند باعث راسب شدن طلا شوند که‌علت آن عمدتا وجود مواد هیدروکربن در آنهاست، ولی ترکیب شیمیائی رسها، بخصوص نوع کاتیونهای موجود در آنها نیز ممکن است باعث راسب شدن طلا شود.

در اینجا ذکر این نکته نیز ضروری بنظر می‌رسد که پدیده راسب شدن طلادر مورد بعضی از کانیهای پیریتی نیز مشاهده‌شده‌است. همچنین آلودگی کانه توسط موادی مثـــل بقایای گیاهی، مواد پلاستیکی، مواد شیمیائی مورد مصرف‌در فلوتاسیون، روغنهاوغیره نیزممکن‌است باعث بروز این اشکال بشود.

۶ – مثالهائی از روشهای آرایش طلا

در تدوین مطالب‌این بخش‌سعی شده‌است نمونه‌هائی ازروشهای مختلف آرایش طلا، که در نقاط مختلف جهان‌مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، معرفی شوند.

۶ – ۱ – روش کلاسیک [۸]

کانه مورد نظر که متعلق بمعدن Masbate در فیلیپین است، کانه ایست با گانگ سیلیسی وسختی نسبتـــا زیاد (اندیس کار آن ۱۵ تا ۱۶ است) ودارای موادرسی. عیار طلای موجوددر آن ۴ گرم در تن وظرفیت کارخانه آرایش آن ۳۲۰۰ تن در رور است.

سنگ معدنی طی‌سه‌مرحله سنگ شکنی تاابعادکوچکتر از ۱۰ میلیمتر وسپس توسط چهار آسیای گلوله‌ای در مسیـــر بسته تا ابعاد ۷۵ میکرون (d_{80}) خرد می‌شود. دراکثر کارخانه های مشابه، محلول سیانور در سطح آسیا افـــزوده می‌شود، ولی‌در این موردبعلت اسیدی بودن زیاد کانه، عمل سیانوراسیون در یک سری‌آکتور مجهز به بهم زن انجـــام می‌شود. زمان توقف پالپ در داخل رآکتورها ۲۴ ساعـــت است. سپس با افزودن زغال فعال به پالپ در داخل پنـــج رآکتور دیگر، طلا برروی آن جذب می‌شود. زمان توقف در این مرحله ۵/۵ ساعت است. طلای جذب شده برروی زغال فعال بطور غیر دائم طی ۱۴ تا ۱۵ ساعت در درجه حرارتی معادل ۹۰ درجه‌سانتیگراددرفشارمتعارفی‌از آن خارج می‌شود (روش ZADRA). سپس طلا بروشی کاملا کلاسیک، بطریقه الکترولیزبرروی کاتدهائی از سیمهای فولادی منتقل می‌شود. محصول الکترولیز در داخل یک کوره القائی تصفیه می‌شودتا به طلای شمش باعیار ۹۷٪ طلا و ۱ ٪ نقره تبدیل شـــود. زغال مصرف شده درداخل یک کوره دوار مجددافعال و قابل استفاده‌می‌شود. بازیابی طلا در مجموعه عملیات ۸۶٪است.

۶ – ۲ – روش سیانوراسیون توده‌ای [۹]

کانه مورد نظر متعلق بمعدن Sterling در ایالت نوادا (ایالات متحده) است. ابعاد ذرات طلا در این کانه حدود ۴ میکرون است. این ذرات در داخل سیلتهای سخت شده و دولومیت پراکنده اند و بندرت کانیهای سولفـــوره (استیبین، گالن، پیریت) و کانیهای آلتراسیون (اکسیدهای آهن، رس، سریسیت) همراه آنها دیده می‌شود. عیار آن ۸ گرم در تن وظرفیت کارخانه ۱۰۰ تا ۲۵۰ تن در روزاست. استخراج آن بروش‌زیرزمینی است که پس‌از حمل به کارخانه، بوسیله سنگ شکن تا ابعاد ۷۶ میلیمتر خرد شده و بصورت توده‌ای بوزن ۱۱۰۰۰تن برروی سطحی که بدین منظور آماده شده وبطورمناسب زهکشی شده‌است، انباشته می‌شود. برروی این توده، محلول سیانور بمدت ۱۰ تا ۱۶ ساعت در روز بمیزان ۱۲/۰لیتردر دقیقه بازاء هرمتر مربع پاشیده می‌شود. محلول‌جمع‌آوری‌شده ازهرتوده بطور جداگانه ذخیره‌می‌شود. مدت زمان‌لازم‌برای‌انحلال طلا چندین هفته است. بازیابی طلا به روش جذب برروی زغال فعال انجام می‌شود. پس‌از جداسازی‌طلااز زغال، طلا به روش الکترولیز برروی کاتدهائی ازسیمهای‌فولادی‌انتقال‌می‌یابدوسپس با ذوب تصفیه‌می‌شود. بازیابی طلا بستگی بنوع کانه‌دارد وبین ۷۰ تا ۹۰٪ متغیـــر

است.

۶ – ۳ – روش آرایش کانه‌ای شامل مواد کربن‌دار [۱۰]

کانه مورد نظر متعلق به معدن Carlin در ایالت نوادا (ایالات متحده) است، که دارای منشاء هیدروترمال است و بشدت اکسیده شده است. در نتیجه بخشی از پیریت طلادار موجود در کانه، بصورت اکسید آهن در سنگ پراکنده شده باعث نفوذپذیری کانه نسبت به محلول سیانور گردیده است. در بخش اعظمی از کانسار، مواد کربن‌دار از منشاءآلی تا حدود ۰/۴% وجوددارد. عیار طلا در این کانه ۷ گرم در تن و ظرفیت کارخانه برای کانه حاوی مواد کربن دار ۴۵۰ تن در روز وبرای کانه اکسیده ۱۷۰۰ تن در روز است.

در اینجا برای حذف مواد کربن‌دار، بجای عمل تشویه، از اکسیداسیون شیمیائی استفاده شده است. این عمل طی دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا در داخل پالپ متشکل ازکانه که‌غلظت آن ۴۰ تا ۵۰% جامد است، درحضور کربنات سدیم ودردرجه‌حرارتی حدود ۸۵ درجه سانتیگراد، بشدت هوادمیده می‌شود. بدین ترتیب ذرات پیریت طلادار اکسیده می‌شوند. سپس در مرحله دوم قسمت اعظم مواد کربن‌دار توسط گازکلر در درجه حرارتی حدود ۵۰ درجه سانتیگراد طی زمانی حدود ۳۰ ساعت اکسیده می‌شود. سیانوراسیون به روش کلاسیک انجام می‌شود و طلای حل شده با استفاده از روی ته‌نشین می‌شود. بازیابی طلا دراین کانه حدود ۸۴ %است.

۶ – ۴ – روش آرایش کانه‌ای مقاوم در برابر سیانوراسیون

کانه مورد نظر متعلق به معدن Kargoorlie در استرالیااست. دراین کانه، بخشی‌از طلا بصورت ذرات بسیار دانه ریز در داخل پیریت، که همراه مقدار قابل توجهی از سولفورهای دیگر (تتراهدریت، میسبیکل) است، پراکنده شده است، وبخش دیگرآن بصورت آزاد و همچنین تلورور وجود دارد. گانگ آن یک شیست آهکی است. عیار طلای‌آن ۶ گرم درتن و ظرفیت آن ۱۳۶۰ تن در روز است.

پس از مرحله سنگ شکنی، کانه‌ابتدا توسط‌آسیای میله‌ای خرد می‌شود. محصول خرد شده بروش ثقلی (توسط میز) پرعیار می‌شود وبدین ترتیب اولین محصول پرعیارشده بدست می‌آید. باقیمانده آن مجددا توسط‌آسیای گلوله‌ای تا ابعاد ۷۵ میکرون (d_{95}) خرد شده، سپس بروش فلوتاسیون‌پرعیارمی‌شود. سیانوارسیون بطور جداگانه برروی محصولات پرعیار شده و باطله فلوتاسیون انجام می‌شود. سیانوراسیون باطله‌بسادگی توسط‌رآکتورهای مجهزبه بهم‌زن انجام پذیر است.

۷ – بررسی پرعیار کردن سنگ معدنی کانسار طلای موته

دراین قسمت، بخشی از نتایج بررسیهای انجام‌شده در آزمایشگاه کانه‌آرائی دانشکده فنی، که برروی سنگ معدنی کانسار طلای موته انجام گرفته است، معرفی می‌گردد. این بررسی به پیشنهاد وزارت صنایع ومعادن واز طرف شرکت سهامی‌کل معادن وذوب فلزات در اردیبهشت ماه ۱۳۶۰باین دانشکده ارجاع شد، ونتایج آن بصورت گزارشی در اسفندماه ۱۳۶۰ تهیه وارسال گردید.

کانسارطلای موته‌در ۳۰ کیلومتری‌جنوب دلیجان در استان اصفهان قرار گرفته است. مطالعات انجام شده برروی بخش چاه‌خاتون‌دراین‌ناحیه‌نشان‌داده است که سنگ درونگیر آن شامل سنگهای دگرگونی وآذرین نفوذی است‌که پیریت بصورت دانه‌های پراکنده بطور نامنظم یاتوجیه‌شده درجهت شیستوزیته ولایه‌بندی طبقات شیستی وجود دارد. طلا عمدتا همراه‌پیریت بمقادیر مختلف وجود دارد، ولی بدون ارتباط مستقیم‌باپیریت ودررگه های کوارتز نیز بچشم می‌خورد. ذخیره این بخش حدود ۷۰۰۰۰۰ تن با عیاری حدود ۴ گرم در تن است (عیار نمونه تحت بررسی معادل ۳/۴ گرم درتن بوده است). آزمایشهای انجام شده نشان داده است که با خردکردن سنگ‌معدنی‌تا ابعاد کوچکتر از ۲۰۰ میکرون وسپس فلوتاسیون پیریت می‌توان محصول پرعیار شده اولیه‌ای ازطلا با عیار ۳۰/۶ گرم در تن وبازیابی ۸۴% بدست آورد. سپس باخرد کردن مجدد این محصول پرعیار شده تا ابعادکوچکتر از ۱۲۵میکرون‌واستفاده از روش‌سیانوارسیون‌توسط‌رآکتورهای مجهز به بهم زن می‌توان طلای موجود را در محلول سیانور حل کرد. بازیابی‌این مرحله نیز۸۱/۷% بوده است. بازیابی طلا از محلول سیانور، با استفاده از زغال فعال امکان پذیر است.

نتیجه

با توجه به مطالب گفته‌شده در مورد کانه‌های طلا وروشهای‌مناسب‌برای‌آرایش هر کانه و همچنین مراحل‌مختلف هر یک‌از این روشها، به‌تحولات وپیشرفتهای انجام شده در سالهای اخیر اشاره شد.

یکی ازاین تحولات ، استفاده مجدد از قدیمی ترین روش آرایش طلایعنی روش ثقلی ،وایجادامکاناتی برای آرایش طلا در ابعاد نسبتا دانه‌ریز است .

تحولات چشمگیر دیگری که باعث گسترش تکنولوژی آرایش طلا در ۱۰ سال اخیر بوده است ، یکی سیانوراسیون توده‌ای است که روشی ساده‌وارزان‌است‌وبااستفاده از این‌روش می‌توان کانسارهائی باعیار کم وهمچنین باطله معادن قدیمی را مورد بهره‌برداری قرار داد . بالاخره لازم است از امکان استفاده اززغال فعال برای بازیابی طلا از محلول غنی شده سیانورنام‌برد که بخوبی توانسته است با روش ته‌نشین کردن طلاتوسط پودر روی رقابت‌کندودر بعضی مواردا شکالات‌موجود در این روش را برطرف نماید .

خلاصه

طلا در طبیعت‌بصورت فلزی ومعمولا با مقداری نقره یافت می‌شود که همواره تشکیل محلولهای جامد غیر محلولی را می‌دهند . طلادر مقادیر متفاوت اقتصادی یا غیر اقتصادی در سنگهای مختلف (آذرین،رسوبی ، دگرگونی) با ابعادی از حدود چند سانتیمتر تاکوچکتر از میکرون یافت می‌شود .

با توجه بخواص طلا ، یعنی جرم مخصوص زیـــاد ، قابلیت ترشوندگی‌توسطجیوه ، آبرانی‌طبیعی‌وقابلیت انحلال آن در محلول سیانور ،روشهای‌مختلفی برای آرایش‌آن ابداع شده است .

قدیمی ترین‌روش،روش ثقلی است که درمورد ذرات نسبتا " دانه درشت طلا مورد استفاده قرار می‌گرفته است ، ولی در سالهای‌اخیرامکان آرایش طلا در ابعاد نسبتا " کوچک نیز بروش ثقلی حاصل شده است .

با توجه به‌قابلیت‌تر شوندگی‌سطح طلا توسط جیوه ، از زمانهای قدیم روش ملقمه کردن برای آرایش طـــلا مورد استفاده قرارگرفته‌است ،ولی‌در حال حاضر با توجه به‌مسائلی که در این روش وجوددارد ،ازروش ملقمه کردن فقط در بعضی موارد بخصوص برای بازیابی طلا از محصولهای پرعیار شده استفاده می‌شود .

با توجه به آبرانی‌طبیعی طلا ،بخصوص درکانه‌هائی که‌طلا همراه سولفورهای فلزی دیگر وجود دارد ، می‌توان با استفاده ازروش فلوتاسیون ، محصول پرعیار شده اولیه ای از طلا بدست آورد .

بالاخره ، با توجه به قابلیت انحلال طلادر محلول سیانور ، می‌توان از روش سیانوراسیون استفاده کرد . ایـــن روش در حال حاضر متداولترین روش‌آرایش طلا است .

بمنظور بازیابی طلا از محلول غنی شده سیانور ،از قابلیت ته‌نشین کردن‌آن بکمک پودرروی استفاده می‌شود . در سالهای اخیر استفاده از زغال فعال برای جذب طلای موجود در محلول غنی شده سیانوررایج شده است .

فهرست منابع

1- RAMDHOR,P.;The ore minerals and their intergrouths, Vol. I, 2nd edition, Pergamon Press,Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt, 1980, pp. 321-336.

2- LIBAUDE,J.; MORIZOT,G.; Le traitement des minerais d'or, Industrie Minérale "les techniques", juin 1984, pp. 506-524.

3- Mc QUINSTON, F.W.; SHOEMAKER,R.S.; Gold and silver cyanidation plant practice, AIME, Vol. 1, 1975,Vol. 2, 1980.

4- ADDISON, R.; Gold and silver extraction from sulfide ores, Mining Congress Journal, October 1980.

5- ZADRA, J.B.; A process for the recovery of gold from activated carbon by leaching and electrolysis, U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines, RI 4672, 1950.

6- VAN LIERDE, A.;OLLIVIER ,P.;LESOILLE, M.; Dévelopment du nouveau procédé de traitement pour le minerai de Salsigne, Congres Industrie Minérale, Besancon, 1982.

7- DORR, J.V.; BOSQUI, F.L.;Cyanidation and concentration of gold and silver ores, McGraw Hill, 1950.

8- ARGALL, G.D.Jr.; Masbate Au Mine reopens after 25 years, World Mining, November 1980, pp. 35-39.

9- PARRISH, I.S.; AUSTIN, G.G.;KAPPES, O.W.;Sterling Mine joint venture, Anatomy of small underground mine and heap leaching, February 1982.

10-GUAY, W.J.;How Carlin treats gold ores by double oxydation, World Mining, March 1980.

11-OLLIVIER, P.;BARBERY, G.;Development of a carbon in pulp process for clayey,gold ores, XIV Intrmin. Proc. Congress, Toronto, October 1982.