

浮选厂生产经验

第一輯

冶金工業出版社

目 录

銅鉛混合精矿的浮选分离現狀.....	1
銅鋅矿石阶段浮选的試驗.....	28
提高銅回收率的初步总结.....	42
多金屬矿石浮选流程的改进.....	51
我厂是如何提高选銅回收率的？.....	56
銅鋁分离.....	64
浮选加氧（充气）試驗总结.....	71

銅鉛混合精礦的浮選分離現狀

錢天任 孫成林

銅鉛鋅多金屬礦石的浮選是目前選礦工藝中最複雜的問題之一。該類礦石優先浮選的實踐已有多年歷史，但由於它們的浮游性能相近，特別是當礦石中含有次生銅礦物時尤不適用，且不經濟。因而目前公認為更好的方法是抑制鋅和鐵的辦法優先選出銅鉛混合精礦，然後再在尾礦中使鋅從鐵及其他礦物中優先復活。

銅鉛混合精礦浮選後再行分離，可使各種硫化礦物的分離不需處理整個礦漿流，只需處理少量的混合精礦，因而它常常是選礦作業中最經濟的方法，但過去在分離銅鉛混合精礦作業中常常遇到困難限制了此法在工業上廣泛的應用。

由於在混合精礦中聚集了大量捕集劑，它們附着在礦物表面，因而阻礙了礦物表面在分離時對抑制劑的反應。

如果鉛精礦含銅過多，則不僅影響銅的選礦回收率和鉛的冶煉回收率，使冶煉過程複雜化，並且還影響冶煉的勞動條件，因此就要求在選礦過程中使銅鉛混合精礦盡量達到充分分離。

近年來西方的選礦學者 M. 雷和 F. W. 密柯斯頓等曾對此問題進行了研究，蘇聯 M. M. 鮑良柯夫，Л. И. 脫落斯查，A. C. 孔涅夫，Ю. И. 業羅馮金，H. B. 查斯金，Д. A. 斯維多夫，A. И. 安得烈也娃，П. Д. 特羅索夫和 K. A. 巴斯諾夫等選礦專家們也進行了研究，並獲得顯著成績，為銅鉛混合精礦的浮選分離奠定了理論基礎，為工藝實踐開辟了廣闊途徑。

目前在研究和實踐中常用的銅鉛混合精礦的分離方法

如下:

1. 重鉻酸鹽法;
2. 氰化法;
3. 氰化物——重鉻酸鉀聯合分離法;
4. 二氧化硫法 (舊金山法);
5. 從舊金山法的革新過渡亞硫酸鹽——硫酸鐵法;
6. 其他分離方法。

一、重鉻酸鹽法

用重鉻酸鹽抑制鉛選銅來分離銅鉛混合精礦的方法, 在過去選礦實踐中應用較廣。

南美洲秘魯卡薩帕爾卡礦石由砷黝銅礦, 黝銅礦, 硫砷銅礦, 輝銅礦和銅藍組成, 它們與方鉛礦、閃鋅礦、和黃鐵礦共生於脈石中, 原礦中銅、鉛、鋅的含量比約為1:5:80。混合精礦的分離在 pH 為 8.0 的低溫礦漿中進行。經實踐證明, 攪拌對分離不利, 每噸混合精礦約消耗重鉻酸鹽 1500 克, 其分離結果如表 1 所示。

用重鉻酸鹽法分離卡薩帕爾卡銅鉛
混合精礦的結果

表 1

產品名稱	品 位	%	分 配 率 %	
	Cu	Pb	Cu	Pb
混合精礦	7.0	5.0	100.0	100.0
銅精礦	26.0	7.2	95.0	17.0
鉛精礦	3.0	63.5	5.0	83.0

重鉻酸鹽法對黃銅礦和方鉛礦的純礦物研究結果列於圖 1。

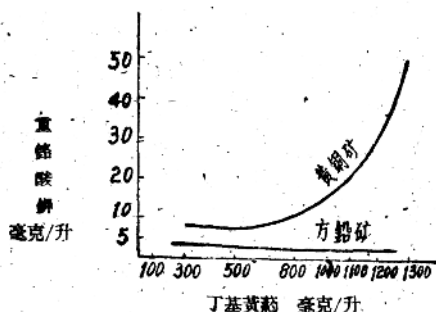


圖 1 用重鉻酸鉀法對純礦物研究之結果

由圖 1 看出，重鉻酸鉀雖將方鉛礦大部抑制，但黃銅礦亦隨之而被抑制了，這說明重鉻酸鹽法的選擇性不夠強。

圖 2 是重鉻酸鉀對被銅離子活化了的方鉛礦的抑制情況。經銅離子復活後，方鉛礦的性質有很大改變，雖用重鉻酸鉀也不能將其很好抑制。

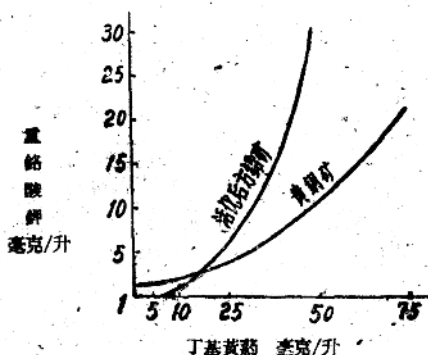


圖 2 用重鉻酸鉀對被銅離子活化後的方鉛礦的抑制情況

圖 2 中兩條曲線很接近，說明難獲良好的分離結果，由於在選礦過程中不可避免有銅離子存在（特別是當存在次生銅礦物時），因而用重鉻酸鹽法不能得到令人滿意的結果。

在工業中采用重鉻酸鹽抑制方鉛礦的方法分離銅鉛精礦，所得分離指標也不高，近年來，在某些選礦廠中有用氧化物抑制銅礦物的方法來代替重鉻酸鉀法的趨勢。

二、氰化法

一般來說，應用氰化法代替重鉻酸鹽法可以改善銅鉛混合精礦的分離指標。

用氰化法對黃銅礦和方鉛礦的純礦物研究結果載於圖3。

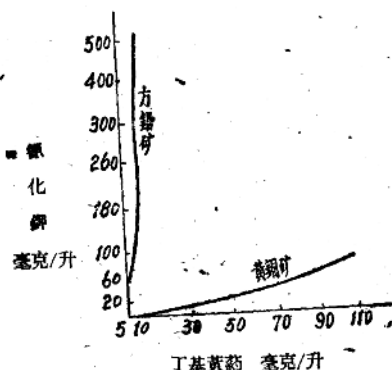


圖3 用氰化法對純礦物的研究

圖中曲線與縱座標所包括的面積表示礦物被抑制情況，與橫座標所包括的面積表示礦物的浮游情況。

由圖3可見，方鉛礦的曲線緊靠縱座標說明氰化鉀對方鉛礦不起抑制作用，但黃銅礦曲線幾乎靠近橫座標，說明黃銅礦受氰化鉀作用後大部被抑制了。

圖中兩條曲線間的面積表示方鉛礦和黃銅礦的選擇性，以圖3和圖1比較，圖3中兩條曲線間的面積要比圖1大得多，由此可見，氰化法較重鉻酸鹽法為優。

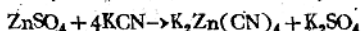
美国伊达累多的矿石包括粗粒原生黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和黄铁矿（和金銀共生）。实践证明，当鉛和銅的比例小于2:1时，用氰化法分离銅鉛混合精矿是有效的，其结果如表2所示。

用氰化法分离伊达累多銅鉛混合精矿的结果 表2

产 品 名 称	品 位 %		分 配 率 %	
	Cu	Pb	Cu	Pb
混合精矿	13.7	35.2	100.0	100.0
銅精矿	25.4	3.4	90.0	4.6
鉛精矿	2.7	66.3	10.0	95.4

应用复合的氰化物来抑制黄铜矿其效果与純氰化物相同，后者有溶解銅鉛混合精矿中所含自然金的缺点，并且对次生銅矿物不起抑制作用，反而与之結合成复离子可溶性鹽。如使用前者即避免上述缺点。

抑制銅矿物最有效抑制剂是氧化鋅（亦可用硫酸鋅代替）和氰化物的混合物，可按下式制成：



但硫酸鋅必須用石灰中和，以保証氰化物的保护碱性。

氰化法虽在若干方面較重鉻酸鹽法为优，但其所得鉛精矿中含銅量仍較高（2~4%）。当矿石中含金很多时，总有一部分金因溶解而损失，虽用活性炭吸附亦难于充分回收。此外，無論是純氰化物或鋅氰化合物，它們对黄銅矿、斑銅矿、砷黝銅矿等矿物的抑制虽極为有效，但对抑制輝銅矿和銅藍都無效。

綜合上述，当精矿中含有大量輝銅矿和銅藍或存在大量被污染或氧化的方鉛矿时，氰化法不宜采用，所以还应寻求新

的,更有效的方法来分离銅鉛混合精矿。

三、氰化物——重鉻酸鉀联合分离法

苏联列宁諾高尔斯克选矿厂采用氰化法分离銅鉛混合精矿时,其作業总回收率为160%,此时所得之鉛精矿含銅約3%。这一指标对氰化法实践是具有代表性的,要进一步降低鉛精矿中的含銅量,用氰化法难以达到。A.C.孔涅夫等曾为此进行了氰化物——重鉻酸鉀联合分离法的研究。即用硫化鈉預先解析捕集剂后,依次添加氰化物及重鉻酸鉀。

每吨混合精矿添加6公斤硫化鈉,进行攪拌,在硫化鈉的作用下,捕集剂分子从矿物表面上脫下而进入溶液中。随后进行脫水使捕集剂和起泡剂从混合精矿中全部除去。經洗矿和再磨后的銅鉛混合精矿即是进行分离試驗的原料。

依次添加氰化物和重鉻酸鉀分离銅鉛混合精矿的試驗流程和条件列在圖4中。

用氰化物——重鉻酸鉀法和氰化法分离列宁諾
高尔斯克銅鉛混合精矿的試驗結果比較 表3

分离方法	产品名称	产 率 %	品 位 %		回 收 率 %		
			Cu	Pb	Cu	Pb	总 計
氰化物——重 鉻酸鉀联合 分离法	混合精矿	100.0	3.65	48.70	100.0	100.0	
	銅精矿	36.9	8.57	17.59	86.7	13.5	173.2
	鉛精矿	63.1	0.76	66.09	13.3	86.5	
氰化法	混合矿	100.0	4.90	58.55	100.0	100.0	
	銅精矿	23.1	13.70	12.25	64.7	5.0	159.7
	鉛精矿	76.9	2.24	72.50	35.3	95.0	

为了和氰化法进行比较,特按圖5所示的条件及流程进行了用氰化法分离該銅鉛混合精矿的試驗。

上述两个試驗的結果,比較列在表3中。

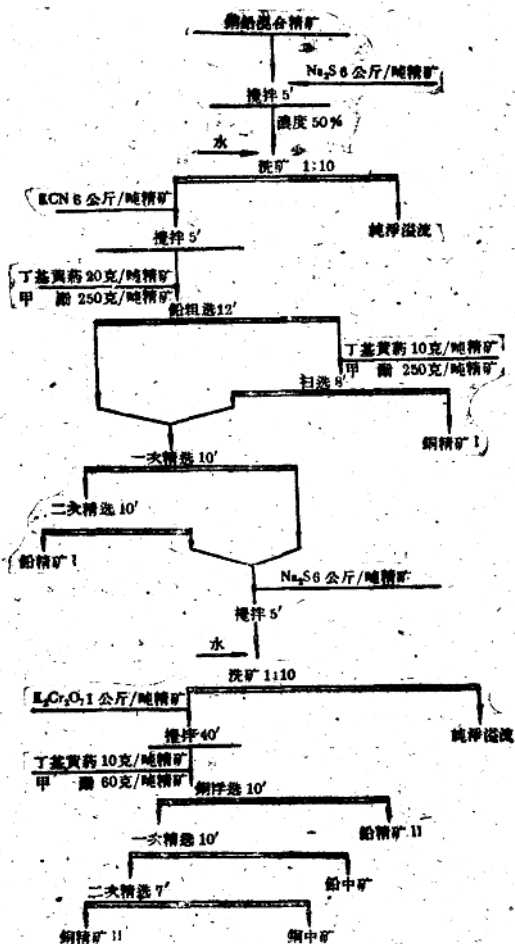


图 4 依次添加氰化物和重铬酸钾分离
Cu—Pb 混合精矿流程及条件

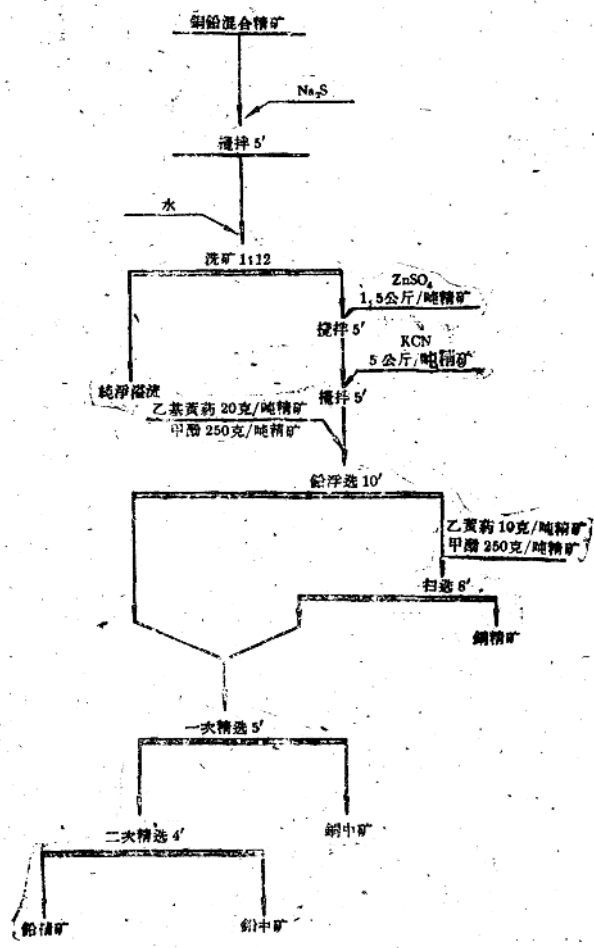


圖 5 氰化法分離 Cu—Pb 混合精礦的流程及條件

由表 3 看出，应用氰化物——重铬酸钾联合分离法，其铜铅总回收率可较氰化法提高 13.5%。

四、二氧化硫法（旧金山法）

二氧化硫法（又称亚硫酸法）在墨西哥旧金山选矿厂多年以前就采用，因之亦称之为旧金山法，其基本流程及条件列在圖 6 中。

根据近年来的文献記載，它与其他已知的方法比較是較為完善的方法。

使用二氧化硫产生亚硫酸有两个目的，一般認為，酸由于清除了銅矿物表面上氧化污物而对銅矿物有些活化作用；其次，酸化矿漿而使鉻酸鹽抑制鉛浮选。

旧金山法的优点是可以防止金子受溶解而造成損失。

当混合精矿含有方鉛矿和部分已变質的不能順利浮选的鉛矿物結合在一起时，二氧化硫法分离的效果可能比氰化法好，污染的方鉛矿和已遭到变質的矿物很难于浮选，容易丢失在分离尾矿中。

因此可以說二氧化硫法是在分离銅鉛混合精矿的實踐上用途最广的方法。

加拿大布塔矿石是黃銅矿、方鉛矿、金、銀、黃鉄矿、閃鋅矿和少量的斑銅矿、砷黝銅矿、輝銅矿、輝鉍矿和赤鉄矿的細粒复杂混合物。主要脉石矿物是重晶石、石英和方解石。

在布塔用氧化硫气体选別銅鉛精矿中銅矿物的方法，在 1936 年已获得發展并使用到現在，在这种方法里銅鉛混合精矿在濃度約 35% 时用泵輸送到 SO_2 气体塔內，經過塔后的排矿用重鉻酸鈉处理約 20 分鐘抑制鉛，用石灰調节 pH 值（在 5.0）以便进行銅浮选。

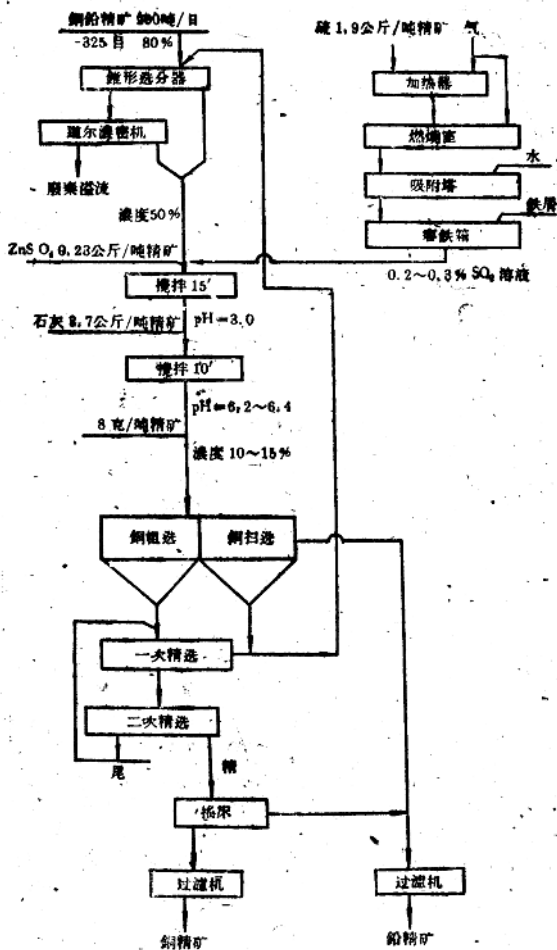


圖 6 用旧金山法分离 Cu-Pb 混合精矿基本流程及条件

每吨混合精矿的药剂消耗量为：二氧化硫約 600~1000 克，重鉻酸鈉約 1300~2200 克，所得的結果如表 4 所示。

用二氧化硫法分离布塔銅鉛混合精矿的結果 表 4

产 品 名 称	品 位 %		分 配 率 %	
	Cu	Pb	Cu	Pb
混合精矿	8.0	39.0	100.0	100.0
銅精矿	21.0	8.0	92.0	7.0
鉛精矿	1.0	56.0	8.0	93.0

墨西哥佛罗民洛公司处理类似的混合精矿是用泵將精矿送到 SO_2 塔頂部，使它穿过气体降落。每处理 1 吨混合精矿的药剂消耗量为硫約 1800 克，淀粉約 270 克。用这种方法得到的結果如表 5 所示。

斑銅矿的存在造成了二氧化硫法分离的严重不穩定。斑銅矿在粗选时被順利地浮选起来，但在返回时則有被抑制的傾向，因而污染了鉛精矿。

用二氧化硫法分离佛罗民洛公司銅鉛混合精矿的結果。 表 5

产 品 名 称	品 位 %		分 配 率 %	
	Cu	Pb	Cu	Pb
混合精矿	4.6	55.0	100.0	100.0
銅精矿	26.0	8.2	70.0	20.0
鉛精矿	1.6	62.0	30.0	80.0

应该指出，旧金山法工艺流程的掌握不是很容易的，同时也存在若干缺点，例如用該法处理苏联列宁諾高尔斯克选矿厂的銅鉛混合精矿就沒有得到好的試驗結果，所有的試驗中銅都

抑制过甚，虽經一系列的抑制剂用量試驗仍未好轉。預先与鉄屑进行不同时间的接触及不同 pH 值（包括旧金山工艺制度中規定之 $\text{pH}=6.4$ ）試驗后，黃銅矿与其他硫化物一样，仍然处于抑制状态。

只有在一种情况下应用旧金山法选矿厂的工艺流程才能够消除黃銅矿的抑制性，即是为了使黃銅矿易于氧化，銅鉛混合精矿的矿漿事先进行了充气，或在敞口容器內置放数日后再按旧金山法进行分离。在这种条件下黃銅矿的抑制作用才在很大程度上被消除。試驗流程及条件見圖 7，其試驗結果列在表 6 及表 7 中。

由表 6 及表 7 可以看出，銅鉛混合精矿的矿漿进行預先輕

矿漿預先在敞口容器中放置三天后，按旧金山法分离列宁諾高尔斯克銅鉛混合精矿的分离指标 表 6

产品名称	产率 %	品位 %		回收率 %		
		Cu	Pb	Cu	Pb	总
混合精矿	100.0	36.3	49.75	100.0	100.0	
銅精矿	17.3	19.18	22.30	91.5	7.8	183.7
鉛精矿	82.7	0.38	55.64	8.5	92.2	

矿漿預先充气后按旧金山法处理列宁諾高尔斯克銅鉛混合精矿的分离指标 表 7

充气时间 (分)	产品名称	产率 %	品位 %		回收率 %		
			Cu	Pb	Cu	Pb	总
30	混合精矿	100.0	1.47	53.64	100.0	100.0	
	銅精矿	11.5	10.78	32.61	84.4	7.0	177.4
	鉛精矿	88.5	0.26	56.28	15.6	93.0	
120	混合精矿	100.0	2.51	30.87	100.0	100.0	
	銅精矿	12.8	17.73	14.60	90.6	6.0	184.6
	鉛精矿	87.2	0.28	33.27	9.4	94.0	

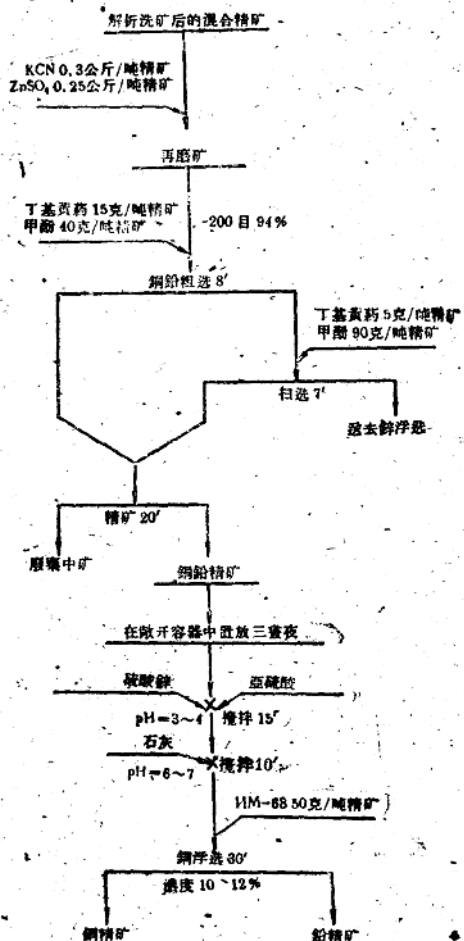


图 7 矿浆预先氧化后按旧金山法分离铜铅混合精矿的流程

微氧化后，采用旧金山法时銅鉛精矿的总回收率可在 180. % 以上，比以氰化法处理同类型矿石的总回收率提高了 20 %，較以氰化物——重鉻酸鉀联合分离法处理同一矿石的总回收率提高了 10 %。

五、从旧金山法之革新过渡到亞硫酸鹽—硫酸鉄法

苏联学者 A.C. 孔涅夫等在 1958 年从事了旧金山法的革新工作，获得了很大成效。

1931 年至 1934 年在苏联选矿研究院曾經研究过用連二亞硫酸鋅 (ZnS_2O_4) 选別多金屬矿，1931 年至 Д.А. 斯維多夫和 А.И. 安德列耶娃 指出：連二亞硫酸鋅对閃鋅矿和黄鉄矿有抑制作用，而对方鉛矿無抑制作用。

1933 年 H.B. 查斯金提出在苏打介質中可以用連二亞硫酸鋅来代替氰化物及硫酸鋅来选別多金屬矿石。

在 1933 年至 1934 年間 П.Д. 特罗索夫在純矿物研究中作出了如下結論：

1. 黄銅矿不被連二亞硫酸鹽及其分离产物 (Zn^{++} 和 $S_2O_4^{--}$) 所抑制。

2. 方鉛矿可以部分地或暫時地被連二亞硫酸鹽所抑制，但其分解产物不能抑制方鉛矿。

3. 連二亞硫酸鹽能輕微地抑制閃鋅矿，其分解产物能强有力地抑制閃鋅矿。

1934 年 K.A. 拉祖莫夫指出亞硫酸对黄銅矿有抑制作用。

根据許多研究工作可知，石灰可抑制方鉛矿，但对黄銅矿不起抑制作用。

旧金山选矿厂所制定的工艺制度中上述三种抑制剂是同时使用的 (見圖 6)。

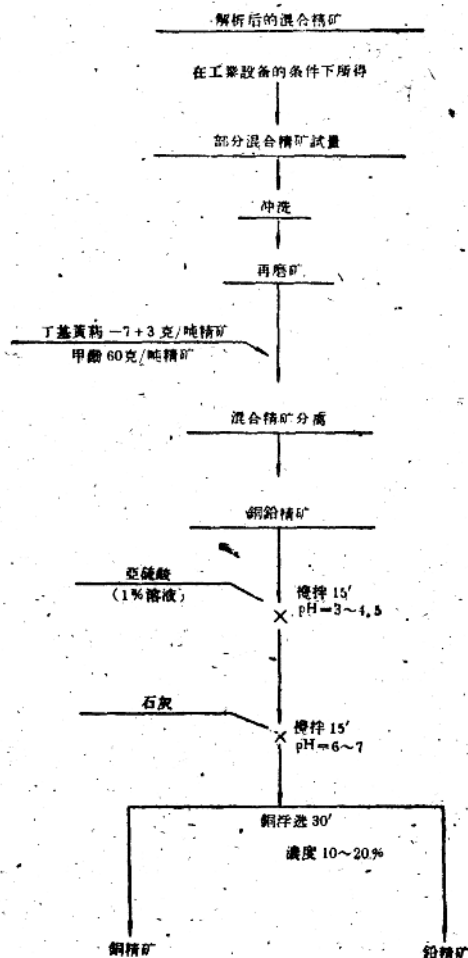


圖 8 不用速二亞硫酸鋅的銅鉛精矿分离流程