

The Combined Use  
of  
Flotation Reagents

浮选药剂  
的  
组合使用

张 阎 编著

冶金工业出版社

TD 703  
Z-401

# 浮选药剂的组合使用

The Combined Use of Flotation Reagents

张 闾 编著

冶金工业出版社

(京) 新登字 036 号

图书在版编目 (CIP) 数据

浮选药剂的组合使用/张闾编著. —北京: 冶金工业出版社, 1994. 8

ISBN 7-5024-1505-X

I. 浮… I. 张… III. 浮选药剂—组合—使用 IV. TD923  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 07508 号



出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)  
北京昌平长城印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销  
1994 年 8 月第 1 版, 1994 年 8 月第 1 次印刷  
850mm×1168mm 1/32; 8.125 印张; 215 千字 253 页; 1-1050 册  
9.50 元

## 前 言

有很多浮选药剂，特别是捕收剂，单独使用时，效果不太理想，甚至效果很差，但当某些药剂按一定比例组合使用后，出现的效果，不是各药单独使用时效果的加合结果，而是产生了 $1+1>2$ 的增效效应。与单独使用相比或与加合效果相比，有的可提高回收率，有的可提高品位，有的可降低药剂费用或改善生态环境等，有时则同时具有几种效益，有的效果一般，有的效果特别明显，几乎可以达到一种高效新药的功能。这种增效作用，是由于两种或两种以上药剂组合在一起后，产生了相辅相成的交互作用，即通常所称的协同作用或协同效应 (Synergistic effect)，它是组合药剂的重要特征。组合药剂是将已有药剂通过浮选试验研究得出的，其成果容易转化为生产应用，故从本世纪 40 年代开始出现组合用药的研究以来的半个多世纪中，组合药剂的研究和应用的发展长盛不衰，引人入胜。当今国内外浮选厂，多数使用了组合药剂。为顺应其发展趋势并促进其进一步的发展，结合作者在这方面所进行的研究，故撰此作。

将现有技术重新组合起来，研制出一种新的装置或工艺，或在原有技术主体部分基本不变的情况下，对其缺陷加以改进以提高原有技术的竞争能力或经济效益，都是一种技术创新行为，对科学技术的发展起着重要的作用。日本在近几十年中的技术发展之所以如此迅速达到如此高超的水平，主要是善于对世界范围内的先进技术进行综合，这样就产生了新的技术效果而成为更先进的技术。阿波罗登月计划的总指挥说过，他的计划使用的都是现成技术，可是登月计划的成功却是史无前例的伟大创举，说明技术综合具有创造性。药剂的组合使用，也是现有技术的综合，同样是属于综合-创造性质的。我们应自觉运用这种综合创造思维推进组合药剂的研究和应用向深度和广度发展，这也是作者撰写此作的初衷。

本书共分三个部分，十章，第一部分是实例篇，包括第一章至第五章，为不同类型矿石捕收剂组合使用和其他药剂组合使用的研究，应用实例；第二部分为机理篇，包括第六章和第七章，为捕收剂和抑制剂等组合使用的作用机理研究现状；第三部分是探索篇，系作者近些年来所完成的关于药剂组合使用的部分应用基础性研究工作，包括协同效应的定义、类型和数学表达式，药剂的组合规律性，设计药剂组合的若干基本原理、原则，以及药剂组合效果预测可能性等的研究。

本书可供选矿专业人员参考，也可作为技术创新规律等软科学研究的基础资料。

由于水平所限，错误之处，恳请读者指正，特别是第三部分，本身就是探索性的，更需修正和完善，作者愿其起到抛砖引玉的作用。

皮述初高级工程师参加了本书全过程的编写工作，见百熙教授级高工生前曾对大部分原稿进行过审阅，并提出了宝贵意见。

编著者

# 目 录

## I 组合药剂实例

1 绪论	(1)
1.1 浮选药剂组合使用的含义	(1)
1.2 浮选药剂组合使用的发展历程	(2)
2 硫化矿浮选捕收剂组合使用实例	(6)
2.1 早期研究工作	(6)
2.2 硫化铜及自然铜矿石浮选捕收剂组合使用实例	(7)
2.3 硫化镍和硫化铜镍矿石浮选捕收剂组合使用实例	(13)
2.4 硫化钼和硫化铜钼矿浮选捕收剂组合使用实例	(16)
2.5 铅锌矿和铜锌硫化矿浮选捕收剂的组合使用实例	(20)
2.6 硫化锑矿浮选捕收剂的组合使用实例	(26)
2.7 含贵金属的硫化矿浮选捕收剂的组合使用实例	(28)
3 有色金属氧化矿及稀有金属矿浮选捕收剂的组合使用实例	(33)
3.1 氧化铜矿捕收剂组合使用实例	(33)
3.2 锌、铅、镍的氧化矿捕收剂组合使用实例	(42)
3.3 钨、锡矿浮选捕收剂组合使用实例	(48)
3.4 稀土、铀及其他金属氧化矿的浮选捕收剂组合使用实例	(56)
4 黑色金属矿及非金属矿浮选捕收剂的组合使用实例	(61)
4.1 黑色金属矿捕收剂组合使用实例	(61)
4.2 磷矿捕收剂组合使用实例	(74)
4.3 其他非金属矿捕收剂组合使用实例	(81)
5 起泡剂、抑制剂及其他药剂的组合使用实例	(87)
5.1 起泡剂的组合使用实例	(87)
5.2 起泡剂与捕收剂组合使用实例	(92)
5.3 无机抑制剂组合实例	(98)
5.4 有机抑制剂组合实例	(108)
5.5 有机与无机抑制剂组合实例	(111)
5.6 絮凝剂的组合使用实例	(117)

5. 7	其他药剂的组合使用实例 .....	(120)
<b>II 组合药剂的作用机理</b>		
6	<b>捕收剂组合的作用机理</b> .....	(126)
6. 1	阳离子捕收剂与阴离子捕收剂组合的作用机理 .....	(126)
6. 2	阴离子捕收剂与阴离子捕收剂组合的作用机理 .....	(133)
6. 3	非极性捕收剂与其他类型捕收剂组合的作用机理 .....	(145)
6. 4	其他类型捕收剂组合的作用机理 .....	(150)
6. 5	矿物表面的不均匀性与药剂组合使用的关系 .....	(160)
7	<b>抑制剂组合和起泡剂-捕收剂组合使用的作用机理</b> .....	(164)
7. 1	抑制剂组合使用的作用机理 .....	(164)
7. 2	起泡剂与捕收剂组合使用的作用机理 .....	(173)
<b>III 探索性研究</b>		
8	<b>药剂组合的协同效应数学表达式、类型、定义和组合效果的优化</b> .....	(181)
8. 1	协同效应的数学表达式 .....	(181)
8. 2	协同效应的类型 .....	(186)
8. 3	协同效应的定义 .....	(194)
8. 4	组合药剂分选效果的优化 .....	(194)
9	<b>药剂组合的规律性及组合设计的基本原理</b> .....	(203)
9. 1	药剂组合及其作用机理的分类 .....	(203)
9. 2	药剂组合的规律性 .....	(209)
9. 3	设计新药剂组合的基本原理 .....	(216)
10	<b>药剂组合效果的预测可能性研究</b> .....	(223)
10. 1	药剂组合的效果 .....	(223)
10. 2	捕收剂组合协同效应值的预测可能性研究 .....	(225)
10. 3	组合药剂分选效率的预测可能性研究 .....	(232)
<b>参考文献</b> .....		(239)

# I 组合药剂实例

## 1 绪 论

### 1.1 浮选药剂组合使用的含义

通常用于矿物浮选过程的药剂有捕收剂、起泡剂、调整剂（包括抑制剂、矿浆酸碱度调整剂、活化剂、硫化剂等）、絮凝剂。它们的协调使用，组成了一定条件下的浮选药剂制度，这不属于通常所说的组合用药。所谓组合用药，一般系指同类性质药剂的组合使用。例如两种或两种以上捕收剂添加于同一浮选体系或作业，称为捕收剂的组合使用。两种或两种以上起泡剂添加于同一浮选体系或作业称为起泡剂的组合使用，以此类推，统称为组合用药，也有称为混合用药、联合用药、配合用药的，本书采用组合用药的称谓 (combined use of reagent)。两种或两种以上药剂形成的组合称为药剂组合 (combination of reagents 或 reagent combination, 有的称为 synergistic combination) 或简称组合 (combination)，但有的也称为混合 (mixture) 物，其中属于捕收剂范围的称为捕收剂组合 (combination of collectors 或 collector combination)，属于抑制剂范围的称为抑制剂组合 (combination of depressants 或 depressant combination)，其余类推。由于有的起泡剂与捕收剂有交互作用，这类起泡剂与捕收剂的组合也归属为组合用药。溶剂萃取剂 (extractant) 的性能与浮选剂极其相似，它们的组合使用本书亦略有涉及。

组合用药含义的拓广，只限于某些药剂的混合物 (mixture of reagents)，系指浮选工业中采用的药剂不少是天然的或加工产物，它们多非单一组分的药剂，而是多种组分的混合物。其中有的组分是无用或有害的杂质，有的组分也具有浮选作用，其占有量达到影响药剂的浮选效果时，其实质也是组合药剂，只是其组合比



非控制值而已，其作用机理等同于组合用药。还有一些药剂是生产厂将多种药剂按一定比例配制而成，则更是属于组合药剂的范畴。

组合方式包括预先混合制备添加，同时添加，先后添加，有时也包括分段添加。

## 1.2 浮选药剂组合使用的发展历程

矿石浮选领域最早出现的是全油浮选，以后又逐步发展成为泡沫浮选的雏形——油浮选阶段，这一阶段大量使用各种矿物油，动物油和植物油以及其粗加工油。油浮选阶段实质上是使用组合捕收剂的自发阶段，1903~1904年英国和美国所报导的卡特尔莫尔油浮选法，就是加入大量的油和皂类使硫化矿成为集块沉于槽底，而脉石矿物则被上升水流作用从表面排出。英国报导的艾里莫尔真空浮选法，用的药剂是重油、脂肪酸和油酸混合物（它们的比例为6:2:1），由于气体的引入，固体颗粒已不是在水-油界面上或油层上聚集而是水-气界面上的聚集，浮选药剂的用量已大大降低，降到2~3kg/t的水平。

在使用油类混合物的基础上，人们逐渐发现：在油类捕收剂中存在非油性有机化合物。1918年卡劳（callow）提出：在煤焦油、甲酚酸等矿物油中存在一种或一系列能促进硫化矿浮选活性的有机药剂。1921年别尔钦斯和赛依艾尔发现在非极性油中包含的三价氮和二价氮非油性有机化合物也具有捕收性能。以后的研究表明，煤焦油具有捕收作用，其捕收性大小首先与低温馏份（290℃以下）的比例有关，煤焦油中流动性较好的各种烃油类，如芳香族的苯、甲苯类和脂肪族中某种长度的烷烃及少量的烯烃等油质，都是起捕收作用的基础成分，油中含量较高的十余种组分中，以吡啶碱类（包括吡啶、喹啉及苯胺、萘胺等）的捕收性最好，煤焦油的起泡捕收性是所含吡啶等含氮有机物，加上290℃以下低中温馏份的烃类以及酚类作用的综合结果<sup>[1]</sup>。

通过与硫磺共热，浓硫酸共热，用碱共热再用酸中和等粗加

工方法获得的粗加工油，使原来就是多组分的混合物，又增加了一些具有一定水溶性并具有一定捕收性或起泡性的组分，其捕收性往往比未加工的油有所改善，进一步表现了多组分互相协同作用的综合效果。

以油类捕收剂作为主要捕收剂目前虽已很少用，但作为历史的发展过程，它是组合用药的孕育期，它的实践和发展，为以后的组合用药提供了启迪。

随着 1924~1926 年浮选药剂领域内的重大突破，皂类捕收剂（1924 年），黄药捕收剂（1925 年）和二硫代磷酸盐捕收剂（1926 年）等离子型捕收剂的出现，离子型捕收剂与烃油的组合使用增多，捕收剂的组合使用也开始由自发阶段走向自觉阶段。30 年代初用皂类浮选磷灰石时，用燃料油作添加剂使过分的起泡作用减小，浮选指标提高。在用黄药浮选硫化铜和铅矿石时，添加烃油可强化粗粒矿石和金属矿与脉石连生体的浮选，此后烃油与离子型捕收剂组合增多，至今仍然是捕收剂组合使用研究和应用较多的一个方面。

40 年代至 50 年代初，离子型捕收剂的组合成为捕收剂组合使用研究的主导方面。1957 年斯德哥尔摩国际选矿会议上格林博茨基提出了一篇捕收剂组合使用方面的总结性的报告，报导了当时美国的 29 座铅锌矿选矿厂中的 7 座选厂，使用的都是组合捕收剂，22 座铜选厂中的 2~5 座选厂，使用的都是组合捕收剂。在前苏联有的铜选厂也应用了组合捕收剂。该报告还系统地介绍了他们使用不同黄药组合浮选硫化矿或黄药与油酸钠组合浮选氧化了的硫化矿的试验结果，而且采用了同位素示踪法测定药剂的吸附量与回收率的关系，并用先进的电子仪器测定接触时间以研究组合用药对吸附速率的影响。这篇报告的提出，引起了人们对捕收剂组合使用的广泛兴趣，促进了组合用药研究和应用的发展<sup>[2]</sup>。

近 30 多年来药剂组合使用进入了蓬勃发展的阶段，并具有以下特点：

(1) 浮选剂组合使用的面越来越广，由捕收剂的组合使用发

展到抑制剂的组合，起泡剂的组合，絮凝剂的组合，其中以捕收剂的组合使用研究和应用最多，抑制剂次之。组合体系，也由二元组合体系发展到多元组合体系，药剂组合的类型，也由同型同类药剂的组合，发展到异类药剂的组合使用和异型药剂的组合使用。

据 1976 年东北工学院（现东北大学）对国内 59 座有色金属选矿厂的统计，捕收剂单独使用的 33 座，组合使用的有 26 座，占选厂总数的 44%<sup>[3]</sup>。

1978 年英采矿杂志报导了对数十座硫化铜和铜铅选厂的统计，起泡剂组合使用的选厂 1960 年占 26%，1975 年占 41%<sup>[4]</sup>。

根据我国第五届选矿药剂年评报告所调查的 1986, 1987 两年的组合药剂共 81 个组合，其中捕收剂组合 58 个，占 72%；抑制剂组合 19 个，占 23%；起泡剂组合 3 个，占 4%；絮凝剂组合 1 个。在 81 个组合中，二元组合为 73 个占 90%，三元组合 8 个占 10%，其中捕收剂和抑制剂三元组合各 4 个，在捕收剂组合中，除大部分为阴离子型与阴离子型组合的同型捕收剂的组合外，阴离子型与非离子型、阴离子型与非极性型和阴离子型与阳离子型等异型组合数将近 10%。

(2) 组合药剂的专利比重相当大，在前述的 81 个组合中专利为 27 个，占 33%。其中 58 个捕收剂组合中，专利为 23 个，占 40% 左右。本书作者对前苏联矿业文摘 1977~1984 年的浮选药剂文献统计，其中专利量约占 42%，即捕收剂组合的专利比重与整个浮选剂研究的专利比重相接近<sup>[5]</sup>。

(3) 出现了组合药剂产品，即生产厂将某些药剂按一定比例组合成为一种混合物产品出售，如 Aerofloat 208 药剂即是乙基钠黑药与仲丁基钠黑药按 1:1 组合的药剂，Ucon 290 药剂是 75% MIBC 与 25% 艾罗弗路斯-65 的混合物等。

因此，组合用药已越来越为人们所重视，已发展成为药剂领域的重要发展方向。当前存在的不足之处是：组合用药的应用基础研究落后于实践，对于作用机理的研究虽不少，但对于反映组

合用药重要特征的协同效应的定义、类型及数学分析很少研究,对于药剂组合的规律性以及用于设计新组合的原理、原则的研究也很少涉及。在组合用药的实践发展到如此兴盛的今天,开展这些应用基础研究;将有利于组合用药的进一步发展。本书的第三部分,是作者近些年来对这些方面进行的探索研究的部分结果,同时还对药剂组合效果预测可能性也进行了探索。探索意味着这些研究还只是处于初始阶段,意味着有些问题还需要进一步推敲、修正和完善,甚至有的研究还只能说只是一种思路。

## 2 硫化矿浮选捕收剂组合使用实例

### 2.1 早期研究工作

硫化矿捕收剂的组合使用早在 1945 年就有报导,是将黄药(二硫代碳酸盐)与黑药(二硫代磷酸盐)组合使用浮选钨矿中的黄铁矿和自然金,此后,前苏联学者普拉克辛、格林博茨基等,于 1950~1956 年用黄药、黑药、油酸钠等分别组合,进行了比较多的试验,并发表了一系列的报导<sup>[6~11]</sup>。在 1957 年斯德哥尔摩国际选矿会议上,格林博茨基提出了这方面研究总结报告<sup>[2]</sup>。其研究内容包括:

- (1) 碳氢链长短不同但官能团相同的捕收剂组合使用效果。
- (2) 碳氢端相同但官能团不同的捕收剂的组合使用效果。
- (3) 碳链长度和官能团都不相同的捕收剂的组合使用效果。
- (4) 晶体结构不同和产出地不同的矿物对捕收剂组合使用效果的影响,如不同矿床,不同粒度的方铅矿对某些捕收剂组合使用效果的影响。

其研究方法包括:

- (1) 应用放射性同位素方法测定捕收剂在矿物表面上吸附的总量及组合中各种捕收剂的相对吸附量。
- (2) 用电位滴定法测定黄药在矿物表面上的固着量。
- (3) 测定了浮选过程捕收剂组合使用时矿物粒子的絮凝作用。
- (4) 用电子仪表测量了矿粒与气泡的接触时间,以测定捕收剂组合使用的疏水效应。

取得的主要效果有以下几个方面:

- (1) 可提高回收率,如乙基黄药与戊基黄药组合使用浮选硫化铜矿,回收率为 93.5%,而各自单独使用时的回收率分别为 86%和 90%。

- (2) 可降低药剂费用,如甲基黄药单独使用时没有实用价值,但与其他黄药组合时,可以减少其他黄药的用量<sup>[12,13]</sup>。

(3) 可提高浮选速度。

(4) 利于被氧化的硫化矿的回收。

## 2.2 硫化铜及自然铜矿石浮选捕收剂组合使用实例

浮选硫化铜矿石常用的捕收剂是黄药类，其次是黑药类。它们常常和其他药剂组合使用<sup>[14,15]</sup>。

铜录山铜矿对其硫化矿进行组合捕收剂的试验结果见表2—1。结果表明：将丁基黄药与异丁基黄药或丁黄腈酯（丁基黄原酸丙腈酯，或称 OSN-43）按 1：1 组合，产出的铜精矿品位接近，但回收率提高 1.13~1.16%；而丁基黄药与酯-105（N，N-二乙基二硫代氨基甲酸丙腈酯或称硫氮丙腈酯）组合、丁基黄药与硫氮酯（O-烷基-N-烷基硫逐氨基甲酸酯）组合时，虽然与单独使用丁基黄药的效果相近，但比酯-105、硫氮酯单独使用的效果好。丁基黄药与 BE-64（二乙基二硫代氨基甲酸腈乙酯与异丙基黄原酸腈乙酯的混合物）组合使用比各自单独使用的效果好<sup>[16]</sup>。

德宝铜矿选矿车间投产时，采用丁基黄药、松油，铜的回收率低于 90%，铜精矿品位也低于 22%。当用丁基黄药作为主捕收剂，硫氮腈酯作为辅助捕收剂加于扫选时，生产试验结果达到铜回收率 93.69%，最高达 96.14%，精矿品位平均 27%，最高达 30%<sup>[17]</sup>。

月山铜矿选厂，由单一使用丁黄腈酯改为黄药与丁黄腈酯组合使用，铜回收率从 85% 提高到 92%<sup>[18]</sup>。

狮子山铜矿石用 OSN-43 与丁基黄药组合进行浮选时，铜精矿品位达 25.5%，铜回收率 96.8%，而单独使用丁基黄药时，其品位为 24.4%，回收率为 96.7%<sup>[19]</sup>。

个旧前进铜矿石用丁基黄药与黄原酸丙烯酯（OS-43）组合进行浮选，可获得含铜 16.7%、铜回收率 87.4% 的铜精矿，而单用丁基黄药时，其品位为 15.2%，回收率为 81.8%<sup>[19]</sup>。

属于夕卡岩中温热液矿床的辉铜山选厂，原来采用丁基黄药、松醇油、碳酸钠、水玻璃、硫化钠等五种药剂，后来采用组合捕

表 2-1 硫化铜矿捕收剂组合的浮选效果

矿石类型 及 试验规模	药剂配方 g/t	浮 选 指 标, %				
		原矿氧 化率	原矿品位	精矿品位	尾矿品位	回收率
铜录山硫化铜 小型试验	丁黄药 200	3.25	1.928	14.700	0.110	95.00
	异丁黄药 200	3.25	1.926	13.955	0.09	95.66
	丁黄药 100 异丁黄 药 100	3.25	1.934	14.750	0.085	96.16
铜录山硫化铜 小型试验	丁黄药 200	2.81	1.600	14.580	0.061	96.60
	丁黄膈脂 200	2.81	1.600	15.200	0.095	94.68
	丁黄药 100 丁黄膈 脂 100	2.81	1.620	14.700	0.04	97.73
铜录山硫化铜 小型试验	丁黄药 200	3.75	1.357	10.900	0.062	95.98
	脂 105 120	3.75	1.378	9.250	0.135	91.54
	丁黄药 100 脂 105 60	3.75	1.336	10.250	0.062	95.93
铜录山硫化铜 小型试验	丁黄药 250	3.14	1.379	9.800	0.06	96.2
	BE64 120	3.14	1.336	7.850	0.092	94.22
	丁黄药 125 BE64 60	3.14	1.348	10.000	0.053	96.58
铜录山硫化铜 小型试验	丁黄药 200	3.45	1.570	19.200	0.07	95.91
	硫氨脂 40	3.45	1.580	19.240	0.105	93.90
	丁黄药 100 硫氨脂 20	3.45	1.550	18.260	0.06	96.40
铜录山硫化铜 工业试验	丁黄药 285	6.18	1.717	22.184	0.131	92.92
	异丙基黄药 285	6.18	1.714	20.846	0.145	92.26
	丁黄药 143 异丙黄 药 143	6.18	1.713	22.158	0.115	93.73
铜录山硫化铜 工业试验	丁黄药 397	10.88	2.241	24.586	0.083	96.39
	异丁黄药 619	10.60	2.204	21.972	0.096	96.05
	丁黄药 215 异丁黄 药 308	10.85	2.214	25.430	0.077	96.81

收剂, 只用丁基黄药与 25<sup>#</sup>黑药, 可以减少其他药剂 2~3 种, 简化了操作过程, 且泡沫稳定, 回收率亦有所提高, 当原矿含铜为 1.887% 时, 精矿含铜为 29%、回收率 95.28%, 最佳年份可达 97.84%。玻利维亚的可罗可罗的辉铜矿选厂, 采用附近小河的碱性水, 所用浮选药剂为黑药 238 号 (10g/t)、黑药 242 号 (85g/

t)、丁基黄药 (9g/t)、酚油 (8g/t), 原矿平均含铜为 3.5~4%, 精矿品位为 75.5%, 铜的回收率平均为 97.5%, 尾矿含铜为 0.06%<sup>[14]</sup>。

河北铜矿选厂, 矿石产于夕卡岩矿床, 比较难选, 用丁基铵黑药 (或丁基钠黑药) 与乙基黄药组合的捕收能力比单独使用乙基黄药强。

凯珀 (Cuyper) 在试验中发现, 用乙基黄药、氰胺公司黑药 208、Z-200 按等量组合时, 对含铜 0.9%、含金 0.8g/t 的原矿, 获得的精矿铜回收率为 94%, 金回收率为 87%<sup>[20]</sup>。

用 S-丙烯基异硫脲氯化物单独使用作为个旧卡房夕卡岩含铜黄铁矿矿石的浮选剂时, 回收率不高, 但与丁基黄药组合使用时能获得含铜为 22.14%, 铜回收率为 95.4% 的精矿<sup>[21]</sup>。

1987 年美国专利报导单独使用 O, O- (二异丙基苯基) 二硫代磷酸化合物浮选铜矿石, 铜回收率为 83.3%, 单独用异丁基黄原酸甲酸乙酯进行浮选, 铜回收率为 84.2%, 采用这两种药剂的组合进行浮选, 铜回收率可达到 85.5%。在浮选铜矿石的另一实例中, 用 O, O-二 (4-异丙基苯基) 二硫代磷酸钠浮选, 铜回收率为 81.2%, 用上述两种药剂的组合药剂, 铜回收率达到 88%<sup>[22]</sup>。

用烯烃与丁黄药组合使用浮选黄铜矿的试验结果为: 当原矿品位为 0.65~0.64% 时, 单独使用黄药的精矿品位为 10.41%, 收率为 92.82%, 两药组合时, 精矿品位为 10.65%, 收率为 93.30%。

某些含硫捕收剂与乳化剂或溶剂组合同样也产生协同效应, 如表 2-2 所示<sup>[23,24]</sup>。

二苯硫脲 (白药) 与黄药、黑药或巯基苯并噻唑一起用于硫化铜矿石的浮选, 铜回收率可达 90% 以上, 如只用二苯硫脲, 铜的回收率只有 37% 左右。

白银矿冶研究院研制的萘二硫醇与丁基黄药组合 (3:1) 浮选某浸染状硫化铜矿, 其效果比单独使用黄药好, 且可节约黄药用量 50%。



表 2-2 帕拉巴拉 (Palabora) 采矿公司铜选厂扫选试验结果

捕收剂 18g/t		精矿, %	
十二烷基硫酸醇, %	聚乙二醇, %	铜品位	铜回收率
95	5	5.33	50.7
90	10	5.10	50.1
85	15	5.48	45.2
80	20	4.89	42.0
单加十二烷基硫酸醇		4.48	44.0
单加戊基黄药		4.14	39.8

表 2-3 铜选矿厂工艺指标

厂名	品位, % Cu		精矿 铜回 收率 %	捕收剂		起泡剂	
	原矿	精矿		类型	用量 g/t	类型	用量 g/t
美国:							
白松	1.0	33	83	石油、黄药、 黑药	14	松油, 道-250 (即 DOW froth 250)	65
依叶林格 顿	0.5	30	84	黄药、石油	20	道-250	
巴特尔· 马温泰	0.84	25	69	黄药、Z-200	25	MIBC	
加拿大:							
阿佛顿	1.0		87	乙基钾黄 药、异丙基 黄药	190	MIBC、甲酚、 松油	90、 30、 10
智泊加英	1.44	22.8	95	乙黄药、黑 药 208 号	14 12.5	MIBC	29
格列奈尔	0.44	34	88	乙基钠黄 药、Z-200	15、5	松油	20
西米尔卡 米	0.4	28	87.5	乙基钠黄 药、戊黄药	14、5、 6	MIBC	24
比尔·科 培尔	0.43	27	85	Z-200、黄药	5、1.5	MIBC	13