·综合述评·

我国硫化铜镍矿石的选矿现状

徐凤平 周兴龙 尤腾胜 罗良烽
(昆明理工大学国土资源工程学院)

摘 要:从新药剂的研制、精矿降镁实验研究、离子对浮选的影响、硫化铜镍矿浮选过程中脉石矿物的浮选行为、生物浸出低品位镍铜硫化矿、新工艺和新设备的引入及铜镍分离几个方面对我国硫化铜镍矿石的选矿现状进行了阐述。

关键词:硫化铜;硫化镍;矿物加工
中图分类号:TD91 **文献标识码**:A **文章编号**:1009-5683(2007)10-0001-03

Present Situation of Beneficiation of Cu-Ni Sulfide Ores processing in China

Xu Fengping Zhou Xinglong You Tengsheng Luo Liangfeng
(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology)

Abstract: The present situation of beneficiation of Cu-Ni sulfide ores in China was expounded from several aspects: development of new reagent, experimental research on magnesium reducing of concentrate, influence of several kinds of metal ions on flotation behavior, flotation behavior of gangue mineral in flotation of Cu-Ni sulfide ores, bioleaching of low-grade Ni-Cu sulfide ores, introduction of new technique and equipment, and separation of copper-nickel.

Keywords: Copper sulfide; Nickel sulfide; Mineral processing

1 引言

我国目前正处于工业化的中期阶段,国民经济继续保持着良好的发展势头,作为支柱产业的基础,原材料等铜镍将有较大的发展。未来5~10a,我国铜镍的自给率将维持在40%~60%的水平上。因此,提高铜镍产品的质量、产量,立足自给值得重视研究。

2 我国硫化铜镍矿石的选矿现状

基于自然资源的不可再生性及不可代替性,则需要充分回收利用。经过广大选矿科研人员的不懈努力,在提高选矿回收率、增加精矿品位以及开发低品位矿石方面有了很大的进步,国内铜镍矿石的研究主要集中在以下几个方面。

2.1 化学新药剂的应用

我国的大部分铜镍资源矿山已进入了中晚期,随着开采量的逐年增加,原矿品位趋于贫化,有用矿物嵌布粒度细化,造成了精矿质量下降,给选冶带来了困难,影响了企业的经济。

白银公司[1]药剂厂研制开发的硫化矿类新捕收剂BF系列,应用了药剂结构、官能团及硫化矿的作用原理,具有捕收能力强、选择性好、浮选速度快、用量小,同时能够降低起泡剂用量等特点。在金川公司选矿厂的试验结果表明:BF-4捕收剂与丁基黄药相比(其它回收条件相同),精矿品位相当时,铜镍回收率分别提高了0.59%和1.80%,氧化镁含量降低了0.86%;在清水条件下,镍回收率提高0.7%。

株洲选矿药剂厂[2]近年新研制出PN405高效捕收起泡剂,其选别指标见表1。

由表1可见,小型试验表明,使用新药方较原药方Cu、Ni精矿品位相当,回收率分别提高了1.15%和1.03%,MgO下降0.06%;工业试验也表明,Cu、Ni品位较原药方接近,但回收率分别提高0.64%和0.970%,MgO含量下降0.219%。工业试验获得了与小试验重现性很好的试验结果。

徐凤平(1982-),男,江苏泰州人,在读硕士研究生,650093 云南省昆明市。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1　金川二矿区富矿石小型试验结果

药方	药剂		用量(/g/t)	原矿品位/%		精矿品位/%			尾矿品位/%		回收率/%	
				Ni	Cu	Ni	Cu	MgO	Ni	Cu	Ni	Cu
新药方	小型试验	Y89-2	180	1.437	0.940	7.250	3.790	3.950	0.275	0.375	84.07	67.13
		PN405	15									
		Y89-2	228	1.363	0.809	7.410	3.722	6.345	0.214	0.255	86.79	73.47
		PN405	17									
原药方	工业试验	丁黄药	180	1.445	0.917	7.190	3.630	7.010	0.294	0.375	83.04	65.98
		J622	30									
		丁黄药	195	13.54	0.808	7.420	3.728	6.564	0.223	0.264	86.15	72.50
		J622	65									
小型试验差值				-0.008	0.023	0.060	0.017	-0.060	-0.019	0	1.03	1.15
工业试验差值				0.009	0.001	-0.010	-0.006	-0.219	-0.009	-0.009	0.64	0.97

2.2　精矿降镁实验研究

我国浮选的铜镍精矿常采用闪速炉进行冶炼，以降低生产成本，但闪速炉冶炼工艺要求铜镍精矿中的MgO必须在6.5%以下。降低MgO含量一直是铜镍精矿选矿的难题。以下是几种不错的尝试。

金川公司[3]同高校合作，提出采用10%～15%的低硫酸、温度80℃、时间1.5～2h、循环8次的浸出试验，可将精矿中MgO由11.44%降到6.0%以下。

蛇纹石对硫化铜镍矿石一方面具有电性作用易在硫化矿表面形成矿泥覆盖、影响其回收；另一方面，易在硫化矿表面吸附随之一起浮起，影响精矿质量。有效的措施就是对蛇纹石矿泥的分散抑制。调整蛇纹石的动电位，同时还可以CMC、六偏磷酸钠、水玻璃等吸附其表面，增强其亲水性[4]。

2.3　离子对浮选的影响研究

在正常pH下磨矿后，一些离子可以改变矿物的浮选行为：如磨矿机中铁的电池效应起作用时，钙离子可以活化硫化铜、镍矿石的浮选。由于矿浆成碱性的缘故，矿浆液相中存在有铜镍和铁离子，在磨矿和浮选过程中发生氧化还原反应，与硫代硫酸盐离子形成金属络合物，从而影响浮选指标。

刘谷山[5]研究发现Fe^{3+}存在对Cu_2S、Ni_3S_2矿均有显著的抑制作用，并且与矿浆电位有较好的对应关系。Cu^{2+}的存在对Ni_2S_2矿浮选有活化作用。Ni^{2+}存在对Ni_3S_2矿浮选影响不大，但当其用量较大时，可能由于消耗黄药而影响Cu_2S矿浮选。

2.4　硫化铜镍矿浮选过程中脉石矿物的浮选行为

铜镍矿石中的脉石主要为蛇纹石、白云石、白云母及滑石等，其存在对精矿品位及浮选过程有一定的影响。唐敏，张文彬[6]针对蛇纹石脉石矿物的浮选特性，进行了蛇纹石纯矿物、铜镍硫化矿矿石浮选试验研究。在确定疏水絮凝为微细料铜镍矿物浮选重要过程的同时，借助OKMPUS矿物显微镜水中检测结果分析，推断部分脉石矿泥被有用矿物疏水絮团机械夹带一起进入精矿，是精矿中MgO含量降不下去的主要原因。刘谷山，冯其明[7]等人通过工艺矿物学研究和浮选脱泥试验研究，考察了磨矿细度，起泡剂的种类，pH值和浮选时间脱泥的影响，通过浮选确定了最佳脱泥条件，并探讨了原理。浮选脱泥减轻了矿泥对铜镍选别的影响，在保证精矿质量不变的前提下，提高了铜镍精矿的回收率，并在工业试验中得到了验证。

2.5　生物浸出低品位镍铜硫化矿

矿物资源的日趋枯竭促进了人们对低品位矿石的研究，传统的浮选方法对铜镍矿物的选别不仅流程复杂、经济效益不佳、环境污染严重、而且工业化前景不理想。生物浸出低品位铜镍硫化矿的引入，有效的缓解了这个难题。

赵月峰，方兆珩[8]考察了极度嗜热菌在摇瓶中浸出金川镍铜硫化矿的工艺条件及添加物对浸出过程的影响。结果表明，初始pH1.2～1.6、细菌接种量10%～20%，低矿浆浓度、细矿石粒度(-48 μm)有利于浸出过程的进行：在68℃、初始pH1.6、接种量10%、矿浆浓度5%条件下，4.5d后镍和铜可分别浸出99.78%和86.30%；添加酵母(0.005%～0.02%)及硫酸铁(1～5g/L)可强化镍和铜的浸出。陈泉军[9]等人研究发现氧化亚铁硫杆菌和氧化硫杆混合浸出，比例混合2:1比1:1的浸出率要高。孙凤芹[10]依据多金属硫化矿细菌浸出机理提出了两段细菌浸出工艺，排除了镍对黄铜矿溶解的负面影响，使铜、镍浸出率分别达到68.07%和68.13%。董春艳[11]等人采用预处理-湿法浸出工艺技术，可使钴、镍、铜和金的浸出率均达到90%以上。

2.6　新设备和新工艺的引入

鲁小平[12]将变频节能技术应用在铜镍矿厂选矿流程上，节电率分别达到25.83%、52.8%和36.4%，可以一年内(一个采暖期)收回投资。若平

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

均按 20% 节电率计算,每年可以为企业节约费用 140 万元。刘广龙[13]在奥托昆普公司的 CC-45 陶瓷过滤机小型和半工业试验基础上,重点研究金川铜镍精矿粘度大、粒度细和浮选药剂等影响因素,结果表明:矿浆浓度在 60% 以上,处理能力达 400 ~ 500 kg/(m^2/h),滤饼水份在 11.5% 左右。陶瓷过滤机与 Larox-PF25A1 压滤机,TWJ-40 真空过滤机相比,生产费用分别低 60%、34%,充分证明陶瓷过滤机是一种新型高效节能过滤设备。曾新民[14]等人经过一年多的攻关,改进陶瓷过滤机的过滤工艺,使陶瓷过滤机在金川金属矿山中具有高效、节能、费用低的功效,并为该公司每年节约 200 万元以上的费用。

张晗[15]阐述了高硫分选过程中,引入突破性的控制手段——蒸汽加温,并探讨了硫化矿物浮选机理的实质,同时分析了加温浮选对高硫矿物浮选体系的影响及原因,以及为改善浮选分离效果所采取的加温流程改造措施。刘广龙[16]通过将原先的一段磨浮,铜镍反浮分离,改为二段磨浮,分别精选,使得药剂制度更简单,且成本大幅降低,同时浮选次数减少,后续精矿脱水流程简单,在原矿镍品位低于 0.21% 情况下,镍的回收率为 83.49%。常永强[17]采用弱酸性介质选矿工艺选别金川二矿区含氧化镁高,铜、镍低的较难选矿石,产出的镍铜精矿含 Ni 6.55%、Cu 4.04%、MgO 4.24%,镍、铜回收率分别为 80.20% 和 84.25%,同时综合回收了钴、硫、金、银和铂族元素。师建忠[18]根据近年来对金川铜镍矿浮选工艺的大量研究,从金川铜镍资源中龙首矿,混合矿及二矿区富矿的共性出发,提出了开发具有适合处理金川铜镍资源"兼容性"的浮选工艺战略构想。李江涛[19]等人根据硫化铜镍矿的工艺矿物学特点,采用阶段磨矿、阶段浮选、两点出精矿选矿流程。闭路试验表明,当原矿品位为 Ni0.68%、Cu 0.53% 时,所获镍精矿镍、铜品位均大于 3.5%,回收率分别大于 60% 和 76%。唐敏[20]等人采用电化学调控方法来有效改善易氧化的微细粒硫化镍矿物浮选效果,通过加入氧化调控制、调整矿浆 pH 值等措施,实现对硫化铜镍矿物的电化学调控,提高浮选效率。

2.7　铜镍分离

铜镍回收率的研究重点主要集中在两点:①降低尾矿品位,提高铜镍混合精矿的铜镍回收率;②降低精矿互含,即铜镍硫化矿物的浮选分离。

郭宏[21]对铜镍混合精矿采用 JY406 复合抑制镍,降低精矿铜镍互含,纤维素抑制矿泥,精铜精矿一次精选后再磨到 -0.040mm 90% 进行精选,达到铜镍分离,提高回收率的目的,铜镍回收率分别提高了 19.60% 和 0.60%。叶雪均[22]采用优先浮铜-铜镍混浮-铜镍分离的阶段磨选流程适于高铜低镍硫化矿石的分选,有利于铜矿物的早收多收。BY-5 是含镁脉石矿物的有效抑制剂、较好地解决了铜镍分离的困难。闭路试验结果为,铜镍矿含 Cu 32.26%、镍精矿含 Ni 4.66%,铜镍金属回收率分别达到 91.66% 和 80.63%。孙召明、孙培梅[23]根据低品位堆浸液中杂质浓度高,而有价金属浓度低的实际情况,综合目前的一些处理技术,在大量试验的基础上提出了分步水解除铁、活性硫沉铜、硫化沉淀法沉镍的流程来回收分离铜镍。

3　结论

随着世界矿业形势的发展和我国工业的迅速崛起,对铜镍的需求大量增加,使得国际市场的铜镍价格近年来大幅攀升,并居高不下,同时也大大促进了铜镍选矿工艺、新药剂和新设备的发展。综合利用矿产资源,努力提高选矿回收率及品位,以及开发低品位铜镍矿石依然任重道远。

参　考　文　献:

[1] 张文榆. BF 系列捕收剂在金川公司选矿厂的应用[J]. 甘肃冶金,2003.12(增刊):P57 ~ 59.

[2] 向　平,李永战. 高效硫化矿捕收起泡剂 PN405[J]. 国外金属矿选矿,2002.5:P24 ~ 26.

[3] 刘广龙. 浮选镍铜精酸浸降铁试验[J]. 矿冶,2002.7(第 11 卷增刊):P171 ~ 174.

[4] 王德燕,戈保梁. 硫化铜镍矿浮选中蛇纹石脉石矿物的行为研究[J]. 有色矿冶,2003.8(第 19 卷):P15 ~ 17.

[5] 刘谷山. 几种金属离子对 Cu_2S、Ni_3S_2 矿浮选行为的影响[J]. 湖南有色金属,2003.4(第 19 卷第 2 期):P11 ~ 13.

[6] 唐　敏,张文彬. 低品位铜镍硫化矿浮选中蛇纹石的行为研究[J]. 昆明理工大学学报,2001.6(第 26 卷第 3 期):P74 ~ 77.

[7] 刘谷山等. 某铜镍硫化矿浮选脱除滑石的研究[J]. 金属矿山,2005(第 9 期):P35 ~ 37.53.

[8] 赵月峰,方兆珩. 极度嗜热菌 Acidianus brierleyi 浸出镍铜硫化矿精矿[J]. 过程工程学报,2003.4(第 3 卷第 2 期):P161 ~ 164.

[9] 陈泉军,方兆珩. 硫杆菌浸出低品位镍铜硫化矿[J]. 过程工程学报,2001.1(第 1 卷第 1 期):P49 ~ 53.

[10] 孙凤芹. 难选低品位铜镍矿细菌浸出的研究[J]. 矿冶,2000.6(第 9 卷第 2 期):P54 ~ 59.

[11] 董春艳等. 难选多金属矿石中提取钴、镍、铜和金的试验研究[J]. 矿产综合利用,2003.4(第 2 期):P12 ~ 15.

[12] 鲁小平. 变频节能技术在铜镍矿的应用[J]. 新疆有色金属,2003:P30 ~ 31.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

边坡稳定性研究综述

朱 斌 侯克鹏
(昆明理工大学国土资源工程学院)

摘 要:介绍了边坡稳定性研究中的基础理论和分析方法,综合评述了这些分析方法的特点和不足,并着重探讨了在边坡稳定性分析中的数值分析法和可靠度法今后的研究方向及发展趋势,有助于边坡稳定性研究工作的开展。

关键词:边坡;稳定性研究;极限平衡分析法;数值分析法;可靠度法
中图分类号:TD854.6 **文献标识码**:A **文章编号**:1009-5683(2007)10-0004-05

Summarize of Slope Stability Study

Zhu Bin Hou Kepeng
(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology)

Abstract: Some basic theories and analysis methods for research on slope stability are introduced in this paper and the features and shortcomings of these analysis methods are synthetically evaluated. The future studying orientation and developing trend of the numerical analysis method and reliability method for slope stability analysis are emphatically discussed, which contributes to the development of research work of slope stability.

Keywords: Slope; Stability study; Limit equilibrium analysis method; Numerical analysis method; Reliability method

1 引言

随着经济的发展,基础建设蓬勃兴起,在许多如水电、矿山、能源及交通等工程项目中不可避免地出现了越来越多的边坡,这些边坡的稳定状况影响甚至决定着整个工程的成败。并且作为三大自然灾害之一的滑坡灾害,严重危及到国家财产和人民生命的安全,因此,边坡稳定性研究具有十分重要的意义。

经过一个多世纪的发展,边坡稳定性研究随着理论知识的突破和实践经验的积累得到长足的发展,新的方法不断出现,老的方法不断得到改进,并逐步由定性向半定量、定量的方向发展。

2 基础理论

边坡研究的基础理论是建立在土力学和岩石力学之上的,所以土力学和岩石力学的成就与发展决定了对边坡研究的完善程度。二次世界大战前后,

[13] 刘广龙.陶瓷过滤机应用于浮选铜镍精矿的研究[J].云南冶金,2002.12(第32卷第6期,总第177期):P16~21.
[14] 曾新民等.陶瓷过滤机在金川铜镍精矿生产中的应用[J].有色金属,2001.5(第53卷第2期):P29~34.
[15] 张 晗.加温浮选在高硫分选中的研究与应用[J].金川科技,2000(第3期):P25~27.
[16] 刘广龙.滑石-碳酸盐硫化镍矿石浮选工艺研究[J].中国矿山工程,2005.12(第32卷第6期):P11~14.21.
[17] 常永强.金川二矿区贫矿石弱酸性介质选矿工艺试验研究[J].中国矿山工程,2004.4(第33卷第2期):P7~9.
[18] 师建忠.金川铜镍矿石兼容性浮选工艺的研究[J].矿冶,2000.12(第9卷第4期):P28~31.
[19] 李江涛等.某硫化铜镍矿浮选试验研究[J].矿产保护与利用,2006.2(第1期):P37~39.
[20] 唐 敏,张文彬.微细粒铜镍硫化矿浮选的电化学调控[J].有色矿冶,2003.10(第19卷第5期):P12~14.50.
[21] 郭 宏.降低精矿铜镍互含提高铜、镍回收率的试验研究[J].黄金,2005(第3期第26卷):P34~36.
[22] 叶雪均.铜镍硫化矿石直接浮选分离试验研究[J].有色金属,2000.11(第52卷第4期):P162~165.
[23] 孙如明,孙培梅.选择性沉淀法从堆浸液中分离回收铜镍[J].湖南有色金属,2004.4(第20卷第2期):P12~14.

朱 斌,650093 云南省昆明市。

(收稿日期 2007-06-06)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net