

流态化浸取和洗涤

郭慕孙 著

科学出版社

1979

内 容 简 介

采用流态化技术对颗粒状散料进行逆流浸取和洗涤是一项较新的发展。本书的第一部分,从广义流态化出发,以我国的矿浆洗涤实践为例,对流态化浸洗进行了阐述,说明了其操作原理,并列出了简易的计算方法。第二部分介绍了有关流态化浸取和洗涤的科研、设计和设想,包括处理不均匀颗粒的方法和原理、流态化浸洗中的返混、浸洗过程中的粒度分级等。除了介绍过去的研究以及有关的它种流态化技术,作者力求探讨那些尚未解决的问题,希望通过进一步的实践,更迅速地把我国的流态化浸洗技术搞上去,为实现四个现代化而努力。

本书的读者对象为从事化工、矿冶等的技工、设计和科研人员。

流 态 化 浸 取 和 洗 涤

郭 慕 孙 著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979 年 5 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1979 年 5 月 第一次印刷 印张: 5

印数: 0001—6,540 字 数: 111,000

统一书号: 15031·233

本社书号: 1410·15—2

定 价: 0.63 元

前 言

流态化浸取指的是用上升的溶剂将悬浮于其中而下沉的颗粒物料内的可溶物质浸取出来。浸取完后的颗粒，仍可在悬浮、下沉的流态化状态下，用上升的洗液将颗粒夹带的溶剂（包括残余溶质）洗干净。含有可浸物质的颗粒物料很多：在冶金这一领域中，有含铜贫矿，可用氨液或稀酸浸取，特别是经过硫酸化焙烧的氧化铜矿甚至可用水浸^[61]；铝土矿经烧成后，可用碱液进行流态化浸取^[62]；黄铁矿烧渣经中温氯化焙烧，也可采用流态化浸取，溶出所含的有色金属^[63,64]；湿法炼铁中，可考虑将铁矿用盐酸进行流态化浸取，溶出其铁分，弃去其脉石。褐煤经细碎，可用石油产品作溶剂，在流态化状态下，将其含蜡浸出；活性炭的精制可采用流态化酸浸和水洗；油作物和中药，只要制备成合适的颗粒，且浸出时间不要过分长久，也可考虑进行流态化处理。当然浸完后，上述物料一般都可采用流态化洗涤。

流态化浸洗具有以下特征：

- (1) 全部水力操作，不用机械搅拌；
- (2) 连续、逆向运转，以便在单个设备中建立浓度梯度，如此可以免去习用多级串联设施中的级与级间液固增稠、分离、输送等问题；
- (3) 适用于很低的液固比，使之能从贫矿中提取较浓的浸液；
- (4) 设备体积较小，占地较少，适合于自动控制。

我国对于流态化浸取和洗涤的研究进行得较早^[59]，后来

又对浸取洗涤工艺中颗粒~流体的两相流动进行了分析^[60,61]。近 20 年来,我国的流态化浸取洗涤试验研究逐步开展^[62,63,64],有的已进入中间工厂规模,有的也已被生产采用,设备尺寸大的已达到 1.5 米直径。国际上,提出流态化浸取较早的是美国的 Rickles^[1],他考虑用脉动流态化床,但未给出任何研究或生产数据。匈牙利人 Polinszky^[2]报道了颜料的流态化洗涤,苏联人 Yakubovich 等^[3]也报道了流态化浸取和洗涤的试验,后来,苏联人 Korsunski 等^[4]和 Burovoi 等^[5]叙述了流态化浸取在处理锌渣中的应用,并提出了计算方法^[4]。在英国,Slater^[6]评述了连续的液固逆向接触设备,但其主要内容为离子交换。近年来,又发表了一些有关流态化浸取和洗涤的专利^[7,8,9]。我国于 1973 年 8 月在北京对流态化浸取和洗涤召开过一次座谈会,对这方面工作进行了探讨。本书作者对于有关资料未作系统检索,遗漏在所难免。

本书分成二部分:第一部分的主要读者对象为参加较大规模流态化浸取和洗涤试验或生产的工人师傅和技术人员,用较简易的语言来解释这一技术,使在操作时心中有数;第二部分,针对从事流态化浸取和洗涤的科研设计人员,采用散式广义流态化^[10,11,12]进行分析,并对流态化浸洗过程中的返混和颗粒的粒度分级,以及有关测定、自控、设备设计等方面进行概述。在本书的第一部分中,采用了一个试验工厂的实践,进行解剖,从这样一个特殊矛盾作为起点,逐步延伸至本书第二部分中更概括的一些问题。

作者不准备回避某些未经试验验证的计算、分析和设想,力求和读者一起探讨那些尚未解决的问题,希望通过进一步的实践,更迅速地把我国的流态化浸洗技术搞上去。为此,作者诚恳地请求读者指出这类计算、分析和设想中的错误,以求将来改正。作者在参加流态化浸取和洗涤的中间试验时,从

工人师傅们那里，在技术上得到不少启发。本书的第一部分基本上代表了这些师傅们的实践。对于他们的辛勤劳动和热情鼓励，在此表示衷心的敬意和感谢。

目 录

前言	iv
----------	----

第一部分 矿浆洗涤的一些实践基础

第一章 什么是洗涤,采用什么设备	1
1.1 习用的洗涤设备	2
1.2 无级逆流洗涤	3
1.3 流态化洗涤的特点和要求	8
1.4 怎样衡量洗涤效果	9
第二章 流态化洗涤的物理原理	10
2.1 沉降、自由沉降、受阻沉降、悬浮和流态化	10
2.2 空隙度的概念及其在流态化洗涤中的应用;空隙度的测定及其与其它参数的关系	12
2.3 流态化洗涤中矿粒和洗液的逆向流动	14
2.4 中间试验的实践说明了些什么	16
2.5 中间试验达到的洗涤指标	23
第三章 有关流态化洗涤的一些常用计算方法	24
3.1 用压差 ΔP 来测定床层空隙度 ε	24
3.2 空隙度 ε 和含矿浓度 w 之间的换算	24
3.3 矿浆重度 ρ_m 和含矿浓度 w 之间的换算	25
3.4 从矿浆流量 V 和含矿浓度 w 计算干矿量 S	25
3.5 洗液空柱线速 u_0	29
3.6 矿粒空柱线速 u_d	29
3.7 矿粒实际线速	29
3.8 矿粒停留时间 τ	30
3.9 洗液分布孔的孔速 u_p	31

3.10 广义流态化	32
------------------	----

第二部分 科研、设计和设想

第四章 散式流态化	34
4.1 散式流态化这一工具	34
4.2 广义流态化及其与流态化浸洗的关系	40
4.3 均匀颗粒的流态化浸洗	46
第五章 不均匀颗粒的流态化浸洗	53
5.1 双粒度的简化分析	53
5.2 逐级流态化浸洗	58
5.3 双粒度广义流态化	69
第六章 流态化浸洗中的返混	71
6.1 浸洗制度	73
6.2 建立含固浓度梯度	78
6.3 挡体	79
6.4 多段化	86
第七章 颗粒的粒度分级	91
7.1 粒度分级现象及其数学模拟	92
7.2 分级指标的确定	94
7.3 水力分级设备	99
第八章 流态化浸洗过程的测定	108
8.1 浓度、空隙度	108
8.2 粒度及其分布	109
8.2.1 筛	109
8.2.2 沉降法	111
8.2.3 电介质电阻法	119
8.2.4 其它快速方法	121
8.3 传质速率的实验测定	121
8.3.1 流态化微分浸洗器	121
8.3.2 传质系数的工程应用	125

8.4 生产设备工程参数的测定	128
第九章 流态化浸洗设备的自动控制	129
9.1 试验装置的水力自控	129
9.2 生产设备的排料控制	135
第十章 流态化浸洗设备的设计	138
10.1 进料	138
10.2 进浸洗液	142
10.3 压缩、排料	144
参考文献	148

第一部份 矿浆洗涤的一些实践基础

第一章 什么是洗涤,采用什么设备

本书的题目是流态化浸取和洗涤。从颗粒和液体流动的角度,浸取和洗涤极为相似,所不同者为浸取要求将颗粒所含固体通过溶解或某些化学反应转移至液体中来,而洗涤要求将浸取完后还留在颗粒表面、内部或颗粒与颗粒之间所夹带的有用的液体物质再洗出来。

说得再具体一些,我们且考虑一下矿石的浸取和洗涤。经过浸取后的矿浆含有所需提取的金属离子和用于提取金属的溶剂。采用简单的固液分离,例如沉降或过滤,不足以充分回收这些金属离子和溶剂。经分离或过滤后的矿渣免不了仍是湿的,湿含量中还剩余有金属离子和溶剂,回收不了。因此必须用合适的洗液,将这些金属离子和溶剂进一步从矿浆中洗出来。

上述工艺过程,可借洗衣这一个通常的生活活动来作比喻。经肥皂洗过的衣服,拧得再干,也是湿的,湿水中的残余肥皂和脏物还沾在衣服上,只有通过漂洗才能除去。一般来讲,漂洗一次是不够的,而需经过多次漂洗,才能将肥皂洗去。

例如对于还原后的含镍铁矿而言,用氨液浸取后,先要用氨水将镍离子洗走,然后再用清水将氨洗走。为什么要分两步洗涤?能否一步水洗将镍离子和氨同时洗走?计算和实践说明,这样的一步洗涤是有可能的,特别是不要对洗涤的要求提得那末高。但是,考虑到矿浆在洗涤中稀释到原来浓度

10% 以下时,镍离子可能水解生成氢氧化镍沉淀,这沉淀又可能被矿粒表面上的胶状氢氧化铁薄层所吸附,被矿渣带走,无法回收——为了这一原因,镍的氨浸工艺一直保持着氨洗和水洗二道工序。

1.1 习用的洗涤设备

习用的洗涤设备的工作原理与上述洗衣的漂洗相似。将矿浆在一个容器内与洗液混合,进行洗涤,然后再进行固液分离,将浓浆送至第二个容器进行第二道洗涤,将含有金属离子的洗液送回流程中的浸取工序,依此类推,一道一道地洗下去,直至达到“洗干净”的要求为止。最常用的设备是浓密机(在化工中称为增稠器),在其上部进行混合和洗涤,在其下部进行矿粒沉降这一固液分离过程,如此,下部的“底流”是送至下一道洗涤的浓浆,上部排走的含有洗涤出来的金属离子的“溢流”是送至前一道洗涤的洗液。

在这样一个由一道再一道洗涤工序所组成的所谓“逐级”过程中,要注意二件事。第一是底流越浓越有利于“洗干净”,因为只有这样,才可降低带至下一道洗涤的残余金属离子或氨的含量。这一原理是易于理解的。亲手洗过衣服的同志都知道,在漂洗肥皂时,将衣服拧得越干,下一道漂洗时越容易多洗走一些肥皂。

第二是所谓的“逆流操作”原理,也就是说,第一道洗涤所用的洗液是第二道洗涤出来的“溢流”,第二道洗涤所用的洗液是第三道洗涤出来的“溢流”,依此类推。这是节约洗液的重要措施。再拿洗衣服中漂洗肥皂的例子来作比喻。我们大家都有体会,若同时洗二堆脏衣服,那堆已将漂洗干净了的衣服的清,可用来漂洗另一堆含有大量肥皂的衣服。这样做,可以节省自来水。

浓密机不一定都是一个一个分开使用的所谓“单层”设备。国内有些碱厂、铝厂都采用“多层”浓密机,也就是说,将几个浓密机重叠起来,所重叠的几层可以同时进行同一道洗涤,或可将一、二、三……道洗涤在同一个重叠起来的“多层”浓密机中进行,各层的耙子是安装在同一个中心轴上的。这样,不但可以简化设备,且可节省占地面积。

1.2 无级逆流洗涤

上述的逐级洗涤虽能满足“洗干净”的要求,但是因为它是“逐级”,所以必须采用好几个设备串联起来(就是重叠起来,也还是几层)。因此,就可以设想,能否将这一逆流过程连续地在一个“无级”的装置中进行?多年来,有些人将迴转窑一样的旋转筒体设备用于浸取、洗涤等工艺过程。矿浆在倾斜筒体的高端加入,矿粒借重力在旋转筒内渐渐向下流至筒体的低端。洗液从低端加入,加入处液面较高,徐徐流向筒体的高端,如此进行逆流洗涤。这样的设备是“无级”的,在技术上也是可行的。但由于旋转筒的填充率一般有限,设备空间利用较差,固液接触也较差,加上旋转要求机械结构,这样设备投资就高了。

正为了这种原因,化工设备的发展,一般趋向于利用流体运动来代替机械搅拌。五十年代的中期,我国有一家硫酸厂将焙烧黄铁矿的多膛炉的机械旋转机构全部拆除,装上了分布板,改为流态化焙烧,操作简单,产量成倍上升。流态化洗涤利用上升流体对矿粒的洗涤作用,为浓密机和旋转筒洗涤,开辟了基于流体流动原理的新工艺途径。

图1表示了一个流态化洗涤设备的原理。矿浆通过一个适当的进料装置,进入一个位于顶端的“进浆浓密段”,将矿浆中的大部份含水分分离,从溢流堰排走。“进浆浓密段”的大

小，取决于进浆的“液固比”，进浆含水越多，浓密段直径越大。进浆含水若与排料相等，那就不一定在顶端进行浓密了。

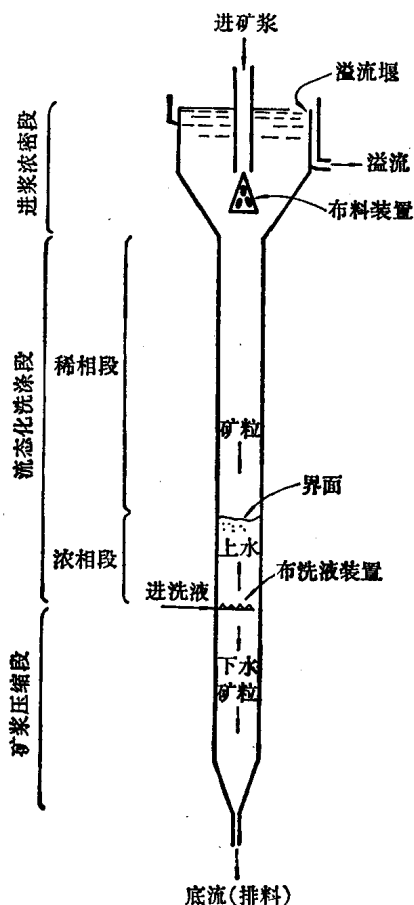


图1 流态化洗涤设备原理

浓密了的矿浆，靠重力沉至“流态化洗涤段”，先像下雨飘雪一样地经过一个“稀相段”下落至一个含矿浓度较高的“浓相段”。在正常操作下，稀、浓两相之间有一明显的“界面”，其

形式尤如墨水瓶中的液面。例如前述的氨浸含镍铁矿，其浓相段由密集的黑色矿粒所组成，浓相界面以上可在洗涤柱的窥孔中（见图3）看到褐色、稀疏、运动较激的细粒，其中夹带下沉的黑色焙砂絮团。浓相段下部终断于洗液的布液装置。

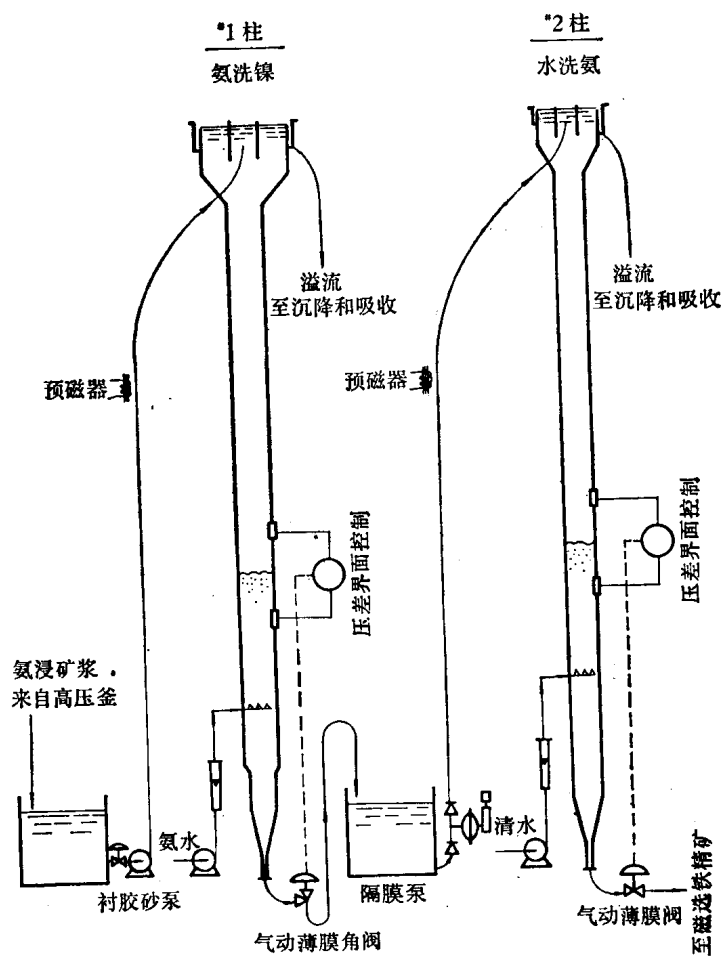
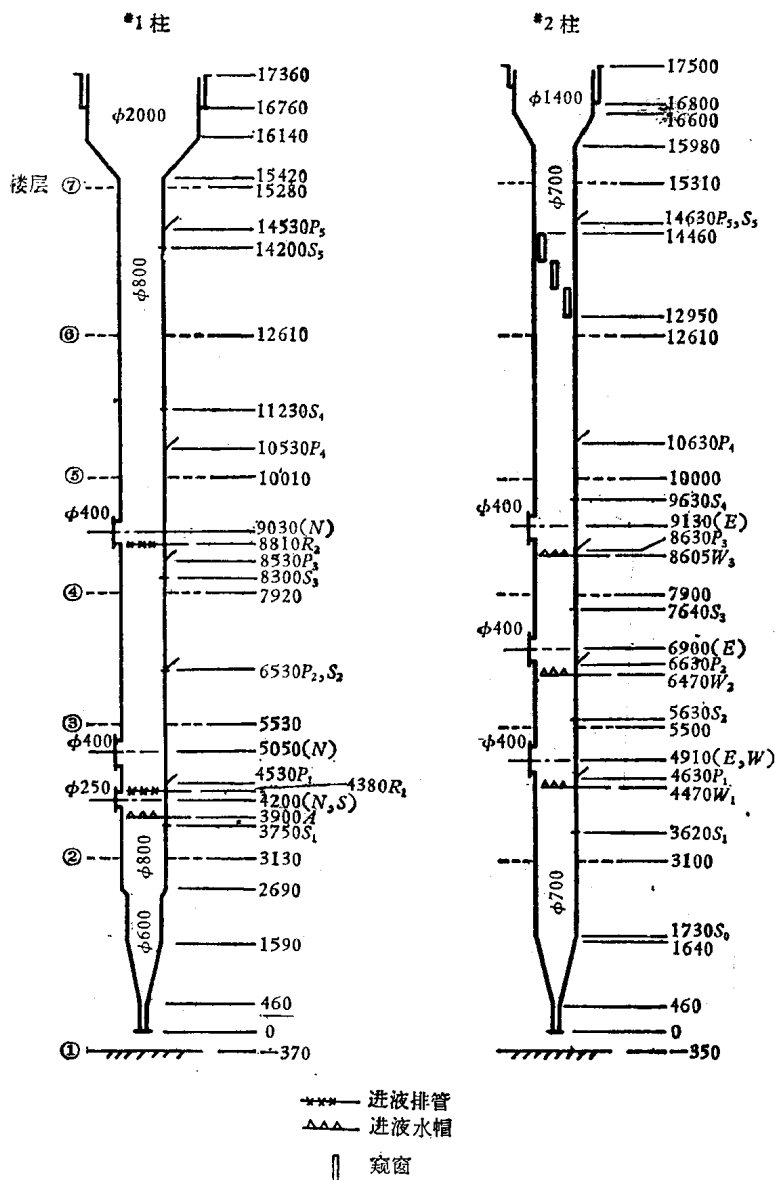


图2 氨浸矿浆洗涤流程



A 氨水进口, R 反液进口, W 洗水进口, P 测压孔, S 取样孔。

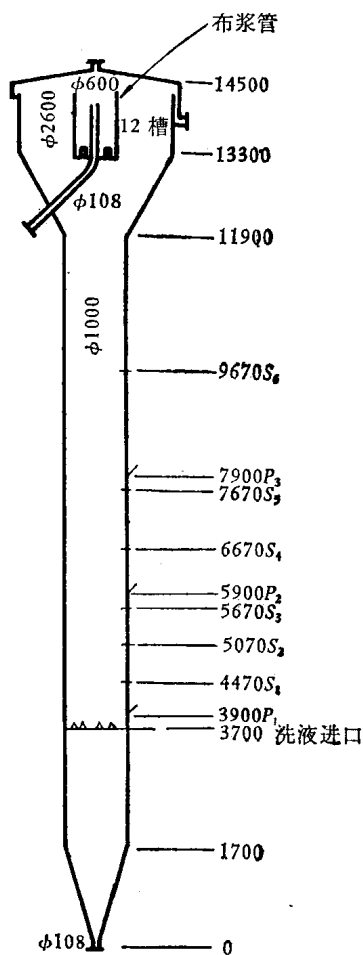
人孔方向: E 东, S 南, W 西, N 北。

图 3 洗涤柱尺寸(原设计)

进来的洗液的主要部分向上流,与下沉矿粒进行逆向洗涤,将矿浆中的镍离子或氨洗掉,剩余的洗液向下流,成为排料底流中的食水。

在洗液布液装置以下，矿粒和洗液同向向下流动，矿粒进一步密集。在这一段设备中，矿粒一般不处于流态化状态，而以“移动床”状态下降。所谓的“移动床”，指的尤如高炉中炉料的下降，或粮店中大米在贮仓下部的排出。换言之，矿粒相互接触，由原来流态化洗涤时的松散排列过渡至更紧凑的排列，如此将多余的溶剂挤走，使矿浆进一步增稠。对于颗粒较粗，不易流态化而又需较长洗涤时间的物料而言，流态化洗涤段本身也可用移动床来代替，例如铝土矿熟料的浸取和洗涤。

图2表示了上述氨浸含镍铁矿的矿浆洗涤流程。矿浆先用砂泵打至*1柱,用氨水洗涤镍离子,洗后的排浆底流再用油隔膜泥浆泵打至*2柱,用清水洗涤氨,最后



#1 柱; #2 柱进浆浓密段 $\phi 1600$,
布浆管 $\phi 400$, 其余同 #1 柱
P 测压孔, S 取样孔

图4 洗涤柱尺寸(扩大后)

将排浆底流送至磁选,得铁精矿。为了加速细小矿粒的沉降,在两个洗涤柱的进浆管道上装有预磁器,利用电磁使矿粒絮成磁团。图 3 表示了这二个洗涤柱的主要结构和尺寸。后来的扩建将 #1、#2 两柱都改为内径 1m,其主要结构和尺寸如图 4 所示。

1.3 流态化洗涤的特点和要求

以下列出了流态化洗涤的优点,和一些往往是难于满足的要求:

特 点	要 求
处理量大,即设备小、占地少。	(1) 物料的沉降速度不能太小,也即是说,颗粒不能太小、太轻。对于细料,往往需要絮凝或磁聚。
	(2) 最好逐粒级进行洗涤,将粗、中、细的颗粒分级洗涤,最后弃去少量最细的物料(见 5.2 节)。
洗涤效果好,即金属离子或浸取液的残剩量小。	(1) 逆流操作,建立显著的浓度梯度。
	(2) 尽量减少洗涤柱内的返混和沟流。
设备简单、操作容易。	必须保证进料、排料、进洗液稳定。

采用流态化洗涤去处理很细的物料较为困难。细料不但沉降很慢,降低了流态化洗涤柱的处理能力,且在其缓慢沉降中,较小的不均匀速度分布会引起难于处理的返混,干扰必要的溶液浓度梯度。絮凝或磁聚虽可加速沉降,但聚团内部的溶液往往不易洗净,且絮凝过度,有时会引起洗涤柱的棚料,

甚至堵塞。对于有粗有细的物料，最好进行按粒度不同的逐级流态化洗涤（见第五章），弃去少量最细的物料，另法处理，例如根据工艺不同，进行沉降、过滤、矿浆离子交换等。要求流态化洗涤将**所有**细粉吃尽排光，在顶部溢流中全不“跑浑”，是客观上达不到的。

1.4 怎样衡量洗涤效果

在图 1 所示的洗涤装置中，矿浆所含金属离子或氨，以两种形式从中排除：其一是“进浆浓密段”的浓密作用，排走一部份矿浆中的溶液，随之将所含金属离子或氨带走；其二是“流态化洗涤段”的洗涤作用。流态化洗涤的效果应限于“流态化洗涤段”，而不应与浓密作用相混淆，造成效率过高的假相。

例如上述氨浸车间 #1 洗涤柱进浆的重量液固比为 4，即每进 1 吨干矿带入 4 吨溶液。若“进浆浓密段”能将矿浆浓密至 70%，其液固比即降至 0.43，也即是说，“进浆浓密段”约可回收进浆中含镍的 90%，让剩下的 10% 由“流态化洗涤段”来处理。假若“流态化洗涤段”能回收这 10% 中的 90%，其本段的洗涤效果为 90%，但折合至 4:1 的进浆却为 99%。

因此，必须重申，流态化洗涤的效果必须限于流态化洗涤段，不应包括“进浆浓密段”的浓密作用。简言之，衡量流态化洗涤效果的基准为**该段**进液和出液含镍或含氨之比。上端进液含镍或含氨的浓度基本上等于溢流，下端出液基本上等于底流。因此，真正的**洗涤**效果当以底/溢比的含镍或含氨浓度来代表。此比值越小，底流带走的镍或氨越少，洗涤得越干净，洗涤效果越高。