

分类号 密级

U D C 编号

中南大學

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

工程硕士学位论文

论文题目 凡口铅锌矿选矿废水利用研究

学科、专业 矿物加工

研究生姓名 罗开贤

导师姓名及 胡岳华 教授

专业技术职务 刘侦德 教授

摘要

本文对凡口铅锌矿选矿废水进行多方面的考查、大量基础性的试验研究，并对现场选矿工艺技术条件，进行一系列可行性、实用性的探索研究，开发出凡口铅锌矿选矿废水利用技术，特别是选矿废水在铅锌快速分支浮选工艺中循环利用的技术。该技术的主要特点和研究成果如下：

1、应用了自然沉降法、净化法和稀释法对选矿废水进行澄清处理，结果表明：就地回收选矿废水可以实现，废水固体颗粒含量可以降到 100ppm 以下，选矿废水中的有害杂质得到充分降低，残余药剂含量减少，达到工业回用废水的基本要求。

2、应用浮选方法，研究了选矿废水对铅锌分离浮选的行为，浮选药剂用量变化规律，探索了提高废水利用的技术措施。结果表明：使用澄清处理的选矿废水，对铅锌优先浮选的行为和技术指标没有影响；高 pH 值的选矿废水，在铅浮选中对锌有明显的抑制作用；并可减少石灰、松醇油、丁黄药、乙硫氮用量，增加硫酸铜、DS 等调整剂和抑制剂用量。

3、对选矿废水利用进行了工业实践方面的研究。实践证明：所开发的选矿废水利用技术，工艺合理，废水循环利用率在 75%以上，生产操作稳定，不影响铅锌技术指标，极大地减少新鲜水用量和选矿废水排放量，减少环境污染，达到节能降耗，提高选厂综合经济效益和社会效益的目的。

通过本文的研究，基本上阐明了凡口铅锌矿选矿废水的特性，废水澄清净化处理技术，利用于铅锌浮选的可行和实用的技术，解决了凡口铅锌矿选矿厂长期以来未解决的问题。该研究成果为选矿废水处理与循环利用在工业上推广奠定了基础。

关键词：铅锌选矿废水，铅锌浮选，澄清净化，快速浮选，资源化综合利用

Abstracts

Based on characteristic of Fan Kou Lead Zinc Mine Mineral Processing waste water, a new technology using mineral processing waste water as water resource of Fan Kou Lead Zinc Mine has been developed. It can be reused in lead and zinc flotation flow-sheet especially. The study can be introduced simply as following:

The waste water has been comprehensive reclaimed and clarified directly in Fan Kou Mine Plant. The results showed that waste water can be reused after treatment because the content of sold particle of clarified waster water has been down to 100ppm, and the harmful component and remaining flotation dosage have been reduced.

It has been found that lead-zinc flotation is not affected by using the clarified waste water. And the high pH value of mineral pressing waster water can depress the zinc mineral floatation during lead flotation stage. The dosage of flotation reagent is reduced during reusing the waster water to lead and zinc flotation.

After batch test and industrial test, the technology of reusing the mineral processing waste water has been put into practice. The results showed that new fresh water and waster water have been reduced in the plant. The rate of recycling waste water has been up to 75%. And also the mine environment was improved. The energy and consumption for the mineral processing have been reduced, and good benefit has been got after the waster water recycling in Fan Kou Mine.

In a word, through the studies in this paper, the characteristic of mineral processing waste water of the lead zinc ore of Fan Kou Mine, the new techniques of clarify and purify of waster water, the feasibility and practicability on recycle are basically clarified, which establish groundwork of applying for the new technology.

Keyword: Waste water, lead and zinc mineral processing, to clarify and purify waste water, fast flotation technology, Comprehensive using of water resource.

目 录

摘要

Abstracts

第一章 文 献 综 述	1
1.1 选矿废水资源化利用重要意义	1
1.1.1 水资源与水污染概况	1
1.1.2 选矿废水与治理回用重要性	2
1.2 选矿工艺过程与选矿废水的形成	4
1.2.1 浮选工艺过程与理论基础	4
1.2.2 选矿废水主要形成方式	5
1.2.3 选矿废水水质对浮选的影响浅析	5
1.3 凡口铅锌选矿工艺与选矿废水现状	7
1.3.1 凡口铅锌选矿工艺技术简况	7
1.3.2 选矿厂供水与用水简况	10
1.3.3 选矿废水的分布	10
1.3.4 小结	13
1.4 选矿废水治理与回用技术现状	13
1.5 本文研究的目的与内容	15
第二章 试样、药剂与研究方法	17
2.1 试验矿样	17
2.2 试验水样	18
2.3 试验设备与药剂	18
2.4 研究方法	19
第三章 选矿废水水质特征与处理技术研究	22
3.1 选矿废水水质特征分析	22
3.2 选矿废水澄清净化试验研究	24
3.2.1 废水沉淀处理试验	24
3.2.2 加药和稀释净化处理试验	25
3.3 改善和控制水质技术探讨	26
3.4 选矿废水澄清处理技术研究	27
3.4.1 加强浮选药剂添加操作与管理，减少废水中残余药剂含量	27
3.4.2 提高脱水工艺技术水平，降低选矿废水颗粒含量	28
3.4.3 使用絮凝剂等药剂，提高废水的澄清速度和净化程度	29
3.4.4 选矿废水回用原则与技术措施	29
3.5 小结	30
第四章 选矿废水对铅锌浮选影响试验研究	31
4.1 各点选矿废水对铅锌浮选影响试验	31

4.1.1 相同矿样浮选对比试验	31
4.1.2 不同矿样浮选对比试验	34
4.2 选矿废水对铅、锌浮选速度的影响	36
4.3 铅、锌精选的富集行为特征	37
4.3.1 铅精选—不同精选次数的富集行为试验	38
4.3.2 铅精选—不同矿样富集行为对比试验	39
4.3.3 锌精选富集行为试验	39
4.4 本章小结	43
第五章 选矿废水浮选药剂用量条件试验	45
5.1 铅粗选药剂条件试验	45
5.1.1 石灰用量条件试验	45
(1) 100%选矿废水与清水对比试验	45
(2) 50%选矿废水与清水对比试验	46
5.1.2 捕收剂条件试验	47
(1) 100%选矿废水与清水对比试验	47
(2) 50%选矿废水与清水对比试验	48
5.1.3 2#油用量试验	49
5.2 锌粗选药剂条件试验	50
5.2.1 丁黄药用量试验	50
(1) 100%选矿废水	50
(2) 50%选矿废水	51
5.2.2 锌粗选石灰用量试验	51
5.2.3 硫酸铜用量试验	52
(1) 100%选矿废水	52
(2) 50%选矿废水	53
5.3 本章小结	54
第六章 提高选矿废水浮选回用效果试验研究	56
6.1 配比使用选矿废水试验研究	56
6.2 调整浮选药剂制度技术研究	57
6.2.1 调整部分药剂用量、提高铅锌分选效果	57
6.2.2 增加DS抑制剂、强化铅精选效果	57
6.3 调整补加水, 提高铅精选效果	58
6.4 选矿废水全开路试验	59
6.5 选矿废水闭路试验	63
6.6 本章小结	64
第七章 选矿废水工业试验与应用	66
7.1 选矿废水工业试验	66
7.1.1 选矿废水工业试验参数设计	66

7.1.2 选矿废水工业试验结果与分析	66
7.2 选矿废水综合利用技术措施研究	68
7.2.1 合理安排和使用选矿废水	69
7.2.2 综合利用关键技术措施	69
7.3 选矿废水综合利用技术经济分析	70
7.4 本章小结	71
第八章 结论	73
参考文献	74
作者在学期间的研究成果与论文	错误！未定义书签。
致谢	78

第一章 文 献 综 述

1.1 选矿废水资源化利用重要意义

1.1.1 水资源与水污染概况

当今世界面临着人口、资源与环境三大问题，水资源是各种资源中不可替代的一种重要资源。水资源与环境密切相关，也与人类发展密切相关，因此水资源问题已成为举世瞩目的重要问题之一。

根据有关资料统计^[1]：地球表面虽然有 70.8% 被水覆盖，其余约占地球表面 30% 的陆地也有水的存在。然而，地球总水量中 96.5% 的为海水，淡水仅占 2.53%，而且其中大部分是南、北极的冰。地下水、湖水、河水仅占 0.8%。由于开发困难或技术经济的限制，到目前为止，海水、深层地下水、冰雪固态淡水等还很少被直接利用。比较容易开发利用的、与人类生活生产关系最为密切的湖泊、河流和浅层地下淡水资源，只占淡水总储量的 0.34%，淡水量为 $4 \times 10^{16} \text{m}^3$ ，还不到全球水总储量的万分之一。通常所说的水资源主要指这部分可供使用的、逐年可以恢复更新的淡水资源。

水资源作为人类生活和生产的必需物质^[2]，其污染情况已引起全世界的极大关注。尽管水是一种可再生资源，但是它的数量和再生速度都是有限的，况且淡水的分布极不均匀。随着经济的发展和人口的增加，世界用水量在逐年增加。目前全球人均供水量比 1970 年减少了 1/3，共有 2.32 亿人口所在的 26 个国家被列为缺水国家。当前需水量和污水量的增长速度比人口的增长速度快，根据有关统计，工业用水每年以 4-6% 的速度持续增长。可见地球上的淡水资源并不丰富。

地球上淡水资源日益匮乏是当今人类面临的巨大挑战。1972 年联合国人类环境会议、1997 年联合国水事会议^[3,4,5]出了水危机不久将成为继石油危机之后另一项严重的社会危机。1992 年里约热内卢联合国环境与发展大会通过的《21 世纪议程》中指出：水不仅为维持地球一切生命所必需，而且对一切经济问题都有生死攸关的重要意义。可见，全球性的水危机已引起人们的警觉，现在已经到了必须认真考虑水问题的时候了。

我国淡水总资源继巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印尼之后，居第六位^[5,6,7]按人均占有量来说，只有世界人均占有量的 1/4，排到世界第 88 位，而且供需矛

盾突出，是一个水资源比较贫乏的国家。我国水资源的分布与人口、耕地的分布不相适应，且水污染日趋严重。我国的废水排放量逐渐增加，是世界上废水排放最多的国家之一，其中大部分是工业废水。工业废水经过处理后达标排放的只占废水总量的 30%左右，全国水环境总体上呈恶化趋势，污染正从支流向干流延伸，从城市向农村蔓延，从地表向地下渗透，从区域向流域扩展。我国地下水水质每况愈下，在全国 118 个城市中，64%的城市地下水受到严重污染，33%的城市地下水受到轻度污染。由于水污染加剧了一些地区的缺水程度。例如长江三角洲和珠江三角洲，由于水体受到污染，将可能成为污染型（水质型）缺水区。

地球上的淡水资源是有限的，水在自然循环过程中不会增长，因此被污染的河流愈多，人类可利用的淡水资源就愈少。为了人类自身的生存，也为了子孙后代的繁衍，治理污染，节约用水，保护水资源已刻不容缓。我国除了在宪法中明确规定水是国家资源要有偿使用外，1992 年又颁布了《水法》，用法律条文规定国家保护水资源的基本方针、政策和行为。如规定了各行各业不论抽取地表水，还是地下水都要收费，向公共水体排水也要收费，如污染超标还要受罚。这些法律条文促使并强迫人们重视节约用水，减轻水污染，有利于保护环境和人类社会的自身发展。

1.1.2 选矿废水与治理回用重要性

矿山是金属资源的重要来源地，在开采过程中需要大量的生产用水，同时排放出大量废水，选矿废水是其重要的组成部分。根据资料统计^[8-14]，全国矿山选矿厂，每年排放的废水总量大约占全国工业废水总量的十分之一，是我国工业废水排放量较多的行业之一。选矿厂选矿过程中耗水量大，平均处理每吨矿石需要水量 7-10 吨，选矿厂废水包括选矿工艺排水、尾矿含水和车间地面冲洗水等。因此排放量的是选矿废水的特点之一。

特点之二是废水的成分复杂，有毒有害成分较多。选矿废水的性质，随入选矿石的组分，分选工艺及药剂制度的不同而异。随着我国矿石资源的“贫、细、杂”的趋势愈来愈大，矿石在入选之前要进行洗矿、粉碎或细磨等，使选矿厂的废水含有大量有毒的重金属及其有害杂质，而且固体悬浮物的含量也大大超过国家规定的排放标准。含有重金属的废水排入自然水体后，势必污染自然水体并危及人类；从表 1.1 可以看出，固体悬浮物的含量一般都超过国家规定的标准 4-10

倍以上，固体悬浮物对排放所用设备、周边环境及植物生长等带来多方面的危害。

表 1.1 我国某些选矿废水中固体悬浮物的含量 (mg/L)

编号	1	2	4	5	6	7	凡口	国标
含量	2000	5000	250-1680	2100	32176	100-20000	150-1000	500

特点之三是废水中所含的药剂品种多而且浓度高。选矿厂的浮选过程中，为了有效地将有用金属分选出来，需要在不同的作业加入大量的浮选药剂，主要有捕收剂、起泡剂、活化剂、抑制剂、分散剂等，这些药剂在选厂排出的废弃溶液中均有一定的含量。一般浮选药剂在选矿废水中的含量，占选矿加药量的百分数如下：黄药为 2.5-3.5%，松醇油为 50-90%，酚类为 70-95%。废水中所含的大量浮选药剂一般都没有回收利用，这些药剂有毒，排入自然水体后，首先对鱼类及浮游生物产生危害。

同时，选矿废水的 pH 值往往都高于或低于国家规定的排放标准，同样对环境造成危害。

综上所述，由于选矿废水中含有重金属离子、悬浮物、各类药剂及其分解物质等，如果将选矿废水直接排入自然水体中，不仅对水环境造成严重污染，同时也给人类带来愈来愈严重的危害。

随着全球人口、资源与环境问题日趋严重，对选矿废水进行治理与资源化综合利用、实行矿山清洁生产，在国内国际上都已经引起相当高的重视。很多矿山企业都将其工业废水的处理与利用作为头等大事来抓，将废水回收利用率作为重要指标，尤其是新建矿山。

凡口铅锌矿选矿厂自建成投产以来，一直采用新水生产，每年消耗新水 750 万 m³，排出相应量的选矿废水。选矿废水含有大量诸如重金属离子、悬浮物、药剂等污染物。早在 70 年代，凡口铅锌矿对选矿废水进行过回收利用，并将回水应用于选矿生产过程的试验^[15]，但试验结果表明，选矿废水严重影响生产指标，以至该工作没有继续下去。因此对选矿废水的处理，采取尾矿输送系统，将废水与尾矿一起输送到 12.5 公里外的尾矿坝，选矿废水在尾矿坝进行沉淀、净化后排放，进入韶关北江水系中^[16]。

凡口铅锌矿山水系位于珠江流域的上游，无论是从节约水资源的角度，还是从保护珠江水流域系的高度，开展凡口铅锌矿选矿废水资源化综合利用研究都

将具有重要的意义。

1.2 选矿工艺过程与选矿废水的形成

1.2.1 浮选工艺过程与理论基础

浮选法^[17,18,19,20]是矿物加工中一种重要和高效分离有用矿物与无用矿物的方法，是借助矿物表面的物理化学性质差异性来分离各种矿物，亦称为泡沫浮选法。泡沫浮选法是在一定浓度的矿浆中加入浮选药剂，在浮选机内经搅拌与冲入的气体产生大量的弥散气泡，呈悬浮状态的矿粒与气泡碰撞，一部分可浮性好的矿物细颗粒附着在气泡上，上浮至矿浆表面形成泡沫产品，通常为精矿，不浮矿物留在矿浆内，通常称为尾矿，如此达到将有用金属矿物与无用脉石矿物分离的目的。各种矿物之间能否彼此分离，主要根据矿物与气泡的选择性吸附及附着后上浮至矿浆表面的差异性，进行有序地分离。

泡沫浮选过程由下列作业来完成：

1) 浮选前的矿浆准备作业：主要是磨矿、分级作业，目的是得到粒度适宜的、基本上单体解离的矿粒，进入浮选作业的浓度必须适于浮选工艺的要求。

2) 加药调整作业：目的是调节与控制相界面的物理化学性质，促使气泡与不同矿粒的选择性地附着，从而达到彼此分离的目的，添加药剂的种类与数量，根据矿石性质而定。

3) 冲气浮选作业：调整好的矿浆，引入浮选机内，由浮选机的冲气搅拌作用，形成大量的气泡，提供了矿粒与气泡接触机会，可浮性好的矿粒，附着在气泡上，形成矿化泡沫；而可浮性差的矿粒，不能附着在气泡上而留在矿浆内，作为尾矿从浮选机排出。收集泡沫产品，即得浮选精矿。

泡沫浮选过程需要大量的水，如形成浮选矿浆、控制浓度、冲洗泡沫等。

浮选在应用上的特点：分选目的矿物效率高，尤其是处理矿物嵌布复杂、细粒、难选和低品位的矿石，与其他选矿方法效率高。

凡口矿铅锌矿矿石嵌布粒度细、铅锌铁矿物致密共生、方铅矿与黄铁矿、闪锌矿难以分离，因此使用浮选方法进行分离各种金属矿物。

1.2.2 选矿废水主要形成方式

选矿废水是在选矿生产工艺过程中产生的，通常情况下先以矿浆的形式出现，选矿废水主要分如下五种形成方式^[21-23]：

(1) 精矿废水：指选矿分离出来的矿浆产品（精矿）所含的水，通过浓密机、过滤机的脱水作业，获得精矿产品（滤饼）和滤液，该滤液即为精矿废水；其流量大小和澄清度与选矿厂规模、脱水工艺设备及生产管理等紧密相关；

(2) 尾矿废水：指选矿过程结束后留下的矿浆含水，该部分废水通常随尾矿管输送到尾矿坝，在尾矿坝进行自然澄清净化后排放；其流量大小与选矿厂规模紧密相关；

(3) 工业场地冲洗废水：该部分水从冲洗选厂场地的流失矿浆中形成，还有部分洗矿水，其特点是不稳定时，除含有固体颗粒、悬浮物、药剂、有时还含有油污等杂质，废水量的大小随工艺操作、生产管理及生产规模等而定；

(4) 选矿设备废水：该部分水主要是从设备冷却水、砂泵水封水、仪器设备与管道清洗水等组成，特点是含固体颗粒相对较少、澄清；通常从选厂地沟排放到污水池；

(5) 选厂卫生废水、雨水：该部分废水通常进入选厂地沟进入污水池，其含杂、污染物亦较复杂，但相对于其他水量较小。

选矿废水与选别矿物、选厂规模、生产工艺与设备，使用的选矿药剂等密切相关，通常都含有大量的固体颗粒、悬浮物、无机或有机药剂、金属离子、非金属离子、油污等，直接排放或回用都是不合适的。

1.2.3 选矿废水水质对浮选的影响浅析

选矿废水中，最常见的是含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 H^+ 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等多种离子，有的还含有铁、锰，硅酸离子和少量的卤化物等；溶解的气体有：氧、二氧化碳，氮及硫化氢等；某些还可能含有各种有机物及腐植物质等，特别是含有相当数量的细矿粒、泥砂、胶粒及有机物质的碎屑等。

矿物在磨矿和浮选等一系列加工过程中，由于氧化、溶解，常使水中含有该矿物组成所溶解的阳离子或阴离子，这些难免离子及硬水中钙、镁离子等对浮选过程会产生多方面的影响。可见水的硬度、重金属离子浓度、难免离子对浮选过

程是很主要的影响因素^[24-27]。

水的硬度有软水及硬水之分，工业上对软水及硬水的划分标准不一，各国计算硬度的杯准及方法也有所不同，国内一般是按水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量标定水的总硬度^[17]，其计算公式为：

$$\text{水的总硬度} = [\text{Ca}^{2+}] / 20.04 + [\text{Mg}^{2+}] / 12.16 \text{ (mmol/l)}$$

式中： $[\text{Ca}^{2+}]$ 、 $[\text{Mg}^{2+}]$ 是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在水中的浓度(mg / l)。

9mmol / L 称为一度。硬度小于 4 者都称为软水；4~8 称为中硬水；8~12° 称为极硬水。

水的硬度^[21]对浮选矿物和使用的药剂有不同的影响，用脂肪酸及其皂类浮选非硫化矿物时，硬水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 会与脂肪酸类捕收剂反应生成难溶沉淀，消耗大量的脂肪酸；而在浮选硫化矿物时，这种影响几乎不存在。

重金属离子是矿物磨矿浮选过程中，矿物粉碎溶解后在矿浆中分解、或与加入的药剂作用后产生的，不同的矿石和相应的药剂制度，重金属离子的浓度是不同的。如常见的铜离子、铅离子、锌离子、铁离子等与黄药类捕收剂作用则会形成相应的重金属黄原酸盐沉淀，消耗大量的黄药类捕收剂。

难免离子是矿物进入浮选水溶液中产生的各种离子，以及浮选过程中加入的药剂形成的离子，如阴离子 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^- 等，阳离子 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Ca^{2+} 等。难免离子会吸附在某些矿物表面上，改变矿物的可浮性，破坏浮选过程的选择性。

起泡剂在浮选时除蒸发损耗外(其消耗量是很小的)，主要聚集在泡沫中，因此从泡沫精矿中脱除的水作为回水再用，浮选矿浆中就有可能积聚较多的起泡剂，使起泡剂用量的控制遇到困难。

其他浮选药剂在废水中都或多或少地存在，有些成为络合物、胶体状物等，对不同的矿物浮选影响不一。

1.3 凡口铅锌选矿工艺与选矿废水现状

1.3.1 凡口铅锌选矿工艺技术简况

凡口铅锌矿选矿厂处理量为 4500 吨/日大型铅锌选矿厂，年产铅锌金属达 15 万吨。采用选矿工艺有破碎、磨矿、铅锌硫浮选分离、精矿脱水工艺。破碎、磨矿及脱水工艺基本上采用常规方式进行，铅锌分选工艺采用由凡口铅锌矿、中南工业大学、广东工学院和北京矿冶研究总院联合研究开发的高碱电位调控铅锌快速浮选新工艺^[25,26,27]进行生产，依次生产出铅精矿、锌精矿，硫精矿。选厂各阶段生产工艺特点如下：

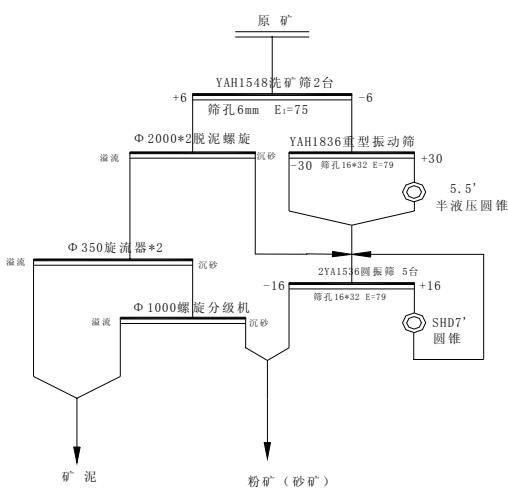


图 2.1 凡口选矿破碎筛分、洗矿脱泥工艺流程图

选矿破碎筛分与洗矿脱泥工艺流程见图 1.1 所示。主要特点是对井下出窿原矿首先进行清洗，用圆锥破碎机碎矿达到-12mm 以下的破碎产品。

凡口铅锌磨矿浮选工艺流程见图 1.2 所示。该分离浮选的特点是高碱细磨、铅锌快速分选、混合用药、电位调控浮选工艺^[27]，最终获得高质量的铅、锌精矿，主要技术条件简述如下几点：

①. 磨矿：原矿采用两段全闭路、铅粗精矿再磨的工艺流程。分级设备为高堰式双螺旋分级机和旋流器。原矿磨矿产品细度为-200 目 85%，浓度为 38-42%。铅粗泡再磨产品细度为-360 目 90%，浓度为 38%。

②. 浮选分离：采用高碱条件分离铅、锌、铁金属，即选铅作业和选锌作业两部分组成：

铅浮选作业首先将原矿中铅与锌铁分离，有铅快选作业和铅粗选、扫选和精

选组成，铅快速精矿和低铅精矿混合成最终铅精矿。

锌浮选作业是将铅尾矿进入选锌作业后，经锌快选作业和常规浮选作业，锌快速精矿和低锌精矿混合成最终锌精矿。

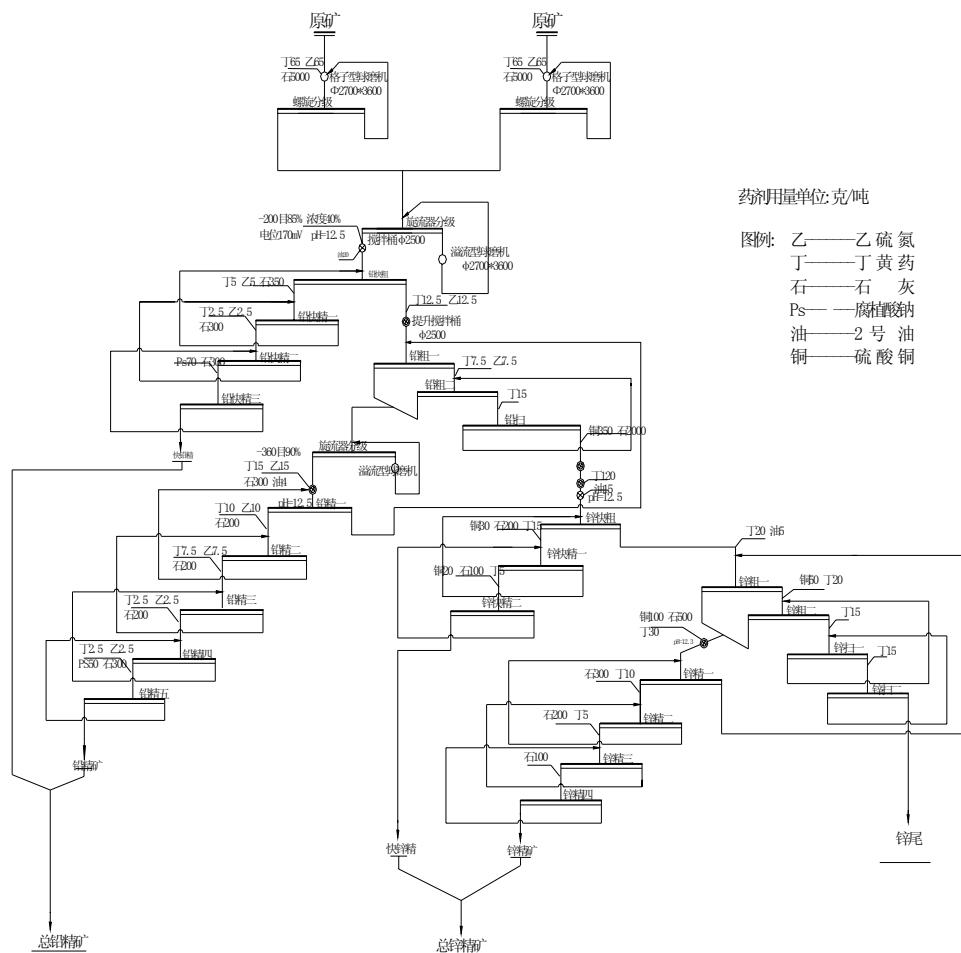


图1.2 凡口选矿厂铅锌磨浮选生产工艺流程与药剂制度

③. 生产指标：凡口铅锌矿依靠科技进步，铅锌选矿技术指标得到较大的提高。近年选矿厂铅、锌、铁生产年度指标与金属平衡统计^[25]如表 1.2 所示。

④. 药剂制度：共使用 6 种浮选药剂。铅浮选的药剂有抑制剂石灰、DS，捕收剂有丁黄药、乙硫氮，起泡剂有 2#油，精选采用抑制剂 DS 控制铅精矿品位；选锌作业药剂有石灰、丁黄药、2#油、硫酸铜。近年的选矿药剂使用统计情况如表 1.3 所示。

表 1.2 凡口选厂铅、锌、铁生产年度指标

系统 名称	产 品 名 称	产率 (%)	品位 (%)			回收率 (%)		
			Pb	Zn	S	Pb	Zn	S
铅锌 主系统	原矿	100.0	4.23	9.34	21.3	100.0	100.0	--
	铅精矿	6.123	58.3	3.30	--	84.40	2.16	--
	锌精矿	16.724	1.22	52.47	--	4.82	93.95	--
	尾矿	77153	0.59	0.47	--	10.78	3.89	--
混选 系统	混选给矿	100.0	4.21	8.48	24.0	100.0	100.0	--
	混选粗精矿	22.402	16.52	36.49	--	88.02	96.34	--
	混选尾矿	77598	0.65	0.40	--	11.98	3.66	--
选硫 系统	选硫给矿	100.0	0.71	0.49	25.0	--	--	100.0
	硫精矿	20.7	0.73	0.37	43.66	--	--	67.25
	最终尾矿	61.4	0.61	0.65	13.35	--	--	32.75

表 1.3 选矿工艺过程药剂用量统计 (kg/t)

年 度	药 剂 名 称							成 本 元/吨
	硫酸铜	丁黄药	乙黄药	2#油	硫酸	石灰	DS	
2001	0.598	0.473	0.091	0.113	10.98	8.80	0.07	0.128 15.462

凡口选厂精矿脱水工艺流程示意图见图 1.3。主要特点之一是采用陶瓷过滤机^[29,30]，该设备可使精矿滤饼的水分大幅度降低，真空消耗少，电力消耗比普通圆盘过滤机的降低 90%以上，滤液清澈，过滤后的滤液中的悬浮物达到 50ppm 以下。操作方便，脱水工艺过程简单，整个脱水过程实现自动化控制。现铅、锌、硫精矿的滤饼水分 10%以下，达到同行业的先进水平。

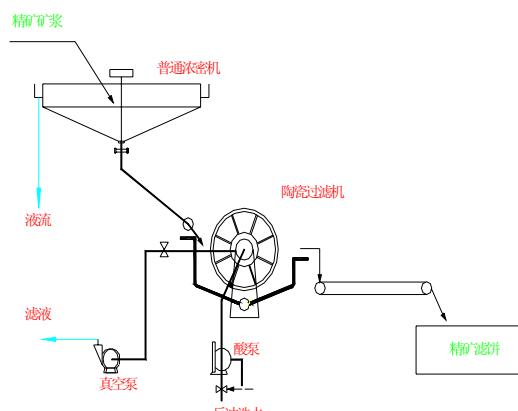


图 1.3 精矿浆浓密、过滤脱水工艺流程图

1.3.2 选矿厂供水与用水简况

根据调查与资料统计表明^[31-34]，凡口选矿厂供水水源现有塘村河水、斯溪河水和条更冲水库的净化水，前两股水源为自然水，条更冲水库为井下排水经过专门的水库进行净化处理，供水均为中性、水质较好，符合选矿工业用水的使用标准。三股水源分别由泵和管道输送到选矿厂的两个高位（176.75 米标高）1500 吨和 1000 吨的水池，再由选厂内部供水管道给选矿各过程供水，年平均供水量在 750 万吨左右。塘村河水、斯溪河水和条更冲水库的净化水，以及在厂内管道的水质分析结果见表 1.4。

选矿工艺用水分布于流程中的各个工段，凡口选矿厂用水统计见表 1.5，可见，主要用水量在磨矿浮选工艺作业中，约占 60%，其它仅占 40%，选矿用水分布如图 1.4 所示。

表 1.4 凡口选厂供水部分水质指标分析结果

水质测定项目	塘村河水、 斯溪河水	条更冲水库 净化水	选厂内供水 管道水质
pH 值	7	7.82	7.1-8.4
Pb	0.1	0.042	0.12
Zn	0.037	0.464	0.262
Cd	0.0001	0.001	--
Hg	0.0001	0.0001	--
As	0.0033	0.001	0.001
耗氧量	1.6	1.15	1.0
悬浮物	23.4	17.4	--
总硬度	0.13	3.36	2.0
总碱度	0.115	2.16	3.6
溶解氧	8.2	7.89	--
溶解固形物	36	10	--
水质状况	新鲜水、中性	中性、水清	中性、水清

1.3.3 选矿废水的分布

选厂废水主要来自破碎洗矿，6#和 9#浓密机溢流水，锌尾溢流水，铅、锌、硫及混合精矿的浓密机溢流水，以及冲洗地面流失矿用水和雨水。按场地划分选矿废水是由三部分组成^[35]，见平衡统计列表 1.6。

统计结果表明，选矿废水量与用水量相近，除尾矿水外，可以回收的选矿

表 1.5 选矿厂主要用水点分布情况

项目	序号	作业名称	用水量				
			(m ³ /h)	(m ³ /d)	吨水/吨矿	万吨/年	
破碎工段	1	索道	11.9	250	0.056	5.89	21 h/d
	2	破碎、洗矿	116.7	1400	0.311	32.98	12 h/d
	3	圆锥冷却水	38.0	456	0.101	10.74	12 h/d
	小计		166.6	2106	0.468	49.61	
磨浮工段	4	砂矿磨矿用水	266.5	6395	1.421	150.64	
	5	选铅	145.6	3495	0.777	82.34	
	6	选锌	189.6	4550	1.011	107.18	
	小计		601.7	14440	3.209	340.16	
	7	混选磨矿用水	20.8	499	0.111	11.76	
	8	混选	70.0	1680	0.373	39.57	
精矿工段	9	选硫	40.0	960	0.213	22.61	
	小计		130.8	3139	0.698	73.94	
	10	过滤机冷却、返洗水	8.6	180	0.040	4.24	21 h/d
	11	陶瓷机冲槽水	120.0	180	0.040	4.24	1.5 h/d
辅助作业	12	浓密机消泡、排矿水	100.0	2400	0.533	56.53	
	小计		280.0	2760	0.613	65.01	
	13	制药	22.5	90	0.020	2.12	4 h/d
	14	石灰乳	75.0	900	0.200	21.20	12 h/d
其它	15	分析仪	3.8	90	0.020	2.12	
	16	矿泥班	10.0	240	0.053	5.65	
	17	硫酸房	2.1	50	0.011	1.18	
	小计		113.4	1370	0.304	32.27	
其它	18	砂泵水封水	94.0	2256	0.501	53.14	
	19	小选厂用水	41.7	1000	0.222	23.56	
	20	洒水车用水		300	0.067	7.07	30 车/天
	小计		148.2	3556	0.790	83.77	
各种用水合计			1140.5	27371	6.083	644.76	

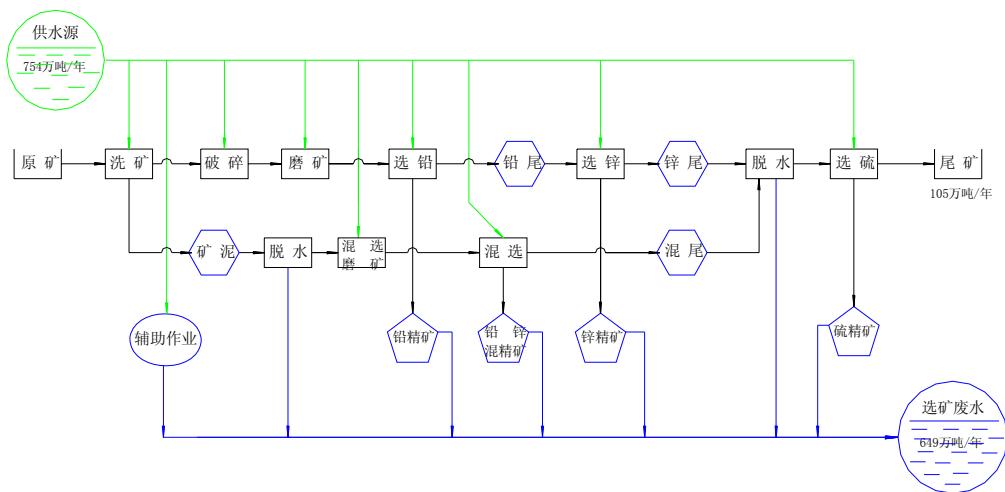


图1.4 凡口铅锌选矿生产工艺流程及用水与废水来源示图

表 1.6 选矿废水现场排放统计结果

序号	名称	(m ³ /h)	(m ³ /d)	万吨/年	累计	备注
1	尾矿水	185.63	4455.00	104.94		尾矿排放
2	溢流水	280.86	6740.85	158.79		
			10168.0		398.31	浓密机溢流、较清澈
	锌尾水	423.67	9	239.52		
	9#浓密机溢流	22.7	544.74	12.83		含有颗粒、
	设备、辅助作业排水	159.55	3829.18	90.2		有机无机物、药剂、油污物多
3	污水沟 其它排水(6#)	262.43	6298.30	148.36	251.39	
			10672.2			
	小计	444.68	2	251.39		
	合计总排水量	1334.8	32036.1			
		4	4	754.64		废水占总排水 86.09%
		1149.2	27581.6			
	其中选矿废水	3	0	649.70	649.70	

1.3.4 小结

1. 凡口铅锌选矿厂属大型铅锌选矿厂，选矿设备先进、自动化程度高；主系统铅锌生产采用最新研究成功的高碱电位调控快速浮选新工艺流程，流程适应性强，铅锌生产技术经济指标高。
2. 凡口选矿生产过程用水 750 多万吨/年，同时产生相应量的选矿废水。选矿废水主要是精矿滤液水、锌尾水及工业厂房冲洗水。
3. 长期以来，凡口选矿废水与尾矿矿浆一起由尾矿系统输送到 12.5 公里外的尾矿坝后，在尾矿库进行澄清净化，达标后排放，废水处理综合成本达 1 元/吨，对保护矿区周边环境有很大的压力。

1.4 选矿废水治理与回用技术现状

选厂的用水量和废水量都很大，选矿废水的治理方法很多，通常采用自然澄清法、混凝沉淀法、药剂中和法、冲气曝气法、生化氧化法等技术，对选矿废水进行达标排放处理。随着对环境保护的重视和水资源的紧缺，选矿废水进行治理后作为水资源循环利用是很重要的手段，既减少对环境的污染，又提高矿山水资源综合利用率和经济效益。

近年来，对选矿废水治理进行了卓有成效的探索和研究，通过使用多种废水处理技术，去除废水中的悬浮颗粒及无机或有机选矿药剂，如絮凝-沉淀法、沉渣球形聚团法、生物降解法及矿渣吸附法等。许多研究成果在生产中实施应用，实现节约和利用水资源，减少废水污染，保护环境，提高了矿山的综合经济效益和社会效益的目的。R.W.史密斯等人对选矿厂的废水治理技术进行了较为全面的论述^[36-45]。

有关调查统计^[1,6,9,10,39-43]，国外很多矿山的选矿废水都进行治理与回收利用，如美国红狗铅锌矿、南非黑山矿、澳大利亚 Candia-Hill 金矿等矿山，对选矿废水的综合利用率达到 75%以上；90 年代新建的巴基斯坦山达克铜金矿山，采用高效浓密机处理尾矿废水，直接回用于选矿过程中，回水利用率在 85%以上。

八十年代以来，我国绝大部分矿山已开始研究和利用矿山废水，循环使用选矿废水亦成为重要技术措施，基本实现了选矿废水回用率 75%以上，逐渐减少选矿废水排放，达到减轻污染环境，清洁生产、清洁矿山等目的^[46-48]。我国矿山进

行处理与利用选矿废水的规模大小不等，选矿废水回用的措施、方法和效果等，在各个矿山的情况也不一样。

武山铜矿选矿厂针对生产工艺、矿石性质及其废水的含杂特征，陈述明等^[49]提出了厂内废水直接回用方案，该方案不影响选矿指标，废水利用率达 65% 以上。采用聚合硫酸铁处理废水回用后的尾矿浆，尾矿溢流水可稳定达标排放。

龙道湖^[50]为厂坝铅锌矿提出的选矿废水综合治理方案分两步：第一步，在沉淀池中进行污水治理，并使沉淀池废水排放量减少至零，沉淀池中的尾矿及废水全部输送至尾矿库；第二步，尾矿库的溢流水全部实现回用，废水利用率可达 100%。

德兴铜矿^[51]利用选厂尾矿及尾矿废水治理矿山酸性废水，第一段用尾矿分级溢流中和矿山酸性废水，搅拌 30 分钟，使溢流中的悬浮颗粒碳酸钙充分反应，中和后的废水 pH 值达到 4.0；第二段再用尾矿分级溢流中和，使废水的 pH 值达到 8.0，从而去除了废水中的金属离子，处理后的废液可达标排放或回用。该工艺以废治废，无需添加任何药剂，治废成本低廉，取得了巨大的经济效益和环境效益。刘江浩^[52]进行了德兴铜矿二段尾矿澄清水回收利用新工艺研究，采用该工艺可减少进入硫精矿的石灰渣含量，降低尾矿输送成本，给矿山带来了显著的经济效益。

许润林^[53]研究报道了铅锌选矿废水处理系统中 PFU 原生动物群落的变化特征及其与水质净化的关系，通过对原生动物群落组成与污染物浓度的统计学处理，显示出群落的种类数与各污染物的浓度间存在着显著的负线性相关。在该处理系统中，香蒲植物可使废水中大量的颗粒悬浮物得到降解，并使废水中的重金属浓度得到明显的降低。

祁华宝^[54]采用凝聚分离法对硅藻土尾矿废水进行了处理，处理后的废水不仅符合排放要求，还能直接循环回用。熊如意^[55]采用碱性绿化法处理选矿含氰废水，该法具有工艺简单、运行可靠且净化效率高等优点，但不能回收废水中的 CN^- ，因而只适用于处理无回收价值的含氰废水。郑礼胜^[56]介绍了用矿渣处理含镍废水的试验研究，镍净化率可达 99% 以上。王方东^[57]研究了用旋流絮凝法处理选矿废水，将浓密机改为两级串联旋流絮凝沉淀池，废水排放达标率为 100%，净化效率可达 99.85%。

金川公司地处我国水资源相当贫乏的西部地区，水贵如油，节约用水是其永

恒的话题。金川选矿厂废水利用目前达到为 600 万吨/年，占总用水的 60%。金川公司的回水利用主要是将选厂的尾矿浆通过Φ100M 的大型浓密机沉降、浓缩处理，溢流清水直接返回磨浮厂房，与生产用水分流使用；尾砂部分用于充填，部分进入尾矿坝。而精矿溢流水，则是直接通过管道返回磨浮作业再用。选矿废水回收利用时没有添加任何化学药剂，没有影响选矿生产指标，而且可以减少选矿药剂消耗 10-20%^[58]。

江西永平铜矿的选矿废水是由尾矿库净化水通过自流，引入一个专门的水池以供选矿生产使用，现其选矿废水利用率约达 80%，占选矿总用水的 50%，净化废水在返回选厂生产使用前均没有添加任何化学药剂，选矿废水的回用对选矿生产指标影响不大^[59]。

孙水裕、刘如意等人^[60,61]对南京栖霞山的选矿废水应用研究结果表明，经过物理和化学净化等多级处理后，获得澄清的选矿废水，并在铅锌浮选工艺中 100% 的回收利用，废水使用成本 0.5 元/吨，对铅锌选矿指标影响不大，实现了无尾矿和无排放污染的矿山。

综上所述，国内外矿山在选矿废水治理与利用方面做了大量的研究，并实施应用，取得了可喜的成绩。但所采用的技术措施各不相同，实施效果有异。

1.5 本文研究的目的与内容

针对凡口选矿工艺技术和选矿废水的现状，本文开展“凡口硫化铅锌矿选矿废水资源化综合利用技术研究与应用”的专题项目，目的要求如下：(1) 实现对凡口选矿废水的资源化回收、澄清净化处理后，在凡口选矿厂进行综合利用，减少选矿新鲜水用量和选矿废水排放量，回水利用率达到 75% 以上。(2) 实现选矿废水在铅锌快速分支浮选工艺过程中循环利用，且不影响原生产技术指标。(3) 实现清洁矿山，保护环境，节约成本，提高矿山选矿长综合经济效益和社会效益。因此，本文研究的内容主要包括如下几个方面：

- 1) 研究凡口选矿废水的形成与特征，研究实现资源化回收的可行性；
- 2) 研究凡口选矿废水的澄清、净化在现场可行和实用的新技术；
- 3) 研究选矿废水回用对铅锌浮选的行为特征，研究消除其不利因素的技术措施；

- 4) 研究选矿废水回用于铅锌浮选生产工艺的最佳技术条件;
- 5) 通过工业试验验证小型试验研究结果, 研究开发出工业化应用技术。

本研究的总体科学思想路线如图 1.5

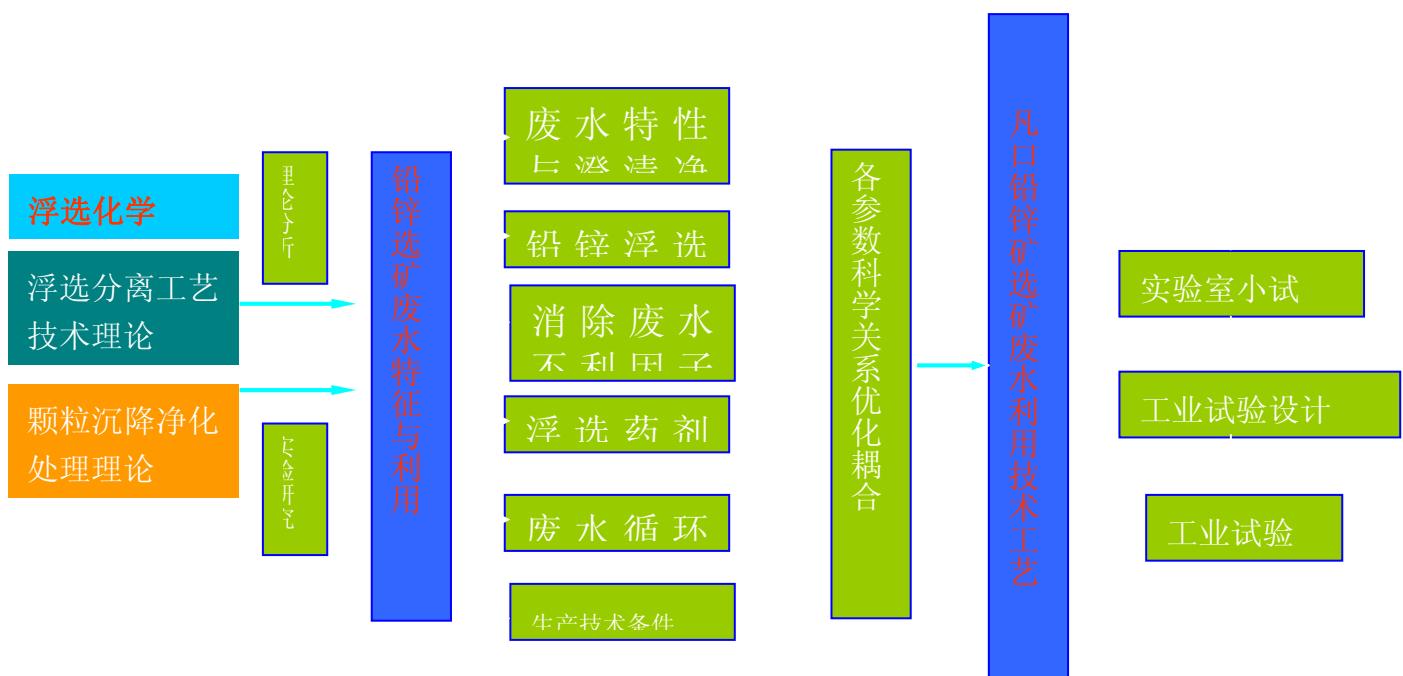


图 1.5 研究总体科学思想路线

最终目的是应用本研究成果, 在工业上进行推广应用, 实现最大限度地综合利用选矿废水, 达到减少矿山环境污染, 清洁生产, 提高选厂整体的经济效益和社会效益。

第二章 试样、药剂与研究方法

2.1 试验矿样

根据凡口选矿厂生产处理的矿石情况，结合试验条件与要求，制定试验矿样的采制和加工方法。

试验矿样全部采自凡口矿矿石，并按现场生产处理原矿的铅锌品位等级，有目的地配样。试验矿样加工制备为常规方法，如图 2.1 所示。

所取矿石样品的特点是具有代表性，即铅锌品位比例符合凡口矿正常出矿品位比例。取样品位分析与采制情况见表 2.1。

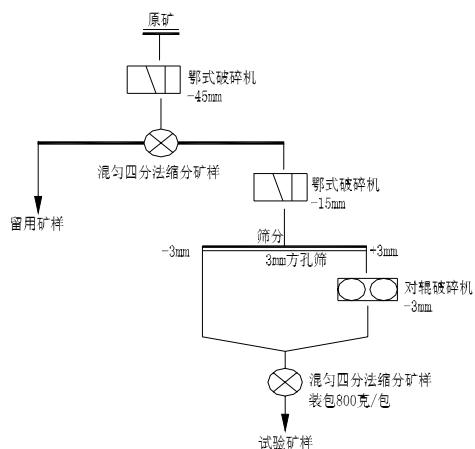


图3.1 试验矿样加工流程示意图

表 2.1 试验矿样的采制情况表

矿样	日期	取样地点	重量 (kg)	品位 (%)				矿样情况
				Pb	Zn	Fe	S	
A	5月20	球磨前	100	4.6 0	9.6 5	—	—	粒状多 <12mm, 含泥多
B	5-7月	井下地质采样	300	6.9 0 4.2 6	15.9 0 9.9 4	17.5 5 17.9 5	— — — —	块状 <30mm, 按采场、中段矿体出矿比例配制
C	7月15	7#皮带	80	4.7 2	10.2 5	22.3 2	26.9 1	粒状多 <12mm, 含泥少
D	7月28	3#皮带	300	4.8 0	10.4 0	21.9 5	28.1 0	块状多 <25mm, 含泥少

2.2 试验水样

试验废水样直接采自生产现场排放的选矿废水。根据试验室的试验条件与要求,将截取的选矿废水用桶装后静置一段时间,使废水中的部分颗粒杂质等自然沉淀,取大部分上清液作为浮选试验的废水样。该试验废水样含固体颗粒少(100ppm以下),悬浮物少,可见度高,可代表生产现场澄清处理后的废水样。试验废水种类及相关指标分析如表2.2。

表2.2 选矿废水取水与自然澄清部分结果

序号	水样名称	取水地点	澄清前		澄清后		pH值范围
			水色状况	浓度%	水色状况	耗酸(ml)	
1	铅精水	2#溢流口	浑浊	0.5	澄清	1.0-2.6	10.72-12.06
2	锌精水	4#溢流口	浑浊	0.5	澄清	2.2-3.1	11.76-11.95
3	锌尾水	1#溢流口	黑色浑浊	<8.5	澄清	2.5-7.5	11.81-12.29
4	总污水	1#池溢流	黑色浑浊	<6.5	澄清	0.1-1.8	10.72-11.67
5	硫精水	7#溢流口	浑浊	<1.0	澄清	0.2-1.4	10.72-11.50
6	硫尾水	硫尾管口	黑色	<27.5	澄清	0	6.5--7.2
7	总废水	混合废水	黑色浑浊	<2.0	澄清	2.2-5.5	11.76-12.16
8	清水	现场水龙头	清	0	澄清	0	7.2-7.8

(注:澄清时间通常为30分钟;混合废水按各点废水出量比例混合)

2.3 试验设备与药剂

试验研究采用的全部药剂见表2.3,研究使用主要设备见下表2.4。

表2.4 试验主要设备一览表

设备名称	规格型号	用途	备注
破碎机	$\Phi 100 \times 60$		
对辊机	$\Phi 200 \times 75$	破碎矿样	
球磨机	$\Phi 240 \times 90$ 、 $\Phi 150 \times 100$	磨矿	
单槽浮选机	XFD 型(1.5\0.75\0.5)	浮选	
挂槽浮选机	XFGC-80(15\25\35)		
冲气测量仪			
真空过滤机	水环式		
烘干箱	电热鼓风	脱水	
研磨机	XPM- $\Phi 120 \times 3$ 型(三头)	样品加工	
pH 计\电位计		测定	
酸碱滴定管			
干燥瓶		药剂存放	
天平称、秒表		计量、计时	

表 2.3 试验药剂一览表

俗称	学名	分子式	分子量	备注
丁黄药	丁基黄原酸钾	$C_4H_9KOS_2$	160.29	湖南株洲药剂厂
乙硫氮	二乙基二硫代氨基甲酸钠	$(C_2H_5)_2NCS_2Na3H_2O$	225.30	湖南株洲药剂厂
生石灰	氧化钙	CaO	56.08	广东仁化化工厂
硫酸	硫酸	H_2SO_4	98	广东仁化金狮治化厂
硫酸铜	硫酸铜	$Cu SO_4$		湖南株洲药剂厂
DS	腐植酸钠		1.5-2.7万	铁岭药剂厂
2#油	松醇油			湖南株洲药剂厂
絮凝剂	聚丙烯酰胺	$-[CH_2-CH-CONH_2]_n-$	150-800 万	湖南株洲药剂厂

2.4 研究方法

(1) 浮选试验

浮选试验直接采用生产中处理的实际矿石进行，实际矿石小型试验采用 3 升、1.5 升、1 升、0.75 升、0.5 升和 0.35 升单槽式浮选机，试验用水为自来水、选矿废水，试验用选矿药剂为生产现场使用的药剂。浮选产品分别烘干称重，经化验品位后计算回收率。主要考察与研究如下几个方面内容：

第一、考察各点选矿废水对铅锌浮选的行为特征、主要影响因素；

第二、研究调整浮选药剂用量时对铅锌的浮选规律，寻求回用选矿废水合

适的药剂条件;

第三、研究最佳回用选矿废水的技术措施，提高铅锌浮选效果的新技术。

(2) 选矿废水澄清净化

根据现场实际和条件，研究尽可能通过简单方便、快速有效和现场实用的方法，因此，对选矿废水澄清净化处理方法主要采用自然沉淀法、加药净化法、稀析法和曝气法等，最终使选矿废水能达到工业回用要求。

(3) 现场调研

选矿工艺流程线路长，作业用水点多，产生的废水点亦较多，本研究为准确定起见，采用深入现场调研生产过程中的技术参数，选矿工艺用水与废水量，弄清凡口选厂排出的选矿废水形成与水质特征，分析综合回收利用的可行性。

(4) 水质分析

对选矿废水进行水质指标的分析^[62,63]，主要有如下：

废水 pH 值用 pH 计测定，或采用酸碱滴定计算；

废水颜色、浓度（固体颗粒含量），以肉眼观察和重量测定方法进行；

废水的表面张力（以起泡性而言），在实验室用浮选机冲气，观察所起泡沫多少，大小及持久性等，依据经验确定废水起泡性为强、中、弱程度；

重金属阳离子浓度用原子吸收光谱法测定，阴离子浓度用离子色谱方法测定；

固体悬浮物含量和浊度按环境监测手册上标准方法测定；

化学耗氧量 CODcr 的测定：主要以高铬酸钾回流测定。

矿化度、硬度、耗氧量、电导性等按环境监测手册^[1,20]上标准方法测定。

残余药剂浓度：使用原子吸收光谱仪测定废水中残余的黄药、乙硫氮、硫酸铜等主要药剂含量，用原子吸收光谱仪测定原理^[1,20]：即根据不同物质对不同波长的光吸收不同，其吸收关系符合 BEER 定律，

$$\text{有 } A = KC \quad \text{or} \quad A = A_0 + KC$$

式中：A——吸光度；K——常数；C——浓度。

利用紫外分光光度计，也可对部分药剂浓度进行测定，对选矿废水中的黄药、乙硫氮、铜离子进行测定，结果见表 2.5。

(1) 黄药浓度：离心—紫外分光光度计

(2) 乙硫氮浓度：离心—+过量铜离子—CCl₄ 萃取—测定

(3) 铜离子浓度：离心---过量乙硫氮—CCl₄萃取—测定

表 3.3 选矿废水主要残余药剂浓度测定结果(平均值)

编号	选矿废水样	乙硫氮 (10 ⁻⁷ mol/L)	丁黄药 (10 ⁻⁷ mol/L)	CuSO ₄ (10 ⁻⁷ mol/L)	耗酸量 (ml) (以 50mLH ₂ SO ₄ 计)
1	铅精水	80.59	81.50		5.2
	铅尾水	879.64	813.18		11.8
2	混精水	323.41	52.04	323.41	2.6
	混尾水	358.31	1095.59	358.31	6.2
3	锌精水		66.01	471.58	6.6
	锌尾水		501.44	233.18	11.2
4	硫精水		85.27		0.6
	硫尾水		200.64		0.0
5	地沟污水	275.02	136.63	275.02	3.6
	总废水	256.95	108.69	256.95	4.9

第三章 选矿废水水质特征与处理技术研究

选矿废水与清水有多大的差别？废水的水质有何特征？选矿废水回用于铅锌浮选过程时，有哪些因素会对浮选过程产生影响？同时，哪些是有利因素的？哪些是不利因素的？提高选矿废水水质的处理方式，以及减少或消除废水中不利因素的技术措施，下面进行简单的探讨与研究。

3.1 选矿废水水质特征分析

根据生产情况和排出的选矿废水，分批次采集和组合选矿废水，分别分析水质各项指标，分析结果见表 3.1、表 3.2、表 3.3。

表 3.1 各水样常规项目测定分析结果

序号	水样名称	浓度 (%)	pH 值		起泡性	颗粒细度 (-360 目 %)
			范围	平均		
1	锌尾水	4.2.	11.89-12.2	12.05	中	98
2	总污水	6.8	10.77-11.6	11.51	强	90
3	锌精水	<1.0	11.75-11.9	11.85	弱	--
4	硫精水	<1.2	10.70-11.5	11.11	强	--
5	铅精水	<1.0	10.76-12.0	11.91	中	--
6	硫尾水	27	-	6.81	强	63
7	总废水	5	11.76-12.1	11.93	中	--
8	生产用水	0	--	7.10	--	--

表 3.2 各水样非常规项目水质分析结果 (环保化验)

项目 水样	pH	CODcr	BOD ₅	Cl ⁻	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	总碱度	可溶性 总固体
生产用水	7.1	17.7	7.9	3.4	0	0	91.5	96.4	41.7	289.3

总 废 水	11.56	259.3	159.3	243	76.5	66	0	1355	190.2	2712
锌 尾 水	11.98	335.9	119.8	303.7	195.5	75	0	1258	349.1	2786
水 样\项目	Pb	Zn	SS	Cu	Fe	S ²⁻	NO ₃ ⁻	总硬 度	矿化 度	电导 率
生产用水	0.12	0.262	<0.1	0.003	0.036	4.56	4.08	2.0	278	418
总 废 水	10.095	0.979	79.0	0.018	2.206	8.27	1.68	19.6	2652	2990
锌 尾 水	16.888	1.354	139.0	0.328	2.761	13.83	2.17	22.8	2581	5400

注: pH 无单位, 电导率单位为 s/cm, 其余项目单位均为 mg/L

表 3.3 选矿废水主要残余药剂浓度测定结果(平均值)

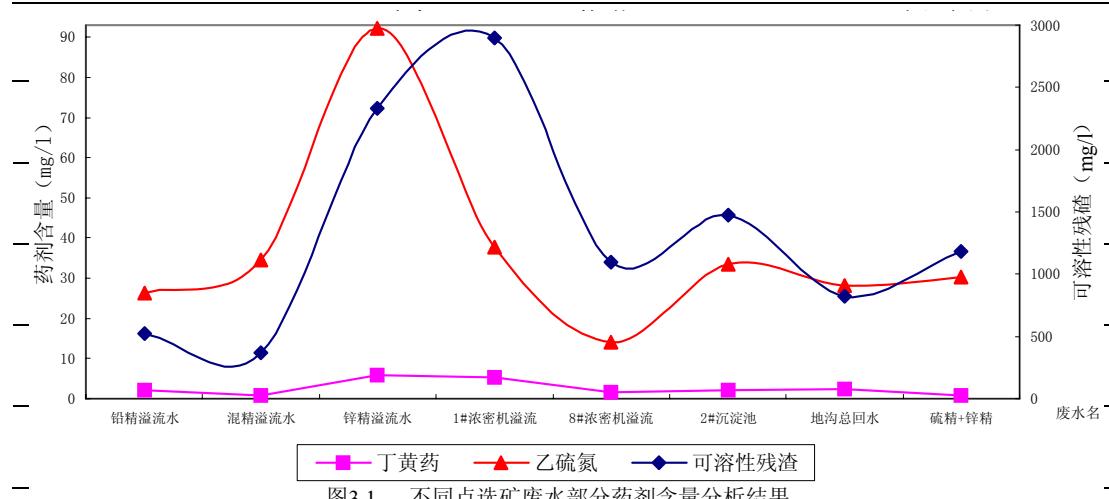


图3.1 不同点选矿废水部分药剂含量分析结果

分析结果可见,除硫尾水外,选矿废水的pH值都很高,其它各项指标都高于生产清水。分析结果可见,选矿废水有四个明显的特征:固体悬浮物含量高、重金属含量高,有机浮选药剂导致CODcr较高、废水的起泡性强。凡口选矿废水水质各项指标高的主要原因分析如下:

- 废水pH值高,主要是凡口铅锌快速分选工艺过程中加入大量的石灰,在高碱条件下进行铅、锌、铁的分离,因此矿浆中含有大量的[OH]⁻残留至废水中。
- 废水S₄²⁻浓度高,有三个原因:第一在锌浮选过程中加入CuSO₄,第二是选硫作业加H₂SO₄调整剂;第三是铅锌硫化矿矿石在选矿过程中产生的S²⁻自然氧化生成SO₄²⁻等引起;
- Pb/Zn浓度高,是由于在高碱条件下,方铅矿表面容易氧化进入浮选矿浆中,Zn浓度稍低则是因为闪锌矿表面不容易氧化,但比清水中的高。

- d) 固体悬浮物 (SS) 浓度高和浊度较高主要归因于选矿废水中含有大量不容易下沉的微细矿粒，在沉淀过程中部分跑混，以及浮选过程中部分物质因起化学反应生成的胶体沉淀物所引起；
e) 废水化学需氧量 (CODcr) 较高，主要是由于在铅锌分选中加入浮选药剂丁黄药、乙黄药、乙硫氮等捕收剂，以及起泡剂（松醇油）的存在造成的。

3.2 选矿废水澄清净化试验研究

废水水质处理有很多方法，如自然沉淀法、加药加速处理澄清法、稀释处理法、曝气法、曝晒法、酸碱中和法混合法等都可以减少废水水质中的高含量物质，达到净化废水、提高废水水质的目的。本文结合生产现场实际，选择采用自然沉淀法、加药澄清法、稀释法三种简便技术措施，进行试验研究。

3.2.1 废水沉淀处理试验

对选矿废水中含大量的固体颗粒，选择不同浓度的废水经自然沉降、加入絮凝剂加速沉降和不同温度下的自然沉降等试验条件，进行废水处理沉降试验，部分试验结果如图 3.2、图 3.3 所示。

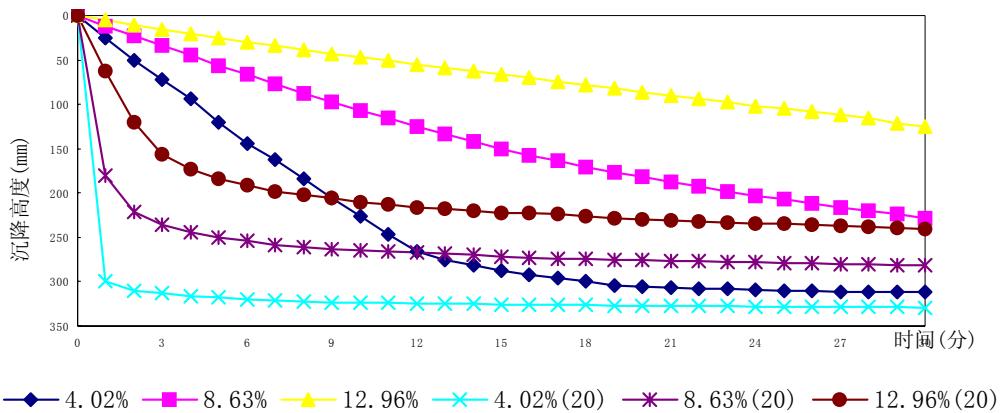


图3.2 不同浓度选矿废水及加絮凝剂 (20g/t) 的沉降试验曲线

试验结果表明，选矿废水所含的颗粒粒度细，自然条件下沉降较慢；浓度较高时，废水的澄清时间也较长；加入 20g/t 絮凝剂（聚丙烯酰胺）后则可快速沉降；温度对废水沉降有微小的差别。

3.2.2 加药和稀释净化处理试验

对选矿废水进行净化处理主要进行稀释、药剂处理等试验研究，试验发现选矿废水经过加入 50% 清水稀释时，废水中的大部分物质的含量都降低，稀释前后对比水质分析结果见表 3.4。由表 3.4 可见，除 pH 值和悬浮物外，其它物质含量降低程度在 20—45% 的幅度，说明稀释处理选矿废水有助于提高选矿废水的水质。

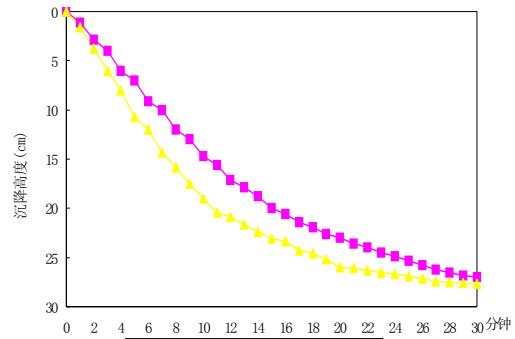


图 3.3 不同温度下废水沉降速率试验曲线

表 3.4 选矿废水稀释后水质分析部分对比结果

测试项目	清水	废水	50%废水	差值	效果 (%)
pH	8.4	11.78	11.3	-0.48	4.1
C1-	3.69	13.64	7.59	-6.05	44.4
P-	0.15	0.42	0.24	-0.18	42.9
SO ₄ ²⁻	87	844	524	-320	37.9
铅	0	19.06	10.83	-8.23	43.2
锌	0.09	1.03	0.77	-0.26	33.8
总残渣	220	1680	1058	-622	37.0
矿化度	234	1574	962	-612	38.9
悬浮物	-	148	144	-4	2.7
总硬度	192	1151	716	-435	37.8
总碱度	36	137	71	-66	48.2
丁黄药	-	1.06	0.81	-0.25	23.6
乙硫氮	-	77	45	-32	41.6
KMnO ₄ 指数	1	93	59	-34	36.6

加入高分子絮凝剂处理选矿废水，主要对含固体颗粒高的选矿废水起加速沉淀作用，达到快速澄清废水的目的，这在废水沉降试验中得到很明显的答案。而对于基本澄清的选矿废水，再加入少量絮凝剂(如 2.5g/t、5g/t)后，其絮凝沉淀结果见表 3.5。由表 3.5 可见，除悬浮物减少较明显（降低 42% 以上）外，其它水中的含量降低不大明显。

表 3.5 加入絮凝剂处理选矿废水试验结果

测试项目	选矿废水加絮凝剂 (g/t) 沉淀对比			效果
	0	2.5	5	
pH	11.78	11.87	11.82	无
C1 ⁻	13.64	12.02	11.58	降低
SO4 ²⁻	844	901	871	无
铅	19.06	17.77	17.02	降低
锌	0.77	0.51	0.55	降低
总残渣	1680	1646	1652	无
矿化度	1574	1630	1556	无
悬浮物	148	94	84	显著降低 43. 2%
总硬度	1151	1118	1110	降低
总碱度	137	128	116	降低
丁黄药	1.06	1.03	1.18	无
乙硫氮	77	82	89	无
KMnO4 指数	93	100	106	提高

3.3 改善和控制水质技术探讨

改善或控制废水水质的方法很多，通常将废水进行澄清、净化和加入药剂进行调控后，水质可得到大的改善。

在许多情况下，通过改变废水的 pH 值，可控制废水中矿物的溶解度，同时可控制矿浆中难免离子的浓度。废水中溶解的气体可通过简单的机械搅拌方法可得到缓解或补充。

另一方面，浮选过程通过适当的操作或加入部分药剂，消除和控制部分难免离子的影响，可以改善或提高废水回用后的浮选效果。如正确地选用捕收剂，为克服难免离子对浮选的不良影响。

控制难免离子的不良影响还可采取其它一些措施。例如，缩短细磨矿粒与水的接触时间，使用新鲜水，提高浮选速度，减少中矿循环，在某些情况下或将中矿接出单独进行处理以及对水进行过滤或软化等。

对于废水中溶解的气体，有理论研究和生产实践表明，在硫化矿—硫代化合物类捕收剂体系中，矿浆中氧气的含量对浮选过程影响很大。因废水中含有大量有机物质消耗了水中的溶解氧，致使矿浆中的含氧量较低，降低硫化矿的浮选速度，有时甚至使浮选发生困难。

选矿厂地表水，在春季由于水中含的有机物质较多，会吸收溶解水中的氧。

使用这种废水的结果将使浮选指标下降。

对于缺少溶解氧的废水，在回用过程中，可以通过机械搅拌加以解决，如在浮选前(如搅拌槽或浮选机)适当加强充气，使矿浆中的氧饱和，这时即可改善浮选效果。

3.4 选矿废水澄清处理技术研究

根据以上研究，结合生产现场情况，对选矿废水回收与处理净化采用如下几方面的技术措施。

3.4.1 加强浮选药剂添加操作与管理，减少废水中残余药剂含量

提高铅锌选矿工艺过程中的操作技术水平，加强浮选药剂的添加操作与管理，减少金属流失量，尤其尽可能减少精选作业与扫选作业的药剂添加量，以此可减少最终排出废水中的残余药剂含量；

现场检测试验主要通过如下方法进行：

(1) 按照选矿工艺技术条件与要求，调准各点的药剂正常用量后；浮选操作连续一段时间（1小时至2小时）不再调药，仅通过其它浮选调控手段，控制生产指标达到要求；经过一段时间（1小时至2小时）后取废水水样，测定水样中的浮选药剂含量；

(2) 根据药剂正常用量把精选作业、扫选作业的药剂用量调高30%或降低30%，同样连续一段时间（1小时至2小时）不再调药，仅通过其它浮选调控手段，控制生产指标达到要求；如此再取废水水样，测定水样中的浮选药剂含量。

检测试验表明，选矿废水中的残余药剂量是可以通过调节药剂添加量与控制生产指标来减少的，表3.6为部分现场检测试验的结果。结果可见，废水中残余药剂的最大含量与最小含量有较大的差距，尤其是尾矿废水，说明，选矿过程中，在确保生产指标达到要求的情况下，适当减少药剂用量，通过非药剂调节手段来进行浮选操作，则排出的废水残余药剂含量可减少，此举既可减少不必要的药剂消耗，又可减少回用选矿废水时给浮选过程带来的影响。

表3.6 选矿废水残余药剂检测结果（药剂浓度 10^{-7} mol/L）

药剂	水样	平均值	最大值	最小值	差值	水样	平均值	最大值	最小值	差值
----	----	-----	-----	-----	----	----	-----	-----	-----	----

	铅精					铅尾	813.1
	水	81.50	89.05	67.90	21.15	水	8 972.73 727.27 245.47
	锌精					锌尾	501.4
	水	66.01	74.70	55.82	18.88	水	4 580.74 463.67 117.07
丁黄	硫精					硫尾	200.6
药	水	85.27	90.56	78.47	12.08	水	4 316.39 131.34 185.05
	混精					混尾	1095. 1409.2
	水	52.04	67.90	42.22	25.68	水	59 9 885.88 523.41
	总回	108.6					
	水	9	129.08	89.80	39.27		
	铅精				126.9	铅尾	879.6
	水	80.59	150.80	23.81	9	水	4 955.17 731.29 223.88
乙硫	混精	323.4			132.3	混尾	358.3
	氮	水	1	389.59	257.23	水	1 465.94 250.69 215.25
	总回	256.9					
	水	5		256.95			
	锌精	471.5			720.1	锌尾	233.1
CuS	水	8	905.86	185.76	0	水	8 329.90 141.73 188.17
O ₄	总回	256.9					
	水	5		256.95			

3.4.2 提高脱水工艺技术水平，降低选矿废水颗粒含量

通过使用多级澄清设施澄清选矿废水，提高选矿过程中的脱水工艺技术水平，降低选矿废水颗粒含量，尽可能使废水中的颗粒含量降低，并在澄清设施中使废水得到澄清。

技术措施主要是将选厂铅锌生产工艺过程中的所有排出的废水，根据不同排出地点及含杂程度，分别使用废水澄清设备进行多级澄清、过滤的技术手段。使用的主要设备有陶瓷过滤机、普通浓密机、高效浓密机，沉淀设施，输送设备及调控设施等，如下图 3.4 所示。

根据现场条件，通过加强溢流水、过滤水的澄清管理，并经过多级澄清设施使选矿废水中所含的重金属离子、残余的无机、有机的浮选药剂、固体颗粒及悬

浮物等得到降低，最终获得澄清的选矿废水，使固体悬浮颗粒在 100ppm 以下，水色清澈，最终使之能作为铅锌选矿过程中可以回用的工业用水。

3.4.3 使用絮凝剂等药剂，提高废水的澄清速度和净化程度

通常选矿废水中含有极细的颗粒、悬浮物体等，一般情况下很难沉淀。随着选矿废水不断流动的动态过程，那些极细的颗粒、悬浮物体很难去掉的，由此通过研究和试验，在选矿废水进入浓密机、沉淀池前加入絮凝剂，可加速废水中极细的颗粒、悬浮物体絮凝成团状物而快速沉淀，使废水获得澄清与净化。

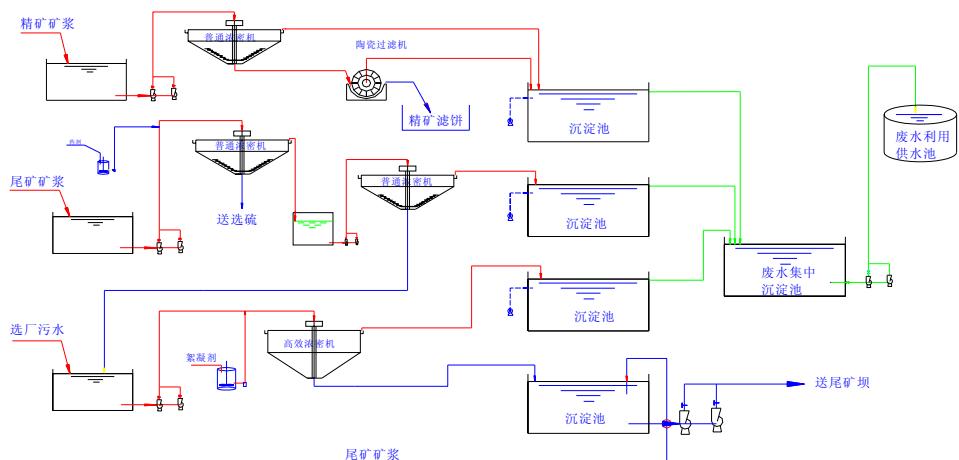


图3.4 凡口铅锌选矿废水处理工艺流程

3.4.4 选矿废水回用原则与技术措施

针对凡口铅锌矿选矿废水特征，实施回用水考虑如下：

- 第一：破碎、洗矿作业用水；
- 第二：铅锌磨矿浮选过程作业，选硫作业用水，最终精矿冲泡水；
- 第三：石灰乳制备用水；
- 第四：浓密机消泡水、过滤机冲槽洗水；
- 第五：工业场地冲洗水；

上述回用选矿废水的作业中，最主要的是铅锌浮选过程的作业用水，解决了选矿废水对铅锌生产指标影响的问题，其它几条的用水都与生产指标影响不大，

因此，选矿废水回用研究主要工作在于铅锌浮选分离作业。

3.5 小结

本章研究表明：凡口选矿废水有四个明显的特征：固体悬浮物含量高、重金属含量高，有机浮选药剂导致 CODcr 较高、废水的 pH 值高等。而通过试验研究表明，凡口选矿废水通过一定的澄清与净化等技术措施，可以降低废水中各种物质和离子的含量，澄清净化后可达到回用的基本要求。同时根据生产现场的实际和可行性分析研究，提出凡口选矿废水资源化综合回收与处理的新技术。

第四章 选矿废水对铅锌浮选影响试验研究

为全面了解选矿废水对铅锌浮选行为的影响，使用各点选矿废水进行铅锌粗选行为的试验、综合选矿废水铅锌浮选速度试验，以及对铅锌粗选与精选浮选富集效果等试验研究，同时使用现场生产用清水的试验进行对比，研究使用选矿废水回用对铅锌浮选的行为特征。

4.1 各点选矿废水对铅锌浮选影响试验

4.1.1 相同矿样浮选对比试验

试验直接采集生产现场排出的 6 种选矿废水，废水水样情况见表 4.1，经过实验室的澄清净化处理后，模拟现场生产工艺流程技术条件，进行铅粗选和锌粗选的对比试验，试验流程与药剂制度见下图 4.1。

铅粗选给矿是原矿，在高碱条件下使用丁黄药和乙硫氮混合捕收剂进行浮选试验，试验结果见表 4.2。

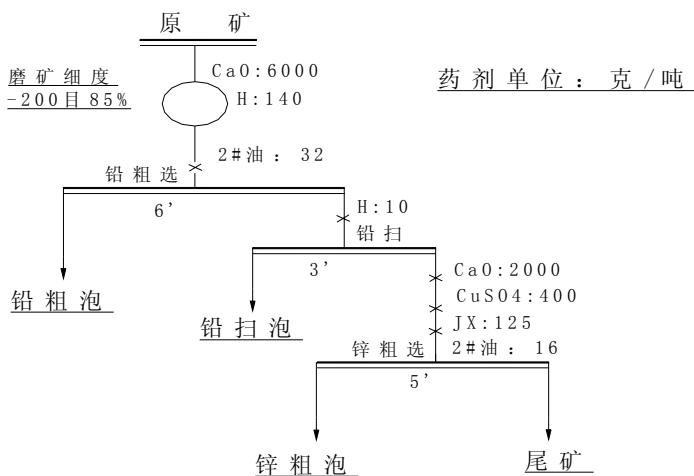


图 4.1 选矿废水铅锌浮选试验流程

锌粗选的给矿是选铅后的铅尾矿，由于在铅浮选阶段铅锌的浮选上浮情况不同，在此采用锌粗选作业回收率进行对比，对比试验结果见表 4.3。

表 4.1 各试验水样取水点与性状测定情况

序号	水样名称	取水地点	含固体颗粒浓度%	滴定耗硫酸范围 (ml)	PH 值范围
0	生产用水	水龙头	0	0	7.2
1	铅精水	浓密机溢流水	<1	1.0-2.6	10.72-12.06
2	锌精水	浓密机溢流水	<1	2.2-3.1	11.76-11.95
3	锌尾水	浓密机溢流水	4.2	2.5-7.5	11.81-12.29
4	总污水	污水池溢流口	6.8	0.1-1.8	10.72-11.67
5	硫精水	浓密机溢流水	<1.5	0.2-1.4	10.72-11.50
6	硫尾水	尾矿输送管口	27	0	6.8—7.8
7	综合废水	混合 1-5	5	2.2-5.5	11.76-12.16

表 4.2 不同选矿废水铅粗选试验对比结果

水 样	原 矿		铅粗泡				回收率%
	Pb	Zn	产率%	Pb	Zn	Pb	
生产用水	4.64	9.82	17.030	23.61	11.20	86.49	19.34
铅精水	4.62	9.83	15.835	25.13	9.35	85.77	15.14
锌精水	4.62	9.83	15.683	25.30	8.86	85.65	14.18
锌尾水	4.73	9.79	14.710	27.18	7.70	84.26	11.63
总污水	4.68	9.80	14.915	26.69	8.46	84.60	12.99
硫精水	4.70	9.78	14.493	27.33	8.78	83.87	13.03
硫尾水	4.69	9.84	11.517	31.73	7.22	77.35	8.49

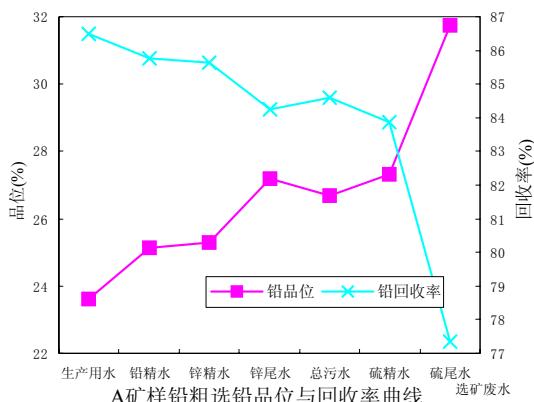
表 4.3 不同选矿废水锌粗选试验对比结果

用水名称	锌粗给矿		锌粗泡				回收率%
	Pb	Zn	产率%	Pb	Zn	Pb	
生产用水	0.68	8.45	18.899	1.02	43.08	28.17	96.34
铅精水	0.76	9.82	22.061	1.10	42.24	31.45	95.15
锌精水	0.75	9.52	19.880	1.08	45.60	28.27	95.65
锌尾水	0.72	9.46	20.287	1.03	45.04	29.49	96.31
总污水	0.72	9.15	19.635	1.02	44.81	28.46	95.93
硫精水	0.79	9.43	19.671	1.14	45.68	28.52	95.24
硫尾水	1.03	9.75	18.155	1.49	47.37	26.40	88.18

根据试验结果绘制使用各点选矿废水对应的铅锌粗泡品位与回收率相关曲线如图 4.2，可见，在相同药剂制度的条件下，各种选矿废水对铅锌浮选的影响存在一定的差别，各点的选矿废水对铅锌浮选有如下表现：

第一、除硫尾水，使用其它点的废水对铅锌浮选影响不大，都能使铅锌金属矿物上浮完全；各点选矿废水与生产用水对比，铅粗泡中铅品位由低到高，

铅回收率由高到低，根据粗选要求
条件判断：影响顺序从小到大依次



为铅精水<锌精水<总污水<锌尾水<硫精水<硫尾水。

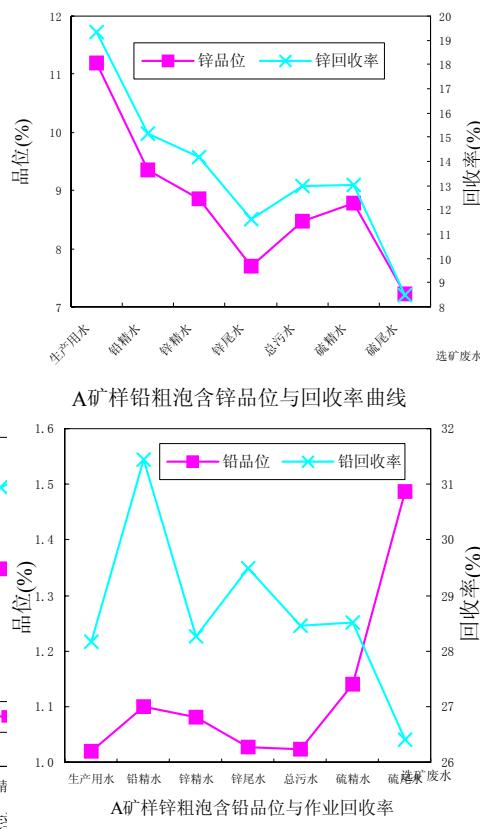


图 4.2 铅锌粗泡品位与回收率相关曲线

第二、在铅粗选的表现：各点的选矿废水对铅粗泡品位比生产用水的高、回收率有所下降，铅粗泡含锌都有所降低。说明各点选矿废水对铅粗泡中锌的上浮是有所抑制的，相对与现场使用的生产用水而言，生产用水含锌量最多，其他依次为铅精水>锌精水>硫精水>总污水>锌尾水>硫尾水。

第三、在锌粗选的表现：锌粗泡品位高、回收率相近，在铅粗选中未上浮的锌金属矿物能够在锌粗选中上浮出来。很明显，除硫尾水外，选锌的回收率基本不受影响，锌粗泡锌品位在 42%以上、锌作业

回收率保持在 95%以上。同时，由于选铅作业都使用相同的水样，锌在铅粗选上浮率小，在锌粗选中锌金属量相对较多，所以选矿废水的锌粗泡锌品位较高。可见，选矿废水对锌浮选的影响不大。

4.1.2 不同矿样浮选对比试验

针对凡口矿选厂处理的矿石含泥量、铅锌品位比例的变化、矿物的嵌布粒度等情况，同条件分别进行使用主要废水的铅粗选对比试验，试验结果见表 4.4。

表 4.4 不同水样与不同矿样铅粗选试验结果

矿样	水样名称	原矿品位 (%)	铅粗泡(%)		
			产率	品位	回收率

	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
B 矿样 (块状 30mm) 含泥较少	生产水 4. 29	9. 87	15. 91 3	24. 60 12. 08 91. 22 19. 48		
	锌尾水 4. 23	9. 91	15. 04 8	25. 20 11. 53 89. 83 17. 50		
	硫精水 4. 28	9. 85	15. 01 0	25. 70 11. 80 90. 18 17. 98		
	总污水 4. 27	9. 83	14. 97 8	25. 70 11. 58 90. 48 17. 64		
C 矿样 (粒状 12mm) 含泥稍多	硫尾水 4. 37	9. 94	15. 75 3	24. 95 15. 08 90. 01 23. 90		
	生产用水 4. 62	10. 3	16. 99 1	23. 90 11. 25 87. 91 18. 65		
	铅精水 4. 70	10. 5	17. 61 7	23. 50 11. 40 88. 08 19. 14		
	锌精水 4. 65	10. 6	17. 61 7	23. 20 11. 10 87. 95 18. 44		
	锌尾水 4. 65	10. 6	14. 85 5	27. 25 8. 10 87. 10 11. 36		
	总污水 4. 71	10. 1	16. 33 3	24. 85 10. 60 86. 15 17. 07		
	硫精水 4. 71	10. 6	16. 18 1	25. 20 10. 10 86. 55 15. 39		
	硫尾水 4. 79	10. 4	14. 98 7	26. 70 12. 30 83. 50 17. 71		

试验结果可见，矿样在原矿铅锌品位、含泥量等有微小变化时，对于使用不同水样在铅粗选中有小的变化，主要是铅粗泡产率、铅品位及回收率的变化，矿石块状大而含泥少的铅粗泡产率较少、铅品位及回收率较高，而块状小含泥多的原矿是铅粗泡产率较大、铅品位及回收率较低。说明使用选矿废水对矿石性质变化仅有小的影响。

综上所述，选矿废水对铅、锌粗选的浮选行为有如下特征：

(1) 综合分析各种选矿废水对铅锌浮选影响程度,由小到大的顺序依次是: 铅精水<锌精水<锌尾水<总污水<硫精水<硫尾水, 建议硫尾水不用。

(2) 选矿废水对铅锌总体的浮选行为发生了一定的变化,与现场生产用水比较,主要表现为对铅粗选的品位有所降低、铅回收率有所提高,铅粗泡含锌品位和回收率降低,说明选矿废水含有残余药剂的作用。

(3) 对于不同时期所取的凡口矿石,尽管矿石的含泥量,品位和颗粒及氧化程度有所不同,在使用不同点的选矿废水进行浮选时,总体影响铅锌浮选的规律性相近。

(4) 选矿废水对锌的浮选影响比较微小。

4.2 选矿废水对铅、锌浮选速度的影响

考察使用综合选矿废水与生产清水在铅锌铁浮选速度上的差异,在同等工艺流程和药剂制度条件下(见图 4.3),分别进行铅、锌粗选对比试验,原矿品位含铅为 4.65、含锌 10.25、含铁为 22.5,试验结果见表 4.5。

试验结果表明,使用选矿废水与清水对比,铅锌上浮规律性相同,尤其是铅浮选,除铅品位与回收率有一差值外(比清水的差),随浮选时间的增加,品位下降,铅回收率上升。铅的上浮速度都很快,在前 1 分 30 秒内,回收率都在 75%以上,3 分内达铅锌上浮基本完全。两种水样在铅浮选中,6 分钟内能使铅金属矿物上浮完全,而锌金属矿物上浮率不高(10~12%);锌的浮选中加入硫酸铜活化剂,在 1 分 30 秒内,回收率为 68%以上,选 5 分钟后,锌上浮完全,因此可见,使用的废水对铅锌浮选速度没有影响。

表 4.5 清水与废水铅、锌、铁浮选速度试验结果

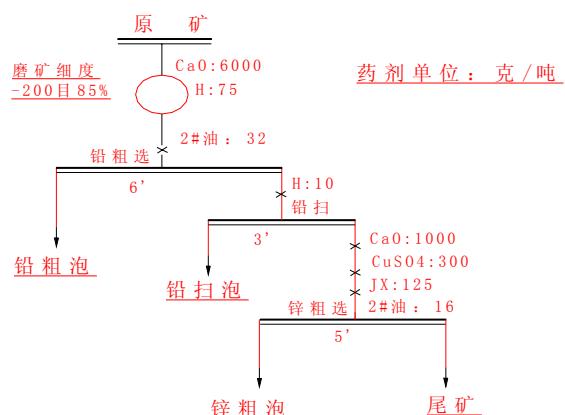


图 4.3 铅锌浮选速度试验流程图

水样	产物名称	浮选时间	品位%			回收率%		
			产率%	Pb	Zn	Fe	Pb	Zn
铅粗泡		30	6.161	43.65	8.15	14.30	56.97	4.76
		120	9.744	35.63	10.23	16.79	73.55	9.44
		240	13.289	29.43	11.93	18.32	82.86	15.01
		360	18.217	22.74	14.07	19.21	87.77	24.27
清水		60	10.149	0.75	47.15	8.90	12.12	54.70
		120	15.144	0.82	46.64	9.12	19.71	80.73
		210	17.738	0.87	45.90	9.45	24.42	93.04
		300	19.268	0.92	43.64	10.26	28.17	96.12
废水	铅粗泡	30	5.856	41.00	9.20	15.00	51.77	5.06
		120	9.894	33.55	11.49	17.28	71.53	10.68
		240	13.806	27.36	13.64	18.72	81.40	17.70
		360	19.561	20.59	16.75	19.49	86.86	30.79
	锌粗泡	60	10.400	0.87	44.35	10.50	13.09	60.08
		120	14.637	0.93	43.44	10.81	19.81	82.81
		210	16.830	1.01	41.78	11.45	24.49	91.59
		300	18.574	1.09	39.19	12.58	29.27	94.82

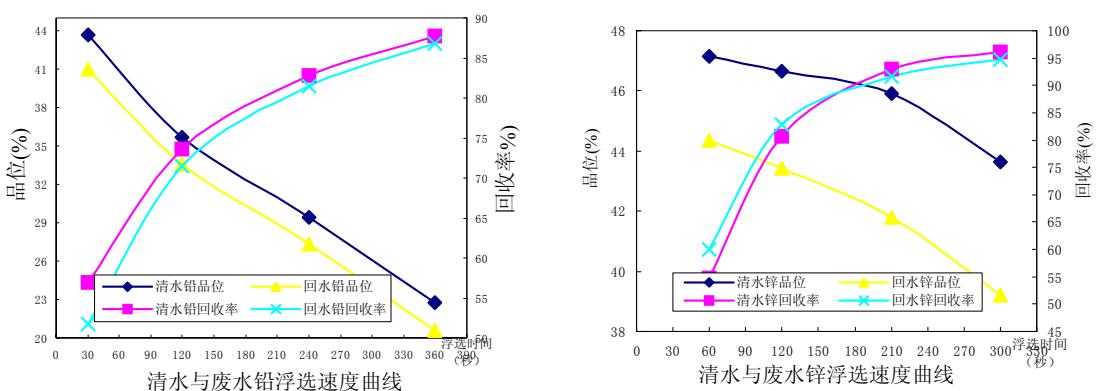


图 4.4 铅、锌粗选浮选速度试验指标曲线关系

4.3 铅、锌精选的富集行为特征

选矿废水循环回用后，对铅锌精选的影响行为特征情况，通过下列对比试

验进行考察。

4.3.1 铅精选—不同精选次数的富集行为试验

选矿废水在铅粗选中表现有其特有的性质，在适当的药剂用量条件下，能够使铅金属充分上浮出来。

在铅精选中，对铅品位的富集行为又表现如何？进行铅精选三次与四次的对比试验，发现铅的富集效果明显不如清水。

试验首先采用常规的优先浮选流程进行，铅精选三次与四次的试验流程与药剂制度见图 4.5，并在精选作业中使用补加水，补加水与使用水相同，试验对比结果见表 4.6。

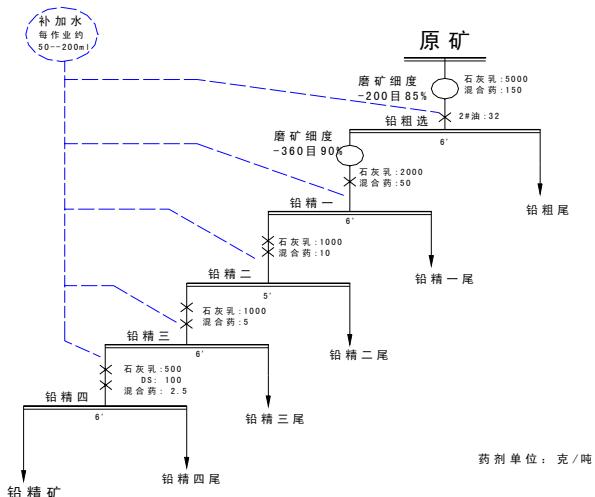


图 4.5 铅精选试验流程与药剂制度

表 4.6 铅精选三次与四次试验最终结果

精选次数	水样	产率 (%)	品位 (%)		回收率 (%)	
			Pb	Zn	Pb	Zn
三次精选	生产用水	3.559	64.85	2.75	49.53	0.98
	混合废水	3.568	56.20	3.30	41.63	1.17
	精矿水	3.635	57.00	3.15	44.31	1.13
	锌尾水	3.485	57.00	2.85	42.26	0.99
四次精选	生产用水	3.473	70.60	2.50	52.06	0.85
	混合废水	3.802	60.10	2.70	49.22	1.04

试验结果可见，使用 100% 选矿废水与生产清水比较，在铅精选过程中，不论是三次还是四次精选，铅精矿的铅品位相差较大。从铅品位的富集效果看，

主要是在精选第二、三次时较差，第四次精选加入 DS 药剂，富集比相近。

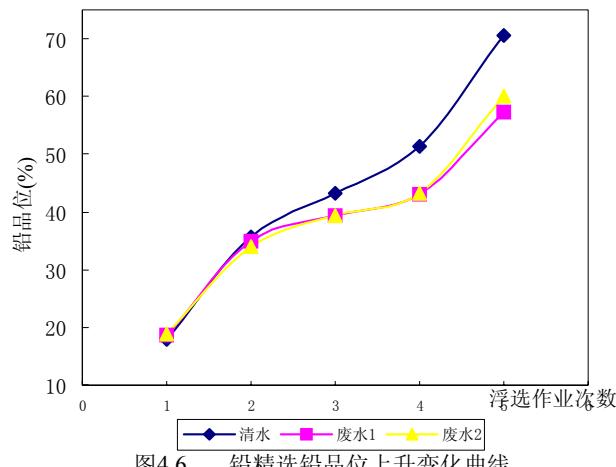


图4.6 铅精选铅品位上升变化曲线

4.3.2 铅精选—不同矿样富集行为对比试验

对不同时间加工的矿石样品，考虑部分铅矿物被氧化的可能性，在进行同等工艺条件与药剂制度下，使用选矿废水时对铅精选富集行为的对比试验，试验流程见图 4.7，试验结果见表 4.7。

试验结果可见，铅精选次数同为四次时，使用清水、选矿废水的铅精矿品位相差较大，同为选矿废水，对刚加工出来的矿样，铅精矿品位和回收率都有小幅度提高，但还不如使用生产清水的指标。

4.3.3 锌精选富集行为试验

通过大批次的试验发现，锌粗选用水和补加水为选矿废水对锌上浮的影响较小，在锌精选中的情况如何？为此进行试验探索，模拟现场生产工艺技术条件，锌精选进行两次，可使锌精矿品位达到要求，试验流程与药剂制度见图 4.7，试验结果见下表 4.8。

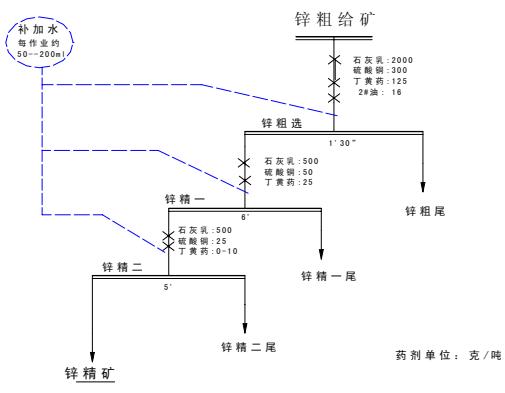


图 4.7 单锌浮选开路试验流程

表 4.7 不同水样铅精选四次试验结果

水样	产品名称	产率 (%)	品位 (%)	Pb	Zn	回收率 (%)	Pb	Zn	富集比	备注
生产清水	铅精四泡	3.473	70.60	2.50	52.06	0.85				
	铅精四尾	2.488	24.70	6.80	13.05	1.66			1.37	
	铅精三泡	5.961	51.44	4.29	65.11	2.51				
	铅精三尾	2.362	22.40	8.25	11.23	1.92			1.19	
	铅精二泡	8.323	43.20	5.42	76.34	4.43				
	铅精二尾	2.084	5.80	11.40	2.57	2.33				1.21 10 天前加工的矿样
	铅精一泡	10.407	35.71	6.62	78.81	6.76				
	铅精一尾	12.503	3.09	13.45	8.20	16.52			1.99	
	铅粗泡	22.910	17.91	10.34	87.12	23.28				
	铅粗尾	77.090	0.79	10.13	12.88	76.72			3.80	
选矿废水	原矿	100.00	4.71	10.18	100.0	100.0				
	铅精四泡	3.521	57.30	2.95	43.49	1.06				10 天前加工的矿样
	铅精四尾	3.984	30.60	5.80	26.28	2.35				
	铅精三泡	7.506	43.12	4.46	69.77	3.41				
	铅精三尾	1.722	24.05	7.50	8.93	1.31			1.09	

	铅精二泡	9.228	39.45	5.03	78.70	4.72		
	铅精二尾	1.478	5.65	10.90	1.80	1.64	1.13	
	铅精一泡	10.706	34.88	5.84	80.50	6.36		
	铅精一尾	10.924	2.88	13.55	6.78	15.05	1.86	
	铅粗泡	21.630	18.72	9.73	87.28	21.41		
	铅粗尾	78.370	0.75	10.01	12.72	78.59	4.03	
	原 矿	100.00	4.64	9.98	100.0	100.0		
					0	0		
	铅精四泡	3.802	60.10	2.70	49.22	1.04		
	铅精四尾	3.827	26.50	4.80	21.84	1.85	1.39	
	铅精三泡	7.629	43.25	3.75	70.06	2.89		
	铅精三尾	1.673	21.75	7.10	7.84	1.20	1.10	
	铅精二泡	9.302	39.38	4.36	78.90	4.09		
选矿废 水	铅精二尾	2.028	9.40	11.30	4.11	2.31	1.16	当天加工的 矿样
	铅精一泡	11.329	34.02	5.60	83.01	6.40		
	铅精一尾	10.480	2.57	13.20	5.80	13.96	1.80	
	铅粗泡	21.810	18.90	9.25	88.80	20.36		
	铅粗尾	78.190	0.66	10.09	11.2	79.64	4.07	
	原 矿	100.00	4.64	9.91	100.0	100.0		
					0	0		

表 4.8 选矿废水锌精选试验结果

水样	产品名称	产率	品位(%)		回收率(%)		富集比
		(%)	Pb	Zn	Pb	Zn	
生产清水	锌精矿	11.534	0.87	56.6	2.05	66.34	1.09
	锌精二尾	2.915	1.41	33.8	0.84	10.01	
	锌精一泡	14.449	0.98	52	2.89	76.35	1.26
	锌精一尾	4.88	1.3	9.3	1.3	4.61	
	锌粗泡	19.328	1.06	41.22	4.19	80.96	3.97
	锌粗尾	58.834	0.46	0.26	5.53	1.57	
	锌粗给矿	78.162	0.61	10.39	9.72	82.53	
100%选矿废水	原矿	100	4.89	9.84	100	100	
	锌精矿	10.682	0.84	57.2	1.88	62.96	1.07
	锌精二尾	3.123	1.3	41.35	0.85	13.31	
	锌精一泡	13.805	0.94	53.61	2.73	76.27	1.26
	锌精一尾	4.589	1.42	9.65	1.37	4.56	
	锌粗泡	18.394	1.06	42.65	4.1	80.83	4.17
	锌粗尾	60.293	0.50	0.35	6.32	2.16	
	锌粗给矿	78.687	0.63	10.23	10.42	82.99	

	原矿	100	4.77	9.7	100	100
50% 锌尾水	锌精矿	10.913	0.83	56.95	1.9	64.09
	锌精二尾	2.744	1.26	40.75	0.73	11.53
	锌精一泡	13.657	0.92	53.69	2.63	75.62
	锌精一尾	4.467	1.38	9.9	1.29	4.56
	锌粗泡	18.124	1.03	42.9	3.92	80.18
	锌粗尾	60.242	0.48	0.33	6.05	2.04
	锌粗给矿	78.366	0.61	10.18	9.97	82.22
	原矿	100	4.77	9.7	100	100

试验对比结果可见，使用生产清水、100%选矿废水与50%的选矿废水比较，锌精选的锌品位和每个作业的富集比与生产清水的相当，使用选矿废水的锌精矿回收率稍低，主要是在第二次精选反应出来，但综合品位与回收率，并非水的影响所致。由此可见，选矿废水在锌矿物浮选中的影响是微小的。

4.4 本章小结

本章节的浮选试验研究表明，选矿废水对铅锌浮选有其特有的浮选特性，与生产清水对比有一定的差异，小结如下几点：

- (1). 选矿工艺过程中各点排出的选矿废水尽管大部分pH值较高，含固体悬浮物多，但经过澄清净化处理后，除硫尾水外，浮选试验结果表明，铅锌粗选指

标基本能达到生产清水的水平，可以作为铅锌浮选工艺的用水。

(2). 选矿废水对铅锌浮选的特征主要表现在粗选中的铅锌品位较高、回收率较低，同时还在铅的粗选中，锌的上浮率较小，在锌粗选中，与生产用水差别不大。

(3). 选矿废水对铅锌铁的浮选速度特征是：速度规律与生产清水相同，但开始1-2分钟上浮速度稍慢，而3分钟后能使铅锌金属逐渐上浮完全；50%选矿废水和絮凝剂处理的废水浮选速度比100%选矿废水要快，较接近生产用水的水平。

(4). 选矿废水在铅精选中的浮选富集效果较差、铅品位难于提高，主要原因是选矿废水中含有残余浮选药剂，铅锌浮选泡沫粘性较大，铅锌铁分离效果较差等影响。

第五章 选矿废水浮选药剂用量条件试验

选矿废水水质质量差，通过澄清净化处理后，废水中仍然含有残余药剂和部分离子，回用对铅锌浮选过程有什么影响？本章节针对使用选矿废水后，改变浮选药剂用量条件，考查铅锌浮选的特征，寻求最佳的药剂用量技术条件，达到在使用选矿废水时仍然获得好的铅锌浮选效果与指标。

5.1 铅粗选药剂条件试验

5.1.1 石灰用量条件试验

选矿废水 pH 值高，含有机和无机物质多，综合回用后首先考虑在铅锌粗选中，石灰用量对铅、锌、铁浮选影响作用，进行石灰用量条件试验。

(1) 100%选矿废水与清水对比试验

取用 100% 的选矿废水，进行石灰用量条件对比试验，试验流程和药剂制度见下图 5.1 所示，试验结果见表 5.1。

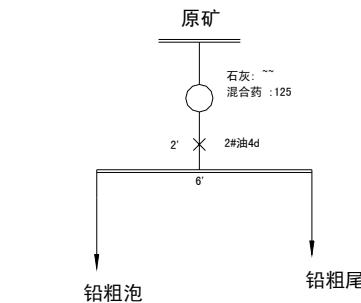


图 5.1 铅粗选石灰用量试验流程示意图

表 5.1 选矿废水与清水铅粗选 CaO 的条件试验结果

试验水样	石灰用量 kg/t	矿浆		产率 (%)	铅粗泡		原矿	
		耗酸 ml	PH 值		Pb	Zn	Pb	Zn
清水	1	0.10	10.72	37.209	10.20	10.20	91.24	38.88
	3	4.58	12.08	17.839	21.90	16.50	91.35	29.90
	5	11.6	12.48	15.684	24.35	12.10	90.24	19.32
	7	16.4	12.57	14.803	25.20	11.40	90.31	17.10
废水 (耗酸 3.4ml)	1	1.20	11.50	26.549	14.25	21.60	90.99	57.38
	3	8.00	12.32	17.263	22.80	16.10	90.49	28.21
	5	16.1	12.57	15.361	24.80	11.80	90.18	18.56

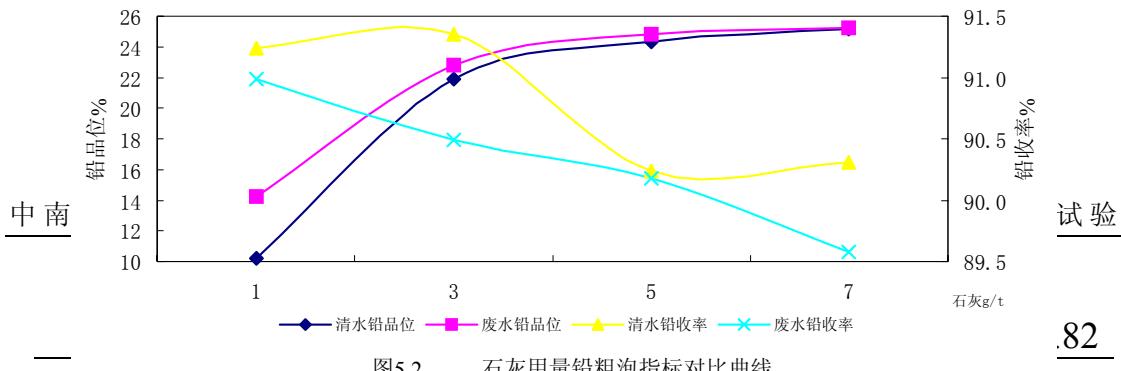


图5.2 石灰用量铅粗泡指标对比曲线

.82

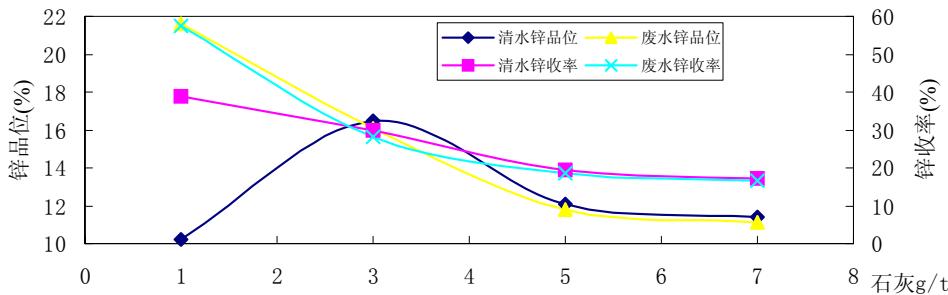


图5.3 石灰用量铅粗泡含锌指标

试验结果可见（曲线图 5.2、图 5.3），石灰用量对铅浮选的影响规律性相同，随石灰用量加大，铅品位上升趋于平稳，铅回收率逐渐下降，铅粗泡含锌的回收率都随石灰用量加大而降低。但是，有两点明显不同，第一是选矿废水的铅品位和回收率变化率较小，清水的变化率大；第二是使用废水时，在石灰量不够条件下，铅粗泡含锌量多，随着石灰用量增加，其含锌量较少。

(2) 50%选矿废水与清水对比试验

使用 50% 选矿废水与清水，进行铅粗选石灰用量对比试验，试验流程与药剂制度见图 5.4，试验结果见下表 5.2。

试验结果可见，使用选矿废水与清水，对铅锌铁的浮选分离规律几乎相同。随石灰用量加大，主要表现为铅品位上升，含锌品位下降，回收率变化不大。

综合比较结果，使用 50% 选矿废水比 100% 的选矿废水，铅粗选中铅、锌、铁的分离效果要好，与清水对比，石灰用量可适当减少 10–25%（约 1kg/t）。

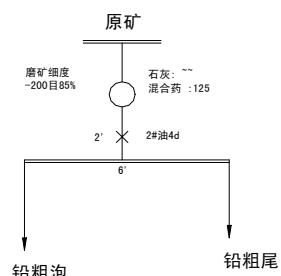
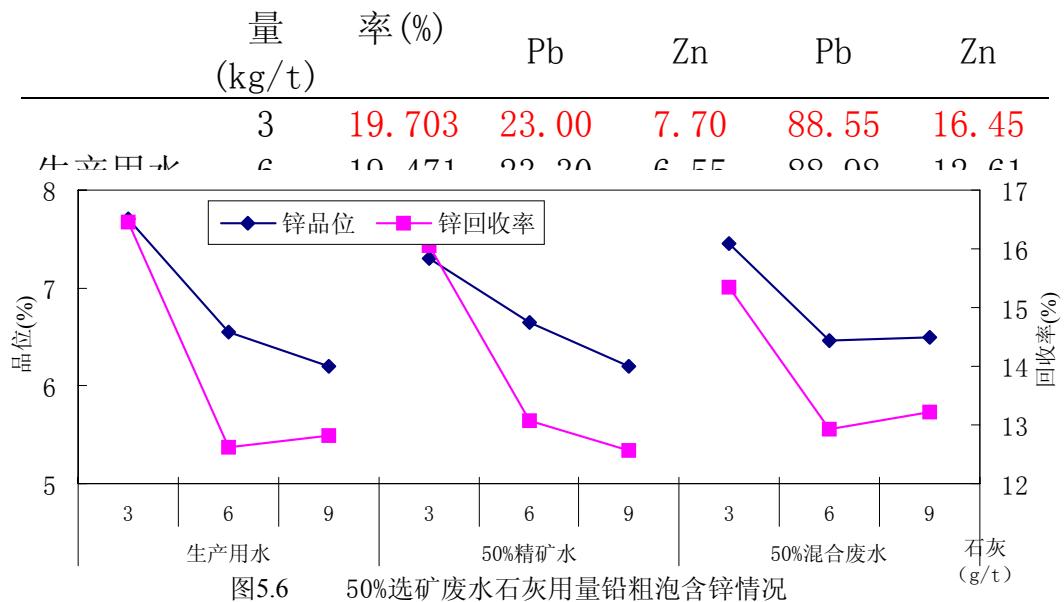


图5.4 铅粗选石灰用量试验流程示图

表 5.2 石灰用量 50% 选矿废水铅粗选泡沫指标

水 样	石 灰 用 量	铅 粗 产 品	品 位	回 收 率
-----	---------	---------	-----	-------



5.1.2 捕收剂条件试验

分别使用 100%、50% 选矿废水及现场生产用水（即清水），在铅粗选中进行捕收剂用量对比试验，研究捕收剂用量变化对铅粗选的变化特征。

(1) 100% 选矿废水与清水对比试验

试验流程与药剂制度见图 5.7，试验过程是在球磨机内加入使用水样和对应的混合捕收剂用量，混合捕收剂用量是乙硫氮和丁黄药按 1:1 比例配制，按图示中作业顺序进行操作，使用 100% 选矿废水与生产清水两种水样进行对比试验，试验结果见列表 5.3。浮选指标分析曲线见图 5.8。

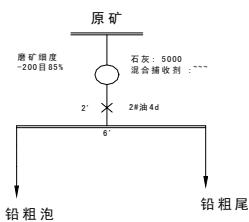


图 5.7 铅粗选捕收剂用量试验流程示意图

表 5.3 选矿废水铅粗选捕收剂用量试验结果

水 样	捕 收 剂 用 量 (g/t)	原 矿 品 位 (%)		铅 粗 泡 (%)			
				品 位		回 收 率	
		Pb	Zn	产 率	Pb	Zn	Pb
生产用水	75	4.68	10.38	14.026	28.10	7.20	84.20
							9.73

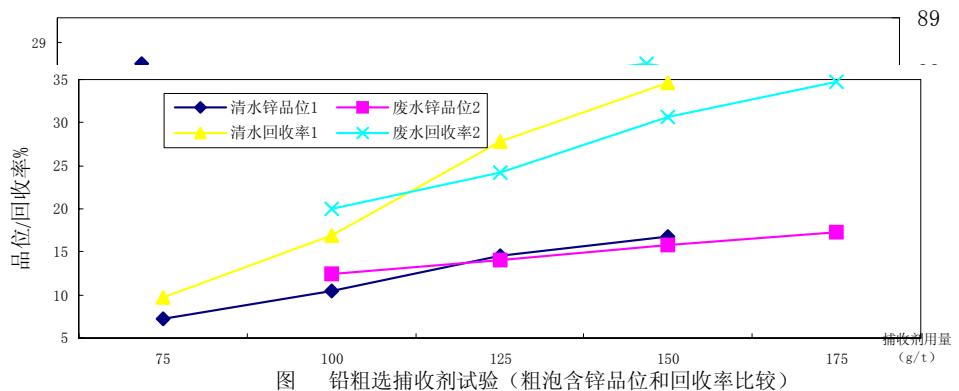


图 5.8 铅粗选捕收剂用量试验结果曲线

结果可见，随铅粗选捕收剂用量加大，铅品位下降、回收率上升，两者规律性基本相同。而使用废水的铅品位和收率的指标相对较好，主要是选矿废水含残余药剂起作用，品位变化率较平稳。

(2) 50%选矿废水与清水对比试验

使用几种50%选矿废水与生产用水，进行铅粗选捕收剂用量对比试验，试验流程与药剂制度与图5.7相同，试验结果见下表5.4和图示：

表 5.4 50%选矿废水铅粗选捕收剂用量试验对比结果

水 样	捕收剂 (g/t)	产率(%)	品位 (%)		回收率 (%)	
			Pb	Zn	Pb	Zn
生产用水	120	24.590	19.00	10.55	91.04	25.79
	90	20.700	22.15	7.80	89.62	16.05
	70	19.470	23.30	6.55	88.98	12.61
	50	16.157	27.10	5.30	84.75	9.10
50%锌尾水	120	26.650	17.55	10.90	91.93	28.67
	90	21.800	20.90	8.05	89.97	18.18
	70	20.000	22.95	6.95	90.11	13.75
	50	17.860	24.60	5.50	86.71	10.45
50%精矿水	120	26.170	18.00	11.70	91.53	29.62
	90	21.200	21.45	7.80	90.02	16.73
	70	19.180	22.25	6.65	88.59	13.07
	50	18.220	24.50	5.50	87.08	10.97

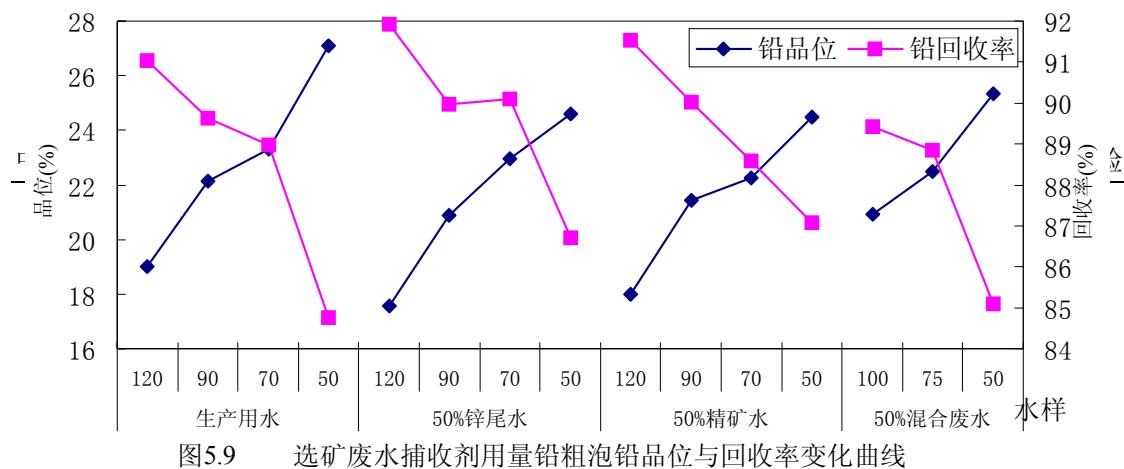


图5.9 选矿废水捕收剂用量铅粗泡铅品位与回收率变化曲线

试验结果可见，使用50%的选矿废水对比生产清水，铅粗泡的铅品位稍低，而回收率稍高，随捕收剂用量减少，规律性相同。同等铅浮选指标比较，使用50%选矿废水的捕收剂用量则可少5—10克/吨（即少10%）。

使用100%、50%选矿废水与生产用水，对比捕收剂用量试验结果表明：(1) 随捕收剂用量变化，铅粗选指标变化规律相同；(2) 使用选矿废水铅粗选上浮7大，泡沫粘性大，同等用量时指标较好；(3) 获得同等铅指标时，使用选矿废水可减少捕收剂用量，通常可减少5—10%的用量t。

5.1.3 2#油用量试验

选矿废水含有2#油的残余量，安排2#油用量对比试验，试验流程与药剂制度见图5.10，试验结果列表5.5。

试验结果可见，选矿废水中残余的2#油对铅粗选影响规律与清水的近似，都有随2#油用量加大，铅品位由高到低，然后又上升，回收率则是慢慢升高。同时还可以看出，在同等2#油用量条件下，选矿废水的铅品位低而回收率高，说明残余的2#油起了作用。

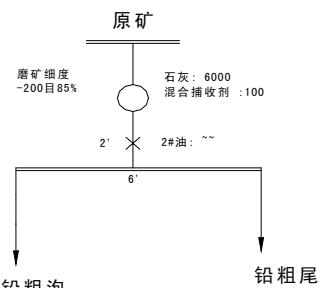
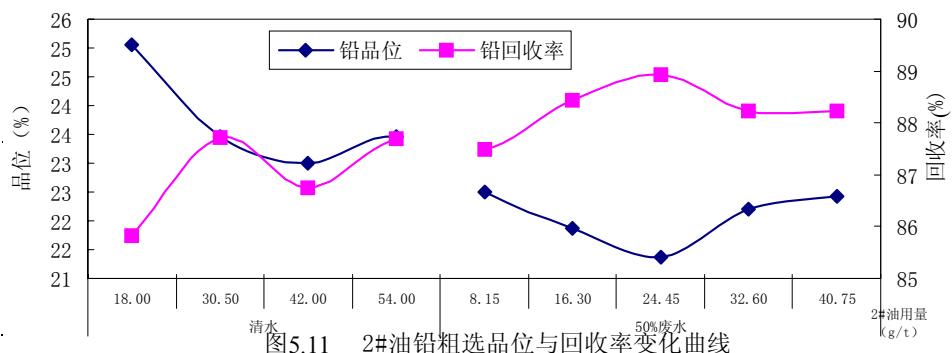


图5.10 2#油用量试验流程示意图

表5.5 铅粗选2#油用量试验结果

水样	2#油 (g/t)	原矿			铅粗泡				
		Pb	Zn	产率 (%)	Pb	Zn	Pb	Zn	
50%废水	24.45	4.76	9.23	18.499	22.50	6.08	87.49	12.18	
	16.30	4.75	9.29	19.193	21.88	6.30	88.43	13.02	



5.2 锌粗选药剂条件试验

本节研究锌粗选在 100%、50%选矿废水和生产用水三种不同水样条件下，进行石灰、丁黄药和硫酸铜用量对比试验，考查药剂变化量对锌浮选的变化规律，寻求适宜的药剂用量条件。

鉴于锌粗选是继铅粗选、扫选的延续过程，是进行锌、铁分离的浮选阶段。在铅、锌分离浮选过程中，使用选矿废水的锌金属上浮较少等情况，因此，本节重点考虑锌给矿与锌粗选的关系。

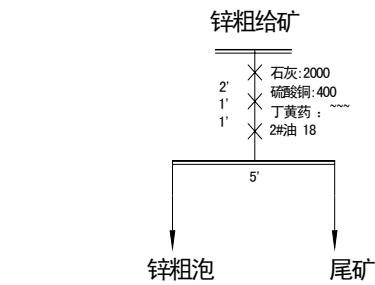


图5.12 锌粗选捕收剂用量试验流程图

5.2.1 丁黄药用量试验

(1) 100%选矿废水

锌粗选试验流程和药剂制度见图 5.12，使用 100%选矿废水与生产用水对比试验结果见表 5.8。

试验结果可见，锌粗选中随丁黄药用量增加，锌品位和作业回收率的变化规律几乎相同，都有一个药剂峰值点，超过峰值点后，锌品位和作业回收率都有所下降。同时可以看到，选矿废水的锌回收率相对下降较缓慢。

表 5.6 锌粗选丁黄药用量试验结果(作业回收率计)

水样	丁黄药	锌粗给矿	锌粗泡
----	-----	------	-----

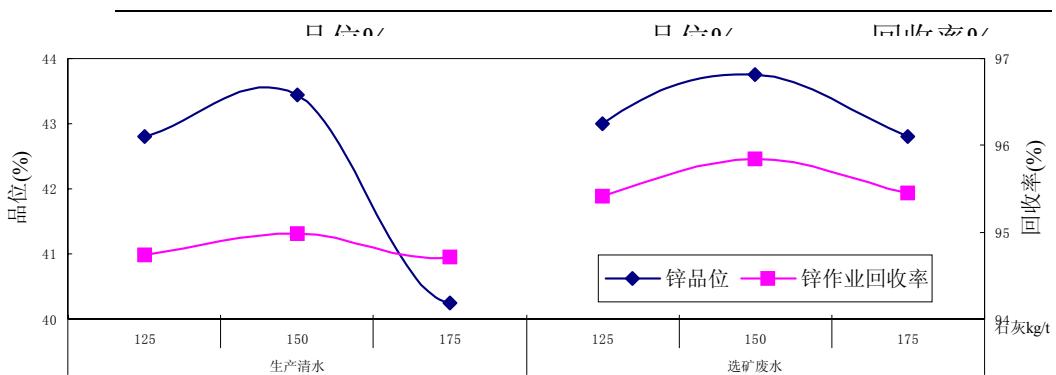


图5.13 锌粗选丁黄药用量锌品位与作业回收率变化曲线

(2) 50%选矿废水

使用50%混合选矿废水和单独锌尾水进行丁黄药用量对比试验，试验流程和药剂制度见图5.12，试验结果见表5.7。

试验结果可见，这两种废水对锌的浮选有小的差别。随丁黄药用量增加，锌作业回收率增加至平稳，混合废水的锌品位变化不大，锌尾水降低较明显。说明锌尾水含有较多的残余药剂在起作用。

表 5.7 50%选矿废水丁黄药用量对比试验结果

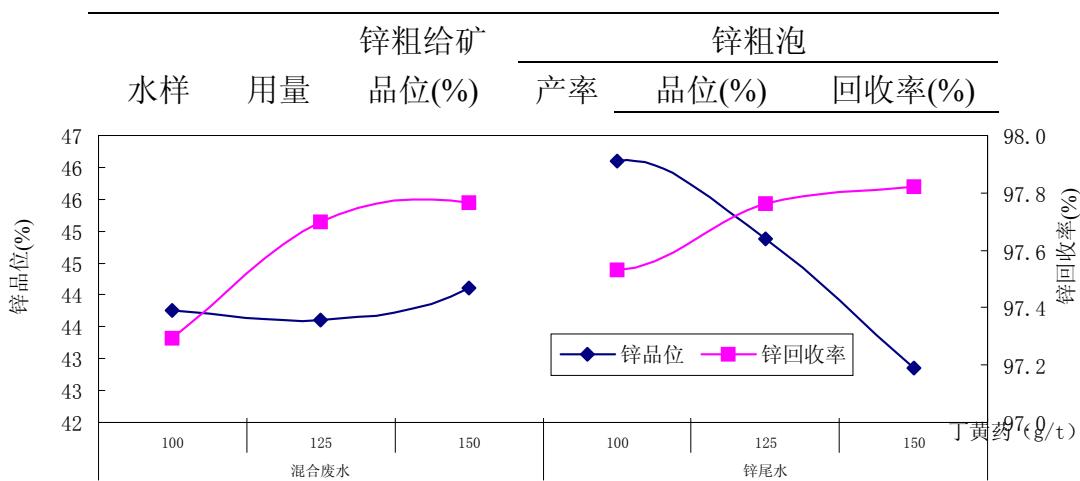


图5.15 50%选矿废水锌粗选丁黄药用量对比曲线

5.2.2 锌粗选石灰用量试验

锌粗选石灰用量及药剂制度

锌粗给矿

石灰:~~~
硫酸铜:400
丁黄药:150
2#油 18



图5.16 锌粗选石灰用量试验流程图

见试验流程图 5.16 进行, 试验结果见表 5.8.

选矿废水与清水对比可见, 石灰对锌粗选影响规律相近, 加入石灰过多, 锌品位和回收率都有小的下降, 而在石灰为 2kg/t 时, 有一峰值, 可见石灰用量一 2kg/t 即可。

表 5.8 锌粗选石灰用量试验结果

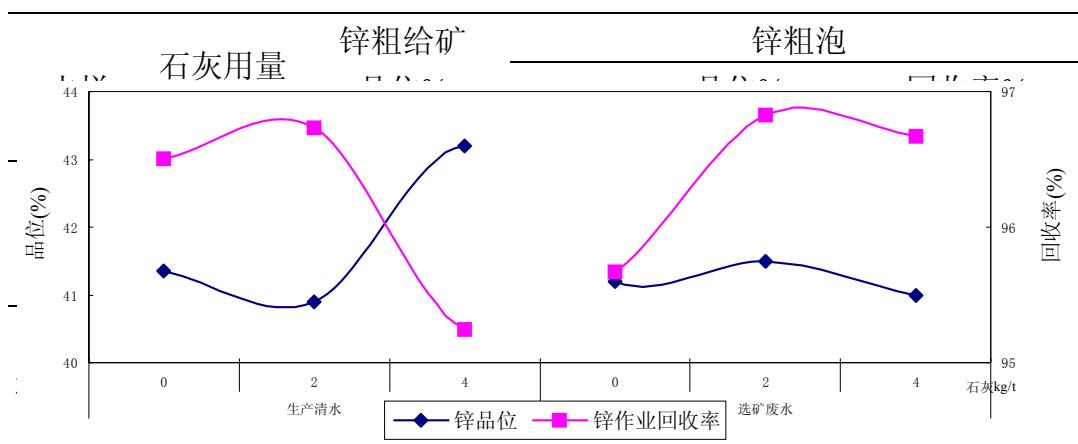


图5.17 锌粗选石灰用量锌品位与作业回收率变化曲线

5.2.3 硫酸铜用量试验

(1) 100% 选矿废水

锌粗选硫酸铜用量试验流程和药剂制度见图 5.18, 试验结果见表 5.9.

从试验结果可见, 硫酸铜从 100 到 300g/t 变化时, 相比而言, 生产用水锌粗泡锌品位与回收率变化不大, 而选矿废水变化大, 尤其时锌作业回收率。表明, 选矿废水的硫酸铜用量可稍大。对比结果见表 5.10 及图 5.19 所示。

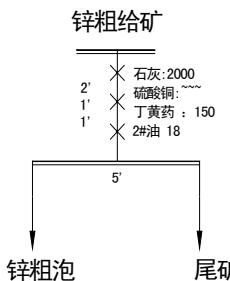


图5.18 锌粗选硫酸铜用量试验流程图

表 5.9 锌粗选硫酸铜用量试验结果

试验水样	硫酸铜量 (g/t)	锌粗给矿		锌粗泡	
		品位	产率	品位	作业回收率
清水	100	41.5	95.8	41.5	95.8
选矿废水	100	41.2	95.8	41.5	95.8
清水	200	43.5	96.5	42.5	96.5
选矿废水	200	41.2	96.5	42.5	96.5
清水	300	43.5	96.8	42.5	96.8
选矿废水	300	41.2	96.8	42.5	96.8

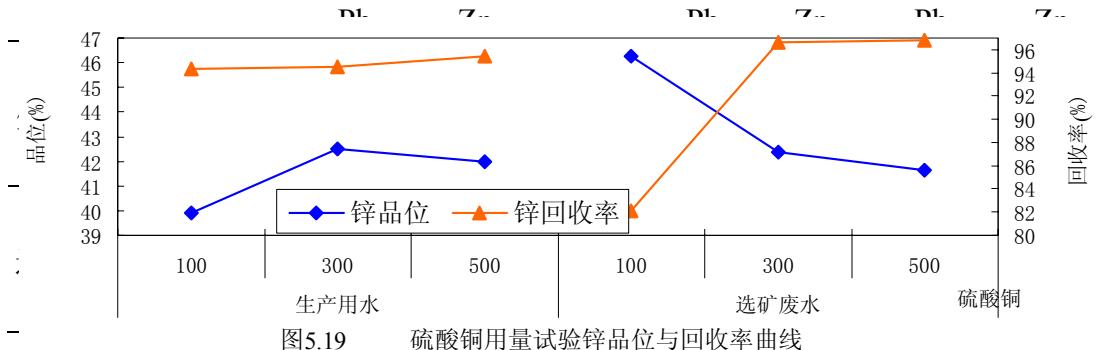


图5.19 硫酸铜用量试验锌品位与回收率曲线

表 5.10 各种废水锌粗选硫酸铜用量试验结果

试验水样	硫酸铜用量 (g/t)	锌粗选给矿			锌粗泡		
		Pb	Zn	产率%	Pb	Zn	回收率%
生产用水	100	0.56	7.92	18.72	0.90	39.90	30.21
	300	0.55	7.73	17.20	0.85	42.50	26.45
	500	0.55	7.62	17.31	0.91	42.00	28.46
选矿废水	100	0.60	9.76	16.10	0.75	46.35	20.16
	300	0.60	9.56	16.00	0.75	46.35	20.16
	500	0.60	9.46	16.00	0.75	46.35	20.16

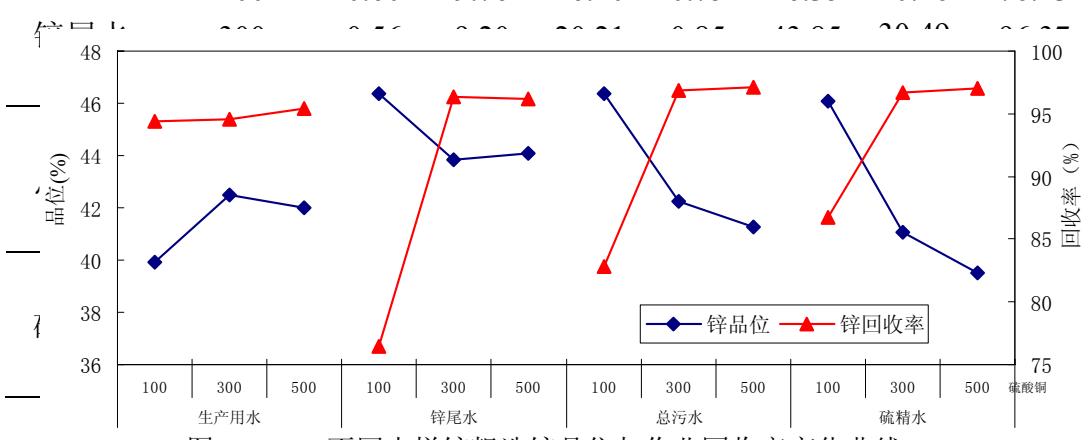
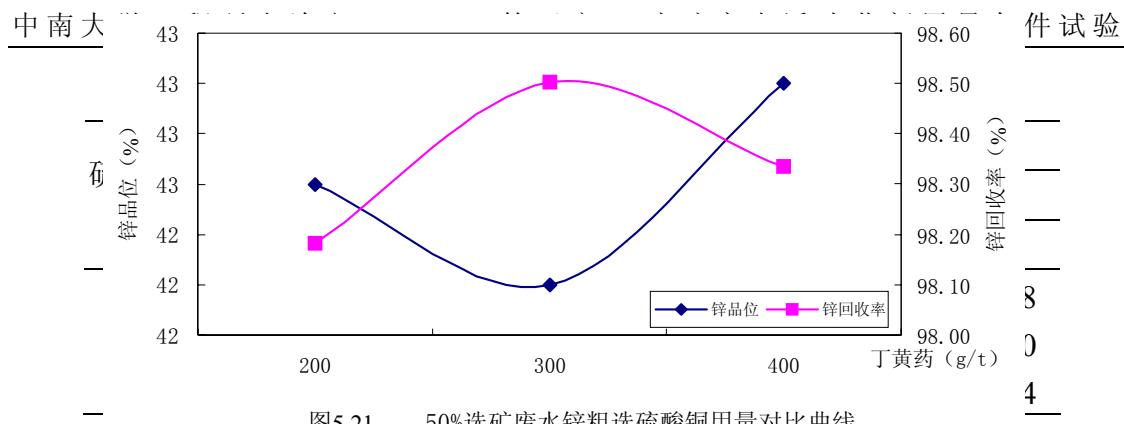


图5.20 不同水样锌粗选锌品位与作业回收率变化曲线

(2) 50%选矿废水

使用 50%混合废水时对选锌的影响，试验流程见图 5.18，试验结果见表 5.11。可见，降低选矿废水成分时，硫酸铜用量对锌的影响与使用生产用水的规律性相同，较佳的硫酸铜用量为 300 克/吨。

表 5.11 50%选矿废水硫酸铜用量试验结果



5.3 本章小结

本节通过对浮选药剂用量对比试验的研究，结果表明有如下特点：

- (1) 使用 100%、50% 的选矿废水与生产用水对比试验表明，随石灰、捕收剂、硫酸铜、2#油浮选药剂用量变化，铅锌浮选的变化规律相近；
- (2) 随着选矿废水占有率降低，在浮选药剂用量的变化时，铅锌浮选的变化规律愈接近于生产用水的变化规律，表明，选矿废水进行稀析处理有助于降低选矿废水带来的影响。
- (3) 各种试验研究表明，要获得同等的铅锌技术指标，使用选矿废水的石灰、捕收剂、2#油可减少 10-20% 的用量，硫酸铜需要适量增加。

第六章 提高选矿废水浮选回用效果试验研究

前面章节探讨研究了回用各点选矿废水对铅锌浮选的行为特征、使用综合选矿废水对铅锌浮选行为的变化、在铅锌精选作业富集情况，以及随浮选药剂用量的变化规律等。本章围绕回用选矿废水后，根据浮选过程作业的连续性和不断使用补加水（如冲泡洗水）等特点，采用配比使用选矿废水、调整浮选药剂制度及在精选作业添加补加水等作为研究对象，寻求最佳回用技术措施，提高铅锌分选与富集效果，并使用新技术措施，模拟现场工艺生产流程，进行全开路和闭路试验，比较使用不同水样的铅锌技术指标。

6.1 配比使用选矿废水试验研究

选矿废水杂质含量及排放量都极不稳定，自然给回用选矿废水带来一定的困难。为此综合考虑实际使用选矿废水的可行条件，在铅锌浮选工艺过程中，进行选矿废水配比使用，即选矿废水与生产用水配入适当比例进行使用，如此一方面可减少选矿废水含杂成分

带来的水质影响，另一方面可以稳定工艺过程的用水稳定性，以此提高回用选矿废水后，使铅锌生产指标得到稳定和提高。试验流程与药剂制度见图 6.1 所示，试验结果列表 6.1。

试验结果可见，绘曲线图 6.2，随着选矿废水占有率的降低，铅粗选铅回收率不断提高，铅品位基本不变，铅粗泡含锌的品位与回收率有小的变化。可见适当减少选矿废水在浮选工艺中的占有率，对铅的浮选效果有较好的作用。综合考虑，使用选矿废水占有率在 50—75% 范围时，铅锌分选不受影响。

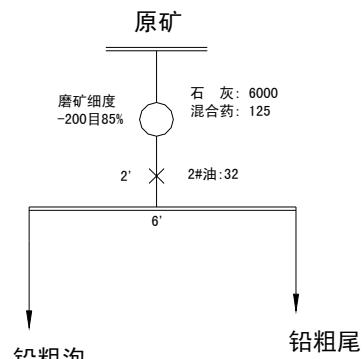


图 6.1 选矿废水比例铅粗选试验流程示意图

表 6.1 选矿废水不同配比铅粗选试验结果

选矿废 水占有 率%	给 矿		铅粗泡		回收率%		
	Pb	Zn	产率%	Pb	Zn	Pb	Zn
100	4.86	9.42	16.747	25.55	5.55	88.01	9.87
50	4.78	9.50	16.897	25.00	5.80	88.35	10.32
30	4.91	9.63	17.002	25.50	5.65	88.33	9.97
0	4.87	9.59	17.937	24.15	5.90	88.89	11.03

6.2 调整浮选药剂制度技术研究

6.2.1 调整部分药剂用量、提高铅锌分选效果

在第五章节有关浮选药剂的试验研究中，可以看到，选矿废水中含有部分残余药剂，废水 pH 值高于 11，在铅锌分选过程中回用选矿废水，部分药剂可以适当减少，同样可以提高铅锌的浮选与富集效果，并可以对浮选药剂用量作出进行如下调整：

2#油用量：比使用生产清水时减少 10—30%；

捕收剂用量：可减少 5—10%；

石灰用量：比使用生产清水时减少 10—20%；

硫酸铜用量：与使用生产清水时相同，或适当增加 5%；

DS 用量：比使用清水时增加 10—25%。

上述结论在后面的铅锌浮选开路试验和闭路试验中得到证实。

6.2.2 增加 DS 抑制剂、强化铅精选效果

鉴于使用选矿废水对铅精选的富集效果较差，充分发挥 DS 抑制剂对铁的抑制作用，在铅精选一、铅精选四作业添加 DS 抑制剂，进行的试验结果表明，

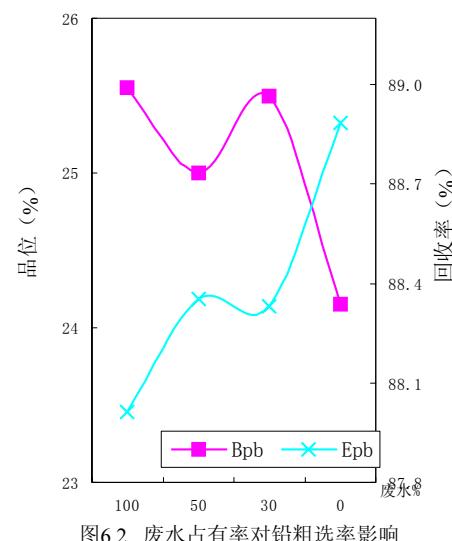


图 6.2 废水占有率对铅粗选率影响

使用 100%的选矿废水，在铅精选一作业加入 DS100 克/吨以上，可使铅精矿品位提高，部分试验结果（铅精矿最终铅品位）见下表 6.2。

表 6.2 铅精选一不同 DS 用量试验结果

水样	产率 (%)	铅精选三泡品位 (%)		回收率 (%)		铅精一作业 DS 用量
		Pb	Zn	Pb	Zn	
混合废水	3.873	71.50	1.95	63.52	0.76	200g/t
混合废水	3.480	67.50	2.05	53.15	0.73	100g/t
混合废水	3.680	58.50	2.85	56.15	1.73	0g/t
锌尾水	3.501	62.25	2.70	47.93	0.96	100g/t

6.3 调整补加水, 提高铅精选效果

根据现场浮选工艺流程特征，为解决铅品位受选矿废水影响铅精选品位难提高的问题，在不同作业使用不同补加水的操作方法，进行铅快速浮选部分开路试验，试验工艺流程见图 6.3。试验结果见表 6.3。

试验结果可见，在快速浮选中，调整石灰用量和补加水，可提高铅精矿的品位。用水水样即为在球磨和浮选矿浆中的水样，新水为现生产用水。

表 6.3 不同补加水铅快速浮选开路试验

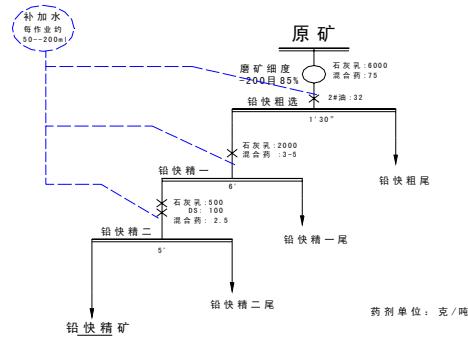


图 6.3 单铅快速浮选开路试验流程

用水水样	补加水情况	快精矿	结果		产率 %	品位% Pb	回收率% Pb	回收率% Zn
			快粗+快精 1+快精 2	%				
铅快精矿								
			1	2.990	71.09	2.13	46.43	0.67
废水								
	废水+废水+废水		2	3.040	71.10	2.10	46.78	0.68
铅快精矿								
			3	3.015	71.10	0.18	46.60	0.68

			铅快精矿					
废水	废水+废水+新水		1	2.910	71.00	2.10	45.88	0.65
			铅快精矿					
			2	2.860	72.10	1.95	45.07	0.59
废水	废水+新水+新水		铅快精矿					
			3	2.885	71.55	0.16	45.48	0.62
			铅快精矿					
废水	废水+新水+新水		1	2.780	72.10	1.90	44.49	0.58
			铅快精矿					
			2	3.100	73.10	2.05	49.35	0.68
新水	新水+新水+新水		铅快精矿					
			3	2.940	72.63	0.16	46.92	0.63
			铅快精矿					
新水	新水+新水+新水		1	3.15	69.70	2.30	48.23	0.77
			铅快精矿					
			2	2.90	72.50	1.95	45.95	0.62
新水	新水+新水+新水		铅快精矿					
			3	3.03	71.04	0.18	47.09	0.70
			铅快精矿					

6.4 选矿废水全开路试验

基本确定选矿废水回用于铅锌浮选试验的技术措施后，应用凡口传统高碱铅锌优先浮选工艺流程，分别使用 100%、75%、50% 选矿废水以及加絮凝剂处理的选矿废水与生产用水，各水样情况见表 6.4，进行全开路流程的对比试验，主要是比较在各种用水样、相应的药剂制度、补加水等不同的技术条件和在同等操作技术水平等条件下进行试验，基本的工艺流程和药剂制度见图 6.4，试验结果见表 6.5、表 6.6。

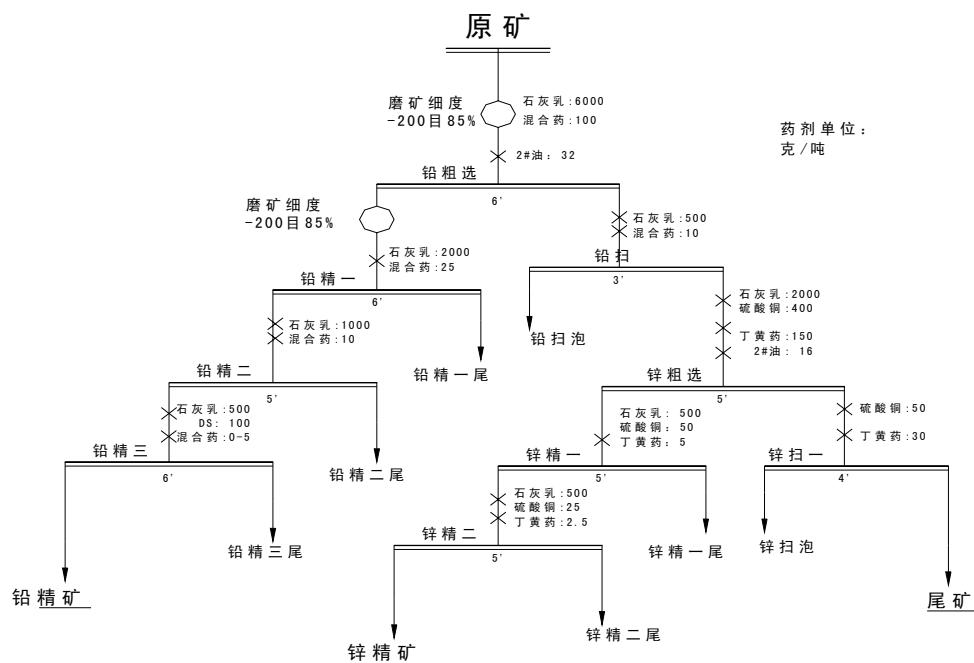


图 6.4 铅锌优先浮选工艺全开路试验与药剂制度

试验结果可见，在铅锌浮选工艺过程中使用各种水样有如下特征：

- (1) 使用 50-100% 的选矿废水与生产用水比较，铅锌全开路指标同期可比，最终铅精矿、锌精矿的指标都达到较高水平，锌尾矿较低。
- (2) 使用澄清的选矿废水，尽管处理方式不同，但在铅锌浮选工艺过程中，获得的铅锌指标都较好，说明在铅锌浮选工艺中回用选矿废水的技术可行。

表 6.4 试验使用水样状况分析

水样	水样处理与水质状况分析
50%选矿废水	沉淀处理，无微粒，微灰黄色，有少量悬浮状物，耗酸滴定 $50\text{H}_2\text{SO}_4$ 量为 2.2ml， $\text{pH}=11.76$ 。
100%选矿废水	沉淀处理，无微粒，微灰黑色，有少量悬浮状物，耗酸滴定 $50\text{H}_2\text{SO}_4$ 量为 4.4ml， $\text{pH}=12.06$ 。
生产用水	清澈，无色， $\text{pH}=7.2$

50%选矿废水 (絮凝剂处理)	加入3#絮凝剂(3.75g/t水)沉淀处理,清澈,无悬浮物,耗酸滴定50H ₂ SO ₄ 量为4.4ml, pH=12.06。
75%选矿废水 (絮凝剂处理)	加入3#絮凝剂(3.75g/t水)沉淀处理,清澈,无悬浮物,耗酸滴定50H ₂ SO ₄ 量为3.0ml, pH=11.90。

表 6.5 不同水样的开路试验结果

产品名称	50%选矿废水					100%选矿废水					生产用水				
	产率 (%)	品位(%)		回收率(%)		产率 (%)	品位(%)		回收率(%)		产率 (%)	品位(%)		回收率(%)	
		Pb	Zn	Pb	Zn		Pb	Zn	Pb	Zn		Pb	Zn	Pb	Zn
铅精矿	3.824	70.40	2.20	56.44	0.87	3.803	70.95	2.10	56.62	0.82	3.904	73.40	2.00	58.63	0.79
铅精三尾	3.569	29.40	5.10	22.00	1.88	3.727	28.20	5.35	22.05	2.06	2.028	32.20	6.20	13.36	1.28
铅精二泡	7.393	50.61	3.60	78.44	2.74	7.530	49.79	3.71	78.67	2.88	5.932	59.31	3.44	71.99	2.07
铅精二尾	3.493	8.45	7.90	6.19	2.84	3.510	8.95	7.80	6.59	2.82	2.852	16.45	8.30	9.60	2.41
铅精一泡	10.886	37.08	4.98	84.63	5.59	11.040	36.81	5.01	85.26	5.70	8.783	45.40	5.02	81.58	4.48
铅精一尾	7.138	1.86	9.40	2.78	6.91	7.096	1.73	9.75	2.58	7.14	9.442	3.35	8.30	6.47	7.96
铅粗泡	18.024	23.13	6.73	87.41	12.50	18.137	23.08	6.86	87.83	12.84	18.226	23.61	6.72	88.06	12.44
铅扫泡	3.289	3.15	13.30	2.17	4.51	3.497	3.00	13.70	2.20	4.94	3.612	3.00	13.70	2.22	5.03
锌精矿	10.682	0.84	57.20	1.88	62.96	10.913	0.83	56.95	1.90	64.09	11.534	0.87	56.60	2.05	66.34
锌精二尾	3.123	1.30	41.35	0.85	13.31	2.744	1.26	40.75	0.73	11.53	2.915	1.41	33.80	0.84	10.01
锌精一泡	13.805	0.94	53.61	2.73	76.27	13.657	0.92	53.69	2.63	75.62	14.449	0.98	52.00	2.89	76.35
锌精一尾	4.589	1.42	9.65	1.37	4.56	4.467	1.38	9.90	1.29	4.56	4.880	1.30	9.30	1.30	4.61
锌粗泡	18.394	1.06	42.65	4.10	80.83	18.124	1.03	42.90	3.92	80.18	19.328	1.06	41.22	4.19	80.96
锌扫泡	2.231	1.53	3.40	0.72	0.78	2.170	1.51	2.95	0.69	0.66	2.281	1.45	2.30	0.68	0.53
尾矿	58.062	0.46	0.23	5.60	1.38	58.073	0.44	0.23	5.36	1.38	56.553	0.42	0.18	4.86	1.03
原矿	100.0	4.77	9.70	100.0	100.0	100.0	4.77	9.70	100.0	100.0	100.0	4.89	9.84	100.0	100.0

表 6.6 加絮凝剂处理的水样开路试验结果

产品名 称	50%选矿废水					75%选矿废水				
	产率 %	品位 (%)		回收率 (%)		产率 %	品位 (%)		回收率 (%)	
		Pb	Zn	Pb	Zn		Pb	Zn	Pb	Zn
铅精矿	4.067	70.45	2.10	61.55	0.87	3.807	68.70	2.15	55.22	0.85
铅精三尾	3.374	18.50	6.50	13.41	2.24	3.959	28.45	5.35	23.78	2.20
铅精二泡	7.442	46.89	4.10	74.96	3.12	7.766	48.18	3.78	79.00	3.05
铅精二尾	5.132	9.00	7.80	9.92	4.09	3.807	7.70	7.85	6.19	3.11
铅精一泡	12.57					11.57				
铅精一尾	4	31.43	5.61	84.88	7.21	2	34.86	5.12	85.19	6.16
铅精一粗	8.853	1.83	9.90	3.48	8.96	7.182	1.58	9.70	2.40	7.24
铅粗泡	21.42					18.75				
铅扫泡	7	19.20	7.38	88.36	16.17	4	22.12	6.87	87.59	13.40
锌精矿	3.605	2.75	14.55	2.13	5.36	3.616	3.10	14.80	2.37	5.56
锌精二尾	10.20					11.16				
锌精一泡	0	0.83	55.17	1.82	57.54	6	0.83	56.20	1.96	65.24
锌精一尾	13.53					13.51				
锌精一粗	6	0.93	50.44	2.69	69.82	4	0.90	52.59	2.58	73.88
锌精一尾	6.941	1.17	8.95	1.74	6.35	5.266	1.37	9.70	1.52	5.31
锌粗泡	20.47					18.77				
锌扫泡	7	1.01	36.38	4.44	76.17	9	1.04	40.56	4.10	79.19
锌扫	2.528	1.33	3.10	0.72	0.80	2.715	1.47	2.40	0.84	0.68

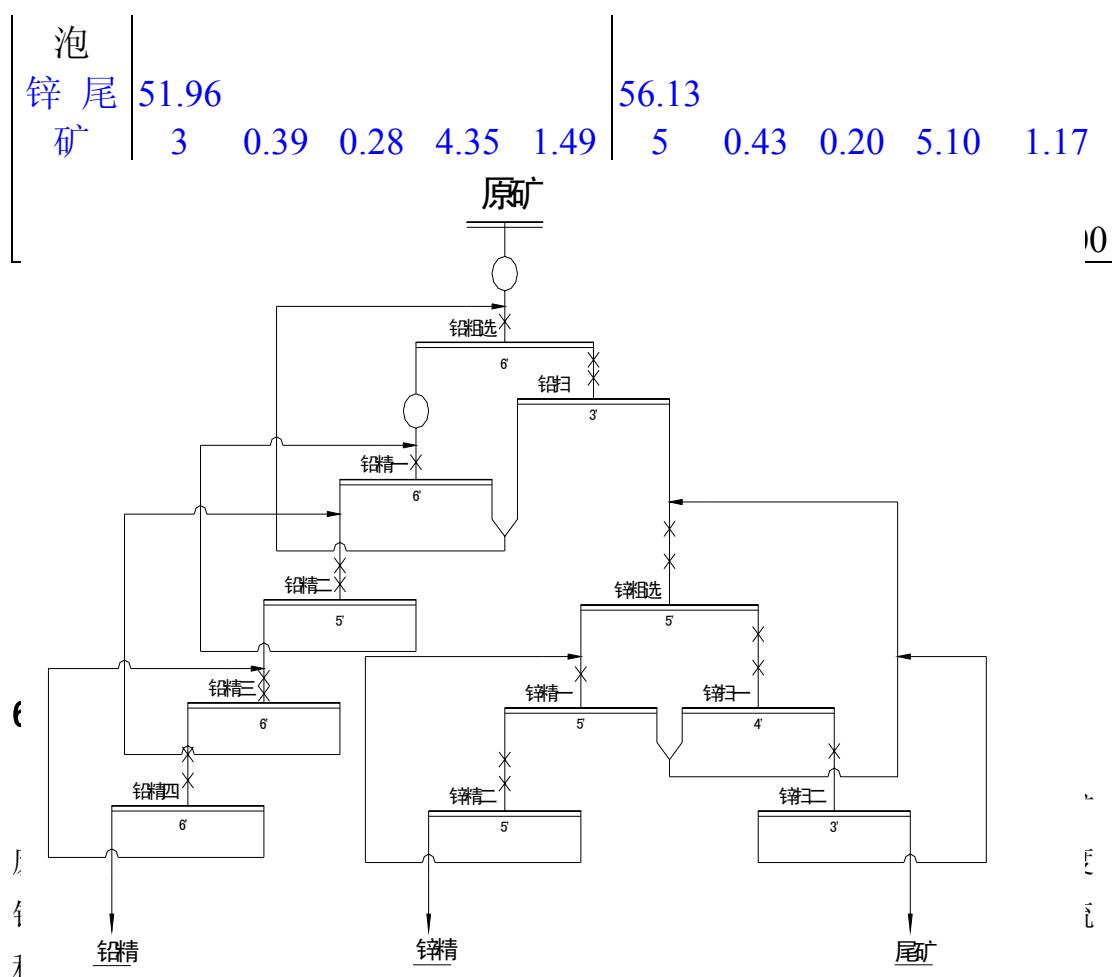


图6.5 锌精优先浮选工艺闭路式试验流程

试验结果可见，使用选矿废水的铅锌闭路试验指标与同期使用生产用水的指标相当。由此可知，选矿废水完全可回用于铅锌浮选工艺，较佳的使用方法是在浮选工艺过程中使用50~75%的选矿废水。

表 6.7 不同水样的小型闭路试验结果

时间	使用水	作业 名称	产率 (%)	品位(%)		回收率(%)	
				Pb	Zn	Pb	Zn
冬	生产用水	铅精矿	6.396	63.37	2.55	85.16	1.63
		锌精矿	16.741	1.13	56.66	3.97	94.99
		锌尾矿	76.863	0.67	0.44	10.87	3.38

季	50%混合废水 (耗酸量 2.0ml pH=11.72)	原 矿	100.0	4.76	9.99	100.0	100.0
		铅精矿	6.282	64.35	2.98	85.50	1.86
		锌精矿	16.921	1.05	56.28	3.76	94.77
		锌尾矿	76.797	0.66	0.44	10.74	3.37
	75%混合废水 (耗酸量 3.0ml pH=11.9)	原 矿	100.0	4.73	10.05	100.0	100.0
		铅精矿	6.366	63.55	3.47	85.85	2.21
		锌精矿	16.657	1.01	56.61	3.59	94.27
		锌尾矿	76.977	0.65	0.46	10.56	3.52
	50%混合废水 (加絮凝剂 3.75g/t 水) (耗酸量 2.2ml PH=11.76)	原 矿	100.0	4.71	10.00	100.0	100.0
		铅精矿	6.560	61.93	2.96	86.15	1.93
		锌精矿	16.581	0.98	57.28	3.46	94.57
		锌尾矿	76.859	0.64	0.46	10.39	3.50
夏 秋 季	生产用水	原 矿	100.0	4.72	10.04	100.0	100.0
		铅精矿	6.433	62.40	3.12	84.43	1.97
		锌精矿	17.021	0.98	57.00	3.50	95.07
		锌尾矿	76.546	0.75	0.39	12.07	2.96
	100%混合选矿废水 (耗酸量 6.0ml PH=12.20)	原 矿	100.0	4.75	10.21	100.0	100.0
		铅精矿	6.232	63.35	2.63	83.55	1.63
		锌精矿	16.959	0.99	56.64	3.55	95.50
		锌尾矿	78.809	0.81	0.41	13.20	3.16

注.生产用水为生产现场使用的清水。

6.6 本章小结

1. 试验研究结果表明：要实现使用选矿废水不影响指标，提高铅锌浮选效果，

需要在铅锌浮选作业中有目的地调整使用选矿废水的比例，相应减少捕收剂、2#油的用量，增加少量的硫酸铜和DS用量，可解决浮选泡沫粘性大，铅锌铁分离稍差的、铅精矿品位难提高的难题。

2. 试验研究结果表明：经处理的选矿废水回用于铅锌浮选工艺过程的技术措施可行和实用，不仅可以在铅精选作业中提高铅精矿品位，达到铅品位70%以上的开路指标，与生产用水的可比；而且全开路和闭路的试验指标都可达到较高的水平。
3. 大量的试验结果表明：选矿废水在锌浮选作业中，不影响锌的浮选效果；带有少量絮凝剂的废水亦可用。

第七章 选矿废水工业试验与应用

7.1 选矿废水工业试验

选矿废水工业试验目的与任务主要围绕下列三个方面进行：(1) 以工业规模验证小型试验结果，研究选矿废水回收利用于铅锌选矿工业生产的可行性；(2) 研究选矿废水回收利用于铅锌浮选工艺的技术条件；(3) 研究选矿废水综合回收利用技术措施和最佳铅锌生产技术经济指标。

7.1.1 选矿废水工业试验参数设计

选矿废水工业试验在凡口选矿厂 II 系统进行，主要技术工艺参数设计如下：

铅锌生产规模： 2050 吨/日（处理量）；

铅锌磨浮工艺总用水量： 285 吨/时；

选矿废水澄清净化： 多级澄清与净化、固体颗粒含量在 100ppm 以下；

选矿废水回用水量： 150~250 吨/时，废水占有率为 50~85%；

工业试验过程中，要求使用选矿废水的作业点与现场原供水作业方式进行，并对所加入的作业点以 100% 选矿废水直接加入，废水加入的作业点不再加入清水。工业试验使用选矿废水的作业点与水量详见表 7.1。

工业试验过程中，浮选药剂用量和使用原则是在原生产条件基础上适当调整。整个试验确保铅锌生产指标稳定，并连续运行试验规定的时间。试验过程中确保铅锌生产指标稳定，同时与 I 系统进行对比。

7.1.2 选矿废水工业试验结果与分析

选矿废水工业试验生产调试指标与对比指标见 7.2，选矿废水回用后的药剂用量对比见 7.3。

工业试验操作表明，使用选矿废水，对铅锌生产操作变化不大，试验期间与 I 系统的生产指标可比，铅锌生产指标对比指标可见，部分指标略有提高。同时可见，使用选矿废水后，减少 2#油 8g/t，丁黄药：20g/t，乙硫氮：17g/t，调整剂石灰、硫酸铜、DS 分别有所增加，总体药剂成本减少 0.1 元/吨。

表 7.1 选矿废水工业试验作业使用回水情况

作业	供水支管作业点名称	支管用水量(吨)	选矿废水用量 吨/比例	选矿废水用量 吨/比例 (%)
磨矿	一段球磨返砂水 磨机头部补加水	27.82	0	0
	磨机尾部补加水	92.76	46.3 8	38.46 92.67 76.85
	二段球磨补加水、沉 砂冲洗水、砂泵水封	16.15	0	0
铅浮选	铅快粗、快精一、 快精二、快精三	23.06	0	23.06
	铅粗一、铅粗二	2.39	2.39	2.39
	铅精二、铅精三、 铅精四、铅精五	15.96	0	15.96
锌浮选	铅精一、铅扫选	14.67	14.6 7	14.67
	锌快粗、锌粗一	16.03	16.0	16.0
	锌快精一、快精二	24.15	24.1 5	24.1
锌浮选	锌精一	4.23	4.23	4.23
	锌精二、锌精三、 锌精四	30.44	30.4 4	30.4 4
	锌粗二、锌扫一、 上	17.81	17.8 1	17.8 1
系统合计		285.47	156.1	54.68 241.5 84.60
年计算值(万吨/年)		163.13	89.20	136.5

表 7.2 选矿废水工业试验铅锌生产对比指标

废水占有 率 (%)	系 统	原矿品 位		铅精矿				锌精矿				尾矿品 位	
		Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
54.68	I	4.46	9.71	58.5 1	3.22	84.58	2.14	1.11	52.4 0	4.32 6	94.0	0.65	0.48
(连续 10 个班)	II	4.22	9.39	58.3 3	3.16	84.84	2.07	1.13	52.3 2	4.51 0	94.2	0.58	0.46
80-85 (月份)	I	4.10	9.56	58.4 5	3.21	83.73	2.10	1.14	52.6 1	4.88 0	94.5	0.64	0.46

		II	4.32	9.59	58.4	0	3.09	83.92	2.00	1.25	52.5	3	4.96	94.1	1	0.63	0.49
		I			58.6						52.6			94.3			
50-85		I	4.44	9.77	3	3.29	84.54	2.16	1.14	6	4.49	4	0.64	0.45			
(试验调试月)		II											94.2				
		II	4.34	9.8	58.3	3.26	84.38	2.09	1.17	52.4	4.75	6	0.62	0.47			

(注: II—使用选矿废水, I----使用生产用水)

表 7.3 选矿废水工业试验药剂用量统计与对比

系统	2#油 g/t	乙硫氮 (g/t)	合计	丁黄药 (g/t) 选 铅	选 锌	硫酸 铜 (g/t)	DS (g/t)	石 灰 (kg/t) 合 计	选 铅	选 锌	药剂成 本 (元/ 吨)	
I	24.23	6	134.6	426.2	181.6	244.6	555.9	90.43	5.95	4.12	1.83	9.68
II	15.52	9	117.0	405.1	164.5	240.5	593.8	111.0	6.86	4.38	2.50	9.58
差值	-8.71	7	-17.5	-21.1	-17.0	-4.09	37.85	20.64	0.91	0.26	0.67	-0.10

(注: II—使用选矿废水, I----使用生产用水, +是指缺少加上沉砂)

工业试验调试结果, 充分验证了小型试验研究的结果, 证明选矿废水回用于铅锌浮选工艺时, 通过调整药剂, 控制浮选操作, 可以获得稳定的铅锌生产指标, 部分指标略有提高。浮选药剂方面, 使用废水时调整剂有所增加, 捕收剂、2#油明显减少, 药剂总体成本减少。

7.2 选矿废水综合利用技术措施研究

选矿废水工业试验表明, 在铅锌浮选工艺中, 不影响铅锌生产指标前提下, 废水占用率可达到 85%, 解决了选矿废水综合回用的大问题。结合选矿厂的实际情况, 真正实现选矿废水综合利用, 注意以下几个技术措施进行, 将更有利子选厂的铅锌生产、供水用水, 以次达到清洁矿山、保护环境, 提高选矿厂的整体经济

效益和社会效益。

7.2.1 合理安排和使用选矿废水

针对凡口铅锌选矿工艺过程的用水特点，通过调查和统计，实施综合回用选矿废水可以按直接工艺用水、非直接工艺用水进行，见表 7.4。如此一方面尽量减少废水对浮选工艺可能带来的影响因素，稳定生产操作过程；另一方面减少新水用量，提高废水循环利用率，节约水资源和成本。

7.2.2 综合利用关键技术措施

实施选矿废水综合回用，注意考虑下列几项关键技术措施：

(1) 选矿废水的回收、澄清净化技术措施

选矿废水回收、澄清净化是至关重要的前提，必须特别注意前面章节中所阐述的技术措施，加强操作管理和监测，促使回用的选矿废水达到澄清要求。

(2) 选矿废水的输送与供水调控技术措施

通过输送管道与设备等，将澄清和物化处理后的选矿废水作为铅锌生产工艺过程中的工业用水，必须具备与原生产用水的同等压力、流量和调节控制能力，供水过程中安装水质澄清度检测器、压力表、流量计、溢位计、电负荷监测器、自动止压阀以及自动运行和手动操作等，使选矿回水供水过程自动控制，并与原有供水管网不冲突，可相互调节转换，不影响正常的生产过程。

表 7.5 选矿厂综合回用选矿废水水量计划

工艺关系	用水作业名称	计划用水量 (吨/日)	占用比 例 (%)	备注
直 接	破碎洗矿作业	1400.00	6.23	100%废水、集中、压力要大
	浓密机、过滤机	2760.00	12.28	100%废水、分散、水量不大
	铅锌生产主系统	7220.16	32.12	50%废水、分散、水量恒定
	混选与选硫作业	3139.20	13.96	100%废水、分散、水量恒定

最终精矿冲泡水	3296.16	14.66	100%废水、水量恒定、分布广
非直接工业场地冲洗	4664.66	20.75	100%废水、间断用水、但水量大
合 计	22480.18	100.0	占选矿工艺总水量 70.17%

(3) 铅锌主系统回用废水的浮选操作措施

尽管电化学调控浮选原理为基础的铅锌快速分选工艺流程适应性强,但使用选矿废水必须稳定主系统铅锌生产指标。因此浮选操作必须根据试验研究结果,控制好铅锌快速分选操作技术条件、适当减少 2#油、捕收剂用量,注意调整剂及时添加,提高铅、锌、铁的分选效果。

(4) 废水监测与循环回用技术措施

在选矿废水不断循环使用过程中,部分金属离子、悬浮物、无机和有机物等自然会出现积累现象。因此选择选矿废水的主要监控点,定时取样检测水质变化情况,根据需要适当调整或加强废水净化处理措施。根据选矿生产指标变化情况,进行有目的地强化处理循环的废水、使之不影响铅锌正常的生产。

7.3 选矿废水综合利用技术经济分析

实施选矿废水综合利用后,以会用废水总量 450-500 万吨/年,可望带来经济效益 600 万元/年,同时保护矿山环境,社会效益显著。

综合经济效益主要由下列项目组成:

- (1) 减少新鲜用水量和新水购水费用;
- (2) 减少污水输送和排放量及电力消耗;
- (3) 节约部分药剂消耗量;
- (4) 减少环境污染及排污费;
- (5) 延长尾矿与污水输送管道使用寿命,节约材料消耗费用。

本项目计划总投入 2000 万元、回收利用选矿污水 500 万吨/年,实施后除可减少新水消耗和污水排放外,还可腾出原有污水输送管道作尾矿输送使用,可节省固定资产投资原值 2800 万元 ($\Phi 350\text{mm}$ 无缝钢管, 约 12.5 公里)。实现原有污水输送系统的

再生和增值，产生当量收益 1680 万元（净值）^①。其总经济效益为（项目经济寿命按 20 年计，折现率 I=10%）：

项目投资净现值 NPV： 4940 万元^②

项目投产当年实现当量收益： 1680 万元^③

正常年度的直接经济效益为： 600 万元/年（第二年起）

按复利计算，该项目的年平均净收益为： 862 万元/年

产生净现金流入 920 万元/年（包括折旧 100 万元/年）

正常年度直接经济效益的具体构成为：

减少新鲜用水 500 万吨/年	节支 425 万元/年
-----------------	-------------

减少污水排放 500 万吨/年	节支 450 万元/年
-----------------	-------------

其中排污费	节支 50 万元/年
-------	------------

增加污水回收、处理费用	275 万元/年
-------------	----------

直接净利	600 万元/年
------	----------

静态投资回收期	1.3 年
---------	-------

注：①污水输送管由 1# 泵站铺设至 3# 尾矿库约需投资 2800 万元（Φ 350mm 无缝钢管，约 12.5 公里），管道使用寿命 20 年，现已使用 8 年，帐面净值为 1680 万元；

②将各年净收益按复利折现，并剔除初期投资后的总收益，NPV ≥ 0 ，项目可行；

③项目投产当年实现的当量收益包括：原有污水输送系统的再生和增值所产生当量收益 1680 万元，和污水回收系统投产当年产生的收益 300 万元（半年）。

7.4 本章小结

(1) 选矿废水工业试验验证了小型试验的结论，表明可以使选矿废水回用后对铅锌生产指标没有影响，可以在工业生产中实施推广应用。

(2) 在工业生产中实施回用选矿废水，必须注意采取相应的技术措施，主要是废水的澄清净化、供水管道设计、铅锌浮选操作和废水监测等，确保使铅锌生

产指标稳定和提高，实现回用选矿废水利用最佳效果。

(3) 实施选矿废水资源化综合利用，减少废水排放，保护环境，可望带来经济效益 600 万元/年，社会效益显著。

第八章 结 论

凡口铅锌矿选矿废水利用研究，通过对凡口选矿废水形成与特征的系统考查，就地回收、澄清与净化处理选矿废水，直接将澄清的选矿废水回用于铅锌浮选大量的基础性试验研究，研究出有效使用选矿废水而不影响铅锌生产技术指标的新技术，同时在工业生产中试验验证并实施应用，得出如下结论：

1. 凡口铅锌选矿厂直接排放的选矿废水水量大，并富含铅锌等重金属离子、残余的浮选药剂，悬浮物含量及 pH 值高。而通过多级澄清及药剂处理净化后，可获得较澄清的工业回用水。
2. 在铅锌浮选中，直接回用选矿废水，对铅锌浮选带来的影响主要表现为：铅锌铁分选性差，浮选泡沫变粘，铅精选富集效果差，铅品位难于提高，混杂现象相对严重等。而对锌浮选基本不影响。
3. 试验研究表明，在铅锌浮选工艺中，采用如下技术措施：使用清水与废水比例为 1:1；适当减少石灰、捕收剂、2#油的用量，多加抑制剂 DS 用量；适当调整或减少铅精选部分作业补加水中选矿废水的比例等；不仅可消除选矿废水循环回用对铅锌浮选的影响，还可提高铅锌浮选分离效果与指标。
4. 工业试验与应用表明，采用小型试验研究提出的技术措施，选矿废水回用率达到 75%以上，生产操作稳定，铅锌技术经济指标不受影响。同时还可减少药剂用量 8-15%，实现废水循环利用，节约生产成本，提高综合经济效益 600 万元/年以上。

综上所述，凡口铅锌矿选矿废水资源化综合利用技术可行和实用，选矿废水利用率高，可大大减少选矿新鲜水量和外排选矿废水量，减少对矿区周边环境的污染，节约药剂成本，清洁矿山，大大提高凡口铅锌矿的经济效益和社会效益。

参 考 文 献

- [1] 周本省. 工业水处理技术. 北京: 化学工业出版社, 1997
- [2] 李华封. 选矿厂废水及尾矿处理. 中国金属学会, 1990, 1
- [3] 薛玉兰. 环境及废水处理年评. 第三届选矿年评报告文集, 1985(2): 292-310
- [4] 方启学, 杨菊, 杨玖流. 选矿过程水资源评价与综合利用研究. 北京矿冶研究总院, 2001
- [5] 余必敏. 工业废水处理与利用. 科学出版社, 1979 6-9
- [6] 延吉生. 矿山生态环境综合整治是矿业面临的重要任务. 金属矿山, 2002 (12):5-7
- [7] 吴义千, 成先红. 有色金属工业环保科技的进步和展望. 有色金属创刊 50 周年专集, 1999:382-388
- [8] Davis, F. T., Hyatt, D. E. and Cox, C. H. Environmental Problems of Flotation Reagents in Mineral Processing Plants Tailings Water In Flotation. A. M. Gaudin Memorial Memorial Volume 2ed. Fuerstenau, M. C. 1976, AIME, pp. 1307-1341
- [9] Rao, S. R. (McGill Univ); Finch, J. A. Review of water re-use in flotation Minerals Engineering, v2, n1, 1989, p65-85
- [10] 李华封 选矿厂废水及尾矿处理, 中国金属学会, 1990: 2-3
- [11] 中国有色金属工业总公司安全环保部, 有色金属工业用水节水现状分析及“八五”目标和措施, 水资源综合利用学术会议论文集, 1990(9): 1-23
- [12] Jarrett, B. M. and Kirby, R. G., 1978. Development Document for Effluent Limitations Guidelines and New source Performance Standards for the Ore Mining and Dressing Point Source Category. Vol 1, Report no 440/1---78/061—d, Environmental Protection Agency
- [13] Matis, K. A. (Chemistry Department, Aristotle University); Zouboulis, A. I. Flotation techniques in water technology for metals recovery: The impact of pectination. Separation Science and Technology, v36, n16, 2001, p3777-3800
- [14] 马立奎. 选矿废水水质分析与评估报告. 核工业部韶关 290 研究所, 2003

- [15] 凡口铅锌矿. 凡口铅锌矿选矿回水试验报告. 1973年9月
- [16] 罗开贤. 凡口铅锌矿选矿废水资源化综合利用小型试验研究报告. 凡口铅锌矿选矿室, 2002年
- [17] 胡为柏. 浮选. 冶金工业出版社, 1988年6月
- [18] 王淀佐. 浮选药剂作用机理. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- [19] Wills, B. A., Mineral Processing Technology. 2nd Ed., Pergamon Press, Oxford, 1981
- [20] 卢寿慈. 矿物浮选原理. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- [21] 胡熙庚, 黄和慰, 毛锯凡. 浮选理论与工艺. 中南工业大学出版社, 1991
- [22] 许时. 矿石可选性研究. 中南工业大学, 冶金工业出版社: 1989:137
- [23] H. Rush Spedden (Section Editor), Sampling and Testing SME Mineral Processing Handbook, 1985, 30-1~30-20
- [24] Oko, U. Stabilization of Waste Water from Sulfide Ore Milling Operations. Transactions of the Society of Mining Engineers of AIME, v 258, n 2, Jun, 1975, p 111-114
- [25] 罗开贤. 凡口铅锌矿快速分选新技术工艺的试验研究与应用. 采矿技术, 2002(9):69-76
- [26] S. 坎德尼. 硫化矿物浮选理论基础. 国外金属矿选矿, 2001(1): 10-15
- [27] 顾国华. 电位调控浮选的研究与应用. 矿冶工程, 1998(2): 16-19
- [28] 谢雪飞等. 凡口铅锌矿金属平衡报表. 凡口铅锌矿质检处, 2002年
- [29] 刘侦德, 伍敬峰. 陶瓷过滤机在凡口矿的应用. 有色金属选矿, 1998年9增刊:62-67
- [30] 罗开贤, 谭孝慈. 计算机技术在凡口选矿工艺过程中的应用. 国外金属矿选矿, 1998增刊: 90—95
- [31] 张费文, 蒋如冰. 凡口矿区井下水用选矿可行性试验研究报告. 广州有色金属研究院, 1989年7月
- [32] 罗升. 井下水用于选矿生产的研究与实践. 凡口科技, 1998年9
- [33] 赖启运, 李叔豪. 凡口井下水利用于选矿过程综合效果评估. 凡口科技, 1997(1):60—65
- [34] 王凡路. 凡口矿井下水综合利用现状分析. 凡口科技, 1994(3)

- [35] 罗开贤, 方振鹏, 邬顺科. 凡口铅锌选矿厂水量平衡考查. 凡口科研处选矿室 2001 年
- [36] R. W. 史密斯. 选矿厂废水和废料的处理. 国外金属矿选矿, 1998(12):1-12
- [37] Die, P. and Tutsek, P.. Flotation of Lead-Zinc ores with Total Water Recycling. XII Intern. Mineral Proc. Congress, Sao Paulo, Barzil, 1977, Meeting 8-paper 1
- [38] Carta M., Ghiani M. and Del Fa, C.. Problem of Purification and Recycling of Residual Waters in the Flotation of Complex Minerals with Sulphides, Barte and fluoride. XII Intern. Mineral Proc. Congress, Sao Paulo, Barzil. 1977, Meeting 8-paper 2
- [39] Forssberg. K. S. E. Jonsson, H. R. and Palsson, B. I.. Full Scale Test of Process Water reuse in a Complex Sulphide ore Circuit, In flotation of Sulphide Minerals. 1977, Vol. 6, Elsevier, Developments in Mineral Processing, pp. 197-217
- [40] R. W. 史密斯. 矿物处理和提取冶金技术. 1996(16):1
- [41] R. W. 史密斯. 选矿厂的废水和废料的处理. 国外有色金属矿选矿, 1998(12):2-12
- [42] Woodcock, J. K and Jones, M. H.. Chemical environment in Australian Lead Zinc Flotation Plant Pulps:II. Collector residuals, metals in solution, and other Parameters. Proc. 1970, Austr. inst. Min. Met., No. 235:61-76
- [43] Joe, E. G.. Water and solution recycling practice in the Canadian Mineral Industry. In Mineral Proc. And Extractive Metallurgy Proc. Of conference held in Kunming. 1984, Peoples Republic of China. Inst. Of Min. and Met., London, pp. 137-146
- [44] Eigenson, A. S. Ioakimis, E. G.. Primary Trends in Improvement of Water Supply, Sewage and Waste-Water Treating System in Refineries. Chemistry and Technology of Fuels and Oils (English translation of Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel), v 10, n 9-10, Sep-Oct, 1974, p 672-675
- [45] Smith, R. W. (Univ of Nevada). Liquid and Solid wastes from Mineral Processing Plants. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review,

v 16, n 1, 1996, p 1-22

- [46] 王建华. 贵溪银矿工业废水处理研究. 有色金属(选矿部分), 2000(2):44-45
- [47] 张鸿猷. 崔广辉 齐大山选矿厂水资源再利用. 矿山环保, 2000(2): 23-25
- [48] 罗 震. 海钢选矿厂环水系统改造. 矿山环保, 2000(2): 5-7
- [49] 陈述明等. 湖南有色金属. 1999(3):49
- [50] 龙道湖. 厂坝铅锌矿选矿废水综合治理[J]. 有色金属(选矿部分), 2000(5): 40-43
- [51] 熊报国等. 有色金属, 1998, (4):123
- [52] 刘江浩. 有色金属(冶炼部分), 2000, (3):39
- [53] 许润林. 环境科学, 1999, 5(4):357
- [54] 祁华宝. 环境污染与防治, 1995, (3):16
- [55] 熊如意. 环境保护, 1998, (3):18
- [56] 郑礼胜. 化学世界, 1996, 37(10):554
- [57] 王方东. 云南环境科学, 1999, 18(3):28
- [58] 罗开贤, 张康生. 金川公司选矿废水利用考察报告. 凡口科研处选矿室, 2001
- [59] 方振鹏, 张 笃. 江西矿山选矿废水利用考察报告. 凡口科研处选矿室, 2001
- [60] 孙水裕, 谢光炎等. 硫化矿浮选废水净化与回用的研究. 有色金属选矿部分, 2001 4 p33-37
- [61] 缪建成, 王方汉, 胡继华. 南京铅锌银矿废水零排放的研究与实践. 金属矿山, 2003(8): 56-58
- [62] 李培哲. 分析化学. 北京: 冶金工业出版社, 1978 11
- [63][德] W. 威尼茨著, 李家熙等译. 原子吸收光谱法, 地质出版社, 1989

致 谢

两年多难忘的岁月匆匆而过，我将把这段美好的时光永远铭记在心。我在此向尊敬的导师表达我最真诚的感谢！

从论文题的确定、试验方案制定、现场具体实施试验到论文的撰写无不凝聚着导师胡岳华教授的心血，同时也得到了邱冠周教授的极大帮助和鼓励，他们严谨的治学态度、务实的工作作风、宽以待人的高尚品格，不仅授予我知识，更启迪我做人的道理。他们的孜孜教诲将使我终生受益。

在我论文的试验工作和撰写过程中，还得到了覃文庆教授、杨英杰副教授、欧乐明副教授、孙伟博士等人的大力支持和帮助，我向他们表达我衷心的感谢。

另外也感谢凡口铅锌矿的领导和工程技术人员，特别是中金岭南公司刘侦德副总经理、科研处戴晶平处长、以及选矿试验室的工程技术人员，他们的大力支持和协助使我论文试验工作中的重要部分得以顺利完成。

感谢生我养我的父母，我将以实际行动来报答他们的养育之恩。我也感谢我的岳父母，感谢我的妻子黄建洪老师，他们的大力支持是我重要的精神来源，使我有充分的时间去认真学习、研究并完成各项工作，也是我不断向前的动力。

罗开贤

2003 年 11 月于长沙