****

本科毕业设计(调研)

GRADUATION DESIGN(RESEASH)

|  |  |
| --- | --- |
| 题 目： | 金锑浮选过程集中监视系统开发 |
| 学生姓名： | 宣章洋 |
| 指导教师： | 桂卫华、谢永芳 |
| 学 院： | 信息科学与工程学院 |
| 专业班级： | 测控技术与仪器1101班 |

本科生院制

2015年4月

**金锑浮选过程集中监视系统开发**

摘要

泡沫浮选是应用最为广泛的一种选矿方法，几乎所有矿石都可以用泡沫浮选分选，由于浮选工艺流程长、内部机理不明确、影响因素多、涉及变量多且非线性严重、工艺指标不能在线检测等原因，一直以来，浮选过程主要依靠人工肉眼观察浮选槽表面泡沫状态来完成现场操作，这种以人工肉眼观察泡沫进行浮选操作的生产方式主观性强，难以实现浮选泡沫状态的客观评价与认知，造成浮选生产指标波动频繁、矿物原料流失严重、药剂消耗量大、资源回收率低等情况发生。而工业视觉检测速度快，金锑浮选过程集中监视系统意义便是在于实时监视金锑浮选过程泡沫图像的特征、关键工艺参数和浮选工况，为稳定浮选生产工况，提高精矿品位和回收率发挥了重要作用。金锑浮选过程集中监视系统开发包括以下几个技术要点：泡沫浮选、图像处理与机器视觉、VC++软件设计。本文将首先介绍浮选过程集中监视系统的重要意义以及发展现状，然后介绍用于浮选过程泡沫图像特征提取的现代图像处理与机器视觉方法，最后将介绍基于线程池的实时监控系统的VC实现技术。

**关键词：**监控系统 泡沫浮选 图像处理与机器视觉 软件设计

**Gold-Antimony flotation centralized monitoring system development**

**ABSTRACT**

Froth flotation is the most widely used method of ore dressing，and almost all the ore can be used froth flotation to separation. Due to so long flotation process, not clear internal mechanism , too many influencing factors, involving many variables and severe nonlinear ,cannot test process indicators online and other reasons, the flotation process mainly depends on artificial visual observation of flotation cell surface froth state to complete on-site operation. This kind of manual observation froth flotation operation mode of production is strong subjective, it is difficult to achieve an objective assessment  and cognition of the state of froth and cognition, causing frequent fluctuations of flotation production index, a serious loss of mineral raw materials, a large consumption of pharmaceutical, low resource recovery happening, But industrial visual have a height inspection speed. Gold-antimony flotation centralized monitoring system significance lies real-time monitoring of Gold - antimony flotation froth image characteristics, critical process parameters and the flotation conditions, it plays an important role in steadying flotation condition, improving concentrate grade and recovery. Gold-antimony flotation centralized monitoring system development process consists of the following technical points: Froth flotation, Image processing and machine vision, VC ++ Software Design. This article will first introduce the importance and development status of flotation process centralized monitoring system, and then introduces the modern image processing and machine vision methods of flotation froth image feature extraction process, and finally introduce real-time monitoring system based on VC thread pool technology..

**Key words：**Froth Flotation Machine Vision VC ++ Software Design

目录

[第一章 绪论 4](#_Toc418343574)

[1.1 浮选过程集中监视系统的重要意义 4](#_Toc418343575)

[1.2 国内外研究现状与发展前景 2](#_Toc418343576)

[第二章 浮选过程工艺 5](#_Toc418343577)

[2.1 浮选生产过程原理与工艺 5](#_Toc418343578)

[2.2 浮选泡沫特征的主要影响因素 5](#_Toc418343579)

[2.3 表征浮选工况的泡沫表面视觉特征 5](#_Toc418343580)

[第三章 金锑浮选过程集中监控系统总体设计 5](#_Toc418343581)

[3.1 系统需求分析 5](#_Toc418343582)

[3.2 系统总体设计 5](#_Toc418343583)

[3.3 系统模块组成 7](#_Toc418343584)

[3.3.1 前台界面模块 7](#_Toc418343585)

[3.3.2 与OPC服务器通信模块 7](#_Toc418343586)

[3.3.3 图像处理模块 7](#_Toc418343587)

[3.3.4 数据库模块 7](#_Toc418343588)

[3.3.5 专家系统模块 7](#_Toc418343589)

[第四章 金锑浮选过程集中监控系统的实现 7](#_Toc418343590)

[4.1 系统界面的实现 7](#_Toc418343591)

[4.1.1 登录界面设计 8](#_Toc418343592)

[4.1.2 主界面设计 8](#_Toc418343593)

[4.1.3 监控视频实时显示的实现 8](#_Toc418343594)

[4.1.4特征曲线图的实现 8](#_Toc418343595)

[4.2 系统与OPC服务器通信的实现 8](#_Toc418343596)

[4.3 系统浮选图像处理模块的实现 9](#_Toc418343597)

[4.3.1 图像预处理 9](#_Toc418343598)

[4.3.2颜色特征提取 10](#_Toc418343599)

[4.3.3速度特征提取 13](#_Toc418343600)

[4.3.4形状特征提取 14](#_Toc418343601)

[4.3.5纹理特征提取 15](#_Toc418343602)

[4.4 线程池技术的实现 16](#_Toc418343603)

[4.5 数据库的设计与实现 16](#_Toc418343604)

[4.5.1 数据流模型图 16](#_Toc418343605)

[4.5.2 图像分析数据表 17](#_Toc418343606)

[4.6 专家系统的实现 17](#_Toc418343607)

[第五章 总结 19](#_Toc418343608)

[参考文献 20](#_Toc418343609)

# 第一章 绪论

1.1 浮选过程集中监视系统的重要意义

矿产资源绝大多数都是蕴藏在矿右中，需要经过选矿加工提纯后才可使用，泡沫浮选是最常使用选矿方法，它是根据矿物颗粒物化性质不同来分选矿物的分离方法，可用在几乎所有的矿石分选中。

泡沫浮选的工艺流程长，影响因素很多，严重的非线性以及不能在线检测工艺指标导致很久以来一直依靠人工肉眼监测浮选槽中泡沫表面状态来判断浮选状况以完成现场操作，但是这种人工观察的方法具有主观性，难以实现客观的评价，从而容易导致浮选效果差，矿物流失严重，资源回收率低，化学药剂损失严重等情况。另一方面消耗人力比较大。近些年由于机器视觉的快速发展，以及其检测速度快，客观性强等优点，被大量使用在工业浮选中。工业视觉检测能够同时监测所有的浮选槽，减少了人力，并且可以量化描述泡沫表面的视觉特征。这些优点大大的增加了浮选的效率，使得精矿的品位和资源的利用率有了很大的提高。因此对于缺乏矿物资源的中国来说，研究基于机器视觉的的泡沫浮选监控技术是具有重大意义的。

1.2 国内外研究现状与发展前景

由于基于机器视觉的泡沫浮选过程监控技术有很大的优势，早在20世纪90年代初，就开始了对机器视觉在泡沫浮选中应用的研究。2000年奥托昆普公司、瑞典皇家学院、芬兰赫尔辛基工业大学联合启动了ESPRIT LTR项目，泡沫浮选图像处理的原型便是在这个项目中开发出来的。瓜里尼开始用摄像机通过视频采集卡将采集到的工业现场图像送入计算机，利用数字图像处理技术提取泡沫的大小，速度，亮度颜色等特征参数，并基于这些特征参数来评估浮选过程的质量，这算是比较完整的浮选泡沫图像过程监控系统，在智利的一家大型铜浮选矿厂试验的数据也表明了此次取得了不错的结果。Bonifazi等人将分水岭图像分割算法应用到监视系统中。他还基于图像形态学特征分析方法建立了统计预测模型。并将这一模型应用在了Pyhasalmi和Garpenderg矿物浮选厂里。Kaartinen通过计算R，G，B值的平均值与标准差得到浮选泡沫的颜色特征，通过分水岭算法提取了泡沫的尺寸特征，计算汽泡区域的全反射点占图像面积的百分比提取到承载率特征，通过子块速度估计方法得到泡沫的速度与位移特征。

在国内，中南大学在泡沫浮选图像监控方面取得了许多研究成果。中南大学和中州铝厂长期合作，共同研发了“矿物浮选泡沫图像处理技术”，这一技术得到了与会专家的一致认可，该技术的主要性能指标明显比国外同类技术更优，达到了国际先进水平。

# 第二章 浮选过程工艺

2.1 泡沫浮选生产过程原理与工艺

泡沫浮选是将含有有价矿物的矿石粉碎，加入化学药剂后进行搅拌而产生泡沫，有用矿粒黏附在气泡上从而与杂质分离的过程。图2-1为泡沫浮选的原理图。

图2-1 泡沫浮选原理

精矿（水）

磨矿

泡沫层

矿化起泡作用

浮选药剂

矿化气泡浮升

分散成气泡

浮选槽

空气

尾矿（水）

水

搅拌槽

矿石

矿粒悬浮

药剂作用

浮选过程中，将矿石磨成粉末状，加水使之成为矿浆，与浮选药剂调和后送入搅拌槽，充入空气激烈搅拌，产生大量气泡，由于药剂能够降低固液界面的自由能，使得目的矿物附着在气泡表面形成矿化泡沫层，最终泡沫层会用刮板刮出，从而得到了目的泡沫产品。

在浮选原理的基础上，经过不断的实践与探索，逐渐形成了一套浮选工艺。如图2-2所示为浮选工艺操作步骤示意图。按照浮选工艺，浮选流程可分为不同步骤。

经破碎后的矿石

磨矿-分级

加药搅拌

（药剂作用）

气泡矿化

刮泡

泡沫精品

非泡沫产品

图2-3 浮选工艺操作步骤示意图

不同的矿物，具体的浮选流程与工艺是不同的，但大体的操作步骤却都和上图相类似，而且浮选工艺是随着时间与浮选经验的增加而有所改变的，以期提高生产效率，降低生产成本。

2.2 浮选泡沫特征的主要影响因素

浮选泡沫的外观特征直接反映了浮选的效果，因此泡沫浮选监控系统依靠观测泡沫的外观特征来判断浮选的工况。泡沫的稳定性，气泡的大小，形状和数量都会影响浮选工况。所以在浮选过程中得到良好的泡沫结构与外观特征是非常关键的。可以通过改变物理化学因素来改变浮选泡沫的结构与外观特征。

化学因素主要是靠药剂调节，物理因素包括矿浆的浓细度，风压等。

(1)浮选药剂。药剂的主要作用是降低固液界面的自由能，提高矿粒与气泡的黏附度和矿物表面的疏水性，因此改善了气泡的稳定性并提高了浮选速度。浮选药剂按作用可分为三类：捕收剂，起泡剂，调整剂。捕收剂的作用便在于提高矿粒与气泡的黏附度，但过多的捕收剂会降低起泡剂的作用，控制捕收剂的用量须恰到好处。起泡剂增强了气泡的机械强度与表面弹性，因此能够防止气泡的相互融合。起泡剂的另一个作用是降低了水在气泡中的蒸发速度。调整剂的作用是调节浮选槽中的PH值。矿浆的PH是影响浮选效果的重要因素，表面活化剂如捕收剂等仅在特定的狭小PH范围内才能发挥效果，严格控制矿浆的PH值是十分重要的。

(2)矿浆浓细度

磨矿需要适宜的细度，应避免过粉碎和泥化现象。较粗的矿粒不容易悬浮，较细的矿粒表面积过大，容易黏着在粗粒表面，从而形成矿泥罩盖。由于较细的矿粒溶解度大，又容易被泡沫机械夹与水流机械夹带进精矿中。

(3)风压

为了产生泡沫，浮选中要边往矿浆中充入空气边进行激烈搅拌，充气量的多少都会影响浮选效果。充气量大时泡沫产生快，泡沫速度较快，矿粒与气泡接触时间短，气泡的矿化程度低。充气量小时，泡沫少，泡沫速度较慢，影响产能。将风压控制在适当的范围内能够提高泡沫的稳定性与泡沫的大小。

2.3 表特浮选工况的泡沫表面视觉特征

泡沫浮选过程集中监视系统依靠监视泡沫表面的视觉特征来判断浮选的工况，现场采集的泡沫图像噪声大，灰度值偏低，并有大量的阴影和气泡亮点，需要对图像进行预处理。

浮选泡沫视觉特征参数众多，常用的特征分为形态特征，颜色纹理特征，动态特征三大类。

(1)形态特征

形态特征主要包括浮选气泡的大小，面积，椭圆率以及气泡的统计分布规律等。形态特征影响泡沫携带矿物的多少，中等尺寸的均匀椭圆气泡会带有较多矿物，通过观察气泡尺寸的大小也可以预测出矿浆PH值的大小，通常气泡偏大时，相对应的PH值往往也是偏高的，气泡偏小，PH值可能偏低。因此形态特征是监控系统需要监测的一个重要指标。

(2)颜色及纹理特征

因物质的结构不同，对光的吸收能力不同，导致其颜色表面颜色不同。在泡沫浮选中，利用这一特性，通过观察气泡表面颜色可预测出气泡表面所携带的矿物粒子的种类与含量，也即可以判断浮选的状态。

加药量不同时，通常泡沫会呈现不同的纹理。纹理越细，图像的灰度值越均匀，表明工况也越稳定，当工况波动时，容易造成气泡虚大，纹理较粗。这样通过监测气泡的颜色和纹理可以预测实时工况。

(3)动态特征

动态特征主要是指泡沫的表面流速与泡沫的稳定度。矿浆的PH值影响了矿浆的浓度，从而影响泡沫的流速，通常PH值较低时，矿浆浓度较低，泡沫流速快，相对应的，PH较高时，矿浆浓度高，泡沫流速就会相对较慢。而泡沫流速的快慢影响着其与泡沫层矿物粒子碰撞的时间，从而影响了泡沫携带矿粒的多少，这极大的影响浮选的效率与精矿品位。不仅如此，泡沫流速还影响矿物的回收率。泡沫的稳定度低时，表明泡沫破裂严重，导致气泡表面的矿粒又掉入底层矿浆，造成资源浪费。监测泡沫的流速与稳定度对预测浮选工况有很大的意义。

# 第三章 金锑浮选过程集中监控系统总体设计

金锑浮选过程集中监视系统是一个软件系统，在进行软件开发前期，对系统的需求必需要进行准确的分析，从而再对整个系统做出一个总体设计方案。只有需求分析越到位，软件后期的调试与改动才会越少。总体设计方案是对全局的把握，是一个软件的框架。从抽象的层次分析对比多种可能实现的方案，并选择出最合理的软件结构。一个好的总体设计方案可以使得开发过程事半功倍，大大的减少开发的周期与开发中的成本，并提高软件的质量。

3.1 系统需求分析

浮选监控系统是一个工业级的系统，其功能必须满足浮选工艺的要求。监测系统需要获取现场浮选槽的视频，这可以在浮选槽上安装摄像机获取浮选槽内的实时泡沫图像，再传输至监控计算机。

跟据监测系统的工业应用需求，以及泡沫浮选的工艺特点，泡沫浮选过程监视系统应有以下几个功能：

(1)浮选视频实时播放：实时播放摄像机拍摄的浮选槽浮选视频，并且要有暂停，继续与保存视频，暂停时可以放大泡沫图像。

(2)特征值实时显示：所提取的泡沫图像视觉特征参数与浮选工艺预测参数实时显示。

(3)特征值曲线图绘制：动态绘制特征值曲线图，以及工艺预测值曲线图。

(4)操作建议与专家系统：根据浮选图像特征参数利用专家系统对现场操作提出控制策略，并显示在操作建议界面。专家系统界面可以录入、修改与删除专家知识。

(5)数据库管理：存储浮选图像特征参数以供随时查询。

(6)工况异常报警：工况异常时自动报警，并显示异常的原因以及紧急操作提示。

(7)实时性需求：所有工业系统必需满足这一点要求，因图像处理速度慢，系统可采用线程池技术来解决实时性问题。同时选择好的算法也可以提高系统的实时性。

3.2 系统总体设计

根据对浮选过程监控系统的主要功能的需求分析结果，设计如图4-1所示的

软件总体结构。

系统软件的工作过程简单描述如下:

(1)相机拍摄泡沫图像之后，由软件将图像捕获并在前台显示出来。

(2)对捕获到的图像进行图像增强、图像去噪等预处理，继而提取泡沫的速

度、形状等图像特征值，存入图像分析库，并在前台显示出来。

(3)根据提取的泡沫图像特征值，对浮选工艺参数(矿浆pH值、矿物品位)

进行预测，并将预测值存入数据库，在前台显示出来。

(4)实时趋势图界面收集计算出来的图像特征值和工艺参数预测值

(5)控制策略显示界面首先收集计算出来的图像特征值和工艺参数预测值，接着从专家知识库读取匹配的专家规则，给出当前的泡沫综合评价及相应的控制策略;在工况异常时发出报警信号。

(6)历史趋势图界面读取图像分析库中的历史数据，并绘制成曲线。

(7)专家规则库界面收集操作人员输入的专家规则，写入专家知识库。

监控视频播放

单槽视频

暂停、继续

实时图像

特征值显示

实时工艺

预测值显示

实时

趋势图显示

控制策略显示

工况异常报警

历史

趋势图显示

专家

规则库界面

图像分析库

专家知识库

图像特征提取

图像采集

图像预处理

工艺参数预测

前台界面

后台处理

数据库

图4-1 软件总体结构图

图像分析库

一个复杂的软件系统往往有诸多的功能等待实现，而这些具体而微的功能其

实现方法可能又存在着一定的相似性，根据这种相似性，我们把系统分成若干个

子系统。结合系统的基本功能和软件总体结构图，大致可以把软件划分为三个子

系统:图像采集子系统、特征计算子系统、数据和图像显示子系统;另外，历史趋势图显示、控制策略显示这两个功能与用户关系密切，且直接影响到浮选过程控制，因此这里给出它们的顺序图设计。系统采用基于线程池技术的数据处理方法实现这些子天下系统和功能的有机结合。

3.3 系统模块组成

3.3.1 前台界面模块

3.3.2 与OPC服务器通信模块

3.3.3 图像处理模块

3.3.4 数据库模块

3.3.5 专家系统模块

# 第四章 金锑浮选过程集中监控系统的实现

4.1 系统界面的实现

4.1.1 登录界面设计

4.1.2 主界面设计

4.1.3 监控视频实时显示的实现

4.1.4特征曲线图的实现

由于矿物种类和原矿品位的不同，入磨后矿粒的粗细度不一样，矿物在浮选

阶段所表现出来的泡沫表面物理特征有很大区别。现场调研分析发现，轻金属矿

物浮选由于其颗粒较细、重量轻，产生的气泡非常小，气泡呈絮状，使得浮选槽

表面累积了众多小气泡，气泡与气泡之间相互粘合、叠加，形成矿物的堆积层并

且易破裂。重金属和煤泥浮的选泡沫物理特性比较明显，产生的泡沫往往都比较

大，多呈圆形，也不易发生泡沫堆积现象。轻金属的浮选泡沫图像与重金属和煤

泥的浮选泡沫图像如图3-1所示。

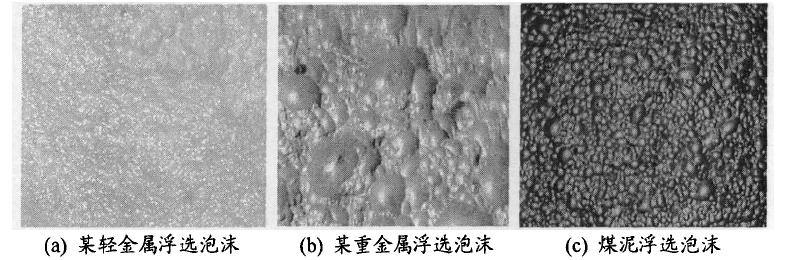


图3-1 不同矿物的浮选泡沫

4.2 系统与OPC服务器通信的实现

浮选生产中，表面泡沫层与浮选技术指标有着重要联系[[32]，基于泡沫图像的浮选过程监控系统能否成功地实现工艺指标预测目标，前提就是要正确地选择泡沫图像的特征变量，保证所选择的特征能正确地反映出浮选状态。下面对影响工艺指标的泡沫图像特征进行机理分析。

(1)泡沫颜色

泡沫颜色是泡沫层的重要特征，它反映了原矿种类和气泡含矿量。原矿种类决定泡沫的颜色，例如在自然状态下，钨矿呈白色，铝土矿呈红褐色，铁闪锌呈黑褐色;泡沫含矿量影响泡沫颜色的深浅，例如泡沫层铝土矿含量高时，泡沫呈红褐色，反之泡沫呈灰褐色。在浮选现场中，操作工人观察泡沫层颜色的深浅，来判断泡沫含矿量的多少。

(2)泡沫形状

泡沫的形状特征指的是泡沫的面积、数据及其大小分布。泡沫形状常随浮选

矿物的性质、粒度以及浮选药剂制度而变，它对浮选结果有直接影响。泡沫靠表面积负载矿粒，当充气量一定时，若泡沫的直径过大，将减小泡沫的总表面积，不利于有用矿粒的碰撞及附着，回收的有用矿物将会减少;而如果泡沫太小，表面承载的矿粒过多，使矿化泡沫的平均密度大于矿浆密度，它就浮不上来，甚至无法达到浮选要求，也不利于提高有用矿物的回收率。因此，气泡应有一定的直径组成，并有大小不同、比例合适的气泡，使矿粒的承载量最多。在浮选过程中，工人通过调节风压和药剂添加量，来控制泡沫的大小分布。

(3)泡沫运动速度

浮选机的叶轮搅拌速率控制着气泡充气量。叶轮不断转动，推动矿浆向前流动，矿浆速度受叶轮转动速率控制。在叶轮速率相同的情况下，不同类型的叶轮机对泡沫大小分布的影响是不一样的，可能气泡较小较密，也可能泡沫较大较疏。但是当叶轮速率提高时，无论针对任何叶轮机，气泡大小都会显著升高。其根本原因在于叶轮速率的提高使得气流量增加，从而导致气泡大小的升高。由于泡沫大小是反映工艺参数的关键指标之一，因此提取泡沫运动速度对于提高矿物品位的预测精度有着重要意义。

(4)泡沫纹理

泡沫的纹理是泡沫表面粗糙度、对比度和戮性的综合表述。粗糙度和对比度

与泡沫表面矿物的富集程度有关，而泡沫的勃性与泡沫含水量有关，因此，泡沫

的纹理特征与矿物品位密切相关。在泡沫较小，无法准确分割泡沫图像时，采用泡沫纹理特征表征泡沫状况有着重要意义。

4.3 系统浮选图像处理模块的实现

4.3.1 图像预处理

针对不同的应用和需求，在开始图像处理之前，通常需要对图像进行适当的

变换，突出有用信息，消除无关信息，恢复图像的本来面貌。这个过程叫做图像

的预处理。受浮选车间恶劣环境如光照不均、浮尘较多等影响，相机拍摄的图像

不可避免存在一定噪声干扰，造成图像质量的恶化，给后续的特征提取带来困难。

因此，有必要对拍摄的图像进行预处理。图像预处理主要是指图像的增强和滤波。

(1)基于直方图拉伸的图像增强

图像增强是把原来不清晰的图像变得清晰，或者强调某些感兴趣的特征、抑

制不感兴趣的特征，使之改善图像质量、丰富信息量，加强图像判读和识别效果

的一种图像处理方法。直方图拉伸是最常采用的方法，通过拉伸，将灰度集中的图像转换为灰度均衡的图像，结果是让图像在一定灰度范围内具有相同的象素点数。其计算公式为:

 (3-1)

其中f(x,y)代表原灰度图像，其灰度级区间为[a,b]，经直方图拉伸后得到的灰度

图像为g(x,y)，其灰度级区间扩展为[c,d] 。

(2)基于形态学开闭运算的图像滤波

浮选泡沫图像中含有较多的噪点。而在泡沫分割过程中，噪声是影响分割算法处理效果的关键性因素。要准确分割出图像中的每个气泡，必须消除图像噪声。 针对现场拍摄的浮选泡沫图像，采用一种基于区域重建的形态学滤波消除图像噪声，基本处理步骤是:在形态学的开和闭运算后加入区域重建算法。经过该方法处理后，消除了图像中的尖峰和低谷噪声，同时还防止了传统形态开闭滤波器容易发生的形态突变和细节损失现象，有效地保护了气泡区域的边界信息。

4.3.2颜色特征提取

图像的实际颜色虽然只与图像本身反射的光线有关，但是被观察人员所感知的颜色，实际上却因为个人视觉神经和观察习惯的不同而并不完全一致。因此，在做泡沫颜色特征的分析时，所选取的特征提取算法必须符合人体视觉神经的习惯，.并且要与肉眼感知到的实际色彩基本一致。在这个前提下，算法对泡沫颜色的识别与提取工作，必须建立在特定的色彩空间中才能进行。实际应用中常用到的色彩空间很多，如RGB空间、CMY空间、HSI空间和YW空间等。综合考虑在RGB色彩空间和HSI色彩空间中进行颜色特征的提取。

(1)基于RGB空间的颜色特征提取

在多媒体计算机技术中，使用最多的是RGB色彩空间，它是一种加色空间。根据三基色原理，在该色彩空间里任何颜色都可以使用基色光组合而成。其物理意义非常清楚，适合显像管和数字液晶工作。图3-2中的X轴代表红色(Red ),Y轴代表蓝色(Blue), Z轴代表绿色(Green )。

分析现场所获取的泡沫图像发现，泡沫的颜色偏向于红色，其颜色深度明确地指示出气泡承载矿物的数量:泡沫颜色越黑，表明携带的有用矿物越多;颜色越红，则表明气泡表面负载矿粒越少。可见，在RGB色彩空间中，红色分量最能反映矿物品位高低，红色分量越大，其矿物品位越低，反之则越高。

计算如式所示红色分量均值与灰度均值的比率，即相对红色分量值Rrelative，作为基于RGB空间提取出的颜色特征。

 (3-2)

其中Rmean和Graymean分别代表红色分量均值和灰度均值。该方法有效地消除了光照的影响，提高了系统的鲁棒性，便于工业应用。

绿(Green)

红(Red)

Y

蓝(Blue)

黄(Yellow)

品红(Meganta)

青(Cyan)

白(White)

X

图3-2 RGB色彩空间

(2)基于HSI空间的颜色特征提取

由于人的视觉对亮度的敏感程度远强于对颜色浓淡的敏感程度，以肉眼观察不同工况下泡沫颜色信息时，除能感受到泡沫层颜色种类及深浅层次渐变外，还会受到亮度明暗的强烈干扰，影响对泡沫状态的判断。不难发现，受环境光线的影响，仅仅采用RGB三种颜色分量及其组合，难以全面地描述气泡的真实色彩。在对泡沫进行基于颜色分类时，RGB色彩空间的这种缺点显得尤为明显。为了便于色彩处理和识别，准确地模拟人工视觉对颜色特征的甄选过程，在监控系统中引入HSI色彩空间。

HSI色彩空间从人的视觉系统出发，用色调(hue)、饱和度(saturation )和亮度(intensity)来描述色彩。如图3-3所示，HSI色彩空间可以用一个倒立在空间直角坐标系原点处的圆锥体来描述。其中，Z轴表示亮度，X轴表示饱和度，与Z轴的夹角表示色调;原点处表示黑色，沿着Z轴向上直至顶部，像素的灰度级将逐渐升高、从黑到白。亮度和饱和度最大的颜色，位于圆锥体顶部的圆周上。

在HSI空间中，色调分量不受光照条件的影响，只与物体本身颜色有关，因此，色调分量较之RGB的红色分量，能更好地描述泡沫图像的颜色特征。

120°绿

60°黄

l

0

黑色

H

S

0°红

180°青

240°兰

300°品红

白

图3-3 HSI色彩空间

浮选现场视频采集卡输出的是以每三个字节代表一个像素点的24位位图，其中三个字节分别代表B,G,R分量，所以需要按下式所示将其转化为HSI值。

(3-3)

其中 经过转化，计算一帧图像的色调分量平均值，就可以准确地反映泡沫层的实际颜色。

4.3.3速度特征提取

像素跟踪是常用的速度特征提取方法，计算简便，从算法的时间复杂度上考虑，比较适于计算机处理与软件的实时显示。然而，这种方法对视频采集设备的图像采集速率要求较高，连续两帧图像的时间间隔要足够小(一般不超过30毫秒)。常规的像素跟踪方法鲁棒性差，无法适用于运动中的泡沫跟踪。

本文采用宏块跟踪方法求取泡沫的运动速度。宏块跟踪示意图如图3-4所示。可以认为，图像中的每个子块运动前后是相互独立的。事实上，在一个足够短的时间间隔内(如连续两帧图像的采集时间)，大多数气泡一般不会出现重叠和形变现象，或者重叠和形变的幅度较少，基本上不影响宏块内气泡的位置、形状及其内的像素点灰度值。

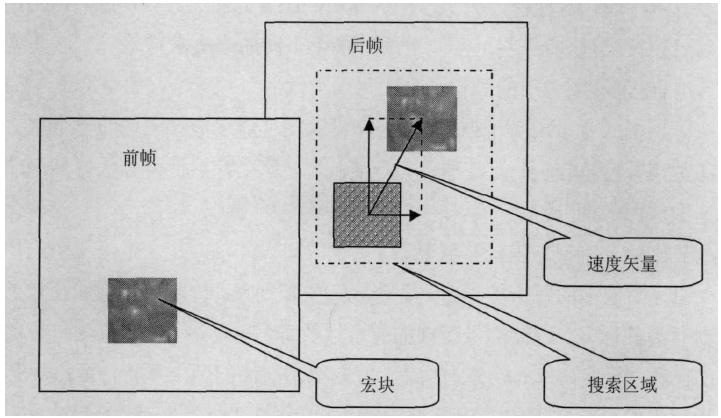


图3-5 宏块跟踪示意图

宏块跟踪法估计泡沫运动速度的基本实施过程是:取连续两帧泡沫图像并转化为灰度图像;接着把它们均匀地划分为多个子块，并逐一寻找每个子块在后帧的最佳匹配位置;最后，利用欧拉公式计算出这些子块的位移，根据采样率确定两幅图像的采样周期，并计算位移与时间间隔的比率，即可得到各子块的运动速度矢量。

4.3.4形状特征提取

形状特征的提取主要是泡沫的面积、个数及其大小分布。采用分水岭分

割算法提取泡沫的形状特征。

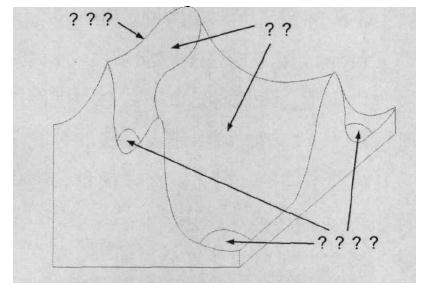


图3-6分水岭示意图

如图3-6所示，分水岭分割的基本思想，就是把图像看成是布满着许多盆地

的梯度地形，并且每个盆地都可能有不同的海拔高度，地形某点处的海拔即该点

的像素灰度值，待分割图像中的气泡边缘处像素点通常有较高的灰度值，对应于

地形的“分水岭”;每个气泡的内部像素点通常有较低的灰度值，对应于地形上的“集水盆地”。当把所有盆地的最低处刺破一个小洞，并把这块地形慢慢地浸入水中时，盆地将会被水慢慢的淹没，在盆地的边界处形成一道道的“分水岭”。这些“分水岭”将地形划分为许多个不同的“集水盆地”，这些“集水盆地”，就是泡沫图像中的等待划分的每一个气泡。

分水岭分割提取泡沫形状特征的基本处理过程是:从灰度级最小的像素点开始，扫描图像中的每个像素点，并作区域生长处理;分割得到泡沫图像的极小值区域且为其标号;统计标号相同的像素点数目，就得到了以像素为单位的每个气泡的面积。至此，分水岭分割结束，提取得到泡沫的两个形状特征:面积、数目。

4.3.5纹理特征提取

根据图像灰度共生矩阵的定义，能量(Energy)用以指示图像分布均匀程度和粗细程度，嫡( Entropy)用来描述图像混杂度，惯性矩( Inertial Quadrature )用来表征图像灰度级变化范围。选取这三个参数对不同的泡沫图像进行分析，发现能量越大，则纹理越粗、越均匀;嫡值越大，纹理越复杂;惯性矩越大，则纹理越细、沟纹越深、图像越不均匀。可见，提取能量、嫡和惯性矩特征，在气泡难以分割的时候，能很好地描述泡沫状态变化[ss]，并且运算量小，适合计算机软件实时显示。能量、嫡和惯性矩的计算公式如下:

(3-4)

(3-5)

(3-6)

其中Ener , Entr和Quad分别代表能量、嫡和惯性矩，u、v为统计灰度值，G为图像的最大灰度级，p(u,v)为灰度相关矩阵函数。

4.4 线程池技术的实现

4.5 数据库的设计与实现

监控系统在运行过程中会产生数字图像序列、泡沫图像特征值、工艺参数实

际值和预测值、专家规则等信息。这些信息一般暂放在程序为其开辟的内存堆栈

中，等待后续线程及相关函数的处理。经处理，它们或被转化为工人们易于接受

和识别的图像、数值和文字等视觉信息，呈现在软件各个界面上;或被转化为Windows可识别的二进制数据流，以文件(图片和视频文件、数据库文件)的形式，保存在硬盘驱动器上，实现数据的永久化(Persistence )。下面以顶层数据流图、内部数据流图和数据表来描述数据库的设计过程。

4.5.1 数据流模型图

数据流图(DFD, Data Flow Diagram)是一种描述系统逻辑功能的图示表达方法，它反映了数据在系统内部的逻辑流向和逻辑变换的过程。它是结构化系统分析方法的主要表达工具及用于表示软件模型的一种图示方法。

数据流图包含顶层数据流图和内部数据流图两部分。顶层流图只包含一个加

工，用以表示被开发的系统，然后考虑该系统有哪些输入数据、输出数据流;而内部流图描绘数据在系统中流动和处理的详细过程。图4-2为软件系统的顶层数据流图。该图描述了整个系统的作用范围，对系统的总体功能、输入和输出进行了抽象，反映了系统和环境的关系，确定了宏观系统的外部实体和系统的数据输入源和输出对象。

分析结果表

结果记录

操作人员

软件系统

操作人员

图4-2 软件系统顶层数据流图

图4-2为软件的内部数据流图，又被称为下层数据流图。它按照自上而下、

从外到内的准则，将顶层数据流图中的加工分解成多个基本加工，同时表明每个

基本加工的数据来源和加工结果(输入数据流和输出数据流)，以及它们之间的

活动关系。

操作人员启动监控软件后，监控软件开始采集泡沫图像数据。泡沫图像数据

按照操作人员预设的方式(手动或自动)存储到计算机的外部存储器，同时送往泡沫图像特征分析模块，即速度分析、形状分析、颜色分析和纹理分析模块，计算出主要泡沫图像特征数据，同时，工艺参数预测模块获取主要泡沫图像特征数据，计算出pH值和矿物品位等工艺预测数据。泡沫图像特征数据和工艺预测值数据计算完毕后，通知数据管理模块写入数据库。专家知识系统截获分析这些数据，将分析结果显示出来。

4.5.2 图像分析数据表

图像分析数据表共有3个，分别记录了监控软件从粗选相机、粗扫相机和精

II相机采集的多帧泡沫图像中提取出来的泡沫图像特征平均值，以及根据相关的

图像特征值计算出来的主要工艺参数预测值。

4.6 专家系统的实现

设计专家知识库的思路是:针对某一特定工况下的泡沫状态，利用软件将其量化为具有一定泡沫图像特征值和工艺特征值的一组数据，从中选取能反映泡沫状态的几个典型特征，并设定好若干组阀值;如果软件计算出来的当前实时特征值恰好满足某一组阀值时，则采取相应的控制策略，使泡沫状态向最优态转化。现场操作工人浮选控制方面积累了大量的经验，通过总结他们的经验，制成泡沫物理特征与泡沫综合评价和控制策略一一对应的规则表，便得到了我们所需要的专家知识库。

# 第五章 总结

实习调研阶段主要是培养学生正确的设计思想、严肃认真的工作态度，深入细致的调查方法，主动和创造性地进行学习和工作。

近期结合选题进行了大量文献资料的检索和查询；收集了许多与毕业设计课题有关的数据、图表等资料；了解了国内外有关的先进技术及发展趋势，特别注意查阅了外文资料；调查了解与课题有关的软、硬件开发的全部过程及所有技术；调查了与毕业设计课题有关的环节中存在的问题与不足之处。

金锑浮选过程集中监视系统开发的难点在于图像处理的算法和VC++线程池实现实时监控技术，现在有许多用于泡沫浮选图像特征提取的算法，最常用的是分水岭法，这个算法不会出现欠分和过分的情况。线程池技术是一种多线程的实现方法，是一种优化的多线程技术，它会减少在创建和销毁线程上所花的时间以及系统资源的开销，如不使用线程池，有可能造成系统创建大量线程而导致消耗完系统内存以及过度切换。

这篇调研报告总结了常用的泡沫浮选图像特征提取方法，并初步设计了系统总体功能框架与软件总体流程，为以后做毕业设计打下了基础。

# 参考文献

[1] 桂卫华，阳春华，谢永芳，唐朝晖。矿物浮选泡沫图像处理与过程监测技术[M].中南大学出版社，2013，214-233

[2]瓜里尼.图像处理技术用于评估矿物浮选过程的质量[J}.国外金属矿选1999, 36(12):38-41

[3]Gao X B, Lu W, Li X L, et al. Wavelet-based contuorlet in quality evalution of digital images[J]. Neurocomputing, 2008, 72(1-3):378-385

[4]Citir C, Aktas Z, Ridvan B. Off line image analysis for froth flotation of coal[J].Computers and chemical Engineering, 2004, 28(5):625-632

[5]Cipriano A, Guarini M, Vidal R, et al. A real time visual sensor for supervision flotation cells[J]. Minerals Engineering, 1998, 11(6):489-499

[6] Cipriano A, Guarini M, Soto A, et al. Expert supervision of flotation cells using digital image processing[C]// Proceedings of the 20th International Mineral Processing Congress. Aachen: [s.n.], 1997:281-292

[7] Kaartinen J, Hatonen J, Miettunen J, et al. Image analysis based control of zinc flotation-A multi-camera approach[C]// Proceedings of the 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Singapore: [s.n.], 2002:920-925

[8] Kaartinen J, Hatonen J, Hyotyniemi H, et al. Machine-vision-based control of zinc flotation-A case study[J].Control Engineering Practice, 2006,14(12):1455-1466

[9]Chenga T W, Holthamb P N.The particle detachment process in flotation[J]. Minerals Engineering, 1995, 8(8):883-891

[10] Holtham P N. On-line froth acoustic emission measurements in industrial sites[J]. Minerals Engineering, 2008, 21(12/14):883-888

[11] Holtham P N, Nguyen K K. On-line analysis of froth surface in coal and mineral flotation using JKFrothCam[J]. International Journal of Mineral Processing,2002, 64(2/3):163-180

[12] Nguyen K K, Thornton A J. The application of texture based image analysis techniques in froth flotation[C]// Proceedings of the 3rd Conference on Digital Imaging Computing Techniques and Applications. Brisbane: Australian Pattern Recognition Society, 1995:371-376

[13] Lin B, Recke B, Knudsen J K H. et al. Bubble size estimation for flotation process[J]. Minerals Engineering, 2008

[14]Yang CH H, Xu morphological C H, Mu X M, et al.21(7): 539548.Bubble size estimation using interfacial information for mineral flotation process monitoring[J].Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2009, 19(3):694-699

[15]Wang W, Li L. Image Analysis and computer vision for mineral froth[C]//Proceedings of the IEEE International on Mechatronics& Canada: IEEE Publication Service Center, 2005:1790-1795

[16]Gorain B K, Franzidis J P Manlapig E V，et al. Studies on impeller type,impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell. Part 3:Effect on superficial gas velocity[J]. Minerals Engineering, 1996, 9(6):639-654

[17]刘喜英，吴淑泉，徐向民.基于改进分水岭算法的医学图像分割的研究[[J]. 微电子技术，2003, 31(4):39-42