



中南大学

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

# 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 浮选过程集中监视系统的重要意义.....	1
第二章 浮选过程集中监视系统的发展与现状.....	2
第三章 泡沫图像特征提取方法.....	5
3.1 浮选泡沫图像的特点 .....	5
3.2 泡沫图像特征分析 .....	5
3.3 泡沫图像特征提取方法 .....	6
3.3.1 图像预处理.....	6
3.3.2 颜色特征提取 .....	7
3.3.3 速度特征提取 .....	10
3.3.4 形状特征提取 .....	11
3.3.5 纹理特征提取 .....	12
第四章 金锑浮选过程集中监控系统总体设计.....	14
4.1 系统功能需求 .....	14
4.2 软件总体设计 .....	14
4.3 数据库设计 .....	16
4.3.1 数据流模型图.....	16
4.3.2 图像分析数据表.....	17
4.3.3 专家知识数据库.....	17
第五章 总结 .....	19
参考文献 .....	20

## 第一章 浮选过程集中监视系统的重要意义

浮选是依据矿物表面可浮性的不同来进行物料分离的一种选矿方法。它使得一部分矿物有选择性地富集在两相交界处,而其它部分则滞留在水中。天然矿物中,大多数矿物都有一定的天然可浮性,但是为了保证较高的技术指标,浮选工业中,通常在矿浆中定时定量地添加几种药剂,如捕收剂、起泡剂、pH 调整剂等,以改善浮选对象和浮选环境。通过各药剂的化学作用,可灵活地调节矿粒的可浮性和疏水性,提高矿物的分选效果。

浮选药剂的添加量对浮选性能有直接的影响。定量的药剂添加,能够把泡沫的尺寸、大小分布和稳定度等物理特性控制在一个合适的范围内,使浮选处于最优状态,有利于泡沫承载更多有用矿物,提高矿物的回收率和矿物品位。

多年来,选矿厂对药剂添加量的控制主要依赖于人工视觉。操作工人离线化验矿浆泡沫样本获取其工艺指标值,并通过肉眼观察浮选槽矿浆表面泡沫层的颜色、大小等特征,形成对浮选运行状态的主观判断,依据个人操作经验,估计药剂添加量。然而受人工操作主观性、随意性的影响,同一工人在不同时刻,对相同的浮选状态可能会做出不同判断;另外,由于不同的工人对泡沫品质的看法也不相同,导致车间的药剂制度很容易因为值守工人的交替而变得紊乱,难以保证浮选过程处于最佳状态。加上浮选本身就是一个纵择的物理和化学变化过程,受诸多因素影响,工况的频繁变化、原矿的改变,都使得浮选过程具有严重的非线性。因此,仅仅依靠人工操作的方式,无法对浮选过程进行有效控制,而且会造成矿物资源、药剂和人力的浪费,增加企业生产成本,降低企业竞争力。

## 第二章 浮选过程集中监视系统的发展与现状

基于机器视觉技术的浮选生产过程监测最早的研究始于 20 世纪 90 年代初，欧盟于 2000 处投巨资联合芬兰赫尔辛基工业大学、瑞典皇家学院、奥托昆普公司等多家大学和企业启动了 ESPRIT LTR 项目“基于机器视觉的气泡结构和颜色表征”（简称 Chaco），通过数字图像处理技术在线监测浮选泡沫图像处理的颜色和形状等视觉特征，实现浮选工况的自动识别与客观评价。南非学者把浮选深浅视觉图像处理应用到了石墨、铂金属选矿中，利用相应的图像处理算法，通过获取浮选泡沫的形状、表面纹理等视觉特征进行浮选泡沫状态分类，实现浮选工况诊断，以期浮选生产提供指导。瓜里尼用工业摄取图像，通过视频卡把图像送入微机，利用数字图像处理技术测算泡沫中气泡的大小、形状、颜色等参数，可用这些泡沫物理参数来评估矿物浮选过程的质量，该技术在智利一定大型铜浮选厂进行过试验，取得了很好的结果。

1997 年，针对铜精选工艺的控制的管理，西普利安诺开发了实时分析浮选泡沫动力学特征的图像处理浮选专家系统 ACEFLOT，该系统用机器视觉技术来测量浮选槽表面泡沫的几种物理参数，初步实现了浮选槽故障的检测和指标状态的分类。Bonifazi 等人采用分水岭对图像进行初步分割，用 3D 分形与颜色分析相结合的方法，以分形维数和泡沫参数来预测泡沫品位。此外，他还从泡沫图像颜色和形态学特征分析出发，建立了泡沫矿物品位统计预测模型，并就用到 Pyhasalmi（芬兰）和 Garpenberg（瑞典）浮选厂。Sadr-Kazemi 把测量尺寸的方法用于测量浮选中泡沫大小及形态时指出，神经网络对于复杂的浮选泡沫并不适用 CEP 过分水岭进行图像分割，引入等效球形气泡来分析气泡尺寸分布，并从泡沫动力学方面加以研究。Hatonen 提出了在 RGB 颜色空间计算 RGB 分量的均值、标准差、偏斜度及峰值，该方法单一，颜色空间与硬件设备相关。Kaartinen 提取了颜色，

尺寸承载率, 速度及稳定度特征, 其中颜色特征通过计算 R、G、B 值的平均值与标准差来描述, 尺寸特征则采用分水岭算法分割泡沫分割并提取, 承载率特征通过计算气泡区域的全反射点占图像面积的百分比, 采用图像子块速度估计方法泡沫位移, 利用速度信息检测图像对的像素变化完成, 但该方法在图像分辨率较高时计算量大。Holtham 提取了尺寸与速度特征, 通过统计二值图像中心像素及八邻域像素, 构造纹理模式谱特征向量, 以此估计气泡尺寸, 但这种方法计算量大, 仅限于实验仿真研究, 速度特征采用像素跟踪技术提出并实现了一种采用改进的纹理谱二值图像气泡尺寸估计方法。Bartolacci 采用灰度共生矩阵和小波分析提取了泡沫纹理特征, 采用最小二乘方法建立精矿品位经验模型, 并对浮选过程进行反馈控制。

在国内, 陈子鸣对泡沫图像作了一些初步探索, 刘文礼提取煤浮选泡沫图像纹理特征并进行识别, 李珍香开发了煤浮选图像识别系统, 并从具体操作、实现过程方面做了分析研究。研究发现, 泡沫大小分布是浮选工艺参数的强有力指示器, 对充气率、pH 波动以及吸附在泡沫表面上的颗粒类型和数量都具有指示作用。刘富强等人通过采用图像处理和模式识别技术对煤块和矸石进行识别, 再结合计算机技术和机械自动化技术, 达到煤自动分选的目的。刘文礼等人开发了煤泥浮选时间的变化关系, 定性指定各泡沫特征参数与泡沫纹理的相关性。王晓晨等人利用图像识别技术研究了泡沫的特征是量(灰度、灰度面积比、能量、熵和惯量)与精煤泡沫灰分、浓度之间的关系。曾荣分析镍浮选泡沫图像, 计算出泡沫颜色参数, 气泡个数和大小、泡沫的稳定性和移动速度等泡沫物理, 并以此评估浮选过程。中国矿业大学在实验室土星地煤泥复选泡沫状态识别方面的研究, 以此来评估浮选效果; 北京矿冶研究总院和金川公司合作进行了镍矿浮选泡沫图像处理方面的研究工作。

在商业应用系统方面, 主要商用泡沫图像系统包括 VisioFroth(Metso), SmartFroth(UCT), JKFrothCam(JKFRC), ACEFLOT(Chile), FrothMaster(Outokumpu)。

1994 年开发出来的 JK Frothcam, 该系统采用像素跟踪进行泡沫速度提取, 利



用纹理谱进行泡沫大小估计与分类。系统根据不同浮选状态设置了不同的控制规则,可根据实时测量的浮选泡沫视觉特征进行浮选状态分类,进而实施相应的浮选操作,但该系统速度较慢,而且对泡沫大小估计不太准确,一直在不断完善改进中,实际工业应用还不广泛。

中南大学在矿物浮选工艺和基于机器视觉的矿物浮选泡沫监控方面也做了相关研究,并取得了一些研究成果。特别在浮选泡沫图像采集与浮选泡沫监测上,中南大学与中国铝业股份有限公司中州分公司共同合作,开展了浮选泡沫图像处理技术的研究,研发的“矿物浮选泡沫图像处理技术”已通过技术成果鉴定,与会专定一致认为该项目创新性明显,主要性能指标优于国际同类产品,整体技术达到国际先进水平,并且有很好的推广应用价值。系统可对浮选泡沫在线实时监测和分析,准确提取泡沫图像特征(大小、速度、颜色、等),并以曲线形式连续记录、显示,准确预测浮选流程中各矿流的品位和 PH,逐步取代离线的化学分析,并为进一步开发浮选过程优化控制系统奠定了基础。

在过去的二十年里,机器视觉和人工智能发展迅速,并广泛运用到医学扫描、人脸识别、GPS 定位、无人驾驶等高科技领域,面向军用和安防的各种高端视觉监控及图像分析设备陆续被开发出来。市面上一些面向工业和民用的工业监控设备也纷纷崭露头角。与此同时,各种简单易用的数学分析软件,为方便用户进行图像处理、数据建模提供了高效的分析平台;强大的可视化面向对象开发工具为用户提供了直观便利的集成开发环境,让用户搭建一个特定的应用程序框架变得易如反掌。在现今这种硬、软件条件非常成熟的条件下,把图像处理及人工智能等高科技手段运用到浮选过程的监控中,开发满足个性化需求的监控系统,以取代人工视觉,将成为可能。



## 第三章 泡沫图像特征提取方法

### 3.1 浮选泡沫图像的特点

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。重金属和煤泥浮选的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。

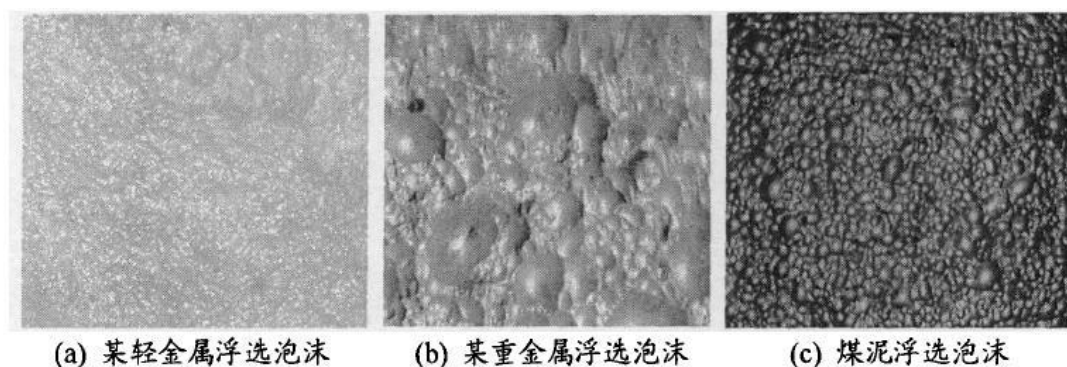


图 3-1 不同矿物的浮选泡沫

### 3.2 泡沫图像特征分析

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、对比度和黏性的综合表述。粗糙度和对比度与泡沫表面矿物的富集程度有关，而泡沫的黏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。

## 3.3 泡沫图像特征提取方法

### 3.3.1 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像素点数。其计算公式为：

$$g(x, y) = c + \frac{d - c}{b - a} (f(x, y) - a) \quad (3-1)$$

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。

### 3.3.2 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  $R_{relative}$ ,作为基于 RGB 空间提取出的颜色特征。

$$R_{relative} = \frac{R_{mean}}{Gray_{mean}} \quad (3-2)$$

其中  $R_{mean}$  和  $Gray_{mean}$  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。

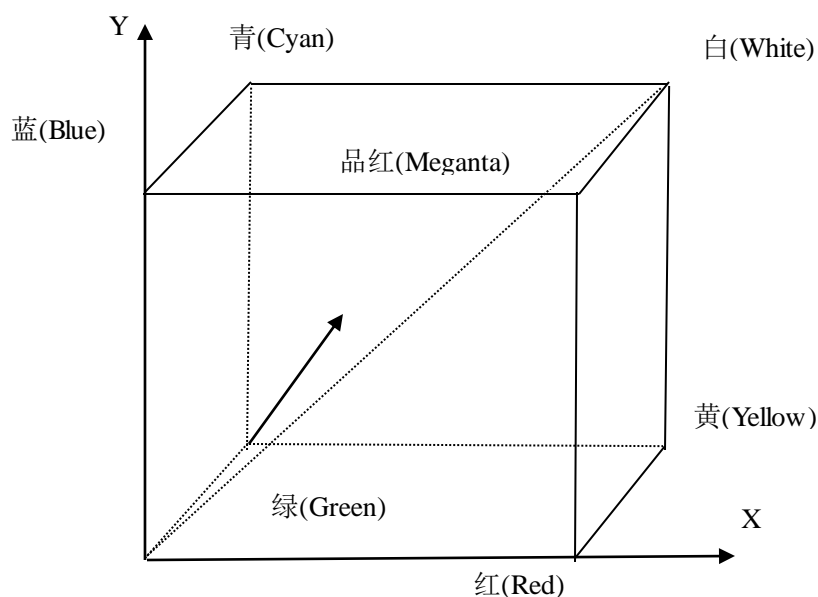


图 3-2 RGB 色彩空间

## (2) 基于 HSI 空间的色彩特征提取

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。

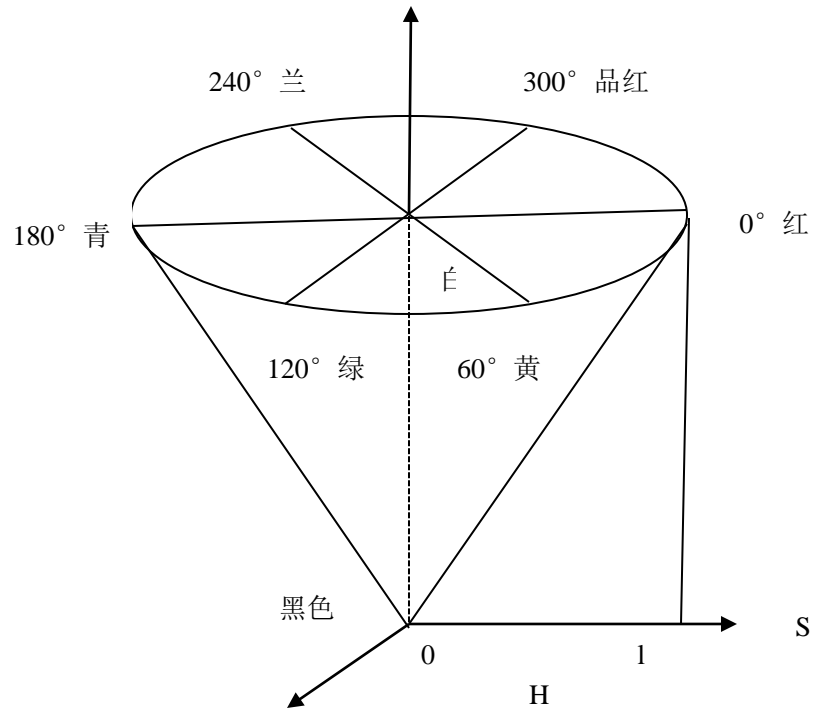


图 3-3 HSI 色彩空间

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。

$$\begin{cases} I = \frac{R+G+B}{3} \\ H = \frac{1}{360} \left[ 90 - \tan^{-1} \left( \frac{F}{\sqrt{3}} \right) + \{0, G > B; 180, G < B\} \right] \\ S = 1 - \left[ \frac{\min(R,G,B)}{I} \right] \end{cases} \quad (3-3)$$

其中  $F = \frac{2R-G-B}{G-B}$  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。

### 3.3.3 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。

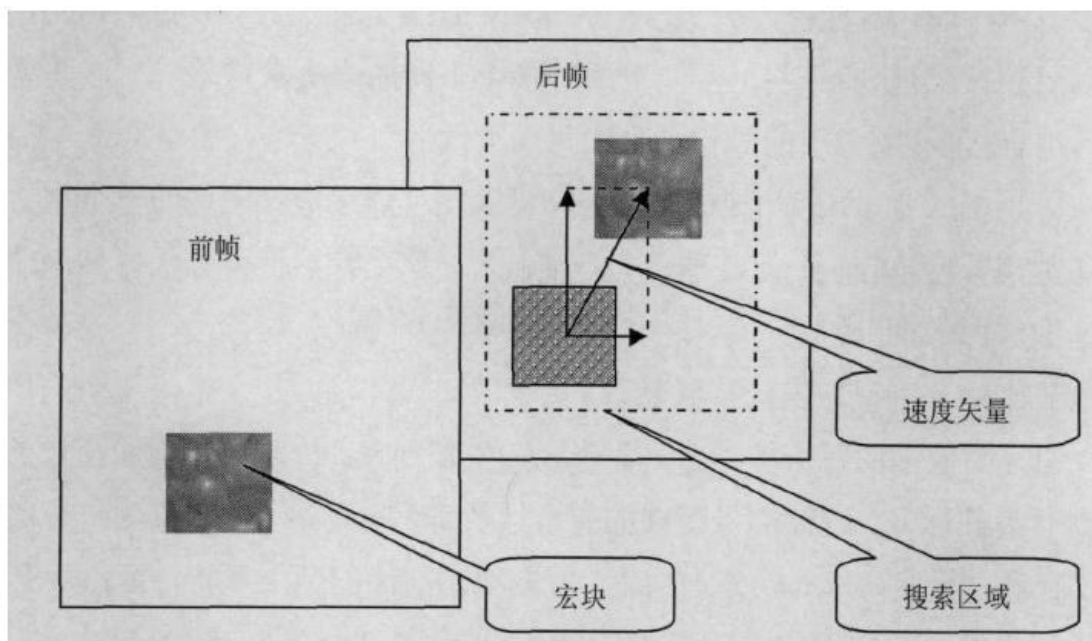


图 3-5 宏块跟踪示意图

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。

### 3.3.4 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。



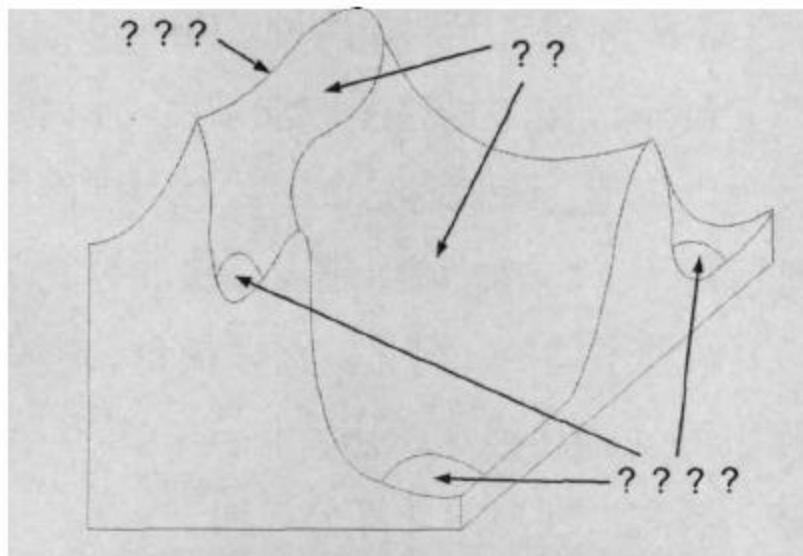


图 3-6 分水岭示意图

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。

### 3.3.5 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,熵(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:

$$\text{Ener} = \sum_{u=0}^{G-1} \sum_{v=0}^{G-1} [p(u, v)]^2 \quad (3-4)$$

$$\text{Entr} = \sum_{u=0}^{G-1} \sum_{v=0}^{G-1} p(u, v) \log_2 p(u, v) \quad (3-5)$$

$$\text{Ener} = \sum_{u=0}^{G-1} \sum_{v=0}^{G-1} [(u, v)^2 p(u, v)] \quad (3-6)$$

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。

## 第四章 金锑浮选过程集中监控系统总体设计

### 4.1 系统功能需求

开发浮选监控系统最终是为工人所用，那么必须站在工人的角度，明确工人对系统的要求。根据矿物浮选工艺特点和基于图像的监控系统的工业应用需求，所开发的浮选过程监控系统应该具备以下基本功能：

(1)泡沫视频的播放与保存。播放粗选、粗扫和精Ⅱ泡沫的实时监控视频;提供手动和自动两种方式保存视频。

(2)泡沫图像特征值和浮选工艺预测值的实时显示。

(3)趋势图绘制。绘制图像特征与工艺预测参数的趋势图。

(4)数据库管理。提供图像和工艺数据库的添加和删除功能。

(5)控制策略显示。这是系统中与工人关系最为密切的功能。系统根据收录的专家知识，给出泡沫的综合评价和相应的专家控制策略，指导工人完成浮选作业。

(6)系统自诊断。监控系统能够在无人值守时，自动登入系统软件完成大部分工作，并且在相机异常、图像中断和程序无响应时自动恢复。

### 4.2 软件总体设计

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。

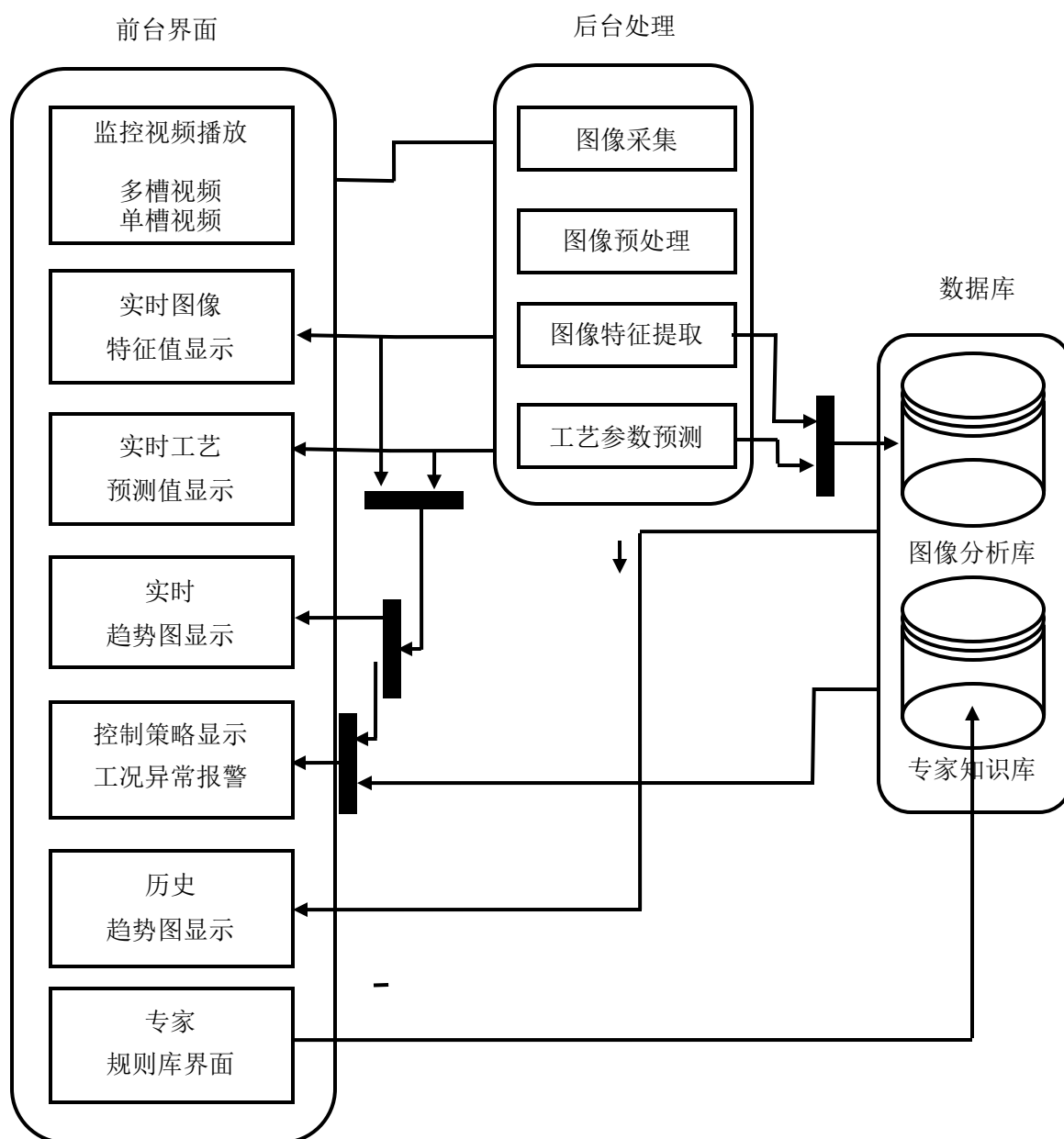


图 4-1 软件总体结构图

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系统和功能的有机结合。

### 4.3 数据库设计

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。

#### 4.3.1 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。

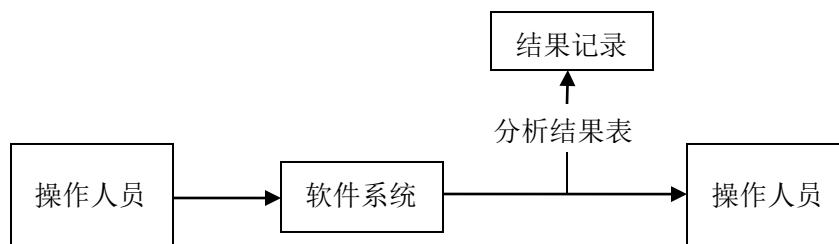


图 4-2 软件系统顶层数据流图

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。

#### 4.3.2 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。

#### 4.3.3 专家知识数据库

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，并设定好若干组阈值;如果软件计算出来的当前实时特征值恰好满足某一组阈值时，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 contourlet in quality evaluation 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