



国家重点研发计划项目 (0000YFC0000000)
国家自然科学基金项目 (12345678, 87654321)
国家自然科学基金联合基金重点项目 (12345678)
江苏省研究生科研创新计划项目 (KYCX24_1234)

硕士学位论文

浮选旋流分选机理研究

Study on the Cyclonic Separation Mechanism of
Flotation

作 者: 陈二
导 师: 张三 教授
李四 副教授

中国矿业大学
二〇二五年六月

学位论文使用授权声明

本人完全了解中国矿业大学有关保留、使用学位论文的规定，同意本人所撰写的学位论文的使用授权按照学校的管理规定处理：

作为申请学位的条件之一，学位论文著作权拥有者须授权所在学校拥有学位论文的部分使用权，即：①学校档案馆和图书馆有权保留学位论文的纸质版和电子版，可以使用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文；②为教学和科研目的，学校档案馆和图书馆可以将公开的学位论文作为资料在档案馆、图书馆等场所或在校园网上供校内师生阅读、浏览。另外，根据有关法规，同意中国国家图书馆保存研究生学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)。

作者签名：

年 月 日

导师签名：

年 月 日

中图分类号 TP123.45

学校代码 10290

UDC 001.2

密 级 公开

中国矿业大学
硕士学位论文

浮选旋流分选机理研究

Study on the Cyclonic Separation Mechanism of
Flotation

作 者 陈二

导 师 张三、李四

申请学位 工学硕士

培养单位 计算机科学与技术学院

学科专业 计算机科学与技术

研究方向 人工智能

答辩委员会主席 王五

评 阅 人 校外盲审

二〇二五年六月

致谢

感谢 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXX

感谢 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXX

摘要

旋流—静态微泡浮选是一种具有我国自主知识产权的新型柱式分选方法与设备。特有的旋流场结构以及在煤炭分选方面的成功应用，为浮选柱技术在我国矿物分选方面的拓展奠定了良好的基础。

X
X
X
X
X X

关键词：浮选；旋流；分选机理；浮选动力学；矿物分选

Abstract

Young college students are the hope of our country and nation. The historical experience shows that the value education problem for the younger generation cannot be neglected at any time and in any environment. Only through the strengthening of core socialist value belief of the youth, especially young college students, the great mission of achievement of great rejuvenation of the Chinese nation will have reliable backup forces.

Cyclonic static micro-bubble flotation is a new column separation method and device with China self-owned intellectual property. The successful application of this equipment in coal preparation along with its special cyclonic field structure has laid a solid base for the further application of column flotation in mineral processing.

Keywords: flotation; cyclonic separation; separation mechanism; flotation kinetics; mineral separation

目 录

摘要	I
目录	III
图清单	V
表清单	VI
变量注释表	VII
1 绪论	1
1.1 概述	1
2 模板使用说明	3
2.1 简介	3
2.2 文档类	3
2.3 元数据配置	3
2.4 多级标题	5
2.5 内容和章节	5
2.6 公式	7
2.7 浮动体	8
2.8 其他	8
3 结论	9
参考文献	12
附录 1	13
附录 2	14
作者简历	15
学位论文原创性声明	16
学位论文数据集	17

Contents

Abstract	II
Contents	IV
List of Figures	V
List of Tables	VI
List of Variables	VII
1 Introduction.....	1
1.1 Overview.....	1
2 Template Usage Guide.....	3
2.1 Overview.....	3
2.2 Document Class	3
2.3 Metadata Configuration	3
2.4 Titles	5
2.5 Contents and Chapters	5
2.6 Equation	7
2.7 Floats.....	8
2.8 Others.....	8
3 Conclusion	9
References.....	12
Appendix 1.....	13
Appendix 2.....	14
Author's Resume	15
Declaration of Thesis Originality	16
Thesis Data Collection.....	17

图清单

图序号	图名称	页码
图 1-1	图名	2
Figure 1-1	Figure title	2

表清单

表序号	表名称	页码
表 1-1	表名	1
Table 1-1	Table title	1

变量注释表

V_1	反应器入口速度 (m/s)
t	时间, 时间间隔, 持续时间 (s)
F	力 (N)
γ	表面张力 (N/m)

1 绪论

1 Introduction

1.1 概述 (Overview)

.....
.....
.....

1.1.1 研究目标

描述旋流—静态微泡浮选柱的旋流场结构，分析旋流场特征及其影响^[1]；借助流体力学软件对柱体的内部流场进行模拟并分析其流场速度分布规律，研究循环矿浆量及给矿量等因素对流场的影响^[2-3]；通过对旋流场内的颗粒受力分析，建立基于旋流的颗粒动力学方程^[4-6]；系统揭示旋流分选作用，并进行相关动力学分析^[7-8]...

.....
.....

1.1.2 研究方法

流场模拟及分选机理研究^[9]。

表 1-1 表名^[7]
Table 1-1 Table title

标题 (mm)	占比 (%)	标题 (%)	占比 (%)	标题 (%)
> 0.5	3.80	7.38	3.80	7.38
0.5~0.25	4.55	4.56	8.35	5.84
0.25~0.125	3.32	5.47	11.67	5.74
0.125~0.074	4.74	3.63	16.41	5.13
0.074~0.045	10.72	3.11	27.13	4.33
< 0.045	72.87	4.64	100.00	4.56
合计	100.00	4.56	—	—

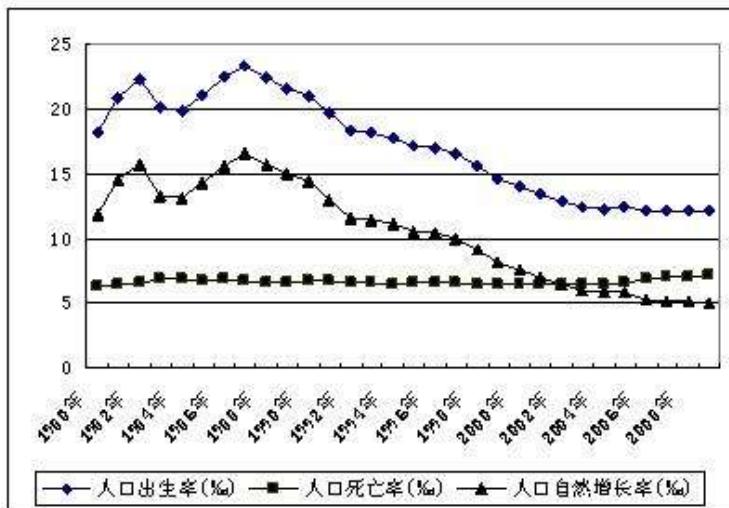


图 1-1 图名
Figure 1-1 Figure title

描述旋流-静态微泡浮选柱的旋流场结构^①, 分析旋流场特征及其影响; 借助流体力学软件对柱体的内部流场进行模拟并分析其流场速度分布规律, 研究循环矿浆量及给矿量等因素对流场的影响;^②通过对旋流场内的颗粒受力分析, 建立基于旋流的颗粒动力学方程; 系统揭示旋流分选作用, 并进行相关动力学分析…

- ①当论文中的字、词或短语等，需要进一步加以说明，而又没有具有的文献来源时，用注释。
- ②当论文中的字、词或短语等，需要进一步加以说明，而又没有具有的文献来源时，用注释。

2 模板使用说明

2 Template Usage Guide

2.1 简介 (Overview)

该 `LATeX` 模板按照《中国矿业大学研究生学位论文撰写规定及模板（2021 年版）》的要求编写（以下简称《撰写规定》）。目前支持硕士、博士毕业论文撰写（暂不支持外文学院硕士毕业论文）。

2.2 文档类 (Document Class)

在文档开始时，需指定文档类为：

```
\documentclass{cumtthesis}
```

2.3 元数据配置 (Metadata Configuration)

在文档的导言区，使用 `\cumtsetup{}` 配置论文的元数据。以下是一些关键配置项：

- `output`: 设置输出格式，可选 `electronic` (电子版)、`print` (打印版) 或 `blindreview` (盲审版)^①或 `inspection` (抽检版)^②。
- `funding-on-cover`: 是否在封面显示基金信息，可选 `true` 或 `false`。
- `title` 和 `title*`: 分别设置中文标题和英文标题。
- `author`: 设置作者姓名。
- `thesis-type`: 设置论文类型，如“硕士学位论文”、“博士学位论文”或“本科生毕业设计（论文）”等。
- `supervisor` 和 `supervisor-title`: 设置导师姓名和职称。
- `co-supervisor` 和 `co-supervisor-title`: 设置第二导师姓名和职称（选填）。
- `year` 和 `month`: 设置论文提交的年月。
- `degree-applied`: 设置申请学位的名称。

^①盲审版仅保留封面页和论文主体部分

^②抽检版隐藏学校、人名、校徽等敏感信息，并隐去致谢部分

- `affiliation`: 设置培养单位（学院）。
- `major`: 设置学科专业。
- `field`: 设置研究方向。
- `first-level-discipline-code`: 一级学科（授权点）代码。
- `first-level-discipline-name`: 一级学科（授权点）名称。
- `second-level-discipline-code`: 二级学科（领域）代码。
- `second-level-discipline-name`: 二级学科（领域）名称。
- `defense-committee-chair`: 设置答辩委员会主席。
- `reviewer`: 设置评阅人。
- `security-level`: 设置密级。
- `confidentiality-period`: 保密期（起讫日期）。
- `clc`: 设置中图分类号。
- `udc`: 设置 UDC 分类号（选填）。
- `funding`: 设置资助信息，格式为 {< 基金名称 1>(编号 1);< 基金名称 2>(编号 2);...}。
- `degree-category`: 设置学位类别。
- `language`: 设置论文语种，默认为“中文”。
- `student-id`: 设置学号。
- `program-duration`: 设置学制。
- `defense-committee-members`: 设置答辩委员会成员（选填）。
- `electronic-thesis-format`: 设置电子版论文格式（选填）。
- `electronic-thesis-publisher`: 设置电子版论文出版者（选填）。
- `electronic-thesis-publisher-location`: 设置电子版论文出版地（选填）。
- `permission-statement`: 设置授权声明（选填）。

2.4 多级标题 (Titles)

2.4.1 有编号标题

- `\bichapter{}{}`: 中文、英文一级标题 (章)。
- `\bisection{}{}`: 中文、英文二级标题 (节)。
- `\subsection{}{}`: 三级标题 (小节)。
- `\subsubsection{}{}`: 四级标题 (次小节)^①。
- `\paragraph{}{}`: 五级标题 (段落)。默认为内嵌 (Run-in) 标题, 可使用`\paragraph*{}{}`实现陈列 (Display) 标题。
- `\subparagraph{}{}`: 六级标题 (小段)。默认为内嵌 (Run-in) 标题, 可使用`\subparagraph*{}{}`实现陈列 (Display) 标题。

2.4.2 无编号标题

- `\bichapter*{}{}`: 中文、英文一级标题 (章), 添加到目录。
- `\chapter*{}{}`: 中文一级标题 (章), 不添加到目录。

2.5 内容和章节 (Contents and Chapters)

2.5.1 封面与扉页

- `\MakeCoverPage`: 生成封面页。
- `\MakeTitlePage`: 生成扉页。

封面与扉页信息来自于元数据 (见2.3), 因此请确保所有必要字段都已正确填写。

2.5.2 致谢

致谢部分放置在 `acknowledgements.tex`, 使用 `acknowledgements` 环境。

2.5.3 摘要与关键词

- `\begin{cnabstract}... \end{cnabstract}`: 定义中文摘要。
- `\begin{enabstract}... \end{enabstract}`: 定义英文摘要。
- `\cnkeywords{}{}`: 定义中文关键词 (需要被包裹于 `cnabstract` 环境内)。

① 《撰写规定》中未对四、五、六级标题作具体要求

- \enkeywords{}: 定义英文关键词（需要被包裹于 `enabstract` 环境内）。
- \MakeCnAbstract: 生成中文摘要页面。
- \MakeEnAbstract: 生成英文摘要页面。

2.5.4 目录

- \MakeCnContents: 生成中文目录。
- \MakeEnContents: 生成英文目录。

2.5.5 图表清单

- \MakeListOfFigures: 生成图清单。
- \MakeListOfTables: 生成表清单。

2.5.6 变量注释表

变量注释表放置在 `denotation.tex`, 使用 `denotation` 环境, 并使用\Variable{}{}命令添加符号和解释。

2.5.7 正文内容

正文部分每个章节应保存为单独的.tex 文件, 并通过\input{}命令引入主文档中。

2.5.8 脚注

使用\footnote{}命令插入脚注^①。

2.5.9 参考文献

参考文献列表由\MakeReferencePage命令生成, 并按照 GB/T-7714 标准进行引用格式化。使用\addbibresource{}在导言区指定 bib 文件。

2.5.10 附录

附录用于包含补充材料（非必须）。该部分放置在 `appendix.tex`, 需使用 `appendix` 环境。

2.5.11 简历

简历部分放置在 `resume.tex`, 需使用 `resume` 环境^②。

①脚注示例

②使用\resumesection 命令添加小节标题。

请使用`\SensitiveInfo{}`包裹敏感信息，以配合盲审模式使用。若无需盲审模式，请忽略。

(此项仅限研究生使用)

2.5.12 各种声明页

- `\MakeGraduateCopyrightDeclarationPage`: 研究生授权声明。
- `\MakeGraduateOriginalityDeclarationPage`: 研究生原创性声明。
- `\MakeUndergraduateDeclarationPages`: 本科生原创性声明、诚信承诺书、使用授权声明。

2.5.13 学位论文数据集

学位论文数据集页面由`\MakeDataCollectionPage`命令生成，其中包含了论文的各项元数据信息，如密级、分类号、资助项目等。

(此项仅限研究生使用)

2.5.14 评阅表格

本科毕业设计（论文）任务书、指导教师评阅书、评阅教师评阅书、答辩及综合成绩表格放置在 `undergraduate.tex`。

(此项仅限本科生使用)

2.6 公式 (Equation)

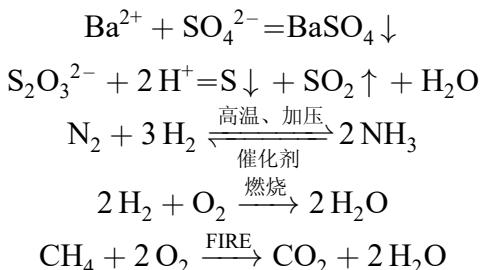
2.6.1 数学公式

$$\mathcal{L}_F(\theta, \psi, \xi, \epsilon, \eta) = \mathcal{KL}(\mathcal{N}(\mu_x, \sigma_x^2) || \mathcal{N}(\mu_y, \sigma_y^2)) \quad (2-1)$$

$$\hat{\mathbf{y}} = \operatorname{argmax}_y \mathcal{D}_{\vartheta}(\mathcal{F}_{\theta}(\mathbf{X}_{\sigma})). \quad (2-2)$$

2.6.2 化学公式

模板中使用 `mhchem` 宏包实现化学公式。使用`\ce{}`输入。



2.7 浮动体 (Floats)

2.7.1 图

模板使用 `subcaption` 宏包实现子图。具体用法参考<https://mirrors.ibiblio.org/CTAN/macros/latex/contrib/caption/subcaption.pdf>

2.7.2 表

模板引入了 `tabularx` 宏包。同时自定义列类型 `c`, 用于创建固定宽度且内容水平居中的表格列, 即 `c{<type>} {<width>}`。其中, #1 指定列的基本类型 (如 `p`、`m` 或 `b`), #2 是列宽。

2.7.3 算法

模板中使用 `algorithm2e` 宏包实现算法环境。具体用法参考官方文档。

算法 2.1 ** 算法

Data: this text

```

Result: some text

1  $x := x_0;$ 
2 while  $x < 100$  do
3    $x := y^2;$ 
4   if  $x > a$  then
5      $y := y - 1$ ;
6      $c := 10290$ 
7   else
8      $y := y/2;$ 
9   end
10 end

```

2.8 其他 (Others)

2.8.1 生僻字测试

3 结论

3 Conclusion

本文从自然因素、外部环境和内部结构等方面，详细分析了影响我国煤炭供给和需求的因素，探索煤炭供需与其影响因素的规律，构建了我国煤炭供需预测预警指标体系，对我国煤炭供需进行预测预警。

我国的煤炭供给受许多因素度影响，而且随着时间的推移，出现新的特点。

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

目前，我国的铁路运输压力又所缓解，但铁路运输还是制约着我国的煤炭供给。我国煤炭资源区域分异现象与经济区域分异性相悖，由此造成了“西煤东调”和“北煤南运”的运输格局，这种能源中心与经济中心的差异性，形成了大量的煤炭运输需求以及非常集中的煤炭流量，但因资金的缺口及体制的原因，铁路运输现在将来一段时期都制约着我国的煤炭供给。

目前，我国的铁路运输压力又所缓解，但铁路运输还是制约着我国的煤炭供给。我国煤炭资源区域分异现象与经济区域分异性相悖，由此造成了“西煤东调”和“北煤南运”的运输格局，这种能源中心与经济中心的差异性，形成了大量的煤炭运输需求以及非常集中的煤炭流量，但因资金的缺口及体制的原因，铁路运输现在将来一段时期都制约着我国的煤炭供给。

目前，我国的铁路运输压力又所缓解，但铁路运输还是制约着我国的煤炭供给。我国煤炭资源区域分异现象与经济区域分异性相悖，由此造成了“西煤东

调”和“北煤南运”的运输格局，这种能源中心与经济中心的差异性，形成了大量的煤炭运输需求以及非常集中的煤炭流量，但因资金的缺口及体制的原因，铁路运输现在将来一段时期都制约着我国的煤炭供给。

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

参考文献

- [1] ACHARYA B S, KHAREL G. Acid mine drainage from coal mining in the United States—An overview[J]. Journal of Hydrology, 2020, 588: 125061.
- [2] BETZ M R, PARTRIDGE M D, FARREN M, et al. Coal mining, economic development, and the natural resources curse[J]. Energy Economics, 2015, 50: 105-116.
- [3] LI X, CAO Z, XU Y. Characteristics and trends of coal mine safety development[J]. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2021: 1-19.
- [4] MOHUTSIWA M, MUSINGWINI C. Parametric estimation of capital costs for establishing a coal mine: South Africa case study[J]. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2015, 115(8): 789-797.
- [5] XIE H P, ZHOU H W, XUE D J, et al. Research and consideration on deep coal mining and critical mining depth[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(4): 535-542.
- [6] 中国社会科学院台湾史研究中心. 台湾光复六十五周年暨抗战史实学术研讨会论文集 [M]. 台湾光复六十五周年暨抗战史实学术研讨会论文集, 2012.
- [7] YOUNGER P L. Environmental impacts of coal mining and associated wastes: a geochemical perspective[J]. Geological Society, London, Special Publications, 2004, 236(1): 169-209.
- [8] 关立哲, 韩纪富, 张晨钰. 科技期刊编辑审读中要注重比较思维的科学运用[J]. 编辑学报, 2014, 26(2): 3.
- [9] 谢和平, 吴立新, 郑德志. 2025年中国能源消费及煤炭需求预测[J]. 煤炭学报, 2019, 44(07): 1949-1960.

附录 1

```
Imports System.Math
Imports System.Drawing
Public Class Form1

    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e
        As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        With Grid1
            .Cols = 9
            .Rows = 40
        End With
    End Sub
End Class
```

附录 2

Some Figures...

作者简历

一、基本情况

姓名：陈二 性别：男 民族：汉 出生年月：1976-07-23 籍贯：江苏省东台市

1995-09—1999-07 中国矿业大学化工学院学士；

1999-09—2002-06 中国矿业大学化工学院攻读硕士学位

二、学术论文

1. 张三、李四. 煤泥脱硫技术现状 [J]. 煤泥脱硫技术, 2004 (1): 53-55.
2. 王五、赵六、孙七. 黄铁矿显微赋存特征对浮选脱硫的影响 [J]. 煤炭技术, 2005 (5): 6-7.

三、获奖情况

1. 张三、李四. 旋流-静态微泡柱分离方法研究与旋流-静态微泡浮选床研制. 中国机械工业科技进步奖二等奖；
2.

四、研究项目

1. 废弃煤泥的洁净加工与利用. 国家重点技术创新项目, 编号：国经贸技术(1999)598号,
参加人员；
2.

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文《浮选旋流分选机理研究》，是本人在导师指导下，在中国矿业大学攻读学位期间进行的研究工作所取得的成果。据我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

年 月 日

学位论文数据集

关键词 *	密级 *	中图分类号 *	UDC	论文资助
浮选；旋流；分选机理；浮选动力学；矿物分选	公开	TP123.45	001.2	国家重点研发计划项目(0000YFC0000000); 国家自然科学基金项目(12345678, 87654321); 国家自然科学基金联合基金重点项目(12345678); 江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX24_1234)
学位授予单位名称 *	学位授予单位代码 *	学位类别 *		学位级别 *
中国矿业大学	10290	工学		硕士
论文题目 *	并列题目 *			论文语种 *
浮选旋流分选机理研究	Study on the Cyclonic Separation Mechanism of Flotation			中文
作者姓名 *	陈二		学号 *	TS22000000A11
培养单位名称 *	培养单位代码 *	培养单位地址		邮编
中国矿业大学	10290	江苏省徐州市		221116
学科专业 *	研究方向 *	学制 *		学位授予年 *
计算机科学与技术	人工智能	3 年		2025
论文提交日期 *		2025 年 6 月		
导师姓名 *	张三、李四		职称 *	教授、副教授
评阅人	答辩委员会主席 *	答辩委员会成员		
校外盲审	王五	赵六、孙七、周八、吴九、郑十		
电子版论文提交格式	文本(√) 图像() 视频() 音频() 多媒体() 其他()			
推荐格式: application/msword; application/pdf				
电子版论文出版(发布)者	电子版论文出版(发布)地			权限声明
论文总页数 *	12			
注: 共 33 项, 其中带 * 为必填数据, 共 22 项。				