



Zhongjie Xuanmei

Gongyi Canshu Zhineng Kongzhi

重介选煤 工艺参数智能控制

岳广礼 李红强 刘心亮 闫 广 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

重介选煤工艺参数智能
A3147066
TD94
Y96

重介选煤工艺参数智能控制

岳广礼 李红强 著
刘心亮 闫广



A3147066

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书通过对重介选煤工艺流程以及工艺参数分析研究,采用动态均衡控制、模糊控制、模糊—PID 串级控制等智能控制方法解决了传统控制方法难以解决的问题,对工艺参数进行有效的控制,稳定了产品质量并提高了产率。本书可供选煤、自动控制等专业的本科生、研究生及教师阅读,也可供从事相关领域的研究人员、工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

重介选煤工艺参数智能控制 / 岳广礼等著. —徐州
中国矿业大学出版社, 2013. 3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1829 - 2

I. ①重… II. ①岳… III. ①重介质选煤—智能控制
IV. ①TD94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 049560 号

书 名 重介选煤工艺参数智能控制

著 者 岳广礼 李红强 刘心亮 闫广

责任编辑 章毅 何戈

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 850×1168 1/32 印张 4.375 字数 117 千字

版次印次 2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

重介选煤工艺是一种比较先进的选煤技术,相对跳汰等其他选煤工艺具有分选精度高、入选粒度范围宽、高效、易于实现自动化等优点,因此得到广泛推广。重介选煤原理主要是阿基米德原理以及流体力学、重力学等学科知识。由于原煤中精煤、中煤和矸石的密度不同,通过配比一定密度的重介悬浮液,以一定压力沿切线方向进入旋流器,同时入料口给入原煤,重介悬浮液和原煤混合在旋流器中高速旋转,一段可选出低密度煤(精煤)和高密度煤(中矸),中矸再进入二段进一步分选出中煤和矸石。为了保证重介选煤过程正常高效运行,进入重介旋流器的悬浮液压力、液位、黏度以及密度等工艺参数就必须控制在合理的范围内,尤其是重介悬浮液的稳定性。由于重介选煤主要依赖于重介悬浮液,悬浮液的稳定性直接影响产品的分选效果,从而影响经济效益。因此在重介选煤过程中必须对工艺过程参数进行有效控制,提高产品质量和产率。

重介选煤工艺有很多种,本书针对兖矿集团菏泽能化公司赵楼煤矿选煤厂主洗车间无压三产品重介选煤工艺流程的特点,以多个工艺参数为研究对象,充分研究和分析重介选煤工艺流程特点以及各个参数之间的关系。重介选煤控制过程具有非线性、强耦合、大滞后等特点,本书提出采用模糊控制、动态均衡控制、模糊—PID串级控制的等智能方法对重介悬浮液压力、液位、黏度、密度等工艺参数进行研究分析以及控制。本书主要研究内容如下:

- (1) 采用模糊控制方法对进入旋流器的重介悬浮液压力进行

控制。旋流器内部高速旋转的动力来自进入旋流器的重介悬浮液的压力,压力的大小影响旋流器内部的离心力和沉降速度,因此压力应该控制在合适的范围内。

(2) 分析赵楼煤矿选煤厂重介选煤工艺的特点,为了达到液位均衡的目的,通过对三个合介桶的进出料之间的平衡关系分析,提出了一种适合液位均衡控制的动态均衡控制方法,可以快速使三个合介桶液位达到平衡并保持相对稳定。

(3) 黏度也是影响分选效果的一个重要工艺参数,本书对悬浮液的组成进行研究,通过分流方式,采用模糊控制方法对固体体积浓度进行控制。

(4) 密度是影响分选效果最关键的工艺参数,要求控制精度高。为了保证产品质量稳定和产率最大化,随着精煤灰分与原煤灰分的变化,最佳密度给定也应随之变化,而且应该快速保持给定密度的相对稳定。本书研究利用模糊控制方法进行灰分的回控,给出最佳密度设定值,然后采用 PID 对密度进行控制,使密度快速稳定,共同构成模糊—PID 串级控制系统。

岳广礼主持了全书的撰写,李红强参与了第 4 章液位动态均衡控制的方案设计与实施,刘心亮参与了第 5 章重介悬浮液黏度控制的方案设计与实施,闫广参与了第 6 章重介悬浮液密度模糊—PID 串级控制的方案设计与实施。

在本书的撰写过程中,著者得到了中国矿业大学郭西进教授的多方面指导并提出了许多宝贵的意见和建议,硕士生任良才、高警卫和苑存超等也为书稿做了出色的工作,本书还得到了国家自然科学基金(61072094)的资助,在此表示衷心的感谢!

由于作者的学识水平和资源有限,书中不妥之处在所难免,敬请同行专家和读者批评指正。

著 者

2012 年 12 月

目 录

1	绪论	1
1.1	课题来源	1
1.2	研究背景	1
1.3	国内外研究现状	3
1.4	研究目标	7
2	重介选煤工艺简介	9
2.1	重介选煤工艺原理与发展前景	9
2.2	重介旋流器工作原理	12
2.3	重介选煤工艺流程	21
2.4	赵楼煤矿选煤厂选煤工艺现状	23
2.5	本章小结	25
3	旋流器入口压力模糊控制	26
3.1	压力控制方案设计	27
3.2	模糊控制器设计	31
3.3	控制效果	38
3.4	本章小结	40
4	液位动态均衡控制	41
4.1	液位动态均衡控制分析	42
4.2	动态均衡控制方案设计	48

4.3	控制效果	55
4.4	本章小结	57
5	重介悬浮液黏度控制	58
5.1	重介悬浮液黏度	58
5.2	重介悬浮液黏度控制研究	61
5.3	黏度模糊控制	67
5.4	控制效果	72
5.5	本章小结	74
6	重介悬浮液密度模糊—PID 串级控制	75
6.1	悬浮液密度控制的设备工艺	75
6.2	悬浮液密度给定值的确定	77
6.3	悬浮液密度模糊-PID 串级控制	85
6.4	控制效果	96
6.5	本章小结	99
7	总结与展望	100
7.1	主要工作	100
7.2	展望	102
	附录	104
	附录 1 密度给定控制脚本程序说明	104
	附录 2 液位均衡自动控制脚本说明	111
	附录 3 煤泥自动控制脚本说明	117
	参考文献	126

1 绪 论

1.1 课题来源

本书研究的课题来源于“兖矿集团有限公司赵楼煤矿 2011 年科技创新项目”支持的选煤厂改造子课题。

1.2 研究背景

我国是产煤以及煤消耗的大国,自我国建立工业体系开始,煤炭就一直作为我国的主要能源。虽然近年来风能、水能、太阳能、核能等绿色新能源产业得到大力发展,但在目前以及未来一段时间内煤炭能源仍然占主导地位。其次,近年来,由于全球气候变暖、极端恶劣天气频频出现等全球问题,世界各国纷纷开始注重节能减排,特别是要减少碳的排放量,改善生态环境,创建低碳生活。我国作为一个高耗能、高排放、煤炭低利用率的国家,更要大力发展低碳、绿色经济,把节能减排提高到国家战略位置上。

2009 年 12 月 7 日,在哥本哈根召开的“改变地球命运”气候大会上,各国纷纷提出了自己的减排措施和目标,中国政府承诺,到 2020 年,中国单位 GDP 二氧化碳排放量比 2005 年减少 40%~45%,可再生能源在能源结构中的比例争取达到 16%。在我国这个以煤炭为主要能源的国家,为了实现这一目标,在大力发展其他新兴能源产业的同时,也加大了原煤的洗选力度,提高煤炭利用率。自 20 世纪 90 年代以来我国开采的原煤入选比例逐年递增,但是总体原煤入选比例与其他主要产煤国相比依然很低,世界主

要产煤国入选比例平均超过了 50%，其中部分发达国家超过了 90%，而我国入选比例不到 40%，据统计我国煤炭储量占全球总储量的 11.6%，因此，我国选煤工业发展空间巨大。

近几十年来，我国选煤工业得到迅速发展，特别是近年来，我国选煤技术取得了丰硕成果，规模也在不断扩大，分选效率和质量也在不断提高。但和发达国家相比依然比较落后，主要表现在选煤设备、选煤工艺以及自动化水平三个方面。选煤设备方面，国内外的选煤设备虽然都有分选粒度下限高、参数设计不合理等缺点，但由于我国机械制造水平等原因，我国选煤设备处理能力和可靠性等方面大多低于国外先进水平。

在选煤工艺方面，我国主要以跳汰—浮选、重介—浮选、跳汰—重介—浮选等混合洗选工艺为主，较国外分级入选工艺复杂，工艺参数难以精确控制，而且不同粒度级别会产生不同的分选效果，影响产品质量。国外选煤厂规模目前已经基本大型化，根据原煤性质进行分级入选，提高产品质量和产品产率。

在选煤自动化方面，我国重介选煤过程中，工艺参数测量技术已经较为成熟和完善，但是自动控制算法一般采用经典控制，甚至有些采用人工控制方式，在实际应用中工艺参数控制精度不高，在工况发生变化时密度、磁性物含量和精煤灰分均成波浪线性变化。国内外一直在积极探索利用自适应控制、模式识别、模糊控制、神经网络等现代控制算法实现控制方式的改进和控制精度的稳定和提高。其中部分发达国家已经开始研究根据原煤性质自动给定悬浮液的密度设定值，以保证分选密度处于最佳值，使产品质量稳定。

本书针对赵楼煤矿选煤厂重介选煤工艺特点，工艺参数控制依赖现场技术人员经验判断，导致参数控制精度不够，产品精煤灰分不稳定的问题，提出利用智能控制方法对工艺参数进行控制研究。

1.3 国内外研究现状

在重介选煤工艺过程中,工艺参数的控制直接关系到分选效果的好坏,主要的工艺参数包括:旋流器的入口压力、悬浮液密度、悬浮液黏度以及合介桶液位。重介选煤过程是一个复杂、多变量、耦合的过程,对这些工艺参数的精确控制对稳定悬浮液特性、提高产品质量尤其重要。密度是影响精煤灰分最重要和直接的工艺参数,当密度升高,精煤灰分会升高,导致产品精煤不合格,而如果密度下降会使精煤灰分下降,造成产率降低,影响企业经济效益。同样,其他一些工艺参数也会对分选效果造成影响,甚至会产生损坏选煤设备的严重后果。

从 20 世纪 50 年代开始,国内外开始对重介选煤工艺自动控制技术进行研究,随着科技的进步,重介选煤工艺不断发展,重介选煤工艺的自动控制技术也得到不断提升。目前国内拥有先进自动控制技术的选煤厂不多,具有代表性的为山西成庄选煤厂,该选煤厂的“PlantSTEP 重介选煤过程自动控制系统”以工业计算机为控制核心,能实现对重介选煤过程集中控制,对悬浮液密度、煤泥含量、液位等工艺参数自动控制。在 20 世纪 90 年代我国从美国引进“53SU1000 系统”,该系统采用了传统 PID 控制算法,应用在了淮北临涣选煤厂以及山西东曲选煤厂,后来由于该系统具有不可维护等缺点,导致该系统目前已经无法使用。

近年来,随着选煤工业规模的不断扩大,选煤工艺流程变得越来越复杂,同时国内外也加大了对重介选煤自动控制系统的研究,已经从传统的单一控制系统发展到目前的基于工业以太网以及现场总线技术的自动控制系统,实现对重介选煤工艺过程集中控制,并且对生产设备以及工艺参数状态信息实时在线检测、分析优化、快速决策,通过信息平台完成生产调度,甚至实现信息共享,为其他选煤厂提供可靠的信息。

目前,国内大多数选煤厂虽然采用了很多先进的控制系统,控制效果也得到部分改善,但是不管采用哪种控制系统,控制系统对工艺参数控制的核心算法依然采用传统经典的PID控制,甚至有些工艺参数仍然采用人工的控制方式,控制算法没有得到改进,因此控制效果并没有得到显著提升。比如兖矿集团赵楼煤矿选煤厂,采用了西门子的DCS控制系统,但是压力和密度控制依然采用PID控制方式,而煤泥含量以及液位等工艺参数却通过WINCC上位机监控系统手动控制阀门进行调节,难以保证悬浮液特性的稳定。近年来,国内外研究学者试图将模糊控制、神经网络、自适应控制等先进的人工智能控制技术应用到重介选煤工艺参数控制上来,虽然在某些方面取得了理论成果,但是由于现场生产与理论研究相距太大,因此真正应用到重介选煤实际生产中的人工智能控制技术很少。

20世纪八九十年代,澳大利亚的一些选煤厂以及法国的VERNEJOUL选煤厂以原煤特性(比如原煤灰分)为研究依据,对重介分选密度给定值进行优化和控制以保证产品精煤的质量。而我国开滦马家沟选煤厂研究一种计算机密度给定控制系统,该系统可以通过输入原煤性质、分选密度先验知识以及精煤灰分等信息自动修改重介选煤分选密度的给定值,而且还就此做了大量扩大的中间试验研究工作,使该厂的经济效益得到明显提高。孟凡芹等研究了重介选煤工艺动态特性,利用介质流量总和平衡,采用模糊控制方法对密度和液位同时进行控制,取得良好效果。代艳玲等提出在介质流程计算中根据煤泥量确定分流量。确定分流量的主要依据是:产品带走的煤泥和磁选尾矿排出的煤泥应与入选原煤带入的煤泥和产生的次生煤泥相等。B. A. Firth通过分析旋流器参数与介质密度之间的关系对重介选煤工艺过程进行控制。

随着我国重介选煤工业的不断发展,为了解决我国煤质差,难

以分选的问题,国内研究人员、学者在重介选煤自动控制领域做了大量的研究工作,取得了很多理论与实际成果。我国研究人员通过研究重介选煤过程中多参数之间的动态平衡关系,推导出了重介选煤多参数控制数学模型,在国际上尚属首例,为我国进一步对重介选煤工艺研究奠定了理论基础。中国矿业大学郝继飞通过对重介密度控制系统的研究,推导出了数学模型,并且提出了一种适应性控制方法。煤炭科学研究总院唐山分院赵春祥等以三产品重介旋流器选煤工艺为研究对象,通过对工艺过程中各个参数之间的动态变化关系,建立了一种具有通用意义的重介选煤控制系统数学模型,并且提出了一种运用自校正控制原理的控制方法,实验表明比传统 PID 控制方法要好。但是其没有考虑到重介选煤工艺的大惯性、滞后和耦合等作用,因此在实际应用中效果并不明显。另外我国在“九五”国家科技攻关课题中研制开发出了“IZK 型重介选煤过程自动控制系统”,该系统通过模仿人工智能控制精煤灰分,采用自校正控制方法实现对悬浮液密度的自动控制,其控制精度达到了 $\pm 0.006 \text{ g/cm}^3$,比国外的 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 高出 40%。

20 世纪以来,随着科学技术的发展,特别是计算机、电子、传感器的迅猛发展,重介选煤工艺过程自动控制在国内外很多选煤厂得到广泛而成熟的应用,特别是在重介选煤工艺集中控制系统以及密度自动控制技术的研究和应用,然而令人遗憾的是控制方法大多数依然采用经典的 PID 控制方法。虽然国内外有很多研究学者研究采用模糊控制,神经网络应用到重介选煤当中,但是目前大多数选煤厂都根据自身的实际需要进行了部分工艺改造,很多策略并不适合在所有的选煤厂使用,因此需要根据各个选煤厂自己的重介选煤工艺特点进行分析、优化,找到合适的控制策略。同时这也增加了重介选煤工艺参数的自动控制难度。目前一种比较先进的重介选煤工艺中,是三个分选机组混合使用,补水环节放在了合格介质泵入口处,这种工艺相对以往传统的重介选煤

工艺具有节省空间,节约设备成本,不过同时使得工艺过程控制变得复杂。这种工艺在以后会详细介绍,这里主要说明选煤工艺改变之后,其实就是被控对象模型发生变化,因此一些基于传统控制策略就不一定适合。

目前国内外对重介选煤工艺参数的自动控制研究大多采用单独变量进行控制,而重介选煤过程是一个大惯性、大滞后、强耦合的复杂非线性多输入多输出过程,难以建立精确的数学模型。这给重介选煤工艺参数的自动控制增加很大难度。采用单变量进行控制在实际运用中可以看出控制效果虽然可以满足一些控制要求但是不是很理想,主要是动态性能和稳定性表现不佳。为了解决大滞后这一问题,很多研究学者尝试将 Smith 预估控制算法运用在重介选煤工艺参数自动控制系统中,但是 Smith 预估控制算法依赖于被控对象的精确数学模型,而对于数学模型难以建立的重介选煤工艺过程,该方法停留在了理论上的研究阶段。针对以上情况国内外选煤厂以及研究人员对重介选煤工艺流程进行适当的改造,降低参数之间的耦合以及滞后程度,同时采用复合模糊 PID 控制、自适应等先进智能控制方法运用到自动控制系统中,取得了一些成果。

另外,值得一提的是,目前国内外研究学者对重介悬浮液密度和液位的控制研究较多,而对悬浮液黏度、悬浮液密度给定的控制研究较少,以至于当前大多选煤厂的密度设定值依靠人工修改,同时对黏度的控制选择的被控对象依然是以煤泥含量为主,黏度不仅和煤泥含量有关还和磁性物含量有关。我国煤科总院唐山分院利用历史数据开发出密度给定专家系统,该院赵春祥提出以悬浮液中固体体积浓度为被控对象进行黏度控制,从而稳定悬浮液特性。

但是就目前我国各个选煤厂的实际应用来看,除了新建的选煤厂采用了先进的集中控制系统,部分工艺参数的控制采用了

PID 控制,很多老的选煤厂依然依赖于现场工人的经验进行手动控制,因此就实际应用方面我国和国外选煤厂还有很大差距。比如:位于美国北部的 Beiley 矿选煤厂,其处理能力达 $800 \sim 1\,500$ t/h,整个选煤厂每个班组为 $2 \sim 3$ 人,基本形成了无人值守的全自动化选煤厂。因此我国在选煤自动化方面还有一段很长的路要走。

1.4 研究目标

根据赵楼煤矿选煤厂重介选煤工艺状况,以重介三产品选煤工艺流程为研究对象,在实际生产过程中入选原煤性质变化、悬浮液特性改变以及其他干扰因素的影响下均能满足实际生产控制要求的自动化智能控制系统的主要控制要求有:

(1) 悬浮液压力自动控制

旋流器内部高速旋转的动力来自进入旋流器的重介悬浮液压力,压力的大小影响旋流器内部的离心力和沉降速度,因此压力应该控制在三产品重介旋流器所允许的合理范围内。

(2) 合介桶液位动态均衡控制

三个机组的中矸脱介筛部分重介悬浮液混合流入一个缓冲箱,然后分别再流入三个机组的合格介质桶内,要求三个合格介质桶液位保持平衡,即三个合格介质桶液位一样。而且还要保证缓冲箱内悬浮液不溢出。由于三个合格介质桶液位控制相互影响,存在一定耦合作用,因此需要对三个合介桶进行同时控制,三桶相互协调,通过观察人工调节过程,总结规律,研究采用动态均衡控制方法进行控制。

(3) 悬浮液黏度控制

悬浮液黏度直接关系到悬浮液的稳定性以及流变特性,黏度太大会使悬浮液流动性变差,影响分选效果,黏度和悬浮液固体体积浓度、磁性物含量、煤泥含量之间存在一定的关系,通过数学推导,

得出适合在线计算的公式,并研究合适的控制算法,控制煤泥分流量实现悬浮液黏度较好的控制,使悬浮液保持相对稳定。

(4) 悬浮液密度自动控制

悬浮液密度自动控制主要有两部分内容:第一,通过调节补水阀,使悬浮液密度维持在设定值 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 范围内;第二,根据原煤灰分和精煤灰分等参数对悬浮液密度设定值控制,使得重介选煤过程始终处于最佳分选状态,保证产品精煤灰分较为稳定。

(5) 具体性能指标

- ① 三个合格介质桶液位保持均衡,误差控制在3%以内。
- ② 实时计算煤泥含量、固体体积浓度,使煤泥含量、磁性物含量在 $1.30 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$ 密度级别范围内保持稳定。
- ③ 密度控制精度为 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。
- ④ 在原煤性质发生变化或者产品精煤灰分超标时实现密度给定值小范围自动调整,使分选密度尽可能保持在最佳值,稳定产品精煤灰分。
- ⑤ 产品精煤灰分稳定在8%~9%以内。

2 重介选煤工艺简介

煤炭目前依然是我国重要的能源和原料资源,随着社会的发展以及节能减排、低碳生活等国家政策的提出,我国的选煤工业得到快速发展。尤其是具有分选效率高、利于实现自动化、分选密度范围宽等特点的重介选煤工艺得到更加广泛的应用。目前我国新建大型选煤厂以及旧选煤厂改造基本上都采用了重介选煤技术。重介选煤技术已经被非常重视,自动化程度也在不断提高,随着原煤的入选比例加大,原煤的可选性变差,对重介选煤提出更高的要求。在重介选煤装备性能不断提升的同时,工艺参数的自动测控技术也应该不断提高,以适应更高的分选要求。本书充分研究分析重介选煤工艺的过程特点以及影响因素,采用更为智能先进的控制方法,提高工艺参数控制精度以及实时性,使重介选煤过程适应不同的煤质、煤种;并且结合实际生产需要,结合具体实际生产工艺流程,研究分析参数之间的关系,采用合适的控制方法,实现对工艺参数的自动控制。

2.1 重介选煤工艺原理与发展前景

重介选煤所利用的基本原理为阿基米德原理、重力沉降原理以及流体力学原理等,主要根据入洗原煤的密度与颗粒大小不同,利用密度大于 1.000 g/cm^3 的重介悬浮液在旋流器中通过高速旋转产生离心力,高于悬浮液密度的会下沉,低于悬浮液密度的会上浮,在离心力的作用下分选出高于悬浮液密度的重产物和轻产物,其中轻产物经过脱介等处理之后即为精煤产品,而重产物再通过

二级更高密度重介悬浮液进行分选得到中煤和矸石。

在重介选煤之前必须首先配置好合格的重介悬浮液,一般重介选煤过程中选择真密度为 $4.300 \sim 5.200 \text{ g/cm}^3$ 、粒度为 $0.044 \sim 0.074 \text{ mm}$ 的磁铁矿粉,与煤泥水充分搅拌混合,利用密度自动控制系统配比成所需要的密度级重介悬浮液,合格的重介悬浮液由合介泵从合介桶抽出,以一定压力沿旋流器入口切线方向送入重介旋流器,使旋流器圆筒内形成强大双层旋流,同时入料原煤和部分重介悬浮液混合后以一定速度进入重介旋流器进行分选。精煤由第一级重介旋流器分选出来,而中煤和矸石由第二级旋流器分选出来,从旋流器分选出的精煤、中煤和矸石随着重介悬浮液分别进入弧形筛、脱介筛脱介回收。弧形筛的重介悬浮液一部分直接流入合格介质桶,另一部分流入分流箱进行分流控制。脱介筛一段的悬浮液直接流入合格介质桶,二段的悬浮液流到稀介质桶进入磁选机回收磁性物。在重介选煤介质回收过程中有一部分重介无法完全通过磁选机进行回收,而是随着分选出的产品以及磁选尾矿部分流失,因此要不断地或间断性地往重介选煤系统添加新的重介,以补充流失的重介,保持悬浮液稳定。图 2-1 所示为无压三产品重介选煤工艺流程。

由于重介选煤所使用的重介悬浮液是由高密度细微颗粒和水混合而成,为非均相重介悬浮液,并非真溶液,因此在重介选煤过程中,在其中运动的煤颗粒不仅受到分散介质的阻力,比如水的阻力,而且还会受到分散相微颗粒的阻力,比如磁铁矿粉和煤泥颗粒。粒度小且密度与重介悬浮液密度差不多的煤颗粒在重介悬浮液中运动时所受到的阻力主要是黏性阻力,特别是煤泥含量较高时,悬浮液流动性变差;但是较粗粒度且与重介悬浮液密度差距较大的煤颗粒在悬浮液中运动时受到的阻力主要是惯性阻力。实验表明,当煤颗粒密度、粒度与重介悬浮液密度、磁铁矿粉粒度差不多时,煤颗粒与磁性物颗粒相互之间的机械作用将会增强。因此,