

Dry Beneficiation and Clean Coal Technology

干法分选与洁净煤

陈清如



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

Dry Beneficiation and Clean Coal Technology

干法分选与洁净煤

陈清如

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

内 容 提 要

本书是作者几十年来在不同时期的具有代表性的论著,全书内容分三部分:(1)二十世纪五六十年代。跳汰水流运动特性(跳汰周期)对物料分选过程作用,日本先进的选煤技术和设备。(2)二十世纪八九十年代。概率筛分理论和应用,空气重介质流化床干法分选理论和应用。(3)二十一世纪。中国洁净煤战略思考 and 对策。

图书在版编目(CIP)数据

干法分选与洁净煤/陈清如. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.11

ISBN 7 - 81107 - 418 - 4

I. 干… II. 陈… III. ①选煤②煤—燃烧—净化—技术 IV. ①TD94②TK227.1③TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 137468 号

书 名 干法分选与洁净煤

著 者 陈清如

责任编辑 褚建萍 杨传良 万士才 杨 廷

责任校对 张海平 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008)

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

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 24.5 插页 4 字数 615 千字

版次印次 2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

定 价 198.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

自序

这部纪念文集是我和我的研究生共同完成的,所收集的中文论文主要是在从事干法筛分和干法分选研究及开发过程中编写的。论文是按几个年代分组编入的,每个年代的代表作均编入这部纪念文集。

我是1926年12月3日在浙江杭州出生的,那时正值军阀混战的年代。在青少年时期,给我印象最深的是在中国大地上日本侵略军的肆意践踏、到处杀人放火,百姓背井离乡、饱受欺凌。这使我从小就树立一个信念:只有读书才能救国,只有国家强大起来,我们才能不做亡国奴。我在中学时期刻苦学习,是年級的级长,积极参加沦陷区学生的爱国救亡运动,如:参加进步组织“洪流社”和“洪流剧团”,参加学习,写文章,演进步话剧,黑夜上街刷抗日标语,发抗日传单等。1946年我高中毕业考入国立英士大学电机系,当时的生活非常艰苦,家里经济拮据,但我仍坚持刻苦学习,朝着读书救国的目标前进。之后,由于交不起每月30斤米的伙食费,1948年我又重新考入唐山交通大学矿冶系,并获得了该校的奖学金。1952年7月,我结束了四年的大学学习生活。毕业后,时值新中国百废待兴、百业待举之际,我很想到生产第一线去轰轰烈烈干一番事业,但最后我还是接受了学校决定,留校任教,从此开始了我55年的教书育人、科技创新的历程。

1952年正值全国高校院系调整,我随唐山交通大学采矿系并入了中国矿业学院。我积极工作,努力提高自己的思想和业务水平,1953年6月6日我光荣地加入了中国共产党。1958年我被国家公派前往苏联莫斯科矿业学院进修,并从事跳汰理论和放射性同位素用于选煤过程的研究。在苏联莫斯科矿业学院学习的两年中,正值中苏关系紧张,在苏的中国留学生学习处境困难,我想尽办法收集资料,进行实验研究,以取得更多的科研知识和技能。同时,我也更加深刻地体会到,国家的富强离不开科学技术的进步。1960年底回国后,我在煤炭部和学校领导的关怀、支持下,很快就组建了选煤过程应用放射性同位素实验室,进行选煤理论和测控技术的实验研究,同时我还担任主管科研的系副主任工作。1963年,我患上了甲型肝炎,北医三院的大夫要我卧床休息,我没听大夫的话,仍然继续工作,肝炎指标直线上升,北医三院不得不通知了北京矿业学院的领导,强迫我住进了潭柘寺肝炎疗养所。

1964年10月,在周恩来总理的关怀下,煤炭部派我作为三人小组的组长随中国五金矿产进出口总公司访日代表团前往日本考察先进的选煤技术和设备。

在日本的42天中,我们白天进行参观、考察和座谈,晚上抓紧时间整理资料。回国后,我用了3个月时间编写出30万字的《出国参观考察报告——日本选煤技术和设备》,详尽地介绍了日本当时从美、法、德和荷兰引进的重介质分选和重介质旋流器分选的技术与设备,以及日本研制的筛下空气室跳汰机等先进技术与设备,并从理论和生产实践方面进行了较深入的分析 and 比较。同年我作为技术负责人,指导并参加了我国第一座采用重介质旋流器处理难选末煤的选煤厂的设计、建设、安装、调试和投产的全过程;为实现跳汰选煤设备的大型化,我还指导研制了我国第一台筛下空气室跳汰机。上述两项技术仍是当今我国选煤生产的主要工艺和设备。

正当科技研究工作日渐拓展的时候,1966年6月“文化大革命”开始了,我被批为“走资本主义道路的当权派”、“反动学术权威”和“苏修走狗”,甚至我早年参加“洪流社”的活动也被批为是进行特务活动。多次被关押审查,科研工作被迫中断,这是我一生中最苦恼的时期,因为我被剥夺了工作的权利。当时我很苦闷,也曾感到悲观失望,1970年在学校迁往四川时,我卖掉了三板车我收藏的专业科技书。自“文革”开始后的几年间,我一直被监督劳动,无法从事自己的研究工作,这种状况一直持续到1970年我被恢复了党籍。1972年,我被借调到燃料工业部生产指挥部参加关于引进国外选煤设备的谈判,当我放下砸石头的锤子,风尘仆仆地赶到北京与美、苏、波兰等国技术专家进行谈判时,我发现,才过了短短的几年时间,我国的科学技术水平大大地落后了。如果我们不奋起直追,缩短我国与先进国家在科学技术上的差距,我们的国家就很难自立于世界!我为自己曾有过的悲观失望而自责,为自己卖掉那么多藏书而惋惜。民族的自尊心和责任感促使我夜以继日地工作,查阅大量国内外资料,掌握各种信息,以便在引进工作上不会吃亏。比如,对美国、波兰进口的不合格设备我都进行了严肃认真的索赔工作,我的工作受到部里的嘉奖。1975年我被学校召回参加现场教学工作。

多年来,世界选煤科技和生产工作方面一直为缺水干旱地区煤炭的分选、高寒地区冬季外运精煤的冻结、遇水易泥化煤种的分选等问题所困扰,使传统的湿法选煤面临着严峻的挑战。我国三分之二以上的煤炭分布在缺水干旱的西北地区,湿法选煤技术与工艺在这些地区有着很大的局限性。另外,湿法选煤需要大量水资源,选后的煤泥水容易造成环境污染。还有一些事例也使我感受深刻:一次山西省煤管局的刘万铨总工程师告诉我,因为缺水他们那里吃饺子是不给饺子汤喝的;还有我国西北部和中部的好多煤矿定时、定量供水,用过的洗澡水再去选煤。于是,在我的心中酝酿起一个新的科研目标,那就是走中国自己的干法筛分与干法分选——中国洁净煤之路!

在我国北方,高寒地区湿法选煤厂冬季外运的选精煤外在水分高达8%以

上,冻在车上,很难卸车。我看在眼里,急在心中,决心研究解决这个世界性的难题,走干法筛分和干法分选的路,将非洁净煤变为洁净煤。这是一条前人没有走通的路,是一条艰辛的路,是一条充满荆棘坎坷的路!我要走出这条路来!

20世纪70年代后期,我重新开始了选煤科学研究工作。在深入选煤生产现场时,我了解到由于井下采煤需要洒水除尘,加上煤层透水和管理不善,送入选煤厂的原煤的外在水分一般都在7%以上。这些潮湿的煤粒和煤泥经常堵塞筛孔,无法进行有效的筛分。为了攻克这一世界性难题,1979年我在查阅大量文献资料后写出了《中国选煤科技中的若干问题》的论文,在该论文中指出了干法筛分和干法分选技术的研究和开发对我国煤炭工业发展的重要性和迫切性(这篇论文登载在原四川矿业学院科技情报所1979年出版的《矿业科技情报》上,可惜这篇论文已经找不到了)。随即我在1980年初开始了干法筛分的实验研究工作,我突破传统的精确筛分概念,采用大筛孔、大倾角和缩短筛面长度等方法来改进传统的筛分工艺、技术和设备。经过实验室试验、半工业性试验和工业性试验研究,终于在1982年研制成功了我国第一台处理潮湿细粒煤的煤用概率分级筛,基本上解决了筛孔堵塞的技术难题,给煤矿和用户带来了显著的经济效益、环境效益和社会效益。同时,我和我的学生们总结分析了实验研究现象和数据以及工业生产中存在实际问题,在国内外学术期刊和会议上发表了不少高质量的论文。1985年9月,澳大利亚昆士兰大学J. K 矿物加工研究中心主任林奇教授(A. Lynch)参观了我们所建立的30 t/h的概率筛分中间试验系统,在将潮湿的50~0 mm原煤筛分出四个粒级产品时,他感到非常惊讶,他说:“我们在两个星期前举行的国际筛分技术会议上还在讨论怎样解决潮湿细粒煤炭的筛分问题,没想到中国的陈清如教授已经解决了。”回国以后,林奇教授马上派自己的博士生到中国矿业学院来学习和工作,我也指定赵跃民硕士参加这一工作。一年之后,林奇教授再次来到中国,考察了“煤用概率分级筛的优化数学模型”时评价:“迄今为止世界上最成功的一个筛分数学模型。”

1984年我又提出了一个世界性的难题——空气重介质流化床干法选煤技术研究开发与开发。这个课题的提出就意味着向世界上传统的湿法选煤技术挑战,美国早在20世纪60年代就开始这项干法选煤技术的研究,苏联、加拿大等国也在20世纪70年代开始研究,但这些国家都因其技术难度大,而停留在实验室研究试验阶段。有些人对科技相对落后于这些发达国家的中国,能否研究成功抱着怀疑的心态。但我坚信,只要符合国家经济建设的需要,研究方向和方法正确,我们一定会成功。经过几年的努力,我们终于先后攻克了“空气重介质流化床干式分选工艺系统和设备”、“干式流化床选煤方法及装置”等方面的众多技术难关,在分选机的结构设计、分布器的设计、分选介质的制备和粒度级配、操作参数等方面都取得了突破性进展。1989年我带领我的研究生在中国矿业大

学研制成功了处理能力为 5 t/h 的空气重介质流化床干式分选机,并建成了世界上第一座空气重介质流化床干法选煤中间试验厂。分选机进行了连续加煤试验, E 值达到 $0.05\sim 0.07\text{ g/cm}^3$,为山西、黑龙江、江苏、河南、山东、湖南等省的 22 个煤矿做了可行性试验,试验都得到了满意的结果,中间试验厂的建成标志着中国在这一领域中走在世界的前列。空气重介质流化床干式选煤技术解决了缺水、干旱、高寒及遇水易泥化煤种的分选问题,被誉为煤炭产业的一次“革命”。原煤炭工业部副部长韩英同志参观后题词:“依靠科技进步,发展空气重介质流化床干法选煤技术是选煤工艺的一次革命。”

空气重介质流化床干法选煤技术的半工业性试验成功了。但是新的更艰苦、更艰难的工作开始了,那就是选择工业性试验点。经过多次考察、洽谈,最终选定黑龙江省七台河市桃山干法选煤厂为工业性试验点。可就在 1990 年 12 月 8 日,正当干法选煤的研究和开发工作如火如荼进行的时候,病魔却悄悄地降临了。这一天中午,我突然发现自己便血,血尿 4 个“+”号,后来被医院诊断为肾癌,不得不住进徐州市第四人民医院。当时学校领导和医院都没有告诉我是肾癌,我跟护士借了一本《外科学》阅读,知道是恶性肿瘤。当郭育光校长来看望我时,我非常诚恳地提出:“如果癌细胞还没有扩散,就请尽快做手术;如果癌细胞已经扩散,请让我出院,我要回试验现场去,尽可能利用生命的最后时间,完成手头的研究工作。”学校领导多方联系,安排我到北京协和医院住院医治,检查结果下来了,癌细胞还没有扩散,医生很快就为我进行了左肾切除手术。术后 25 天,我坚决要求出院。回家只休息了几天,我就坐火车赶到黑龙江省七台河市正在建设的桃山干法选煤厂参加现场工作。为了尽快建成世界上第一座工业示范型空气重介质流化床干法选煤厂,完成“八五”国家重点工业性试验项目——50 t/h 空气重介质流化床干法选煤系统与设备,我带领科技人员和安装工人吃住在现场。在七台河市桃山干法选煤厂,我前后呆了近两年的时间。冬天,那里的气温零下 30 多度,我都不感到冷,我的心思全在工业性试验上。1994 年春节前,眼看着试验就要出结果了,我不打算回家过年了,七台河市领导知道后硬是把我“轰”上火车。在七台河市桃山干法选煤厂建设期间,我的老伴钟蕴英同志患脑溢血病在家中,生活不能自理,靠儿女照料。蕴英是复旦大学化学专业 1953 年毕业的,是煤化工专业的教授,也是一位热爱工作的学者,抱病还在指导研究生,她非常支持我的科研工作。1991 年 8 月 16 日蕴英因病医治无效去世了,我强忍着悲痛料理完丧事,仍然坚持工作在现场第一线。

经过 3 年多的苦战,我们终于在 1994 年 6 月建成并调试成功了世界上第一座空气重介质流化干法选煤工业示范厂,顺利通过了由国家计委委托黑龙江省和原煤炭工业部组织的工程验收和技术鉴定。七台河市桃山干法选煤厂实现了这一技术的工业应用,使该项技术处于国际领先水平。

这一工程科技项目的研究成功及投入生产,标志着我国缺水地区、高寒地区及遇水易泥化的煤种分选有了高效的选煤方法,为我国洁净煤技术中的洁净煤加工利用开辟了一条新的技术途径。1996年10月,美国TRA—DAT选煤设备公司总裁G.克尔勃博士参观完七台河市桃山干法选煤厂后说:“陈清如教授经历了10多年的研究与开发工作,从实验室模型试验到每小时10 t的中间试验,然后到每小时50 t的工业性干法选煤示范厂,大大超越了所有人的研究成果,达到了新的世界级水平。”

干法筛分和空气重介质干法分选领域的成就,受到我国及国际学术界和工程界的广泛重视。在过去的20年里,我应邀讲学的单位遍及我国江苏、山东、河北、辽宁、黑龙江、吉林、山西、陕西、内蒙古等10多个省、自治区和国际知名学府及科学研究单位,如美国匹兹堡技术研究中心、德国柏林工业大学、澳大利亚昆士兰大学、加拿大西安略大学、日本岗山大学等。我们的干法选煤成果受到了他们的赞赏和支持,这对我来说是深受鼓舞的。我曾多次应邀前往美、加、德、日、澳等国家讲学、参加学术会议并开展学术交流活动,并与上述国家的高校或科研单位开展科技项目合作。“大型空气重介质干法选煤装置”先后获得了中国和美国发明专利。

我作为一名科技工作者和教育工作者,深知任何一项事业或科研工作的延续,需要有创新精神的年轻人,我以自身严谨的学风、认真的工作作风、诚实的科学态度教育影响年轻人,使他们成为栋梁之材。如今,我培养的15名硕士和27名博士大多数已成为教授,有些已经成为国家杰出青年基金获得者、长江学者奖励计划的特聘教授等。我为他们取得的成就感到无比高兴。

为了提高煤炭利用效率,减少环境污染和缓解石油、电力、交通等能源短缺和运输紧张的现状,我向有关部门进言我考虑的洁净煤问题,并写建议书,组织专门会议,宣传讲解。2002年7月我组织召开了首届国际干法选煤学术研讨会(First International Symposium on Dry Coal Cleaning, Clean Coal Technology),出席学术研讨会的有中国、美国、俄罗斯、日本、澳大利亚等国代表140余人。2004年4月经我发起,由中国煤炭工业协会召开“中国洁净煤战略研讨会”,我在会上作了“中国洁净煤战略思考”的主题报告。2004年12月我写出了《关于发展具有中国特色的大型煤矿坑口电站的建议》,并由中国工程院以“工程院院士建议”上报中共中央、国务院。进入古稀之年,我欣喜地看到自己青少年时代曾经有过的“科学救国”、“科学强国”的理想在中国共产党的领导下逐渐变成现实。为了祖国的科学和教育事业,为了祖国更加繁荣昌盛,我还要在教学和科研工作岗位上继续奋斗,这是我的信念,一生为之奋斗的信念。

前 言

陈清如院士是我国著名的矿物加工工程专家,1995年当选中国工程院院士,现任中国矿业大学选矿工程研究中心主任、教授、博士生导师。作为我国矿物加工学科的奠基者和开拓者之一,55年来,他一直致力于选矿理论和工程实践的研究,为我国矿物加工和洁净煤制备技术领域的科研、教育和生产发展做出了卓越的贡献,推动了矿物加工学科的发展,特别在干法筛分和分选领域取得了巨大的成就,在国际上产生了深远的影响。

陈清如院士先后主持完成了纵向、横向科研项目50多项,获国家科技进步二等奖2项、国家技术发明三等奖1项、国家教委科技进步(甲类)一等奖2项等省、部级以上奖励12项;获得中国及美国发明和实用新型专利19项,在国际、国内学术会议和刊物上发表论文150多篇,被SCI、EI、ISTP收录60余篇,出版论著《筛分和重选理论及其应用的新进展》等10部;已培养博士后、博士、硕士45人,在读8人。

陈清如院士现兼任中南大学、安徽理工大学、太原理工大学、河南理工大学、黑龙江科技学院教授,以及中国煤炭工业协会高级顾问、中国颗粒学会常务理事、中国煤炭学会名誉理事、选煤专业委员会名誉主任委员, *Particulate Science and Technology—An International Journal (USA)*、《煤炭学报》、《中国矿业大学学报》编委等职。曾获全国“五一”劳动奖章,并获全国优秀教育工作者、江苏省劳动模范、江苏省优秀教育工作者等称号,享受政府特殊津贴。

今年适逢陈清如院士80寿辰,同时又是从教55周年,为了总结陈清如院士几十年来在不同时期对教育和科技做出的贡献,恭祝陈清如院士从教55周年(80寿辰),在各级领导、陈院士的学生的提议和倡导下,收集出版此部文集,文集收录了陈院士在不同时期的具有代表性的论著。为了保持这些论著的原貌,在本书编辑过程中,基本维持了不同时期文章的格式和体制。

陈院士从教55年来,桃李满天下,他那优秀的品德、严谨的治学态度以及敢为人先的创新精神,鼓励和培养了大批优秀学生。他们当中有的走上了领导岗位,有的成了知名学者教授。借此机会,一并向尊敬的老师说一声:“谢谢!”

此外,作为陈院士的学生,我们真诚地感谢国内外专家学者、社会各界人

士几十年来对陈院士的关心、支持与厚爱,感谢中国矿业大学出版社为本书的出版付出的辛勤劳动。

祝陈清如老师身体健康,工作顺达!

学生(博士后、博士、硕士):

赵跃民,晏学民,俞少功,余智敏,陈荣光,
谢广元,安振连,常大山,王亭杰,韦鲁滨,
李建明,骆振福,何亚群,王连栋,章新喜,
王启宝,解 强,杨国华,刘初升,孙 刚,
杨建国,宗志敏,朱金波,尹守仁,樊茂明,
伍 林,丁 玉,黎 强,徐守坤,边炳鑫,
张香兰,陈昌华,张东晨,闵凡飞,高孟华,
赵 鸣,杨玉芬,刘新兵,张法荣,管玉平,
沈笑君,李 哲,马力强,张 群,周 敏,
刘建周,武建军,王海锋

2006 年 11 月

目 录

二十世纪五六十年代

跳汰水流运动特性(跳汰周期)对分选过程作用的研究·····	3
出国参观考察报告——日本选煤技术和设备(节选)·····	25

二十世纪八九十年代

中国选煤科技中的若干问题·····	139
煤用概率分级筛的理论和应用·····	140
双质量概率分级筛的动力参数分析·····	149
潮湿原煤的有效筛分技术·····	155
干式流化床选煤技术·····	164
5~10 t/h 空气重介流化床干法选煤系统和设备研究·····	171
γ 射线检测干法分选流化床密度的研究·····	177
煤用概率分级筛数学模型的建立·····	183
空气重介流化床密度稳定性的研究·····	193
振动床中颗粒介质的混合·····	202
琴弦概率分级筛的动力学研究·····	210
振动流化床分选细粒煤的理论研究·····	222
50 t/h 空气重介流化床干法选煤工业性试验·····	229
流化床中物料分选过程的理论分析和试验研究·····	235
城市垃圾处理的对策·····	239
振动流化床分选细粒煤的研究·····	244
谈治理我国煤烟型大气污染的对策·····	249
大力研究开发干法选煤新技术减少我国燃煤大气污染·····	252
微粉煤摩擦静电选·····	254
煤炭外水分布规律及其对流化床分选的影响·····	259
气固流化床中粗粒的沉降行为·····	266
运动物体在浓相硫化床中的受力·····	272
煤烟型大气污染的防治对策·····	279

干法选煤的新进展..... 286

物体在流化床中的终端末速..... 291

磁场流化床的稳定性研究..... 297

21 世纪高效干法选煤技术的发展 303

细粒煤炭磁稳定流化床干法分选技术的研究..... 308

大力发展洁净煤技术 开创江苏煤炭产业可持续发展局面..... 313

磁稳定流化床干法选煤试验研究..... 320

空气分级与空气重介流化床分选联合工艺研究..... 325

高压电选机内电晕电流和电场的分布规律..... 332

干法选煤评述..... 338

应用摩擦电选技术降低微粉煤灰分..... 347

二十一世纪

中国洁净煤战略思考..... 355

建设具有中国特色的大型坑口电站..... 361

煤炭干燥系统优化研究..... 365

关于发展具有中国特色的大型煤矿坑口电站的建议..... 371

高层次创新人才培养体系的探索与实践..... 374

二十世纪五六十年代

针对当时选煤领域应用最为普遍的跳汰分选,细致深入地进行了“跳汰水流运动特性(跳汰周期)对物料分选过程作用的研究”,揭示了跳汰分选机理的实质。为解决难选末煤的高效分选问题,主持和参加了我国第一座重介质旋流器末煤选煤厂的设计、建厂、设备安装、调试和投产的全过程;为解决跳汰机大型化问题,指导研究设计了我国第一台筛下空气室跳汰机,这两项科技成果迄今仍在我国选煤厂普遍应用。

跳汰水流运动特性(跳汰周期)对分选过程作用的研究

陈清如

提 要 本文是阐明跳汰水流运动特性对分选过程作用的研究。在实验研究的基础上,提出了当分选 50~0 毫米和 50~3 毫米级煤时,应采用不同的跳汰水流运动特性——似正弦跳汰周期和似贝尔德跳汰周期。通过对床层松散度的试验,作者归纳出四种床层松散状态,并提出当床层的上下层先开始松散,然后中层松散的松散状态最为理想。经实验和分析研究后得出,当跳汰过程床层具有中等相对松散度时,涡流撞击压力是水流作用在群粒上的水动力学的基本形式。根据对床层厚度和筛下补给水实验资料的分析,提出了适当的床层厚度和降低筛下补给水的途径——改变风阀周期。为了精确地测定跳汰脉冲水流运动特性和评价跳汰产品质量,作者根据所发现的特殊磁场,制出了浮标式电磁感应变换器和提出对跳汰分层产物分选精确度的计算方法。

1 绪论

1.1 问题的提出

跳汰选煤不论在国内还是国外,早已成为应用最广的选煤方法。近百年来,由于钢铁工业的发展,作为洗选炼焦煤的主要方法——跳汰选煤法的操作制度、机械结构、机械选型以及选别流程都有了很大的改进。在降低选煤成本、提高选煤效率和生产量等方面也起了应有的作用。但是,根据文献资料所载,目前跳汰选煤不论在选煤效率或是生产量方面差别是很大的,例如跳汰选煤的生产量有高达 30 吨/米²·时也有低到 10 吨/米²·时左右。

本文是研究跳汰床层机理和跳汰水流运动特性之间的关系。研究跳汰床层机理也就是研究物料按比重分选的必然规律。具有高位能的各比重级均匀混合的原煤必然有转换成具有最小位能的各比重级分层产物的趋势。要使这一必然趋势成为现实,就需要与周围其他事物互相联系和互相影响。而跳汰选煤的过程是原煤在垂直上下交变水流多次反复作用下按比重分选的过程。因此,垂直上下交变水流的运动特性是促使原煤按比重分层的主要客观原因。原煤在各种不同的跳汰水流运动特性作用下,就会造成各种不同程度的分选效果。当然,在无活塞跳汰选煤时,影响跳汰水流运动的特性因素是很多的,譬如:风阀的进气、排气和休止时间之比,风阀门每分钟开阀次数,空气耗量和气压,筛下水耗量,床层的组成和厚度以及跳汰机的型式等。这许多影响因素都会程度不等地改变跳汰水流运动的特性,从而影响跳汰物料的分选效果。因此,跳汰周期对物料分选过程作用的研究是一个十分重要的课题。

R. H. 雷查兹在 19 世纪的末叶,首先用实验方法研究了整个跳汰周期,他并且注意到

下降水流的吸吸作用对跳汰过程最终工艺效果的影响。可是, R. H. 雷查兹所采用的测定方法是十分粗糙的, 用这种方法来分析其所研究的粒子跳汰分层现象是不可能的[1, 2, 3]。之后 A. A. 赫尔斯特, A. M. 高登, B. M. 贝尔德, F. W. 麦伊尔, Г. A. 穆仇辽夫, H. H. 维诺格拉道夫, Θ. Θ 拉发力斯——拉马尔卡, B. И. 索力嘎等都进行了有关跳汰周期的实验研究和分析研究, 提出出不同的典型跳汰周期, 床层松散, 悬浮、分层假说和有关风阀装置的建议[1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]。

但是, 必须指出, 他们的研究工作中存在下列的缺点:

(1) 上述的研究工作一般都只对某一种比重和粒度组成的原料进行跳汰周期的研究。因此, 至今尚未寻找出一种对不同比重和粒度组成的原煤所需的跳汰周期的原则调整方案。

(2) 上述的研究工作局限在对某一种跳汰周期作用下的跳汰床层松散机理的研究。因此, 所得出的结论往往是彼此矛盾[6, 11, 12]。而且, 他们只是研究单粒运动或是静态的床层松散机理。这样, 就很难反映出整个跳汰床层松散和分层的实质。

(3) 上述的研究工作很少利用现代流体动力学的观点来分析水流运动的作用力对物料松散和分层的关系。

(4) 上述的研究工作对影响物料分层效果的因素虽然进行了大量的工作, 但是研究影响跳汰水流运动周期特性的因素的工作还较少。而且, 只局限在定性关系上。

显然, 有关跳汰周期和床层松散机理的研究是一个十分复杂的课题。我们对 50~0 毫米和 50~3 毫米级煤的分选过程进行了研究, 企图运用现代科学技术的成就改进试验研究方法和评价产品效率的方法, 以便探明在各种典型跳汰周期的作用下, 有关床层松散分层的实质。

1.2 实验研究方法和跳汰产物分选结果的评价

实验研究方法:

跳汰床层的颗粒运动是一种群态运动。在相似系统里宏观数值(床层悬浮体积、压力等等)往往是微观现象(单粒运动, 涡流等等)的统计平均结果。所以, 在研究跳汰床层的群粒运动(松散、悬浮和分层)必须首先考虑到群态运动的事实。

当研究跳汰床层松散机理时, 既要研究跳汰床层群粒运动的宏观现象, 又要研究床层中的单粒运动的规律。在国外, 曾采用快速照相机来研究跳汰床层群粒的宏观位移[11], 曾采用 γ ——定位法来研究床层中的颗粒微观位移[12]。这些研究工作取得了一定的成效。

当研究跳汰周期对床层松散、悬浮和按比重分选时, 既要研究跳汰垂直水流运动速度特性的宏观现象[7], 又要研究液体介质对跳汰床层的水动力学的作用[8, 9, 13]。

应该指出, 过去不论在研究跳汰床层松散、悬浮和分层机理或是在研究跳汰周期对床层松散、悬浮和分层的作用时, 所进行的研究工作都存在着一些缺点, 主要反映在不明确跳汰周期与跳汰床层松散、悬浮机理之间的有机联系。因此, 所采用的研究方法也是孤立的, 他们或是只研究了跳汰床层机理, 或是只研究了跳汰周期的特性和效果[7, 8, 9, 11, 12]。

我们在研究跳汰周期对物料分选过程作用时, 采用的研究方法和条件是从解决生产实际问题出发, 确定了下列几项研究方法的原则:

(1) 原料煤是由 50~0 毫米和 50~3 毫米以及 -1.5, 1.5~1.8, +1.8 的各种筛别浮沉

组成(附表 I-1, I-2)。

(2) 采用与生产相似的分选机械,有可能较完善地研究垂直水流动力学参数的影响。以及从整个研究影响因素的观点出发,忽略掉那些次要因素,如平流水的影响,连续给料和排料的影响等等。因而设计自制了间断式的下动型隔膜脉冲器。

表 I-1 原料比重组成

比 重 δ	出 量 γ (%)
-1.5	60
1.5~1.8	20
-1.8	20
合 计	100

表 I-2 原料粒度组成

粒度尺寸 d (毫米)	出 量 γ (%)			
	1	2	3	4
50~13	10	30	50	60
13~3	20	20	10	40
3~1	10	20	30	0
1~0.5	40	20	5	0
-0.5	20	10	5	0
合 计	100	100	100	100

脉冲跳汰室的筛面面积是 0.09 米^2 (即长 $\times$ 宽=300 毫米 $\times$ 300 毫米),以便处理最大粒度达 50 毫米的原料煤。筛网筛孔尺寸采用 0.3 毫米,使细粒透筛损失缩减到最小量。

(3) 跳汰实验制度的确定:

① 实际水流振幅调整在 40~90 毫米。当分选 50~0 毫米时,由于床层阻力增大,实际水流振幅在 40~50 毫米。当分选 50~3 毫米时,实际水流振幅约在 80~90 毫米。这些与生产上的水流振幅是接近的。

表 I-3 跳汰实验制度

筛孔尺寸 (毫米)	筛下量 (立方米/时 $\cdot$ 米 2)	床层厚度 (毫米)	物料重量 (公斤)	振次 (次/分)	水流振幅 (毫米)	跳汰时间 (分)	取样层次 (层)
0.3(50)	0~12	240~300	20~27	12~300	40~90	2	4~6

② 跳汰分选时间确定为 2 分钟。我们曾做了跳汰分选时间的试验。

试验条件:物料——51~3 毫米级煤,浮沉组成如表 I-1。筛下水耗量为零,采用似正弦跳汰周期,水流振次为 51 次/分,水流振幅为 80~90 毫米。

图 I-1 中 $T-\epsilon$, $T-\gamma_k$ 曲线表明,当分选时间在两分钟时, $T-\epsilon$ 曲线已接近其渐近线 I, $T-\gamma_k$ 曲线也接近其渐近线 II。我们确定以两分钟作为跳汰时间,是考虑到试验过程中的试验误差是经常会产生。如果,跳汰时间过短(如 30 秒,60 秒)会发生试验误差显著影