

TIAOTAI XUANMEI JISHU

选煤实用技术丛书

跳汰选煤技术

中国煤炭加工利用协会组织编写



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国煤炭加工利用协会组织编写

跳汰选煤技术

李贤国 等编著

中国矿业大学出版社

《选煤实用技术》丛书编委会

主 编 吴式瑜

副主编 叶大武 解京选 李文林

编 委 (按姓氏笔画排序)

邓晓阳 叶大武 匡亚莉 李文林

李贤国 吴大为 吴式瑜 张明旭

周少雷 欧泽深 竺清筑 谢广元

路迈西 解京选

丛书前言

能源是国民经济发展和人类赖以生存的物质基础。煤炭是我国的主要能源,其生产量和消费量一直占能源的70%左右。

我国煤炭资源丰富,品种齐全。到20世纪末,煤炭的探明储量有1万亿吨,其中已利用储量中尚有可采储量800多亿吨;我国的石油、天然气资源相对不足,其储量只可供开采几十年;水力资源虽然丰富,但集中在西南地区,而且开发利用需要的投资很大;核能、太阳能、风能、生物能的开发利用则刚刚起步。所以,未来几十年内,煤炭仍是我国最可靠的能源,煤炭的基础能源地位不会改变。

我国是煤炭的生产和消费大国,每年生产和消费煤炭都在十几亿吨以上。大量生产和消费煤炭,无论对区域环境,还是对全球气候都造成很大影响。为此,国家鼓励和提倡发展洁净煤技术。

选煤是洁净煤技术的基础,也是煤炭深加工(制水煤浆、焦化、气化、液化)和洁净、高效利用的前提。选煤可以除去原煤中的大部分矿物杂质,提高煤炭质量,并把它分成不同等级,为用户合理利用创造条件。国家鼓励发展煤炭洗选加工,原煤入洗量不断提高,从1949年的几十万吨发展到2003年的5亿多吨。

但是我国煤炭洗选加工相对落后,原煤入洗率尚不足30%,商品煤质量较差,因此煤炭利用率低,燃煤引起的污染严重。为了合理利用煤炭资源,提高利用效率,降低铁路运输量,减少燃煤对大气的污染,有必要大力发展煤炭洗选加工。

近几年来,我国选煤工业迅猛发展,选煤厂数量增加,选煤技术进步速度加快,目前的选煤技术人员已满足不了发展的需要,为

跳汰选煤技术

了培养大批选煤工程技术及管理人员,提高选煤技术人员的素质,中国煤炭加工利用协会和中国矿业大学出版社共同组织国内一批有实践经验的专家、学者及高级工程技术人员,编写了这套《选煤实用技术》丛书。本丛书书名如下:

1. 《跳汰选煤技术》
2. 《重介质选煤技术》
3. 《浮游选煤技术》
4. 《选煤厂产品脱水》
5. 《选煤厂煤泥水处理》
6. 《选煤厂破碎与筛分》
7. 《选煤厂机械设备安装使用与维护》
8. 《选煤厂电气设备安装使用与维护》
9. 《选煤厂管道、阀门与泵的安装使用与维护》
10. 《选煤厂煤质分析与技术检查》
11. 《选煤厂计算机应用》
12. 《选煤厂技术管理》

本丛书主编吴式瑜,副主编叶大武、解京选、李文林。

本丛书可作为选煤厂技术、管理干部和专业技术工人的培训教材,也可作为大专院校选煤专业学生的学习参考书。

本丛书由多位作者编写,写作风格各有不同,且由于时间仓促、涉及内容广泛,错误和缺点在所难免,望读者批评指正。

前 言

跳汰选煤是最古老也是最重要的选煤方法之一。时至今日,我国采用跳汰选煤的比率仍高达 50% 左右。但是,跳汰选煤也面临着严峻的挑战。

为了提高跳汰选煤效率,更好地促进跳汰选煤的应用和发展,应中国煤炭加工利用协会和中国矿业大学出版社之邀并在他们的组织下,我们采用教学、生产相结合的方法编著了这本《跳汰选煤技术》一书。

科学技术的进步,使得跳汰选煤技术早已不限于单纯的浮沉分析和风、水操作,而是包括机械结构、系统控制、日常操作维护和效果评价等全方位的系统工艺。

本书力求简明通俗、图文并茂、侧重实际,并能客观反映近年来有特色的一些跳汰技术的进展。此外,为了减轻日常工作中对分选效果评定计算与做图的工作量,书末附有 Excel 应用的详细示例,相信读者会从中受益。

本书主编李贤国,副主编朱金波、吴政。参加本书写作的人员及分工如下:

李贤国(第一章,第二章第二、三、七节,第三章第三、六节,第五章第一至第四节等),范肖南(第二章第一节),吴政(第二章第四节 X 型跳汰机、第五节机械动筛跳汰机及第六节),李建中、谈建德(第二章第四节 SKT 型跳汰机、第六节及第五章第五节),袁维保(第三章第一节),张学军(第三章第二节),朱金波(第三章第四节),王跃、马少军(第三章第五节及动筛维修),樊民强、李玉才(第四章),李新(附录 Excel 应用)。全书由李贤国整理和统稿。

在本书写作过程中得到了淮南矿业集团、新集煤电公司、淮北矿业集团、大屯煤电公司、兖州煤业集团、山西焦煤公司、盘江煤电公司、煤科院唐山分院、合肥煤炭设计研究院、平顶山选煤设计院、武汉煤炭设计研究院等有关人员和安徽理工大学的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于接手时间短,多人写作风格各异,交流探讨不足,难免有不当和错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2006年1月

目 录

第一章 跳汰选煤概论	1
第一节 跳汰选煤技术的发展.....	1
第二节 跳汰选煤的理论基础.....	6
第三节 矿粒在跳汰机中的分层	14
第二章 选煤用跳汰机	33
第一节 选煤用跳汰机的类型	33
第二节 选煤用跳汰机的基本结构	36
第三节 筛侧空气室跳汰机	55
第四节 筛下空气室跳汰机	64
第五节 动筛跳汰机与隔膜跳汰机.....	104
第六节 跳汰机的操作与维护.....	116
第七节 跳汰选煤的质量控制.....	128
第三章 国外选煤用跳汰机	134
第一节 巴达克跳汰机.....	134
第二节 双侧室筛下空气室跳汰机.....	146
第三节 永田可变波形跳汰机.....	150
第四节 麦克纳利与杰富利跳汰机.....	154
第五节 ROMJIG 型动筛跳汰机	162
第六节 风力跳汰机.....	166

第四章 跳汰选煤工艺	169
第一节 全跳汰分选工艺	169
第二节 跳汰—重介联合分选工艺	176
第三节 动筛跳汰工艺流程	185
第四节 跳汰工艺系统模拟	191
第五章 跳汰分选效果的评定	204
第一节 煤炭可选性及可选性曲线	204
第二节 分配曲线	227
第三节 跳汰分选效果评定	235
第四节 跳汰选煤产品产率计算	241
第五节 跳汰机单机工作效果的测定	244
附录一 Excel 应用	256
附录二 《选煤厂安全规程》(节选)	270
附录三 《选煤厂工人技术操作规程》(试行)(节选)	275
附录四 《工人技术等级标准》(节选)	290
参考文献	293

第一章 跳汰选煤概论

第一节 跳汰选煤技术的发展

选煤的目的在于排除煤中杂质,使煤中的可燃物得以富集,成为有用的产品。选煤的方法很多,有跳汰选煤、重介质选煤、斜槽选煤、浮游选煤等。前三者通常称为重力选煤。

跳汰选煤是在上下脉动为主的介质中实现物料分选的重力选煤方法,它不改变煤的物理性质,是最主要的选煤方法之一,在我国大约占全部原煤入选量的 50% 左右。

我国跳汰选煤多数采用水作为分选介质,因此,本书以水力跳汰为主,称为湿法分选;而以空气作为介质的干法分选,如风力跳汰,仅作简要介绍。

实现跳汰选煤并将已分层的产品分别排出的设备称为跳汰机。跳汰机的基本结构如图 1-1 所示。

跳汰机由机体、筛板、风阀、排料装置等组成。在机体的横断面上,由纵向分隔板和导流板将跳汰机分成空气室和跳汰室。机体内存有水。

沿机体的纵向从给料端至排料端用隔板分成若干隔室(也称跳汰分室),图中有 5 个隔室,每个隔室独立供给风和水,以利于单独调节,单个隔室也有利于组装和运输。从给料端至第一个排料口为第一段,因排出矸石,故称第一段为矸石段,图中为 2 个隔室。中煤和精煤经溢流堰进入第二段,分选后再将已分层的中煤由排料道排出,精煤随溢流排出,第二段称为中煤段,它有 3 个隔室,比第

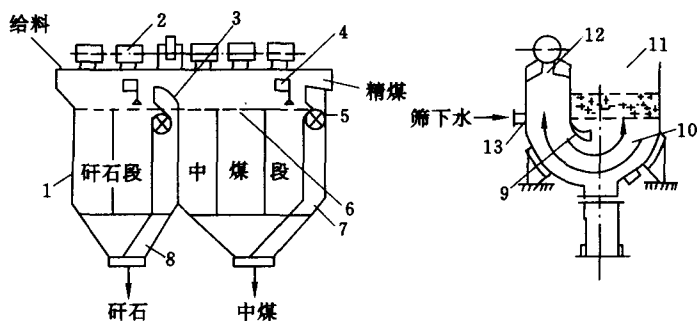


图 1-1 跳汰机结构

- 1——机体；2——风阀；3——溢流堰；4——浮标；5——排料轮；6——筛板；
7——排中煤道；8——排矸道；9——分隔板；10——脉动水流；11——跳汰室；
12——空气室；13——顶水进水管

一段多一个隔室，以加强第二段的分选。

筛板承托物料，与侧壁构成分选空间；风阀控制压缩空气的进入、排出和实现最佳周期特性；排料装置则控制分层和已分层物料的排出。

通常，原料煤给入跳汰机时要加喷水，用于润湿物料。筛下补加的顶水和筛上的冲水构成了水平流，用于输送物料，同时也是物料松散分层的介质。

跳汰选煤是在跳汰机中借助水流的作用完成的。原料煤给到跳汰机筛板上，压缩空气通过风阀周期性地给入空气室和由空气室排出。当给入压缩空气时，压力推动空气室内的水体下降，使跳汰室内水流上升，而当压力经风阀排出时，跳汰室内的水流下降。

物料在跳汰机内分层的过程大致如下（图 1-2）。

物料给到跳汰机筛板上，形成物料层，称为床层。在空气压力或机械力作用下，当水流周期性地经筛孔上升时，物料升起，不同矿粒运动的速度和加速度不同，低密度的细小矿粒较密度大的粗

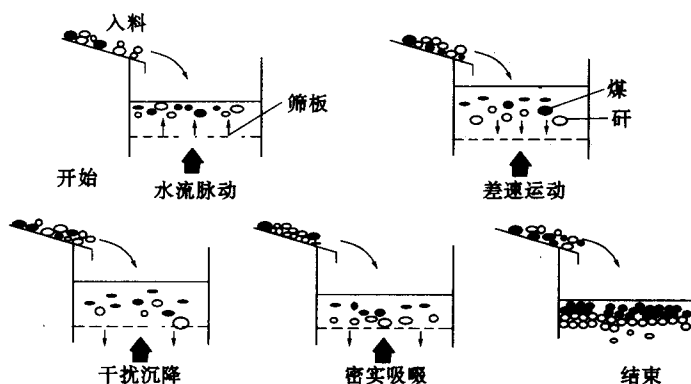


图 1-2 跳汰过程示意图

粒向上升起得更快；当上升水流速度相对很小和水流开始向下运动时，矿粒在干扰（涉）状态下沉降。密度和粒度大的粗粒先下沉，接着是密度和粒度中间状态的矿粒，最后是密度和粒度小的矿粒。随着床层松散度的减小，粗粒运动变得困难，细小矿粒还可继续穿过床层间隙向下运动（钻隙运动）。下降水流停止，床层逐渐紧密，除细小矿粒的吸吸作用外，总体分层作用也暂告结束。接着，下一个跳汰周期开始。水流的不断脉动，经过多次松散分层后，总体来看，密度大的矿粒在下层，密度小的集中在上层。在工业跳汰机中，横向（输送）水流对物料分层也有一定的作用。

如果跳汰分选的物料不是煤，而是其他矿物原料，则称为跳汰选矿。

近年来世界各主要产煤国家的选煤方法的比例（2001 年）大致如表 1-1 所示。近来又有些变化，南非又开始研究应用跳汰选煤，而我国由于难选和极难选煤的增多和大直径重介旋流器的发展，跳汰选煤所占的比例将有所下降。跳汰选煤分选精度虽然不如重介方法，但它的投资费用和生产费用较低，工艺系统简单可靠，

随着跳汰机结构的不断完善和智能化,跳汰选煤具有更广泛的适应性,因此仍是目前主要的选煤方法。

表 1-1 主要产煤国家选煤方法 %

选煤方法	美国	澳大利亚	南非	中国	印度	德国	俄罗斯	英国
跳 汰	13	22	0	60	47	79	48	30
重 介	52	60	85	23	35	15	24	30
泡沫浮选	18	10	5	14	2	6	10	15
其 他	17	8	10	3	16	0	18	25

利用跳汰法分选矿物已有近二百年历史。在欧洲,大约在 1810 年一种人工操作的动筛跳汰机首次用于选煤。约在 1820 年采用了固定筛板和曲柄连杆驱动的活塞跳汰机,先是用于选矿,从 1860 年开始用于选煤,并称之为“水力跳汰机”。1891 年 9 月 26 日德国人弗里茨·鲍姆获得了“压缩空气、气体或蒸汽驱动水力跳汰机”的专利,后来被称之为鲍姆跳汰机。19 世纪中叶以后,由于冶金、机械工业的兴起,选煤业迅速发展,活塞脉动逐渐改为空气脉动,跳汰机箱也由单个开始分为二个或者三个分段,成为当时更高效的跳汰机,并在人工床层和排料装置等方面有了不少改进,使鲍姆跳汰机有了更大发展。

1947 年法国皮克(PIC)公司取得了空气室位于筛下的设计专利,但并没有及时商业化。1954 年,日本人高桑和松村在德国埃森举行的国际选煤会议上提出了空气室位于筛下的空气脉动式跳汰机,简称 TACUB,但当时也并没有引起特别的重视。随着跳汰机的大型化和高效化,鲍姆跳汰机(筛侧空气室跳汰机)沿跳汰室宽度方向水流脉动分布不均的现象和占地面积大的问题等也突出起来,特别是当跳汰室宽度较大时问题更为严重。于是各国纷纷研制和开发筛下空气室跳汰机,这既解决了水流脉动均匀性的问题,又

解决了增大跳汰面积、提高处理量、建造大型跳汰机的问题。如日本高桑式跳汰机(20世纪50年代末),德国巴达克跳汰机(20世纪70年代初),俄罗斯OM型跳汰机(20世纪70年代)和法国的Apic跳汰机(20世纪90年代)等。目前,德国的巴达克跳汰机、俄罗斯的OM跳汰机、法国的Apic跳汰机、波兰的BEH跳汰机等仍是世界上影响较大的机型。为了高效排矸,德国人于20世纪80年代研制出了液压驱动的动筛跳汰机。

我国最早使用的淘洗工具是一种特制的木盘。湖北铜录山矿冶遗址出土的“船形木斗”,就是两千多年前淘洗工具的代表。到了宋、明、清代,洗选业又有所发展。宋代《天工开物》中介绍了淘洗沙锡矿的盛况,“水锡衡永出溪中。广西则出南丹河州内,其质黑色粉碎。南丹河出者,居民旬前从南淘至北,旬后又从北海至南,愈经淘取,其沙百年不竭”。清代《三省边防便览》卷九《山货》中记载了淘床选金。将竹筐置于木制淘床内,金矿沙倒入筐内,边注水边掀簸沙筐,金从筐缝隙中透下落至淘床上,再用淘床上的刻槽木板选金。而选煤同国外矿业发展一样,也是从选矿中引入,先是采用洗槽分选,后又用活塞脉动的简易跳汰,但真正大发展还是在新中国成立后。

自20世纪50年代开始我国研制煤用筛侧空气室跳汰机,60年代中期开始研制筛下空气室跳汰机,于70年代末又联合研发大型筛下空气室跳汰机,80年代试制动筛跳汰机。现在,早已有了各种自主知识产权的系列化大型高效跳汰机及其配套设备,并基本满足了选煤生产的需求。与此同时,自20世纪中叶也相继引进了一些国外的高效大型跳汰机。

随着选煤技术的发展,跳汰机得到了逐步改进和完善,现在,国内外已出现了各种结构形式的选煤用跳汰机。

现在,各选煤厂广泛采用的是各种数控风阀的筛下空气室跳汰机和某些筛侧空气室跳汰机以及主要用于排矸的动筛跳汰机。

跳汰理论的研究一直受到人们重视。自 1867 年奥地利人雷廷格在牛顿惯性阻力和斯托克斯粘性阻力基础上开始研究单个矿粒在流体中的运动规律起,一个多世纪以来,人们从不同角度利用数学和流体力学方法,采用各种先进测试技术进行探索,已提出了多种跳汰分层学说和跳汰理论,尽管视角不同,结论也有差异,但都对跳汰选煤的发展起到了积极促进作用。

我国煤炭科学研究总院唐山分院、选煤设计研究院和以中国矿业大学为代表的具有选煤(矿物加工)专业的各高等院校及相关的企事业单位都对包括跳汰选煤在内的选煤工业作出了自己的贡献。

第二节 跳汰选煤的理论基础

跳汰选煤过程的实质是矿粒(煤、矸石及其他伴生矿物)在水力或风力作用下按各自的物理性质运动的过程。这些性质包括矿粒的密度、粒度和形状、介质作用、矿粒的干扰(涉)沉降等。

一、矿粒的物理性质

1. 密度

矿粒密度 δ 单位体积的质量, g/cm^3 或 t/m^3 。

设矿粒的体积为 V , 质量为 m , 密度为 δ , 则矿粒密度为

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

矿粒密度与水的密度之比称为矿粒的相对密度。

当原料煤(矿粒群)做浮沉试验时,可得出各密度级占总量的百分数。其总体称之为密度组成。不同的原料煤其密度组成是不相同的,因此,该密度组成将影响煤的可选性和分选效果。

悬浮液密度 ρ_s 高密度固体微粒与水配制成悬浮状态的两相流体称为悬浮液或称重悬浮液。设悬浮液的密度为 ρ_s , 则

$$\begin{aligned}
 \rho_s &= \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} \\
 &= \delta\lambda + \rho(1 - \lambda)\rho_s \\
 \rho_s &= \lambda(\delta - \rho) + \rho
 \end{aligned} \tag{1-2}$$

容积浓度 λ 即固体颗粒所占体积与固体颗粒和水所占总体积之比,通常用小数表示。

设固体颗粒的质量和体积分别为 m_1 、 V_1 ,水的质量和体积为 m_2 、 V_2 ,水的密度为 ρ , λ 为容积浓度,则

$$\lambda = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \tag{1-3}$$

松散度为 $\theta = 1 - \lambda$

2. 矿粒的粒度

矿粒的粒度是指矿粒的大小尺寸,视需要可以采用各种表示方法。

当量直径 用体积等于矿粒体积的球体直径表示矿粒粒度,称为体积当量直径。设用 d_v 表示体积当量直径, V 为矿粒体积,则

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = 1.24 \sqrt[3]{V} \tag{1-4}$$

筛分粒度 用筛分方法测定矿粒能够通过的最小筛孔直径和不能通过的最大筛孔直径,然后取其平均值表示矿粒的近似粒度。

$$d = \frac{d_1\gamma_1 + d_2\gamma_2 + \dots + d_n\gamma_n}{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n} \tag{1-5}$$

式中 $d_1, d_2, \dots, d_n$ ——各个粒级的的平均粒度, mm;

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ ——每一粒级的平均产率, %。

如果仅取某一粒级,也可用下式计算,即

$$d_s = \frac{d_i + d_{i-1}}{2} \tag{1-6}$$

式中 d_i, d_{i-1} ——两相邻筛子的筛孔尺寸。

3. 矿粒的形状

在跳汰选煤过程中遇到的矿粒形状是多种多样的,为了研究方便一般可分为球形、浑圆形、多角形、长方形、扁平形等。不同形状的矿粒在水流中运动的速度也不相同。由于球体外形规整,各方向对称且表面积最小,因此通常取球形作为衡量矿粒形状的标准。这样,矿粒的形状就可同体积球体的表面积与矿粒表面积的比例来表示,这个比值称为球形系数,设用 χ 表示。即

$$\chi = \frac{S}{S_m} \quad (1-7)$$

式中 S, S_m ——同体积球体的表面积和矿粒表面积。

χ 值越小,表明矿粒形状越不规则。表 1-2 为球形系数的近似值。

表 1-2 球形系数

形状	球形	浑圆形	多角形	长方形	扁平形
球形系数 χ	1.0	0.8~1.0	0.65~0.8	0.5~0.65	<0.5

某些矿粒的大致形状为,煤:多角形和长方形;黄铁矿:浑圆形和多角形;石英:多角形和长方形;页岩:长方形和扁平形。

二、流体阻力

任何物体(含矿粒),在以水或者空气作为介质的流体中运动时,都要受到作用于物体上并与物体运动方向相反的作用力,这个作用力称为物体运动时的阻力。

跳汰选煤过程中,矿粒运动所受到的阻力有水流作用于矿粒上的介质阻力,矿粒相互间的碰撞摩擦及矿粒与器壁间撞击摩擦产生的机械阻力。机械阻力情况复杂,目前还难以用解析方法计算。下面阐述介质阻力。

介质阻力的表达式有很多,在矿物加工过程中用得较多的是