

高等学校规划教材

煤泥水处理

主 编 张明旭
副主编 徐建平 赵 鸣

中国矿业大学出版社

高等学校规划教材

煤泥水处理

主 编 张明旭
副主编 徐建平 赵 鸣

中国矿业大学出版社

责任编辑 褚建萍
责任校对 崔永春

林嫌收赋对学等高

煤泥水处理

图书在版编目(CIP)数据

煤泥水处理/张明旭主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2000.3

高等学校规划教材

ISBN 7-81070-082-0

I. 煤… II. 张… III. 煤泥-水处理-高等学校-教材 IV. TD926.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 65983 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

江苏省赣中印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 13.75 字数 350 千字

2000 年 3 月第 1 版 2000 年 3 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册 定价 15.00 元



前 言

煤泥水处理是选煤厂生产、管理中的最重要、最复杂的系统之一。它涉及煤泥水性质、煤炭的洗选工艺及流程、药剂的添加、设备及管理方法和水平等。本书力求从以上几方面进行较为系统的阐述,并重点介绍了煤泥水体系的性质及其测定和分析;煤泥水絮凝、凝聚原理与实践;煤泥水分级、浓缩、澄清脱水的类型、工艺及设备等内容,力求从系统工程的角度出发,理论与实践并重,深入浅出地反映煤泥水处理方面的内涵和联系。

本书可作为高等院校矿物加工工程、环境工程等专业的教学用书,亦可作为选煤厂、煤矿和设计、研究单位工程技术人员的参考用书。

本书第一章、第二章、第六章由张明旭编写,第三章由徐建平编写,第四章由赵鸣编写,第五章由赵鸣、徐建平合编。由张明旭任主编,徐建平负责全书统稿。本书汇集了责任编辑、总编辑及其他有关人员的辛勤劳动,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中缺点错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1999年9月

第一章 煤泥水的基本知识	1
第一节 煤泥水的基本概念	1
第二节 煤泥水的组成	1
第三节 煤泥水的性质	1
第四节 煤泥水的处理	1
第二章 煤泥水及固液分离	12
第一节 煤泥水的物理化学性质	12
第二节 煤泥水	12
第三节 离心脱水及其设备	13
第四节 过滤脱水及其设备	14
第五节 压滤脱水及其设备	16
第六节 带式脱水及其设备	16
第七节 脱水设备的选择	17
第三章 煤泥水处理系统	17
第一节 煤泥水处理系统	17
第二节 煤泥水处理的原理	18

目 录

第一章 概论	1
第一节 煤泥水处理的目的是任务	1
第二节 煤泥水处理的主要特点和内容	2
第二章 煤泥水体系的主要性质及测定	6
第一节 煤泥水体系的主要性质及测定	6
第二节 煤泥水中悬浮煤泥颗粒的主要性质及测定	34
第三章 煤泥水分级、浓缩与澄清设备	50
第一节 自然沉降过程的基本概念及计算	50
第二节 自然沉降式水力分级、浓缩、澄清设备	52
第三节 倾斜板沉淀设备	67
第四节 水力旋流器	69
第五节 气浮法净水	78
第六节 机械分级设备	86
第七节 水力分级、浓缩设备工艺效果评定	88
第四章 煤泥的絮凝和凝聚	94
第一节 凝聚和分散	94
第二节 高分子絮凝剂	102
第三节 絮凝剂的使用	113
第四节 助滤剂	121
第五章 煤泥脱水及回收设备	126
第一节 水分的赋存状态和脱水方法	126
第二节 脱水筛	130
第三节 离心脱水及其设备	137
第四节 过滤脱水及其设备	148
第五节 压滤脱水及其设备	160
第六节 带式挤压脱水和连续加压过滤脱水设备	166
第七节 脱水设备效果评定	171
第六章 煤泥水处理系统	173
第一节 煤泥水处理系统	173
第二节 煤泥水处理的原则流程	180

第一章 概 论

第一节 煤泥水处理的目的是任务

随着社会的发展和进步,煤炭不经洗选直接利用已不符合各国的能源政策和环保政策。发达国家的煤炭洗选比例很高,以几个主要产煤国为例:美国 55%,澳大利亚 75%,德国 95%,前苏联 60%,而我国至 1997 年底入选率仅为 25.7%左右。提高煤炭洗选比例、增大原煤入选量已成为我国开发“洁净煤技术”和实施煤炭工业可持续发展战略的主要内容。

目前煤炭洗选的工艺和方法,绝大多数是以水或水的混合物作为洗选介质,如重介选、跳汰选、浮选等,通常入选 1 t 原煤要用 3~5 m³ 水。随着机械化采煤量的增加,原煤中煤粉量急剧增加。这些煤粉和其他杂质在洗选过程中悬浮于分选介质中成为煤泥水,其中除含有固体悬浮物外,还有因洗选工艺需要而添加的药剂、油类等等。一个人洗能力近千吨原煤的选煤厂,每小时要产生几千立方米这样的煤泥水。而这些煤泥水必须经过一定的工艺处理后才能够入选煤厂循环使用,以满足选煤厂各工艺环节对循环水的要求,或在必须外排时能满足国家环保法规的要求。据统计,1995 年,我国选煤厂外排煤泥水 2800 万 t,流失煤泥约 20 万 t。将数量庞大的含有煤泥颗粒的煤泥水采用工业上成熟的固液分离技术进行分离,从中回收不同品质的细粒产品和适合选煤厂的循环用水,做到洗水闭路循环,在必须排放时能符合环境保护的排放要求,不污染环境,这就是煤泥水处理的主要目的和任务。

煤泥水处理的主要内容包括煤泥水的分级、浓缩、澄清、絮凝、分选和脱水等工艺、方法和设备,对不同特性(浓度、粒度、粘度、水质特点等)的煤泥水进行处理,完成资源的回收、洗煤循环用水的净化和防止对环境的污染等一系列任务。

煤泥水处理对于选煤厂来说是一个重要的系统工程,从水处理的角度看又是一个复杂的给排水工程。各选煤厂由于入选的原煤性质不同,对产品要求不同,所采用的工艺、流程和设备及管理方法不同,因而各厂煤泥水体系的性质也不尽相同,表现在流量、浓度、粒度、密度、硬度等各个方面,这就使煤泥水处理有着相当的复杂性。由于诸多因素影响,使得选煤厂煤泥水处理系统成为全厂最复杂、投资最多、生产成本最大、管理最困难的部分。但这一部分的完善程度、管理水平及效果好坏反过来又对其他环节产生很大影响,甚至决定全厂的经济效益和社会效益。

本书主要介绍煤泥水体系的主要特性、影响规律和检测方法;煤泥水处理的工艺、设备、方法的原理、结构、特点、选择、评价和使用;煤泥水处理流程的结构特点、适用范围、计算方法、选择依据;煤泥水处理系统的维护、管理及其经验等。通过这一系列内容的介绍使读者对复杂的煤泥水处理系统能有一个较为完整的理解和认识,同时也尽可能提供详尽的参考资料。

当然,像其他任何一门科学技术一样,煤泥水处理所涉及的内容、所采用的工艺、设备和方法、管理手段和效果都会随着科学技术的不断发展以及人们对煤炭产品需求的不断更新和变化而不断前进和发展。希望读者能在此基础上不断进取和探索,达到更高水平。

第二节 煤泥水处理的主要特点和内容

一、煤泥水处理的主要特点

如上所述,现在的大多数选煤工艺都是用水或水与其他介质组成的悬浮液对煤进行一系列湿法分选,而通常所洗选的原煤中又含有相当部分的煤粉颗粒(粒度在 0.5 mm 以下)。原煤经分选后得到一系列粒度组成、密度组成、灰分、水分、浓度不同的煤水混合物,经脱水后作为最终产品。以我国常见的一种炼焦煤选煤厂工艺流程——跳汰、浮选联合流程为例。含有一定煤泥的原煤同 3~5 倍左右的洗水一起进入跳汰机分选,跳汰机将原煤中 0.5 mm 以上的部分分选成低灰分的精煤、高灰分的矸石和中间灰分的中煤,然后通过脱水装置脱水后作为最终产品。而原料煤中小于 0.5 mm 粒级的绝大多数随洗水一起(和跳汰机分选的低灰精煤一道)进入煤泥水处理系统。如何将这小于 0.5 mm 的部分及洗水与大于 0.5 mm 的低灰精煤逐步分离?怎样将洗水中的小于 0.5 mm 的中低灰部分和高灰部分分离?如何实现固液分离得到不同的煤泥产品和洁净的循环用洗水等。这一系列任务都要通过复杂的煤泥水处理系统——分级、浓缩、澄清、絮凝、分选、回收、脱水等环节来实现。由于煤泥是一种复杂的多分散体系(在后面章节要详细介绍),它是由不同粒度、不同形状、不同密度、不同岩相、不同矿物组成、不同表面性质的颗粒以不同的比例与水混合所构成的,而它们再和不同硬度、不同酸碱度、不同矿化度的水混合形成煤泥水后,更加剧了煤泥水体系的复杂性和煤泥水处理的艰巨性。

在大多数选煤流程中,从煤泥水中将煤泥中低灰、高灰颗粒分离所采用的是泡沫浮选法,这也是目前国内外采用最多的一种煤泥分选方法。这种从煤泥中分选出低灰分产品的作业称为煤泥的分选作业。煤泥水处理作业采用的分选方法还包括旋流器、摇床、螺旋分选机、油团絮凝、选择性絮凝等。但对于大多数动力煤选煤厂,有时并不需要将煤泥水中的煤泥颗粒进一步分选成低灰精煤和高灰尾煤,而只要将它们从煤泥水中尽可能彻底地分离出来,以得到洁净的循环用水,这通常称为煤泥的回收作业。煤泥回收通常采用分级、浓缩、絮凝、澄清等作业来完成。但不论是分选或回收,均需通过专门的脱水作业对分选或回收的产品进行固液分离,否则水分过大,超过产品指标时,会影响用户使用。如浮选精煤作为炼焦精煤使用时,水分过高将延长炼焦时间,降低炼焦产量,增加燃料消耗。据统计,水分增加 1%,炼焦时间增加 20 min,焦炭减少 3%~4%。此外北方高寒地区水分过大会造成运输、贮存过程中的冻结,造成列车行车的不安全和装卸车困难。产品水分越高,冻结越严重,通常在北方寒冷地区水分 > 10% 以上时就会出现严重的冻结现象。从减少运输过程中的无效运输角度来说,降低产品水分也有着十分积极的意义。我国每年有几亿吨洗选产品外运,水分每增加 1% 就将是几百万吨,按平均水分 10%,平均运输 500 km,每年仅水分一项就使铁路的无效运输相当惊人。选煤厂煤泥分选或回收后产品的脱水通常采用各种机械方法来实现,如脱水筛、离心脱水机、过滤机、压滤机等,在高寒地区必要时还要采用火力干燥。

在煤泥的分选、回收、脱水、煤泥水净化等作业中,一般需要其他辅助工艺或设备来为其提供合适的粒度组成、密度组成和浓度的入料,这通常采用分级、浓缩、沉淀等设备来实现。只有保证提供最佳的入料条件,才能保证这些作业的效果,也才能保证整个煤泥水处理系统和选煤厂的技术经济指标。因此,对于一个现代化的选煤厂来说,煤炭洗选工艺环节并不复杂,而且越来越简化。比如采用几台大型跳汰机或重介分选机即可达到分选目的,但需要复杂的煤泥水处理系统为分选作业提供合格的分选介质,保证其分选效果;对选后产品分级、脱水;对未能分选

的煤泥进一步精选、回收、脱水；对洗水和外排水充分净化，以保证选煤厂整个工艺系统的正常运转。可以说煤泥水处理系统几乎覆盖了整个选煤厂的工艺环节。选煤厂的分选效率、各产品的数质量指标、各环节的经济技术指标、煤泥水的流失和对环境的污染都与所采用的煤泥水处理系统的类型、特点、设备、完善程度及管理水平有很大关系。当前，国内外都将选煤厂如何提高煤泥水处理效能、简化流程系统、实现煤泥厂内回收、洗水闭路循环和杜绝废水外排作为重要的内容来研究，并取得了很大进展。

总之，原煤在经过湿法分选以后会产生大量的煤泥水需进一步处理，这些煤泥水具有如下特点：

- ① 流量大。平均每入选 1 t 原煤需 3~5 t 水，大型选煤厂每小时需处理几千立方米的煤泥水。
- ② 性质复杂。所含煤泥粒度、浓度、质量各不相同，有的粗煤泥性质近于精煤；而有的尾煤却粒度极细、灰分高、粘度大，这就使煤泥水处理的工艺环节、设备和管理具有相当的复杂性。
- ③ 集中了原煤中最细、最难处理的微细颗粒（粒度小于 0.05 mm），这些颗粒由于粒度细，使煤泥水粘度大，所以极难用常规的沉淀、回收和脱水设备处理，它们对煤泥水处理系统以及整个选煤工艺系统影响最大，投资和生产成本也最大。
- ④ 煤泥水处理系统各作业间相互影响、相互制约。某个作业的效果不仅影响本作业，而且会对其他作业产生影响，一环套一环。管理好了可以产生好的良性循环，管理不好就会出现坏的恶性循环。

选煤厂主要工艺环节煤泥水及煤泥的性质见表 1-1。

表 1-1 煤泥水的性质及其与选煤、脱水关系

选煤工艺和脱水方法	煤泥水主要来源	煤泥水浓度/%	煤泥水中煤泥的性质
不分级跳汰或分级跳汰、筛子脱水	精煤脱水筛筛下水	5~15	煤泥受到一定程度的分选，粒度组成较粗
不分级跳汰或分级跳汰，斗子捞坑脱水	捞坑溢流水	4~10	煤泥受到一定程度分选，粒度组成较上者为细
块煤重介选，筛子脱介，磁选机回收磁性矿物	磁选机尾矿	1~10	煤泥粒度组成较粗，煤泥中含有极细的磁铁矿和非磁性矿物，如黄铁矿等
末煤重介选，筛子脱介，磁选机回收磁性矿物	磁选机尾矿	3~8	煤泥粒度组成较粗，粗粒煤泥受到一定程度的精选，煤泥中含有极细的磁铁矿和非磁性矿物
重选前原料煤脱泥	脱泥筛筛下水	10~20	煤泥粒度组成较粗，是没受到任何分选的原生煤泥
浮选	浮选尾矿	3~4	主要是粒度细的高灰分杂质，有时也含有少量浮选作业未能回收的粗粒煤

二、煤泥水处理的内容

由于原煤性质、对选煤产品要求和所采用的洗水水质不同，造成煤泥水体系性质不同，所采用的煤泥水处理方法也就不同，即煤泥水处理的内容不同。主要包括以下几个主要方面。

1. 煤泥的分选、回收、脱水作业

如前所述,煤泥的分选、回收、脱水是煤泥水处理中最主要的任务和内容。煤泥的分选主要是指炼焦煤选煤厂为尽可能回收炼焦煤资源而从煤泥水中将煤泥中低灰分的颗粒分选出来,掺入炼焦精煤中的作业。它的灰分和水对炼焦精煤的灰分和水影响很大。因而要合理确定它的灰分和尽可能降低它的水分,以保证最高的精煤产率和最终精煤的水分较低。煤泥的回收主要是指动力煤选煤厂或炼焦煤选煤厂从煤泥水中尽可能多地将其中的固体煤泥颗粒分离出来,以获得尽可能多的煤炭资源和洁净的循环水及外排水的某些作业环节。煤泥的脱水实际就是对分选或回收的煤泥产品除去所含部分水分的作业,以获得质量合格、便于贮存、运输和使用的最终产品。从某种意义上说,煤泥的回收和脱水指的是同一概念。

煤泥分选、回收的粒度一般根据原煤洗选的工艺和洗选深度(下限)而定。当原煤洗选情况正常时,一般洗选下限为 0.5 mm 左右,这样 0.5 mm 便可作为煤泥分选的粒度上限。目前的选煤工艺通常都是将 0.5 mm 作为重选的下限和煤泥分选的上限。如果原煤的分选下限达不到,可采用某些粗煤泥分选设备如摇床、旋流器、螺旋分选机等对 0.5~3 mm 左右的粗煤泥进行分选,但这样会使流程复杂化。虽然现在煤泥分选采用最多的方法仍然是浮选法,但浮选机、浮选药剂和浮选工艺已经发生了惊人的变化。浮选机械的大型化、自动化,各种浮选柱的出现和推广、药剂多样化、浮选工艺的简单化均使得浮选成为更加多能、高效的煤泥分选方法。因为浮选对粒度比较敏感,因此要杜绝粗颗粒进入该作业,否则浮选无法回收,会使其损失在尾矿里。现多在浮选作业前采用分级回收设备来回收浮选入料中含有的不能回收的粗颗粒煤泥。

2. 煤泥水的分级作业

煤泥是由各种粒度组成的混合粒群,其中的粗粒和细粒在许多性质上差别很大,常常需要将它们分开,分别用不同的工艺和设备进行分选、回收和脱水。如重选的分选下限和浮选的粒度上限是 0.5 mm,在某些流程中就需要一个水力分级作业,将煤泥水中的煤泥颗粒以 0.5 mm 为界限分开,小于 0.5 mm 的煤泥和水一起进入浮选作业,大于 0.5 mm 的按重选结果沉降下来,脱水后作为最终产品。再如煤泥或浮选尾煤脱水时通常采用压滤机、过滤机或沉降式过滤机联合流程,压滤机对细粒级有良好的效果,而过滤机则只对粗粒级有较好效果。因此需要一个将入料分成粗粒级和细粒级两个部分的分级作业,分别供压滤机和过滤机合适的人料组成。像这样在煤泥水处理中把粗细煤泥分开的作业称为水力分级作业。水力分级是煤泥水处理系统许多工艺和设备的辅助作业,通过它满足不同工艺和设备对入料粒度的要求。

3. 煤泥水的浓缩作业

各种煤泥分选、回收和脱水设备不仅对入料的煤泥有一定的粒度要求,而且对浓度也有一定的要求,只有浓度适当才能得到满意的工艺效果。如用筛子回收煤泥,入料浓度最好在 35% 以上才不致于筛面跑水;压滤机、过滤机脱水时煤泥水入料浓度在 30% 以上,才能保证较高的处理量;浮选的人料浓度在 100~200 g/L,才能取得满意的技术指标等等。但煤泥水的浓度受煤泥水中煤泥量的多少、作业用水量大小、循环水水质好坏等因素影响,如表 1-1 所示。从表中可以看出各作业煤泥水浓度相差很大,有的低至 1%,有的高达 20%。显然,当入料中煤泥含量大、作业用水量小、采用的循环水浓度高时,作业出来的煤泥水浓度就一定较高;反之,煤泥水浓度就较低。为满足不同设备分选和脱水需要的最佳浓度,通常要设置若干浓缩作业作为辅助作业。

目前选煤厂煤泥水浓缩设备多采用自然沉降设备,即入料煤泥水在一定面积的设备里自然或强化沉降,大量固体颗粒沉到底部为浓缩产品,溢流的浓度则相对减小许多。为强化煤泥沉降,选煤厂还常常采用添加絮凝剂或加倾斜板等手段提高浓缩效果,也有的采用离心力加速

颗粒的沉降。

4. 循环水的澄清作业

循环水作为洗选和辅助用水,其质量主要表现为循环水的固体含量、固体粒度和灰分。当循环水中含有过多煤泥颗粒,尤其是高灰、微细的颗粒时,会严重影响分选、回收、脱水等作业的效果。使用这样的循环水,跳汰机中细颗粒沉降受到影响,分选下限将增大,细粒级分选效果严重恶化,浮选作业的选择性也变差;过滤脱水时将会影响过滤的透气性,当它们粘附在洗选产品上时将会大大增加产品的灰分和水分。可见,要保证好的分选和脱水效果,必须保持循环水水质的洁净。洁净的循环水是通过煤泥水的澄清作业实现的。所谓澄清在选煤厂实质上和水力分级、浓缩作业是一样的,只不过是让煤泥水在充分大的面积下,停留充足的时间,以保证煤泥水中的固体颗粒能充分沉淀下来,去除固体颗粒的煤泥水溢流便是符合洗煤和辅助工艺用水标准的洁净循环水。如果加入到选煤系统或煤泥水系统的补加水量超过产品能够带走的水量,即当煤泥水系统出现不平衡、必须向外排放煤泥水时,澄清的洁净水是合适的外排水,当然它的固体含量越低、成分越少越好。由此可见,煤泥水处理系统为保证洁净的循环用水和外排水,必须设置煤泥水澄清作业。

煤泥水澄清作业与水力分级及浓缩作业的不同在于澄清作业是让煤泥中的微细颗粒也沉降到底流中去,使溢流尽可能完全实现固液分离,消除因洗水中含有的微细颗粒集聚造成的循环水浓度增高、洗水易出现的不平衡、被迫向外排放等一系列问题。循环水的澄清程度和煤泥水性质、澄清设备完善程度等有关。当这些客观条件已定,则仅与操作、管理水平有关。

大多数炼焦煤选煤厂的循环水是通过浮选尾煤净化而来的。浮选尾煤的特点是浓度低、粒度细、灰分高、含有残余的化学药剂,因而极难沉降澄清,必须采取一定的强化措施。目前多采用添加无机电解质凝聚剂和高分子有机絮凝剂使微细颗粒絮结成团,加速沉降,通过这些方法多数可保证较好的澄清效果,残余的化学药剂一般也不会对选煤工艺或环境造成大的影响。

综合以上介绍可见,煤泥水的处理主要包括以下几类作业:

- ① 目的在于获得最终产物的煤泥分选、回收、脱水等加工作业;
- ② 为这些加工过程作准备的煤泥水分级、浓缩等辅助作业;
- ③ 目的在于获得洁净循环水和外排水的煤泥水澄清作业。

第二章 煤泥水体系的主要性质及测定

煤泥水体系是一个极其复杂的系统,它不仅与煤泥的密度大小、粒度分布、矿物组成等有关,也与体系的 pH 值、水的硬度、粘度、浓度等有关。对煤泥水体系的研究大致可分为理、化性质的研究和工艺性质的研究,两者之间并没有明确界限,只不过前者偏重于基础研究,后者注重于实际生产过程。

煤泥水系统的理论研究目前还远远不能满足解决实际问题的需要,一个基本原因是煤泥的粒度分布很宽,影响因素众多。煤泥水系统的运动规律,不仅受单个颗粒的支配,而且与整个粒群及介质的运动有关。不同粒度的颗粒在不同介质中的运动状态有很大的差异,难以用统一的公式去描述。如粗颗粒主要受重力场影响,而对极细颗粒来讲,重力场的影响几乎可以忽略。再如一般认为煤泥的沉降是一个干扰沉降过程,但导致干扰的因素很多,这些因素对不同粒级的煤泥影响的程度差别很大,很难用简单的公式来描述沉降过程,所以实际应用中往往采取模拟或实际测定的办法来确定具体的煤泥水系统的某些性质。

本章对煤泥水体系的一些基本性质进行了论述,分析了一些主要影响因素,同时还对某些基本性质的测定方法进行了简单介绍,这些描述对其他细粒与水混合物也同样适用。

第一节 煤泥水体系的主要性质及测定

一、煤泥水浓度及测定

1. 煤泥水浓度及其表示法的换算

煤泥水浓度是湿法选煤过程中表示煤泥和水混合物中煤泥和水(固体和液体)数量比值的一个重要参数。选煤各工艺环节的入料或产品均为不同比例的固体和液体混合物。煤泥水处理的许多作业,如脱水、浓缩、澄清等就本质上说是改变入料或产品的浓度(在某些情况下浓度就是产品的水分)。在湿法选煤过程中,大多数环节都要掌握浓度的变化,作为控制和调整工艺参数的依据;而对某些环节而言,浓度更是必须严格控制 and 掌握的最终指标。在选煤厂设计时,浓度也是工艺选择、设备选型、流程计算和流槽、管道校核的依据。

煤泥水浓度作为煤泥和水混合物中煤泥和水数量比值的重要参数,和其他悬浮液浓度的表示方法一样,一种是单位体积悬浮液中固体体积与液体体积之比,称为体积浓度或体积稠度;另一种是单位体积悬浮液中固体重量与悬浮液重量或水的重量之比,称为重量浓度或重量稠度。从理论上说,煤泥水的浓度用体积表示比用重量表示更准确些,但测定不方便,为计算和测定的方便,通常采用重量表示法。

常用的浓度表示有固体重量百分数(百分浓度)、液固比、固体含量等。

(1) 固体重量百分数(又称百分浓度)

表示煤泥水中固体煤泥重量所占煤泥水总重的百分数,常用 C 表示,求法有两种:

① 用煤泥水、固体煤泥重量计算

$$C = \frac{T}{Q} = \frac{T}{(T+W)} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 T ——煤泥水中固体煤泥重量, g;

W ——煤泥水中水的重量, g;

Q ——煤泥水总重, g, $Q=T+W$ 。

也可用产品水分 W_Q 来表示固体产品所带的水分占总重量的百分数。 C 和 W_Q 的关系为:

$$C=(100-W_Q)\times 100\% \quad (2-2)$$

此法对浓度的测定比较精确,适用于现场流程检查、实验室各种试验对浓度的测定,且十分简单。但矿浆需要脱水、烘干,时间较长,耗电较多,不能适应现场调节的快速、及时的要求。

② 利用煤泥的密度和煤泥水密度进行计算

$$C=\frac{\delta(\delta_n-1)}{\delta_n(\delta-1)}\times 100\% \quad (2-3)$$

式中 δ ——煤泥的密度,实验室预先测出, g/cm³;

δ_n ——煤泥水密度, g/cm³。

(2) 液固比 R_p (又称稀释度)

液固比是指煤泥水中水的重量与固体煤泥的重量比,它是一个比值,没有单位。

$$R_p=\frac{W}{T}=\frac{Q-T}{T} \quad (2-4)$$

式中 T 、 W 和 Q 的意义同式(2-1)。

若已知煤泥的密度和煤泥水的密度,则有

$$R_p=\frac{\Delta(\delta-\delta_n)}{\delta(\delta_n-\Delta)} \quad (2-5)$$

式中 Δ ——煤泥水中液体密度, $\Delta=1$ 时,

$$R_p=\frac{(\delta-\delta_n)}{\delta(\delta_n-1)} \quad (2-6)$$

(3) 固液比 R_B (又称稠度)

固液比是煤泥水中固体煤泥重量与水的重量比,它和液固比 R_p 互为倒数。

$$R_B=\frac{T}{W}=\frac{T}{Q-T} \quad (2-7)$$

同样,当知道煤泥的密度和煤泥水的密度 δ_n 时,则有

$$R_B=\frac{\delta(\delta_n-\Delta)}{\Delta(\delta-\delta_n)} \quad (2-8)$$

当 $\Delta=1$ 时,

$$R_B=\frac{\delta(\delta_n-1)}{(\delta-\delta_n)} \quad (2-9)$$

(4) 固体含量 g

固体含量是指 1 L 煤泥水中含有固体煤泥重量的克数,单位是 g/L。

$$g=\frac{T}{V_1+V_2}\times 1000=\frac{T}{V_1+\frac{T}{\delta}}\times 1000 \quad (2-10)$$

式中 V_1 ——煤泥水中水的体积, cm³;

V_2 ——煤泥水中固体煤泥体积, cm³。

若已知煤泥的密度和煤泥水的密度,则有

$$g = \frac{(\delta_n - 1000)\delta}{\delta - 1} \quad (2-11)$$

(5) 浓度换算

以上介绍的几种浓度表示方法使用场合不一。通常在流程进行数质量计算时多采用液固比 R_p 和百分浓度 C ，而大多数选煤厂在生产管理中习惯采用固体含量 g 。由于采用的浓度单位不一样，为彼此对比和相互间的换算，可用如下公式：

① 已知 R_p ，求 C 及 g

$$C = \frac{1}{R_p + 1} \times 100 \% \quad (2-12)$$

$$g = \frac{1000}{R_p + \frac{1}{\delta}} \quad (2-13)$$

② 已知 C ，求 R_p 及 g

$$R_p = \frac{100 - C}{C} \quad (2-14)$$

$$g = \frac{1000C}{100 - C \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)} \quad (2-15)$$

③ 已知 g ，求 R_p 及 C

$$R_p = \frac{1000}{g} - \frac{1}{\delta} \quad (2-16)$$

$$C = \frac{100g}{1000 + g \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)} \quad (2-17)$$

2. 煤泥水浓度的测定

(1) 烘干法

烘干法是取一定容积的煤泥水试样进行烘干(温度在 110℃ 以下)至恒重，称量固体重量，并按下式计算：

$$g = \frac{T}{V} \quad (2-18)$$

式中 T ——煤泥烘干后重量，g；

V ——煤泥水体积，L。

该法测定很精确，但耗时、耗能较多。有时为了加快速度，常在煤泥水中加入一定絮凝剂或凝聚剂，沉降后抽出上部澄清液，将沉积物烘干，以减少时间和能耗。

(2) 浓度快速测定

在连续试验和生产中，通常需快速测定某些工艺环节的煤泥水浓度，此时多用浓度壶法。浓度壶法是一种间接测量法，即先测出煤泥的密度及煤泥水的重量，再间接算出煤泥水浓度，因而不如直接法(如烘干法)准确。

浓度壶法的具体做法是将试样灌入一定容积 V 的浓度壶内(选煤厂常用的容积为 1 L，形状如图 2-1)，然后称出煤泥水的重量 Q ，用下式计算：

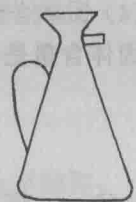


图 2-1 浓度壶示意图

$$g = \frac{(Q/V - 1000)\delta}{\delta - 1} \quad (2-19)$$

式中 Q ——煤泥水的重量, g;
 V ——煤泥水体积, L;
 δ ——煤泥的密度, g/cm³。

通常某个环节在正常生产时,煤泥的密度变化不大,所以只要事先测得,不必每次都测。如果工艺或原料有了变化,则需要重新测定(即进行标定)。

由于浓度检查是经常性的工作,为了适应浓度快速检测的需要,省去现场每次测定的计算工作,可以根据式(2-19)算出不同煤泥水重量下的煤泥水浓度,然后制成相对应的表格或者画出曲线,每次测定时只要称出煤泥水的重量,从对应表格或图中就可查出对应的浓度。

表 2-1 列出了煤泥密度、煤泥水密度、煤泥水浓度之间关系。

表 2-1 煤泥密度一定时,煤泥水密度与固体含量的关系

水中固体含量 /g · L ⁻¹	当固体密度为下列数值时的煤浆密度/g · cm ⁻³								
	1.35	1.4	1.45	1.5	1.55	1.6	2.2	2.3	2.4
50	1.012	1.014	1.016	1.018	1.019	1.021	1.042	1.046	1.050
100	1.025	1.029	1.033	1.036	1.040	1.044	1.087	1.094	1.102
200	1.049	1.055	1.063	1.070	1.077	1.084	1.168	1.182	1.196
300	1.075	1.086	1.097	1.108	1.108	1.129	1.258	1.297	1.301
400	1.100	1.114	1.128	1.142	1.142	1.171	1.342	1.370	1.398
500	1.125	1.148	1.161	1.179	1.179	1.214	1.429	1.465	1.501
600	1.150	1.172	1.194	1.215	1.215	1.258	1.516	1.559	1.602

3. 煤泥水浓度自动检测简介

煤泥水浓度是选煤工艺过程中一个重要的参数和控制指标。随着选煤厂自动化程度的提高,越来越多的环节要求对煤泥水浓度进行自动检测,并以此作为控制参数,如浓缩机的溢流和底流、浮选入料等。

目前选煤厂煤泥水浓度自动检测主要有两种基本类型,一种是浓度的直接检测,如超声波浓度计;另一种是间接检测,即通过煤泥水密度的测量而换算成煤泥水的浓度,常见的有压差式密度计和放射性同位素(γ 射线)密度计等。当煤泥的密度不变时,煤泥水的浓度与密度之间具有单值函数关系,所以测得密度后可再经转换变成浓度。

(1) 超声波浓度计

超声测量技术各个领域已得到越来越广泛的应用,选煤厂已用于物位(仓位)及液位的测量。超声波应用于矿浆浓度的测量是一种非常有前途的方法。超声波浓度计可用在管路上连续在线测量,效果也很理想,检测元件不与被测液体直接接触,安全可靠。与同位素浓度计相比,不存在放射源的安全防护问题,且放射性同位素测定的二次仪表也很复杂,相比之下,超声波浓度测量更具有优越性。

超声波测量浓度原理如图 2-2、图 2-3 所示。

从发射源 1 发出具有一定频率和振幅的超声波,经过一定的传播距离 l 被接收装置 2 接收,如果被测矿浆的粒度组成不变,则接收到的振幅与被测矿浆的浓度之间有单值对应的关

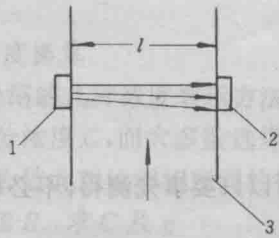


图 2-2 超声波测量示意图

1—超声波发射源;2—超声波接收装置;3—矿浆测量管

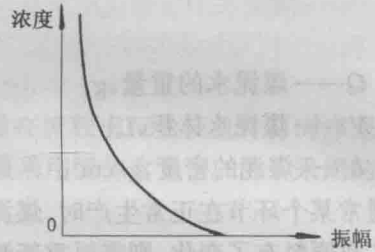


图 2-3 振幅与浓度关系

系,它们之间不是线性关系,而是随着浓度的增加接收到的振幅呈指数规律衰减(如图 2-3)。虽然两者不呈线性,但对某一工艺环节来说浓度的变化不大,测量时仅取曲线的一段,经过灵敏度的扩展后可以得到近似线性的关系。

煤泥水中煤泥颗粒粒度较小,粒度组成相对稳定,矿浆浓度在不很高的范围内可定性认为符合上述衰减规律,因而可用超声波测量其浓度。

在用超声波测量装置测量浓度时,对某一环节的煤泥水,要经过实测的标定来定输出指示的刻度,通常超声波频率越高,衰减越大;粒度越大,衰减也越大。因此为提高测量的灵敏度和线性度,通常被测矿浆浓度高时,相应超声波的频率低一些,反之高一些;粒度大时,频率低些,反之高一些。如果浓度在 $0 \sim 200 \text{ g/L}$ 以内,矿浆中粒度小于 1 mm 时,使用 $400 \sim 2000 \text{ kHz}$ 的超声波,其测量误差小于 5% ,基本上能满足要求。

超声波测浓度最适合于粒度较小、组成较均匀的矿浆。如果被测矿浆粒度组成或密度组成经常变化,需通过标定验证误差。此外,矿浆中若混有气泡或没被矿浆充满,也将造成误差,因为声波在气体中的衰减比在液体或固体中大得多,所以测量时要避免气泡进入测量管,并使矿浆充满测量管。为减少误差可采取矿浆自下而上的流向和缩小管径等措施。

(2) 间接测量法

间接测量法是通过煤泥水密度的测定,然后将煤泥的密度换算成煤泥水浓度,这是由于煤泥密度不变时,煤泥水密度和浓度之间存在单值对应关系,现选煤厂许多场合是通过测量矿浆密度来代替直接测浓度。

间接法测量浓度在选煤厂使用较多的有两类:一类是压差式密度计测量矿浆密度,这类从 20 世纪 50 年代开始使用,现还有部分仍在用;另一类是放射性同位素(γ 射线)密度装置,此类从 20 世纪 60 年代开始在选煤厂使用,现选煤厂使用较多。

① 压差式密度计。其原理是测量煤泥水不同高度上两点压力差,当高差一定时该压力差即反映了煤泥水密度。如图 2-4 所示,两点间压力差 $p = \Delta h \times \rho$,即和两点间垂直高差以及介质密度成正比。高差 Δh 在测量过程中是定值,所以 p 和 ρ 之间的转换关系呈线性。

在压差式密度计的测量中,关键是要测准压差。压差的测量方法很多,可以采用各种压差传感器,如 U 形管压差测量装置、双管压差式密度计、电阻应变式压力压差传感器、压力与压差变送器、压电式压差、压力变换器等。选用时要根据被测介质的性质、测量条件、参数变化速度和

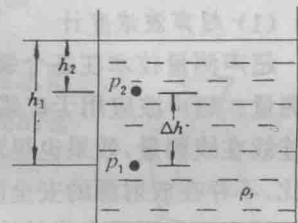


图 2-4 压差式密度计原理

所需求的灵敏度来定。

② 放射性同位素密度计。放射性同位素测煤泥水浓度时精度一般在1%以内,测量装置可安装在管路上连续测量,探测装置不与矿浆直接接触,为非接触式测量,因此不会被磨损或腐蚀,可靠性高,维护量小,便于在密闭管道条件下使用。此外,输出的电信号易于和电动单元组合仪表或计算机配合,实现自动控制,但存在安全防护问题。总的现状是虽然压差式密度(浓度)计仍在使用,但放射性同位素密度(浓度)计正得到更广泛地应用。

放射性同位素密度计是使用 γ 射线穿透被测矿浆,根据其衰减强度来测量的,其原理如图2-5所示。

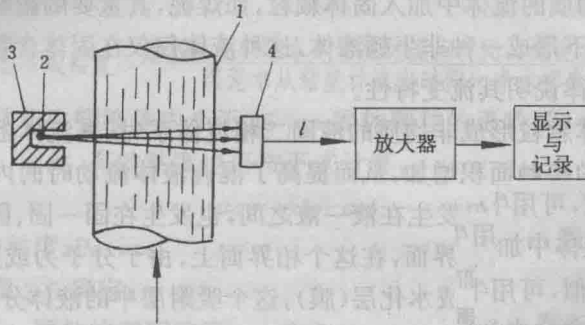


图2-5 γ 射线密度计原理

1——矿浆管道;2—— γ 放射源;3——铅罐;4—— γ 射线探测器

一定强度的 γ 射线从铅罐窄孔射出,穿透被测矿浆,然后又被 γ 射线探测器接收。如果 γ 射线固定,矿浆物质组成(如粒度、密度等)稳定,管径不变,那么总质量吸收系数也是常数,则矿浆的密度只和穿过被测物的 γ 射线强度有关。它们之间不是线性关系而和超声波浓度计相似,呈指数关系。实际应用中,通常是某一工艺环节的矿浆或煤泥水密度变化不大,即只在测量范围中的某一段,只要对这一小段进行量程扩展,必要时采取补偿措施,可使它们的关系实现线性化。

γ 射线能量选择的原则是根据被测物的性质和变化程度使得总吸收系数为最小(即穿透力为最强)和基本稳定。使用 γ 射线密度计时输出指示要经过标定。由于放射源的半衰期很长,一般不需频繁标定,1~3年标定一次即可。使用时矿浆必须充满管道,否则误差较大。同时可在管道上采取相应措施,使矿浆在被测管道中流动平稳,不形成涡流,没有气泡。使用中须做好防护。

③ 矿浆密度与浓度的转换。以上介绍的间接法测浓度均是根据测得的矿浆密度再转换成矿浆浓度,其首要条件是要知道矿浆中固体如煤泥水中煤泥的真密度,所以,固体的密度必须实测,如果某个工艺环节固体密度不稳定,则这种间接法也就不稳定,需要经常根据固体密度的变化重新标定。矿浆密度和浓度之间的关系如式(2-19)。

二、煤泥水的粘度、影响因素及测定

1. 流体的粘度

流体在运动时,在流体内部两流体层的接触面上会产生内摩擦力,阻止流体层间的相对运动,流体具有的这一性质称为粘性或粘度,这种内摩擦力也称为粘性阻力,它是由于流体分子间内聚力所致。