

煤选液悬浮矿物

蘇联 Г. А. 穆澤遼夫著

煤炭工業出版社

內 容 提 要

本書詳細闡述選煤用礦物懸浮液的基本性質及其質量指標的測定方法；介紹懸浮液選煤的主要設備、輔助設備和懸浮液選煤工藝系統；結合懸浮液選煤廠實例提出選擇加重劑和調配懸浮液的有關數據。

這本書主要是煤礦和選煤廠的生產技術人員、設計人員和科學研究工作者的讀物，也可供選煤專業院校師生參考。



Г. А. Музылев

ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ В МИНЕРАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЯХ

Углетехиздат Москва 1954

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社1954年版譯

1126

礦物懸浮液選煤

煤炭工業部專家工作室譯

*

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可証出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

開本787×1092公厘 $\frac{1}{32}$ 印張4 $\frac{5}{8}$ 字數88,000

1959年4月北京第1版 1959年4月北京第1次印刷

統一書號：15035·821 印數：0,001—3,000冊 定價：0.61元

序 言

用人工調制的矿物悬浮液作分选介質，把煤中所含比重不同的顆粒区分开来，这是現代最有效的选煤法之一。用这种选煤法选出的各种产品的特点是：質量很純，几乎不含一点杂质。

在这一个五年計劃之內，为了精选难选煤，已設計出很多用矿物悬浮液选煤的选煤厂。这种选煤法今后在煤矿工业中将会得到广泛的使用。

关于使用矿物悬浮液选煤的各种理論問題，現在研究得还很不够，这方面的文献也很少。

本書对于各种矿物悬浮液的性質及用这种选煤法所需各种設備的基本問題，作了尽詳叙述的嘗試。

作者对于自己的論述，并未妄自認為正确无疑。因为所述各种問題还都是新問題，而且很复杂；为了得到完全的闡明，还有待于很多研究工作者和生产工作者的努力。

讀者对本書的任何意見，作者都非常欢迎，裨在今后工作中考虑。

目 录

序 言	
緒 言	3
第一章 矿物悬浮液的主要性質	6
第1节 悬浮液概述	6
第2节 悬浮液的稳定性	10
第3节 悬浮液稳定性的測定方法	16
第4节 悬浮液的密度	20
第5节 悬浮液对物体运动的阻力	26
第6节 悬浮液粘度的測定	46
第7节 加重剂(悬浮剂)	53
第二章 矿物悬浮液选煤設備	60
第8节 矿物悬浮液选煤設備的工艺系統	60
第9节 悬浮液选煤机	62
第10节 悬浮液的再生	81
第11节 悬浮液密度自动調节器	90
第12节 輔助設備	100
第三章 矿物悬浮液选煤厂	106
第13节 矿物悬浮液选煤厂实例	106
第14节 矿物悬浮液选煤效率的評定方法	127
第15节 悬浮液的主要性質对分选效率的影响	133

緒 言

用重介質选煤的道理在于：将煤中的主要部分，不論其粒度的大小，而按其比重的高低区分开来。

如果把煤放在比重大于煤而小于矽石的液体中，則淨煤浮起，矽石下沉，換句話說，煤中的低灰分部分(精煤)和高灰分部分(矽石)即彼此分开。

用其他重力选煤法(如跳汰机选煤和洗煤槽选煤)时，煤的粒度、煤块的形状及其他一些因素都对分选結果有所影响。

因重介質选煤的方法簡單，效果又高，远在选煤工作初步发展的阶段，重介質选煤就已在工业上試用。

远在1858年，就有人倡議使用几种盐类(氯化鉄、鈣盐等)溶液选煤；但是，溶液損失很大，并且淨化困难，因此沒有得到工业上的应用。

在本世紀的20年代，曾有人提出使用水砂悬浮液选煤的方法，并已得到一些推广，但煤块和矽石的粒度及形状对于分选結果影响很大，因为要使較大的砂粒(0.2~0.3公厘)居于悬浮状态，必須形成高速度的上冲液流。

用稳定的矿物悬浮液选煤这一方法，是由苏联工程师E.A. 斯烈普措夫在1926年首先提出的，并已在工业上得到广泛的使用。他还創造出一种最早使用的分选机。

就用重介質选煤的发展历史来講，最初是使用真溶

液，而后改用稳定的粘土悬浮液。但是，使用稳定性悬浮液的經驗說明：当时所用的悬浮液具有很大的缺点，既难进行再生，又不能用来分选粒度小于15~20公厘的煤粒。因此在使用稳定性悬浮液之后，又出现了用一种能够粗略自然分层的悬浮液来选煤的新方法，亦即，使用一台分选机可以将煤分成3种产品。

这种选煤方法的进一步发展，是将两种极端的悬浮液加以混合，改为使用半稳定性悬浮液。

在苏联，研究和使用矿物悬浮液选煤法的工作，是有用矿物机械加工研究院乌克兰分院于1925~1926年开始的。现在，頓巴斯煤炭研究院、乌克兰和斯維尔德洛夫斯克两个煤化学研究院及有用矿物机械加工研究院都还进行这种研究工作。在战后年代里，由于要寻找处理难选煤的效率更高的新方法，这方面的研究工作特别得到了广泛的发展。

利用矿物悬浮液选煤，能使所得的实际結果与理論結果接近，而且比用跳汰机及洗煤槽选煤来得有利。例如，从卡拉崗达的难选煤中，在理論上能够选出灰分为7~8%的精煤，但用跳汰机及洗煤槽洗选时，选出精煤的灰分实际是11~12%。要想选出灰分較低的精煤，則精煤回收率大为降低，煤的损失增大。

在跳汰机中几乎不可能用比較小的分选比重(1.3~1.35)进行分选，而在悬浮液中却絲毫无困难地利用这样的分选比重。分选比重大到2.0时，也能将重煤分选出来。

矿物悬浮液选煤的粒度上限比跳汰选煤高很多。用悬

浮液选煤时，能选粒度达300~400公厘的大块煤，并且不必进行预先破碎；这样，利用悬浮液可以代替手选，来分离大块矸石与煤。

新烏茲罗夫斯克中央选煤厂，对矿物悬浮液选煤进行了工业性试验，所得的结果是：对同一种原煤来说，矿物悬浮液选的效果比无活塞跳汰机高5.4%，比活塞跳汰机选高26.8%。

表1是跳汰机选煤和矿物悬浮液选煤所得结果的比较表。

跳汰机选煤和悬浮液选煤所得结果的比较 表1

分选方法	原煤灰分, A ^o %	产品名称	回收率, %	灰分, %		实际灰分与理论灰分之差	洗选产品中所含的杂质	
				理论的	实际的		含量, %	灰分, %
跳汰机选	20.83	煤 矸石	60.0	2.75	5.05	2.30	2.6	25.0
			40.0	47.90	46.00	1.80	11.8	5.7
用粘土重晶石 悬浮液选	20.14	煤 矸石	68.5	3.27	3.33	0.06	0.9	15.9
			31.5	56.80	56.66	0.14	0.8	10.5

由表1所列数据可以看出，分选实际质量相同的原煤时，悬浮液洗选的精煤回收率比跳汰机选煤的回收率高8.5%，而且灰分却低1.7%。

根据其它资料的记载，利用非稳定性磁铁矿悬浮液的层流进行选煤时，所得结果也很高(表2)。

矿物悬浮液选煤的粒度下限一般为6公厘。

曾用矿物悬浮液在层流选矿机中，分选-1公厘的末煤和在水力旋流器内分选-0.1公厘的末煤，但这还都处于试验室试验和半工业性试验阶段。这是因为降低入选煤

炭粒度，会急驟降低选煤设备的处理能力。

- 表 2

用礦物悬浮液的层流选分 18~10 公厘級煤炭的結果

产 品 名 称	回收率, %		灰分, %	
	理論的	实际的	理論的	实际的
精 煤	59.1	60.5	3.1	3.4
中 煤	11.2	11.6	30.7	29.7
矸 石	29.7	27.9	70.6	71.6
总 計	100.0	100.0	25.50	25.50

分选細粒煤炭的悬浮液应具有最小的粘度，所用的加重剂也应比分选中粒及大粒煤炭的加重剂更細一些。所有这些要求会使选煤費用大为高昂。

第一章 矿物悬浮液的主要性質

第 1 节 悬浮液概述

在开始分析矿物悬浮液的性質之前，須确定悬浮液与重液究竟有何相同之处。C.И. 米特罗凡諾夫認為悬浮液是具有一定比重、結構粘度及弹性的一种假液体，因而断言：物体在悬浮液中下沉，不应看成是物体在具有一定密度和粘度的介質中的运动，應該是在水中的干涉下沉。

有些学者認為悬浮液具有均質重液所具备的許多性質，特別是具有一定的密度和粘度，因而可以認定：在悬浮液中进行分选實質上与在重液中分选一样。

P. II. 石申柯采用粘土和水調成的悬浮液(粘土漿液)算作带有异常粘度, 并受史伟多夫-宾戈姆定律支配的液体。由此可見, 目前存在着两种主要观点: 1. 在悬浮液中按比重分选矿物同在某些性質异乎寻常的重液中分选是一样的; 2. 把在悬浮液中的分选作用看作固体在水中的干涉下沉。

II. A. 列宾德認為胶体溶液是具有相当发育的内分界面的分散体系, 因而指出: 真溶液的特点实質上是沒有内分界面, 而有单相的均質体系。同时, 他还指出真溶液与胶体溶液在很多性質上的共同性。根据經典分子运动理論導算出来的有关真溶液的所有各主要方程式。都能或多或少地适用于胶体体系。

除真溶液与胶体溶液之外, 还有一些类似这两种液体的溶液, 如很多高分子与高聚合有机物溶液, 及一些既是真溶液而同时又具有一些胶体体系性質的无机物溶液(矽酸等)。

在胶体体系的数量变化增长(分散程度增长到分子的大小)时, 虽然能看出一种完全可以肯定的質量突变——由两相体系变为单相体系, 但是要确定出真溶液与胶体溶液之間的(在分散程度上的)明显界限是不可能的。

另一方面, 胶体体系和粗分散体系不同, 选煤所用的悬浮液即屬於粗分散体系。

II. A. 列宾德对溶液提出一种假定的数量上的分类界限: 将含 < 0.1 公微的顆粒的溶液算为胶体体系, 把含 $0.1 \sim 1$ 公微顆粒的算为中等分散体系, 将含大于 1 公微

顆粒的溶液算为粗分散体系。И.И. 儒柯夫确定胶体顆粒粒度的最低界限为 0.001 公微，将含小于 0.001 公微的粒子的液体算作分子离子分散体系。

将含 > 1 公微粒子的溶液算为粗分散体系的理由是：在这些顆粒的周围，能有較小的顆粒参加热运动。胶体体系与粗分散体系的主要区别是固相与液相之間有很发达的分界面，而且，如果分界面在数量上有进一步的生长，就会发生質上的突变——由两相体系变为单相体系，但在粗分散体系变为胶体体系时不发生这种突变，也就是說：粗分散体系与胶体体系在性質上的共同性，比胶体体系与真溶液在性質上的共同性大一些。

胶体体系的稳定性是靠固相顆粒参加热运动（由分散介質的分子所引起的）来維持的。这一点應該算是胶体体系与粗分散性悬浮液的主要区别。換句話說，胶体溶液的稳定性受溶液內部的力量所决定。粗分散性悬浮液的固体顆粒是呈非运动状态，所以，它具有或多或少的沉淀性——固相沉积，也就是說，悬浮液的性質是很快而且不断地发生变化，使悬浮液的存在不是永恒的。悬浮液的稳定性不能靠人为的外力作用来維持。

我們認為，能不能把在悬浮液中选煤与在均質重液中分选等量齐观这一主要問題，应在悬浮液本身的粒子粒度和入选煤块粒度具有一定比例的条件下得到正确的解决。換句話說，由于悬浮液的固相呈悬浮状态，因此，它的密度等于固相与液相密度的加权平均值。投入悬浮液中的物体所失去的重量等于物体挤去的悬浮液的重量的。在研究真溶

液时，它的密度事实上等于溶质与溶剂的密度的中间值^①。

可以想象得到，在溶液中分离出来的元素体积只含有一个分子，它可能是具有一种密度的溶剂的一个分子，也可能是具有另一种密度的溶质的一个分子。因此，关于溶液的密度只可以一个含有许多溶质和溶剂的分子的元素体积为基础。

因分散程度降低而形成大的分子聚集体，这是由真溶液变成胶体体系的现象。胶体体系的第二个质上的特点是：胶体溶液体积等于固相与液相体积之和^②，而胶体溶液的密度等于它们的加权平均值。

如果分散程度进一步降低，结果变为沉淀性的分散体系，则不能认为是悬浮液，而是象胶体溶液那样，将会发生质的变化。也就是说，在加重剂的颗粒与入选煤块具有一定比例的条件下，悬浮液的密度能作为固相和液相密度的加权平均值而计算出来。

用矿物悬浮液选煤时，能够很明显地观察到两种极端的現象：

1. 假如入选煤粒的水力粒度与加重剂的颗粒相差不多，则在干涉下沉的条件下发生分选作用；

2. 如果入选煤粒的粒度比加重剂的粒子大很多倍（几十来倍），则发生相在真溶液中选煤时所发生的分选作用，因为对大块煤来讲，悬浮液可以看作是一种均质液”

① 不可把真溶液的密度与溶质和溶剂的密度的加权平均值等量齐观，因为溶质的分子系分散于溶剂体积内各分子间的空隙之中；

② 假如不考虑溶剂层中的液体增浓作用。

体。

实际上，用悬浮液选别的煤粒都大于6公厘，而加重剂的粒子一般都不超过0.1~0.2公厘（亦即，加重剂粒子和入选煤粒的最小粒度之比为60~80:1），我們有完全的理由認為：在悬浮液中分选和在运动的重液中分选作用是相同的，悬浮液在一定的状态下与重液相似。

第2节 悬浮液的稳定性

任何一种分散体系的稳定性都能用分子运动稳定性和聚集稳定性来说明。

分子运动的稳定性决定于因分散颗粒受重力和离心力的作用由分散介质中分离出来的程度；这种分离速度又取决于分散相的分散性和比重，同时，对一定体系来讲，分散性的程度是一个常数。具有运动稳定性的只是那种发生热运动的分散体系（胶体）。选煤所用的悬浮液实际上属于无分子运动稳定性的体系。

分散体系在时间上的分散程度不降低，这就表明体系具有聚集稳定性。如各个的分散粒子结成较大的聚集体，分散程度就会降低。

悬浮液稳定，能提高其聚集稳定性，稳定剂的作用就是使稳定剂的分子吸附在分散相的颗粒表面上，构成一层薄壳，使分散相的粒子不能聚结。在其他条件不变的情况下，如颗粒的粒度减小，则聚结稳定性降低，因为在一定的粒度条件下开始的热运动，会增加粒子相互碰撞和聚集的可能性。聚集稳定性或无聚集稳定性的性质对于选煤所

用的悬浮液不致有多大的影响，因其加重剂的粒子比较大，并且具有很快的沉降速度。

对所有的分散体系（胶体体系除外）来说，固相颗粒都或快或慢地下沉，因此，实际使用悬浮液时，必须利用机械搅动方法，或用产生足以使加重剂粒子居于悬浮状态的上冲液流的方法（也就是加以一定的外力），保持悬浮液的稳定性。对于悬浮液的静止稳定性（或静稳定性）和悬浮液的流动稳定性（或动稳定性）应加以区别，而且，为使悬浮液具有动稳定性所加的外力应决定于静稳定性。

固相沉降的速度取决于固体粒子的粒度、形状、比重以及固相含量等因素，这种固相沉降速度乃可算作静稳定性的特征。

根据静稳定性的观点，可以分成两种极端的悬浮液：稳定的悬浮液及不稳定的悬浮液。研究悬浮液的静稳定性对选煤结果的影响时，可以认定：悬浮液工作层①的密度和悬浮液的稳定性紧密相关，因为当悬浮液进入分选机后，固相粒子即开始下沉，乃使加重剂的含量在悬浮液流的全部深度内发生变化，因而悬浮液的密度也随之变化。

固相的沉降速度取决于很多因素，同时，很难设想所有因素在选煤过程中都是完全不变的；也就是说，我们有足够的理由断言：在使用不稳定的悬浮液时，工作层的密度总有或多或少的变动。除此之外，在使用静态不稳定悬浮液时，需要使上冲液流具有足以保持悬浮液呈动稳定状态的流速。因有上冲液流，以致入选煤炭的比重和粒度对

① 所谓工作层是指对煤发生分选作用的那一层悬浮液。

11
分选的精确性都有一定影响，亦即，悬浮液选煤法因此而失去一项主要的优点。使用静态稳定的悬浮液时就没有这种现象发生。

根据前述可以作出这样一个结论：悬浮液的静稳定性越高，分选的精确性越大；反之，悬浮液的稳定性降低，分选的精确性也就减小。

另一方面，不稳定的悬浮液具有较大的流动性及较小的粘度，也就是说，在其他条件相同的情况下，这样的悬浮液能进行快速分选，因而提高选煤设备的生产能力。静态不稳定悬浮液的另一个优点是悬浮液的再生方法大为简化，并减少加重剂的损失。

最适宜的选煤悬浮液是半稳定性悬浮液，因为它既能够进行相当正确的分选作用，同时，悬浮液的再生过程也没有特别困难的。

为提高悬浮液的静稳定性，可以采用下列几种方法：

1. 增加加重剂的含量；
2. 提高加重剂的分散性；
3. 降低加重剂的比重；
4. 用添加粘土的方法来提高悬浮液的粘度。

因为在任何情况下用悬浮液选煤都必须使悬浮液具有一定的比重，所以上述第1种方法一般不能用来调剂悬浮液的稳定性。

第2种方法——提高加重剂的分散性——是一个实际可用的降低固相沉降速度的方法，不过，这会提高配制及再生加重剂的費用。

例如，古巴哈焦化厂附設的一套試驗性选煤設備就用磁鉄矿作加重剂。

該厂所用加重剂的粒度組成爲： > 0.25 公厘—— 10.42% ； $0.25 \sim 0.10$ 公厘—— 36.68% ； < 0.1 公厘—— 52.9% 。悬浮液上层的比重爲 $1.215 \sim 1.225$ 。將磁鉄矿磨碎后，粒度組成變爲： > 0.25 公厘—— 0.89% ， $0.25 \sim 0.1$ 公厘—— 26.75% ， < 0.1 公厘—— 72.86% ，这样，悬浮液上层的比重成爲 $1.265 \sim 1.235$ 。

降低加重剂的比重（不改变粒度）是减低固相沉降速度和提高悬浮液靜穩定性的重要方法。假如用比重不大的加重剂（ $2.5 \sim 2.6$ ），并将其小于 $15 \sim 20$ 公微的粒子去除，則能获得粘度小而穩定性很大的悬浮液，这种悬浮液的固体含量大，一經稀釋就很容易沉淀。

添加粘土能使悬浮液具有高度的靜穩定性，但同时也能增大它的粘度，因而再生較为困难。

祇有利用上升液流才能完全防止加重剂下沉，也就是說，能够获得具有絕對动穩定性的悬浮液。但是上面已經說过，有上升液流会降低分选的准确性。动态穩定悬浮液可以叫作“等密度悬浮液”，这种悬浮液在自身流动高度上任何一点的密度都是經常一样的①。

“假如利用水平液流来保持悬浮液的动穩定性，那么这种悬浮液就和不动的悬浮液一样，因为水平层流对分选的准确性不发生影响。”另一方面，水平液流不能防止悬浮液

① 應該說明，只有在其它条件相同的情况下，对具有同一密度的悬浮液，其“等密度”的条件才能建立起来。

在分选机中分层，甚至在使用静态比較稳定的悬浮液时，悬浮液在深度上的密度也会有所增高。悬浮液流上下层的比重即使相差不大，对分选作用也会起不良影响。

举例来说，假如悬浮液流的上层比重是1.49，下层比重是1.51，平均比重是1.50，则比重为 $+1.49 \sim 1.51$ 的中煤颗粒在上层中下沉，而在下层浮起，亦即，在上下两层之间聚集一层悬浮的颗粒，成为妨碍较重颗粒下沉因而破坏正确分选作用的障碍物。有一点应该注意，构成这一中间悬浮层的不只是具有中间比重的煤粒，而且也有比重较大但被已浮起的煤粒托住的重颗粒。

假若分选机使用分层不显著的悬浮液，又没有去除在中间悬浮的颗粒，则很快就会失去分选作用。

就我们所作试验来说，在中间悬浮的煤粒一般达15~20%，而比重上的差数为0.10~0.15。

我们最近所作试验的结果说明：在使悬浮液作水平流动的条件下，靠乱流作用产生的垂直分速，也能使悬浮液具有产生等密度的条件。

在分选机内有聚集中间悬浮煤粒及必须将其去除的这一情况，使人们产生了利用悬浮液的固相下沉作用，来把煤在一台分选机内分成3种产品的想法。这一分选方法的实质是：用稍加磨细的高比重加重剂，使悬浮液在分选机中进行比较自由的分层。在这种情况下形成的上下层的比重差达0.3~0.4，因而可能将煤分成精煤、中煤及矸石等3种产品。

这种悬浮液有下列优点：

1. 没有垂直液流（在层流的条件下），因而分选作用很准确；

2. 能用粒度较大、容易再生的高比重加重剂；

3. 能借助于简单的改变固液比的方法将悬浮液的密度作大幅度的调节。

但是，使用这种悬浮液选煤的经验表明，这样的悬浮液还有下列几项重大的缺点：

1. 不能用来分选难选煤，因为增加中煤的出量会使分选机的能力大为降低；

2. 必须严格控制加重剂的粒度组成，因为粒度组成一有变化就使悬浮液上下层的比重发生变化；

3. 对悬浮液必须进行仔细的再生，因为，含有少量粘土颗粒就足以使悬浮液上下层的比重差别消失。

根据对悬浮液性质所作的分析，可得出下列结论：

1. 在其他条件相同的情况下，增加悬浮液的静稳定性能提高分选的准确性，但降低分选机的能力。提高选煤悬浮液的静稳定性的有效方法是降低加重剂比重，以便在一定限度内提高加重剂的体积含量；

2. 就动稳定性的观点来说，悬浮液可以分为下列3种：

(1) 稳定悬浮液或等密度悬浮液：在这种悬浮液的液流中，任何一点的密度都相同，而且保持不变；

(2) 半稳定悬浮液：在这种液流的上下层中，比重差别极小，只有0.05~0.10；

(3) 不稳定悬浮液：在这种液流中，上下层的比重差