



煤選質介重

蘇聯 姆·維·茨別羅維奇著

燃料工業出版社

74.18

1974

重 介 質 選 煤

蘇聯 姆·維·茨別羅維奇著

陳 克 己譯

31-96 1-1

燃 料 工 出 版 社

本書簡明地闡述了重介質選煤的理論，介紹了一些洗選系統和設備構造，並引用實踐數據說明重介質選煤的優點和特性。

本書可供選煤工程技術人員閱讀，並可作為高等礦業學校選煤系參考書。

本書原著評閱者為阿·普·科瓦斯科夫，譯文經孫維宜同志作了技術校閱。

* *
*

重 介 質 選 煤

ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЕЙ В ТЯЖЕЛЫХ СРЕДАХ

根據蘇聯國立黑色與有色金屬科技書籍出版社(МЕТАЛЛУРГИЗДАТ)

1953年斯維爾德洛夫斯克俄文第一版翻譯

蘇聯 М. В. ЦИПЕРОВИЧ 著

陳 克 己 譯

燃料工業出版社出版

社址：北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版業營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：張伯顏 景建中 校對：何忠

書號418煤157 * 850×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 4 $\frac{1}{4}$ 印張 * 92千字 * 定價七角五分

一九五五年五月北京第一版第一次印刷(1—2,100冊)

著 者 前 言

在重液中分離煤的方法是人們早就知道了的，並曾用來研究煤的可選性和檢查煤的洗選過程。

但這種能夠得到與理論結果極其相近的選煤法，在工業上作為主要的洗選法而被廣泛採用，還是近來的事。

為了給選煤工程師們介紹這種洗選法的現代情況和所用的設備起見，著者特將散見於國內外定期書刊上有關這個問題的資料加以整理，編著成本書。

書中除闡明重介質選煤法的基本原理外，並對所用的操作系統和設備作了詳盡的敘述。

目 錄

著者前言

著者序	3
第一章 用於選煤的重介質	5
第二章 重介質選煤法的發展	18
第三章 懸濁液選煤的現代操作系統	60
第四章 懸濁液選煤的輔助設備	97
第五章 懸濁液比重的自動調整	103
第六章 重介質工業選煤結果的評定	112

著 者 序

黨第十九次代表大會關於 1951—1955 年蘇聯發展國民經濟的五年計劃的指示草案指出，要以高度技術為基礎，在國民經濟各個部門中不斷提高和改善生產。

生鐵的生產應該增加 76%，鋼增加 62%，鋼材增加 64%，煤增加 43%。

煉焦煤的採掘，在五年內增加的數量應不低於 50%，選煤工作約擴大到 2.7 倍。

建造新的選煤廠，在選煤廠中採用最完善的選煤機以及採用最有效的方法和洗選系統，可保證完成所規定的選煤任務。

在最完善的選煤法中，自然包括重介質選煤在內。

在工業條件下所用的重介質（重液和懸濁液）選煤法，顯然非常重要，因為與其他已知的選煤法相較，這種方法能夠得到與理論極其相近的結果；特別重要的是，這種方法還能用於洗選那些中煤和隣接部分（即比重接近於分離比重的部分）含量很高的煤。

用跳汰機洗選中間部分（例如比重為 1.4—1.8）含量不大的煤時，其所得的實踐結果，大致近於理論結果。

當在跳汰機中洗選中間部分含量很高的難選性煤時，發覺在理論結果與實踐結果之間有頗大的距離。為了減小這個距離和提高設備的有效利用係數，必須採用精煤和中間部分再洗的高度洗選系統。雖然如此，但在這種系統中所得的最後結果仍與理論結果有很大的不同（精煤灰分頗高，而回收率低於理論指標）。

跳汰機的改進（例如利用矸石和中煤的自動排放並使用床層鬆動器等使跳汰機更臻完善），也不過僅在不大的程度上改善操作指標而已。

只有在重液中進行洗選，才能精確地將煤分離成各種不同比重的部分。為了檢查洗選過程，這種方法已在選煤廠中運用了多

年，使用某些礦物鹽水溶液(氯化鋅、氯化鈣)，或用其本身即爲重液(例如四氯化碳)按照比重將煤分離。

但是，實驗室中爲了進行浮沉試驗所用的具有必需比重的重液，若用於規模宏大的工業中來，實在過於昂貴。

最便宜的，因而是最流行的，是重介質選煤法。此時的介質，乃爲懸濁液，即高比重的固相微粒在水介質中處於懸浮狀態。

穩定懸濁液選煤法，即僅根據純煤與雜質比重不同而與物料粒度無關的選煤法，是在蘇聯首先被提出的。

在1926年，科學研究工作者 E. A. 斯列波佐夫 (Е. А. Слепцов) 工程師得到了使用黏土懸濁液作爲重介質洗選和完成這種操作所需設備的特許登記證^①。

B. A. 古斯科夫教授和他的研究員們^②，在應用由黏土或爐頂灰所配製的懸濁液以分離煤的方面，均作了許多研究工作。

與其他方法相較，重介質選煤乃是最有效的方法，因爲它能：

(1) 當純煤在廢石中損失最小的情況下，甚至在洗選難選性煤時，其所得的精煤能接近於理論灰分；

(2) 由於免除了精煤和中煤的再洗，簡化了洗選系統。

所以重介質選煤，毫無疑問地，將在我國得到廣泛的發展。

① L煤T雜誌118號，37頁，1935。

② L煤T雜誌78—79號，58頁，1932。L焦炭與化學I，4—5號，46頁，1937。

第一章 用於選煤的重介質

工業上用於選煤的重介質有三種：(1)有機液；(2)礦物鹽水溶液；(3)水懸濁液。前兩種應屬於穩定介質；第三種介質又可分為兩種：人為穩定介質和不穩定介質。

穩 定 介 質

穩定介質的特性，就是在任何長的時期中，能够保持自己的物理性質。

作為有機重液用的有：四氯化碳(CCl_4)，比重 1.6；四溴乙烷($\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$)，比重 2.96；二溴乙烷($\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$)，比重 2.17；五氯乙烷(C_2HCl_5)，比重 1.678；三氯乙烷($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$)，比重 1.462；三溴甲烷(CHBr_3)，比重 2.81 以及其他等等。

為了配製必需比重的的工作介質，上述重液可混入一些較輕的有機液，即苯、二甲苯等等。

正如上面所述，某些高比重有機液，例如四氯化碳，僅用於在實驗室中檢查煤的分離。

由於此種重液昂貴，且因蒸發會受到大量損失，所以在工業條件下，不得不摒除大量使用高比重有機液。

此外，許多有機液會引起爆炸、失火的危險；對工作人員的健康也是有害的。

最常用的，是礦物鹽水溶液。

作為工業選煤的重介質，有一時期，多使用氯化鈣(CaCl_2)水溶液：

乾氯化鈣的比重為 2。氯化鈣水溶液的最大比重只可能為 1.4，這可用乾鹽 40% 溶於水中製得。但 40% 的氯化鈣水溶液，其黏度已如此增大，致在實踐上不能採用這種溶液，而洗選時所用此種溶液的比重，不得高於 1.35。

在選煤槽中洗選時，爲了增大分離比重，須製造上升液流，以便能按照比重 1.5 進行洗選。

氯化鈣水溶液的工業選煤結果，是令人非常滿意的。但在洗選過程中，操作化費太大：一則由於氯化鈣受到損失（選煤 1 噸，40% 溶液中的氯化鈣須消耗 2 公升），再則須將洗滌水（即氯化鈣的稀薄溶液）蒸發以達到所需的濃度，此時又造成頗大一部分蒸汽消耗。

根據上述原因，以氯化鈣水溶液當作工業選煤的重介質，沒有得到廣泛採用。

在現代，工業上所用的重介質是由水和磨得很細的礦物配製而成——即水懸濁液。

懸 濁 液

懸濁液是磨得很細的固體微粒和水的混合物。因此，固體微粒是分散相，水則是分散媒。懸濁液的分散相叫做重質。在工業條件下，配製懸濁液所取的重質爲：重晶石，黃土，沙，軋鋼鐵屑，磁鐵礦，黃鐵礦殘滓，爐頂灰等等。

任何重質，均應符合於下列主要要求：

(1) 由重質所製成的懸濁液，應該是穩定的；

(2) 懸濁液的黏度不應高。懸濁液的黏度增高，煤粒在這種懸濁液中就失却流動性，而不能精確地分離；

(3) 爲了分出重質，在篩中洗滌時，所用重質應易於與洗選產品分離；在沉澱池中沉澱時，應易於與洗滌水分離；

(4) 重質應易於與煤泥和黏土泥分離；

(5) 重質應保證能够配製比重由 1.3 到 1.8 的懸濁液。

用懸濁液進行洗選，其比重應在頗大的程度上大於水的比重。這存在着兩種困難。於研究現代各種洗選法前，須對這兩種困難作一說明。此兩種困難，即懸濁液的黏度和重質的沉降性。

圖 1 所示的，是用圖表法說明介質比重與各介質黏度間的關係。曲線 1，表示氯化鈣水溶液的比重變化時，其黏度的變化情

况；曲線 2，表示氯化鋅水溶液的這種關係；曲線 3 和 4，表示由磁鐵礦製成的兩種懸濁液的比重與其黏度間的關係。

氯化鋅水溶液的黏度，於比重為 1.6 時，等於 1.3，即較水的黏度大 30%（於 15°C 時，水的黏度取為 1）。

在實驗條件下，由浮沉試驗的實踐得知，這種黏度對分離結果的影響不大，不能成為對分離準確度的主要影響。

對氯化鈣水溶液（曲線 1）說，其比重稍形增大，即招致黏度迅速增大。假若 1.6 比重的氯化鋅水溶液，其黏度等於 1.3，那麼對氯化鈣水溶液說，其比重為 1.35 時即達到此種黏度。

氯化鈣水溶液的比重由 1.35 增至 1.4，其相對黏度將由 1.3 增至 2；但氯化鋅水溶液只有當 1.75 比重時才具有此種黏度。

在由黏土和水所製的懸濁液中，發覺其黏度與比重間的關係與由氯化鈣所配製的重介質類似，而且懸濁液中所含的黏土粒愈多，即其比重愈大時，懸濁液黏度的增大即愈顯著。雖然黏土懸濁液的黏度可藉加入各種不同的試劑或藉提高溫度予以減小，但黏土懸濁液是否能夠適用於實踐，尚屬疑問。但是，若將黏土與高比重的細料物料混在一起（根據 E.A. 斯列波佐夫的建議），例如與重晶石（ BaSO_4 ）相混，那麼由此種重質所配製的懸濁液，或可用於實踐目的。

改變懸濁液中重晶石（比重 4.2）和黏土（比重 2.3）的比率，在介質的容許黏度下，可以得到選煤所需的懸濁液比重。

圖 2 表示的，是懸濁液中固體物體積與懸濁液比重間的關係，此懸濁液的重質，是由黏土和重晶石以各種不同比率配成的。

黏土重晶石懸濁液的黏度與其固體物體積百分數間的關係曲線（當溫度為 35°C 時），如圖 3 所示。

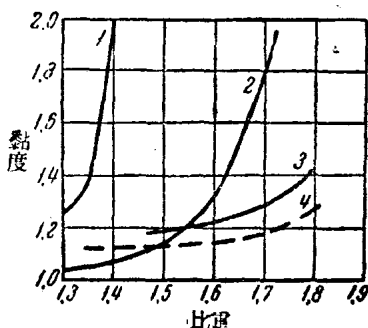


圖 1 介質比重與各種介質黏度間的關係

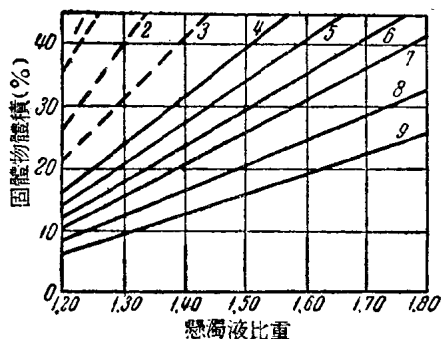


圖2 固體物體積與懸濁液比重間的關係

- 1—煤70%，黏土30%，混合物比重1.6；
 2—煤50%，黏土50%，混合物比重1.8；
 3—煤30%，黏土70%，混合物比重2.0；
 4—黏土100%，比重2.3；5—黏土89.5%，
 重晶石10.5%，混合物比重2.75；6—黏土
 76.4%，重晶石23.6%，混合物比重2.75；
 7—黏土63%，重晶石37%，混合物比重
 3.0；8—黏土37%，重晶石63%，混合
 物比重3.5；9—重晶石100%，比重4.2。

曲線表明：懸濁液中的固體物體積自28%起，黏度顯著增大。

假若黏度以經過黏度計（圖4）小口流出一定體積所需的時間表示，那麼含固體物到28%的懸濁液，其黏度等於95（流出之時間，以秒表示之）。

再後，懸濁液中固體物即會增加不大，也可使黏度迅速增大。這說明：當洗選小塊煤時，固體物的體積不應超過28%。規定於洗選大塊煤時，固體物的體積不得超過35%；此時懸濁液所具有的最大容許黏度為150。

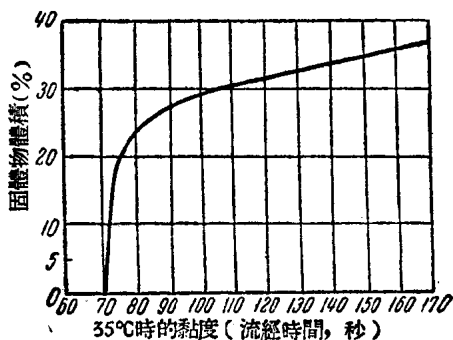
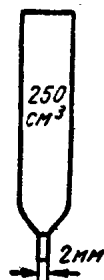


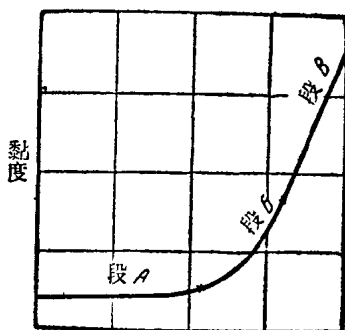
圖3 黏土重晶石懸濁液的黏度與固體物體積間的關係 圖4 黏度計簡圖



黏土重晶石懸濁液和其他懸濁液，均有這種情況：比重變化時，黏度的變化程度起初較小，幾乎保持不變（段A）；然後，比重每增一單位，黏度也逐次上升（段B）；最後，其關係又成直線，但此線更加陡斜（段B）。懸濁液的此種特性曲線，示於圖5。

驟然看來，懸濁液黏度增大所給予實踐中的困難，似乎可用適當的方法選擇具有足夠的高比重重質來排除。若是這樣，這種懸濁液的黏度與其比重間的關係則決定於圖5的傾斜直線——段A。

但問題還很複雜，因為在這段曲線上，懸濁液很不穩定，換句話說，重質發生沉降，使設備上下間的比重有所變化。



懸濁液比重
圖5 黏度-比重曲線

由於這種結果，過程被破壞，洗選停止。

但是，採取某些方法以預防重質沉降，可使懸濁液穩定。

同時，提出不穩定懸濁液洗選法。

人為穩定懸濁液

使懸濁液穩定的方法，通常為：

(1) 選擇重質，這種重質於高比重時，能產生足夠穩定的懸濁液；

(2) 藉用上升液流(特別是使用水沙懸濁液時)；

(3) 加入一些能使介質產生必需穩定性的物質；此時應該注意，這些物質會增大介質的黏度，例如加黏土於重晶石懸濁液中；

(4) 藉用機械將懸濁液攪拌；

(5) 藉懸濁液的橫向移動。

茲將懸濁液的穩定法詳述於後。

選擇重質使懸濁液穩定

配製比較穩定的懸濁液，可採用黃土。這是一種廣泛分佈的土壤，大自然中黃土層很厚。

黃土為沙子和黏土的混合物。表1所列的，是黃土的成分及其平均尺寸。

黃土的成分及其平均尺寸

表 1

黃 土 成 分	尺寸(微米)	含量(%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
沙子	20--100	75	78	8
黏土	20	25	60	14

黃土的特性，是微粒組成均勻，而且粒子很細。下面所列的，是黃土某一試樣的微粒組成(篩分特性)：

+0.05公厘……23%	0.03—0.02公厘……15%
0.05—0.04公厘……22%	0.02—0.01公厘……10%
0.04—0.03公厘……20%	—0.01公厘……10%

黃土懸濁液的黏度較小，大大低於黏土懸濁液的黏度。

由黏土、白堊、型沙和兩種黃土所配製的幾種懸濁液，其黏度與其比重間的關係如圖 6 所示。

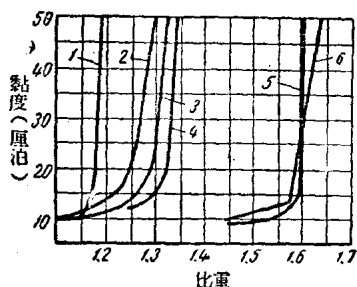


圖 6 由某些礦物所配製的幾種懸濁液，其黏度與其比重間的關係
1—白堊；2—黏土；3—油性黏土；
4—白堊；5和6—黃土。

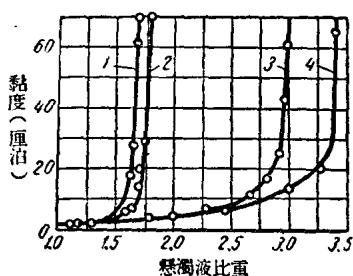


圖 7 懸濁液黏度與重質粒子形狀間的關係

1—圓粒石英；2—角粒石英；3—工作中用過的矽鐵；4—新矽鐵。

圖中表明，前三種物質所配製的懸濁液，於比重為 1.25—1.35 時黏度顯著增大；黃土所配製的懸濁液，黏度增大至此時，比重為 1.6。

黃土的比重與沙子的比重相同，等於 2.6。配製比重為 1.6 的懸濁液，需大量固相。但是，這種比重的懸濁液的黏度不大，能以順利進行洗選。

比重為 1.55 的黃土懸濁液，是由 34.3% 固體微粒和 65.7%

水配成的，而同一比重的黏土重晶石懸濁液，則含固體微粒 27%，水 73%；黃土懸濁液的固相體積雖大，但其黏度低於黏土重晶石懸濁液的黏度。

由黃土所配的懸濁液，其黏度不大，這不僅是由於它的微粒組成較好，而且與其粒子形狀有關。

懸濁液黏度與重質粒子形狀的關係如圖 7 所示。圖中具體地指出了石英與矽鐵的這種關係。由圖中看出，同一比重的懸濁液的黏度，圓粒的當大大低於①角粒的。

藉用上升液流使懸濁液穩定

使懸濁液穩定的上升液流，是用於兩種洗選介質中：水沙懸濁液和黏土重晶石懸濁液。

在前一種情況下，由沙和水所製的懸濁液是不穩定的，必需使用上升液流使其穩定，否則就不能進行洗選；在第二種情況下，使用上升液流的目的不同，這是為了預防與懸濁液比重相近的中煤充滿選槽。

使用上升液流的實踐後果，可使分離比重較懸濁液比重稍形增大，例如用 1.4 比重的懸濁液時，所得的分離比重等於 1.45—1.46。

用上升液流使懸濁液穩定並不是理想的方法，因為入選煤的粒級很寬時，分離比重的增大隨粒子的不同而各異：對小塊煤說，就大；對大塊煤說，就小。

許多試驗證明：比重為 1.45 的水沙懸濁液，在上升液流同一速度下，當沙粒尺寸為 0.2—0.3 公厘時，處理 6 公厘煤粒的液體比重相當於 1.45，處理 3 公厘煤粒的液體比重相當於 1.50，處理 1.5 公厘煤粒的液體比重相當於 1.55。

表 2 指出：在上升液流同一速度下，水沙懸濁液的分離比重，在頗大程度上隨顆粒尺寸的改變而變。

因此，對於每種所規定的分離比重，不但要選擇上升液流的

① 根據圖 7 所示，L 低於 1 疑是 L 高於 1 之誤。——譯者

分離比重與沙粒尺寸的關係

表 2

預防沙粒沉降 的上升液流 (公分/秒)	沙粒 尺寸 (公厘)			分 離 比 重		
	I	II	III	I	II	III
10.5	0.5	0.7	1.2	1.65	1.60	1.51
8.5	0.4	0.6	1.0	1.65	1.60	1.51
7.0	0.2	0.4	0.7	1.65	1.59	1.48
5.5	0.15	0.3	0.5	1.64	1.55	1.43
3.0	0.05	0.15	0.25	1.60	1.41	1.28

速度，而且要選擇沙粒的大小，致使配製懸濁液時重質的準備工作非常複雜。

亦應指出的是，用上升液流時，入選煤的分離，不但與比重有關，而且與粒子的尺寸有關。

所以，用上升液流雖有一些優點，但仍希望不用上升液流使懸濁液穩定。

藉用膠體使懸濁液穩定

使懸濁液穩定的方法之一，是用膠體，例如用黏土。

重晶石法是懸濁液中最著名的選煤法，穩定此種懸濁液，是

由黏土和重晶石所製的懸濁液的成分

表 3

懸濁液 比 重	黏土的體積百分比 (黏土比重 2.5)	重晶石的體積 百分比(重晶 石比重 4.2)	體積比	懸濁液中固 體微粒的平 均比重	懸濁液中固體 微粒的含量 (體積百分比)
1.30	9.9	4.7	2.12	3.03	14.6
1.35	11.6	5.5	2.13	3.03	17.1
1.40	13.3	6.3	2.13	3.03	19.6
1.45	14.9	7.1	2.12	3.03	22.0
1.50	16.7	7.8	2.13	3.03	24.5
1.55	18.4	8.6	2.13	3.03	27.0
1.60	20.0	9.4	2.12	3.03	29.4

用膠體混合物。爲了穩定重晶石懸濁液，可加入黏土，其加入之體積，超過重晶石體積之兩倍。

表 3 中所列的數據，是配製各種不同比重懸濁液時所用黏土和重晶石的數量（體積百分比）。

懸濁液中的重晶石含量增大以及有黏土存在，均促使懸濁液的黏度增大。

由於多次試驗，才確定了可以有效地進行洗選的煤粒範圍與懸濁液黏度間的關係，此黏度是隨懸濁液比重的增大而顯著增加。

此種關係，以圖表法示於圖 8。

由圖可以看出，大於 20 公厘的煤，不能按 1.7 比重洗選。因此，在黏土重晶石懸濁液中，就不能按 1.8 比重將矸石分離。

雖然圖中指出了洗選由 1 公厘起的煤粒的最高比重，但粒度小於 5 公厘的煤，在黏土重晶石懸濁液中是不洗選的。

黏土重晶石懸濁液的黏度，可加熱至 35°C 以減小之。加熱是將廢氣引入懸濁液貯槽周圍的外殼中進行。

同樣可加入脂肪酸以減小黏度，此酸可調整黏土膠體粒子的尺寸。但這種方法並不通用。第一，因爲試劑太貴；第二，因爲在濃縮池中不易使洗滌水澄清，又因加入的試劑會阻止固體微粒的沉降。

黏土重晶石懸濁液的黏度，正像其他懸濁液一樣，隨煤泥的累積而增大。爲了去除這種煤泥，可使懸濁液經過篩板流出，篩板的篩眼僅使重質微粒能以通過，而煤泥則留於篩上。既然可能發生細粒煤泥的累積，在許多使用黏土重晶石懸濁液作爲分離介質的設備上，總設有浮選一部分懸濁液的裝置。

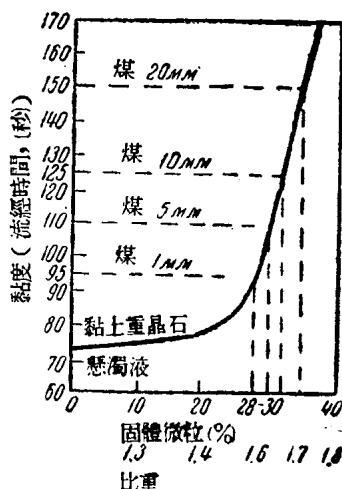


圖 8 黏土重晶石懸濁液的黏度與其比重間的關係

藉機械攪拌使懸濁液穩定

應用機械攪拌使懸濁液穩定頗為有效，但須使用磨得很細的重質為條件。重質的尺寸，不應大於 0.04 公厘。

將這些磨得很細的重質由洗滌水中收回，即它的再生，不能藉助於它們與煤泥或黏土泥間沉降速度的不同，因為這樣作將使濃縮池的尺寸過大。在這種情況下，最好用磁力分離器將洗滌水中的重質收回。

所以，作為重質的材料，須具有磁性，例如磁鐵礦。

但在這種條件下，還不能使懸濁液足夠穩定，所以洗選與懸濁液比重相近的煤粒時，選煤槽中仍有累積現象發生。

藉助液體的橫向移動使懸濁液穩定

假設使懸濁液成橫向流動，那麼在與重質粒子沉降速度、與懸濁液橫向流動速度以及與選槽幾何尺寸有關的一定條件下，重質將不沉降，懸濁液因而穩定。這種情況可以說明能够創設一種條件，在這種條件下可以得到由粗粒重質(0.1—0公厘)製成的穩定懸濁液。

這種穩定懸濁液的方法是最有效的，所以近來得到廣泛的採用。此法將詳陳於後。

不穩定懸濁液

假若不用一種特殊方法使懸濁液穩定，而且讓它處於平靜狀態，此時重質開始迅速沉降。

經過不多時間，在懸濁液上下帶的比重間形成很大的差異。

假若在深選槽中的懸濁液的比重達到某些差異後，使每帶懸濁液成橫向流動，那麼每帶中的懸濁液即又保持穩定。

因此，選槽上面的懸濁液的比重較小，下面的較大。

落入懸濁液中的煤受到分離，小於上帶懸濁液比重的煤粒浮於上層，大於下帶懸濁液比重的煤粒則沉於選槽的底部。在懸濁液的中間層中，中間比重的煤粒將處於懸浮狀態。

因此，在不穩定懸濁液中，於同一個設備裏可分出三種選