

选矿文集

重介质选矿

冶金工业出版社

4

252.7

3664-0/0

4

选 矿 文 集

第 4 輯

重介質选矿

冶金工业出版社

选矿文集 第4辑

重介質选矿

—*—

冶金工业出版社出版(北京市灯市口甲45号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第093号

中国人民大学印刷厂印刷 新华书店发行

—*—

1959年11月第 一 版

1959年11月北京第一次印刷

印数 2,512 册

开本850×1168·1/32·100,000字·印张 $1\frac{20}{32}$ ·插页4

—*—

统一书号15062·1917 定价0.66元

編者的話

选矿是冶金工業中不可缺少的一环,几年来,随着国民經济的不断發展,我国选矿工業也已取得很大成就。过去几年来从其他国家、特别是从苏联介紹过来的选矿先进經驗,在提高我国选矿技术水平 and 丰富我国广大选矿工作者的知識等方面起了很大作用。

但是,直到目前为止,我国还没有一本全国性的选矿技术刊物,过去有关选矿方面的技术經驗,大都散見于一般綜合性的刊物上,讀者参考起来很不方便。

因此,为了更好地报导国内外先进选矿科学技术成就,在一定程度上弥补上述缺点以滿足讀者需要,我們准备將国内外有关选矿方面較好的技术资料,尽可能按內容分类彙集成册,以“文集”的形式不定期出版。

重介質选矿法是一种高效率的选矿方法,常与其他选矿法配合应用于选別有色金屬、黑色金屬、稀有金屬矿石及选煤。重介質选矿法与浮选相配合,可在很大粒度条件下去掉一部分脉石,从而可以大大提高选矿厂的生产能力;降低葯剂和动力消耗;降低采矿及选矿成本;簡化采矿方法;提高貧矿石的經濟价值并扩大地下资源的儲量。重介質选矿的粒狀尾矿还可用作建筑材料和鋪路等。

本書(第四輯)即專題介紹这一选矿方法在国内外的研究及应用情况。書中闡明了重介質的物理性質、配制和再生方法,重介質选矿机生产能力的測定,以及用重介質选矿法处理鉛鋅等矿石的經驗。

本書可供有色金屬、稀有金屬及黑色金屬矿石选矿厂的广大选矿工作者在实际工作中参考,对于从事重介質选矿研究的工程技术人員也有所裨益。

“选矿文集”的編輯出版工作对于我們來說是一个新的嘗試,尚缺乏經驗。因此,一定会有很多缺点,希望讀者能在选题、內容等方面提出改进意見,并在供稿方面給予支持,从而使“选矿文集”能成为我国广大选矿工作者所喜愛的讀物,并發揮它更大的作用。

目 录

苏联重介質选矿会識	苏联 Ю.Я. 奥里斯基	1
重悬浮液的机械性質及其評价方法	У.Ц. 安德列斯	6
测定矿粒在重运动介質中沉落末速的方法		
.....	И.М. 魏尔霍夫斯基 B.H. 朔欣	20
重悬浮液的制造和再生方法	Ю.С. 費多罗夫	26
关于重悬浮液选矿机和空气升液器的生产能力的测定		
.....	技术科学副博士 И.З. 馬尔戈林	31
对重悬浮液和粘度的研究		
.....	日本 和田正美, 平野仁士, 本間寅二郎	37
用离心机回收悬浮液	苏联 Г.Ф. 什維措夫	54
工業性重悬浮液选別和浮选錳矿石的試驗		
.....	苏联 Я.И. 佛 明等	60
重介質分离矿石方法的应用	Л.И. 格罗斯曼	85
关于立見矿山使用“Full Back”型重液选矿机的		
选矿生产	日本 古川久人	95
重介質选矿法在鉛鋅选矿厂中的应用		
.....	东北工学院选矿教研室	118
鉛鋅选矿厂重介質选矿工段的設計		
.....	东北工学院选矿教研室	128

苏联重介質选矿會議

苏联 Ю.Я. 奧利斯基

將矿石在重悬浮液中預选，在許多場合，都是一种極有效的矿石浮选前的准备工序，它在国外选矿實踐中已获得了广泛的应用。

采用此法不仅可在磨浮过程之前將 50% 的脉石廢棄；而且还有助于矿石混勻和部分地排除其中的可溶鹽及有害雜質。这就可以显著地改善下一步的浮选条件和浮选結果。

特别重要的是，利用重悬浮液选矿过程，將有可能扩大高效率的露天开采方法及地下开采方法在采矿工作中的应用范围，而这些方法与目前所采用的效率較低的开采方法相比，其矿石貧化率較高，因而在許多企業中未能得到广泛应用。

与此同时，由于在工業中迅速掌握和采用重悬浮液选矿过程，就有可能解决大力提高現有生产面积和选矿設備的矿石处理量問題。

1958年6月，有色冶金科学技术学会哈薩克分会、哈薩克苏維埃社会主义共和国国家科学技术委员会及东哈薩克斯坦国民經济會議在烏斯奇-卡敏諾哥尔斯克召开的會議是討論关于有用矿物重悬浮液选矿的研究与应用等問題。

参加會議的有哈薩克斯坦及俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国許多研究組織的 100 多名代表，其中包括：哈薩克苏維埃社会主义共和国国家科学技术委员会；哈薩克苏維埃社会主义共和国国家計劃委员会；苏联科学院所屬各研究所、設計院及学院；茲良諾夫斯克、阿尔金-托普坎、捷克利、列宁諾哥尔斯克、諾里尔斯克、巴尔哈什公司、雅庫茨克金剛石公司及其

他企業。

會議討論了下述報告：“蘇聯有色金屬礦石重懸浮液選礦現狀”（國立有色金屬科學研究院 С.И. 米特羅凡諾夫）；“重懸浮液選礦過程的研究、試驗及其設備的設計（選礦研究設計院 С.Г. 耶夫西奧維奇）；“哈薩克斯坦礦區有色和稀有金屬礦石可選性的重介質研究結果及其用於生產的遠景”（全蘇有色金屬礦冶科學研究院 В.А. 什皮里別爾格）；“茲良諾夫斯克半工業裝置硫化礦重懸浮液選礦方法的研究”（茲良諾夫斯克選礦廠 А.К. 克魯茲迭娃）；“煤在重介質中的可選性的研究結果及其用於生產的遠景”（全蘇選煤科學研究院 Н.С. 古爾維奇及卡拉崗達煤炭科學研究所 В.Г. 烏茨）；“捷克利礦區礦石可選性的重懸浮液研究及其應用遠景”（捷克利選礦廠 И.И. 馬基延科）；“庫梅什坎礦硫化礦石重懸浮液選礦實踐”（庫梅什坎選礦廠 С.М. 李姆）。

報告人詳盡地闡明了各種有用礦物重懸浮液選礦的科學研究成果及其試驗性工業生產的結果。

選礦研究設計院、全蘇有色金屬礦冶科學研究院、國立有色金屬研究院、伊爾庫次克國立稀有金屬科學研究院、哈薩克斯坦煤礦科學研究院、茲良諾夫斯克、捷克利、阿爾金-托普坎公司、薩利卡姆斯克鎂廠、西伯利亞特殊鋼廠及尼科波爾錳礦公司所做的試驗證明，對於許多有色、稀有、黑色金屬、煤及其他有用礦物來說，採用重懸浮液選礦法，是很有前途的。

用重懸浮液選礦法試驗茲良諾夫斯克、格列霍夫斯克、茲麥伊諾哥爾斯克、捷克利、庫梅什坎、阿克德日阿里斯克、卡拉蓋林斯克多金屬礦區礦石，以及詹布爾和北科恩拉德礦區鎢鉛礦石時，獲得了優良的結果。

試驗克里沃羅格、下安加爾斯克、馬爾卡、烏索夫斯克、

利彼茨克及其他鉄矿区的鉄矿石，以及尼科波尔和奇阿圖拉矿区錳矿石时，获得了良好的結果。

目前，茲良諾夫斯克多金屬公司、索利卡姆斯克鎂厂、尼科波尔錳矿公司各企業、西伯利亞特殊鋼厂及許多煤礦工業企業，都有半工業性重悬浮液选矿裝置在生产。

在半工業性选矿裝置上試驗茲良諾夫斯克矿区多金屬矿石时，輕产品（廢棄尾矿）的产率为43%，其中損失鉛5.2%，銅4.7%和鋅3.4%。

自1956年起，庫梅什坎矿的工業性重悬浮液选矿裝置生产極為順利，該矿各采場的全部矿石都用此裝置处理。在庫梅什坎选矿厂采用重悬浮液选矿法之后，使該厂处理量提高了30~40%，产品产量提高了15~20%，并且还显著地降低了矿石处理費。

卡拉盖林斯克矿务局局長洛什尼科夫同志关于卡拉盖林斯克矿区矿石試驗結果的报告，和捷克利选矿厂厂長馬基延科关于捷克利矿区矿石試驗的报告，引起了与会者極大的兴趣。

选別卡拉盖林斯克矿区的矿石时，可以成功地选出重产品。該重产品是一种鉛-重晶石混合富精矿，將其中的鉛脫除之后，即可从中得到合格的重晶石精矿。采用重悬浮液选矿法处理卡拉盖林斯克矿区矿石，將能自选矿流程中取消一种昂貴的重晶石油酸浮选作業，同时还能大大縮小浮选机的工作綫。

用重悬浮液选矿法处理捷克利矿区多金屬矿石，就有可能將大量碳質頁岩随輕产品一起排出。矿石中如混有此种碳質頁岩，則使浮选过程大为复杂，并大量消耗浮选葯剂。

报告人及討論报告时的發言人指出，苏联在貫徹这一高效率选矿方法方面，目前还落后了一步。其原因大都是所做研究工作及試驗工作量不足，未进行重悬浮液选矿所用主要設備的

工業生产及悬浮液再生設備的工業生产，以及不能生产廉价優質的加重剂（特別是粒化硅鉄）。

用重悬浮液选別有色金屬矿石的研究工作，到目前为止，还没有脱离實驗室試驗和半工業性試驗阶段，同时，各研究院所做某些重悬浮液选矿試驗，尚須进一步檢查。

在重悬浮液选矿方面，特別是在設備設計、粒化硅鉄生产，以及掌握这一方法的規律性方面，所做工作的規模仍然不能滿足工業要求。

为使哈薩克斯坦各选矿厂更快地掌握并在工業中广泛地采用重悬浮液选矿法，大会認為必須在該地区全力开展研究及試驗工作，并且通过各科学研究院及各企業的研究部門繼續坚决进行探查工作，以便查明在現有各矿山及选矿厂采用这一选矿方法的可能性。

与此同时，大会認為，在各研究院和一系列企業建立扩大的重悬浮液选矿實驗室及其半工業性选矿裝置，以及在全苏有色金屬矿冶科学研究院成立重悬浮液选矿實驗室，是很必要的。

在決議中，大会要求苏联国家計划委员会、哈薩克苏維埃社会主义共和国国家科学技术委员会、苏联科学院及苏联国民經济會議，責成所屬各研究院扩大重悬浮液选矿研究工作課題，并委托各設計院在設計采选企業时进行技术經濟計算，从而据以說明采用重悬浮液选矿过程（在該种矿石所得研究指标条件下）来适应采矿方法的合理性。此外，大会要求苏联国家計划委员会責成各設計院和設計局，而首先是选矿研究設計院及全苏煤矿科学研究院，迅速完成重悬浮液选矿設備及悬浮液再生設備主要規格种类的制定工作，并在專門工厂加以制造。

同时，大会要求責成全苏黑色金屬矿冶科学研究院加速制定粒化硅鉄的制造工艺，并在車里雅賓斯克鉄合金工厂組織粒

化硅鉄的試生产，其時間不得迟于 1958 年下半年。

在大会決議中，也建議用重悬浮液选別过程来选煤。

大会各种資料將由有色冶金科学技术学会哈薩克分会与哈薩克苏維埃社会主义共和国国家科学技术委员会共同出版。

彭蘊璉譯自苏联“有色金屬”1958 年第 9 期

重悬浮液的机械性質及其評價方法

矿业工程师 У. И. 安德列斯

(莫斯科, 苏联科学院可燃矿物研究所)

重悬浮液选矿的广泛应用是现代有用矿物精选情况的特征。这种高效率的方法成功地应用于分选不同比重的物质和分选細級別的物质。由于重悬浮液的粘滯性, 用它分选細級別很复杂, 尤其是在分选比重很高时更显著。在精选細級別时, 为了得到高的分选效率采用离心设备(水力旋流器和离心机)。

分选过程的效率在很大程度上由介质的机械性質决定, 因此在选择加重剂类型、固相濃度及其分散程度和可磨性方面, 对悬浮液的机械性質有特殊要求。除此之外, 加重剂应具有高比重并且应该是很便宜的。

对悬浮液机械性質考虑不周, 会引起选矿过程的分选效果急剧下降, 在个别情形下則完全停止分选。在頓巴斯矿区 13-БИС 选矿厂用爐灰作悬浮液运用不好的原因就在于此。在美国和加拿大的鈾矿工业中創造一个机械性質合格的悬浮液, 曾是很長时间沒有解决的问题。

悬浮液的机械性質

粘度和極限剪切应力。用于比重为 $1.3 \sim 3.5$ 克/厘米³ 的有用矿物精选的悬浮液, 其固相粒度在 50 微米至 0 之間, 在片流和結流区(Структурная область)内如同非牛頓液体。当两种类型的液体有共同的粘滯系数时, 以極限剪切应力来区别非牛頓液体, 这在本質上改变了把悬浮液作为有用矿物精选的介质之評價。

对工艺过程有重要意义的、决定物体在介質中及介質在管道中运动的斯托克定律和普阿澤利定律 (Закон Пуазейля), 在非牛頓系統中停止生效。用宾加姆 (Бингам) 微分方程的积分来决定对非牛頓液体相适应的規律

$$\tau = \tau_0 + \eta' \frac{dv}{dx},$$

式中 τ ——剪切应力; τ_0 ——極限剪切应力;

η' ——塑性粘滯系数; $\frac{dv}{dx}$ ——速度梯度。

布金格姆 (Букингам) 对此方程式在沿管道片流的情形下所作的积分给出了精确解答, 由多次实际的考驗証明这些解答是正确的。

按布金格姆公式决定非牛頓液体的流量。

$$Q = \frac{\pi R^3}{4\eta'} \left(\frac{pR}{2L} - \frac{4}{3\tau_0} + \frac{8}{3} \frac{L^3 \tau_0^4}{p^3 R^3} \right),$$

式中 R ——管子半徑; L ——管道長度;

η' ——粘滯系数; p ——压力;

τ_0 ——極限剪切应力。

当寻找物体在非牛頓介質中 (如重悬浮液) 的片流規律时得到很少的結果。H. B. 提亞宾 (Тябин) 試圖从理論上引出这个規律^[1]。按照提亞宾的意見, 半徑为 r 的顆粒在非牛頓液体中运动的阻力 R 用方程式 $R = 8\pi r v \eta' m + 4\pi r^2 \tau_0 n$ 来决定, 而相应的自由降落速度 v 这样求出

$$v = \frac{r}{6\eta' m} [\gamma(p_4 - p_c)g - 3\tau_0 n],$$

式中 p_4 和 p_c ——分别为顆粒和介質的密度;

m 和 n ——由实验决定的系数。

这些实验系数的存在, 在很大程度上降低了所得方程的价

值，因為它們不能用提亞賓所要求的視覺法決定。上述方程式表明 τ_0 和 η' 之值在具有極限剪切應力之懸浮液中，也即在非牛頓懸浮液中，在形成流動速度時的作用。

非牛頓懸浮液的固相濃度和它的分散程度與粘滯係數及極限剪切應力中間的聯繫關係不存在。很多的研究者僅僅闡明了粘滯係數 η 和固相濃度 c 的關係。但是必須指出，對牛頓懸浮液得到的結果對於非牛頓介質仍有一定的價值。隨介質極限剪切應力的減少，應用這些結果的可能性增加。牛頓懸浮液的關係式 $\eta(c)$ 對於選煤的輕懸浮液和粗粒散佈的懸浮液有一定的價值。

固相濃度。 А. 艾因施坦^[2]用積分那夫耶-斯托克 (Навьестокс) 方程式的方法，從理論上得到固態球體的稀釋懸浮液粘度和其容量濃度的直線關係： $\eta_c = \eta_{ж}(1 + kc)$ ，

式中 η_c 和 $\eta_{ж}$ ——分別為懸浮液和液體的絕對粘度；

c ——固相容量濃度；

k ——係數，等於 2.5。

當在顆粒間有任何相互作用時，此公式不適用。Е. 加特切克 (Гатчек)^[3]對於 c 由 0 到 0.4 濃度的懸浮液在理論上得到類似的公式，其中係數 k 等於 4.5。在 $c=0$ 到 $c=0.09$ 範圍內函數 $\eta(c)$ 的直線性，被我們和 Г. А. 阿達莫夫 (Адамов) 共同對極細分散的磁鐵礦懸浮液之研究所証實，而在直線區間係數 k 之值接近 4.5。

在強的湍流中或當物體高速度運動時破壞了懸浮液的結構，懸浮液由非牛頓液體變為牛頓液體。在懸浮液中選別粗粒級的礦石時，或以高速度唧送懸浮液時，均可發現此現象。

因而 А. 約格維赫 (Иогвих) 的著作^[4]具有實際的意義，他用精確的實驗證明 В. 王德 (Вэнд)^[5]對牛頓懸浮液引出的公式

在湍流情形下对非牛頓悬浮液仍可应用。

与艾因施坦公式的区别在于王德計算了顆粒的相互作用和在碰撞时液体流动的效能，而艾因施坦对稀釋介質來計算顆粒的相互作用。按照王德的意見，相对粘度 η_r 等于：

$$\ln \eta_r = \ln (\eta_s / \eta_{sc}) = \frac{KC + i(K_1 - K)C^2}{1 + qC}$$

在此公式中 k ——艾因施坦常数，等于 2.5； q ——流体动力作用系数，等于 0.609； k_1 ——球体的相互作用系数，等于 3.175； i ——碰撞時間常数，等于 4.0。

將常数之值代入，得到 C 的冪級数

$$\eta_r = 1 + 2.5C + 7.349C^2 + 16.2C^3$$

当参数 R 小于 1.8×10^5 时，此公式适用于 C 从 0 到 0.42 之間的非牛頓悬浮液。

固相的分散程度 按大多数研究人員的意見，牛頓悬浮液的固相粒度不影响它的粘度，这点可用上面举出的公式証明，其中粘度只依容积濃度改变。但是濃度越高及分散相磨得越細时，則悬浮液在更大程度上成为非牛頓的，并且加重剂的分散程度在形成悬浮液的机械性質方面开始起更大作用。这个十分重要的問題很少研究过。此地只能引用舍尔湯 (Шелтон) 和傑瓦尼 (Де-Вани) 在 1940 年的著名作品^[6]，由于他們所作实验的不完整性只能有質的意义。

为了研究現象的質的方面，我們和 Г. А. 阿达莫夫在舍耳湯和傑-瓦尼粘度計中对平均有效运动粘度进行了一系列有系統的測量，它可以在悬浮液接近牛頓液体的区間建立一些量的关系。在这种情形下找到了 $\eta(C)$ 适合直綫規律的范围，并且决定了工艺过程中所用的很高分散程度的悬浮液系数 k 之值。找到了粘度依固相濃度和分散程度变化的形态。

按柯捷尼-卡尔曼 (Козени-Карман)^[7] 法决定固相分散程度 (比面) 并按布鲁纳乌艾尔 (Бру. ауэр) 法在氮的低溫吸附帮助下进行檢驗及用斯托克的沉降測量法进行檢驗。按柯捷尼-卡尔曼法和斯托克法所得之顆粒平均有效直徑的吻合是非常令人滿意的。按低溫吸附的数据, 比面之值比按柯捷尼-卡尔曼法大 4.4~4.6 倍, 这是完全正常的, 因为在低溫吸附时所有的表面都計算在內, 而按柯捷尼-卡尔曼和斯托克法, 只計算“流体动力表面”。

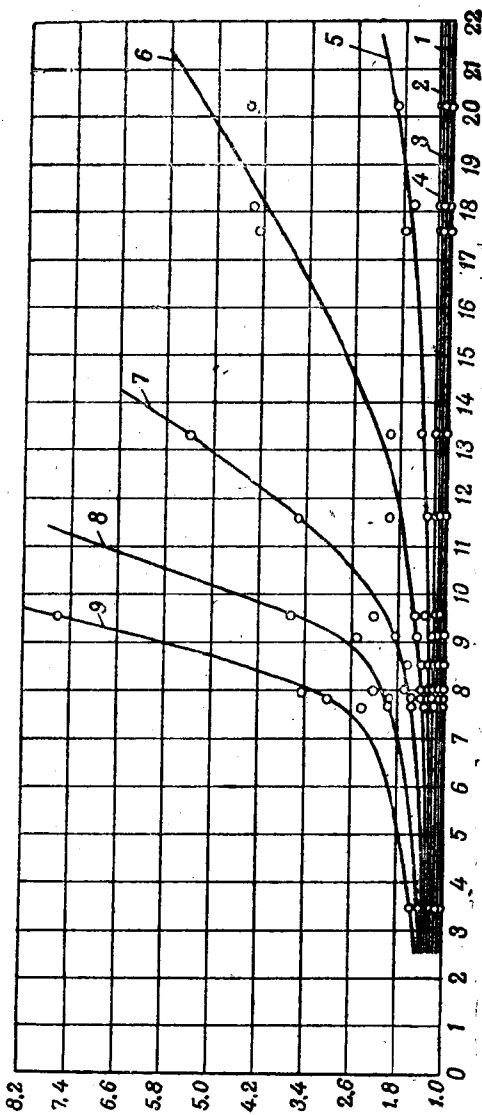
圖 1 中在橫軸上取固相加重剂的比面, 而在縱軸上取平均有效运动粘度。此值不仅將表示粘度的切綫应力, 而且还將極限剪切应力和与悬浮液以前的湍流有关的某些慣力計算进去。由于复杂性, 有效粘度之值具有半量的性質。曲綫 1 至 9 分別适于比重为 1.04; 1.13; 1.25; 1.38; 1.50; 1.63; 1.76; 1.88 和 2.01 克/厘米³ 的悬浮液。

在圖 2 中举出平均有效粘度随容量濃度变化的关系。曲綫 1 至 12 分別适于加重剂顆粒之平均有效直徑为 3.34; 1.52; 1.48; 1.45; 1.36; 1.27; 1.21; 1.01; 0.867; 0.657; 0.635 和 0.570 微米的悬浮液。

从上面的圖中很明显看出, 由微細分散的加重剂所組成的高濃度悬浮液中, 除固相濃度外, 有效粘度在很大程度上系依固相的分散程度来决定。

最近出現了一些著作^[8], 其中討論了悬浮液的固相粒度組成对它的粘度之影响。在这些研究中証明, 在高度分散的牛頓悬浮液中随顆粒尺寸与平均尺寸之差的增加, 悬浮液的粘度即加大。在制造悬浮液时, 这个从屬关系对选择磨矿制度和加重剂分級有很大意义。

杂质对悬浮液机械性質的影响。在生产过程中, 悬浮液很



固相加重剂的比面, 10⁻³厘米²/克
 图 1 微细分散的磁铁矿悬浮液的平均有效运动粘度与加重剂比面的关系曲线

平均有效运动粘度 10⁻³ 斯托克

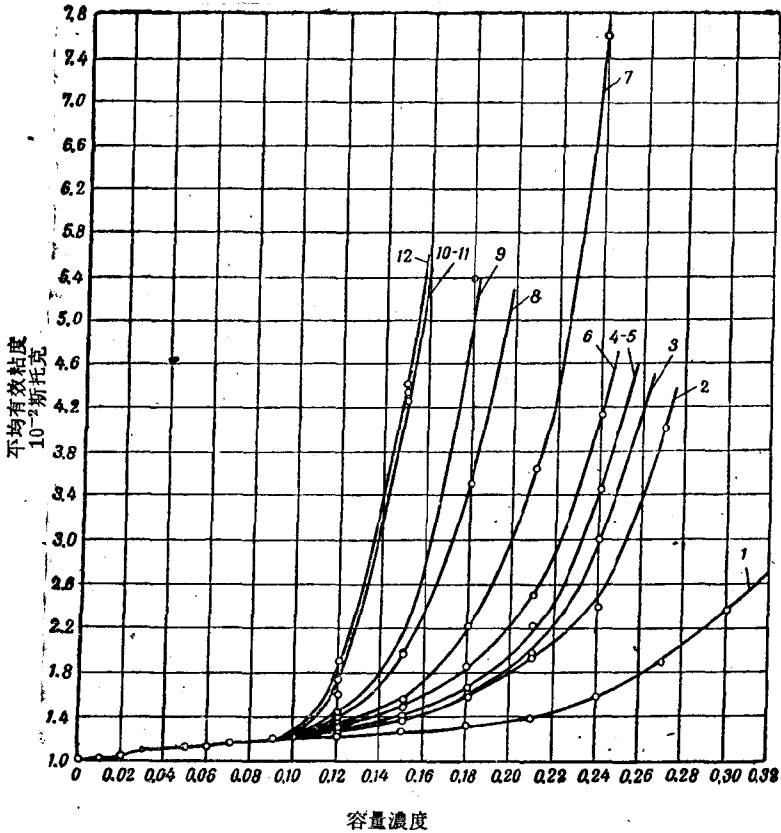


圖 2 微細分散的磁铁矿悬浮液平均有效运动粘度随固相浓度而变化的关系曲线

快地被入选矿物中的杂质污染。高度分散的杂质——粘土、石灰和其他矿泥对介质粘度的影响最大。这些杂质经常将悬浮液的粘度增加0.5~1倍，而在个别情形下完全剥夺了介质的流动性并终止了分选过程。按美国矿山局的资料^[9]，在美国煤炭工业中所用的工作悬浮液之粘度系在6至32厘泊（ 10^{-2} 泊）之间摆动。由煤泥的过粉碎所增加的粘度相对地来说很少，而与此