

Т. Г. 弗勉科
〔苏联〕 И. С. 弗拉郭夫 著
А. М. 闊特金

凝絮的泥某

凝 絮 的 泥 煤

Т · Г · 弗 勉 科
〔 苏 联 〕 И · С · 弗 拉 郭 夫 著
А · М · 闊 特 金

单 忠 健 译

中 国 工 业 出 版 社

本书介绍聚丙烯酰胺絮凝剂的组成、性能、配制方法，使用这种絮凝剂处理煤泥和浮选尾煤的研究成果和顿巴斯各选煤厂用这种絮凝剂来澄清混浊煤泥水的实际经验。

本书供选煤厂工程技术人员和有关的科学研究人员阅读，对高等矿业院校选煤（矿）专业师生也有参考价值。

Т.Г.Фоменко, И.С.Благов, А.М.Коткин

ФЛОКУЛЯЦИЯ ШЛАМОВ

ГОСГОРТЕХИЗДАТ МОСКВА 1962

* * *

煤泥的絮凝

单忠健 译

*

煤炭工业部书刊编辑室编辑（北京东长安街煤炭工业部大楼）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $3^9/16$ ·插页2·字数89,000

1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷

印数0001—1,400·定价（科七）0.65元

*

统一书号：15165·3410（煤炭-225）

目 录

緒 論	1
第一章 絮凝剂的組成与性质	3
第二章 凝聚作用与絮凝作用的机理	8
§ 1 凝 聚	16
§ 2 絮 凝	17
第三章 用聚丙烯酰胺澄清煤泥水的实验室研究工作	21
§ 1 聚丙烯酰胺溶液的配制及其浓度	23
§ 2 聚丙烯酰胺的稳定性和活性的研究	26
§ 3 聚丙烯酰胺的用量	30
§ 4 聚丙烯酰胺的吸附	33
§ 5 沉积速度	36
第四章 用直流电凝聚煤泥	41
第五章 用超声波凝聚煤泥	43
第六章 聚丙烯酰胺的实用效果	45
§ 1 克里沃罗克中央选煤厂	45
§ 2 雅辛諾夫卡选煤厂	68
§ 3 耶那基也夫选煤厂	75
§ 4 別洛列欽斯卡亚选煤厂	77
§ 5 米哈依洛夫卡中央选煤厂	79
§ 6 高尔洛夫卡选煤厂	85
§ 7 阿尔切夫选煤厂	87
第七章 使用聚丙烯酰胺的注意事项	91
§ 1 全部或部分循环水的澄清	91
§ 2 聚丙烯酰胺溶液加药点的选择	93
§ 3 角錐沉淀池粗粒煤泥的处理	96
§ 4 耙式浓缩机細粒煤泥的处理	102
§ 5 选煤厂煤泥水作业的原则流程	106
参考文献	112

緒 論

选煤是保证采煤过程更广泛地实现机械化、提高产品质量、扩大资源以及在国民经济中合理利用煤炭的主要条件之一。

然而，采煤过程机械化以后，在颇大的程度上却会产生细级煤。细级煤的出现，特别是在它所含水分很高的时候，将给干法筛分和除尘作业带来不少困难，在选煤过程中也会引起强烈的泥化。

因此，就提出了新的技术课题，这些课题能正确地加以解决，就会大大改善选煤工艺，减少燃料的损失，降低精煤成本。从当前来看，煤泥的回收与浓缩，循环水与浮选尾煤水的澄清，就是这些课题的一部分。

顿巴斯及德涅伯的大多数选煤厂都缺乏足够的澄清面积，浮选和过滤设备的能力不够，而且循环水澄清设备的效率也不高，因而不能保证全部煤泥都经过加工，而是把它们作为浓缩精煤及废弃尾煤从煤泥系统中排出。因此，大部分细粒煤和细粒矸石都随循环水返回洗选系统。某些厂的煤泥循环量很高，达到450~600吨/时。在这种情况下会提高工作介质的粘度。

介质粘度很高时，煤泥在澄清设备中沉降的条件就显著恶化，以致粗粒煤不能在角锥沉淀池中沉降，而是经过耙式浓缩机进入浮选。粗粒煤通常不能保证很好地浮起，而跑到尾煤中，结果，浮选机经常被煤泥堵塞。

因此，脱水过程的效率下降，跳汰机的洗选深度降低，同时工艺过程也遭到破坏。

选煤厂连续工作时，煤泥循环量随时都在增加，这主要是细级煤和粘土质的矸石增加的缘故。

结果，选煤厂不能再继续工作，不得不把污水^①排到厂外，

① 污水就是混水，两者所指的都是混浊的煤泥水——译者。

然后补充清水。将含有煤泥的水排到厂外，会造成燃料的巨大损失，同时也污染河流和貯水池。

各选煤厂采用了各种不同的设备和机械进行水的澄清及煤泥的回收。但是，所有这些设备并不完善，效率又低，不能用这种方法使污水完全澄清。在现有的设备条件下，实现闭路循环，即不把污水排出厂外的打算，尚未得到预期的结果。

由于采用了下列絮凝剂而获得了某些成就：电解质，无机化合物——石灰、苛性钠、氯化铁、明矾以及有机化合物——粘胶、淀粉等。

在选煤的工业实践中并未广泛采用这些絮凝剂来澄清煤泥水，因为它们有严重的缺点，而且絮凝效率也比较低。

近年来，在国内外的选煤实践中采用了用高聚合物团合成的高分子化合物。

这些聚合物（或多电解质），具有很好的絮凝性能，并能强化细粒煤泥的沉降过程。

最常用的絮凝剂是聚丙烯酰胺、谢巴兰2610^①、谢基布尔^②、爱罗夫洛克^③、НХ-19、КОДТ、ИМ-100、羧甲基纤维素等。

1961年5月，在鲁干斯克城召开了加盟共和国的选煤会议，会议指出，顿巴斯各选煤厂采用聚丙烯酰胺的效率是很高的，建议更广泛地用它澄清循环水及浮选尾煤，用它絮凝进入真空过滤机的浮选精煤。

① 原文为Сепаран2610——译者。

② 原文为Седипур——译者。

③ 原文为Аэрофлок——译者。

第一章

絮凝剂的组成与性质

大部分絮凝剂都是高聚合的合成化合物，即聚合物或缩聚物。

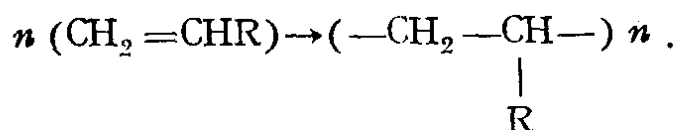
相同的或不同的单分子化合物在聚合时会产生新物质，但并不析出任何副产品。这种新物质的分子量等于原有单分子化合物分子量的总和。聚合而成的化合物，其元素组成与原有单分子化合物的元素组成完全相同。

如果聚合反应与简单分子的消失相伴发生，而链又是随碳氢键的变化而形成，这种过程就称为缩聚。两种或多种不同的单分子化合物进行聚合反应的过程，就称为共聚合。

通过上述各种反应可以获得链状分子直线长度不同的高分子化合物。这些分子的直线长度的变化，与其分子量成正比。上述反应过程可以用温度、时间及催化剂来控制。

高分子化合物的链越长，其絮凝作用就越好。但是随着链的长度的增长，这些化合物在水中的不可溶性也逐渐提高，这就使它们难以使用。分子量为 50,000~100,000 的化合物具有良好的絮凝性能[4,5]。

聚合过程一般可用下列反应式表示：



在苏联，应用最广泛的絮凝剂是聚丙烯酰胺。用85%的硫酸使丙烯腈水解，然后加入催化剂（过硫酸钾、亚硫酸氢钠及三乙醇胺）使之聚合，就得到聚丙烯酰胺。它的分子式如下：

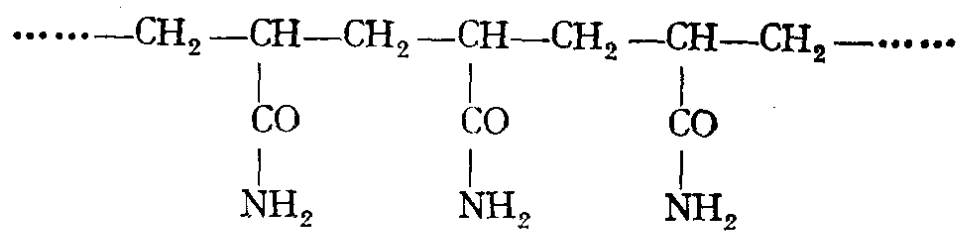


图 1 是聚丙烯酰胺的制备流程。

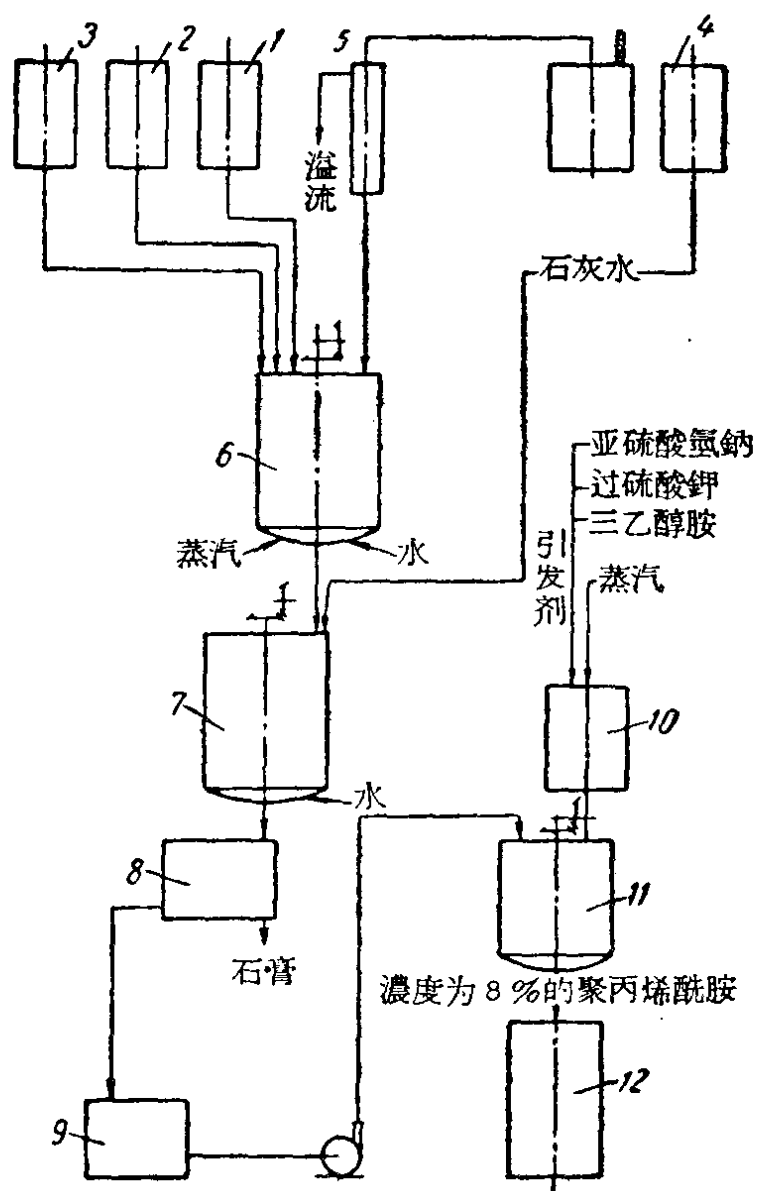


图 1 聚丙烯酰胺的制备流程

1—量筒（水）；2—量筒（硫酸）；3—量筒（丙烯腈）；4—量筒（石灰水）；5—回流冷却器；6—皂化反应器（水解反应器）；7—中和反应器；8—离心机；9—盛滤液的中間容器；10—催化剂准备筒；11—聚合前的混合器；12—聚合筒

絮凝剂分为离子型聚合物与非离子型聚合物两类。非离子型

的分子（淀粉、古阿尔切克^①、胶結物质等）有长而牢固并带有大量羟基的鏈，这些羟基吸附在固体顆粒的表面上以后，由于生成了氢鍵而与固体顆粒牢固地結合起来，形成大的团粒。

离子型聚合物（多电解质类）是比非离子型聚合物更有显著效果的絮凝剂。

多电解质可分为三种类型：

1. 多阴离子型^②——在水中分解为一般的金屬阳离子及大的多阴离子。属于这种类型的多电解质有里特隆886和887——順丁烯二酸酐及乙酸乙烯脂的共聚物；

2. 多阳离子型^③——在水中分解为一般的阴离子及大的多阳离子。多电解质这一类型的例子有各种来源于胺化的胶，如集二甲基胺乙基甲基丙烯酸氢化乙酸盐^④；

3. 中性离子型——在水中分解为大量的正基与負基。例如浓度为33%的聚丙烯酰胺水解溶液。水解为66%的聚丙烯酰胺溶液，由于产生了大量的阴电荷，所以不会吸附在固体顆粒的表面上。

聚丙烯酰胺 是一种合成高分子化合物。聚丙烯酰胺的水溶液是胶体，它在很寬的 pH 值范围内具有很强的絮凝作用。聚丙烯酰胺的干燥产品是白色粉末，加热后在溫度超过200°C时便分解。聚丙烯酰胺无毒，用来絮凝煤泥和矸石等細泥时，可配成0.15%~0.5%的水溶液。

布良斯克磷灰石工厂和卡迪耶夫卡、雅辛諾夫卡焦化厂都生产浓度为8%的聚丙烯酰胺。这种聚丙烯酰胺是粘稠状的透明胶体。但这些厂生产的聚丙烯酰胺并不純，而是含有某些丙烯酸盐的共聚物。

謝巴兰2610 美国产品，是一种类似聚丙烯酰胺的細粉状合

① 原文为Гуартек——譯者。

② 原文为Полианионные Группы——譯者。

③ 原文为Поликатионные Группы——譯者。

④ 原文为Полидиметиламиноэтилметакрилатгидроацетат——譯者。

成化合物。这种葯剂在很寬的pH值范围内具有良好的絮凝性能。

爱罗夫洛克548, 552, 3000 美国产品, 是白色粉末, 易溶于水, 其用途是濃縮銅、鋅、鉛精矿。

古阿尔切克 美国产品, 粉末状, 不溶于冷水, 是淀粉类的多醣化物。用荳科植物作原料, 經一定的加工处理即制成古阿尔切克。产品說明书表明, 它的絮凝作用比淀粉大4倍。

HX-19 法国产品, 是白色細粒状結晶。它是一种預先用生物化学方法处理的可溶性淀粉。

ДТ-120 西德产品, 是12.5%的粘稠状碱性溶液。使用时加水稀釋成浓度为0.1~0.2%的水溶液。这种葯剂具有良好的絮凝性能。

爱克凡^① 西德产品, 是5%的粘稠状碱性溶液。爱克凡可以在工业中直接使用, 不需稀釋。

夫洛卡尔^② 101, 152, 202.5 捷克斯洛伐克产品, 是透明胶状。夫洛卡尔101就是聚丙烯酰胺。夫洛卡尔152是甲基丙烯酸和极性的甲基丙烯酸甲脂的聚合物的水解制剂。夫洛卡尔202.5是部分水解的多醣类(淀粉)。这些葯剂都是效果很高的絮凝剂。

斯基羅馬尔^③ 捷克斯洛伐克产品, 粉末状, 是草乙烯与順丁烯二酸的共聚物。这种葯剂对不同的介质能起不同的絮凝作用。

羧甲基纖維素 苏联木材加工工业产品, 是粗棉絮状, 溶于水。它属于阳离子型高分子化合物, 对煤粒的絮凝作用良好。

КЛЖ 粗分散系产品(胶状), 灰色, 是由亚麻餅渣提取植物油时的副产品。它的絮凝效能比聚丙烯酰胺差一些。

ВЛ(昆布) 是苏联生产的粗分散系的灰色粉末。原料是海产物。它的絮凝作用比聚丙烯酰胺低3/4。

M-12 即土豆渣, 是提取土豆淀粉时所剩的残渣, 它的絮

① 原文为Экофан——譯者。

② 原文为Флокалы——譯者。

③ 原文为Стиромал——譯者。

凝效果比高聚合物的合成物质差。

ВДГ 灰色粉末状的水解酵母，由硫酸盐水溶液及木材加工工业的副产品制成。它的絮凝作用不太好。

ИМ-100 苏联有用矿物机械加工科学研究设计院制成，是丙烯腈在硫酸中水解时的共聚化合物。它是用实验室方法制成的样品，絮凝效果良好。

МС(面粉麸子) 粮食磨粉工业的副产品。水采研究所进行的工业性试验证明，它的絮凝效果良好，但对浮选有不良的影响，而且用量也远远超过聚丙烯酰胺。

КОДТ(能完全溶于水的兰色油) 是精馏聚己醇二胺、二氯乙烷同塔罗油蒸馏残液的缩合产物，絮凝效果比聚丙烯酰胺差。

聚合醋酸乙烯 非离子型高分子化合物，白色粉末，易溶于水。

第二章

凝聚作用与絮凝作用的机理

含有固体颗粒的液体比纯液体具有更大的内摩擦。

爱因斯坦确定了分散颗粒对提高整个系统的粘度所赋予的影响，并导出以下计算式：

$$\eta_s = \eta_0 (1 + k\varphi),$$

式中 η_0 ——分散介质的粘度系数；

φ ——分散颗粒所占的体积；

k ——常数。

对球粒来说， $k = 5/2$ ，因而上式可写成下列形式：

$$\eta_s = (1 + 2.5\varphi) \eta_0.$$

对分散系来说，这个公式的准确性已被试验所证明，但在个别情况下也有误差。这些误差之所以产生，是因为推导该公式时没有考虑颗粒的电解作用与溶剂化作用。

在选煤厂经常会碰到这样的系统，即固相颗粒的粒度为1~1.5毫米，而固体含量大约为400~500克/升。自然，在这样的系统中进行沉降过程非常困难。这不仅是因为介质粘度的增长，而且还由于“浓稠”煤泥水中的颗粒是在干扰下沉的条件下沉降的[5]。

因此，爱因斯坦的公式很难适用于这种条件。但考虑到固相颗粒的最细部分时，也就是说，当它们处于悬浮状态，同时又确实可以提高介质的真实粘度时，这个公式仍可应用。

随着介质粘度的提高及干扰下沉条件的出现，颗粒的沉降过程变坏，沉降速度减低，因而出现了这种情况：细粒实际是处于悬浮状态，并不沉降。这是因为，在颗粒的半径 R 趋近于零，介

质对沉降颗粒的阻力 η 趋近于最大值时，颗粒自由下沉的速度 v_0 趋近于零，即

$$R \rightarrow 0, \quad \eta \rightarrow \text{最大值},$$

$$v_0 \rightarrow 0.$$

在选煤厂煤泥水系统中，如果煤泥水具有特殊性质，由澄清设备中获得清净的溢流实际上是不可能的。在煤泥水系统中，煤泥不断聚积，而聚积的快慢程度，在选煤厂的不同工作阶段是不同的。介质的性质与水的性质区别不大而水中的固体含量又很低时，煤泥在系统中的聚积速度较慢。但是，由于煤泥不断聚积，介质的性质将有所改变，浓缩设备中的沉降过程也趋恶化，这一情况首先使该系统中的煤泥聚积过程加剧。

煤泥在系统中聚积到一定程度后，煤泥的含量就达到一个临界值，实际上，这时分级过程即行停止，也就不存在沉降过程中的边界颗粒^①问题，甚至较大的颗粒也不会从粘稠而干扰的介质中沉降下来。这大体上是由煤泥的性质决定的，如各选煤厂煤泥水的固体含量不同，这种情况仍可出现。大多数现厂的煤泥水临界含量都很高，因为在一般情况下，煤泥在很大程度上主要是煤粒。也有些选煤厂的煤泥中含有粘土粒。在这种选煤厂里，浓缩机的单位负荷为每平方米2立方米/时，固体含量的临界值为225~250克/升。某些选煤厂的煤泥水的固体含量如果达到这样高的界限，边界颗粒的粒度就得提高，这时分级精确度要降低，但煤泥仍然会沉降。

煤泥水中的固体含量达到临界值之后，系统中的煤泥聚积并未停止。但进一步的聚积却缓慢多了，在含量很高，即再生煤泥量等于由系统中排出的煤泥量时，煤泥就要停止聚积。但实际上不可能达到这种程度，因为选煤厂不能在煤泥水非常“浓”的情况下工作。

① 边界颗粒是指粒度介于沉降的煤泥颗粒与溢流带走的煤泥颗粒之间的那些颗粒，按数量或重量来说，边界颗粒平均分布在上述两类颗粒之间，换言之，其回收率是50%。

煤泥在系統中聚积得很緩慢，其所以如此，是因为固体含量增加后，因煤炭粉碎及矸石的泥化而生成的再生煤泥量减少了。試驗証明，純水中的粉碎現象最为严重，此时細粒（—100微米）增长6%；当固体含量为450克/升时，粉碎現象减少了，細粒仅增加1.5%。

另一方面，由于水中的固体含量增加，被洗选产品带走的煤泥損失量也随之增加。試驗証明，固体含量为100克/升时，被8~12毫米級精煤带走的小于1000微米的煤泥仅为1.74%；固体含量为300克/升时，被带走的煤泥量上升到7.41%；固体含量为600克/升时，带走的煤泥量为26.06%。

如果不把系統中的污水排出厂外，煤泥仍会繼續聚积。

如果用 q_0 表示每小时的原生煤泥量，以 q_1^1 表示洗选过程中每工作一小时的再生煤泥量，以 q_1 表示每小时由系統中排出的煤泥量，那么，工作一小时以后，在系統中作为循环負荷的煤泥量为 Q_1 ，則

$$Q_1 = q_0 + q_1^1 - q_1.$$

选煤厂工作两小时后，負荷增加了 $[q_0 + q_2^1 - q_2]$ ，則

$$Q_2 = (q_0 + q_1^1 - q_1) + (q_0 + q_2^1 - q_2),$$

式中的 q_2^1 及 q_2 分別代表选煤厂工作第二小时內的新生煤泥量与排出煤泥量。

在 $(n-1)$ 个小时后，进入沉淀池的总負荷为

$$Q_{n-1} = (q_0 + q_1^1 - q_1) + (q_0 + q_2^1 - q_2) + \dots + (q_0 + q_{n-1}^1 - q_{n-1}),$$

式中的 q_{n-1}^1 及 q_{n-1} 分別代表在 $(n-1)$ 个小时內的新生煤泥量及由系統中排出的煤泥量。

选煤厂工作 n 小时后，固体含量达到最大值，即

$$Q_n = (q_0 + q_1^1 - q_1) + (q_0 + q_2^1 - q_2) + \dots + (q_0 + q_{n-1}^1 - q_{n-1}) + (q_0 + q_n^1 - q_n).$$

循环水中的固体含量达到最大值时，进入系統中的循环水的煤泥量为：

$$q_0 + q_n^1$$

該值等于煤泥排出量 q_n ，亦即 $q_0 + q_n^1 = q_n$ ；在选煤厂工作 n 小时的过程中，系統內的循环煤泥量为：

$$Q_n = (q_0 + q_1^1 - q_1) + (q_0 + q_2^1 - q_2) + \cdots + (q_0 + q_{n-1}^1 - q_{n-1})$$

或

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_{n-1} = \sum_{1}^{n-1} Q.$$

因此，选煤厂工作几小时之后，系統中的循环煤泥量的計算通式为：

$$\sum_{1}^n Q = (n-1)q_0 + \sum_{1}^{n-1} q^1 - \sum_{1}^{n-1} q.$$

在固体含量相同的水中，介质的比重及煤泥的容积浓度的变化范围很大，这与煤泥的粒度組成及其煤岩成分有关。不管固体含量是否相等，也不管介质的比重是否一致，煤泥的容积浓度改变后，介质的粘度及干扰下沉情况都是有变化的。

最細微的煤泥胶粒使介质具有粘性。粗粒煤泥并不具有这种性质；在一定的浓度下，其介质可提供干扰下沉的条件，而不具备粘性。

但是，研究工作表明，粗粒煤在粘性介质中处于悬浮状态，同时它也是决定介质性质的因素之一。因此，必須考虑不同粒度的煤粒間的相互作用。

全面地揭示經澄清的煤泥水和洗煤的煤泥水的性质，就可以得到一个总的阻力系数，該系数估計到了介质的几个主要特征，如粘度、干扰性及密度等。

为了确定介质的阻力系数值（介质的煤泥含量及煤泥分散程度均不相同），应采用带有轉动圆盘的振动粘度計。

阻力系数是在含有四种不同粒度組成的煤泥介质（表1）中測定的，介质的固体含量从100到600克/升。

用来测定介质阻力系数的煤泥的筛分组成

表 1

粒 度 (毫米)	出 率 (%)						
	粒 级 (毫米)						
	>1	0.41~1	0.25~0.41	0.14~0.25	0.07~0.14	0.04~0.07	<0.04
0~1	1.0	8.0	7.0	10.0		74.0*	
0~0.25	—	—	—	13.3	35.5	7.4	43.8
0~0.07	—	—	—	—	—	24.9	75.1
0~0.04	—	—	—	—	—	—	100

* 74.0%是0.07—0.14、0.04—0.07及<0.04各级的累积出率。

纯水对在其中运动的物料的阻力，主要是粘性阻力，因此总的阻力系数可采用水的粘度系数。

煤泥含量不同的介质，其绝对阻力系数是用下列关系式计算的：

$$f = \mu_s \cdot \frac{n_s}{n} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_s}, \text{ 泊,}$$

式中 f ——介质的阻力系数，泊；

μ_s ——温度为15~16°C时水的粘度； μ_s 等于0.0114泊；

n_s ——圆盘在纯水中的转动次数；

n ——圆盘在煤泥水中的转动次数；

ρ_c, ρ_s ——介质和水的密度，克/厘米³。

图 2 为介质的阻力系数与固体含量的关系曲线。

曲线表明，随着不同粒度组成的煤泥含量的增加，总的阻力也增加。

曲线的特性根据煤泥的粒度而改变。煤泥粒度减小后，曲线变得更加平缓。

在含有最大粒煤泥的介质中，细颗粒可以在浓度范围相当宽（200~400克/升）的条件下沉降。煤泥粒度减小到250微米以下

时，在浓度为200~300克/升的范围内（图2曲线1及2），因沉降作用而降低介质中细粒浓度的现象，很不显著。

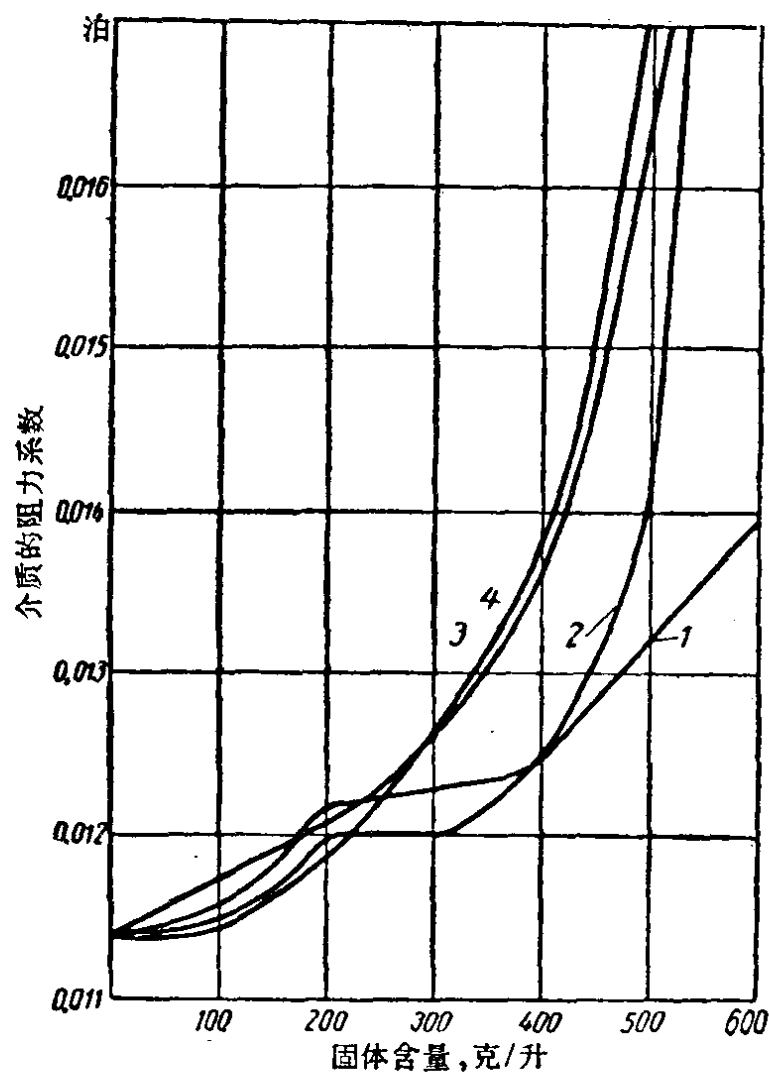


图2 介质的阻力系数与固体含量的关系

- 1—含有-1000微米级煤泥的介质； 2—含有-256微米级煤泥的介质；
3—含有-75微米级煤泥的介质； 4—含有-45微米级煤泥的介质

介质中如含有更细更均一的煤泥（粒度小于75微米及45微米），在任何浓度下，颗粒之间都具有相互吸引力，因而阻力曲线是平缓的。

由此可见，如果胶体介质的粘度主要决定于分散胶体的浓度，那么在这种情况下，粘度就决定于随煤泥分散度改变而变化的颗粒间的相互作用力。