



作者简介:任俊,男,35岁,博士研究生。1983年毕业于沈阳黄金学院矿物工程专业,同年在冶金工业部包头稀土研究院工作,1994年考入北京科技大学攻读硕士学位,1996年攻读博士学位。主要从事矿物加工,贵金属提取和废水处理技术的研究。曾先后参加或负责完成10多项科研项目,其中多项获奖或工业应用。在攻读博士学位期间进行由国家自然科学基金资助的“微细颗粒在不同介质中的分散行为与新建程”的研究,在国内外学术刊物上发表论文近70篇。

固体颗粒的分散

任俊 卢寿慈

(北京科技大学,北京 100083)

摘要 详细阐述了固体颗粒分散的原理及实践,指出了颗粒分散研究所存在的问题和解决的办法。

关键词 固体颗粒;物理分散;化学分散

颗粒分散是一门近年来发展起来的新兴边缘科学。所谓颗粒分散就是使颗粒在一定环境下分离散开的过程。它主要包括掺合、浸湿、颗粒群(团块和团粒)的解体以及已分散颗粒的再凝聚4个阶段^[1]。事实上,颗粒的分散过程受两种基本作用支配,即颗粒与环境介质的作用(即润湿)和在环境介质中颗粒之间的相互作用。

随着颗粒分散在科学研究及生产实践中的作用逐渐被人们所认识和揭示,其应用日益广泛,如冶金、化工、食品、医药、涂料、造纸、建筑及材料等。在矿物加工领域的重选、磁选、电选以及絮凝、团聚分选方法中,为了有效地实现颗粒的分选,必须首先克服颗粒间的互凝作用,所以矿浆的预先分散是实现颗粒有效分离的先决条件^[2,3]。特别是絮凝、团聚分选工艺对矿浆的预先分散要求更为严格,在一定程度上,其分选效果取决于预先分散的好坏。在微细粒或超细粒制备及分级中,人们越来越认识到,除了研究高效的超细粉碎设备和分级设备外,解决该问题的根本出路最终仍将归结到颗粒分散的问题上来。在化学工业领域,如涂料、染料、油墨、化妆品等,分散及分散稳定性直接影响着产品的质量和性能^[4,5]。在材料科学领域,物质的均匀分散尤为重要,某种元素(物质)在材料机体中分散程度决定了材料的性能和质量。研究表明^[6,7],材料的损坏、断裂和腐蚀等主要是在材料的不均匀处,即缺陷处发生。组成材料的不同物质的均匀分散程度越高,材料的性能越好。总之,在许多领域,分散已成为提高产品(材料)质量和性能,提高工艺效率不可缺少且十分重要的技术手段。

1 颗粒分散体系的分类

颗粒分散的对象包括各种分散体系。按物质存在的3种形态及每一种体系为单纯两种物质划分,大致可将分散体系分为:固/液(悬浮体)、固/气(粉尘或粉体)、固/固(粉体或固体)、液/液(乳液)、液/气(气溶胶)、液/固(凝胶)、气/液(泡沫)、气/气(气体)等8种。这些分散体系几乎在化学、冶金、材料等工业生产过程中都会遇到。但是,在我们工作和生

活中最常见的分散体系不外乎固/液、固/气和液/液 3 种。

从分散作用的目的看,可以把分散分为预先分散和裂解团聚分散两种^[3];从分散方法看,又可将分散分为物理分散和化学分散两类^[8]。物理分散最主要的是超声分散、振动分散、机械分散。化学分散主要是通过添加分散剂或表面活性剂使颗粒表面性质发生变化来达到分散效果。

2 分散原理

固体颗粒在液相中的分散本质上受固体颗粒与液相介质的润湿作用和和在液相中颗粒间的相互作用两者所控制。

2.1 润湿

固体颗粒被液体润湿的过程主要基于颗粒表面的润湿性(对该液体)。润湿性通常用润湿接触角 θ 来度量。可用下式表示^[9]

$$\cos\theta = \frac{(\gamma_{ss} - \gamma_{sl})}{\gamma_{ll}} \quad (1)$$

$\pi > \theta > \frac{\pi}{2}$, 表示固体表面不润湿或润湿不良; $\frac{\pi}{2} > \theta > 0$, 表示固体表面部分润湿或有限润湿; $\theta = 0$ (或无接触角), 表示固体表面完全润湿。

密度大于液体密度又可被液体完全润湿的固体颗粒进入液体, 即被液体完全润湿。对于部分润湿, 即接触角 $\theta < 90^\circ$ 的颗粒, 欲进入液体将受到气-液界面张力的反抗作用, 固体颗粒将不能完全润湿。对于润湿接触角 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 的固体颗粒, 就不能在液体润湿。可见, 固体颗粒被液体润湿的过程, 实际上就是液体与气体争夺固体表面的过程。这主要取决于固体与液体表面的极性大小。

2.2 固体颗粒的悬浮状态

固体颗粒被润湿(无论是自发的或强制的)后, 在液体中的存在形态不外乎两种: 即形成聚团或分散悬浮。分散与聚团是悬浮体系中的两个矛盾统一体, 两者都是排他性的。

2.2.1 颗粒间的相互作用

在液体中颗粒间的作用力除了存在分子作用力外, 还存在着双电层静电力、结构力及因吸附高分子而产生的空间效应力。

2.2.1.1 颗粒间的 Van der Waals 作用能

假定颗粒中所有原子间的作用具有加和性, 那么就可以求出不同几何形状的颗粒间的 Van der Waals 作用能。Hamaker 根据这一加和性原理, 推导出了含 q 个原子的两个半径分别为 a_1 , a_2 的球形颗粒间 Van der Waals 作用能的表达式^[10]

$$\mathcal{V}_A = -\frac{A_{132}a_1a_2}{6h(a_1 + a_2)} \quad (2)$$

式中 A 为 Hamaker 常数; h 为颗粒间的间距; 1, 2, 3 分别代表颗粒 1, 2 及水。在水中颗粒与颗粒的 Hamaker A_{132} 常数可用下式表示^[11]

$$A_{131} = A_{11} + A_{33} - 2A_{13} \approx (\sqrt{A_{11}} - \sqrt{A_{33}})^2 \quad (3)$$

$$A_{133} \approx (\sqrt{A_{11}} - \sqrt{A_{33}})(\sqrt{A_{22}} - \sqrt{A_{33}}) \quad (4)$$

式中 A_{11} 及 A_{22} 分别为颗粒 1 及颗粒 2 在真空中的 Hamaker 常数; A_{33} 为液体 3 在真空中的

Hamaker 常数; A_{131} 为在液体 3 中同质颗粒 1 之间的 Hamaker 常数; A_{132} 为在液体 3 中不同质颗粒 1 与颗粒 2 相互作用的 Hamaker 常数。

由(4)式可以看出,当液体 3 的 A_{33} 介于两个不同质颗粒 1 及 2 的 Hamaker 常数 A_{11} , A_{22} 之间时, A_{132} 为负值。代入(2)式中便可得出结论,颗粒间在水中的 Van der Waals 作用能为正值,也就是说二者在水中的分子作用为相排斥作用,而并非通常认为分子作用总是吸引作用。

对同质颗粒,它们在液体中的分子作用恒为吸引作用,但是它们的值比在真空中要小,一般大约小 4 倍。

2.2.1.2 双电层静电作用能

在液体中颗粒表面因离子的选择性溶解或选择性吸附而荷电,反号离子由于静电吸引而在颗粒周围的液体中扩散分布形成双电层。

对于两个半径分别为 a_1 , a_2 的球体,双电层作用能可用下式近似的计算^[12]

$$V_R = \frac{\epsilon a_1 a_2}{4(a_1 + a_2)} (\varphi_1^2 + \varphi_2^2) \left[\frac{2\varphi_1 \varphi_2}{\varphi_1^2 + \varphi_2^2} \ln \left[\frac{1 + e^{-\chi h}}{1 - e^{-\chi h}} \right] + \ln(1 - e^{-2\chi h}) \right] \quad (5)$$

式中, φ_1 , φ_2 为颗粒的表面电位; ϵ 为水的电介常数; χ 为 Debye 长度的倒数, m^{-1} ; h 为颗粒间的间距。

对于同质颗粒,双电层静电作用总表现为排斥力。因此,它是颗粒分散的主要原因之一。一般认为,当颗粒的表面电位的绝对值大于 30mV 时,静电排斥力与分子吸引力相比便占上风,从而可保证颗粒分散。

对于不同质的颗粒,表面电位常常不同值,甚至在许多场合不同号,对于电位异号的颗粒,静电作用力则表现吸引力。即使对电位同号但不同质的颗粒,只要二者的绝对值相差很大,颗粒间仍可出现静电吸引力。

2.2.1.3 溶剂化膜作用能

颗粒在液体中引起其周围液体分子结构的变化,又称结构化。对于极性表面的颗粒,极性液体分子受颗粒的作用很强烈。在其周围形成一种有序排列并具有一定机械强度的溶剂化膜,对非极性表面的颗粒,极性液体分子将通过自身的结构调整而在颗粒周围形成具有排斥颗粒作用的另一种“溶剂化膜”。Marcelja S 和 Redic N^[13] 从体系自由能的变化,求出了极性液体中颗粒间的水化膜排斥能的表达式

$$V_s = k \exp \left(- \frac{h}{l} \right) \quad (6)$$

式中, l 为与溶剂化膜厚度的衰减程度有关的特征长度; k 为与溶剂化膜中液体分子的有序程度及性质有关的参数,对于亲水表面 $k > 0$,疏水表面 $k < 0$ 。

可见,对于极性表面颗粒, V_s 为排斥作用,相反,对于非极性表面颗粒, V_s 为吸引作用。

2.2.1.4 聚合物吸附层的空间排斥作用能

当颗粒表面吸附有无机或有机聚合物时,聚合物吸附层将在颗粒接近时产生一种排斥作用,称为空间效应 (Steric Effect)。空间排斥作用能用下式表示^[14]

$$V_{ST} = \left[\frac{4\pi a^2 (\sigma - h/2)}{z(a + \sigma)} \right] \cdot kT \ln \frac{2\sigma}{h} \quad (7)$$

式中, σ 为高分子吸附层厚度; a 为颗粒半径; z 为单个高分子在颗粒表面吸附占据的面积。

当吸附层牢固而且相当致密、有良好的溶剂化性质时,它起对抗颗粒接近及聚团的作用,

此时高聚物吸附层表现出很强的排斥作用。当链状高分子在颗粒表面的吸附密度很低时,它们可以同时两个或数个颗粒表面吸附,此时颗粒通过高分子的桥联作用而聚团。

2.2.2 颗粒间的分散与团聚

被广泛接受的描述分散与聚团状态的经典理论是苏联学者 Deryagin 和 Landau 与荷兰学者 Verwey 和 Overbeek 分别提出的关于各种形态微粒之间的相互作用能与双电层排斥能的计算方法,即 KLVO 理论^[13]

$$V_T = V_A + V_R \quad (8)$$

该理论认为颗粒的团聚与分散取决于颗粒间的 Van der Waals 作用能与双电层静电作用能的相对关系。当 $V_A > V_R$ 时,颗粒自发地互相接近最终形成团聚;当 $V_A < V_R$ 时,颗粒互相排斥形成分散状态。如果颗粒间除存在上述两种相互作用力外,还存在着其它作用力时,显然就不能用 DLVO 理论来加以描述。首先颗粒的相互作用与环境介质性质、颗粒表面性质(润湿性)有着密切关系。其次,与颗粒表面覆盖的吸附层的成分、覆盖率、吸附强度、厚度等有关。所以颗粒间作用总势能 V_T 用上述 4 种作用能的总和来描述^[3]

$$V_T = V_A + V_R + V_S + V_{ST} \quad (9)$$

由总势能模型看出,要想使颗粒分散,就必须增强颗粒间的排斥作用能。增强排斥作用能主要通过以下 3 种方式来实现:

- (1) 增大颗粒表面电位的绝对值,以提高颗粒间静电排斥作用;
- (2) 通过高分子分散剂在颗粒表面形成吸附层,产生并强化位阻效应,使颗粒间产生强位阻排斥力;
- (3) 增强颗粒表面对分散介质的润湿性,以提高界面结构化,加大溶剂化膜的强度和厚度,增强溶剂化排斥作用。

3 分散实践

液相是指物质以液态形式存在的相。通常在分散过程中遇到的液态介质大体可分为 3 类,即水、有机极性液体(常用的有乙二醇、丁醇、乙醇、环己醇、甘油水溶液及丙酮等);有机非极性液体(常用的有环己烷、二甲苯、苯、煤油及四氯化碳等)。

根据颗粒性质选择适当的分散介质,可以较容易保证制得充分分散的悬浮液。

在过去几十年的分散研究实践中,人们总结出了选择分散介质的粗略的基本原则,即非极性颗粒易于在非极性液体中分散,极性颗粒易于在极性液体中分散,即所谓相同极性原理^[16]。例如,大多数无机盐、氧化物、硅酸盐颗粒及无机粉体,如陶瓷、熟料、白垩、玻璃粉等易在水中分散;锰、铜等金属粉末、刚玉粉以及有机粉末易在有机极性液体中分散;大多数非极性颗粒易在非极性液体中分散。但是,许多有机高分子聚合物(聚四氟乙烯、聚乙烯等)及具有非极性表面的颗粒在水中与具有极性表面的颗粒在非极性液体中往往处于强烈的团聚状态,在不进行任何分散处理是难以达到分散悬浮状态的。事实上,所述的易于分散,也只是相对而言的。在实际工业应用中常常还必须得采用一定方法给予进一步的分散或强化才能达到要求。至于后者就更需要采用特殊的处理方法才能得以获得充分分散的悬浮体。

3.1 物理分散

3.1.1 超声分散

超声波(20kHz~5×10⁸Hz)具有有波长短、近似直线传播、能量容易集中的特点,从而

产生强烈振动,并可导致液相中的空化作用等许多特殊作用。超声分散是将所需处理的颗粒悬浮体直接置于超声场中,用适当的超声频率和作用时间加以处理。它是一种强度很高的分散手段,所以被用在难以分散的固-液或液-液体系的分散中。超声乳化用于分散难溶的液态药剂就是一个最典型的实例。例如应用油酸浮选萤石,在14℃时用22kHz超声处理60s的分选效果与32℃时无超声处理效果相当^[17];在对煤油乳化时几乎无其它方法能达到超声乳化至1~2μm乳状分散体。石原透^[17]等在用超声波对高铁铝钨土的分散中认为颗粒的超声凝聚与分散主要由超声频率及微细粒度的相互关系所决定。实验结果表明,方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿及石英除在频率为0.4MHz~5MHz,粒度为5~50μm的区域内呈凝聚行为外,在其它区域矿物颗粒均处于高度分散状态。也有资料表明,超声波对高分子团聚有显著的分散作用^[18]。超声波处理时间对石英、菱锰矿和赤铁矿悬浮液影响的研究认为^[8],超声波处理60s可显著改善石英和赤铁矿悬浮液的分散状态,而对菱锰矿悬浮液未见有文献^[19,20]所报道的导致颗粒团聚现象。Stoev S.^[21]等在进行研究超声波对微细粒萤石矿浆稳定性的影响中发现,用频率为22kHz,声强为 $1.73 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ 的超声波与用调整矿浆pH值或加入六偏磷酸钠对矿浆分散比较,超声波的分散效果较后两者好的多。调整pH值最小透光率只达到60%~70%,加入六偏磷酸钠最小透光率也只能达到40%左右,而超声波处理3min透光率即可达到百分之几的水平。

超声波用于微细颗粒悬浮体的分散虽然效果很好,但是由于其能耗大,大规模使用在经济上还存在许多问题。不过随着超声技术的不断发展,这个问题将会得到解决,超声分散在生产上应用是完全可能的。

3.1.2 机械搅拌分散

机械搅拌分散是指用强烈的搅拌方式把颗粒悬浮体分散。这种分散方法几乎在所有的工业生产过程都要用到。通过强烈的机械搅拌引起液流强湍流运动而造成颗粒分散悬浮。因为是一种通用方法,所以对其研究较少,在此不再赘述。

3.2 化学分散

化学分散是工业生产广泛应用的一种颗粒悬浮体的分散方法。通过在颗粒悬浮体中加入无机电解质、有机高聚物及表面活性剂使其在颗粒表面吸附,改变颗粒表面的性质,从而改变了颗粒与液相介质、颗粒与颗粒间的相互作用,导致体系分散。

3.2.1 分散剂

分散剂包括无机电解质和有机高聚物两类,如水玻璃、聚磷酸钠、氢氧化钠及苏打和聚丙烯酰胺系列、聚氧化乙烯系列及单宁、木质素等天然高分子等。无机电解质分散剂主要用于极性表面颗粒在水中的分散。而有机高聚物分散剂随其特性不同在水中或在有机介质中均可使用。

卢寿慈等^[8]采用水玻璃、单宁、六偏磷酸钠及木质素磺酸钙作为分散剂分别对石英/菱镁矿、石英/金红石及石英/赤铁矿3种不同混合矿物在水中分散做了一系列研究。结果表明,在一定的范围内4种药剂均有分散作用,当用量足够大时,可使矿粒悬浮体达到稳定分散。有趣的是,水玻璃作为最广泛应用的典型分散剂,是4种药剂中分散效果最弱者。在六偏磷酸钠对菱锰矿/石英、菱锰矿/方解石混合矿物的分散研究中^[22]同样可见显著的分散效果。

欧阳坚^[23]在其博士论文研究中选用水玻璃、六偏磷酸钠、单宁及腐植酸钠4种典型分散剂对一水硬铝石/金红石,菱锰矿/石英混合矿物和滑石在水中的分散研究也充分表明:4种药剂对前两者混合矿物均显示出明显的抗互凝作用;六偏磷酸钠和水玻璃对滑石具有较强的分

散作用,但是为达到体系的良好分散,需明显增大分散剂的用量,认为这是与疏水表面存在的疏水作用能直接相关。

方启学^[24]对 S.S、STPP、AT-802、SHP 分散剂在赤铁矿、石英及赤铁矿/石英混合矿的矿浆体系分散研究得出分散剂之间存在分散能力差异,对同一悬浮体系而言,分散剂用量相同时,其分散强弱顺序为: $SHP > AT-802 > STPP > S.S$ 。认为分散是实现选择性聚团的前提,在分选允许的分散剂添加量范围内,分散度越高,分选指标越好,与分散剂品种及分散能力无关。

广末英晴等^[25~28]通过研究六偏磷酸钠浓度对滑石分散的影响,提出了最佳分散剂浓度的确定模型,他们认为随颗粒的分散,粒度分布向小的粒度域移动,最佳分散剂浓度对应着最小的粒度分布,即沉降量最小。

石灰水泥浆(CWM)储存稳定性已成为当今建筑业一个重要研究课题^[29]。最近日本研究成功了石灰水泥浆用分散剂,这种分散剂是一种含有十二烷基磺酸离子改性聚乙烯醇(PVA)^[30]。经研究表明,该分散剂与原来的萘磺酸甲醛聚合物(NSF)^[31,32]相比,不含离子基团时,分散能力低。在含有磺酸钠 3mol% 的 PVA 以 1% 的用量使用时,与 NSF 相比,制好的 CWM 的流动性,粘度低,放置 3d 后才生成沉淀,说明 PVA 对石灰水泥浆的分散能力是相当高的。

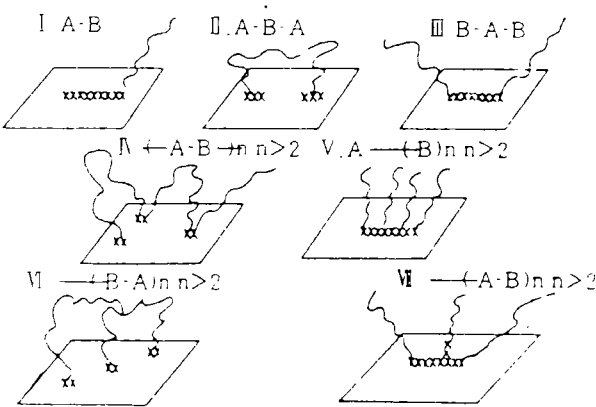
小林敏胜^[33~35]对高分子吸附与颜料微分散的效果及作用从不同侧面给予较详细阐述,认为颜料、树脂可分成酸性、碱性和两性 3 种。酸性(碱性)颜料容易吸附碱性(酸性)树脂,并且容易达到分散稳定。进一步的研究发现在原来酸性(碱性)树脂引入碱性(酸性)官能团形成两性物质,其分散速度和稳定性可大大提高。Alkyd-M₁-M₃ 是酸性的 Alkyd-p 树脂与密胺甲醛树脂缩合,改性为两性树脂。它们的分散效果与 Alkyd-p 相比,随着树脂中的碱量增加,分散速度加快,而且分散度增高。Alkyd-M₁-M₃ 种树脂对碳黑的分散表明,由于树脂的吸附使得碳黑的分散稳定性加强,而且未改变其流动性。

大量研究结果认为^[8,23,24,36~39],不同的分散剂在分散体系中所起的作用不尽相同。对于氢氧化钠、苏打一类,其分散作用主要由增大颗粒表面负电荷引起颗粒间双电层排斥作用能的显著提高,使得颗粒间靠 Van der Waals 吸引作用而互相靠拢甚至接触成为不可能。水玻璃、聚磷酸钠等分散剂在颗粒表面吸附既可增加表面电位绝对值,又可使颗粒间出现强烈的位阻效应,同时还因增强其亲水性而提高颗粒间水化作用能,他们是全面调节 V_R , V_S 和 V_{ST} 三者的分散剂。有机高分子聚合物分散剂主要是通过它的吸附层产生并强化空间位阻效应,使颗粒间产生强位阻排斥作用能 V_{ST} 。Jakubauskas^[40]对树脂分子的固定部分布做了分类,如附图所示。Ⅰ、Ⅳ、Ⅵ这种固定部是复数锁式固定,以桥联附着于复数颜料颗粒,而产生凝聚。另一方面,象Ⅴ和Ⅶ情况,因为官能团是几个连接结构的固定端,有几根尾端伸出的树脂可以稳定地吸附在附着点很少的颜料上,产生了分散稳定效果。认为这是由于固定部的连接官能团协调地吸附所致。

3.2.2 表面活性剂

表面活性剂按分子大小可分为低分子表面活性剂和高分子表面活性剂 2 类,按其极性又可分为阴离子型、阳离子型和非离子型表面活性剂 3 种,常用的表面活性剂列于附表。在涂料等工业中已经获得广泛的应用。

表面活性剂的分散作用主要表现为它对颗粒表面润湿性的调整上。文献报道^[23,41],石英、滑石的实验研究可以证明这一点。通过适当的表面活性剂,如脂肪胺阳离子对石英的吸附可



附图 树脂分子的固定部的分类及在颗粒表面上吸附模型

附表 常用于颗粒分散的不同类型表面活性剂

颗粒/表面活性剂	非离子、阳离子表面活性剂	阴离子表面活性剂
金属	脂肪酸, 胺, PEO 硫醇	牛磺酸盐
炭质	烷基苯酚, PEO 硫醇	
盐	山梨油酸, 季胺	
氧化物	脂肪酸, 山梨油酸, 季胺, Imidazolines	烷基苯磺酸盐, 磷酸盐
氢键有机物	乙酰化乙二盐, 山梨油酸, PEO 硫醇, Imidazolines, 双烷基胺氧化物	磷酸盐, 氨基酸盐, 磷类脂, 烷基磺酸脂
蛋白质	PEO 硫醇, 季胺, 双烷基胺氧化物	妥尔油, 磷酸盐, 氨基酸盐, 磷类脂, 硫酸盐
极性有机物	烷基苯酚, 季胺, 双烷基胺氧化物	烷基苯磺酸盐, 硫酸脂, 碘化甘油磷酸脂, 氨基酸盐, 磷类脂, 牛磺酸盐
非极性有机物	烷基苯酚, 碳氮化合物, 脂肪酸, 季胺, 双烷基胺氧化物	烷基苯磺酸盐, 硫酸脂, 磷类脂, 牛磺酸盐
氟碳有机物	碳氮化合物	

以使石英表面疏水化, 从而诱导出疏水作用力, 石英由分散变为团聚。当表面活性剂浓度加大, 又出现分散状态。

对于天然疏水矿物滑石, 同样也可以通过表面活性剂的吸附使其表面的疏水性加强或削弱, 从而达到调整滑石聚集状态的目的^[23]。十二胺可以增强滑石疏水性及团聚作用。十二胺阳离子通过静电吸引作用在荷负电的滑石表面吸附, 提高表面的疏水程度, 使接触角增大, 同时又使表面电位绝对值减小, 其结果增强了滑石颗粒在水中的絮凝程度。与之相反, 十二烷基硫酸阴离子通过非极性基的色散作用在滑石表面吸附, 而把极性基朝外, 使滑石表面亲水化, 导致滑石颗粒在水中分散。

在颗粒表面润湿性的调整中, 表面活性剂的浓度至关重要。适当浓度的表面活性剂在极性表面的吸附可以导致表面的疏水化, 引起颗粒在水中桥联团聚, 但是浓度过大, 表面活性剂在颗粒表面形成表面胶束吸附, 反而引起颗粒表面由疏水向亲水转化, 此时团聚又转化为分散。赤铁矿、菱铁矿、菱锰矿及金红 4 四种矿物颗粒的分散、团聚行为与表面活性剂油酸浓度关系就说明这一点^[42]。

油酸钠和十二烷基硫酸钠对滑石颗粒在煤油中分散的影响表明^[43], 随着表面活性剂浓度增加, 滑石在煤油中的分散与团聚呈周期性交替出现, 这一现象也与上述情况完全相似, 这

是由于表面活性剂在滑石表面呈胶束吸附所致。

神岛和彦^[44,45]等研究了表面活性剂对碳黑粒子在二丁醇中分散稳定性的影响,得出聚壬基苯醚(NP-10)对碳黑粒子没有分散效果,而双一二乙基磺酸钠(AOT)对碳黑粒子有促进团聚的作用。认为NP-10不能吸附在碳黑表面,所以对其分散稳定性无法起作用,而碳黑由于吸附的阴离子表面活性剂AOT在体系中解离生成的一部分平衡离子(Na^+)促进消弱溶剂化,同时降低了表面电位导致团聚作用。

Kitahara^[46]等在AOT对 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 在二氧环己烷和水混合液中分散稳定性影响的研究中发现,加入AOT后,在介电常数 $\epsilon=10\sim60$ 之间,沉降速度显著加快,介电常数小于10或大于60,沉降速度很慢。这一结果与 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 的表面电位的变化规律相吻合。表面电位的绝对值增大,悬浮体系处于分散状态。

大量的研究认为^[47~51],颗粒在非极性介质中分散,双电层压缩不起主导作用,而是表面电位起主要作用,同时聚合物对吸附层的影响也是非常重要的。

4 结 语

从上述固体颗粒分散的研究现状与进展可以看出,在水介质中的研究相对较多,在有机极性和有机非极性介质中的研究甚少。

(1) 不同类型固体颗粒在水介质中分散的目的,还处在零散性、局部性的探讨,尚未达到系统化认识和建立统一完善的理论的水平。

(2) 固体颗粒在有机极性或非极性介质中的分散研究刚刚起步,需做进一步的深入工作,首先从分散理论需有一个较深入的认识,其次应从分散手段上即使用化学药剂使其表面性质改变,达到在有机介质中的分散。

经典的DLVO理论只能对某些体系作一简单解释,在很多情况下,实验结果和实验现象是不符合DLVO理论的,甚至结果完全相反。关于这方面至今还没有较完善统一的理论。因此研究颗粒分散的机理和行为不仅可以进一步揭示分散的本质,完善发展其理论,而且可以指导不同颗粒的分散过程控制,为解决工业领域所遇到的相关难题提供科学依据和技术手段。

参 考 文 献

- 1 哈恩贝 N, 爱德华兹 M F, 尼路 A W 著, 工业中的混合过程, 俞藏青, 王英琛译, 北京: 中国石化出版社, 1991, 9, 115
- 2 张强, 李正龙, 王化军, 采用混捕收剂选别东鞍山难选铁矿石的研究, 金属矿山, 1992, (6): 43~48
- 3 卢寿慈, 翁达著, 界面分选原理及应用, 北京: 冶金工业出版社, 1992, 1, 220
- 4 小林敏胜, 涂膜外形与颜料分散, 表面科学(日), 1995, 16 (11): 705~709
- 5 谷田部佳见, 长尾信德, 阿部芳首, 御园生尧久, 关于分散型偶氮染料和乙醇的相互作用的光学研究, 日本化学会志(日), 1991, 9, 1224~1230
- 6 肖纪美, 金属学报, 1997, 33 (2): 113~125
- 7 Lawn B R, Wilshaw T R, 脆性固体断裂力学, 北京: 地震出版社, 1985
- 8 卢寿慈, 宋少先, 戴宗福, 微细颗粒在水中的分散, 武汉钢铁学院学报, 1991, 14 (1): 1~6
- 9 卢寿慈, 矿物浮选原理, 北京: 冶金工业出版社, 1985, 5
- 10 Israelachvili J N, Intermolecular and Surface Forces, London: Academic Press, 1985
- 11 Hamaker H C, Physica, 1937, 4: 1058~1072
- 12 Hogg R, Healy T W, Fuerstenau D W, Trans. Faraday Soc., 1996, 62 (6): 16~38
- 13 Marcelja S, Radic N, Chem. Phys. Lett., 1976, 42 (1): 129~136
- 14 Bagchi P, Vold R D, J. Colloid Interfac. Sci., 1979, 33: 405~408
- 15 王果庭, 胶体稳定性, 北京: 科学出版社, 1990

- 16 Hans Rumpf. Particle Technology. Chapman and Hall. 1990. 116~120
- 17 石原透. 各务泰道. 浮选 (日). 67—秋. 33: 29~35
- 18 陈万雄等. 超声波解絮凝作用的研究. 有色金属. 1987. 39 (1): 29~35
- 19 Mori S. Okamoto H. Hara T. Aso K. Flotation. 1984. 31: 17
- 20 Eremin U P. Comprehensive Utilization of Mineral Resources. 1980. (1): 11
- 21 Stoev S. Kintisheva R. XII IMPC Meeting. 1977. 5: 5
- 22 宋少先. 戴宗福. 卢寿慈. 江西冶金. 1987 (2): 1
- 23 欧阳坚. 微细矿物分散和疏水絮凝理论及应用研究: [博士学位论文]. 长沙: 中南工业大学. 1995
- 24 方启学. 微细粒弱磁性铁矿分散与复合团聚理论及分选工艺研究: [博士学位论文]. 长沙: 中南工业大学. 1996
- 25 广末英晴. 谷井正晴. 山田则行. 安部英一. 水介质中 pH 及分散剂浓度对微细粒的凝聚与分散的影响. 粉体工学会志 (日). 1984. 21 (2): 74~80
- 26 广末英晴. 谷井正晴. 井原润. 粉体工学会志 (日). 1983. 20 (1): 28~30
- 27 水度荒川. 工业化学杂志 (日). 1956. 59: 303
- 28 麻本森原. 九州大学工学集报 (日). 1972. 45: 215
- 29 山日石广. 西田善久. 杉山浩. 杉山友男. 日本化学会志 (日). 1986. 227
- 30 山内亨之介. 寺田和俊. 日本化学会志 (日). 1994. 7: 674~678
- 31 中昭广. 杉山浩. 西田善久. 日本化学会志 (日). 1987. 5: 899~904
- 32 中昭广. 西田善久. 村上修. 杉山浩. 作为石灰水泥用分散剂的改性聚乙烯乙醇的作用效果. 日本化学会志 (日). 1986. 8: 1342
- 33 小林敏胜. 高浓度石灰水泥浆的降伏值与稳定性. 表面 (日). 1994. 32 (11): 731~740
- 34 小林敏胜. 寺田刚. 池田承治. 表面活性剂对高浓度石灰水泥浆稳定性的作用. 色材 (日). 1989. 62: 524
- 35 小林敏胜. 景山洋行. 池田承治. 乙烯树脂涂料的颜料分散. 色材 (日). 1990. 63: 744
- 36 Rinelli G. Marabini A M. Fine Particles Processing. 1980. 2. Chapt 52. 1012~1033
- 37 任俊. 硅酸钠在细粒赤铁矿与含铁硅酸盐矿物选择性团聚分离中的分散作用. 矿冶工程. 1993. 3: 29
- 38 宋少先. 卢寿慈. 分散剂对菱铁矿、菱锰矿的絮凝团聚作用研究. 矿冶工程. 1988. 2: 16
- 39 恒川昌美. 高森隆胜. 水介质中滑石表面形状、团聚、分散以及浮选行为与伴生矿物的影响. 粉体工学会志 (日). 1988. 25 (9): 579~587
- 40 Jakubauskas H L. J Coatings Technol. 1986. 58: 71
- 41 卢寿慈. 宋少先. 微细矿粒在水中的疏水絮凝. 武汉钢铁学院学报. 1991. 14 (1): 7~13
- 42 卢寿慈. 第三届全国选矿学术报告会论文集. 北京: 1982. 3: 86
- 43 Ren J. Zheng S. Lu S. World Congress on Particles Technology 3. Brighton. UK. 1998. 8
- 44 神岛和颜. 今野纪二郎. 北原文雄. 表面活性剂对碳黑在二丁醇中分散稳定性的影响. 日本化学会志 (日). 1983. 7: 963~972
- 45 神岛和颜. 风间晃夫. 磁性氧化铁在二丁醇中的分散稳定性. 日本化学会志 (日). 1983. 11: 1562~1565
- 46 Kitahara A. Advances in Colloid and Interface Science. 1992. 38: 1~11
- 47 Lyklema J. Adv. Colloid and Interface Sci. 1965. 2: 65
- 48 Napper P L L. Polymer Stabilization of Colloidal Dispersions. New York: Academic Press. 1983
- 49 Parfitti G D. Matijevic (Ed): Surface and Colloid Sci. New York: Plenum Press. 1978. 163
- 50 Sato T. Ruch R. Stabilization of Colloid Dispersions by Polymer. New York: Adsorption. Marcel Dekker. 1980
- 51 山本英夫. 松山达. 悬浮液颗粒的附着与分散性. 粉体工学会志 (日). 1991. 28 (3): 188~193

Dispersion of Solid Particles

Ren Jun Lu Shouci

(Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract This paper expounds the principle and practice of the dispersion of solid particles, presents the problems of the dispersion of particles and the settling method.

Key words solid particle; physical dispersion; chemical dispersion