

浊度法测定悬浮粒子聚集速率常数的改进研究

孙祉伟 刘捷 徐升华

胶体悬浮粒子体系的稳定性和聚集动力学方面的知识对其各种应用极为重要,特别是在化工、食品、制药、环境工程,乃至生物和纳米技术方面的作用都是十分明显的。例如,奔腾流动的江河水流,可以携带大量悬浮泥沙颗粒而不沉降,但一旦进入富盐碱水域,水中的离子可抑止泥沙颗粒之间的排斥力,会造成颗粒间快速聚集,使之突然大量沉降,造成河道淤积;又如空气中的浮尘在没有聚集前,可以长时间漂浮在空气中,作为可吸入颗粒物,造成空气污染。绝对聚集速率常数是表征胶体体系聚集动力学特征的一个关键参数,其准确的实验数据对相关理论的发展,以及理解或反推胶体粒子相互作用的特征十分重要。很久以来,由于浊度法简单易行,人们一直广泛采用该方法进行悬浮粒子绝对聚集速率常数的测量。但是采用浊度法确定绝对聚集速率常数时,必须从光散射理论上估算单粒子和双粒子聚集集体消光截面的大小。由于近似程度的限制,过去一直沿用的各种浊度法理论只对小粒子比较有效。

我们研究组(中科院力学研究所国家微重力实验室复杂流体研究组),以“相同粒子体系,利用不同波长入射光所测得的聚集速率常数必须在误差范围内)相同的立论为判据,研究比较了此前浊度法的各种理论。这些理论包括至今常用的 RGD (real) 理论、双粒子聚集集体融合假设的 RGD (coalescence) 理论和 MIE (coalescence) 理论以及修正的 RGD (corrected) 理论。我们研究发现,在以前所用的各种理论中,当尺寸参数 $(=2a/\lambda)$ 大于 3 时 (a 为粒子半径, λ 为入射光波长),对不同波长的入射光,用浊度法测量所得到的聚集速率常数在数值上相差很大,甚至有的结果在物理上就根本不合理。我们在分析实验数据的基础上,深入分析了浊度法测量中所反映的物理现象的本质,首次提出浊度法存在测量盲区的概念。进而我们采用 T 矩阵的方法,考虑对不同波长折射率的修正,精确解决了双粒子聚集集体散射截面计算的关键问题。突破了粒子大小的限制,使浊度法测量绝对聚集速率常数的应用范围和

本文作者:孙祉伟、刘捷、徐升华,中科院力学所国家微重力实验室

测量精度都有了实质性的改进(图 1)。

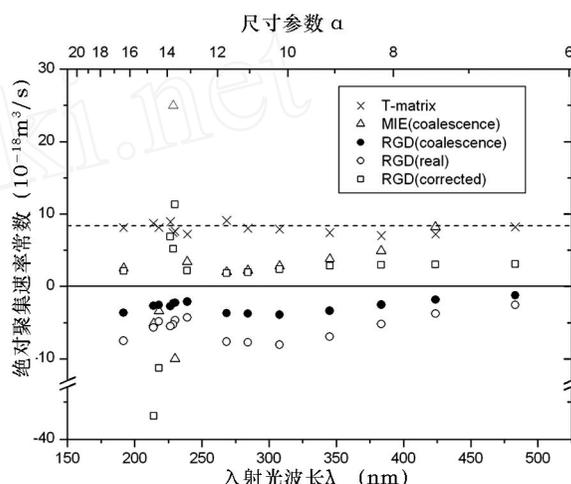


图 1 不同波长下几种理论浊度法测量半径为 500 nm 的聚苯乙烯球体系的绝对聚集速率常数比较

我们的研究还揭示了以前用浊度法测量绝对聚集速率常数仅限于小尺度粒子存在的问题。由于瑞利散射光强与颗粒直径的 6 次方成正比,因而小粒子的消光截面非常小,浊度很低,导致光在通过接近透明的溶液时难以测量,其变化量就更难以确定,测量误差很难控制。为了提高信噪比,人们只好靠提高粒子浓度来增加浊度。但提高浓度又造成浊度随时间变化的线性区很短,使得测量误差加大。这就是以前浊度法测量精度受限制的根本原因。而且,许多理论都是以很低粒子数浓度的假设为前提的,而对小粒子的浊度法测量很难在低粒子浓度下进行,不利于理论与实验的比较。由于 T 矩阵的解决途径突破了粒子大小的限制,上述问题也就迎刃而解了。

相关研究结果发表在 2006 年 5 月 23 日的 *Langmuir*, 22 (11): 4946—4951 上。

Study on Improving the Turbidity Measurement of the Absolute Coagulation Rate Constant

Sun Zhiwei, Liu Jie, Xu Shenghua

Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080