

建筑工程惯性效应在混凝中的动力学作用注册建筑师考试

PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/552/2021_2022__E5_BB_BA_E7_AD_91_E5_B7_A5_E7_c57_552193.htm

本文首次从湍流微结构的尺度即亚微观尺度对混凝的动力学问题进行了研究，提出了惯性效应是絮凝的动力学致因；提出了湍流剪切力是絮凝反应中决定性的动力学因素，并建立了絮凝的动力相似准则。文章指出扩散过程应分为宏观扩散与亚微观扩散两个不同的物理过程，而亚微观扩散的动力学致因是惯性效应，特别是湍流微涡旋的离心惯性效应。

一、絮凝动力学的研究现状

絮凝长大过程是微小颗粒接触与碰撞的过程。絮凝效果的好坏取决于下面两个因素：（1）是混凝剂水解后产生的高分子络合物形成吸附桥的联结能力，这是由混凝剂的性质决定的；（2）是微小颗粒碰撞的几率和如何控制它们进行合理的有效碰撞，这是由设备的动力学条件所决定的。导致水流中微小颗粒碰撞的动力学致因是什么，人们一直未搞清楚。水处理工程学科认为速度梯度是水中微小颗粒碰撞的动力学致因，并用下面公式计算速度梯度：（略）式P为单位水体的能； μ 为液体的动力粘滞系数。由于上面公式是在层流的条件下导出的，它是否适用于流态，一直是人们所关心的湍流的絮凝池。这个问题一直未有结论。实际上，上面公式是层流条件下的速度梯度。对于湍流来说由于湍动涡旋的作用，大大地增加了湍流中的动量交换，大大地均化了湍流中的速度分布，所以湍流中的速度梯度远远小于上式计算的数值。既然如此，上面公式在给水处理工程界中为什么可以用了半个世纪呢？因为上面公式中P（单位水体能耗）这一项与湍

流中的微涡旋有着密切关系，从后面文章内容我们可以看到，正是这些湍流的微结构决定了水中微小颗粒的动力学特性和它们之间的碰撞。通过几十年的工程实践人们积累了上面公式大量的经验数据，用此来指导工程设计当然不会出现大的问题。但上述公式对改善现有的絮凝工艺并没有任何价值。因为提高絮凝效果就必须增加速度梯度，增加速度梯度就必须增加水体的能耗，也就是增加絮凝池的流速。但是絮凝过程是速度受限过程，随着矾花的长大，水流速度应不断减小。另一方面我们可以举出一个完全与速度梯度理论相矛盾的絮凝工程实例。网格反应池在网格后面一定距离处水流近似处于均匀各向同性湍流状态，即在这个区域中不同的空间点上水流的时平均速度都是相同的，速度梯度为零。按照速度梯度理论，速度梯度越大，颗粒碰撞次数越多。而网格絮凝反应池速度梯度为零，其反应效率应最差。事实恰好相反，网格反应池的絮凝反应效果却优于所有传统反应设备。这一工程实例充分说明了速度梯度理论远未揭示絮凝的动力学本质。在絮凝的研究中，还有一个湍流研究学派用湍流扩散的时平均方程去计算颗粒碰撞次数。最后得到的结论与速度梯度理论基本相同，即湍流中颗粒碰撞次数随湍流能耗增大而增大。由于这种研究方法用的是湍流扩散时平均方程，因此就不能揭示湍流微结构在絮凝中的动力学作用。在诸如象絮凝动力学的研究中，把研究领域仅仅划分为微观与宏观已不够了。因为絮凝中的颗粒碰撞是与湍流中的微结构的动力学作用密切相关，而微结构尺度，所以微观的分子运动完全不受湍流微结构影响，只与热力学系数有关。而宏观流动计算中人们关注的是时平均速度，时平均压强、时平均浓度，无

法去揭示湍流微结构在絮凝中的动力学作用。因此在絮凝动力学的研究中应从湍流微结构的尺度，即从亚微观尺度上进行研究。上述絮凝的湍流研究学派正是因为采用统计时平均的宏观流动计算方法，所以就无法揭示絮凝的动力学本质。

二、絮凝的动力致因 有人认为湍流中颗粒碰撞是由湍流脉动造成的。这种认识不很确切。实际上湍流并不存在脉动，所谓的脉动是由于所采用的研究方法造成的。人们用流体力学传统的研究方法欧拉法进行研究，即在固定的空间点观察水流运动参数随时间变化，这样不同时刻有不同大小的湍流涡旋的不同部位通过固定的空间点，因此在固定的空间点上测得的速度呈现强烈的脉动现象。如果我们跟随水流质点一起运动，去观察其运动情况，就会发现水体质点的速度变化是连续的，根本不存在脉动。实际上水是连续介质。水中的速度分布是连续的，没有任何跳跃。水中两个质点相距越近其速度差越小，当两个质点相距为无穷小时，其速度差亦为无穷小，即无速度差。水中的颗粒尺度非常小，比重又与水相近，故此在水流中的跟随性很好。如果这些颗粒随水流同步运动，由于没有速度差就不会发生碰撞。由此可见要想使水流中颗粒相互碰撞，就必须使其与水流产生相对运动，这样水流就会对颗粒运动产生水力阻力，设颗粒的形状为球形，其半径为 r_0 ，颗粒与水流相对速度为 v ，水的密度为 ρ ，球形颗粒所受水力阻力 F_d 可按下式计算（略）式中 ρ_0 为球形颗粒密度。如果略去因颗粒尺寸不同而造成的密度变化，由上式可见单位质量球形颗粒所受水力阻力随尺度增大而减少；即颗粒越大单位质量所受水力阻力越小。上面讲座虽然是针对球形的，但对非球形颗粒同样适用。由于不同尺度颗粒所受水力

阻力不同，所以不同尺度之间就产生了速度差。这一速度差为相邻不同尺度颗粒的碰撞提供了条件。如何让水中颗粒与水流产生相对运动呢？最好的办法是改变水流的速度。因为水惯性（密度）与颗粒的惯性（密度）不同，当水流速度变化时它们的速度变化（加速度）也不同，这就使得水与其中固体颗粒产生了相对运动，为相邻不同尺度颗粒碰撞提供了条件。改变速度方法有两种：（1）是改变水流时平均速度大小，水力脉冲澄清池，波形反应池、孔室反应池以及滤池的微絮凝作用，主要就是利用水流时平均速度变化造成的惯性效应来进行絮凝；（2）是改变水流方向，因为湍流中充满着大大小小的涡旋，因此水流质点在运动时不断地在改变自己的运动方向。当水流作涡旋运动时在离心惯性力作用下固体颗粒沿径向与水流产生相对运动，为不同尺度颗粒沿流涡旋的径向碰撞提供了条件。不同尺度颗粒在湍流涡旋中单位质量所受离心惯性力是不同的。这个作用将增加不同尺度颗粒在湍流涡旋径向碰撞的几率。下面来讨论这个问题。在湍流涡旋中取一个小的脱离体，显然沿径向方向作用在该脱离体上有两个力：一是离心力；二是压力的合力。两者相平衡。如果把坐标原点取在运动的涡旋的中心上，则可写成如下方程：（略）由上面的理论论述可以看出，如果能在絮凝池中大幅度地增加湍流微涡旋的比例，就可以大幅度地增加颗粒碰数，有效地改善絮凝效果。这可以在絮凝池的流动通道上增设多层小孔眼格网的办法来实现。由于过网水流的惯性作用，使过网水流的大涡旋变成小涡旋，小涡旋变成更小的涡旋。不设网格的絮凝池湍流的最大涡旋尺度与絮凝池通道尺度同一数量级。当增设格网之后，最大涡旋尺度与网眼尺

度同一数量级。增设小孔眼格网之后有如下作用：（1）水流通过格网的区段是速度激烈变化的区段，也是惯性效应最强，颗粒碰撞几率最高的区段；（2）小孔眼格网之后湍流的涡旋尺度大幅度减少。微涡旋比例增强，涡旋的离心惯性效应增加，有效地增加了颗粒碰撞次数；（3）由于过网水流的惯性作用，矾花产生强烈的变形，使矾花中处于吸附能级低的部分，由于其变形揉动作用达到高吸能级的部位，这样就使得通过网格之后矾花变得更密实。把建筑师站点加入收藏夹 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com