

细颗粒泥沙动水絮凝的机理分析*

阮文杰

(杭州大学河口港湾研究室, 310028)

收稿日期 1990年4月13日

关键词 细颗粒泥沙, 动水絮凝, 临界流速

提要 本文首先阐述由环形水槽试验所得出的细颗粒泥沙动水絮凝的若干规律。然后进行絮凝体形成和破碎的机理分析。从而得出产生动水絮凝的充分、必要条件: 一是泥沙和电介质的物理、化学性质; 二是絮凝体的抗剪能力大于所受到的剪切力, 由此引出动水絮凝临界流速的概念。

细颗粒泥沙的运动特性, 除静水试验所揭示的以外¹⁾, 还与当地的水文条件密切相关。研究细颗粒泥沙在动水中絮凝、沉降规律, 有很大现实意义。

利用室内环形水槽进行了一系列基础研究, 现对所取得的资料整理、分析如下。

I. 室内试验结果

试验首先展示了动水絮凝与流速的关系。

对粒度较均匀的细颗粒泥沙, 当流速较大时 ($V > V_{cr}$), 细颗粒泥沙沉降量很小, 水流的稳定含沙量²⁾与流速关系, 表现为斜率很小或接近水平的直线(图 1a, b 段), 水流中无明显的絮凝体出现。当流速减小至某一范围时 (V 在 V_{cr}

* 本课题由国家自然科学基金资助; 张志忠副教授和赵龙保老师对文章提出宝贵意见。一并致谢。

1) 稳定含沙量是指试验过程中, 相应于某一流速范围内, 水流中含沙量不再随时间而变, 与水流的携沙率概念类同。

与 V' 之间), 悬沙有一定的沉降量, 但不大, 其关系是曲率半径较小的一段曲线 (图 1bc 段) 水流中有少而小的絮凝体出现。当流速小于某一值 ($V < V'$) 时, 微小的流速改变, 即可引起含沙浓度较大的下降, 其关系为斜率很大的直线 (图 1c, d 段) 絮凝现象较为明显, 絮凝体

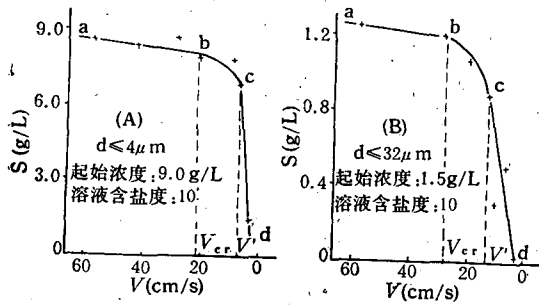


图 1 流速与稳定含沙量的关系

Fig. 1 Relationship between current velocity V and suspended stable concentration S

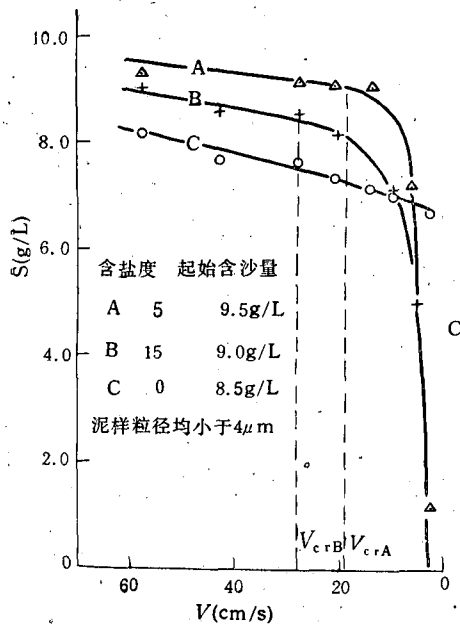


图 2 动水沉降对比曲线

Fig. 2 Compared plot of hydrodynamic sedimentation

较完整, 槽底出现较明显的淤积。因此, 细颗粒泥沙在动水中絮凝, 仅在流速小于某一特定值后, 才能发生。大量絮凝沉降的出现, 亦与一定的流速条件相对应。流速较高或絮凝现象不十

分明时, 絮凝体直径一般为 $0.01\sim 0.02\text{mm}$; 流速较小或絮凝体形成较充分时, 絮凝体的直径一般大于 0.1mm 。常见的絮凝体, 直径多为 0.04mm , 絮凝体大多呈团状, 偶尔也有链状结构。

淡水与不同盐度的对照试验结果 (图 2) 为: 流速较高时, 两者无明显的区别; 当流速小于某一特定值后, C 曲线仍保持原有的斜率, 而 A, B 曲线出现明显的转折, 含沙量随流速急骤下降。因此, 稳定含沙量曲线急骤转折时, 所对应的流速称为动水絮凝临界流速。以 V_{cr} 表示, 并作为开始出现动力絮凝的标志。

II. 动水中絮凝体的形成

II.1. 絮凝的电化学反应

按以往的研究^[2], 静水中絮凝体的形成, 是由胶体电化学反应和颗粒碰撞两项基本因素决定的, 故分析动水絮凝亦宜由此着手。按胶体化学原理^[3], 质点在中等距离以排斥为主, 当距离靠近和距离很远时, 以吸引为主。

上述分析表明, 静水与动水絮凝电化学反应是一致的。

II.2. 颗粒碰撞

静水条件下, 碰撞机率取决于颗粒作不规则的布朗运动。在动水条件下, 当流速较小时, 布朗运动仍起一定作用。随着流速增大, 由水流紊动和局部剪切所引起的碰撞将占主导地位, 碰撞机率较静水条件下大得多。若颗粒动能足以克服粒间排斥势的能垒高度¹⁾, 则颗粒碰撞后就不被弹开, 于是絮凝体就形成。在能垒高度相同的情况下, 由于动水中颗粒的动能远较静水大, 则动水中碰撞絮凝作用亦较静水强。此外, 颗粒动能愈大, 碰撞后颗粒靠得愈近, 所形成的结构连结愈牢固, 此时絮凝体的抗剪能力亦愈强。

III. 动水中絮凝体的破碎

按泥沙运动理论, 泥沙在水流中运动必然要受到水流的作用力。絮凝体是由单颗粒和水

1) 能垒高度指质点间势能的最大值。

通过一定的结构连结而成,在很小剪力作用下即可破碎,因此研究絮凝体所受到的剪力与其抗剪强度之间的关系显得十分重要。

III.1. 絮凝体在水流中所受到的剪切力

絮凝体在水流中所受到的剪切力为: 1)由流速梯度所产生的剪切力,对于流速成对数分布的明渠水流,在主流区内,水流切应力呈直线分布,且与平均流速的平方成正比^[4]。当流速增大时,水流切应力亦相应增大,絮凝体所受到的切应力亦相应增大。2)由于絮凝后体积增大,运动状态改变而引起的切应力,按固、液两相紊流理论^[5],在未絮凝前,颗粒间的相互作用及固相颗粒对液相运动的影响,均可忽略不计。絮凝体形成后,体积增大上千倍,絮凝体运动的惯性力、支持运动所需的能量、重力作用均随之而增加,这样絮凝体就不能随所有尺度的紊动而运动,并产生滞后于周围水流的相对运动。3)在紊动掺混过程中,涡流崩解时所产生的极高瞬时紊动应力,引起絮凝体破碎。此外,当水流中絮凝体含量增加时,将引起粘滞系数、紊动强度、流速梯度等水流运动特性参数的变化,而水流运动条件的变化,反过来又影响絮凝体受力等。由此足以说明,一旦絮凝体形成,其所受到的剪切力将大幅度地增加,并将成为影响动力絮凝的一个至关重要的因素。

III.2. 絮凝体的抗剪能力

絮凝体是一种胶体,其抗剪能力取决于颗粒间的连结。处于两颗粒连结处的公共水化膜,具有一定的抗剪能力。下沉后测定集合体的抗剪强度,每平方厘米仅有十几至几十达因^[6]。

试验所揭示的在高流速情况下,无絮凝现象,是由于水流的剪切力使絮凝体总处于被分散状态。

IV. 动水絮凝机理分析

动水絮凝必须同时具备: 1)絮凝体形成条件,即絮凝的电化学反应和颗粒碰撞;2)絮凝体受力条件,即絮凝体所受到的剪切力小于其抗剪强度。

在动水絮凝中,絮凝体的结构直接影响絮凝体的抗剪强度。影响絮凝体结构,除了泥沙的电介质性质之外,还取决于颗粒碰撞时所具有的动能,后者又受水流条件制约。因此,水动力条件不仅在决定絮凝体所受到外力时起作用,而且还影响到絮凝体所具有的抗力。

在动水絮凝中,絮凝体的尺寸也是一个变量。较强的结构连结,具有较大的尺寸,反之将变小。对相同的结构连结,剪切力大时则出现的絮凝体小,剪切力小时絮凝体就大。这实际上是反映了絮凝过程中外力与抗力之间的平衡。而泥沙、介质、水流三者互相交叉影响,使得动水絮凝更为复杂。

由于水流紊动具有随机性,碰撞也具有随机性,因而絮凝体形成和破碎也具有随机性。当絮凝体形成机率大于破碎机率时,水流中就有较多的絮凝体出现,反之则以单颗粒为主。

V. 动水絮凝临界流速

动水絮凝临界流速,就是絮凝体处于即将形成或即将破碎的临近状态时,所对应的水流速度。在天然水流中,流速与切应力、紊动强度等仍有一定的相关关系,故用它来表示动水絮凝的临界状态,仍有一定的实用意义。

动水絮凝临界流速仅与水流条件有关,故当细颗粒泥沙和电介质的性质改变时,动水絮凝临界流速值也随之改变。

提出动水絮凝临界流速的意义在于,可用它来判别有、无动水絮凝的依据。

VI. 结语

水流对絮凝的影响在于使絮凝体受到剪切力的作用。絮凝体在剪切力作用下破碎,使絮凝过程变得可逆。这是动力絮凝与静力絮凝的根本区别。当水流中具备形成絮凝体的物质和介质条件后,并非都有絮凝现象,只有当流速小于其絮凝临界流速后才能出现。

参考文献

[1] 张志忠、王允菊、徐志刚, 1983。第二次河流泥沙国际

MARINE SCIENCES, No. 5, Sept., 1991

- 学术讨论会论文集。水力电力出版社, 274~284 页。
- [2] 夏殷寰, 1982。全国海岸带和海涂资源综合调查学术会议论文集(下集)。海洋出版社。
- [3] (美) Paul C. Hiemenz 著, 周祖康、马季铭译, 1986。胶体与表面化学原理。北京大学出版社, 418~530 页。
- [4] 钱宁、万兆季著, 1983。泥沙动力学。科学出版社, 82~108 页。
- [5] 窦国仁, 1987。紊流力学(下册)。高等教育出版社, 398~468 页。
- [6] Edited by Ashish J. Mehta, 1986. Estuarine Cohesive Sediment Dynamics. Springer Verlag. pp. 66-83; 128.

MECHANISTIC ANALYSIS ON HYDRODYNAMIC FLOCCULATION ON FINE SEDIMENTS

Ruan Wenjie

(The Research Division of Estuary and Harbor, Hangzhou University, 310000)

Received: Apr., 13, 1990

Key Words: Fine sediment hydrodynamic flocculation, Critical velocity

Abstract

Some laws on hydrodynamic flocculation of fine sediments found in the circular channel test was elaborated at the beginning of the paper. Then, based on the mechanistic analysis on the forming and breaking of flocs, the sufficiency and requirement of producing hydrodynamic flocculation was given as follows: 1) physical and chemical properties of fine sediments and dielectrics; 2) greater shearing strength of hydrodynamic flocculation than the shear force it bears. It leads to the concept about critical velocity in hydrodynamic flocculation.