

河口浑浊带成因^①

时伟荣 沈焕庭 李九发

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海 200062)

河口“浑浊带”(Turbidity maximum), 又称“最大浑浊带”, “最大浊度带”, “大含沙量区”等, 是广泛存在于河口的一种动力沉积表征。它的主要特征是含沙量明显高于上游和下游地区, 而且在不同的水文条件下持续出现。河口浑浊带对河流泥沙向海的输移、对河口泥沙的淤积产生巨大影响, 对各种化学元素(包括有害元素)具有过滤器的作用; 在浑浊带内透光性弱, 生物活动受到影响。为此国内外学者对它进行了许多实地观察和理论研究, 使它成为 60 年代以后河口泥沙运动研究的一个热门课题。进入 80 年代, 有关浑浊带形成的机制已有了多种学说, 对有些机制已建立了一定的理论模式, 但仍是河口泥沙运动的一个重要的理论和实际问题^[7]。本文拟就至今为止国内外学者根据不同的实际和理论模式提出的成因机制作一综述。

1 各种成因说的回顾

自 1938 年法国学者 Glangeaud 在吉伦特河口 (La Gironde) 首先发现并定义河口浑浊带 (法文 Bouchon Vaseux) 后, 世界各国学者都对这一现象作了大量的描述, 对其成因作了深入的研究。如 L. Berthois, G.P. Allen, J.R. Schubel, B. Officer, D. Dyer 等。我国自 70 年代陈吉余提出长江口“高含沙量区”, 继而最大浑浊带的问题后^[1], 也开始了对该现象的研究。如在椒江和珠江等河口^[2,3], 他们分别从动力、泥沙、沉积、化学和生物等角度进行了探讨, 迄今已提出一系列影响浑浊带形成和发育的过程, 归纳起来有以下 6 个:

1.1 沉降和起动滞后效应

首先由荷兰学者根据潮流泥沙运动轨迹提出^[19], 其主要含义是泥沙在往复水流的作用下经历的悬浮和沉降的循环过程中, 开始沉降时的位置和它到达床面的位置 (或以时间为标尺) 不一样, 此为沉降滞后 (Settling Lag) 效应; 这两种效应使泥沙在往复流作用下, 有向某一位富集的趋势。Postma^[15]指出在潮汐不对称的河口, 上、下游河段泥沙的净输移方向有区别, 其结果将导致泥沙在河口某一位的富集。

1.2 絮凝作用

理论根据是细颗粒泥沙在河口的盐度絮凝作用。试验表明, 其絮凝率在某个盐度范围内有最大值^[10]。这可能导致悬沙在河口的某个部位 (通常在盐水入侵的顶端) 沉积作用加剧, 为浑浊带的形成提供了物质基础。不过有学者提出在含沙量较高的环境下泥沙由于紊动碰撞而产生絮凝的概率比由盐度引起的絮凝作用更为重要^[20]。悬沙的大规模絮凝沉降有利于形成河口高浓度悬浮体^[13], 其含沙量的变化范围很宽, 常具有非牛顿体流变性质, 如成因 (6) 中所述, 它的演变和运动对浑浊带的形成有特殊的意义。

1.3 河口环流模式

河口环流模式与浑浊带的关系在 1962 年由 Rattray 和 Hansen 提出, 他们认为在部分混合型河口内存在底层流向陆、表层流向海的余环流模式, 在其作用下泥沙在底层被带向上游, 在表层又被带往下游, 而在余流为零的地方泥沙作垂向运动, 成为泥沙富集的地区, 也是浑浊带发育的中心。1978 年由 Festa 和 Hansen^[11]用数学模型所证实。在他们的模型中假定上、下游边界没有泥沙输入、输出, 变化的主要因素是由于絮凝引起的悬沙沉速, 结果形成了浑浊带, 其中心位置位于余流零点的稍下游。这一成因说是目前被广泛接受的一种^[8], 并被认为是形成浑浊带的主要过程。这种环流是伴随着盐水入侵出现的, 也被称为河口重力环流、异重流。上述环流模式在许多部分混合和缓混合型河口都曾经得到观测, 在美国切萨比克湾支流波托马克河口 (Potomac) 利用自动记录仪器连续 1a 的观测显示在 43% 的时间内存在上述有利于浑浊带形成的环流^[17]。在我国长江口, 多年观测资料显示浑浊带中心位置与盐水入侵上限有一定的关系^[4]。

虽然河口环流和浑浊带生成之间的密切关系已从理论和实际两方面得到证实, 但仅有河口环流的输沙作

① 本研究为国家自然科学基金资助项目成果之一。

用并不能形成实测中浑浊带的高含沙量^[21],因而单纯河口环流说还不能充分解释浑浊带的形成。另外河口环流的形成有赖于径流和水深对潮汐混合作用的抑制,所以主要在分层型(A,B型)河口内存在。对于其他类型河口,尤其是充分混合型河口内的浑浊带,就难以给出充分合理的解释。

1.4 潮波变形引起的输沙作用(斯托克斯输移)

对于潮汐作用强烈、河口环流较弱或消失的河口,有学者提出单纯潮汐作用也可形成浑浊带。Allen^[6]指出在强潮河口的下段和中段,由于潮波变形引起涨潮流占优势,尤其在底层,由于涨潮流大于落潮流,侵蚀作用加强,泥沙净向上游输移;而在河口的上段则由于涨潮流减弱和上游来水的原因,泥沙净向下游输移,结果在河口的中、上段形成富集,导致浑浊带的形成。作为实例,他列举了吉伦特和奥尔尼(Aulne)河口的情形。

1.5 侵蚀浑浊带

DeGrandpre¹⁶利用数学模型证明在强潮河口存在一个潮流作用最强烈的地区,底沙被强烈悬浮而形成一侵蚀浑浊带。他指出河口潮差的沿程变化受到断面束窄和底边界摩擦两个因素的作用,根据其强弱平衡可将河口分成3类:次同步、同步和超同步河口。在超同步河口内存在一个潮差和流速最大的区域,在该地区浑浊带由于底沙的强烈悬浮而得以形成,吉伦特河口就是一个突出的例子。我国椒江口大含沙量区也是由于潮流对床面细颗粒泥沙冲刷引起的^[2]。

1.6 高浓度悬浮体的悬浮作用

高浓度悬浮体(包括浮泥)是常见于河口的一种沉积体,尤其在疏浚频繁和过度的河段,常形成淤泥层,这些沉积物在风浪和潮流作用下的大规模悬浮可以成为河口浑浊带的主要成因。在法国卢瓦尔(Loire)和吉伦特河口,枯季小潮期水流速度小,航道内形成浮泥;大潮期被急流悬浮,成为浑浊带的主要物质来源^[12]。浮泥的悬浮既有以一个潮周期为周期,也有以大、小潮和洪、枯季周期为周期的。在塞文(Severn)和莱茵河口也有类似的现象^[13],由洪水所引起的高含沙量带区与河床上高浓度悬浮体的分布位置十分吻合。

高浓度悬浮体的悬浮是一个重新悬浮过程,其临界起动流速很小,起动形式也比较复杂,因此如何准确地描述这一过程还是一个正在研究的课题^[14]。

从上述可以看出,初期提出的一些成因机制对浑浊带的形成有重要作用,但不能给出系统的形成模式。河口环流说概括了这些机制,并从理论上建立了浑浊带形成的模型,其影响最大。然而它没有直接描述高含沙量

出现的各种作用,它仅适用于部分混合型河口。潮汐成因说,包括高浓度悬浮体的悬浮作用,是对河口环流说的补充和完善。此外,不同成因机制说提出的着眼点也有所不同,1.3,1.4,1.5侧重于河口动力特征,而1.1,1.2和1.6则侧重于河口沉积环境的特殊性。

除上述成因机制外,局部动力和边界条件的特殊情况也可促使浑浊带的产生,如Schubel^[18]认为切萨比克湾上段的浑浊带是由波浪对底沙的悬浮作用引起的。

2 对不同成因机制的综合研究

对河口浑浊带成因的综合性研究在70年代便已开始,如Allen, Dyer, Meade等人就注意到浑浊带可能是多因素作用的结果,而Fisher, Dyer等人则着手将不同的过程加以量化。下面简要介绍一下后者所提出的一种定量方法。

根据统计学原理,河口输沙率公式 $F=V \cdot S \cdot A$ 中的各要素(流速 V ,浓度 S ,断面面积 A)可以同时时间和空间(垂向、横向、断面)被分解为均值和偏量的和,分解后相乘便得到一系列的项,分别反映了不同的输沙机制^[9]。如王康善和苏纪兰^[5]提出的输沙率公式就包含了13项,分别代表余流效应、斯托克斯输移、起动滞后效应、含沙量垂直及横向分布,垂向和横向环流对断面输沙影响等。这一计算方法已被应用在许多河口,证明它对理解浑浊带各种成因机制的相对重要性很有帮助^[22]。

但是,这样分解所得各项仍不能包含某些重要的成因过程,如底层高浓度悬浮体的输移;或者意义比较含糊,如剪切项既反映了絮凝沉降、又代表了底沙悬浮对含沙量剖面的影响。此外,在断面上实施不同的数据选点有可能完全改变计算的结果^[16],这是需要进一步改进的。

3 比较河口学的研究

河口主导机制与河口混合状态的关系,起决定性作用的环境和动力因素,是浑浊带研究中的一个重要课题,也是比较河口学的一个重要内容。

仅就浑浊带形成和发育过程中区域条件的影响而言,在3种动力成因中,是将河流径流作用作为主导因素,还是将潮汐作用作为主导因素,以此为标准,可以发现河口环流在径流作用较强的河口十分明显,潮汐仅能在某种程度上影响径流外泄的形式。河口在大多数时间内处于部分混合状态,典型的例子是美国的东、西海岸河口(表1)。那里水深大、潮差较小。相反,在斯托克斯

输沙和底沙悬浮明显的河口,径流外流模式受到潮汐混合作用的控制,河口常处于充分混合状态。这类河口可见于欧洲的大西洋沿岸,典型的例子如吉伦特河口。这里潮差大、水深却相对较小,潮汐作用占了主导地位。两类成因说的对比在表1中得到明显的反映。由此也说明河口浑浊带的形成受区域条件的影响很深。

表1 世界主要浑浊带河口的潮差、水深比和成因机制表

河口	平均水深 (m)	平均潮差 (m)	潮差/水深	成因机制 提出者
Chesapeake Bay	20	0.6	0.03	[18]
长江口	8	2.5	0.31	[4]
Weser	12	4.0	0.33	[21]
Gironde	13	5.5	0.42	[6]
Loire	11	5.0	0.45	[12]
Severn	20	12.3	0.62	[13]
Rhine	20	1.9	0.95	[10]

实际上河口在以半月和1a为周期的时间过程中经历着不同的动力状态、因而各种成因机制可能强度不同地交替出现,对其演变过程还没有可靠的资料和模式。

上面仅列举了潮差和水深条件对河口混合状态和浑浊带成因机制分布的影响,其他因素,如流域来沙、河槽演变、滩槽泥沙交换等的作用都可能导致不同成因机制的转化。有关这方面的研究有待展开。

4 小结

数十年来国内外对河口浑浊带成因机制方面的研究,已经明确浑浊带的成因是多种多样的。从河口动力和泥沙运动的特点出发可以将浑浊带的成因机制归纳为6条,分别是河口余环流,斯托克斯输移,底沙悬浮作用,沉降和起动滞后,絮凝及浮泥。

目前对河口浑浊带某些成因机制的认识并不深入,如近底层浮泥或高浓度悬浮体输沙问题、浮泥的悬浮速率问题等。对这些问题的深入理解将有助于精确描述河口浑浊带的形成过程,并建立可靠的理论模型,对含沙量的变化作出较准确的预报。同时这些问题既是河口所特有的过程,又涉及到一些泥沙运动的基本理论问题,因而对它们的深入研究不仅有助于理解各种河口过程,而且也可使河口起到泥沙运动的试验场的作用。

综合性和比较学研究对深入了解河口浑浊带在河

流向海的物质输移中所起的作用具有重要意义,这方面的工作有待于深入和完善。目前对各种过程的综合性研究主要侧重于动力作用,结合沉积作用的较少;而比较学研究则侧重于宏观的沉积环境,对具体的动力过程结合不够,因而这两方面的研究必须相互结合开展。

参考文献

- [1] 陈吉余等,1988.长江河口动力过程和地貌演变.上海科学技术出版社,48~63.
- [2] 毕敦洪、孙志林,1984.泥沙研究 3:12~25.
- [3] 田向平,1986.热带海洋 2:27~35.
- [4] 沈焕庭等,1985.海岸河口区动力地貌沉积过程论文集.科学出版社,76~89.
- [5] 王康善、苏纪兰,1978.海洋学报 5:627~637.
- [6] Allen G. P. et al.,1980. *Sediment Geology* 26:69-90.
- [7] Dyer, K., 1989. *J. of Geophys. Resear.* 94(10):14 327-14 340.
- [8] Dyer K., 1988. *Physical Processes in Estuaries, Lassen and Dronkersed.* 296-309.
- [9] Dyer K., 1978. *Estuarine transport processes, Kjerfveed.*, 331-342.
- [10] Eisma K., 1986. *Neth. J. of Sea Resear.* 20(2/3):183-199.
- [11] Festa J. and Hansen D., 1978. *Est. Coastal Mar. Sci.* 7: 347-359.
- [12] Gallenne B., 1974. *Est. and Coastal Mar. Sci.*, 2: 261-272.
- [13] Kirby B., 1988. *Physical Processes in Estuaries, Lassen and Dronkersed.* 463-487.
- [14] Nichols M., 1984. *Estuarine cohesive sediment dynamics.* 14: 1-24.
- [15] Postma H., 1967. *Neth. J. of Sea Resear.* 1:148-190.
- [16] Rattray M and Dworski J., 1980. *Est. and Coastal Mar. Sci.* 11:515-536.
- [17] Schubel J., 1984. *The Estuary as a Filter, Kennedy V Sed.* 81-106.
- [18] Schubel J., 1968. *Science* 161: 1 013-1 015.
- [19] Van Straaten L. and Kuenen P., 1958. *J. Sediment. Petrol.*, 28:406-413.
- [20] Van Lassen W., 1988. *Physical Processes in Estuaries, Lassen and Dronkersed.* 347-405.
- [21] Wellershaus S., 1981. *Arch Hydrobiology*, 92:161-198.
- [22] Uncle R. and Jordan M., 1979. *Est. and Coastal Mar. Sci.*, 9:287-302.