

长江口整治工程对分水分沙年际变化的影响分析

杨 婷^{1,2}, 陶建峰^{1,2}, 张长宽¹, 刘桂平³

(1. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 长江水利委员会 长江口水文水资源勘测局, 上海 200136)

摘要:为了研究长江口深水航道整治工程对水文泥沙过程的影响规律,基于 1998~2009 年长江口南北港、南北槽的水沙测验资料,分析了整治工程引起的南北港、南北槽分流分沙变化。结果表明,整治工程的实施对南北港涨落潮分流分沙比、净泄潮量及净泄沙量影响不大。一期工程实施后,北槽落潮分流、分沙比减小,南槽落潮分流、分沙比增加;二期工程实施中,南北槽的落潮分流、分沙比均保持在较为稳定的状态;随着三期工程的实施完毕,南槽的落潮分流、分沙比持续增加,北槽的落潮分流、分沙比呈减小的趋势。

关键词:分水分沙; 年际变化; 深水航道整治工程; 长江口

中图法分类号: TV143 文献标志码: A

1 研究背景

长江口属于三角洲型中等强度潮汐河口,动力条件复杂。经过长期的历史演变,形成了“三级分汊、四口入海”的地貌形态,主要的入海汊道自北向南为北支、北港、南港,南港在横沙岛尾则由九段沙分为南、北槽,口门处均存在拦门沙和碍航浅滩。20 世纪 90 年代,北槽作为长江口的主要进出航道,远不能满足上海港及南京以下 100 余个万吨级以上泊位的需求,严重制约了长江流域经济的发展^[1-2]。为此,1992 年,国家计委将“长江口拦门沙航道演变规律与深水航道整治方案研究”列入国家“八五”科技攻关计划^[3]。

长江口深水航道整治工程主要是在长江口南港北槽中修筑两条导堤及丁坝,使航道设计水深增加至 12.5 m,航道底宽达到 350~400 m,以满足第四代集装箱船全潮通航和第五代集装箱船及 10 万吨级散货船乘潮通航的要求^[4],工程平面布置如图 1 所示。工程分 3 期共 8 a 实施,于 1998 年 1 月开工,2002 年 9 月,一期工程通过了国家竣工验收;二期工程于 2005

年完工,三期工程于 2006 年 9 月开工^[5],共兴建整治建筑物 27.681 km,开挖 12.5 m 水深航槽 92.2 km^[6],为了改善航道维护疏浚量上升的不利状况,于 2009 年上半年加长了大部分丁坝^[7],已于 2010 年 3 月通过竣工验收。

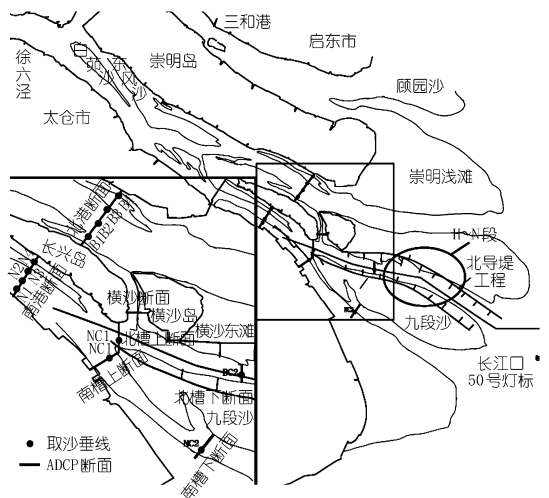


图 1 长江口河段及南北港、南北槽测验位置

收稿日期:2011-11-06

基金项目:国家重点基础研究发展“973”计划(2010CB429001);国家自然科学基金(51109074);高等学校博士学科点专项科研基金(20090094120005);中央高校基本科研业务费专项资金(2010B03014)

作者简介:杨婷,女,硕士研究生,主要从事河口海岸水动力与物质输运研究。E-mail: baiyeyangting@126.com

通讯作者:陶建峰,男,副教授,博士,主要从事河口海岸水动力与物质输运研究。E-mail: aotao@hhu.edu.cn

本文旨在分析整治工程实施后,一期、二期及三期工程对南北槽、南北港分流分沙的影响情况。

2 分流分沙比计算方法

随着潮位涨落,长江口南北槽河段的水沙通量也随之变化。目前,针对感潮河段涨落潮期间的分流分沙比定义尚未见报道。丁君松和丘凤莲认为天然河道中,在河道不冲不淤的情况下,分叉河道的分流分沙比可定义为^[8]

$$\eta_L = \frac{Q_L}{Q_L + Q_R} \quad (1)$$

$$\eta_R = \frac{Q_R}{Q_L + Q_R} \quad (2)$$

$$\xi_L = \frac{Q_L S_L}{Q_L S_L + Q_R S_R} \quad (3)$$

$$\xi_R = \frac{Q_R S_R}{Q_L S_L + Q_R S_R} \quad (4)$$

式中, η_L 、 η_R 分别为左汉、右汉的分流比,%, $\eta_L + \eta_R = 1$; ξ_L 、 ξ_R 分别为左汉、右汉的分沙比,%, $\xi_L + \xi_R = 1$; Q_L 、 Q_R 分别为全潮期间通过左汉、右汉分叉断面(含边滩和深槽在内)的水通量, m^3/s ; S_L 、 S_R 分别为全潮期间左汉、右汉分叉断面(含边滩和深槽在内)的平均含沙量, kg/m^3 。文中定义北槽为左汉,南槽为右汉。

3 整治工程前后分水、分沙变化

数据主要来源于长江水利委员会水文局长江口水文水资源勘测局于南北港、南北槽及横沙通道布设的 7 条 ADCP 测验断面和 6 条固定垂线,1998 ~ 2009 年对大潮全潮的流速、流向、悬移质含沙量、含盐度等进行现场观测,测验断面与固定垂线如图 1 所示。

3.1 分流比

图 2 为 1998 ~ 2009 年间枯季南北港落潮分流比图。从图中可以看出,1998 年 2 月,南北港的分流比分别为 45% 和 55%。2002 年 2 月,南北港的落潮分流比变化较大,主要是由于北槽深水航道整治一期工程的实施,北导堤封堵了横沙东滩窄沟^[9],减弱了北港与横沙之间的漫滩水流交换,使北港落潮分流比降低,更多的水流通过南港输运入海。2003 ~ 2004 年枯季,由于二期工程的实施,南北港的分流比基本维持在 50% 左右。至 2005,2006 年及 2009 年,南港的落潮分流比呈减小的趋势,这与二期工程竣工后,丁坝对北槽的阻水作用有关。

从整体上看,南北港落潮分流比基本在 50% 左右浮动,变化不大。分析表明,一、二、三期工程的开展对南北港分流比的影响不大,其一直保持较为稳定的状

态。

图 3 为南北槽上、下断面 1998 ~ 2009 年的落潮分流比变化图。从图中可知,1998 年 8 月,北槽上、下断面的分流比均大于南槽上、下断面。2002 年 2 月,北槽上、下断面的落潮分流比均减小,南槽上、下断面的落潮分流比增加,尤以北槽上、南槽上的变化幅度最大。主要是由于一期工程中,北槽实施了丁坝工程,河床地形得到调整,使河床阻力增大^[10],导致北槽分流比减小,而南槽落潮分流比增加。2002 ~ 2004 年,南北槽分流比基本保持了一期工程后的状况,变化不大。二期工程整治建筑物于 2004 年 12 月上旬完工,2005 年 3 月全线贯通。因此,从 2005 年 2 月开始,北槽上、下断面的落潮分流比呈减小的趋势,南槽上、下断面的分流比呈增加的趋势,主要是由于二期工程竣工后,北槽 H ~ N 段呈现较为严重的回淤现象^[11],导致更多的水流通过南槽输运入海,北槽的分流比减小。

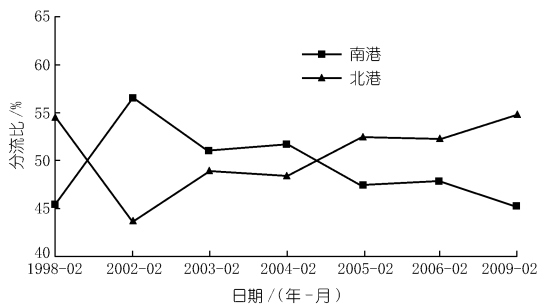


图 2 南北港 1998 ~ 2009 年落潮分流比

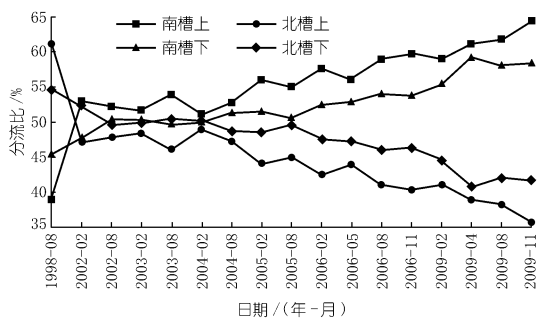


图 3 南北槽上、下断面 1998 ~ 2009 年落潮分流比

从图 3 中可以看出,2002 年开始,南槽上、下断面的落潮分流比基本大于北槽上、下断面的落潮分流比。北槽上、下断面的最小分流比分别为 35.6% (2009 年 11 月) 和 40.7% (2009 年 4 月)。河口成对汉道趋于萎缩的具体标志是落潮流分流比减小,使河槽从落潮槽转化为涨潮槽。北槽河性转化的落潮流分流比阈值,参照 1949 ~ 1954 年北槽开始成型时的分流比,取为 35%。虽然北槽的分流比呈减小的趋势,但是始终保持在大于 35% 的水平,因此整治工程的实施不会导致

北槽的萎缩。北槽的分流比减小,与工程实施以来丁坝引起的北槽河床阻力增加有很大的关系^[12]。

3.2 净泄潮量

图 4 为南北港及南北槽净泄潮量年际变化图,其中负数表示指向上游河道,正数表示指向外海方向。从图 4(a)中可以看出,南港的净泄潮量始终小于北港。2002 年 2 月、2006 年 2 月,南北港的净泄潮量均较 1998 年 2 月减小。1998~2005 年,在长江口北槽建设了两条导堤和 19 座丁坝,由于丁坝的建设,北槽的河床阻力不断增加,对南港净泄潮量的减小存在较大的影响。2002 年 9 月、2006 年 8 月,南北港的净泄潮量处于较大值,这与当时长江处于洪季有一定的关系。2009 年 4 月,南北港的净泄潮量变化趋势不一致,这与三期工程的实施相关。航道疏浚困难,全槽水深下降,一定程度上影响了北槽的输水输沙,北港的净泄潮量在 2009 年 4 月达到较大值。总体而言,南北港的净泄潮量随着工程的逐步开展呈上下起伏变化,但始终维持在 12.5 亿 m^3 左右,表明深水航道整治工程的开展对南北港净泄潮量的影响不大。

由图 4(c)可知,1998 年 2 月,北槽上断面的净泄潮量小于北槽下断面,2006 年 5,8,11 月,北槽上断面的净泄潮量均大于北槽下,主要由于一、二期工程中丁坝的建设,北槽河床阻力增大,北槽 H~N 段出现较为严重的回淤现象,阻挡了北槽下断面部分向外输运的水流,继而导致北槽下断面净泄潮量减小。2009 年 2,4,8,11 月,北槽下断面的净泄潮量大于北槽上,说明三期减淤工程的实施对北槽有一定的影响。由图 4(b)可知,南槽上断面的净泄潮量始终保持大于南槽下断面的状态,南槽处于向陆净输水的状态。整体上,南北槽的净泄潮量处于两者相当的水平,说明北槽整治工程的建设并没有使相邻的南槽全槽发育,南槽全槽总体上仍保持了稳定,而北槽是一条有发展潜力的汉道。

3.3 分沙比

图 5 为 1998~2009 年南北港落潮分沙比变化图。从图中可以看出,1998 年 2 月,南北港的落潮分流比分别为 41.1%,58.9%。2002 年 2 月,南港的落潮分沙比增加至 56.5%,北港的落潮分沙比减小至 43.5%,与南北港分流比的变化趋势一致。2006 年 2 月,南港的落潮分沙比小于北港,与二期工程中北槽丁坝的束水收沙有关;2009 年 2 月,南港的落潮分沙比较 2006 年降低,这主要受三期工程中北槽航道疏浚的影响。南北港的落差分沙比整体上在 50% 左右浮动,说明深水航道整治工程的开展,对南北港的分沙比有

一定影响,但程度有限。

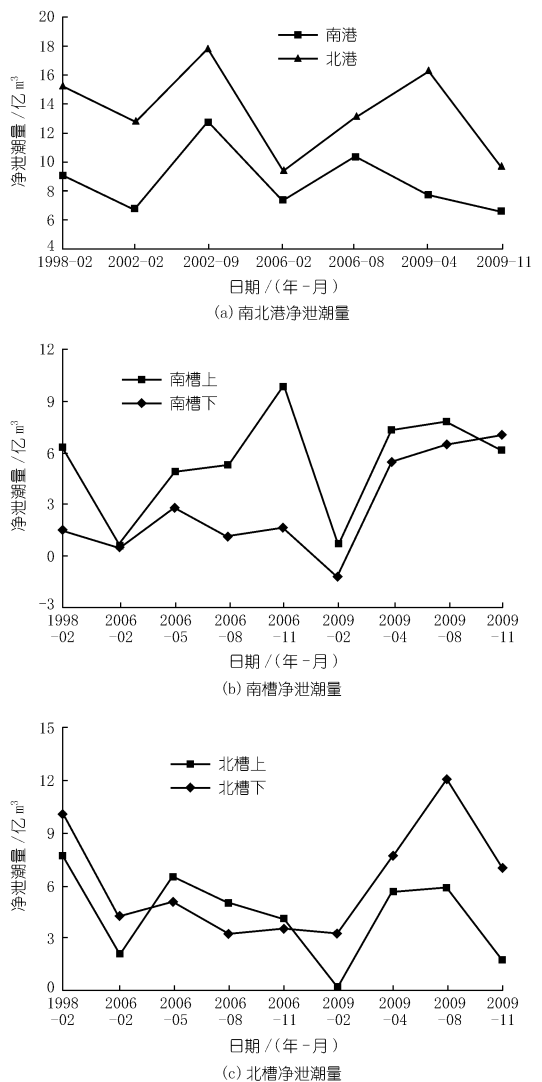


图 4 各断面净泄潮量年际变化

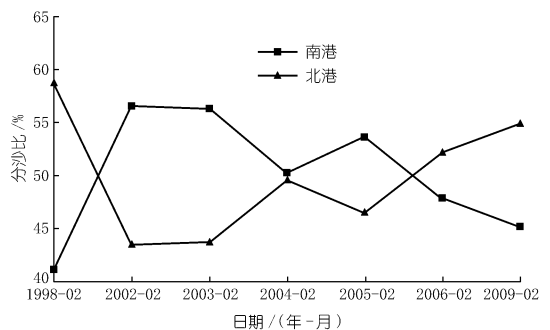


图 5 南、北港 1998~2009 年落潮分沙比变化

图 6 为 1998~2009 年南北槽上下断面涨落潮分沙比。由图可知,2002 年 2 月,南槽上、下断面的分沙比逐渐减小,北槽上、下断面的分沙比增加。在潮汐河口,丁坝群能够起到调整流场的作用,一期工程中丁坝的建设,使北槽落潮水流动力增加。2003 年 2 月至

2006 年 11 月,北槽上、下断面的落潮分沙比一直在 45% 左右浮动,南槽上、下断面在 55% 左右浮动,变化不大,主要是由于二期工程的丁坝建设在一期工程的下游,受一期工程的丁坝的掩护,二期工程的丁坝建设引起的北槽河床总阻力增加程度有限,所以南北槽分沙比的变化范围也有限。2009 年 2 月,南槽上、下断面的分沙比呈上升的趋势,北槽上、下断面的分沙比呈减小的趋势,最小值达到 28.5%,与分流比的变化过程和趋势基本一致。从图 6 中可以看出,南槽的分沙比整体上大于北槽,表明更多的泥沙通过南槽通道输入海。

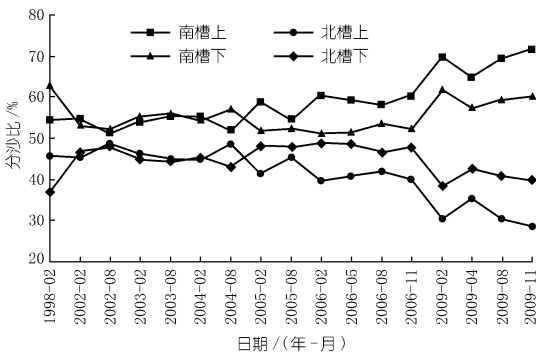


图 6 南、北槽 1998 ~ 2009 年涨落潮分沙比

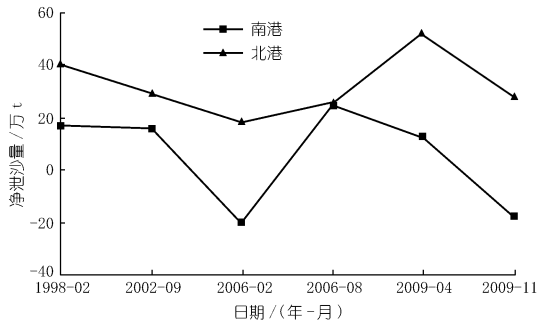
3.4 净泄沙量

图 7 为 1998 ~ 2009 年期间,南北港和南北槽上、下断面的净泄沙量变化图。从图 7(a) 中可以看出,北港的净泄沙量基本处于大于南港的状态。2006 年 2 月,南、北港的净泄沙数值上几乎达到一致,可能与 2006 年为特枯水年有一定的关系;2009 年 4 月,由于疏浚工程的实施,南、北港的净泄沙量差值较 2006 年 8 月变大。南港的净泄沙数值上基本维持在 20 万 t 左右,北港则变化较大,但基本也在 35 万 t 左右浮动。所以,深水航道整治工程的开展对南港影响较小,对北港影响略大,但其变化趋势基本维持不变。

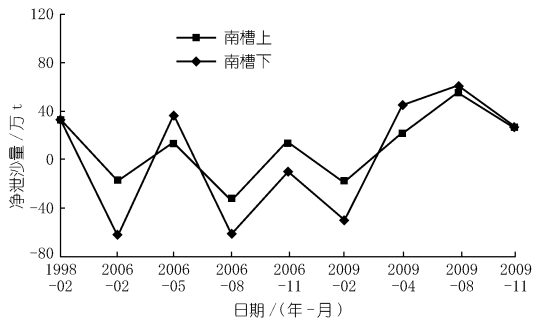
从图 7(b) 中可以看出,1998 年 2 月,南槽上、下断面净泄沙量基本相等。2006 年 2,5,8,11 月,2009 年 2,4,8,11 月,南槽下断面的净泄沙量均大于南槽断面上。2006 年 2,8 月,2009 年 2 月,南槽上、下断面均由外海向陆净输沙,说明泥沙容易在南槽段落淤。2006 年 5,11 月,2009 年 4,8 月,南槽上、下断面基本处于由陆向海输沙格局。2009 年 11 月,南槽上、下断面的净泄沙量基本相等,输沙平衡。这相对于以往长江口洪淤枯冲的规律而言,是一种新出现的情况,是否与上游来沙有关,需进一步探讨。

从图 7(c) 可看出,从北槽下断面输入海的泥沙较进入北槽上断面的泥沙大,北槽整体上处于由陆向

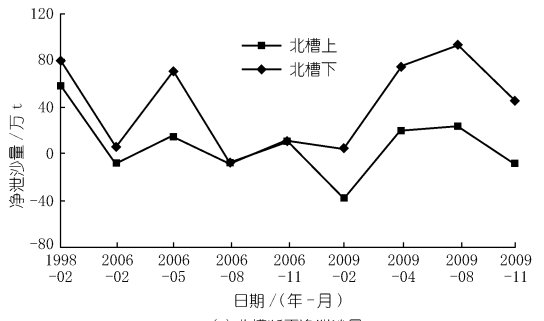
海净输沙状态。2006 年 2,8 月,有小部分泥沙进入北槽上断面,易在北槽上断面发生落淤现象。2009 年 2 月,北槽下断面输入海的泥沙量为 3.78 万 t,而北槽上断面由海向陆输沙量达到 37.6 万 t,进口段处于淤积状态。这主要在于三期工程自 2006 年 9 月开工至 2009 年 1 月,航道疏浚困难,全槽水深下降,对北槽的净泄沙量的输运有一定的影响,可能因此造成冬季北槽进口段形成泥沙落淤的格局。



(a) 南、北港净泄沙量



(b) 南槽断面净泄沙量



(c) 北槽断面净泄沙量

图 7 各断面净泄沙量年际变化

4 结语

(1) 整治工程的开展对南、北港的分流分沙比影响较小,南、北港的潮落分流分沙比维持在 50% 左右。

(2) 一期工程中北槽丁坝的建设,使河床阻力增加,北槽落潮分流分沙比减小,南槽落潮分流分沙比增加;二期工程中,由于受一期工程中丁坝的掩护作用,河床阻力增加有限,南北槽的落潮分流分沙比变化不大;三期工程中,由于北槽下段 H ~ N 段较为严重的回

淤现象的阻水作用,北槽的涨落潮分流比、分沙比均呈现减小的趋势,南槽的涨落潮分流比、分沙比均呈增加的趋势。

(3) 南港的净泄潮量、净泄沙量均小于北港。工程的实施对南北港的净泄潮量、净泄沙量产生微小的变化,但总体影响甚微。

(4) 三期减淤工程的实施使北槽的净泄潮量由二期工程中的由海向陆净输移格局转化为由陆向海净输移的格局,南槽整体处于稳定状态。北槽整体上处于由陆向海净输沙状态,进口段在冬季有泥沙落淤的现象。

参考文献:

- [1] 陈志昌,乐嘉钻.长江口深水航道整治原理[J].水利水运工程学报,2005,(1):1-7.
- [2] 冯铭璋,沈日庚.长江口深水航道治理工程综述[J].上海地质,2001,(3):10-15.
- [3] 乐嘉钻.长江口深水航道治理工程情况简介[J].上海水利,1997,

(2):14-16.

- [4] 陈卫中.长江口深水航道治理工程概况[J].水利水电技术,1999,30(9):69-70.
- [5] 管锋.功在当代利在千秋的水下长城—长江口深水航道整治工程简介[M].上海建设科技,2003,(2):9-16.
- [6] 金缪,虞志英,张志林,等.对长江口深水航道治理工程中若干问题的思考[J].长江科学院院报,2011,28(4):5-9.
- [7] 赵虎.传世经典,永久航道——写在长江口深水航道三期工程竣工之日[J].中国水运,2011,(6):8-9.
- [8] 丁君松,丘凤莲.汉道分流分沙计算[J].泥沙研究,1981,(1):3-5.
- [9] 刘杰,陈吉余,乐嘉海,等.长江口深水航道治理一期工程实施后北槽冲淤分析[J].泥沙研究,2004,(5):15-22.
- [10] 刘杰,徐志杨,赵德招,等.长江口深水航道(一、二期工程)回淤变化[J].泥沙研究,2009,(2):22-28.
- [11] 高敏,范期锦,谈泽炜,等.对长江口北槽分流比的分析研究[J].水运工程,2009,(42):82-86.
- [12] 李伯昌,王珏,唐敏炯.长江口北港近期河床演变分析与对策[J].人民长江,2012,43(3):12-15. (编辑:李慧)

Analysis on annual variation of diversion ratio of flow and sediment in Yangtze River Estuary after regulation project

YANG Ting^{1,2}, TAO Jianfeng^{1,2}, ZHANG Changkuan¹, LIU Guiping³

(1. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Harbour Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing, 210098, China; 3. Bureau of Hydrology and Water Resources Survey of Yangtze River Estuary, Changjiang Water Resources Commission, Shanghai 200136, China)

Abstract: In order to study the influences of deepwater channel regulation project at Yangtze River Estuary on the hydrological and sedimentation process, the characteristics of diversion ratio of flow and sediment in different years are analyzed based on the measured data of water and sediment discharge in the south and north channels from 1998 to 2009. The results show that there is a little influence on diversion ratio of flow and sediment, net tidal discharge amount and net sediment discharge amount of Nangang and Beigang channels. After implementation of the phase I project, the diversion ratio of flow and sediment during ebb tide decreases in the north channel, while increases in the south channel; in the phase II project, the diversion ratio of flow and sediment in south and north channel during ebb tide remains stable. Due to construction of the phase III project, the diversion ratios of flow and sediment during ebb tide keep decreasing in the north channel, while increasing in the south channel.

Key words: diversion ratio of flow and sediment; annual variation; regulation project of deepwater channel; Yangtze River Estuary

· 简讯 ·

流域水库群调度管理国际技术交流会在汉召开

2012年2月27日,流域水库群调度管理国际技术交流会在武汉召开,交流会由长江勘测规划设计研究院主持。交流会邀请了美国陆军工程师兵团水库调度专家J. Rolf. Olsen博士与Kevin R. Grode先生就流域调度与管理模式进行技术交流,旨在了解学习美国水资源管理及流域水库群调度管理方面的先进技术与经验。

长江委防办主任吴道喜、设计院副院长仲志余出席交流会。

J. Rolf. Olsen博士以Delaware河及ACT-ACF河流域为例,对美国水资源综合管理政策和模式进行了详尽的介绍。Kevin R. Grode先生介绍了美国密苏里河干流梯级水库群的防洪调度和水资源调度应用的技术、方法以及获得的经验。与会专家和技术人员就各自关心的方面与两位专家进行了深入交流,并对流域水资源综合管理及水库群调度所面临的问题交换了看法。

(长江)