



长江北支进口段演变特征及治理^{*}

周良平¹, 周东泉², 杜德军¹, 夏云峰¹, 闻云呈¹, 李阳帆¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029;

2. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 在历史演变分析的基础上, 重点研究近年来长江北支进口段滩槽时空变化、成因和影响机制。利用数学模型, 对进口段规划整治方案效果进行模拟研究。结果表明: 受上游来水来沙条件变化、周边整治工程实施等综合影响, 长江北支进口段拦门沙经历了舌状沙体→崇头暗沙→崇头沙的发展变化, 北支进口入流条件恶化; 沙体两侧深槽则呈现“十年河东、十年河西”交替变化的态势, 目前主槽位于崇明侧, 其走向与南支主流交角已达 105° , 主流流路极度弯曲。在北支中下段规划整治工程已实施的情况下, 进口段的治理已成为北支兴衰的关键; 北支进口段规划疏浚工程实施后, 进口段流路有所归顺, 北支分流比增加 0.1%, 工程实施有利于河势稳定, 可达到治理目的。

关键词: 崇明沙; 舌状沙体; 深槽交替; 白茆沙; 南强北弱; 进口段疏浚

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)12-0128-06

Evolution characteristics and treatment of inlet section of northern branch of the Yangtze River

ZHOU Liang-ping¹, ZHOU Dong-quan², DU De-jun¹, XIA Yun-feng¹, WEN Yun-cheng¹, LI Yang-fan¹

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225009, China)

Abstract: On the basis of historical evolution analysis, this paper focuses on the change, cause and effect mechanism of the the inlet section of the northern branch of the Yangtze River in recent years. This paper simulates and studies the effect of planning and remediation scheme of the inlet section by the mathematical model. The results show that, affected by the changes of runoff and sediment from the upper reaches and the implementation of the surrounding remediation projects, the sandbar in the inlet section of the northern branch of the Yangtze River has experienced the development and change of tongue-shaped sand body → Chongtou shoal → Chongtou sand, and the inflow conditions of the northern branch deteriorates. The deep troughs on both sides of the sand body show an alternating trend of “ten years east of river and ten years west of river”. The current main trough is located on the Chongming side, and its direction and the main flow of the south branch reaches an intersection angle of 105° , and the main flow path is extremely curved. Under the circumstance that most of the planned renovation projects in the middle and lower sections of the North Branch are implemented, the treatment of the entrance section becomes the key to the rise and fall of the North Branch. After the implementation of the planned dredging project for the

收稿日期: 2022-04-01

^{*}基金项目: 江苏水利科技项目(2020002、2020010); 水利部三峡后续项目(126302001000200002); 中央级公益性科研项目(Y222002)

作者简介: 周良平(1963—), 男, 高级工程师, 从事水利工程研究。

entrance section of the North Branch, the flow path of the entrance section returns, and the diversion ratio of the North Branch increases 0.1%, the implementation of the project is conducive to the stability of the river and achieves the purpose of treatment.

Keywords: Chongming sand; tongue-shaped sand body; alternating deep grooves; Baimaoshan; strong in south and weak in north; dredging in inlet section

近年来，通过持续的系统治理，长江北支淤积萎缩速率减缓，咸潮倒灌南支减轻，长江“三级分汊、四口入海”的河势格局总体稳定。受近年长江流域来水来沙条件变化、周边整治工程实施等综合影响，还存在心滩发展、深槽摆动、进口入流不畅等突出问题^[1]。为稳定北支河势、延缓北支自然淤积萎缩速率、减轻北支咸潮倒灌南支、改善北支航运条件，2008 年 3 月国务院批准的《长江口综合整治开发规划》^[2]中制定了“北支整治采用中缩窄方案，并考虑通过上段疏浚措施，改善上口进流条件，增加北支分流比，适当改善北支上段航道”的整治目标；苏长城等^[3]认为北支的河势控制，上段宜采用疏浚改善北支进流条件、中下段整治要考虑一定的沿程放宽率；杨芳丽等^[4]认为北支航道整治宜结合已有河势控制工程，按“深水深用、浅水浅用”原则进行分段治理；林芬芬等^[5]认为北支航道宜采取“联动治理，分级通航”的治理思路，实施主槽南侧整治、河心滩守护工程，稳定航道边界，维持航槽水深；陈正兵等^[6]认为北支的淤积集中在主流变动段、凸岸边滩与崇明北缘边滩，而冲刷则集中在深槽、弯道凹岸与整治工程前沿。

以上研究主要针对长江北支的演变、整治及开发利用等开展，而对北支进口段的演变及其影响分析较少。在目前北支中下段规划整治工程大部分已实施的情况下，北支进口段的冲淤变化已成为北支兴衰的关键，主要表现在：崇头沙的发

展会明显影响北支的入流；崇明侧主槽走向与长江主流交角已达 105°，进口段的落潮主流流路弯曲，北支入流减小，势必会加速北支的萎缩；此外，崇明沙淤长，向南挤压白茆沙北水道进口段水流，北水道分流减小，白茆沙水道“南强北弱”格局增强，进一步威胁太仓沿岸水下岸坡稳定与附近码头安全^[7-8]。本文结合崇头沙的发展变化、深槽交替发展萎缩，分析长江北支进口段的演变，并对其整治进行探讨。

1 长江北支概况

长江北支位于崇明岛以北，为长江出海的一级汉道，西起崇头、东至连兴港，全长 83 km，进口段河势见图 1。进口崇头断面河宽约 3.0 km，出海口连兴港断面宽约 12.0 km，最窄处青龙港断面宽 2.1 km。北支分 3 段：崇头—大新河为上段，平面形态弯曲，弯顶在青龙港—大新河间，为长江南北支汇潮段；大新港—启东港为中段，河段顺直；启东港—连兴港为下段，河道向下逐步展宽。北支河床宽浅，洲滩淤涨围垦并岸，为涨潮流占优势的河道，自 20 世纪 90 年代以来，北支分流比为 1.7%~4.8%，洪季分流比一般大于枯季。北支含沙量明显大于南支及南北港水域，北支水域从上游到下游含沙量逐渐增大。根据 2019 年 6 月实测资料^[9]，南支及南北港河段涨、落潮平均含沙量在 0.054~0.254 kg/m³，北支河段在 0.714~3.06 kg/m³。2021 年 7 月，北支涨潮分流比为 13.8%，落潮分流比为 4.8%^[10]。

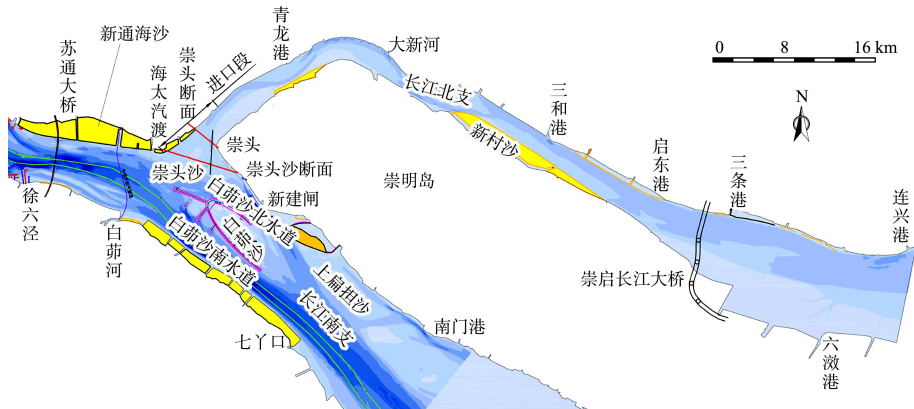


图 1 长江北支进口段河势

北支进口段呈喇叭形，上口崇头沙断面宽约 7 km，崇头断面宽约 3 km。由于口门向上游快速展宽，加之口门与大江主流成近 90°交角，口门主槽（崇明侧）与大江主流的夹角甚至达 105°，北支进口入流不畅，泥沙易在中间区域落淤。

2 北支进口段历史演变

2.1 历史演变

北支的演变与上游主流的摆动密切相关，从 14 世纪中叶到 17 世纪中叶，长江河口主流经北支入海，之后改走南支，北支泄流能力逐渐减小，潮汐作用相应增强，涨、落潮流路分离使得南岸滩地和江中沙岛的淤涨大幅加快，北支开始出现向南支产生水沙倒灌的不利影响。

1915 年长江径流经徐六泾节点后能较顺直地进入北支，此时北支分流比达 25%。20 世纪 50 年代中后期，江心沙尚未并岸，但滩面较高，进入北支的水流有两股：主流从崇明西沿向北；另外约 25% 的水流走江心沙北汊。两股水流在圩角港附近汇合后沿北岸下行。

1954 年通海沙围垦成陆，1957 年通海沙并北岸，1958 年北岸开始进行一系列围垦工程，岸线变化见图 2。1962 年江心沙围垦成陆，江面由原来的 15.7 km 缩窄至 5.7 km，1970 年 1 月江心沙北汊封堵，到 1979 年全部淤积成陆，1992—1999 年，长江北支进口左侧圩角沙围垦工程实施，上游径流仅能从崇明西沿进入北支，与大江主流成近 90°

交角，入流不畅，进入北支的落潮量不断减少，使北支由落潮槽向涨潮槽转化。随着北支的萎缩淤浅，尤其是进口段的江面缩窄、河床抬高，北支出现水沙盐倒灌南支的现象。该现象始于 1959 年，20 世纪 70 年代倒灌现象最为严重，北支上口口门处出现舌状淤积体，对北支入流和白茆沙北水道产生不利影响。

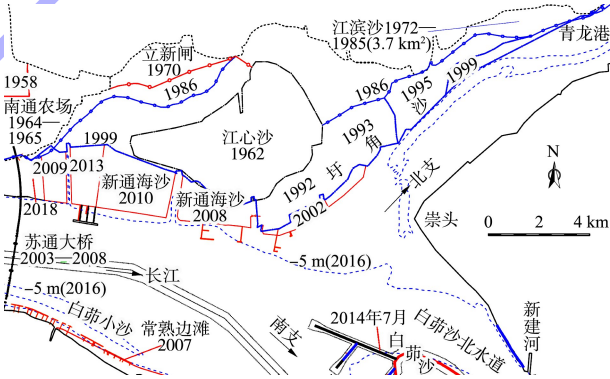


图 2 徐六泾河段岸线变化

2.2 近期演变

长江北支河床平面变化受水动力和边界条件改变的影响较大。随近年来北支中、下段规划整治工程实施，保持相对稳定态势，而规划工程未实施的进口段滩槽则呈现较为剧烈的变化。

2.2.1 进口段深槽变化

1980—1999 年，进口段主槽位于崇明侧，-3 m 槽贴右岸进入北支口，如图 3a)、b) 所示。1999 年后，受南水道南侧近岸太仓边滩围垦以及上游河势、来水来沙等因素影响，白茆沙冲刷后

退, 白茆沙南北水道南强北弱格局增强, 北水道分流比减小, -10 m 槽中断, 北支崇明侧主槽逐渐淤积, 其上游海门侧近岸深槽发展, 2004 年 -3 m 槽贯通, 主深槽稳定在海门侧, 如图 3c) 所示。2010 年开始, 上游徐六泾节点新通海沙整治工程、常熟边滩围垦工程、深水航道整治白茆沙工程相继实施(图 2), 遏制了白茆沙冲刷后退态势, 北水道分流比增加, -10 m 槽重新贯通, 南强北弱格局有所减弱。北水道发展后, 由北水道经崇明侧附近进入北支的水流增加, 进口段崇明侧冲刷发展, 2011 年, 崇明侧 -3 m 线贯通, 海门侧深槽则开始出现萎缩, 如图 3d) 所示。至 2021 年, 长江口北支进口段主深槽稳定在崇头侧, 海门侧深槽萎缩成 -3 m 槽中断的副槽, 如图 3e)、f) 所示。

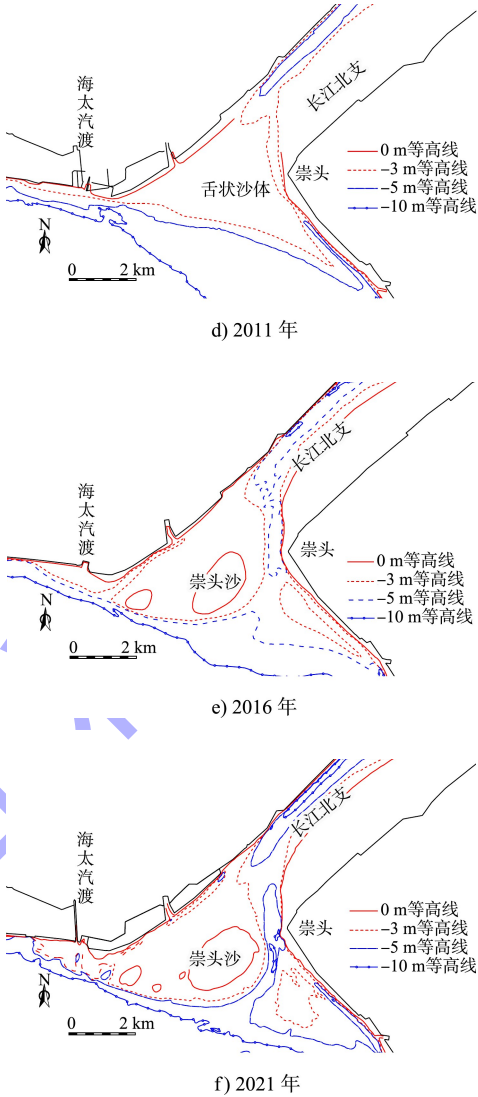
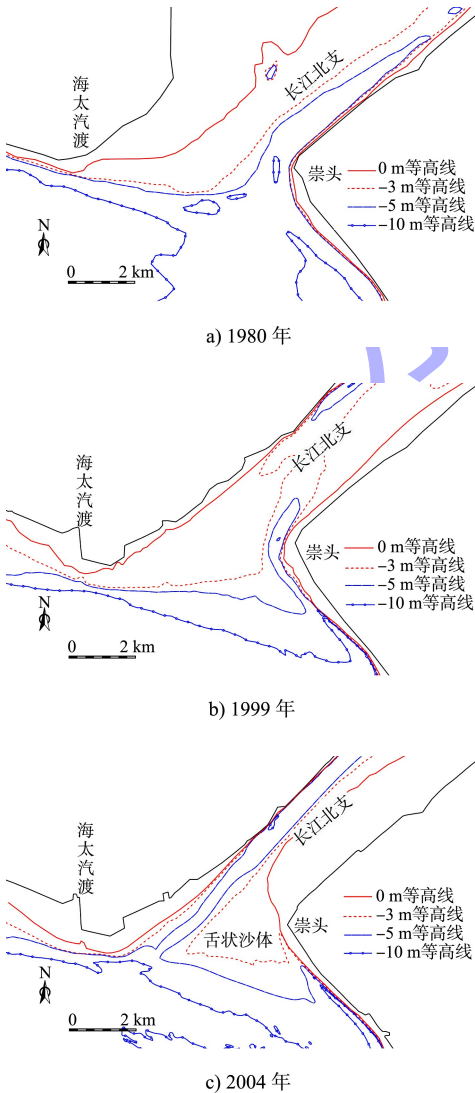


图 3 1980—2021 年北支进口段局部河势

综上分析, 近年来北支进口段深槽“十年河西、十年河东”的变化态势, 其变化与白茆沙周期性冲刷后退及白茆沙南北水道南强北弱的变化存在关联: 当北水道发展、南强北弱格局变弱时, 主深槽走崇明侧; 当南水道发展、南强北弱格局增强时, 主深槽改到海门侧。

2.2.2 崇头沙变化

在北支进口段两侧深槽交替发育、萎缩的过程中, 两深槽间的沙体依旧存在。

北支口浅滩 -1 m 等高线特征值见表 1、图 4。经分析可知, 1999—2012 年间, 沙体最高顶高程均在 0 m 以下, 为崇头暗沙; 1999 年后, 崇头暗沙发育, 其 -1 m 线的面积, 由 0.2 km^2 增加至 2010 年的 0.5 km^2 ; 2010 年后, 随周边整治工程

相继实施，以及北支中下段新村沙等围垦工程实施影响，暗沙快速发育；至 2012 年，-1 m 线面积快速增加至 2.0 km²；2021 年 7 月，已增加至 6.9 km²。

表 1 1999—2021 年北支口浅滩变化

时间	-1 m 线面积/km ²	0 m 线面积/km ²	顶高程/m
1999 年 1 月	0.2	0.0	-1.0
2004 年 9 月	0.0	0.0	-0.5
2008 年 5 月	0.1	0.0	-0.8
2010 年 3 月	0.5	0.0	-0.4
2012 年 7 月	2.0	0.0	-0.4
2013 年 8 月	4.7	0.5	0.2
2014 年 12 月	5.9	0.7	0.6
2016 年 9 月	6.6	1.9	1.4
2018 年 12 月	6.8	1.9	1.8
2020 年 10 月	7.3	3.0	1.8
2021 年 7 月	6.9	2.6	1.8

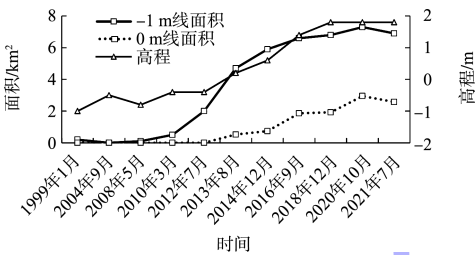


图 4 崇头沙-1 m 线、0 m 线特征值变化

由表 1 可知，至 2013 年，崇头暗沙顶高程为 0.2 m，0 m 线面积为 0.5 km²，落潮时期沙体已露出水面，崇头暗沙已发展为崇头沙；2014 年，深水航道整治一期白茆沙工程实施，河床有所调整，崇头沙进一步发育；至 2020 年，沙体 0 m 以上面积进一步增加至 3.0 km²，顶高程增加至 1.8 m，一个涨、落潮周期内，沙体大多数时期均露出水面；2020—2021 年期间，沙体面积和顶高程没有明显变化，表明这两年崇明沙变化趋缓。

3 北支进口段演变成因及其影响分析

3.1 成因分析

北支进口段涨潮分流分沙明显大于落潮分流分沙。由于北支进口段深槽会在进口左右岸变化，或者同时出现左右侧近岸，两深槽间沙体已发育为崇明沙，其形成原因主要有：

1) 入流不畅。随北支口门附近一系列整治工程实施，北支进口段与大江主流成近 90°交角，入流不畅，20 世纪 90 年代至今北支分流比仅占 1.7%~4.7%，枯季相对较小。进流条件的进一步恶化，北支有可能进入新一轮快速萎缩期。

2) 涨落潮动力减弱。2003—2011 年北支-2 m 以下河槽容积减小约 1.76 亿 m³，减幅约 19.5%；2011—2018 年减小约 0.42 亿 m³，减幅约 6.0%。北支自然淤积萎缩速率减缓，涨落潮动力减弱。使得北支进口崇头暗沙发展壮大，进入北支的径流进一步减少，相应潮汐作用增强。涨潮带进的大量泥沙在北支沉积，又致使河槽淤积，北支下泄径流的能力大幅降低。

3) 北支高含沙量。目前北支进口已形成东侧主槽和西侧副槽的双槽格局，两槽间成为涨落潮缓流区。北支含沙量远高于南支，北支涨潮期含沙量高于落潮期，对于涨潮流占优的北支来说，高含沙量为崇明沙的发展提供了丰富的沙源。

4) 口门向上游快速放宽、涨落潮流路分离。北支进口处崇头沙断面宽约 7 km，口门内 4 km 处河宽不足 3 km，0 m 线宽仅 1.0 km 左右。口门向上游快速放宽，导致水流减缓；同时，涨潮初期南支上溯的主流沿崇头侧进入北支，在北支上段与北支下游上溯的涨潮流汇合后偏海门侧上溯，落潮时主流在海门侧与崇侧，涨、落潮流路分离，中部易滋生心滩。

3.2 影响分析

1) 影响北支入流。崇明沙发展，影响北支涨落潮分流，减小北支涨落潮分流比，可能使北支衰退加快。

2) 影响白茆沙北水道分流，增强南强北弱格局。北支口门外淤积，向南挤压白茆沙北水道进口段水流，水流南偏，使北水道分流减小，加强白茆沙汉道南强北弱的变化趋势。

3) 影响北水道航道。北支口门外淤积，进口深槽位于崇头一侧，涨潮泥沙进入白茆沙北水道中下段，北水道航道内出现淤积浅滩，有时水深不足 4.5 m，影响北支航道。

4)影响上游码头。北支口门外淤积向西南延伸，影响到海太汽渡及上游北侧沿岸码头、入江口门的正常运行。

4 北支进口段治理研究

4.1 北支整治现状

为延缓北支自然淤积萎缩速率、减轻北支咸潮倒灌南支、改善北支航运条件，规划整治目标为“北支整治采用中缩窄方案，并考虑通过上段疏浚措施，改善上口进流条件，增加北支分流比，适当改善北支上段航道，同时对北支崩岸段和整治工程实施后近岸流速增加的岸段加强守护”。

依据规划，水利、航道等部门实施了大部分河道治理工程。其中，河道整治有：徐六泾节点整治工程以及新村沙、北支下段北岸边滩、连兴港外边滩、崇明岛北沿围垦等整治工程；航道整治有：白茆沙整治等工程。通过上述工程的实施，缩窄了北支河宽，减小北支涨潮量，减轻咸潮倒灌南支，河道淤积萎缩速率减缓，长江口三级分汊、四口入海的河势格局明显增强。但规划北支上段疏浚等工程没有实施。

4.2 北支进口段治理效果

根据《长江口综合整治规划(2021—2035 年)》^[11]，结合北支的演变趋势，以改善入流、适当增加分流为目的，对北支进口左侧进行疏浚。按 2004 年的河型，白茆沙进口段深槽位于左侧(图 3c))，其后，由于白茆沙冲刷后退，白茆沙北水道萎缩，至 2013 年，进口段主槽已移位至右侧。2014 年实施的深水航道整治白茆沙工程，其头部潜堤的位置为 2004 年-5 m 线位置，其整治工程布置是符合《长江口综合整治规划(2021—2035 年)》的。因此，本次北支进口段的整治，依据该规划，继续布置在左侧，疏浚工程总长约 6.3 km，底高程-5 m，进口、中段、出口宽度分别为 1.5、0.5、0.4 km。

研究表明^[12]，疏浚工程实施后潮位变化主要集中在工程附近。高潮位变化不明显，低潮位的变化主要表现为疏浚区及其上游侧水位略有降低、

下游侧水位则略有抬高，幅度均在 0.01 m 以内；洪季大潮条件下，疏浚区域流速略有增加且幅度一般在 0.03~0.10 m/s，崇头侧流速有所减小，最大减幅约 0.2 m/s，北水道进口流速略有增加，如图 5 所示。洪季大潮落潮条件下，北支进口断面分流比增加约 0.1%。可以看出，北支口疏浚工程实施后，增加北水道左侧主槽的涨落潮流速，北支洪季大潮落潮平均流量分流比增加 0.1%，达到了治理目的。

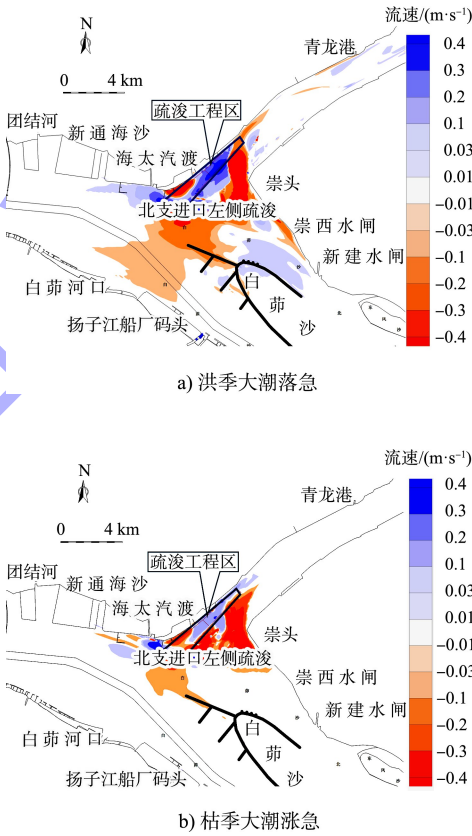


图 5 疏浚工程实施后涨落潮流速变化

5 结论

1)由于北支进口段与大江主流成近 90°交角致入流不畅；中下段经多次围垦河道缩窄后，进口流量减小致涨落潮动力减弱；北支高含沙量；口门向上游快速放宽、水流分散等因素影响，北支进口中部易滋生浅滩。

2)北支进口段浅滩经历了舌状沙体→崇头暗沙→崇头沙的发展变化，其发展影响北支入流条件和白茆沙北水道的进口段水深条件，成为影响河势稳定和航道水深的不利因素。
(下转第 169 页)