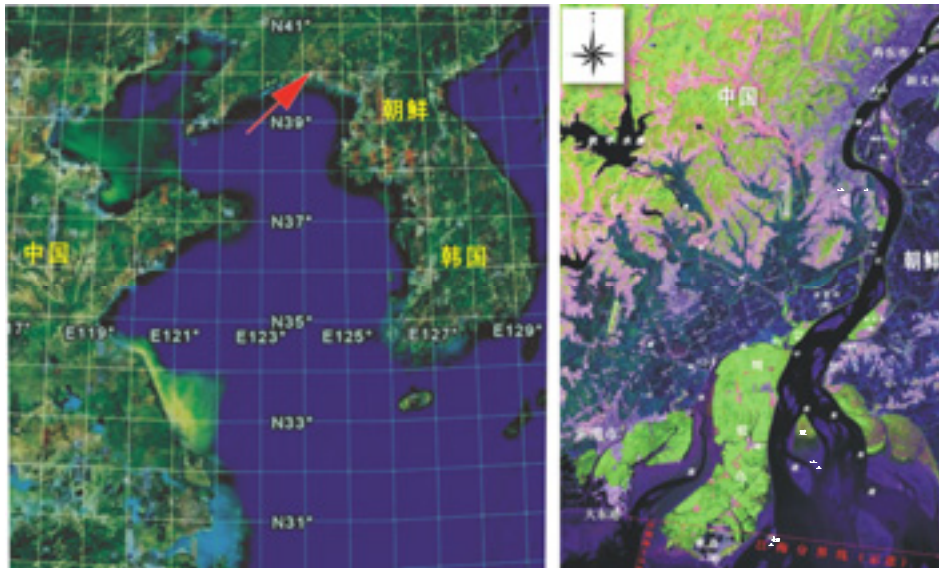


西部交通建设科技项目

合同号：2006 328 000 122

鸭绿江航道整治关键技术研究

研究报告(简 本)



丹东航道管理处

交通部天津水运工程科学研究所

2009年9月

项目研究报告辑要

中文题名	鸭绿江航道整治关键技术研究		
英文题名	<< Research on the key technique of channel regulation of Yalu River estuary>>		
交通编号		项目来源	交通部
单位编号		合同号	2006 328 000 122
分类号		起止时间	2006年10月—2009年6月
第一完成单位	丹东航道管理处		
参加单位	交通部天津水运工程科学研究所		
项目负责人	毛爱华	执行 负责人	杨奇
	董学让		郑宝友
			季晓光
报告主要编写 人员	毛爱华 董学让 杨奇 曹玉芬 高峰 陈汉宝 李焱 季晓光		
主要 参加 人员	毛爱华	工程师	
	董学让	高工	
	郑宝友	教授级高工	
	杨奇	工程师	
	马志刚	高工	
	高伟	工程师	
	季晓光	高工	
	陈汉宝	研究员	
	曹玉芬	副研究员	
	高峰	副研究员	
	李焱	副研究员	
	孙精石	研究员	
	周华兴	研究员	
	孙连成	研究员	
	王丽杰	工程师	
王波	工程师		

报告摘要:

鸭绿江多年来河道演变导致太平湾电站以下航道形成多处浅滩,船舶通航困难。浪头港至江海分界线段航道受浅段限制,1000吨级以上船舶乘大潮方可通航;而主要的出海通道西水道退化成潮沟,失去通航能力。

由于淤积主要发生在朝鲜岸侧,使朝鲜的陆域面积不断增加,而中国岸坡处于受冲地位,国土防护压力增大,应进行航道整治工程,以维护和保持中朝两国边界线稳定。

鸭绿江口地处黄海北端,冬季受冰凌的侵蚀,受流冰的作用,每一年冬季航标损失惨重,影响船舶通航安全。

针对丹东浪头港至江海分界线(28 km)航道整治段的水文、泥沙及水深地形进行现场实测和资料搜集,分析研究整治段的径流、潮流场特征,泥沙来源及冲淤机理以及流冰对航标破坏,提出多汊型航道整治措施和航标防冰措施,以改善鸭绿江出海航道条件,使鸭绿江中朝友谊桥至江海分界线段航道满足III级航道定级标准,达到让1000t级船舶全天候通航,3000t级船舶乘潮通航。提高丹东港综合通过能力,保证丹东通往国内、国际各港水上路线的安全畅通,满足当地经济发展需要,对保护我国国土,维护中朝边界现状均具有十分重要的意义。

引言

鸭绿江发源吉林省长白山天池，全长 795km，流经辽宁省境内 256km。鸭绿江上游共有四座（云峰、渭源、水丰、太平湾）水电站，均未设置通航船闸，导致航道只能局部段通航。丹东市位于鸭绿江下游，鸭绿江大桥以上航道定为VI级航道，以下航道定为III级航道。

由于航道多年演变，形成多处浅滩。太平湾电站至鸭绿江大桥 40.6km 航道只有小型的旅游船舶航行，鸭绿江大桥至江海分界线 39km 航道 1 千吨船舶也要乘潮航行，使港口设计吞吐量难以满足，制约了丹东经济的发展。

项目的总体目标：

(1) 通过鸭绿江（浪头港至江海分界线）河床航道泥沙淤积规律及整治措施研究，提出多汊型航道的整治措施。

(2) 通过整治措施的研究，使鸭绿江中朝友谊桥至江海分界线段航道满足III级航道定级标准，达到让 1000t 级船舶全天候通航，3000t 级船舶乘潮通航的目标。

(3) 通过鸭绿江流冰规律以及流冰对航标的影响分析，提出航标防冰措施。

研究主要内容：

专题一、鸭绿江航道（浪头港至江海分界线段）整治段水文、泥沙分析研究

专题二、鸭绿江河床航道泥沙淤积规律及整治措施研究

专题三：鸭绿江河口流冰对航标的影响分析研究

1 主要研究内容

1.1 专题一《鸭绿江航道（浪头港至江海分界线段）整治段水文、泥沙分析研究》主要内容

研究技术路线是：

(1) 根据项目任务书的要求，编写研究工作大纲，并请有关专家进行大纲的评审，在充分完善工作大纲后，即以工作大纲为基础开展工作。

(2) 资料搜集与现场踏勘。广泛搜集鸭绿江河口的历史资料（包括水文、气象、泥沙、地形地貌、流冰冰况等）和相关设计与科研成果，搜集国内外相关河口工程的航道整治研究成果，针对目前鸭绿江航道现状、碍航和影响通航安全的主要因素等进行研究，确保研究成果的先进性和实用性。

(3) 水文泥沙全潮现场测量。为了解目前鸭绿江航道整治工程附近水域的潮流运动规律和泥沙情况，同时为潮流和泥沙运动数模试验提供试验依据和必要的水文参数，于 2008 年 8 月 19 日~8 月 26 日期间，开展了潮流、悬移质含沙量、盐度、表层底质取样等水文测验工作。

(4) 水文、泥沙分析研究。通过对鸭绿江口水文泥沙和地形等历史资料和本次水文泥沙全潮测量资料的对比分析，对整治河段的航槽及浅滩演变、泥沙运动规律等进行研究，提出整治原则和初步的整治工程方案。

实施方案是：

(1) 通过对历史资料和本次实测的水文泥沙和地形资料进行整理分析，深入了解鸭绿江河口的水文泥沙和地形地貌特征；

(2)通过对比不同历史时期的地形图和泥沙变化,分析航槽及浅滩历史演变情况、航道地貌与水沙关系,从而进一步分析整治河段泥沙运动规律;

(3)总结国内外主要河口整治实例与经验,结合本航道的实际情况,提出整治原则和初步的整治工程方案。

1.2 专题二《鸭绿江河床航道泥沙淤积规律及整治措施研究》主要内容

研究技术路线是:

建立二维潮流泥沙数学模型,对潮位、含沙量和地形冲淤进行验证,验证结果满足有关规程规范要求后,结合航道整治措施的不同方案进行模拟计算与分析,提出多汊型航道的整治措施。

实施方案是:

主要通过建立二维水流泥沙数学模型,对不同航道整治措施方案进行模拟计算与分析,提出多汊型航道的整治措施。具体实施方案如下:

- (1) 建立二维水流泥沙数学模型
- (2) 确定模型计算范围
- (3) 数值计算求解和模型验证
- (4) 现状计算及分析
- (5) 整治措施研究

1.3 专题三《鸭绿江河口流冰对航标的影响分析研究》主要内容

研究技术路线是:

结合潮流数学模型成果,分析整治河段流冰的运移特点和趋势,及其对航标的影响,提出防冰措施。

实施方案是:

(1) 搜集资料,系统总结鸭绿江河口的冰情冰况(包括冰期、冰型、冰厚、流冰速度等);

(2) 了解鸭绿江河口流冰对航标的破坏情况;

(3) 结合二维水流数学模型计算和对水文气象条件的分析,分析整治河段流冰运移特点;

(4) 分析计算了冰对航标的作用力,总结了流冰对航标破坏作用机理;

(5) 调研目前抗冰航标的发展状况,提出航标防冰和保护措施的基本原则。



航标

通航水域

关键技术与创新点

解决的关键技术和创新点：

1、利用有限的历史和实测资料，对鸭绿江口水文泥沙特征、地质地貌特征和冲淤演变特征进行了较为系统的研究和论述，提出有针对性的整治方向和原则，成果具有一定的实用性和创新性，可为后续研究提供可靠的技术支撑。

2、针对鸭绿江河口河道分汊及航道不稳定条件，采用平面二维潮流、泥沙数学模型，对四个工程整治方案进行了数值计算，并详细分析了各方案整治效果和工程量对比情况，提出了推荐方案，达到航道整治目标。

3、系统分析总结了鸭绿江河口的冰情冰况和流冰运移特点，计算了流冰对航标的作用力，总结了流冰对航标破坏作用机理，并提出航标防冰和保护措施的基本原则，成果可为该海域港口和航道建设以及水上防冰害提供参考，具有一定的实用性和创新性。

2 主要研究成果

3.1 专题一

(1) 径流与输沙

受上游电站（云峰、渭源、水丰和太平湾电站）调节的影响，年入海水量和入海沙量均呈递减趋势，因此径流来水来沙对河口淤积的影响在逐步减弱。

(2) 潮汐

鸭绿江口属强潮河口，口外浅海的潮汐属于规则半日潮，平均潮差达 4.51m，最大潮差为 7.60m，2000 年和 2008 年两次实测资料相比，西水道与主航道交汇处的一撮毛水域潮位特性没有发生显著变化，说明多年来潮位仍保持原有特征与变化规律。

(3) 潮流

该工程水域潮流性质属于规则半日潮流。潮流表现为往复流，涨、落潮最大流速

分别为 2.08m/s 和 1.90m/s。大潮涨、落潮流历时分别为 4h08min 和 8h10min；小潮涨、落潮流历时分别为 4h50min 和 7h52min。落潮流历时大于涨潮流历时。

(4) 波浪

根据邻近大鹿岛观测站 10 年的统计资料，0.6m 以下波浪占 97%，其中西水道口处的大东港实测最大波高 1.1m。

(5) 气象条件

气温：根据 1951~1980 年资料统计分析，年平均气温为 8.5℃；最冷月 1 月的平均气温约-10℃。

降水：丹东地区降水量较多，在 6~9 月，占全年降水量的 75%左右；日降水量 ≥ 25mm 的年平均天数为 9.8d。

风况：丹东处于中纬度东亚季风区，季风明显，全年 ≥ 6 级风的天数为 39.7d。

冰冻：本地区冰期一般为 12 月上旬至次年 3 月中旬，总冰期 100 天左右，盛冰期 45 天左右，最大冻土深度约 88cm，平均年冰冻日数约 143.3d。

(6) 含沙量

① 含沙量与潮型关系密切，大潮涨、落潮段平均含沙量大于小潮。

② 本区含沙量最大处位于斗流浦和中水道、东水道附近；同时，江桥以下至昌岩岛附近均呈现涨潮平均含沙量大于落潮平均含沙量的趋势，至江海分界线附近的主水道出口处趋势则相反，表现为落潮平均含沙量大于涨潮平均含沙量。

(7) 底沙

2008 年的水文泥沙全潮测量中，共 91 个取样点。物质主要为粗砂、粗中砂、中细砂、砂质粉砂及粉砂，从中可知：

① 河道内表现出沉积泥沙较粗的特征。河道各断面平均中值粒径为 0.3536mm。

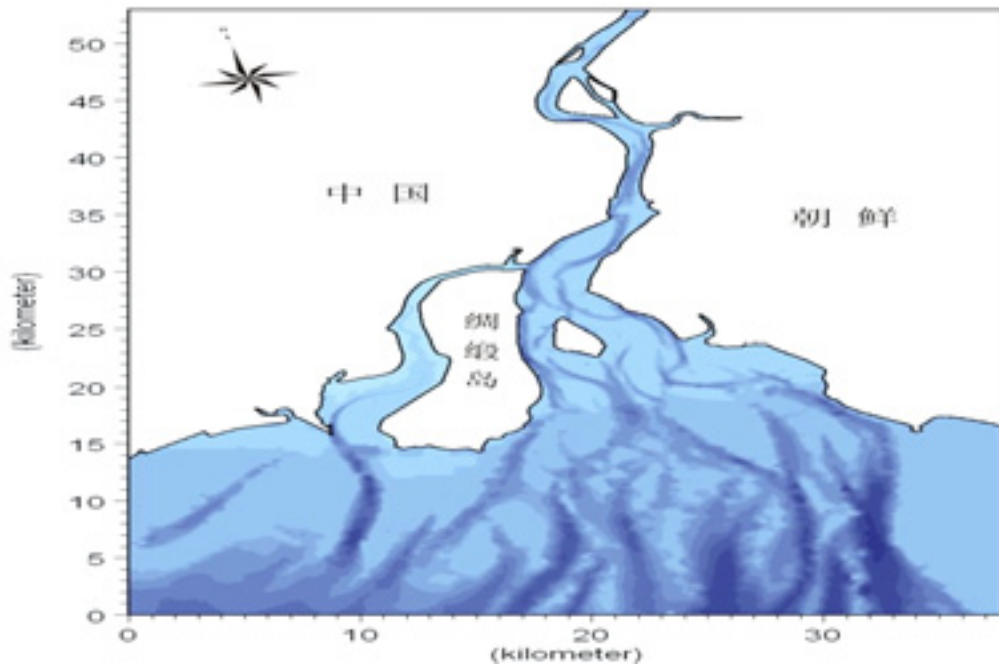
② 河口区各断面平均中值粒径为 0.3217mm，较河道内偏细，并表现出西部大于东部的特征。

(8) 盐度

2008 年 8 月的水文泥沙测验中，盐度测量表明：

① 鸭绿江河道内，受鸭绿江来水影响，径流占主导，潮流作用较小，因此，盐度变化较小，盐度值在 1‰左右。

② 位于河口区附近，受鸭绿江来水和潮水的共同作用，落潮时盐度较低，涨潮时盐度显著增加，盐度变化较大。

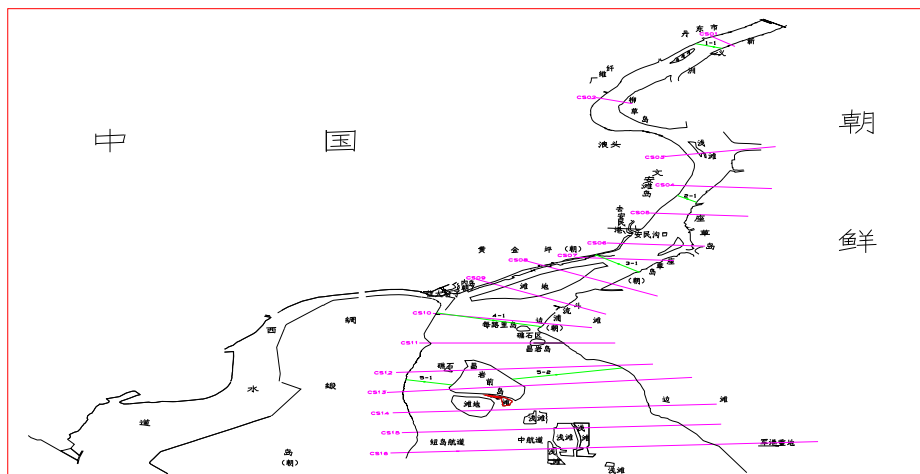


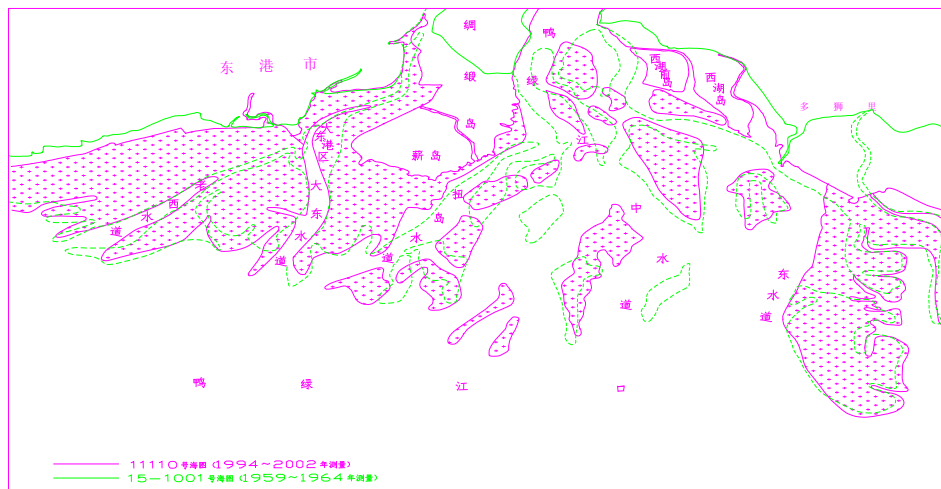
(9) 地形地貌特征

- (1) 鸭绿江河口的谷地形态
- (2) 漏斗状的河口湾
- (3) 河口浅滩
- (4) 分流分叉河床特点

(10) 河口冲淤演变

对 2000 年 5 月和 2008 年 8 月整治段 16 个断面（下图）的实测地形进行比较，从对比结果可知，除座草岛、文安滩和柳草岛附近 4 个断面外均表现冲刷状态外，其他位置处的断面均处于淤积状态。





不同时期海图口门浅滩对比情况

结合 60 年代与 2000 年前后的海图对比，江海分界线以外区域，经过几十年水动力条件的长期作用，岸线、浅滩和水中浅滩、水中岛屿以及等深线位置均有不同程度的变化，其中朝方岸线明显向江口一侧推移，表现为淤积状态；口门处新增几处浅滩，浅滩形状略有变化-5m 和-10m 等深线有淤涨也有后退，但总体数值上变化不大。

(11) 泥沙运动规律

鸭绿江河口段的泥沙来源主要包括三个方面：

①径流来沙②海域来沙③其他来沙，主要指人类开发活动中产生的污泥淤积等。

(12) 动力因素分析

河口地区是河流作用和海洋作用的交汇地带，水动力条件复杂，其中径流、潮流和波浪是泥沙运动的三个主要动力。

鸭绿江是强潮河口，泥沙运动比较活跃，在径流、潮流及人为因素的作用下，形成了口内浅滩和多汊型水道，泥沙运动活跃，河床和航槽不稳定。通过上述对河口水文泥沙特征和河床冲淤演变分析，以及对国内外河口整治的经验总结，提出整治措施，主要针对疏浚和疏浚与工程整治相结合的方式。

(13) 鸭绿江河口航道整治基本原则

(1) 严格遵守中朝两国政府签订的边界条约、协议书和双方历次会议纪要等有关规定，在维护国土完整的前提下，不危及双方利益；

(2) 全面规划、统筹兼顾，保证鸭绿江水资源的综合利用，合理利用航道资源，并为今后港区、航道的发展留有余地。

(3) 航道选线应顺应河势，尽量利用自然水深和现有的航道设施，以减少航道工程投资和维护工程量；

(4) 航道选线应选船舶航行条件较好的水域，航道区域应浪稳流顺，航线顺直，转向区域宽阔，转角小；

(5) 浪头港~江海分界线的治理采用整治与疏浚相结合的工程措施，通过疏浚方法确保现有航槽通畅与稳定，同时以导流堤维护岸滩和水道深槽的稳定；

(6) 航道整治的断面形式应与潮汐动力相吻合。在鸭绿江易分汊水道范围应采

用疏浚为主、潜堤或出水导堤束流攻沙为辅；

(7) 在斗流浦宽浅河段宜采用束窄过水断面、减少宽浅河段宽度的措施，加强错口过渡性浅滩涨落潮流速，使上、下深槽航道贯通和维护该航段水深的稳定。

3.2 专题二

(1) 整治航线选择

整治航道延用现有主航道，即经文安滩、斗流浦、每路里、中水道至河口江海分界线，全长约 28km。利用已有的航道设施，既可减少航道工程投资、航线较为顺直，又可利用目前深槽水深，且维护了界河现状。

(2) 整治方案计算与分析

通过对鸭绿江水文泥沙和岸滩演变分析，掌握分汊型河道治理中对河流河势关键节点的控制，结合整治原则和要求，提出四个整治方案。方案计算潮型采用 8 月 19 日~20 日的大潮，为能反映整治工程前后流场的变化，对浪头港、一撮毛、大东港三个潮位站进行监测，并在工程区整治段沿程布置水流测点和测流断面。

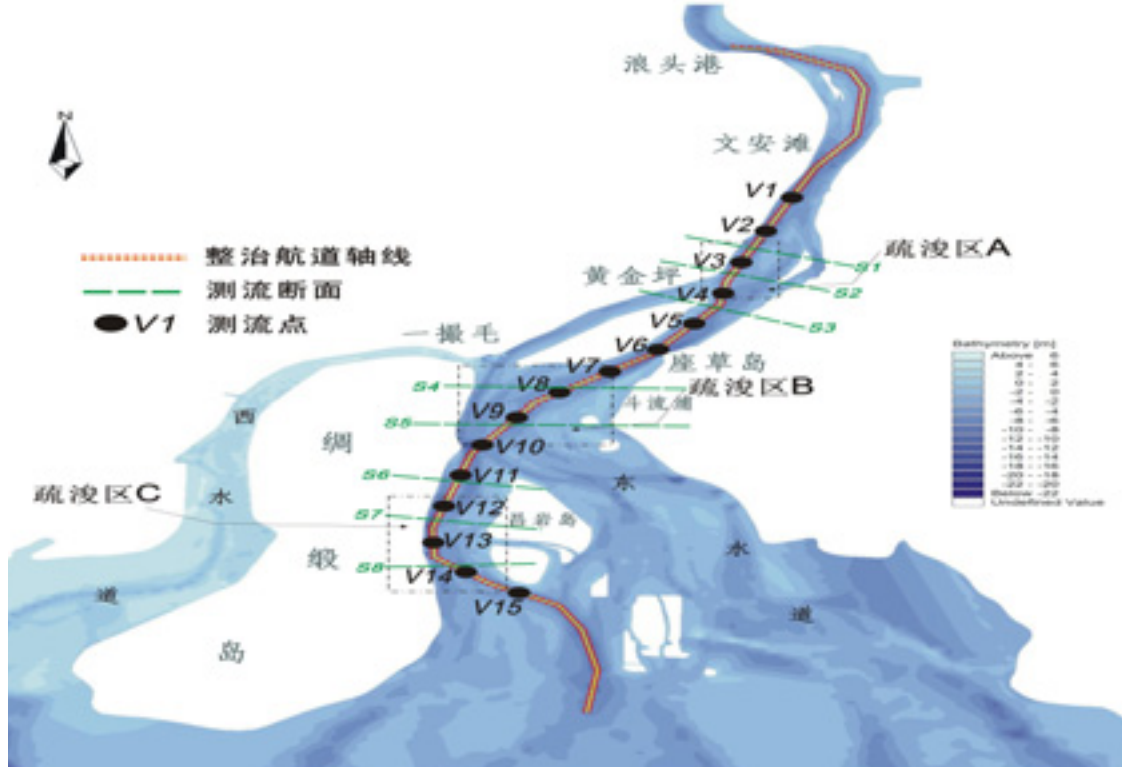
计算内容包括：①对各方案的水流进行计算，分析流场、流速、和水位的变化；②对各方案泥沙冲淤情况进行计算，分析航道泥沙冲淤分布和整治后的航道水深。

(3) 方案概述

(1) 整治方案一

根据航道整治标准，采用航道浅段疏浚方法。疏浚工程范围为 29#~30#浮浅段约 1.8km，平均挖深 1.2~3.5m；斗流浦下段 26#浮至每路里浅段长 3.5km，平均挖深约 0.3~0.6m；昌岩岛、绸缎岛间 1-15#~2-13#浮浅段约 2.2km，平均挖深约 0.1~0.3m。上述主要三处浅段共 7.5km，疏浚总量约 81.2 万 m³。

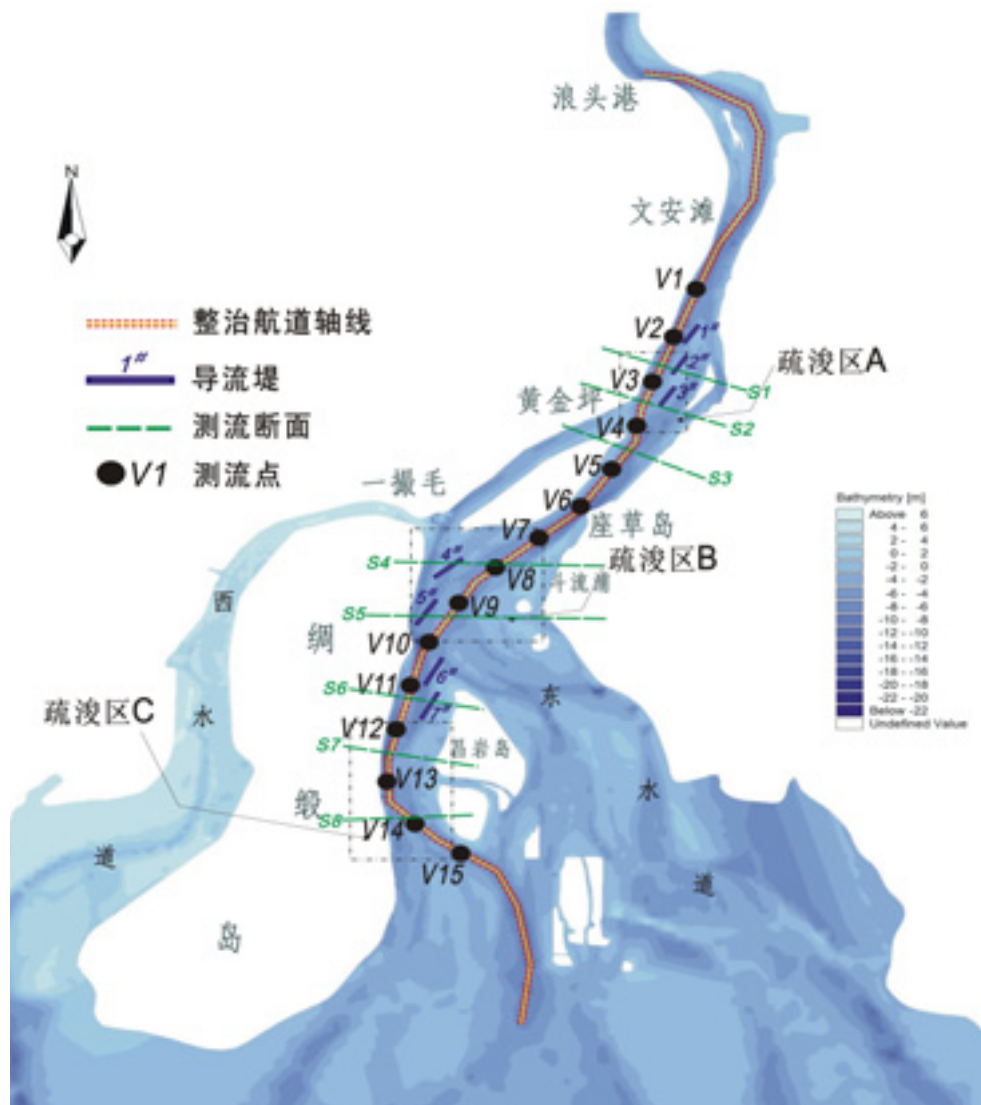
整治措施方案一（疏浚方案）示意图



(2) 整治方案二

在方案一基础上，分别在黄金坪附近浅段、斗流浦附近浅段布置共计 7 条导流堤，一方面归顺主流方向，主槽统一，另一方面改善局部水流条件，并在对应浅段开挖，形成满足通航标准的水深要求，其中文安滩~黄金坪段布设导堤 3 条（1#~3#），长度均为 800m，斗流浦下段（西水道上口以东）布设导堤 2 条（4#和 5#），长度均为 1200m，导堤顶高程+7.0m。同时为进一步疏通中水道，在斗流浦以下中水道入口处，即昌岩岛北端增设导流堤 2 条（6#和 7#），长度均为 1000m，使涨、落潮流均能沿统一深泓线运动，使该区域上下深槽相衔接，更有利于维持水道稳定，同时对扭岛水道、中水道交汇处进行疏浚，使中水道主槽统一。

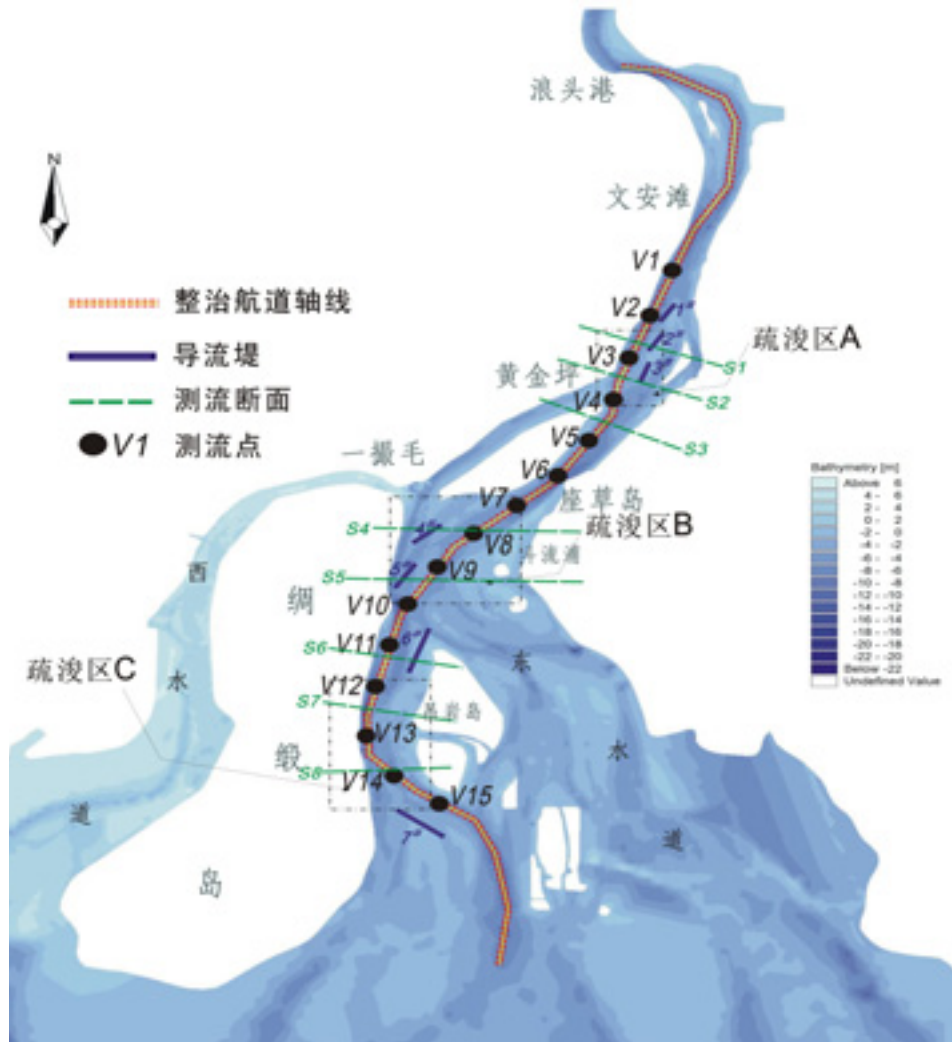
整治措施方案二（疏浚+导堤方案）示意图



(3) 整治方案三

在方案二基础上进行调整，将文安滩~黄金坪段的第三条导堤（3#堤）走向逆时针旋转约 15° ，使之与主流向尽量一致，长度不变。为了改善斗流浦以下中水道入口区域受导堤束窄影响而流速趋缓的不利情况，该处减少两条导流堤合并为一条，保留的6#导堤，其走向也进一步适应涨落潮流向，长度延伸为 1400m，以提高涨、落潮流动力。同时在中水道、扭岛水道分叉处增设导流堤（7#堤），长度 1400m，以提高中水道落潮动力。

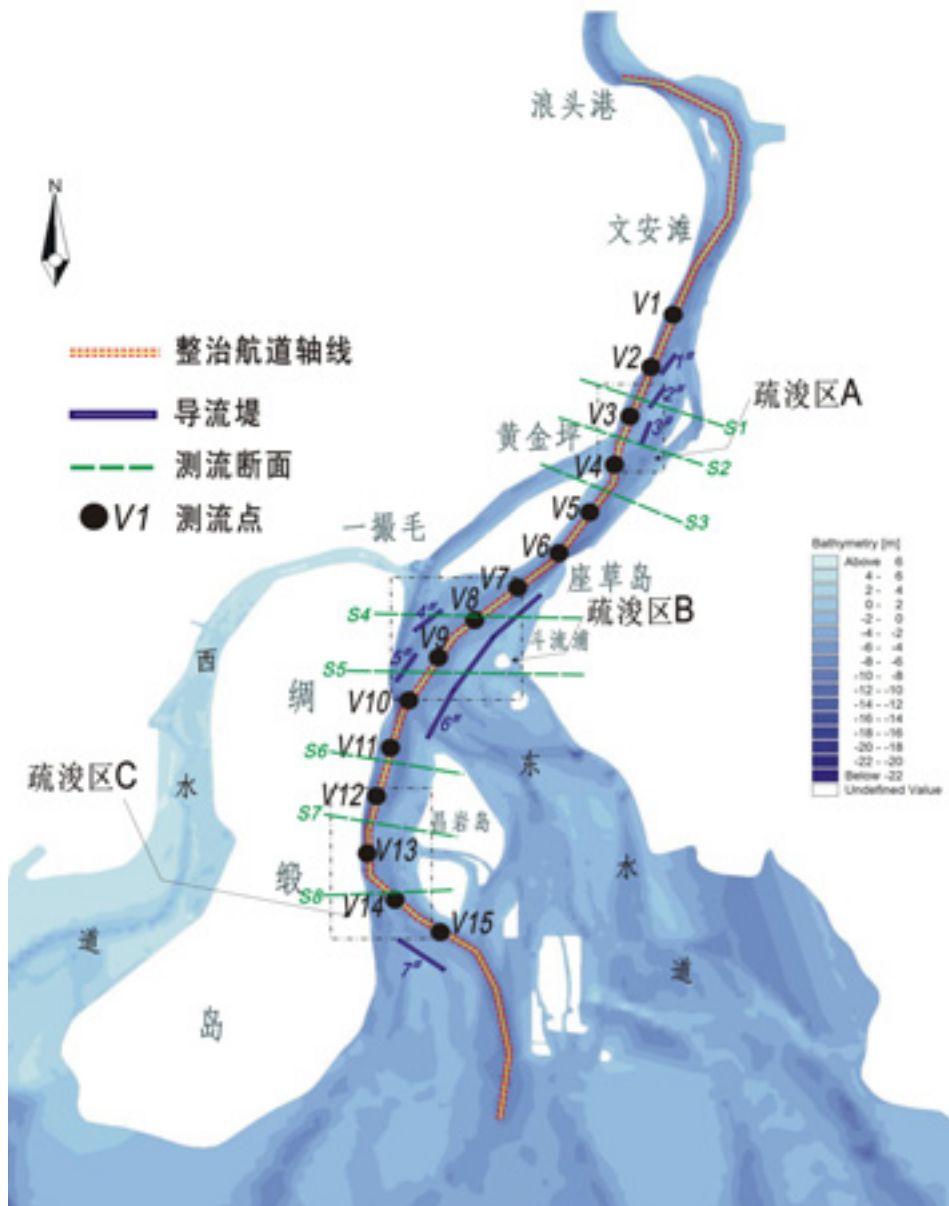
整治措施方案三（疏浚+调整导堤方案）示意图



(4) 整治方案四

在方案三基础上进一步调整，也是基本上隔断东水道，使主流集中由中水道进出的一种尝试方案。方案中将斗流浦以下至中水道入口区域的导流堤（6#）沿浅滩等深线向北延伸至座草岛外侧，整体走向适应主流向，总长度为 4000m，以提高该扩散段的涨、落潮流动力。

整治措施方案四（疏浚+隔断东水道）示意图



(4) 方案比较及推荐方案

四个方案工程量、优缺点比较见下表

方案	工程量	主要研究结论
方案一	3处堤段疏浚 (约81.2万m ³)	(1) 最大流速增幅7.2x, 受开挖影响疏浚区多处动力减弱; (2) 整治段全程平均淤强0.24m/a, 最大淤强0.39m/a, 航道总淤积量约60.1万m ³ ; (3) 满足1000吨级通航水深, 局部淤段仍难以维持3000吨级通航水深。
方案二	3处堤段疏浚 (约81.2万m ³) 7条导流堤总长6.83km, 堤顶高程+7.0m	(1) 最大流速增幅31.2x, 受导堤影响流速普遍提升, 局部流速进一步改善; (2) 整治段全程平均淤强0.26m/a, 最大淤强0.39m/a, 航道总淤积量约64.7万m ³ , 导堤引起局部淤积增加; (3) 满足1000吨级通航水深, 局部淤段难以维持3000吨级通航水深。
方案三	3处堤段疏浚 (约81.2万m ³) 7条导流堤总长7.6km, 堤顶高程+7.0m	(1) 最大流速增幅30.2x, 受导堤影响流速普遍提升, 落潮潮流态稳定; (2) 整治段全程平均淤强0.24m/a, 最大淤强0.33m/a, 航道总淤积量约59.7万m ³ , 局部淤积缓解; (3) 满足1000、3000吨级通航水深, 达到整治目标。
方案四	3处堤段疏浚 (约81.2万m ³) 7条导流堤总长 10.2km, 堤顶高程 +7.0m	(1) 最大流速增幅150.4x, 受导堤影响流速提升明显, 落潮潮流路低一, 落潮流增强显著; (2) 整治段全程平均淤强0.05m/a, 最大淤强0.58m/a, 航道总淤积量约12.4万m ³ , 整体淤积减弱、冲刷增强, 中水道成为冲刷区; (3) 对整治段水流动力条件改变较大; (4) 满足1000、3000吨级通航水深, 达到整治目标。

结合工程量与整治效果, 推荐方案三, 并建议针对斗流浦以下的扩散段的治理进一步开展研究。

3.3 专题三

(1) 整治河段冰况

冰期、冰型、冰厚及其分布

(2) 气温变化是冰情的决定因素

本海区冬季冰情的演变趋势, 主要受控于冬季气温的高低。即冷冬冰情偏重, 暖冬冰情偏轻。近10年来, 黄海地区冬季的寒冷程度较80年代以前有所偏暖, 冰情较之以前有所偏轻, 其特点是初冰日有所推迟, 终冰日有所提前, 冰期包括盛冰期有所偏短。

(3) 地貌形态易形成海冰

鸭绿江口除西水道、中水道及东水道外, 尚有为数较多的河汊沟槽。这些沟槽两侧分布着许许多多的沙岗和浅滩, 低潮时裸露其外, 高潮时又没于水中, 这些浅滩是海冰固结加厚的重要基地。固定冰在潮流和风浪的作用下会转为流冰。

(4) 海区潮汐和风对流冰的影响大

鸭绿江河口潮差大, 冬季盛行离岸风, 盛冰期和终冰期在大潮期间, 流冰漂移, 对建筑物的影响较大。

该区域航标一般为浮动航标(浮标)。在过去冬、夏季全部采用 $\phi 1.5\text{m}$ 航标的情况下, 航标在冬季受冰排破坏损失严重。九十年代后, 丹东航道管理处在冬季采用 $900 \times 4\text{m}$ 抗撞棒标, 这种航标为钢质材料, 航标体重量约200kg, 混凝土配重, 配重物约80kg, 总重量约280kg, 吃水1.7m。棒式浮标, 既能在潮流作用下, 沿垂直方向

作 360° 旋转，棒体又能被冰块压入下部，当冰块过后仍能直立起来，降低了冬季航标损失。

(5) 破坏情况

碰撞破坏、流冰破坏、人为破坏。

(6) 流冰对航标破坏作用机理分析

冰荷载对航标作用的主要表现形式有：风和水流对航标产生撞击力、风和水流对航标产生挤压力、因温度变化产生的渗胀力。在上述冰荷载中，渗胀力的影响较小，一般不予考虑。

(7) 流冰对航标破坏作用机理分析

冻融损坏、膨胀挤压破坏、静力推压破坏、撞击磨损破坏、上拨作用。

(8) 航标防冰和保护措施

加强冰情观测，把握冰情规律，做好冰情预报，做到未雨绸缪；增强防御意识，合理布置航标；选用具有抗冰能力的航标；在重要航标周围设置防冰桩等结构物防冰；建立航标质量管理体系，有效地提升航标工作的管理水平



4 项目的经济、社会、环境效益及推广应用前景

项目的完成将极大推动鸭绿江的实际工程建设（浪头港至江海分界线整治工程）的实施进度，并为其提供宝贵的技术依据。其成果直接应用于本地区沿江及河口工程建设，达到改善浪头港至江海分界线航道状况，使得 1000t 船舶能全天候通航，3000t 船舶乘潮通航，对提高浪头港港口的吞吐能力，将产生明显的经济效益。

该项目是发展当地经济，提高边境地区居民物质文化生活水平重要途径，是巩固国防、保障战时战争物质需求的需要，对增强我边防船艇的机动性和应对突发事件的能力、维护中朝两国边界稳定均具有重要的意义，因此具有较大的社会效益。本项目的研究成果，也可为国内类似河口的整治工程参考借鉴。