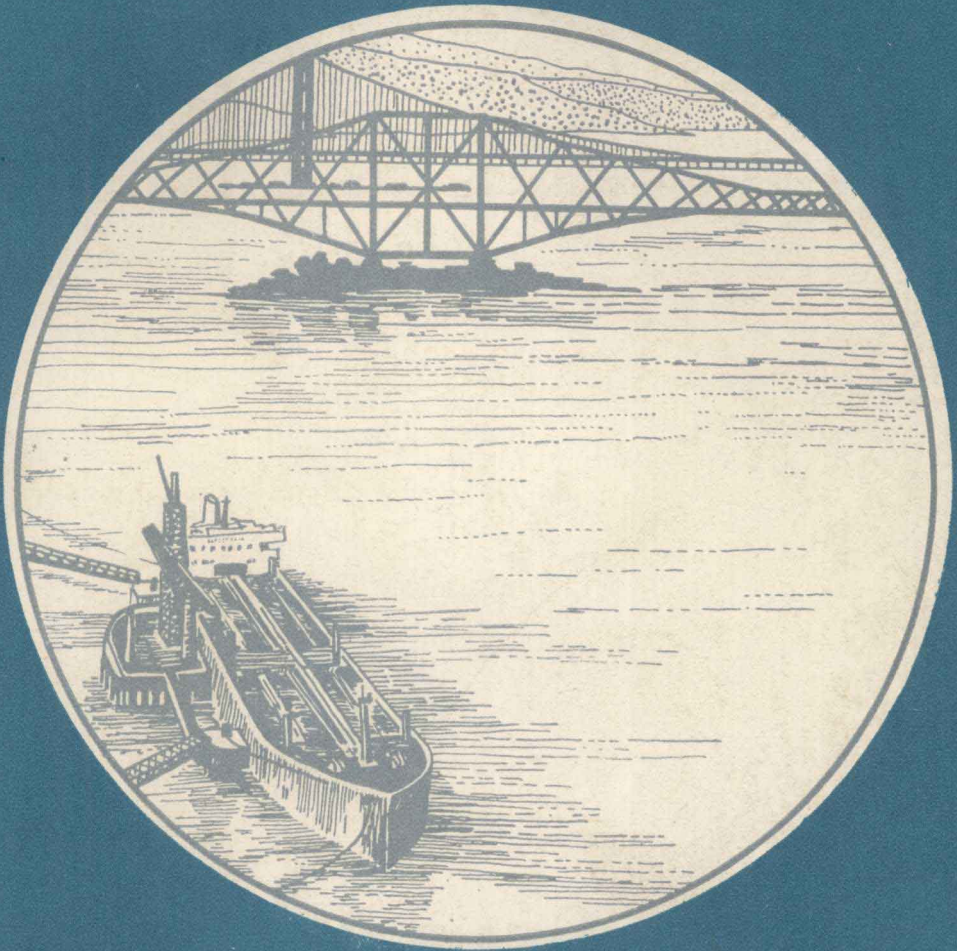


第25届国际航运会议论文选

第五分册 疏浚作业的最优化



交通部水运工程科技情报站

1982

第 25 届国际航运会议论文选

第 五 分 册

疏 浚 作 业 的 最 优 化

本论文选译自第 25 届国际航运会议论文集 SII-2

上海航道局设计研究所编译

前 言

本论文选是选译自 1981 年第 25 届国际航运会议论文集集中的部分论文, 由我站邀请部分成员单位分别编辑成六个分册。论文选各分册的题目和编辑单位为:

第一分册《软基上码头设计和施工》, 第三航务工程局勘察设计院编辑;

第二分册《装卸技术和港口规划设计》, 水运规划设计院编辑;

第三分册《港口建设与海岸防护》, 南京水利科学研究所编辑;

第四分册《冲积航道整治与航深维护》, 长江航道局设计研究所编辑;

第五分册《疏浚作业的最优化》, 上海航道局科研所编辑;

第六分册《航道护坡和护底》, 水运规划设计院编辑。

本论文选在翻译及编辑上如有错误及不妥之处, 请读者批评指正。

交通部水运工程科技情报站

一九八二年十二月

目 录

根特—德尔纳通海运河与根特港进港运河的疏浚工程， 特别是关于排泥区的处理问题	1
米拉米奇航道最经济疏浚计划的研究	10
埃斯堡进港航道的淤积与疏浚	21
岩石爆破以及岩石与粘质土的疏浚	31
塞纳河口、纪龙德河口的最佳疏浚原则和苏伊士运河的 拓宽、加深工程	35
荷兰为航运疏浚最优化所做的努力——对疏浚业各领域 目前状况的评述	64
挪威沿海的铲斗式挖泥船的设计与施工	78
韦尔瓦港拦门沙进港航道的研究	89
澳大利亚，新南威尔士州肯布拉港和纽卡斯尔的两大疏浚工程	100
确定能降低费用的疏浚周期中的若干因素	112
从实际成果看疏浚周期的最优化	133

根特—德尔纳通海运河与 根特港进港运河的疏浚工程 特别是关于排泥区的处理问题

比利时 Y. Kreps-Heyndriks 等著

一、关于根特市的问题

通海运河经德尔纳(Terneuzen)把根特港和西埃斯考河相连接。该运河允许6万吨船舶通航,是根特市及其腹地的一条必不可少的经济要道。

因此,认真地维护好运河,尤其是维持13.5米的吃水深度是至为重要的。

海岸维护是很有必要的,这不仅是因为海轮和拖船产生船行波的缘故,而且也是因为进行冲积物疏浚工程的缘故。冲积物大都来自河流和附近工厂的排泄物。

通海运河曾得到拓宽和修整。它自1968年年底通航以来,进行过两次疏浚工程。第一次是在1970~1971年间,挖泥约64万方;第二次是在1975~1976年间,挖泥约219.5万方。在这期间,由于要按需排除弃土,所以便产生这样一个棘手的问题:寻找合适的排泥区。

1977年又进行了一些必要的疏浚工程。当时不但排泥区紧缺,而且也出现了另一个问题,即环境保护问题。鉴于这些原因,必须在许多地方提取泥样并加以分析。

为了获得一个典型的平均泥样,按规定距离提取了29个泥样。

根据分析的结果,构成了一个平均泥样。图1表示1方泥土的象征组合。由此可知,1方泥土中污染物的百分比重量达到2.8%。

污染物组合如下:

- (1)净化剂、苯酚、氰化物和碳化氢;
- (2)铁;
- (3)钠;
- (4)重金属。

首先应该注意的是,土中含有2%的铁和0.225%左右的重金属。各种污染物的重量百分数由附表所示。

其次可以肯定:如果不采取必要的措施把环境受害程度控制到最低限度和保护含水层和表层水,那么,任何地方都不能抛卸这样的泥土。

最后通过分析了解到以下一些情况,尤其是关于取样地点的情况:

- (1) Tolhuistuw(通海运河口)和环形运河—北段(外港)之间,重金属比例最高。
- (2) 从盐氯化物、氰化物和其他物质的毒性来看,可以肯定,这些元素是分布在整条运河里,不过,荷兰边境附近分布得较多;这是由于受到“盐水契”的影响,有毒物质自经德尔纳的西埃斯考河而来。

由于泥土毒性的问题,所以不能直接找到排泥区。但不管怎样,维护疏浚工程总得进行,尤其是在外港。鉴于事态的紧迫性,确定了临时性排泥区。但这将会带来弃土的清除问题。根据这一些问

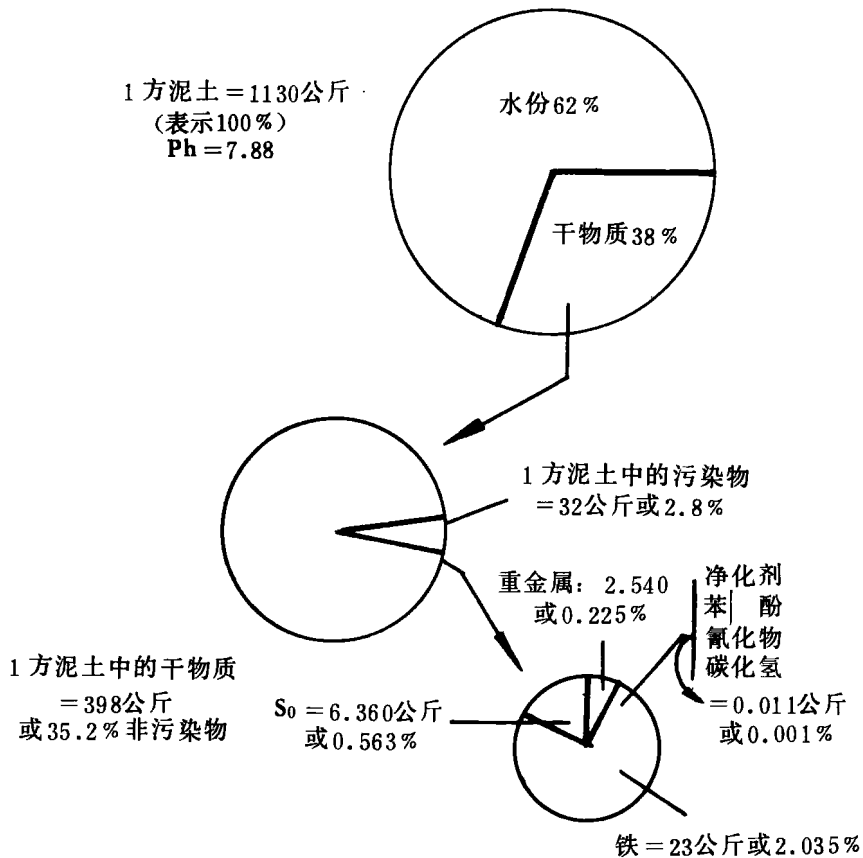


图 1 平均泥样

题,对一些排泥区进行了研究。

二、可行性方案

水路管理局是负责维护通海运河水深的机构,为了找到最终解决办法,于1979年2月主动对所有的可行性方案进行了分析研究。

经过研究的可行性方案是:

- (1) 堆放在陆地上;
- (2) 排入泥塘;
- (3) 抛入西埃斯考河;
- (4) 抛入北海。

所有这些方案都不涉及弃土的善后处理问题。这是因为它们是没有检验和不可检验的方案;这会环境和补给水系产生影响。

人们也就一项抗泥土毒性的方案进行了研究。

至为重要的方案莫过于:

- (1) 通过燃烧来消除毒性;

(2) 对泥土进行化学处理;

(3) 把有毒元素转化为非活性物质。

上述方案的可行性是当前讨论的课题。

从吃水深度来看,根特港进港航道的境况每况愈下,鉴于此因,不得不立刻寻找另一种解决方法。水路管理局取得了两个泥塘开挖区的经营权和所有权,它们是:

(1) Oostakker-Lachristi 旧机场地区,面积约 125 公顷;

(2) Paskens-Gallemansputte 地区,面积约 30 公顷。

通过对这两个地区地层的研究,发现上层是沙质,挖沙不成问题。泥塘开挖区正对着通海运河,其地理位置见图 2。

由于 Oostakker 地区拿不出直接方案,因此,从地理位置来看,Paskens-Gallemansputte 地区显然是开挖泥塘的理想之地。各方面的因素都是对环境有利的。这项方案最终被批准采纳。

三、方案的设计和讨论

计划

人们在 Zelzate 的 Paskens-Gallemansputte 地区进行了地质工程学试验,肯定了地质图,即自然地面以下是一层很厚的细沙,细沙层底下是一层厚粘土。

图 3 (略)是泥塘开挖区。该区位于安特卫普—克诺克(Knokke)“快车”高速公路和拟建的瓦朗西安(Valenciennes)—德尔纳 726 号国家工业公路之间;这条工业公路处于通海运河左岸,东面是 Rieme PCUK-KUHLMANN 企业的“石膏山”。

通过的区域规划,即“根特运河区”将本地区规划为开挖区,同时把建立一条重工业的绿色缓冲地带定为开挖区的最终用途。此外,开挖区也座落在工业区,由于港口活动的发展,工业区正沿着通海运河扩建。

国家地质工程学院进行的地质钻探证实了全部预测,见图 4。

这一地区的土壤情况是:上部为 18 米厚的细沙层,下部为约 10 米厚的粘土层。粘土层的渗透系数达 5×10^{-8} 厘米/秒。

由此可见,18 米厚的上层细沙可以挖取并可用作回填土。

通海运河至少急需挖取 100 万方冲积物,这样,必须有一个 120 万方排泥能力的泥塘,所以决定开挖一个面积为 14 公顷的泥塘。

图 5 是该泥塘的位置图。

挖去泥沙后,泥塘深度可达 18 米。这样建成的泥塘就能容纳全部疏浚泥土。等泥塘内的泥土固结后,该地区又可恢复原来用途,即绿色缓冲地带。

对于一切有可能危害环境,尤其是危害供给水系的因素,有待于进行研究。

四、方案的设计

首先必须严格地确定泥塘开挖地点。水路管理局、公路管理局、Zelzate 镇、PCUK-KUHLMANN 企业和经济事务部(矿业管理局)需要密切配合,因为打算沿“快车”高速公路建造一条煤气输送管道。设计为 18 米深的泥塘可以座落在距离其 30 米的地方。泥塘的底坡比降应至少为 12/4。

若要在泥塘排泥 100 万方,泥塘的容量就必须达到 120 万方。

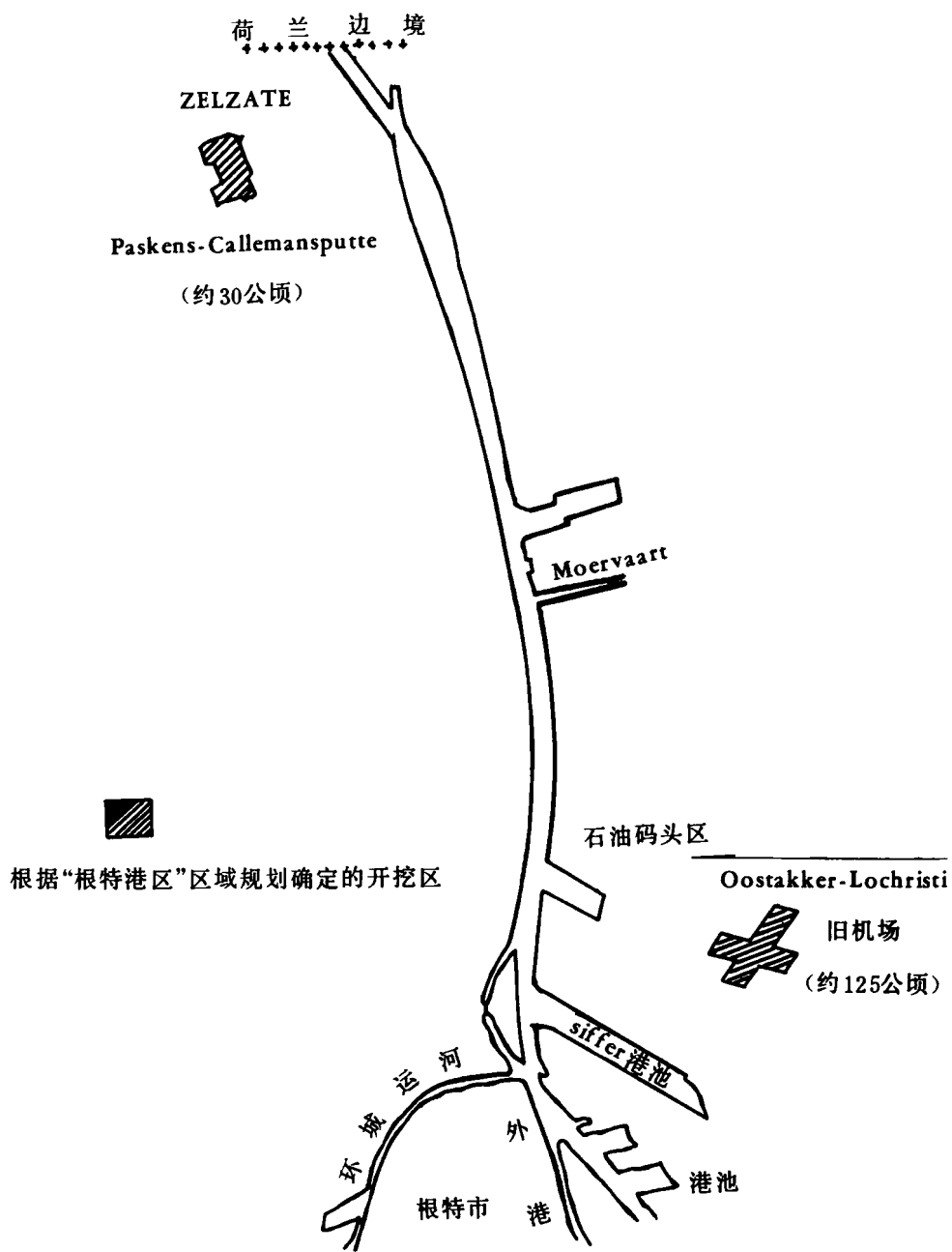


图 2 通海运河进入根特市的地形图

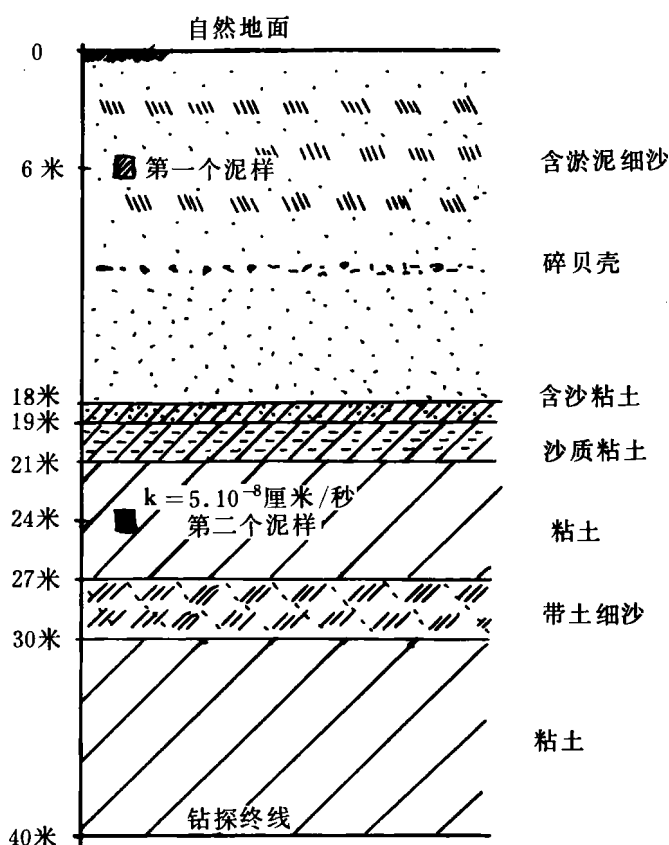


图 4 Zelzate“Paskens-Callemansputte”地区钻探

其次要解决泥土的收缩问题，排入泥塘的泥浆高度应超出自然地面。这样就需要有一条 3 米高的围埝。

对于三种可能发生的污染情况应首先予以重视，即表面污染、含水层污染和空气污染。

再则，开挖泥塘不能对环境造成任何危害，这是不言而喻的。因此，制定了一些严格的标准。

先要清理一下泥塘用地，把地面原生土暂时堆放起来。地面原生土可用来造围埝。

使用绞刀挖出的物质可以存放在临时堆场，以便以后出售或提供给政府或私人企业使用。

然后可用含沙物来建造一条适用于饮用水域的堤。在开挖过程中，含水层的水位不能受干扰。绞刀用水不能取自通海运河，而应取自上游内河或水质干净的深河水。

在泥塘周围，从自然地面至粘土层筑一道防渗墙。以此方法便建成了一个 18 米深的密封泥塘。实际上，不但泥塘周围有垂直防渗墙，而且泥塘底部也有大约 10 米厚的粘土层。这样就解决了含水层污染的问题。

为了防止表层水污染，在泥塘周围、围埝和防渗墙之间开挖了一条排水沟，该排水沟完全隔绝于其它排水沟。流入排水沟的渗透水通过一条配有水泵的封闭管道排入运河。

为了防止空气污染，要求在水面以下进行排泥，同样也可以用石灰进行有关的处理。输泥用水必须通过封闭管道排入运河。这样，工程中各种污染随时都可以避免发生。

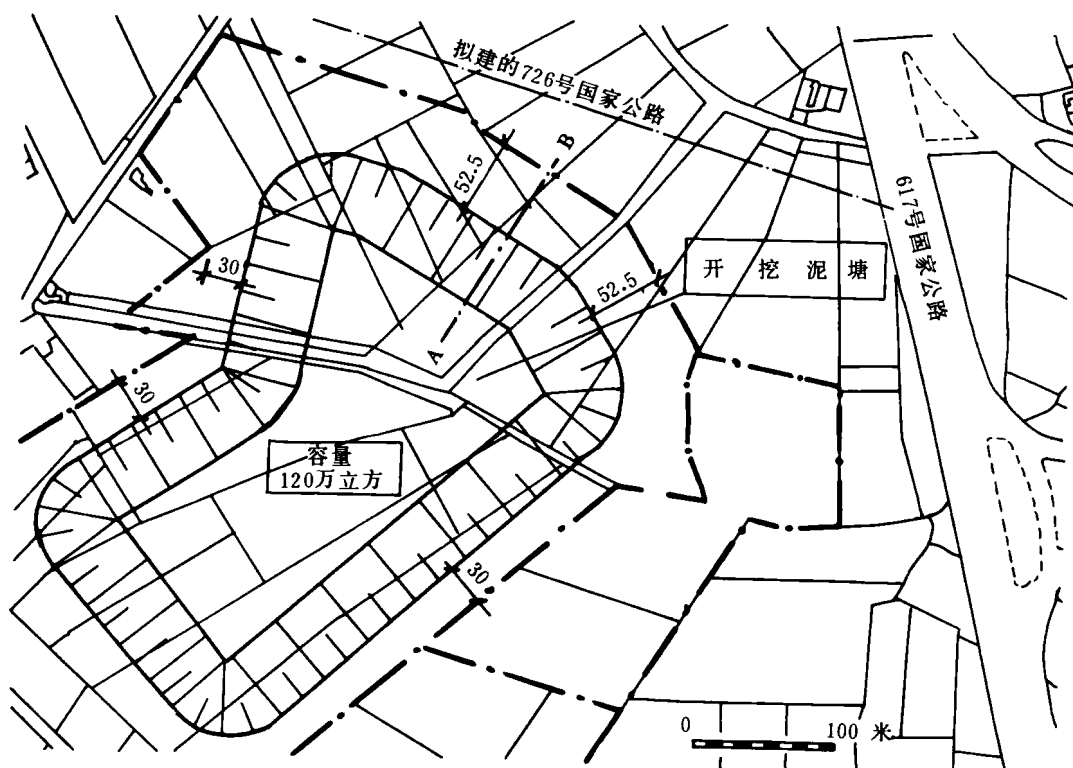


图 5 泥塘平面图

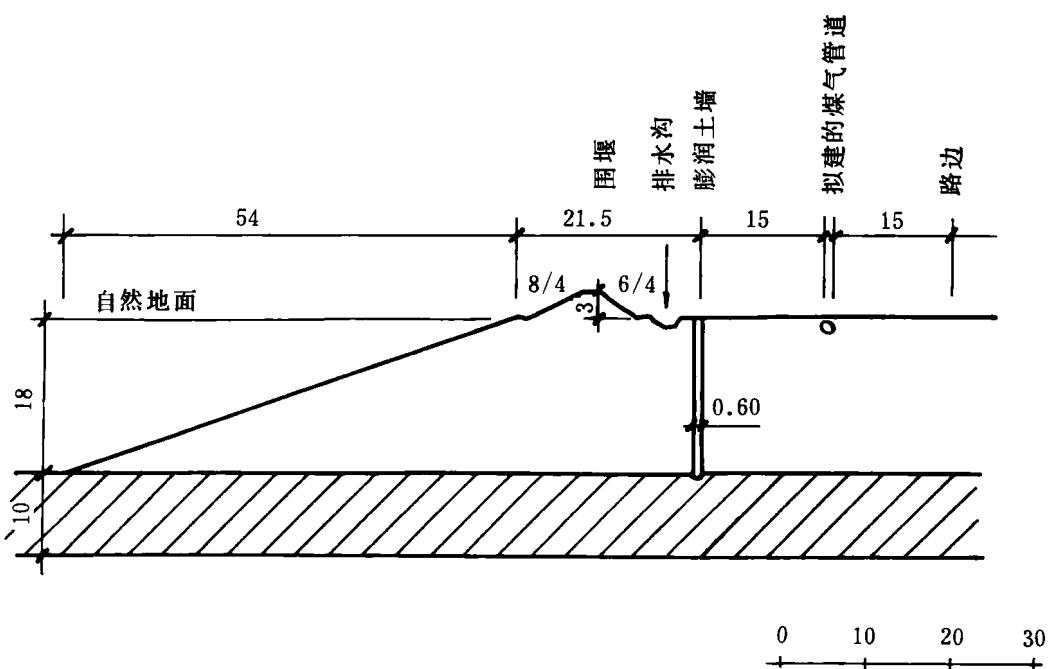


图 6 A - B 断面示意图

图6为泥塘剖面图。

在这种情况下，防渗墙起着重要作用；由此可见，各方面的条件是非常严格的。管理局的意见是采用膨润土泥浆作业法。进行研究的可行性方案指的是用水泥—膨润土混合物建造隔墙，该隔墙应具有流体护壁和定型物这些作用。膨润土是一种多变性的特殊粘土，其主要成份是蒙脱土。膨润土能吸水，且含铝、锰、钠和二氧化硅。它也是触变性物质，这就是说，稍经摇动，便会从固态变为液态；一旦处于静态，又会恢复为固态。因此，为了保持稳定性，还必须掺加水泥。

这样建成的隔墙起到了防渗墙作用。值得注意的是：为了适应周围土壤的每次运动，防渗墙可以有一定的形变。由于附近有20多米高的石膏堆积物，因此，防渗墙的这种形变特点是很需要的。

建造垂直防渗墙的挖掘工作采用液压抓斗机来进行。抓斗机安装在刚性导杆上，这样能保持适当的垂直度，进而能保证良好的连续性。

应该指出，只有借助高效率抓斗机才能进行这种使用水泥—膨润土混合物的钻孔工作。为了防止挖掘工作展开之前水泥发生凝固，必须有效地提高钻孔速度。

挖掘工作应连续进行，这样才可以建成40米深的防渗墙。防渗墙的厚度通常为50~60厘米，渗透率为 10^{-6} 厘米/秒。渗透率会随着时间的推移而下降，但也可以通过人工作业得到提高。

所以，要防止含水层污染，必须满足所有条件。

这样才能肯定，工程中一切可能发生的污染均可避免。必须在排泥之前建成泥塘周围的防渗墙这个问题，确实值得人们重视。

（一）检验程序

按以下方法在泥塘周围布置一些观测管：在防渗墙边上的泥塘内侧布置一根；在泥塘外侧布置二根，其中一根靠近防渗墙，另一根离防渗墙较远。

观测管插入土壤15米，穿过了粘土层。观测管子都装有一根1米长的滤器。

无论如何，要按照规定的程序，在以下工期有规则地提取水样：

1. 在施工前：取若干次水样，以获得一个平均无沙情况；
2. 在开挖泥塘和建造防渗墙期间；
3. 在排泥时；
4. 在以后的若干年内。

水样的分析项目如下：苯酚、Cl、F、 $\text{NH}_3\text{—N}$ 、As、Cd、Ca、全Cr、Co、Fe、Cu、Hg、Pb、Mn、Mg、Mo、Na、Ni、Ag、Zn、K、全硬度、硝酸盐、Orthofosfates、亚硝酸盐、硫酸盐和全有机碳。

获得的结果将会证明选择方案的可靠性。

（二）今后的处理

一旦泥塘吹满泥浆，一期工程便告结束。换句话说，通海运河又将恢复正常水深，这也是人们致力于达到的目的。

然而，从环境保护方面来看，尚需对弃土再进行处理。

在泥土沉淀过程中，必须借助抽水设备和封闭管道排除雨水。同时，还可以降低防渗墙内侧含水层水位。这样，防渗墙内侧水的张力就小于外侧水的张力。根据这种理论，会一直存在由外侧至内侧的净水梯度。降低水位的有利条件是这种梯度出现在含沙透水层之上。因此，泥土沉淀的速度是比较快的。

与此同时，泥土中的各种有毒物质也得到了清除。用上述方法排出的水通过封闭管道不断地

流入通海运河。

当然，水的流量将随着时间的推移而减少。其实，泥土和含沙层之间接触层的密度将变得越来越大。

为了使防渗墙内外侧含水层保持2米的水位差，第一阶段，泵的流量要达到30 立方米/小时。以此来看，对降雨量也应加以考虑。上述方法由图7 所示。

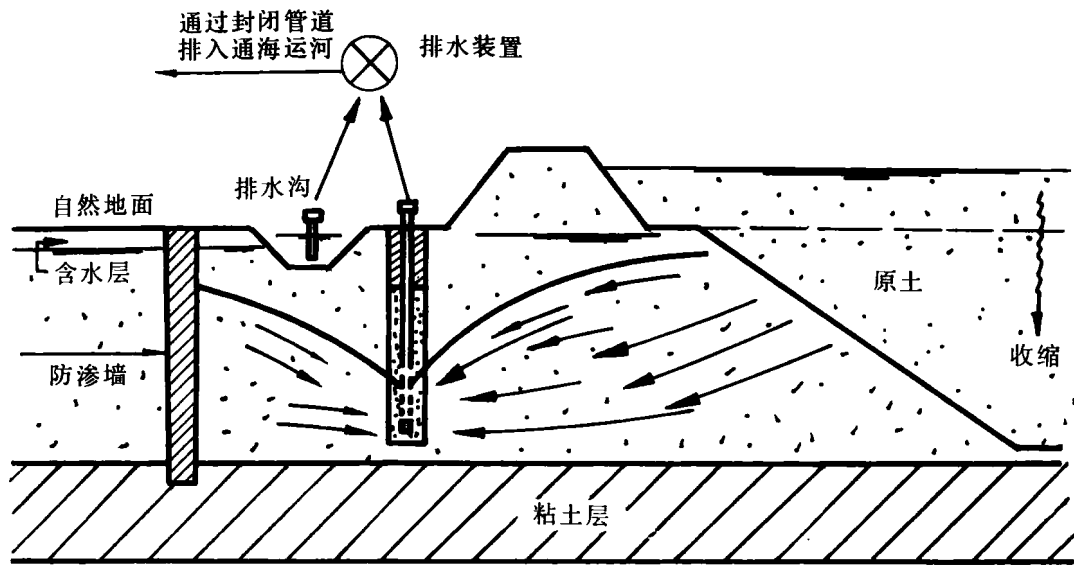


图 7 以后对泥塘进行的处理

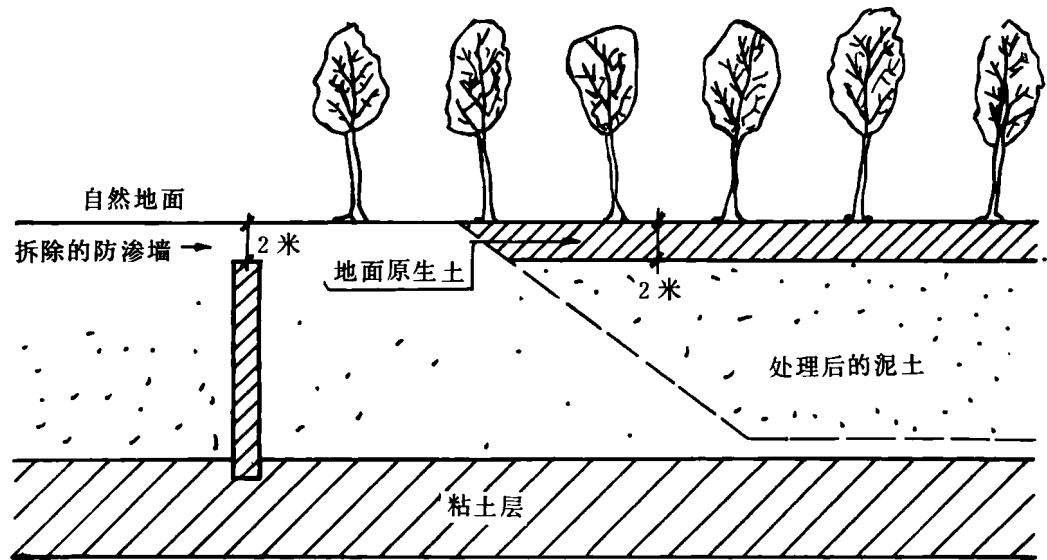


图 8 最终用途：重工业的绿色缓冲地带

(三) 最终用途

在若干年内，泥塘内的泥土将固积，泥土的固结也将与人工降水有关。

根据城市规划条例, 泥塘必须覆盖一层约2米厚的地面原生土。该土一部分来源于围埝, 另一部分来源于 Ertvelde-Kluizen。其实在水域附近就能找到大量的地面原生土。要完成这项工作, 必须从自然地面起把防渗墙拆除2米。这样, 表层水将恢复正常流动, 而下层土又将使含水层得到保护。

从区域规划来看, 值得注意的是, 这一地区将辟为重工业的绿色缓冲地带。然而, 要实现这一目标, 与此有关的林业政策就应该为业已饱和的工业区提供这种绿化地带。

该地区的最终用途见图8所示。

附:

公共卫生部(卫生与流行病研究所)和农业部对1977年9月在根特外港和根特至荷兰边境的通海运河上提取的29个疏浚泥样进行了分析。

下图为1方疏浚物的一个平均泥样的组成(重量: %)

1	水			62 %
2	非污染的干物质			35.2%
3	污染物(干物质):			
	a. 净化剂	0.0003 %	} 0.00104%	} 2.8%
	苯 酚	0.00002%		
	氰化物	0.00002%		
	碳化氢	0.0007 %		
	b. Fe	2.03540%	}	
	c. Na	0.56283%		
	d. 重金属(加 5N HNO ₃ 蒸煮):		} 0.22487%	
	Mn	0.04858%		
	Cd	0.0003 %		
	Cr	0.0261 %		
	Cu	0.0133 %		
	Pb	0.0137 %		
	Zn	0.1164 %		
	Ca	0.0033 %		
	Ni	0.0031 %		
	Hg	0.00009%		
				总计: 100 %

上海航道局设计研究所 周森甫译
范新中校

米拉米奇航道最经济疏浚计划的研究

加拿大 K.L.Philpott 等著

前 言

为改善沟通加拿大东部一个比较大的且对环境很敏感的河口的通航水道制订了一个经济上最佳的计划, 本文概述了与该计划有关的几个步骤。文中所介绍的工作与迄今在加拿大进行的那些最广泛的疏浚可行性研究中的一项有关, 其中有些部分已在早先发表的一篇文章中叙述过了(Philpott和 Ploeg.1977)。米拉米奇(Miramichi)航道研究是加拿大政府的几个部和机构与新不伦瑞克(New Brunswick)共同从事的项目, 一些咨询商家也参加了这项工作。

第一部分首先叙述了当地的基本情况: 原有的航道、其使用情况及其缺点。然后, 提纲契领地概述要推荐的设计所遵循的工程构思和处置。根据一些适合的规范要求, 首先介绍范围广泛的好几个可供选择的设计方案, 然后用更精确的分析方法依次进行选择。第一部分也概述了控制水下疏浚土抛泥区选择的严格环境标准, 结果只对三个合格的抛泥区作鉴定。

第二部分介绍了最优化过程, 通过该过程可在包括开辟港口在内的大量方案中, 识别尽可能好的改善航道的计划。工程选择的特殊利害关系和竞争要求需要采用非常严密的和综合性的对策。最优化对策包括三种决策技术。第一, 如果要达到一个最优化工程, 首先就要以无条件规定为依据来舍去尽可能多的供选择的设计方案。作为决策的一个例子是: 如果一个工程要兼顾经济和环境方面的要求, 那末这个工程只能够由自航耙吸式挖泥船来完成。第二种技术, 包括局部的次优化方案。例如: 作出最后的航路选择和确定最佳维护疏浚的时间间隔。第三种和最后一种最优化技术是应用全面的经济效益—成本分析来比较五个方案, 其中三个是航路相同而吃水不同的航道改善方案。在说明最后的分析中产生了一个问题, 即: 航道改善计划的全面经济最优化未必产生预想的结果。

第一部分 航道改善计划的发展

(一) 基本状况

米拉米奇河口标志着新不伦瑞克东北部诺森伯兰县(Northumberland)的基本经济特征, 该地区的面积为 14, 000 平方米, 人口共 50, 000 人。河口既可发展有价值的渔业生产, 又可为加拿大东部各地炼油厂运进石油和为几种以当地资源为基础的工业的出口商品提供主要的航路(见图 1)。面积约 300 平方公里的喇叭形浅水河口和圣劳伦斯(St.Lawrence)湾的深水区被一连串活动的沙岛、浅滩和不稳定水道所隔开。没有一条连续的自然航道穿过平均水深不足 5 米的宽阔内湾。只有在狭窄的河口上游段才有界线分明的稳定的自然航道(见图 2)。目前的航道从圣劳伦斯湾延伸将近 70 公里到纽卡斯尔(Newcastle)的平旋桥上游几公里的二个纸浆厂。大约 40 年没有对航道进行真正地疏浚, 这就促使以出口为主的地方工业反复要求改善明显不符合形势要求的航道(见图 3, 略)。二十世纪六十年代进行的工程可行性研究毫无结果; 后来, 地区性的运输研究认为: 从长

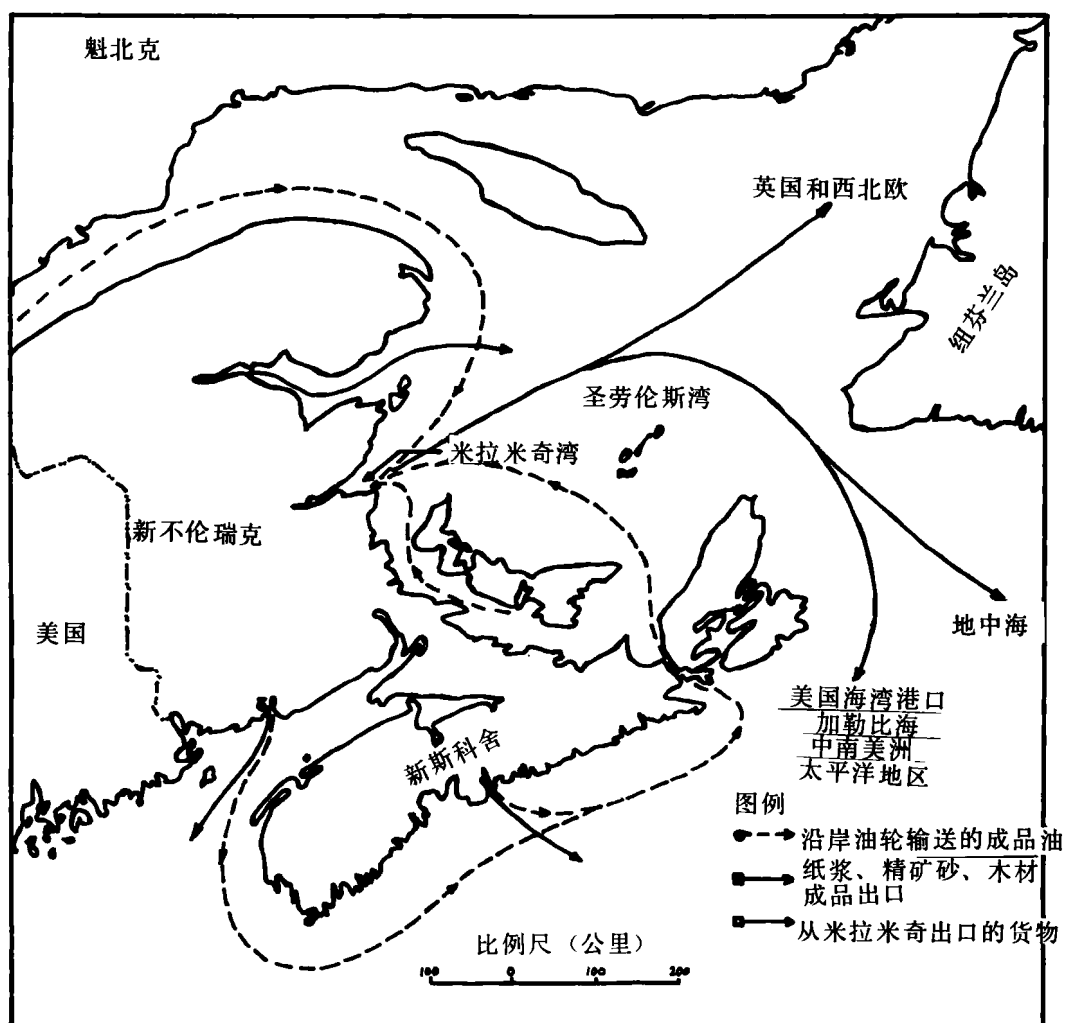


图1.米拉米奇主要航路的布局图

远来看浚深米拉米奇航道可能是对新不伦瑞克东北部的海运建设最好的投资(Lalonde 等, 1973), 由此提出综合性的研究, (Philpott, 1978), 其中有些部分将在本文中予以介绍。

(二) 目前的航道

目前航道的位置如图 2 和 3 所示。除了通过内湾的大沙丘浅滩和马蹄形沙洲的那些航道段外, 基本上是天然航道。1872 年和 1914 年期间, 为了发展现在的航道, 需要在那些地区进行大规模的疏浚, 接着又进行经常的维护性浚深, 直到 1939 年, 航道已变得比较稳定了, 虽然从那时起部分航道发生恶化, 但很少进行疏浚。

在目前的航道中, 主要碍航段是在马蹄形沙洲和 Lump 二个地方。在马蹄形沙洲, 据报导航道的最大水深仅 6 米、宽度仅 60 米, 而且还不是直航道。在 Lump 有一段航行困难的反向弯曲段, 该处由于米拉米奇沙洲南侧的移动使航行逐渐变得更困难了。这就需要经常不断地疏浚。除马蹄区外, 整个航道的水深从 6.7 米到 10 米不等。

航道底质也在变化。下至 Sheldrake 岛的大多数狭窄河段由粉土和细沙组成, 在较深河段中,

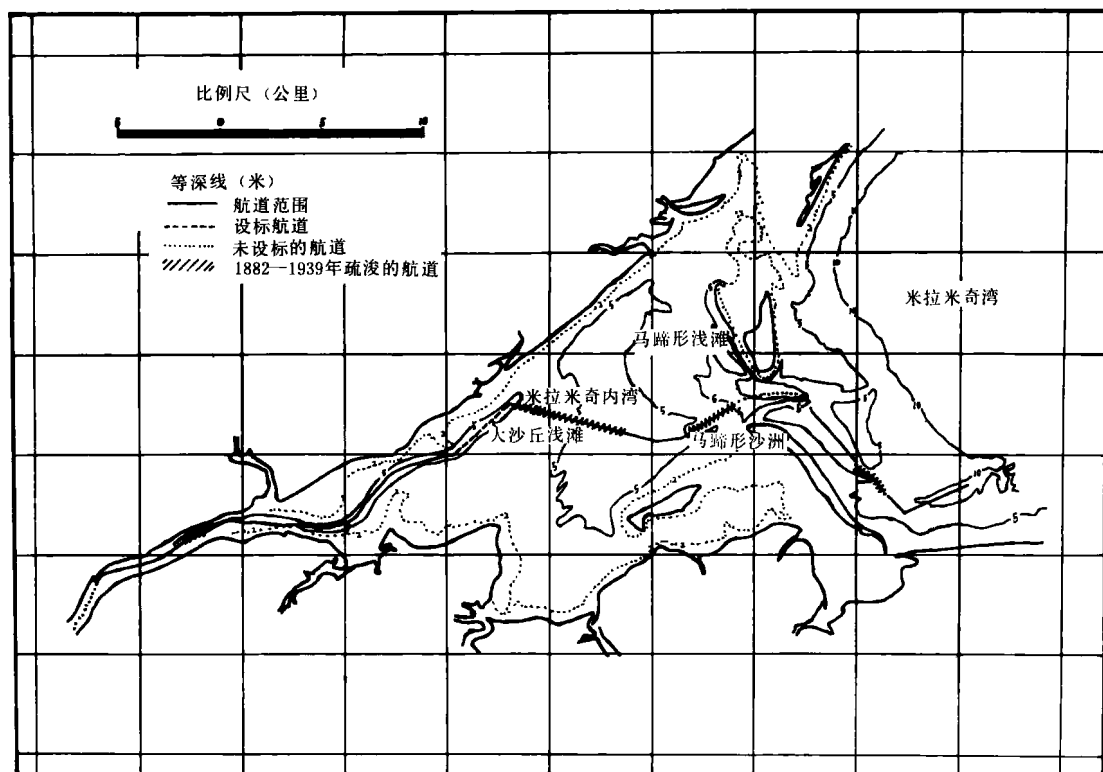


图2.河口下游现有的米尔米奇航道

偶然有软泥。从 Sheldrake 岛一直到大沙丘浅滩，底质几乎是液状软泥。在马蹄形沙洲和湾外地区，底质是密实的砂，有些地区还有沙波。

(三) 航行和船舶实践

整个航道由航标灯和灯浮指引。引航是义务的。虽然目前安装了更有功效的航标灯，使船舶在好天气时可夜间航行，但由于航道的水深不足和危险，夜间仍很少航行。

高潮时，在良好天气条件下，油轮吃水限制在 5.9 米，干货船限制在 6.55 米。允许进入纽卡斯尔下游航道的最大船舶的长度为 167 米，载重吨位为 22,000 吨。在纽卡斯尔的平旋桥以上，只允许载重吨位最大达 3000 吨的船舶在引航员领航的情况下通行。至少在一半以上的航道中，特别是接近湾外沙洲的南端和通过 Lump 及马蹄形沙洲地区要限制航速。通过大沙丘浅滩时，要根据吃水降低航速。

通过纽卡斯尔和圣劳伦斯湾之间 64 公里航道的的时间一般是 4.5—7 小时，随天气条件而异。满载的出口船舶因天气条件而延误的时间平均为 7.5 小时。由于航道发生冰封而延误的时间偶尔可达几天。航道在强风和巨涌或在风暴大浪的情况下不能通航。每年有 150 到 200 艘船舶进入米尔米奇并装卸 1 百多万吨货物。一半以上的运输量是卸下供应物资，主要是燃油；而其余部分则由出口的精矿砂、纸浆和其他木材产品所组成。成品油是从 1000 吨到 10000 吨左右的沿海油轮上卸下的，其中大多数船舶在每航次中沿着循环航路停靠加拿大东部的几个海港。出口商品是由 7000 吨—15000 吨的货船装运的，大部分远渡重洋。由于船舶吃水受到限制，必须使用不经济的船舶尺度，或在大船上只装部分货物，这就显著地增加了当地出口船主的成本。因此，迫切要求改善航道

的是这些出口商而不是石油公司。

（四）航道设计的研究

1. 航道航路的选择

为改善米拉米奇航道所选择的航路和目前航道的航路相同，所不同的是：1.它的终点是在平旋桥下游一侧的纽卡斯尔公共码头处；2.它包括一些局部的调整，以改进定线或减少疏浚量。这条航路是在评价了大量供选择的方案后才选择出来的。其基本目的是为了以最经济的方法和在不不会对环境造成显著影响的情况下，得到一条航行始终安全的高标准航道。

穿过内湾有 8 条供选择的航路，湾外有 9 条供选择的航路，如图 4 所示。这二组供选择的航路共同组成 57 条可行的航路。为了设计起见，把航路分成 5 段，每一段所在的河口部分具有不同的环境特征。根据下列要求来评价通过每一段的供选择的航路：

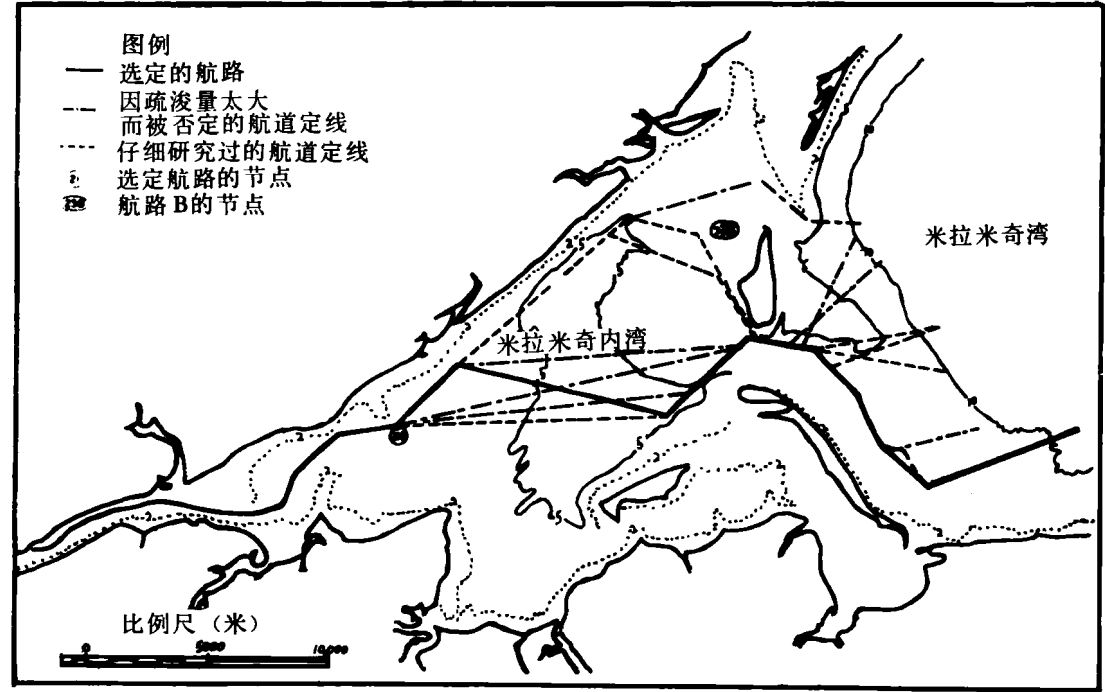


图 4. 供选择的米拉米奇航路。选定的航路如实线所示

航行方面的：消除航行事故和尽量减少因潮汐和气候引起的航行耽搁时间。

环境方面的：应避免对生态和渔业产生显著的长期有害影响，尽量减小由于疏浚施工而造成的不可避免的短期影响。

社会经济方面的：对于一条为限定最大吃水的船舶而设计的航道来说，应减少初期的基建疏浚费用和酌减维护费用。

工程方面的：为了达到上述要求，应研究有效的施工计划。

2. 航道断面的选择

最佳航道改善计划，是为在咸水中吃水为 7.6 米的 15000 吨满载船舶提供耽搁时间最少的安全航行而设计的。这项计划包括在危险地区内拓宽航道和改进航道定线，以及浚深航道。7.6 米