

河道泥沙淤积 问题研究

HEDAO NISHA YUJI
WENTI YANJIU

韩乃斌 谢 瑞 等编著



海洋出版社

河道泥沙淤积问题研究

韩乃斌 谢 瑞 等编著

海洋出版社

2016年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

河道泥沙淤积问题研究/韩乃斌等编著. —北京: 海洋出版社, 2016. 10
ISBN 978 - 7 - 5027 - 9564 - 1

I. ①河… II. ①韩… III. ①河道整治 - 泥沙淤积 - 研究 IV. ①TV85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 202441 号

责任编辑: 方 菁

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 16.75

字数: 380 千字 定价: 60.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

河道泥沙淤积问题的研究与国民经济发展、防洪、抗旱、水资源利用和河道通航等诸方面有密切的联系。河道淤积严重的地方，往往影响排涝，造成水灾，使农业生产大幅度减产。苏北里下河地区地势低排水不畅，历史上常年受到涝灾的影响，农业产量很难保证，国家为保证里下河地区的农业生产，在里下河下游出海口地区建了不少挡潮闸。一方面利用挡潮闸抵御海水入侵；另一方面在海口低潮位时开闸排涝，对里下河农业生产起到了很大的保护作用。即使这样，挡潮闸下淤积问题影响了排涝功能，闸管部门多年来一直想解决闸下淤积问题，但是无法找到一劳永逸的解决办法。

河道淤积使通航能力下降，在最不利的情况下，甚至造成航道断航，这样的例子举不胜举。通航能力下降和航道断航对国民经济影响巨大，研究河道淤积问题，推荐防淤减淤措施是河道泥沙淤积问题的研究目标。

《河道泥沙淤积问题研究》一书是由韩乃斌和谢瑞等多位同志编写完成的论文集，第一篇青山运河减淤措施的模型试验由窦国仁院士执笔，赵艳冰和韩乃斌参加该项目工作。第二篇京杭运河六圩口淤积原因分析及减淤措施研究，由韩乃斌和应强执笔，张明明、盛昌玛、薛连坤和邓绍兴参加工作。第三篇长江口高浓度泥沙的沉降和固结，由韩乃斌、谢瑞执笔。第四篇长江口北支演变及治理的可行性，由韩乃斌、谢瑞和卢中一参加并执笔。第五篇长江口拦门沙淤积分析及预测，由黄胜、韩乃斌和钟秀娟参加工作并执笔编写报告。第六篇由谢瑞、申霞执笔编写报告，王永平、姬昌辉、于剑参加工作。第七篇由黄晋鹏、谢瑞、高正荣执笔编写报告，洪大林、杨程生、姬昌辉、王永平参加工作。第八篇由韩乃斌执笔编写报告、谢瑞参加报告编辑工作。

本书收集的研究成果凝聚了多位河工模型试验科研工作者的心血，在此一并表示衷心感谢。

目 录

第一篇 青山运河减淤措施的模型试验	(1)
一、试验要求	(1)
二、试验概况	(1)
三、验证试验	(3)
四、方案试验	(5)
五、结论	(13)
六、推荐方案	(13)
第二篇 京杭运河六圩口淤积原因分析及减淤措施研究	(14)
一、前言	(14)
二、试验段水文、泥沙和地形概况	(14)
三、淤积原因和淤积量估算	(17)
四、模型设计	(19)
五、模型制作与验证	(23)
六、工程方案的试验与分析	(25)
七、推荐的减淤工程措施	(27)
八、结语	(28)
第三篇 长江口高浓度泥沙的沉降和固结	(30)
一、前言	(30)
二、试验概况	(30)
三、长江口混合沙在盐水中的沉降特性	(30)
四、盐度对沉降的影响	(34)
五、含沙量和粒径对浑液面沉速的影响	(36)
六、固结	(38)
七、结语	(40)
第四篇 长江口北支演变及治理的可行性	(42)
一、前言	(42)
二、北支的历史演变和发展趋势	(42)
三、北支的现状对周围地区的影响	(48)
四、封堵北支的可行性	(49)
第五篇 长江口拦门沙淤积分析及预测	(52)
一、前言	(52)
二、长江口盐淡水混合的情况	(53)
三、盐淡水混合对流速分布的影响	(53)
四、盐淡水混合对含沙量分布的影响	(54)

五、长江口拦门沙淤积的分析	(56)
六、长江口拦门沙淤积部位的预测	(57)
七、结语	(60)
第六篇 连申线灌河段航道整治工程物理模型试验研究	(62)
一、前言	(62)
二、基本情况	(63)
三、动床模型设计与制作	(71)
四、动床模型验证	(77)
五、整治工程方案试验	(99)
六、优化调度方案	(111)
七、方案比选	(123)
八、结论	(137)
第七篇 灌河口 5 万吨级航道整治工程物理模型研究	(140)
一、概况	(140)
二、研究目的、内容和技术路线	(141)
三、灌河口海域自然条件概述	(142)
四、定床模型设计	(154)
五、定床潮流验证	(159)
六、工程方案概况和试验水文条件	(168)
七、航道工程方案试验结果及分析	(168)
八、定床浑水模型设计和验证试验	(231)
九、5 万吨级航道泥沙回淤试验	(234)
十、5 万吨级航道泥沙大风淤分析	(236)
十一、方案比选	(237)
十二、结论与建议	(238)
第八篇 盐水楔异重流对拦门沙航道的作用	(240)
一、前言	(240)
二、盐水楔异重流问题研究的现状	(240)
三、长江口盐水楔异重流的概况	(241)
四、盐水楔异重流对长江口拦门沙淤积的作用	(244)
五、结语	(257)

第一篇 青山运河减淤措施模型试验

一、试验要求

青山运河每年洪水季节大量淤积,严重地妨碍着青山船厂的正常生产,1964年以来青山船厂每年挖泥约20万 m^3 ,但河底标高也只能维持在吴淞零点(以下同)11.6 m以上。吃水3 m以上的大船,由于运河的水深不足,每年仍有3~4个月不能上船台承修。为了更好地改善青山船厂的生产状况,使每年绝大部分时间都能进出大船,已决定将运河底挖至标高9.0 m。为了实现这个决定,必须解决淤积问题,因为单靠挖泥维持,不仅将耗费大量人力物力,而且如长时间挖泥,也将影响船舶的出入。

为了解决运河的减淤问题,青山船厂委托南京水利科学研究所进行模型试验,为减淤措施的设计提供依据,并要求模型试验回答下述问题:①运河挖至9.0 m后将要发生的淤积情况;②口门挖槽方向对运河淤积的影响及挖槽方向的选择;③减弱异重流的措施,修建的部位和高程及其减淤效果;④减弱口门回流的措施及其减淤效果。

根据上述要求,在南京水利科学研究所进行了模型试验。一起参加试验的有交通部第二水运工程设计院,长航基建处,长航青山船厂等单位。模型于1967年7月开始建造,11月放水进行预备试验,1968年4月进行验证试验,5月开始进行正式试验,1968年10月试验结束。

二、试验概况

根据试验要求,模型必须复演异重流和由异重流造成的淤积。因此需要进行浑水试验,模型上的水深也不能太小,以便于产生异重流和测量淤积厚度。为了使模型上的淤积部位尽量与现场相似,模型做成整态,水平比尺和垂直比尺都取1:100。为了避免因长江河道过宽而引起的一系列问题,长江河道在模型上只做天兴洲南汊靠近南岸的半个河槽。分割河槽的边墙是按照洪水期中泓的流线砌的,以便使分割后的河槽各断面均具有相同的过流能力。这样可以使这半个河槽的水流条件不致受边墙切割的干扰。

每次试验前,将运河与长江隔开,运河中充清水。试验正式开始时,使运河与长江连通,异重流即潜入运河。预备试验表明,在复演洪水期的淤积问题时,以采用恒定水位为宜。试验中采用的恒定水位为23.0 m,相当于一般年份的平均洪水位,其历时在多年保证率曲线中为20%,预备试验也表明,采用滑石粉作模型沙,虽然粒径有些偏大,但基本上可以复演天然的淤积情况。滑石粉的容重为 2.64 t/m^3 ,中值粒径为0.19 mm,其级配曲线见于图1-1。

为了保证模型上的水流、回流、异重流、淤积数量等都能与天然情况基本上相似,在确定模型上各量的比尺时考虑了下述相似条件:

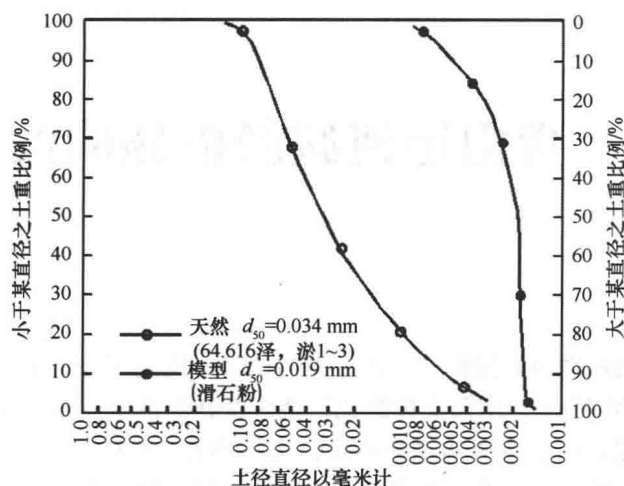


图 1-1 泥沙级配曲线

1. 重力相似

$$\lambda_v = \lambda_L^{y_2} \quad (1-1)$$

$$\lambda_e = \lambda_v \lambda_L^2 = \lambda_L^{5/2} \quad (1-2)$$

其中, λ_v 、 λ_e 、 λ_L 分别为长江的流速、流量、水平 (或垂直) 比尺。

2. 阻力相似

$$\lambda_n = \lambda_L^{y_6} \quad (1-3)$$

其中, λ_n 为长江河床糙率比尺。

3. 异重流相似

$$\lambda_{v'} = \lambda_{\gamma}^{y_2} \lambda_L^{y_2} \approx \lambda_s^{1/2} \lambda_L^{1/2} \quad (1-4)$$

其中, $\lambda_{v'}$ 为异重流速度比尺, $\lambda_{\gamma}^{y_2}$ 为浑、清水相对比重差比尺, λ_s 为含沙量比尺。

4. 异重流输沙量相似

$$\lambda_L^3 = \lambda_s \lambda_{v'} \lambda_L^2 \lambda_t^1 \quad (1-5)$$

由此得

$$\lambda_t = \lambda_L^{y_2} \lambda_s^{-3/2} \quad (1-6)$$

5. 运河上游来水量相似

$$\lambda_\gamma = \lambda_L^3 \lambda_t^{-1} \quad (1-7)$$

其中, λ_γ 为运河上游清水流量比尺。

预备试验表明, 在采用滑石粉为模型沙时, 长江水流能够挟带 1.75 kg/m^3 的含沙量。此值较现场平均洪水含沙量 1.05 kg/m^3 为大, 但较现场洪水期最大含沙量为小 (现场最大含沙量达 2.5 kg/m^3 以上) 预备试验表明, 含沙量大小与所需的放水时间关系很大, 为了缩短放水时间, 取模型中的含沙量为 1.75 kg/m^3 。由此可知, 含沙量比尺 $\lambda_s = 0.6$ 。将此值代入式 (1-6), 得 $\lambda_t = 21.5$ 。一般年份的洪水期 (即对运河淤积影响较大的时间) 大约为 3 个半月, 即 107 d。预备试验也表明, 当含沙量 1.75 kg/m^3 时, 放水 4 d (96 h)

运河淤积量仍偏小，而放 4.5 d (108 h) 可以较好地复演天然情况。因之模型中 1 h 相当于天然情况 1 d，即取时间比尺 $\lambda_t = 24$ 。在表 1-1 中列述了各比尺按公式的计算值和实际采用值。

每组试验都是日夜连续放水 108 h 的，停水后立即用测文坛测量运河各断面的淤积厚度，并绘制运河的冲淤分布图。

表 1-1

比尺名称	比尺符号	按公式计算	采用值
水平和垂直比尺	λ_L		100
泥沙粒径比尺	λ_d		1.8
含沙量比尺	λ_s		0.6
长江流速比尺	λ_v	10	10
长江流量比尺	λ_Q	100 000	100 000
河床糙率比尺	λ_n	2.14	2
异重流速度比尺	λ_{v1}	7.7	7.7
运河淤积过程的时间比尺	λ_t	21.5	24
运河上游流量比尺	λ_q	41 667	40 000

三、验证试验

由于这个模型主要是解决运河由异重流和回流所造成的淤积，因之验证的重点为异重流、回流及其所造成的淤积情况等是否与天然相似。1966 年测有比较完整的地形资料，因之按 1966 年情况验证。模型地形按 1966 年洪期前 (6 月) 资料制造，那时的航槽标高为 11.6 m。但是回流和含沙量只有 1964 年的实测资料。

(1) 回流情况：在图 1-2 中绘制了模型上测得的回流情况，在图 1-3 中引用了 1964 年的回流观测资料。从两图的对比中可以看出，模型上回流的方向和位置与现场情况相同。



图 1-2 模型回流观测 (1:2 000)

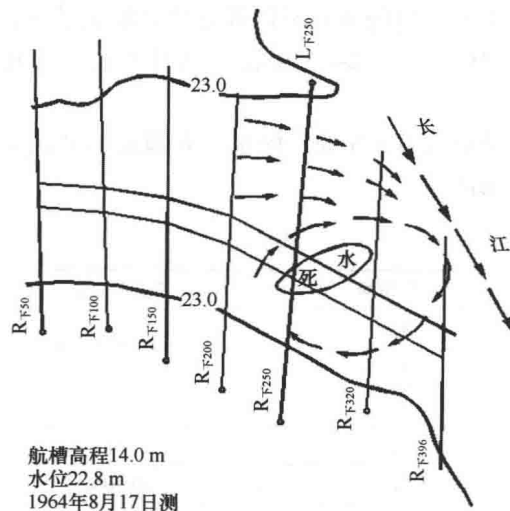


图 1-3 现场回流观测 (1:2 000)

(2) 含沙量情况：运河中含沙量沿程和沿水深分布情况见于图 1-4。模型中的含沙量沿程分布性制裁与现场基本上相同，都是愈往运河里边含沙量愈小，并且都形成了异重流，潜入点也相同。但模型中含沙量的绝对数值是较现场大好几倍的。含沙量沿水深的分布情况在未形成异重流的部位（ R_{F200} 断面以外），模型与现场的差别是比较大的。由于模型沙级配远较现场均匀（图 1-1），含沙量沿水深的分布也就远较现场均匀。模型中临近水面的含沙量仍然很大，而在现场，靠近水面的含沙量就很小了。这使得模型试验中的工程方案减淤效果较现场小，换句话说，试验中的淤积情况要比实际偏大一些。在分析试验成果时应当考虑这个问题。

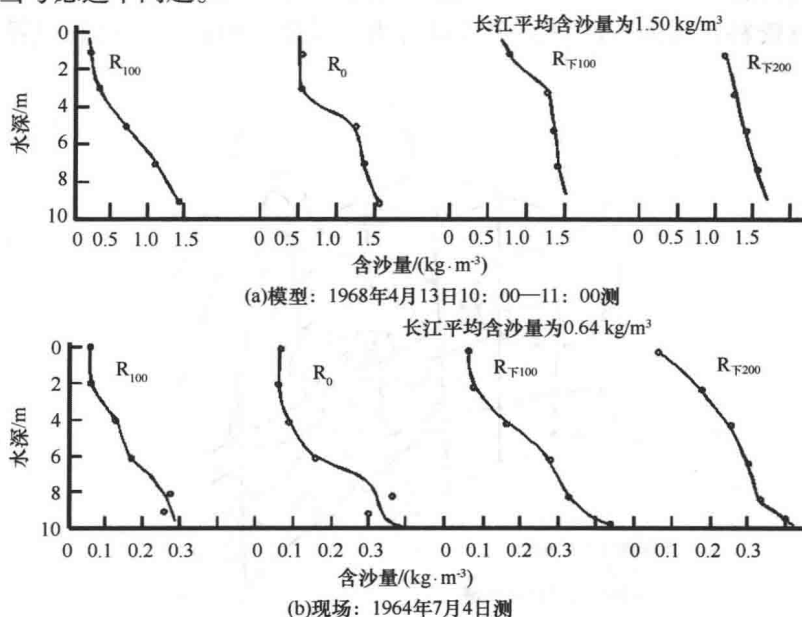


图 1-4 运河中含沙量沿程和沿水深分布

(3) 淤积情况：模型上运河的淤积情况与现场的淤积情况相近，都是口门淤的多，愈往里边淤得愈少（但数量上有些差别）。在图 5 中绘制了现场淤积分布图（5a）和模型上的淤积分布图（5b）。模型和现场淤积厚度的沿程变化见图 1-6。在 R_{975} 以上淤积量都近于零。模型上测得运河经过一个洪水期的总淤积量为 19.6 万 m^3 ，1966 年 6—9 月现场的实际淤积量为 20.2 万 m^3 ，即两者相近，但是应当指出，现场的淤积数量随着长江每年水来沙条件的变化以及运河本身一些条件的变化，每年的淤积数量也不完全相同。其中 1966 年的淤积情况是最近几年较为严重的一年。模型按照 1966 年的淤积情况验证，也使得模型上给出的淤积情况接近于比较严重的情况。

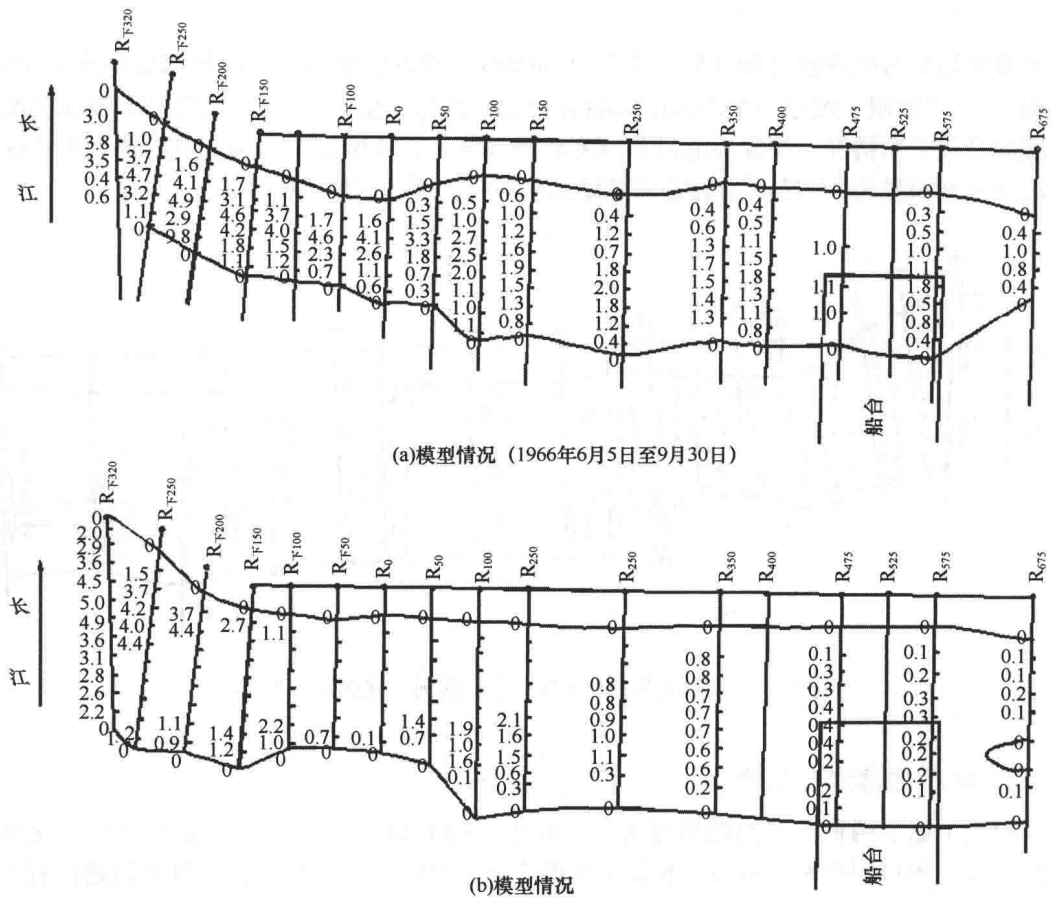


图 1-5 现场与模型淤积 (m) 情况的对比 (比例尺 1:5 000)

综上所述，可以认为模型与现场情况基本相似。当然由于试验条件的限制及其存在的一些问题，模型试验结果在数量上可能与实际有较大出入，因之不能完全作为定量的依据，一般只能用来作为定性的判断。

四、方案试验

1. 挖槽试验

按照设计要求，将模型中的运河航槽挖至标高 9.0 m。试验表明，航槽浚深后，回流

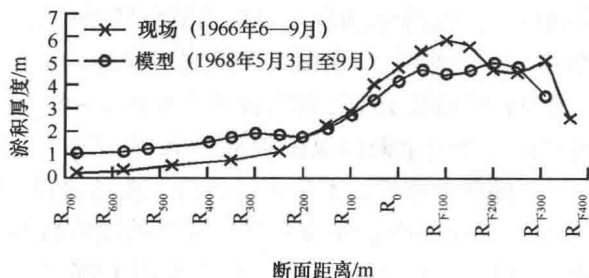


图 1-6 运河淤积厚度沿程分布 (断面最大淤积厚度)

和异重流情况与疏浚前 (即底标高为 11.6 m 时), 没有明显差别, 但淤积量却大大增加。在图 1-7 中绘制了经过一个洪水期试验后的淤积情况, 在图 1-8 中给出了疏浚前后淤积厚度的沿程分布情况。浚深后的淤积厚度较浚深前一般都增加 1~2 m。底标高为 9.0 m 时的运河总淤积量为 34 万 m^3 , 较浚深前增大约 14 万 m^3 , 即增加约 70%。

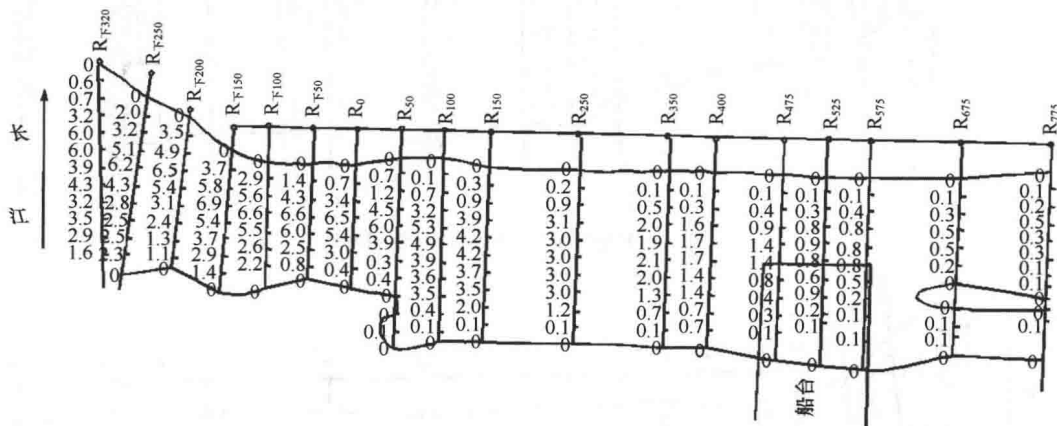


图 1-7 航槽底为 9.0 m 时的淤积情况 (比例尺 1:5 000)

2. 口门挖槽方向试验

模型上做了两种不同的挖槽方向, 一种按目前的口门方向 (即与长江主流之交角为 45°), 另一种口门挖槽方向是与长江主流之交角为 60° , 即在 R_0 断面以外将航槽位置移向上游一些。

试验表明, 在口门方向为 60° 时, 回流范围有所扩大和加强。口门方向为 45° 时的淤积情况已列于图 1-7, 口门方向为 60° 时的淤积分布绘于图 1-9。在图 1-10 中对两种不同口门方向条件下的淤积厚度进行了比较。从图中可以看到, 在 R_0 以内河段的淤积情况两者相差不大, 但在 R_0 断面以外则有较明显的差别, 60° 时较 45° 时淤得严重, 淤积量增加 1 倍多, 前者的总淤积量近 40 万 m^3 , 即较口门方向为 45° 时的淤积量增加的 15%。由此可见口门挖槽方向与长江主流交角愈小, 运河的淤积量愈小。口门挖槽方向以 45° 为宜。

3. 防淤帘试验

在模型中曾在运河口门附近 $R_{\text{下}200} \sim R_{\text{下}250}$ 断面间设置防淤帘。先后进行 3 组试验, 3 组中防淤帘的宽度和高度均有所不同, 其减淤效果也有差异。

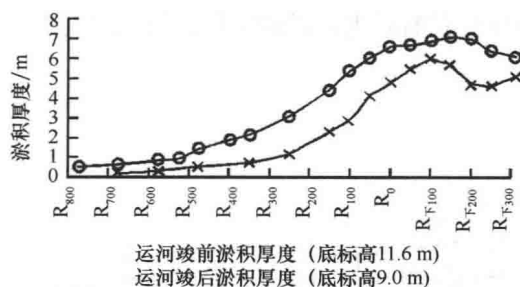
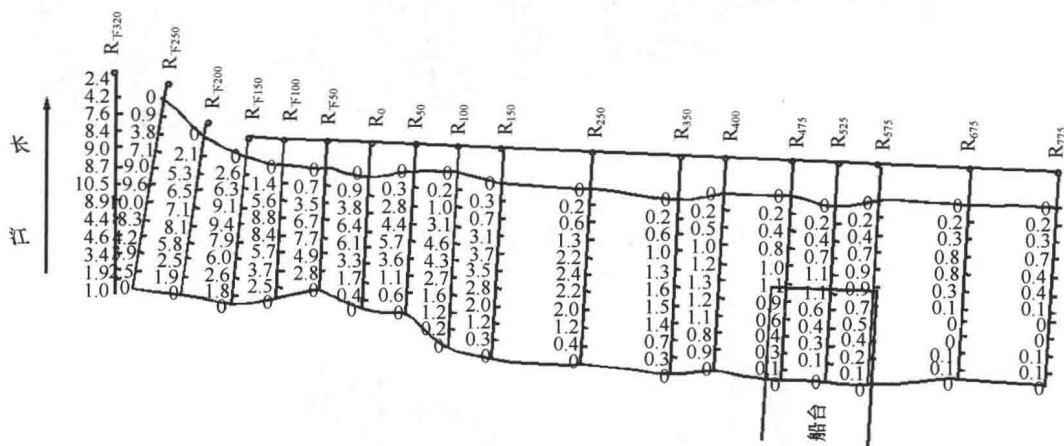


图 1-8 运河浚深前后淤积厚度的变化



(航槽底为 9.0 m, 比例尺 1:5 000)

图 1-9 口门方向为 60°时的淤积情况

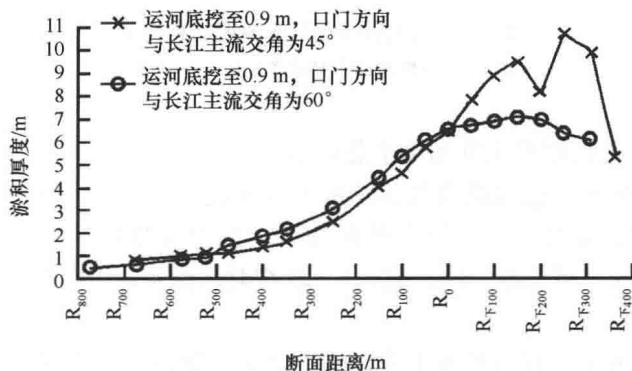


图 1-10 运河口门 (R_0 以外) 不同方向情况下的淤积厚度
(断面最大淤积厚度)

1) 在 $R_{F200} \sim L_{F200}$ 断面建有土坝和潜水防淤帘

防淤帘宽 80 m, 帘顶有 3 m 水深。工程位置见图 1-11, 回流情况基本上与无工程相同仍可过帘顶。淤积分布见图 1-11。试验表明, 这样的防淤帘有减淤效果, 帘内淤积量减少近 1/3。帘外淤积情况基本不变。由于异重流有爬高能力, 所以还有不少泥沙能够爬

过帘顶，进入运河。所以帘内仍有较大数量的淤积。淤积厚度沿运河分布见图 1-12 中曲线 1。

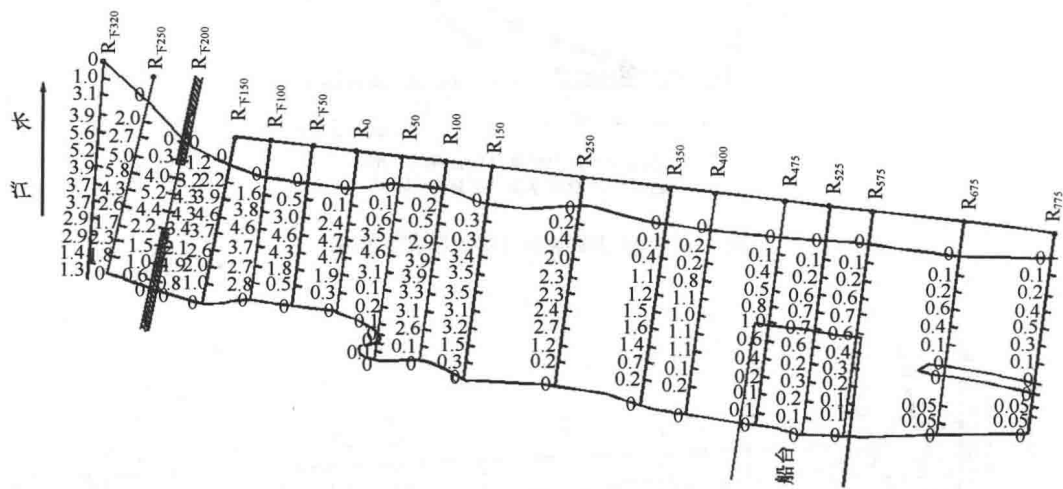


图 1-11 防淤帘 (1) 条件下的淤积情况 (比例尺 1:5 000)

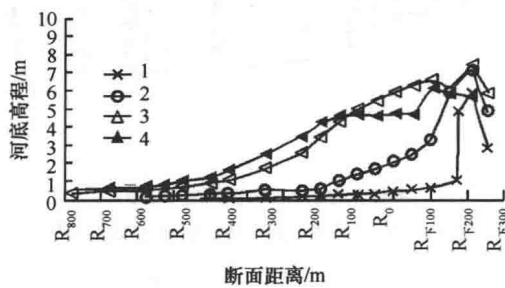


图 1-12 运河各断面淤积厚度沿程变化
(断面最大淤积厚度)

2) 在 $R_{F200} \sim R_{F250}$ 间修有土坝和潜水防淤帘

防淤措施的位置较前一组次略有外移。帘子分 3 段，总宽为 175 m。靠西岸筑有高出水面的土坝。西边帘宽为 45 m，中间帘宽为 30 m，东边帘宽为 100 m (图 1-13)。中间帘子平时顶上水深 2 m，每天放一次，放 3 h，放帘时水深 4 m。两边帘上水深 3 m。西岸土坝高出水面，不过水。

在这样的防淤工程下，回流基本不受影响，与无工程时基本相同，对异重流有阻挡作用，但由于帘顶过水，有一部分异重流仍能从 175 m 宽的帘子爬过，进入运河。放低中间帘子时，异重流侵入运河更为明显。经过一个洪水期的运河淤积情况 (图 1-12 和图 1-13) 之曲线 2。运河的总淤积量为 26 万 m^3 ，即与第 1 种措施方案的淤积情况基本相同。工程以内淤积量较无工程时减少约 1/3，工程以外的淤积量基本上与无工程时相同。

3) 在 $R_{F200} \sim R_{F250}$ 间修建挡到水面的防淤帘

工程位置同前 (图 1-14)，但两边帘子均挡到水面。中间部分的活动防淤帘在平时也挡到水面，但每天放开帘子一次，每次开帘历时 2.5 h。开帘时有 4 m 水深可供过船。

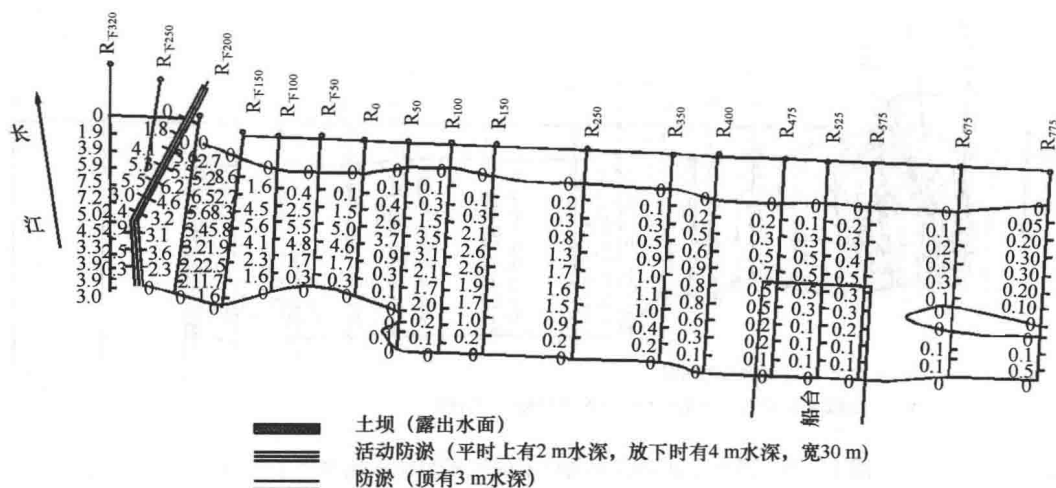


图 1-13 防淤帘 (2) 条件下的淤积情况 (比例尺 1:5 000)

中间帘子的宽度为 50 m。

由于防淤帘平时露出水面, 对口外回流有一定的约束作用, 使其活动范围略有减小, 但基本情况不变 (图 1-14)。开帘时, 回流和浑水线均能进入帘内, 异重流在开帘时虽然仍能进到运河船台附近, 但淤积数量很少。

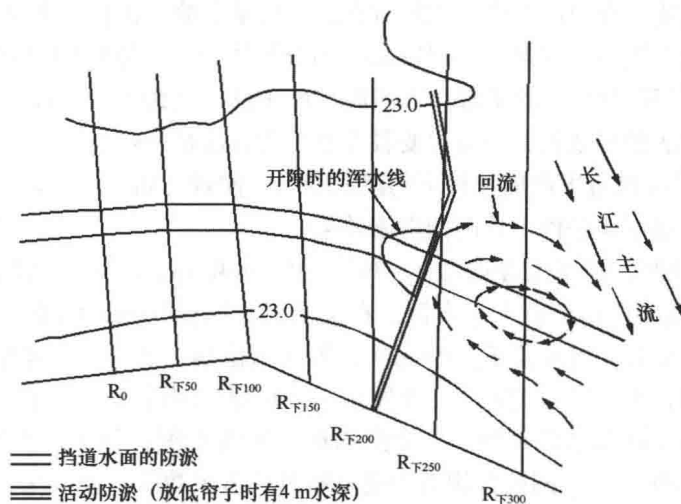


图 1-14 防淤帘布置及回流情况 (1:2 000)

这样挡到水面的防淤帘防淤效果很显著。经过一个洪水期在防淤帘里边淤不到 6 万 m^3 , 即较没有防淤措施时减少了约 80%。防淤帘外边的淤积数量基本上不变, 仍为 6 万 m^3 。运河中的淤积分布情况见图 1-15。

综上所述, 防淤帘是有减淤效果的。但因异重流有爬高性能, 帘子不能挡得太低, 要尽量挡到水面。这样, 防淤帘以内的淤积问题可以得到基本解决。在不影响航行的条件下, 防淤帘的位置愈近河口愈好, 减淤效果会更好一些。

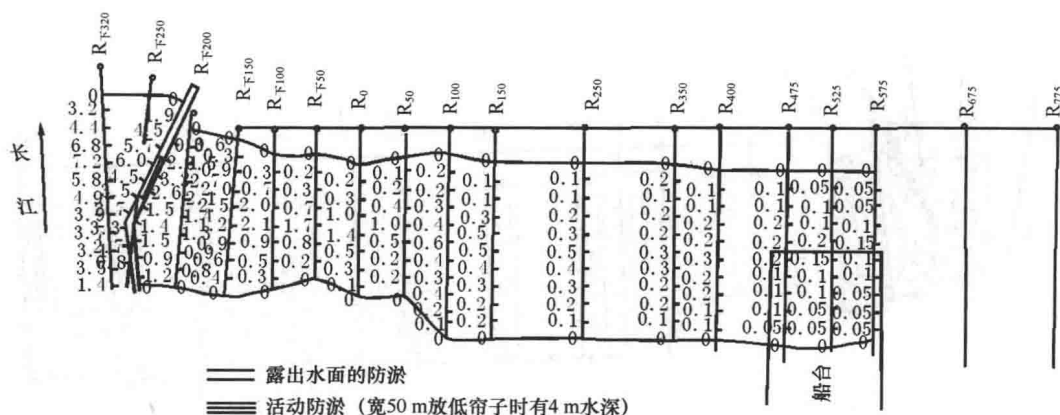


图 1-15 挡至水面防淤帘条件下的淤积情况 (比例尺 1:5 000)

4. 建闸试验

在运河口门建闸对阻挡异重流的效果应与修建挡到水面的防淤帘的效果相似。特别是在模型中,两者是没有什么区别的。在口门建闸后的减淤情况可参见前节中之有关挡到水面的防淤帘情况。但是建闸与修防淤帘还有一个区别,那就是:防淤帘是透水的,不可能造成帘内外的水位差,而建闸则可能造成帘内外的水位差。这一点在运河上游有流量下泄的情况下,尤为重要。青山河上游一般经常有武钢废水下泄,但流量大小不等。目前也没有确切资料来说明下泄流量有多大。据以前的调查和估计,一般时间约有 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量下泄。据对 1967 年和 1968 年的了解,下泄流量可能没有这么大,一般可能有 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。为了全面了解建闸后的淤积效果,一方面要看看上游没有流量条件下的淤积情况;另一方面也要看看在有 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量下泄的条件下的淤积情况。前者已如前节中之 (3) 所述,下边着重介绍上游有流量下泄条件下建闸的防淤效果。

在 R_{F270} 附近建闸,建闸位置见图 1-16。闸门宽 40 m, 闸两边修坝。闸门每天开 1 次,开 2.5 h, 开闸时闸门上有 4 m 水深。在关闸时,回流只能到闸前,因而回流范围缩小,开闸时,前 1 h 由于闸内蓄了上游流量,闸内水位高,所以有大量清水从闸内流出,异重流受清水阻挡,不能进入闸内,在开闸后 1.5 h 到关闸前这 1 h 内,异重流能够经过闸门进入运河内部。试验结果表明,一个洪水期,闸内淤积量很小,不到 1 万 m^3 , 即较无工程时减少了 90% 以上。闸外淤积由于受开闸时的清水冲刷,也有减少,约淤 4 万 m^3 。闸内外淤积情况见图 1-16。从图 1-12 中之曲线 3、4 比较可知,口门建闸后上游有流量下泄同无流量下泄,对运河的淤积影响差别很大,两者在闸内河段的淤积量相差 6~7 倍。

5. 减弱回流措施试验

按照青山运河原设计,在运河口门西岸要修建矾头以减弱口门的回流,这次试验表明,修建这样的矾头对减弱回流没有多大作用。矾头只起了向长江内延长运河的作用,只能使异重流部位有些外移,但强度和范围基本不变。

通过试验,发现在东岸修建挑流丁坝对减弱回流有较大作用。在东岸修挑回流丁坝后的回流情况见图 1-17。挑流坝长 75 m。回流只局限于挑流丁坝坝前,防淤帘前及航槽上均呈死水。防淤帘情况同以前没有丁坝时相同,均挡至水面,中间帘宽 50 m, 每天开 1 次,每次

开 2.5 h，开帘时水深 4 m。帘外虽然没有回流，但由于是死水，却形成了异重流，异重流在开帘时爬过帘顶进入运河，造成帘内外的淤积。采用挑回流丁坝后的淤积情况见图 1-18。

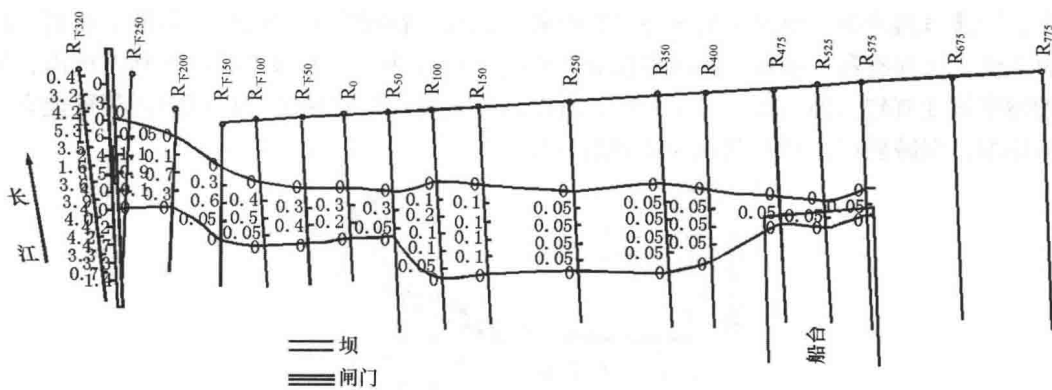


图 1-16 上游有流量下泄条件下建闸后的淤积情况（比例尺 1:5 000）

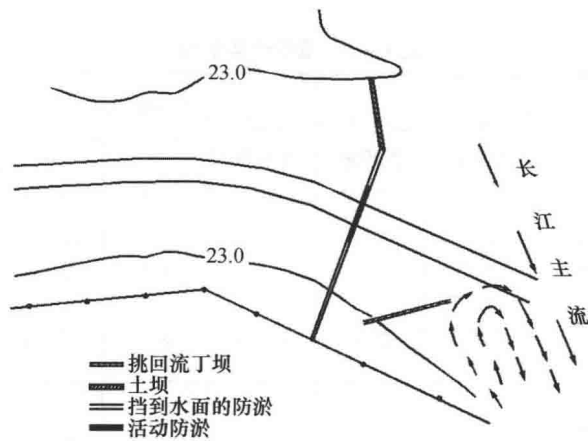


图 1-17 挑流丁坝位置及回流情况

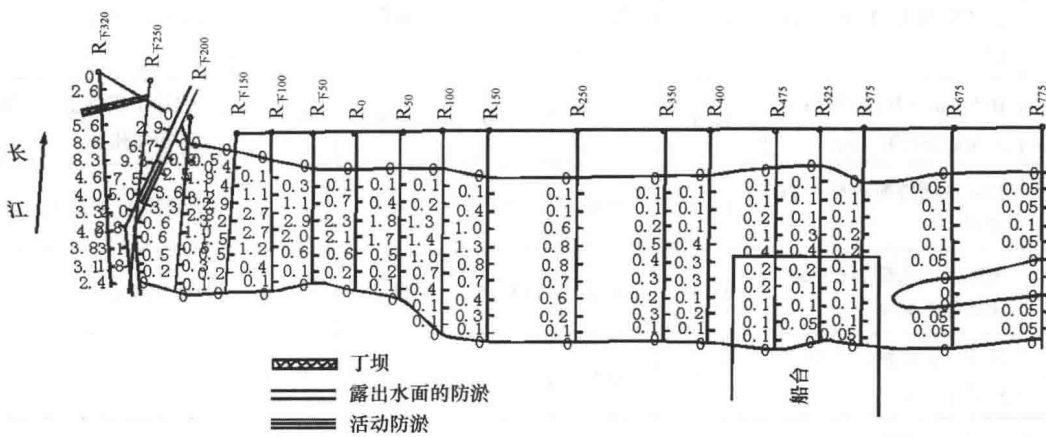


图 1-18 减弱回流条件下的淤积情况（比例尺 1:5 000）