

京杭运河常州段改线工程进口口门方案比选

王 辉

(江苏省交通规划设计院,江苏 南京 210005)

摘要:针对京杭运河常州市区段改线工程进口口门附近水流和泥沙输运复杂的现状,拟定 4 个口门连接方案,建立一维和平面二维水流泥沙数学模型,从泥沙淤积的角度对这 4 个设计方案进行了分析论证.选取丰水年水文条件,通过不同方案下泥沙淤积的分析比较,认为进口口门东、西方案各有其优势,从泥沙淤积量角度看,西方案相对较优;从土地利用和工程投资来看,东方案较优.

关键词:京杭运河常州段;改线工程;进口口门;泥沙淤积;方案比选

中图分类号:U612.33 文献标识码:B 文章编号:1006-764X(2005)06-0095-03

Comparison of entrance schemes for Changzhou section of Jinghang Great Canal diversion project//WANG Hu(Jiangsu Provincial Communication Planning & Design Institute , Nanjing 210005 , China)

Abstract In view of the complicated water current and sediment transport condition near the entrances of the project , four entrance connection schemes were worked out. The one-dimensional and two-dimensional water flow and sediment numerical models were developed to analyze the schemes from the angle of sediment accumulation. The comparison of sediment accumulation in high flow years under different schemes shows that the west entrance arrangement scheme is better from the angle of sediment accumulation , while the east entrance arrangement scheme is better from the angle of land utilization and project investment .

Key words :Changzhou section of Jinghang Canal ;diversion project ;entrance ;sediment deposition ;scheme selection

1 进口口门方案拟定

京杭运河常州段位于苏南运河中部,上游与镇江段相接,下游沟通无锡和苏州段,并通过九曲河、新孟河、德胜河和藻港河等与长江贯通,全长 44.5 km,是一条兼有航运、防洪、排涝和灌溉等综合效益的主河道.

由于历史原因,京杭运河常州市区段有长约 9.13 km 的断面相对较狭窄,航道口宽仅为 50 m,经常发生船队阻塞航道的现象,影响了常州地区的经济发展.为此,拟进行京杭运河常州市区段改线工程.经过实地考察和详细分析论证,规划了小改线和大改线两个方案^[1]:小改线方案从德胜河河口经大通河在横塔村与老运河相接,长度约为 26 km;大改线方案从德胜河河口经武南河在横塔村与老运河相接,长度约为 35 km.常州市区段河网水系分布及京杭运河改线工程规划方案如图 1 所示.在文献[1]中,曾经利用一维河网水流数学模型,从水量分配的角度,对上述两个方案进行了比选分析,并将小改线作为改线工程的推荐方案.

京杭运河常州段附近河网密布,水流状况较为

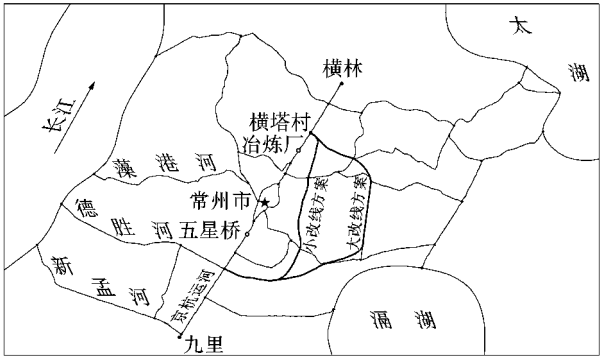


图 1 京杭运河常州段改线工程规划方案示意图

复杂.运河改线工程上游连接段与德胜河相接,而德胜河作为引江水主要通道之一,大量的长江水会通过德胜河引入河网地区,进口口门附近水流和泥沙输运复杂,为此拟定了 4 个口门连接方案(图 2):方案 1:东方案,进口半径 1 000 m;方案 2:东方案,进口半径 600 m;方案 3:西方案,新武宜运河已开通,进口半径 600 m;方案 4:西方案,新武宜运河未开通,进口半径 600 m.针对上述 4 个方案,本文采用一维河网水流泥沙数学模型和平面二维水流泥沙数学模型相结合的研究方法,从泥沙淤积对航道影响的角

作者简介:王辉(1955—),男,江苏南京人,高级工程师,从事水利交通规划设计研究.

度,分析论证进口口门方案,提出优化布置方案。

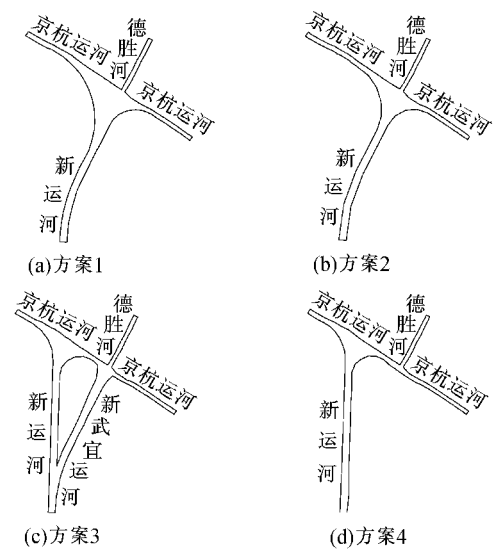


图2 改线工程进口口门设计方案示意图

2 水流泥沙数学模型

2.1 一维河网水流泥沙数学模型

2.1.1 基本方程

连续方程：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

运动方程：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{Q^2}{K^2} = 0$$

悬移质输沙方程：

$$\frac{\partial (AS)}{\partial t} + \frac{\partial (QS)}{\partial x} + \alpha \omega B (S - S_*) = 0$$

河床变形方程：

$$\rho_s \frac{\partial Z_0}{\partial t} = \alpha \omega (S - S_*)$$

式中： A 为过水断面面积， m^2 ； Q 为流量， m^3/s ； g 为重力加速度，取 $9.81 m/s^2$ ； Z 为水位， m ； K 为流量模数， $K = AC \sqrt{R}$ ，其中 R 为水力半径， m ， C 为谢才系数； S 为含沙量， kg/m^3 ； α 为沉降几率； ω 为沉降速度， m/s ； S_* 为水流挟沙能力， kg/m^3 ， $S_* = \frac{kv}{g\omega R}$ ，其中 v 为流速， m/s ； ρ_s 为泥沙干密度， kg/m^3 ； Z_0 为河床底高程， m 。

2.1.2 定解条件

a. 初始条件。

$$\begin{cases} Z(x, 0) = Z_0(x) \\ Q(x, 0) = Q_0(x) \\ S(x, 0) = S_0(x) \end{cases}$$

式中： Z_0, Q_0, S_0 分别为初始流场各断面的水位、流量和含沙量，一般各断面流量取为零，水位取控制断面的

水位，含沙量取控制断面的含沙量。对于非恒定流计算，先按恒定流计算，得到一个恒定场，作为初始场。

b. 边界条件。计算中，上游区域已知流量变化过程的边界给出流量条件，下游区域已知水位变化过程的边界则给出水位条件，入流边界含沙量给定，出流边界含沙量由计算确定。

对于内边界，如河道分汊、汇合，给出流量和泥沙输运平衡方程、水位相等条件。设与某一内节点相连接的河道数目为 i ，并规定在该节点，流量流出为正，流量汇入为负，则有以下公式成立：

$$\text{水位} \quad Z_1 = Z_2 = \dots = Z_i$$

$$\text{流量} \quad \sum Q_i = 0$$

$$\text{含沙量} \quad \sum S_i Q_i = 0$$

2.1.3 求解方法

针对一维河道水流泥沙数学模型的特点，选用特征线解法，并利用有限差分法来对其进行求解。

2.2 平面二维水流泥沙数学模型

2.2.1 基本方程

连续方程：

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} = 0$$

动量方程：

$$\frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial uuH}{\partial x} + \frac{\partial uvH}{\partial y} = -gH \frac{\partial Z}{\partial x} +$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t H \frac{\partial u}{\partial y} \right) - g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2}$$

$$\frac{\partial vH}{\partial t} + \frac{\partial uvH}{\partial x} + \frac{\partial vvH}{\partial y} = -gH \frac{\partial Z}{\partial y} +$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t H \frac{\partial v}{\partial y} \right) - g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2}$$

泥沙输运方程：

$$\frac{\partial SH}{\partial t} + \frac{\partial uSH}{\partial x} + \frac{\partial vSH}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t H \frac{\partial S}{\partial x} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t H \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \alpha \omega (S_* - S)$$

河床变形方程：

$$\rho_s \frac{\partial Z_0}{\partial t} = \alpha \omega (S - S_*)$$

式中： H, Z 分别为水深和水位， m ； u, v 分别为 x 向和 y 向的流速， m/s ； ν_t 为紊动扩散系数， m^2/s 。

2.2.2 边界条件

上、下游边界的控制条件由一维数学模型计算结果给出，上游给出流量和含沙量浓度条件，下游给出水位边界条件。

2.2.3 数值方法^[2,3]

该数学模型属混合型算子方程，可以采用剖开

算子法求解.该方法可有效地解决方程的非线性困难和自由表面问题,对复杂边界形状具有较强的适应能力.由于避开了人工滤波方法,该方法具有良好的计算稳定性和较高的计算精度.

3 模型验证计算

在方案论证计算之前,针对京杭运河河道现状,利用常州水位站和五星桥实测泥沙资料对所建一维数学模型进行了验证计算,两个测站位置见图 1.

图 3 为枯水期水文条件下 1997 年常州站水位及 1999 年 8 月 13 日上午 8 点起五星桥断面含沙量的验证结果.由图 3 可知,常州水位站水位的计算值与实测值吻合得相当好,水位的变化规律与实测情况也基本一致,除个别高含沙量时段外,计算所得泥沙过程线较好地模拟了五星桥断面的实际泥沙变化过程.因此,本文所建立的一维河网数学模型较好地模拟了京杭运河常州段的水流泥沙变化情况,选用的计算参数也是合理的,其计算结果是可信的,可以利用该一维数学模型为二维模型提供水流泥沙边界条件.

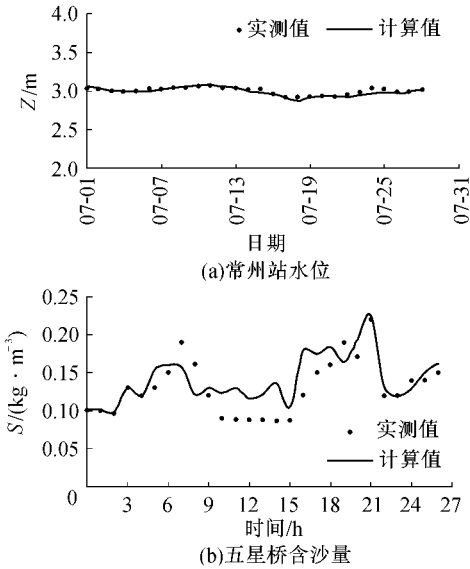


图 3 数学模型验证结果

4 进口口门方案优选分析

常州河段的泥沙主要来自上游镇江方向和常州市新孟河、德胜河和藻港河的长江引水.由于汛、枯期长江和京杭运河水位相差较大,引江河道的开闸引水量和引入的沙量有很大差别.另外,在梅雨季节,降雨量很大,常州市的引水河道又以向长江排水为主.引水和排水对京杭运河常州段河道冲淤会产生质的影响.

已有的研究成果表明,常州市区段河网淤积主要是来自长江的含沙水流造成的.改线工程实施后,由于新运河的分流作用,进一步降低了改线工程进

口口门区的水流流速,使泥沙很容易在口门区产生淤积,有可能对航道的正常通航条件产生不利影响.为此采用平面二维水流泥沙数学模型,选取丰水年水文条件,对改线工程实施后不同进口口门方案下的泥沙淤积情况进行了比较分析,计算成果见表 1.

表 1 不同设计方案口门区泥沙淤积特征值

方案	年淤积量/万 m³	平均淤积厚度/cm	最大淤积厚度/cm
1	8.83	10.58	36.0
2	9.76	12.94	38.0
3	5.57	5.82	33.0
4	1.13	1.50	32.0

分析各设计方案口门区泥沙淤积成果可知,4 个方案口门附近均为低流速区,容易引起泥沙淤积,淤积部位主要集中在德胜河出口处及其上、下游附近河道,其淤积形态参见图 4.新运河航道线上的年淤积量及淤积厚度均相对较小,可以满足正常的通航要求.从泥沙年淤积量来看,方案 4 最少,方案 3 次之,方案 1 和方案 2 的泥沙淤积量较大.相对而言,口门布置西方案时口门区泥沙淤积量比东方案时少,对口门区航道通航条件的影响也相对较小.

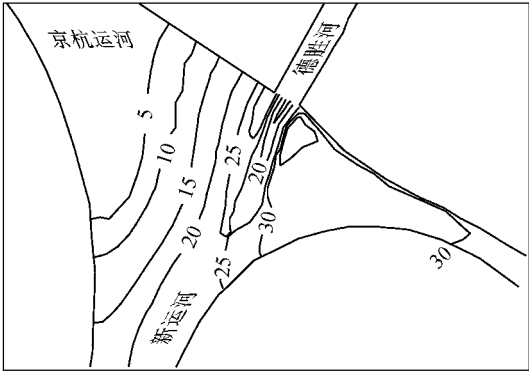


图 4 口门区典型淤积形态(单位:mm)

综上所述,从泥沙淤积角度考虑,京杭运河改线工程进口口门 4 个设计方案的泥沙淤积量均能满足航运要求,西方案相对较优,方案 4 最佳.而从土地利用和工程投资等方面考虑,东方案(口门正对德胜河口方案)有较大的优势.因此,需要通过综合分析来确定京杭运河常州市区段改线工程进口口门合理的实施方案.

5 结 语

京杭运河是我国南北水运的主通道,对常州市的经济发展起着举足轻重的作用.随着国民经济的迅速发展,运河常州段的一些技术指标已不能满足航运要求,按新标准^[4]进行改线就显得十分必要.本文主要从泥沙冲淤角度对改线工程进口口门的设计方案进行了论证分析.

(下转第 111 页)

4.1.1 成本

a. 根据汇率的变化,确定国外货币和当地货币的差异,选择合理的融资渠道,并据此预测可能出现的问题,然后详细列出工程建设、运行和维护的各项费用。

b. 正如反对在不了解项目本质内容的基础上做武断的评价一样,土地征用费用的评估应基于当地土地的实际经济价值。

c. 应该考虑环境与社会援助计划的全部资金与周期性费用。

d. 应该在一个确定时期之后为设备主要项目的替换配以一定的资金,如果需要,还需为土建工程的恢复预留一部分资金。

4.1.2 效益

a. 补贴应该由国家或地区层面的累积效益组成,包括所有的附加税款,工业发展,基础设施的改进或其他由于这项工程的建设而带来的多重效益。

b. 认识到温室气体排放的减少以及当地空气质量的改善,在一定程度上都是可以量化的。

c. 如果可行的话,各种收益都应该纳入当地社区的效益,包括就业机会的增加,当地工业的发展,娱乐设施、培训、医疗保健和卫生条件的改善以及环境方面的收益。

d. 要充分量化能源和动力效益以及附加效益,

能源和动力效益通常是按照替代方案来度量的,附加效益包括延长储藏物的使用,系统性能的改善和热效率的改进等。

e. 下游用户和沿岸居民能从多方面受益,如灌溉、供水、防洪、航运及下游水电站性能的改善。

4.2 利益分配

大多数国家水资源都归国家所有,用于建坝的土地通常也是如此。水电工程项目,尤其是水库建设,会产生大量移民,有些移民还得远离项目建设地。这些因素引发了一些利益分配的重要问题,这些问题是由工程建设所引起的。最基本的一点是:不管是直接的还是间接的,一部分利润都必须由政府所拥有。为满足国内电力供应的国内项目,也许以辅助服务的形式来取代稳定的能源价格以及项目效用的其他益处。但是对于一个电力由另外一个国家所使用的出口项目来说,就需要一个更加明确的支付系统。

任何一项水电工程的主要利益相关者是指开发者、电力供应者(或用户)、政府、金融机构、直接受影响的社区和个体(比如传统资源用户),应该在规划和批准开发的早期就识别出这些利益相关者,了解他们的合理要求,并且在财务评价和经济评价过程中也把这些因素考虑进去。

(收稿日期:2005-05-22 编辑:马敏峰)

(上接第97页)

在改线工程的实施过程中,应注意以下几个问题:①改线工程实施后,老运河的流量分配问题要予以高度重视,可以采取在进口处设置倒流设施或从长江调水的方法保证老运河的流量;②长江引水是引起新运河淤积的主要原因,可通过控制引水量和避免在高含沙量时引水等措施减少航道的淤积;③严格控制改线工程实施后老运河的污染,关键是去除污染源。

参考文献:

- [1] 吴修锋,吴时强,黄国情.京杭运河常州市区段改线工程方案论证计算[J].水利水电技术,2003,34(9):36—38.
- [2] 吴时强,吴修锋,周辉.淮河入海水道淮安地涵枢纽河道水流数值计算[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(3):27—32.
- [3] 吴时强,吴修锋,周辉,等.淮河临淮岗洪水控制工程洪水调度模型研究[J].水科学进展,2005,16(2):196—202.
- [4] GB50139-2004,内河通航新标准[S].

(收稿日期:2005-05-25 编辑:骆超)

·简讯·

国务院总理温家宝视察河海大学

2005年10月23日,中共中央政治局常委、国务院总理温家宝在国务委员华建敏、陈至立的陪同下视察了河海大学。在河海大学视察期间,温总理一行参观了河海大学水资源实验室和图书馆,听取了中荷合作项目“桩基透空堤消浪基础试验研究”、水环境项目“燃气电厂取排水口环境生态整体模型研究”、调水工程项目“大功率取水泵站研究”以及“太阳能热发电”等科研项目的介绍,并对河海大学师生发表了讲话。温总理在讲话中向学校和全体师生提出了“献身、求实、负责”的要求,并详细阐述了这6个字的内涵和意义。温总理视察河海大学并发表讲话,给河海大学师生以极大的鼓舞。陪同温总理视察河海大学的还有江苏省委书记李源潮,江苏省省长梁保华,省委常委、南京市委书记罗志军,南京市市长蒋宏坤等。

(本刊编辑部供稿)