

浦东国际机场围海大堤龙口水力数学模型研究

季永兴, 卢永金, 姚华生

(上海市水利工程设计研究院, 上海 200051)

摘要: 利用数学模型, 研究浦东国际机场围海大堤龙口在施工期涨潮和落潮时的流速大小和流场分布。

拟定龙口宽度和龙口保护范围, 为施工期龙口保护和龙口合龙提供依据。

关键词: 围海造地; 龙口; 合龙; 模型研究; 浦东国际机场

中图分类号: TV131.4

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2000)06-0036-03

浦东国际机场为扩展其建设规模, 拟在浦东新区三甲港以南 4~17 km 范围内的长江口滩地上围涂促淤, 围海造地。工程分一期促淤、二期促淤、一期围垦、二期围垦四次成陆。一期促淤早已形成, 二期促淤正在进行, 整个围海大堤堤线总长 13.50 km。首次围垦为北段 6.50 km, 围涂面积 9.47 km², 大堤基本沿一期促淤坝位置修建。一期垦区由隔堤分割为三个小围区, 每个小围区各设龙口一个, 一期促淤时, 预留口宽 300 m, 龙口底高程为 2.0 m; 各围区面积不等, 其中最大的面积约 4.2 km²。一期促淤坝内侧围区内由于促淤效果明显, 地势较高, 地面标高一般为 4.00~2.45 m, 龙口附近为 2.0 m 左右, 一期促淤坝外侧向东, 海底地形由浅迅速变深, 坡降较为明显, 高差可达 4 m 左右, 再向东, 地势抬高, 形成沙脊, 见图 1。

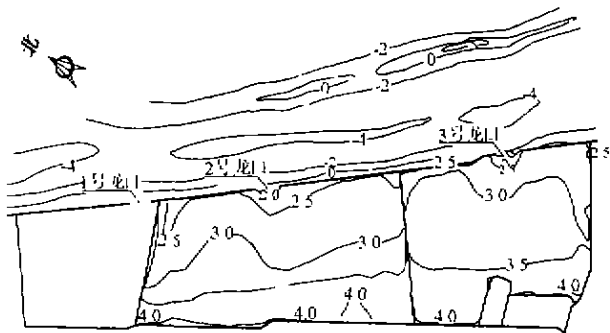


图1 浦东国际机场一期围堤平面布置示意图

本文利用数学模型研究: ①龙口高程为 2.0 m, 龙口宽度分别为 60 m, 100 m, 150 m 时, 在施工期的龙口流速和流场分布, 并据此拟定龙口宽度和龙口保护范围; ②龙口拟采用吹泥管袋冲填平堵法合龙施工, 每层袋高 0.50 m, 以拟定龙口宽度计算龙口在不同高程情况下的流速和流场分布, 为施工期龙口

合龙提供依据。

1 数学模型计算

1.1 数学模型选用

本研究采用美国陆军工程兵团水道实验站 (WES) 编制的二维等深有限元水流数学模型程式计算。其基本方程为二维浅水环流方程组^[1]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + f v -$$

$$\frac{g \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} u + \frac{\tau_{sx}}{\rho H} + \epsilon \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} - f u -$$

$$\frac{g \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} v + \frac{\tau_{sy}}{\rho H} + \epsilon \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

式中: $H = \zeta + H_0$ 为水深, ζ 为从平均水平面算起的水面高度; u, v 分别为 x, y 方向的流速; t 为时间; ρ 为流体密度; f 为科氏系数; g 为重力加速度; ϵ 为水平涡动粘滞系数; C 为 Chezy 系数; τ_{sx}, τ_{sy} 为水面上的风应力。

1.2 模型网格建立

为了节省计算量, 只对其中一个较大的围区的龙口进行模拟计算。

模型网格的建立主要根据地形采用八节点的四边形单元网格, 在地形变化较大的地方和龙口附近采用六节点的三角形单元网格连接, 并在研究范围内局部加密单元网格。因为数学模型本身存在着局限性, 故在进行模型计算时对网格边界进行了概化。

1.3 数学模型率定

数学模型的准确性往往是由率定资料来保证的,然而本模型率定时缺少率定资料,只能凭经验对模型中的参数进行调整.模型率定时由于围区范围大,龙口小,虽然龙口进水速度快,但整个围区水深变化慢,所以龙口水流接近急变流,而围区内水流为漫滩流,如果模型设定水深为某一值,高于该值时单元为湿,低于该值单元为干,模拟涨落潮时滩地干湿变化,则模型很难收敛;最后模型设定所有单元在计算前均有一层水膜,即所有单元均为湿单元以后,模型才收敛.其它各种工况也同样采用此方法.

1.4 计算潮型

为了尽量减少外海潮位对研究范围的影响,外海边界取 1.5 km 的沙脊外缘.内边界即为围区大堤.外海潮型根据施工条件选择:①施工期采用 2 年一遇潮型(如表 1),以此拟定龙口宽度和龙口保护范围;②龙口合龙施工期选择在 1998 年 12 月,故选择 1998 年 12 月预报潮位较高的一个潮型(表 2)作为计算潮型.

表 1 2 年一遇龙口保护潮型

潮 时	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	
潮高/m	0.77	2.36	3.57	4.48	4.81	4.39	
潮 时	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
潮高/m	3.81	2.91	2.25	1.68	1.27	1.02	0.74

表 2 龙口合龙计算潮型

潮 时	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
潮高/m	1.69	2.95	3.65	3.77	3.43	2.88	
潮 时	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
潮高/m	2.26	1.77	1.44	1.10	0.65	0.43	0.96

2 龙口口宽及保护范围拟定

经计算,在 2 年一遇潮型下,龙口底高程为 2.0 m 时,各口宽龙口流速分别如表 3~5 所示(假定涨潮为+,落潮为-).

表 3 60 m 口宽各点最大流速 m/s

涨落潮	口外 50 m	口上	口内 50 m	口内 75 m	口内 100 m
涨 潮	0.90	3.29	2.63	1.66	1.40
落 潮	-2.97	-2.79	-0.93	-0.47	-0.39

表 4 100 m 口宽各点最大流速 m/s

涨落潮	口外 50 m	口上	口内 50 m	口内 75 m	口内 100 m
涨 潮	1.28	2.85	3.14	2.50	2.18
落 潮	-2.34	-3.14	-1.26	-0.84	-0.67

表 5 150 m 口宽各点最大流速 m/s

涨落潮	口外 50 m	口上	口内 50 m	口内 75 m	口内 100 m
涨 潮	1.26	2.21	2.26	1.86	1.70
落 潮	-1.88	-1.83	-1.17	-0.75	-0.65

由以上计算结果分析,采用 60 m 口宽,龙口各点特别是口上涨落潮流速较大,给龙口保护带来困难;采用 150 m 口宽,各点涨落潮流速虽然较小,有利于龙口保护和合龙,但是采用吹泥平堵法合龙要求施工强度高.综合各方面的因素,结合以前工程经验,一般抛石护底龙口最大保护流速可以控制在 3.0 m/s 左右,所以拟定采用 100 m 口宽,口上最大涨潮流速 2.85 m/s,最大落潮流速 3.14 m/s,龙口保护范围建议口外保护 50 m,口内保护 50~75 m.根据经验,在保护范围以外滩地会因流速过大而形成冲刷坑,由于冲刷坑的形成,造成天然的消力池.流速会迅速减小,冲刷坑不会继续扩大^[2];而且冲刷坑远离合龙大堤堤脚,对大堤稳定不会构成威胁.模型计算流场图很好地反映了此情形,如图 2 和图 3.

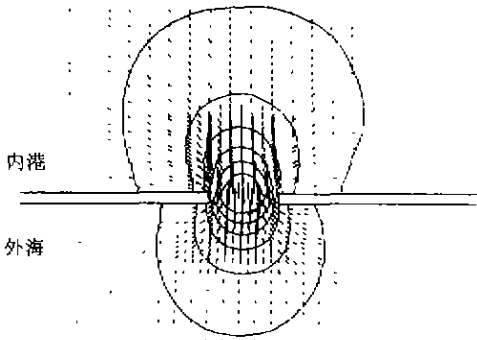


图 2 涨潮时流场

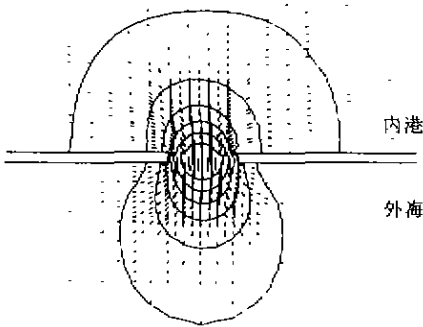


图 3 落潮时流场

3 龙口合龙水力计算

龙口合龙水力计算采用 100 m 口宽.

龙口采用泥浆泵吹泥平堵施工,不管施工强度多大,每一低潮位只能吹填一层,一层吹填结束,然后让泥浆在高潮位期间固结.根据工程经验,一般吹泥管袋合龙施工,流速控制在 3.0 m/s 左右.每层吹泥管袋厚一般为 50 cm,故选择龙口计算高程为 2.0

m, 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m. 在 1998 年 12 月潮型, 不同高程情况下, 龙口流速见表 6 (假定涨潮为 +, 落潮为 -).

表 6 100 m 口宽、不同高程下各点最大流速 m/s

高程/m	口外 50 m	口上	口内 50 m	口内 75 m	口内 100 m
2.0(涨潮)	0.76	2.08	2.03	1.45	1.21
2.0(落潮)	-1.40	-2.39	-0.99	-0.57	-0.46
2.5(涨潮)	0.70	2.22	1.82	1.40	1.16
2.5(落潮)	-1.26	-2.24	-0.78	-0.48	-0.38
3.0(涨潮)	0.59	2.10	1.35	1.15	0.96
3.0(落潮)	-1.12	-2.00	-0.60	-0.39	-0.32
3.5(涨潮)	0.47	1.65	0.85	0.77	0.65
3.5(落潮)	-1.03	-1.60	-0.47	-0.33	-0.27

根据以上计算数据, 可以看出龙口合龙期流速小于龙口保护期流速, 合龙时口上最大涨潮流速 2.22 m/s, 最大落潮流速 2.39 m/s, 在施工强度保证

的情况下, 采用吹泥平堵施工, 龙口合龙可以保证.

4 结 语

1999 年 1 月, 浦东国际机场一期围海大堤龙口合龙时, 选择了一个比计算高潮位还要小的潮型, 合龙流速小于计算流速, 龙口顺利合龙.

参考文献:

- [1] 吴江航, 韩庆书. 计算流体力学理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1988, 11.
- [2] 卢永金, 陈美发, 季永兴, 陆建锋. 平面二维水力数学模型在上海水利工程中的应用[J]. 水动力学研究与进展, 1997, 13(增刊): 61~65.
- [3] 许荫椿, 胡德保, 薛朝阳. 水力学[M]. 北京: 科学出版社, 1990, 368.

(收稿日期: 1999-04-10 编辑: 熊水斌)

(上接第 33 页)

在设计中, 采取从拱顶向拱端张拉吊杆的方案. 给定 $N_i = 20 \text{ kN}$, 为常量. 根据平面结构有限元法分别对 6 个计算模型求解, 求得 $[t_{ji}]$ 中的各系数为

$$\begin{bmatrix} 1 & -1.625 & -0.386 & -0.042 & 0.028 & 0.011 \\ & 1 & -0.558 & -0.145 & -0.003 & 0.008 \\ & & 1 & -0.455 & -0.118 & -0.090 \\ & & & 1 & -0.360 & -0.061 \\ & & & & 1 & -0.178 \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

由式(1)解得所需的初始张拉力:

$$T^0 = [T_0^0 \quad T_1^0 \quad T_2^0 \quad T_3^0 \quad T_4^0 \quad T_5^0]^T =$$

$$[100.6 \quad 45.5 \quad 38.1 \quad 29.7 \quad 23.6 \quad 20.0]^T \text{ kN}$$

由此可以看出, 要保持每根吊杆最终的预张拉力为 20 kN, 各根吊杆的初始张拉力必须大于或等于最终的预张拉力. 在最终预张拉力作用下, 拱肋与系杆产生的内力见表 1.

很显然, 对于同一最终预张拉力的设计值, 不同的吊杆张拉顺序, 在各吊杆中施加的初始张拉力大小是不同的, 而吊杆预张拉力引起的结构内力是相同的.

4 结 语

本文根据系杆拱桥吊杆张拉时的受力特点, 提出了一种新的简单实用的求解吊杆初始张拉力的计算方法, 编制了相应的计算机软件. 该软件具有很强的前后图形处理和各种计算功能, 可以解决系杆拱桥设计和施工中常规的计算问题和各种复杂的力学难题, 现已应用于实际工程, 并证明是可行和合理的.

表 1 吊杆预张拉力引起的结构内力

部位	杆号	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/kN·m
拱	A—1	-92.6	69.3	-1073.3
	1—2	-76.9	58.8	-654.3
	2—3	-62.0	48.3	-311.4
	3—4	-49.7	36.1	145.7
	4—5	-40.9	22.4	260.0
系杆	5—6	-36.3	7.6	298.1
	A—1'	35.7	-110.0	1073.3
	1'—2'	35.7	-90.0	523.3
	2'—3'	35.7	-70.0	-276.7
	3'—4'	35.7	-50.0	-526.8
	4'—5'	35.7	-30.0	-676.8
	5'—6'	35.7	-10.0	-726.8

参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1987, 2~10.
- [2] 徐次达等. 固体力学有限元理论方法及程序[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983, 108~125.

(收稿日期: 2000-07-04 编辑: 马敏峰)

