



某围海造地项目堵口合龙方案研究

王振奥, 任志杰

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 在围海造地过程中必然要面临堵口合龙问题, 堵口合龙时口门处的水力条件非常复杂, 对堵口工程的安全稳定性影响很大, 传统简易的设计、施工方法难以有效解决该问题。以某围海造地项目为例, 介绍了该项目的龙口水力计算情况, 并对堵口合龙过程中口门处的水动力情况进行分析, 选择合适的口门位置和尺度, 合理安排堵口施工程序, 为堵口合龙施工提供了科学依据。

关键词: 围海; 堵口; 水力计算; 口门位置; 堵口程序

中图分类号: U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)S1-0021-05

Procedure of blocking-off in the sea reclamation engineering

WANG Zhen-ao, REN Zhi-jie

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In the progress of the sea reclamation engineering, the hydraulic condition is very complicated, and has much more effects on the safety of the blocking-off engineering. Traditional method is difficult to solve this problem. Then the hydraulic calculations are conducted for the sea reclamation engineering. Based on the analysis of the hydraulic conditions, we can choose the suitable scale, the right place for the entrance, and the proper maintenance procedure of blocking-off. The results provide scientific basis on the cofferdam blocking-off.

Keywords: sea reclamation engineering; blocking-off; hydraulic calculation; entrance place; procedure of blocking-off

1 工程简介

工程围海面积约 163.07 万 m^2 , 围海造地面积较大, 综合考虑使用要求、地质条件、周边环境及工程造价等因素, 围堤结构选用抛石斜坡堤方案。

工程所在海域的潮汐形态数小于 0.5, 潮流为正规半日潮, 潮差较大, 属于强潮海域。理论深度基准面在当地平均海平面以下 3.38 m, 在黄海平均海平面以下 2.82 m。潮流基本呈往复流, 涨潮东南向进、落潮西北向流。

工程所在海域是最容易受台风影响和袭击的地区之一, 因此, 堵口施工要避免每年台风季节, 合理安排施工工期, 选取最佳堵口时间。同时, 合龙方案还要根据潮汐涨落规律、口门处涨落潮

流速、最大控制流速、施工效率、备料工程量、施工通道等因素综合考虑后确定。

2 龙口口门位置选择

龙口口门位置的选择应综合考虑施工条件、工程地质条件、口门水深、潮汐特征等因素。

为了加快施工进度, 节约成本, 一般从围堤两端同时向中间推进施工, 所以龙口的位置宜设在围堤的中间。龙口应选在地质条件较好的位置, 有利于堤身的稳定; 同时龙口应选在口门处有一定水深的位置, 口门处有一定的水深则水流顺畅, 并可以起到水垫消能的作用, 有利于防止对下游地基的冲刷, 从而保证堤头的稳定, 但口门处水

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 王振奥 (1986—), 女, 硕士, 工程师, 从事港口与航道工程设计。

深不宜过大,因为较深的口门堵口工程量较大,一旦堵口失败,对围堤的重建是不利的。

龙口位置的选择还应结合潮汐特性,根据潮流的涨、落潮流向,口门位置应选在与潮流相垂直的方向,有利于水流的分散,避免涨落潮时集中水流对龙口地基的冲刷以及对口门处抛石产生的安全隐患。

3 堵口合龙方案^[1-2]

堵口合龙方案根据堵口施工程序分为立堵施工方案和平堵施工方案。

1) 立堵施工方案。从堤头两端向中间不断推进,逐渐压缩口门宽度,单宽流量逐渐增大,口门处的流速也在不断变大。当口门宽度压缩到一定程度时,口门处的流速达到最大值,在口门处易形成较强的立轴漩涡,对基床和堤头的冲刷力很大,影响围堤堤头的安全和稳定。同时,立堵相当于对口门处的地基短时加荷,地基无法在短时间内固结,孔隙水压力过大会引起围堤地基的滑坡。但是立堵可以从堤头两端陆上推进施工,受潮汐影响较小,可施工时间长,施工效率高,工程造价低,能够节约工程投资,缩短施工工期。

2) 平堵施工方案。采用抛石船逐层抬高龙口底槛高程。随着底槛高程的不断加高,口门流速不断变大,当底槛高程达到某一高程时,流速达到最大值,之后流速开始变小。逐层抬高底槛高程,对地基相当于逐步增加荷载,有利于地基的固结。但是平堵一般不能采用陆上施工,基本上都是水上施工,采取抛石船抛石,口门处的水深要满足抛石船吃水要求,而且水上施工受潮汐影响较大,可施工时间短,施工效率低,工期长,造价高。

在堵口合龙时,需要为堵口备料,备料工程量一般按堵口合龙工程量的2倍计算,若口门宽度过大会导致备料工程量较大,并且在一个小潮周期内难以完成合龙。龙口堤身两端应布置石料堆场和材料堆场,以便于缩短抛石封堵口门的时间。

堵口合龙时应重点防护护底及两侧堤头,施

工前需在原滩面处铺设充泥管袋,然后在其上铺设砂肋软体排,防止地基土体被淘空;施工过程中应避免抛石船施工无法承受的高速水流,并采取铁丝笼装块石、在坡脚和护底压载端抛大块石或铁丝石笼等措施以保证顺利合龙。

4 水力计算原理^[3]

影响堵口合龙难易程度的主要因素是潮汐和围填区的纳潮量。纳潮量与最高潮位、潮差、围海面积有关,潮差越大,围海面积越大,纳潮量就越大,口门处的流速也就越大,堵口越困难。因此水力计算主要根据水量平衡方程式,由外港潮位变化曲线来推算内港水位随时间变化的过程线,研究在涨、落潮过程中逐渐压缩口门宽度、逐层抬高口门底槛高程等各组工况下水力要素(流速、单宽流量等)的变化,从而确定龙口的尺度。

当外海潮位高于围堰内水位时,外海向围堰内灌水,当围堰内水位高于外海时,围堰内的水排向外海。水量交换使围堰内的水位发生变化。若不计灌泄水时口门周围水位的局部变化,根据进(出)内港的流量平衡原理,可得基本方程为:

$$[\bar{Q}_{内} \pm (\bar{Q}_{闸} + \bar{Q}_{溢} + \bar{Q}_{渗})] \Delta t = V_2 - V_1 \quad (1)$$

式中: Δt 为计算时段长度(s),时间越短,计算精度越高; $\bar{Q}_{内}$ 为计算时段内由海域流入内港的平均流量(m^3/s),需要根据实测资料确定; $\bar{Q}_{闸}$ 为计算时段内水闸泄水平均流量(m^3/s); $\bar{Q}_{溢}$ 为计算时段内堵口溢流平均流量(m^3/s); $\bar{Q}_{渗}$ 为计算时段内围堤堆石体渗流平均流量(m^3/s); V_1 为计算时段初内港库容量(m^3); V_2 为计算时段末内港库容量(m^3)。

由于闸门和溢流过程都属于堰流,因此其流量 $\bar{Q}_{闸}$ 和 $\bar{Q}_{溢}$ 均可以通过堰流公式计算得到。该工程不设闸门,因此 $\bar{Q}_{闸}$ 可忽略不计。

4.1 进水时堤顶流速的计算

1) 自由出流。

如图1所示, $Z \geq \frac{1}{3}(H_{外} - H_{口门})$ 时,

$$v = \frac{q}{h_k} = \frac{m \sqrt{2g} (H_{外} - H_{口门})^{3/2}}{3 \sqrt{\frac{\alpha q^2}{g}}} = \left(\frac{m}{2\alpha}\right)^{1/3} \sqrt{2g (H_{外} - H_{口门})} \quad (2)$$

式中: v 为龙口堆石体顶的平均流速 (m/s); q 为龙口单宽流量 (m²/s); Z 为内、外港水位差 (m); $H_{口门}$ 为口门处水位 (m); m 为流量系数, 取 0.385; α 为常数, 取 1.1。

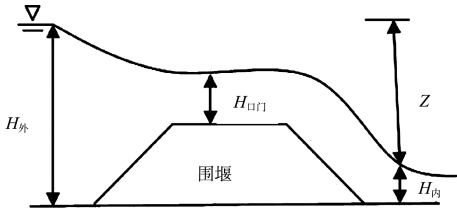


图 1 自由出流情况

2) 淹没出流。

如图 2 所示, $Z < \frac{1}{3}(H_{外} - H_{口门})$ 时,

$$v = \varphi \sqrt{2gZ} \quad (3)$$

式中: φ 为流速系数 (一般取 0.9~1.1)。

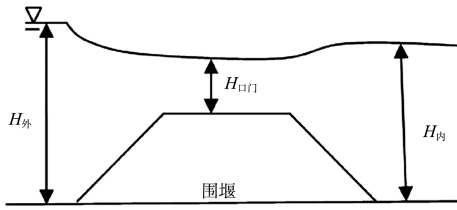


图 2 淹没出流情况

4.2 出水时堤顶流速的计算

1) 自由出流。

$Z \geq \frac{1}{3}(H_{内} - H_{口门})$ 时,

$$v = \left(\frac{m}{2\alpha}\right)^{1/3} \sqrt{2g(H_{外} - H_{口门})} \quad (4)$$

2) 淹没出流。

$Z \leq \frac{1}{3}(H_{内} - H_{口门})$ 时,

$$v = \varphi \sqrt{2gZ} \quad (5)$$

5 水力计算条件

通过水力计算可以确定龙口的尺度, 为堵口合龙提供安全可靠的压缩口门的顺序, 回避堵口

合龙施工过程中高速的水流冲刷, 减少或避免使用特殊的抛填材料, 以最少的工程量和普通的块石来完成堵口任务。水力计算时需考虑工程区域的水位-库容曲线、堵口合龙潮位选择标准、堵口合龙流速控制标准和堵口合龙口门初始宽度控制标准。

1) 工程区域的水位-库容曲线。

根据工程区域的面积和原始地形图实测资料, 计算该围海造地区在不同水位时的纳潮量 (库容)。水位-库容曲线见图 3。

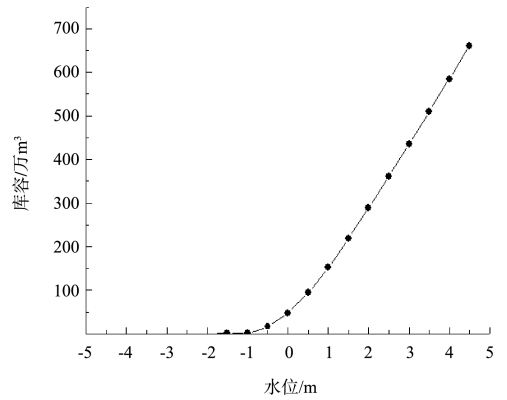


图 3 围海造地区水位库容曲线

2) 堵口合龙潮位选择标准。

龙口的流速与库容量有关, 潮位高、潮差大, 则库容量也就越大, 所以同样尺度的口门, 库容量大, 则口门处流速就大。堵口合龙施工时, 应选择最不利且有可能在堵口期间遇到的潮型, 即高潮位高且潮差大的潮型。根据实测资料, 本工程潮位选择标准采用年最不利小潮潮位潮型, 最高潮位 2.7 m, 最低潮位为 -1.55 m。潮位过程线见图 4。

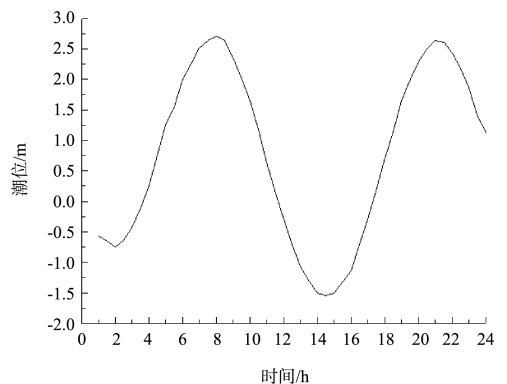


图 4 年最不利小潮潮位过程线

3) 堵口合龙流速控制标准。

堵口确定初始口门宽度时,以流速作为控制要素,考虑到流速超过 3.0 m/s 时,即使采取钢筋笼装块石堵口等施工措施,也难以抵挡高速水流对堤头和口门处地基的冲刷和淘空,从而导致堵口失败,综合考虑该口门处的最大流速不宜超过 3.0 m/s。

4) 堵口合龙口门初始宽度控制标准。

堵口合龙尽量选在一个小潮期间完成,考虑工程所在地的施工能力、材料数量、材料来源及材料的堆放场地等因素,口门宽度不宜取太宽,否则堵口工程量较大,很难在一个小潮

周期内完成合龙。

6 水力计算结果及分析

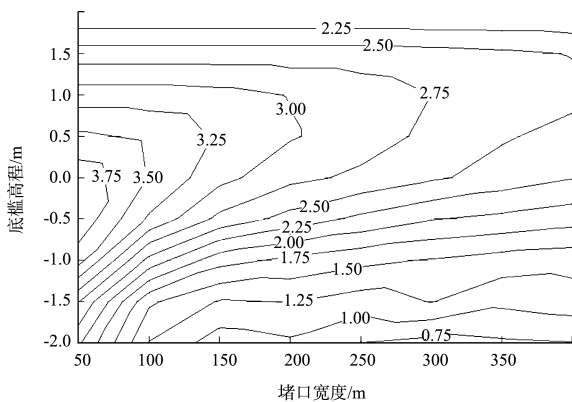
本工程口门位置天然水深在-1.25 m,选取不同的口门宽度和底槛高程组合进行水力计算。

本工程水力计算选取口门宽度分别为 50、100、150、200、250、300、400 m;底槛高程分别为-1.25、-1.0、-0.5、0.0、0.5、1.0、1.5、2.0 m;通过组合工况的计算,得到堵口合龙期间涨潮流、落潮流的最大流速(表1)。各种组合工况下涨落潮流速最大值等值线见图5。

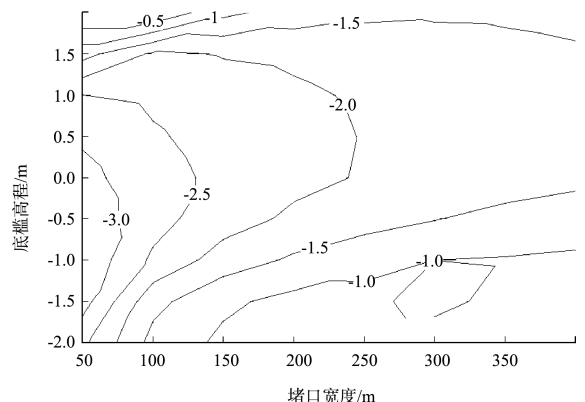
表1 堵口合龙期间最大流速计算结果

m/s

潮流	底槛高程/m	口门宽度/m						
		50	100	150	200	250	300	400
涨潮	-1.25	3.15	1.82	1.26	0.98	0.84	1.01	0.80
	-1.00	3.60	2.42	1.84	1.69	1.57	1.48	1.34
	-0.50	3.95	3.21	2.68	2.41	2.19	2.02	1.85
	0.00	3.91	3.49	3.08	2.82	2.69	2.54	2.26
	0.50	3.55	3.45	3.21	3.02	2.88	2.69	2.41
	1.00	3.12	3.12	3.08	2.99	2.88	2.75	2.57
	1.50	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.58	2.49
	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
落潮	-1.25	-3.35	-2.05	-1.30	-1.15	-1.08	-1.08	-1.07
	-1.00	-3.40	-2.41	-1.77	-1.42	-1.15	-1.00	-0.91
	-0.50	-3.33	-2.68	-2.22	-1.91	-1.72	-1.52	-1.28
	0.00	-3.15	-2.68	-2.39	-2.13	-1.96	-1.81	-1.61
	0.50	-2.93	-2.56	-2.30	-2.13	-1.98	-1.89	-1.74
	1.00	-2.50	-2.39	-2.19	-2.07	-1.95	-1.84	-1.66
	1.50	-1.30	-2.08	-1.97	-1.92	-1.82	-1.72	-1.56
	2.00	0.00	0.00	-0.86	-1.22	-1.39	-1.43	-1.36



a) 涨潮



b) 落潮

图5 涨、落潮流速最大值等值线 (单位: m/s)

由涨、落潮最大流速计算结果(表 1)以及涨、落潮流速最大值等值线(图 5)可见,当口门宽度大于 250 m 时,无论采用平堵方案还是立堵方案,最大流速均不超过 3.0 m/s。同时考虑到口门宽度为 250 m 时,合龙口工程能够在一个小潮周期内完成,因此合龙时龙口宽度取为 250 m。

7 本工程堵口合龙方案比选

本工程综合立堵和平堵施工的优点,采取平立堵相结合的方式堵口。在施工时,既能保证口门处所经历的水力条件最好,维持地基的稳定,同时还能陆上施工,提高施工效率,节约工程成本。本工程龙口口门初始宽度为 250 m,合龙工程量较小,1 d 就可以完成合龙。根据水力计算结果,结合口门流速随口门宽度和底槛高程的变化规律,提出两个堵口合龙方案。

方案 1。在原泥面水深为 -1.25 m、口门初始宽度 250 m 时,先平堵至底槛高程 1.0 m,平堵过程中最大流速 2.88 m/s,之后选择落潮时立堵至口门宽度 50 m,最后封堵口门,立堵过程中最大流速为 2.50 m/s,满足合龙期流速控制的要求。

方案 2。先立堵至口门宽度为 100 m,立堵过程中最大流速为 1.82 m/s,之后选择在落潮期间平堵至底槛高程 2.0 m 直至封堵口门,平堵过程中最大流速为 2.68 m/s,在整个堵口施工过程中,口门处所经历的最大流速均小于 3.0 m/s。

经过对比,在龙口口门处的水力条件两个方案基本相当,但是方案 1 在地基稳定方面优于方案 2;综合考虑,本工程选取方案 1 作为堵口合龙方案。

8 结语

1) 围海造地项目龙口口门位置的选择应综合考虑施工条件、工程地质条件、口门水深、潮汐特征等因素。龙口口门应选择工程地质较好、有一定水深、并与潮流方向相垂直的位置。

2) 水力计算时需考虑工程区域的水位-库容曲线、堵口合龙潮位选择标准、堵口合龙流速控制标准和堵口合龙口门初始宽度控制标准。

3) 通过水力计算结果可知,涨、落潮时口门处的流速随底槛高程和口门宽度的变化而变化。底槛高程不变,口门宽度减小时,单宽流量逐渐增大,口门处的流速也在不断变大,当口门宽度压缩到一定程度时,口门处的流速达到最大值;口门宽度不变,底槛高程加高时,口门流速不断变大,当底槛高程达到某一高程时,流速达到最大值,之后流速开始变小。

4) 堵口合龙时,在口门处水流流速不超过涨落潮最大控制流速的前提下,可选择不同的堵口合龙施工程序。堵口合龙施工程序主要根据口门处的水力条件、工程所在地的施工道路布置、堵口材料来源以及地基稳定情况等因素来确定。

参考文献:

- [1] 汪龙腾.围海堵口工程龙口水力条件及堵口程序[J].河海大学学报:自然科学版,1979(4):13-20.
- [2] 陈德春,吴继伟,李宇,等.围海工程堵口合龙技术研究[J].河海大学学报,2002,30(5):67-70.
- [3] 王振奥,李绍武.围海堵口工程水力条件研究[R].天津:天津大学,2010.

(本文编辑 武亚庆)

著作权授权声明

全体著作权人同意:论文将提交《水运工程》期刊发表,一经录用,本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。