

围海工程堵口合龙技术研究

陈德春¹, 吴继伟¹, 李宇¹, 张闽生²

(1. 河海大学交通与海洋工程学院, 江苏 南京 210098 2. 福建省水利厅水利建设技术中心, 福建 福州 350001)

摘要:为合理选择堵口顺序和方法以及确定最佳堵口合龙技术方案, 利用水量平衡方程对围海工程堵口合龙过程口门水力要素变化规律进行了研究. 结果表明: 大龙口口门选择时, 可采用汛期潮型, 并以控制流速确定其尺寸, 同时做好龙口护底和堤头防护. 堵口合龙时, 应采用非汛期潮型, 以涨潮最大流速等值线确定堵口顺序和方法. 软土地基堵口段要采用宽浅式口门及复式断面, 断面边坡最大流速处于坡脚. 施工中要加强防护. 最佳堵口合龙技术方案要满足工程量小、施工组织管理容易以及一个小潮期能堵口截流成功的要求.

关键词: 围海工程; 堵口合龙; 堵口顺序; 平立堵

中图分类号: U655.54⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-198X(2002)05-0067-04

我国沿海地区经济发达, 人多地少, 土地资源十分紧缺. 随着经济发展、人口增加及城市化进程的加快, 对土地的需求越来越大. 新中国建立以来, 沿海地区共围海造陆达 120 万 hm^2 , 大大缓解了该地区人多地少的矛盾. 在围围土地上, 已开辟了大片粮、棉等作物和水产养殖的基地, 建设了油田、化工、电力等大型工业和众多的港口、机场、海涂水库和新城镇, 为沿海地区社会经济的改善和人民生活环境的改善, 作出了重大贡献. 我国围海工程实践表明^[1], 堵口合龙是围海工程施工中的关键环节, 它受到动水、潮差、潮吞吐量、风浪、深港、软基、施工进度、建筑材料来源、气象等诸多因素的影响. 堵口合龙的成败对工程的进度、投资和质量均有很大影响.

本文以某围海工程为例, 对堵口合龙中关键技术——龙口布置与防护、龙口水力计算及水力条件分析、截流堤设计、堵口顺序与方法进行研究.

1 龙口位置和龙口防护

1.1 龙口口门位置

龙口口门位置的选择应考虑地形、地质、水深、堵口材料来源、运输条件和水闸位置等因素的影响. 实例中国区涂面高程差异不大, 地基条件均属软基, 指标值基本相同. 选择龙口口门位置主要考虑材料来源和施工运输条件. 因工程区域石料场多处分布, 为使一定运输量时的运输费用尽可能地少, 龙口口门位置选择在围区南堤的东端, 涂面高程 1.0 ~ 1.5 m.

1.2 大龙口口门选择

当龙口口门压缩到一定程度, 采用土堤断面难以进占而需采用堆石堤进占时的口门称为大龙口. 算例中根据工程规模, 按 300 ~ 800 m 口门宽度来确定大龙口尺寸的范围, 考虑口门需安全渡汛, 则采用设计标准 10 年一遇的汛期典型潮型, 进行大龙口口门选择水力计算. 计算中研究了 300 m、400 m、500 m、600 m、700 m、800 m 口门宽度和龙口底槛高程 1.3 m、1.5 m 的组合情况. 确定大龙口尺寸(宽度)时, 一般以流速作为控制因素. 该工程控制流速取 4 m/s. 计算结果表明, 当口门宽度为 300 m、400 m 时涨潮流速明显偏大, 当口门宽度为 800 m 时口门石方工程量也较大. 因此, 初选口门宽度为 500 m、600 m、700 m, 进一步研究后再确定大龙口尺寸.

1.3 龙口防护

龙口形成后, 在堵口开始前是水流进出的通道. 此时水流集中, 形成一股楔形水流, 不仅在涨、落潮过程中均出现较大的落差和流速, 而且在口门两侧还出现立轴旋涡. 龙口防护重点考虑护底及两侧堤头.

1.3.1 护底计算

护底长度计算公式为
$$L = (h_{\text{上}} - h_{\text{下}}) \cdot i + S \quad h_{\text{上}} = q/V' \quad (1)$$

式中: $h_{\text{上}}$ 、 $h_{\text{下}}$ ——上、下游水深; S ——安全距离; i ——冲刷坑边坡; V' ——土壤允许抗冲平均流速; q ——龙口单宽流量。

块石尺寸计算公式为
$$v_c = k \sqrt{2g(\gamma_s - \gamma_c)/\gamma_c} \sqrt{D} \quad (2)$$

式中: k ——系数; g ——重力加速度; γ_s ——抛石容重; γ_c ——海水容重; D ——块石当量直径; v_c ——块石抗冲稳定临界流速。

算例中,当口门宽度为 500 m、600 m、700 m 时,护底长度分别为 105 m、64 m、62 m。石块当量直径分别为 0.43 m、0.38 m、0.30 m 时,相应块石重量分别为 1100 N、750 N、370 N。护底构造取最下层设置一层土工布,在其上铺设碎石或砂垫层 0.3~0.5 m,然后再抛石 1~2 层。

1.3.2 堤头保护

龙口形成后,堵口开始前以及堵口过程中截流堤停止进占时,应对口门两侧堤头进行保护,要防止龙口水流、立轴旋涡及堤身渗流对堤头的破坏。首先,堤头应放缓坡,从而改善口门水流态势;其次,对堤头一定范围内的堤坡进行保护,也就是裹头。裹头构造同护底。

1.4 大龙口尺寸确定

对口门宽度 500 m、600 m、700 m 3 个方案进行护底、裹头及截流堤设计,并对不同口门宽度时龙口流速、块石尺寸和重量、护底与裹头工程量、截流堤工程量以及施工组织等各项指标进行比较。结果表明:当口门宽度 600 m 时,龙口控制流速为 4.0 m/s 左右,块石尺寸适中,护底和裹头工程量比口门宽度 700 m 时略低,比口门宽度 500 m 时低得多,截流堤工程量比口门宽度 700 m 时小,施工组织比较方便。因此,大龙口口门宽度可选为 600 m。

2 龙口水力计算

2.1 计算目的

龙口水力计算的目的在于推求堵口合龙过程中内港水位随时间的变化过程,研究压缩、抬高口门底槛过程中各个口门的水力要素(流速、落差、单宽流量)的变化规律,为选择堵口顺序、截流堤设计和堵口施工提供科学依据。

2.2 计算方法

围海工程龙口水力计算一般采用水量平衡方程^[2]

$$[\bar{Q}_{\text{内}} \pm (\bar{Q}_{\text{闸}} + \bar{Q}_{\text{泄}} + \bar{Q}_{\text{渗}})] \cdot \Delta t = V_2 - V_1 \quad (3)$$

式中: $\bar{Q}_{\text{内}}$ ——计算时段内内陆流域来水平均流量; $\bar{Q}_{\text{闸}}$ 、 $\bar{Q}_{\text{泄}}$ ——计算时段内水闸、龙口泄水平均流量; $\bar{Q}_{\text{渗}}$ ——计算时段内截流堤堆石体渗流平均流量; Δt ——计算时段,一般取 1800~3600 s; V_1 、 V_2 ——计算时段初、末内港库容量。

2.3 水力要素随口门尺寸变化规律

龙口水力要素变化规律尤以流速最重要,其变化规律也最具代表性。算例中龙口水力计算采用非汛期 5 年一遇典型潮型,大龙口尺寸为 600 m,在龙口压缩过程中,龙口宽度与底槛抬高高程的组合变化见表 1。算例中流速变化规律为(表 1 和图 1):当口门宽度不变而抬高底槛高程(即平堵)时,无论是进流或出流,最大流速开始逐渐增大,到某一高程(口门越窄,此高程越低)时达到最大值,然后随底槛(龙口堤顶)高程的抬高,最大流速逐渐减少,直至堤顶高出水面时变为零。当底槛高程不变而压缩口门宽度(即立堵)时,则最大流速逐渐增大,至某一口门宽度(底槛高程越低,此宽度越窄)时达到最大值,而后再压缩口门宽度,此最大值在进流时几乎不变,而在出流时稍有减小。

由上述规律可知,窄而深的口门其流速较大,不利于堵口合龙。

2.4 堵口顺序与方法

堵口方法有平堵、立堵和平立堵相结合 3 种。堵口工程常采用平立堵相结合的方法。其特点在于能充分利用平堵和立堵各自的优点而避开它们的缺点,在堵口合龙时,既能获得较好的龙口水力条件和地基稳定条件,又能充分发挥陆上施工力量,利用陆抛提高效率,加快进度,降低成本。

堵口顺序的选择 ,必须满足堵口过程中安全、稳定的要求 ,同时还应考虑施工效率、施工进度与成本 .

表 1 非汛期 5 年一遇典型潮型堵口水力计算结果

底 槛 高 程/m	口 门 宽 度/m																	
	50		100		150		200		250		300		400		500		600	
	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$	$V_{涨}$	$V_{落}$
5.5	-1.69	-1.71	-1.56	1.59	-1.44	1.48	1.19	1.31	-0.84	1.31	-0.35	1.25	0.44	1.17	0.85	1.10	1.01	1.07
5.0	-1.29	2.19	-1.41	1.89	2.00	1.71	2.04	1.56	2.04	1.49	2.04	1.45	2.04	1.40	2.04	1.39	2.04	1.7
4.5	2.47	2.13	2.63	1.81	2.63	1.66	2.63	1.64	2.63	1.60	2.63	1.59	2.63	1.65	2.63	1.78	2.63	1.84
4.0	3.11	2.23	3.11	2.10	3.40	2.09	3.11	2.10	3.11	2.13	3.11	2.15	3.11	2.15	3.11	2.18	3.11	2.20
3.0	3.90	2.89	3.90	2.99	3.90	3.12	3.90	3.14	3.90	3.14	3.90	3.12	3.90	3.07	3.73	3.10	3.73	3.08
2.0	4.55	3.76	4.55	3.70	4.55	3.74	4.55	3.84	4.41	3.83	4.41	3.80	4.41	3.84	4.26	3.79	3.96	3.71
1.5	4.84	3.63	4.84	3.94	4.84	3.96	4.76	4.09	4.71	3.95	4.64	4.02	4.42	3.94	4.28	3.68	3.97	3.28
1.3	4.96	3.87	4.96	4.09	4.97	4.08	4.83	4.11	4.83	4.03	4.63	3.98	4.18	3.90	4.18	3.54	3.69	3.37

注 : $V_{涨}$, $V_{落}$ 为涨、落潮最大流速值 $\mu\text{m/s}$.

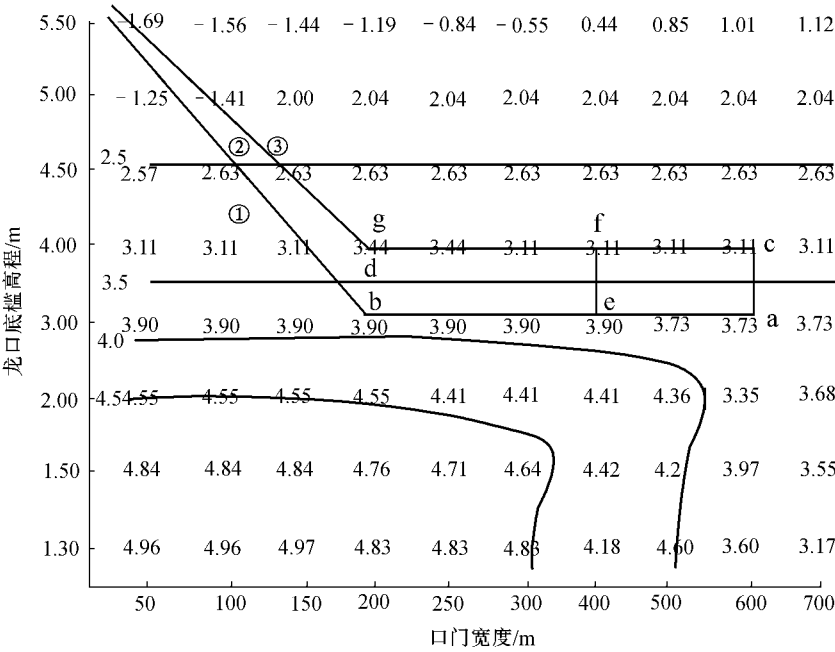


图 1 涨潮流速等值线与堵口方案

Fig.1 Velocity contours of flood tide current and schemes of gap closure

算例中 ,通过对龙口控制流速变化规律的分析 ,研究了 3 个堵口顺序方案(图 1) :第一方案 :先平堵到 a(600 3.0)再立堵到 b(200 3.0)即为合龙口 ,一次截流成功 .第二方案 :先平堵到 a(600 3.0) ,再平堵到 c(600 4.0) ,然后立堵到 d(200 4.0)即为合龙口 ,一次截流成功 .第三方案 :先平堵到 a(600 3.0) ,再立堵到 e(400 3.0) ,然后平堵到 f(400 4.0) ,最后立堵到 g(200 4.0)即为合龙口 ,一次截流成功 .

3 截流堤设计

截流堤是在堵口段用来截断潮流的戗堤 .围海工程的关键在于堵口 ,堵口的关键在于截流堤的建设 .

算例中 堵口段属软基宽浅式口门 ,截流堤可采用复式断面 .复式断面由上、下 2 部分组成 ,断面下部兼起护底和压载作用 ,断面上部主要用于截流 ,其顶高应超过堵口设计高潮位 .堵口过程中截流堤断面边坡流速计算公式为
$$\Delta h + V_1^2/2g = V_2^2/2g + [n^2/2^{3/2} \cdot (V_1 + V_2)^2 \cdot L] (h_1 + q/v_2)^{4/3} \tag{4}$$
 式中 : Δh —— 位能差 μm ; h_1 —— 堰顶水深 μm ; V_1 —— 龙口堰顶流速 $\mu\text{m/s}$; V_2 —— 待求的坡脚流速 $\mu\text{m/s}$; L —— 截流堤坡面长度 μm ; q —— 龙口单宽流量 $\mu\text{m}^2/\text{s}$; n —— 块石糙率 .

算例中对 3 个堵口顺序方案 ,分别计算不同龙口尺寸情况下的边坡最大流速及其所需块石稳定重量 .结果表明 ,坡脚最大流速一般均大于堰顶最大流速 .因此 ,在施工中要对边坡加强防护 ,堤坡脚和护底压载末端要抛大块石或铁丝石笼 ,并在其间抛填按堰顶流速计算得到的一定重量的块石 .

4 堵口技术方案比较与选择

堵口技术方案比选取决于 (a)不同堵口顺序和方法形成截流堤的水力稳定和地基稳定校核 (b)满足稳定条件的截流堤断面和材料要求 (c)平、立堵的工程量及所需施工力量和效率 (d)小龙口工程量 ,以及在一个小潮期内完成堵龙口的可能性 (e)施工组织管理措施 (f)工程成本 .

由 3 个堵口方案综合比较(表 2)可知 :在满足地基条件稳定的前提下 ,从水力条件看 ,方案二与方案三相似 ,方案一较差 .从施工条件看 ,方案一在一个小潮期内完成 7 500 m³ 合龙口工程量有困难 ;方案二平堵工程量较大 ,将增加施工工期及费用 ;方案三平、立堵工程量较接近 ,最后一个小潮期内能够完成合龙口工程量 ,此方案较佳 .

表 2 不同堵口技术方案比选
Table 2 Comparison of different schemes for gap closure

方 案	水力要素			水 力 稳定性	地 基 稳定性	平堵工 程量/m ³	立堵工 程量/m ³	合龙口工 程量/m ³	一个小潮期 内完成堵龙 口的可能性	施工设备	施工组 织管理
	龙口流速 $V/(m \cdot s^{-1})$	落差 Z/m	单宽流量 $q/(m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1})$								
一	3.90	1.02	7.16	稳定	稳定	11 100	15 000	7 500	较小	能满足	较容易
二	3.11	1.06	3.63	稳定	稳定	20 400	8 800	4 400	一般	能满足	较容易
三	3.11	1.06	3.63	稳定	稳定	17 300	11 900	4 400	一般	能满足	容 易

5 结 语

围海工程堵口合龙中所遇到的技术问题 ,是整个围海工程中最复杂、最困难的问题 .堵口合龙的成败对围海工程的进度、投资和质量有着很大影响 .笔者采用水量平衡方程 ,对围海工程堵口合龙过程口门水力要素变化规律进行研究 ,为合理选择堵口顺序和方法以及确定最佳堵口合龙技术方案提供了一定的理论依据 ,并确保了堵口截流的顺利进行 .

参考文献 :

[1] 陈吉余 .中国围海工程 [M] .北京 :中国水利水电出版社 ,2000 .185 ~ 201 .
[2] 严恺 .中国海岸工程 [M] .南京 :河海大学出版社 ,1992 .218 .

Study on closure technique for sea reclamation works

CHEN De-chun¹ , WU Ji-wei¹ , LI Yu¹ , ZHANG Min-sheng²

(1. College of Traffic and Ocean Engineering , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China ;

2. Hydraulic Construction Technology Center , Water Resources Department of Fujian Province ,
Fuzhou 350001 , China)

Abstract : For reasonable determination of the sequence , method , and optimum scheme for closure works , a study is performed on the regularity of variation of hydraulic factors at the entrance of sea reclamation works based on the water quantity balance equation . The results show that the size of a closure gap should be determined based on the control flow velocity of a typical tide current during flood seasons , meanwhile , the gap bed and jetty head should be well protected , that the sequence and method for gap closure works should be determined based on the contour of the maximum flow velocity of a typical flood tide current during nonflood seasons , that the wide shallow entrance and multi-section should be used in gap closure works on soft foundation with the maximum velocity set at the foot of section slopes , meanwhile , protection measures should be strengthened during construction , and that the optimum technical scheme for gap closure works should meet the requirements of the minimum engineering quantity and easy organization and management during construction , and realization of closure during a neap tide .

Key words : sea reclamation works ; gap closure ; sequence of closure ; vertical-horizontal closure