

潮流作用下潮汐汊道稳定关系及试验研究

张磊

(南京水利科学研究院 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要:通过分析现有国内黄渤海、东海、华南沿海潮汐汊道的口门稳定纳潮棱体 P 与过水口门断面面积 A 的关系,对 P - A 关系的局限性及其存在问题进行了说明.在此基础上对维持潮汐汊道口门稳定的动力及其条件特点进行了分析,利用几个天然海湾参数资料,并考虑潮流动力、底床稳定因素推导出新的湾内纳潮面积 S 、口门断面平均流速 V 和口门断面面积 A 的关系即 $VA=0.0015SH$.同时通过建立潮流物理模型,保持湾内水域面积不变,进行 250~400 m 口门宽度条件下的口门流速试验,得到口门断面面积与口门流速间的关系.考虑潮流动力因素所得到的 S - VA 关系计算结果与模型试验得到的结果相吻合.

关键词: 潮汐汊道; 口门形态; 模型试验

中图分类号: P731.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2012)05-0078-05

国内外对潮汐汊道问题已经进行了很多研究,从潮汐汊道存在形态、分类、动力、地貌特征、沉积环境及海岸工程应用各个方面进行深入研究^[1].特别在潮汐汊道口门形态稳定方面形成了很多关系式,如纳潮棱体(P)与过水口门断面面积(A)的关系(P - A 关系)^[2].国内学者研究较多的如黄渤海、东海、华南沿海的 P - A 关系^[3-5],这些研究成果为港口航道部门、渔业部门、生态环境、海岸工程建设、旅游等提供了有效指导.由于我国海岸线漫长,海域环境差异较大,动力条件复杂,得到的 P - A 关系中所依据海湾面积都比较大,依此资料得到的 P - A 关系应用范围受到限制.另外, P - A 关系中未考虑动力条件的影响,研究成果更多是从地貌形成因素考虑^[6-7].鉴于此,有必要对动力条件下潮汐汊道口门稳定形态进行研究,以了解底床稳定时潮流动力和口门形态之间的关系.

本文分析了潮汐汊道形成的动力条件,利用我国沿海几个典型的潮汐汊道口门稳定条件下潮流动力和形态参数得出了口门稳定所形成的 S - VA (S 为湾内纳潮面积, V 为口门断面平均流速) 关系,并用物理模型对潮汐汊道口门稳定流速关系进行验证.

1 潮汐汊道口门形态稳定关系

最早的 P - A 关系为 OREN 在 1931 提出的 $A=cP^n$ (c, n 为回归系数),几十年来,国内外学者对这种关系的研究产生了至少几十种不同指数、系数的关系式^[8-10],其中 n 值变化幅度较小,导致这一差别的原因主要是所选用资料的不同,因此,这一问题还需要进行深入研究.

目前国内对主要海域的 P - A 关系研究表明,东海沿岸的 P - A 关系主要是高抒^[3]得出的 $A=4.859 \times 10^{-2} P^{0.92}$,选取资料中纳潮量最小为 $72.34 \times 10^6 \text{ m}^3$,对应的口门断面面积为 $0.41 \times 10^4 \text{ m}^2$;华南沿岸的 P - A 关系主要是张乔民^[4]得出的 $A=9.82 \times 10^{-2} P^{0.95}$,黄渤海沿岸的 P - A 关系主要是张忍顺^[5]得出的 $A=8.45 \times 10^{-2} P^{1.02}$,其中纳潮量取值范围为 $0.00026 \sim 5.00845 \text{ km}^3$,口门断面面积为 $0.0025 \sim 0.1917 \text{ km}^2$,受所选资料地域环境的限制,没有考虑动力因素的关系式的计算结果差别很大,也难以用于解决工程实际问题.

收稿日期: 2012-02-20

作者简介: 张磊(1977-),男,江苏宿迁人,工程师,硕士,主要从事海岸工程及港口水道工程泥沙研究.

E-mail: zhanglei@nhri.cn

1.1 动力条件对口门形态稳定的影响

各种 $P-A$ 关系式中,不同 c, n 值最终都说明有 1 个合适的口门断面面积与一定的纳潮棱体相对应,口门断面面积是口门宽度和口门深度的乘积,上述关系只是从几何形状上对潮汐汊道口门形态进行了研究,没有考虑动力条件的影响.影响我国沿海潮汐通道的动力因素很多,而主要的动力是潮流动力和波浪动力,但潮汐汊道的存在主要取决于潮流^[11].

潮流动力塑造的潮汐通道口门形态主要由口门断面面积 A 和口门流速 V 决定,目前的 $P-A$ 关系只是考虑了其中的口门断面面积 A ,没有关注口门流速.在 $P-A$ 关系式中可以存在 A 很大、 V 很小,或者 A 很小、 V 很大的情况.而动力参数,即口门的水流流速是决定口门底床稳定的决定性要素.因此,稳定的口门形态应该是口门不冲不淤动力条件下形成的 A ,这才具有唯一性.当然,由于底质条件的多样性,特别是岩石底床条件下,可以是 V 很大、 A 很小,但 VA 是相对不变的.这也说明潮汐汊道稳定实际上是口门底床稳定条件下口门形态与潮流动力相平衡的一种关系.

不存在单独由波浪动力塑造的潮汐通道,潮汐通道是潮流动力和波浪动力共同作用下的产物,口门形态的稳定主要是口门流速和沿岸输沙两者动力平衡状态下的稳定,涉及到潮流动力和波浪动力的综合影响,情况比较复杂^[12],本文主要考虑潮流动力因素对口门形态稳定的影响.

1.2 $S-VA$ 关系推导

根据上述动力条件分析,口门底床稳定条件下,主要考虑潮流动力,按照流量平衡可建立如下关系:

$$VAT = KSH \quad (1)$$

式中: $A = Lh$, L 为口门宽度, h 为某潮位下口门水深; T 为纳潮时间; S 为湾内纳潮面积; H 为流速 V 对应的潮差.关系式中 V 和 A 是口门底床稳定条件下对应的取值. T 取 1 d, 即 86 400 s.需要说明的是,潮差 H , 口门断面平均流速 V 和口门断面面积 A 是一一对应关系,即某次潮差对应这次口门平均流速和口门断面面积.

表 1 为沿海几个海湾潮汐汊道的参数,表中水域面积、口门断面宽度、水深及潮差数据根据水文测验资料计算所得,口门平均流速为水文测验资料模型验证后所得数据.其中,金井湾又叫火烧港,位于福建平潭岛西岸南部位置,与福清市隔海坛海峡,根据平潭海洋站资料,潮汐类型属正规半日潮.东山湾位于台湾海峡南口的西岸,处于闽南沿海的东山、云霄和漳浦三县之间,由古雷半岛、东山岛环围大陆而成,是一个半封闭的海湾,根据 2008 年 7 月水文测验资料,东山湾的潮流属非正规半日潮型海湾,日不等现象比较明显,主要表现为涨、落潮流速不等.安海湾位于福建泉州围头湾顶部的一半封闭海湾,湾的东侧为晋江市东石镇的白沙头,西侧为南安市石井镇,湾口向南,口门原宽度 0.80 km,由于石井镇侧建港,目前的口门宽度仅 0.70 km,呈南北向延伸的狭长小海湾.同安湾处于厦门东海域,口门最窄处五通-西滨断面宽度仅 3.0 km,同安湾和安海湾潮汐性质属于正规半日潮.

表 1 部分海湾潮汐汊道参数

Tab. 1 Tidal inlet parameters

名称	水域面积/ km ²	口门断面宽度/ m	口门断面水深/ m	水文资料统计时间	口门平均流速/ (m·s ⁻¹)	潮差/ m
金井湾	3.84	1 400	3.50	2010-08	0.30	6.3
同安湾	87.00	3 000	16.20	2007-08	0.55	5.0
安海湾	12.80	700	12.50	2010-01	0.40	4.5
东山湾	248.00	3 400	25.00	2008-07	0.56	3.1

将表 1 中潮汐汊道参数代入流量平衡关系式,可以得到不同的系数 K , 所得 K 值很接近,综合考虑取平均值 0.001 5, 则关系式为:

$$VA = 0.001 5SH \quad (2)$$

2 口门流速模型试验

上述关系式是按照流量平衡关系得出的,利用物理模型对同一潮型下不同口门断面面积的流速关系进

行试验,在保持湾内面积不变条件下观测口门断面面积(宽度)和口门流速的变化关系.确定稳定合理的口门宽度,并验证上述关系式的合理性.物理模型模拟的是福建平潭附近的海坛海峡金井湾海域,即关系式推导中所选的金井湾区域.

2.1 研究海域动力条件

海坛海峡潮汐类型属正规半日潮,平均潮差 4.29 m,属于强潮海域.潮流基本呈现往复流运动特征,涨落潮水流流向与等深线一致,研究海域流速比较弱,湾口附近平均流速 0.30 m/s 左右.

研究海域多年平均风速为 9.00 m/s,各向的平均风速 NNE 向最大为 10.90 m/s,强风向为 S 向,常风向为 NNE 向,频率为 43%,其次为 NE 向,频率为 18%^[13].海峡中部短期波浪观测资料结果表明,常浪向为 NNE 向,频率为 17%,次常浪向为 N 向,频率为 15.8%,强浪向为 NNE 向^[14].

由于金井湾呈 NE-SW 走向,常风、浪向 NNE 和次常风、浪向对研究海域主要为离岸风、浪,湾口 SW 和 SSW 向风、浪又受口门大屿、黄门岛掩护.因此,风、浪对研究海域影响都很小,研究区域主要动力是潮流.

2.2 模型及试验条件

水流运动基本相似要求模型主要考虑当地水流动力,保证水流运动相似确定物理模型比尺.模型水平比尺 $\lambda_L=300$,垂直比尺 $\lambda_H=100$,模型变率为 3,在常用的范围内.模型中水流动力模拟采用 2010 年 8 月水文测验大潮资料,模型水文测点见图 1.物理模型对流速和潮位情况进行了验证,验证情况良好,可以保证水流动力的重复性.

试验过程中地形不变,湾内形状即水域面积不变,湾内形状如图 1 所示,试验选用湾内面积为 0.73 km²,在湾内不同口门宽度下分别观测口门流速随口门宽度变化情况,试验中口门宽度分别为 400, 300 和 250 m.模型试验方案见图 2.

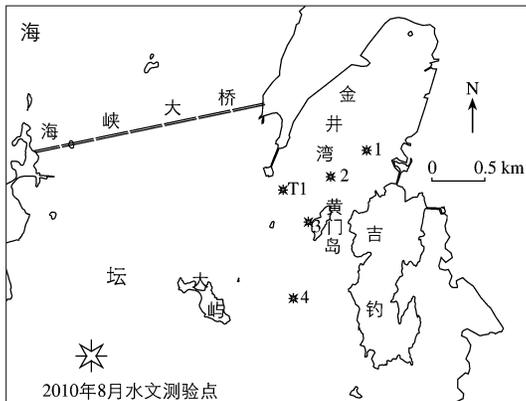


图1 模型水文测点布置

Fig.1 Measuring points layout of the model

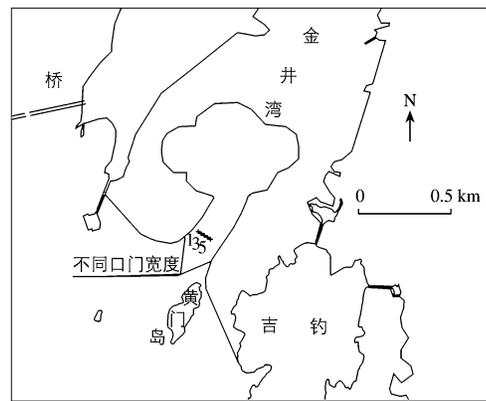


图2 模型布置

Fig.2 Model layout

2.3 试验成果分析

图 3 为口门宽度 300 m 时湾内水流涨急时刻流矢图,表明潮汐汊道口门段流速平顺均匀.试验结果选取潮流过程中最大流速及其平均流速进行比较.图 4 为不同口门宽度情况下潮流过程中口门断面点流速变化.可见,随着口门宽度变小,最大流速、平均流速逐渐变大.

天然情况下,即湾内面积为 3.84 km²,口门宽度为 1 400.00 m 时,口门段断面最大流速、平均流速分布较均匀,最大流速为 0.81 m/s,平均流速为 0.30 m/s.当湾内面积为 0.73 km² 时,口门宽度在 250 ~ 300 m 之间的口门断面最大



图3 流矢图

Fig.3 Flow vector map

流速、平均流速分布值接近天然情况下口门断面最大流速、平均流速分布,说明在该海域的潮流动力条件下,湾内面积为 0.73 km^2 ,口门宽度在 $250 \sim 300 \text{ m}$ 时的口门流速是湾口底床比较稳定时的动力条件。

根据式(2),湾内面积为 0.73 km^2 ,口门断面水深为 3.50 m ,潮差为 6.30 m 条件下,口门断面底床保持稳定情况,即口门平均流速为 0.30 m/s ,需要的口门宽度为 270 m ,该计算值介于物理模型试验值 $250 \sim 300 \text{ m}$ 范围内.这表明流速保持天然情况下,本文推导关系式计算的需要口门宽度与物理模型试验值吻合。

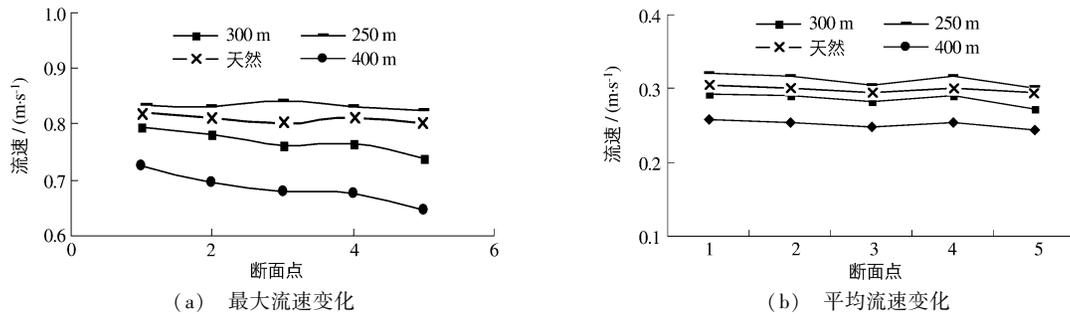


图4 不同口门宽度下流速变化

Fig. 4 Velocity change with different entrance widths

3 结 语

利用一些天然海湾,在考虑潮流动力情况下,对潮汐汊道口门稳定关系进行了进一步研究,并用物理模型手段对潮汐汊道口门形态稳定时的潮流情况进行了试验研究,试验结果与本文推导的潮汐汊道 $S-VA$ 关系结果基本吻合,得出如下结论:

(1) 潮汐汊道口门稳定与潮流动力密切相关,根据几个天然存在的潮汐汊道对口门稳定形态进行分析,得到底床稳定条件下包含潮流动力因素的 $S-VA$ 关系式。

(2) 利用潮流物理模型研究不同口门宽度条件下口门流速变化情况,在湾内形态面积不变,底床稳定情况下,有适宜的口门宽度与该海域潮流动力相对应。

参 考 文 献:

- [1] 任美镠, 张忍顺. 潮汐汊道的若干问题[J]. 海洋学报, 1984, 6(3): 352-360. (REN Mei-e, ZHANG Ren-shun. Few issues of tidal inlet [J]. Acta Oceanologica Sinica (Chinese Version), 1984, 6(3): 352-360. (in Chinese))
- [2] 张忍顺. 中国潮汐汊道研究的进展[J]. 地球科学进展, 1994, 9(4): 45-49. (ZHANG Ren-shun. Advance of study on tidal inlet in China [J]. Advance in Earth Sciences, 1994, 9(4): 45-49. (in Chinese))
- [3] 高抒. 东海沿岸潮汐汊道的P-A关系[J]. 海洋科学, 1988(1): 15-19. (GAO Shu. P-A Relationships of tidal inlet along the East China Sea coast [J]. Marine Science, 1988(1): 15-19. (in Chinese))
- [4] 张乔民. 华南海岸潮汐汊道P-A关系的分析[J]. 热带海洋, 1987, 6(2): 10-18. (ZHANG Qiao-min. P-A relationships of tidal inlets along South China coast [J]. Tropic Oceanology, 1987, 6(2): 10-18. (in Chinese))
- [5] 张忍顺. 黄渤海沿岸潮汐汊道的P-A关系[J]. 海洋工程, 1995, 13(2): 53-61. (ZHANG Ren-shun. Tidal prism-throat area relationships of tidal inlets along Yellow Sea and Bohai Sea coast [J]. The Ocean Engineering, 1995, 13(2): 53-61. (in Chinese))
- [6] 高抒. 潮汐汊道形态动力过程研究综述[J]. 地球科学进展, 2008, 23(12): 1237-1248. (GAO Shu. Morphodynamic processes of tidal inlets: a review [J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(12): 1237-1248. (in Chinese))
- [7] 贾建军, 高抒. 建立潮汐汊道P-A关系的沉积动力学方法[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 268-276. (JIA Jian-jun, GAO Shu. A dynamic sedimentological approach to P-A relationships in tidal inlets [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2005, 36(3): 268-276. (in Chinese))

- [8] 季则舟. P-A 关系及其工程应用[J]. 港口工程, 1998, 10(5): 20-25. (JI Ze-zhou. Relationships of P-A and their application in engineering[J]. Port Engineering 1998, 10(5): 20-25. (in Chinese))
- [9] 陆陪东. 潮汐汉道系统及环境响应[D]. 南京: 南京师范大学, 2002. (LU Pei-dong. The system of tidal inlet and the response to environment[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2002. (in Chinese))
- [10] 高抒, 张红霞. 潮汐汉道 A-P 关系中参数 C 和 n 的控制因素[J]. 海洋科学, 1997, 21(4): 23-27. (GAO Shu, ZHANG Hong-xia. Factors controlling parameters C and n in the power law A-P relationship for equilibrium tidal inlets[J]. Marine Science, 1997, 21(4): 23-27. (in Chinese))
- [11] 沈庆, 陈徐均, 关洪军. 海岸带地理环境学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008. (SHEN Qing, CHEN Xu-jun, GUAN Hong-jun. Geographical enviroincs in coastal zone[M]. Beijing: China Communication Press, 2008. (in Chinese))
- [12] 王颖. 海南潮汐汉道港湾海岸[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. (WANG Yin. Tidal harbour coast hainan[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1998. (in Chinese))
- [13] 张子闽. 福州港平潭港区总体规划[R]. 福州: 福建省交通规划设计院, 2010. (ZHANG Zi-min. The overall planning of area of Pingtan of Fuzhou port[R]. Fuzhou: Fujian Communications Planning and Design Institute, 2010. (in Chinese))
- [14] 卢惠泉, 蔡锋, 孙全. 福建海坛海峡峡道动力地貌研究[J]. 台湾海峡, 2009, 28(3): 417-424. (LU Hui-quan, CAI Feng, SUN Quan. Study on the channel dynamic geomorphology of Haitan strait[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2009, 28(3): 417-424. (in Chinese))

Stable relationships of tidal inlets acted by tidal flow and their experimental studies

ZHANG Lei

(Key Laboratory of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of the Ministry of Transport, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The relationships between the limitations of the $P-A$ and its problems are described by analyzing the existing $P-A$ relationships of the tidal inlet along the Yellow Sea and the Bohai Sea coast, the East China Sea coast, and the South China coast. On the basis of the existing $P-A$ relationships, the characteristics of hydrodynamics are studied when tidal inlet entrance is stable. A new relationship is formed for the $VA=0.0015SH$ by use of several natural tidal inlets parameters to consider tidal current. The experiments with different widths of 250 ~ 400 m are finished in the area of the entrances through the physical model. The relationship between entrance's cross-sectional area and the corresponding velocity is obtained. Especially, the results of the $S-VA$ relationship are consistent with the model test conclusion.

Key words: tidal inlet; entrance form; model test