



阀门用无刷直流电机控制器设计

李纪扣, 安素朝

(天津科技大学计算机科学与信息工程学院, 天津 300222)

摘要: 根据无刷直流电机理论和阀门工业对控制电机的大力矩的要求,以 ARM LM3S8962 微控制器为核心,IPM 智能功率模块 FSAM20SH60A 为驱动电路,设计了嵌入式无刷直流电机控制器. 针对阀门执行器的精确定位及柔性启停问题进行了软件设计. 实验表明,该控制器实现了在较大力矩下阀门的正常启停控制,稳定性好.

关键词: ARM; Cortex-M3; 无刷直流电机; 柔性启停; 阀门

中图分类号: TP273⁺.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2013)04-0065-05

Design of Brushless DC Motor Controller for Valves

LI Jikou, AN Suchao

(College of Computer Science and Information Engineering, Tianjin University of Science & Technology,
Tianjin 300222, China)

Abstract: Based on brushless DC motor (BLDC) theory and high torque requirements for valve industry, an embedded BLDC motor controller was designed, which uses ARM LM3S8962 microcontroller as core and intelligent power module FSAM20SH60A as driver. To guarantee fast and accurate positioning and soft start-off of valves, implementation software was designed. Experiments show that this controller can realize the normal start and stop control of valves control under larger torque, and the stability of the controller is good.

Key words: ARM; Cortex-M3; BLDC; soft start-off; valve

阀门是管道管网系统中的重要控制部件,在石油、污水处理、工业过程控制行业有诸多应用,用来调节水、气、油等流体的压力和流量等指标^[1]. 电机和控制器共同构成阀门的电动执行机构,驱动阀门进行工作.

作为电动执行机构的电机有多种选择:交流同步电机存在“失步”问题;交流异步电机的调速范围窄^[2];有刷直流电机虽然力矩大,但存在机械磨损的问题,且电刷产生的火花在易燃易爆的环境中会引发危险;无刷直流电机具备直流电机启动转矩大,调速性能优的特点,且用电子换相器取代了机械换相器,有效解决了电刷强迫性接触带来的火花问题^[3],适合在阀门的电动执行机构中应用.

电子换相这个无刷直流电机的优点,是建立在无刷直流电机控制器个性化设计的基础上的,没有一种无刷直流电机控制器能够满足所有行业的需要. 针

对每一种具体的应用,都需要对无刷直流电机控制器进行量体裁衣式的设计.

目前,阀门的电动执行机构已呈现出智能化、网络化等趋势. 对比国外,目前我国的电动执行器在精确度、设备自动保护、报警以及控制方式等方面,还存在诸多问题^[4]. 因此,针对阀门执行器,研制一种具有嵌入式结构的无刷直流电机控制器,有一定的实践意义.

采用 DSP 芯片作为主控芯片,IGBT(绝缘门级晶体管)作为驱动电路是近几年常见的一种设计思路^[4]. 但 DSP 芯片联网性能差,不便于设备连接. 而 IGBT 需要设计外围报警电路,在电路设计上不具有便捷性. 随着微电子技术的发展,继承了 IGBT 优点的 IPM(智能功率模块)开始兴起,并有取代 IGBT 的趋势. 本文采用微控制器和 IPM 相结合的控制方式,设计了用于阀门控制的无刷直流电机控制器.

1 硬件设计

系统硬件结构如图 1 所示。

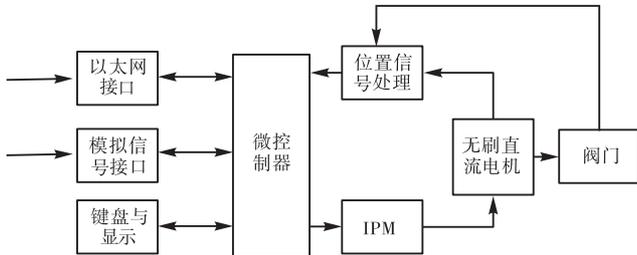


图 1 系统硬件结构框图

Fig. 1 Diagram of system hardware structure

根据无刷直流电机的三相星形全桥驱动原理^[5], 其控制器模块包括主控电路和电机驱动电路, 主控电路用来实现电子换相、接收和发送控制信号等操作. 为了实现远程控制, 提供基于以太网的数字量接口和基于 DCS 控制的模拟量(4 ~ 20 mA/0 ~ 5 V)输入

输出接口.

1.1 微控制器模块

考虑成本因素, 选择不带 MMU(存储管理单元)的 LM3S8962 作为微控制器. LM3S8962 是第一款具有以太网外设的 Cortex-M3 芯片, 有 6 个带死区发生器的 PWM 输出、4 个 10 位 A/D 信号转换器、256 KB FLASH、64KB SRAM, 采用 I²C 总线接口. 微控制器接口电路原理见图 2.

图 2 中, Position +、Position - 和 POSIT 是位置变送器传输给微控制器芯片的信号, 用来传递阀门的开度信息; U-Pulse、V-Pulse、W-Pulse 是经过整形处理后的霍尔信号, 用来测量电机转速和方向. AD1—AD3 作为模拟信号输入, 与 Am_Out 一起作为模拟信号的接口. RXIN、RXIP、TXON、TXOP 与 HR601680 相连, 实现 RJ-45 的接口功能. WH、UH、VH、VL、UL、VL 信号输出至 IPM, 以控制 IPM 模块. ERR-in 是 IPM 反馈给微控制器的报警信号. M24C01 是采用 I²C 总线传输数据的 E²PROM, 用以保存执行器运行参数.

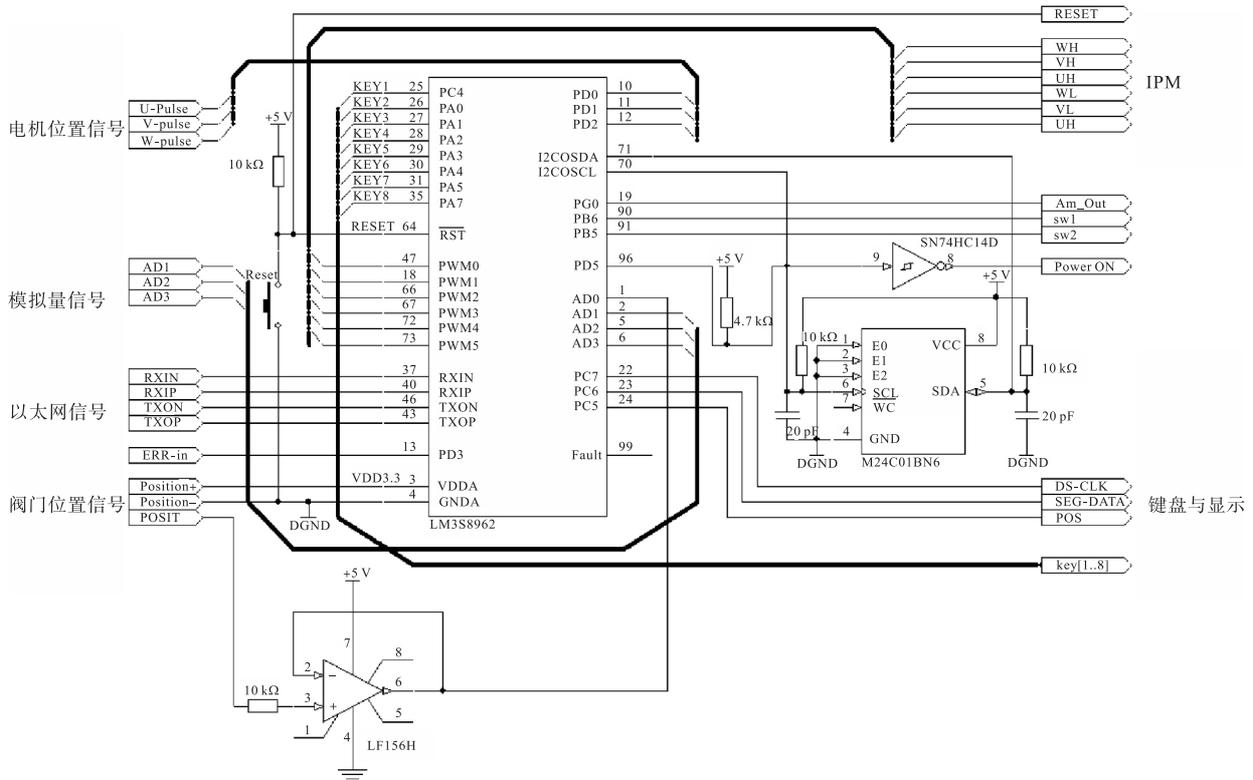


图 2 微控制器接口电路原理图

Fig. 2 Diagram of microcontroller interface circuit

1.2 主回路驱动

选择了 IPM 作为主回路驱动芯片. IPM 用 IGBT 作为功率开关器件, 并把部分控制电路和功率

开关器件集成在一个模块中进行了最优化处理, 有过电压、过电流和过热等保护电路. 因为它使用方便, 体积小, 缩短了开发周期.

FSAM20SH60A 是仙童半导体公司的一款 IPM, 额定电流为 8 A. IPM 主回路电路见图 3^[6]. 其中, WH、UH、VH、WL、UL、VL 输入 IPM 的控制信号,

用来控制 IPM 内部三相全控桥的通断. W-out、V-out、U-out 接无刷直流电机的三相绕组.

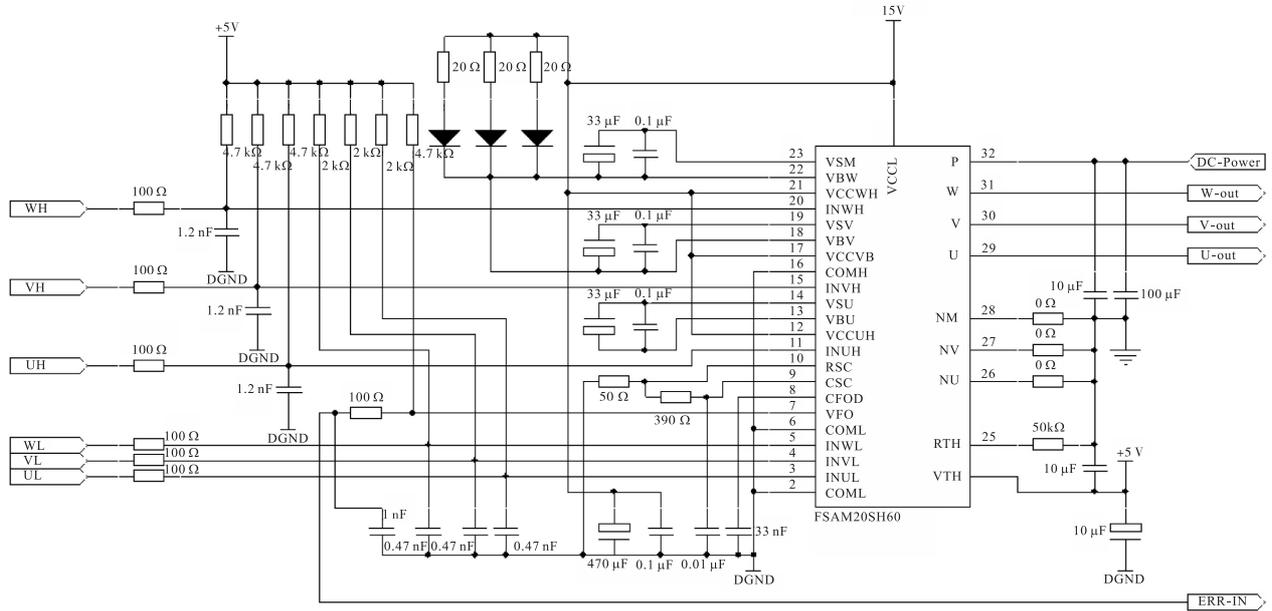


图 3 IPM 主回路电路原理图

Fig. 3 Diagram of IPM main control circuit

1.3 电子换相

无刷直流电机的转子位置, 既是实现电子换相的控制信息, 也是转速计算的依据, 由霍尔传感器组检测. 霍尔传感器由两部分组成, 分别安装在电机定子上和转子上. 电机定子周围每隔 120° 安装一个传感器, 当转轴每转动 120°, 传感器产生一电脉冲^[7], 微控制器根据此脉冲信号实现换相控制, 驱动电机工作. 换相状态见表 1. 控制各个状态的持续时间 T , 以及其与后继状态之间的间隔时间 t , 就可以控制施加给电机本体的电流的持续时间, 从而控制电机的转速.

表 1 换相状态表

Tab. 1 Phase commutation table

换相状态	各开关管状态						电 流 流 向	持续时间 + 间隙时间
	UH	UL	VH	VL	WH	WL		
1	1	0	0	1	0	0	U→V	$T_1 + t_1$
2	0	0	1	0	0	1	V→W	$T_2 + t_2$
3	0	1	0	0	1	0	W→U	$T_3 + t_3$
4	0	1	1	0	0	0	V→U	$T_4 + t_4$
5	1	0	0	0	0	1	U→W	$T_5 + t_5$
6	0	0	0	1	1	0	W→V	$T_6 + t_6$

2 软件设计

2.1 主程序的实现

无刷直流电机的主程序流程图见图 4. 执行器有

手动和自动调节两种工作模式. 在自动调节模式下, 可以通过 4~20 mA 接口或 0~5 V 模拟量输入端以及以太网接口两种方式进行控制. 系统根据控制信号进入相应模式, 执行相应操作.

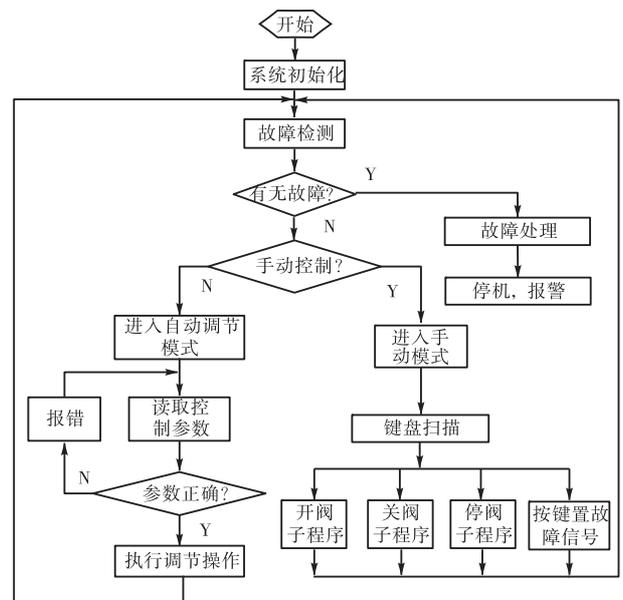


图 4 主程序流程图

Fig. 4 Flow chart of main program

2.2 柔性启停

要实现无刷直流电机对阀门的精确控制, 关键在

于实现柔性启停. 由于在阀门开启或者关闭时, 管道内的流体会给密闭面一个很大的冲击力^[8]. 这就要求阀门在启停的时候能够改变速度, 来减弱对设备和电网的冲击伤害.

图 5 给出了阀门速度、阀门位置、电机的加速度三者之间的关系^[8], 横坐标是阀门的行程, 纵坐标是阀门的速度. 柔性启停采用积分算法实现. 具体为: 设电机的加速度 a 与换相的占空比梯度变化值 α 及时间呈现比例关系 K_1 , 占空比最大变化值是 95%, 电机的转速和阀门速度呈现比例关系 K_2 . 当电机的加速度随占空比增加时, 电机能够到达的极限速度设为 v_1 , 阀门行程为 s_1 . 给定 α 后, 根据式(1)、式(2)和式(3)即可计算 v_1 和 s_1 的具体数值及阀门在目标行程内的启停时间.

$$a = K_1 \alpha t \quad (1)$$

$$V_1 = K_1 \int_0^{95} \alpha t dt \quad (2)$$

$$S_1 = K_1 K_2 \int_0^{95} \int_0^{95} \alpha t dt dt \quad (3)$$

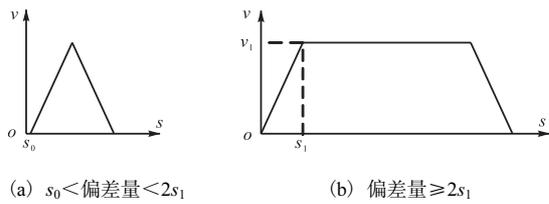


图 5 阀门速度和位置偏差的关系

Fig. 5 Relation between valve speed and position error

为实现柔性启动, 首先是检测阀门的位置, 当阀门的偏差量大于 s_0 (数值很小) 而小于 $2s_1$ 时, 如图 5(a) 所示, 电机以加速度 a 转动, 驱动阀门, 阀门的速度逐渐增大, 接近目标位置. 当偏差量变为初始偏差量的一半时, 电机以负加速度 a 开始减速, 阀门的速度也开始减小, 直至到达目标位置.

而当阀门的偏差量小于 s_0 时, 电机不动.

当阀门的偏差量达到 $2s_1$ 时, 如图 5(b) 所示, 电机先以加速度 a 启动, 到达最大速度后, 恒速运行, 当阀门的偏差量等于 s_1 时, 再以负加速度 a 减速, 直至偏差量为 0.

电机以加速度 a 启动, 是为了防止过载, 以加速度 a 减速, 是为了当阀门到达目标位置时, 电机的速度也变为 0, 实现阀门和电机的同步.

根据以上原理实现的柔性启停子程序流程见图 6, 其中占空比梯度变化值 α 由表 1 中的状态持续时间 T 和状态间隙时间 t 决定. 保持 T 和 t 的总和不变, 提高 T 时, 占空比梯度变化值 α 增加, 减小 T 时,

梯度变化值 α 减小.

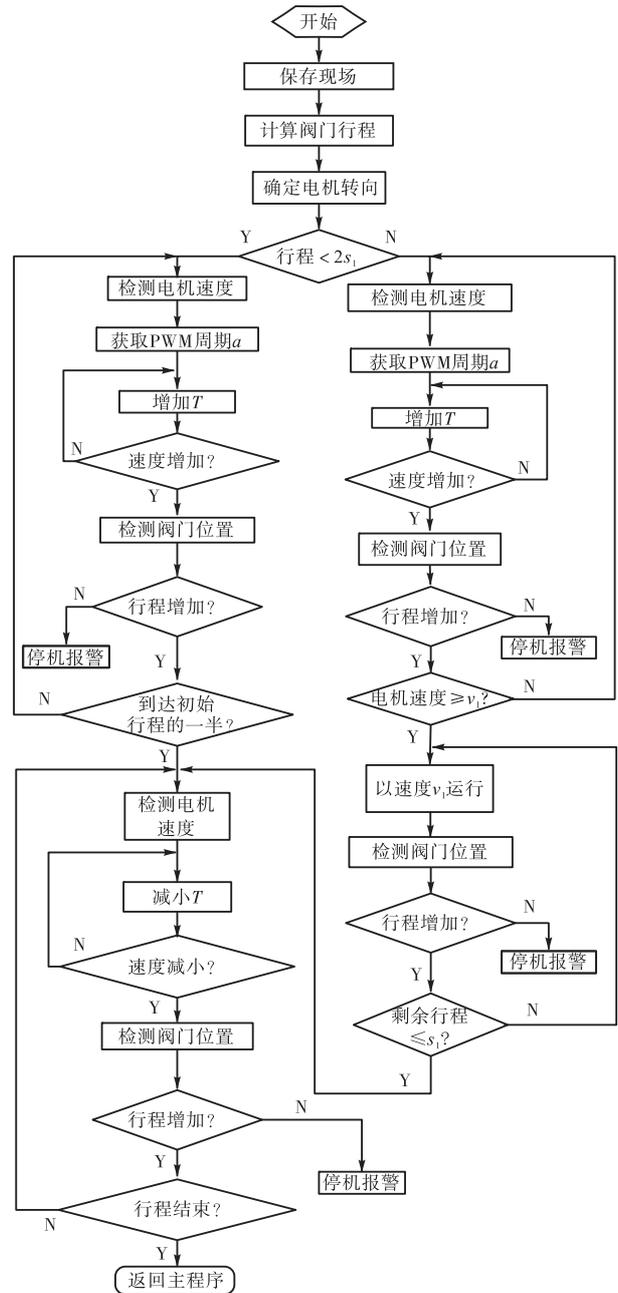


图 6 柔性启停子程序流程图

Fig. 6 Subroutine flow chart of flexible start up and shut down

3 实验

选用 600 W、额定转速 2 500 r/min 的无刷直流电机, 由双涡轮蜗杆减速器与阀门相连, 减速比为 400, 按表 2 负载进行实验. 待阀门运动到给定位置停止后, 记录数据, 重复实验 5 次, 每组数据采用平均值滤波给出. 实验数据表明, 该控制器实现了在

10~600 N·m 力矩区间内阀门的正常启停控制,且具有良好的稳定性.

表 2 阀门启停时间数据
Tab. 2 Experimental data of start-off time

负载/ (N·m)	阀门行程/(°)			
	0~5	0~90	90~120	180~0
10	6.7	24.8	12.8	44.3
50	6.7	24.9	12.8	44.3
100	6.7	24.9	12.8	44.4
200	6.7	25.0	12.9	44.4
300	6.7	25.0	12.9	44.4
500	6.8	25.0	12.9	44.5
600	6.8	25.0	12.9	44.5

4 结 语

在阀门的电动执行机构中,采用 LM3S8962 和 FSAM20SH60 的组合进行无刷直流电机控制器的设计,为阀门的执行器设计提供了较简捷的实现方案,特别是对大力矩下的步进控制应用提供了一种较好

的参考. 实验也证明了设计的实用性.

参考文献:

- [1] 王晓明. 智能电动执行机构系统应用技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [2] 陶桂林. 大功率永磁无刷直流电机及其系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [3] 谭建成. 永磁无刷直流电机技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 21-40.
- [4] 慈兆会. 基于 DSP 的智能电动执行器控制系统研究[D]. 合肥: 中国科技大学, 2010.
- [5] 候铮. 智能电动执行机构无刷直流电机控制系统研究与设计[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [6] 高歌. Altium Designer 电子设计应用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 127-130.
- [7] 郝卫生. 稀土永磁无刷直流电机的计算机控制技术研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2003.
- [8] 古永富, 杨北革, 王平平. 基于直接转矩控制原理的电动执行机构设计[J]. 电机技术, 2009(2): 29-31.

责任编辑: 常涛

(上接第 43 页)

此模型能够较好地计算出渤海湾的潮汐潮流的时空分布特点,对笔者以后进一步研究岸线变化对渤海湾水动力场的影响提供了依据.

参考文献:

- [1] 臧士文. 基于 FVCOM 模型的二维海上溢油数值模拟研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [2] 陆永军, 左利钦, 季荣耀, 等. 渤海湾曹妃甸港区开发对水动力泥沙环境的影响[J]. 水科学进展, 2007, 18(6): 793-800.
- [3] 于晓杰, 姜安刚, 张学庆, 等. 基于 FVCOM 的渤、黄海 M₂ 分潮的数值模拟[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(s1): 157-161.
- [4] 王泽良, 王日新, 陶建华. 渤海湾流场以及污染物分布的数值模拟研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(2): 224-230.
- [5] 王悦. M₂ 分潮潮流作用下渤海湾物理自净能力与环境容量的数值研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [6] Chen C, Beardsley R C, Cowles G. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model: FVCOM user manual [R]. New Bedford: University of Massachusetts, 2004.
- [7] Chen C, Liu H, Beardsley R C. An unstructured grid, finite-volume, three-dimensional, primitive equations ocean model: Application to coastal ocean and estuaries [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2003, 20(1): 159-186.
- [8] Choi B H, Kim K O, Eum H M. Digital bathymetric and topographic data for neighboring seas of Korea [J]. J Korean Soc Coast Ocean Eng, 2002, 14: 41-50.
- [9] 李秀梅, 袁承仪, 李月洋. 渤海湾海岸带遥感监测及时空变化分析[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(2): 156-163.
- [10] Pawlowicz R, Beardsley B, Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE[J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(8): 929-937.
- [11] Fang G H. Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to China [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1986, 4(1): 1-6.
- [12] 吕咸青, 方国洪. 渤海 M₂ 分潮的伴随模式数值实验[J]. 海洋学报, 2002, 24(1): 17-24.

责任编辑: 周建军