

非线性遗传优化海域水质耦合模型 多参数反演方法研究

李明昌^{1,2,3}, 张光玉^{1,3}, 司琦¹, 梁书秀², 孙昭晨²

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所 水路交通环境保护技术实验室, 天津 塘沽 300456;

2. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;

3. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 通过遗传算法和海域水质模型的有机耦合, 提出了基于非线性遗传优化海域水质耦合模型多参数反演的新方法。将海域水质模型嵌入遗传算法模型中, 以海域内部验证点位的误差函数为适应度, 进行模型多参数的优化反演。文中以渤海湾海域水质模型多参数反演的“孪生”试验来验证方法的有效性。数值结果表明: 该反演新方法具有较高的精度。

关键词: 遗传算法; 海域水质模型; 多参数; 反演; 耦合

中图分类号: X824; P76

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)03-0010-04

Inversion method of Multi-parameter for coupling model of marine water quality with nonlinear genetic optimization

LI Mingchang^{1,2,3}, ZHANG Guangyu^{1,3}, SI Qi¹, LIANG Shuxiu², SUN Zhaochen²

(1. Laboratory of Environmental Protection in Water Transport Engineering, Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, MOT, Tanggu, Tianjin 300456, China; 2. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A new multi-parameter optimal inversion method was established by the coupled method of genetic algorithms and marine water quality model. In this method, marine water quality model was inverted into the genetic algorithms model for multi-parameter precise inversion by the fitness error function of observation stations. Case study in the Bohai bay by twin experiments was presented for validating the present method. Verification results show the coupled inversion method has higher simulation precision.

Key words: genetic algorithms; marine water quality model; multi-parameter; inversion; coupled

0 引言

海域水质生态模型参数反演估计是目前研究的热点问题, 国内外学者对此进行了大量的研究, 其中主要方法有试算法^[1]、数据同化伴随法^[2-5]、遗传算法^[6]等。试算法完全依赖于模型调试经验, 具有较强的主观性; 伴随同化法不仅需要建立复杂的伴随方程, 且其迭代计算量仍然较大; 遗传算法^[7]具有较强的鲁棒性和全局寻优的特性, 可解决多种优化反演问题^[8-9], 但较大的运算量致使其实际应用研究多集中于范围较小的湖泊、流域以及理想地形。

本文在水动力学模型的基础上建立了独立的海

域水质模型, 通过遗传算法和海域水质模型的有机耦合, 提出了基于非线性遗传优化海域水质耦合模型多参数反演的新方法: 将海域水质模型嵌入遗传算法模型中, 建立海域内部验证点位实测值与模拟值的误差函数, 作为适应度, 进行模型多参数的优化反演, 并以渤海湾海域水质模型多参数反演的“孪生”试验验证方法的有效性。

1 数值模型

1.1 遗传算法

遗传算法是一种全局性的随机搜索算法, 包括适应度计算、选择、交叉和变异四个基本遗传运算过

收稿日期: 2013-01-07; 修回日期: 2013-02-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51209110); 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室研究基金资助项目(LP1108); 天津市科技兴海项目(KJXH2011-17); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(TKS090204, TKS100217, KJFZJJ2011-01)

作者简介: 李明昌(1977-), 男, 辽宁大连人, 博士, 副研究员, 主要从事海洋环境水力学研究。

程。本文采用实数编码方式,以海域内部验证点位实测值与模拟值的误差函数作为适应度函数,通过“轮盘赌”的进化、中间重组的基因交叉和变异遗传计算,优化求解模型多参数^[10]。

1.2 水质模型

本文采用由日本大阪大学 Nakatuji 教授开发的三维 ODEM (Osaka Daigaku Estuary Model) 模型^[11],该模型已成功应用于大阪湾、东京湾、伊势湾和渤海等半封闭海湾水体的潮汐、流场、密度及水质模拟,其物质循环模式如图 1,模型中浮游植物通过释放和死亡产生非生命态的有机质,并生产出溶解氧;部分有机质以碎屑的形式沉积于底泥中,部分吸收溶解氧分解为无机营养盐;而浮游植物的生产被太阳辐射、温度和无营养盐所控制。文中为减少计算量,采用了水动力与水质模型各自独立计算的方式,水质模型是在较好验证的流场的基础上进行计算的。

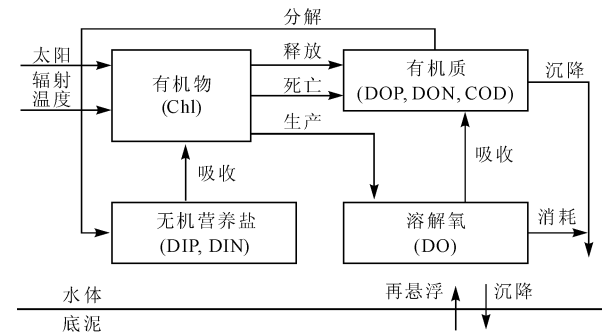


图 1 水质模型物质循环模式

2 多参数反演方法与步骤

2.1 反演方法

本文建立遗传算法和海域水质模型相耦合的多参数优化反演新方法:将海域水质模型嵌入遗传算法模型中,建立非线性遗传优化海域水质耦合模型,进行多参数的优化反演,其反演过程如图 2 所示,其中的 1~12 代表整个过程的顺序。

2.2 反演步骤

Step 1. 控制变量的选择。

(1)海域水质模型包含大量的参数,为避免较大的不确定性^[12],应选择敏感参数作为控制变量。

Step 2. 种群取值范围的确定。

(2)设定敏感参数取值范围,以此作为遗传算法种群取值的约束条件。

(3)每一个参数(即基因)在取值范围内随机选取 r 个数值,得到 r 条染色体,构成多参数可能解的种群($m \times r$)。

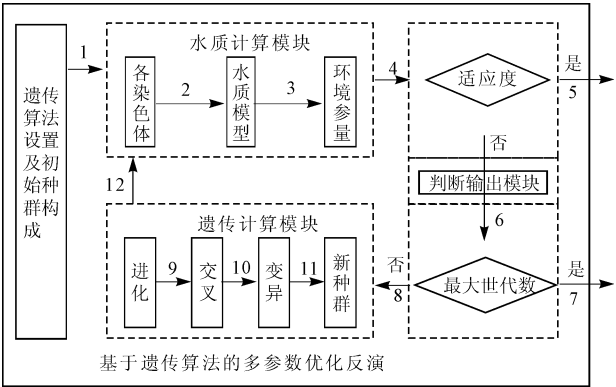


图 2 水质模型多参数反演过程

Step 3. 海域水质及适应度计算。

(4)以每一条染色体为数值算例,通过海域水质模块计算(共 r 次),输出并存储海域内部观测点计算结果。

(5)采用 $RMSE$ 误差函数(如式(1))构成适应度函数,进行染色体评价。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2}$$
 (1)

式中: n 为数据个数; Y_i 为海域内部验证点污染物浓度实测值; Y'_i 为预测值。

(6)染色体适应度判定:在满足设定容许误差或最大世代数时,跳出程序并输出最佳染色体;若不满足则进入后续计算。

Step 4. 遗传计算。

(7)在不满足容许误差和最大世代数的条件下,进行进化、交叉和变异的遗传计算,获得全新种群,重复进行(4)~(7)计算,直到满足要求为止。

3 方法验证

3.1 研究海域

渤海湾是渤海三大海湾之一,位于渤海西部,面积 1.59 万 km^2 ,约占渤海 1/5。渤海湾是一个向西凹呈弧状的浅水湾,海底地势也从湾顶向渤海中央倾斜,坡度不大于 0.2‰。湾内水深很浅,平均水深 12.5 m。文中建立的渤海湾海域水质模型,其开边界控制点为 B1 和 B2,水动力边界条件由渤海潮汐模型提供^[13],湾内有 4 个监测点位(G1-G4),坐标位置如图 3 所示。

3.2 “孪生”试验验证

“孪生”试验是在缺乏现场观测数据条件下进行方法验证的主要手段^[14]。本文选取无机氮(DIN)为状态变量,采用“孪生”试验的方法验证渤

海湾海域水质模型多参数反演方法。

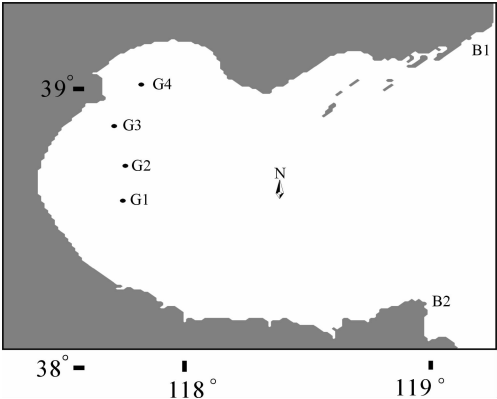


图3 研究海域及监测点位

(1)采用蒙特卡洛方法以变异系数^[15]选择状态变量的敏感参数,将其作为控制变量,如表1。

表1 敏感参数取值

状态变量	敏感参数	参数取值	
DIN	VMMAX	1.44	3.36
	TEMPS	15	35
	VKDN	0.012	0.026

(2)将表1中各参数取值范围作为遗传算法种群取值的约束条件;最大世代数为100,交叉率为0.5,变异率为0.1。

(3)取 $r=20$,即20条染色体,种群规模为 3×20 。

(4)进入世代循环,对每一条染色体进行水质计算(共20次),输出并存储海域内部观测点计算结果。

(5)以式(1)计算每一条染色体的适应度值。以参数取值 $VMMAX=2.4$; $TEMPS=25$; $VKDN=0.02$ 设计“孪生”试验,计算得到的DIN浓度数据作为“伪”实测值。

(6)以 $RMSE=0.005$ 为容许误差,最大世代数100为限制条件,进行输出判定。

(7)在不满足容许误差和最大世代数的条件下,进行进化、交叉和变异的遗传计算,获得全新种群,并重复计算,直到满足要求为止。

以非线性遗传优化海域水质耦合模型反演获得的预测值与“伪”实测值的校验结果比较如图4。

从图4中可以看出,由非线性遗传优化海域水质耦合模型反演方法得到的预测结果在四个监测点位上与实际值均吻合的较好,线性相关系数均为0.99以上,较高的精度源于遗传算法的全局寻优特

性,及其直接以误差作为目标判定输出条件的结果,研究中采用了“孪生”试验的“伪”观测资料也是主要因素之一,因此海域监测数据的引入是今后研究的重点。尽管文中采用独立的水质模型与遗传算法相耦合,但其全局寻优特性所导致的计算量较大,效率仍有待于提高。

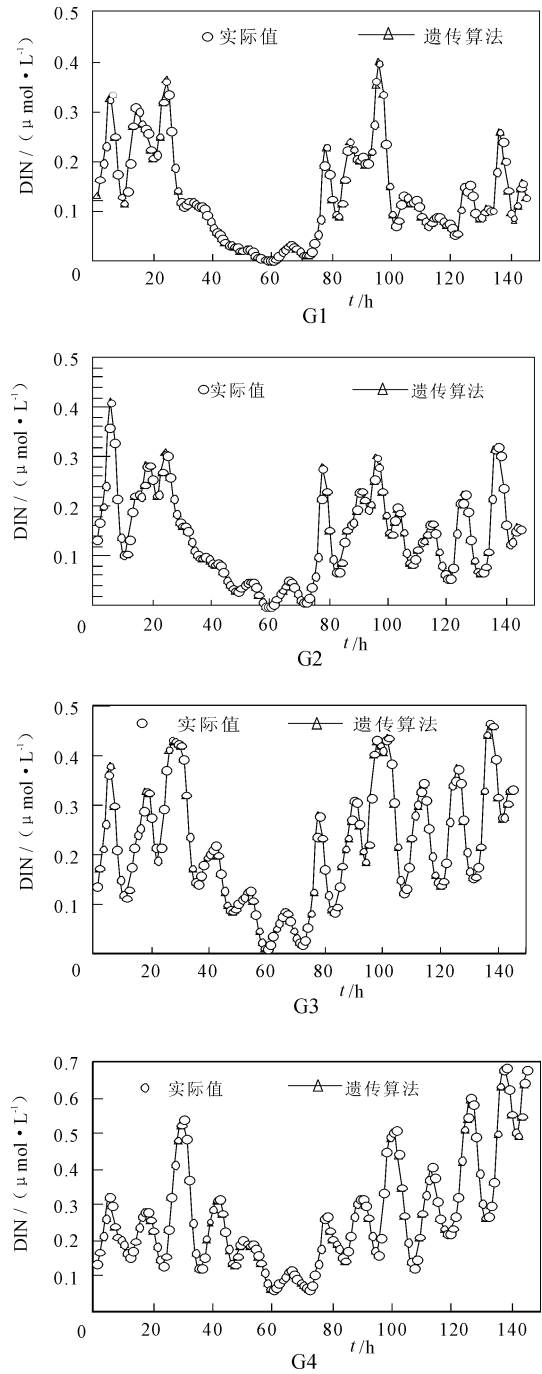


图4 反演方法校验结果的比较

4 结 语

(1)本文提出了基于非线性遗传优化海域水质

耦合模型多参数反演的新方法,将海域水质模型嵌入遗传算法模型中,以海域内部验证点位实测值与模拟值的误差函数为适应度,进行模型多参数的优化反演。

(2)本文以渤海湾海域水质模型多参数反演的“孪生”试验验证方法的有效性,结果表明:该反演方法具有全局寻优方法高精度的优点,但反演效率仍有待于进一步的提高。

(3)相对于伴随法,该反演方法不需要伴随方程的推导,建模过程相对简洁,具有较高的灵活性和可移植性。

参考文献:

- [1] Gerritsen H, DE Vries H, Philippart M. The dutch continental shelf model: quantitative skill assessment for coastal ocean models[J]. Coastal and Estuarine Studies, 1995, 47, 425 – 468.
- [2] Lawson L M, Spitz Y H, Hofmann E E, et al. A data assimilation technique applied to a predator – prey model[J]. Bulletin of Mathematical Biology, 1995, 57 (4): 593 – 617.
- [3] Lawson L M, Hofmann E E, Spitz Y H. Time series sampling and data assimilation in a simple marine ecosystem model[J]. Deep Sea Research II, 1996, 43 (2/3): 625 – 651.
- [4] 徐青,刘玉光,程永存,等. 海洋生态模型中的伴随同化方法[J]. 海洋通报,2005,24(6):58 – 64.
- [5] 徐青,刘玉光,程永存,等. 伴随同化技术在渤、黄海生态模型中的应用:控制变量的选取与孪生实验[J]. 高技术通报,2006,16(1):78 – 83.
- [6] Tang H W, Xin X K, Dai W H, et al. Parameter identification for modeling river network using a genetic algorithm[J]. Journal of Hydrodynamics, 2010, 22 (2): 246 – 253.
- [7] 王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002,18 – 50.
- [8] LIU S M, David B, Richard B, et al. Using genetic algorithms to calibrate a water quality model[J]. Science of the Total Environment, 2007, 374(2/3): 260 – 272.
- [9] LI M C, Zhang G Y, Zhou B, et al. Optimistic design of jetty road height based on genetic algorithms[C]//. International Conference on Transportation Engineering, Proceedings of the Second International Conference, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China, 2009.
- [10] 秦延龙,李明昌,孙昭晨,等. 基于遗传算法的滩海路面结构优化设计研究[J]. 水运工程,2007(11):45 – 48.
- [11] Nakastuji K J, Yamanaka R, Nishida S. Numerical simulation of seasonal baroclinic circulation and dispersion process of COD in the Bohai Sea[C]//. The First Asian and Pacific Coastal Engineering Conference, Dalian: Dalian University of Technology Press, 2001.
- [12] Friedrichs M A M. A data assimilation marine ecosystem model for the central equatorial pacific: numerical twin experiments[J]. Journal of Marine Research, 2001, 59 (6): 859 – 894.
- [13] 李明昌,梁书秀,孙昭晨. 海域潮汐模型开边界反演优化方法研究[J]. 水动力学研究与进展,2008,23(6):646 – 654.
- [14] 朱江,曾庆存,郭冬建,等. 利用伴随算法从岸边潮位站资料估计近岸模式的开边界条件[J]. 中国科学(D辑),1997,27(5):462 – 468.
- [15] Hakanson L. The role of characteristic coefficients of variation in uncertainty and sensitivity analyses, with examples related to the structuring of lake eutrophication models[J]. Ecological Modelling, 2000, 131 (1): 1 – 20.

(上接第9页)

- [6] Li Yaoxiang, Wang Zhiping. A VB – based forest field data collection system[C]//. Proceedings of the 2009 Second International Workshop on Computer Science and Engineering, Qingdao, China, 2009.10.
- [7] 徐国宾,訾娟,高仕赵. 平面闸门启闭过程中的动水垂直力数值模拟研究[J]. 水电能源科学,2012,30(10):132 – 135.
- [8] LIU Xiaoqing, ZHAO Lanhao, CAO Huiying. Lifting force acting on a gate with high head[J]. Journal of Hydrodynamics,2011,23(3):379 – 383.
- [9] 黄金林. 平面闸门底缘型式及选择[J]. 长春工程学院学报,2004,5(2):9 – 12.
- [10] 撒文奇. 基于三维设计方法的重力坝 CAD_CAE 集成设计平台研究与开发[D]. 天津:天津大学,2010.
- [11] Speziale C G, Gatski T B, Fitzmaurice N. An analysis of RNG based turbulence models for homogeneous shear flow[J]. Physics of Fluids A,1991,3(9):2278 – 2281.
- [12] Victor Yakhot, Steven A. Renormalization group analysis of turbulence[J]. Journal of Scientific Computing,1986,1(1),3 – 7.
- [13] 张晋西. Visual Basic 与 AutoCAD 二次开发[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [14] 徐国宾,高仕赵,訾娟. 淤泥对平面钢闸门启门力影响的计算方法[J]. 水利学报,2012,43(9):1092 – 1096.
- [15] 徐国宾,高仕赵. 淤泥对弧形钢闸门启门力影响的计算方法[J]. 排灌机械工程学报,2012,30(3):304 – 308.