



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104750912 B

(45)授权公告日 2017.12.26

(21)申请号 201510098326.7

E02B 1/00(2006.01)

(22)申请日 2015.03.05

(56)对比文件

CN 101865689 A, 2010.10.20,

CN 104006946 A, 2014.08.27,

茅志昌 等.长江河口淡水资源利用与避咸蓄淡水库.《长江流域资源与环境》.2001,

胡德超 等.淹没式取水工程附近水流运动三维数值模拟.《长江科学院院报》.2013,

Yinglong Zhang et al. SELFE A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation.《Ocean Modelling》.2008,

朱宇新 等.盐水入侵对长江口盐度分布及影响研究.《Advances in Environmental Protection 环境保护前沿》.2014,

审查员 程静

权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种河口区咸淡水比例测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种河口区咸淡水比例测量方法,包括以下步骤:根据河口区实际岸线及地形情况,建立高度拟合岸线的无结构网格,垂向采用Sigma网格坐标;基于该网格建立河口三维水动力-盐度数学模型并进行率定验证、排频、选取典型年,进而进行盐度计算得出每个网格点的咸淡水比例,将每个网格点的咸淡水比例进行差值计算得到河口区咸淡水比例的等值线图。本发明利用数学模型,根据设定的设置网格点采集数据进行计算,可以得到每个点的咸淡水比例,并绘制了河口区咸淡水比例图,实现了对河口区各点的咸淡水比例的准确测量,并能快速准确地查询,全面反映河口区域不同水域的咸淡水比例情况。本发明涉及水利工程领域,尤其是一种河口区咸淡水比例测量方法。

A. 根据河口区实际岸线及地形情况,建立高度拟合岸线的无结构网格点, 垂向采用Sigma网格坐标

B. 根据实测的河道地形数据, 将河道地形数据插值到无结构网格点, 建立数字地形高程, 在上述无结构网格的网格点对应的位置设置传感器, 将传感器采集的数据发送至服务器

C. 利用网格点数据、数字地形高程、传感器采集到的数据及边界文件建立河口三维水动力-盐度数学模型并进行率定验证

D. 将三维水动力模型的上边界年平均流量进行排除, 选取典型年

E. 对选取的典型年进行一年365天逐时的盐度计算

F. 根据上述步骤计算而得的盐度值计算每个网格点的咸淡水比例

1. 一种河口区咸淡水比例测量方法,其特征在于:包括以下步骤:

A、根据河口区实际岸线及地形情况,建立高度拟合岸线的无结构网格点,垂向采用Sigma网格坐标;

B、根据实测的河道地形数据,将河道地形数据插值到无结构网格点,建立数字地形高程,在上述无结构网格的网格点对应的位置设置传感器,将传感器采集到的数据发送至服务器,所述采集到的数据包括有盐度值、水位及水流流速;

C、利用网格点数据、数字地形高程、传感器采集到的数据及边界文件建立河口三维水动力-盐度数学模型并进行率定验证;

D、将三维水动力模型的上边界年平均流量进行排频,选取上游90%保证率来水年对应的年份和50%保证率来水年对应的年份作为合适的典型年;

E、对选取的典型年进行一年365天逐时的盐度计算;

F、根据上述步骤计算而得的盐度值计算每个网格点的咸淡水比例;

G、根据每个网格点的咸淡水比例进行差值计算得到河口区咸淡水比例的等值线图。

2. 根据权利要求1所述的一种河口区咸淡水比例测量方法,其特征在于:所述步骤A中无结构网格的网格尺度不小于50m。

3. 根据权利要求1所述的一种河口区咸淡水比例测量方法,其特征在于:所述步骤A中垂向采用Sigma网格坐标,垂向分层为10层。

4. 根据权利要求3所述的一种河口区咸淡水比例测量方法,其特征在于:所述步骤A中的垂向分层的10层均分当地水深。

5. 根据权利要求1所述的一种河口区咸淡水比例测量方法,其特征在于:所述步骤E中:对选取的典型年进行一年365天逐时的盐度计算,其中三维水动力模型的计算边界条件包括外海及上游,外海边界采用潮汐调和常数,上游边界采用流量边界。

6. 根据权利要求1所述的一种河口区咸淡水比例测量方法,其特征在于:所述步骤F中咸淡水比例根据一年中盐度超标小时数计算。

一种河口区咸淡水比例测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水利工程领域,尤其是一种河口区咸淡水比例测量方法。

背景技术

[0002] 我国拥有漫长的海岸线及长江、黄河及珠江江等多个河口区,潮涨潮落为河口区带来了丰富的咸淡水资源。河口区往往经济发达、人口众多,咸淡水资源利用量大。

[0003] 咸淡水影响的河口区沿岸分布有众多类型取水户,包括对取水盐度无要求的电厂直排冷却水;对取水盐度有要求(含氯度须小于250mg/L)利用大小潮、涨落潮盐度差异“偷淡”的水厂,工业企业取用水户,以及对水质有要求,但采用海水淡化设备利用咸淡水的取水户(如珠江河口部分印染厂、造纸厂等等)。其中河口电厂是取用咸淡水的“大户”,如珠江河口沿岸分布有众多电厂,电厂的直排冷却水基本上都是取用珠江河口的咸淡水,特别是采用直流冷却的电厂,通过利用咸淡水资源对发电机组的凝汽器进行冷却,与二次循环冷却机组相比,能充分利用潮汐作用带来的咸淡水,具有耗水量极少(在冷却过程中基本不发生水量损耗,几乎全部直接回归河道中)、对水质要求高等特点。尽管其排水会对河道产生一定的温升影响,但由于其还具有能耗低、耗用淡水资源少的特点被广泛应用,具有节能和节约淡水资源的优点。这些电厂循环冷却水的取水量巨大,一台采用直流冷却方式的百万千瓦级机组每年取用咸淡水约6亿 m^3 ;因此,一个大型电厂年取用咸淡水少则十几亿 m^3 ,多则二、三十亿 m^3 。

[0004] 随着最严格水资源管理制度的不断深化,咸淡水作为国家鼓励的非常规水资源,如何计入用水总量控制指标,咸淡水区域如何开展水功能区及其纳污总量控制管理,如何开展入河排污口管理,均直接关系到水资源“三条红线”控制及其考核管理,尤其是取水许可管理、取用水量指标统计、水资源费征收、入河排污口和水功能区管理等诸多水资源管理问题。在河口区咸淡水资源利用中的一个核心问题就是测量咸淡水的比例问题,这也是咸淡水资源管理中的难点问题。目前的咸淡水比例测量的一般方法是根据水文站长序列盐度监测资料就是统计测量,该方法虽简单,但存在受水文站点布设制约,不能全面反映河口区不能水域的咸淡水比例,存在较大的局限性。

[0005] 目前国内外对咸淡水比例测量方法主要基于水文站实测盐度资料的统计,通过实测资料的统计来确定珠江三角洲网河区的咸淡水比例方法简单,但由于实测资料分布不均、时间序列也不一致,也没有典型的代表性,此外资料的收集也面临一定的现实困难。因而仅依靠统计资料得到的咸淡水比例能够满足一定的需要,却不全面,水文站盐度资料的统计仅能代表点的信息,无法全面反映河口区域不同水域的咸淡水比例情况。

发明内容

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明的目的是:提供一种利用取样数据精确测量河口区咸淡水比例的方法。

[0007] 本发明所采用的技术方案是:一种河口区咸淡水比例测量方法,包括以下步骤:

- [0008] A、根据河口区实际岸线及地形情况,建立高度拟合岸线的无结构网格,垂向采用Sigma网格坐标;
- [0009] B、根据实测的河道地形数据,将河道地形数据插值到无结构网格点,建立数字地形高程,在上述无结构网格的网格点对应的位置设置传感器,将传感器采集到的数据发送至服务器;
- [0010] C、利用网格点数据、数字地形高程、传感器采集到的数据及边界文件建立河口三维水动力-盐度数学模型并进行率定验证;
- [0011] D、将三维水动力模型的上边界年平均流量进行排频,选取典型年;
- [0012] E、对选取的典型年进行一年365天逐时的盐度计算;
- [0013] F、根据上述步骤计算而得的盐度值计算每个网格点的咸淡水比例;
- [0014] G、根据每个网格点的咸淡水比例进行差值计算得到河口区咸淡水比例的等值线图。
- [0015] 进一步,所述步骤A中无结构网格的网格尺度不小于50m。
- [0016] 进一步,所述步骤A中垂向采用Sigma网格坐标,垂向分层为10层。
- [0017] 进一步,所述步骤A中的垂向分层的10层均分当地水深。
- [0018] 进一步,所述步骤B中采集到的数据包括有盐度值、水位及水流流速。
- [0019] 进一步,所述步骤D具体为:将三维水动力模型的上边界年平均流量进行排频,选取上游90%保证率来水年对应的年份和50%保证率来水年对应的年份作为合适的典型年。
- [0020] 进一步,所述步骤E中:对选取的典型年进行一年365天逐时的盐度计算,其中三维水动力模型的计算边界条件包括外海及上游,外海边界采用潮汐调和常数,上游边界采用流量边界。
- [0021] 进一步,所述步骤F中咸淡水比例根据一年中盐度超标小时数计算。
- [0022] 本发明的有益效果是:本发明利用数学模型,根据设定的设置网格点采集数据进行计算,可以得到每个点的咸淡水比例,并绘制了河口区咸淡水比例图,实现了对河口区各点的咸淡水比例的准确测量,并能快速准确地查询,全面反映河口区域不同水域的咸淡水比例情况。

附图说明

- [0023] 图1为本发明方法的步骤流程图;
- [0024] 图2为本发明方法中计算模型网格示意图;
- [0025] 图3为本发明实施例中珠江河口一主要网格点流速验证结果;
- [0026] 图4为本发明实施例中珠江河口一主要网格点盐度验证结果;
- [0027] 图5为年均流量保证率90%水文条件下的咸淡水小时数比例等值线图;
- [0028] 图6为年均流量保证率50%水文条件下的咸淡水小时数比例等值线图。

具体实施方式

- [0029] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明:
- [0030] 参照图1,一种河口区咸淡水比例测量方法,包括以下步骤:
- [0031] A、根据河口区实际岸线及地形情况,建立高度拟合岸线的无结构网格,垂向采用

Sigma网格坐标；

[0032] B、根据实测的河道地形数据,将河道地形数据插值到无结构网格点,建立数字地形高程,在上述无结构网格的网格点对应的位置设置传感器,将传感器采集到的数据发送至服务器;

[0033] C、利用网格点数据、数字地形高程、传感器采集到的数据及边界文件建立河口三维水动力-盐度数学模型并进行率定验证;

[0034] D、将三维水动力模型的上边界年平均流量进行排频,选取典型年;

[0035] E、对选取的典型年进行一年365天逐时的盐度计算;

[0036] F、根据上述步骤计算而得的盐度值计算每个网格点的咸淡水比例;

[0037] G、根据每个网格点的咸淡水比例进行差值计算得到河口区咸淡水比例的等值线图。

[0038] 进一步作为优选的实施方式,所述步骤A中无结构网格的网格尺度不小于50m。

[0039] 进一步作为优选的实施方式,所述步骤A中垂向采用Sigma网格坐标,垂向分层为10层。

[0040] 进一步作为优选的实施方式,所述步骤A中的垂向分层的10层均分当地水深。

[0041] 进一步作为优选的实施方式,所述步骤B中采集到的数据包括有盐度值、水位及水流流速。

[0042] 进一步作为优选的实施方式,所述步骤D具体为:将三维水动力模型的上边界年平均流量进行排频,选取上游90%保证率来水年对应的年份和50%保证率来水年对应的年份作为合适的典型年。

[0043] 进一步作为优选的实施方式,所述步骤E中:对选取的典型年进行一年365天逐时的盐度计算,其中三维水动力模型的计算边界条件包括外海及上游,外海边界采用潮汐调和常数,上游边界采用流量边界。

[0044] 进一步作为优选的实施方式,所述步骤F中咸淡水比例根据一年中盐度超标小时数计算。

[0045] 本实施例以广东省珠江河口作为实施实例。应用基于无结构网格模式构建珠江河口咸淡水三维数值模型,计算珠江河口咸淡水比例分布。

[0046] (一) 模型的控制方程

[0047] 模型基于静压近似及Boussinesq近似求解三维浅水方程和温盐输送方程,模型求解的主要未知变量包括:自由水面高程,流体速度、温度和盐度矢量。在笛卡尔坐标系统下,模型的主要控制方程如下:

$$[0048] \nabla \cdot \vec{u} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$[0049] \frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \int_{-h}^{\eta} \vec{u} dz = 0 \quad (2)$$

$$[0050] \frac{D\vec{u}}{Dt} = \vec{f} - g\nabla \eta + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} \right);$$

$$[0051] \vec{f} = -f \vec{k} \times \vec{u} + \alpha g \nabla \psi - \frac{1}{\rho_0} \nabla P_A - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \nabla \rho d\zeta + \nabla \cdot (\mu \nabla \vec{u}) \quad (3)$$

[0052] $\frac{DS}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_s \quad (4)$

[0053] $\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{Q}{\rho_0 C_p} + F_h \quad (5)$

[0054] 其中：

[0055] (x, y) ——水平笛卡尔坐标,单位为m;

[0056] z ——垂向坐标,向上为正,单位为m;

[0057] ∇ ——哈密顿算子, $\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$;

[0058] t ——时间,单位为s;

[0059] $n(x, y, t)$ ——自由水面高程,单位为m;

[0060] $h(x, y)$ ——水深,单位为m;

[0061] $\vec{u}(x, y, z, t)$ ——水平流速,笛卡尔坐标下两个分量(u, v),单位为m/s;

[0062] w ——垂向流速,单位为m/s;

[0063] f ——柯氏力因子,(s-1);

[0064] g ——重力加速度,单位为m/s²;

[0065] $\psi(\phi, \lambda)$ ——潮汐势,单位为m;

[0066] a ——有效地球弹性因子;

[0067] $\rho(x, t)$ ——水的密度,默认参考值 ρ_0 为1025kg/m³;

[0068] $p_A(x, y, t)$ ——自由水面大气压强,单位为N/m²;

[0069] S, T ——水的温度和盐度,使用盐度单位 (psu) 和摄氏度°C;

[0070] v ——垂向涡动粘性系数,单位为m²/s;

[0071] μ ——水平涡动粘性系数,单位为m²/s;

[0072] κ ——温度和盐度的垂向涡动扩散系数,单位为m²/s;

[0073] F_s, F_h ——输移方程中的水平扩散系数;

[0074] Q ——太阳辐射吸收率,单位为W/m²;

[0075] C_p ——水的比热,单位为J/kg/K。

[0076] (二) 模型的范围及网格

[0077] 研究采用的模式建立范围覆盖了珠江网河—河口湾—近海陆架水动力数值模型。模型的计算范围从112.6°E到113.6°E; 21°N到23.6°N。模型上边界选取西江的高要,北江的石角,东江的博罗,流溪河及潭江上游考虑到老鸦岗和石咀在潮流界内,故在模拟过程中将其流量边界上延35km,并对上延河道做概化处理,减小对计算结果的影响。外海下边界取约100m等深线处。模型网格如附图2所示。

[0078] 模型采用全三角形的无结构网格,能够比较精确的贴合复杂的河岸边界。珠江网河结构复杂,尺度跨度大,故所建立的珠江网河模型的网格的规模比较大。模型网格有101265个节点,172246个网格单元。网格单元的大小均为50~12000m,最小网格50m能够确保宽度最小的河道也有三个以上节点。

[0079] 模型计算主要采用笛卡尔坐标系,同时也生成经纬度坐标系统下的网格,以便计

算随位置变化的柯氏力系数。模型在垂向上采用Sigma坐标,共分10层,均分当地水深,每层厚度随水深而变化。

[0080] 如图2所示,模型网河部位所用地形为1999年的大范围实测地形,局部河道地区采用2005年地形图,河口湾及近岸海区地形采用的是2000年海图数字化成果,外海地区地形采用ETOPO1全球海洋地形数据。

[0081] (三) 模型参数的设定

[0082] 模型采用斜压模式进行计算,其中外海盐度边界取34(取值依据为边界点处的WOA盐度资料枯季平均值),上游开边界盐度均设为0。水平网格内部各节点的初始盐度采用以下方法设定,海域节点采用WOA盐度资料进行插值,网河节点则直接设为0。初始温度场则采用定值12℃,其上下边界的温度也均设为12℃。模型的干湿判定水深选取0.01m。湍流闭合模型中动量方程和输移方程中的水平及垂向涡扩散系数给常数 10^{-6} 。方程离散所用到的时间隐性因子取0.6,以保证模型计算的稳定性。在底边界摩擦力的处理上,本发明选用二次的阻力公式,网格中各节点的阻力系数分河段设定,并通过率定进行调整。

[0083] 模型计算的基准面为珠基,计算时间步长为120秒,冷启动,网格内各节点初始水位均设为0m,模型计算50个小时后水位稳定,计算约15天后盐度场达到稳定。模型计算边界条件包括外海及上游,其中外海给的是潮汐调和常数,调和常数可由中国海域潮汐预报软件计算得到,共选取了珠江口海区九个主要分潮:Q1,01,P1,K1,N2,M2,S2,K2和SA的调和常数计算结果。模型上游边界均采用流量边界。

[0084] (四) 模型的率定和验证

[0085] 模型主要选取了2001年2月的全网河同步测量资料进行率定和验证。模型边界水文条件的插值使用已经证明插值结果比较符合实际的Hermite插值法。模型选用珠江三角洲及河口的主要测站潮位资料以及各口门主要测站的流速及盐度资料进行率定和验证。

[0086] 模型提前于验证数据起算,总计算时长为15天,选择后8天(2001年2月7日14时-2001年2月14日20时)进行水位、流速及盐度验证。

[0087] 潮位验证:

[0088] 为了使模型更好地模拟珠江三角洲网河的整体水位,选择了八大口门的主要站点数据及网河区的几个重点水文站点数据进行潮位验证。验证站点共计33个,基本上覆盖了整个西北江三角洲。模型率定结果显示,模型计算潮位与实测的潮位符合得很好。实际操作中,计算值与实测值的误差统计绝大部分测站位的误差均在0.1m以内,符合相关模拟技术规范的精度要求,可以将模型应用于珠江河口咸水入侵的模拟计算。

[0089] 流速验证:

[0090] 本次共选择了网河及口门处共17个点的流速资料进行验证,验证结果如附图3所示。从流速的验证结果来看,大部分测站的计算流速与实测流速吻合得较好,仅有少数几个站点的流速误差稍大(仍在最大误差允许范围之内),考虑到珠江网河及地形的复杂性,流速计算结果比较理想。

[0091] 盐度验证:

[0092] 附图4为各口门主要测站的盐度计算值与实测值的对比,从图中可以看出,盐度的模拟精度相对于潮位及流速有所降低,但总的来说计算盐度的误差在允许范围之内,能够较好地体现出盐度的大小潮变化特征。考虑到地形、风等因素对盐度的变化有很大影响,而

模型采用的是1999年的地形模拟2001年的情况,同时也没有把风场加以考虑,故计算结果存在充许范围内的误差是合理的。因此可以认为模型的精度达到了进行长时间序列盐水入侵模拟实验的要求。

[0093] (五) 咸淡水比例计算

[0094] 本发明采用计算方法如下:本次计算的上边界水文条件共采用2组,分别是年均流量保证率为50%和90%的全年逐时实测流量。计算时长为一年,从典型年的1月1日到该典型年份的12月31日,并提前30天起算,以保证盐度场达到稳定状态。下边界采用珠江口海区九个主要分潮:Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2和SA的调和常数计算得到的对应时间的水位。

[0095] 计算结果的处理:计算结果可得到每一个点的全年逐时含氯度过程线,从而可统计每个点全年咸水的比例(按全年含氯度大于250mg/l的小时数统计),并在图上绘出其咸水比例等值线。

[0096] 附图5和附图6为2个典型年水文条件下的珠江河口区年咸水小时数比例等值线分布图。从图中可以看出,不同保证率典型年水文条件下的咸水比例等值线的分布规律基本一致。咸水比例0%等值线系计算典型年中咸水上溯的最远距离,其位置主要受年最枯流量的影响,2组典型年水文条件下,咸水比例0%等值线的位置变化不大,主要是因为所选的2个典型的最枯流量(高要+石角)约在1200m³/s左右。从咸水比例等值线的疏密来看,0%~10%等值线较稀疏,且咸水比例越小各等值线之间的距离就越大,这主要是咸水最大上溯距离在枯水期对流量的变化更为敏感(流量的较小变化就能引起咸水最大上溯距离的较大变化);同时最枯流量等级的流量出现的频率很小。伶仃洋的咸水比例等值线分布与盐度场的分布一样具有“东高西低”的特征,咸水比例100%的等值线在淇澳岛与内伶仃岛之间。磨刀门河口咸水比例100%的等值线位于交杯滩外2~3km处,形状向外凸起。黄茅海的咸水比例100%等值线向西南凸起,咸水比例呈“西高东低”之势,主要是由于径流经东部深槽下泄,减小了东部的咸水比例。

[0097] 以上是对本发明的较佳实施进行了具体说明,但本发明创造并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可以作出种种的等同变换或替换,这些等同的变形或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

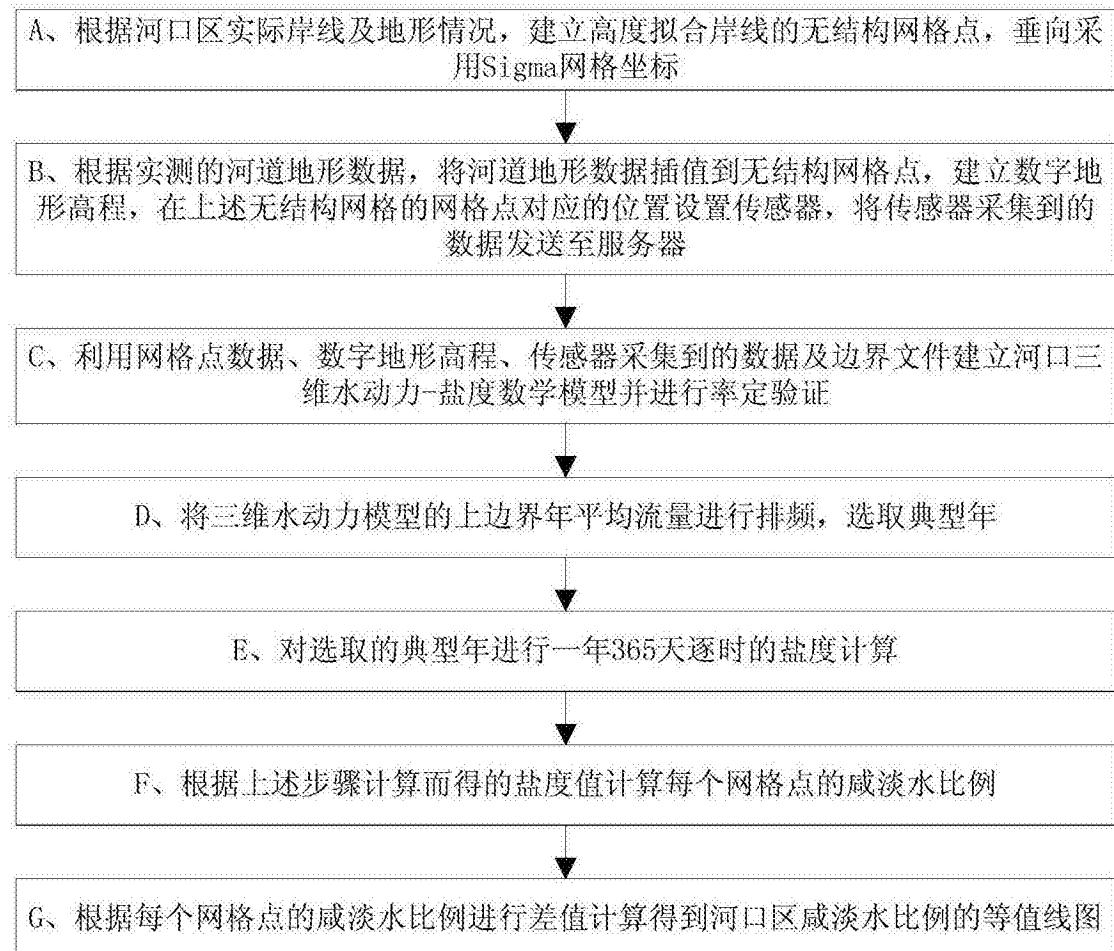


图1

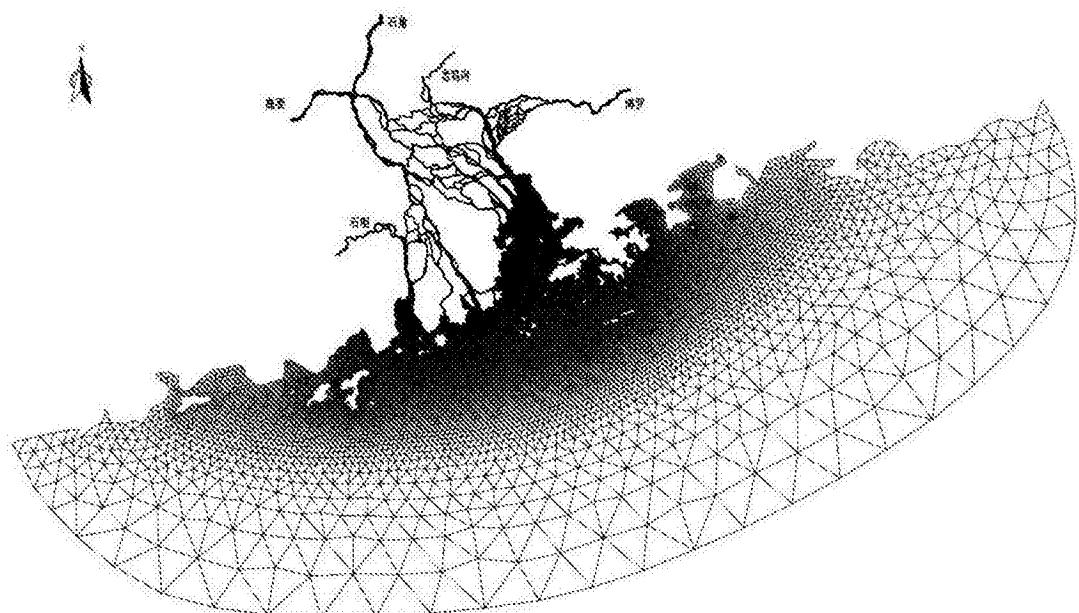


图2

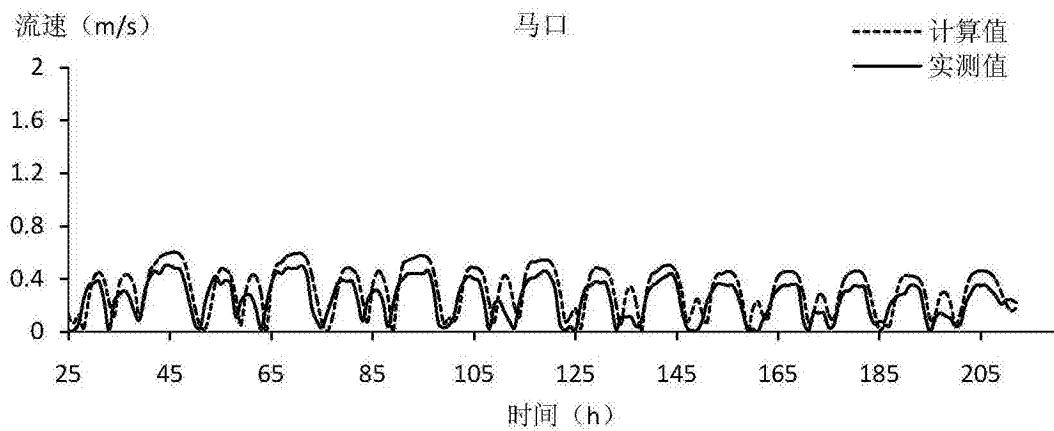


图3

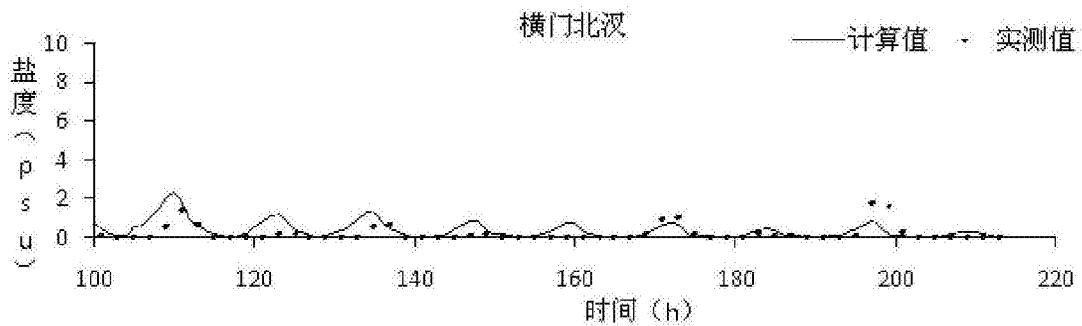


图4

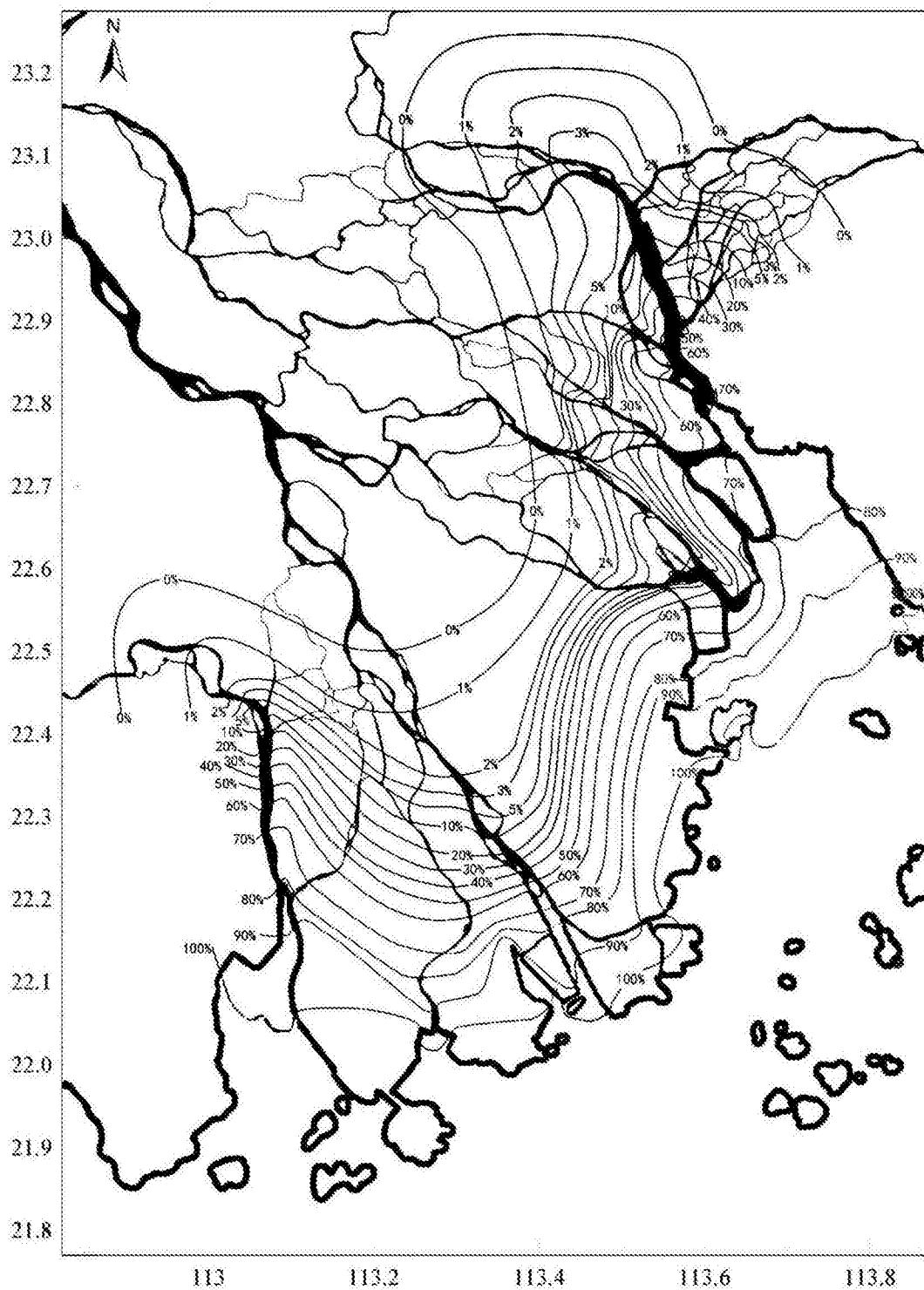


图5

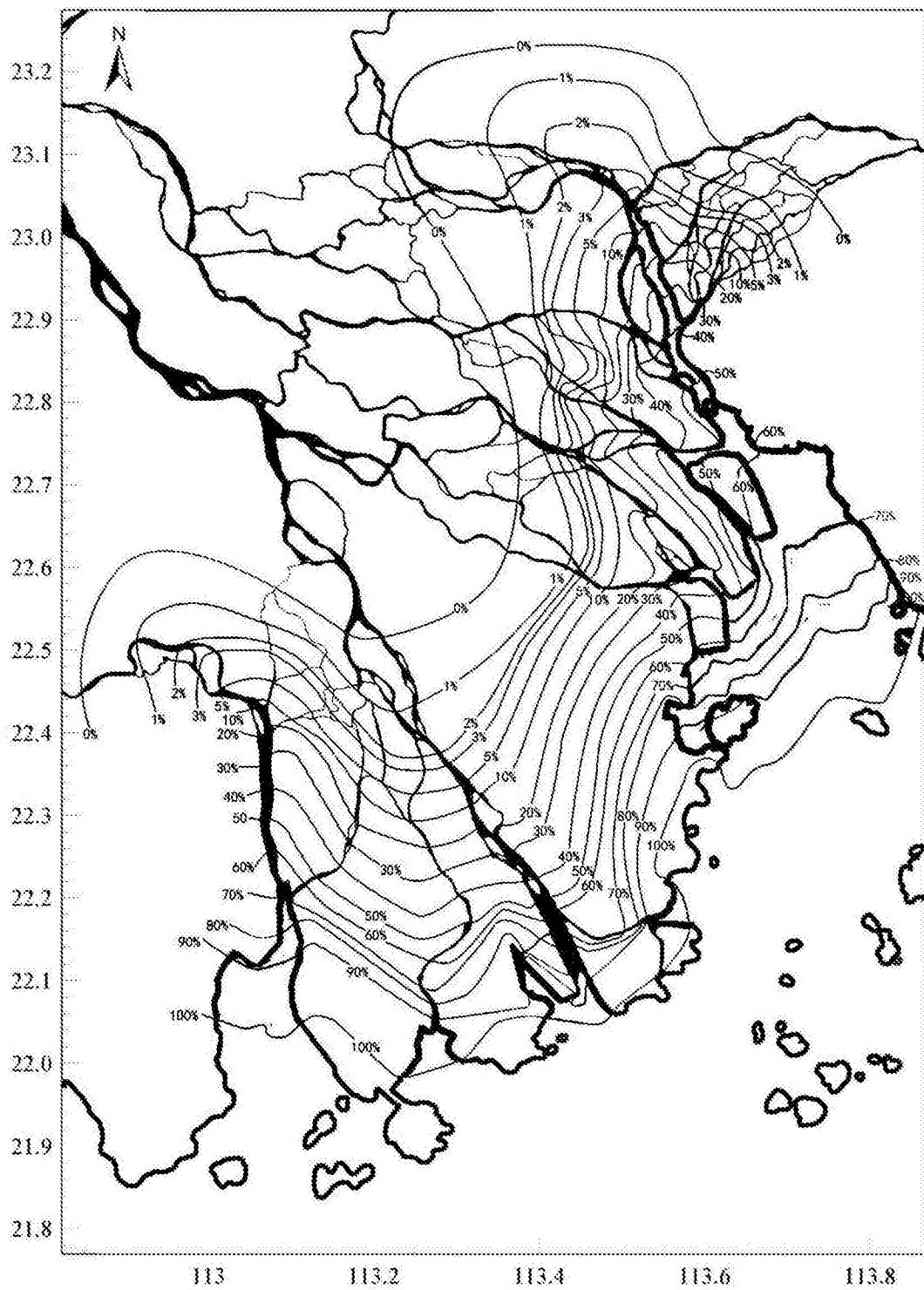


图6