

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2019.02.013

一种基于 Google Earth 影像的河道地形数据提取方法

苏程佳^{1,2}, 陈晓宏^{1,2}

(1. 中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;

2. 华南地区水循环与水安全广东普通高校重点实验室, 广东 广州 510275)

摘要:为解决无实测资料地区的河道地形数据获取问题,提出了一种基于 Google Earth 影像提取河道地形数据的方法,利用该方法提取了鉴江流域的河道地形数据并将其应用于水动力模型的构建。结果表明:利用该方法提取的河道地形数据所构建的水动力模型,其模拟过程与实际过程基本一致,其中模拟的最大、最小流量与实测对应的最大、最小流量的相对误差分别为 14.3% 和 7.8%,流量模拟的整体相对误差为 13.2%;模拟的最高、最低水位与实测对应的最高、最低水位的相对误差分别为 5.5% 和 3.9%,水位模拟的整体相对误差为 5.2%;基于 Google Earth 影像提取河道地形数据是解决无河道地形资料地区的一种便捷且行之有效的方法。

关键词:无资料地区;河道地形;地形数据;Google Earth 影像;水动力模型;鉴江流域

中图分类号:P331.3

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2019)02-0080-05

A new method for extracting river terrain data based on Google Earth image// SU Chengjia^{1,2}, CHEN Xiaohong^{1,2}

(1. Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: To solve the problem of obtaining river terrain data in ungauged area, a new method for extracting river terrain data based on Google Earth image was proposed. Using this method, the river terrain data of Jianjiang River Basin are extracted, and a one-dimensional hydrodynamic model was constructed based on those river terrain data. The results show that the simulation process by the hydrodynamic model based on river terrain data extracted by this method is basically consistent with the actual process. The relative errors of the maximum and minimum flow rates are 14.3% and 7.8%, respectively, while the overall relative error of flow simulation is 13.2%. The relative errors of the simulated maximum and minimum water levels corresponding to the measured ones are 5.5% and 3.9%, respectively, while the overall relative error of water level simulation is 5.2%. It shows that extracting river terrain data based on Google Earth image is a convenient and effective method to solve the problem in the area without river terrain data.

Key words: ungauged area; river terrain; terrain data; Google Earth image; hydrodynamic model; Jianjiang River Basin

河道地形资料是构建水动力数学模型最为重要的基础资料之一,也是研究河道演变过程以及河道管理、治理的重要参考依据^[1-3]。当前,获取河道地形资料的最直接方法是实地测量,如传统的人工布设大断面定点测量法,现代化技术的水下地形自动测量等。然而,这些测量方法测量得到的河道地形资料虽然精度较高,但需要耗费大量的人力物力,费用极高^[4]。因此,除了重要的大

江大河外,我国仍有数量巨大的中小河流未进行河道地形测量。

对于没有河道地形资料的河流,大多数的研究都希望通过 DEM 数据获取,因为 DEM 数据易于获取且免费^[5-6]。此外,也有不少的研究通过给定不同参数来拟合过流能力相似的河道横断面^[7],如俞茜等^[4]通过 DEM 数据获取了普渡河的断面资料并用于一维水动力模型的构建,结果发现基于该数据的

基金项目:国家自然科学基金(91547202, 51479216, 51509127);中国工程院咨询项目(2015-DA-07-04-03);广东省水利科技创新项目(2016-07, 2016-01)

作者简介:苏程佳(1990—),男,博士研究生,研究方向为水文与水资源。E-mail:suchengji@mail2.sysu.edu.cn

水动力模型模拟的流量、水位与基于实测河道地形数据的模型的结果基本吻合,证明了基于DEM数据获取的河道断面数据用于水动力过程模拟的可行性。但基于DEM资料获取河道地形数据存在以下几点不足:一是DEM数据水平方向以及纵向的分辨率不足^[8],二是所得的断面数据没有包含水下地形,三是难以确定河道的断面宽度。Google Earth影像资料易于获取,且可以免费使用,还具有可视化的河道断面宽度及边界等特点,因此,本文提出了一种基于Google Earth影像的河道地形数据提取方法,利用该方法提取河道地形数据,用于一维水动力数学模型的构建,并加以验证。研究成果旨在丰富河段地形数据的获取手段,为解决无实测资料地区的河道地形获取提供参考。

1 数据提取

1.1 提取步骤

图1给出了基于Google Earth影像提取河道地形数据的步骤。为了验证该方法的有效性,本文还给出了利用该方法提取河道地形数据的实际应用案例。

1.2 高程数据修正

由于Google Earth影像采用的地理坐标系统与目标河道所在位置采用的地理坐标系统可能并不一

致,因此需要对从Google Earth影像中提取的河道地形高程数据进行修正,修正公式为

$$Z = Z_{GE} - \Delta Z \quad (1)$$

式中: Z 为修正后的河道高程数据; Z_{GE} 为从Google Earth影像中提取的河道地形高程数据; ΔZ 为Google Earth影像采用的地理坐标系统与目标河道所在位置采用的地理坐标系统基准面的差值。

2 一维水动力模型

对于感潮河网水系,可采用水动力学模型对其水流进行模拟。水流控制方程采用一维非恒定流圣-维南方程组,其连续方程和动量方程分别为

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q}{B} \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left(gA - \frac{BQ^2}{A^2} \right) \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_z - \frac{gQ|Q|}{A^2 cR} \quad (3)$$

式中: z 为断面水位; Q 为流量; A 为河道过水面积; g 为重力加速度; B 为过水宽度; q 为旁侧入流流量; R 为水力半径; c 为谢才系数; x 、 t 分别为位置坐标和时间坐标。

利用Preissmann四点隐式差分格式对式(2)和式(3)进行离散,再运用网河三级联合解法^[9-12]进行求解,计算得到各河道断面的水位、流量等。

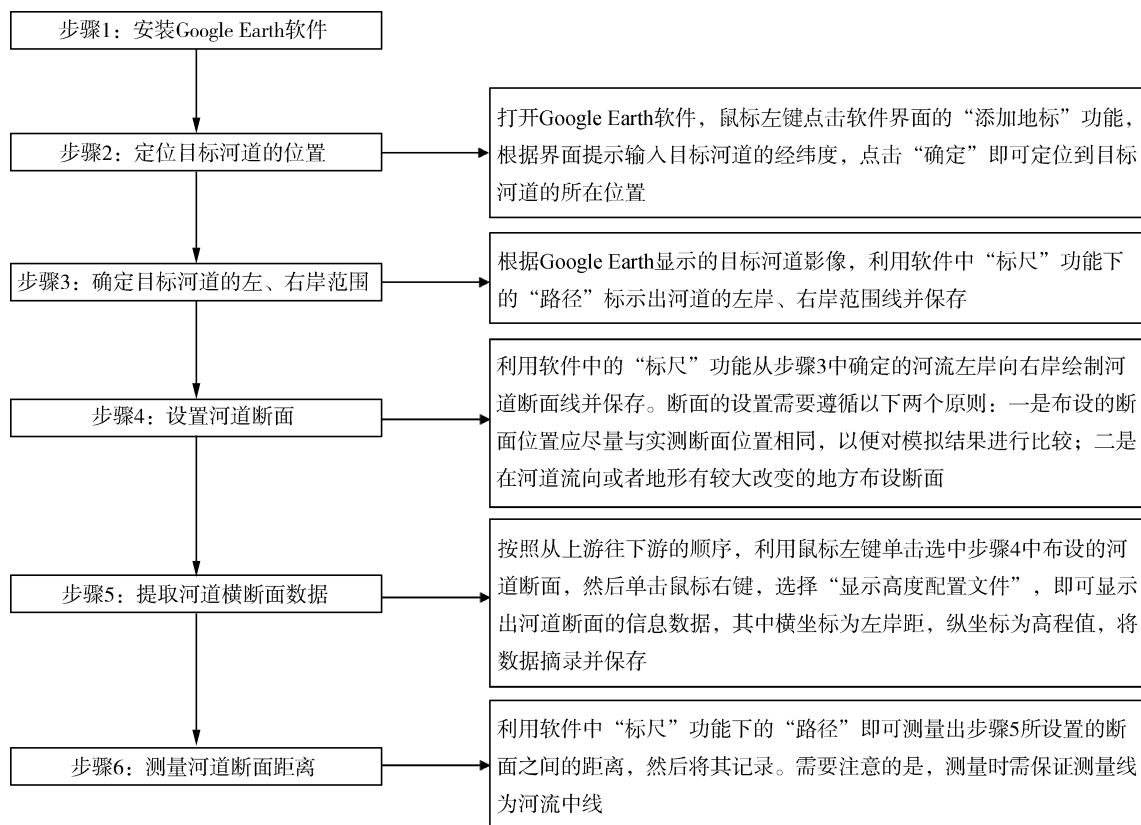


图1 利用Google Earth影像提取河道地形数据的步骤

3 实例验证

3.1 鉴江流域概况

鉴江(图2)发源于信宜市的虎豹坑,流经茂名市高州、化州、电白市区,在湛江市吴川沙角旋注入南海,干流全长231 km,总落差220 m,平均坡降0.374‰。流域范围为东经110°20′~111°20′,北纬21°15′~22°30′,总面积9464 km²,多年平均年降雨量1768 mm,但在时间上分布不均。

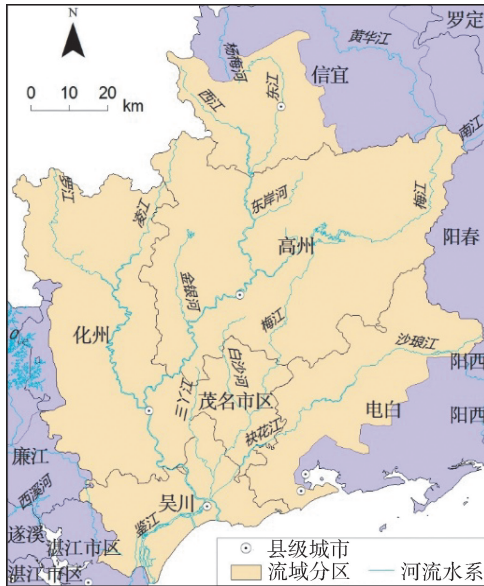
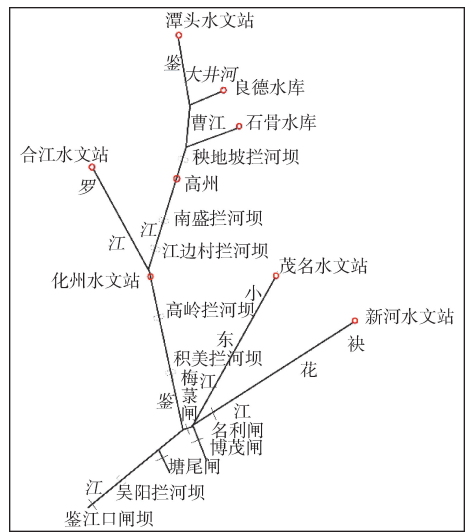


图2 鉴江流域水系

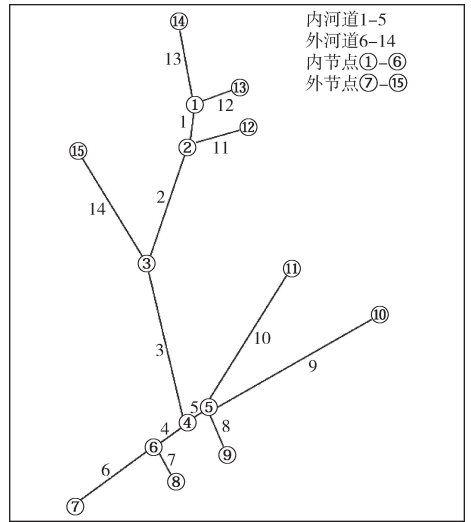
3.2 河道概化及边界条件

根据鉴江流域的水系特点进行河道概化。河道概化后一共有河道14条,其中内河道5条,外河道9条;内节点6个,外节点9个。概化结果见图3。另外,考虑到水文数据获取的可能性,水动力模型模拟范围的上游边界取为鉴江支流罗江的合江水文站、大井河的良德水库、曹江的石骨水库、小东江的茂名水文站、袂花江的新河水文站以及鉴江干流的潭头水文站;下游边界取为鉴江下游入海口的鉴江口闸坝、塘尾闸以及博茂闸。根据第一部分提出的基于Google Earth影像提取河道数据的方法获得了图3中各河道的地形数据,根据河道断面布设的原则,本文一共布设了639个断面,图4给出了基于该方法获得的河道断面(编号为3的河段的第1个断面)数据示例。

基于Google Earth影像得到的河道高程数据是基于WGS84(world geodetic system—1984 coordinate system)基准的结果,而实测的边界水文站实测数据是基于珠江基准面的结果,两者存在一定的差值。由于缺乏可直接参考的两者之间的差值,故本文参考了文献[13]的结果,即1985国家高程基准与WGS84



(a) 水系概化图



(b) 编码图

图3 鉴江流域水系概化图及编码

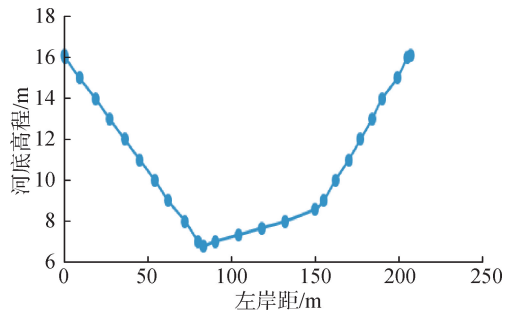


图4 基于Google Earth影像提取的河道断面数据示例

的系统差为0.357 m,再结合1985国家高程基准与珠江基准面之间的差值0.557 m,计算得到WGS84与珠江高程基准的差值为0.200 m,即前者比后者高0.200 m,再利用式(1)对Google Earth影像提取的河道高程数进行修正。

一维水动力模型的上游边界采用实测流量过程,下游边界采用同期的潮位过程。考虑到鉴江流域下游边界潮位站的潮位资料缺失,本文采用与下游边界潮位站邻近的西葛站同期实测潮位资料进行替代。

3.3 一维水动力模型率定及验证

考虑到鉴江流域内地形较为复杂,山区、丘陵、和沿海平原交错的特点,本文参考了文献[14-15]关于天然河道糙率值设定研究范围内各河道的糙率,山丘地区的河道初始糙率统一设置为0.05,沿海平原感潮河段的初始糙率统一设置为0.035。采用2014年1月5—12日的鉴江流域上下游边界同步水文测验资料进行模型参数率定,时间步长为 $\Delta t = 600\text{ s}$,空间步长在200~1500 m,初始水位和流量统一赋值为0。通过上述条件调试率定出鉴江流域的河道糙率在0.023~0.045。

模型率定之后,选取化州水文站作为模型的验证站点,以与计算时刻同步监测的2015年1月3日08:00至2015年1月10日08:00的观测流量和水位资料对计算结果进行验证,结果见表1。

表1 化州站流量、水位验证结果

类别	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		水位/m		误差/%	
	实测	模拟	实测	模拟	流量	水位
最大值	114.0	130.3	8.59	9.06	14.3	5.5
最小值	60.9	56.1	8.30	7.98	7.3	3.9

由表1可以看出,模拟的流量、水位结果与实测结果较为吻合,表明基于Google Earth影像提取的河道地形数据是可行的。但同时需要指出的是,模拟水位与实测水位的相对误差虽然较小,但是绝对误差较大,如最高水位的模拟值与实测值的差值绝对值高达0.47m。分析原因可能是部分从Google Earth影像中提取到的地形数据是丰水期拍摄的,此时由于河道水流量大,水面覆盖的河道横断面面积较大,因此得到的河道地形数据不能很好地反映出实际的河道断面形状,因此会存在一定的误差。俞茜等^[4]也有着相同的观点。此外,由于本文下游边界的潮位资料采用的是邻近站的潮位,因此与实际下游边界的潮位过程会有一定的出入。加之鉴江流域干流及支流闸坝众多,本文为简便起见并未在水动力模型中将其考虑进去,导致模型的拟合效果不是十分理想。

4 结语

为解决无实测资料地区的河道地形数据获取问题,本文提出了一种基于Google Earth影像提取河道地形数据的方法,对提取的河道地形数据修正后应用于鉴江流域的水动力过程模拟。验证结果表明,基于Google Earth影像提取河道地形数据是解决无实测资料地区的河道地形获取的一种行之有效的办法。但该方法丰水期提取的河道地形数据会与枯水期提取的有所差别,导致部分河道断面的数据

并不是十分理想,今后需要对其进行改进,进行更多的案例应用研究来验证该方法的适用性。

参考文献:

- [1] 杜国明,汪光松,吴超羽,等. 克里金在珠江河道地形空间数据内插中的应用[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2007, 46(1): 119-122. (DU Guoming, WANG Guangsong, WU Yuchao, et al. Application of Kriging Interpolation to Spatial Data of Pearl River Riverway[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(1): 119-122. (in Chinese))
- [2] 周建红,杨彪,王华,张行南,等. 长江中下游河道岸滩低空机载LiDAR点云地形滤波算法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(1): 26-31. (ZHOU Jianhong, YANG Biao, WANG Hua, ZHANG Xingnan, et al. Filtering algorithm of the low-attitude airborne LiDAR point clouds for topographic survey of the middle-lower Yangtze River riparian zone[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(1): 26-31. (in Chinese))
- [3] 丁贤荣,王文,杨涛,等. 河道数字地形信息系统与长江镇扬河段GIS研制[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2001, 29(4): 116-119. (DING Xianrong, WANG Wen, YANG Tao, et al. River digital terrain information system and GIS for Zhenyang section of Yangtze River[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2001, 29(4): 116-119. (in Chinese))
- [4] 俞茜,陈永灿,朱德军,等. 基于DEM数据的河道水动力过程数值模拟[J]. 水力发电学报, 2014, 33(3): 133-137. (YU Qian, CHEN Yongcan, ZHU Dejun, et al. River cross-section extraction from DEM for one-dimensional hydrodynamic modeling[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(3): 133-137. (in Chinese))
- [5] 胡德超,张红武,哈岸英,等. 基于无结构 σ 坐标网格的半隐式三维水沙数学模型: I-算法[J]. 水力发电学报, 2011, 30(6): 221-229. (HU Dechao, ZHANG Hongwu, HA Anying, et al. 3-D hydrodynamic model for free-surface flows and sediment transport on unstructured σ -coordinate grid: Part I. Numerical scheme[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 30(6): 230-236. (in Chinese))
- [6] ZIJLEMA M, STELLING G S. Further experiences with computing non-hydrostatic free-surface flows involving water waves[J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2005, 48(2): 169-197.
- [7] YOUNG C C, WU C H. A σ -coordinate non-hydrostatic model with embedded Boussinesq-type-like equations for modeling deep-water waves[J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2010, 63(12): 1448-1470.
- [8] ZIJLEMA M, STELLING G S. Efficient computation of surf zone waves using the nonlinear shallow water equations

- with non-hydrostatic pressure [J]. Coastal Engineering, 2008, 55 (10): 780-790.
- [9] 张二骏, 张东生, 李挺. 河网非恒定流的三级联合解法[J]. 华东水利学报, 1982, 10 (1): 1-13. (ZHANG Erjun, ZHANG Dongsheng, LI Ting. "Three Steps Method" to Compute Unsteady Flow for River Networks[J]. Journal of Hohai University, 1982, 10 (1): 1-13. (in Chinese))
- [10] 许益新, 王文才, 曾伟峰, 等. 调水引流改善平原河网水环境质量模拟[J]. 水资源保护, 2018, 34 (1): 70-75. (XU Yixin, WANG Wencai, ZENG Weifeng, et al. Simulation on improvement of water environment in plain river network by water diversion [J]. Water Resources Protection, 2018, 34 (1): 70-75. (in Chinese))
- [11] 顾庐华, 赖锡军. 七浦塘引水对阳澄湖河网水环境影响模拟研究[J]. 水资源保护, 2018, 34 (2): 88-95. (GU Luhua, LAI Xijun. Simulation study of water environment influence on Yangcheng Lake river networks by Qipu River water diversion project [J]. Water Resources Protection, 2018, 34 (2): 88-95.)
- [12] 杜建, 陈晓宏, 陈志和, 等. 珠江三角洲感潮河网区水环境引水调控研究[J]. 水文, 2012, 32 (4): 16-21. (DU Jian, CHEN Xiaohong, CHEN Zhihe, et al. Water Diversion and Control for Water Environment in Tidal Network of Pearl River Delta [J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32 (4): 16-21. (in Chinese))
- [13] 郭海荣, 焦文海, 杨元喜. 1985 国家高程基准与全球似大地水准面之间的系统差及其分布规律[J]. 测绘学报, 2004, 33 (2): 100-104. (GUO Haiyong, JIAO Wenhai, YANG Yuanxi. The systematic difference and its distribution between the 1985 national height datum and the global quasigeoid [J]. Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica, 2004, 33 (2): 100-104. (in Chinese))
- [14] 张莉莉, 王峰. 水力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [15] 王玲玲, 钟娜, 成高峰. 基于奇异矩阵分解法的河道糙率反演计算方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2010 (4): 359-363. (WANG Lingling, ZHONG Na, CHENG Gaofeng. Inversion method of river roughness based on singular matrix decomposition [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2010 (4): 359-363. (in Chinese))

(收稿日期: 2018-05-18 编辑: 彭桃英)

(上接第 66 页)

- [19] VORONKOV A, HOP H, GULLIKSENB. Zoobenthic communities on hard-bottom habitats in Kongsfjorden, Svalbard [J]. Polar Biology, 2016, 39 (11): 1-19.
- [20] 简东, 黄道明, 常秀岭, 等. 红水河干流梯级运行后底栖动物的演替[J]. 水生态学杂志, 2010, 3 (6): 12-18. (JIA Dong, HUANG Daoming, CHANG Xiuling, et al. The succession of zoobenthos in the mainstream of Hongshui River after the formation of the cascade reservoirs [J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3 (6): 12-18. (in Chinese))
- [21] 李晋鹏, 董世魁, 彭明春, 等. 梯级水坝运行对漫湾库区底栖动物群落结构及分布格局的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28 (12): 4101-4108. (LI Jinpeng, DONG Shikui, PENG Mingchun, et al. Effects of cascading hydropower dams operation on the structure and distribution pattern of benthic macroinvertebrate assemblages in Manwan Reservoir, Southwest China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28 (12): 4101-4108. (in Chinese))
- [22] 朱苏葛, 刘凌, 罗娟, 等. 里下河地区典型湖泊大型底栖动物与环境因子的相关性分析[J]. 水资源保护, 2016, 32 (3): 99-104. (ZHU Suge, LIU Ling, LUO Juan, et al. Correlation analysis between macrozoobenthos and environmental factors in lakes of Lixia River Area [J]. Water Resources Protection, 2016, 32 (3): 99-104. (in Chinese))
- [23] 林彰文, 林生, 顾继光, 等. 浮游植物群落对海南小水电建设的响应[J]. 生态学报, 2013, 33 (4): 1186-1194. (LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al. Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (4): 1186-1194. (in Chinese))
- [24] 刘唱, 刘凌, 张又, 等. 阳澄湖大型底栖动物群落结构和空间分布特征[J]. 水资源保护, 2017, 33 (2): 79-87. (LIU Chang, LIU Ling, ZHANG You, et al. Community structure and spatial distribution of macrozoobenthos in Yangcheng Lake, China [J]. Water Resources Protection, 2017, 33 (2): 79-87. (in Chinese))
- [25] 张敏, 蔡庆华, 渠晓东, 等. 三峡成库后香溪水库湾底栖动物群落演变及库湾纵向分区格局动态[J]. 生态学报, 2017, 37 (13): 4483-4494. (ZHANG Min, CAI Qinghua, QU Xiaodong, et al. Macroinvertebrate succession and longitudinal zonation dynamics in Xiangxi Bay, after impoundment of the Three Gorges Reservoir [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37 (13): 4483-4494. (in Chinese))
- [26] 徐梦珍, 王兆印, 段学花. 输水管道中淡水壳菜的防治研究[J]. 给水排水, 2009, 35 (5): 205-208. (XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, DUAN Xuehua. Study on prevention and control of Limnoperna fortunei in Water Pipelines [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35 (5): 205-208. (in Chinese))
- [27] BAE Y J, MCCAFFERTY W P. Microhabitat of *Anthopotamus verticis* (ephemeroptera: potamanthidae) [J]. Hydrobiologia, 1994, 288 (2): 65-78. (收稿日期: 2018-04-10 编辑: 熊水斌)