

少资料河流一维水动力水质模型概化断面参数获取方法

卢敏¹, 靳甜甜², 尹婧², 苏辉东¹

1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000

2. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038

摘要 水动力水质模型是河流水环境容量研究中的常用工具, 中国西部大部分地区中小河流缺少断面测量数据, 成为制约这些区域河流水动力水质模型构建的关键问题。为解决这一难题, 提出一种利用 Google Earth 遥感影像提取河流多期水面宽度, 结合实测最大水深获取河流概化断面参数的方法, 并分别用概化断面和实测断面在 MIKE11 下构建少资料河流一维水动力水质模型, 对两种断面模型的计算结果进行对比分析。结果表明, 两种断面模型计算的水动力水质因子无显著差异; 在模拟河段的上段、中段和下段, 两种断面模型对水位、流速、化学需氧量(COD)浓度的计算结果基本吻合, 验证了少资料河流概化断面参数获取方法的可靠性和可行性。

关键词 少资料河流; 一维水动力水质模型; 概化断面; Google Earth 遥感影像

随着中国地表水体污染的日益加重和公众环保意识的提高, 河流水环境修复与保护成为政府和公众关注的热点问题。在河流水环境保护中, 首先需要明确的问题是河流保护和利用的“底线”问题, 也就是河流水环境承载力或水环境容量到底是多少。目前, 水动力水质模型是河流水环境容量研究中最常用工具^[1-7], 如 EFDC、MIKE、WASP、QUAL 等^[8-12]。然而, 在建立模型的过程中, 现实数据的来源是一个重要制约因素^[13-16], 特别是在中国西部大部分地区的中小河流, 由于研究基础薄弱, 只有极少部分断面具有河流断面测量数据, 因而在这些区域搭建水动力水质模型时, 河道断面形状成为制约模型构建的关键问题。

对于这些无资料或少资料地区, 为满足河流水环境容量计算, 能否寻找一种河流断面概化的简便易行且能满足基本需求的方法, 是本文研究的出发点。Google Earth 遥感影像融合了多源多时相数据, 能获取多种地面信息, 因而在众多科学研究中被广泛应用, 如在建筑物高度测量^[17]、土地利用分析、水域分析和获取水文模型参数等方面都发挥了重要作用^[17-26]。本文针对少资料或无资料河流, 研究一种利用 Google Earth 遥感影像提取河流不同时期水面宽度和少量实测水深数据获取河流概化断面参数的方法。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏拉萨河流域(北纬 29°20'N~31°15'N, 东经 90°05'E~93°20'E), 流域面积约 3.3 万 km², 流域从上游到下游依次经过那曲县、当雄县、墨竹工卡县、林周县、达孜县、堆龙德庆县、曲水县以及拉萨市城关区, 上游河道断面较窄, 下游河道断面较宽^[27-32]。拉萨河属于典型的降雨补给型河流, 年内存在明显的丰枯季, 11 月—次年 4 月份为枯水期, 5—10 月份为丰水期。河流上游和中游处于受人类活动影响较少的山区河谷, 水流清澈水质良好。下游尤其是唐家水文站以下, 城镇数量和面积增加, 人类活动频繁, 河流水质受到一定影响。为实现流域内环境和可持续发展, 需对河流水环境容量有清晰的认识。

研究河段位于拉萨河下游唐家水文站到才纳水环境监测站之间, 河段总长度 108 km, 区间内只有唐家、拉萨 2 个控制断面。为满足水环境容量计算需求, 本研究根据地形起伏等情况在研究河段选取了 14 个河道断面进行实地测量, 作为水动力水质模型输入断面数据, 具体断面位置如图 1 所示。

1.2 河道断面数据获取

采用 2 种方法获取拉萨河下游 14 个河道断面数据: 一是

收稿日期: 2017-03-03; 修回日期: 2017-07-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0502103); 西藏自治区科技计划项目(Z2016C01G01/08-003)

作者简介: 卢敏, 硕士研究生, 研究方向河流水动力水质数值模拟, 电子信箱: 1030163831@qq.com; 靳甜甜(通信作者), 高级工程师, 研究方向为流域和区域尺度水利水电工程生态环境影响, 电子信箱: jtt_05@163.com

引用格式: 卢敏, 靳甜甜, 尹婧, 等. 少资料河流一维水动力水质模型概化断面参数获取方法[J]. 科技导报, 2017, 35(16): 74-83; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.16.010

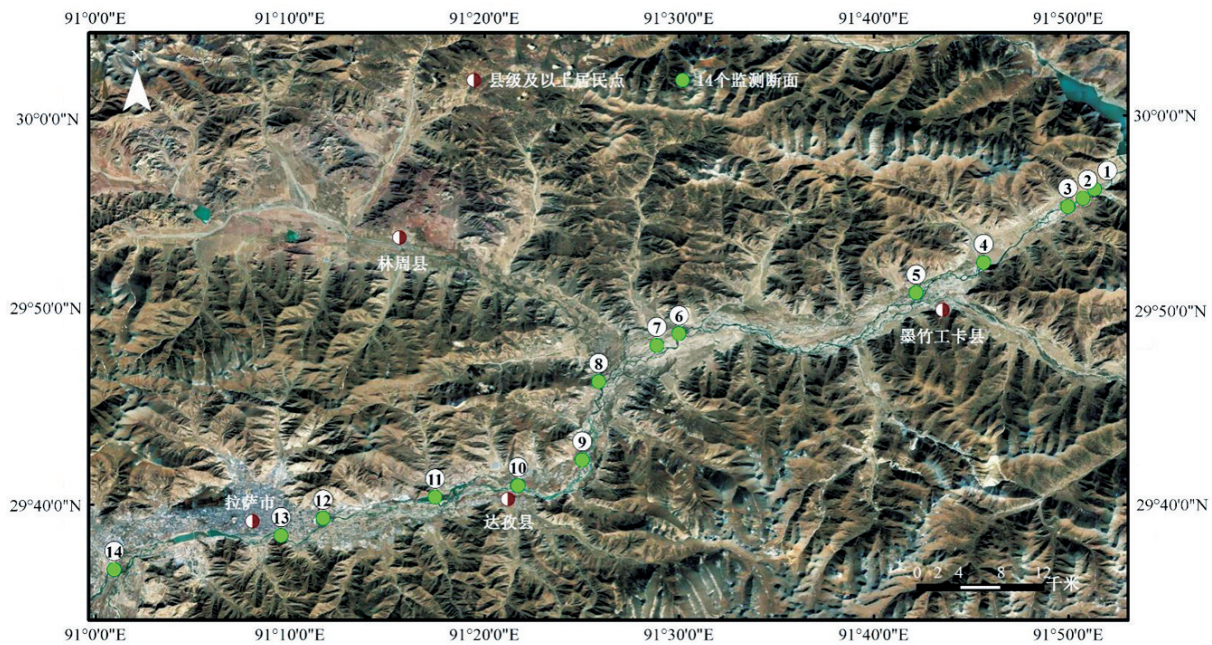


图1 拉萨河下游测量断面位置分布示意

Fig. 1 Measured section profile distribution of Lasa river downstream

实地测量,利用长绳、重锤、卷尺、红外线测高测距仪进行现场测量,得到河道断面形状的实际测量数据;二是根据河道断面特点,构建概化模型,利用Google Earth在丰水期和枯水期的遥感影像提取14个断面在丰水期和枯水期的水面宽度,结合实地监测的丰水期和枯水期最大水深,确定相应的概化断面参数,利用概化模型获得概化断面形状。丰水期、枯水期的水面高程和断面最大水深的测量在2016年9月1—10日和2017年4月3—12日期间进行,分别为一次测量结果。拉萨河流域位于人口稀少的青藏高原,河道受人为干扰较小,根据实地调查,调查河段河道底质以石质为主,河床较为稳定,年际变化小。为保证概化断面参数对实测断面的代表性和二者的一致性,利用拉萨站、唐家站近年水文资料,选取与实测时段具有相近流量时段的Google Earth遥感影像进行概化断面参数提取。

1.2.1 河道断面数据测量

实测断面数据分为2个部分:一是枯水期水下断面,二是枯水期水面以上到丰水期高水位以下的断面。枯水期水下断面测量时,利用长绳、重锤和卷尺每隔10 m测量水深,再利用水面高程减去相应的水深得到不同距离处的河底高程,最后确定枯水期水下断面形状。枯水期水面以上到丰水期高水位以下的断面确定时,利用红外线测高测距仪进行河流水面两边到岸边断面形状数据测量,通过两点之间的直线距离和垂向距离确定不同距离处断面高程,从而获取枯水期水面以上到丰水期高水位以下的断面。

拉萨河下游14个断面形状曲线如图2所示,其实测数据及相关信息如表1所示。

1.2.2 河道水面宽度提取

利用Google Earth不同时期遥感影像,分别提取丰水期和枯水期河道水面宽度。以拉萨河下游4号断面为例,利用Google Earth遥感影像提取河道水面宽度的方法如图3所示,方法步骤如下。

1) 在Google Earth影像中,用黑色直线标出各断面位置,以确保无论是枯水期还是丰水期都能够同一位置进行水面宽度提取。

2) 在Google Earth软件中拖动时间轴,分别找到典型丰水期和枯水期影像,进行不同时期水面宽度提取。4号断面枯水期影像时间为2010年2月8日,丰水期影像时间为2012年9月5日。

3) 分别测量丰水期和枯水期典型影像的水面宽度。黄色直线是用于测量断面水宽的直线,4号断面在枯水期的水面宽度为153 m,丰水期的水面宽度为210 m。

1.2.3 河道断面形状概化

根据拉萨河河道特点,对河道断面进行概化。首先,从以往文献资料表明拉萨河下游河道形状既不属于严格的V形也不属于严格的U形,河道整体来看属于宽浅河道。其次,主槽较窄、河漫滩较宽,且河道断面两岸到河中心坡度变化较缓,没有明显的大起大落。最后,水动力及水质模型中河道断面形状主要通过影响水力半径来影响模型计算结果,虽然实际河道并非严格对称,但在枯水期和丰水期的水深、水面宽度确定的情况下,对称与非对称断面的水力半径差别较小。基于以上情况,将河道断面概化成底部为抛物线、上连等腰梯形的形状。

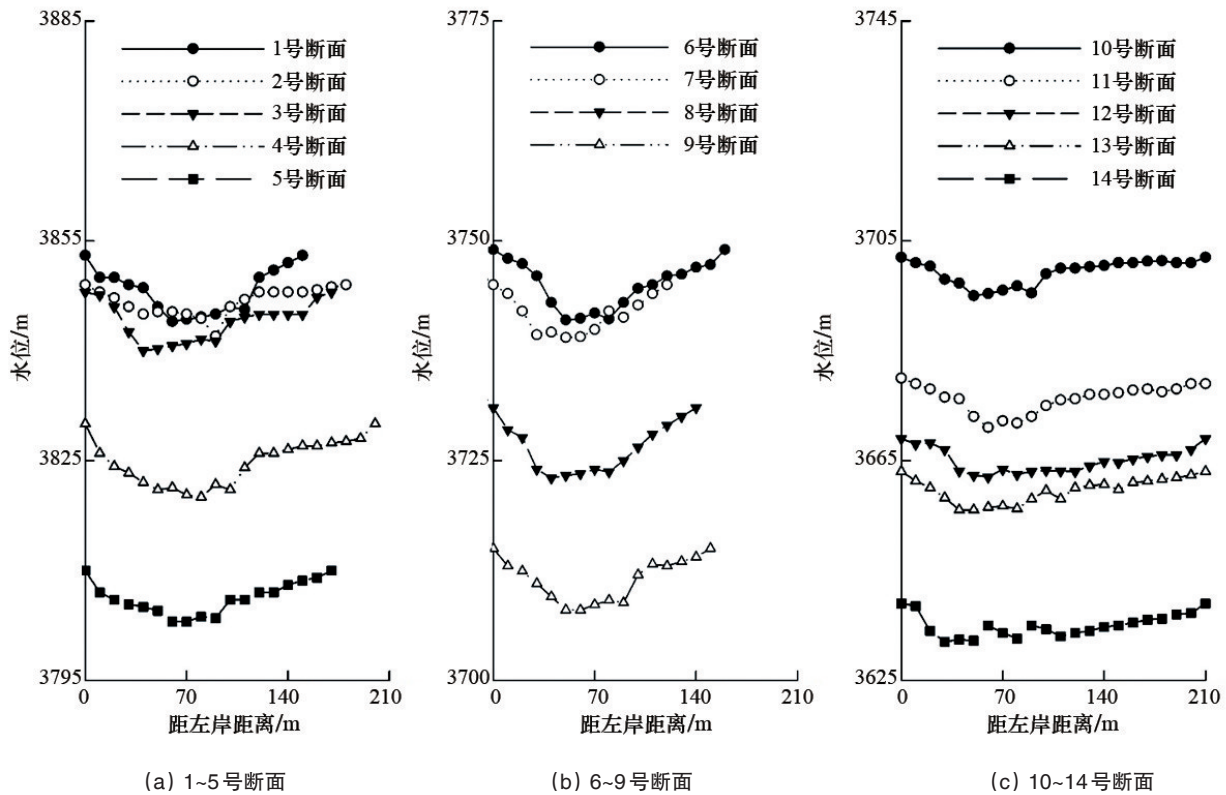


图2 拉萨河下游14个断面形状曲线
Fig. 2 Measured river cross sections

表1 拉萨河下游实测断面数据及相关信息

Table 1 Measured section profile information of Lasa river downstream

序号	断面名称	枯水期水面高程/m	枯水期最大水深/m	丰水期最大水深/m	经度	纬度
1	唐家水文站断面	3847	3.1	7.3	91.856°E	29.937°N
2	章连村断面	3845	2.8	7.4	91.846°E	29.929°N
3	同凯断面	3844	3.1	8.0	91.833°E	29.922°N
4	扎尼玛村断面	3823	3.6	6.8	91.761°E	29.874°N
5	墨竹工卡断面	3806	2.5	5.6	91.703°E	29.848°N
6	林周上游断面	3745	2.6	5.8	91.500°E	29.813°N
7	林周断面	3742	3.2	6.1	91.481°E	29.803°N
8	林周下游断面	3726	3.6	6.2	91.431°E	29.772°N
9	达孜上游断面	3711	3.8	7.1	91.417°E	29.705°N
10	达孜断面	3698	2.7	7.3	91.362°E	29.683°N
11	达孜下游断面	3674	2.3	7.5	91.291°E	29.673°N
12	拉萨上游断面	3665	2.7	7.9	91.195°E	29.655°N
13	拉萨市断面	3659	1.9	7.0	91.159°E	29.640°N
14	堆龙德庆下游断面	3635	2.2	6.5	91.016°E	29.611°N

利用 Google Earth 遥感影像提取河道水面宽度和实测河道最大水深进行断面形状概化的方法如图4所示,方法步骤如下。

1) 将河道断面概化成1个开口向上的抛物线与1个等腰梯形的组合。

2) 利用枯水期河道水面宽度和枯水期河道最大水深确定抛物线方程参数,代表主河槽断面形状。

3) 利用丰水期河道水面宽度和丰水期河道最大水深确定等腰梯形参数,代表河漫滩断面形状(等腰梯形上下边宽度分别为丰水期和枯水期河道最大水面宽度)。

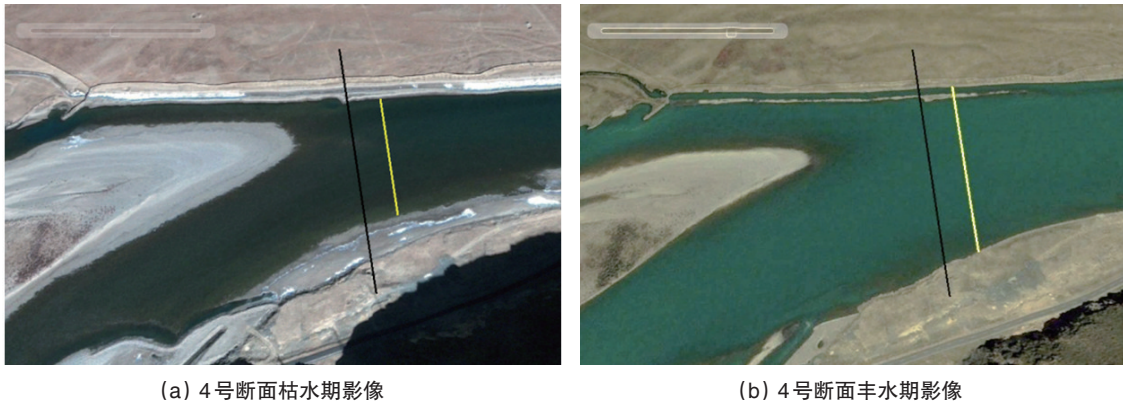


图3 利用 Google Earth 遥感影像提取河道水面宽度的方法
Fig. 3 River water width extracted from Google Earth

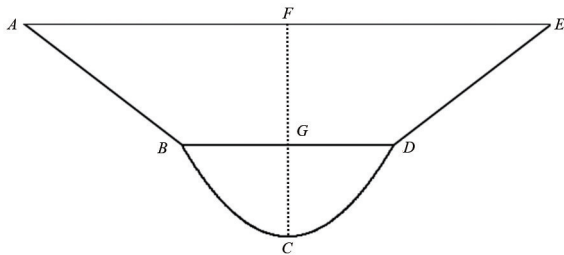


图4 河道断面形状概化方法
Fig. 4 Generalized shape of the river cross section

4) 将主河槽断面形状与河漫滩断面形状结合在一起,便获得河道断面概化形状。

图4中,BCD为主河槽断面(枯水期过水断面),抛物线形状;ABDE为河漫滩断面,等腰梯形,BD为枯水期水面宽,AE为丰水期水面宽度;ABCDE为河道概化断面形状。

假设河道某断面在枯水期的水面宽度 $BD=100\text{ m}$,最大水深 $CG=3\text{ m}$,在丰水期的水面宽度 $AE=200\text{ m}$,最大水深 $CF=7\text{ m}$ 。设 C 点为原点,则有 $A(-100,7)$ 、 $B(-50,3)$ 、 $C(0,0)$ 、 $D(50,3)$ 、 $E(100,7)$,该断面上某点到河道最低点的垂直距离 Y 可用分段方程表示为

$$Y = -\frac{4X}{50} - 1 \quad -100 < X \leq -50 \quad (1)$$

$$Y = \frac{3X^2}{2500} \quad -50 < X \leq 50 \quad (2)$$

$$Y = \frac{4X}{50} - 1 \quad 50 < X \leq 100 \quad (3)$$

建立断面文件时,首先将 A 、 B 、 D 、 E 点的横坐标和高程输入软件,软件自动线性插值生成 AB 边和 DE 边;然后利用所确立的抛物线方程(式(2))在横坐标方向每隔 10 m 计算抛物线 BCD 上各点的高程值;最后将横坐标和高程输入软件,MIKE 软件会自动生成 BCD 部分断面形状。断面输入实例如表2所示。

表2 模拟河道断面形状模型输入实例

Table 2 Examples of input values of simulated river cross sections

断面序号	X	P	Y	断面序号	X	P	Y
1	-100	0	7	8	10	110	0.12
2	-50	50	3	9	20	120	0.48
3	-40	60	1.92	10	30	130	1.08
4	-30	70	1.08	11	40	140	1.92
5	-20	80	0.48	12	50	150	3
6	-10	90	0.12	13	100	200	7
7	0	100	0				

注: X 为断面方程中的横坐标; P 为河道断面某点至左岸的距离(模型中默认输入值从左岸开始算起); Y 为河道断面上某点到河道最低点的垂直距离。

2 河道断面形状概化方程

利用 Google Earth 遥感影像,提取的拉萨河下游 14 个断面丰水期(5—10月)和枯水期(11月—次年4月)河道水面宽度数据,如表3所示。

利用提取的不同时期水面宽度结合不同时期最大水深,采用本文(第1.2.3节)提出的概化方法,即可得到各断面形状概化方程,如表4所示。

表3 枯水期和丰水期河道水面宽度
Table 3 River water width of each cross section in wet and dry seasons

序号	断面名称	枯水期		丰水期	
		提取时间	水面宽度/m	提取时间	河面宽度/m
1	唐家水文站断面	2014-12-01	100	2007-10-26	150
2	章连村断面	2014-12-01	130	2007-10-26	180
3	同凯断面	2014-12-01	120	2007-10-26	160
4	扎尼玛村断面	2010-02-08	153	2012-09-05	210
5	墨竹工卡断面	2014-12-01	120	2007-10-26	160
6	林周上游断面	2014-12-01	140	2011-10-24	160
7	林周断面	2010-12-07	110	2011-10-24	170
8	林周下游断面	2010-12-07	100	2011-10-24	140
9	达孜上游断面	2011-11-26	120	2011-10-24	150
10	达孜断面	2011-11-26	110	2004-09-12	210
11	达孜下游断面	2016-02-15	120	2012-09-30	250
12	拉萨上游断面	2016-02-15	70	2016-10-16	250
13	拉萨市断面	2016-02-15	120	2016-10-16	220
14	堆龙德庆下游断面	2016-02-15	100	2016-10-16	210

表4 断面形状方程
Table 4 Equation of the generalized cross section shape

序号	断面名称	断面方程
1	唐家水文站	$Y=-0.168X-5.3(-75<X<-50); Y=(3.1/2500)X^2(-50\leq X\leq 50); Y=0.168X-5.3(50<X<75)$
2	章连村	$Y=-0.184X-9.16(-90<X<-65); Y=(2.8/4225)X^2(-65\leq X\leq 65); Y=0.184X-9.16(65<X<90)$
3	同凯	$Y=-0.223X-9.82(-80<X<-58); Y=(3.1/3364)X^2(-58\leq X\leq 58); Y=0.223X-9.82(58<X<80)$
4	扎尼玛村	$Y=-0.16X-9.2(-105<X<-77); Y=(3.6/6400)X^2(-77\leq X\leq 77); Y=0.16X-9.2(77<X<105)$
5	墨竹工卡	$Y=-0.155X-6.8(-80<X<-60); Y=(2.5/3600)X^2(-60\leq X\leq 60); Y=0.155X-6.8(60<X<80)$
6	林周上游	$Y=-0.32X-19.8(-80<X<-70); Y=(2.6/4900)X^2(-70\leq X\leq 70); Y=0.32X-19.8(70<X<80)$
7	林周	$Y=-0.097X-2.1(-85<X<-55); Y=(3.2/3025)X^2(-55\leq X\leq 55); Y=0.097X-2.1(55<X<85)$
8	林周下游	$Y=-0.13X-2.9(-70<X<-50); Y=(3.6/2500)X^2(-50\leq X\leq 50); Y=0.13X-2.9(50<X<70)$
9	达孜上游	$Y=-0.22X-9.4(-75<X<-60); Y=(3.8/3600)X^2(-60\leq X\leq 60); Y=0.22X-9.4(60<X<75)$
10	达孜	$Y=-0.092X-2.3(-105<X<-55); Y=(2.7/3025)X^2(-55\leq X\leq 55); Y=0.092X-2.3(55<X<105)$
11	达孜下游	$Y=-0.08X-2.5(-125<X<-60); Y=(2.3/3600)X^2(-60\leq X\leq 60); Y=0.08X-2.5(60<X<125)$
12	拉萨上游	$Y=-0.058X-0.68(-125<X<-35); Y=(2.7/1225)X^2(-35\leq X\leq 35); Y=0.058X-0.68(35<X<125)$
13	拉萨市	$Y=-0.1X-4(-110<X<-60); Y=(2/3600)X^2(-60\leq X\leq 60); Y=0.1X-4(60<X<110)$
14	堆龙德庆下游	$Y=-0.078X-1.71(-105<X<-50); Y=(2.2/2500)X^2(-50\leq X\leq 50); Y=0.078X-1.71(50<X<105)$

3 模型构建及计算结果分析

本文对概化断面和实测断面在构建水动力水质模型时的差异的分析方法:首先,率定河道糙率,并利用率定的糙率设置模型参数;其次,分别采用实际测量断面、概化断面进行断面文件的设置与输入,计算水位、流量、流速、化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)浓度等的沿程变化;最后,选择代表断面,提取代表断面处实测断面、概化断面计算所得出的水位、流速、COD浓度等,利用配对T检验对计算结果进行差异显著性分析。

3.1 参数率定

参数率定是模型构建的基本环节和前提条件,本文中需

要率定的参数主要是河道糙率。该参数是影响水体动态特征的重要指标,天然山区河流河道糙率一般介于0.025~0.035之间,而对于拉萨河下游,河道基本是由卵石组成,并且在模拟河段内河道组成成分没有太大变化,因此在模拟河段内选取一定值作为河道设计糙率。基于现实数据,利用拉萨河上游唐家站水位实测数据对拉萨河模拟河段进行糙率率定,分别采用糙率 $n=0.027$ 、 $n=0.031$ 、 $n=0.033$ 、 $n=0.035$ 进行模拟计算,发现采用 $n=0.033$ 计算的唐家站水位数据与实测数据最为贴近,因此最终糙率率定参数为 $n=0.033$ 。糙率率定曲线如图5所示。

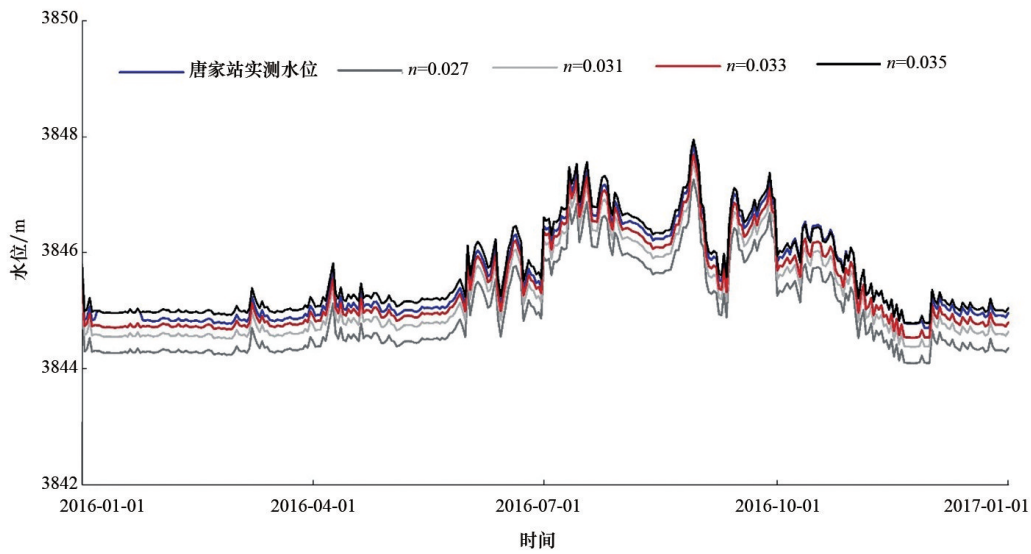


图5 河道糙率率定曲线
Fig. 5 Calibration of channel roughness curve

3.2 水位对比

为使结果分析更具有代表性,在模拟河段的上、中、下段分别选取一个断面进行模拟结果差异性分析。模拟河段在模型中名称为LSH,起始点为唐家站,终点为才纳站,将起始点断面的里程设为0 km,自上而下里程逐渐增加。水位对比分析时,模拟河段的上、中、下段选择的断面里程分别为0、53.331、100.224 km,分别记为LSH0、LSH53331以及LSH100224。水位化情况如图6所示。

如图6和表5所示,在LSH0、LSH53331、LSH100224处,用概化断面模型与实测断面模型计算的水位相关系数分别为0.988、0.998、0.995,总体水位差(概化断面计算值-实测断面计算值)范围为(-0.400,0.414),丰水期、枯水期水位差范围分别为(-0.172,0.414)和(-0.400,0.360)。《GB 3839—83制定地方水污染物排放标准的技术原则与方法》规定,一般河

流的设计流量采用近10年最枯月平均流量或90%保证率最枯月平均流量,因此在实际水环境容量计算中,利用概化断面代替实测断面进行水动力学模拟计算出的水位差要小于全年水位差。

3.3 流速对比

流速是水动力模型计算结果的重要参数,也是评价模型运行情况的重点参考因子,本文选取流速作为评价实测断面和概化断面计算结果一致性的指标之一。与水位计算一致,选取LSH0、LSH53331、LSH100224处断面的流速进行对比分析。流速变化情况如图7所示,在LSH0、LSH53331、LSH100224处,用实测断面模型和概化断面模型计算的断面流速基本一致,相关系数分别为0.990、0.999、0.939,总体流速差范围为(-0.357,0.373),丰水期和枯水期流速差范围分别为(-0.265,0.373)和(-0.357,0.155),与水位计算结果相似。

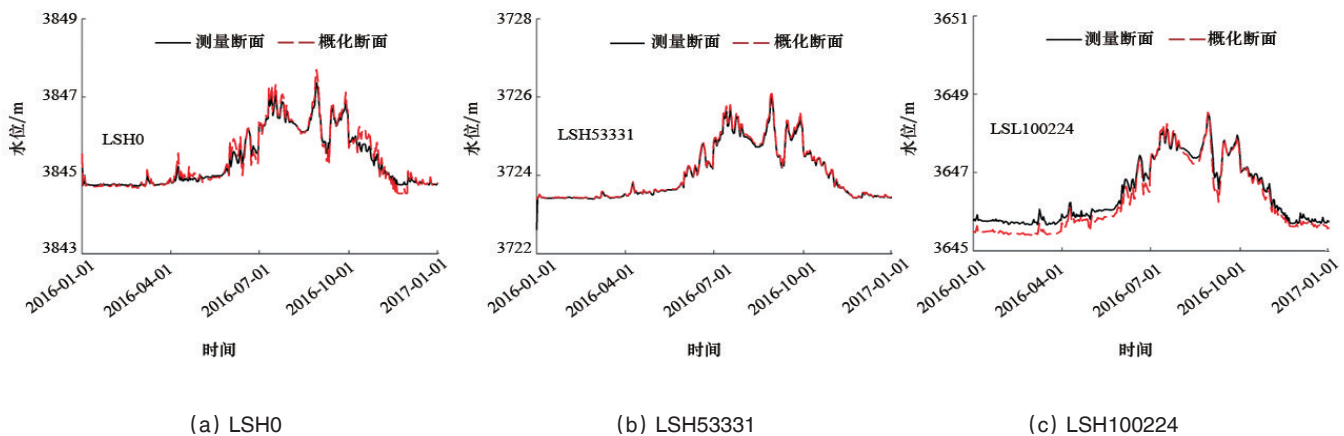


图6 水位时间变化曲线
Fig. 6 Water level change curve over time

表5 概化断面与实测断面计算结果

Table 5 Analysis of computed results of the generalized cross section and the measured section

两个断面 数据差	LSH0			LSH53331			LSH100224		
	水位/m	流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	COD浓度/ ($mg \cdot L^{-1}$)	水位/m	流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	COD浓度/ ($mg \cdot L^{-1}$)	水位/m	流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	COD浓度/ ($mg \cdot L^{-1}$)
最小差	-0.4	-0.04	0	-0.172	-0.162	-0.45	-0.126	-0.357	-0.369
最大差	0.31	0.208	0	-0.003	-0.019	0.787	0.414	0.373	0.122
平均差	-0.031	0.08	0	-0.028	-0.057	0.216	0.158	-0.102	-0.055
标准差	0.129	0.097	0	0.05	0.024	0.403	0.114	0.145	0.149
r	0.988	0.99	1	0.998	0.999	0.645	0.995	0.939	0.99
p ($n=365$)	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$	$p<0.001$

注:两个断面数据差=概化断面-实测断面; r 、 p 为配对T检验结果。

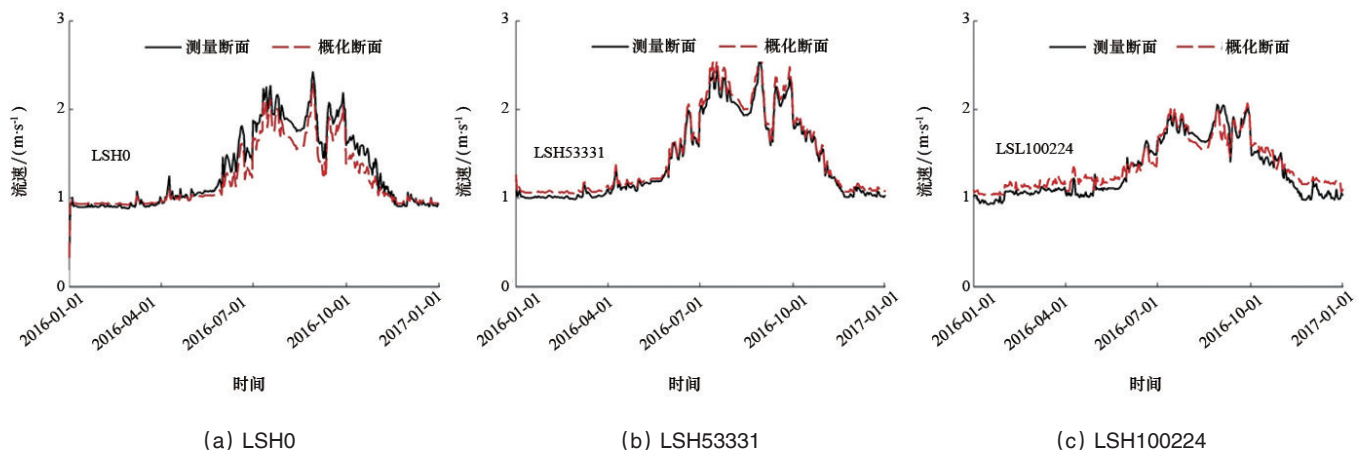


图7 流速变化曲线

Fig. 7 Water velocity change curve over time

3.4 COD浓度对比

河流水环境容量计算是水动力水质模型的重要应用,而进行水环境容量计算时,某断面处的COD浓度直接关系到水环境容量计算的准确性。本文选择不同断面处COD浓度作

为概化断面合理性检验的重要指标。与水位、流速计算一致,选取LSH0、LSH53331、LSH100224处断面的COD浓度进行对比分析。COD浓度变化情况如图8所示。

如图8和表5所示,入口断面处COD浓度均为入口给定

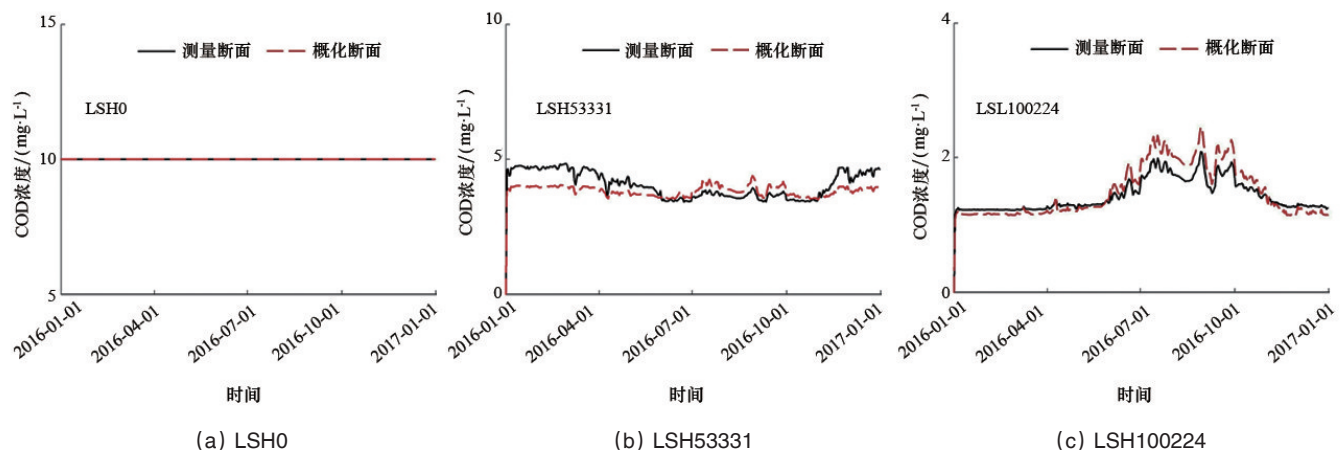


图8 COD浓度时间变化曲线

Fig. 8 Curve of concentration of COD over time

初始浓度 10 mg/L。在中游和下游时,浓度都呈现出波动降低的趋势,中游约 4 mg/L,下游约 2 mg/L。在 LSH0、LSH53331、LSH100224 处,利用实测断面模型和概化断面模型计算出的 COD 浓度相关系数分别为 1.000、0.995、0.990,总体浓度差范围为(-0.450,0.787),丰水期和枯水期浓度差范围分别为(-0.450,0.383)和(-0.062,0.787),与水位和流速计算结果相似。

4 结论

本文针对无资料或少资料河流,提出一种利用 Google Earth 多期遥感影像和少量实地测量数据确定河道断面参数的方法,研究结论如下:

1) 利用丰水期和枯水期多期遥感影像、枯水期水深、丰水期水深确定断面形状,可大大减少水环境容量计算时河流断面测定的工作量。如果水文资料中有枯水期和丰水期断面水深数据,则可直接利用水文资料结合 Google Earth 多期遥感影像进行断面概化。

2) 为验证断面概化的合理性,在拉萨河流域用概化断面和实测断面分别构建水动力水质模型进行模拟比对分析,结果显示,实测断面模型计算值与概化断面模型计算值基本吻合,表明对于少资料河流可利用此方法构建模型获取河道断面数据,具有可行性。

3) 本文所述河道概化方法适用于丰、枯水期明显、河道断面横向变化较缓的河流。若能通过遥感方法获取不同时期高精度水面高程,将进一步提高断面概化精度,且能彻底摆脱模型构建中对实测河道断面数据的依赖性。

4) 在河道断面概化时,概化断面应尽可能与实测断面相近,但本文中概化断面与实际断面尚存在一定误差。然而,从 MIKE11 的模拟结果来看,两者的计算结果差别不大,这说明 MIKE11 对河道断面形状的敏感度相较于糙率、水位等参数较低。从模型结构来看,MIKE11 中河道断面形状主要通过水力半径影响模型计算过程,因此模型对河道断面精度要求不高。基于以上事实,在进行无河道断面资料或者少资料的一维水动力水质模拟时 MIKE11 模型是比较好的选择。

参考文献(References)

- [1] 王刚, 吴楠, 齐璐, 等. 我国水环境容量研究现状及问题分析[C]//2014 中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 中国环境科学学会, 2014: 4656-4661.
Wang Gang, Wu Nan, Qi Jun, et al. Our country current situation and problems of water environmental capacity research analysis [C]//Proceedings of 2014 Academic Annual Meeting of China Environmental Science Society. Beijing: China Environmental Science Society, 2014: 4656-4661.
- [2] Kim E, Kim Y, Rhew D, et al. A study on the water quality changes of tmdl unit watershed in guem river basin using a nonparametric trend analysis[J]. Journal of Korean Society on Water Environment, 2014, 30

(2): 148-158.

- [3] 杨桐, 杨常亮, 毛永杨. 水环境容量研究进展[C]//2011 中国环境科学学会学术年会论文集: 第 1 卷. 北京: 中国环境科学学会, 2011: 467-471.
Yang Jiong, Yang Changliang, Mao Yongyang. Research progress of water environmental capacity[C]//Proceedings of 2011 Annual Meeting of China Environmental Science Society, Academic: vol 1. Beijing: China Environmental Science Society, 2011: 467-471.
- [4] 陈丁江, 吕军, 金树权, 等. 河流环境容量的估算和分配研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 123-127.
Chen Dingjiang, Lv Jun, Jin Shuquan, et al. The estimation of river water environmental capacity and distribution of research[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(3): 123-127.
- [5] Kim M, Kim J, Baek J, et al. Development of water quality forecasting models based on the SOM-ANN on TMDL unit watershed in Nakdong river[C]//American Geophysical Union Fall Meeting. Washington: American Geophysical Union, 2013.
- [6] 张明亮. 河流水动力及水质模型研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
Zhang Mingliang. River hydrodynamic and water quality modeling study [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007.
- [7] 马蔚纯, 陈立民, 李建忠, 等. 水环境非点源污染数学模型研究进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(3): 358-366.
Ma Weichun, Chen Liming, Li Jianzhong, et al. Research progress of mathematical model of agricultural non-point source pollution of water environment [J]. Journal of Earth Science, 2003, 18(3): 358-366.
- [8] 左海凤, 李凯. 一维水动力模型在城市水系规划设计中的应用[J]. 水利建设与管理, 2016, 36(8): 36-40.
Zuo Haifeng, Li Kai. A one-dimensional hydrodynamic model in the application of urban water system planning and design[J]. Water Conservancy Construction and Management, 2016, 36(8): 36-40.
- [9] 侯海红, 黄渝桂, 章鹏. 基于 MIKE 软件在防洪保护区洪水演进的研究[J]. 治淮, 2016(10): 18-20.
Hou Haihong, Huang Yugui, Zhang Peng. MIKE software based on the flood control protected area flood routing study[J]. Journal of Harnessing The Huaihe River, 2016, 30(10): 18-20.
- [10] 姜俊厚. 基于 MIKE 和 GIS 洪水风险计算的应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
Jiang Junhou. MIKE and GIS flood risk calculation based application research[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [11] 毛磊, 张燕, 寇冰煜, 等. 稳态双极黏滞量子流体力学模型的正解的存在性[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(24): 5961-5965.
Mao Lei, Zhang Yan, Kou Bingyu, et al. The existence of positive solution of the steady-state bipolar viscous quantum hydrodynamic model [J]. Science Technology & Engineering, 2012, 12(24): 5961-5965.
- [12] 梁彬锐. MIKE11 模型在沙井河片区防洪排涝工程中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2008(7): 81-83.
Liang Binrui. MIKE11 model in the application of shajing river area flood and draining waterlogging[J]. China's Rural Water Conservancy and Hydropower, 2008, 15(7): 81-83.
- [13] 张硕. 基于 MIKE 软件建立辽河流域水质模型的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.
Zhang Shuo. Liao river water quality model is established based on MIKE software research[D]. Shenyang: Northeastern University, 2013.
- [14] 陈胖胖, 吴其彰. 水质模型参数计算方法研究[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(5): 403-404.

- Chen Pangpang, Wu Qizhang. Water quality model parameters calculation method research[J]. Water Science and Technology and Economy, 2009, 15(5): 403-404.
- [15] 郑红星, 李丽娟. 水质模型参数的非数值随机优化[J]. 地理研究, 2001, 20(1): 97-102.
- Zheng Hongxing, Li Lijuan. Water quality model parameters of the numerical random optimization[J]. Journal of Geographical Research, 2001, 20(1): 97-102.
- [16] 张质明, 王晓燕, 潘润泽. 一种改进的不确定性水质模型参数率定方法[J]. 中国环境科学, 2017, 37(3): 956-962.
- Zhang Zhiming, Wang Xiaoyan, Pan Runze. An improved method of water quality model parameter uncertainty rate[J]. China Environmental Science, 2017, 37(3): 956-962.
- [17] 刘佳, 王利民, 滕飞, 等. Google Earth 影像辅助的农作物面积地面样方调查[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 149-154.
- Liu Jia, Wang Limin, Teng Fei, et al. Google Earth image aided crop area ground quadrat survey[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015, 31(24): 149-154.
- [18] 许有鹏, 陈钦蛮. 遥感信息在水文动态模拟中的应用[J]. 水科学进展, 1995, 6(2): 156-161.
- Xu Youpeng, Chen Qinlan. The application of remote sensing information in hydrological dynamic simulation[J]. Advances in Water Science, 1995, 6(2): 156-161.
- [19] 安洁玉, 程朋根, 丁斌芬. 基于 Google Earth 二维影像获取建筑物高度的方法[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(6): 31-33.
- An Jieyu, Cheng Penggen, Ding Binfen. 2 d images based on Google Earth for building height method[J]. Journal of Geography and Geographic Information Science, 2010, 26(6): 31-33.
- [20] Tang Z, Li Y, Gu Y, et al. Assessing Nebraska playa wetland inundation status during 1985-2015 using Landsat data and Google Earth Engine[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2016, 188(12): 654.
- [21] 赵少华, 邱国玉, 杨永辉, 等. 遥感水文耦合模型的研究进展[J]. 生态环境学报, 2006, 15(6): 1391-1396.
- Zhao Shaohua, Qiu Guoyu, Yang Yonghui, et al. The research progress of remote sensing hydrology coupling model[J]. Journal of Ecological Environment, 2006, 15(6): 1391-1396.
- [22] Dong J, Xiao X, Menarguez M A, et al. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 185:142.
- [23] 雪克来提·巴斯托夫, 龙爱华, 邓铭江, 等. 基于 Google Earth 的巴尔喀什湖流域中下游水资源开发利用研究[J]. 干旱区地理(汉文版), 2012, 35(3): 388-398.
- Xuekelaiti Basituofu, Long Aihua, Deng Mingjiang, et al. Based on the Google Earth in the middle and lower reaches of the balkhash lake basin water resources development and utilization of research[J]. Journal of Arid Zone (Chinese version), 2012, 35(3): 388-398.
- [24] 许有鹏. 遥感信息在水文模型参数确定中的应用研究[J]. 遥感技术与应用, 1992, 7(4): 16-22.
- Xu Youpeng. The application of remote sensing information in hydrological model parameters study[J]. Journal of Remote Sensing Technology and Applications, 1992, 7(4): 16-22.
- [25] 谢欢. 基于遥感的水质监测与时空分析[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- Xie Huan. Water quality monitoring based on remote sensing and space-time analysis[D]. Shanghai: Tongji University, 2006.
- [26] 汪权方, 许纪承, 陈媛媛, 等. 遥感影像空间分辨率对居民地信息提取的影响[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 159-165.
- Wang Quanfang, Xu Jicheng, Chen Yuanyuan, et al. Spatial resolution remote sensing image of residents in the influence of the information extraction[J]. Journal of Resources Science, 2012, 34(1): 159-165.
- [27] 周丹, 黄川友. 拉萨河流域水环境现状及污染防治对策[J]. 四川水利, 2007, 28(2): 48-51.
- Zhou Dan, Huang Cuanyou. Lhasa river basin water environment status quo and pollution control countermeasures[J]. Journal of Water Resources in Sichuan, 2007, 28(2): 48-51.
- [28] 赵毓民. 关于河道断面形状的探讨[J]. 人民黄河, 1981(3): 41-44.
- Zhao Yumin. On the river cross-section shape discussion[J]. The People of The Yellow River, 1981(3): 41-44.
- [29] 蔺学东, 张德锂, 姚治君, 等. 拉萨河流域近 50 年来径流变化趋势分析[J]. 地理科学进展, 2007, 26(3): 58-67.
- Yan Xuedong, Zhang Yili, Yao Zhijun, et al. Lhasa river basin runoff in recent 50 years change trend analysis[J]. Journal of Geographical Science, 2007, 26(3): 58-67.
- [30] 丁海容. 拉萨市城区段水环境污染总量控制研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- Ding Hairong. Lhasa urban water environment pollution total amount control research[D]. Chengdu: Sichuan University, 2005.
- [31] 沈大军, 陈传友, 苏人琼. 拉萨河水资源合理利用研究[J]. 自然资源学报, 1996(4): 373-376.
- Shen Dajun, Chen Chuanyou, Su Renqiong. Lhasa river water resources reasonable use research[J]. Journal of Natural Resources, 1996(4): 373-376.
- [32] 朱国宇. 拉萨市区地表水环境功能区划分及达标控制方案研究[D]. 成都: 四川大学, 2003.
- Zhu Guoyu. Lhasa urban surface water environmental function division and standard control scheme research[D]. Chengdu: Sichuan University, 2003.

Determination of river cross section for 1-D water quality model in area without observation data

LU Min¹, JIN Tiantian², YIN Jing², SU Huidong¹

1. College of Earth Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China

Abstract The hydrodynamic and water quality model is widely used in the water environmental capacity calculation. However, the establishing of the model depends very much on the cross section data, which are sometimes not available, especially in medium and small river areas of West China. In this paper, the Google Earth remote sensing images, the maximum river water depth obtained from the field measurement and a piecewise mathematical model are combined to acquire the generalized cross section data. The MIKE, the hydrodynamic and water quality model worldwide used, is adopted to test the generalized cross section data. The 1-D hydrodynamic and water quality models are established with the generalized cross section data and the cross section data obtained from field measurement, respectively. The method is tested through a comparison of the outputs (including the water level, the flow velocity, and the pollutant density) of the two models with different cross section inputs. According to the result, no significant differences are found between the two models in the water level, the flow velocity, and the pollutant density at the upper, middle and lower sections of the simulated river segment. It is emphasized that identical parameters, except the cross section data, are used for the models. The consistency of two model outputs can be improved further through the input of the field water level, the flow velocity, and the pollutant density. This research provides a simple and convenient way to establish the cross section file for building the 1-D Hydrodynamic and quality model under the MIKE11 in the areas where the measured cross section data are not available.

Keywords river with less data; 1-D model hydrodynamic and water quality; generalized cross section; Google Earth remote sensing image
(责任编辑 韩星明)