

漳河平原河段河道渗漏研究

李婷婷, 黄津辉

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 漳河平原河段属宽浅型沙质河道, 由于长期断流, 地下水补给逐年减少, 地下水位持续降低, 极大地影响了岳城水库对下游城市的输水效率。在实地考察的基础上, 根据实测数据, 建立了漳河平原河道渗漏模型, 采用流量控制、水位验证的方法确定漳河平原河道在水库不同下泄流量时的渗漏量。研究发现, 漳河平原河段单位河长的渗漏面积沿程变化大, 反映了其游荡性河道的特点; 河道总渗漏量随水库下泄流量的增大而增大, 但所占比重逐渐减小, 并在流量增大到一定值时趋于稳定。本文构建的渗漏模型中, 引入了一个综合因子作为模型参数, 来反映实际情况对渗漏系数的影响, 将未知因素的确定参数化, 具有实用意义。

关键词: 漳河; 河道渗漏; 渗透系数; 渗漏面积; 参数率定

中图分类号: TV11 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2014)01-0012-04

Study of Channel Leakage in the Plain Reach of Zhang River

LI Ting ting, HUANG Jinhui

(State key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The plain reach of Zhang River is a wide and shallow sandy channel. Due to being cut off for a long time, the recharge to groundwater decreased yearly, resulting in a gradual reduction of groundwater level and therefore affecting the water transmission efficiency of Yuecheng Reservoir to downstream cities. Based on the field survey and measured data, a channel leakage model for the plain reach of Zhang River was developed, and the leakage rates under different flow rates of reservoir were determined by a two-step method, including calibration step using the observed flow data and validation step using the water level data. The results showed that the leakage area per unit reach length varies significantly, indicating the wandering characteristics of the Zhang River. Moreover, it was suggested that the total leakage increases with the increasing of flow rate of reservoir; however, the proportion of total leakage to total flow decreases and tends to be stable. A comprehensive factor was introduced in the leakage model to reflect the effects of actual conditions on leakage coefficient, and the parameterization of the unknown factors is practical.

Key words: Zhang River; river leakage; permeability coefficient; leakage area; parameter calibration

由于漳河上游修建了大量的水库和引蓄水工程, 引提水量剧增, 致使下游来水量骤减。自1996年岳城水库以下河道出现断流, 年均断流达220多d, 特别是2000年-2005年期间, 平均断流天数更是达到314d, 干涸天数达297d, 干涸长度101km^[1]。长期断流对河道工程和河流生态环境造成了严重影响^[2-4], 植被覆盖面积减少, 河床沙化, 水文情势改变, 地下水补给减少。据1956年-1998年漳河水文资料分析, 漳河平原多年平均地下水资源量1.91亿m³, 占平原多年平均水资源总量的91%。但近期研究表明, 由于补给条件

受到破坏, 1970年-1997年间漳河地下水资源量减少幅度在12%左右, 其中平原区地下水资源量减少18.7%, 降水补给量减少23.7%。漳河下游属于干旱内陆区, 稀少的降雨无法满足植被生长的需求, 下游河道的天然生态主要靠河道的渗漏水量补给地下水来维持。此外, 在遭遇洪水时, 渗漏量不但间接影响正常的洪水调度^[5-6], 而且会影响河岸的稳定性和安全性^[7], 所以研究漳河下游河道的渗漏量意义重大。

计算河道渗漏量的传统方法主要分为两大类: 水力学法和经验公式法。近年来很多学者引入计算机技术, 建立了

收稿日期: 2013-07-16 修回日期: 2013-11-14 网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01015.html>

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划基金项目(NCET-09-0586); 海河流域典型河流生态水文效应研究(201101018); 水利部公益性项目(201201114); 国家国际科技合作专项(S2013BGR0244)

作者简介: 李婷婷(1989), 女, 山西运城人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究工作。E-mail: litingting_star@163.com

通讯作者: 黄津辉(1969), 女, 加拿大人, 教授, 博士, 主要从事城市生态水文研究工作。E-mail: huangj@tju.edu.cn

模拟渗漏的数学模型^[8],但这些方法都需要水文地质参数支持,在缺乏观测和实验的地区,应用难度较大,因此,在有限实测资料的前提下,根据水量平衡原理间接推求河道的渗漏量成为近年来的研究热点。张彦增等^[9]利用实测水位及流量资料,建立了单位河长损失率与上游断面过水量之间的关系,由此确定损失量,并采用水动力学法和水位升值法计算河道入渗补给量;王琮璞等^[10]在利用断面测流法进行分析的基础上,提出了同程演进法;李云玲^[11]从统计学角度出发,考虑河道流量沿程衰减对河道渗漏量大小的影响,将河道分成若干段分别确定每段河道的渗漏量;2011年,毛丽丽^[12]等将遥感和GIS技术引入河道渗漏量的研究,确定了黑河下游河道的渗漏面积;2012年胡兴林等^[13]在计算河道渗漏量时考虑到河道内蒸发量和降水量计算困难,将水量平衡方程转化为水文系统模型,利用实测数据确定模型中的参数,并计算河道渗漏量的大小。

本文根据水量平衡原理,基于HEG-RAS一维恒定流模型^[14]计算河道断面及水面参数后,建立漳河下游河道渗漏模型,采用先由实测流量数据率定模型参数,再由1998年和2005年的水位资料对模型进行验证的方法,确定河道的渗漏量。

1 研究区概况

漳河发源于太行山地区,流域面积19 537 km²,流经山西、河北、河南,在河北省磁县与河南省安阳县交界处入岳城水库。岳城水库以下至河北省馆陶县徐万仓,为漳河平原河段,全长为114 km,落差64.7 m,平均比降为1:2 430。此段河段都是天然河道,属于宽浅型沙质河床,河道纵横,断面不规则。其中岳城水库至京广铁路桥河段河槽相对稳定,宽200~600 m,河床质为粗砂卵石;铁路桥以下至南尚村河段长46.7 km,河槽宽达500~1 350 m;南尚村至穿漳涵洞河段长21.84 km,河床质为砂土,主槽平均宽381 m;穿漳涵洞至徐万仓河段长35.26 km,河床质为淤土,河槽宽一般在100~200 m之间。本文研究区域为岳城水库以下至蔡小庄河段,全长75 km左右。

2 模型与方法

2.1 HEG-RAS 一维恒定流模型

HEG-RAS(River Analysis System)是由美国陆军工程兵工团水文工程中心开发的模型,适用于河道恒定流和非恒定流一维水力计算,其功能强大,本文利用该模型进行横断面流量、水位以及水面宽度的计算,并在此基础上,构建河道渗漏模型,模拟漳河下游平原河段的渗漏量。

首先,根据河道几何特征、河床土壤特性,自岳城水库至徐万仓共选取典型断面13个,将研究河段分为13小段(图1),在HEG-RAS模型中,根据漳河来水情况使用流量500 m³/s来确定主河槽位置以及相应的位距,见表1。河道的曼宁值经由实测流量率定,确定为0.04^[15]。根据模型模拟的河段流速结果显示,水库下泄流量越小,水流到达蔡小庄所需的时间越长,最长的时间不超过2 d,由于漳河下游平原河段的年平均日蒸发量很小,仅1 mm左右^[16],故认为上下游河段之间的流量损失全部用于下渗。

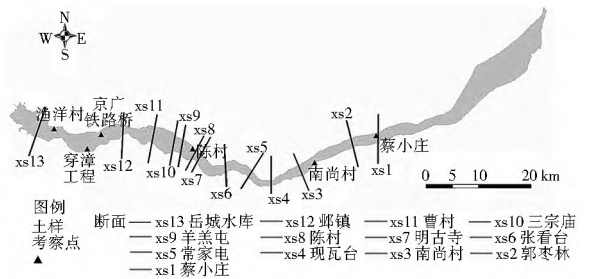


图1 模型中河道断面及土样考察点分布情况

Fig. 1 Distribution of cross sections and soil observation positions in the plain reach of Zhang River

表1 断面编号及位距

Table 1 Cross sections and distances between the reservoir and each cross section

断面编号	断面名称	左位距/km	右位距/km	平均位距/km
xs13	岳城水库	0.000	0.000	0.000
xs12	邳镇	18.235	19.874	19.055
xs11	曹村	24.659	26.791	25.725
xs10	三宗庙	29.126	31.632	30.379
xs9	羊羔屯	30.825	33.482	32.154
xs8	陈村	34.125	35.255	34.690
xs7	明古寺	35.251	37.522	36.387
xs6	张看台	40.930	44.548	42.739
xs5	常家屯	46.937	49.513	48.225
xs4	砚瓦台	51.358	54.596	52.977
xs3	南尚村	57.413	61.141	59.277
xs2	郭枣林	68.768	76.400	72.584
xs1	蔡小庄	73.916	77.136	75.526

2.2 河道渗漏模型

2.2.1 模型建立

在研究河段选取了6个考察点(图1),对其土壤情况进行实地勘察,初步确定土壤的渗透系数,据此将河道分为三大段,见表2。但因实测数据和试验资料的缺乏,并不能以此为依据直接采用传统渗透系数法来计算河道渗漏量,本文在所构建的渗漏模型中引入参数 a ,综合反映河道流量、河道平面几何形态等对渗透系数的影响。另外,由于漳河平原河段属于宽浅型河道,将各河段实际渗漏面积的水平投影近似作为其计算渗漏面积,即渗漏面积 $A_i = L_i B_i$ 。由此,漳河平原河道每段河道的渗漏量为:

$$q_i = L_i B_i \cdot C_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 13 \quad (1)$$

$$C_i = a_j K_i, \quad j = 1, 2, 3 \quad (2)$$

式中: q_i 为第 i 小段河道渗漏量(m³/s); L_i 、 B_i 分别为第 i 小段河道的河道长度和平均水面宽度(m); C_i 为第 i 小段河道单位渗漏面积的渗漏量(m/s); K_i 为第 i 小段河道土壤的渗透系数(m/s); a_j 为三大段河道的模型参数。

2.2.2 模型参数率定

步骤如下:根据经验初步确定参数 a_j 的值;由岳城水库开始,自河道上游至下游依次对各河段的渗漏量进行计算,扣除渗漏量得到蔡小庄断面的计算流量;利用从2002年、2004年、2006年、2008年共5年的实测流量中选取出的几次水库放水时岳城水库和蔡小庄断面的流量峰值(表3)对模型参

表 2 初步的河道渗透系数 K

Table 2 The preliminary determination of soil permeability coefficient

编号 j	起止位置	河道长度/km	下渗系数/ $(m \cdot s^{-1})$
1	岳城水库- 邳镇	19.06	2.28×10^{-5}
2	邳镇- 曹村	6.67	1.33×10^{-5}
3	曹村- 蔡小庄	49.80	1.11×10^{-5}

数 a_j 进行率定。当 a_1, a_2, a_3 分别等于 0.10、0.20、0.15 时, 蔡小庄断面的流量拟合情况达到最佳(见图 2), 此时 R^2 达到 0.986。

表 3 流量实测值

Table 3 Observed flow data

年份	2002	2004	2005	2006	2008
实测流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	岳城水库 139.0	123.0	71.6	43.0	51.0
	蔡小庄 108.0	41.8	38.5	27.9	21.5

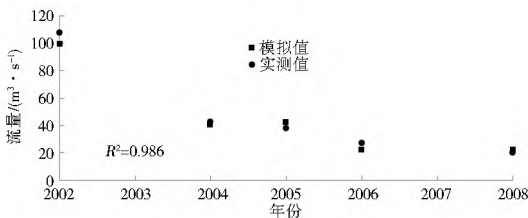


图 2 蔡小庄断面流量拟合情况

Fig. 2 Flow fitting of the Caixiaozhuang cross section

3 模型验证及渗漏量的确定

选取漳河 96.8 洪水和 2005 年的实测水位数据对渗漏模型进行验证, 表 4 和图 3 分别给出了验证工况和实测水位数据。

根据实测水位数据数值点的分布, 在一维恒定流模型的 13 个典型断面基础上进行均匀内插, 内插间距为 100 m; 模型计算得到对应断面在不同验证工况下的水位, 与实测值拟合, 若拟合情况不满意, 则需调整模型参数重新计算。由图 3

可见拟合程度比较理想, 模型参数不需调整。

表 4 水位验证工况

Table 4 Water level condition for validation

验证工况	岳城水库下泄流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	下游穿漳涵洞水位 $/m$
1 “96.8”洪水	300	48.69
2 2005 年	100	47.94

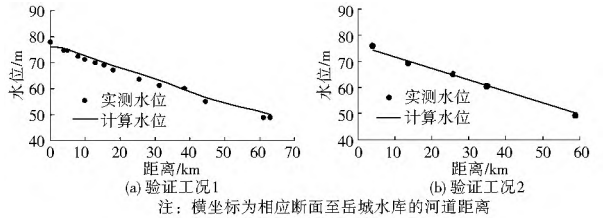


图 3 计算水位与实测水位比较

Fig. 3 Comparison of calculated and observed water level:

(a) condition 1; (b) condition 2

模型参数 a 确定后, 河段渗漏量的大小则仅随渗漏面积的变化而变化, 图 4 是以岳城水库下泄流量 $200 m^3/s$ 为例计算得到的各河段单位河长的渗漏面积, 可以看出, 单位河长渗漏面积时大时小, 变化随机, 基本无规律可循, 反映了漳河平原河段宽浅型游荡河道的特性。

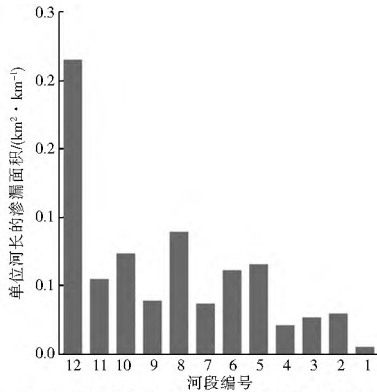
渗漏面积确定后, 针对水库不同下泄流量时的河道渗漏量进行计算, 结果见表 5。在水库下泄流量为小流量 $25 m^3/s$ 时, 不足以补偿下游沿途所有渗漏量, 因此, 在到达硯瓦台之前, 下泄水量已全部渗完, 硯瓦台之后不再存在渗漏。由分析可知, 渗漏量的大小随水库下泄流量的增大而增大, 但所占比重逐渐减小, 并在流量增大到一定值时趋于稳定(见图 5), 这一结论与土壤的下渗率变化规律相符。

利用实测流量资料率定渗漏模型参数, 并确定河道水面线, 再根据实测水位资料验证渗漏模型的准确性, 最终确定河道渗漏量的大小。本文将此方法概括为“流量-水位两步法”。

表 5 不同下泄流量下各河段的渗漏量

Table 5 The leakage of each reach under various flow rates

序号	断面名称	不同下泄流量 $q/(m^3 \cdot s^{-1})$										
		25	50	100	200	300	400	800	1500	2000	2500	3000
1	岳城水库	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	邳镇	12.1	14.2	16.4	18.7	20.2	21.6	55.0	70.1	75.0	79.8	84.7
3	曹村	2.1	2.7	3.3	3.8	4.2	4.6	19.0	38.7	43.6	48.5	53.4
4	三宗庙	1.4	2.6	3.6	5.0	6.0	7.1	16.6	17.4	21.2	25.0	28.8
5	羊羔屯	0.4	1.8	2.4	2.8	3.2	3.6	5.2	6.1	6.6	7.2	7.8
6	陈村	1.8	2.4	5.3	6.9	7.2	7.6	7.6	7.8	7.8	7.8	7.9
7	明古寺	0.9	1.1	1.4	3.0	3.3	3.5	4.2	4.5	4.5	4.5	4.6
8	张看台	3.0	3.8	4.7	5.8	6.7	7.7	13.0	16.2	16.5	16.7	17.0
9	常家屯	2.5	5.6	6.2	7.0	7.7	8.4	11.7	13.7	14.1	14.5	14.8
10	硯瓦台	0	2.0	2.3	2.5	3.1	3.8	7.9	8.5	8.6	8.8	8.9
11	南尚村	0	2.5	2.9	3.5	3.9	4.3	12.7	13.2	13.5	13.8	14.1
12	郭枣林	0	2.0	2.2	4.8	5.7	6.5	45.9	51.3	51.3	51.3	51.3
13	蔡小庄	0	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	2.3	9.8	10.5	11.1	11.7



注：图4中河段的编号与该河段下游断面编号相同

图4 各河段单位河长的渗漏面积

Fig. 4 Leakage area of per unit reach length

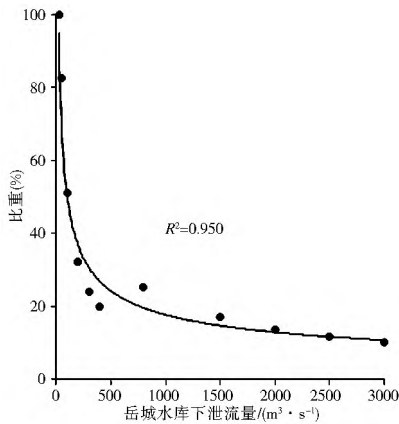


图5 渗漏量所占流量比重的变化

Fig. 5 Variation of the proportion of leakage to total flow

4 总结

基于“流量控制、水位验证”的思路,建立了漳河平原河段的河道渗漏模型,同时考虑到岳城水库至蔡小庄段水流程时间较短,忽略了蒸发损失水量,将水量损失即看做河道渗漏量来计算。从水位的拟合情况看出,计算误差在可接受范围之内。由于率定参数使用的资料有限,本模型只适用于岳城水库至蔡小庄段河道。不过,文中表5的流量覆盖范围较广,可通过直接查询或内插,粗略估算一定水库下泄流量下河道的渗漏量。

本研究提出的“流量-水位两步法”,在确定模型参数时分为三大段进行率定,计算结果比较精确,对在缺乏实测资料时计算河道的渗漏量具有良好的适用性,只需实测流量和水位资料即可使用,为河道渗漏、地下水补给量的计算方法提供了新思路。

参考文献(References):

[1] 户作亮,张胜红,林超,等.海河流域平原河流生态保护与修复模式研究[M].北京:中国水利水电出版社,2010:3-10. (HU Zuoliang,ZHANG Sheng hong, LIN Chao, et al. Research on Ecological Protection and Restoration Pattern for Plain Tracts in Haihe Basin[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2010: 3-10. (in Chinese))

[2] 海河水利委员会水资源保护科学研究所.漳河平原段水生态治

理措施试验报告[R].2011.(Hai River Water Resource Conservancy Commission water resources conservation science institute. Report on ecological hydrology treatment measure for plain section of Zhang River[R]. 2011.)

[3] 刘恩杰,刘亚峰.漳河下游河道生态需水探讨[J].海河水利,2009,(2):10-18. (LIU Enjie, LIU Yafeng. Research on Ecological Water Requirement for Lower Reaches of Zhang River[J]. Haihe Water Resources, 2009, (2): 10-18. (in Chinese))

[4] 侯思琰,刘德文,徐宁,等.漳河平原段生态修复模式的构建[J].海河水利,2012,(6):15-18. (HOU Siyan, LIU Dewen, XU Ning, et al. Ecology Repair Pattern Construction of Zhang River Plain Section[J]. Haihe Water Resources. 2012, (6): 15-18. (in Chinese))

[5] 田守波.大沽河干流渗漏对河道洪水演进的影响研究[D].山东:中国海洋大学,2009:1-75. (TIAN Shoubo. Research on Influence on Channel Flood Routing Caused by Leakage of Dagu River[D]. Shandong: Ocean University of China, 2009: 1-75. (in Chinese))

[6] 徐敬东,龚建新,文军.乌鲁木齐河山前区河道地质与洪水渗漏损失分析[J].冰川冻土,2012,34(5):1229-1235. (XU Jingdong, GONG Jianxin, WEN Jun. Analyses of River Geology and Flood Leakage Loss in the Piedmont Area of the Urumqi River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(5): 1229-1235. (in Chinese))

[7] Yee Meng Chiew, Nandakumar Narasimhan, Jian Chu. Effect of Seepage on River Bank Stability[J]. Scour and Erosion, 2010: 358-367.

[8] Bo Liu, Yong Tao Gao, Ai Bing Jin, et al. Groundwater Seepage Rules Simulation of Horse River Based on MIDAS/GTS[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 170-173: 3715-3719.

[9] 张彦增,尹俊岭,崔希东.河北省中东部平原区河道渗漏损失率分析探讨[J].地下水,2002,24(1):10-11. (ZHANG Yanzeng, YIN Junling, CUI Xidong. Analyses of Plain Channel Leakage Loss Rate in Mid-east Hebei Province[J]. Journal of Groundwater, 2002, 24(1): 10-11. (in Chinese))

[10] 王琮璞,谢大勇,姜嘉礼.河道渗漏补给量的计算与分析[J].东北水利水电,2003,21(1):6-7. (WANG Zongpu, XIE Dayong, JIANG Jiali. Calculation and Analyses of River Leakage [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2003, 21(1): 6-7. (in Chinese))

[11] 李云玲,裴源生,秦大庸.黑河下游河道渗漏规律研究[J].自然资源学报,2005,20(2):195-199. (LI Yunling, PEI Yuansheng, QIN Dayong. A Study on Channel Leakage in the Lower Haihe River[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(2): 195-199. (in Chinese))

[12] 毛丽丽,于静洁,张一驰,等.黑河下游河道渗漏面积的估算及其精度初步研究[J].南水北调与水利科技,2011,7(5):27-30. (MAO Lili, YU Jingjie, ZHANG Yichi, et al. Studies on Estimation and Error Analysis of the Riverbed Leakage Area of Heihe Lower Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 7(5): 27-30. (in Chinese))

[13] 胡兴林,肖洪浪,蓝永超,等.黑河中上游段河道渗漏量计算方法的试验研究[J].冰川冻土,2012,34(2):460-468. (HU Xinglin, XIAO Honglang, LAN Yongchao, et al. Experimental Study on Calculation Method of Riverbed Leakage in the Upper and Middle Reaches of Heihe River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(2): 460-468. (in Chinese))

(下转第31页)

- [3] 丁志雄. 基于 RS 和 GIS 的洪涝灾害损失评估技术方法研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004. (DING zhixiong. A Study on the Technology and Method of Flood and Waterlogging Disaster Loss Assessment Based on RS and GIS [D]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2004. (in Chinese))
- [4] 冯平, 崔广涛, 钟响. 城市洪涝灾害直接经济损失的评估与预测 [J]. 水利学报, 2001, 8(3): 64-68. (FENG Ping, CUI Guangtao, ZHONG Yun. On the Evaluation and Prediction of Urban Flood Economic Loss [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 8(3): 64-68. (in Chinese))
- [5] Das S, Lee R. A nontraditional Methodology for Flood stage-Damage Calculation [J]. Water Resources Bulletin, 1988, 24(6): 75-80.
- [6] 仇蕾, 王慧敏, 马树建. 极端洪水灾害损失评估方法及应用 [J]. 水科学进展, 2009, (6): 869-874. (QIU Lei, WANG Huimin, MA Shujian. Assessment Method for Extreme Flood Disaster Losses and Its Application [J]. Advances in Water Science 2009, (6): 869-874. (in Chinese))
- [7] 吉中会, 李宁, 吴吉东, 等. 区域洪涝灾害损失评估及预测的 CART 模型研究——以湖南省为例 [J]. 地域研究与开发, 2012, 31(6): 106-110. (JI Zhonghui, LI Ning, WU Jidong, et al. Flood loss Assessment and Prediction Model Based on CART in Hunan Province [J]. Areal Research and Development, 2012, 31(6): 106-110. (in Chinese))
- [8] 吕娟, 苏志诚等. 太湖流域洪灾直接经济损失应急快速评估模型研究报告 [R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2007. (LV Juan, SU Zhicheng, et al. A Research Report on Rapid Assessment Model of Economic loss in Taihu Lake Valley [R]. [D]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2007. (in Chinese))
- [9] 水利部淮河水利委员会. 淮河水文·勘测·科技志 (淮河志) 第三卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2006. (Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of water resources. Huaihe Hydrology · Survey · Science and Technology Journal (Huaihe) NO. 3 [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese))
- [10] 宁远, 钱敏, 王玉太. 淮河流域手册 [K]. 北京: 科学出版社, 2003. (NING Yuan, QIAN Min, WANG Yutai. Handbook of Huaihe River valley [K]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese))
- [11] 水利部水文局, 水利部淮河水利委员会. 治淮汇刊年鉴 [Z]. 1991-2007. (Hydrology Bureau of Ministry of Water Resources, Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of Water Resources. The Yearbook for Control Water Pollution in Huaihe River [Z]. 1991-2007. (in Chinese))
- [12] 矫梅燕. 2003 年淮河大水天气分析与研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2004. (JIAO Meiyun. Weather Analysis and Research of Huaihe flood in 2003 [M]. Beijing: Meteorological Press, 2004. (in Chinese))
- [13] 中华人民共和国水利部. 淮河 2003 年大洪水 [M]. 珠海: 珠海出版社, 2003. (The Ministry of Water Resources. Huaihe Flood in 2003 [M]. Zhuhai: Zhuhai Press, 2003. (in Chinese))
- [14] 水利部水文局, 水利部淮河水利委员会. 2003 年淮河暴雨洪水 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (Hydrology Bureau of Ministry of Water Resources, Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of Water Resources. The Storm Flood of Huaihe in 2003 [M]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2006. (in Chinese))
- [15] 中国水利学会, 水利部淮河水利委员会. 青年治淮论坛论文集 [C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (China Institute of Water Conservancy, Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of Water Resources. The Collected works of Control Water Pollution Forum for Youth [C]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2006. (in Chinese))
- [16] 赵洪杰. 流域防洪体系效果评价研究 [D]. 南京: 河海大学, 2008. (ZHAO Hongjie. Study on Evaluation of Flood Control System and Effect [D]. Nanjing: Hohai University, 2008. (in Chinese))
- [17] 徐向阳, 刘俊. 洪水风险分析和定量评估 [J]. 中国减灾, 1999, 9(4): 31-34. (XU Xiangyang, LIU Jun. Flood Analysis and Quantitative Risk Assessment [J]. Disaster reduction in China, 1999, 9(4): 31-34. (in Chinese))

(上接第 15 页)

- Xinglin, XIAO Honglang, LAN Yongchao, et al. Experimental Study of Calculating Method of River Seepage in Middle and Upper Reaches of the Heihe River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(2): 460-468. (in Chinese))
- [14] Hydraulic Engineering Center of USACE. HEG-RAS: River Analysis System User's Manual Version 4.0 [M]. Davis CA: US Army Corps of Engineers: 2008.
- [15] 李婷婷, 黄津辉, 侯思琰, 等. 植物生态护岸技术的效果分析——以漳河下游陈村险工为例 [J]. 南水北调与水利科技, 2013, 3(11): 31-34. (LI Tingting, HUANG Jinhui, HOU Siyan, et al. Effect Analysis of Plant Ecological Technology on Bank Protection——A Case Study in the Lower Reach of Zhang River [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 3(11): 31-34. (in Chinese))
- [16] 于磊, 邱殿明. 基于 SWAT 模型的漳卫南流域水量模拟 [J]. 吉林大学学报, 2007, 37(5): 949-954. (YU Lei, QIU Dianming. Water Quantity Simulation of the Zhangweinan Basin Based on SWAT Model [J]. Journal of Jilin University, 2007, 37(5): 949-954. (in Chinese))