

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.02.007

生态环境需水量对芹山水电站发电效益的影响

牛丽霞¹,管仪庆¹,葛捍东²,张丹蓉¹,夏冬梅¹

(1.河海大学水文水资源学院,江苏南京 210098;2.浙江省水电开发管理中心,浙江杭州 310009)

摘要:以福建省的芹山水电站为例,研究穆阳河流域不同生态环境用水保证率下的生态环境需水量,估算不同生态环境用水量的发电效益损失,并对考虑不同比例生态环境用水量对水电站的发电量所产生的影响进行分析。结果表明:由于确定生态环境需水量的出发点和基本原理不同,用 7Q10 法、Tennant 法、最小月径流法和 NGPRP 法计算的生态环境需水量差异较大,根据实际资料针对该实例推荐 Tennant 法,利用发电调度软件编制不同生态环境用水保证率下的发电计划,利用逐年流量值计算该水电站发电厂实际的发电效益损失值,并分析了不同生态环境用水保证率与该水电站发电效益损失间的关系以及多年平均流量计算的发电效益损失值与实际损失值间的关系。

关键词:生态环境;需水量;用水保证率;发电效益

中图分类号:TV213.9 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2011)02-0029-05

Effect of eco-environmental water demand to on electricity benefit of Qinshan Hydropower Station

NIU Li-xia¹, GUAN Yi-qing¹, GE Han-dong², ZHANG Dan-rong¹, XIA Dong-mei¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Hydropower Development Management Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract: Taking the Qinshan Hydropower Station as an example, the eco-environmental water demand under different reliability scenarios of eco-environmental water utilization was studied, the loss of power generation efficiency due to different eco-environmental water demand was estimated, and the effect of different proportions of eco-environmental water usage on hydroelectric power generation was analyzed. The results show that different methods, including 7Q10, Tennant, minimum monthly runoff, and NGPRP, generate different eco-environmental water demand estimates, and the differences are large because their starting point and basic principles are different. For this example, the method of Tennant was recommended. The generation schedules were compiled using the power generation dispatching software under different reliability scenarios of environment water usage, the loss of electricity benefit was estimated using the discharge year by year, and the relation between different reliability scenarios of environmental water usage and the loss of electricity benefit was analyzed. The relation between the loss of electricity benefit calculated using average annual flow and actual loss of power generation was also analyzed.

Key words: eco-environment; water demand; guarantee rate of water; electricity benefit

水电站的兴建,改变了河道水流特征,对河道周边地区产生了很大影响,这已经成为影响我国水电开发和环境可持续发展的主要问题^[1-2]。我国的生态用水研究是在巨大的人口压力导致生态环境及健

康状况恶化的背景下提出来的。对此很多学者进行了深入研究。李丽娟等^[3]认为,生态需水量是指为维持地表水体特定的生态环境功能,天然水体必须储存和消耗的最小水量。丰华丽等^[4]从流域角度出

发 定义流域生态需水量为改善生态环境质量或维护生态环境不至于进一步下降时生态系统所需要的最小水量和在这一水量下生态系统能够忍耐的最差水质。而严登华等^[5]认为,河流生态需水是指为维护地表水体特定功能所需要的一定水质标准下的水量,其具有时间和空间上的变化。水电开发项目存在着发电效益最大化和保证河道生态环境之间的矛盾。目前对这一关系进行定量研究较少,而这是进行水电项目生态环境用水补偿的基础。笔者以此为出发点,采用历史流量法计算生态环境需水量^[6-9],研究不同生态环境保证率下芹山水电站发电效益的损失情况,对以后水电项目生态环境用水补偿的研究起到一定的作用。

1 概 况

芹山水电站位于周宁县境内穆阳溪中上游,是穆阳溪梯级开发的大型龙头水库。该流域属于赛江水系,发源于福建省鹫峰山脉,流经政和、周宁和福安3个县市的13个乡镇,在赛岐镇上游约2km处汇入赛江,经甘棠至白马列门注入东海。穆阳溪属山溪性河流,洪水由锋面雨和台风雨形成,其中以台风雨引起的洪水居多。河流坡陡、源短、流急。流域内地形复杂,降雨在平面和高程上分布常不均匀。流域年径流变化及其年内分配也极不均匀,丰枯交替。一般丰水期始于4月,终于9月,7—8月份常出现伏旱天气。由于降水量在1年中的分配不均匀,因此各月干燥度差异也较大。全县只7月和12月的干燥度大,各地均属于湿润-半湿润状态。

笔者以芹山坝址1959—1993年35年的月平均流量(表1)和年平均流量(表2)为例进行研究。

表1 1959—1993年芹山坝址月平均流量

月份	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	月份	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)
1	6.2	7	19.5
2	9.8	8	26.7
3	16.2	9	27.0
4	21.1	10	11.6
5	29.5	11	7.3
6	34.9	12	5.5

在穆阳河流域,水资源除用于生活、工业、农业和生态用水外,主要用于水电开发,因此用于水电开发的水资源所产生的效益就可看作水资源的机会成本。

表2 1959—1993年芹山坝址年平均流量

年份	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	年份	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	年份	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)
1959	22.3	1971	11.6	1983	18.7
1960	21.1	1972	17.4	1984	17.2
1961	20.4	1973	24.4	1985	17.7
1962	27.0	1974	17.4	1986	13.0
1963	12.9	1975	27.3	1987	18.7
1964	15.3	1976	18.4	1988	20.7
1965	18.5	1977	16.9	1989	23.7
1966	17.2	1978	18.9	1990	20.3
1967	11.8	1979	15.1	1991	10.1
1968	14.6	1980	16.5	1992	24.1
1969	18.6	1981	15.0	1993	9.7
1970	18.9	1982	17.0	多年平均	18.0

注:平均流量为18.0m³/s。

通过对芹山水电站的现状分析可知水库电站主要工程特性,如表3所示。

2 生态环境需水量计算

采用历史流量法计算生态环境需水量,历史流量法包括7Q10法、Tennant法、ABF法、最小月径流法、NGPRP法等。笔者采用7Q10法、Tennant法、最小月径流法和NGPRP法计算生态环境需水量。

7Q10法采用90%保证率下最枯连续7天的平均水量作为河流最小流量设计值。由于该方法的标准要求比较高,鉴于我国经济发展水平参差不齐,南北方水资源情况差别较大的现状,我国对其进行了修改。GB3839—83《制订地方水污染物排放标准的技术原则和方法》规定:一般河流采用近10年或90%保证率最枯月平均流量作为河流环境用水。其计算过程为:①依据历年水文资料,选取历年最枯月径流。②将各年最枯月径流进行频率计算,绘制P-III曲线,如图1所示。③计算出90%保证率的流量。

Tennant法是应用较多的计算河道生态环境需水量的综合方法。根据生态环境和水文条件特点,在分析历史流量记录的基础上,取年天然径流量的百分比作为河流生态环境需水量。该法简单易行,便于操作,不需要现场的测量,适应于任何有季节性变化的河流。芹山坝址的多年平均流量为18m³/s,分别取多年平均流量的10%和30%为生态基流。

最小月径流法计算90%保证率下的流量是根据水文资料,以历年最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境流量,计算公式为:

表3 水库电站主要工程特性

名称	流域面积/km ²	多年平均径流量/亿m ³	多年平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	设计洪水标准及流量/(m ³ ·s ⁻¹)	相应水库水位/m	校核洪水标准及流量/(m ³ ·s ⁻¹)	相应水库水位/m	正常蓄水位/m	死水位/m	总库容/亿m ³	机组出力/万kW	引用流量/(m ³ ·s ⁻¹)	保证出力/万kW	多年发电量/(亿kW·h)
芹山水电站	453	5.68	18	3310 (P=1%)	756.20	5330 (P=0.05%)	759.10	755	707	2.65	3.5×2	41.2×2	1.7	1.45

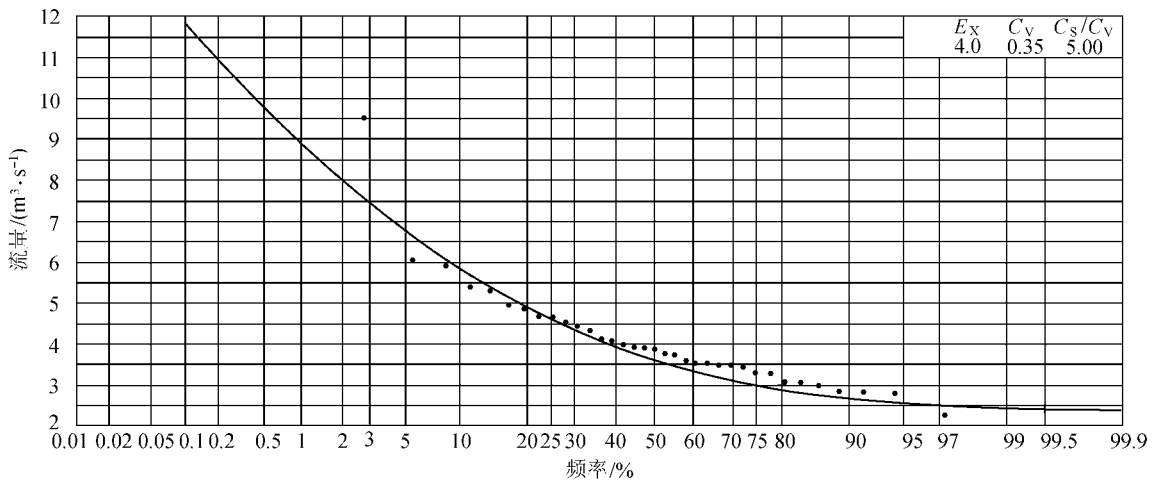


图1 芹山坝址历年最枯月流量频率曲线

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n Q_{i \min}$$

式中： W_b 为河流基本生态需水量，亿 m^3 ； $Q_{i \min}$ 为第 i 年实测最小月平均径流量， m^3/s ； T 为换算系数，其值为 31.536×10^{-2} ； n 为统计年数。

NGPRP法将年份分为干旱年、湿润年和标准年，取标准年组90%保证率流量作为最小流量。其计算过程为：由芹山坝址历年年平均流量频率曲线计算出50%保证率的流量， $Q_{50\%} = 17.6 m^3/s$ ，选择流量最接近 $Q_{50\%}$ 的年份作为标准年，从而计算出90%保证率下的流量。

各方法计算结果如表4所示。

表4 芹山生态环境需水量计算成果 m^3/s

7Q10法	Tennant法		最小月径流法	NGPRP法
	10%多年平均流量	30%多年平均流量		
2.7	1.8	5.4	5.7	1.9

由表4可见，不同方法计算得出的生态环境需水量差异较大，这是因为不同方法确定生态环境需

表5 芹山水电站发电计划(不考虑生态环境用水)

月份	入库流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	月末 水位/m	平均 水位/m	月初蓄水量/ 亿 m^3	月水量差/ 亿 m^3	平均出力/ 万 kW	月发电量/ (万 kW·h)	发电流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	水头/m	发电耗水率/ ($m^3 \cdot kW^{-1}$)
1	6.2	723.00	729.50	1.20	-0.47	1.991	1481.04	23.84	96.34	4.31
2	9.8	715.00	719.00	0.72	-0.21	1.377	925.09	18.37	85.91	4.80
3	16.2	716.76	715.88	0.52	0.04	1.056	785.38	14.67	82.83	5.00
4	21.1	733.00	724.88	0.56	0.51	0.106	76.56	1.32	92.75	4.47
5	29.5	742.00	737.50	1.07	0.41	1.267	942.50	14.04	104.45	3.99
6	34.9	748.00	745.00	1.48	0.34	2.090	1504.76	21.66	111.87	3.73
7	19.5	752.00	750.00	1.83	0.27	0.968	720.03	9.58	117.03	3.56
8	26.7	755.00	753.50	2.09	0.22	1.921	1429.34	18.45	120.40	3.46
9	27.0	755.00	755.00	2.31	0.00	2.849	2051.03	27.00	121.81	3.41
10	11.6	752.00	753.50	2.31	-0.22	2.067	1537.77	19.85	120.39	3.46
11	7.3	737.00	744.50	2.09	-0.85	3.855	2775.51	40.1	9111.16	3.75
12	5.5	731.00	734.00	1.24	-0.25	1.293	961.89	14.78	100.94	4.12
年总量					-0.21		15190.90			
月均值	17.9		738.52			1.734		18.65	105.49	4.00

水量的出发点和基本原理不同，计算的基础参数不同。从表4还可看出，最小月径流法得到的结果偏大，难以实现，7Q10法要求较高，往往低估河流流量需求，所得结果往往误差较大；NGPRP法缺乏生物学依据，对于特定的水生生物的用水量未涉及。笔者以Tennant法为例作讨论。

3 不同生态环境用水量的发电损失估算^[10]

假定起调水位为736m(下同)，在不考虑生态环境用水的情况下，芹山水电站的发电计划编制如表5所示。

假设取 $1.8 m^3/s$ 作为最小生态环境需水量。由于技术原因，目前该水电站所用发电调度软件无法保证在 $1.8 m^3/s$ 的生态环境流量($Q_{b \min}$)下编制发电计划，当发电流量小于 $1.8 m^3/s$ 时，强制其不小于 $1.8 m^3/s$ ，得到发电计划(表6)。

如果取最小生态环境流量为多年平均径流量的30%，即 $5.4 m^3/s$ 时，得到的发电计划如表7。

同理，当下泄生态环境流量采用多年平均径流

表 6 芹山水电站发电计划 ($Q_{b, \min} = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$)

月份	入库流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	月末 水位/m	平均 水位/m	月初蓄水量/ 亿 m^3	月水量差/ 亿 m^3	平均出力/ 万 kW	月发电量/ (万 $\text{kW} \cdot \text{h}$)	发电流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	水头/m	发电耗水率/ ($\text{m}^3 \cdot \text{kW}^{-1}$)
1	6.2	723.00	729.50	1.20	-0.47	1.991	1481.04	23.84	96.34	4.31
2	9.8	715.00	719.00	0.72	-0.21	1.377	925.09	18.37	85.90	4.80
3	16.2	716.76	715.88	0.52	0.04	1.056	785.38	14.67	82.83	5.00
4	21.1	733.00	720.26	0.56	0.51	1.032	743.04	13.81	87.22	4.82
5	29.5	742.00	732.88	1.07	0.41	0.171	126.97	1.96	100.68	4.13
6	34.9	748.00	745.00	1.48	0.34	2.090	1504.76	21.66	111.87	3.73
7	19.5	752.00	750.00	1.83	0.27	0.968	720.03	9.58	117.03	3.56
8	26.7	755.00	753.50	2.09	0.22	1.921	1429.34	18.45	120.40	3.46
9	27.0	755.00	755.00	2.31	0.00	2.849	2051.03	27.00	121.81	3.41
10	11.6	752.00	753.50	2.31	-0.22	2.067	1537.77	19.85	120.39	3.46
11	7.3	737.00	744.50	2.09	-0.85	3.855	2775.51	40.19	111.16	3.75
12	5.5	731.00	734.00	1.24	-0.25	1.293	961.89	14.78	100.95	4.12
年总量					-0.21		15041.85			
月均值	17.9		737.75			1.717		18.68	104.72	4.05

表 7 芹山水电站发电计划 ($Q_{b, \min} = 5.4 \text{ m}^3/\text{s}$)

月份	入库流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	月末 水位/m	平均 水位/m	月初蓄水量/ 亿 m^3	月水量差/ 亿 m^3	平均出力/ 万 kW	月发电量/ (万 $\text{kW} \cdot \text{h}$)	发电流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	水头/m	发电耗水率/ ($\text{m}^3 \cdot \text{kW}^{-1}$)
1	6.2	723.00	729.50	1.20	-0.47	1.991	1481.04	23.84	96.34	4.31
2	9.8	715.00	719.00	0.72	-0.21	1.377	925.09	18.37	85.90	4.80
3	16.2	716.76	715.88	0.52	0.04	1.056	785.38	14.67	82.83	5.00
4	21.1	723.76	720.26	0.56	0.51	1.032	743.04	13.81	87.22	4.82
5	29.5	740.10	731.93	1.07	0.41	0.479	356.69	5.56	99.37	4.18
6	34.9	748.00	744.05	1.48	0.34	1.717	1236.05	17.93	110.96	3.76
7	19.5	752.00	750.00	1.83	0.27	0.968	720.03	9.58	117.03	3.56
8	26.7	755.00	753.50	2.09	0.22	1.921	1429.34	18.45	120.40	3.46
9	27.0	755.00	755.00	2.31	0.00	2.849	2051.03	27.00	121.81	3.41
10	11.6	752.00	753.50	2.31	-0.22	2.067	1537.77	19.85	120.39	3.46
11	7.3	737.00	744.50	2.09	-0.85	3.855	2775.51	40.19	111.16	3.75
12	5.5	731.00	734.00	1.24	-0.25	1.293	961.89	14.78	100.95	4.12
年总量					-0.21		15002.86			
月均值	17.9		737.59			1.713		18.67	104.53	4.05

量的 20%、50%、75%、100% 时,分别计算各自对应的年发电量。

根据电厂与电网协议,电价 0.174 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$),可计算对应的年发电收入。年发电收入为电价与年发电量相乘之积。

该地区发电环节产品税为 0.01 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$),单位发电成本为 0.0375 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$),单位经营成本为 0.0168 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$),单位上网售电成本为 0.0486 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$),单位电量成本约为 0.1129 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$)。以上税负及各单位成本相加之和与年发电量相乘,即得发电成本。

最后计算出不同生态环境流量下的水电站发电效益,即发电收入与发电成本之差额,计算结果如表 8 所示。

由表 8 可知,当不考虑生态环境用水时,水电站多年平均利润为 928.17 万元,当下泄生态环境流量采用多年平均径流量的 100% 时,水电站的利润为 843.14 万元。此处采用的是多年平均流量,同样的方法可求出不同生态环境用水保证率下该水电站逐

年的发电效益,从而可得出实际的年平均发电效益,结果见表 9 所示。

表 8 不同生态环境用水保证率下
电厂发电效益(多年平均流量)

保证率/%	年均发电量/ (万 $\text{kW} \cdot \text{h}$)	发电收入/万元	发电成本/万元	利润/万元	损失/万元
0	15190.90	2643.22	1715.05	928.17	0
10	15041.85	2617.28	1698.22	919.06	9.11
20	15021.49	2613.74	1695.93	917.81	10.35
30	15002.86	2610.50	1693.82	916.67	11.49
50	14911.24	2594.56	1683.48	911.08	17.09
75	14626.49	2545.01	1651.33	893.68	34.49
100	13799.29	2401.08	1557.94	843.14	85.03

表 9 不同生态环境用水保证率下电厂发电效益

保证率/%	年均发电量/ (万 $\text{kW} \cdot \text{h}$)	发电收入/万元	发电成本/万元	利润/万元	损失/万元
0	15138.48	2634.09	1709.13	924.96	0
10	14553.58	2532.32	1643.10	889.22	35.74
20	14460.19	2516.07	1632.56	883.52	41.44
30	14342.84	2495.65	1619.31	876.35	48.61
50	14204.10	2471.51	1603.64	867.87	57.09
75	13716.96	2386.75	1548.64	838.11	86.85
100	13337.75	2320.77	1505.83	814.94	110.02

采用多年平均流量计算电厂发电效益,降低了个别年份旱或涝的损失,因此,实际的发电效益损失值要比多年平均流量的计算值大。

从表8和表9中还可得到:芹山水电站不同生态环境用水保证率下多年平均流量计算发电效益损失与实际损失值的趋势是一样的,都可反映不同生态环境用水保证率与相应电站电厂发电效益损失间的关系。生态环境用水保证率在10%~30%时,该水电站的效益损失值比较稳定,对水电站的整体利益影响不大;当生态环境用水保证率大于50%时,该水电站的损失值明显增大,从而对该地区的整体效益产生了很大的影响。

4 结论

笔者采用历史流量法计算生态环境需水量,计算得出的生态环境需水量范围在 $1.8 \sim 5.7 \text{ m}^3/\text{s}$,由于不同方法确定生态环境需水量的出发点和基本原理不同,计算得出的生态环境需水量差别很大。在不考虑下泄生态环境用水的情况下,芹山水电站的月均发电耗水率为 $4.00 \text{ m}^3/\text{kW}$;当考虑生态环境需水量时,随着生态环境需水量的增加,芹山水电站的耗水率也增加,而年发电总量却呈现递减趋势;当考虑生态环境用水保证率在10%~30%之间时,该水电站的效益损失变化较平缓,对该地区的整体效益影响不大;当用水保证率超过50%时,损失值明显

增大,从而对该水电站的整体效益影响较大。因此,建议取20%用水保证率,即 $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 的生态流量作为最小生态环境需水量。

参考文献:

- [1] 徐长义. 水电开发在我国能源战略中的地位浅析[J]. 中国能源, 2002(4): 26-30.
- [2] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [3] 李丽娟, 李海滨, 王娟. 海河流域河道外生态需水研究[J]. 海河水利, 2002(8): 9-11, 16.
- [4] 丰华丽, 王超, 李勇. 流域生态需水量的研究[J]. 环境科学动态, 2001(1): 27-30, 37.
- [5] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 东辽河流域河流系统生态需水研究[J]. 水土保持学报, 2001(1): 46-49.
- [6] 林超, 何杉. 海河流域生态现状用水量调查和生态需水量计算方法[J]. 水利规划与设计, 2002(2): 11-18.
- [7] 魏国. 生态环境需水理论与计算方法研究[C]//中国水利学会. 中国水利学会2008学术年会论文集:上册. 北京: 中国学术期刊电子杂志社, 2008.
- [8] 姜德娟, 王会肖, 李丽娟. 生态环境需水量分类及计算方法综述[J]. 地理科学进展, 2002(4): 269-378.
- [9] 卞戈亚, 周明耀, 朱春龙. 生态环境需水量计算方法研究现状及展望[J]. 水资源保护, 2002(6): 46-49.
- [10] 靳亚东. 考虑生态环境用水对电站发电量的影响分析[J]. 水力发电学报, 2002(4): 25-28.

(收稿日期 2010-10-22 编辑 徐娟)

(上接第28页)均最大,其次是福山塘的COD和伯渎港的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 通量较大,见图4(b);枯水年仍是张家港的COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 通量均最大,其次是福山塘,而锡北运河、九里河和伯渎港的入河通量较小,见图4(c)。②总的来说,丰水年和平水年的入河通量较大,枯水年较小。③不同水文条件下,张家港入望虞河污染物通量最大,COD约占污染物通量总量的45%~60%; $\text{NH}_3\text{-N}$ 占60%左右;TP占40%~55%;TN占45%~60%。

3 结论

望虞河西岸主要入河支流为福山塘、张家港、锡北运河、九里河和伯渎港。在不同水文条件下,5条主要支流入望虞河水量占西岸所有入望虞河总水量的70%以上。入河河流污染物通量的综合影响结果是:张家港的污染物通量值最大,所以张家港污染治理是整个望虞河西岸污染治理的关键部分。另外

平水年和丰水年的入河通量较大,枯水年较小。

参考文献:

- [1] 沈爱春. 望虞河引江对太湖的影响研究[J]. 水资源保护, 2002(4): 29-32.
- [2] 逢勇, 姚琪, 濮培民. 太湖地区大气-水环境的综合数值研究[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 92-107.
- [3] 韩龙喜, 张书农, 金忠青. 复杂河网非恒定流计算模型: 单元划分法[J]. 水利学报, 1994(2): 52-56.
- [4] 卢士强, 徐祖信. 平原河网水动力模型及求解方法探讨[J]. 水资源保护, 2002(3): 5-9.
- [5] 王超, 卫臻, 张磊. 平原河网区调水改善水环境实验研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(3): 136-138.
- [6] 罗缙, 逢勇, 林颖. 太湖流域主要入湖河道污染物通量研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, 33(2): 131-135.
- [7] 袁宏任, 魏开涓, 吴国平. 水资源保护管理基础[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996: 1-104.

(收稿日期 2010-03-02 编辑 徐娟)