

分质水量综合评价方法的研究及应用

谭炳卿¹, 姜广斌², 房新勤³

(1. 水利部淮河水利委员会水文局, 安徽 蚌埠 233001 2. 水利部水资源管理中心, 北京 100053 3. 水利部淮河水利委员会治淮工程建设管理局, 安徽 蚌埠 233001)

摘要 :以淮河干流和主要支流沙颍河为研究区域,在现有水质监测站网和监测频次的基础上,结合水量变化过程分析水质的时空分布规律,探讨分质水量的综合评价方法。以研究区域的水质、水量和污染源资料建立水质模型(Mike 11-WQ),用模拟的水质过程与实测水量结合评价分质水资源量,对比逐日水质资料与不同监测频次(每月 1 次和每旬 1 次)的实测水质资料,分析分质水量评价的精度与可行性,通过不同方法的应用效果分析与比较,对有关问题进行讨论。

关键词 :分质水量;综合评价;水质模型;监测频次;淮河

中图分类号 :X824 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2005)04-0047-05

Study and application of integrated assessment method for water quantity with different qualities

TAN Bing-qing¹, JIANG Guang-bin², FANG Xin-qin³

(1. Bureau of Hydrology, HRC, MWR, Bengbu 233001, China; 2. Water Resources Management Center of MWR, Beijing 100053, China; 3. Huaihe River Project Construction Management Bureau, HRC, MWR, Bengbu 233001, China)

Abstract :Based on the existing water quality monitoring network and monitoring frequency in the study area of the Huaihe River mainstream and its main branch Shaying River, water quality variation on time and space was analyzed in combination with the water quantity changes, and an integrated assessment method for water quantity with different qualities was put forward. A water quality model(Mike 11-WQ) was established based on the field data of water quality, water quantity and pollution sources in the regions. Water resources with different qualities were evaluated according to the simulated water quality data and the measured water quality data. Accuracy and feasibility of the method were analyzed through the comparison between daily water quality and measured water quality data in different monitoring intervals(once every month and once every three months). Problems concerned were discussed based on the comparison and analyses of results obtained by different methods.

Key words :water quantity with different qualities; comprehensive assessment method; water quality model; monitoring frequency; Huaihe River

分质水量评价是在我国水资源短缺和水污染严峻的特定条件下提出的新课题。在水质单一评价方面,国内外研究较多,方法也较成熟,但水质与水量相结合或水质水量综合(或结合)评价方面的研究很少。分质水量综合评价旨在客观地评价流域或区域(河段)满足不同使用功能的水资源量及其时空分布

状况,即在分析评价水资源量时空分布状况的同时,分析评价其相应的水质状况,给出具有实际意义的不同水质的可用水资源量,即在研究或评价流域或区域(河段)给出不同水质的水资源量。在现有资料条件下,需要解决水质资料的时空代表性问题。目前用得较多的有代表河长^[1]法、代表断面法和代表

面积法等,即利用水资源分区内各测点实测水质资料,以各测点代表的河长或面积加权求出分区内各类水的水量^[2]等,这些方法实际上从空间上寻求解决水质监测资料不足问题的途径。

鉴于研究区域的水质监测现状,分质水量综合评价方法研究的核心是解决现有水质监测资料的有效利用问题,即在现有水质监测站网和监测频次或对监测断面、监测频次和监测时机适当调整的基础上,结合水量和入河污染物资料,分析水质的时空分布规律,弥补水质监测资料的不足。本文基于水利部水文局“河流水质水量综合评价方法研究”项目成果,介绍利用水质模型(Mike 11-WQ)的模拟水质过程与实测水量结合评价分质水资源量以及通过对逐日实测水质资料的分析,探讨选取不同监测频次(每月1次和每旬1次)的水质资料进行量质评价的精度与可行性,最后根据不同方法的应用效果分析比较,对有关问题进行了讨论。

1 水质模型(Mike 11-WQ)的建立与应用

在淮河水质综合管理模型^[3]的基础上,以Mike 11模型软件建立研究区域的水质模型;深入分析研究区域水文气象、自然地理、河道和水流特性以及水污染的特点,应用Mike 11-WQ模型软件,结合实测河道大断面和1997~1998年实测水质、水量和污染源资料,应用模型参数自动优选方法率定水动力学模型和水质模型的参数值,并用1999~2000年的资料对模型进行验证,将验证模型用于2000~2003年的分质水量评价。

1.1 模型的建立

a. 水动力学模型。水动力学模型所用的基本方程为圣维南方程组,求解方法为有限差分法。利用实测的大断面(1~2 km一个断面)资料和水位、流量资料,建立水动力学模型。为提高计算速度,在模型设置时先将整个模型分解为干流模型(从河南省的淮滨至江苏的洪泽湖入口)和沙颍河、洪河及溱河3个主要支流模型,其他支流作为侧向入流处理,待各子模型率定后再集成。按照研究区域内水系和水文站的分布,将整个区域分为42个子流域,各子流域的分布及模型设置图略。

b. 水质模型。水质模型考虑的参数有:溶解氧(DO)、生物需氧量(BOD)、氨氮(NH₃-N或NH₄-N)、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮(NO₃-N或NO₂-N)以及温度。模型中考虑的转换过程和相互作用的关系有:有机物降解,经光合作用和动物植物呼吸的产氧(释放氧),水体与大气的氧交换,悬浮的BOD₅与河床底质的交换,河床沉积物的需氧量,硝化和反硝化过

程。由于水质的浓度与变化过程受外界因素的影响,如温度、太阳辐射和排污量等,研制的水质模型包含了6个层次的子模块,应用时根据需求和资料情况选用。各层次模块所描述的关系为:①BOD₅~DO;②包括与河床有机物交换的BOD₅~DO;③包括硝化的BOD₅~DO;④包括与河床有机物交换、硝化和反硝化过程的BOD₅~DO;⑤包括即时与延时需氧以及与河床底质交换的BOD₅~DO;⑥包括上述所有过程的BOD₅~DO。

对于第6级模型,需考虑3种BOD₅(溶解、悬浮和沉积)以及溶解氧、氨氮、硝酸盐氮和温度。考虑研究流域河床沉积物中有机污染物氧平衡很重要,故选用第6级模型。模型的输出包括:溶解氧浓度,溶解的、悬浮的和河底沉积的BOD₅,氨氮和硝酸盐氮浓度以及温度。由于BOD₅资料较少,加之COD为重要的水污染参数,且资料相对较多,故在模型研制期间,对COD的降解规律和 $\rho(\text{COD}) \sim \rho(\text{BOD}_5)$ 的关系进行了研究,并利用 $\rho(\text{COD}) \sim \rho(\text{BOD}_5)$ 关系延长BOD资料。考虑河流水质监测指标为COD_{Mn},污染源监测指标为COD_{Cr},对 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim \rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 和 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim \rho(\text{BOD}_5)$ 关系进行分析,水质模型的其他参数及确定方法见文献[3]。

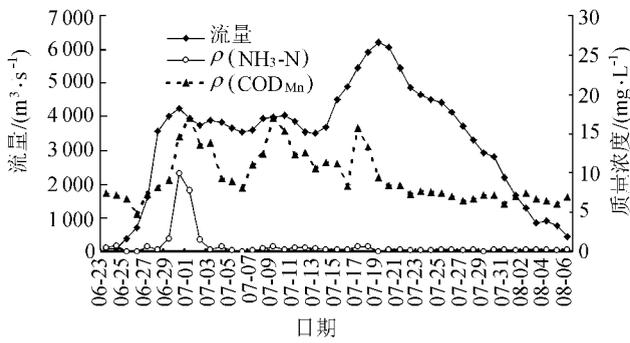
1.2 水质与水量的关系初步分析

根据吴家渡站2000~2003年逐日流量,蚌埠自来水三厂(蚌埠闸上)逐日实测水质资料点绘流量、水质(高锰酸盐指数、氨氮)过程线,见图1。从图1中可见,在汛初洪水上涨时,水质浓度随之上升,但第一场洪水过后,水质浓度通常趋于稳定。如果第一场洪水与后续洪水间隔过长,后续洪水上涨时,水质浓度也随之上升。2002年年末至2003年初,第一场洪水上涨时水质浓度也随之上升,但紧接的洪水对水质影响很小。

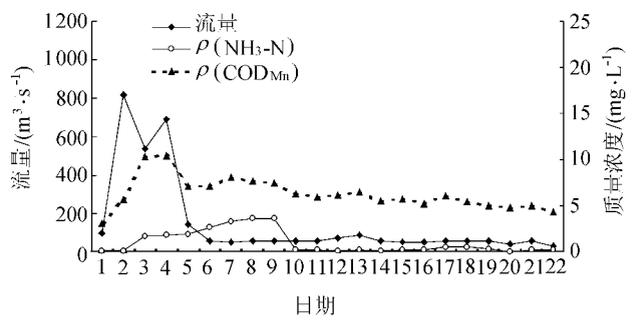
1.3 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim \rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 和 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim \rho(\text{BOD}_5)$ 关系分析

根据研究区域实测COD_{Mn}与COD_{Cr}浓度资料,分别对淮河干流、颍河以及整个研究区域的 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim \rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 关系进行分析,结果见图2。从图2中可见, $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 与 $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 相关关系较好,两者的线性相关系数均在0.85以上。根据淮河流域世界银行水质模型项目的分析结果,河流水质的 $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 与 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 比值为2.5~2.8。

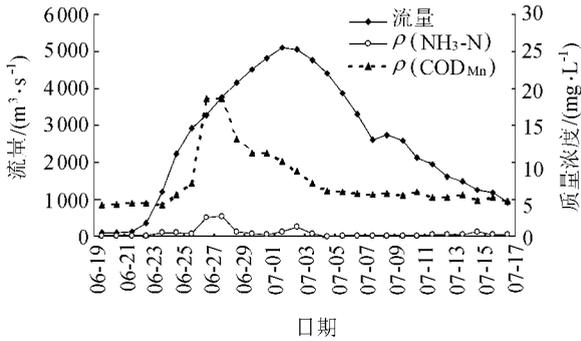
以淮河干流临淮关、吴家渡、淮南市下游、鲁台孜和老坝头,沙颍河阜阳闸上(与泉河汇合口以上),颍河闸上,泉河泉河口(阜阳)的监测资料分析 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim \rho(\text{BOD}_5)$ 关系,结果表明 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 与 $\rho(\text{BOD}_5)$ 比值为0.56~2.05,平均为1.30。



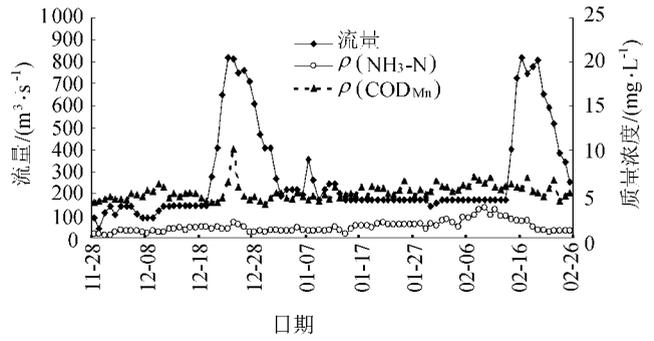
(a) 2000年6~8月



(b) 2001年8月

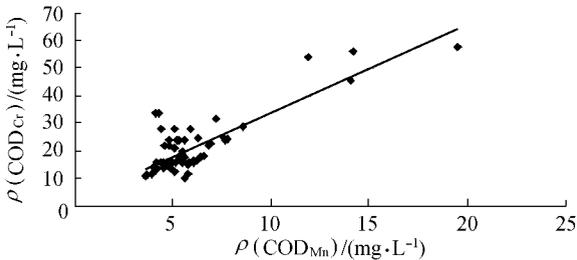


(c) 2002年6月~7月

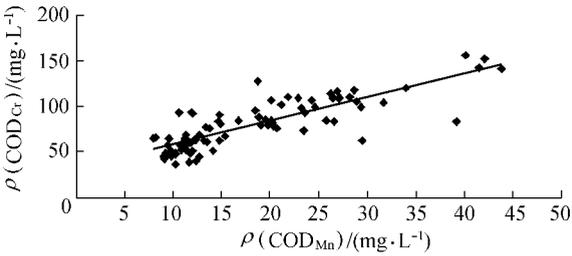


(d) 2002年11月~2003年3月

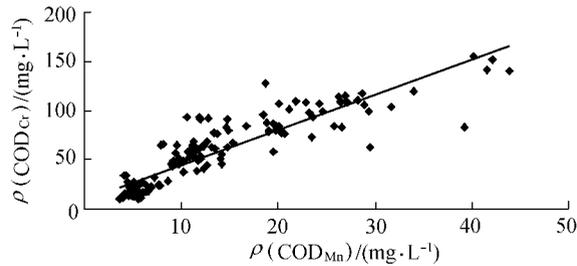
图1 吴家渡站流量、水质(高锰酸盐指数、氨氮)过程线



(a) 颍河



(b) 淮河干流



(c) 淮河、颍河

图2 研究区域 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim \rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ 的关系

1.4 模型率定和验证

1.4.1 水动力学模型

选用 1997 ~ 1998 年水位流量资料率定模型，

1999 ~ 2000 年资料验证模型。需率定的主要参数为糙率，率定的参数值略，率定与验证期模型的确定性系数和相对误差见表 1，实测与模拟的水位、流量过程线比较图略。

表 1 水动力学模型流量模拟结果

站名	确定性系数		相对误差/%	
	率定期	验证期	率定期	验证期
王家坝	0.952	0.918	1.4	1.9
润河集	0.918	0.899	2.1	2.8
鲁台子	0.915	0.910	2.3	3.1
蚌埠	0.912	0.905	1.9	2.5
周口闸	0.751	0.725	3.8	5.1
槐店闸	0.765	0.698	3.9	4.9
颍上闸	0.746	0.719	4.8	5.4
阜阳闸	0.712	0.695	5.1	5.8

由模拟流量的确定性系数和年均相对误差可见，水动力学模型的精度较高，能够为水质模型提供较准确的水动力学条件。

1.4.2 水质模型

1.4.2.1 污染负荷估算

沙颍河流域总污染负荷计算包括位于主要河流的城镇(市区)、位于主要河流的工业(市区)、城镇(市区)、工业(市区)、村庄(农村区)、农业(非点源)和牲畜(非点源)7个污染源。点污染源的工业负荷主要基于入河排污口实测资料估算。对于位于河旁的主要城镇，其污染负荷作为点源处理。这些城镇的生活与工业污水直接排入河流，并假定污染负

荷按正态分布变化,即取实测值均值与方差按正态分布随机生成模型的点源输入值。

各子流域内的城镇生活与工业废水作为扩散源处理,总的扩散负荷为城镇污染负荷与非点源负荷之和。总扩散污染负荷的传输与子流域的径流有关。

考虑各子流域内的河流、库塘水体的自净能力,模型中对估算的污染负荷在进入干流时进行了折减。流域内的自净过程包括有机物(BOD和COD)的降解和沉积,氨氮转化为硝酸盐氮(硝化)并最终释放 N_2 (反硝化)。

在有流量、有机物和氨氮浓度资料的子流域,将其COD、BOD、 NH_3-N 的实际年输送量与估算的负荷值进行比较,从而确定传输系数。流域内非点源污水比生活和工业污水重复利用率高,或大部分排放到较小的独立水体中,故对于扩散源(城镇和工业)和非点源(农业和畜牧业)采用不同的传输系数,本次采用的值分别为0.50和0.15。

1.4.2.2 模型参数

水质模型建立在水动力学模型的基础上,模型的输入为水位、流量和污染负荷。污染负荷包括所有进入水体并输送至模拟河流的点源和非点源污染负荷,率定的水质模型可以用于评价流域内任何点减少污水排放和采取污染防治措施对主要河流水质的影响。考虑淮河流域水污染治理后污染负荷的变化较大,故利用2000年和2001年资料进行模型的率定和验证。

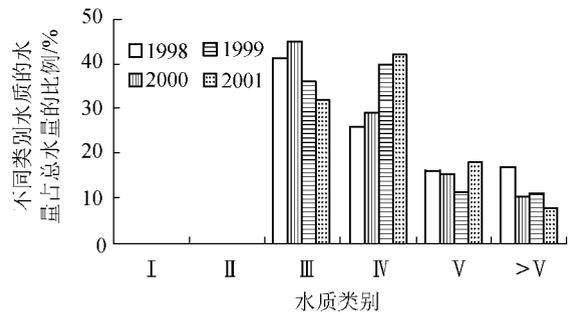
为使率定的水质模型参数更接近于实际情况,在充分利用以往研究成果和实测资料的基础上,对 $(\alpha_{COD_{Mn}}) \sim (\alpha_{BOD_5})$ 关系、 COD_{Mn} 与 BOD_5 的衰减系数和硝化系数、DO的日变化、混合排污口的污水水质和大中型企业的废水水质进行了专项监测,对非点源进行了调查与模拟。

1.5 模型的应用

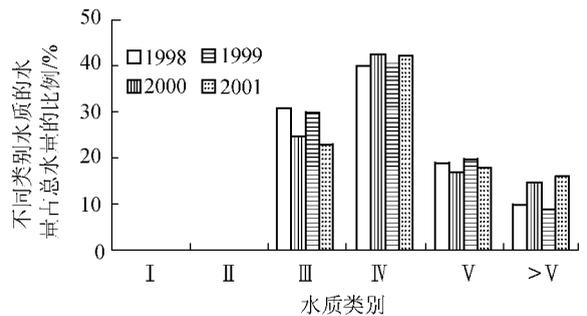
根据建立的模型,用1998~2001年实测流量资料和控制断面的实测水质资料,对淮河干流鲁台子—蚌埠闸上河段以及颍河界首—阜阳闸上河段的水资源量进行评价,结果见图3。

从评价结果看,不同水质类别的水量所占的比例与研究区域水质总体情况基本一致。Mike 11-WQ模型本身对水动力学条件和影响水质的各种过程考虑得比较周到,如果资料条件允许,可以用于分质水量综合评价。但毕竟需要的资料太多,在我国绝大部分地区难以推广应用。

研究区域内能够建立Mike 11-WQ模型,主要是因为早在1997~1999年利用世界银行的赠款已做过大量工作,本次应用是在原有工作的基础上进行



(a) 淮河干流鲁台子至蚌埠闸上河段



(b) 颍河界首至阜阳闸上河段

图3 水质水量评价结果

的。从分质水量综合评价的角度,必须研究探讨能在大部分地区可以应用的方法。为此,本次研究利用蚌埠自来水厂实测的逐日水质资料,探讨利用每月1次或适当增加监测频率或概化评价的水质类别进行量质评价的可行性。

2 水质水量评价方法比较

根据研究区域的水污染特点和主要污染指标,选取 COD_{Mn} 和 NH_3-N 作为评价水质的指标,利用蚌埠自来水厂2000~2003年实测的逐日水质资料,确定水质类别,将逐日流量按不同类别水质的水量相加(方法1)得到的评价结果作为比较的标准值,以每旬取1次的水质代表所在旬的水质(方法2)和以每月取1次的水质代表当月的水质(方法3),对淮河干流鲁台子—蚌埠闸河段2000~2003的水量进行评价,结果表明:Mike 11-WQ模型的结果与方法1的结果最为接近,其次为方法2的结果,方法3的结果相对差得较多。

考虑目前水质监测频次大多为每月1次的实际情况,课题研究时将水质概化为两大类或三大类,即Ⅲ类或好于Ⅲ类、劣Ⅲ类;Ⅲ类或好于Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类进行评价与比较,结果见表2。从表2中可见,2000~2003年评价结果的平均值以方法2与方法1的最接近,优于Mike 11-WQ的结果。总体上,各种方法的评价结果以分为两大类最接近,分的类别越多,评价结果的差别也随之增大。

表2 水量水质评价结果

%

年份	Ⅲ类或好于Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	劣Ⅴ类	Ⅴ类或劣Ⅴ类	Ⅳ类及劣Ⅳ类	方法
2000	33.75	47.44	12.65	6.16	18.81	66.25	1
	29.59	52.87	16.97	0.58	17.55	70.41	2
	59.51	7.43	32.89	0.17	33.06	40.49	3
	35.65	40.56	11.64	12.15	23.79	64.35	Mike 11-WQ
2001	39.01	40.01	17.46	3.52	20.98	60.99	1
	49.85	24.22	25.93	0.00	25.93	50.15	2
	55.17	9.63	35.20	0.00	35.20	44.83	3
	32.38	43.16	17.69	6.77	24.46	67.62	Mike 11-WQ
2002	57.36	29.96	9.18	3.50	12.68	42.64	1
	53.93	41.58	3.92	0.56	4.49	46.07	2
	96.21	3.23	0.00	0.56	0.56	3.79	3
	50.21	30.14	10.26	9.39	19.65	49.79	Mike 11-WQ
2003	82.11	15.26	0.87	1.77	2.63	17.89	1
	74.89	23.16	1.05	0.91	1.95	25.11	2
	85.55	13.06	0.00	1.39	1.39	14.45	3
	77.26	13.22	3.31	6.21	9.52	22.74	Mike 11-WQ
平均	53.06	33.17	10.04	3.74	13.78	46.94	1
	52.06	35.46	11.97	0.51	12.48	47.94	2
	74.11	8.34	17.02	0.53	17.55	25.89	3
	48.88	31.77	10.73	8.63	19.36	51.13	Mike 11-WQ

3 有关问题讨论

a. 分质水量评价需要能反映水质时空变化的资料,目前已经应用的代表河长法、代表断面法和代表面积法等,可在一定程度上解决水质资料的空间代表性问题,如对于水功能区中的河流可用代表河长法或代表断面法,对湖泊、水库或水网区可用代表面积法,问题的核心是需要研究现有水质监测断面的代表性以及能够代表多少河长或面积。根据本课题的研究,在当前情况下水质资料的时间代表性问题,可从两个方面解决 ①利用水质模型模拟水质过程。核心是模型的建立与模型参数的率定,方法本身相对较成熟,仍然是资料问题 ②利用不同部门现有的资料,如监测站以及降水径流资料等,针对具体

的流域或区域,研究不同监测频次资料之间的关系或特定时段(汛初、非汛期等)影响水质变化的主要因素(入河排污量、降水量、河道流量或蓄水量等)的变化规律与水质的关系等。核心是现有水质资料的有效利用和分质水量评价结果的可靠程度问题。

b. 水质与入河污染物、水量的关系复杂,研究水质变化规律需要探讨的问题还很多,且需要足够的系统监测资料支持。

c. Mike 11-WQ 模型本身对水动力学条件和影响水质的各种过程考虑得比较周到,如果资料条件允许,可以用于分质水量评价,在一定程度上可以弥补目前实测水质资料时间代表性的不足。

d. 蚌埠闸上逐日实测水质和流量资料分析表明,分质水量评价时,水质类别不宜分得太细,在目前大部分地区每月监测1次水质的情况下,可以将水质概化为两大类或三大类,即Ⅲ类或好于Ⅲ类、劣Ⅲ类,Ⅲ类或好于Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类为宜。

e. 为进一步研究分质水量的评价方法,需要加强入河污染物的监测时机与频次、面污染源的估算方法、非汛期河道流量预测预报方法、不同水流条件下水质与水量的关系研究、闸控河段水质的变化规律分析等研究。可以选择一些典型流域,开展深入的实验研究,以详细、系统的观测资料分析水质的变化规律,探讨分质水量的评价方法。

参考文献:

- [1] 方子云. 水资源保护工作手册[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988.
- [2] 王同生, 朱威. 流域分质水资源量的供需分析[J]. 水利规划与设计, 2002(4): 31~33.
- [3] 谭炳卿, 张国平. 淮河流域水质管理模型[J]. 水资源保护, 2001(3): 15~18.

(收稿日期 2005-04-19 编辑: 傅伟群)

《河海大学学报(哲学社会科学版)》征订启事

(CN32-1521/C, ISSN1671-4970, 季刊, 自办发行)

本刊以马列主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导,坚持实事求是的思想路线,贯彻“双百”方针,弘扬时代主旋律,理论联系实际,为社会主义物质文明与精神文明建设服务。

本刊为哲学与社会科学类学术期刊,主要刊登哲学、政治学、文学、史学、语言学、法学、社会学、心理学、经济学、管理学、高等教育学等社会科学方面的研究成果、学术论文、综述等学术性文章。本刊可供上述有关专业的研究人员、管理人员和大专院校师生阅读与参考。本刊为中国学术期刊(光盘版)入编期刊与中国学术期刊网入编期刊。

本刊由河海大学主办,每季末出版,国内外公开发行,每本定价5元,每本邮费1元,全年订费24元。欢迎广大读者直接向编辑部订阅。联系地址:南京市西康路1号《河海大学学报(哲学社会科学版)》编辑部,邮政编码210098,联系电话(025)83786376。