

钱塘江流域水环境容量研究

王亚红 , 劳国民 , 黄志珍

(浙江省水文局 , 浙江 杭州 310009)

摘要 通过钱塘江流域水质及污染物现状负荷量调查评估 , 提出主要超标因子和污染特征 , 建立相关模型 , 对流域的水环境容量进行分析研究 , 尤其是对感潮河段提出了新的组合模型 , 并采用水流水质耦合模型进行模型验证和成果复核。最后分别给出在不同设计水文条件下的 COD 和氨氮的水环境容量。

关键词 钱塘江 , 水环境 , 水功能区 , 容量 , 计算方法

中图分类号 : X26 ; P333.9 文献标识码 : A 文章编号 : 1004-693X(2008)S1-0030-04

1 流域水资源现状

钱塘江是浙江省第一大河 , 发源于安徽省休宁县 , 流域总面积 55 558 km² , 浙江省境内面积 48 080 km² , 占全省土地面积 40.5% , 干流长 605 km。流域水资源总量为 388.57 亿 m³ , 其中河川径流量为 387.06 亿 m³ , 流域径流系数 0.58 , 产流模数 91.6 万 m³/km²。据 2005 年对钱塘江水系中 1 166.8 km 河段的水质进行监测评价 , 属地表水水质 I ~ III 类河长 470.6 km , 占 40.3% ; 属 IV 类水的河长 275.7 km , 占 23.6% ; 属 V 类水的河长 194.6 km , 占 16.7% ; 属劣 V 类水的河长 225.9 km , 占 19.4%。主要超标项目为氨氮、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、总磷、氟化物、挥发酚及汞。同年全流域总用水量为 81.65 亿 m³ , 其中农田灌溉 35.98 亿 m³ , 占 44.1% ; 林牧渔业 6.33 亿 m³ , 占 7.7% ; 工业 27.68 亿 m³ , 占 33.9% ; 城镇公共 2.17 亿 m³ , 占 2.6% ; 城乡居民生活 6.21 亿 m³ , 占 7.7% ; 生态 3.29 亿 m³ , 占 4.0%。全流域年水资源利用率为 26.3%。

2 水环境容量研究主要内容和技術路线

以浙江省境内区域为研究范围 , 包括杭州、绍兴、金华、衢州、丽水 5 个市的 23 个县级行政区。钱塘江杭州湾河段不在研究范围内。研究指标因子为 COD 和 NH₃-N , 研究内容包括流域水质调查与评价、污染源调查与污染负荷研究、水文分析与设计流量的确定、水环境容量分析及结果复核。



图 1 钱塘江流域水系
研究技术路线如图 2 所示。

3 水功能区水质评价及污染负荷分析

3.1 水质评价

钱塘江流域共划分的水功能区 267 个 , 占全省水功能区的 23.6% , 水功能区水质目标以 II、III 类为主 , 其中 I 类功能区 6 个 , II 类 116 个 , III 类 144 个 , IV 类 1 个。水功能区目标水质达标率分别为高锰酸盐指数 73.4% , 氨氮 37.5%。

分析钱塘江水系近 10 年来的水质总体状况 , 2001、2004、2005 年 I ~ III 类水比例低于 50% , 其余年份 I ~ III 类水基本保持在 60% 左右。但整体发展趋势是 I ~ III 类水比例缓慢下降 , IV ~ 劣 V 类水

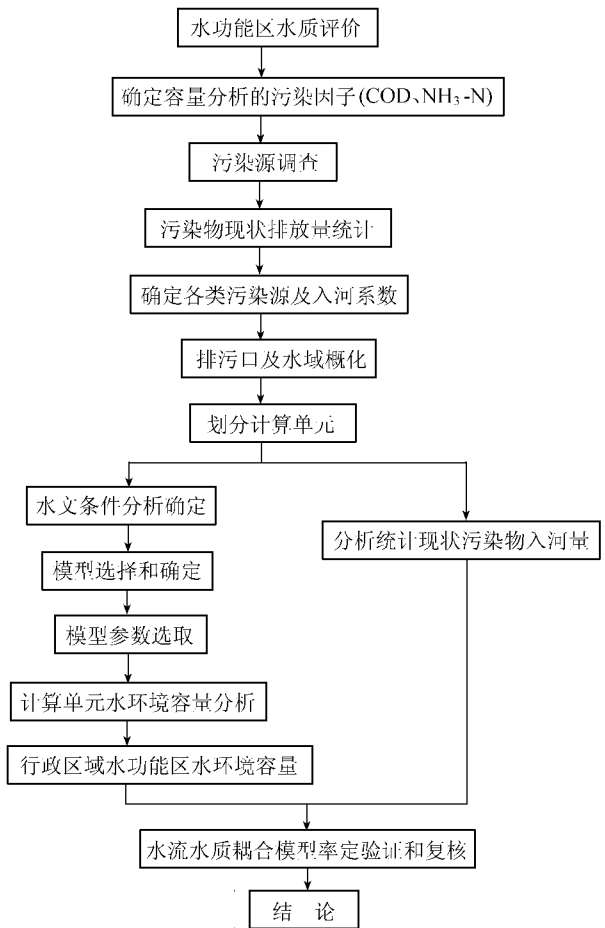


图2 钱塘江流域水环境容量分析技术路线

比例缓慢上升。2004~2006年,钱塘江水域发生了罕见的蓝藻“水华”现象。分析近4年钱塘江水系水质监测超标因子,主要是氨氮、总磷和高锰酸盐指数。超标最严重的区域为钱塘江的支流南江、东阳江、金华江和武义江,其次是衢江和兰江等。

3.2 污染负荷分析

通过重点工业污染源、城镇集中污水处理厂、生活污染源、畜禽养殖、农田面源、城市径流污染等调查并分类汇总,采用源强系数、排放率和入河系数,计算各污染源的排放量和入河量。钱塘江流域COD排放量为356534t,入河量为264013t,氨氮的排放量和入河量分别为60577t和36901t(表1)。工业是流域最主要的污染源,分别占到COD排放量和入河量的43%和57%,占到氨氮排放量和入河

量的34%和53%。

从市级行政区来看,杭州(不含太湖流域部分)所占污染物入河量的比例最大,其COD年入河量为121942t,占COD总入河量的46%,氨氮年入河量为13054t,占到氨氮总入河量的35%。各市COD和氨氮排放量和入河量见表2。

表2 钱塘江流域市级行政区现状污染负荷状况

市级行政区	COD			NH ₃ -N		
	排放量/ (t·a ⁻¹)	入河量/ (t·a ⁻¹)	比例/ %	排放量/ (t·a ⁻¹)	入河量/ (t·a ⁻¹)	比例/ %
杭州	152912	121942	46.2	16149	13054	35.4
金华	82908	65962	25.0	10667	8496	23.0
衢州	105504	70709	26.8	22992	11516	31.2
丽水(缙云和遂昌)	4278	1977	0.7	2554	1051	2.8
绍兴(诸暨)	10932	3423	1.3	8215	2784	7.5
合计	356534	264013	100	60577	36901	100

4 水环境容量分析研究

4.1 计算单元划分

水环境容量计算单元采用节点划分法。先根据流域自然特征进行河流概化,然后综合考虑大中城市及重要工业区、生活区等敏感区域或断面及水文节点,将每个水功能区的河道划分为若干较小的计算单元进行水环境容量计算。划分计算单元的原则为①水陆统筹考虑;②不跨水功能区划;③不跨县级行政区范围;④根据流域自然特征及行政区域范围划定计算单元陆域范围。

在流域概化和水功能区范围划定的基础上,结合概化后的点污染源位置和控制断面进行计算单元的划分。点污染源的概化方式为:将污水排放流量较大的排污口作为独立的排污口处理;其他排污口简化,把多个排污口简化成集中的排污口,如图3所示。

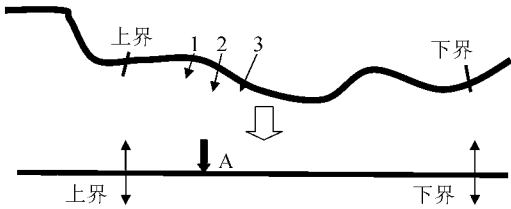


图3 排污口概化示意图

表1 钱塘江流域现状污染负荷状况

源类别		COD				NH ₃ -N			
		排放量/(t·a ⁻¹)	比例/%	入河量/(t·a ⁻¹)	比例/%	排放量/(t·a ⁻¹)	比例/%	入河量/(t·a ⁻¹)	比例/%
点源	工业	152536	42.8	150425	57.0	20641	34.1	19684	53.3
	生活	82085	23.0	59782	22.6	7657	12.6	4406	11.9
	规模化养殖	18016	5.1	17716	6.7	2713	4.5	2413	6.5
	点源小计	251483	70.5	227923	86.3	31011	51.2	26503	71.8
面源		105050	29.5	36090	13.7	29566	48.8	10398	28.2
总计		356534	100	264013	100	60577	100	36901	100

示,1号、2号、3号排污口可合并为1个排污口A。

排污口概化的重心计算:

$$X = (Q_1 C_1 X_1 + Q_2 C_2 X_2 \dots + Q_n C_n X_n) / (Q_1 C_1 + Q_2 C_2 \dots + Q_n C_n)$$

式中: X 为概化的排污口到功能区划下断面或控制断面的距离, m ; Q_n 为第 n 个排污口(支流口)的水量, m^3 ; X_n 为第 n 个排污口(支流口)到功能区划下断面的距离, m ; C_n 为第 n 个排污口(支流口)的污染物质量浓度, mg/L 。

依据上述概化后流域、功能区范围和概化后污染源的位置,将钱塘江流域划分为426个计算单元。

4.2 设计水文条件

通常江河功能区采用90%保证率最枯月平均流量作为设计流量;湖泊水库采用90%保证率最低月平均水位相应的槽蓄水量;平原河网采用90%保证率最低月平均水位相应的蓄水量。以此设计水文条件偏严格,造成水功能区水环境容量较小,按此进行污染物总量控制,对目前社会经济的发展会有明显制约。结合钱塘江流域实际情况,水环境容量研究的设计水文条件采用90%、75%两个保证率进行计算比选。

4.2.1 江河设计流量和流速的确定

以钱塘江流域16个水文代表站不同保证率长系列日平均流量及控制集水面积为样本,建立设计流量与集水面积的相关关系。其公式为

$$\lg(Q) = a \lg(S) - b$$

式中: S 为积水面积, km^2 ; Q 为流量, m^3/s ; a 、 b 为系数。

河流控制断面的实测流量与断面平均流速有如下指数关系:

$$U = cQ^d$$

式中: U 为断面平均流速, m/s ; Q 为断面流量, m^3/s ; c 、 d 为系数。

综合分析确定系数 a 、 b 、 c 、 d ,分别作为推算各个水功能区流量和河流流速的依据。实际计算时,根据各功能区集水面积求得相应的设计流量,计算所得的流量与实测流量进行验证。将分析计算的各功能区设计流量进行上、下游及相邻流域的合理性分析,最后确定设计流量成果。

4.2.2 感潮河段设计水量的确定

钱塘江的河口段受潮汐影响较大,感潮河段设计流量除上游来水外,还应包括潮流量。计算其长系列月平均潮差和潮量,对照上游来水流量的保证率,确定对应的设计潮量,与上游来水叠加作为计算水文条件。

4.2.3 湖泊、水库和平原河网的水文设计条件

湖泊水库采用90%、75%保证率最低月平均水相应的蓄水量。由于河网的计算方式与湖泊和水库相同,分别选取各河网水位代表站,统计长系列75%、90%保证率最低月平均水位,根据各河网的水位~槽蓄量关系,得出各平原河网不同保证率的蓄水量。

4.3 计算模型选择

钱塘江以山区性河流为主,富春江以下则为感潮河段,潮差大,属强潮汐河口。因此钱塘江流域水环境容量分析计算中,山区性河流选用一维均匀混合模型(河宽较大的区域选择结合不均匀系数);感潮河段选择组合混合模型结合不均匀系数计算;湖库和河网采用零维模型计算,并用不均匀系数校正。

a. 山区性河流:一维均匀混合模型

$$\frac{dc}{dt} = -Kc$$

因 K 和 u 为常数,积分得:

$$C = C_0 \exp\left(\frac{KL}{u}\right)$$

污染物一般沿河岸分多处排放的,每一河段内可能存在多个污染源,采用概化的方法,即认为污染物排放口在同一功能区内沿河均匀分布,污染源分布是一种平均状况;混合过程也假定在排污口断面瞬时完成均匀混合。假定一段河流,污染源考虑在同一功能区内沿河均匀分布,则可得如下公式:

$$W = 31.536\alpha(C_S - C_0 \exp(-KL/U)) \{ QKL/U \} (1 - \exp(-KL/U))$$

式中: W 为水环境容量, t/a ; C_S 为下断面污染物浓度, mg/L ; C_0 为上断面来水污染物浓度, mg/L ; K 为污染物降解系数, $1/s$; L 为河段长度, m ; U 为设计流速, m/s ; Q 为设计流量, m^3/s ; α 为不均匀系数。

b. 湖泊和水库:零维模型

$$W = 31.536\alpha[Q_0(C_S - C_0) + KVC_S/86400]$$

式中: Q_0 为进口断面的入流流量, m^3/s ; V 为水体体积, m^3 ;其余字母同上式含义。

c. 平原河网:零维模型

采用零维模型计算整个河网的水环境容量,再按河长分配到每个水功能区,公式如下:

$$W_{\text{河网}} = 31.536KVC_S$$

$$W_{\text{功能区}} = l/LW_{\text{河网}}$$

式中: $W_{\text{河网}}$ 为整个河网的纳污能力, t/a ; V 为整个河网槽蓄量, m^3 ; $W_{\text{功能区}}$ 为功能区水环境容量, t/a ; C_S 为水体污染物浓度, mg/L ; l 为功能区河长, m ; L 为整个河网功能区总河长, m 。

d. 感潮河段组合模型

感潮河段水量由上下游泄水量和下游涌潮量组成 ,河段水环境容量由两部分组成 ,上游来水环境容量按照山区性河流一维模型计算 ;潮水量水环境容量采用零维模型计算。计算公式如下 :

$$W = 31.53 \left[(C_s - C_0 \exp(-KL/U)) \right] (QKL/U) / (1 - \exp(-KL/U)) + \alpha KVC_s]$$

式中 : V 为潮水量 , m^3 ;其余字母含义同上。

4.4 水环境容量结果

运用上述研究分析 ,得出钱塘江流域 COD 和氨氮的容量及各相关市级行政区域的容量和污染负荷 ,见表 3。研究表明 ,容量结果较大的区域主要集中在干流区域 ,如杭州的富阳、建德及衢州市区等区域 ,这与干流的流量较大有关 ,流域的上游区域 ,由于流量较小和较多的保护区、保留区和饮用水源区 ,容量结果相对较小。各行政区的容量、污染负荷和现状水质的关系基本符合容量核定的要求。

表 3 钱塘江流域容量研究结果

市级行政区	水环境容量/(t·a ⁻¹)			
	P = 90%		P = 75%	
	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N
杭州	162 580	5 731	190 386	7 033
金华	29 859	881	37 106	1 107
衢州	39 486	1 143	47 802	1 430
丽水	9 827	349	12 970	523
绍兴	8 091	252	9 714	307
合计	249 843	8 356	297 978	10 400

5 水流水质耦合模型验证和复核比较

模型验证和复核比较的范围界定为富春江电站以下至闸口河段 ,包括钱塘江干流富春江 ,以及一级支流浦阳江、分水江。模型采用二维耦合的水流水质模型。

5.1 数模验证

采用河道概化、水文边界概化、水质边界概化、污染源概化等形式 ,选用 2004 年水文、水质原始资料和数据录入模型进行计算验证。选择桐庐、窄溪、富阳、闻家堰水文站作为水位验证站。窄溪、富阳、闻家堰水位过程计算值和实测值基本一致 ,桐庐站低水位基本吻合。

以桐庐、窄溪、富阳、闻家堰水质监测断面作为水质验证断面。各水质验证断面水质指标 COD_{Mn}、NH₃-N 的计算值与实际监测值吻合较好 ,变化趋势基本一致。

通过水流、水质的数值模拟和验证表明 ,本文所建立的数学模型基本能够反映钱塘江河道的实际情

况 ,水流和水质计算验证结果合理可靠 ,该模型可用于钱塘江流域设计水文条件、设计污染源条件下的水环境容量以及水质预测和影响分析。

5.2 污染物削减与水环境容量分析

针对复核验证河段现状污染负荷和各河段水质污染程度 ,拟采取如下污染负荷削减方案(表 4)。

表 4 复核验证河段(富春江电站以下流域)污染负荷方案

河流	COD 削减方案/(t·a ⁻¹)			NH ₃ -N 削减方案/(t·a ⁻¹)		
	现状负荷	25%	50%	现状负荷	25%	50%
富春江桐庐段	2 030	1 523	1 015	130	98	65
富春江富阳段	37 970	28 478	18 985	1 235	926	618
富春江杭州段	1 567	1 175	784	353	265	177
分水江	8 174	6 131	4 087	676	507	338
浦阳江	18 447	13 835	9 223	2 026	1 520	1 013
合计	68 188	51 142	34 094	4 420	3 316	2 211

6 结 语

a. 钱塘江流域主要的污染指标为氨氮和总磷 ,其次是化学需氧量。主要污染区域集中 ,为东阳江、南江、金华江、江山港等 ,其次钱塘江干流、兰江、富春江、武义江等。

b. 通过现状污染负荷研究 ,钱塘江流域 COD 的年排放量和入河量分别为 356 534 t 和 264 013 t ,氨氮的年排放量和入河量分别为 60 577 t 和 36 901 t。钱塘江流域最大的污染源是工业源 ,分别占到 COD 和氨氮的入河量的 57% 和 53%。

c. 通过建立的不同水体的容量计算模型和计算参数 ,并在进行计算模型和计算参数验证的基础上 ,得出钱塘江流域 COD 和氨氮的水环境容量为 :在 P = 75% 设计水文条件下分别为 297 978 t/a 和 10 400 t/a ,P = 90% 设计水文条件下分别为 249 842 t/a 和 8 356 t/a。

参考文献 :

[1] 周孝德 ,郭瑾珑 ,程文 ,等 .水环境容量计算方法研究[J].西安理工大学学报 ,1999 ,15(3) :1-6.
[2] 熊风 ,罗洁 .河流水环境容量计算模型分析[J].中国测试技术 ,2005 ,31(1) :116-117 ,126.
[3] 李继选 ,王军 .水环境数学模型研究进展[J].水资源保护 ,2006 ,22(1) :9-14.
[4] 孙卫红 ,姚国金 ,逢勇 .基于不均匀系数的水环境容量计算方法探讨[J].水资源保护 ,2001(2) :25-26 ,44.
[5] 姚国金 ,逢勇 ,刘智森 .水环境容量计算中不均匀系数求解方法探讨[J].人民珠江 ,2000(2) :47-50.

(收稿日期 2007-12-11 编辑 高渭文)