

# 浙江省钱塘江流域生态环境需水量研究

俞超锋, 楼章华, 刘德地

(浙江大学 建筑工程学院 水文与水資源工程研究所, 浙江 杭州 310058)

**摘要:** 从浙江省钱塘江流域现有的水資源开发利用中存在的生态环境问题出发, 探讨了符合钱塘江流域生态环境特点的多年平均适宜生态环境需水内涵, 并在此基础上, 建立了河道内多年平均适宜生态环境需水和河道外多年平均适宜生态环境需水两个部分的计算模型。模型计算结果表明, 钱塘江流域多年平均河道内生态环境需水量为  $1.59 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ , 河道外生态环境需水量为  $6.70 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ , 多年适宜生态环境需水总量为  $2.26 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ 。研究结果可为浙江省钱塘江流域的生态环境保护、水資源的可持续利用以及湿润区生态环境需水研究提供决策依据。

**关键词:** 生态环境; 需水量; 钱塘江流域; 浙江省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0034-07

中图分类号: P333, X171.4

## Eco-environmental Water Requirements in Qiantang River Basin of Zhejiang Province

YU Chao-feng, LOU Zhang-hua, LIU De-di

(Institute of Hydrology and Water Resources, and School of Civil Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China)

**Abstract:** Based on the ecological and environmental problems caused by water resource exploitation in Qiantang River basin, the conception and connotation of annual suitable eco-environmental water requirements in Qiantang River Basin are analyzed. Correspondingly, a computation model is constructed to calculate both channel eco-environmental water requirement and riverside eco-environmental water requirement. Results show that the annual suitable eco-environmental water requirements of channel and riverside are  $1.59 \times 10^{10}$  and  $6.70 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ , respectively. The total annual suitable eco-environmental water requirement amounts to  $2.26 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ . This research provides a scientific basis for eco-environmental protection, exploitation, and utilization of water resources not only in Qiantang River Basin but also in other similar humid basins.

**Keywords:** eco-environmental; water requirement; Qiantang River Basin; Zhejiang Province

河流生态环境需水量研究始于 20 世纪 40 年代, 至 90 年代以前, 国外对生态环境需水量的研究侧重于枯水流量<sup>[1]</sup>和鱼类等生物的生态需水量研究, 20 世纪 90 年代以后, 随着水污染问题的加剧和人类对河流形态的破坏, 研究者开始关注河流生态系统的完整性, 不再局限于河道内生态系统, 开始扩展到河道外生态系统<sup>[2]</sup>。我国目前对生态环境需水量的研究比较活跃, 从水环境和生态系统角度都有不同程度的涉及探讨, 特别是针对不同类型生态环境需水的分类、界定、计算等方面, 研究成果较为丰富<sup>[3-7]</sup>, 但多侧重于干旱半干旱地区流域的生态环境需水<sup>[4,5]</sup>, 对湿润地区流域的生态环境需水研究相对较少, 而湿润地区水质性缺水的问题时有发生, 尤其在干旱年份, 水

环境和生态系统恶化问题突出。本研究以浙江省钱塘江流域生态环境需水量分析为例, 探讨了湿润地区流域适宜生态环境需水的研究方法。

### 1 流域概况

钱塘江是浙江省第一大河, 干流从西向东贯穿皖南和浙北汇入东海。流域地理界于  $118^{\circ}21' - 120^{\circ}30'E$ ,  $29^{\circ}11' - 30^{\circ}33'N$  之间, 跨浙、皖、赣、闽、沪共 5 省市, 流域总面积  $55\,558 \text{ km}^2$ , 其中 86.5% 在浙江省境内, 占浙江省总面积的 47.2%。流域地处我国湿润地区, 流域季风交替明显, 四季分明, 雨量充沛, 属典型的亚热带季风气候, 多年平均年降水量在  $1\,200 \sim 2\,200 \text{ mm}$ , 流域 3—6 月降水丰富, 下游地区由于

收稿日期: 2009-02-18

修回日期: 2009-05-28

资助项目: 浙江省自然科学基金重点项目“基于综合流域管理的风险分析和评价技术研究”(Z5080048)

作者简介: 俞超锋(1983—), 男(汉族), 浙江省杭州市人, 硕士研究生, 主要研究方向为水資源与水环境。E-mail: pottony@gmail.com.

通信作者: 楼章华(1963—)男(汉族), 浙江省东阳市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水資源与水环境。E-mail: iwr@zju.edu.cn.

台风影响在7—9月也有丰富降水,降雨总的分布趋势自西向东北递减,且受地形影响极为显著,山区大于丘陵区,丘陵区大于滨海平原区,在空间上从上游向下游呈递减趋势。流域内集水面积在 $100\text{ km}^2$ 以上的支流有143条,其中浙江省内123条。

随着浙江省社会经济的快速发展,工业化和城市化进程的迅速提高,浙江省钱塘江流域内的水资源供需矛盾日益突出。由于各行业各部门之间对水资源的竞争使用,使得国民经济用水一定程度上挤占生态环境用水,已造成钱塘江流域生态环境问题日益严重。主要表现在:(1)在流域内的平原水网和流经城镇的河段污染十分严重,区域内主要水库湖泊处于富营养—中营养化状态。2004年,富春江水库出现大面积藻类爆发现象。由浙江省及各市水资源公报(1990—2007)分析可知,钱塘江干流水质近几年保持在II, III类水质,上游水质好于下游水质,局部支流的水质较差,为IV, V类水质。污染类型以有机物为主。(2)社会经济用水量的增加,导致下游河道来水量的减少,而由于海平面不断上升,使得咸潮的影响范围不断上溯,直接影响着河口区供水安全。(3)由于水资源短缺,在枯水季节,城镇、工业与农业争水,并最终挤占生态环境需水量。如2003年,流域水资源量不足流域多年平均水资源量的70%,生态环境需水被严重挤占。(4)由于水质下降、大坝等人工建筑物的影响以及挖沙活动的影响,在富春江等江段已经存在鲌鱼等鱼类面临灭绝或形不成渔汛的状况,而大量的围垦又使得鱼类栖息的水域面积迅速减少,即钱塘江入海口缩小,导致潮汐强度增大,对鱼类的正常生长构成威胁,引起生物多样性的下降。

若不考虑流域内生态环境的用水需求而盲目开发利用水资源,必将进一步导致流域内水环境的恶化,加剧水资源的供需矛盾,因此,研究浙江省钱塘江流域生态环境需水量将有利于维护钱塘江河流健康以及实现钱塘江流域的水资源可持续利用,从而为区域内社会经济的可持续发展提供保障。

## 2 生态环境需水量的内涵与范围界定

### 2.1 生态环境需水量定义

目前,对生态环境需水的概念尚无统一的定义和成熟的理论体系。国内外学者从不同尺度和角度进行了探讨研究,提出了许多不同的定义,如生态需水<sup>[8]</sup>、环境需(用)水<sup>[9]</sup>等,并规定了各自不同的范围界限。而国内学者多采纳钱正英等<sup>[10]</sup>从广义和狭义的角度提出的对生态环境需水量的定义。广义生态环境需水为维持全球生物地理生态系统水分平衡所

需用的水,包括水热平衡、水沙和水盐平衡等。而狭义生态环境需水定义为维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量。由于流域生态环境需水包括生物生存发展的生态需水和改善相应环境功能的环境需水两个方面,因此,流域生态环境需水量从狭义上定义为维护生态系统生态平衡和正常发展,保障生态系统水文功能和相关环境功能的所需要消耗的一定水质要求下的水资源总量。

### 2.2 阈值特征与范围界定

生态环境需水的范围从理论上分析,应具有一个阈值区间<sup>[11]</sup>。当现实生态系统的水量—水质处于这一阈值的临界值时,生态系统维持现状,基本稳定;当生态系统的水量—水质介于这一阈值区间时,生态系统将处于良性循环状态;当生态系统的水量—水质小于最小生态环境需水量或大于理想环境需水量时,都会导致生态系统出现退化衰败状态<sup>[12]</sup>。阈值区间的两个临界值就是最小生态环境需水量和最大生态环境需水量,阈值区间为适度生态环境需水量。所以一般等级可分为最大、适宜、最小3个等级。

## 3 生态环境需水量的计算模型

钱塘江流域虽处于我国南方湿润地区,水资源总量较为丰富,但由于水资源时空分布不均,污染物排放量大,降低了水质,特别是在枯水季节或枯水时段,极有可能发生由于国民经济供水不足而挤占生态环境需水量的状况,从而恶化流域内的生态环境,为此,根据钱塘江流域水资源特点,对浙江省钱塘江流域生态环境需水量的计算采用多年平均适宜生态环境需水量,研究内容包括河道内生态环境需水和河道外生态环境需水两个部分。其中河道内生态环境需水包括维持河道内生物栖息地、改善河道、维持水沙平衡和防治咸潮入侵等几个方面;河道外生态环境需水主要由天然植被、湿地、城市等生态环境需水几个部分组成,其构成如图1所示。数据主要来源于浙江省统计年鉴(1990—2007)与流域各市水资源公报和环境质量公报(1998—2007)。由于生态需水各个部分所涉及的对象和包含的内容不同,各自计算方法也不一致(表1),在综合考虑各生态需水组成部分之间的相互关系的基础上,最终给定流域总的生态环境需水量。

### 3.1 河道内生态环境需水计算模型

河道内生态环境需水一直是流域生态需水的主要研究对象,目前国外对于河道内生态需水的估算相对比较成熟,主要有水文指标法、水力学法、综合法和栖息地法等4大类。其中水文标记法有Tennant法<sup>[13]</sup>、枯水频率法(7Q10)<sup>[14]</sup>等;水力学法有湿周法

等;综合法主要有 BBM (building block method)<sup>[15]</sup>法等;栖息地法主要是河道内流量增量法 (instream flow incremental methodology, IFIM)<sup>[16]</sup>等。本研究根据收集的水文资料,采用水文标记法中的 Tennant 法来计算河道内生态环境需水。

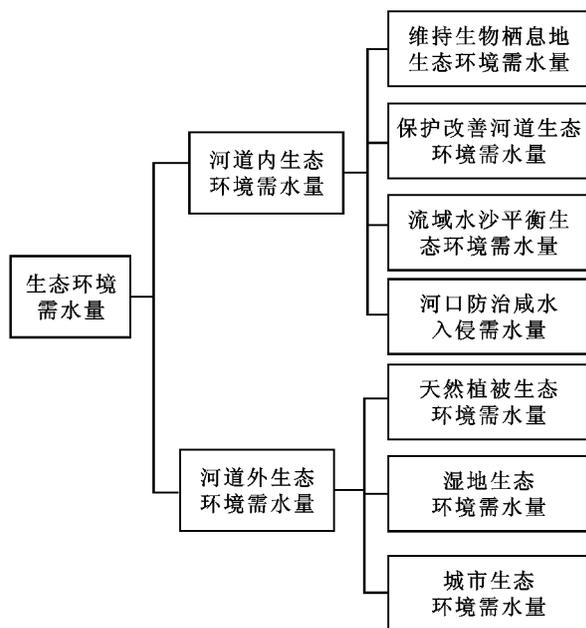


图 1 流域生态环境需水量结构图

3.1.1 维持水生生物栖息地生态环境需水量  
Tennant 法中以天然流量的 10% 确定的生态流量,表示可以维持河道生物栖息地生存的最低标准,30% 表示能维持适宜的栖息地生态系统,60%~100% 表示原始天然河流的生态系统<sup>[9]</sup>。结合水文计算中常用皮尔逊 III 分布,选用钱塘江流域中各水系的代表站历年径流观测资料,在频率为 50% 情况下,确定各保证率下的径流量。

3.1.2 用于保护和改善河道水环境的生态需水量  
钱塘江流域水系主要污染源包括工业污染源、农业面源、生活污染源及畜禽养殖废水排放等,污染物来源主要集中在下游。采用水环境容量公式计算此部分需水量。

3.1.3 流域生态水沙平衡环境需水量  
钱塘江流域的输沙功能主要在汛期完成,把汛期输沙水量作为河流生态环境需水的一部分进行计算。

钱塘江流域的河口水流含沙量较高,径流减少将致使河口淤积,而河口泥沙主要以海域来沙为主,涨潮平均含沙量为 1.2~10 kg/m<sup>3</sup>,落潮平均含沙量 0.4~10 kg/m<sup>3</sup>,因此冲淤平衡的重点是确保大潮期随涨潮上溯的泥沙能在洪水期冲走,且枯水季节或大潮期的淤积量在可承受范围。

表 1 流域生态环境需水量计算公式

需水量类型	公式	解释说明
生物栖息地需水量	$E_p = E(X)(\varphi C_r + 1)$	水文频率曲线求径流量; $E_p$ 为对应频率的年径流量值; $E(X)$ 为年径流量平均值; $C_r$ 为变差系数。
保护改善河道生态需水量	$Q_0 = W(C_s - C_0)(1 + \frac{Q_q}{W})K^{1.7}$	$Q_0$ 为断面环境需水量; $C_s$ 为水质目标; $Q_q$ 为污水排放量; $C_0$ 为上游来水污染物浓度; $W$ 为研究区段内污染物总排量; $K$ 为污染物的综合降解系数,文中取 1。
河道水沙平衡需水量 (分中上游和河口区两部分)	$W_s = S_i / C_{max}^{1.12}$ $\Delta \bar{V} = a - b \ln(\bar{Q}) + c \bar{V}_{71}$	$W_s$ 为输沙用水量; $S_i$ 为年平均输沙量; $C_{max}$ 为多年最大月平均含沙量的平均值 浙江省河口所相关研究得出的复相关方程及相关资料进行计算。 $\Delta \bar{V}$ 为闸口—盐官冲淤变化量; $\bar{Q}$ 为芦茨埠平均流量; $\bar{V}_{71}$ 为闸口—盐官吴淞 7 m 以下河床容积; $a, b, c$ 为相关系数。
河口防治咸水入侵需水	$\Delta Q = [\Delta V_L(S_s - S_E)] / S_s = \lambda V_s$	采用简化的箱式模型 <sup>[18]</sup> 。 $V_s$ 为河口外海滨水体体积系数 $\lambda = (S_s - S_E) / S_s$ ; $\Delta V_L$ 为河口流向海洋的水体体积; $\Delta Q$ 为计算期内河道淡水输入量; $S_s$ 为河口以外海洋水体盐度; $S_E$ 为前一时间步长河口水体盐度。
天然植被生态需水	$EWQ = \sum_{i=1}^12 (W_i + ETQ_i - P_i) \times A = \sum_{i=1}^12 \eta_i \times A$	根据文献 <sup>[9]</sup> 旱地植被生态环境需水的基础上考虑降水量得出; $EWQ$ 为林地年生态环境需水量; $P_i$ 为第 $i$ 月降水额; $W_i$ 为第 $i$ 月林地土壤含水定额; $ETQ_i$ 为第 $i$ 月的林地蒸散额; $A$ 林地面积; $\eta_i = W_i + ETQ_i - P_i$
湿地生态需水	$W_i = \sum_{i=1}^{12} A [ET(i) - P_i]$ $W_{wi} = W / T^{1.19}$	基于文献 <sup>[12]</sup> 采用多年平均月蒸散量和月降雨量得出; $W_i$ 为植物需水量; $ET(i)$ 为第 $i$ 月的蒸散量; $P_i$ 第 $i$ 月降水额; $A$ 为湿地集水面积。 $W_{wi}$ 为湿地(湖泊)水体循环的需水量; $W$ 为湿地(湖泊)多年平均枯水期蓄水量; $T$ 为换水周期。
城市绿地灌溉需水	$W_{灌} = \omega \times Q_i^{1.19}$	$W_{灌}$ 为城市灌溉需水量; $\omega$ 为城市绿地面积; $Q_i$ 为绿地平均需水定额。

3.1.4 河口区防治咸潮入侵的需水量 钱塘江流域的河口段氯度变化较大,11月到次年2月由于潮汐小且河道淤积,4—7月上旬因径流量较大,这两个时段受咸水入侵的影响均较小。由于7—10月份咸潮直接影响河口区附近的取水口,给河道外用水造成困难,因此,为防止和缓解咸潮对河口区取水口的影响,需将河道内的生态环境需水维持在一定的水平。

### 3.2 河道外生态环境需水计算

3.2.1 天然植被生态需水 在钱塘江流域陆地植被生态环境需水量研究中,主要考虑天然林地的需水情况。土壤含水量是林地生态系统的蓄水库,林地蒸散量是生态系统水分消耗项,也是林地生态环境需水的主要组成部分。钱塘江流域与西北干旱地区不同,降雨丰沛,所以在实际计算中将林地多年平均月蒸散量、土壤含水定额与多年平均月降水量的差值换算成定额<sup>[1]</sup>加以计算。

3.2.2 湿地生态环境需水 湿地生态需水主要包括植物需水量和湿地生物栖息需水量。植物需水量包括植物同化过程耗水和植物体内包含的水分,蒸腾耗水、湿地植株表面蒸发耗水以及土壤蒸发耗水。其中蒸腾耗水和土壤蒸发占植物需水量的99%<sup>[19]</sup>,所以植物需水主要计算蒸散量。在实际计算中,将湿地多年平均月降水量与湿地多年平均月蒸散量的差额来计算湿地植物需水量。

野生生物栖息地需水量是鱼类、鸟类等栖息、繁殖需要的基本水量,为避免与湿地植物需水量的重复,主要计算湿地地表以上需水量,通过换水周期法来计算。

3.2.3 城市生态环境需水 城市生态环境需水主要包括城市绿地生态环境需水量和城市河湖生态环境需水量。

城市绿地生态环境需水量主要是绿地绿化灌溉需水。城市河湖生态环境需水量主要包括水面蒸发需水量、换水需水量、河道输水损失量、渗漏需水、水体自身存在的需水量、河道基流量等。为避免与河道内需水的重复计算,钱塘江流域中这部分水量主要计算城市湖泊换水需水量部分,采用换水周期法计算。

### 3.3 计算原则

河道内生态环境需水量的确定遵循生态优先原则,兼容性原则,最大值原则,等级制原则<sup>[19]</sup>。从维系生态系统平衡角度,由于不同区域生态需水量的组成依据地理位置、水资源量和水质,时空分布等有所差别,并不是对上述各项需水量的简单相加,而是根

据相互制约关系和需维持的基本生态功能目标及耦合效应来确定流域环境生态需水量。

## 4 钱塘江流域生态需水量计算

### 4.1 钱塘江流域河道内生态环境需水量

4.1.1 河道内各部分生态需水量 根据3.1中对河道内生态需水量计算方法的分析,分别对钱塘江流域各主要河道的生态环境需水量进行计算,结果见表2。其中稀释自净需水量以水质目标为约束条件,选取河流主要污染指标COD,设定相应河段水质控制目标,对钱塘江流域各河段分段进行生态环境需水量计算。确定水质控制目标分两种方案:新安江、兰江、富春江、钱塘江、常山港、江山港、衢江、金华江、浦阳江等河段为II类水和III类水两种方案,曹娥江由于水质较差,控制为IV类水。乌溪江、分水江水质较好,此部分不做计算。

#### 4.1.2 河口区输沙需水量和防治咸潮入侵的需水量

根据钱塘江河口区对径流改变带来河道淤积的承受能力来确定维持钱塘江河口泥沙冲淤平衡的需水量。河口区多年平均河床容积为 $4.41 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,以此作为河流冲淤平衡的容积,则闸口至盐官冲淤变化量为0,计算出不使河床发生淤积的平均流量 $989.86 \text{ m}^3/\text{s}$ 。枯水期,河床容积量最小,闸口至盐官江段吴淞7 m水位以下枯季实测江道最小容积为 $2.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (发生在1979年),由于已在1997—2002年间钱塘江河口两岸建成标准塘,可允许一定程度的江道淤积和洪水位抬高。枯水期容积减少量要求控制在 $2.00 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ 之内(即河床最小容积不得小于 $2.33 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ )。则闸口至盐官冲淤变化量为 $2.08 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,使枯水期河口泥沙淤积为允许最大状态,河床容积达限值标准要求,计算出枯水期平均流量为 $151.97 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

钱塘江属强潮河口,抗咸流量与七堡每汛(15 d)最大潮差的关系密切。假定河口水体混合均匀,在河口处淡水的盐度假定为0。

以7月初的钱塘江江道容积大小为依据,计算出七堡断面7—10月不同的抗咸需水流量为180~280  $\text{m}^3/\text{s}$ ,此条件下,基本上可以保证珊瑚沙取水口水质满足工业用水要求(氯度小于250  $\text{mg}/\text{L}$ ),否则会出现江水氯度超标。

### 4.2 河道外生态环境需水

4.2.1 天然植被生态需水 钱塘江流域4市林地蒸散量计算结果见表3。

表 2 河道内生态环境需水量计算结果

10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a

河流	多年平均 径流量	维持生物栖息地需水量(频率为 50% 的年径流量)			稀释自净水量		输沙 需水量
		理想(100%)	适宜(30%)	最小(10%)	方案一	方案二	
新安江干流	110.06	127.90	38.37	12.79	25.59	7.81	11.73
兰江干流	188.40	216.58	64.98	21.66	5.76	1.76	142.16
富春江干流	301.00	337.39	101.22	33.74	57.57	17.55	159.14
钱塘江干流	386.40	439.61	131.88	43.96	281.01	85.80	121.97
常山港	43.27	49.50	14.86	4.95	56.41	17.22	17.43
江山港	18.40	21.05	6.31	2.10	12.26	3.74	36.48
乌溪江	29.40	33.49	10.05	3.35	—	—	—
金华江	45.30	51.30	15.39	5.13	55.65	16.99	20.20
衢江	65.90	74.89	22.47	7.49	10.80	3.30	43.06
分水江	31.79	36.60	10.98	3.66	—	—	27.60
浦阳江	24.60	27.78	8.33	2.78	5.75	5.75	6.72
曹娥江	18.03	20.31	6.09	2.03	26.80	26.80	—

表 3 钱塘江流域林地、湿地蒸散需水量和流域城市生态环境需水量

地区	林地(湿地) 面积/10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	林地(湿地)蒸散需水 量/(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	城市绿地 面积/(10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	城市绿地生态环境/需 水量/(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	城市湖泊需水量/ (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )
杭州	115.01	0.09	0.912 0	0.70	1.46
绍兴	45.99	0.55	0.856 3	0.47	—
金华	68.36	5.04	0.601 6	0.53	—
衢州	65.35	12.30	0.231 6	0.21	—
杭州湾	2.08	1.44	—	—	—
千岛湖	0.47	0.30	—	—	—
总计	294.71	17.98	2.601 5	1.91	1.46

4.2.2 湿地生态环境需水 钱塘江流域湿地主要有杭州湾湿地和千岛湖湿地。湿地植被生态需水量见表 3。

杭州湾湿地在入海径流量得到保证的前提下,基本能满足野生生物的正常繁衍所需的水量,因此,可不计入。千岛湖死水位为 86 m,维持千岛湖的最小库容为  $7.57 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ ,千岛湖的换水周期为 715 d,根据 1993—2000 年多年水量平衡分析计算得,千岛湖枯水期出水量为  $2.24 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ ,计算得到千岛湖水体循环的需水量为  $4.38 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

4.2.3 城市生态环境需水 钱塘江流域城市绿地需水量主要包括流域 4 市的公园、街道、工厂企业、机关单位绿化美化所需的水量,为人工供给。流域中河流生态环境需水量主要是西湖换水的需水量。西湖湖泊面积 6.03 km<sup>2</sup>,平均水深 2.00 m,换水周期为 30 d。钱塘江流域城市生态环境需水量的计算结果见表 3。

#### 4.3 综合分析

4.3.1 河道内生态环境需水总量 根据水资源的多

功能性,即河道内水资源需同时满足河道内生态系统用水、输沙用水、稀释净化用水、抗咸需水等方面的需求,因此,表 2 中各河段河道内生态环境需水量按最大需求取值。在取适宜生态需水量的要求下(频率为 50% 的径流流量的 30%),干流水质保持 II 类、III 类两种情况下各江段的主要制约因素和需水量见表 4。

由表 4 可见,各河段在不同水质要求下的制约因子是不一样的,在 II 类水质要求下,主要制约因子是以稀释自净和输沙需水为主,河道内生态需水量在金华江和常山港段需水量超过多年平均需水。其中曹娥江水质较差,要达到控 IV 类水质目标需要约  $2.68 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$  的水资源量,远超过河流的多年平均流量,要控制曹娥江水质只能通过废水减排和控制污染源来实现。在 II 类水质要求下,河道内生态需水量的主要制约因子是生物栖息地需水和输沙需水,除曹娥江外各河段需水量都在多年平均流量范围内。钱塘江段(东江嘴至激浦)的来水量(平均流量  $1\,225.27 \text{ m}^3/\text{s}$ )能满足河口区枯水期输沙和 7—10 月抗咸需水。

在保证钱塘江流域中干流 II 类以上水质, 当生物栖息地需水取河道径流的 30% 的情况下, 可用河道内生态环境需水最大的富春江河段来表示干流的适宜河道内生态环境需水量, 即  $1.59 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ 。

4.3.2 河道外生态环境需水量 钱塘江流域陆地天

然植被生态环境需水量研究中, 主要考虑了天然林地的需水情况, 钱塘江流域湿地植物需水主要考虑植被的蒸散发量。钱塘江流域降水丰沛, 时空分布不均, 对河道外的生态环境需水影响较大。流域 4 市多年平均月降水量与蒸散发量的差值( $\eta$ 值)见表 5。

表 4 各江段生态需水量

江段	主要制约因素		生态环境需水量	
	II 类水质	III 类水质	II 类水质/ ( $10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ )	III 类水质/ ( $10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ )
新安江干流	生物栖息地需水	生物栖息地需水	38.37	38.37
兰江干流	输沙需水	输沙需水	142.16	142.16
富春江干流	输沙需水	输沙需水	159.14	159.14
钱塘江干流	稀释自净需水	生物栖息地需水	281.01	131.88
常山港	稀释自净水量	输沙需水	56.41	17.43
江山港	输沙需水	输沙水量	36.48	36.48
乌溪江	生物栖息地	生物栖息地需水	10.05	10.05
金华江	稀释自净需水	输沙需水	55.65	20.20
衢江	输沙需水	输沙需水	43.06	43.06
分水江	输沙水量	输沙水量	27.60	27.60
浦阳江	生物栖息地	生物栖息需水	8.33	8.33
曹娥江	稀释自净需水	稀释自净需水	26.80	26.80
河口区	枯水期输沙需水		151.97 $\text{m}^3/\text{s}$	
	7—10 月抗咸需水		180~ 280 $\text{m}^3/\text{s}$	

表 5 钱塘江流域多年平均月  $\eta$  值

地区	$\eta$ 值											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
杭州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00
绍兴	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.85	0.00	0.00	0.55	0.00	0.55
金华	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.02	29.52	2.62	9.32	9.22	0.00
衢州	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.63	63.93	45.53	21.93	13.93	4.33

注: 当  $\eta > 0$ , 表示该月多年平均降水量不能满足蒸散发量;  $\eta < 0$ , 表示该月多年平均降水满足蒸散发量,  $\eta$  值取 0。

由表 5 可知, 在钱塘江流域这样湿润的地区, 丰水期 3—6 月的月降水量 (140~ 330 mm) 大于流域林地的月蒸散量 (40~ 120 mm), 这几个月林地蒸散量基本可不计。

在 7—9 月, 流域蒸散量强烈, 上游地区受台风影响较小, 月蒸散量较大 (130~ 205 mm) 降水量 (110~ 180 mm) 不足以满足蒸散发的需求, 在枯水期 10—12 月, 降水少, 也略有不足。

1—2 月由于温度较低, 光照较短, 蒸散量 (30~ 40 mm) 较小, 少于降水量。因此, 林地生态需水量主要集中在非丰水期, 这与西北干旱半干旱地区全年性缺水状况有较大区别, 且主要集中在上游金华地区和衢州地区。钱塘江流域 4 市自然植被总的生态需水

量为  $1.80 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

钱塘江流域主要湿地杭州湾和千岛湖湿地植被蒸散需水量为  $1.74 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。湿地野生动物栖息地生态需水量为千岛湖湿地水体循环的需水量  $43.80 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。因此, 湿地总的生态环境需水量为  $4.54 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

流域城市生态环境需水中 4 市绿地灌溉总需水量为  $1.91 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 城市河湖生态环境需水量为杭州市西湖的换水量  $1.46 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 所以钱塘江流域 4 市城市生态需水总量为  $3.37 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

综上所述, 钱塘江流域生态环境需水总量为  $2.26 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ , 其中河道外生态环境需水总量为  $6.70 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

## 5 结论

(1) 钱塘江流域地处我国湿润地区, 水资源丰富, 但存在水质污染现象, 在平水期和枯水期水环境问题严重, 造成不同程度水质性缺水 and 生态问题。

本文从研究区生态环境的完整性和系统性出发, 建立了流域生态环境需水量计算模型, 开展生态环境需水量研究, 为湿润地区环境保护、水资源合理配置提供了借鉴。

(2) 湿润地区生态环境需水量的界定和分析, 将促使人们不断改善原有的生产、生活方式及水资源开发利用模式, 在预留、保证生态环境需水的前提下开发利用水资源, 使湿润地区水资源得以持续健康发展。但湿润地区流域生态环境需水量的计算中各生态环境需水量之间如何更加合理地耦合需进一步完善。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] McMahon T A, Arenas A D. Methods of computation of low streamflow [ C ]// Paris: UNESCO Studies and reports in hydrology, 1982: 107.
- [ 2 ] 赵西宁, 吴普特, 王万忠, 等. 生态环境需水研究进展 [ J ]. 水科学进展, 2005, 16( 4 ): 617-622.
- [ 3 ] 丛沛桐, 王瑞兰, 李艳. 南方暖湿地区河流生态环境需水量估算 [ J ]. 水土保持通报, 2007, 27( 1 ): 43-46.
- [ 4 ] 满苏尔·沙比提, 李艳红, 阿里木·卡斯木. 新疆渭干河—库车河三角洲绿洲天然植被生态需水研究 [ J ]. 干旱区资源与环境, 2008, 22( 4 ): 51-55.
- [ 5 ] 马乐宽, 刘国彬, 李天宏, 等. 流域生态环境需水与缺水快速评估 ( II ): 应用 [ J ]. 水利学报, 2008, 39( 19 ): 1154-1159.
- [ 6 ] 赵长森, 刘昌明, 夏军, 等. 闸坝河流河道内生态需水研究: 以淮河为例 [ J ]. 自然资源学报, 2008, 23( 3 ): 400-411.
- [ 7 ] 王强, 刘静玲, 杨志峰. 白洋淀湿地不同时空水生植物生态需水规律研究 [ J ]. 环境科学学报, 2008, 28( 7 ): 1447-1454.
- [ 8 ] Covich A. Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources [ M ]// Peter H G. Water and ecosystems. New York: Oxford University Press, 1993: 40-55.
- [ 9 ] 杨振怀, 崔宗培, 徐乾清, 等. 中国水利百科全书 [ M ]. 第二卷. 北京: 水利电力出版社, 1990: 853.
- [ 10 ] 中国工程院中国可持续发展水资源项目组. 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, 2002: 29-33.
- [ 11 ] 田英, 杨志峰, 刘静玲, 等. 城市生态环境需水量研究 [ J ]. 环境科学学报, 2003, 23( 1 ): 100-107.
- [ 12 ] 王雁林, 王文科, 杨泽元. 陕西省渭河流域生态环境需水量探讨 [ J ]. 自然资源学报, 2004, 19( 1 ): 69-78.
- [ 13 ] Tennant D L. Instream flow regimes for fish. Wildlife, recreation and related environmental resources [ J ]. Fisheries, 1976, 1( 4 ): 6-10.
- [ 14 ] Caissie D, EL-Jabi N, Bourgeois G. Instream flow evaluation by hydrologically-based and habitat preference (hydrobiological) techniques [ J ]. Revue des Sciences de l'Eau, 1998, 11( 3 ): 347-363.
- [ 15 ] King J, Louw D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology [ J ]. Aquatic Ecosystem Health & Management, 1998( 1 ): 109-204.
- [ 16 ] YenChang Chen, Jen Yang Lin, Eric Hsienshao T sao. et al. Minimum flow estimated by the froude number [ C ]// Anchorage, AK, United States: 2005 World Water and Environmental Resources Congress, 2005: 135.
- [ 17 ] 高建磊, 吴泽宁, 左其亭, 等. 水资源保护规划理论方法与实践 [ M ]. 河南: 黄河水利出版社, 2002: 54-63.
- [ 18 ] 林洪瑛, 韩舞鹰. 南海溶解氧通量的初步研究 [ J ]. 海洋与湖沼, 1998, 29( 1 ): 61-66.
- [ 19 ] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量理论方法与实践 [ M ]. 北京: 科学出版社, 2003: 22-72.