

海河流域典型河口生态环境需水量

孙 涛¹, 杨志峰^{1,2}, 刘静玲¹

(1. 北京师范大学环境学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学水环境模拟国家重点实验室, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要:在分析河口生态环境需水量类型及特征的基础上, 采用水文学、生物学及水力学方法计算了海河流域中海河口、滦河口及漳卫新河口生态系统水循环、生物循环消耗水量及生物栖息地需水量。考虑不同生态功能需水量间的兼容性, 得到各河口生态环境需水年度总量, 以保持河口径流时间分布自然性为基础, 确定了生态环境需水量年内时间分配。结果表明, 即使不考虑污染物的排放, 近年来海河口、漳卫新河口实际径流量已无法满足最低等级生态环境需水量 5.97 和 4.96 亿 m^3 的要求。相应河口生态系统已发生了不可自然恢复的退化。滦河口径流年度总量基本满足生态环境要求, 其生态保护重点在于保持生态环境需水量年内时间变化的自然状况。通过比较不同河口间生态环境需水量结果, 认为河口生态环境需水量空间差异性主要源于河口间气候和径流量的不同, 时间差异性则受到河口地区年内季节间气候变化幅度的影响。保证污染物达标排放基础上, 保持河口生态系统蒸发消耗、水体盐度需水量及相应年内时间变化的自然性应成为海河流域河口生态环境保护及恢复工作中的基础。

关键词:河口; 生态系统; 需水量; 海河流域

Study on the ecological water demands for typical estuaries in Haihe River Basin

SUN Tao¹, YANG Zhi-Feng^{1,2}, LIU Jing-Ling¹ (1. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. The State Key Laboratory of Water Environment Simulation, The Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2707~2715.

Abstract: Estuaries in Haihe River Basin are located at the east of Haihe River Basin and west of Bohai bay. In recent year, degradation of estuarine ecosystem has become common due to a high level of pollutant load and water resource utilisation in order to support a continuously increasing population and economic development in Haihe River Basin. In order to minimize the negative influence of a reduced river discharge, the ecological water demands for different ecological objective are calculated for Haihe, Luanhe and Zhangweixin estuaries in Haihe River Basin.

Three types of water demands are included in the calculation of the estuarine ecological flows. These are water demands for water circle, the biological circle and for the habitat. Water demands for the water circle and the biological circle are consumed, whereas the demands for the other portions of the ecological flow (e. g. maintaining reasonable salinity, dilution of pollutant loads, sediment and nutrients transport, for habitat) are not consumed. These parts of the Ecological flow, which constitute the runoff to ocean, is compatible. The maximum value is considered as the Ecological flow.

Evaporation and the water content of soil are considered as water demands for water circle of the estuarine ecosystem. Water demands for the biological circle in the estuarine ecosystem is defined as water content of biota and biomass. Methods of calculating water demands to sustain a required salinity that ensure certain habitat conditions are presented. The methods are based on the close relationship between freshwater inflow and salinity in estuaries. Water demands for sediment transport is affected by sediment carrying capacity and alluvial sediment in estuary. Hydrological, biological and hydraulic methods used are presented and parameters for different kinds of water demands are listed respectively.

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(No. 50239020); 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(No. G1999043605)

收稿日期:2003-09-10; **修订日期:**2004-05-08

作者简介:孙涛(1975~), 男, 山东即墨人, 博士, 主要从事河口近岸海域环境模拟, 生态环境需水量研究。E-mail: suntmail@sina.com

Foundation item: Key Program of National Natural Science Foundation of China (No. 50239020) and the State Key Project of Fundamental Research (973) (No. G1999043605)

Received date: 2003-09-10; **Accepted date:** 2004-05-08

Biography: SUN Tao, Ph. D., mainly engaged in environmental simulation in nearshore zone of estuary and eco-environmental flow. E-mail: suntmail@sina.com

The problem of pollution can not be solved through dilution. At the existing pollution level this would require more water than can be made available. Required flows for such purpose are therefore neglected in the calculation. For considering complex responds of the ecosystem to nutrients loads, a more sophisticated model is needed. In this study, it is assumed that water demands for salinity and sediments transport will also fulfill the needs for water quality.

Annual ecological water demands for different estuaries is calculated considering the compatibility of the water demands. In general, water demands for fulfilling the minimum and medium salinity objective also fulfill the requirements for sediment transport, but the water demands that fulfill the maximum salinity objective will not fulfill the requirements with respect to sediment transport. Maximum ecological water demands for runoff should in this case be determined by the requirements of sediment transport. The allocation of ecological water demands between the month of the year should be close to natural flow distribution.

The basic annual requirements of ecological water demands in Haihe and Zhangweixin estuaries are 5.97 and $4.96 \times 10^8 \text{m}^3$ respectively, which could not be fulfilled by river inflow in recent year. The estuarine ecosystems in Haihe and zhangweixin have degenerated completely and could not rehabilitate naturally. Annual freshwater water supply for Luanhe estuary is enough for the ecosystem. However to protect the Luanhe estuary it is highly recommended also to focus on the monthly variation in the discharge. Analysis for the estuaries of Haihe River Basin has shown that the seasonal variation of the natural flow is approximately in accordance with a normal distribution. Temporal variation of monthly ecological water demands are calculated based on normal distribution.

Spatial variation in the ecological water demands is related to the difference between the local climate and fluvial flow regime of the estuaries. The temporal variation is influenced by climatic variation over the year. Maintaining water demands for evaporation and to ensure a reasonable salinity is recommended to be the key issue for the protection and restoration for the estuarine ecosystem in Haihe River Basin.

Key words: estuarine ecosystem; ecological water demands; Haihe River Basin

文章编号:1000-0933(2004)12-2707-09 中图分类号:X171.1 文献标识码:A

海河流域是我国七大流域之一,包含 12 个主要河口。近些年来,在人口不断增长,工业、农业快速发展的过程中,有限的水资源被过度的开发利用,大量污染物排放以及生物过度捕捞均严重破坏了河口生态系统的健康及可持续发展^[1,2]。近些年来,渤海湾主要河口生态系统出现了不同程度的退化,并已直接影响到临近陆域、海域生态系统健康和渔业资源的可持续发展。

河口生态系统主要特征表现在淡水与盐水的混和,这也是河口生态系统营养物质富集并成为重要生物栖息地的根本原因。河道径流是河口生态系统的控制因素,河口生态环境保护及修复均与河道径流状况的保护及恢复密切相关。在污染物达标排放的基本保证条件下,确定河口生态环境需水量及相应随时间的变化成为河口生态环境保护及恢复工作的基础。

目前生态环境需水量的研究重点主要集中于河道、湖泊及湿地等陆地生态系统,并已取得大量成果^[3~6]。海陆间交互作用使河口生态系统具有复杂的环境因素和独特的生态服务功能,也给河口生态环境需水量研究造成影响因素多、相互作用复杂等难题。Benson^[7]较早地开始了关于淡水输入对河口生态系统影响的研究。近些年来,随着研究的不断深入,淡水输入影响研究涉及物理、化学及不同营养层生物等不同方面。

Kurup 等^[8]研究了河口径流与河口盐度分布的关系及其季节性的变化。Robertson^[9]分析了由于季节变化和洪水过程造成径流改变,对河口营养物质分布及初级生产力的影响。Sohma 等^[10]则研究了河道流量变化对河口较高营养级(如底栖生物等)的影响。Potter 等^[11]研究了河口拦门沙坝的封闭及开放造成河口淡水量变化而对河口生物资源的影响。Jassby 等^[12]通过总结 San Francisco 海湾大量实地调查资料分析认为,河口淡水入流与盐度梯度及相应生物种群分布和生物量具有很强的相关性。径流是河口生态状况的重要控制因素。

我国河口生态系统相关研究主要集中在长江口,黄河口及珠江口等主要河口。“三峡工程与长江口生态环境”研究工作分析了三峡工程建设改变入海径流量对河口地区生态环境各项指标的影响^[13]。沈焕庭,茅志昌^[14]研究了南水北调东线工程对长江口咸水入侵影响及相应的对策,其中考虑到由于引水造成径流量减少,进而对水盐平衡的破坏。陈吉余,陈沈良^[15]在南水北调工程对长江河口生态环境的影响研究中,给出了近年来水生生物群落结构和物种的变化。田家怡等^[16]研究了黄河断流对河口海域输沙量、污染物入海量、温度、盐度及各种生物种类、分布的影响。黄良民等^[17]分析了珠江口及其邻近海域水环境状况与基础生物结构的关系。

河口生态环境需水量具有明显的空间差异性,不同的河口生态系统对水量的需求不同。同时河口地区环境的季节性和周期

性变化要求生态系统始终处于动态平衡中,使得生态环境需水量又具有显著的时间差异性。本研究在分析河口生态环境需水类型及特征的基础上,从年际总量及其年内随时间的变化两方面计算了海河流域中海河口、滦河口及漳卫新河口生态环境需水量。通过比较不同河口间生态环境需水量及同一河口年内各季节间需水量的不同,分析了河口生态环境需水量的空间和时间差异性及其主要的原因。

1 河口生态环境需水类型及特性

本研究将河口生态环境需水量划分为水循环、生物循环消耗及生物栖息地需水三大类型,分别从水量、水质、时间及空间差异性 4 方面反映生态系统对河道径流的要求。表 1 给出了不同的生态需水类型及相应的生态目标。

表 1 河口生态环境需水类型及特性

Table 1 Functions and characteristics for eco-environmental flows in estuary							
生态需水类型 Type of ecological water demands	水循环消耗 Water consumption in water cycle		生物循环消耗 Water consumption in biological cycle		生物栖息地 Habitat		
	蒸发 Evaporation	渗漏 Infiltration	不同营养层生物 Different traphica level	水体盐度 Water salinity	泥沙输运 Sediment transport	营养物输运 Nutrient transport	污染物稀释 Dilution of pollution loads
特性 Characteristics	水量 Water quantity				水质 Water quality		

不同生态功能的河口生态环境需水量主要表现为对径流水质、水量及相应的时空差异性的要求。

1.1 水量

生态环境需水量首先满足水循环及生物循环消耗对水量的要求,同时在保持河口淡水湿地水深及水面面积要求的基础上,为保持河口淡水、盐水混和的基本特点,实现一定程度的淡水影响范围。保持河口水域合理盐度是河口生物栖息地对水量的基本需求。

1.2 水质

河口生物栖息地状况在受到径流输入淡水改变水体盐度的同时,受到径流挟带泥沙、营养物等有机、无机物质对河口生态系统物质及生物循环的影响。

生态环境需水量反映生态系统自身健康对水量的要求,目前多数河口面临的污染问题更多地反映了经济发展状况,与河口生态系统自身状况无关。因此通过保证足够的生态环境需水量稀释污染物浓度的方式实现生态系统对水质指标的要求不具科学性。河口生态系统对生态环境需水量水质的要求首先要求保证污染物的达标排放。

泥沙问题是我国很多河口面临的另一个重要水质问题,河口生态系统需保证一定河道径流量实现河口生态系统泥沙冲淤平衡。同时河口生态系统作为自然系统中最具生产力的生态系统一个重要原因在于河道挟带营养物质与海向营养物质在河口地区的富集。河口生态环境需水量同时需要保证河口生态系统营养物质的输运。

河口生态系统对径流水质的要求表现为污染物达标排放的基础上,对泥沙及营养物质输运的需求。需要指出的是,生态环境需水量水质、水量的需求体现在保证生态系统物理、化学及生物系统的平衡,过大或不足的水量均将会破坏生态系统的平衡。河口生态环境需水量具有明显的阈值性。

1.3 时空差异性

河口生物多以迁徙及洄游性生物为主,生态系统对径流的需求具有明显的季节性。近些年来,由于河道上游水库以及河口防潮闸的建立使得河口淡水输入多集中于洪水期,结果不仅隔断了洄游鱼类的迁徙路线,同时改变了河口淡水及营养物质的自然性时间分布。在保证生态环境需水量对水质、水量总量要求的基础上,河口生态系统的动态平衡要求河口生态环境需水量随时间的变化需符合河口径流自然分配状况。

同时由于地形、气候等方面的不同使得不同河口生态系统对水量、水质及相应时间变化的要求不同,生态环境需水量同样具有显著的空间差异性。河口生态环境需水量研究需针对不同河口生态系统状况开展研究。

根据河口生态环境需水量类型及特征的分析,以下针对海河流域主要河口生态环境需水量开展专门研究。

2 海河流域主要河口生态环境需水量计算

海河流域由海河、滦河及徒骇马颊河等水系组成。自北向南,流域主要包括滦河口、冀东沿海诸河河口、永定新河口(北塘口)、海河干流河口、独流减河河口、子牙河口、漳卫新河口及徒骇马颊河口等共 12 个河口。本文河口生态环境需水量研究区集中于滦河口、漳卫新河口及海河口海域。

滦河口研究区域上游起始于姜各庄标上村的潮区界,终止水下三角洲的前缘。前缘水深在 10.0m 等深线附近,研究区域面积约 410.0km²。海河口行政区划位于天津塘沽区。20 世纪 60 年代海河流域行洪排涝体系的建设改变了原来海河干流“九河下

梢”的状况,海河北系中北运河、潮白河、蓟运河及永定河水量主要经由永定新河,自北塘口入海,只有在洪水期,小部分洪水经北运河入海河干流自海河口入海。表 2 给出了海河口土地类型。

表 2 海河口土地类型
Table 2 Landtype in Haihe estuary

类型 Landtype	耕地 Farmalnd	林地 Woodland	草地 Grassland	滩涂 Mudflat			未利用水域 Unused water area	水下三角洲 Subaqueous delta	
				芦苇地 Reed	草地 Grassland	其它 Others		面积 Area	边缘水深 Water depth at the end of estuary
面积 Area(km ²)	96.7	0.71	25.44	35.33	0.05	—	114.8	210	8.0m

漳卫新河是漳河、卫河洪水的主要入海通道。河口闸的建立使得海河口及漳卫新河口地区河流与潮流相互作用的自然区域受到更多的人为影响。

考虑生态环境需水量的空间和时间差异性,计算分需水总量及其随时间的变化两部分。其中需水总量计算以年为单位,年内时间变化则以月为单位进行。

2.1 生态环境需水年际总量计算

河口生态环境需水年际总量(F)为水循环消耗需水量(F_a)、生物种群分布需水量(F_b)及河口生物栖息地需水量(F_c)的总和:

$$F = F_a + F_b + F_c$$
 (1)

2.1.1 水循环需水量

(1)蒸发消耗需水量 河口生态系统水循环需水量 F_a ,首先保证蒸发消耗淡水量:

$$F_{a1} = (E - P)A$$
 (2)

式中, F_{a1} 为蒸发消耗需水量, E 为蒸发量, P 为降水量, A 为研究区水域面积。图 1 给出了海河口,滦河口地区降水、蒸发水文系列资料。比较多年的结果可以看出,河口地区蒸发量普遍大于降水量。

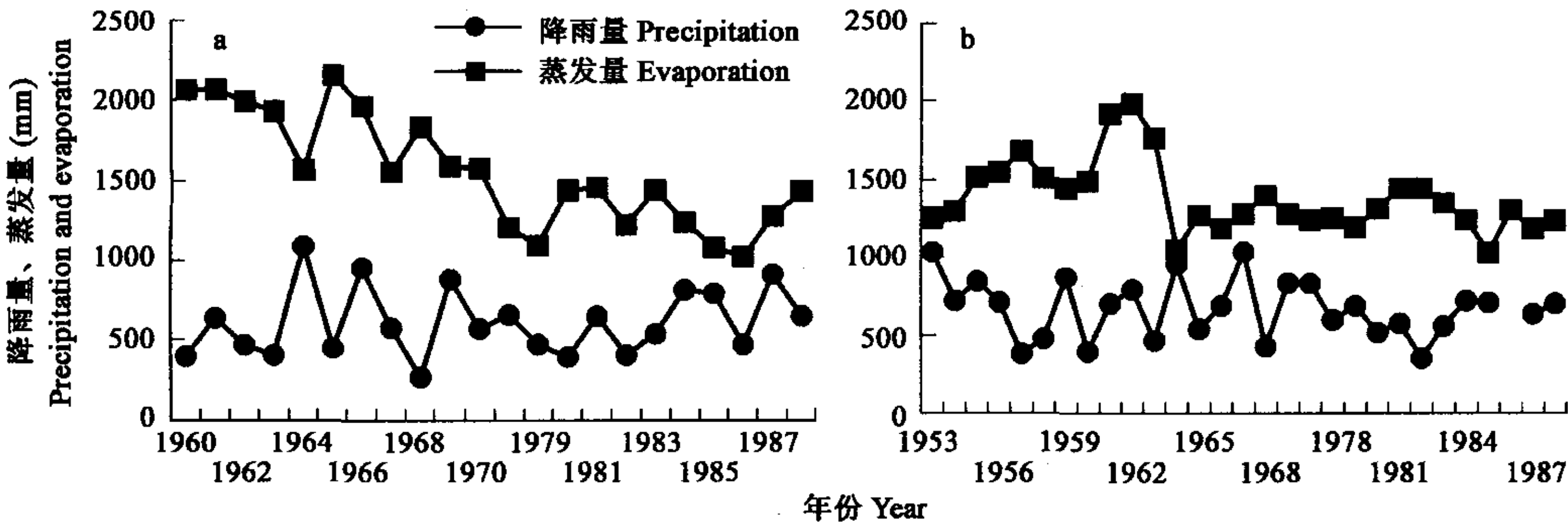


图 1 河口降雨量、蒸发量多年变化

Fig. 1 Change of precipitation and evaporation in estuaries
(a)海河口 Haihe estuary; (b)滦河口 Luanhe estuary

根据研究区域降水、蒸发水文系列资料,计算得到区域内蒸发量与降水量差值的系列数据,并按照从小到大的顺序排列,得到不同保证率(25%,50%及 85%)下的蒸发消耗需水量。由于漳卫新河口地区缺乏确切的蒸发量资料,计算中采用其余两河口同期相应蒸发资料的平均值作参考。表 3 给出了三河口蒸发消耗需水量的计算结果。

(2)土壤需水量 由于河口地区常年积水,计算忽略系统渗漏需水量。根据土壤含盐量的不同及土壤面积等不同因素,确定不同等级的土壤需水量^[4]:

$$F_{a2} = \alpha \gamma H A_s$$
 (3)

式中, F_{a2} 为土壤需水量; α 为田间持水量或饱和持水量百分比,计算根据生态系统土壤类型而定; γ 为土壤容重; H 为土壤厚度; A_s 为土壤面积。根据不同的土壤类型,将土壤含盐量划分为 0.6%,0.4%及 0.2%三个等级,海河口、漳卫新河口计算土壤面积为 100.0 km²,滦河口考虑土壤面积 122.0 km²。表 4 给出了相应计算结果。

2.1.2 河口生态系统生物种群需水量 生物种群需水量 F_b 的计算以不同生物的生物量及其自身含水量为基础,其计算式:

$$F_b = \sum F_{bi} = \sum \beta_i W_i A_B h$$
 (4)

式中, F_{bi} 为第 i 种生物种群需水量, β 为生物自身含水量, W 为生物量, A_B 为生物分布面积, h 为水域平均水深。生物种群划分为生态系统初级生产者, 次级生产者及较高营养级 3 部分进行。表 5 给出了主要生物含水量和生物量的计算参数。

表 3 蒸发消耗需水量 $F_{e1}(\times 10^8\text{m}^3)$

Table 3 Water demands for consumption of evaporation F_{e1}

等级 Grade level	海河口 Haihe estuary	滦河口 Luanhe estuary	漳卫新河口 Zhangweixin estuary
水面面积 Water surface area	325.0	410.0	300.0
最大 Maximum	6.10	4.90	3.55
适宜 Medium	4.10	3.50	3.00
最小 Minimum	3.50	2.34	2.60

表 4 土壤需水量 $(\times 10^8\text{m}^3)$

Table 4 Water demands for soil

等级 Grade level	含盐量 Salinity in soil	海河口 Haihe estuary	滦河口 Luanhe estuary	漳卫新河口 Zhangweixin estuary
最大 Maximum	0.20%	0.338	0.412	0.338
适宜 Medium	0.40%	0.286	0.349	0.286
最小 Minimum	0.60%	0.234	0.285	0.234

表 5 河口生态系统生物种群需水量计算参数

Table 5 Parameters of water demands for biology cycle in estuary

项目 Item		初级生产力 Primary production	次级生产力 Secondary production		较高营养级 High trophic level	
		高等水生植物 Aquatic plant ($\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$)	浮游植物 Phytoplankton ($\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$)	浮游动物 Zooplankton ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)	底栖动物 Benthos ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)	洄游鱼类 Migrate fish ($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)
生物量 Biomass	最大 Maximum	4.0	2.5~3.5	2.5~3.5	>25.0	>25.0
	适宜 Medium	2.0	2.0~2.5	2.0~2.5	10.0~25.0	10.0~25.0
	最小 Minimum	1.0	1.5~2.0	1.0~2.0	5.0~10.0	5.0~10.0
含水量 Water content(%)		60	90	80	70	70

河口地区初级生产者主要包括水生植物及浮游植物。海河流域河口生态系统高等水生植物选择芦苇为代表物种。计算考虑海河口芦苇生长面积 50.0km², 滦河口、漳卫新河口 20.0 km²。

浮游植物的含水量约为其生物量的 90%。以北方地区湖泊浮游植物生物量为参考, 在 1.5~3.5g/(m³·a)间将浮游植物的生物量划分为 3 个等级。

河口地区浮游动物是系统典型的次级生产者。浮游植物生产的产物基本上要通过浮游动物这个环节才能被其他动物利用, 同时有些浮游动物(如毛虾、海蜇)本身就是渔业对象。根据 2001 年度中国渔业生态环境状况公报, 渤海湾浮游动物的平均总生物量为 0.665g/(m³·a)。考虑河口地区丰富的生产力, 海河流域主要河口浮游动物生物量确定为 1.0~3.5g/(m³·a)。

河口地区底栖动物及游泳鱼类属于系统中较高营养级。底栖动物在河口生态系统的能量流动和物质循环中具有重要作用。根据渤海湾海岸带调查资料, 鉴定底栖动物达到 142 种, 其中多毛种类数量较多, 尤其是虾、蟹年平均生物量为 41.5 mg/(m²·a), 历史上毛蚶在整个海区底栖动物中占据重要地位, 毛蚶的生物量占总生物量的 53%。历史上毛蚶的平均生物量为 21.7 g/(m²·a), 个别高区生物量更高达 537g/(m²·a)。洄游鱼类种群是河口生态系统服务功能中的重要标志。计算中选取鱼类含水量为 70%。图 2 给出了海河流域典型河口生态系统生物种群需水量计算结果。

2.1.3 河口生物栖息地需水量

(1)水体盐度 生物栖息地需水量首先满足河口一定程度淡水、盐水混合, 保持河口生态系统合理盐度。计算假定淡水在河口区水体中所占比例与深海、河口盐度差成正比:

$$\frac{S_{\text{sea}} - S_{\text{estuary}}}{S_{\text{sea}}} = \frac{F_f}{V_{\text{estuary}}}$$

(5)

式中, S_{estuary} 为河口目标盐度, S_{sea} 为外海盐度, F_f 为河口淡水
量, 令 $\lambda = \frac{S_{\text{sea}} - S_{\text{estuary}}}{S_{\text{sea}}}$, 考虑河口水体盐度主要发生季节性变化, 河口水体盐度需水量计算以季节为单位进行, 有:

$$F_f = \sum_{i=1}^4 \lambda_i \cdot V_{\text{estuary}}$$

(6)

式中, λ_i 表示不同季节淡水在河口区水体中所占比例。 V_{estuary} 为河口口外海滨水体体积, 采用下式近似计算得到 $V_{\text{estuary}} = \frac{1}{3} A_0 H$, A_0 为河流近口段(0 潮界)至口外海滨段的咸淡水交界的水域面积, H 为河口外边界处平均水深。表 6 给出了根据渤

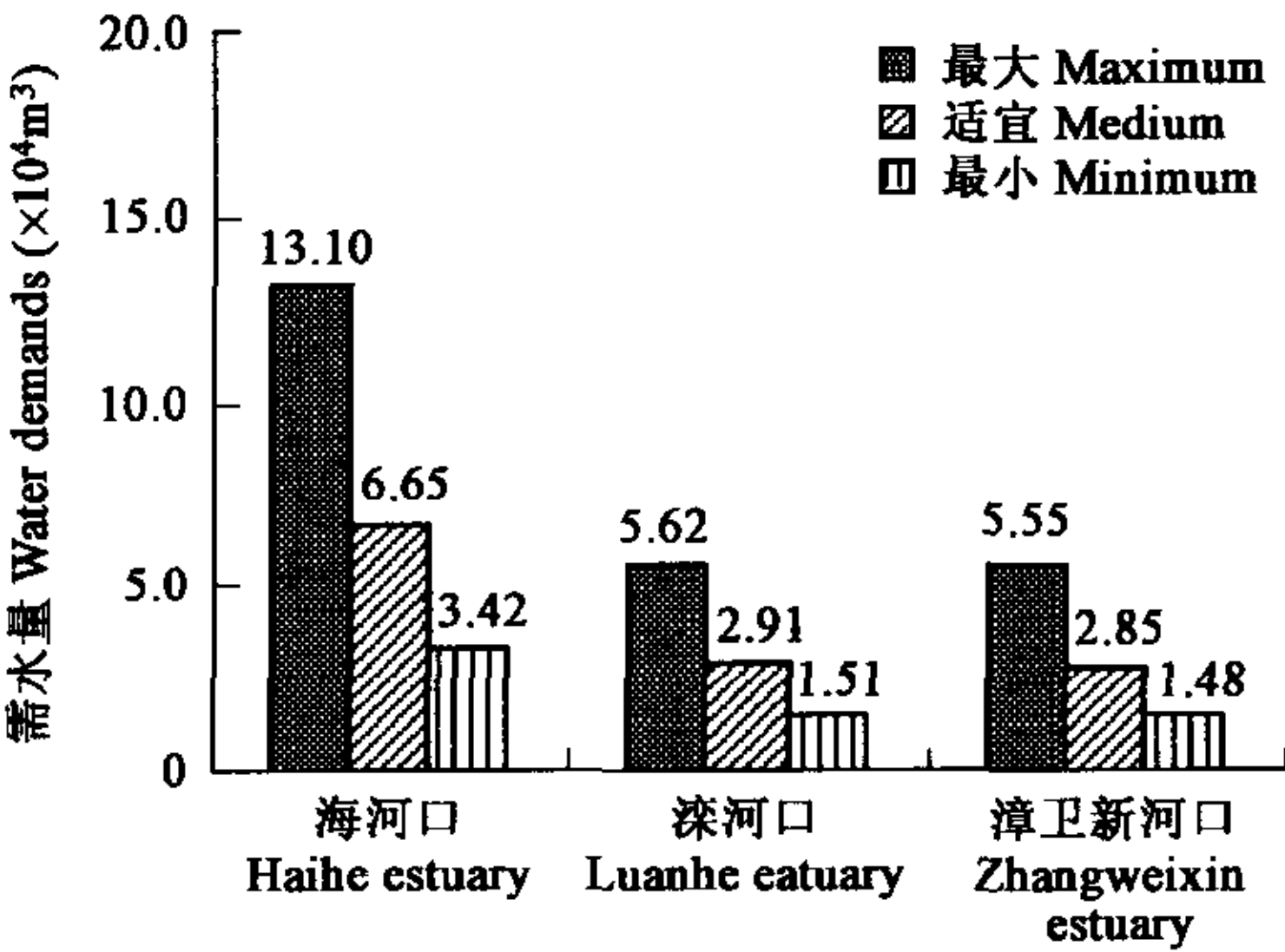


图 2 河口生物种群分布需水量
Fig. 2 Water demands for biology cycle in estuary

海湾近海盐度确定不同等级的淡水影响参数 λ ,河口栖息地水体盐度需水量计算结果可见表 7 所示。

表 6 不同等级河口淡水比例参数

Table 6 Parameters for influence range of freshwater in different grade levels				
参数 Parameters	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
深海盐度 Salinity in ocean	32.0	32.0	32.0	32.0
近海盐度 Salinity in nearshore zone	介于夏、冬季间 Between summer and winter	24.0~27.0	介于夏、冬季间 Between summer and winter	29.0~30.0
λ	最大 Maximum	0.11	0.16	0.11
	适宜 Medium	0.14	0.20	0.14
	最小 Minimum	0.17	0.25	0.17

(3)泥沙输运需水量 针对不同类型的河口,泥沙输运需水量表现为不同的生态功能。海河口由于径流量减少造成河口海向泥沙淤积,在 1958~1989 年间,海河闸下河口地段年均淤积 $58.2\times10^4\text{m}^3$,泥沙输运需水量生态功能主要表现为冲淤。滦河三角洲是弱潮汐河口典型的扇状三角洲。1979 年底滦河潘家口水利枢纽建成后入海沙量急剧减少,使得三角洲由淤积转为侵蚀,滦河口泥沙需水量生态功能表现在泥沙供给。河口泥沙输运需水量计算采用下式:

$$F_s = Q_i/C_i$$

(7)

式中, F_s 为泥沙冲淤需水量, Q_i 为泥沙年淤积量, C_i 为河流冲泄流能力,可采用水流挟沙能力表示。研究采用多年最大含水

量作为最大水流挟沙能力,并对应最小等级泥沙输运需水量,采用最大年平均含沙量及多年平均含沙量作为适宜及最小水流挟沙能力。水流饱和含沙量大小与淤积泥沙特性密切相关。表 8 给出了海河流域主要河口泥沙输运需水量各河口入海需水量。

表 8 海河流域主要河口泥沙输运需水量及入海需水量($\times10^8\text{m}^3$)

Table 8 Water demands for sediment transport and runoff to the ocean for estuaries in Haihe River Basin									
等级 Grade level	海河口 Haihe estuary			滦河口 Luanhe estuary			漳卫新河口 Zhangweixin estuary		
	最小 Minimum	适宜 Medium	最大 Maximum	最小 Minimum	适宜 Medium	最大 Maximum	最小 Minimum	适宜 Medium	最大 Maximum
	$C_i(\text{kg}/\text{m}^3)$	30.0	15.0	3.0	30.0	15.0	3.0	30.0	15.0
年均输沙量($\times10^7\text{kg}$) Annual sediment transport	154.23(1958~1989)			317.71(1978~1990)			107.54(1980~1989)		
泥沙输运需水量 Water demands for sediment transport	0.51	1.03	5.14	1.06	2.12	10.59	0.36	0.72	3.58
入海需水量 Water demands for runoff to ocean	2.24	3.36	5.14	4.0	6.0	10.59	2.12	3.2	4.26

河流挟带营养物对河口生态系统的影响相对复杂,目前多采用数学模型方法研究相应状况,计算过程相对复杂。研究假定在河口污染物达标排放的基础上,河口水体盐度、泥沙输运需水量可以满足营养物质输运要求。

河口生态环境需水量中水循环消耗和生物种群分布需水量为消耗性水量。生物栖息地需水量为非消耗性水量,各项间具有兼容性并共同构成河口入海量。栖息地需水量计算以最大值为原则。计算结果表明,一般情况下保持水体盐度需水量可以满足河口泥沙输运要求,但最大等级入海需水量需以泥沙输运需水量为控制指标。

计算得到海河流域典型河口生态环境需水年际总量见图 3。表 9 给出了河口生态环境需水量与河口实际径流量的比较。

即使在不考虑河口污染物排放的条件下,近 20 多年来的海河口及漳卫新河口实际年均径流量已不能满足生态系统最基本的要求,河口生态环境基本特征已基本消失,生态环境发生了不可自然恢复的退化。目前滦河口径流年度总量可以满足河口生态环境对径流总量的要求,河口生态保护工作以保持需水量年内合理的时间变化为主。

2.2 河口生态环境需水量年内时间变化

在确定生态环境需水量年际总量的基础上,生态环境需水量年内时间变化以保持生态系统自然性为原则。图 4 表明海河口

及滦河口天然径流年内时间变化时,径流量随时间的变化基本符合正态分布规律,其海河流域河口逐月生态环境需水量 F_x 的计算为:

$$F_x = \frac{F}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

(6)

式中, x 为月份。计算中采用 $\mu = 8.0$ 表示 1 年中 8 月份需水量在年内占据比重最大,采用 $\sigma = 2.0, 1.0, 0.75$ 将需水量年内时间变化划分为不同的等级,由此得到海河口、滦河口及漳卫新河口不同等级下各月生态环境需水量。需水量各月间的变化实现河口地区 8 月份水量最集中的状况。 $\sigma = 2.0$ 的最优等级中,需水量季节间变化相对平缓,汛期水量占全年总量的 50.8%,保证河口地区全年基本无断流时间。 $\sigma = 0.75$ 的最低等级方案中,汛期(6~8 月份)水量占全年总量的 76.57%,需水量季节间变化保证河口地区汛期不发生断流。

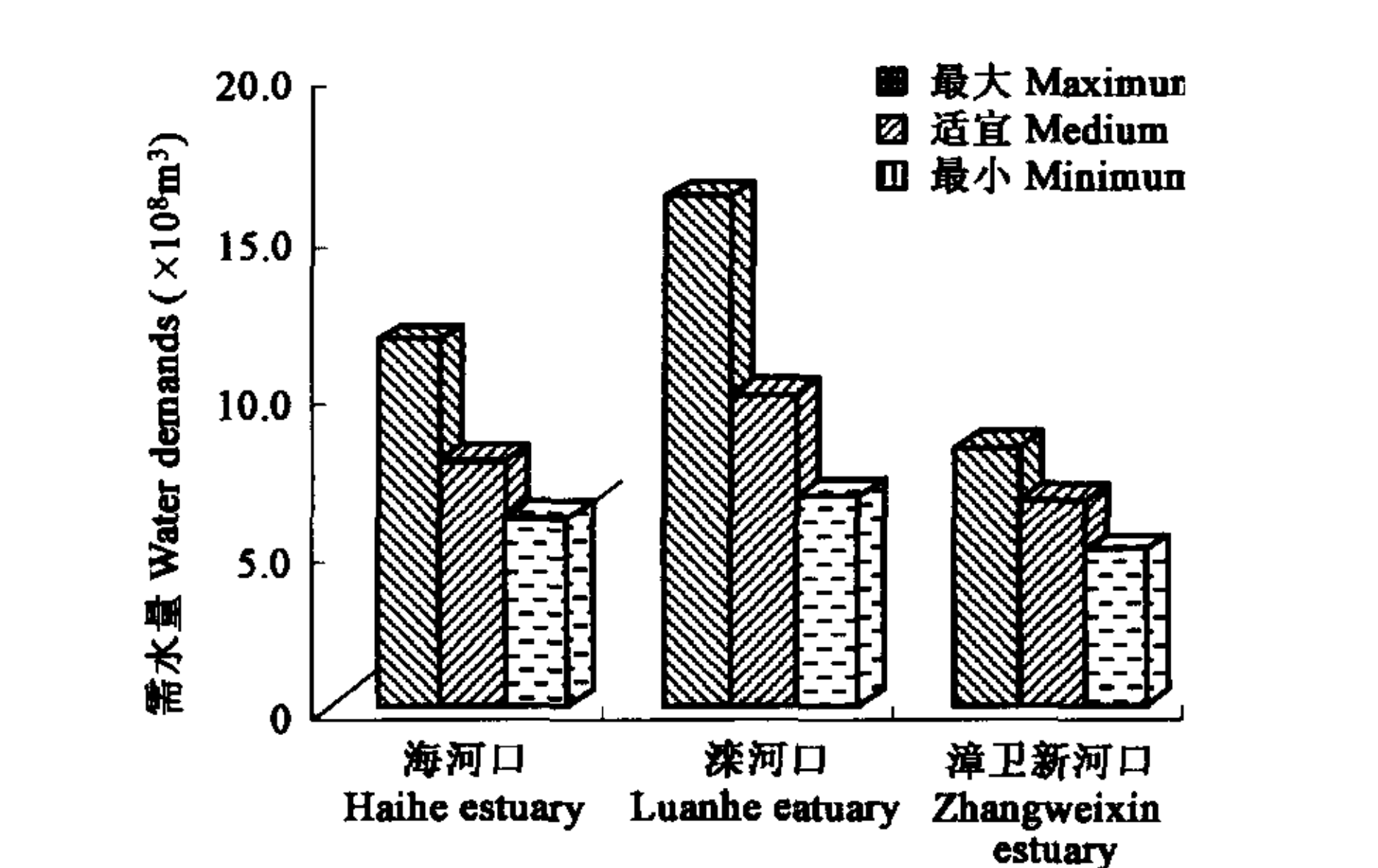


图 3 海河流域主要河口生态环境需水年度总量
Fig. 3 Annual ecological water demands for estuaries in Haihe basin

表 9 河口生态环境需水量与河口实际径流量(×10⁸m³)

Table 9 Water discharge and ecological water demands for estuaries in Haihe river basin

河口 Estuaries		海河口 Haihe estuary	滦河口 Luanhe estuary	漳卫新河口 Zhangweixin estuary
年均径流量 Annual runoff to ocean	1950~1969	49.87		10.87
	(1956~1969)		44.23	(1955~1969)
	1970~1989	5.90	22.59	3.29
	1990~1998	3.29	21.39	1.89
生态环境需水量 Ecological water demands	最优 Maximum	11.58	16.17	8.15
	适宜 Medium	7.75	10.07	6.49
	最小 Minimum	5.97	6.81	4.96

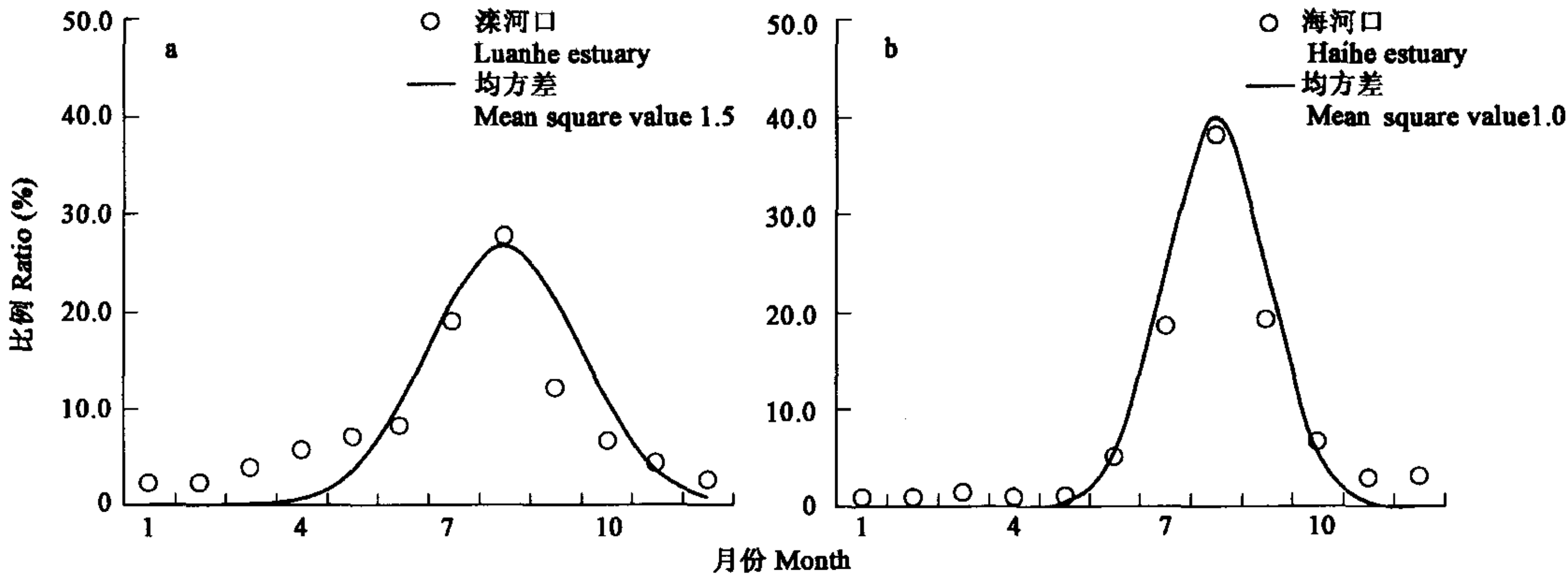


图 4 河口径流量年内变化与正态分布比较
Fig. 4 Distribution of runoff in a year for estuaries and the normal distribution
(a)滦河口 Luanhe estuary;(b)海河口 Haihe estuary

3 分析

针对河口生态环境需水量特点,从空间和时间差异性两方面对海河流域主要河口生态环境需水量计算结果进行分析。

3.1 空间差异性

图 5~图 7 分别比较了从水循环、生物循环及生物栖息地 3 个角度各等级条件下,不同河口生态环境需水量的差异。海河流域各河口均位于渤海湾西部,气候特征相似,各河口地区间水循环消耗需水量差异主要原因在于研究区域面积的不同。

图 6 显示各河口间生物栖息地需水量差别相对较大。生物栖息地需水量不仅与河口地区地形、地貌相关,同时与河口规模,即河道径流量相关。其结果对不同河口间生态环境需水总量影响较大,这也是同一流域内不同河口生态环境需水量空间差异性的主要来源。

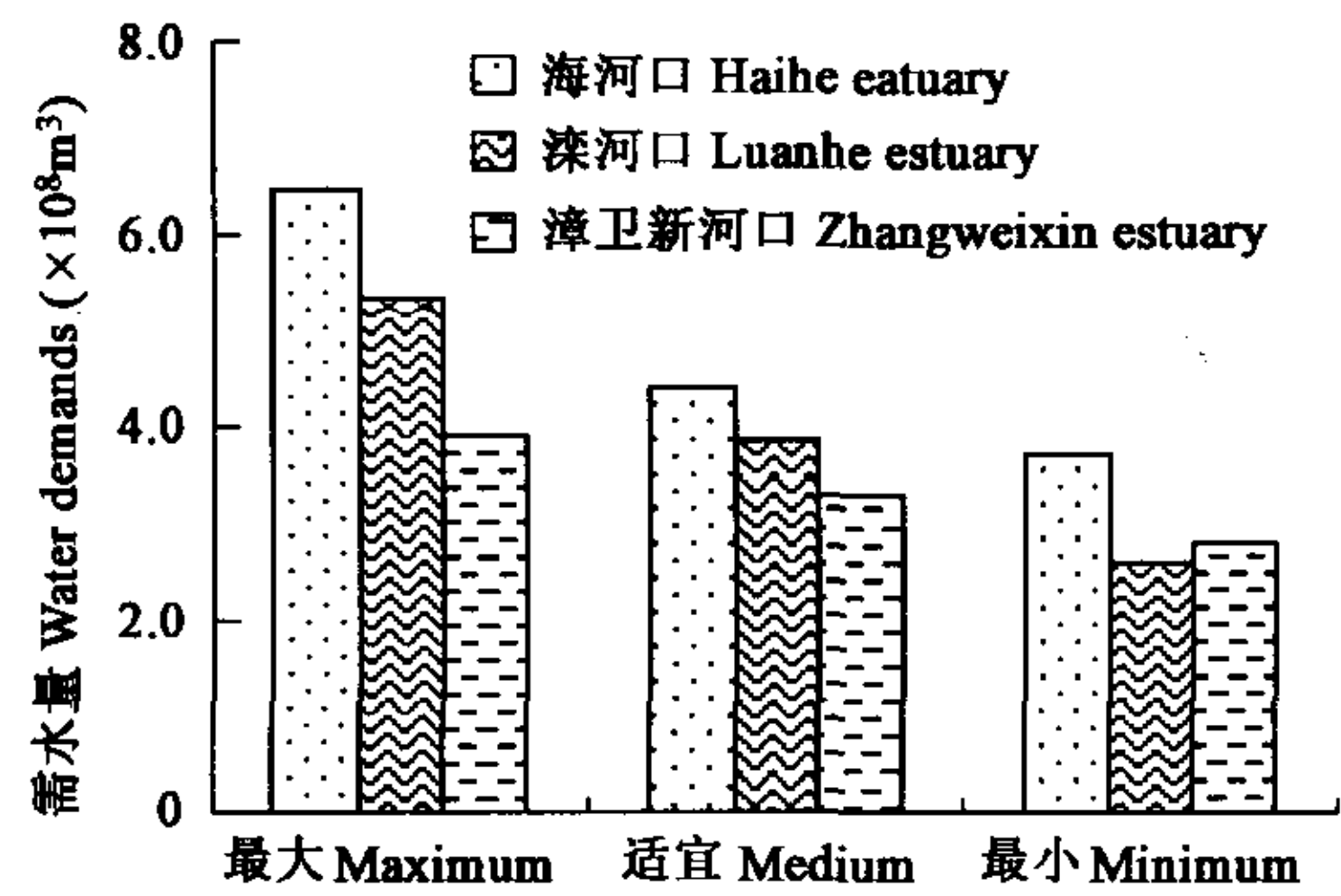


图 5 不同河口水循环消耗需水量比较

Fig. 5 Comparison between water demands for water cycle in different estuaries

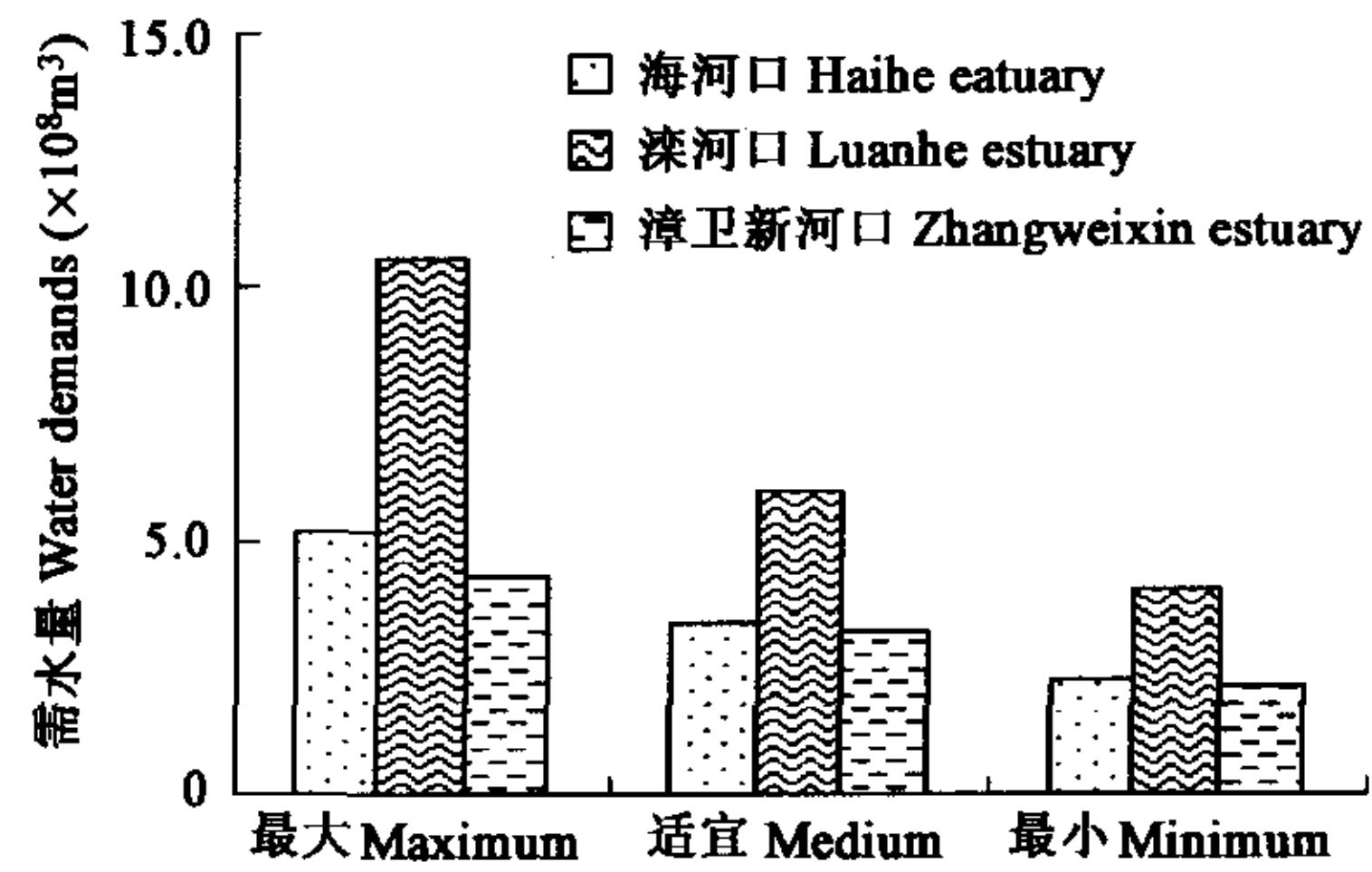


图 6 不同河口生物栖息地需水量比较

Fig. 6 Comparison between water demands for habitat in different estuaries

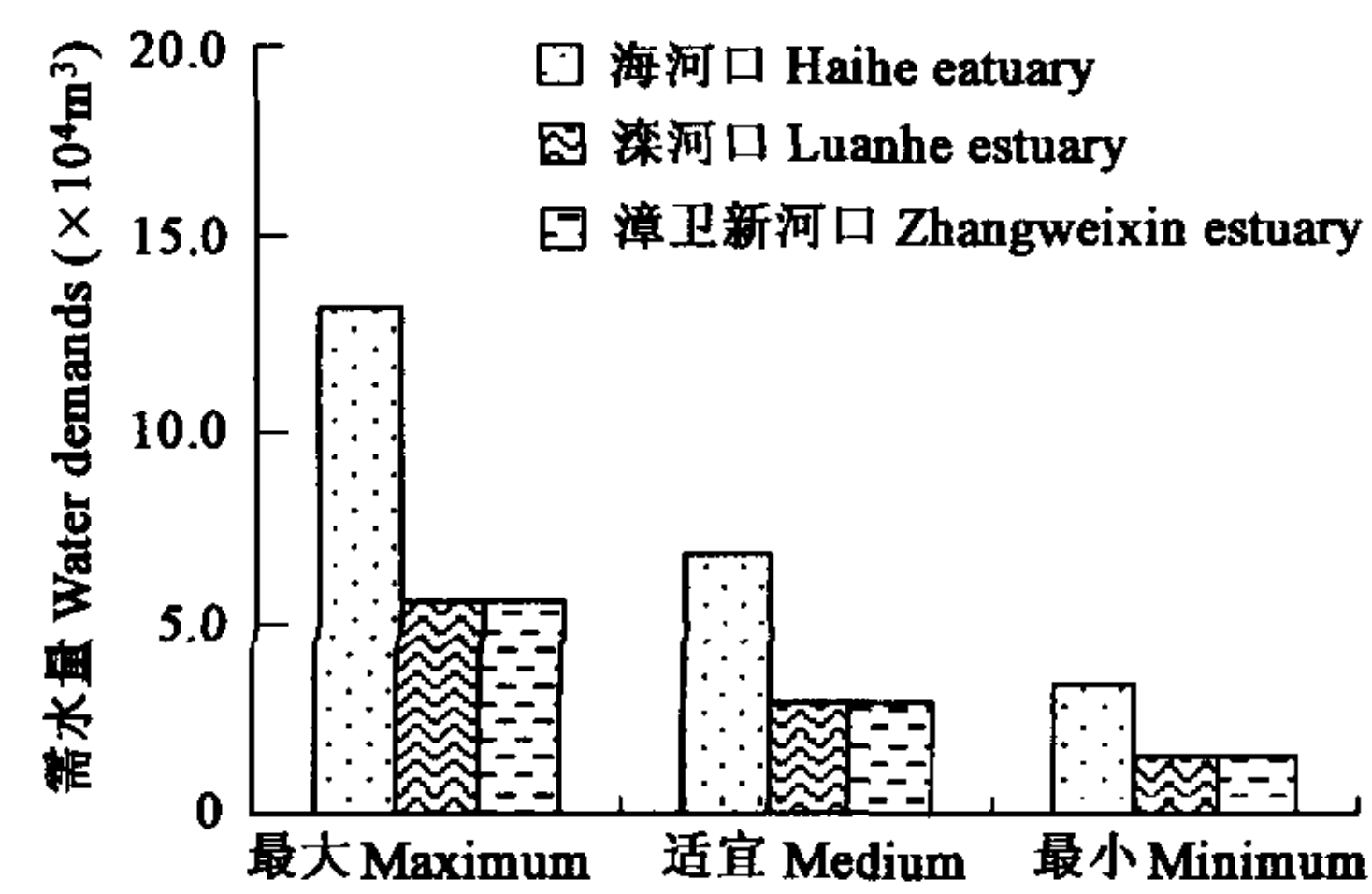


图 7 不同河口生物循环需水量比较

Fig. 7 Comparison between water demands for biological cycle in different estuaries

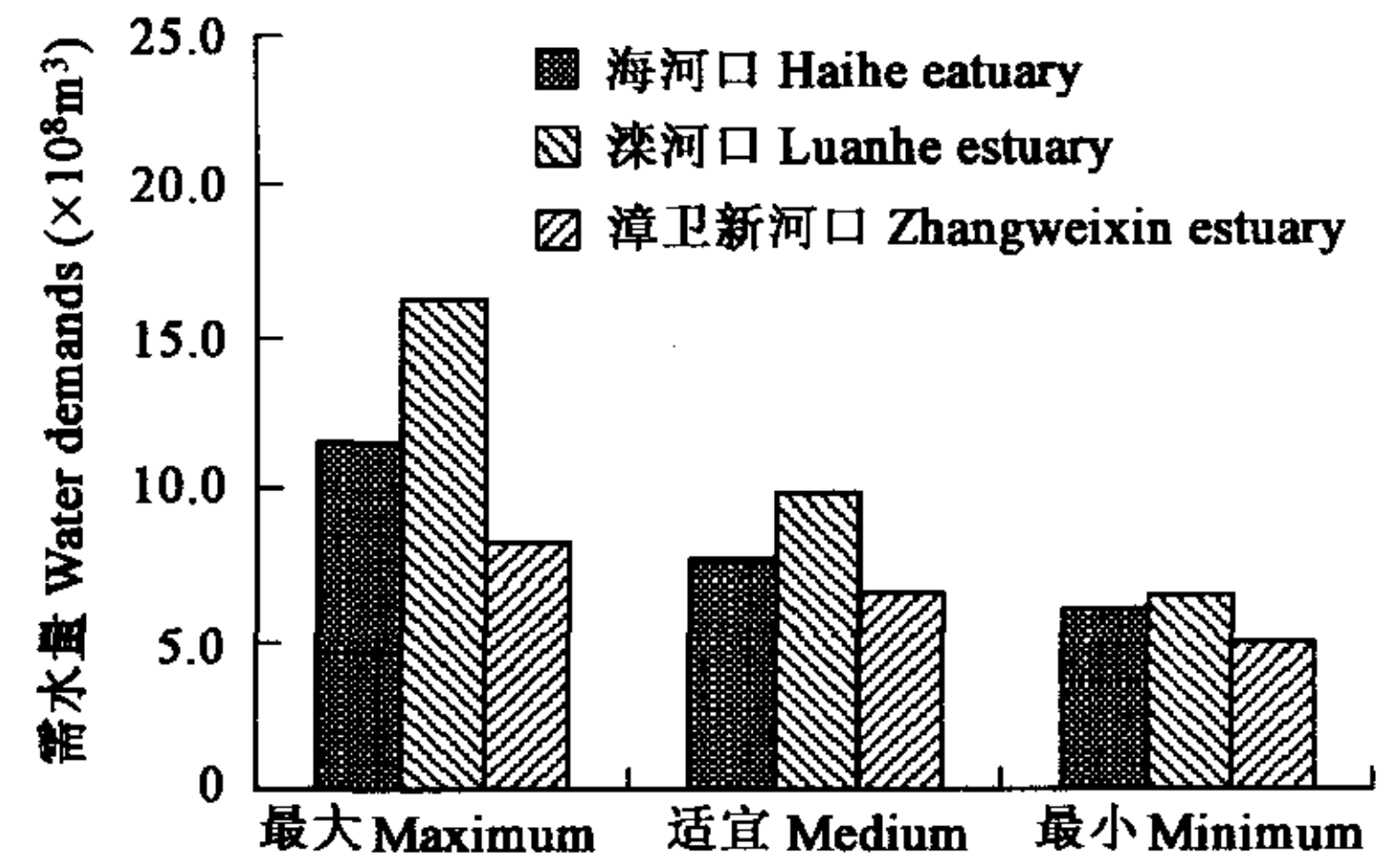


图 8 不同等级海河流域河口生态环境需水年际总量

Fig. 8 Water demands for estuarine eco-environment in Haihe River Basin for difference grade level

图 7 给出了各河口间生物循环需水量。相对生态系统水循环消耗和生物栖息地需水量,生物种群自身需水量较小。然而其空间差异性产生的原因相对复杂,生物种群分布不仅与生物栖息地水量有关,同时受到营养物质分布、人类影响等多种因素影响。保持及恢复海河流域河口生态系统蒸发消耗及生物栖息地需水量是生态保护及恢复工作的基础和关键。

河口间生态环境需水量的空间差异性主要源于河口地区多年气候及径流量的不同。气候干燥,河道多年径流量较大的河口地区,生态环境需水量相对较大。

不同等级间,生态环境需水量的差异较大,其中最大等级结果达到最小等级结果的两倍以上。根据海河流域水资源短缺的特点,宜采用流域水量状况作为生态保护及恢复等级确定的限制因子(图 8)。

3.2 时间差异性

河口地区年内季节间气候的变化及降雨量、蒸发量和生物种群分布的周期性变化,使得生态系统需水量随时间变化。根据对海河流域河口径流自然状况的分析,计算假定生态环境需水量年内各季节的变化符合正态分布规律。由于海河口、漳卫新河口人工拦河闸的建立,使得目前这两个河口径流量时间分配的自然性受到较多人为影响。多年来,河口地区长期处于断流状态,河口下泄径流时间常完全集中在汛期。滦河口由于尚未建立河口拦河闸,目前径流量年内分配状况相对良好。

在需水量年内变化不同等级中,数学期望 μ 和均方差 σ 的确定依据为河道自然来流状况,其变化主要受到季节间气候变化的影响。年内季节间气候变化幅度相对较大河口地区,其生态环境需水量的时间差异性相应较大。

实际河口生态保护及恢复工作中,首先根据流域丰、平及枯年实际情况,相应确定生态环境需水年际总量等级(最大、适宜及最小)。其次,根据水利工程调蓄能力及来流状况,尽可能以保持自然性为原则保证河口生态系统各季节对水量的要求。

4 结论

本研究分别采用水文学、生物学及水力学方法计算了海河流域中海河口、滦河口及漳卫新河口生态系统水循环、生物循环消耗水量、生物栖息地需水量及相应生态环境需水年际总量。以保持河口径流自然分配为原则采用正态分布计算了需水量年内各季节的变化,并利用不同的均方差将时间变化划分为不同等级。

计算结果表明,海河口、滦河口及漳卫新河口最低生态环境需水年度总量分别为 5.97,6.81 亿 m^3 和 4.96 亿 m^3 。近 20 多

年来的海河口及漳卫新河口实际年均径流量已不能满足生态系统最基本的要求,河口生态环境基本特征已基本消失,生态环境发生了不可自然恢复的退化。目前滦河口径流年度总量可以满足河口生态环境对径流总量的要求。海河流域主要河口生态环境需水总量中,以生态系统水循环消耗及生物栖息地需水量为主,生物种群自身需水量相对较小。河口生物栖息地水体盐度需水量一般可以满足河口泥沙输运基本要求,但最大等级入海需水量应以泥沙输运需水量为控制指标。保证河口生态系统蒸发消耗及生物栖息地需水量是生态保护及恢复工作中的基础和关键。

河口生态环境需水量具有明显的空间和时间差异性。其中空间差异性的主要原因在于河口地区间多年气候和河道径流量的不同。气候干燥,多年径流量较大的河口地区,生态环境需水量相对较大。生态环境需水量的时间差异性则主要受到河口地区年内季节间气候变化幅度的影响。气候变化幅度相对较大河口地区,各季间生态环境需水量的时间差异性相应较大。

References:

- [1] Zhang Y J. Discussion on the strategy for rehabilitation of eco-environment in Haihe river basin. *Haihe water resources*, 2002, **2**:15~18.
- [2] Kang F G. Consideration for the problem in aquatic ecosystem of Haihe river basin. *Haihe water resources*, 2002, (2):12~14.
- [3] Cui B S and Yang Z F. Water consumption for eco-environmental aspect on wetlands. *Acta scientiae circumstantiae*, 2002, **22**(2):219~224.
- [4] Liu J L, Yang Z F. Study on the ecological and environmental water demand of lakes in the Haihe-Luanhe Basin North China. *Journal of Environmental Sciences*, 2002, **22**(2):220~229.
- [5] Li L J and Zhen H X. Environmental and Ecological Water Consumption of River Systems in Haihe-Luanhe Basins. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(4): 496~500.
- [6] Yang Z F and Zhang Y. Comparison of methods for ecological and environmental flow in river channels. *Journal of Hydrodynamics*, 2003, **8**(3):294~302.
- [7] Benson N G. The freshwater-inflow-to-estuaries issue. *Fisheries*, 1981, **6**(5):8~10.
- [8] Kurup G R, Hamilton D P, Patterson J C. Modelling the Effect of Seasonal Flow Variations on the Position of Salt Wedge in a Microtidal Estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, **47**(2): 191~208.
- [9] Robertson A I, Dixon P, Alongi D M. The Influence of Fluvial Discharge on Pelagic Production in the Gulf of Papua, Northern Coral Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, **46**(3):319~331.
- [10] Sohma A, Sekiguchi Y, Yamada H, *et al.* A new coastal marine ecosystem model study couples with hydrodynamics and tidal flat ecosystem effect, *Marine Pollution Bulletin*, 2001, **43**(7~12): 187~208.
- [11] Potter I C, Hyndes G A. The composition of the fish fauna of a permanently open estuary on the southern coast of Australia, and comparisons with a nearby seasonally closed estuary. *Marine Biology*, 1994, **121**(2~3):199~209.
- [12] Jassby A D, Kimmerer W J, Monismith S G, *et al.* Isohaline Position as a Habitat Indicator for Estuarine Populations. *Ecological Applications*, 1995, **5**(1):272~289.
- [13] Luo B Z, Shen H T. *Three gorges projects and estuarine ecological environment*. Beijing: Science Press, 1994. 6.
- [14] Shen H T, Mao Z C, Gu Y L. Impact of south-north water transfer (east route) on saltwater intrusion in the Changjiang estuary with consideration of its countermeasures. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, **11**(2):150~154.
- [15] Chen J Y, Chen S L. Impacts of the South-to-North Water Transfer Project on ecological environment at the Yangtze River Estuary. *Water resource protection*, 2002, **3**:10~13.
- [16] Tian J Y, Wang M. Study on the affect of the drying up of the Yellow River on the ecological environment in the seawater near the delta. *Marine environmental science*, 1997, **16**(3):59~65.
- [17] Huang L M, Chen Q C, Yin J Q. Basic organisms composition and environment status of the Zhujiang estuary and adjacent waters. *Marine environmental science*, 1997, **16**(3):1~7.

参考文献:

- [1] 张永健. 浅议海河流域生态环境恢复和建设对策. 海河水利, 2002, (2):15~18.
- [2] 康富贵. 解决海河流域水生态问题的思考. 海河水利, 2002, (2):12~14.
- [3] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量研究. 环境科学学报, 2002, **22**(2):219~224.
- [5] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算. 地理学报, 2000, **55**(4): 496~500.
- [6] 杨志峰, 张远. 河流生态环境需水研究方法评述. 水动力学研究与进展, 2003, **8**(3):294~302.
- [13] 罗秉征, 沈焕庭. 三峡工程与河口生态环境. 北京: 科学出版社, 1994. 6.
- [14] 沈焕庭, 茅志昌, 顾玉亮. 东线南水北调工程对长江口咸水入侵影响及对策研究. 长江流域资源与环境, 2002, **11**(2):150~154.
- [15] 陈吉余, 陈沈良. 南水北调工程对长江河口生态环境的影响. 水资源保护, 2002, **3**:10~13.
- [16] 田家怡, 王民. 黄河断流对三角洲附近海域生态环境影响的研究. 海洋环境科学, 1997, **16**(3):59~65.
- [17] 黄良民, 陈清潮, 尹健强, 等. 珠江口及邻近海域环境动态与基础生物结构初探. 海洋环境科学, 1997, **16**(3):1~7.