

基于管理目标的黄河三角洲湿地生态需水量

崔保山, 李英华, 杨志峰

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家联合重点实验室, 北京 100875)

摘要:独特的地理位置和气候特征,使黄河三角洲湿地自然保护区孕育了丰富的自然资源和生物多样性。然而近些年来由于黄河上、中游开发不断,砍伐、引水工程等引发了下游特别是河口三角洲一系列的生态问题。表现在水资源紧缺、水体污染以及生物多样性减少等。根据黄河三角洲湿地自然保护区的现实问题以及 Ramsar 公约要求,确定了黄河三角洲湿地自然保护区管理目标即保护新生湿地和鸟类资源,栖息地恢复与保护,生态系统功能与过程的维持等 3 个层次的目标。通过分析湿地生物和水量的相关性,计算了不同层次管理目标的黄河三角洲湿地生态需水量,即在不考虑输沙用水的情况下,黄河三角洲湿地最小生态需水量、适宜需水量和理想需水量分别为 $40.95 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $52.45 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $67.93 \times 10^8 \text{m}^3$;在考虑输沙用水的情况下,湿地最小生态需水量、适宜需水量和理想需水量分别为 $190.95 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $202.45 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $217.93 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

关键词:湿地;生态需水量;管理目标;黄河三角洲

Management-oriented ecological water requirement for wetlands in the Yellow River Delta

CUI Bao-Shan, LI Ying-Hua, YANG Zhi-Feng (School of Environment, Beijing Normal University, State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 606~614.

Abstract: On the basis of theories and computation methods for ecological water requirement, the definition of the ecological water requirement for wetlands, the water needed by the wetland to maintain the ecosystem's diversity and the ecological characters, is proposed in this paper. It includes the water required by the wetland soil, the vegetation evapotranspiration, the fish breeding, the habitat, and the sediment transportation. Due to the unique geographical location and climatic characters, there are various natural resources and complex biodiversity in the Yellow River Delta. During the recent years, however, the local ecological environment has been threatened by human activities. This seriously affected the sustainable development of local economy because it resulted in serious shortage of water resources, water pollution and abatement of biodiversity. On the basis of practice in the natural reserve and the important claim of Ramsar for "wise use" of wetland in which ecological characters need to be reserved, a set of management objectives for the wetland reserve of the Yellow River Delta is proposed. The objectives include protecting the ecological system and the waterfowl resources in the new wetland, renewing biodiversity and maintaining the function of the ecological system. In this paper, the ecological water requirement for wetlands in the Yellow River Delta is classified into three classes, i. e., the minimum water requirement, the moderate water requirement, and the perfect water requirement. They correspond to the basic, moderate and perfect management goal for wetland nature reserve, respectively. By means of a correlation analysis between the wetland biology and water and an equation for computing water requirement, matching the different levels of management objectives, the ecological water requirements for the wetland natural reserve of the Yellow River Delta is estimated, and several means to fulfill the water requirements is proposed. The result shows that the minimum, moderate and perfect water requirements are $40.95 \times 10^8 \text{m}^3$, $52.45 \times 10^8 \text{m}^3$ and $67.93 \times 10^8 \text{m}^3$.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40101026);国家自然科学基金重点资助项目(50239020)

收稿日期:2004-03-11; **修订日期:**2004-08-25

作者简介:崔保山(1967~),男,河北沽源人,博士,教授,主要从事湿地生态过程与环境响应研究。E-mail:cuibs@163.com

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China(No. 40101026, 50239020)

Received date: 2004-03-11; **Accepted date:** 2004-08-25

Biography: CUI Bao-Shan, Ph. D., Professor, mainly engaged in ecological processes in wetlands and their environmental responses. E-mail: cuibs@163.com

if the water required for sediment flushing is not considered in the wetland natural reserve of the Yellow River Delta. The amount will be $190.95 \times 10^8 \text{m}^3$, $202.45 \times 10^8 \text{m}^3$ and $217.93 \times 10^8 \text{m}^3$ if the water required for sediment flushing is included. Those values are 48%, 58% and 76% of the available ecological water quantities observed in the lower Yellow River in the 1950s.

Key words: wetlands; ecological water requirement; management; Yellow River Delta

文章编号:1000-0933(2005)03-0606-09 中图分类号:P931.7 文献标识码:A

世界范围内的水资源紧缺,水环境功能降低,水生态系统衰退已经成为社会经济可持续发展和维持生态环境良性循环的重要制约因素。如何高效利用水资源,在保证生产、生活用水的前提下,科学合理配置生态用水,已经成为当今相关科研领域研究的热点^[1~4]。

生态需水是指为改善生态环境质量或维持生态环境质量不至于进一步下降所需要的水量,即维持全球生物地理生态系统水分平衡所需要的水量,包括水热平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等。从广义上讲生态需水即是为解决生态问题(如保护湖泊、湿地、水生生物、生态防护林等)所需要的水量,其研究范围涉及到河流、湿地、湖泊等多种类型的生态系统。本文所研究的湿地生态需水量可以定义为湿地维持生态系统生物多样性和自身生态特征所需要的水量,包括湿地土壤需水、植被蒸散发需水、鱼类繁殖需水、栖息地需水和输沙需水量 5 个部分。

以往对生态需水的研究多以生态系统各组成部分的需水机理为出发点,针对不同类型生态系统的需水理论和计算方法进行探讨,将生态系统自身的水需求同与之关系最为紧密的人类社会的现实要求联系起来考虑的研究案例甚少^[5~9]。本文选取黄河三角洲国家级湿地自然保护区为研究对象,根据 Ramsar 公约要求,在充分考虑保护区现实状况的基础上,制定了黄河三角洲国家级自然保护区管理目标,并根据生态需水理论和计算方法计算得出了适合保护区自身社会经济可持续发展的生态需水量和成就水量的手段。

1 概况

黄河三角洲国家级湿地自然保护区地处山东省东营市黄河入海口处(图 1),地理坐标为 $N37^{\circ}35' \sim 38^{\circ}12'$, $E118^{\circ}33' \sim 119^{\circ}20'$,属暖温带大陆性季风气候,四季分明,雨热同期。年平均气温 12.1°C ,无霜期 196d,年平均降雨量 551.6mm。黄河三角洲湿地自然保护区是以保护黄河口新生湿地生态系统和珍稀、濒危鸟类为主体的自然保护区,是我国暖温带最完整、最广阔、最年轻的湿地生态系统和全国最大的河口三角洲自然保护区。该保护区总面积 15.3 万 hm^2 ,设有核心区、缓冲区和实验区,其中核心区 7.9 万 hm^2 ,占总面积的 51.63%;缓冲区 1.1 万 hm^2 ,占总面积的 7.19%;实验区 6.3 万 hm^2 ,占总面积的 41.18%。保护区下

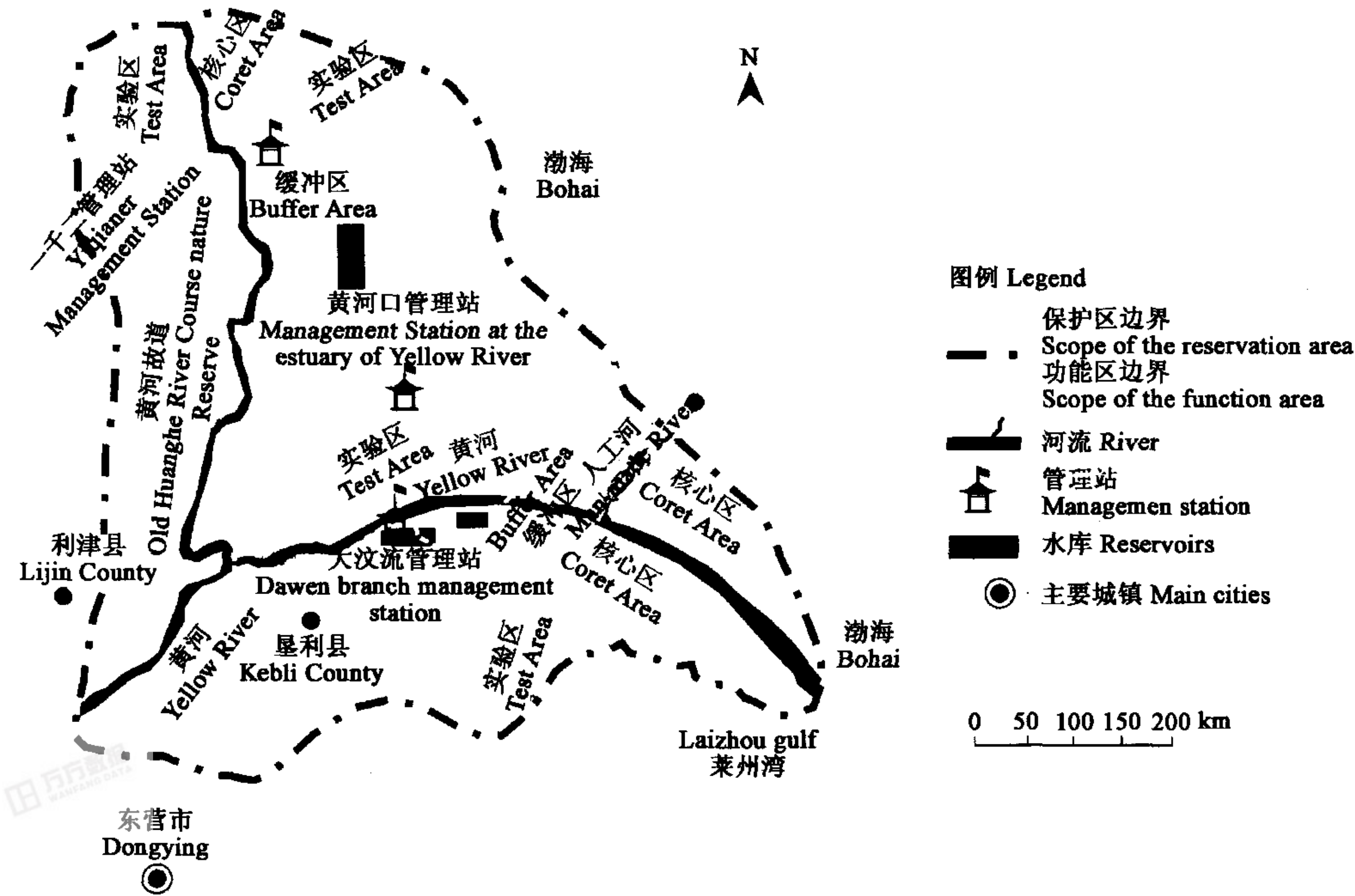


图 1 黄河三角洲国家级自然保护区位置图

Fig. 1 The position diagram of the state nature reserve of the Yellow River Delta

设 3 个管理站,分别为黄河口管理站,面积 60500 万 hm^2 ,重点保护新生湿地生态系统;大汶流管理站,面积 54962 万 hm^2 ,以保护新生湿地生态系统为主;一千二管理站,面积 37538 万 hm^2 ,重点保护珍稀濒危鸟类^[10]。

1990 年保护区申请建立时,区内有林地面积 1.44 万 hm^2 ,占 9.4%;草地面积 5.55 万 hm^2 ,占 36.2%;水面面积(含芦苇地)3.96 万 hm^2 ,占 25.8%;滩涂面积 3.85 万 hm^2 ,占 25.1%;其他用地 0.53 万 hm^2 ,占 3.5%。近年来,由于黄河断流频繁,小流量历时增多,河水漫滩几率减少,侧渗补给到两岸湿地的水量也呈明显减少趋势,使得保护区内部分湿地严重退化。据估计,正常年份的湿地水面面积大约减少了 1 万 hm^2 左右,约占保护区湿地水面面积的 25%。

2 黄河三角洲湿地水文学和生态学特征

2.1 湿地水文学特征

湿地的水文特征是进出水流量、湿地地形地貌和地下水条件之间平衡的结果,是建立和维持湿地及其过程特有类型的最重要决定因子,主要包括降水量、蒸发量、地表径流量、地下径流量、渗漏量、泥沙量等要素。湿地水文条件是湿地类型和湿地功能的最重要决定因子,不同的水文条件赋予湿地生态系统不同的物理和化学属性,对湿地生态系统起着决定性的选择作用^[11,12]。

研究区所在的黄河流域水量的年际变化较大,根据利津水文站 1950~1985 年实测资料统计,黄河流域利津水文站最大年径流量为 $973.1 \times 10^8 \text{m}^3$ (1964 年),最小年径流量为 $91.5 \times 10^8 \text{m}^3$ (1960 年),相差 10.6 倍。黄河水量年内分配也不均,随季节波动较大,汛期(7~10 月份)径流量平均达 $257.4 \times 10^8 \text{m}^3$,占年平均径流量的 61.4%。在年内各月中,2 月份径流量最少,平均为 $12.26 \times 10^8 \text{m}^3$,占年平均径流量的 2.9%,8 月份最大,平均为 $77.61 \times 10^8 \text{m}^3$,占全年的 18.5%。黄河进入河口地区的年平均流量为 $1330 \text{m}^3/\text{s}$,最大洪峰流量为 $10400 \text{m}^3/\text{s}$ (1958 年 7 月 25 日),最少流量即为断流干河。1965~1997 年利津站各年实测径流量变化趋势见图 2。

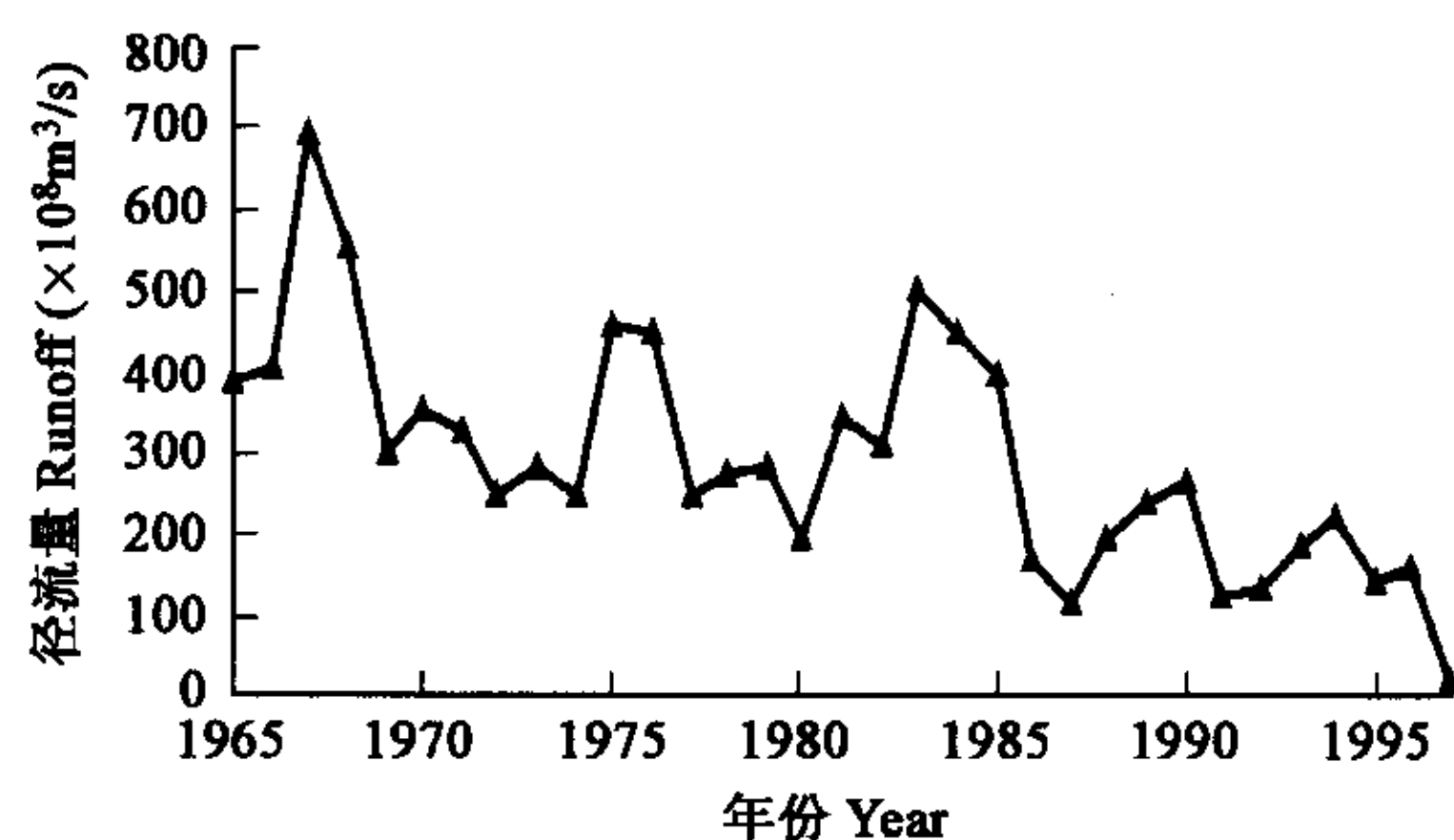


图 2 利津水文站历年径流量变化图

Fig. 2 Inter-annual runoff changes of Lijin hydrological monitoring station

此外,黄河是一条多泥沙河流,根据利津水文站 1989~1997 年统计的资料计算,黄河输送到河口地区的年平均沙量为 $4.4 \times 10^8 \text{t}$,年最大输沙量为 $7.08 \times 10^8 \text{t}$ (1994 年),年最少输沙量为 $0.69 \times 10^8 \text{t}$ (1997 年),相差 10.26 倍。同时,年内输沙量分配也不均衡,汛期输沙量较多,占全年的 84.3%。黄河河口段小流量所占时间长,径流量较小,泥沙含量和输沙量低;大流量所占时间短,但径流量大,泥沙含量和输沙量也高。近年来,随着沿黄引水工程的增加,引水能力不断提高,年水沙量小于多年平均值。根据统计资料,1989~1997 年的年平均来水量和年平均输沙量分别为多年平均值的 39.13% 和 41.77%。

2.2 湿地生态学特征

湿地生态特征主要指湿地结构以及生物、化学和物理组分的相互关系,以及生态系统个体的过程、功能、属性和价值的相互作用。生态特征包括了间歇的、季节的或永久的水量变化以及特殊植被群落和动物的表现^[13]。

黄河三角洲自然保护区的湿地类型可划分为灌丛疏林湿地、草甸湿地、沼泽湿地、河流湿地、滨海湿地等五大类^[10,13]。其独特的河口湿地生态系统、丰富的咸水资源、较高的生产力和规则的自然栖息地布局孕育了本地区特有的生物群落,包括陆生脊椎动物 300 种,其中兽类 20 种,鸟类 265 种,爬行类 9 种,两栖类 6 种。陆生无脊椎动物 503 种和水生动物 800 余种。保护区的植被类型也十分丰富且呈规律性分布,由海向内陆依次是潮滩、翅碱蓬 (*Suaeda heteroptera*)、怪柳 (*Tamarix chinensis*)、芦苇 (*Phragmites australis*) 和荻 (*Miscanthus sacchariflorus*)、草地 (獐茅 (*Aeluropus littoralis*) 和白茅 (*Imperata cylindrica*)) 以及林地。黄河三角洲自然保护区自然栖息地的对称结构分布反映了由海向陆土壤盐分含量逐渐减小的过程,也说明了黄河口湿地受人为的影响较少,还处于原生湿地的环境中。

3 湿地的利用、属性和威胁

黄河三角洲自然保护区以保护新生湿地生态系统、珍稀濒危鸟类为主体。保护区内良好的土地资源为水禽和鸟类提供了适宜的栖息地,维持了本地区生态系统的生物多样性和生产力,以及防止洪涝灾害的破坏。保护区内的土地资源十分丰富,由于黄河携带大量泥沙以每年 2~3km 的速度向渤海湾推进,使得每年有 2000~3000 km^2 的海域变为土地,形成大面积的浅海滩涂和湿地。从目前的土地利用状况看,自然保护区几乎三分之二的土地是水面(包括苇地、河流、水库、池塘和海涂),草地和耕地分别占了 12% 和 10%,另外有少量的畜牧业和种植业发展。

黄河三角洲自然保护区的动植物资源也很丰富,其中水禽资源尤为突出,占整个自然保护区鸟类总数的 54.3%,水禽中保护种类也较多,属于国家一级重点保护的鸟类有 7 种,其中丹顶鹤 (*Crus japonensis*)、白头鹤 (*Crus monacha*)、中华沙鸭 (*Mergus*

squamatus)属于濒危种类。黄河三角洲自然保护区不仅是鸟类繁衍生息、迁徙越冬的优良场所,也是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬地。同时,中国哺乳动物的 38%,鱼类的 88%都可以在本地区找到^[10]。保护区建立后,森林植被逐渐增加,环境条件也愈加改善,形成了包括水域、滩涂、草地、森林等多种生态环境和植物群落的结构完整、功能齐全的生态系统。保护区的植物资源不仅分布面积大而且具有较高的经济价值,区内分布有多种纤维植物、饲用植物和药用植物等资源。包括野生植物 393 种,属国家二级保护的濒危植物野大豆广泛分布,天然苇荡 33000hm²,天然杂草地 51000hm²,天然实生柳林超过 1000hm²,天然怪柳灌木林 1.4 万 hm²,另有 1.2 万 hm² 的刺槐林^[14~16]。

保护区内丰富的天然资源不仅可以为人们提供良好的休闲娱乐环境,而且还具有较高的经济价值。然而,近些年来由于自然和人为两方面因素的共同影响,使得区内的动植物资源受到了破坏和威胁,不能充分发挥其应有的价值。黄河上游的水利开发对下游湿地的水源补给产生了一定的影响,草场沙化、盐化和退化现象日趋严重。筑坝、地下水及河水的过量引用是最常见问题。黄河的水量绝大部分来自花园口以上的上中游,而沿河的引用水又集中于上游的兰州-河口镇和花园口以下的下游河段。大量引用黄河水,使得进入黄河三角洲地区的水量逐年减少,水资源供需矛盾日益突出^[17]。自 20 世纪 70 年代以来,下游河段春季不断发生断流。据统计自 1972~1999 年的 28 年中,黄河下游利津站共有 22a 发生断流。进入 20 世纪 90 年代以来,由于黄河流域用水量增加和来水量持续偏枯等原因,黄河下游连年断流,呈现出断流开始时间提前,断流次数增多,断流天数和河段越来越长等特点。黄河下游利津站 20 世纪 70 年代平均每年断流 14d(指有断流年份平均),80 年代平均每年断流 15d,90 年代以来平均每年断流达 102d。1996 年断流 6 次,共计 136d;1997 年断流达 13 次,共计 226d^[18]。

目前,一方面水资源不足、断流频繁、水质污染,另一方面工农业用水不善,对水资源缺乏科学统一的管理,使得生态系统不能得到正常的水源补给,影响了系统的演化和鸟类栖息地的保护。因此,在保护区需要制定一套行之有效的管理体系,以拯救稀有或濒危物种,保护迁徙鸟类物种,保持湿地类型的相对稀有性,恢复人类娱乐的水体景观,使湿地生态环境向良性方向发展。

4 管理目标的决定

Ramsar 公约要求“合理利用”湿地的一个重要方面就是保持湿地的生态特征^[19]。特殊的管理目标由特定的利用、价值和威胁所决定。管理目标可能建立在植被、水禽和其他动物的基础上,需要解决价值争议中的平衡问题。例如常年的水体景观需求同季节干旱生态价值相矛盾;资源的开采同水供应、遗产价值和栖息地价值相矛盾等。确定明确的管理目标有利于提高人们的资源利用意识和生态系统保护意识,有利于对保护区进行有效管理。

管理目标的确定既要保证合理利用,又要照顾到生态平衡,保护好典型的湿地类型,使区域生态、社会和经济协调发展。同时还要同湿地公约(Ramsar 公约)所规定的义务相联系,对湿地生态系统实施可持续性管理。黄河三角洲自然保护区是一个有机的整体,它具有很强的层次性和动态性,随着时间的推移,保护区内各种自然要素及其相互关系都会发生变化,因此管理目标也应具有时效性,即随着生态系统结构和功能的逐步完善,管理目标也应朝着更高的层次和方向发展。本文针对区内各类型湿地的现状,以及自然系统与人类系统的复杂关系,制定了黄河三角洲自然保护区的管理目标,包括基本目标、中级目标和理想目标 3 个层次,它们分别是保护新生湿地和鸟类资源、栖息地的恢复与保护和生态系统功能与过程的维持 3 个方面,相关管理重点和管理指标见表 1。

表 1 基于管理目标确定的管理重点和管理指标

Table 1 Key points and indices of the wetland management based on the management purpose		
管理目标 Management purpose	管理重点 Management key points	管理指标 Management indices
(1)新生湿地和鸟类资源的保护(基本)Protection of new wetland and avian resources (Basic)	鱼类繁殖栖息地、鸟类栖息地 Fish breeding habitat, avian habitat	物理参数(水力参数、木质碎屑、盖度、鱼类通道),水浸面积,水浸持续时间,洪水下降速度,洪水前的干旱周期,筑巢植被 Physical parameters (Hydraulic parameters, xylem chipping, coverage, fish channels), water logging area, water logging duration, flood dropping rate, drought period before flood
(2)栖息地的恢复与保护(中级)The recovery and protection of habitat (Intermediate)	植被栖息地 Vegetation habitat	洪水水浸持续时间,水浸深度,干旱周期,洪水频率 Flood logging duration, water logging depth, drought period, flood frequency
(3)生态系统功能与过程的维持(理想)The maintenance of function and process of ecosystem (Ideal)	水深、水位和流量 Water depth, level and flow	最小水深,适宜水深,流量变化曲线,流量变化率,极端流量的大小和频率 Least water depth, suit water depth, flow changing curve, flow changing rate, value and frequency of the extreme flow

5 湿地生物和水量的相关性

如前所述湿地生态需水包括土壤需水、植被蒸散发需水、鱼类繁殖需水、栖息地需水和输沙需水量 5 个部分^[20]。植被蒸散发需水是指植物的蒸腾水量及土壤、水面蒸发水量之和,每年需要进行定量的补充;鱼类繁殖需水和输沙需水需要在特定季节对其进行一定流量的补给;土壤水和栖息地水是一个相对稳定值,正常年份湿地可以保持其原有水面面积和水体景观,只需在特殊的水文年进行水量补给。由于黄河三角洲自然保护区以保护新生湿地生态系统和珍稀濒危鸟类为重点,本文选取了保护区湿地的优势植物群落和珍稀濒危水禽、鱼类进行需水量计算。

湿地的植物需水量包括 4 部分: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。前两部分是植物生理过程所必需的,称为生理需水;后两部分是植物生活环境条件形成中所必需的,称为生态需水。其中蒸腾耗水和土壤蒸发是最主要的耗水项目,占植物需水量的 99%,其他两项仅占 1%。因此可以把植物需水量近似理解为植物叶面蒸腾和棵间土壤蒸发的水量之和,称为植被蒸散发量^[21]。本文主要针对研究区 5 种优势植物种群进行蒸散发需水量计算(表 2、表 3)。

表 2 研究区主要植被类型与面积

Table 2 The main plant style and area of the study region

植被类型 Vegetation form	芦苇、荻 <i>Phragmites australis</i>	怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	翅碱蓬 <i>Suaeda heteroptera</i>	獐茅 <i>Aeluropus littoralis</i>	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>
面积(hm ²) Area	2514	3751	56061	693	2300

表 3 湿地植物对水深的需求

Table 3 The requirement of hydrophyte on water depth

物种 Species	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i>	翅碱蓬 <i>Suaeda heteroptera</i>	獐茅、白茅 <i>Aeluropus littoralis</i> 、 <i>Imperata cylindrica</i>
适宜水深(cm) Suit water depth	10~30	10~20	0~10	0~10

* 芦苇和荻的水深引自参考文献[14],翅碱蓬、獐茅、白茅数据为观测经验数据 The water depth values of reed and quote from reference [14], others observation experience

此外,由于洪水能带来大量营养物质和无机盐,植被和土壤能从中汲取其发育所必须的养分。对于湿地生态系统整体而言,适时适量的洪水过程能够使湿地维持一定的水体景观和生态特征,有利于其保护自身的功能和生态平衡。不同湿地类型对洪水频率、持续时间以及洪水规模的需求也有所不同(表 4)。

表 4 黄河三角洲典型湿地类型及优势物种对洪水的需求

Table 4 The requirements of the typical wetlands types and preponderant species on the flood

湿地类型 Wetland style	面积 Area (hm ²)	优势物种 Dominant plant species	洪水频率估算 Estimation of flood frequency	洪水持续时间估算 Estimation of flood duration	洪水类型 Flood style
灌丛疏林湿地 Brushy and open forest wetland	8911	怪柳	1 次/a Once a year	30d	较小的洪水 Less flood
草甸湿地 meadow wetland	10386	獐茅、白茅	1 次/1~2a Once 1~2 year	30~60d	中等洪水 Mediate flood
沼泽湿地 Swamp wetland	28617	芦苇、荻	1 次/3~7a Once 3~7 year	30~60d	中等洪水 Mediate flood
河流湿地 River wetland	6476	芦苇、荻	1 次/3~7a Once 3~7 year	少于 30d Less than 30d	主导/重大洪水 Magnitude flood
滨海盐碱湿地 Coastal salina	20743	翅碱蓬	1 次/a Once a year	30~180d	较小的洪水 Less flood

栖息地需水量体现了湿地动物对水深、水量和水周期的需求,是鱼类、鸟类等栖息、繁殖需要的基本水量。保护区关键鸟类物种,如丹顶鹤、白头鹤、中华沙鸭等,按其正常年份在该地区栖息、繁殖的范围计算其正常需水量^[22,23]。黄河口及其附近海域的鱼类约有 80 余种。全年以暖温性种群居多,在冬季还分别出现少量暖水性种群和冷暖性种群,其生物学特点主要取决于种群的适应性和环境的水温变化。鱼类大多在每年 5~8 月份产卵,6 月份达到最多。不同季节黄河入海淡水量的多少直接影响到海

水的盐度。4~6 月份鱼虾产卵、孵化的高峰季节,海水的适宜盐度为 23~27,一般情况下,黄河口及其附近海域的盐度为 30 左右,黄河口及其附近海域海水盐度的高低对鱼虾产卵、孵化将产生较为显著的影响,其他季节海水的盐度对鱼类生长的影响不显著。黄河断流对黄河口及其附近海域鱼类影响的大小,主要取决于 4~6 月份黄河入海的淡水量的多少^[24]。在以往的水资源开发利用规划中,海洋水产部门曾要求在每年的 4~6 月份,每月应维持在 20 亿 m³ 的入海水量,以降低黄河口及其附近海域的盐度,满足鱼虾产卵、繁殖的需求。根据观测分析,黄河枯水季节入海流量为 300~500m³/s,涨潮时感潮河段的盐度为 25 左右,相应口门外附近海域的盐度为 30 左右,低潮时口门外附近海域的盐度为 5~27。因此,4~6 月份入海总水量在 24~40 亿 m³ 即可满足鱼虾产卵、孵化的需求。

6 水量的决定

实现管理目标首先要满足生态系统对水量的需求,根据不同的利用方式和湿地价值之间的关系,本文把黄河三角洲湿地生态需水量分成了 3 个等级,即最小需水量、适宜需水量和理想需水量,它们分别与基本、中级和理想 3 个层次的管理目标对水量的需求相对应。最小需水量是保护新生湿地和鸟类资源所需要的水量,即保护区维持自身发展所需的最低水量,低于这一水量湿地生态系统便会萎缩、退化甚至消失。适宜需水量可以实现对受损栖息地的恢复与保护,即可以同时满足植被用水需求、增加水浸频率和最小持续时间、维持本地植被的健康,除了在非正常的湿润年,可以保证有限的水禽繁殖。理想需水量是系统存在所需的最佳水量,此时生态系统的功能与过程处于可持续状态,可以维持较长的水浸时间、健康的植被和大型水禽繁殖事件。应用生态需水计算方法(表 5)结合湿地水文特征和生态特征,本文把黄河三角洲湿地的水量需求分成平水期(11 月~翌年 3 月份)、鱼类繁殖期(4~6 月份)和汛期(7~10 月份)3 个时段分别对不同类型的湿地生态需水量进行计算。

表 5 湿地生态需水量计算公式

Table 5 The equation for computing the ecological water requirement of wetland		
需水量类型 Style of water requirement	采用公式 Formula	解释说明 Explanation
湿地植物需水 Wetland vegetation water requirement	$dW_p/dt=A(t)ET_m(t)$	dW_p 为植物需水量, $A(t)$ 为湿地植被面积, ET_m 为蒸散发量, t 为时间 dW_p is the vegetation water requirement, $A(t)$ is the area of wetland vegetation, ET_m is the evapotranspiration value, t is time
湿地土壤需水 Wetland soil water requirement	$Qt=aHtAt$	Qt 为土壤需水量, a 为田间持水量或饱和持水量百分比,根据研究区的土壤类型而定, Ht 为土壤厚度, At 为湿地土壤面积 Qt is the soil water requirement, a is the percent of field capacity or saturated water content, decided by the soil style of study region, Ht is the thickness of soil, At is the area of wetland soil
生物栖息地需水 Biological habitat water requirement	$dW_q/dt=A(t)\%H(t)$	dW_q 为生物栖息地需水量, $A(t)$ 为湿地面积, $\%$ 为水面面积百分比, $H(t)$ 为水深, t 为河口湿地水体换水周期 dW_q is the biological habitat water requirement, $A(t)$ is the wetland area, $\%$ is the percentage of water surface area, $H(t)$ is the water depth, t is the water exchange period of the estuarine wetland water body

黄河三角洲湿地自然保护区植被面积为 653.19km²(表 6),主要包括芦苇、荻、柽柳、翅碱蓬、獐茅、白茅等,植被覆盖率为 53.7%。湿地植被类型多,其蒸散发也不尽相同,这里计算取潜在蒸散发量平均值,级别(最小、适宜、理想)的划分主要通过植被类型、质量和生长状况而定,分别按照潜在蒸发量的 0.6、0.8 和 0.9 的比例进行计算^[20]。

表 6 黄河三角洲湿地植物需水量参数

Table 6 Parameter calculation of the vegetation evapotranspiration water requirement			
总面积 Total area (km ²)	植被面积 Area of vegetation (km ²)	年均降水量 Annual precipitation (mm)	年均蒸发量 Annual evaporation (mm)
1530.0	653.19	539.1~582.2	1962.1

黄河三角洲湿地以其广阔且相对平静的水面使得其中水生生物丰富,由此成为珍稀、濒危鸟类的重要栖息地。相应生物栖息地需水量以湿地水面面积,水深作为控制指标。保护区湿地总面积为 751.33km²。湿地多处于浅平洼地中,洼地是三角洲平原上相对低洼之地,以河间洼地为主,为黄河泛滥静水沉降区。洼内地势平缓,平均水深以 1.0m 计。湿地内水体一般由黄河洪水期补充,年内多数时间水体呈封闭状,湿地水体置换时间 t 计为 1 次/年。生物栖息地需水量计算结果见表 7。

由于黄河的水沙冲淤问题与流域土地资源开发利用、水资源利用以及河流、河道整治等诸多因素紧密相关,黄河的泥沙量

主要集中在汛期,其他季节来沙量较少,因此本文应用了崔树彬等人对汛期输沙水量所做的估算结果。

根据不同时期实测天然径流量比例,将需水量计算结果分配到平水期、繁殖期和汛期。计算结果见表 8。

表 7 黄河三角洲生物栖息地需水量计算

Table 7 The habitat water requirement of the Yellow River Delta

保护区湿地总面积(km ²)	751.33		
Total area of wetland in protected region			
平均水深(m)	1.0		
Average water depth			
湿地水体换水周期	1 次/年		
Water exchange period of wetland water body	once a year		
湿地水面面积比例	0.5	0.65	0.8
Wetland water surface area percentage			
水量特征	最小	适宜	理想
Water character	Minimum	Moderate	Perfect
湿地栖息地需水量(×10 ⁸ m ³)	3.76	4.88	6.1
Wetland habitat water requirement			

表 8 黄河三角洲自然保护区湿地各等级生态需水量

Table 8 Different grades of the ecological water requirement for the wetland nature reserve of the Yellow River Delta (×10⁸m³)

需水季节划分 ^①	水量特征 ^②	鱼类繁殖 ^③	植被蒸散发量 ^④	土壤需水量 ^⑤	栖息地需水量 ^⑥	输沙水量* ^⑦	黄河三角洲湿地生态需水量 ^⑧	
							不含输沙水量 ^⑨	含输沙水量 ^⑩
平水期 ^⑭ (11~3 月份)	最小需水量 ^⑪		2.3	1.13	0.98		4.41	4.41
	适宜需水量 ^⑫		3.07	1.5	1.27		5.84	5.84
	理想需水量 ^⑬		3.45	2.25	1.56		7.26	7.26
繁殖期 ^⑮ (4~6 月份)	最小需水量	24	1.15	0.56	0.5		26.21	26.21
	适宜需水量	30	1.53	0.75	0.63		32.91	32.91
	理想需水量	40	1.73	1.13	0.77		43.63	43.63
汛期 ^⑯ (7~10 月份)	最小需水量		5.4	2.65	2.28	150	10.33	160.33
	适宜需水量		7.19	3.53	2.98	150	13.7	163.7
	理想需水量		8.09	5.29	3.66	150	17.04	167.04
全年 ^⑰	最小需水量	24	8.85	4.34	3.76	150	40.95	190.95
	适宜需水量	30	11.79	5.78	4.88	150	52.45	202.45
	理想需水量	40	13.27	8.67	6.1	150	67.93	217.93

* 表中输沙水量数据参考 <http://www.hwcc.com.cn> 崔树彬 宋世霞《黄河三门峡以下水环境保护研究》

①Plot of water requirement season; ②Water character; ③Fish breeding; ④Vegetation evapotranspiration; ⑤Soil water requirement; ⑥Habitat water requirement; ⑦Sand transport water; ⑧Ecological water requirement for the wetland nature reserve of the Yellow River Delta; ⑨Not contain sand transport water; ⑩Contain sand transport water; ⑪Minimum water requirement; ⑫Moderate water requirement; ⑬Perfect water requirement; ⑭Normal flow period; ⑮Breeding period; ⑯Flooding period; ⑰Whole year

当黄河三角洲地区实际生态可用水量满足计算结果(表 8)中不同时期不同等级的生态水量需求时,即可实现与各等级水量相对应的保护区管理目标的要求。将表 8 中的计算结果换算成流量数据可知平水期(11~翌年 3 月份)最小生态流量应不低于 35m³/s,繁殖期(4~6 月份)为提供鱼类繁殖和洄游用水最小生态流量应不低于 337m³/s,汛期(7~10 月份)考虑输沙用水最小流量应为 1500m³/s,不考虑输沙用水汛期最小流量应为 100m³/s。在考虑输沙用水和不考虑输沙用水的情况下黄河三角洲全年湿地最小生态需水量分别为 40.95×10⁸m³ 和 190.95×10⁸m³。对比黄河三角洲湿地生态系统尚属健康的 20 世纪 50 年代的水量数据,可以看出,其全年最小需水量、适宜需水量和理想需水量(均含输沙水量)分别是 20 世纪 50 年代黄河下游实测年生态可用水量^[25]的 48%、58%和 76%。黄河流域在 20 世纪 50、60 年代水量充沛,湿地生态系统多处于无人干扰或人为干扰较小的健康状态,将生态需水量计算结果与利津水文站 1956~1970 年实测年平均径流量对比,可以看出在不考虑输沙用水的情况下计算所得最小需水量、适宜需水量和理想需水量分别是 1956~1970 年实测年均径流量的 11%、14%和 16%;在考虑输沙用水的情况下生态最小需水量、适宜需水量和理想需水量分别是 1956~1970 年实测年均径流量的 38%、41%和 43%。

7 成就水量的手段

目前,黄河流域水资源十分紧缺,加之周边地区工农业用水量大,黄河口地区水资源难以满足管理目标的要求。因此,需要对水资源进行合理配置和利用。为满足保护区生态需水要求可以采取如下手段:

(1)协调解决流域内各省之间水资源分配问题,上游地区不得挤占下游用水,同时要合理分配取水时间与取水量,在水资源配置中考虑生态用水要求。通过外流域调水工程的实施来缓解黄河流域水资源供需之间的矛盾。

(2)在保障水量的前提下还要加强对水质的监测与保护。对保护区施行科学管理,禁止向区内排放生活与工业废水,在外围建造污水处理设施,切实执行自然保护区管理条例。

(3)采取必要的节水措施,使水资源达到高效利用。增强居民及游人的节水及自然保护意识。

(4)在未来的一段时期内,由于河流携带泥沙入海,新淤湿地还会增加,海水冲蚀和滩涂淤积的交互作用还会不断的进行,但冲淤比例不甚协调。随着湿地面积的不断变化,生态需水也会作出相应的变化和调整。特别在未来湿地发展过程中,管理目标的确定应该考虑生态的合理性和湿地的适宜性,从而确定合理适宜的生态需水量并有重点地加以保护。

References:

- [1] Armentrout G W, Wilsin J F. Assessment of low flows in streams in northeastern Wyoming. *USGS Water Resources Investigations Report*, 1987. 85~4246, 4(5): 533~538.
- [2] Arthington A H, King J M, O'Keefee J H, et al. Development of an holistic approach for assessing Environmental flow requirements of riverine ecosystem. In: Pigram J J, Hooper B P, eds. *Water Allocation for the Environment*. Armindale: The centre for policy research. University of New England, 1992. 69~76.
- [3] Bartschi D K. A habitat-discharge method of determining instream flows for aquatic habitat, in Orsborn, J. F. And Allman, C. H. eds. *Proceedings of symposium and specility conference on instream flow needs II*. American fisheries society, Bethesda, Maryland, 1976. 285~294.
- [4] Geoffrey E P. Water allocation to protect river ecosystems. *Regulated rivers: research & management*, 1996, (12): 353~365.
- [5] Gleick P H. Water in crisis: Paths to sustainable water use. *Ecological Applications*, 1998, 8(3): 571~579.
- [6] King J M Lowd. Instream flow assessment for regulated rivers in South Africa using the building block methodology. *Aquat. Ecosyst. Health Manag.*, 1998, 1: 109~124.
- [7] Sheail J. *Historycal development of setting compensation flows*. In: Gustard A, Cole G, Marshall D, et al. eds. A study of compensation flows in the UK, report 99. Institute of Hydrology, Wallingford. Appendix(I), 1984.
- [8] Tennat D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. In: Orsborn J F, Allman C H, eds. *Proceedings of symposium and specility conference on instream flow needs II*. American fisheries society, Bethesda, Maryland, 1976. 359~373.
- [9] Ni J R, Cui S B, Li T H, et al. On water demand of river ecosystem. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2002, 9(9): 14~26.
- [10] Zhao Y M, Song C S. *Scientific survey of the Yellow River delta nature reserve*. Beijing: China Forestry Press, 1995. 26~30.
- [11] William J Mitsch, James G Gosselink. *Wetland*. New York: John Wiley & Sons Inc, 2000. 107~153.
- [12] Adelekan I O. Hydro-ecological implications of inter-annual rainfall variations in northern Nigeria: the case of the Lake Chad basin. In: Howard Wheeler, Celia Kirby, eds. *Hydrology in a Changing Environment*. New York: John Wiley & sons Inc, 1998. 335~345.
- [13] Cui B S, Liu X T. Ecological character changes and sustainability management of wetlands in Yellow River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(3): 250~256.
- [14] Wetland vegetation editorial committee of china. *Wetland vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1999. 174~180.
- [15] Zhao K F, Feng L T, Zhang S Q. Adaptive physiology of different ecotypes of *Phragmites communis* to salinity in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(5): 465~469.
- [16] Bu R C, Wang X L, Xiao D N. Analysis on landscape elements and fragmentation of Yellow River Delta. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1999, 10(3): 321~324.
- [17] He H M, Chen H L, Liu Z S, et al. Research on Yellow River Delta area water resources utilization. *Coastal Engineering*, 2000, 19(4): 52~58.
- [18] Chang B Y, Xue S G, Zhang H Y. *The Yellow River water resource catchment reasonable distribution and optimal regulation*. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 1998. 132~178.
- [19] The wetland convention office of the State Forestry Administration. *The directory for the wetland convention*. Beijing: China Forestry Press, 2000. 2~4.
- [20] Yang Z F, Cui B S, Liu J L, et al. *Theory, method and practice of eco-environmental water requirement*. Beijing: Science Press, 2003. 59~63.
- [21] Hughes R M, Whittier T R, Thiele J E, et al. Lake and stream indicators for the United States environmental protection agency's environmental monitoring and assessment program. In: Daninel H, Mckenzie D, Hyatt E, et al. eds. *Ecological indicators*. Barking:

Elsevier Science Publishers Ltd, 1992. 305~335.

- [22] Henry C P, Amoros C. Restoration Ecology of Riverine Wetlands: A Scientific Base. *Environmental Management*, 1995, **19**(6): 891~902.
- [23] Henry C P, Amoros C, Giuliani Y. Restoration Ecology of Riverine Wetlands II. An Example in Former Channel of the Rhone River. *Environmental Management*, 1995, **19**(6): 891~902.
- [24] He H M, Wang Y, Chen H L. Influence of the Yellow River zero flow on estuarine economic environment. *Coastal Engineering*, 2000, **19**(4): 41~46.
- [25] Shi W, Wang G Q. Estimation of ecological water requirement for the lower Yellow River. *Acta Geographica Sinica*, 2002, **57**(5): 595~602.

参考文献:

- [9] 倪晋仁, 崔树彬, 李天宏, 等. 论河流生态环境需水. *水利学报*, 2002, **9**(9): 14~26.
- [10] 赵延茂, 宋朝枢. 黄河三角洲自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社, 1995. 26~30.
- [13] 崔保山, 刘兴土. 黄河三角洲湿地生态特征变化及可持续性管理对策. *地理科学*, 2001, **21**(3): 250~256.
- [14] 中国湿地植被编辑委员会. 中国湿地植被. 北京: 科学出版社, 1999. 174~180.
- [15] 赵可夫, 冯立田, 张圣强. 黄河三角洲不同生态型芦苇对盐度适应生理的研究 I. 渗透调节物质及其贡献. *生态学报*, 1998, **18**(5): 465~469.
- [16] 布仁仓, 王宪礼, 肖笃宁. 黄河三角洲景观组分判定与景观破碎化分析. *应用生态学报*, 1999, **10**(3): 321~324.
- [17] 何宏谋, 陈红莉, 刘争胜, 等. 黄河三角洲地区水资源利用研究. *海岸工程*, 2000, **19**(4): 52~58.
- [18] 常炳炎, 薛松贵, 张会言. 黄河流域水资源合理分配和优化调度. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 132~178.
- [19] 国家林业局湿地公约履约办公室. 湿地公约履约指南. 北京: 中国林业出版社, 2000. 2~4.
- [20] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量理论、方法与实践. 北京: 科学出版社, 2003. 59~63.
- [24] 何宏谋, 王煜, 陈红莉. 黄河断流对河口地区生态环境的影响. *海岸工程*, 2000, **19**(4): 41~46.
- [25] 石伟, 王光谦. 黄河下游生态需水量及其估算. *地理学报*, 2002, **57**(5): 595~602.