

# 黄河重点河段水环境承载能力及其合理利用

张建军<sup>1</sup>, 黄锦辉<sup>1</sup>, 高传德<sup>1</sup>, 彭勃<sup>1</sup>, 程广霞<sup>2</sup>

(1. 黄河水资源保护科学研究所, 河南 郑州 450004; 2. 河南省机电设备招标中心, 河南 郑州 450004)

**摘要** :在界定水环境承载能力内涵及其影响因素的基础上,结合黄河重点河段水资源特征、水环境和排污状况,分析黄河重点河段水环境承载能力的特点,提出以水功能区管理为依据、总量控制为手段、水污染防治为根本的思路,通过工程、非工程措施来提高黄河水环境承载能力,以达到保护黄河水资源,实现流域社会经济增长和水资源保护相协调的可持续发展目的。

**关键词** :黄河,水环境承载能力,水资源,水环境,排污

**中图分类号** :X522      **文献标识码** :A      **文章编号** :1004-693X(2006)05-0048-05

## Water environmental carrying capacity of critical section of Yellow River and its rational utilization

ZHANG Jian-jun<sup>1</sup>, HUANG Jin-hui<sup>1</sup>, GAO Chuan-de<sup>1</sup>, PENG Bo<sup>1</sup>, CHENG Guang-xia<sup>2</sup>

(1. Water Resources Protection Institute of Yellow River, Zhengzhou 450004, China; 2. Henan Mechanical and Electronic Equipment Bid Invitation Center, Zhengzhou 450004, China)

**Abstract** :The characteristics of water environmental carrying capacity of critical section of Yellow River were analyzed based on the characteristics of water resources, the situation of water environment and pollution discharge, and the definition of water environmental carrying capacity and its influencing factors. Thoughts in rational utilization of Yellow River water environmental carrying capacity were brought forward, which take water function zone management as its foundation, total amount control as its measure, and water pollution prevention and control as its objective, so as to realize the goal of sustainable development of both of social economic development and water resources protection through engineering and non-engineering measures to improve the carrying capacity.

**Key words** :Yellow River; water environment carrying capacity; water resources; water environment; pollution discharge

### 1 水环境承载能力

水环境承载能力是指在一定流域或区域内,水资源自身能够持续支撑社会经济发展规模,并维持良好的生态系统的功能。水环境承载能力是相对于一定时期、一定区域的社会经济发展状况和水平而言的,其目标是保护和实现社会经济的可持续发展、水资源的永续利用以及良好的水生态系统,因此,水环境承载能力既是客观的又是有条件的。水环境承载能力体现在当前人类活动特别是经济活动中,通常是指水环境为保障水体功能正常发挥所能

接纳污染物的能力,即水环境容量。

一般水环境容量包括稀释容量、迁移容量和净化容量三部分,其大小与给定水域的水文及水动力学条件、水体稀释自净能力、排污点的位置与方式、水环境功能需求以及水体自然背景值等因素有关。其基本方程式如下<sup>[1]</sup>:

$$W = (C_n - C_0)Q + K \frac{X}{U} C_n Q$$

式中: $W$  为水环境容量; $C_n$  为水资源质量标准; $C_0$  为水域中污染物的自然背景值; $X$  为水域长度; $Q$  为来水量; $U$  为平均流速; $K$  为污染物综合降解

系数。

一般情况下,在一定水域内人们对水资源质量需求是一定的,因此水环境容量尤与水域水资源状况和水环境自净特性息息相关。

## 2 黄河水环境承载能力相关因素分析

### 2.1 黄河水资源特性

#### 2.1.1 年际变化大

黄河干流各站年最大径流量一般为年最小径流量的3倍以上,而且随着黄河流域工农业生产和生活用水的日益增加,黄河干流主要水文站的实测年径流普遍呈现出衰减趋势。以兰州、头道拐、三门峡和花园口站为例,上述4站1950~1986年平均实测径流量分别为334.9亿、252.3亿、411.8亿、455.1亿 $m^3$ ,1987~1997年分别为269.4亿、167.8亿、269.5亿、286.7亿 $m^3$ ,与1950~1986年相比,分别减少了19.6%、33.5%、34.6%和37%,各站实测年径流量变化情况见图1。另外,从多年的实测资料分析得知,黄河不仅存在连续枯水时段,而且还存在枯水时段持续时间长的特点,如在1922~1932年、1990~1997年有长达11年和8年的枯水时段。

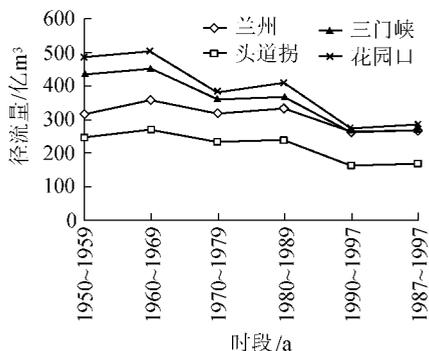


图1 黄河重要水文站实测年径流量变化情况

水量变化大,表明黄河水环境承载能力很不稳定,而水量的减少必然会带来黄河水环境承载能力的下降,连续枯水时段的存在又使黄河水环境承载能力持续走低。近年来由于经济的快速发展和城市化进程的加快,黄河流域废污水排放量呈与日俱增之势,其表现是水环境的压力越来越大,多数河段常年超负荷运行,水污染恶化情况得不到有效扼制。

#### 2.1.2 年内分配集中

在人类对黄河水资源尚无有效调控能力时,径流年内分配比较集中,7~10月的汛期,径流量约占全年径流量的60%,而非汛期的11月至翌年的6月径流量仅占全年的40%左右。1950~1986年兰州、头道拐、三门峡和花园口站实测径流量汛期和非汛期所占比例见表1。这一分配格局使得黄河水环境

承载能力也存在同样的规律,即汛期显著高于非汛期。在黄河流域接纳废污水量基本稳定的情况下,汛期水环境质量明显优于非汛期。

表1 黄河重要河段水文站实测径流汛期、非汛期分配对比

站名	时段/a	年径流量/亿 $m^3$	汛期/%	非汛期/%
兰州	1950~1986	334.9	56.7	43.3
	1987~1997	269.4	41.8	58.2
头道拐	1950~1986	252.3	58.6	41.4
	1987~1997	167.8	40.0	60.0
三门峡	1950~1986	411.8	57.2	42.8
	1987~1997	269.5	45.9	54.1
花园口	1950~1986	455.1	58.7	41.3
	1987~1997	286.7	47.2	52.8

1986年10月龙羊峡水库投入运用后,与刘家峡水库联合调度运用,使黄河干流各站径流的年内分配发生了明显的变化。表1给出了黄河重要河段水文站1950~1986年与1987~1997年实测径流的年内分配对比情况。可以看出,1987年以后,汛期径流量大幅下降,非汛期明显增加,出现了所谓的“丰水期不丰,枯水期不枯”现象。这在一定程度上缓解了年内径流过于集中的现象,从这个角度来考虑,对改善黄河非汛期水环境质量非常有利。但也应看到,由于实测年径流呈现衰减趋势,有可能导致年内各水期水环境承载能力均有所下降。

#### 2.1.3 空间分布不均

黄河流域水资源地区分布极不均匀。黄河天然年径流量地区分布见表2。由表2可见,兰州以上流域面积占全流域的29.6%,来水量却占全流域的55.6%,黄河清水基流主要来自兰州以上区间。但兰州以上区域受自然条件的制约,人口稀少,社会经济不很发达,水环境承载能力难以利用。而兰州至河口镇区间、龙门至三门峡区间和三门峡至花园口区间,其平均天然年径流量仅占全流域的28.3%,但这些区段却集中了流域社会经济的主要部分。由于水资源和水环境承载能力空间分布不均,与流域社会经济发展需求很不匹配,给当地水环境的保护与管理造成很大难度。

表2 黄河流域天然年径流地区分布

站名或区间名	控制面积/ $km^2$	占全河/%	平均年径流量/亿 $m^3$	占全河/%	年径流深/mm
兰州以上	222551	29.6	322.6	55.6	145.0
兰州至河口镇区间	163415	21.7	-10.0	-1.7	
河口镇至龙门区间	111586	14.8	72.5	12.5	65.0
龙门至三门峡区间	190869	25.4	113.3	19.5	59.4
三门峡至花园口区间	41616	5.5	60.8	10.5	146.1
花园口以上	730036	97.0	559.2	96.4	76.7
下游支流	22407	3.0	21.0	3.6	93.7
黄河流域	752443	100.0	580.0	100.0	77.1

注:表中数据指1919年~1975年56年系列。

## 2.2 黄河水环境特性

### 2.2.1 高含沙水体的污染特性

黄河属高含沙河流,进入黄河水体的泥沙由于本身含有相当数量的黏土矿物和有机、无机胶体,对入河污染物有明显的吸附作用。在相同含沙量情况下,泥沙颗粒越细、比表面积越大,其吸附作用越强,可起到提高水环境承载能力的作用;同时,泥沙又作为污染物和污染物的载体而对水环境造成污染。研究表明,某些水质参数如高锰酸盐指数、化学需氧量、溶解氧和重金属类等与泥沙密切相关,对水环境承载能力影响较大。因此,高含沙河流的水环境承载能力与一般清水河流不同。客观判定高含沙河流水环境承载能力可以说是十分复杂的。

### 2.2.2 污染物综合自净的季节性

反映水环境承载能力中净化容量的重要参数是污染物综合自净系数,其影响因素主要是水温、污染物的浓度梯度、水文特征以及河道边界条件等。

黄河流域地跨 10 个纬度、地势呈现 3 个大的阶梯,大气环流的作用使气温分布呈南高北低、东高西低,流域内气温的年较差、日较差均较大,与气温密切相关的水温同样差异较大。纳污水体的温度直接影响污染物自净过程中的分解、氧化反应、微生物的生物活性等作用的进行。从多年黄河水质监测资料可以看出,在其他条件雷同的情况下,一些河段水质的优劣与水温高低关系较大,尤以地处高纬度地带、冬季封河的宁、蒙河段和下游宽浅游荡河段最为明显。即夏季高温期污染物自净能力较强,冬季低温期污染物自净能力最差,表明水环境承载能力存在明显的季节性差别。因此,在研究黄河各河段水环境承载能力时,必须考虑季节性水温变化所带来的影响。

## 2.3 黄河排污特点

### 2.3.1 排污相对集中

黄河的河川径流利用具有相对集中的特点,在干流上主要集中在上游的宁蒙河套平原及下游的黄淮海平原,在支流上主要集中在湟水、渭河、汾河及涑水河、伊洛河、沁河等河谷盆地,黄河干流接纳污染物也相对集中在这些区域。黄河干流接纳污染物区间分布见表 3。由表 3 可见,兰州至河口镇区间、龙门至三门峡区间、三门峡至花园口区间集中了流域等标污染负荷的 78.6%。干流接纳的污染物主要由湟水、洮河、无定河、渭河、双桥河、汾河、老鳞河和涑水河等 18 条支流、9 个大的排污口以及 7 条农灌退水沟汇入,其等标污染负荷占到干流的 80.2%。

河川径流的集中开发利用,必然使这些区域的水环境承载能力下降,相伴而生的集中排污,又导致这些区域的水环境不堪重负,水污染严重。

表 3 黄河干流接纳污染物区间分布

站名或区间名	等标污染负荷/t	污染负荷比/%
兰州以上	4697	12.1
兰州—河口镇区间	9592	24.8
河口镇—龙门区间	2921	7.5
龙门—三门峡区间	16332	42.2
三门峡—花园口区间	4481	11.6
花园口以下	709	1.8
黄河干流	38731	100.0

### 2.3.2 排污相对稳定

根据 1998 年黄河干流纳污量调查,黄河干流各水期污染物日入河量见表 4。可见,黄河干流接纳的污染物主要来自支流,其次是直接来自入黄排污口,来自农灌退水沟的污染物相对较少。在基本不考虑面源污染影响的情况下,各水期污染物入黄量基本处于相对稳定状态。

表 4 1998 年黄河干流各水期纳污量 t/d

分类	监测参数	枯水期	丰水期	平水期
排污口	COD <sub>Cr</sub>	707.5	963.1	720.1
	BOD <sub>5</sub>	200.3	267.5	229.0
	NH <sub>3</sub> -N	75.9	79.0	56.0
农灌退水	COD <sub>Cr</sub>	498.2	517.5	799.7
	BOD <sub>5</sub>	50.3	81.6	86.3
	NH <sub>3</sub> -N	11.6	16.5	29.0
支流入黄	COD <sub>Cr</sub>	2083.0	4445.7	2224.4
	BOD <sub>5</sub>	311.5	433.2	399.3
	NH <sub>3</sub> -N	88.7	88.3	129.1
合计	COD <sub>Cr</sub>	3288.6	5926.4	3744.2
	BOD <sub>5</sub>	562.1	782.3	714.6
	NH <sub>3</sub> -N	176.2	183.7	214.2

## 3 黄河水环境承载能力合理利用分析

### 3.1 水功能区区管理办法是法律依据

河流水功能区管理的有效实施是水资源优化配置、合理利用和节约保护的重要保证。水环境作为水资源的重要组成部分,其承载能力的合理利用最终也要以水功能区的有效管理来实现。根据《中华人民共和国水法》第三十二条中的规定,黄河水环境承载能力的有效利用应制定各级水功能区管理办法(条例),切实加强水功能区的监督管理,以实现合理利用水环境承载能力来支持社会经济的持续发展。

### 3.2 入河污染物总量控制是重要手段

根据 1998 年黄河干流水质监测资料评价,汛期、非汛期和年平均分别有 24.5%、61.7% 和 58.1% 河长的水质劣于Ⅲ类地表水环境质量标准,污染河段主要分布在兰州新城桥以下。可见这些河段的污染物入河量,在不同水期都不同程度地超过了水环境承载能力,其中水资源开发利用量最大、排污集中的城市河段和区域,超载尤为严重。要实现水质不

超标的目标,对入河污染物应实施总量控制制度,将总量控制指标逐级分解、责任落实,建立和完善污染物入河许可制度以及相应的监管机制,根据黄河水资源特性、各水期水环境承载能力差异、河段与区域排污特点,制定多种排污控制方案,实时控制污染物入河量,合理利用黄河水环境承载能力。

### 3.3 水污染防治是根本措施

污染物入河量超出水环境承载能力,是造成黄河流域水污染的根本原因。据1998年黄河干流纳污量调查,干流85%以上排污口均超标排放,废污水中 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 平均质量浓度在300 mg/L左右,氨氮平均质量浓度在26 mg/L左右,在测试的部分支流中,其河水中的污染物浓度甚至比排污口废污水还高,如黄河下游的新蟒河、沁河等。要改变这种局面,必须追根溯源,流域内所有工矿企业的废污水都必须按照国家或地方的要求做到达标排放,并满足入河污染物总量控制要求;所有设市城市均应建设污水处理厂,城市生活污水处理率达到国家限期要求;根据水资源和水环境承载能力,调整产业结构,优化工业布局,严格控制高耗水、重污染企业的发展;同时加强面源污染的治理等,以保证黄河水资源的永续利用和良好的生态系统。

### 3.4 多途径提高和合理利用黄河水环境承载能力

#### 3.4.1 完善水量调度,保证生态用水

目前黄河干流的水量统一调度工作已经全面展开,黄河已经实施的刘家峡—头道拐及三门峡—利津河段的水量实时调度实践证明,水量调度在初步缓解黄河下游断流及枯水期下游用水紧张局面的同时,对维持水体的自然净化能力、增大黄河中、下游水环境承载能力,尤其对非汛期黄河中下游河段的水质保护、河道生态恢复和对河口湿地保护起到了重要作用,在一定程度上弥补了黄河水资源时空分布不均对水环境承载能力所带来的不利影响。但是目前还没有形成流域性水资源量和质的统一调度和管理,而且调控能力不足,黄河上游兰州—头道拐和中游头道拐—龙门河段还没有控制性的骨干工程,尤其是在宁、蒙灌区用水量大的枯水季节,不仅宁蒙河段河道环境用水得不到保证,而且将直接影响目前污染较为严重的潼关河段以及潼关以下河段的水环境承载能力和生态环境状况。因此,应尽快开展南水北调西线配套工程大柳树水库及中游古贤和碛口水库的前期工作,并研究碛口、古贤、三门峡和小浪底水库联合调水调沙和碛口水利枢纽的作用问题,适时开工建设,以增强上、中游水量调控能力,增大黄河上、中游生态用水水量和水环境承载能力,改善上、中游水质状况。

#### 3.4.2 合理调整产业结构和工业布局,优化排污口设计

加强黄河流域水资源的统一管理和保护,统筹考虑城乡生活、生产和生态等各方面对水量和水质的要求,推行计划用水和科学用水,合理调整产业布局,以供定需,加强需水管理,逐步实现水资源的合理配置,确保河道内水量的持续稳定和具有一定的水环境承载能力。

目前黄河许多河段因为排污口位置设置不当、排放方式不妥等问题造成局部河段水体污染严重,影响本功能区或邻近功能区的水资源使用功能;另外,由于缺乏有效的管理措施,许多饮用水水源区内仍存在不少排污口,严重威胁饮用水水源地和广大人民群众身体健康的安全。因此,应结合各排污河段的实际情况,对排污口位置、排放方式和时机等,进行优化设计,以达到合理、高效的利用水环境承载能力的目的。

#### 3.4.3 加大节水力度,提高水的使用效率

目前黄河水资源供需矛盾突出,各部门总用水量已超出黄河水资源的承载能力,缺水已成为沿黄地区经济社会可持续发展的主要制约因素。但是目前流域内占河川径流利用量90%以上的农业灌溉用水利用系数平均仅有0.4,工业用水重复利用率仅为40%~60%,从水资源保护的角度来说,不仅浪费了大量的水资源,而且减少了水环境承载能力,加大了对水环境的危害。因此要大力发展节水农业,提高旱作农业生产水平,充分利用雨水资源,搞好工业和城市生活节水,推进污水资源化工作的开展,建设节水防污型社会,把清洁生产推广到区域水资源的有效配置上去,以流域内大中城市、主要工矿区和宁蒙平原、汾渭盆地及豫鲁平原等引黄灌区为重点,全面推行节水措施。

#### 3.4.4 利用生物-生态修复技术,提高支流水体的自净能力

水体有其自身的自净和承纳污染物的特点,不同的水域由于水文条件、水动力学状况和河道污染特性的差异,水环境承载能力也各不相同。近年来的研究表明,科学合理地利用水域自身的这些特点,改善影响水域承纳污染物能力的物理、化学、生物的或是其他直接、间接的因素,可以有效提高水域的水环境承载能力<sup>[2]</sup>。例如,疏浚河道,改善河道水力状况,有利于污染物的迁移,同时通过疏挖河道底泥,可以减少内源的二次污染;利用生物操纵技术、生物吸收技术、生物过滤技术和生物净化技术等生物-生态修复技术,采用生物膜处理、人工湿地、土地处理等方法提高水域污染物净化水平等等。目前黄河入

河污染物的 69.6% 来自支流,针对这种状况,在条件基本具备的情况下,因地制宜地在支流集中排污河段,在不影响防洪的前提下,在水污染相对严重的非汛期采用疏浚河道、利用滩湿地以及布设膜处理、河道内培养生物包括植物和动物等人工强化生物净化措施,加强支流的综合治理,提高支流的水环境承载能力,减少黄河干流的污染物接纳量,提高干流承

纳污染物的能力。

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: 501.  
 [2] 何少苓, 彭静. 论提高水域自净与纳污能力的水动力潜力[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2002(1): 13.  
 (收稿日期: 2005-06-03 编辑: 高渭文)

(上接第 17 页)物理、化学指标进行构建,这是评价河流健康的一种有效方法。其中,化学指标可选择 COD<sub>Mn</sub>、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 和 DO,生物指标可采用浮游生物的多样性指数和底栖生物的生物污染指数。

b. 采用模糊概率方法对河流健康进行评价。实例分析表明,该法具有将概率统计和模糊数学相结合的特点,可以有效解决多指标和多河段综合评价容易受到随机性和模糊性影响的问题。结果不仅能够反映河流总体健康状况,还能揭示出不同等级河段所占的比例。

c. 研究发现深圳 3 条河流近 70% 的河段处于亚病态和病态状态,而仅有 4.5% 的河段处于健康状况。通过对比河流上下游的健康状况,发现上游河段的生态系统健康状况好于中下游河段,这是由于从上游至下游随着经济活动的加剧,污染物排放量的增加,使流域生态系统的健康程度呈现逐渐降低的趋势。

参考文献:

[1] RAPPORT D J. Water constitutes ecosystem health?[J]. Perspectives in Biology and Medicine, 1989, 33: 120-132.  
 [2] RESH V H, NORRIS R H, BARBOUR M T. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates[J]. Australia Journal of Ecology, 1995, 20: 108-121.  
 [3] 唐涛, 蔡庆华, 刘健康. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报, 2002, 23(9): 1191-1194.  
 [4] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探[J]. 水科学进展, 2005, 16(3): 349-355.  
 [5] NORRIS R H, THOMS M C. Water is river health?[J]. Freshwater Biology, 1994, 41: 197-209.  
 [6] KARR J R. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management[J]. Ecological Applications, 1991, 1(1): 66-84.  
 [7] NORRIS R H, NORRIS K H. The need for biological assessment of water quality: Australian perspective[J]. Australian Journal of Ecology, 1995, 20: 1-6.  
 [8] RESH V H, MYERS M J, HANNAFORD M J. Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality

[C]/Hauer F R, Lamberti G A. Methods in stream ecology. San Diego: Academic Press, 1999: 647-667  
 [9] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6: 21-27.  
 [10] BELPAIRE C, SMOLDERS R, AUWEELE I V, et al. An index of biotic integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies[J]. Hydrobiologia, 2000, 434: 17-33.  
 [11] WRIGHT J F. Development and use of a system for predicting macroinvertebrates in flowing waters[J]. Australian Journal of Ecology, 1995, 20: 181-197.  
 [12] 王备新, 杨莲芳. 用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2082-2091.  
 [13] SRI S, YULINAH T, BARRY T, et al. Assessment of the biological health of the Brantas River, East Java, Indonesia using the Australian River Assessment System (AUSRIVAS) methodology[J]. Aquatic Ecology, 2001, 35: 135-146.  
 [14] FAIRWEATHER G P. State of environmental indicators of 'river health': Exploring the metaphor[J]. Freshwater Biology, 1999, 41: 211-220.  
 [15] 张光贵. 用综合生物指数法评价水质[J]. 环境监测管理与技术, 2000, 12(5): 27-29.  
 [16] 邱立平, 杜茂安, 张大庆. 多项生物指数模糊综合评价的初步探讨[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(6): 50-54.  
 [17] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 125-126.  
 [18] 童君, 赵馨, 朱孝林, 等. 辽宁大伙房水库水生生物特征及水质生态学评价[J]. 环境保护科学, 2002, 28(110): 10-12.  
 (收稿日期: 2005-06-12 编辑: 高渭文)

