

# 黄土高原河谷型城镇水环境承载力实证研究

杜忠潮

(咸阳师范学院 旅游与资源环境学院, 陕西 咸阳 712000)

**摘要:**基于对国内外水环境承载力研究的述评,对地处黄土高原南缘河谷的淳化县中心镇(河湖型水利风景区)的水资源、水环境状况分析的基础上,运用适合于污染物均匀混合河段的河流零维模型,以化学需氧量(COD)为主要污染物指标,对其水环境承载力进行定量分析测算。结果表明:淳化县中心镇甘泉湖风景区现状年(2011年)和规划年(2020年)水环境承载力 COD 最大容许排放量分别为 0.007 3 kg/s(231.87 t/a)与 0.005 6 kg/s(或 176.66 t/a)。即年均 COD 排放量下降速率为 2.38%,高于国家“十二五”年平均 COD 排放量下降 1.60%的目标。鉴于此,提出了水质保护与水污染防治的措施。

**关键词:**河谷型城镇;水环境承载力;甘泉湖

中图分类号:X26

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0238-05

## Research on Water Environment Carrying Capacity of the Valley-type Town on the Loess Plateau

DU Zhong-chao

(College of Tourism, Resources and Environmental, Xianyang Normal University, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

**Abstract:** Based on the the domestic and international literature review focusing on water environmental carrying capacity, along with the analysis on the water resources, water environment of the center town of Chunhua County(lake and river-based water scenic spot) in the valley which is located in the southern edge of the Loess Plateau, the zero-dimensional model suitable for the homogeneous mixing of pollutants was introduced on the quantitative analysis and estimation of the water environment carrying capacity of the center town of Chunhua County by applying the chemical oxygen demand (COD) as the main pollutant index. The results showed that the water environmental carrying capacity and its maximum allowable emissions of the chemical oxygen demand (COD) of the Center Town on Ganquan Lake Scenic Area of the Chunhua status year (2010) and the planning year (2020) were 0.007 3 kg/s (231.87 t/a) and 0.005 6 kg/s (176.66 t/a), respectively. The average annual dropping rate of COD emissions was 2.38% which was higher than the national target of the average annual dropping rate of COD emissions (1.60%) from 2011 to 2015. Consequently, measures of water quality protection and pollution control were proposed.

**Key words:** valley-town; water environment carrying capacity; Ganquan Lake

随着城镇化进程的加快,我国不同等级城市的建设发展中,一方面是人口、产业聚集,土地利用/覆被的改变,地表建筑物、道路和地下水管网建设导致的下垫面非透水面积增大,改变了城市建成区地表和地下径流的形成条件。另一方面是各类城市(尤其是滨河城市)结合河道综合整治建造水体景观,改变了城市河流的自然特性。加之城市社会经济发展,对水资

源需求量增大,废污水相应增多,从而对水的时空分布、水循环及水环境产生一定影响,甚至出现水资源紧缺、水环境污染、城市洪水灾害威胁等问题。因此,有关城镇水资源系统变化、城市水环境纳污能力,以及水环境与人类社会经济协调发展等问题引起水利、环境、旅游等领域学者和业界人士的关注和思考。事实上,水环境承载力也是国外相关领域近十余年来研

收稿日期:2012-03-13

修回日期:2012-05-08

资助项目:陕西省重点学科建设专项资金资助项目(060103);咸阳师范学院科研专项基金资助重点项目(xy09xssyk101)

作者简介:杜忠潮(1956—),男,陕西咸阳市人,教授,硕士生导师,主要从事区域资源环境与可持续发展研究。E-mail:dzc1109@163.com

研究的热点。如北美湖泊协会对湖泊承载力概念的界定,美国 URS 公司对 Florida Keys 流域、美国环保局对在 Barry 和 Kalam-azoo 县的 Barry、Prairieville、Richland 和 Ross 4 个镇区中 4 个湖泊环境承载力的研究,并提出保护和改善湖泊水质的建议<sup>[1]</sup>。

国内的研究主要以流域或区域(城市、风景区等)为研究对象,采用定量和定性的研究方法,从不同视角探讨区域水环境承载状态。一是高屋建瓴性的定性分析研究。如汪恕诚从国家层面的水资源保护与管理出发,界定了水资源与水环境承载力的概念及其内在关系,探讨了提高水环境承载力的途径<sup>[2]</sup>。王颖等引用大量数据阐述了长江三角洲地区水资源水环境的主要问题及其对策<sup>[3]</sup>。二是利用各种定量方法分析评价城市或区域水环境承载力指数,反映研究区水环境承载状态及其与经济发展的协调性。诸如层次分析法<sup>[4-6]</sup>、灰色关联分析<sup>[7]</sup>、系统动力学<sup>[8]</sup>、熵值法<sup>[9]</sup>、多元回归分析<sup>[10]</sup>、向量模法<sup>[11]</sup>、人工神经网络<sup>[12]</sup>和遗传算法<sup>[13]</sup>等;三是运用不同容量模型进行区(流)域或城市水环境承载力测算分析,给出研究区(流域或河段)的水环境承载力估算值,可具体反映某河段(流域)的纳污能力,通常用于研究区的环境影响评价和规划研究<sup>[14-15]</sup>。此外,对研究成果的述评总结<sup>[1,16]</sup>和展望也不容忽视,流域水生态承载力概念模型的提出和应用<sup>[17]</sup>,更是体现了该领域研究的最新进展。

本研究基于淳化县甘泉湖水利风景区规划的编制和研究,对黄土高原地区河谷型城镇水环境承载力进行分析估算,旨在为县域经济与河湖型风景区可持续发展提供一种判据。

## 1 研究区水资源平衡与水功能区划分

### 1.1 研究区水资源平衡

陕西省淳化县地处关中平原北部、渭北黄土高原沟壑区南缘,地理范围东经  $108^{\circ}18'$ — $108^{\circ}50'$ ,北纬  $34^{\circ}43'$ — $35^{\circ}03'$ ;属暖温带大陆性季风气候,多年平均气温  $9.8^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量  $600\text{ mm}$ 。该县河流属于渭河流域的泾河水系和石川河水系。其中石川河水系的冶峪河是县域内最大的河流,穿县城而过,境内河长  $39.0\text{ km}$ ,流域面积为  $514.4\text{ km}^2$ ,总落差  $948\text{ m}$ ,河床比降  $26.3\%$ 。流域植被覆盖率较高,约在  $85\%$ 左右,分为天然植被和人工植被。据淳化县水文站实测资料,还原水量  $2.77\times 10^6\text{ m}^3$ ,天然年径流量  $0.171\text{ 亿 m}^3$ ,年平均流量  $0.48\text{ m}^3/\text{s}$ 。河流主要靠大气降水补给,多年平均降雨量为  $600.6\text{ mm}$ ,年平均蒸发量  $520\text{ mm}$ 。从降水分布来看,年内降水分布不

均,7—9月3个月为汛期,降水多以暴雨形式出现,表现为降水集中,历时短,强度大,易引起山洪暴发,造成灾害。此外,地下水储量  $0.41\text{ 亿 m}^3$ ,可开采量为  $0.09\text{ 亿 m}^3$ 。

甘泉湖水利风景区以冶峪河城区段综合治理所建成的该县最大人工湖—甘泉湖(又称橡胶坝)为核心,占地约  $3\text{ km}^2$ ,主要包括甘泉湖、兴淳塔、碑林苑、帘云瀑布、文博馆、梨园广场、仿古一条街、宋城墙遗址、革命纪念馆等景点,是迄今陕西省唯一的、以县城打造的旅游水利风景区。该风景区既是淳化县中心镇居民的生产、生活和休闲地,也是“西咸”都市圈居民的观光旅游地。常住人口  $2.20\text{ 万人}$ ,规划年接待游客容量  $7.5\times 10^5\text{ 人}$ (2010—2030年),日客流量为  $0.42\text{ 万人}$ 。

综合考虑常住居民和游客规模,以2010年为现状年,其供应水量主要是县城自来水公司现有的3个水源井(即二号井、三号井和南关女儿泉),日实际供水量为  $0.2411\text{ 万 t}$ ,年供水量为  $5.5\times 10^5\text{ t}$ ,水质各项指标均符合国家生活饮用水卫生标准(GB5749—2006)的要求,供水范围基本覆盖全城区。随着县域经济发展和县城居民居住面积的不断扩展,人口逐年增加,年需水量  $1.83\times 10^6\text{ t}$ ,而自来水公司和工业自备井年实际供水量仅为  $0.88\times 10^6\text{ t}$ ,现状缺水  $62\%$ (表1),加之县城部分群众居住在高坡地段,供水压力不足,群众吃水时有时无。供水紧张对县城可持续发展十分不利。据县城规划,至2011年底,已在冶峪河泛太果汁厂上游弯曲的河段建造坝高  $3\text{ m}$ ,坝长  $70\text{ m}$ 的溢流坝一座。建成占地  $0.486\text{ hm}^2$ 、年供水量为  $1.64\times 10^6\text{ t}$ 的水源工程,大大缓解了县城及景区缺水状况。

### 1.2 地表水功能区划分

根据甘泉湖水利风景区水资源状况和淳化县城功能区结构,参照地表水环境质量标准(GB3838—2002)<sup>[18]</sup>有关地表水使用功能分类体系,将甘泉湖水利风景区划分为2个地表水功能区,并规划相应的水质目标(表1)。据乾县环境监测站水质检测报告—乾环检测字(2011)第039号(2011-11-24)对冶峪河水质的监测结果:冶峪河现状水质在淳化县自来水厂取水口上游  $0.3\text{ km}$ 处监测断面( $W_1$ )据满足 GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质标准要求,地表水质量好;大店新区断面( $W_2$ )氨氮、COD、BOD<sub>5</sub>、石油类均超过 GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质标准,超标倍数较大,呈现出污染物浓度沿  $W_1$ — $W_2$ 断面递增的趋势。甘泉湖水利风景区的饮用水源区水质良好,而景区大部分河段受城镇

区生活污水和农业污染源影响,其水质受到一定程度污染,不能满足 GB3838—2002《地表水环境质量标

准》Ⅲ类水质标准要求,现状水质同目标水质差距较大,污水处理任务重、难度大。

表 1 甘泉湖水利风景区水功能区划分

水功能区	范围	监测控制断面	水质目标 (2020 年)	现状水质 (2011 年)
饮用水源区	县城自来水厂上游弯曲河段	县城自来水厂取水口上游 300 m 处	Ⅱ类	Ⅱ类
甘泉湖娱乐景观用水区	甘泉湖景区—大店新区河段	大店新区	Ⅲ类	V类

## 2 水环境承载力分析

### 2.1 水环境承载力测算模型

水环境承载力是指在一定的水域,其水体能够被继续使用并仍保持良好生态系统时,所能够容纳污水及污染物的最大能力。对城市水资源系统而言,是指以生态良性循环为目标,“水体容许城市污水的最大排放量”(纳污能力)<sup>[1]</sup>。关于城市(水域)水环境承载力的评价分析和测算,国内外学者提出过种种算法和模型<sup>[4-17]</sup>。本研究考虑冶峪河为小型河流(多年平均流量  $Q \leq 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ),采用国家水利行业标准《SL348—2006<sup>[19]</sup>》所规定的、适用于污染物均匀混合河段的河流零维模型。其河段的污染物浓度计算的数学模型为:

$$C = C_p Q_p + C_0 Q \quad (1)$$

式中: $C$ ——污染物浓度( $\text{mg}/\text{L}$ ); $C_p$ ——排放的废污水污染物浓度( $\text{mg}/\text{L}$ ); $C_0$ ——初始断面污染物浓度( $\text{mg}/\text{L}$ ); $Q_p$ ——废污水排放流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ); $Q$ ——初始断面流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

相应的水域纳污能力计算公式为:

$$M = (C_s - C_0)(Q_p + Q) \quad (2)$$

式中: $M$ ——水域纳污能力( $\text{kg}/\text{s}$ ); $C_s$ ——水质目标浓度值( $\text{kg}/\text{s}$ );其余参数意义同式(1)。需要说明的是,利用上述时模型进行计算,本研究将淳化县自来水厂取水口上游 300 m 处断面作为初始断面,以污水处理厂排污口下游大店新区断面作为控制断面(假定排污口位于计算河段的中间点),来分析测算研究区水环境承载力(图 1)。原因在于:一是该出口断面基本上控制了甘泉湖景区(淳化县城)污水出水区量;其次,该断面也是更大范围水环境保护规划的主要控制断面。

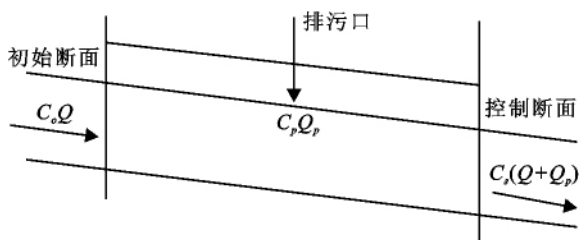


图 1 水量水质计算模型示意图

### 2.2 水环境质量控制目标

参照渭河水系(陕西段)污水综合排放标准(DB61/224—2006)制定的五种污染物最高允许排放浓度(表 2),结合甘泉湖景区地表水功能区划分,甘泉湖娱乐景观区和城镇生活污水出口断面以下河段 2020 年水质分别为:水环境质量Ⅲ类和Ⅳ类。即冶峪河大店公路桥上游断面以上河段达到Ⅲ类标准:COD 浓度为  $\leq 20 \text{ mg}/\text{L}$ 、BOD 浓度为  $\leq 4 \text{ mg}/\text{L}$ 、氨氮浓度为  $\leq 0.5 \text{ mg}/\text{L}$ 、挥发酚为  $\leq 0.005 \text{ mg}/\text{L}$ 。景区(县城)排污口一下河段达到Ⅳ类标准:COD 浓度为  $\leq 30 \text{ mg}/\text{L}$ 、BOD 浓度为  $\leq 6 \text{ mg}/\text{L}$ 、氨氮浓度为  $\leq 1.0 \text{ mg}/\text{L}$ 、挥发酚为  $\leq 0.01 \text{ mg}/\text{L}$ <sup>[18]</sup>。

表 2 渭河流域 5 种污染物最高允许排放浓度  $\text{mg}/\text{L}$

污染物	一级标准	二级标准	三级标准
BOD	20	25	300
COD	80	135	500
挥发酚	0.3	0.4	2.0
氨氮	12	18	25
石油类	5	8	15

注:摘自《渭河水系(陕西段)污水综合排放标准》(DB61/224—2006)。

### 2.3 水环境承载力测算及结果分析

2.3.1 景区水资源量 据位于县城中心的淳化水文站实测资料,冶峪河多年平均径流量  $1\,433 \text{ 万 m}^3$ ,实测年最大洪峰流量  $524 \text{ m}^3/\text{s}$ ,调查年最大洪峰流量  $881 \text{ m}^3/\text{s}$ (1933 年)、多年平均流量  $0.48 \text{ m}^3/\text{s}$ 。地下水资源可开采量为  $0.09 \text{ 亿 m}^3$ 。

2.3.2 污水排放量 污水排放量包括工业、农业及生活三大方面。参照《淳化县城总体发展规划》(2006—2020)、《陕西省 2010 年水资源公报》等提供的统计数据,工业废水耗水量约为工业引水量的 20%,排放量为工业用水的 80%。即对工业污水排放量计算可以近似采用工业用水量乘以排放系数;城市生活污水排放量亦等于生活用水量乘以排放系数(平均约 80%);农村生活污水比较分散,近似认为农村生活用水全部消耗。由此得到不同年份工业和城市生活废污水排放总量(表 3)。

2.3.3 水环境承载力测算结果与分析评价 以 COD 为主要污染物,分别计算现状水平年(2011 年)、

规划水平年(2020 年)的相关指标(表 3),结果表明:

(1) 现状条件下,按照目前的用水、排水、污水处理能力等条件计算的结果,已经超出地表水环境质量Ⅳ类标准,属于渭河水系陕西段主要污染物最高允许排放浓度一级标准(表 2)。水环境承载能力表现为废污水总排放量为 0.507 2 万 m<sup>3</sup>/d、流量为 0.06 m<sup>3</sup>/s,COD 排放量为 0.007 3 kg/s(或 231.87 t/a)。按照目前的发展趋势,倘若不进行大规模调整,2020 年水环境承载能力将严重超载。

(2) 按照 2020 年规划目标计算,即甘泉湖水域段水质达到地表水Ⅲ类标准,水环境承载能力为废污水总排放量 0.691 万 m<sup>3</sup>/d、流量为 0.08 m<sup>3</sup>/s,COD

最大容许排放量为 0.002 8 kg/s(或 88.33 t/a)。水质接近渭河水系陕西段主要污染物最高允许排放浓度一级标准。

(3) 对照现状年(2011)与规划目标年(2020)的水环境承载能力,按平均减速计算,平均每年化学耗氧量(COD)排放总量需下降 6.16%。对比国务院颁发的《“十二五”节能减排综合性工作方案》(国发[2011]26 号)中:“2015 年,全国化学需氧量和二氧化硫排放总量分别控制在 2.35×10<sup>6</sup> t、2.09×10<sup>6</sup> t,比 2010 年的 2.56×10<sup>6</sup> t、2.27×10<sup>6</sup> t 分别下降 8%”(年平均下降 1.6%)的主要目标,节能减排形势确实严峻、任重道远。

表 3 甘泉湖景区水环境承载力计算结果

年份	污染物浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	废污水排放浓 度/(mg·L <sup>-1</sup> )	初始断面污染物 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	废污水排放流 量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	初始断面入流 流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	水质目标浓 度/(mg·L <sup>-1</sup> )	水域纳污能 力/(kg·s <sup>-1</sup> )
2011	119	104	15	0.059	0.48	—	0.0073
2020	—	5.0	15	0.080	0.48	20	0.0028

注:(1) 2011 年污染物浓度为乾县环境监测站水质检测报告—乾环检测字(2011)第 039 号对冶峪河水质的监测结果:初始断面污染物(COD)浓度为 15 mg/L,废污水排放浓度为 119 mg/L;用(需)水量为 0.634 万 t/d,废污水排放系数统一按 80%计,初始断面流量取淳化水文站实测值 0.48 m<sup>3</sup>/s。(2) 2020 年初始断面污染物浓度为甘泉湖水利风景区上游水源地区段水质目标浓度值(地表水Ⅱ类指标),初始断面入流量取实测值 0.48 m<sup>3</sup>/s;废污水排放流量按用水量 0.864 万 t/d 和排放系数 80%换算;水利风景区河段水质目标浓度为地表水Ⅲ类指标。

3 水质保护与水污染防治措施

随着淳化县县城的发展和人口增加,水资源紧缺状况日趋严重,甘泉湖风景区水环境质量不容乐观。据《淳化县水利志》(2010):“县城(含甘泉湖景区)由于工业废水排放,造成冶峪河污染,水质恶化,水质分析结果氰化物 0.09 mg/L,氨氮 7.36 mg/L,COD(化学耗氧量)25.48 mg/L,BOD(生物耗氧量)4.47 mg/L,悬浮物 373 mg/L”。对照国家地表水环境质量标准(GB3838—2002)<sup>[18]</sup>,甘泉湖水体河段水环境质量为地表水Ⅳ类,非直接饮用水,仅可供工业和非身体直接接触的娱乐用水。据该县环保局的监测资料(2009 年 10—11 月),水污染处理厂排污口下游出口段,水质分析结果:氨氮 0.567 mg/L,COD(化学耗氧量)38.95 mg/L,BOD<sub>5</sub>(生物耗氧量)6.50 mg/L,动植物油 0.935 mg/L。就单项指标(COD)衡量,为地表水Ⅴ类,属于重度污染。预计到 2020 年,淳化县城人口规模将超过 3.00 万人,县城规模相应扩展,加之游客人数增大,水资源和水环境问题还会进一步加剧。

此外,就县城与甘泉湖风景区污水排放量的来源和构成看(表 1),居民生活污水和工业废水排放量各占 55.50%和 44.50%,农业和旅游所致污废水量对于县城和甘泉湖景区的影响极小。因此,为了改善水环境质量,满足县城居民与甘泉湖风景区游客的生活、生产和游憩娱乐活动对水体质量和水环境的要

求,提高水环境承载力,有必要采取如下措施:

3.1 提升城市污水集中处理能力

城镇污水集中处理是改善城镇水环境质量的必要和有效措施。随着城市化进程的加快,县城建成区范围扩大,人口聚集规模增大,有必要对原城区污水处理厂进行扩建,提升其污水处理能力。此外,严格污水处理达标排放制度,杜绝排污口向河道直排污水。企业排污口的设立,必须进行环境论证,经环保部门论证同意后方可建设。

3.2 加强工业污染源防治

工业污水和居民生活废水是淳化县城、甘泉湖景区的主要污染源,必须加强对工业废水污染物的控制和处理。(1) 贯彻“谁污染,谁治理”的原则,强化环境监测管理,严格控制工业污染源。所有新、扩、改建项目必须严格执行环境影响评价制度和“三同时”制度。项目建成投产后,必须确保废水处理设施稳定运行,废水达标排放。(2) 加强水污染物治理设施的运行管理,建立工业污染源长效管理体系。积极推进治理设施运行市场化、管理规范、监控自动化进程,开展重点污染源在线监测试点。根据“一控双达标”的要求,近、远期所有工业企业的废水都应达标排放,近期应着重抓好重点工业污染源的治理工作,并按上级政府规定的目标对污染物进行总量控制。

3.3 加强农村面源污染防治

现阶段农业与农村地区废污水对县城和甘泉湖

景区的直接影响尚不明显,仍不可忽视农村地区面源污染对水域功能区的影响,应大力发展生态农业,科学使用化肥、农药,推广生物防治技术,减少化肥、农药污染。加强对畜牧养殖业污水排放的管理,对水体影响大的畜牧养殖企业进行搬迁或关停。积极推进乡村生活污水集中处理,农村推广生活污水、禽畜粪便沼气化处理,改善纳污水域环境。

### 3.4 开展流域水环境综合整治与生态环境建设

加强冶峪河流域水环境综合治理,对河道进行截污、疏浚,增加水体环境容量和自净能力;对河道进行清淤,降低底泥中的污染物质和营养盐含量,改善清淤河道水质;严格控制沿河地区污染物排放,对流域水环境进行综合管制,提高流域水生态承载力。此外,生态环境建设是水资源保护及其可持续发展治本之策,应积极推进植树造林、水土保持、生态农业以及城市园林建设等生态环境建设工程。

### 3.5 合理开发和保护水资源

坚持开发与保护并重、开源与节流同步的方针,加强水资源的开发与保护。首先要建立水资源统一调度机制,大力推广先进的节水技术,全面节约水资源。其次是加强饮用水源保护,重点抓好各水库及上游流域污染防治,强化饮用水保护区监督管理,严格控制各类污染源进入水源保护区,改善和提高饮用水源水质,使城市生活饮用水水质 100% 达到生活饮用水标准。禁止在冶峪河取水口上游 1 000 m,下游 100 m(一级保护区)沿岸倾倒垃圾和排污,保证水体达Ⅱ级以上标准。尤其对地下水源的保护,按照国家生活用水水质卫生标准(GB5749—2006)采取严格的卫生防护措施:一是水厂生产区外围 10~20 m 范围内,不得设置生活居住区和修建畜牧场、渗水厕所、渗水坑、堆放垃圾粪便和排放污水。二是水源井周围 300~400 m 范围内,不得使用污水灌溉和施用有持久性的剧毒农药。

#### 参考文献:

- [1] 杨维,刘萍,郭海霞.水环境承载力研究进展[J].中国农村水利水电,2008(12):66-69.
- [2] 汪恕诚.水环境承载能力分析 with 调控[J].水利发展研究,2002,2(1):2-6.
- [3] 王颖,王腊春,王栋,等.长江三角洲水资源水环境承载力、发展变化规律与永续利用之对策研究[J].水资源保护,2003(6):34-40,49.
- [4] 李靖,周孝德,吴文娟.层次分析法在水环境承载力评价中的应用[J].水利科技与经济,2008,14(11):866-869.
- [5] 李新,石建屏,曹洪.基于指标体系和层次分析法的洱海流域水环境承载力动态研究[J].环境科学学报,2011,31(6):1338-1344.
- [6] 王莉芳,陈春雪.济南市水环境承载力评价研究[J].环境科学与技术,2011,34(5):199-202.
- [7] 徐建新,肖恒.城市水环境承载力灰色关联分析等级评价研究[J].水利科技与经济,2007,13(12):902-904.
- [8] 崔凤军.城市水环境承载力及其实证研究[J].自然资源学报,1998,13(1):58-62.
- [9] 贺瑞敏,张建云,王国庆,等.基于集对分析的广义水环境承载能力评价[J].水科学进展,2007,18(5):730-735.
- [10] 庄宇,胡晓蕊,马贤娣.水环境承载力与效率的多元回归模型及应用[J].干旱区资源与环境,2007,21(9):41-45.
- [11] 来雪慧,王小文,徐杰峰,等.基于向量模法的陕南地区水环境承载力评价[J].水土保持通报,2010,30(2):56-59,78.
- [12] 杨秋林,张淑贞.基于 BP 神经网络的水环境承载力评价[J].国土与自然资源研究,2009(4):70-72.
- [13] 秦克丽.区域水环境承载力评价模型研究[J].灌溉排水学报,2010,29(1):86-89.
- [14] 刘丽萍.昆明市水环境承载力研究[J].水资源与水工程学报,2011,22(2):145-148.
- [15] 樊庆铎,于淼,徐东川,等.大庆地区水环境承载力计算分析与评价[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(2):66-70.
- [16] 李玮,肖伟华,秦大庸,等.水环境承载力研究方法与发展趋势分析[J].水电能源科学,2010,28(11):30-32.
- [17] 谭红武,杜强,彭文启,等.流域水生态承载力及其概念模型[J].中国水利水电科学研究院学报,2011,9(1):1-8.
- [18] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准(GB3838-2002)[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [19] 中华人民共和国水利部,长江流域水资源保护局.水域纳污能力计算规程 SL348-2006[M].北京:中国水利水电出版社,2006.