

# 渭河流域水安全诊断与对策研究

彭少明<sup>1,2</sup>, 黄 强<sup>1</sup>, 杨立彬<sup>1,2</sup>

(1 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

**[摘 要]** 针对渭河流域水系统存在的安全问题,研究了渭河流域水系统危机及诱发和传播的过程,探讨了渭河流域水系统危机的关键诱发因子,并研究了诸诱发因子的相互作用,筛选了渭河流域水系统安全的影响因素,在此基础上建立了渭河水安全指标体系及多层次多目标模糊综合评价模型,提出了基于欧氏距离的安全多目标评价方法。在对各单项目标安全评价的基础上进行了渭河流域水系统的安全诊断,评价结果表明,渭河流域水系统极不安全,水资源短缺是导致渭河流域水系统不安全的主要原因。文章基于安全诊断结果提出了一套提高渭河水安全的对策。

**[关键词]** 渭河流域;水系统安全;安全诊断;多目标评价模型;水资源利用

**[中图分类号]** TV213.4;X143

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2007)08-0217-06

## Study on water security diagnoses and countermeasure of the Weihe River

PENG Shao-ming<sup>1,2</sup>, HUANG Qiang<sup>1</sup>, YANG Li-bing<sup>1,2</sup>

(1 Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Yellow River Engineering Consult Co. Ltd, Zhengzhou, Hen'an 450003, China)

**Abstract :** In view of the problem of water system safety and the water resources utilization of Weihe River, the system crisis of Weihe River and the process of its diffusing and emergence were studied, then the key factors of causing the crisis and their reciprocity were investigated so as to filtrate factors affecting the water system safety to build water safety indexes on Weihe River. Furthermore, the multi-layer and multi-objective fuzzy integrative evaluation model was constructed and euclid distance method was introduced into the safety object evaluation to analyse water system safety of Weihe River by evaluating every single safety object. The result of evalution is that Weihe water system is unsafe and the main factor is insufficiency of water resources. According to the analysis result, a series of measures are given to improve the water system safety of Weihe River.

**Key words :** Weihe River basin; water system security; security diagnoses; multi-object evaluation model; water resources utilization

流域水系统安全既包括水资源供给安全(以可以承受的价格提供足够安全的水),又含有河流生命的健康维持,是一个有人参与的多变量、多层次、多状态的动态复杂系统。渭河流域是黄河第一大支

流,发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,流经甘肃、宁夏、陕西3省(区),流域面积13.48万km<sup>2</sup>,在陕西省潼关县注入黄河。渭河在黄河流域治理开发中占有较为重要的地位,然而20世纪90年代以来,渭河流域进

†收稿日期] 2006-07-07

[基金项目] 国家“973”重点基础研究发展规划项目(G1999043608);陕西省重点实验室项目(02JS37)

[作者简介] 彭少明(1973-),男,河南信阳人,在读博士,主要从事水文及水资源研究。

入干旱少雨期,加上流域耗水量不断增加,渭河河道径流量呈现大幅度衰减,使渭河供水安全及河流健康生命受到严重威胁,对渭河流域的水安全问题进行客观评价并提出相应的治理对策,无疑具有十分重要的实际意义。

当前的水安全研究多是就某一方面的预警(水质、水环境或水量等),研究的焦点多集中于水安全概念的界定和水安全系统危机的应急保障策略,或是与水安全系统危机相关的饮用水安全、粮食安全和生态环境安全等问题。如 Simo novic<sup>[1-2]</sup>、申碧峰<sup>[3]</sup>、高彦春等<sup>[4]</sup>分别就水对人类活动环境变化、生态整体性以及社会经济因素之间不同的具体反馈信息,从系统动力学角度研究分析了水安全情势,获得了一些有益的结果;陈绍金等<sup>[5]</sup>、张翔等<sup>[6]</sup>探讨了水安全的概念及水安全系统的理论框架;夏军等<sup>[7]</sup>指出,水循环基础研究在水安全管理中具有重要作用,并提出根据水资源承载力度量水资源安全的思想;贾绍凤等<sup>[8]</sup>提出了水资源安全评价的指标体系;张士峰等<sup>[9]</sup>从水资源供需平衡的角度研究了海河流域的水安全问题;冉圣宏等<sup>[10]</sup>研究了水质、水环境安全的预警问题,建立了区域水环境污染预警评价体系;韩宇平等<sup>[11]</sup>、尹发能<sup>[12]</sup>分别采用多目标模糊方法评价了全国和洞庭湖的水安全问题。

由于复杂的社会、经济、环境间的相互竞争和相互作用,水文循环和社会、经济、环境的发展变化都会影响水安全系统危机的诱发和传播,单纯的水文分析和单目标评价很难诊断多因素诱发的水安全系统危机。多目标、多层次的水安全研究,是在综合考虑水量、水质、水环境及可持续性、可生存性的基础上,对水安全的评价和预警方法进行系统研究,全面评价水系统的安全程度,从而为流域水安全系统危机的预防、调控以及应急决策提供参考依据。本研究对渭河流域的水安全问题进行了系统研究,现将结果报道如下。

## 1 渭河流域水安全问题及其评价指标的建立

### 1.1 渭河流域水的安全问题

渭河流域水资源总量不足,承载能力有限,在渭河的治理开发中出现了水资源短缺、供需矛盾突出、水污染严重、水环境日趋恶化、下游河道淤积、防洪形势严峻、水土流失尚未得到有效遏制等问题,造成“上游水少、中游水黑、下游淤积”的不利局面。渭河流域的水安全系统风险和危机问题十分突出,总结

起来有 5 个方面: 渭河水资源总量不足,呈资源性缺水形势。渭河流域河川径流量为 100.4 亿  $\text{m}^3$ ,人均占有河川径流量 308  $\text{m}^3$ ,为全国人均占有水量的 13 %<sup>[13-14]</sup>。渭河水资源总量不足,承载能力有限,使该流域属资源性缺水地区。在渭河流域的诸多灾害中,以干旱灾害的发生最为频繁,且造成的损失大、涉及范围广。 洪灾频繁,损失严重。渭河南山支流坡陡流急,洪水陡涨陡落,预见期极短,给下游河道防洪造成极大危害,加之堤防质量差、隐患多、标准不足,险工防护能力低是造成渭河中下游洪水灾害频繁的原因之一。 水污染严重,生态环境恶化。随着渭河流域经济社会的快速发展,国民经济用水大量增加,已严重挤占了生态环境用水。造成流域水污染严重、地下水超采、生态环境日益恶化。 水土流失严重。渭河中上游地处黄土高原,多沙粗沙区产沙十分集中,是渭河下游及黄河下游河道淤积泥沙的主要来源区。该区降雨量小、植被稀疏、沟道侵蚀剧烈,严重的水土流失不断蚕食耕地,影响着渭河水文循环的下垫面。 河道淤积严重。渭河下游大量泥沙淤积主河槽,造成主河槽严重萎缩,河床不断抬升,排洪能力急剧下降。

渭河的五大水安全问题相互联系、相互影响,威胁着渭河的健康生命。如不尽快解决出现的问题,理顺各方面关系,必将制约渭河流域经济社会的可持续发展。

### 1.2 渭河水安全评价指标的建立

1.2.1 建立原则 渭河的 5 大水安全问题涉及面非常广,既有自然因素如水资源量,也包括社会因素如水污染;既有定性指标,又有定量指标。同时,每个方面又包括诸多的影响和制约因素。对渭河流域水安全问题的研究和水系统安全的诊断,必须涵盖所有问题并应理顺其相互之间的关系,水安全评价指标体系的建立和筛选必须对这些方面进行通盘考虑。因此,构建的指标体系应具有层次结构,并考虑以下原则: 指标选择要有充分的科学基础。所选指标要反映渭河流域水安全概念的内涵,并且能反映水安全某一方面的问题。 指标完备。能全面反映渭河水系统安全的 5 大问题及其相互关系。 指标具有层次性。能反映水资源利用的多层次、多目标的特征。 指标具有可比性。选择指标时,应尽量选择可量化的指标或以某种方式可进行量化的指标,以便于比较。 指标应具有动态性。能动态地反映流域水资源利用状况及其对水安全产生的后果<sup>[15]</sup>。

1.2.2 评价指标体系的建立 通过对渭河流域水系统安全现状、特点的分析,得到渭河水系统安全的主要问题及其影响因素,初步构建了能定量反映渭河水安全特征的指标体系,并对指标进行了定量化筛选,以确定水安全评价的指标体系。该体系有 5

大安全目标,根据 5 大安全目标所包含内容,结合渭河流域水资源利用现状的突出问题细再分为准则层和指标层,共有 32 个量化指标,包括相对指标和绝对指标,具体如表 1 所示。

表 1 渭河流域水系统安全评价指标体系  
Table 1 Index system of water system security evaluation in Weihe River

安全目标 Security object	准则 Guide line	指标 Index
水资源安全 Water resource security	水资源量 Water resource quantity	人均水资源量( $\text{m}^3/\text{人}$ ) Water resource per human
		面积水资源量( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ) Water resource per $\text{hm}^2$
		径流系数 Runoff index
		干旱指数 Aridity index
		水资源可利用量( $\text{亿 m}^3$ ) Available quantity
	缺水程度 Degree	总缺水率(%) Ratio of water shortage
		工业缺水比重(%) Proportion of industrial water shortage
		农业缺水比重(%) Proportion of agricultural shortage
		农业水利用系数 Water utilizing coefficient of agriculture
		工业重复利用率(%) Water reiteration ratio industry
洪水灾害 Flood disaster	灾情 Situation of disaster	年均成灾面积( $\text{万 hm}^2$ ) Disaster area per annum
	洪灾风险 Risk flood disaster	年均受灾人口(万人) Disaster population per annum
		洪灾频次(%) Flood disaster frequency
		堤防标准(年一遇) Standard of embankment
生态环境 Environment and zoology	水环境 Water entironment	高危险河段比率(%) Ratio of high disk reach
		流域排污量(t) Pollution drainage
		环境需水满足率(%) Fulfill ratio envtironment water demand
		河道最小生态需水满足率(%) Fulfill ratio of minimum environment water demand in riverway
		不合格水质河段比例(%) Proportion of disqualification
	水生态 Water zoology	地下水超采量( $\text{亿 m}^3$ ) Groundwater overtaking
		污径比 Ratio sewage to flow up
		天然湖泊面积( $\text{万 hm}^2$ ) Area of natural lake
		湿地保护面积比率(%) Ratio of protect marsh
		年均淤深(cm) Depth of fill up per annum
河道淤积 Riverway fill up	淤积现状 Status quo of fill up	河道输沙水量( $\text{亿 m}^3$ ) Water quantity of hoarse taking
	来沙与输沙 Hoarse bringing and taking	河道萎缩比率(%) Shrinking ratio of reach
		输沙比(%) Ratio of hoarse taking
水土流失 Loss of water and soil	水土流失现状及其治理 Status quo and treatment	汛期河水含沙量( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) Sand contain in flood season
		植被覆盖率(%) Vegetation cover ratio
		流域侵蚀模数( $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ) Corrosion modulus
		水土流失面积( $\text{km}^2$ ) Area of water and soil lose
		治理率(%) Treatment ratio

2 水安全的多层次多目标模糊综合评价模型

渭河水系统安全涉及流域水资源利用、社会经济以及生态环境等多方面的问题,其实质是典型的多目标评价问题,多目标的水安全评价结果往往与决策者的主观意愿直接相关。因此,水安全诊断的多目标评价方法要能够实现多目标间的协调,还要能充分体现决策者的意愿。由于模糊评价方法在评价过程中引入了模糊性概念,其运用模糊数学来处理水安

全问题及其潜在危机,故能够较好地处理上述问题。

2.1 基于欧氏距离判断的水安全目标评价模型

水资源利用的各单项目标都存在相应的理想值和所能接受的上、下限值,因此,决策过程即是将规划得到的各个单项目标值与相应的理想值和所能接受的上、下限值进行比较,分析它们与理想值和所能接受的上、下限值的接近程度。样本间相似程度的测度可以用距离来度量。设有 2 个向量  $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  和  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ , 则向量  $X$  和  $Y$  之间的欧氏距离可表示为:

$$d(x, y) = \left( \sum_{k=1}^p (x_k - y_k)^2 \right)^{0.5} \quad (1)$$

式中,  $d(x, y)$  为欧氏距离,  $p$  为向量维数。

根据定义,  $x_k, y_k$  距离  $d(x, y)$  越小, 则两向量就越相似, 也就是越接近; 反之亦然。因此, 在多目标评价中可以用欧氏距离来描述安全目标统计值与理想值及上、下限值的接近程度。这里引入 3 个相关距离计算的公式。

(1) 统计值与理想值之间的欧氏距离为:

$$d_1 = \left( \sum_{i=1}^n (f_i(x) - f_i^*)^2 + \sum_{j=1}^m (g_j(x) - g_j^*)^2 \right)^{0.5} \quad (2)$$

式中:  $f_i(x), g_j(x)$  为评价指标  $x_i, x_j$  的隶属函数;  $f_i^*, g_j^*$  为指标理想值对应的隶属度;  $m, n$  分别为指标的维数, 其和为评价向量维数, 即  $m + n = p$  (下同)。

(2) 统计值与上、下限值之间的欧氏距离为:

$$d_2 = \left( \sum_{i=1}^n (f_i(x) - f_i^M)^2 + \sum_{j=1}^m (g_j(x) - g_j^M)^2 \right)^{0.5} \quad (3)$$

式中:  $f_i^M, g_j^M$  为指标上下限值对应的隶属度, 包括下限隶属度  $f_i^{\min}, g_j^{\min}$  及上限隶属度  $f_i^{\max}, g_j^{\max}$ 。

(3) 理想值与上、下限值之间的欧氏距离为:

$$d_3 = \left( \sum_{i=1}^n (f_i^* - f_i^M)^2 + \sum_{j=1}^m (g_j^* - g_j^M)^2 \right)^{0.5} \quad (4)$$

各评价指标的隶属度采用相对值表示各指标的大小, 将其置于 (0, 1) 区间, 采用 (5)、(6) 式进行归一化处理, 使之无量纲化, 以便于指标相互间的直接比较。

对指数值越大越不安全的指标, 采用下式计算:

$$f_i(x) = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}}; g_j(x) = \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (5)$$

而对指数值越小越不安全的指标, 采用下式计算:

$$f_i(x) = \frac{x_{i\max} - x_i}{x_{i\max} - x_{i\min}}; g_j(x) = \frac{x_{j\max} - x_j}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (6)$$

式中:  $x_i, x_j$  为评价指标的实际值,  $x_{i\min}, x_{j\min}, x_{i\max}, x_{j\max}$  为评价指标的上下限值。对于数值越小越不安全的指标,  $f_i^M, g_j^M$  取其下限值, 即  $f_i^{\min}, g_j^{\min} = 0$ ; 对于数值越大越不安全的指标,  $f_i^M, g_j^M$  取其上限值, 即  $f_i^{\max}, g_j^{\max} = 1$ ; 于是, 根据上述 3 个距离的综合协调, 可得评价目标的安全度为:

$$u(d) = \frac{d_1 + d_2}{d_1 + d_3} \quad (7)$$

式中:  $u(d)$  为评价目标的安全度,  $d_1, d_2, d_3$  分别为式 (2)、(3)、(4) 计算的 3 种欧氏距离值。

由定义可以推断, 当各项目标都达到理想值时,  $d_1 = 0$  且  $d_2 = d_3$ , 于是  $u(d) = 1.0$ , 即安全目标的各项指标均达到理想值, 此时目标的安全度  $u(d)$  达到最大值,  $u(d)_{\max} = 1.0$ 。当安全目标的各项指标都为指标临界阈值的下限时,  $d_2 = 0$  且  $d_1 = d_3$ , 目标的安全度  $u(d)$  达到最小值,  $u(d)_{\min} = 0.5$ 。

由此可知,  $0.5 \leq u(d) \leq 1.0$ 。即当安全目标的各项指标均达到理想值时, 目标安全度最高, 为 1.0。当安全目标的各项指标评价价值均达到限值 (上限或下限) 时, 目标总体协调安全度最低, 为 0.5。另外, 对于某一具体问题,  $d_3$  为一常数, 且  $u(d)$  随  $f(x)$  的增大 (或  $g(x)$  的减小) 而单调增加。因此,  $u(d)$  能很好地反映目标的整体安全程度。

## 2.2 目标总体协调的线性加权法

为了便于水系统安全的多目标评价, 最普遍的方法就是采用合理的手段设法将多目标评价问题通过协调转化为单一目标评价。基于这种思想, 可以将各个单项目标的安全度函数通过线性加权作为多目标安全评价问题的目标函数, 即

$$h(\mu) = \sum_{j=1}^n \mu_j \quad (8)$$

式中:  $h(\mu)$  为多目标评价综合安全度;  $\mu_j$  为  $j$  目标的安全度  $\mu_j$  在整体系统中的权重, 且满足  $0 \leq \mu_j \leq 1.0$ ,  $\sum_{j=1}^n \mu_j = 1.0$ , 其取值可根据具体问题中各个目标的重要程度确定。

根据 (8) 式多目标协调安全度的定义, 设定隶属度空间为: (1)  $0 \leq u(d) < 0.6$ , 安全度评价接近最低值 0.5, 为极不安全; (2)  $0.6 \leq u(d) < 0.75$ , 存在安全隐患; (3)  $0.75 \leq u(d) < 0.9$ , 相对安全; (4)  $0.9 \leq u(d) \leq 1.0$ , 安全度评价接近最高值 1.0, 安全状况良好。

根据 (8) 式多目标协调安全度的定义, 设定隶属度空间为: (1)  $0 \leq u(d) < 0.6$ , 安全度评价接近最低值 0.5, 为极不安全; (2)  $0.6 \leq u(d) < 0.75$ , 存在安全隐患; (3)  $0.75 \leq u(d) < 0.9$ , 相对安全; (4)  $0.9 \leq u(d) \leq 1.0$ , 安全度评价接近最高值 1.0, 安全状况良好。

## 3 渭河水安全评价与诊断

### 3.1 单项目标的安全诊断

各项目标的安全度评价基于各安全目标所包含的指标、准则层的评价, 并且是在对其进行综合协调的基础上进行的。按照评价体系的框架, 需要对每个指标进行评价计算, 其结果如表 2 所示。

将以上各安全目标所包含的指标向量的理想值与统计值分别代入 (1)、(2)、(3) 式, 计算各单项目标的 3 种欧氏距离  $d_1, d_2, d_3$ , 并由 (7) 式的安全度函数来判断评价目标的安全性。各安全目标的评价计算结果见表 3。

表 2 渭河流域水系统安全评价指标特征值

Table 2 Eigenvalue of water system security evaluation index in Weihe River

指标 Index	理想值 Ideal value	实际值 Factual value
人均水资源量(m <sup>3</sup> / 人) Water resource per huamn	2 300.0	308.0
面积水资源量(m <sup>3</sup> / hm <sup>2</sup> ) Water resource per hm <sup>2</sup>	1 400.0	2 610.0
径流系数 Run off index	0.3	0.18
干旱指数 Aridity index	1.20	0.87
水资源可利用量(亿 m <sup>3</sup> ) Available quantity	60.0	34.0
总缺水率( %) Ratio of water shortage	3.0	15.0
工业缺水比重( %) Proportion of industrial water shortage	0	5.0
农业缺水比重( %) Proportion of agricultural shortage	5.0	18.0
农业水利用系数 Water utilizing coefficient of agriculture	0.7	0.43
工业重复利用率( %) Water reiteration ratio industry	80.0	40.0
年均成灾面积(万 hm <sup>2</sup> ) Disaster area per annum	0	9.1
年均受灾人口(万人) Disaster population per annum	0	40.0
洪灾频次( %) Flood disaster frequency	1.0	5.0
堤防标准(年一遇) Standard of embankment	100	20
高危险河段比率( %) Ratio of high disk reach	5.0	30.3
流域排污量(t) Pollution drainage	2.0	8.0
环境需水满足率( %) Fullfil ratio environment water demand	100.0	73.2
河道最小生态需水满足率( %)	100.0	81.1
Fullfil ratio of minimum environment water demand in riverway		
不合格水质河段比例( %) Proportion of disqualification	5.0	60.0
地下水超采量(亿 m <sup>3</sup> ) Groundwater overtaking	0	5.6
污径比 Ratio sewage to flow up	0.05	0.135
天然湖泊面积(万 hm <sup>2</sup> ) Area of natural lake	135.0	30.0
湿地保护面积比率( %) Ratio of protect marsh	100.0	68.0
年均淤深(cm) Depth of fill up per annum	0	6.0
河道输沙水量(亿 m <sup>3</sup> ) Water quantity of hoarse taking	3.2	3.15
河道萎缩比率( %) Shrinking ratio of reach	0	22.0
输沙比( %) Ratio of hoarse taking	100.0	85.0
汛期河水含沙量(kg/ m <sup>3</sup> ) Sand contain in flood season	30.0	50.0
植被覆盖率( %) Vegetation cover ratio	35.0	22.3
流域侵蚀模数(t/ (km <sup>2</sup> ·a)) Corrosion modulus	2 000.0	5 000.0
水土流失面积(km <sup>2</sup> ) Area of water and soil loss	2.0	10.36
治理率( %) Treatment ratio	75.0	24.96

注 :表中实际值为 1990 ~ 2000 年渭河统计数据 ,理想值采用渭河近期重点治理规划目标数据。  
Note : The real numerical value in the table is statistic value from 1990 to 2000 in Weihe basin and ideal value is adopted from the target value of Weihe key planning in the near future.

表 3 渭河流域水系统安全各目标评价结果

Table 3 Evaluation results of water system safety objects in Weihe Basin

安全目标 Safety object	安全度	安全目标 Safety object	安全度
水资源安全 Water resource safety	0.530 8	河道淤积 Sediment in watercourse	0.613 2
洪水灾害 Food disaster	0.620 4	水土流失 Water and soil loses	0.593 2
生态环境 Envvironment	0.589 3		

由表 3 各单目标安全度的评价结果可知 ,渭河流域的安全目标均甚不安全。其中水资源、生态环境、水土流失的安全目标均属于“ 极为不安全 ”,以水资源的安全度最低 ,接近低限值 0.5 ;而河道淤积、洪水灾害的安全目标为“ 存在安全隐患 ”。

3.2 多目标安全的协调诊断

合理计算、确定各单项目标的权重是水系统多目标安全评价的关键。权重确定的方法有专家打分法、Delphi 调查法、切比雪夫方法和层次分析法

(AHP) 等。层次分析法是一种主客观相结合的权重确定方法 ,其以经验判断为基础 ,采用定性与定量相结合的方法确定多层次、多指标的权重系数。本文采用层次分析法 (AHP) 对影响渭河流域水系统安全的 5 个单项目标的权重系数进行计算。

根据渭河流域的现状特征 ,由专家咨询和经验判断确定 5 大安全因素的两两相对重要程度 ,分别赋予不同权重标度 (采用 9,7,5,3,1 标度 ,分别表示极重要、很重要、重要、比较重要和同样重要 ,其倒数

则示相对不重要),得到的判断矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 1 & 3 & 7 & 3 \\ 1 & 1/3 & 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1/7 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1 & 1/3 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

归一化处理后的权向量 = (0.161 7, 0.461 6, 0.158 0, 0.056 9, 0.161 7)。

一致性检验的  $CR = CI / RI = 0.020 6 < 0.1$ , 认为判断矩阵的一致性可以接受。

将权重向量代入(8)式,对渭河水系统安全进行综合评价,结果表明,渭河流域水系统多目标协调的安全度  $h(\mu) = 0.596 1 < 0.6$ ,评价结果为极不安全,表明渭河水系统存在巨大的安全隐患。

#### 4 渭河水安全问题的对策

本研究评价结果表明,渭河流域水系统安全隐患主要来源于水资源短缺和生态环境恶化。因此,首先,应采取措施提高流域水资源的承载能力来缓解流域供需矛盾;同时,要对渭河脆弱的河流生态环境采取相应的保护措施,保护渭河生命健康。由此提出以下具体措施:

(1) 节约用水,提高水资源利用效率。渭河流域农业用水占 70 % 以上,提高农业灌溉水利用系数可以减轻流域供水压力。目前,渭河流域达到节水标准的灌溉面积仅占有效灌溉面积的 22.1 %,灌区节水尚有一定潜力。渭河流域的工业产值不高,在流域经济高速发展的同时,应提高用水效率,降低万元工业增加值用水量,在产值增长的同时减少水资源的消耗。

(2) 提高流域污水处理规模,加大污水回用量,加强污水资源化。加强流域工业废水的处理力度,不但可减轻河流污染,而且可为生产提供清洁的水源。当前渭河流域污水处理回用成本约为 6 元/ $m^3$ ,小于调水成本 11.2 元/ $m^3$ ,可见实施污水资源化对缓解渭河流域水安全危机意义重大。

(3) 实施渭河补水工程。在优化经济结构和合理配置水资源的基础上,考虑从水资源丰富的流域调引适当的水量向渭河补水。研究提出的渭河补水方案包括:引乾(佑河)济石(砭峪水库)、引红(岩河)济石(头河)、利用引洮一期工程向渭河补水、引汉(江)入渭(河)、引洮(河)入渭(河)和利用南水北调西线工程向渭河补水及引江济渭入黄等。

(4) 科学确定渭河流域的水环境承载能力,以水

环境承载能力的持续利用支持社会经济的可持续发展。通过采取控制消减入河污染物总量,落实和强化区域水污染防治,将污染物排放量由现在的 10.4 亿 t 控制降低至 6 亿 t,以实现渭河水资源的有效保护。

(5) 加强水土保持建设。流域内多丘陵沟壑地貌,尤其是北岸植被脆弱,土壤侵蚀严重,是渭河的主要来沙区。据监测,渭河现状年均来沙量达 3.18 亿 t。治沙必先从源头开始,实施水土保持工程,改善流域生态植被、固土保水、减少泥沙下泻,将入渭泥沙减少至 2 亿 t 以下。

(6) 加强流域水资源的科学管理和调度,合理分配“三生”用水。保留生态用水量,逐步修复受损生态,恢复并最终维持渭河下游中水河槽治理目标(标准按华县断面流量 3 000  $m^3/s$  考虑),保障下游行洪要求;合理分配生活生产用水,满足流域国民经济不断增长的用水需求。

#### [参考文献]

- [1] Simonovic S P. Global water dynamics: Issues for the 21st Century[J]. Water Science & Technology, 2002, 45(8): 53-64.
- [2] Simonovic S P. World water dynamics: Global modeling of water resources[J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66(3): 249-267.
- [3] 申碧峰. 北京市宏观经济水资源系统动力学模型[J]. 北京水利, 1995, 17(2): 14-16.
- [4] 高彦春, 刘昌明. 区域水资源系统仿真预测及优化决策研究——以汉中盆地平坝区为例[J]. 自然资源学报, 1996, 11(1): 23-32.
- [5] 陈绍金, 施国庆, 顾琦仪. 水安全系统的理论框架[J]. 水资源保护, 2005, 21(3): 9-11.
- [6] 张翔, 夏军, 贾绍凤. 水安全定义及其评价指数的应用[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 145-149.
- [7] 夏军, 朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269.
- [8] 贾绍凤, 张军岩, 张士峰. 区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 538-545.
- [9] 张士峰, 贾绍凤. 海河流域水量平衡与水资源安全问题研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 684-691.
- [10] 冉圣宏, 陈吉宁, 刘毅. 区域水环境污染预警系统的建立[J]. 上海环境科学, 2002, 21(9): 541-544.
- [11] 韩宇平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 262-272.
- [12] 尹发能. 洞庭湖水安全评价研究[D]. 湖南长沙: 湖南师范大学, 2004.
- [13] 王敏捷. 渭河水环境问题与治理对策[J]. 灾害学, 2000, 1(3): 47-50.
- [14] 冯普林. 渭河下游存在的主要问题及治理建议[J]. 人民黄河, 2003, 25(5): 32-33.
- [15] 王顺久. 水资源开发利用综合研究[D]. 四川成都: 四川大学, 2005.