

基于地理信息系统的西宁市土壤侵蚀监测的实现

刘得俊¹,李润杰¹,王文卿¹,魏国晋²

(1. 青海省水利水电科学研究所,西宁 810001;2. 青海省水利水电工程局有限责任公司,西宁 810001)

摘 要:介绍了应用地理信息系统技术,建立西宁市 DEM 模型,提取地形地貌指标,划分西宁市小流域,并且引进 USLE 方程对西宁市的土壤侵蚀进行计算分析,得出西宁市土壤侵蚀分布情况。

关键词:地理信息系统;西宁市;土壤侵蚀;监测

中图分类号:S157;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)05-0111-03

Completion of Xining City Soil Erosion Monitoring Based on GIS

LIU De-jun¹,LI Run-jie¹,WANG Wen-qing¹,WEI Guo-jin²

(1. Qinghai Provincial Water Conservancy and Hydropower Research Institute, Xining 810001;

2. Qinghai Water Conservancy and Hydropower Engineering Co. Ltd., Xining 810001, China)

Abstract: The establishment of Xining city DEM model and deriving of topographic feature and classification of watershed are described. Finally the situation of soil erosion is analyzed with USLE equation and a conclusion on soil erosion distribution is drawn.

Key words: GIS; Xining City; soil erosion; monitoring

1 西宁市概况

西宁市地处祁连山东段南侧,总的地势是西南高、东北低,全境最高海拔 2 808 m,最低为 2 261 m,相对高差 547 m,市区平均海拔为 2 275 m。市区主要为河谷冲积平原,四周丘陵环抱,岭高川窄,沟壑众多,岗峦起伏,地形东西狭长,呈带状。南北丘陵间最宽处不到 5 km,最窄处仅 2 km。近郊浅山沟谷切割较深,但一般较短,山顶多为圆顶状,形成十分明显的卵状地形。远郊脑山沟谷切割较浅,但沟底宽阔,形成梁状地形。市区河道纵横,沙塘川、南川、北川在市区中部汇合入湟水,西宁市就座落在三川 - 水两岸。中部河谷冲积平原,地势较平坦开阔,按其特征大致分河漫滩、一级阶地、二级阶地、三级阶地。

西宁属高原大陆性气候,为西风带控制区,东南季风影响较弱,冬季常受蒙古高压气流影响,属温凉半干旱气候区,整个气候特点是夏季温凉,冬季寒冷,降水稀少,日照时间长,太阳辐射强,气象灾害多,经 35 年实测资料统计,多年平均气温 5.8℃,多年平均降水量 366.7 mm,6~9 月份降水量占全年的 70%,农作物生长期降水量占全年降水量的 97%,基本上雨热同步;年蒸发量 1 100 mm,湿温系数 0.45;年日照时数 2 600 h,日照百分率 60%,年总辐射量 2 564.5 kJ/cm²;年均风速 2 m/s,风向 SZ,年大风日数 26.4 天,最大风速 17 m/s,冻土层深 134~144 cm。

西宁市土壤类型有栗钙土、灰钙土、干旱红土、灌淤土、潮土、草甸土、新积土。

土壤分布随地貌类型的不同呈现明显的差异。浅山主要分布着栗钙土、灰钙土和干旱红土。

西宁市(不含城南新区)2002 年底总人口 95.89 万人,其中:城市居民 85.38 万人,农村居民 10.51 万人,农业劳动

力 5.92 万人,国内生产总值(现价)104.49 亿元,工业生产总产值(1990 年不变)91.62 亿元,农业生产总值 3.07 亿元(1990 年不变价)。

总耕地面积 12 412 hm²,其中:水浇地 7 470 hm²,浅山旱耕地 4 942 hm²。农作物总播种面积 3 719.27 hm²,其中:粮食作物播种面积 4 482 hm²,粮食总量 19 623 t。油料作物面积 1 362.27 hm²,总产 3 193.6 t。蔬菜播种面积 2 554.6 hm²,总产 16.761 万 t。牲畜总头数 2.609 万头(只),生猪饲养量 4.45 万头。肉类总产量 7 234.74 t,农业人均纯收入 2 577.93 元。

2 西宁市 DEM 的实现

2.1 DTM 模型描述

DTM(Digital Terrain Model)是通过地面点集的空间直角坐标系(x, y, z)并根据需要进一步伴随若干专题特征数据来表示地形表面的。构成 DTM 的主要部分是数字高程模型,DTM 的其他元素均由 DEM 导出,DEM 数据质量的高低直接影响 DTM 其他元素数据的质量。

2.2 地形的数学模型

数字高程模型:DEM(Digital Elevation Models),是地面特性为高程和海拔高程的数字地面模型(DTM)。

数字高程模型(DEM)是目前用于流域地形分析的主要数据,通常有 3 种格式:栅格型、不规则三角网(TIN)和等高线,其中栅格型 DEM 是比较普遍的格式,计算处理方法简单有效,且和遥感数据在结构上容易匹配,因此在流域分析领域得到普遍应用。目前在 DEM 基础上有多种比较成熟的提取流域特征数字信息的方法。由 DEM 提取流域的数字特征,从而为土壤侵蚀模型提供地形特征数据的输入。

2.3 西宁市 DEM 的建立

西宁市 DEM 是在 1:1 万地形图为基础数据的基础上

* 收稿日期:2005-10-03

基金项目:水利部“948”项目(编号 200302)资助

作者简介:刘得俊(1980-),男,研究员。

得到的,首先将 1 : 1 万的西宁市地形图扫描,然后进行图像的纠偏操作、数字化后形成 TIN 图像,然后将 TIN 图形转换为 GRID 图像,最终形成西宁市 DEM。

2.4 地形指标的提取

坡长的提取根据水流分析得出,根据 DEM 图(西宁市数字等高线图)求出流域负地形的水流方向和水流长度即求出正地形的山脊线和坡长。但是由于水流的方向不是严格根山脊线成 90°,大多数水流方向只是接近 90°,实际坡长应是沿水流方向的长度。采用负地形求出水流长度获得坡长的方法是快速、近似的。

坡度是通过比例尺为 1 : 1 万的数字高程模型(DEM)计算获取的。然后根据 Gregory 等(1973)建立的以下方程,获得了地形因子 T (T 为 L 及 S 的综合)的值。

$$T = (L/22.1)^M \times (65.4 \sin^2 \alpha + 4.56 \sin \alpha + 0.0654)$$
式中, α ——坡度(°), L ——坡长,根据 Wischmier 和 Smith (1978)的研究, m ——的取值为:当 $\alpha > 5^\circ$ 时, $m = 0.5$;当 $3.5^\circ \sim 4.5^\circ$ 时, $m = 0.4$;当 $\alpha > 1^\circ \sim 3^\circ$ 时, $m = 0.3$ 。

3 西宁市小流域划分

小流域的划分是在将 1 : 1 万地形图数字化后得到的 DEM 的基础上,参照已有的流域划分图纸,在 R2V、Micro-Image TNT、ArcView 等地理信息系统软件的支持下,并根据小流域划分、命名以及编码应遵循的原则完成的(见西宁市小流域划分流程图)。

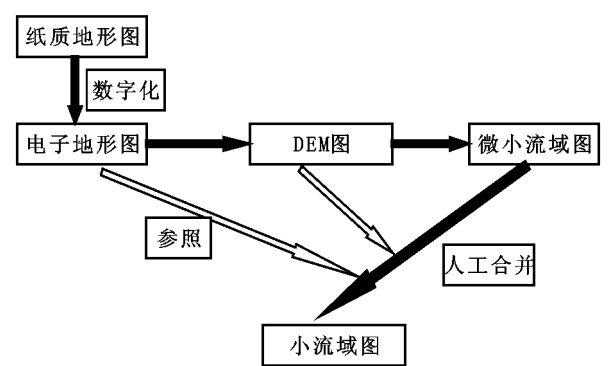


图 1 西宁市小流域划分流程图

3.1 小流域划分遵循的原则

- (1) 小流域尽量根据封闭的原则进行划分;
- (2) 小流域的大小斑为 10 ~ 50 km²;
- (3) 小流域的划分尽量不垮区的原则;
- (4) 小流域划分结合实际,进行有效验证和核查;

3.2 小流域命名及编码

小流域的命名遵循以下的原则:

- (1) 遵循原有小流域的命名;
- (2) 按照小流域所在沟道命名;
- (3) 以小流域内最大的村庄命名;

为计算机管理的需要,每一个小流域都需要一个编码,小流域编码由所在区代码和数字代码组成,子流域编码排序在每个小流域里进行。

4 西宁市土地利用图的获取

西宁市土地利用图是根据遥感影像解译得到的,根据土地的相似性和差异性,将土地利用划分为不同的利用类型,然后将这种分类按照一定的规律建立起具有一定规律的排列顺序形成土地利用分类系统。根据这样的原理和土地利用划分手册等相关的材料依据,将西宁市的土地利用划分为 5 大类共 17 个小类。(见表 1)

5 水土流失监测的实现

5.1 土壤侵蚀计算因子的提取

土壤侵蚀的计算采用通用土壤侵蚀方程:

$$E = f \times R \times K \times L \times S \times P \times C$$

式中: f ——对土壤侵蚀方程的修订系数。

表 1 土地利用划分表

土地利用类型代码	土地利用类型	土地利用类型代码	土地利用类型
113	平面水田	32	中覆盖度草地
121	山地旱地	33	低覆盖度草地
122	丘陵旱地	41	河渠
123	平原旱地	43	坑塘
21	有林地	46	滩地
22	灌木林地	51	城镇用地
23	疏林地	52	农村居民点
24	其他林地	53	其他建设用地
31	低覆盖度草		

根据通用土壤侵蚀方程的构成,以下分别计算各因子的值。

5.1.1 R 因子的估算

降雨因子的计算应用 FAO(Arnoldus,1980)建立的通过修订 Fournier 指数求算 R 值的方法,既考虑了年降水总量,又考虑了降水的年内分布,数据也容易获取,具有较好的应用价值。

$$F = \frac{12}{j} \cdot j_i^2 / J$$

式中: I ——月份; j_i ——月降水量; J ——年降水量。

然后建立 R 与该指数的关系为:

$$R = a \cdot F + b$$

式中: a 与 b 的值取决于气候条件。依据研究地区气候条件与世界其它地区的类比分析, a 及 b 的值分别取 4.17 和 -152。可以认定西宁市区降水的分布是均一的。这样整个研究地区的 R 值等于 1 358.04。

5.1.2 K 因子的估算

影响 K 因子的是多方面的,主要有土壤质地、结构及其稳定性和空隙、剖面构造、土层厚度等,可以用单位面积、单位径流深的冲刷量作为衡量土壤抗蚀性的指标,单位为 kg/(m²·mm)。但一般说来,质地越粗或越细的土壤有较低 K 值,而质地适中的反而有较高的 K 值。估算 K 值的方法很多,一般根据实测的 E 值,应用通用水土流失方程反求获取 K 值,但获取大面积的实测 E 值是不可能的。在本研究中,有限的实验室分析数据也难以外推应用到所有的研究地区。

黄土的颗粒以细沙和粉沙为主,其中以 0.05 ~ 0.01 mm 的粉沙含量最高,约占 45 % ~ 60 %。黄土吸水后,迅速崩解分散为碎块或碎粒,极易比径流推动而流失。 K 值的大小与土壤质地和土地利用类型有较高的相关性,同是黄土,在不同的土地利用条件下,其抗蚀性有着显著的差异。(周佩华等,1997),野外实地放水冲刷试验表明,以林地的土壤抗蚀性最强,依次为草地、农作物地、翻耕休闲地(见表 2)。

表 2 不同土地利用情况下的土壤抗蚀性值

土地利用情况	抗蚀性指标	比值
密林	0.0002	1.0
疏林	0.0005	2.5
草地	0.0039	17.0
农作物地	0.0871	436.0
翻耕休闲地	0.1202	601.0

5.1.3 P 因子的估算

世界各地的研究表明,梯田(等高)耕作方式是最为有效的水土保持措施之一。但是,当坡度大于 24 % 时,等高耕作对水土保持的效果就不明显。在印度尼西亚(CSAR,1995)^[5]的研究表明,梯田及田埂的修建质量对 P 值有直接

的影响。并根据梯田及田埂的修建质量,分别给 P 赋值: 0.04(好), 0.15(一般), 0.35(差)。在本研究地区,根据土地利用现状图,以确认不同土地利用方式的 P 值。通过对 TM 卫星影像的监督分类,获取了土地利用现状图,其属性见表 3。土地利用类型 121、122 及 123 大多分布于沟谷地,作物为旱作作物。没有灌溉或灌溉不能保证,梯田及田埂的质量稍差些,因而对这一类型的地块赋 0.35 给 P 因子。

表3 不同土地利用方式及坡度的 P 值

土地利用类型代码	土地利用类型	<i>P</i>	土地利用类型代码	土地利用类型	<i>P</i>
113	平面水田	0.15	32	中覆盖度草地	1.00
121	山地旱地	0.35	33	低覆盖度草地	1.00
122	丘陵旱地	0.35	41	河渠	0
123	平原旱地	0.35	43	坑塘	0
21	有林地	1.00	46	滩地	0
22	灌木林地	1.00	51	城镇用地	0
23	疏林地	1.00	52	农村居民点	0
24	其他林地	1.00	53	其他建设用地	0
31	低覆盖度草	1.00			

5.1.4 C因子的估算

大量的研究证明,在所有的土壤侵蚀因子中,地表覆盖状况对侵蚀量的影响最大。在西宁市周边流域内布置的土壤坡面侵蚀试验获得的数据也同样证明了这一点。

考虑本研究地区的农业田间活动基本上是与自然降水同步的,同时根据 Wischmeier 等 (1958, 1962, 1969, 1978)^[1,6~7]的实际观测, C 因子除与地表覆盖率有关外,还与植被冠层类型、高度等有关,因此在综合考虑地面覆盖状况和土地利用的基础上,获取 C 因子值。

5.2 土壤侵蚀计算的实现

基于地理信息系统的土壤侵蚀的计算是利用地理信息系统的数值分析方法实现的,首先是确定土壤侵蚀的数值分析模型,根据模型确定影响土壤侵蚀的反映不同土壤性质、不同坡面形态以及不同植被条件的因子,然后选择网格尺寸,建立各个影响因子的栅格数据文件,最后通过地理信息系统软件的空间分析方法将多种信息加以复合,形成土壤侵蚀图,根据《全国土壤侵蚀遥感快速调查技术规程》中按土壤侵蚀的强弱程度土壤侵蚀等级划分手册,划分西宁地区的土壤侵蚀等级,应用地理信息系统软件的空间统计分析方法,统计各类等级的土壤侵蚀的面积(见表4)。

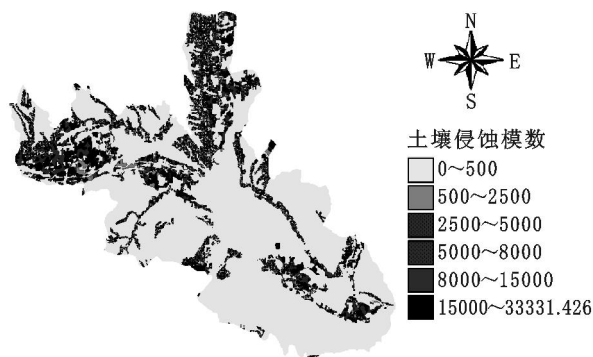


图 2 西宁市土壤侵蚀分布图

从土壤侵蚀分布图上可以得出西宁市各区的土壤侵蚀现状以及不同级别模数的土壤侵蚀在西宁市各占的面积比例。

从土壤侵蚀分布图上看,西宁市各区发生土壤侵蚀的情况各不相同(见表4)在城北区、城东区北山中底部位以及在韵家口镇的土壤侵蚀较为严重,城西区的火烧沟流域的诸沟道内有明显的水土流失:

从发生土壤侵蚀的土地利用现状来看,土壤侵蚀大多发

生的旱地,包括平原旱地和丘陵旱地。

6 结 论

在应用地理信息系统技术进行土壤侵蚀计算时采用 USLE 方程,该方程同时考虑降水、地形(包括坡长和坡度)、植被、土壤、土地利用状况、人类活动等因子。基于这一技术,关键是控制 DEM 的精度问题,根据有关 Arcview DEM 地形分析精度的研究,^[1] 1 万 DEM 其地形图面涉及实地面积 25 km² 左右,其分辨率为 12.5 m,具有较高的地形描述精度,适宜于较为细致的地形分析:能够准确地勾绘出沟沿线、沟底线;准确量度地面坡度、地面曲率及其变化;反映地面浅沟、切沟、冲沟等沟壑,在土壤侵蚀计算中能够准确地反映出地形情况,能够取得较为准确地计算结果,在理论上能满足土壤侵蚀计算对准确度的要求。

表 4 西宁市各区各类型土壤侵蚀统计表 km^2

区名	不侵蚀	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	剧烈侵蚀	极强度侵蚀	合计
城中区	9.879	13.519	0.349	0.322	0.318	0.431	0.018	24.835
城东区	24.419	75.919	2.348	3.464	3.843	4.636	0.278	114.907
城西区	15.618	42.491	2.672	2.984	2.661	3.411	0.242	70.078
城北区	30.350	51.094	11.813	14.454	15.762	16.289	0.419	140.181
合 计	80.265	183.022	17.182	21.224	22.583	24.767	0.957	350.00

表 5 西宁市不同级别土壤侵蚀占总面积计算表 %

侵蚀类型	不侵蚀	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	剧烈侵蚀	极强度侵蚀
占面积比	22.933	52.292	4.909	6.064	6.452	7.076	0.274

基于该数据基础上的计算结果显示:在西宁周边沟道水土流失主要发生在位于坡面中低部位的山地旱地和丘陵旱地以及沟道沟底部位,在城北区的吴仲沟、巴浪沟、大寺沟、城西区的水槽沟、火烧沟以及位于北山中低部位的地方等的水土流失很明显,石头垒流域、二十里铺流域的水土流失面积较广,该地区土地利用类型主要是旱地。在实际调查发现西宁周边沟道水土流失主要发生在旱地、沟道沟底和北山中底部位。

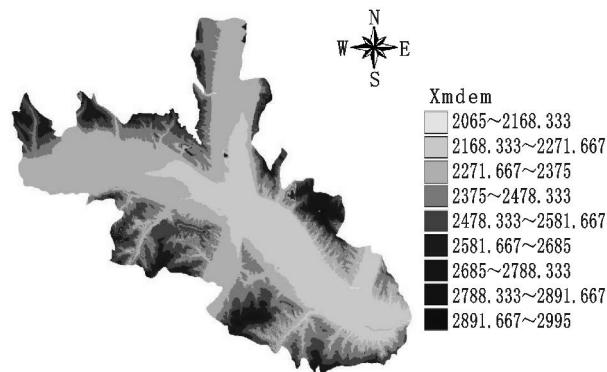


图 3 西宁市 DEM 图

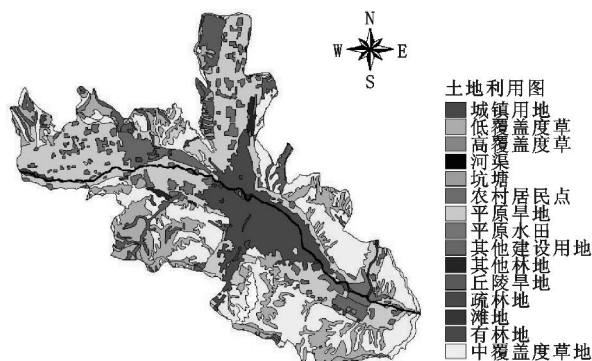


图 4 西宁市土地利用图

GM(1,1)模型对之建模预测^[5]。通过建模运算得到 2010 年、2015 年农业产值、工业产值、人口总数为:

表 1 莒南县农业产值、工业产值、人口总数预测

	农业产值/万元	工业产值/万元	人口总数/万人
2010 年	132235.81	528140.2	101.2
2015 年	138269.67	891262.96	102.59

将数据带入回归模型可得出 2010 年和 2015 年的用水量分别为:

表 2 莒南县需水量预测 10^8 m^3

	农业需水	工业需水	生活需水	总需水量	缺水
2010 年	1.646	1.013	0.310	2.969	0.121
2015 年	1.675	1.236	0.355	3.266	0.422

从上表可知莒南县 2010 和 2015 年预测用水量分别 $2.969 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $3.266 \times 10^8 \text{ m}^3$;而该县在保持生态用水的情况下,多年平均最大可供水量为 $2.844 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。该县水资源短缺将日益严重。

另外还需强调两点,第一,本文所用统计数据为实际用水量,而近年来每年供水都不能满足工农业生产需求,所以实际缺水量要大于预测缺水量;第二,由于第三产业用水与其他用水有所交叉难于统计,所以忽略了少部分用水的预测,未来发展中无疑第三产业的用水将不断增加;总的缺水情况将还要严重。可见,水资源短缺已成为该县未来发展中亟待解决的问题。

4 水资源承载力问题的解决对策

莒南县水资源严重短缺,地表水和地下水的利用已接近允许开采的极限,水环境污染比较严重,所以应该实行“节流”为主,“开源”为辅相结合的政策,以解决水资源承载力问题。

在水资源的“节流”方面主要应当采取以下几个方面的措施:一是提高全县的节水意识,推广节水器具,降低莒南县人口生活用水的综合定额。1993~2004 年全县人口增加不到 2%,而生活用水总量增加了 46%。所以生活用水有很大的压缩空间。

二是降低工业万元产值用水量,工业发展方面以高科技节能型和节水型产业为主来考虑,随着经济的发展、科技的

参考文献:

- [1] 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,(5):262-270.
- [2] 胥信平.黑龙江省水资源承载力探析[J].中国水利,2003,(8):12-15.
- [3] 韩俊丽,段文阁.城市水资源承载力基本理论研究[J].中国水利,2004,(7):12-15.
- [4] 龙腾锐,姜文超,何强.水资源承载力内涵的新认识[J].水利学报,2004,(1):38-46.
- [5] 左其享,陈曦.面向可持续发展的水资源规划与管理[M].北京:中国水利水电出版社,2002.114-123.
- [6] 黄明聪,陈能志.福建晋江流域水资源承载力研究[J].水利水电技术,2004,(4):104-107.
- [7] 孟凡德,王晓燕.北京市水资源承载力的变化趋势及驱动力研究[J].中国水利,2004,(9):22-27.

(上接第 113 页)

参考文献:

- [1] 汤国安,陈正江,等. ArcView 地理信息系统空间分析方法[M].北京:科学出版社,2002.
- [2] 姚文艺,汤立群.水力侵蚀产沙过程及模拟[M].郑州:黄河水利出版社,2001.
- [3] 北京市水土保持工作总站,等.基于 3S 技术的北京市水土保持生态环境管理信息系统专题报告集[Z].2002.
- [4] Wischmeier W H, D Smith. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning[A]. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook nr. 537[M]. Science and Education Administration, United States Department of Agriculture, 1978.
- [5] 水利部水土保持检测中心,全国土壤侵蚀遥感快速调查技术规[Z].1999.
- [6] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉测绘技术大学,2000.
- [7] 秦大河,丁一汇.中国西部环境演变评估(第二卷)[A].中国西部环境变化的预测[M].北京:科技出版社,2002.

进步,工业节水水平将有进一步的提高。近年来由于科技发展和管理进步莒南县工业用水随着工业产值的迅速增长只是略有增长或徘徊不长。

三是节约农业用水量。农业是用水的一个大户,也是潜力最大的节水领域,农业以发展两高一优农业为主,将进一步增加灌溉面积。灌溉发展方向以节水灌溉为主,推广滴灌、喷灌、低压管灌,取消大水漫灌等,到 2007 年,全县有效灌溉面积达到 $5.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占耕地面积的 74%,发展节水灌溉面积 $0.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中:喷灌 $0.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$,微灌 $0.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$,低压管灌 $0.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$,防渗渠灌 $0.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。这将会大大的节省水资源。

四是在加大治污力度后,充分开发利用污水回用的再生水或中水,这样,即可节省用水量,也可提高排水质量,保护生态环境,目前全县污水回用只有 $150 \times 10^4 \text{ m}^3$,所以污水回用有很大的潜力可开发;另外,虽然该县河流污染严重,但近年来由于科技进步和管理水平、节水意识的提高,污染的状况在不断的转好,水环境在不断改善。2004 年,莒南县对 8 个河流断面进行了监测,其主要污染物(COD、氨氮、高锰酸钾)监测指标均低于 2003 年,其达标率提高分别为 14%、5%、5.8%。

在水资源的“开源”方面,主要包括地表水和地下水的开发,地表水的开发主要是在 2007 年前对现有水利设施的修补完善,提高水利设施利用率,并建塘坝 120 座,拦截河道 15 条,共 75 km;地下水方面,主要是打机井、大口井 1 000 眼,共计可增加供水量 $1 880 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。通过以上多方面的努力,莒南县水资源和水环境现状将得到不断改善。

5 结 语

随着社会经济发展的不断扩展和深入,工业、农业、生活对水资源量和质的要求越来越高,而可持续发展要求集约利用水资源,提高水资源利用率,这一矛盾的不断发展赋予水资源承载能力新的内涵。本文以山东省莒南县为例做了分析,该县属资源型缺水地区,水资源短缺将是莒南县社会经济发展的长期问题。莒南县必须从战略高度来认识水资源问题的严重性,实施“节流”为主,“开源”为辅相结合的政策,同时加强科技和管理水平,使有限的水资源可以支持更大的社会-经济发展规模。