

烟台市水资源承载力的 RBF 神经网络评价法

邵金花¹,刘贤赵²

(1. 山东淄博一中,山东 淄博 255200;2. 鲁东大学 地理与规划学院,山东 烟台 264025)

摘 要:基于 RBF 神经网络的基本原理,在 Matlab 6.5 环境中建立了水资源承载力的评价模型,并应用该模型对烟台市的水资源承载力进行综合评价,为烟台市水资源的可持续利用提供科学的决策依据。
关键词:水资源承载力;RBF 神经网络;烟台市
中图分类号:P331 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-3409(2007)06-0115-03

Comprehensive Evaluation on Water Resources Carrying Capacity
in Yantai City Based on Radial Basis Function Neural Network

SHAO Jin-hua¹,LIU Xian-zhao²

(1. No. 1 Middle School of Zibo, Zibo, Shandong 255200, China;
2. College of Geography and Resource Management, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China)

Abstract :Based on the RBF neural network theory ,a new model for evaluating water resources carrying capacity was built up using Matlab 6. 5. And it was applied to evaluate water resources carrying capacity in Yantai city. So the result provides the scientific decision basis for water resources sustainable development and utilization of Yantai city.
Key words :water resources carrying capacity ;radial basis function neural network ; Yantai city

烟台市地处山东半岛中部,是全国 14 个首批沿海开放城市之一,但由于受气候和地形的影响,市内水资源极为贫乏。近年来,随着经济的发展、人口的增长及工业化、城市化进程的加快,水资源供需矛盾更加突出,水资源匮乏已成为制约烟台市社会经济持续发展的“瓶颈”。同时,由于地下水过度超采,使地下漏斗区面积不断扩大,并由此引发了一系列的生态环境问题。据资料统计,截止到 2000 年 3 月 30 日,门楼水库可利用水量仅剩 1 370 万 m³,海水入侵面积达 495 km²,生态环境受到严重破坏,给侵染区的工农业生产和人民生活带来了极大的困难。如何正确处理发展与资源的关系,使水资源的开发利用与未来经济运行及人口发展相协调,成为该地区在实施可持续发展战略进程中亟待解决的突出问题之一。水资源承载力评价是进行水资源宏观调控和合理配置的主要依据,目前已成为水资源可持续利用战略研究的核心问题之一^[1]。因此,开展烟台市水资源承载力研究,并提出解决水资源可持续开发利用的对策,使其社会经济发展水平与水资源支撑能力相适应,对烟台市社会经济持续发展和生态环境建设具有一定的现实意义。

目前,水资源承载力的评价方法主要有模糊模式识别^[2]、模糊综合评判^[3-4]和属性识别法^[5-6]等,但由于上述方法中的评价指标均受人为确定权重或混用边界值和均值等问题的影响,使评价结果的客观性和可比性较差。而由 Moody J ,Darken C 于 20 世纪 80 年代末提出的径向基函数(Radial Basis Function,简称 RBF)神经网络则具有很强的处理复杂非线性及不确定性系统的能力,能够以任意精度逼近

任意非线性关系,为解决一些用常规方法难以达到理想效果的问题提供了一条崭新的途径^[7]。鉴于此,本文在 Matlab 6.5 环境中采用 RBF 神经网络法对烟台市水资源承载力进行综合评价,为促进该地区人口、资源、经济及生态环境的协调发展提供了一定的科学依据。

1 RBF 神经网络基本原理

RBF 神经网络是一种典型的局部逼近人工神经网络,由 3 层组成^[8],其网络结构如图 1 所示。其中,第一层是输入层,由信号源节点 x_p ($p = 1, 2, \dots, n$) 组成;第二层是隐含层,其节点是一个径向对称、双方向衰减的非线性函数,它对网络的输入做出直接非线性映射,隐含层节点的多少视具体问题而定;第三层为输出层 y_q ($q = 1, 2, \dots, m$),神经元采用线性传递函数,它对隐含层的输出采用加权线性求和的映射模式,使得网络的收敛速度很快。

RBF 网络隐含层的第 i 个节点的输出为

$$r_i(x) = R_i((x - c_i) / \sigma_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

式中: x —— n 维输入变量; c_i ——第 i 个基函数的中心,与 x 具有相同的维数; σ_i ——第 i 个感知变量,它决定了该函数围绕中心点 c_i 的宽度,即感知视野的大小; k ——感知单元的个数; σ_i ——向量范数,一般为欧式范数。

虽然径向基函数有平方根函数、高斯函数、板条样函数等多种形式,但最常用的是高斯函数:

$$R_i(x) = \exp\left[-\frac{(x - c_i)^2}{2\sigma_i^2}\right], i = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

收稿日期:2006-11-13
基金项目:山东省自然科学基金资助(Q02E03)
作者简介:邵金花(1982-),女,山东淄博人,硕士,主要从事区域水资源评价等研究。
通信作者:刘贤赵(1970-),男,湖南人,教授,博士,主要从事区域水土资源调控研究。

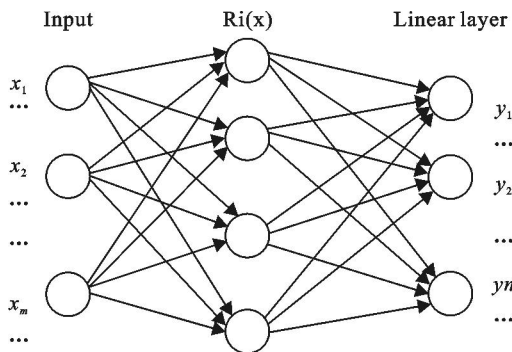


图 1 RBF 网络结构

本文中也以高斯函数为基函数,则 RBF 网络模型的输出可表示为

$$y_q = \sum_{i=1}^k w_{iq} \exp - \frac{x - c_i}{2}^2, q = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

式中: q ——输出节点数; w ——连接隐含层和输出层的权值。RBF 网络通过输入和输出误差来调整参数中心 c_i 和权值 w ,从而达到对网络内部系数的调整。

2 烟台市水资源承载力研究

2.1 RBF 网络模型的建立

根据 RBF 神经网络的基本理论,本文在 Matlab 6.5 环境下建立了水资源承载力评价的 RBF 网络模型。具体建模步骤如下:

对数据进行归一化处理。

假设 a_{ij} 表示第 i 个评价等级的第 j 个评价指标值,其中 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。区域水资源承载力评价指标中一般包括效益型指标和成本型指标,这两种类型指标的数据归一化方式不同。

对于效益型指标,其规范化处理的公式可表示为

$$\begin{cases} \overline{a_{ij}} = \frac{a_{ij}}{a_{ij}^*} \\ a_{ij} = a_{ij} / f_{\max}(j) \end{cases} \quad (4)$$

而对于成本型指标,其规范化处理的公式为

$$\begin{cases} \overline{a_{ij}} = 1 / \frac{a_{ij}}{a_{ij}^*} \\ a_{ij} = a_{ij} / f_{\max}(j) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $f_{\max}(j)$ —— a_{ij} 中第 j 个指标的最大值。

建立 RBF 网络训练样本的输入、输出向量。

采用规范化处理后的数据 $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 建立样本数据,一个数据样本是一组输入输出数据,则其输入、输出向量为以下 n 组:

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n], y = [1, 2, \dots, n]$$

其中, $x_i = [a_{i1} \ a_{i2} \ \dots \ a_{im}]^T$ 。

设计 RBF 网络及对数据样本进行训练。

格式: `net = newrb (x, y, goal, spread)`

用 RBF 网络逼近函数时, `newrb` 可自动生成增加 RBF 网络的隐含层神经元,直到均方误差满足为止。其中 $x, y, goal, spread$ 分别为输入向量、目标向量、均方误差和 RBF 分布。值得一提的是,要选择尽量大的 `spread` 值,以保证径向基函数的输入范围足够大,从而网络的输出就越平滑,泛化能力也越强。一般,取 `spread` 值为 1。

对数据样本进行训练。

格式: `t = sim (net, x)` 由 `sim` 函数可得网络的样本训练结果,执行 `plot` 命令可得到网络训练的图形输出结果。

对研究区域水资源承载力状况进行仿真。

格式: `b = sim (net, a)`

式中: a, b ——待评价区域的归一化输入向量和用 RBF 网络对水资源系统进行评价的等级值。

2.2 烟台市水资源承载力的评价指标体系及评价标准

水资源承载力是随着水资源危机的日益突出由我国学者在 20 世纪 80 年代末提出来的,由于研究起步较晚,因此至今仍未形成一个系统的、科学的理论体系,即便是关于水资源承载力的概念,国内外都没有形成统一的认识。目前,对水资源承载力的定义比较有代表性的表述是:在某一具体的历史发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性发展条件,经过合理的优化配置,水资源对该地区社会经济条件的最大支撑能力(国家“九五”攻关项目“西北水资源合理开发利用与生态环境保护研究”^[9])。由此可以看出,影响水资源承载力的因素很多,这些因素之间相互影响、相互制约,构成一个纷繁复杂的动态系统。

表 1 烟台市水资源承载力评价因素数值

| 序号 | 地区 | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} |
|----|-----|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|
| 1 | 芝罘区 | 136.42 | 68.14 | 47.05 | 18.60 | 47.26 | 146.79 | 70.74 | 262.99 | 100 | 26.93 |
| 2 | 福山区 | 56.80 | 500.39 | 23.59 | 1.21 | 45.43 | 62.73 | 73.68 | 176.48 | 54.33 | 25.60 |
| 3 | 牟平区 | 23.10 | 924.94 | 12.76 | 0.38 | 64.03 | 71.71 | 62.66 | 168.60 | 44.85 | 27.66 |
| 4 | 莱山区 | 34.81 | 372.60 | 34.15 | 9.43 | 70.21 | 75.31 | 47.48 | 143.15 | 88.78 | 26.18 |
| 5 | 开发区 | 69.55 | 112.05 | 56.75 | 3.48 | 99.90 | 227.05 | 64.10 | 28.88 | 100 | 6.87 |
| 6 | 龙口市 | 87.41 | 280.60 | 33.43 | 2.34 | 69.07 | 71.93 | 96.96 | 172.12 | 46.83 | 19.65 |
| 7 | 莱阳市 | 38.16 | 377.02 | 29.79 | 1.53 | 47.67 | 69.20 | 50.27 | 198.44 | 39.26 | 19.32 |
| 8 | 莱州市 | 62.18 | 369.52 | 13.03 | 0.60 | 79.59 | 60.86 | 57.72 | 176.30 | 43.70 | 16.91 |
| 9 | 蓬莱市 | 42.14 | 537.68 | 16.03 | 0.64 | 68.67 | 65.66 | 59.28 | 155.89 | 44.12 | 21.31 |
| 10 | 招远市 | 61.25 | 429.14 | 20.37 | 0.81 | 71.47 | 68.23 | 86.46 | 191.26 | 42.97 | 17.03 |
| 11 | 栖霞市 | 23.72 | 635.50 | 4.90 | 0.16 | 57.76 | 47.37 | 54.03 | 216.20 | 29.92 | 20.25 |
| 12 | 海阳市 | 27.25 | 585.36 | 9.34 | 0.33 | 63.47 | 52.92 | 60.67 | 264.02 | 30.10 | 20.92 |
| 13 | 长岛县 | 22.71 | 131.87 | 8.72 | 0.70 | 84.33 | 40.44 | 6.78 | 14.46 | 34.21 | 10.52 |
| 14 | 烟台市 | 45.35 | 435.41 | 25.17 | 1.18 | 64.30 | 72.27 | 61.83 | 159.27 | 49.04 | 20.46 |

水资源承载力评价指标体系要求能从不同方面、不同角度、不同层面客观地反映区域水资源条件、开发利用状况、供需关系及生态环境等方面。因此,本文在参照全国水资源供需分析指

标体系的基础上^[10],根据烟台市水资源特性,选取以下 10 个影响因素作为烟台市水资源承载力的评价指标: x_1 水资源开发利用效率(%);现状水平年 75%频率的供水量与可利用的水资源

总量之比; x_2 人均水资源量($\text{m}^3/\text{人}$):当地水资源量与总人口之比; x_3 人均供水量($\text{m}^3/\text{人}$):现状水平年 75 %频率的供水量与总人口之比; x_4 供水量模数($\text{万 m}^3/\text{km}^2$):供水量与土地面积之比; x_5 地下水供水比例(%):地下水供水量占现状年总供水量的比例; x_6 生活用水定额($\text{L}/\text{d}\cdot\text{人}$):现状年生活用水量占总用水量比例; x_7 灌溉率(%):灌溉面积与土地面积之比; x_8 万元 GDP 耗水量($\text{m}^3/\text{万元}$):工业生产用水量与 GDP 总量之比; x_9 城市化率(%):城镇人口占总人口的比重; x_{10} 单位面积产水量($\text{万 m}^3/\text{km}^2$):当地水资源量与计算面积之比。烟台市水资源承载力评价指标因素的原始数据列于表 1。

| 等级 | 评价因素集 X | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} |
| 1 | <30 | >600 | >345 | <1 | <25 | <70 | <20 | >200 | <20 | >25 |
| 2 | 70 | 400 | 250 | 10 | 50 | 130 | 60 | 50 | 50 | 10 |
| 3 | 200 | 50 | 50 | 50 | 100 | 500 | 100 | 10 | 100 | 1 |

在借鉴一些关于水资源评价标准的基础上,本文给出烟台市水资源承载力评价指标体系的 3 级指标标准值区间(表 2),其水资源开发利用程度也相应地分为三个等级。其中,1 级表示水资源开发处于初始阶段,水资源利用率低,工农业及整个经济处于耗水型,但水资源开发潜力巨大;2 级表示水资源开发处于发展阶段,该阶段水资源开发已具有一定的规模,开始重视水资源综合管理,经济类型由耗水型向节水型过渡,水资源开发仍具有一定的潜力;3 级表示水资源开发处于饱和阶段,水资源开发利用程度已接近极限,水资源管理水平高,工农业及整个经济处于节水型,水资源的进一步开发潜力小。

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $a =$ | 1.0000 | 0.4164 | 0.1693 | 0.2552 | 0.5089 | 0.6407 | 0.2797 | 0.4558 | 0.3089 | 0.4490 | 0.1739 | 0.1998 | 0.1665 | 0.3324 |
| | 1.0000 | 0.1362 | 0.0737 | 0.1892 | 0.6081 | 0.2428 | 0.1807 | 0.1844 | 0.1267 | 0.1588 | 0.1072 | 0.1164 | 0.5167 | 0.1565 |
| | 0.1041 | 0.2077 | 0.3840 | 0.1435 | 0.0863 | 0.1466 | 0.1645 | 0.3761 | 0.3057 | 0.2406 | 1.0000 | 0.5246 | 0.5619 | 0.1947 |
| | 1.0000 | 0.0651 | 0.0204 | 0.5070 | 0.1871 | 0.1258 | 0.0823 | 0.0323 | 0.0344 | 0.0435 | 0.0086 | 0.0177 | 0.0376 | 0.0634 |
| | 0.4731 | 0.4548 | 0.6409 | 0.7028 | 1.0000 | 0.6914 | 0.4772 | 0.7967 | 0.6874 | 0.7154 | 0.5782 | 0.6353 | 0.8441 | 0.6436 |
| | 0.6465 | 0.2763 | 0.3158 | 0.3317 | 1.0000 | 0.3168 | 0.3048 | 0.2680 | 0.2892 | 0.3005 | 0.2086 | 0.2331 | 0.1781 | 0.3183 |
| | 0.7296 | 0.7599 | 0.6462 | 0.4917 | 0.6611 | 1.0000 | 0.5185 | 0.5953 | 0.6114 | 0.8917 | 0.5572 | 0.6257 | 0.0699 | 0.6377 |
| | 0.0550 | 0.0819 | 0.0858 | 0.1010 | 0.5007 | 0.0840 | 0.0729 | 0.0820 | 0.0928 | 0.0756 | 0.0669 | 0.0548 | 1.0000 | 0.0908 |
| | 1.0000 | 0.5433 | 0.4485 | 0.8878 | 1.0000 | 0.4683 | 0.3926 | 0.4370 | 0.4412 | 0.4297 | 0.2992 | 0.3010 | 0.3421 | 0.4904 |
| | 0.2551 | 0.2684 | 0.2484 | 0.2624 | 1.0000 | 0.3496 | 0.3556 | 0.4063 | 0.3224 | 0.4034 | 0.3393 | 0.3284 | 0.6530 | 0.3358 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

然后,对表 1 中各指标统计值进行规范化处理得到各个评价区域的输入向量 a :

由命令 $b = \text{sim}(\text{net}, a)$,可得到待评价区域的水资源承载力的评价结果(按表 1 中评价区域的序号):
 $b = (1.3649\ 1.6657\ 1.2636\ 1.1737\ 1.4682\ 1.5287\ 1.4360\ 1.4684\ 1.4702\ 1.4383\ 0.4925\ 1.1128\ 0.2483\ 1.5480)$

由 $\text{plot}(e, b, 'o')$ 命令,可输出网络评价结果的图形(图 3)。这里, e 代表各个评价区域的序号,即 $e = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 10\ 11\ 12\ 13\ 14]$ 。

根据 RBF 网络模型的输出值,可判断烟台市各分区水资源的开发利用程度从低到高依次为:长岛县、栖霞市、海阳市、莱山区、牟平区、芝罘区、莱阳市、招远市、开发区、莱州市、蓬莱市、龙口市、福山区。除长岛县和栖霞市的评价结果小于 1 外,其余各地区的评级结果均介于 1 级和 2 级标准最高界限值之间。总体上,烟台市水资源开发利用已达一定的规模,开发利用程度综合评分值达 1.548 0。受现有经济技

2.3 基于 RBF 神经网络的烟台市水资源承载力评价
首先,根据公式(4)、(5)对表 2 的评级等级标准值进行规范化处理,得到 RBF 网络训练样本的输入向量 x 和输出向量 y ,并对样本数据进行训练。执行命令 $\text{plot}(y, y, 'x', y, t, 'o')$ 可得到网络训练的图形输出结果,如图 2。其中, y 是等级向量; x 表示各等级的目标输出; o 表示各等级网络训练后的输出值。从图 2 看出,模型对样本的训练误差为 0。

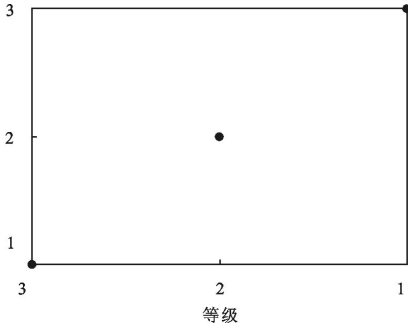


图 2 网络的训练结果

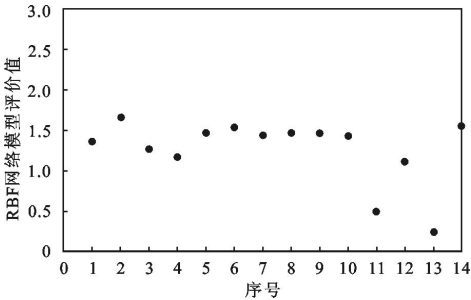
$$x = \begin{bmatrix} 0.1500 & 0.3500 & 1.0000 \\ 0.0833 & 0.1250 & 1.0000 \\ 0.1449 & 0.1250 & 1.0000 \\ 0.0200 & 0.2000 & 1.0000 \\ 0.2500 & 0.5000 & 1.0000 \\ 0.1400 & 0.2600 & 1.0000 \\ 0.2000 & 0.6000 & 1.0000 \\ 0.0500 & 0.2000 & 1.0000 \\ 0.2000 & 0.5000 & 1.0000 \\ 0.0400 & 0.1000 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad y = [1 \quad 2 \quad 3]$$


图 3 网络的评价结果

术条件的制约,烟台本地水资源的进一步开发潜力已相对较小,水资源供需矛盾突出。

3 结 论

根据烟台市自然环境、社会经济发展及水资源开发利用的实际状况,建立了烟台市水资源承载力评价指标体系,并
(下转第 121 页)

(2) 支挡工程和其它措施。滑坡整治中,还常采用抗滑支挡措施或其它方法来稳定滑坡。支挡工程中常用的有抗滑桩、抗滑挡墙等。其它方法中有滑体减重、加压和改善滑带土性质等。

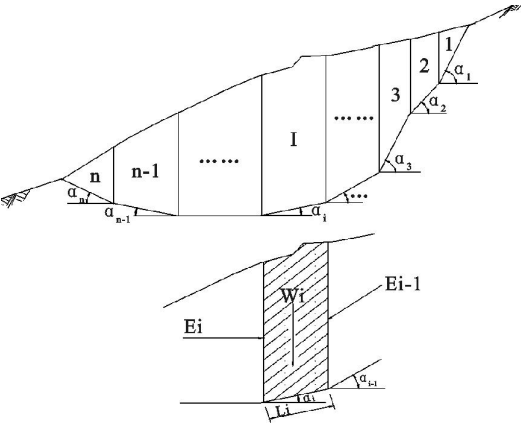


图 4 折线推力传递系数法计算简图

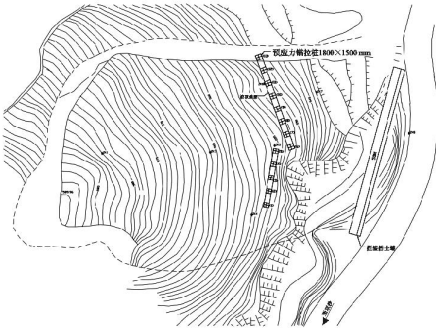


图 5 滑坡整治工程平面布置

本例中,设计单位选择了预应力锚拉桩与重力式挡墙相结合的治理措施。抗滑桩与挡墙的平面布置见图 5。

5 相关问题的讨论

5.1 趋势面分析在滑坡工程中的适用范围

由于岩石的整体性及其破坏原理,滑动面上岩石的破坏相当不规则。因此,趋势面分析方法适用于土质滑坡,如冲洪积土滑坡、人工弃土滑坡、堆积层滑坡、碎石土滑坡等。

5.2 趋势面分析方法的局限性

由于趋势面分析方法只是利用有限的点(数据),进行近似的模拟。因此,首先它是一种近似,在大多数点位与实际相近而不相合,不排除个别点相差很大的情况。再者,控制点的分布与研究对象范围都会影响到分析结果,如常见的趋势面形态畸变、正规方程组产生病态。最后,趋势分析的拟合度还与研究对象的特点有很大关系,有的研究对象趋势明显,有的不明显,还有的不存在趋势。

参考文献:

[1] 郭科,等.多元统计方法及其应用[M].成都:电子科技大学出版社,2003.

[2] 贵州博晟岩土工程公司.四川省古蔺县蔺双公路 K1 + 100 滑坡工程地质勘察报告[R].2003.

[3] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所.古蔺县蔺双公路 K1 + 100 滑坡调查报告[R].2002.

[4] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所.蔺双公路 K1 + 100 滑坡治理工程施工图设计[Z].2003.

[5] 中国地质环境监测院.长江三峡工程库区滑坡防治工程设计与施工技术规程[Z].2001.

(上接第 117 页)

用 Matlab 环境下的 RBF 网络方法对该地区的水资源承载力进行了综合评价,评价结果客观、合理。该方法简单易行、可操作性强,不仅能确定各区域水资源开发利用程度所属的等级,而且具有较好的排序功能,增加了评价结果的直观性。通过本文的实证分析,该研究方法在水资源评价方面合理可行,为各种水资源问题的综合评价提供了新的思路。

参考文献:

[1] Daniel P,Loucks,John S,et al. Sustainability criteria for water resources system [M]. London: Cambridge University Press,1999:124 - 126.

[2] 陈守煜.区域水资源可持续利用评价理论模型与方法[J].中国工程学报,2001,3(2):33 - 38.

[3] 高彦春,刘昌明.区域水资源开发利用的阈限分析[J].水利学报,1997(8):73 - 79.

[4] 贾嵘,薛小杰,等.区域水资源开发利用程度综合评价

[J].中国农村水利水电,1999(11):22 - 24.

[5] 门宝辉,梁川,刘庆华.基于属性识别方法的区域水资源开发利用程度综合评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2002,28(6):675 - 678.

[6] 门宝辉,梁川.属性识别方法在水资源系统可持续发展程度综合评价中的应用[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2002,28(6):675 - 678.

[7] Moody J ,Darken C. Fast Learning in Networks of Locally-tuned Processing Units[J].Neural Computation , 1989,1:281 - 294.

[8] 闻新,周露,王丹力,等. MATLAB 神经网络仿真与应用[M].北京:科学出版社,2003.

[9] “九五”国家重点科技攻关项目.西北地区水资源合理配置和承载能力研究[R],2000.

[10] 水利电力部水文局.中国水资源评价[M].北京:水利电力出版社,1987.