

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.01.007

黄河三角洲 1961—2000 年水资源时空变化特征

林 琳^{1 2} ,刘 健^{1 2} ,陈学群^{1 2} ,管清花^{1 2}

(1. 山东省水利科学研究院 ,山东 济南 250013 ; 2. 山东省水资源与水环境重点实验室 ,山东 济南 250013)

摘要 采用降水量、径流量、地下水位及埋深 4 个指标对 1961—2000 年水资源的时空变化特征进行分析。结果表明 ①降水量年内及年际变化均较大 ,年内降水量集中于夏季 ,年际呈下降趋势 ,空间分布呈自南向北逐渐下降的趋势。②黄河入境径流量年内及年际变化均较大 ,根据趋势分析 1986 年之前径流量变化较平缓 ,之后呈线性下降趋势。当地径流量年内变化较大 ,夏季径流量超过全年的 80% ,年际变化较小 ,呈峰-谷-峰的变化趋势。③东营市浅层地下水位年内变化较小 ,其中广饶县年内及年际变化均较大 ,自 20 世纪 80 年代至 21 世纪初平均下降了 12.78 m。④广饶县地下水埋深自 70 年代至 90 年代增幅达到 14.70 m。1975—2000 年广饶县地下水埋深呈显著线性增加趋势 ($R^2 = 0.93$) ,年均增速达到 0.72 m/a。

关键词 黄河三角洲 ; 水资源 ; 时空变化特征 ; 降水 ; 径流 ; 地下水位 ; 地下水埋深

中图分类号 :TV211.1 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2012)01-0029-05

Spatial and temporal characteristics of water resources in Yellow River Delta from 1961 to 2000

LIN Lin^{1 2} , LIU Jian^{1 2} , CHEN Xue-qun^{1 2} , GUAN Qing-hua^{1 2}

(1. Water Resources Research Institute of Shandong Province , Jinan 250013 , China ;

2. Shandong Provincial Key Laboratory of Water Resources and Water Environment , Jinan 250013 , China)

Abstract : The spatial and temporal characteristics of water resources in the Yellow River Delta from 1961 to 2000 were analyzed based on four indicators : precipitation , runoff , water table , and bury of groundwater. A case study was conducted in Dongying City , which is the main part of the Yellow River Delta. The results show the following : (1) Both the intra-annual and inter-annual changes of precipitation were significant. The intra-annual precipitation was concentrated in summer. The inter-annual precipitation had a decreasing trend. The spatial distribution of precipitation showed a gradual declining trend from south to north. (2) The intra-annual and inter-annual changes of inflow of the Yellow River were significant. A trend analysis indicated a slight fluctuation and linear decline of runoff before and after 1986 , respectively. The local runoff showed significant intra-annual change , with the runoff in summer being over 80% of that over a whole year , and a small inter-annual change , with a peak-valley-peak trend. (3) There was a slight change in the water table of the shallow groundwater in Dongying City , but large intra-annual and inter-annual changes in Guangrao County , where an average decrease of 12.78 m of the water table was observed from the 1980s to the early 21st century. (4) The bury of groundwater in Guangrao County increased by 14.70 m from the 1970s to the 1990s. A notable linear increase ($R^2 = 0.93$) of the bury of groundwater in Guangrao County was observed from 1975 to 2000 , with an average growth rate of 0.72 m per year.

Key words : Yellow River Delta ; water resources ; spatial and temporal characteristics ; precipitation ; runoff ; water table ; bury of groundwater

水循环是联系地球系统“地圈—生物圈—大气圈”的纽带 ,是全球变化的核心问题之一。它受自然变化和人类活动的双重影响 ,决定着水资源的形成及演变^[1-2]。气候变化改变了水文循环过程 ,并将深刻

影响人类社会对水资源的开发、利用、规划、管理等诸多环节。探讨气候变化影响下的水资源问题成为全球关注的焦点之一[3-4]。根据气候变化最权威研究成果 IPCC 评估报告的分析,全球气候变化已是不争的事实,将对全球和区域水资源安全构成严重威胁[5]。

黄河是我国第二大河,水资源开发利用历史悠久。在气候变化的背景条件和人类活动胁迫下,黄河流域水资源出现了日益严重的问题。洪水、地下水漏斗以及 20 世纪 90 年代以来出现的下游频繁断流,水资源供需矛盾日益突出[6]。位于黄河下游的黄河三角洲是我国最大的三角洲,该区地处大气、河流、海洋与陆地交接带上,其地表水资源不仅包括当地降水形成的径流,还包括黄河上中游径流下泄量,受当地生态环境、上中游人类引水等活动的影响十分强烈,其地下水矿化度较高,浅层淡水较少且连年超采,水资源时空演变较为复杂。随着黄河三角洲高效生态经济区发展规划上升为国家战略,黄河三角洲水资源供需矛盾将更为突出,水资源的合理开发、利用及保护至关重要。笔者以黄河三角洲主要组成部分——东营市为研究区,利用近 50 年来降水、径流、地下水位及埋深 4 个指标分析其水资源的时空变化特征,以期水资源预测、保护、优化配置及管理提供理论依据。

1 研究区概况

黄河三角洲是由黄河泥沙淤积而成的三角洲冲积平原,位于渤海湾南岸和莱州湾西岸,地处 117°31'~119°18'E 和 36°55'~38°16'N 之间,是由古代、近代和现代 3 个三角洲组成的联合体,主要分布于东营市和滨州市境内。通常所指的黄河三角洲即近代黄河三角洲,包括现代黄河三角洲。近代黄河三角洲系指 1855 年(清咸丰五年)黄河于河南省铜瓦厢决口北夺大清河入渤海后冲积而成的三角洲,其范围是以东营市垦利县宁海为顶点,北起套尔河口,南至淄脉沟口,向东撒开的扇形淤积地区,海拔高程低于 15 m,陆地面积达 5 450 km²,其中东营市所属面积约占总面积的 96%^[7-8]。因此,笔者选择以东营市为研究区。

东营市成立于 1983 年 10 月,辖东营、河口两区,垦利、利津、广饶 3 县(图 1)。2010 年全市总人口达 184.87 万人,土地总面积为 79.23 万 hm²,全市生产总值为 2 359.94 亿元^[9]。东营市是鲁北平原的重要组成部分,地势总体平缓,西高东低,南高北低。除小清河以南地区为山前冲积平原外,其余均为黄河冲积而成的典型三角洲地貌,主要地貌类型有缓岗、河滩高地、微斜平地、浅平洼地和海滩地。

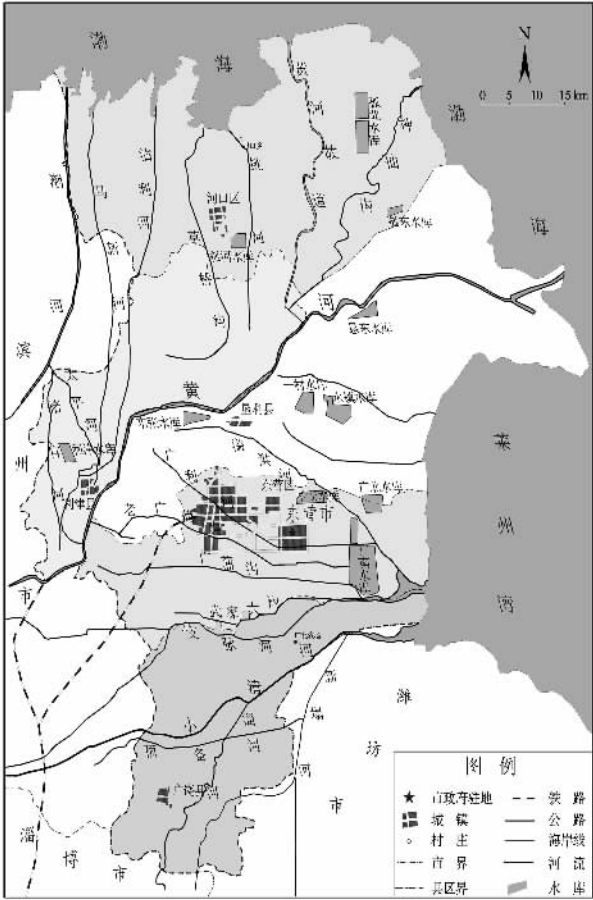


图 1 研究区位置

区内广为第三系和第四系沉积物覆盖,其中山前平原区面积为 636 km²,水文地质特征为水平方向由南向北含水层颗粒由粗变细,地下水埋深由深变浅,水力性质由潜水逐步过渡为承压水,矿化度逐步增高,由淡水过渡为微咸水、咸水。黄泛平原区全市现行骨干排水河道 30 余条,现行水系按流域划分,黄河属黄河流域,黄河以北属海河流域,黄河以南属淮河流域,其中海河流域水系多为南北走向,淮河流域水系多为东西走向^[10]。

2 数据系列

地表水资源选取降水和径流量两个指标。降水采用东营市 5 个气象观测站实地观测的逐日降水量,5 个气象站包括 1 个国家级气象站(东营站)以及 4 个省级气象站(广饶站、利津站、垦利站和河口站),时间序列为 1961—2007 年。径流量采用黄河利津站和东营市的逐月径流量,时间序列分别为 1973—2001 年和 1967—1999 年^[10]。利津站数据代表入境黄河径流量,东营市数据主要反映当地地表径流,特别是利津站以下黄河三角洲地区的情况。

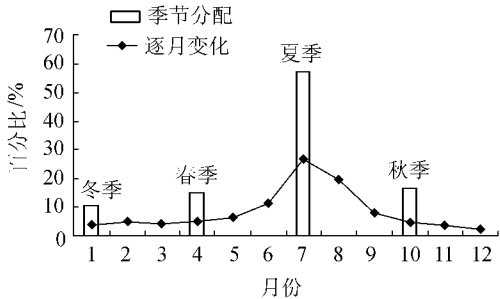
地下水资源选取浅层地下水位和埋深两个指标。地下水位采用东营市及利津县、垦利县、东营区、广饶县 4 个县逐月浅层地下水位,时间序列为

20 世纪 80 年代和 21 世纪初两个阶段。埋深采用广饶县井灌区的逐月浅层地下水埋深,时间序列为 1975—2000 年^[10]。

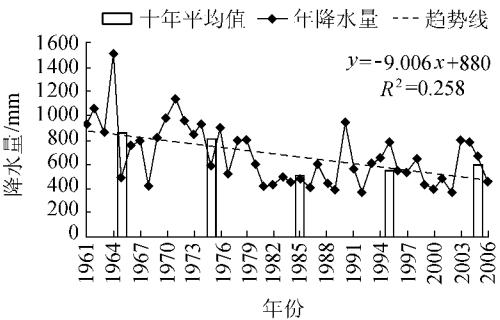
3 地表水资源时空变化特征

3.1 降水量

a. 年内变化。由图 2(a)可见,东营市多年平均降水量为 55.4 mm,年内变化较大,其中最大值为 176.0 mm(7 月),最小值为 15.3 mm(12 月)。从季节分配来看,降水量由大到小顺序为:夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、春季(3—5 月)、冬季(12—2 月),其中夏季约占全年的 57.4%。



(a) 降水量逐月变化及季节分配



(b) 降水量多年变化

图 2 东营市降水量随时间变化曲线

b. 年际变化。由图 2(b)可见,东营市多年平均降水量为 631.4 mm,降水量最高值为 1 498.4 mm(1964 年),最低值为 359.3 mm(2002 年)。降水量随时间变化呈明显下降趋势,降幅达到 47.56%。以 10a 作为 1 个周期统计,降水量呈先下降后上升的趋势,20 世纪 60 年代达到最大值,为 854.8 mm,80 年代到达最小值,为 503.4 mm,下降了 351.4 mm,下降幅度达到 41.11%,之后略有增加,至 21 世纪初达到 588.1 mm。

c. 空间变化。东营市多年平均降水量的空间分布呈自南向北逐渐减小的趋势(图 3),符合纬度地带性分布规律。其中广饶县降水量最大,为 693.4 mm,其次是东营区,为 673.8 mm,垦利和利津两县纬度大致相同,降水量差异也很小,分别为 616.5 mm 和 614.0 mm,河口区最小,为 559.3 mm。

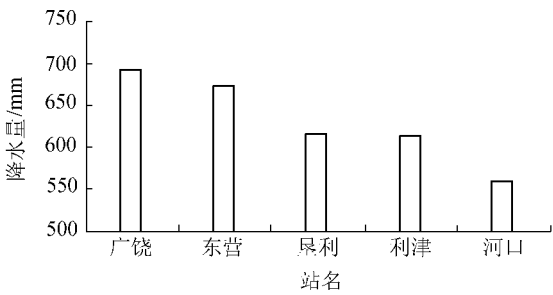
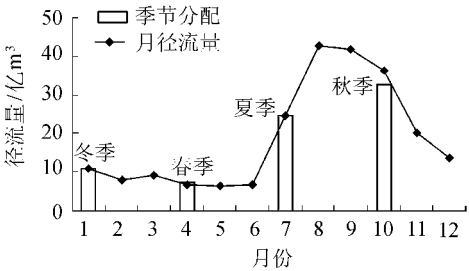


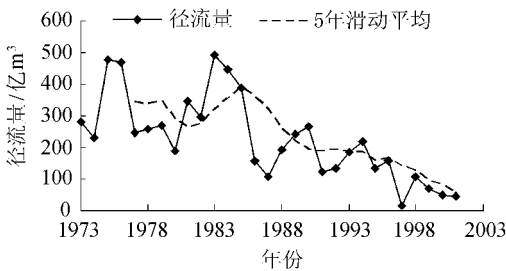
图 3 东营市降水量空间分布

3.2 径流量

a. 黄河利津站多年平均径流量。据黄河利津站 1973—2001 年径流量实测资料分析(图 4(a)),多年平均年径流量为 227.6 亿 m³,月径流量为 19.0 亿 m³。黄河径流量年内变化较大,最大月径流量为 42.7 亿 m³(8 月),最小月径流量为 6.4 亿 m³(5 月),最大值约为最小值的 6.7 倍。月径流量的季节分配从大到小顺序为:秋季、夏季、冬季、春季,其中秋季流量为 98.2 亿 m³,约占全年的 43.1%。由图 4(b)可知,径流量年际变化也较大,最大值出现在 1983 年,为 490.7 亿 m³,最小值出现在 1997 年,为 16.6 亿 m³,最大值约为最小值的 30 倍。由 5 年滑动平均趋势分析可知,1986 年之前,径流量变化趋势较为平缓,1986 年之后,呈明显线性下降趋势。



(a) 径流量逐月变化及季节分配



(b) 径流量年际变化

图 4 利津站径流量随时间变化曲线

b. 东营市当地多年平均径流量。根据东营市 1967—1999 年逐月径流量系列分析(图 5(a)),多年平均年径流量为 44 721.8 万 m³,月径流量为 3 726.8 万 m³。年内变化比利津站大,最大月径流量为 16 948.1 万 m³(7 月),约占全年的 37.9%,12—3 月径流量均为 0,出现断流现象。根据月径流量的季

节分配由大到小顺序为 :夏季、秋季、春季、冬季 ,其中夏季径流量为 36 391.0 万 m³ ,约占全年的 81.4%。东营市当地径流量季节分配特征与当地降水量一致 ,高值出现在夏季 ,而利津站径流量变化反映了上游来水特征 ,高值出现在秋季。东营市径流量年际变化(图 5(b))比利津站小 ,最大值出现在 1990 年 ,为 82461.5 万 m³ ,最小值出现在 1968 年 ,为 23553.1 万 m³ ,最大值约为最小值的 3.5 倍。由 5 年滑动平均趋势分析可知 ,多年平均径流量呈峰-谷-峰的变化趋势。

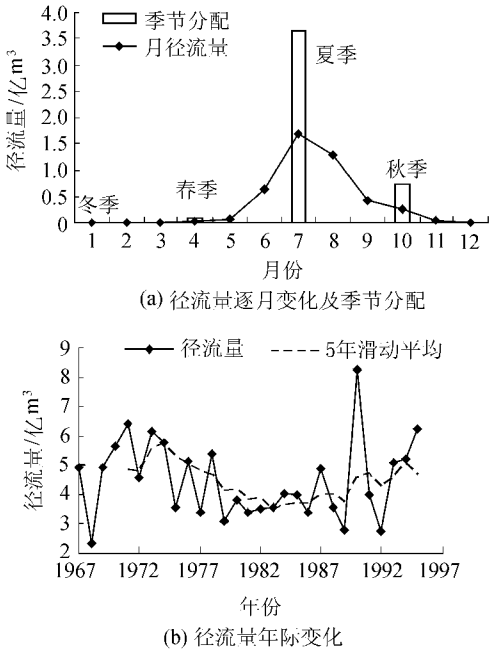


图 5 东营市当地径流量随时间变化曲线

c. 空间分布特征。从空间分布上看 ,以利津站为分界点 ,径流量沿黄河流向减少。利津站年平均径流量和月平均径流量均比东营市高约 51 倍 ,而且利津站之下河道断流现象比较突出。当地地表水资源较为短缺 ,黄河作为重要的客水水源 ,多年平均调水量占东营市总供水量的 75% 左右^[11]。

4 地下水资源时空变化特征

4.1 东营市浅层地下水位动态变化

由图 6 可知 20 世纪 80 年代东营市年平均浅层地下水位为 4.81 m ,变化幅度为 0.71 m ;月平均水位最高值为 6.16 m(利津县) ,最低值为 1.97 m(广饶县) 。各县区中月变幅最大的是广饶县 ,幅度为 3.82 m ,总体呈下降趋势 ;其他县区全年变幅较小 ,均不超过 1.33 m。21 世纪初东营市地下水位年内动态变化趋势与 20 世纪 80 年代大致相同 ,年平均浅层地下水位为 2.25 m ,变化幅度为 1.10 m ;月平均水位最高值为 7.29 m(利津县) ,最低值为 - 10.79 m(广饶县) 。广饶县月变化仍最大 ,变化幅度为

2.63 m ,总体呈下降趋势 ;其他县区变化范围很小 ,均不超过 0.61 m。

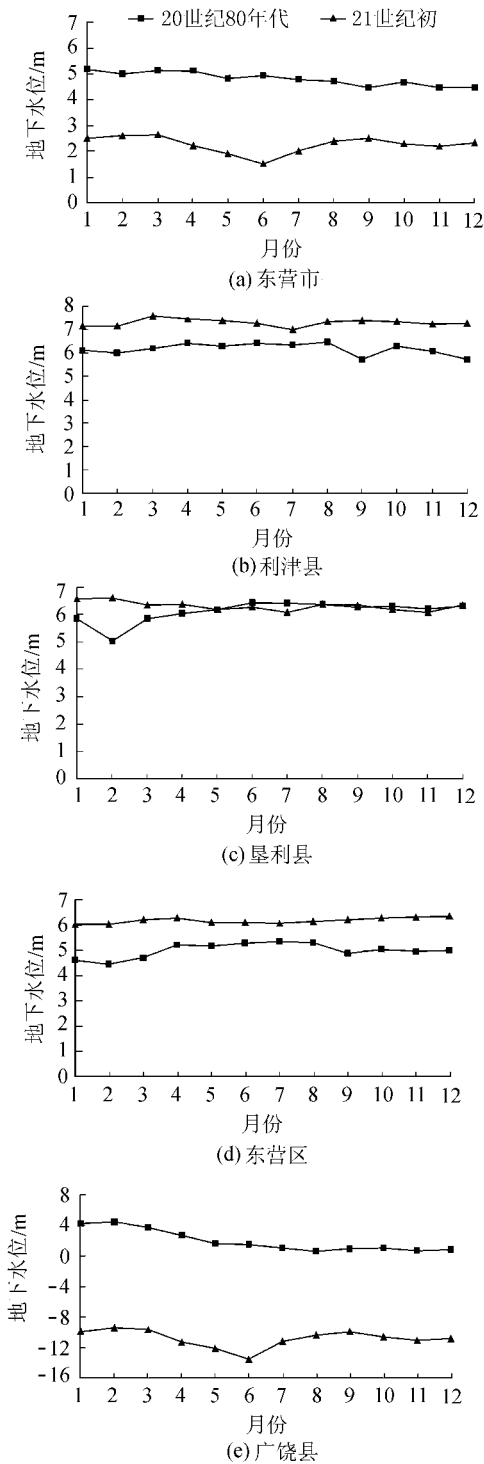


图 6 东营市地下水位动态变化趋势

通过对两个时期的比较可以看出 ,东营市地下水位自 20 世纪 80 年代至 21 世纪初 ,总体呈下降趋势 ,平均降幅为 2.56 m。各县区中利津县、垦利县和东营区的变化趋势与全市平均相反 ,均表现出升高的趋势 ,平均变化幅度分别为 1.14 m、0.20 m 和 1.18 m ,广饶县则呈明显下降的趋势 ,平均降幅为 12.78 m。空间分布上 ,北部利津县、垦利县和东营区地下水位

均表现出年内及年际变化均较小,年际表现出上升趋势,南部广饶县年内变化较大,表现出年初最高,年中明显下降,年末保持低值的特征,年际也表现出明显的下降趋势。

4.2 广饶县地下水埋深动态变化

东营市浅层淡水主要集中在广饶县境内,而其余广大地区均属咸淡水混合区和咸水区,地下水矿化度较高。广饶县地下水位急剧下降的原因主要是随着当地经济社会发展,需水量逐渐增加,造成对地下水的开采量逐渐加大,从而致使地下水位大幅度下降。根据广饶县井灌区 1975—2000 年地下水观测井水位月埋深序列,对 20 世纪 70 年代、80 年代和 90 年代的地下水埋深逐月变化进行分析(图 7(a)),70 年代年平均地下水埋深为 5.41 m,变化幅度为 2.48 m,埋深最深值为 6.86 m,出现在 6 月,最浅值为 4.38 m,出现在 1 月和 2 月,80 年代年平均地下水埋深为 14.34 m,变化幅度为 1.98 m,埋深最深值为 14.91 m,出现在 6 月,最浅值为 12.93 m,出现在 2 月,90 年代年平均地下水埋深为 20.11 m,变化幅度为 2.04 m,埋深最深值为 21.15 m,出现在 7 月,最浅值为 19.11 m,出现在 2 月。上述 3 个年代年内地下水埋深变化一致,4—8 月埋深较深,年初和年末埋深较浅。从年际变化来看,自 70 年代至 90 年代埋深逐渐增加,增幅达到 14.70 m。根据逐年平均地下水埋深曲线(图 7(b))分析,广饶县地下水埋深呈显著线性

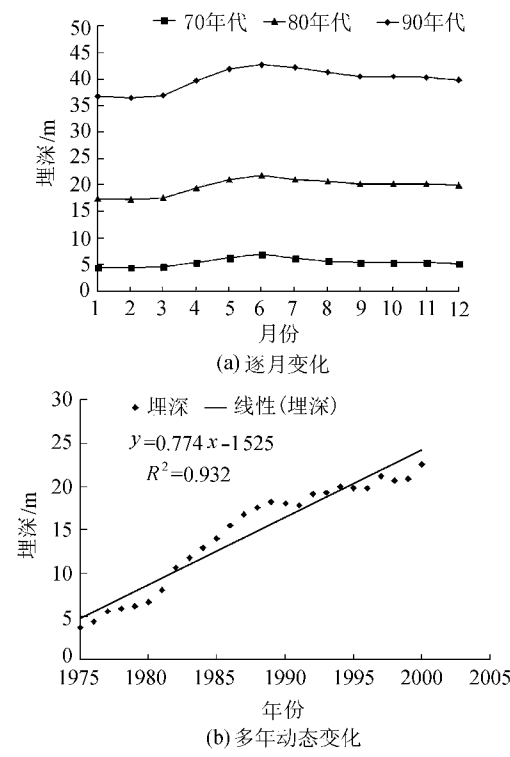


图 7 广饶县 20 世纪 70—90 年代地下水埋深动态变化趋势

增加趋势($R^2 = 0.93$),年均增速达到 0.72 m/a。

5 结 论

采用降水、径流、地下水位及埋深 4 个主要指标对 1961—2000 年黄河三角洲主要组成部分——东营市的水资源时空变化特征进行了分析。结果如下:

a. 东营市多年平均降水量为 631.4 mm,降水量年内及年际变化均较大。年内夏季降水量最大,约占全年的 57.4%,年际尺度上,降水量总体呈下降趋势,20 世纪 60 年代为最高值,至 80 年代达到最低值,之后略有上升。多年平均降水量的空间分布呈自南向北逐渐下降的趋势,符合纬度地带性分布规律,自南部广饶县至北部河口区降水量下降幅度达到 134.1 mm。

b. 黄河入境径流量年内及年际变化均较大,秋季径流量最大,占全年的 14.4%,年际尺度上最大径流量约为最小值的 30 倍,根据 5 年滑动平均趋势分析结果,1986 年之前径流量变化较平缓,之后呈线性下降趋势。当地径流量年内变化较大,夏季径流量超过全年的 80%,年际变化较小,呈峰-谷-峰的变化趋势。利津站年、月平均径流量均比东营市高约 51 倍,利津站以下河道断流现象比较突出。

c. 东营市浅层地下水位年内变化较小,年际由 20 世纪 80 年代的 4.81 m 下降至 21 世纪初的 2.25 m,下降幅度为 2.56 m。其中利津、垦利和东营 3 县区内年及年际变化均较小,年际表现出上升趋势,广饶县年内及年际变化均较大,特别是年际由 20 世纪 80 年代的 1.97 m 下降至 21 世纪初的 -10.79 m,下降幅度为 12.78 m。广饶县地下水埋深自 20 世纪 70 年代至 90 年代逐渐增加,增幅达到 14.7 m。1975—2000 年广饶县地下水埋深呈显著线性增加趋势($R^2 = 0.93$),年均增速达到 0.72 m/a。

参考文献:

[1] 夏军,刘春蓁,任国玉.气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J].地球科学进展,2011,26(1):1-12.
[2] 江善虎,任立良,雍斌,等.气候变化和人类活动对老哈河流域径流的影响[J].水资源保护,2010,26(6):1-4.
[3] 刘昌明,刘小莽,郑红星.气候变化对水文水资源影响问题的探讨[J].科学对社会的影响,2008(2):21-27.
[4] 张圣微,雷玉平,姚琴,等.土地覆被和气候变化对拉萨河流域径流的影响[J].水资源保护,2010,26(2):39-44.
[5] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

(下转第 37 页)

脆弱性 相对隶属度 0.7~1.0。黄河三角洲水资源脆弱性评价结果如图 4 所示。

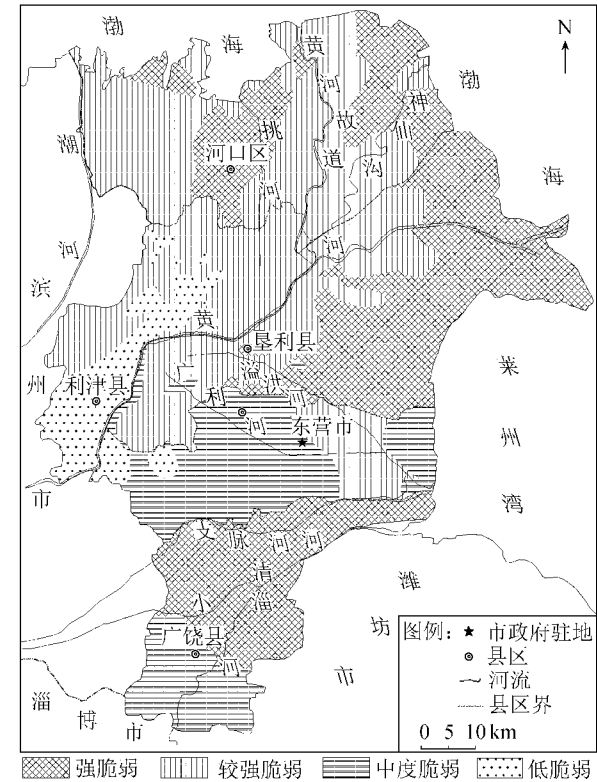


图 4 研究区水资源脆弱性评价结果

评价结果显示,研究区整体水资源脆弱性程度较高,其中中度脆弱以上地区占研究区总面积的 93.7%,没有弱度脆弱的区域。水资源脆弱性空间变化较大,沿海及小清河区域水资源脆弱性较高,沿黄河区域脆弱性相对较低。分析原因是沿海地区受到海水入侵,矿化度较高,对跨流域外调水依赖性较大,小清河地区受到地下水过度开采及地表水污染严重及农业面源污染等影响,水资源脆弱性较高,而地处沿黄河区域水资源相对较为丰富,引、输水干渠配套工程较为完善,其水资源脆弱性相对较低,处于中等水平。

5 建 议

水资源脆弱性评价是识别区域空间水资源受到人类活动干扰后恢复原来状态的能力,为进一步实现水资源空间优化配置和合理开发利用奠定基础。研究表明,黄河三角洲脆弱性较高,空间区域变化较大,水资源脆弱性影响因素较多且不同。因此需要在现有黄河三角洲水系基础上,规划建设滨海骨干生态河道,综合整治区域排水河道,完善灌区灌排干支渠,增设必要蓄水设施,把黄河、区域河道和平原水库等水源工程串联起来,构成一个集输水、蓄水、灌溉、供水、排水、改碱、咸水微咸水利用及自然保护区湿地补水于一体的工程水网和生态水系,做到多

水联供和循环利用,切实转变水资源利用方式,减弱黄河三角洲水资源脆弱性,建立黄河三角洲水资源高效生态利用模式。

参考文献:

[1] DOERFLIGER N, JEANNIN P Y, ZWAHLEN F. Water vulnerability assessment in karst environments a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tool[J]. Environmental Geology ,1999 ,39(2) :165-176.

[2] 李剑颖. 官厅水库流域水资源脆弱性评价研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2007.

[3] 张保祥. 黄河流域地下水脆弱性评价与水源保护区划分研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2006.

[4] 沈珍瑶, 杨志峰, 曹瑜. 环境脆弱性研究评述[J]. 地质科技情报, 2003, 22(3): 91-94.

[5] 刘绿柳. 水资源脆弱性及其定量评价[J]. 水土保持通报, 2002, 22(2): 41-44.

[6] 邹君, 刘兰芳, 田亚平, 等. 地表水资源的脆弱性及其评价初探[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 92-98.

[7] 冯少辉, 李靖, 朱振峰, 等. 云南省滇中地区水资源脆弱性评价[J]. 水资源保护, 2010, 26(1): 13-16.

[8] 山东省地质矿产局. 山东省环境地质图集[M]. 济南: 山东省地图出版社, 1996: 66.

[9] 张先起, 梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1057-1061.

[10] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002: 10-13.

(收稿日期 2011-11-15 编辑: 高渭文)

(上接第 33 页)

[6] 牛玉国, 张海敏, 李世明. 黄河水资源问题与对策研究[J]. 湖泊科学, 2004, 16(S1): 16-29.

[7] 高善明, 李元芳. 黄河三角洲[EB/OL]. [2011-10-03]. <http://baike.baidu.com/view/145124.htm#3>

[8] 任美镔. 黄河三角洲自然地理概念[EB/OL]. [2009-12-04]. http://www.dzwww.com/2009/hsj/bj/200912/t20091204_5246425.htm

[9] 东营市统计局, 国家统计局东营调查队. 东营市统计年鉴—2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[10] 《东营市水利志》编纂委员会. 东营市水利志[M]. 北京: 红旗出版社, 2003: 34-68.

[11] 东营市水利局. 东营市水资源公报(2002—2010 年). 东营: 东营市水利局, 2002—2010.

(收稿日期 2011-10-26 编辑: 徐 娟)