

小浪底水库对黄河三角洲湿地水分条件和景观格局的影响

薛小杰¹, 巩琳琳^{1,2}, 白涛¹, 蒋晓辉³

(1. 西安理工大学 土木建筑工程学院 陕西 西安 710048; 2. 陕西省水利电力勘测设计研究院 陕西 西安 710001; 3. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘要: 研究了小浪底水库对黄河河口湿地水分条件的影响, 并利用遥感方法分析了黄河三角洲湿地景观格局在小浪底运行前后的变化情况。研究表明: (1) 降雨是补给湿地水分的重要因素, 由于其时间分布不均, 使得黄河三角洲具有生态缺水时段; 黄河的侧渗补给与降雨补给时段相同, 5—7 月的来水量大, 补给量大, 是第二大淡水补给来源。河流侧向补给的增加水量对河道沿岸附近 2.5 km 范围内湿地的水位具有较大的影响, 但对整个湿地水分改善没有明显作用。(2) 小浪底水库运行后湿地总面积略有增加, 其中天然湿地面积减少 90.29 km², 人工湿地(主要是盐田)面积增加 150.11 km²; 沿海湿地总体上仍以海水侵蚀为主, 但与小浪底运行前相比, 黄河现代三角洲的河流湿地面积明显增加, 同时盐碱化过程受到遏制。

关键词: 遥感; 黄河三角洲湿地; 小浪底水库

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0232-05

中图分类号: TV213.4, X171.4

Influence of Xiaolangdi Reservoir on Moisture Conditions and Landscape Pattern of Yellow River Delta Wetland

XUE Xiao-jie¹, GONG Lin-lin^{1,2}, BAI Tao¹, JIANG Xiao-hui³

(1. School of Civil Engineering of Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Shaanxi Institute of Water Resources and Electric Power Investigation and Design, Xi'an, Shaanxi 710001, China; 3. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: The influences of Xiaolangdi reservoir on the replenishment of the Yellow River estuary wetland were analyzed, and the changes before and after the operation of the reservoir on the landscape pattern of Yellow River Delta wetlands were detected using remote sensing. The results show that rainfall was an important source for the wetland replenishment. As the rainfall was unevenly distributed each year in the study area, periods ecologically short of water often occurred. From May to July each year, lateral seepage from the Yellow River and rainfall infiltrations were overlapped, providing large amount of water supply to recharge the wetlands. The water supply of lateral seepage showed great influences in about 2.5 km of the riparian buffer, but no obvious effect on the entire wetland. After the operation of the reservoir, the total area of the wetland increased slightly, specifically with areal reduction of 90.29 km² in natural wetland and areal increase of 150.11 km² in artificial wetlands. The coastal wetlands have experienced sea erosion generally. Overall, the area of the wetlands in the study area increased substantially and the salinization process has been restrained after the operation of the reservoir.

Keywords: remote sensing; the Yellow River Delta wetland; Xiaolangdi reservoir

小浪底水利枢纽工程是控制黄河下游水沙过程的关键工程, 它控制了黄河流域面积的 92.3%, 径流量的 91.5%, 输沙量的 98%, 在黄河治理开发中具有重要的战略意义。华北水电学院周振民教授通

过大量数据分析了小浪底工程将对豫北大天鹅保护区产生复杂的影响, 对黄河河滩及背河洼地生态环境、古黄河三角洲湿地生态改良产生不利影响^[1]。太原理工大学宗秀影利用遥感分析了黄河三角洲湿地

景观格局动态变化^[2]。本文在分析小浪底水库运行后河流对三角洲水分条件变化的基础上,通过遥感分析河口湿地的变化情况,为黄河三角洲湿地的生态保护和生态调度提供技术依据。

1 小浪底水库对三角洲水分条件的影响

本研究运用 Modflow^[3-4]模型模拟河道对三角洲的水分补给,通过计算降雨和河道直接补给及侧渗补给得到区域水均衡分析结果。

1.1 降雨和河道直接补给

降雨量的年内分配不均造成黄河三角洲季节性生态缺水的重要原因。从区域的水均衡分析来看,降雨补给是地下水最重要的补给项,且随季节变化明显(图 1)。由于河口地区已经建立堤防,取水口位置较高,一般情况下黄河水不能水分条件给湿地,但在调水调沙期间,由于河水流量大,可以直接给湿地水分条件。小浪底水库 2000 年建成运行。据统计,自 2002 年开始该库在调水调沙期间给湿地的水分条件量为 $1.40 \times 10^7 \text{ m}^3$ 左右,折合径流深约为 6 mm。从补给的水量来看,黄河径流水分条件占整个三角洲湿地水分补给量的比例很小,但对核心区的集中水分条件,可以显著增加该区域的水资源量,有效改善核心区的水分条件。据黄河水利委员会水资源管理与调度局的调查资料,2008 年调水调沙期间,核心区湿地水深平均增加了 0.3 m。根据 2008 年 6 月 19 日与 7 月 4 日两次卫星遥感监测,核心区湿地增加 223 hm^2 ,水分条件完成后增加淡水湿地 310 hm^2 ,低洼处水深可达 1.5 m 左右。

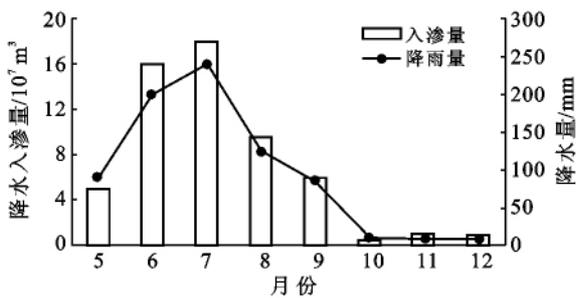


图 1 黄河三角洲降水入渗量变化

1.2 黄河侧渗补给

黄河的侧渗补给量主要受到河流的水位和周边地下水水位的影响^[5]。图 2 是模拟小浪底水库运行前的 1998 年和运行后的 2004 年河道不同来水情况下的黄河侧渗补给情况。

从图 2 可以看出,河道侧渗补给量与河道来水关系密切,来水量越大,河道侧渗量也越大。在 5—7

月,河道对湿地的侧渗量在水库运行后远大于水库运行前;在 8—9 月份,水库运行后河道对湿地侧渗量略小于水库运行前;在 10—12 月,水库运行后河道对湿地的侧渗量大于水库运行前。降水补给在 6—7 月是高峰期,8 月以后,由于湿地地下水位较浅,河道补给湿地能力降低,一直到 10 月,补给能力再次增大。河流补给在空间上的分布极不均匀。图 3—4 分别是 2004 年 8 月和 12 月河口三角洲地下水水流场分布图。从图 3—4 可以看出,地下水水流场的等势面沿渤海呈环状分布,地下水流向与地表高程变化方向一致,以现行黄河河道和黄河故道为分水岭,分为北、东北、东南三股主流方向向海排泄。在现代黄河附近地下水水位高,等值线密度大,河水的补给作用强烈。河水补给的影响约在沿河附近 2.5 km 的范围内。8 月的地下水水位普遍高于 12 月,变化幅度在 2 m 以内。水位变幅空间差异较大,沿黄河附近的地下水水位主要受到河流水位的影响,变幅较小,约为 1 m;平地的地下水水位动态主要受降雨和蒸发等气象因素的影响,水位季节变化剧烈,变幅约为 2 m;滨海地区地下水水位在夏季时,略高于海水水位,地下水向海排泄;在冬季部分地区地下水水位低于海平面,出现海水入侵。

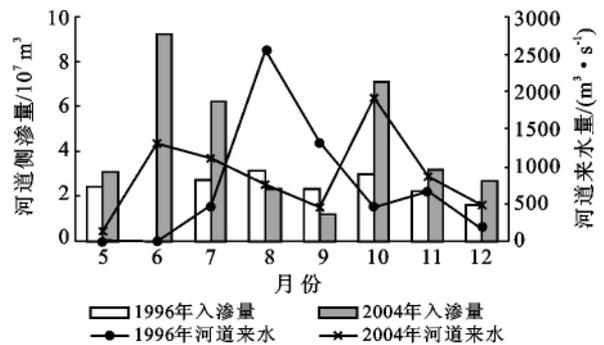


图 2 2004 年河道不同来水情况下黄河侧渗补给量变化



图 3 2004 年 8 月河口三角洲地下水位分布



图 4 2004 年 12 月河口三角洲地下水位分布

综上所述,黄河河水侧向补给湿地的水资源量在小浪底水库运行后有一定增加,但影响范围有限,河流补给影响的范围约在沿河道附近 2.5 km 的范围内。因此,河流侧向补给湿地的增加水量对河道沿岸湿地具有较大的影响,但对整个湿地水分改善没有明显作用。

2 河口湿地生态系统影响的遥感分析

选取从中国科学院地理科学与资源研究所收集到的 2001 年的 LandsatTM432 数据和 2004 年的 CBERS-1 卫星 CCD 数据。在 ARC/INFO 中,首先对三期黄河现代三角洲湿地的遥感影像进行再分类,再对矢量数据进行编辑、检验和修正,最后对研究区进行边界统一修订和归一化处理。将三期数据都转换成 grid 数据格式,取 30 m×30 m 格网单元进行重采样,统一空间分辨率,便于图谱分析。

2.1 湿地面积变化

研究区 2001 年湿地面积为 1 534.76 km²,2004 年湿地面积为 1 595.58 km²,表明在小浪底水库运行后湿地面积略有增加(60.82 km²,4.0%),其中天然湿地面积略减少(90.29 km²),人工湿地(主要是盐田)面积增加 150.11 km²。但是,由于湿地斑块数的快速增长(42.3%),斑块平均面积从 2001 年的 21.62 km² 到 2004 年的 15.80 km²,减少了 26.9%;斑块最大面积从 2001 年的 159.27 km² 减少到 2004 年的 101.49 km²。可以看出,在小浪底水库运行后,湿地中小面积的斑块增长的多,而大面积的斑块处在不断被蚕食中。

从湿地各类型面积变化来看,在小浪底水库运行后,滨海湿地、河流湿地和盐碱地面积变化与天然湿地面积变化趋势一致,分别减少了 143.52 km²

(36.0%),68.88 km² (16.6%) 和 47.89 km² (16.9%);沼泽和草甸湿地面积变化与天然湿地面积变化趋势不一致,草甸湿地面积基本不变,沼泽面积增长 4.6 倍(165.13 km²)。与人工湿地面积变化趋势相同,水田面积增加了 11.60 km² (34.6%),盐田则增加了 161.48 km² (近 3 倍),。而水库面积则呈减少趋势,从 2001 年的 65.75 km² 减少为 2004 年的 43.79 km²。此外,小浪底水库运行后,天然湿地中沼泽的最大斑块面积从 2001 年的 18.43 km² 增大到 2004 年 95.37 km²,而滨海湿地、盐碱滩的最大斑块面积分别萎缩了近一半;沼泽、盐碱滩和盐田斑块数量显著增加,分别增长 4 倍、1.6 倍和 1.6 倍。

2.2 景观变化图谱分析

利用 2001 年和 2004 年三角洲湿地类型数据合成小浪底水库运行前后的湿地变化图谱,得到 2001—2004 年间的湿地变化类型排序表(表 1)和湿地类型面积转移矩阵(表 2)。在小浪底水库运行前后,湿地类型的变化以滨海湿地的蚀退为主,而非湿地类型的沼泽化图谱单元则位列其次。

在各种湿地类型变化中,滨海湿地的蚀退面积最大,为 146.90 km²,占有变化面积的 18.70%;另外有河流湿地被蚀退的面积为 23.44 km²,占有变化面积的 2.98%,这样总计有 21.69% 的湿地变化类型是沿海湿地的蚀退(170.34 km²),主要分布在黄河现行河道入海口南北汊附近和黄河故道入海口附近的沿海区域,表明在小浪底水库运行后,沿海湿地总体上仍以海水侵蚀为主。

第二大湿地变化类型是非湿地类型的沼泽化,其面积占有变化面积的 15.14%,为 118.90 km²,主要分布在黄河三角洲东北部的自然保护区、黄河故道两侧和黄河现行河道入海北汊附近;此外,来自河流湿地的沼泽面积 40.14 km² 占有变化面积的 5.11%,分布在黄河现行河道北部。共有 20.25% 的湿地变化类型是沼泽化过程,即灌丛化和疏林化过程。第二大湿地变化类型就是非湿地类型的沼泽化,占有变化面积的 15.14%,面积为 118.90 km²,主要分布在黄河三角洲东北部的自然保护区、黄河故道两侧和黄河现行河道入海北汊附近;此外,来自河流湿地的沼泽面积 40.14 km²,占有变化面积的 5.11%,分布在黄河现行河道北部。共有 20.25% 的湿地变化类型是沼泽化过程,即灌丛化和疏林化过程。

第三大湿地变化类型为强烈的人类活动,尤其是人工盐田化过程。其中来自非湿地的盐田面积为 95.82 km²,占全部变化面积的 12.20%,加上盐碱滩

等湿地开发的 35.02 km² 盐田面积,总计有 130.84 km²,约占所有变化的 16.7%的面积开发为人工盐

田,多分布在黄河现行河道南部、黄河故道左侧和黄河故道及现行河道之间区域。

表1 黄河现代三角洲湿地 2001—2004 年主要变化类型排序

编码	图谱单元类型	变化网格数	变化率/%	累计百分率/%	面积/km ²
10	滨海湿地—非湿地	163 219	18.70	18.70	146.90
3	非湿地—沼泽	132 113	15.14	33.84	118.90
8	非湿地—盐田	106 468	12.20	46.04	95.82
7	非湿地—水田	47 466	5.44	51.48	42.72
23	河流湿地—沼泽	44 605	5.11	56.59	40.14
40	草甸湿地—非湿地	41 358	4.74	61.33	37.22
51	盐碱滩—滨海湿地	40 927	4.69	66.02	36.83
68	水库—盐田	34 220	3.92	69.94	30.80
70	水田—非湿地	30 029	3.44	73.39	27.03
58	盐碱滩—盐田	28 996	3.32	76.71	26.10
15	滨海湿地—盐碱滩	26 060	2.99	79.69	23.45
20	河流湿地—非湿地	26 047	2.98	82.68	23.44
24	滨海湿地—草甸湿地	23 211	2.66	85.34	20.89
14	非湿地—草甸湿地	18 657	2.14	87.48	16.79
4	非湿地—滨海湿地	17 932	2.05	89.53	16.14
1	非湿地—水田	17 656	2.02	91.56	15.89
54	盐碱滩—草甸湿地	8 591	0.98	92.54	7.73
5	非湿地—盐碱滩	7 795	0.89	93.43	7.02
42	草甸湿地—河流湿地	7 614	0.87	94.31	6.85
46	草甸湿地—水库	6 391	0.73	95.04	5.75
18	滨海湿地—盐田	5 795	0.66	95.70	5.22
50	盐碱滩—非湿地	5 388	0.62	96.32	4.85
12	滨海湿地—河流湿地	5 334	0.61	96.93	4.80
52	盐碱滩—河流湿地	4 249	0.49	97.42	3.82
43	草甸湿地—河流湿地	4 090	0.47	97.89	3.68
48	草甸湿地—盐田	4 088	0.47	98.35	3.68

表2 黄河现代三角洲 2001—2004 年湿地类型面积转移矩阵

项目	滨海湿地	河流湿地	沼泽	草甸湿地	盐碱滩	水库	水田	盐田	非湿地
滨海湿地	201.29	4.80	0	16.79	23.45	0	0	5.22	146.90
河流湿地	0.63	325.24	40.14	20.89	0.75	3.21	0	0	23.44
沼泽	0	0	35.72	0	0.20	0	0	0.03	0.03
草甸湿地	0.25	6.85	3.68	191.64	0.01	5.75	0.01	3.68	37.22
盐碱滩	36.83	3.82	0	7.73	204.36	0	0	26.10	4.85
水库	0	0	0	0.57	0	33.20	0.31	30.80	0.89
水田	0	0.43	2.65	0.02	0	1.24	2.05	0.06	27.03
盐田	0.04	0	0	0.15	0	0	0	53.83	0.01
非湿地	15.89	1.02	118.90	16.14	7.02	0.42	42.72	95.82	3527.77

表3表示黄河现代三角洲 2001—2004 年和 1996—2004 年的湿地类型面积对比转移情况。从表3可以看出,2001—2004 年,新增的河流湿地面积为 16.93 km²,约占 1996—2004 年间新增河流湿地面积的 47%。1996—2004 年,新增的盐碱滩面积是 62.29

km²,占 1996—2004 年间新增盐碱滩面积的 25%。同时,1998—2004 年演变为其他天然湿地类型的河流湿地面积为 62.42 km²,占有变化面积的 8%,其中大约 98%(61.03 km²)演变为灌丛、疏林或芦苇。这表明,在小浪底水库运行前后,黄河现代三角洲的

河流湿地面积明显在增加,同时盐碱化过程显著地受到遏制;在小浪底水库运行前后,以黄河河床向两侧的生态系统处在顺向演替中。

表 3 黄河现代三角洲河流湿地和盐碱滩湿地变化对比

序号	时段	新增河流湿地面积/km ²	新增盐碱滩面积/km ²
1	2001—2004 年	16.93	31.43
2	1996—2004 年	36.40	127.84

3 结论

本文通过运用 Modflow 模型模拟河道对三角洲的水分补给情况,研究了小浪底水库对黄河湿地三角洲水分条件的影响,并运用遥感手段分析了河口湿地景观类型的变化情况。

(1) 小浪底水库运行后降雨仍旧是补给湿地的主要因素,补给时段为 6—8 月。每年 6 月以前和 9 月以后的几个月是黄河三角洲的生态缺水时段,河道直接补给核心区湿地面积增加 223 hm²。

(2) 小浪底水库运行后河流补给在空间上的分布极不均匀,地下水流向与地表高程变化方向一致。在冬季部分地区地下水水位低于海平面,出现海水入侵。河流侧向补给湿地的增加水量对河道沿岸湿地具有较大的影响,但对整个湿地水分改善没有明显作用。

(3) 小浪底水库运行后湿地面积略有增加

(60.82 km², 4.0%),其中天然湿地面积略减少(90.29 km²),人工湿地(主要是盐田)面积增加 150.11 km²。天然湿地中,沼泽的最大斑块面积从 2001 年的 18.43 km² 增大到 2004 年 95.37 km²,而滨海湿地、盐碱滩的最大斑块面积分别萎缩了近一半;沼泽、盐碱滩和盐田斑块数量显著增加,分别增长 4 倍、1.6 倍和 1.6 倍。

(4) 小浪底水库运行后,黄河现代三角洲的河流湿地面积明显增加,同时盐碱化过程显著地受到遏制,湿地生态系统环境趋于改善,以黄河河床向两侧的生态系统处在顺向演替中。

[参 考 文 献]

- [1] 周振民. 黄河小浪底工程对下游湿地生态环境影响研究[J]. 水利学报, 2007(10): 511-514.
- [2] 宗秀影, 刘高焕, 乔玉良. 黄河三角洲湿地景观格局动态变分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(1): 92-96.
- [3] 路瑞利, 方树星, 王红雨. 基于 Modflow 的某水源区地下水开采三维数值模拟[J]. 武汉大学学报, 2011, 44(5): 619-623.
- [4] Michael G McDonald, Arlen W Harbaugh. MODFLOW: A Three Dimension Finite Difference Ground Water Flow Model[M]. Washington: U. S. Government Printing Office, 1988.
- [5] 罗云菊, 刘新荣, 刘东燕, 等. Modflow 在重庆小泉地区地下热水可持续开发中的应用[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2004, 27(11): 92-96.
- [6] 刁承泰, 张友刚. 简析城市地貌环境脆弱带[J]. 热带地理, 1998, 18(1): 50-52.
- [7] 张友刚, 陈国建. 城市地貌分类研究: 以重庆市北碚区为例[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2000, 25(6): 713-717.
- [8] 李雪铭, 周连义, 王建. 城市人工地貌图编制的初步研究: 以大连市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3): 50-56.
- [9] 张友刚, 陈国建. 城市地貌数字制图研究: 以重庆市北碚区[J]. 计算机与制图, 2000(1): 11-14.
- [10] 李雪铭, 张春花, 周连义, 等. 城市人工地貌过程对城市化的响应: 以大连市为例[J]. 地理研究, 2005, 24(5): 185-793.
- [11] 周连义, 江南, 赵沫, 等. 大连城市人工地貌分类及影响因素初步分析[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2007, 38(2): 291-295.
- [12] 明庆忠. 昆明市地貌条件与城市发展浅论[J]. 热带地理, 1994, 14(1): 11-18.
- [13] 李陇堂, 米文宝. 宁夏城市(镇)地貌初步分析[J]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 1995, 16(3): 73-78.
- [14] 米文宝. 银川市城市地貌对城市住区及城市发展的影响[J]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 1999, 20(2): 165-1681.
- [15] 黄金龙, 曾杰. 云浮市区地貌与城市发展[J]. 广州师院学报: 自然科学版, 1998, 19(9): 25-31.
- [16] 吕韬, 刁承泰, 周志跃, 等. 试论城市地貌及其对城市交通的影响[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2003, 28(4): 308-312.
- [17] 桑广书. 秦末以来秦都咸阳地貌演变[J]. 地理科学, 2005, 25(6): 709-715.
- [18] 付强, 杨发相, 岳健, 等. 三工河流域地貌形态要素及其对环境的影响[J]. 干旱区地理, 2008, 31(20): 222-228.
- [19] 王永信, 张成才, 刘丹丹, 等. 基于 ArcGIS 9.0 的 DEM 的生成及坡度分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(2): 48-51.
- [20] 赵晓霞. 咸阳市区渭河一级阶地的工程地质特征[J]. 陕西水利水电技术, 2004(1): 54-58.

(上接第 231 页)