

利用遥感技术研究黄淮海平原 水域的演变*

王长耀 赵英时 张圣凯

(中国科学院遥感应用研究所)

1987年5月9日收稿

摘 要

黄淮海平原上的河流、湖泊和海岸线,千百年来发生着巨大的变化。研究这些变化的规律,对该地区的水资源开发,国土规划和工农业生产有着重要意义。利用多时相的多种遥感资料,结合光学与计算机匹配和增强分析,可以比常规调查方法更快、更准确地识别出水域演变的“痕迹”,与历史记录资料进行对比,可以恢复古代水域的演变特征。对于水域短期内变化的定量监测,遥感技术更具有明显的优越性。通过多时期遥感资料分析,黄河三角洲自1855年以来,平均造陆率为23.7平方公里/年;白洋淀的水面从1961—1985年减少了426.6平方公里。通过遥感资料系统分析黄淮海平原水域的变化表明,本区河流的改道频率在人工控制下越来越小;湖泊的水面逐年减少;海岸线在河口地区继续向海淤进。在整个水域变化过程中,历史时期,黄河的演变影响着其它水域的变化;而近代以来,人类的活动对水域的演变起着越来越大的作用。如白洋淀近年的干淀就与工农业用水增加、大量围垦等人类的主要活动有关。

一、前 言

在我国东部的黄淮海平原上,拥有多种类型的水资源,其中有历史悠久的黄河、海河及淮河水系,为数众多的湖沼、洼淀,在其平原的东部有漫长的海岸线。这些水域从全新世以来发生着频繁和复杂的变迁,不仅深刻塑造着黄淮海的自然景观,而且对人类的生活和工农业生产也有着深刻地影响。尤其今天,系统地研究黄淮海水域的分布及变迁,对于该区的综合治理具有重要意义。然而,在过去的研究中,由于水域面积辽阔,变化迅速,完全依靠地面调查很难短期定位、定量确定水域的分布和变化规律。但是,利用遥感技术可以宏观地观察整个平原的水域面貌,并可准确地测量出它们的数量变化。

为了进行这方面的探索,我们利用不同时期的航天、航空遥感图像及地面调查资料,对该区河流、湖泊、洼淀和海岸带的历史演变(长周期)和近期的动态变化(短周期)进行了研究,以期遥感技术能为研究水域的变化趋势和改造利用提供一定的科学依据。

二、遥感分析方法

水域动态变化遥感研究方法的基本依据是利用水域变化在图像上呈现的“痕迹”特

* 参加本课题研究的单位有中国科学院遥感应用研究所,水利电力部黄河水利委员会、淮河水利委员会,中国科学院地理研究所,南京大学地理系等;图像处理由朱重光,陈志敏,尹世明等同志完成,在此一并致谢。

征,追踪它们的分布和演变规律。水域演变依其环境而有不同的特征。例如,河流的改道在地面上留下一条条高地或洼地;湖泊的演变留下一圈圈湖岸线;海岸线变迁留下一条条贝壳堤等。本次研究中利用遥感图像识别这些“痕迹”的方法有以下几种。

1. 多种遥感资料对比分析

水域演变遗留的“痕迹”是它们长期活动的产物,尽管已经废弃,但其本身的物质组成、水分条件等与周围环境仍然不尽相同。因而,在不同谱段的遥感图像上产生的色调差异也不同。

一般说来,地势低洼、水质条件较好的古河道“痕迹”和洼地,在黑白遥感图像上呈暗灰色,在彩色红外航空像片上或陆地卫星标准合成像片上为暗青色,在夜间拍摄的热红外图像上为暗黑色;而地势高亢的沙质古河道“痕迹”,在黑白图像上呈浅白色,在彩色红外航空像片或陆地卫星标准合成像片上呈黄白色,在夜间的热红外图像上为亮白色(表 1)。

表 1 古河道“痕迹”在几种遥感图像上的色调特征

Table 1 Characteristic tones presented by the trace of old channel on several remote sensing images

图 像 类 型	地貌特征	土壤水分含量	图像上的色调
彩色红外航空像片 陆地卫星 MSS,TM 标准合成像片	高 地	低	黄 色
	低洼地	高	暗 青
黑白全色航空像片	高 地	低	浅 白
	低洼地	高	暗 灰
夜间热红外扫描图像	高 地	低	亮 白
	低洼地	高	暗 黑

在本次研究中,正由于采用了多种遥感资料,为识别水域变化的“痕迹”提供了丰富的信息。

2. 多时相分析

水域变化遗留“痕迹”的识别,在于区分它与背景之间的色调差异。这种色调差异随一年中植被覆盖程度和水分条件变化而变化。分析表明,对于华北平原的古河道而言,可以选择夏、秋两季的卫星像片。这是因为,在壤质古河道上植物比临近地区茂盛;在沙质古河床高地上,临近地区植被的长势比古河道内好,因而,使得古河道与背景之间的色调差异增强,而容易辨认。

对天津南部地区不同季节卫星像片上古河道与背景之间的色调差异的定量分析同样表明,在初春,古河道内外植被覆盖都较低。因此,两者差异较小,难以区分;而在 9 月份,古河道内的居民点和菜地的近红外反射率远远低于临近地区处于生长旺季的水田和玉米地,这时的古河道就显而易见(图 1)。

但对洼地的识别而言,除了生长有芦苇等杂草的地区宜采用夏季卫星像片以外,一般可以利用秋末和初春的卫星像片。这时,洼地内外植被覆盖度低,因而土壤水分含量高的

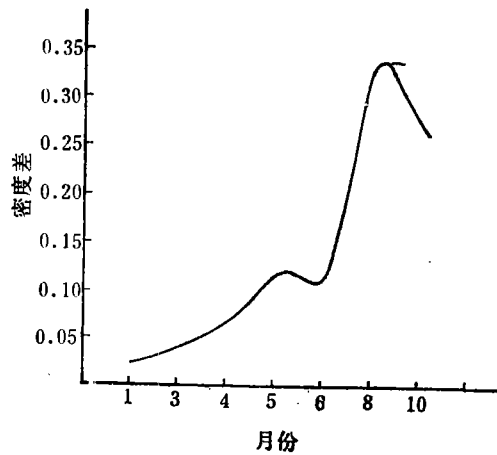


图 1 不同季相古河道内外密度差值曲线

Fig. 1 The curve of density difference between the inside and outside area of old channel in different seasons

洼地与临近地区的色调差异就相当明显,故易于识别。

至于海岸带变迁研究,通过对多时期卫星像片上海岸特有地貌形态、水化学特征及所形成的土壤植被的独特色调和纹理对比分析,结合地质古生物历史等资料,就可判读出古海岸带来。

为了确定研究水域演变最佳时段的图像,我们普遍采用了多时期遥感资料,尤其对一些重点区,如白洋淀,采用了 20 个时期的卫星像片,3 个时期的航空像片;黄河郑州段采用了 9 个时期的航空像片;黄河口采用了 14 个时期的卫星像片进行了研究。

3. 图像增强与匹配分析

陆地卫星检测系统所记录的动态范围,对古水域“痕迹”内外一些局部地区而言,图像亮度值范围只占整个动态范围的一小部分,因此两者反差较小。另外,由于大气散射作用或季相选得不适宜,使得两者之间反差更小,影响目视判读效果。为了突出古河道等水域“痕迹”内外的细微结构,扩大目标与背景的反差比,在研究中采用光学和计算机图像处理技术进行了增强处理^[1]。

从利用计算机图像处理系统对天津地区影像进行反差增强的效果看,未增强前,青甸洼与背景之间的亮度差异比较小,通过直方图均衡化改善了洼地与背景之间的亮度比例关系,使得洼淀进一步得到突出,达得了比较好的效果。

为了定量研究水域的近期动态变化,对于重点研究区采用了多时期遥感资料计算机或光学匹配分析^[2]。例如,对白洋淀地区,通过对航天飞机雷达图像 SIR-A (S_a)、陆地卫星 MSS 7 (M_7) 和 TM₄ (T_4) 进行匹配:

$$N_1 = \frac{S_a \cdot S_a}{S_a + M_7 + M_4} \quad N_2 = \frac{S_a \cdot M_7}{S_a + M_7 + M_4}$$

$$N_3 = \frac{S_a \cdot T_4}{S_a + M_7 + M_4}$$

的差异。

另外,我们还选择了白洋淀地区 1961 年 3 月、1971 年 5 月和 1979 年 5 月三期的航空像片,1975 年 5 月放大至 1:20 万的陆地卫星 MSS 图像和 1984 年 10 月的 TM 图像,以 1:5 万的地形图作为基础,网格大小为 250 × 250 米。利用 ZOOM 转绘仪对五个时期遥感资料按网格进行分类判读,并通过计算机系统进行统计分析,得到了该区五个时期内水面、耕地和居民点变化的定量数据,利用这些数据和气象、降水等参数,对白洋淀缩小的原因进行了模式分析。

三、水域变化遥感分析

通过遥感资料、历史资料和野外调查资料的复合分析,定位地确定出全区不同时期的古河道 155 条,其中,在黄河口地区,可分辨出的 1855 年以来的古河道“痕迹”就有 26 条;分辨出古湖泊、洼淀 245 个,以及从北到南的古海岸线 6—7 条。通过水域变化“痕迹”的分析,本区水域变化有如下特点。

1. 河流近期变迁幅度减小,河道趋于稳定

通过本次研究,从卫星影像上发现本区河流均有先向右、后向左、再向中间摆动的规律。黄河从春秋时期经天津附近入海,到 1194 年夺淮入海,横扫整个黄淮海平原,其摆动半径约为 600 公里,摆动面积为 25 万平方公里。但自 1855 年后,下游河道基本保持稳定,只在河口区往返摆动,其摆动半径只有 45 公里,摆动面积约 1500 平方公里。黄河的决口频率近期也迅速降低。据史书记载,从春秋战国时代到解放前,黄河决口 1500 多次,但解放后,一次大的决口也没有发生过^[1]。

海河水系自从 1963 年以来,基本上变成了水库式河道。淮河通过整治,河道也比较稳定。但近年来,黄淮海平原上一些大的河流和支流,年径流量在不断减少。根据对 1981 年海河流域 44 条河流水位资料的统计,其中 28 条河流在枯水季节发生断流。不过应当指出,黄河由于是“地上悬河”,在特殊自然条件下,决口的危险依然存在^[1]。

2. 湖泊、洼淀面积逐渐缩小

本区湖泊、洼淀演变的趋势是不断萎缩。近代以来,其消亡速度更加迅速。

本次研究表明,唐宋以前,本区拥有大型湖泊、洼淀的面积约为 12000 平方公里,现在仅剩湖泊、洼淀 37 个,面积仅存 5000 平方公里,总面积比历史上减少约 60%。通过对黄淮海平原 1:50 万卫星影像图按 1 × 1 公里格网进行数字分析表明,目前本区水域覆盖面积只占平原总面积的 5.2%。

当前湖泊、洼淀分布的特点为南北地区性差异显著。黄河以北的大型湖泊、洼淀发育历史悠久,现存 12 个,而且多已干涸或部分干涸,称得起湖泊的寥寥可数,其面积仅占湖泊洼淀总面积的 14%。华北平原的“明珠”——白洋淀已基本干涸。甚至 1972 年新修建的北大港水库和 1958 年修建的十三陵水库等也因缺水而失去效益。黄河以南集中了湖泊、洼淀 25 个,其面积占湖泊洼淀总面积的 86%,主要分布在东部和南部。它们形成的

1) 河北省水文总站,1981 年海河流域水文资料,第三卷,1983 年。

时间较短,多为湖泊或沼泽。近年来,湖水面积也有不断缩小的趋势。

3. 海岸线除河口部分向外淤进外,其它地区两千年来变动不大

本区的海岸线,除受海面变化影响外,还与河流堆积作用直接相关。因此,在河口地区海岸线向外扩展比较迅速。从本次利用卫星图像结合历史资料确定的海岸变迁图可知,1900 年以来,渤海湾西岸古黄河三角洲从泥沽向海推进了 25 公里。黄河三角洲在 1855—1965 年的 130 年间,共造陆约 3080 平方公里,平均造陆率 23.7 平方公里/年(图 2);苏北海岸线在 1194—1855 年黄河南迁期间,向海推进了 30—50 公里。

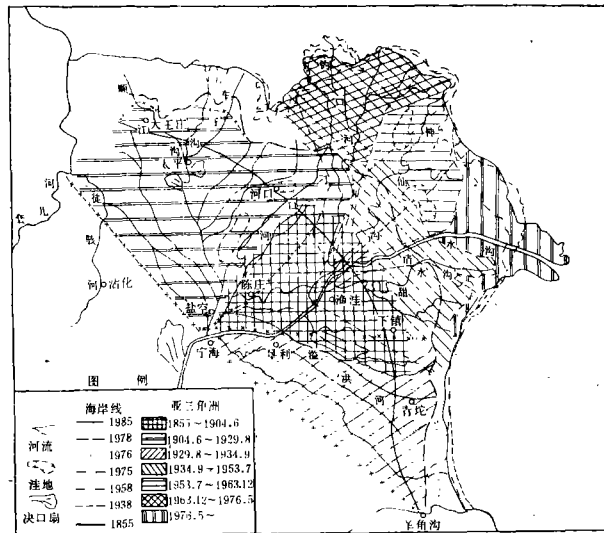


图 2 黄河三角洲动态图

Fig. 2 Yellow River delta change map

但总的来看,距今 2000 年来,本区海平面波动幅度和海岸线变动比较稳定。例如,在渤海湾的黑沿子、歧口一带,由于分别受滦河和黄河泥沙流影响较小,因此,第一、二条古海岸线与现代海岸线复合在一起;莱州湾地区,唐宋以来的古海岸线基本与现在海岸线相符合;而苏北海岸线,清代以来的古海岸线位置也与现代海岸线基本一致。上述现象表明,这些地区由于受河流淤积影响较小,除局部地段受沿岸流影响稍有蚀退外,尽管不同时期海面有轻微波动,但总的来讲,海岸线变化不大。

4. 在水域历史演变中,黄河的变迁起着主导作用

历史时期,黄河在黄淮海平原上有过幅度很大的变迁。洪水波及范围,北到海河,南达淮河。黄河的变迁对海河和淮河水系的发育有着重大影响。当黄河经海河入海时,海河形不成自己的水系。黄河夺淮以后,海河水系真正形成;而淮河流域由于黄河把大量泥沙带到淮北平原,不少原始河道被掩埋地下,使平原上的羽状支流发生了巨大变迁,一些东西向河流,被迫流向东南。

黄河的变迁同样也影响着海岸线的变迁,在 1194—1855 年,黄河南迁苏北入黄海,每年带来十几亿吨的泥沙,营造了大规模的三角洲,使苏北海岸线迅速向海推进。黄河从

1855年由利津入海以来,每年平均把16亿吨泥沙输入海中^[4],130年间使黄河三角洲向海淤进了近百公里。

与此同时,随着黄河的南北迁徙,它既促使一些湖泊的形成,也淤填了一些湖泊,直接影响着它们的演变。例如,公元944年,由于黄河决口,形成了著名的“八百里梁山泊”,后来黄河长期入淮,梁山泊便逐渐萎缩而消失。在南四湖幅卫星像片的上部可以看到暗青色古梁山泊的痕迹。

总之,黄河的变迁营造了黄淮海平原,对历史时期黄河下游冲积平原的地理地貌的变迁产生过巨大影响。

5. 水域近期变化中人为因素起着主导作用

就本区河流变化而言,易淤、易决、易徙的黄河,解放三十多年来之所以防止了决口和洪水泛滥,主要由于采用了人工加固堤防和多种治理措施。海河水系由于开挖和疏浚了多条支流和渠道,使一些支流分别入海,从而彻底改变了扇状水系的面貌。淮河下游,解放后通过整治入江水道等工程,也改变了淮河昔日经常泛滥成灾的特性。而黄淮海平原上的大量湖泊、洼淀的消亡,除近年来雨量偏少以外,其主要原因与解放以来的大规模平洼造田直接有关。

通过对白洋淀1961—1984年水面变化与影响因子的矩阵相关分析(表2)可知,本区的耕地、居民点的扩大与水面面积呈负相关,而降雨量、入淀水量的多少与水面面积呈正相关;其中入淀水量与水面面积相关系数 $R = 0.97$ 。这充分说明,位于本区上游可控制海河流域山区90%以上面积的上千座水库,越是干旱年份,截流越厉害,致使下游来水量急剧减少。除此而外,城市工业用水的增加和农田灌溉面积的扩大,也是导致河流下游枯水季节断流、洼淀干涸的重要因素。

表 2 相关矩阵分析及结果

Table 2 Result of correlative matrix analysis

Y: 水面(亩)	X_1 : 耕地(亩)	X_2 : 居民地(亩)	X_3 : 入淀水量(亿立方米)	X_4 : 年均降雨量(毫米)
656156.0	541969.0	29813.0	7.6962	684.20
109969.0	1099313.0	42844.0	3.1449	558.20
82740.0	1163880.0	53760.0	0.9232	357.00
105563.0	1146656.0	61313.0	1.7488	779.80
10230.0	1205250.0	64380.0	0.9232	330.30
相关系数 (R)	$R \times 1$	$R \times 2$	$R \times 3$	$R \times 4$
	-0.99748	-0.85912	0.96878	0.49662

四、结 束 语

通过本次研究我们认为,遥感资料对于宏观地研究水域的历史演变,是一种多快好省的手段。但在确定变化的年代时,必须与历史资料、野外调查以及地质资料等相结合。在近期水域变化监测中,遥感技术发挥着越来越重要的作用。在本研究中,由于不同年份同

一季节所取得的遥感数据只有五次,因此,只能作一些趋势分析。随着我国遥感卫星地面站的建成,通过多时期遥感资料的匹配分析以及信息系统的建立,将有助于定量监测水域的动态变化,并对它的演变趋势进行预测。

参 考 文 献

- [1] Thomas D. Frank, Assessing change in the surface character of a semiarid environment with Landsat residual image, *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, Vol. 50, No. 4, 1984.
- [2] Craig H. Tom, An automated use mapping comparison of the Bayesian maximum likelihood and linear discriminant analysis algorithms, *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, Vol. 50, No. 2, 1984.
- [3] 中国自然地理——历史地理分册, 科学出版社, 1978 年。
- [4] 钱宁、周文浩,黄河下游河床演变,科学出版社, 1965 年。

STUDY ON WATER AREA CHANGES IN THE NORTH CHINA PLAIN USING REMOTE SENSING TECHNOLOGY

Wang Changyao Zhao Yingshi Zhang Shengkai

(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Abstract

Tremendous changes have taken place for rivers, lakes and coast line in the North China plain over the centuries. Study on changes of these water area have great significance for water resource exploitation, land use planning, industry and agriculture.

We can recognize the trace of water area change more quickly and correctly than conventional method by using multi-times and multi-types remote sensing data making process of image match and enhancement with computer and optical equipments. Mean while, the features of water area changes in ancient time can be recovered through comparing Landsat data and air-photo with the history materials.

Remote sensing technique is very efficient for monitoring quantitative changes of water area in shortterm. The study in this paper shows that since 1855, a piece of land has been formed in Yellow River delta at the rate of 23.7 km²/year, and the water area of Baiyangdian lake went down by about 426 km² from 1960 to 1985.

Through systematic analysis on water area changes in this region with remote sensing data, the results show that the frequency of these river changes have become less and less under the control of manpower, the area of lakes has cut down year by year, while the coast line has continually moved towards the sea in the river mouth. The changes of almost the whole water area have been affected by Yellow River activity in ancient time, but mankind have been playing an increasingly important role on water area changes in modern time. For instance, the drying up of Baiyangdian lake is mainly caused by mankind activities, such as increase of water supply for industry and agriculture, a great quantity of reclamation etc.