

我国海岸潟湖卫星遥感分类方法研究^{*}

孙伟富, 张 杰, 马 毅, 夏东兴

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:参照 Landsat-5 TM 和 HJ-1 CCD 遥感影像, 依据实地踏勘资料及解译经验, 分析各种海岸潟湖地貌学成因和发育演变阶段, 提出基于潟湖地貌学成因的遥感分类方法。并将我国海岸潟湖划分为滨外坝型、沙坝型、沙嘴型、湾顶坝型、连岛坝型和河口型共 6 种地貌类型。建立基于发育演变阶段的潟湖遥感分类标准, 将海岸潟湖分为青壮年期、老年期和死亡期共 3 个发育演变过程; 结合潟湖在影像中的特征, 以近红外、红、绿波段组合后的假彩色影像为例, 从色彩、纹理、地物邻接关系等方面建立不同潟湖类型的遥感解译标志; 根据所建立的遥感解译标志, 对山东省 53 个海岸潟湖进行遥感分类验证, 结果吻合。

关键词:海岸潟湖; 潟湖遥感分类; 潟湖演变过程; 解译标志; Landsat-5 TM 图像; HJ-1 图像

中图分类号: TP753; P737.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2014)03-0374-13

潟湖是海岸带上由滨外坝、沙坝或沙嘴与海洋隔开, 或围拦河口、或包络海湾的封闭、半封闭的浅海水域, 是一种特殊类型的海岸带湿地, 它和大海之间常有一条或多条汉道相连^[1]。潟湖地处海陆相交的地带, 常有陆地河流注入, 其所处的特殊位置决定其受河流和海洋的共同影响, 在水文特征和沉积作用上具有其独特性。因为潟湖是海岸带湿地类型之一, 故它具有湿地的基本生态价值功能, 还有某些特有的价值^[2], 例如, 一些潟湖可以作为避风港口、优良养殖场所和煤炭、铁、盐等的重要矿区。

国内外学者对潟湖的研究主要集中在沉积学、动力过程、地质地貌学和海面上升领域。从沉积学的角度分析了潟湖成因^[3-7]; 从动力学方面分析沿岸沙坝、潮流三角洲在风、浪、潮汐作用下的发展与演变^[8-12]; 从地貌学方面入手分析沙坝—潟湖的分类体系、空间位置和物质组成^[13-15]; 从动力学角度提出了潟湖纳潮盆地纳潮量与口门过水截面积之间的平衡关系^[16-19]。在潟湖遥感监测与变迁研究方面也有一些研究进展^[20-28]。

对于潟湖的分类, 不同的学者有不同观点。目前, 按照盐度将潟湖分为咸水潟湖和淡水潟湖; 根据潟湖所处气候带划分为温带湿润区、干旱区、热带湿润区潟湖^[29]; 根据潟湖与海洋的水资源交换程度将潟湖分为限制型、阻塞型和宣泄型^[30]; 根据地貌形态和沉积特征, 划分为砂质海岸、泥质海岸和河口湾潟湖, 并进行细分^[6]。山东半岛的潟湖, 庄振业划分为海退型、海侵型和稳定型, 李从先和王平增加了局部海侵型, 将类型扩展到了 4 类^[31]; 庄振业^[32]根据潟湖的发育阶段, 将潟湖分为埋藏潟湖、封闭潟湖、半封闭潟湖和海湾潟湖。

以上几种分类方法的研究分析最大的阻碍是耗时, 而遥感技术具有大面积同步观测、经济性和时效性的优势, 利用遥感图像的色形位等信息进行潟湖分类和解译可以有效降低研究成本, 克服现场踏勘任务重、周期长的弱势。我们按照沙体(沙嘴、沙坝、滨外坝等)的地貌学特征, 结合遥感图像的识别解译能力, 拟对我国范围内海岸潟湖进行地貌学成因分类和发育演变阶段遥感分类, 建立不同潟湖类型的遥感解译标志, 并根据所建立的遥感解译标志, 对山东省的海岸潟湖进行遥感分类。此项工作的开展, 有助于研究我国海岸潟湖的地貌学成因, 确切把握我国海岸潟湖所处的发育情况并切实做好保护措施, 对于更有针对性地提出潟湖生态保护和修复的策略、合理开发和利用潟湖自然资源具有重要的意义。

^{*} 收稿日期: 2013-11-11

资助项目: 中欧国际合作龙计划三期项目——全球变化背景下的中国海岸带及临近海域卫星遥感监测(ID10470)

作者简介: 孙伟富(1983-), 男, 山东招远人, 博士, 助理研究员, 主要从事海岛海岸带遥感与应用方面研究。E-mail: sunweifufio@fio.org.cn

(高 峻 编辑)

1 研究区与数据处理

研究表明潟湖集中发育在辽宁、河北、山东、广东和广西共 5 个省(自治区),研究区海岸线绵长而蜿蜒曲折,沿岸广泛发育潟湖。开敞或半开敞的海湾和基岩岬角上分布较集中,但沙体发育较小,潟湖个体普遍较小;而在平直的海岸上,多易发育长沙体,潟湖水体较浅;海岸的连岛沙堤或拦湾沙坝形成的时间较早,海平面趋于稳定后,经波浪搬运分选沿岸泥沙形成。目前,大部分砂质堆积体相对稳定或稍受侵蚀,河流和波浪带来的泥沙在潟湖内部堆积,纳潮盆地减小,纳潮量也随之缩小,同时,潟湖围垦、盐田和养殖区发展也导致潟湖纳潮量缩小。

使用覆盖研究区的 23 景遥感数据源进行潟湖分类和解译标志建立,所用数据包括 2010 年左右的 12 景环境一号卫星(HJ-1)图像和 11 景美国陆地卫星(Landsat-5 TM)图像,影像数据见表 1。

表 1 2010 年覆盖研究区域的遥感影像数据源
Table 1 Remote sensing images of the study area in 2010

序 号	卫 星	传感器	空间分辨率/m	时 相	轨道号
1	HJ-1A	CCD2	30	2011-05-12	449-72
2	HJ-1A	CCD2	30	2011-04-19	454-68
3	HJ-1A	CCD2	30	2011-04-13	453-68
4	Landsat-5	TM	30	2010-09-13	119-34
5	Landsat-5	TM	30	2010-09-13	119-35
6	Landsat-5	TM	30	2009-07-15	120-34
7	Landsat-5	TM	30	2010-06-16	120-34
8	Landsat-5	TM	30	2011-06-03	120-34
9	Landsat-5	TM	30	2009-07-15	120-35
10	Landsat-5	TM	30	2009-07-15	120-36
11	Landsat-5	TM	30	2010-09-11	121-34
12	Landsat-5	TM	30	2010-06-14	122-33
13	Landsat-5	TM	30	2010-06-14	122-34
14	HJ-1A	CCD2	30	2010-10-05	452-68
15	HJ-1B	CCD1	30	2010-09-22	453-64
16	HJ-1B	CCD1	30	2010-10-04	455-69
17	HJ-1B	CCD2	30	2011-02-05	450-88
18	HJ-1A	CCD1	30	2010-12-31	455-88
19	HJ-1A	CCD1	30	2010-12-27	455-92
20	HJ-1A	CCD2	30	2010-12-27	452-92
21	HJ-1A	CCD2	30	2010-12-27	452-96
22	Landsat	TM	30	2009-11-25	123-45
23	HJ-1B	CCD2	30	2010-12-02	455-90

环境一号卫星(HJ-1),又称环境与灾害监测预报小卫星星座,是中国第一个专门用于环境与灾害监测预报的小卫星星座,环境一号 A、B 星(HJ-1A、HJ-1B)于 2008-09-06 在太原成功发射,HJ-1A 星搭载了 CCD 相机和超光谱成像仪(HSI),HJ-1B 星搭载了 CCD 相机和红外相机(IRS)。在 HJ-1A 卫星和 HJ-1B 卫星上搭载的 2 台 CCD 相机设计的原理完全相同,2 卫星并行观测,轨道高约 650 km,联合幅宽为 700 km,卫星重访周期 4 d,空间分辨率为 30 m,4 个波段的推扫成像,各波段特征见表 2。

表 2 HJ-1 CCD 数据波段特征
Table 2 Specifications of HJ-1 CCD image

波段号	波段类型	波谱范围/ μm	空间分辨率/m
1	蓝绿	0.43~0.52	30
2	绿	0.52~0.60	30
3	红	0.63~0.69	30
4	近红外	0.76~0.90	30

陆地资源卫星(Landsat),是美国的 NASA 陆地卫星计划的系列卫星,第一颗卫星 Landsat-1 于 1972 年发射成功,至目前为止,已经连续发射了 7 颗卫星。Landsat-5 卫星于 1984-03-01 发射升空,搭载专题制图仪,轨道为近极地圆形的太阳同步轨道,轨道高约 705 km,幅宽 185 km,重复观测周期为 16 d。表 3 是 Landsat-5 TM 数据特征介绍。

表 3 Landsat-5 TM 数据波段特征
Table 3 Specifications of Landsat-5 TM image

波段号	波段类型	波谱范围/ μm	空间分辨率/m
1	蓝绿	0.45~0.52	30
2	绿	0.52~0.60	30
3	红	0.63~0.69	30
4	近红外	0.76~0.90	30
5	短波红外	1.55~1.75	30
6	长波红外	10.40~12.50	120
7	短波红外	2.08~2.35	30

采用的原始遥感影像数据中同名地物点与现场地面点的实际地理位置往往不是准确对应,会出现一定程度的偏移、倾斜现象,为了保证影像与现场地物的吻合,需要在相同的空间参考下对遥感影像进行校正统一。我们利用现场踏勘获取的遥感影像地面控制点,采用二次多项式校正模型,结合数字高程模型数据对原始的 HJ-1、TM 遥感影像进行正射校正处理,校正过程中,单景影像利用 15 个以上的同名地物点,误差控制在 0.5 个像元以内。

然后利用新建的潟湖遥感分类及解译标志,对山东省的海岸潟湖进行遥感分类验证。

2 潟湖分类方法

依据沙体(沙嘴、沙坝、滨外坝等)的地貌学特征,结合 TM 和 HJ CCD 遥感图像的识别解译能力,按照潟湖的地貌学成因将潟湖划分为滨外坝型、沙坝型、沙嘴型、湾顶坝型、连岛坝型和河口型共 6 种地貌类型(表 4),并按照潟湖的发育演变阶段提出青壮年期、老年期和死亡期这 3 个潟湖的生消演变阶段,分类标准见表 5。

表 4 我国海岸潟湖地貌学成因分类方法
Table 4 Geomorphology-cause-based classification method of China's coastal lagoon

序 号	类 型	标 志
1	沙坝型	沙体与陆地封闭海水形成,潟湖不与海水发生水体交流
2	滨外坝型	一个或多个滨外坝围拦海水形成,有多个口门与海洋相通进行水体交流,沙体形似海岛
3	沙嘴型	2 条沙嘴均是一端与陆地相接,一端与陆地相离,两条沙嘴间有一个口门进行水体交流
4	湾顶坝型	沙坝型的一个特例,沙坝形成在波能较弱的海湾顶部
5	连岛坝型	距陆不远的海岛与陆地之间形成沙坝,将陆地与海岛相连,2 条沙坝中间围拦海水形成
6	河口型	形成的区域特殊,一般形成在河流动力占主要作用的河口处,具有季节性变化规律

表 5 我国海岸潟湖演变过程分类标准

Table 5 Classification standard for the evolution phase of China's coastal lagoon

序 号	类 型	标 志
1	青壮年期	潟湖淤积速度慢,纳潮量有保证,可以维持冲淤相对平衡
2	老年期	潟湖淤积较快,或人为原因圈养导致仅汉道中可以进行纳潮
3	死亡期	潟湖不再纳潮,若无人因为因素干预修复,将在不久后消失

3 潟湖遥感解译标志

基于数据处理后的遥感图像,结合外业踏勘获取的现场资料和地学知识,以近红外、红、绿波段组合假彩色影像,从颜色、纹理特征和不同地物的空间邻接关系等方面建立上述 2 个分类体系中不同潟湖类型的遥感解译标志。

3.1 地貌学成因分类的遥感解译标志

1) 沙坝型

沙坝型潟湖由泥沙横向运动形成,沙坝大多是冰后期海侵时陆架泥沙随海平面上升在波浪作用下向岸迁移堆积而成。在遥感影像上,沙坝呈条带状平行海岸线分布,规模较长,最重要的特征是沙坝与潟湖之间是封闭的,潟湖不与海水发生交流。该类型的潟湖围拦沙坝比较平直,纹理平滑,沙坝向海一侧的海岸线一般平直光滑,呈亮白色,显微弧形;沙体向陆一侧,因冲越扇的叠置而形成不规则的锯齿状^[33],潟湖内常有养殖区出现。此类潟湖如辽宁省的姜女坟潟湖和山东省的万米海滩潟湖(图 1)。

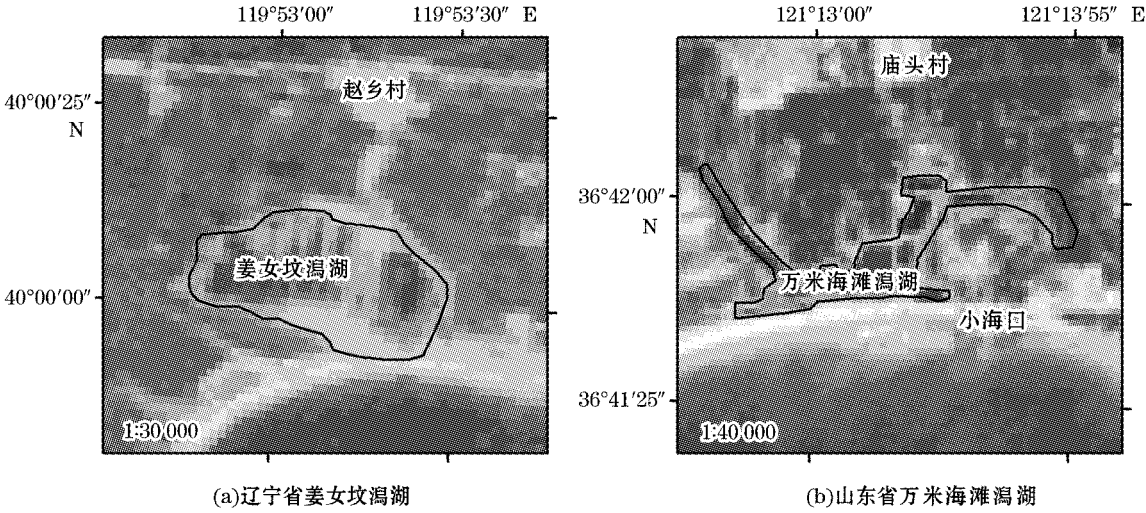


图 1 沙坝型潟湖

Fig. 1 Barrier-type lagoons

2) 滨外坝型

在波浪作用下,水下沙坝逐渐增高并向岸移动,逐渐出露水面形成长条状的堆积沙体,滨外坝型潟湖由一个或多个这样的滨外坝堆积沙体围拦海水组成,遥感影像显示,沙体之间不连续,有多个口门与海洋相通,且沙体两端与陆地相离,形状类似海岛。该类型的潟湖外围沙体的纹理一般比较平滑,沙体弧度一般比沙坝型要大,呈亮白色。我国堡岛型潟湖的数量较国外少,此类潟湖如辽宁省的周家屯潟湖和河北省的滦河口诸潟湖(图 2)。

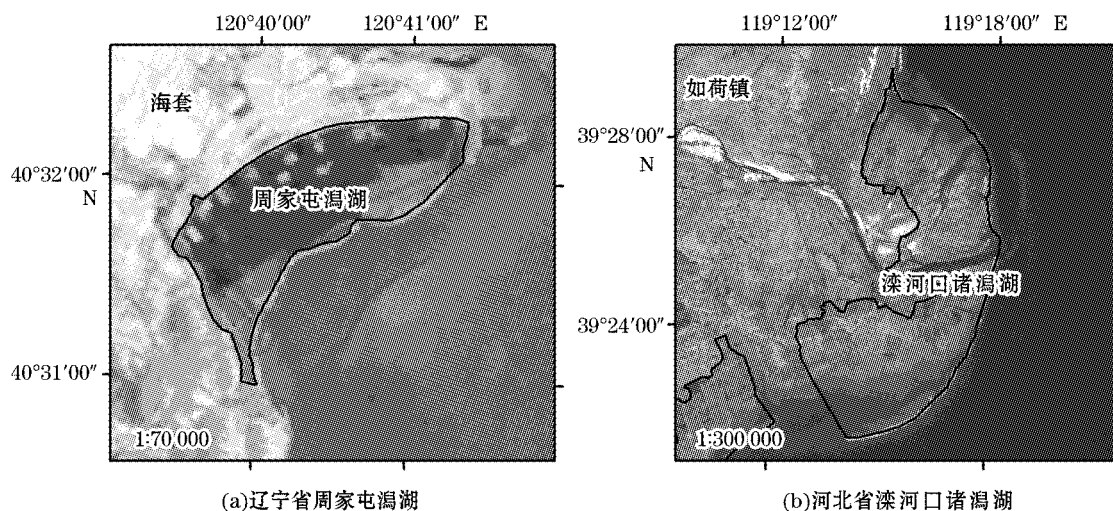


图 2 滨外坝型潟湖

Fig. 2 Offshore-barrier-type lagoons

3) 沙嘴型

沙嘴一般在陆地突出的部位才能形成,当泥沙沿岸输送至海岬(海角)时会绕过海岬(海角)继续传播,这时,波浪的能量会随着逐渐降低,泥沙即会在附近地带堆积并形成沙嘴^[34]。在遥感影像上,潟湖沙嘴呈白亮长条状,一端与岸相接,一端离岸向海延伸或离岸并与海岸平行,沙嘴头端部位常向陆地方向弯曲,这是因为随着海水深度的加深,沙嘴供沙不足而向深海堆积较难,向海的增长速度越来越慢,相比而言向岸的部分堆积却相对较快,这样便迫使沙嘴向陆地回拢形成一定的弧度,潟湖内部常分布养殖区。沙嘴型潟湖在我国分布较多,例如辽宁省的烟台河口潟湖、河北省的七里海潟湖、山东省的朝阳港潟湖、广东省的水东港潟湖和广西的山角潟湖等(图 3)。

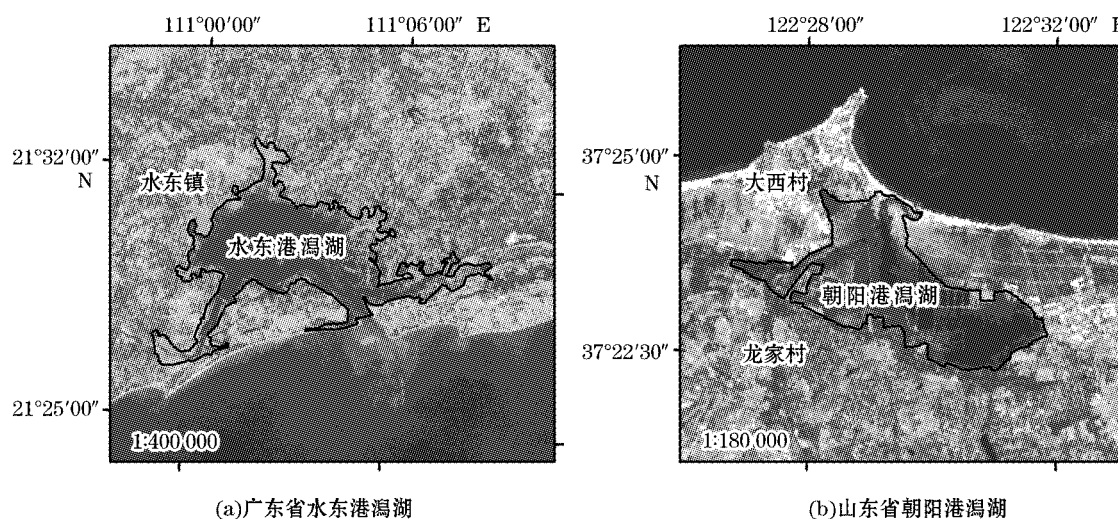


图 3 沙嘴型潟湖

Fig. 3 Sand-tsu-type lagoons

4) 湾顶坝型

湾顶坝型是由于波浪进入海湾后,能量减弱,在波能降为零处形成的堆积体^[34],遥感影像显示,此类潟湖处在或大或小的海湾处,湾顶沙坝的光谱反应与沙坝型潟湖相同。湾顶坝型潟湖例如广东省白沙湾潟湖

和吉兆湾湾顶潟湖等(图 4)。

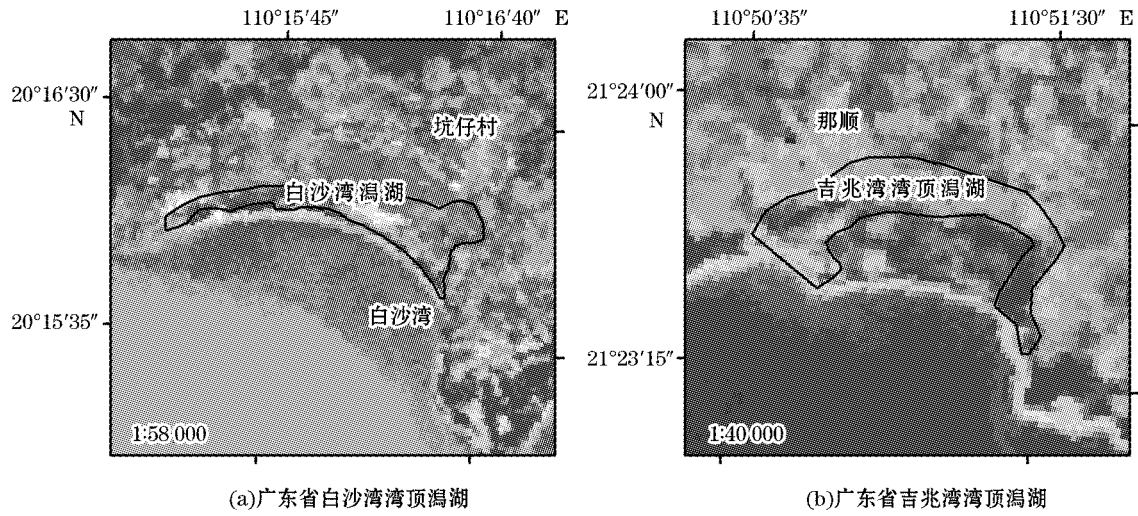


图 4 湾顶坝型潟湖

Fig. 4 Bay-top-barrier-type lagoons

5) 连岛坝型

当陆地外有岛屿,且与陆地相距不远,波浪遇到岛屿后会发生折射或者绕射,泥沙在岛屿后面的波影区堆积,随着时间的推移便会堆积至岸边并与陆地相连,而原先的岛屿也转变成陆连岛。遥感影像清晰显示与岛相连的沙体,沙体包围中间的水域便形成此类潟湖,沙体的光谱遥感表现特征为纹理平滑,呈亮白色。此类潟湖例如辽宁省的小平岛潟湖、山东省的镇鄒岛潟湖等(图 5)。

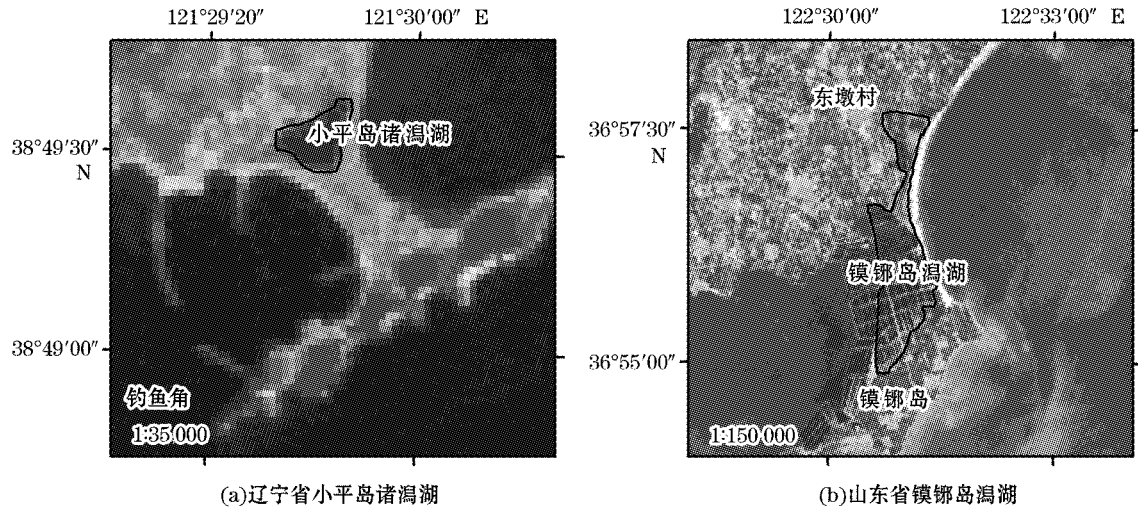


图 5 连岛坝型潟湖

Fig. 5 Tombolo-type lagoons

6) 河口型

河口型潟湖一般发育在季节性河口处,在旱季,河口受波浪影响,泥沙在河口处堆积,河口被沙坝封闭而形成潟湖;在洪季,河流的作用影响要大于海洋波浪的影响,沙坝会被冲开,此类潟湖有季节性变化规律,在遥感影像上可从河流入海口处寻找,沙坝封闭时的特征与沙坝型潟湖特征相同,沙坝冲开时的特征与沙嘴型潟湖特征相同,潟湖内部一般无养殖区。河口型潟湖如山东省界河口潟湖和黄水河潟湖等(图 6)。

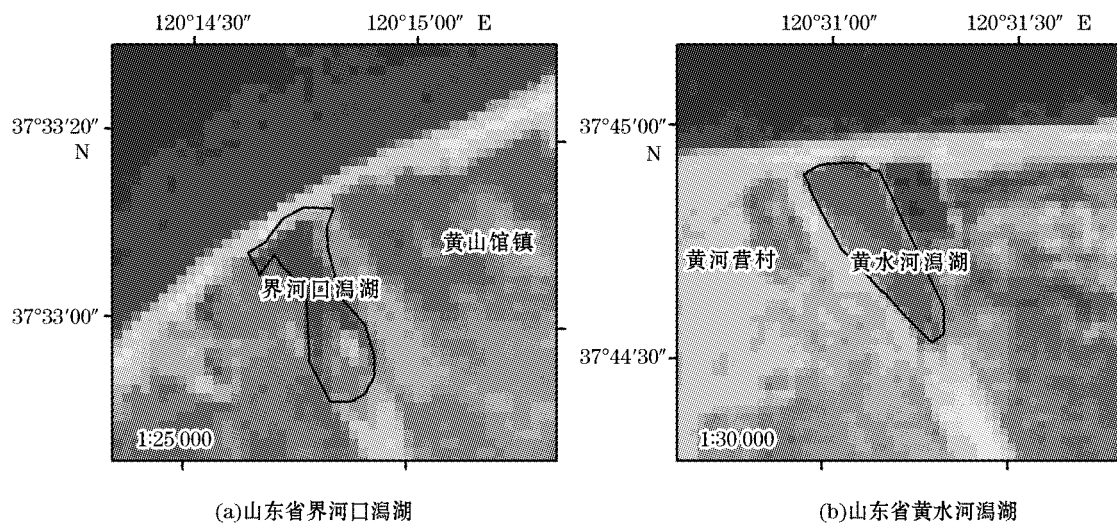


图6 河口型潟湖

Fig. 6 Estuary-type lagoons

3.2 发育演变阶段分类的遥感解译标志

分析遥感影像资料划分潟湖的发育演变阶段,最重要的依据是纳潮量和潮汐汊道。据此,将潟湖划分为青壮年期、老年期和死亡期。

1) 青壮年期

青壮年期的潟湖主要发育在中等潮差的海岸,此处流入潟湖河流一般较小,入湖泥沙量少,潟湖淤积速度较慢,纳潮量有保证。遥感影像显示潟湖与海洋自由交换的水体面积较大,可自由纳潮面积大于潟湖面积的50%,该类潟湖的盐度高,海水比重一般大于1.015 2,例如山东荣成的月湖和广东的沙尾潟湖(图7)。广东白沙口潟湖和万平口潟湖在20世纪90年代时因淤积和养殖区建设而处于老年期,目前经近25 a多的人工治理与维护,进入青壮年期(图8)。这表明人类活动的干预能在短时间内改变潟湖的发育演变阶段,合理的人工治理是潟湖生态环境修复的有效手段。

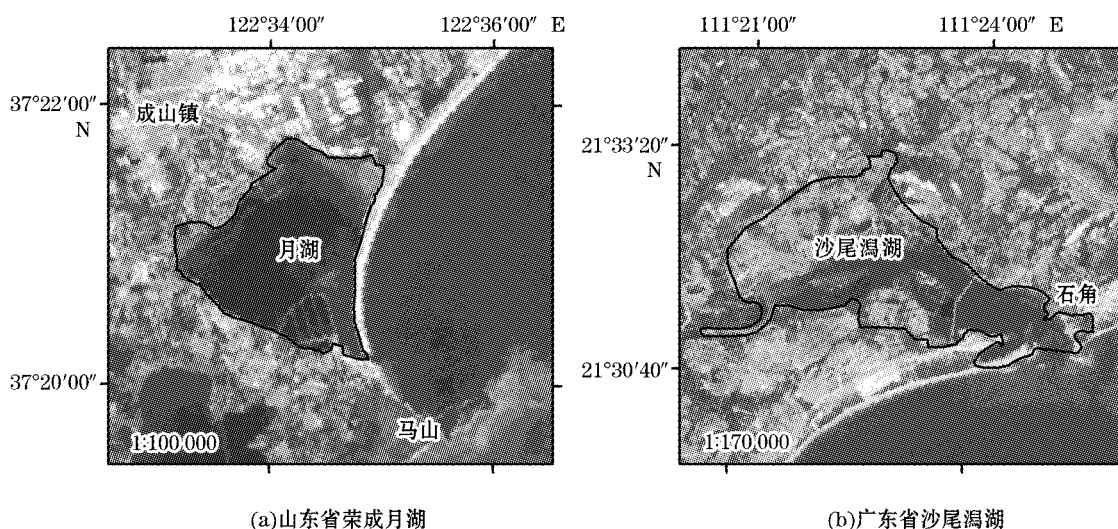


图7 处于青壮年期的潟湖

Fig. 7 Lagoons in young phase

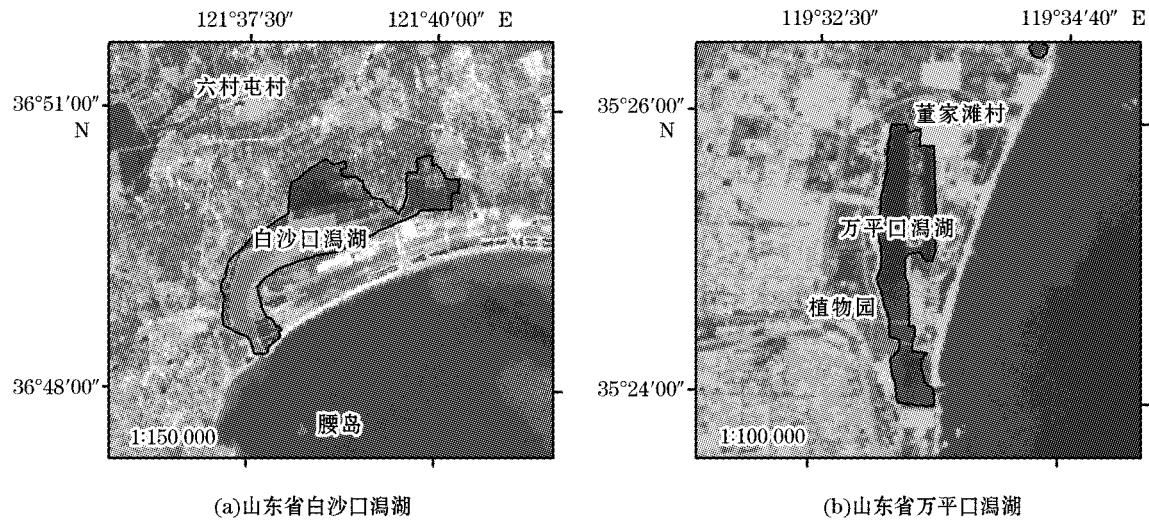


图 8 人为干预后处于青壮年期的潟湖
Fig. 8 Lagoons in young phase under human being intervention

2) 老年期

此类潟湖的入湖河流一般携沙量多,纳潮盆地淤积速度快,或者纳潮盆地虽然未减少,但是被养殖区占据,我国海岸潟湖多数如此,约占海岸潟湖总数的 65% 以上。在遥感影像上可以看到潟湖。可自由纳潮面积较小,一般小于潟湖面积的 50%,部分潟湖与海洋进行海水自由交换的机会消失,处在这个时期的潟湖只有潮汐汉道中有水,其他为滩或浅滩(光谱上很清晰),潟湖水盐度低,海水比重一般小于 1.0115,例如广东羊角畔潟湖和涛雒潟湖(图 9)。

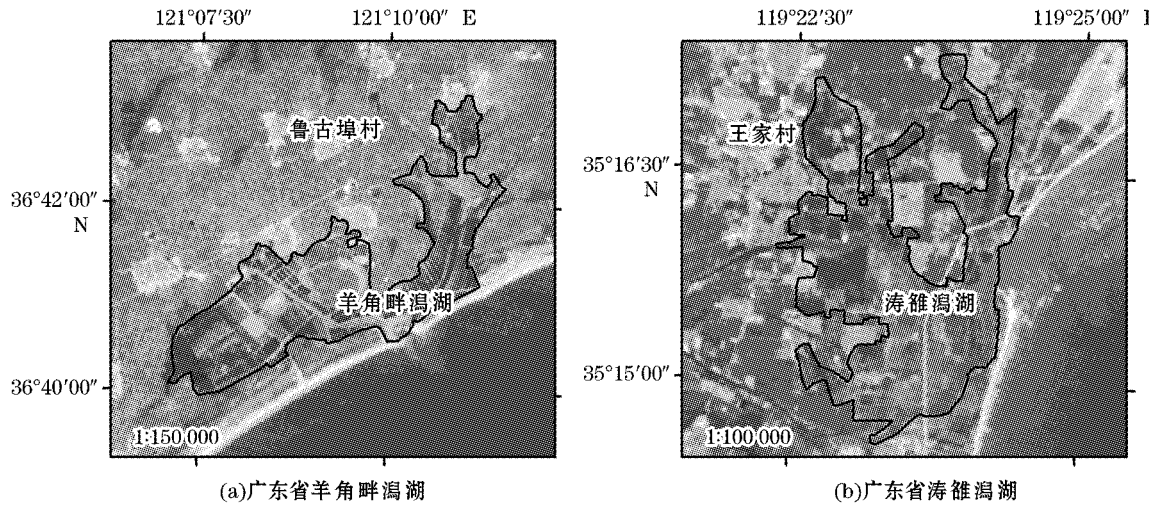


图 9 处于老年期的潟湖
Fig. 9 Lagoons in old phase

3) 死亡期

该时期的潟湖是最后的发育阶段,在遥感影像上,潟湖与海已完全丧失水交换。口门堵塞,汉道完全淤塞消失,潟湖变成滨海沼泽,或潟湖内纳潮盆地完全被养殖、盐田等建设物侵占,汉道消失,沙坝被挖,已经不具备潟湖特征。遥感影像解译特征明显,例如辽宁省华铜潟湖和广东省红海湾湾顶潟湖(图 10)。

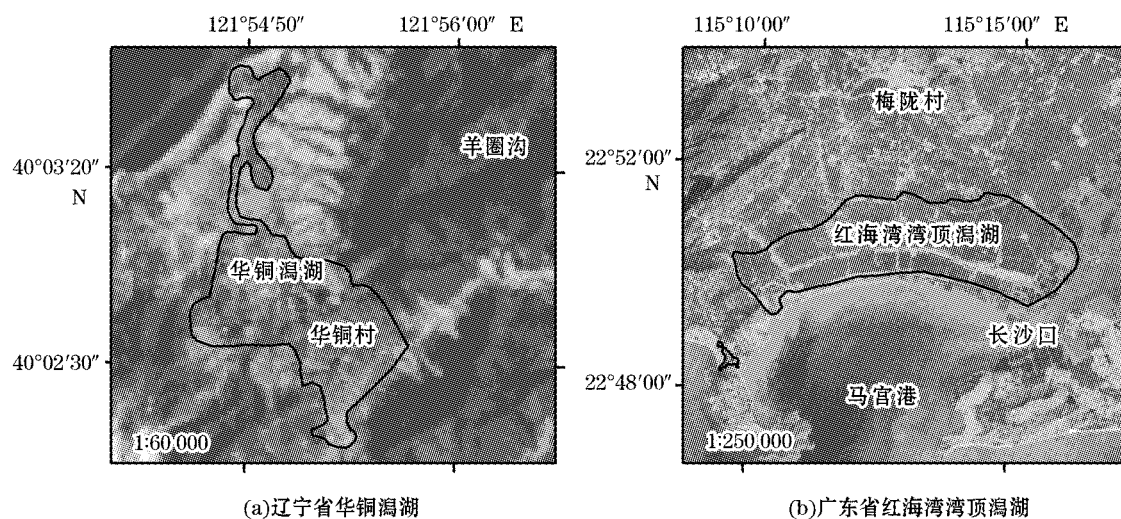


图 10 处于死亡期的潟湖
Fig. 10 Lagoons in death phase

4 分类解译应用

根据覆盖山东省的 7 景 Landsat-s TM 数据,截止 2010 年山东省现存海岸潟湖 53 个(图 11),对应实地踏勘资料的序号和名称见表 6。

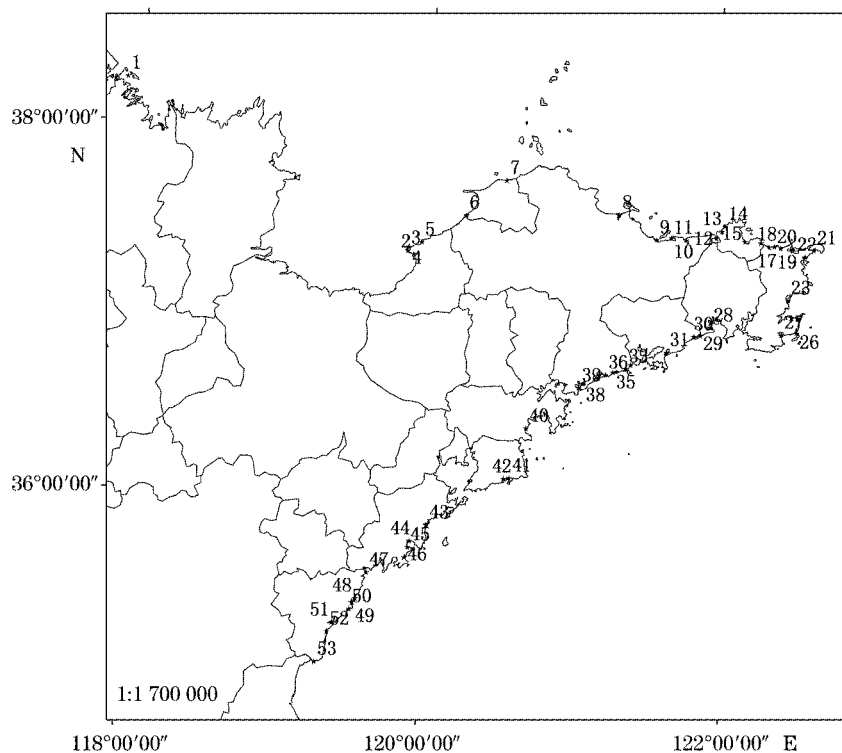


图 11 山东省海岸潟湖分布图
Fig. 11 Lagoons distribution of Shandong Province

表 6 山东省海岸潟湖名称
Table 6 Shandong coastal lagoons

序 号	名 称	序 号	名 称	序 号	名 称
1	埕口潟湖	19	小海潟湖	37	羊角畔潟湖
2	黑港口潟湖	20	朝阳港潟湖	38	潮里潟湖
3	太平湾潟湖	21	荣成湾链状潟湖	39	马河港潟湖
4	刁龙嘴潟湖	22	月湖	40	水泊浆潟湖
5	三山岛—西由潟湖	23	斜口流潟湖	41	南窑潟湖
6	界河口潟湖	24	龙门港潟湖	42	沙子口潟湖
7	黄水河潟湖	25	林家流潟湖	43	大河口潟湖
8	大沽夹河潟湖	26	镆铳岛潟湖	44	古镇口湾潟湖
9	西谭家泊潟湖	27	凤凰港潟湖	45	崔家路潟湖
10	蛤堆后潟湖	28	东西里岛潟湖	46	利根湾潟湖
11	金山港	29	浪暖口潟湖	47	两城河潟湖
12	双岛港	30	洋村口潟湖	48	刘家楼潟湖
13	黄埠港潟湖	31	白沙口潟湖	49	万平口潟湖
14	桃园潟湖*	32	小滩潟湖	50	石臼所潟湖
15	九龙河口潟湖*	33	辛家港潟湖	51	傅疃河潟湖
16	五猪河潟湖	34	寨前潟湖	52	涛雒潟湖
17	逍遥港潟湖	35	姜家石岚潟湖*	53	老虎嘴潟湖
18	黄石哨潟湖	36	万米海滩潟湖		

注: * 为未现场踏勘调查

2000—2010 年,通过现场踏勘调查了除桃园潟湖、九龙河口潟湖和姜家石岚潟湖外的 50 个潟湖,未现场调查的 3 个潟湖在遥感影像上能够较清晰的反应,在大比例尺地形图上有记载,现场验证工作待下一步开展。现场调查的 50 个潟湖中,有 48 个潟湖的位置与前人的研究成果重合^[2,28],另外 2 个潟湖(埕口潟湖和东西里岛潟湖)沙体形成符合沙坝—潟湖体系,沙体包围水域被养殖区完全覆盖,口门堵塞,与海水交换功能丧失,但能反应海岸潟湖的演变特征,我们将其划归为死亡期潟湖范畴。

参照我们的潟湖遥感分类方法和解译特征,对这 53 个海岸潟湖进行分类统计。按照地貌学成因分类体系分类,山东省有滨外坝潟湖 3 个,河口型潟湖 5 个,连岛坝型潟湖 1 个,沙坝型潟湖 3 个,沙嘴型潟湖 39 个,湾顶坝型潟湖 2 个。这表明,山东省海岸潟湖以沙嘴型最为发育;按照发育演变阶段分类体系分类的结果表明,山东省有青壮年期潟湖 11 个,老年期潟湖 38 个,死亡期潟湖 4 个。由此判定,山东省大部分潟湖处在老年期,亟待整治维护,以确保这一海岸带特有的地貌类型长久存在。

根据现场调查结果,滨外坝潟湖包括蛤堆后潟湖、老虎嘴潟湖和埕口潟湖共 3 个;河口型潟湖包括界河口潟湖、黄水河潟湖、大沽夹河潟湖、九龙河口潟湖和五猪河潟湖共 5 个;连岛坝型潟湖为威海市的镆铳岛潟湖;沙坝型潟湖包括太平湾潟湖、荣成湾链状潟湖和万米海滩潟湖共 3 处;沙嘴型潟湖包括斜口流潟湖、林家流潟湖、龙门港潟湖和凤凰港潟湖共 39 个;湾顶坝潟湖为古镇口湾潟湖和小滩潟湖共 2 个。青壮年期潟湖包括月湖、斜口流潟湖、林家流潟湖、凤凰港潟湖、浪暖口潟湖、白沙口潟湖、大河口潟湖和万平口潟湖共 11 个;老年期潟湖包括古镇口湾潟湖、崔家路潟湖、利根湾潟湖、两城河潟湖、刘家楼潟湖、傅疃河潟湖和涛雒潟湖共 38 个;死亡期潟湖包括荣成湾链状潟湖、镆铳岛潟湖、东西里岛潟湖和石臼所潟湖共 4 个。由此可以看出,遥感分类结果与现场调查结果相同,该潟湖遥感解译标志分类方法合理可用,结果可信。

5 结 论

不同的学者从不同的研究角度对于潟湖的分类持不同的观点。目前,国内外常用的分类方法主要依据

盐度、所处气候带、水体交换程度、地貌形态和沉积特征等方面。这些分类方法大部分对现场踏勘调查的依赖性较高、耗时耗力,对于潟湖的地貌学成因和发育演变阶段未做到较好的解释。

我们在比较国内外潟湖分类方法的基础上,分析我国海岸潟湖地貌、成因和发育演变特征,利用遥感手段对我国海岸潟湖进行分类,提出基于潟湖地貌学成因和基于发育演变阶段的潟湖遥感分类方法,并建立这2个分类体系中不同潟湖类型的遥感解译标志,为潟湖遥感解译提供了可靠的依据。根据所建立的遥感解译标志,对山东省的海岸潟湖进行遥感分类验证。结果表明,山东省海岸潟湖以沙嘴型最为发育,大部分处于老年期,需要指出的是,我们对山东省潟湖的分类基于2010年的遥感影像,在短时间序列上,其发育演变阶段不会发生往复性的变化,但是在长时间尺度的地质年代上,潟湖的消长演变将不断变化,其中人类活动的作用不可忽视。

基于我们建立的潟湖遥感分类方法,可以从遥感影像上直接对潟湖进行地貌学成因分类和发育演变阶段确定,能够有效避免现场调查周期长、成本高的缺陷。通过多时相遥感影像,可以随时掌握海岸潟湖的发育状况,是潟湖变迁动态监测的重要技术手段。当然,尽管遥感技术在潟湖分类方面具有优势,但遥感无法有效解译潟湖形成的地质过程以及水下地形的变化,因此,现场勘测工作仍然不可缺少。

潟湖湿地占我国湿地面积比重较小,且未引起足够的重视,所以其研究至今未系统展开。潟湖湿地演变规律和变化监测需要进行常态化的长时间序列观测和结合多学科分析(例如沉积动力学、地貌学、生态学、化学、遥感和地理信息系统相结合)才能真正做到质的深入研究,遥感手段的介入使潟湖研究常态化成为可能。

参考文献(References):

- [1] SUN W F. Monitoring and analyzing the lagoon dynamics in China using remote sensing imagery[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. 孙伟富. 我国海岸潟湖遥感监测与典型潟湖分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [2] GU D Q. The formation process and environmental degradations of lagoon wetlands along Shandong Peninsula: a case study of Chaoyang-gang Lagoon[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2003. 谷东起. 山东半岛潟湖湿地的发育过程及其环境退化研究——以朝阳港潟湖为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.
- [3] SCHWARTZ D. Genetic control of alcohol dehydrogenase a competitive model for regulation of gene action[J]. Genetics, 1971, 64: 503-517.
- [4] FIELD E, DUANE B. Post-Pleistocene history of the United States inner continental shelf: significance to origin of barrier islands[J]. Geological Society of America Bulletin, 1976, 90: 628-681.
- [5] JI R Y, LUO X L, LU Y J, et al. Formation and recent evolution of barrier-lagoon system in Bohe area, Guangdong[J]. The Ocean Engineering, 2007, 25(3): 103-108. 季荣耀, 罗宪林, 陆永军, 等. 粤西博贺沙坝潟湖海岸体系形成发育与现代演变[J]. 海洋工程, 2007, 25(3): 103-108.
- [6] CAI Y E, CAI A Z. Sedimentary environment of the coastal lagoons along Shandong peninsula[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1984, 15(5): 468-477. 蔡月娥, 蔡爱智. 山东半岛海岸潟湖的沉积环境[J]. 海洋与湖沼, 1984, 15(5): 468-477.
- [7] LI F. Evolvement of little lagoon on Baishakou coast and formation barrier lagoon coast[J]. Marine Science, 1983, 12-18. 李凡. 白沙口海岸小泻湖的演变及沙坝潟湖海岸的成因[J]. 海洋科学, 1983, 12-18.
- [8] PETHICK J S. Velocity surges and asymmetry in tidal channels[J]. Estuarine and Coast Marine Science, 1980, 11(3): 32-45.
- [9] DONALD J P, SWIFT. Barrier island evolution, Middle Atlantic shelf USA-Part I: shoreface dynamics[J]. Marine Geology, 1985, 63: 331-361.
- [10] HUBBARD D K, OERTEL G, NUMMEDAL D. The role of waves and tidal currents in the development of tidal-inlet sedimentary structures and sandbody geometry: Examples from North, south Carolina, and Georgia[J]. Journal of Sediment Petrology, 1979, 9(4): 1073-1092.
- [11] INMAN D L, DOLLAN R. The outer bank of North Carolina: Budget of sediment and inlet dynamics along a migrating barrier island[J]. Journal of Coastal Research, 1989, 5(2): 193-237.
- [12] OERTEL G F. Processes of sediment exchange between tidal inlets, ebb deltas and barrier islands, Hydro-dynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets[M]. New York: Springer-Verlag, 1988: 297-318.
- [13] MCBRIDE R A, MOSLOW T F. Origin, evolution and distribution of shoreface sand ridges, Atlantic inner shelf, USA[J]. Marine Ge-

- ology,1991,97:57-85.
- [14] SHORT A D. Holocene coastal dune formation in Southern Australia: A case study[J]. *Sediment Geology*,1988,55:121-142.
- [15] LI F. Bedforms and bedding structure of the sediments in the Baishakou coastal zone[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*,1983,1(3):99-109. 李凡. 白沙口海岸沉积物的床面形态及层理构造[J]. *沉积学报*,1983,1(3):99-109.
- [16] BRIEN M P. Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts[J]. *Journal Waterway and Harbor Division*,1969,95:43-52.
- [17] ZHANG R S. Tidal prism throat area relationships of tidal inlets along Yellow Sea and Bohai Sea coast[J]. *The Ocean Engineering*,1995,13(2):54-61. 张忍顺. 黄渤海沿岸潮汐汉道的 P-A 关系[J]. *海洋工程*,1995,13(2):54-61.
- [18] JIA J J,GAO S. A dynamic sedimentological approach to P-A relationships in tidal inlets[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*,2005,36(3):268-276. 贾建军,高抒. 建立潮汐汉道 P-A 关系的沉积动力学方法[J]. *海洋与湖沼*,2005,36(3):268-276.
- [19] IAN T W. Dynamic assessment of oceanic connectivity in a coastal lagoon-the coorong,Australia[J]. *Journal of Coastal Research*,2011,27(1):131-139.
- [20] BRIVIO P A,ZILIOLI E. Assessing wetland changes in the Venice lagoon by means of satellite remote sensing data[J]. *Journal of Coastal Conservation*,1996,2:23-32.
- [21] BARBARA J K,JOY N M. Wetland change analysis of San Dieguito Lagoon,California, USA[J]. *Wetlands*,2005,25(3):1928-1994.
- [22] DAHDOUH-GUEBAS F,VERNEIRT M,CANNICCI S,et al. An explorative study on grapsid crab zonation in Kenyan mangroves[J]. *Wetlands Ecology and Management*,2002,10(3):179-187.
- [23] LAFON V,FORIDEFOND M J. Spot shallow water bathymetry of a moderately turbid tidal inlet based on field measurements[J]. *Remote Sensing of Environment*,2002,81(1):136-148.
- [24] YANG H L,YUAN Z J,GAO W M. The evolution process and analysis on eco-environmental effect of the Qilihai lagoon wetland[J]. *Wetland Science*,2009,7(2):118-124. 杨会利,袁振杰,高伟明. 七里海潟湖湿地演变过程及其生态环境效应分析[J]. *湿地科学*,2009,7(2):118-124.
- [25] WU S Y,GENG X S,JIN Y D, et al. Evolution of lagoon system in the Jidong area and effect of human interference[J]. *Advances in Marine Science*,2008,26(2):190-199. 吴桑云,耿秀山,金永德,等. 冀东潟湖系统演进与人类干预影响[J]. *海洋科学进展*,2008,26(2):190-199.
- [26] WENG Y,JIANG L. The impact of tourism economic activities on the stability of the barrier Lagoon Landscape—A case study of barrier lagoon landscape of Beihai Yintan Beach Holiday Resort[J]. *Coastal Engineering*,2008,27(1):47-55. 翁毅,蒋丽. 旅游开发活动对沙坝-潟湖景观稳定性的影响分析——以广西北海银滩沙坝-潟湖景观为例[J]. *海岸工程*,2008,27(1):47-55.
- [27] GAO W M,YANG J X. Analysis on evolution of offshore bars in the north area of the Bohai Sea Bay using Remote Sensing[J]. *Geography and Geo-Information Science*,2006,22(5):41-44. 高伟明,杨剑霞. 渤海湾北部滨外沙坝演变的遥感分析[J]. *地理与地理信息科学*,2006,22(5):41-44.
- [28] JIANG L X. Remote Sensing monitoring and change analysis of coastal lagoons along Shandong peninsula from 1973 to 2009[D]. Qingdao:The First Institute of Oceanography,SOA,2010. 姜来想. 1973-2009 年山东半岛沿岸潟湖遥感监测与变迁分析[D]. 青岛:国家海洋局第一海洋研究所,2010.
- [29] SHEPARD F P. Gulf coast barriers[C]//Recent Sediments,Northwest Gulf of Mexico; a symposium summarizing the results of work carried on 1951—1958. USA: American Association of Petroleum Geologists,1960: 197-220.
- [30] KJERFVE B,MAGILL K E. Geographic and hydrodynamic characteristic of shallow coastal lagoons[J]. *Marine Geology*,1989,88:189-199.
- [31] LI C X,WANG P. Stratigraphy and distribution of Holocene barrier lagoon systems along China coast[J]. *Marine Science Bulletin*,1993,12(1):80-85. 李丛先,王平. 我国沿岸全新世沙坝——潟湖体系的地层和分布[J]. *海洋通报*,1993,12(1):80-85.
- [32] ZHUANG Z Y. Sedimentary environment of coastal lagoons[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*,1993,23(1):52-60. 庄振业. 潟湖沉积环境——山东半岛为例[J]. *青岛海洋大学学报*,1993,23(1):52-60.
- [33] ZHUANG Z Y,LI C X. Shandong Peninsula offshore bar sand body characteristics[J]. *Acta Oceanologica Sinica*,1989,11(4):470-480. 庄振业,李丛先. 山东半岛滨外坝沙体沉积特征[J]. *海洋学报*,1989,11(4):470-480.
- [34] WANG Y,ZHU D K. Coastal geomorphology[M]. Beijing:Higher Education Press,1994:116-124. 王颖,朱大奎. 海岸地貌学[M]. 北京:高等教育出版社,1994:116-124.

Remote Sensing Based Method for Coastal Lagoon Classification

SUN Wei-fu, ZHANG Jie, MA Yi, XIA Dong-xing

(*The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*)

Abstract: Based on the field survey data and interpretation experience for satellite images, we analyzed the geomorphology causes and evolution phases for different types of coastal lagoon based on the Landsat-5 TM and HJ-1 CCD remote sensing images. The remote sensing based lagoon classification method with respect to the geomorphology causes was proposed, and China's coastal lagoons were classified into 6 kinds of landform types: offshore barrier type, barrier type, sand tsui type, bay top barrier type, tombolo type and estuary type. Then the evolution phases of the coastal lagoons were proposed: developing, stable and diminishing phases. According to the characteristics of the lagoon in the satellite image, composite false color images were generated with near infrared, red, and green bands as an example, and the image features for remote sensing interpretation of different types of lagoon were established with respect to the color, texture, spatial adjacency between objects etc. Based on the image features, coastal lagoons of Shandong province were classified, and the results were coincided with the field survey data.

Key words: coastal lagoon; lagoon remote sensing classification; lagoon evolution process; image features for interpretation; Landsat-5 TM; HJ-1 image

Received: November 11, 2013