

数字摄影测量与陆地卫星遥感研究 海岸动态变化^{*}

黄海军

许学工

(中国科学院海洋研究所)

(北京大学城环系)

陆地卫星自 20 世纪 70 年代初发射以来即用于岸线动态的研究, SPOT 卫星资料的利用更增加了该类研究的精度, Radarsat 影像由于其对水陆界线的敏感而被用于海岸带制图; 航空摄影影像由于其比例尺大, 空间分辨率高, 成像时间可以人为控制, 便于低潮时海滩大比例尺制图等优点而被广为利用。自 20 世纪三四十年代以来, 已经有了许多海滩的航空照片, 据此可以获得较长系列的海滩变化信息。

一、航空摄影测量生成岸滩地形模型

航空摄影测量自 20 世纪 30 年代以来即已开始, 目前已达到全数字化, 并可用来代替传统的大地测量(美国摄影测量学会, 1980; Kavanagh et al., 1984; Methley, 1986; Banister et al., 1994)。80 年代以来, 世界上许多学者开始将该方法用于海滩动态研究, 取得了一些成果(马仲荃等, 1987; Andres et al., 1991; DLWC, 1986, 1994; Robert Thieler et al., 1994; Gordon Petric, 1997; Hanslow, 1997; Holland et al., 1997; Laurel Gorman et al., 1998; 黄海军等, 1999)。

一般来说, 利用数字摄影测量技术绘制海岸线图可分为六步: ①建立航片的地面控制点网; ②航片数字化; ③消除航片的空间变形; ④航片组的绝对定向; ⑤计算每张航片中岸线的地理位置; ⑥编辑海岸线图(Robert Thieler et al., 1994)。本文的航片像对生成海滩数字立体地形工作是在澳大利亚新南威尔士州公共事业局的宽角 ACI 型立体分析绘图仪及相关的 GIS 软件上完成的。首先用计算机扫描航片生成高分辨率的航摄数字影像, 然后利用航片立体像对的高重叠率特征和飞机航摄参数, 恢复当时相机与地面的位置关系, 进而得出立体海滩地形。在立体海滩地形模型中, 垂直于海岸线取若干剖面, 对各剖面记录其编号、从陆侧基线(不同岸段基线可以不同, 一般是道路、森林线、陡坎等)至海岸线的距离、 X 、 Y 坐标和海滩高程等。

航片的几何校准与多时相航片对比需要选择适量的地物控制点, 控制点一般选用永

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 3839 号。

国家自然科学基金项目, 第 49806003 号和山东省国土资源遥感综合调查项目资助。

久性典型地物及人工建筑物, 如基岩岬角、岩礁、古树、道路拐角、交叉点、房屋以及束流堤等。然而由于各地区自然环境的差异, 控制点的类型与分布也不相同, 一般来说控制点以随机分布为佳。例如苏北浅滩的地物控制点有: 公路交叉点、公路和土路交叉口、人工沟渠拐角或交叉点、公路与防潮堤岸交叉点、人工防潮堤拐角处、沙洲上高潮滩处较稳定的潮流沟汊等。这些地物控制点分布不平衡, 在本区东部、北部沙洲由于形成年代尚短, 其上少有明显的标志物, 而在西部地面参照物较多且易辨。本区这一特点在海滩普遍存在, 它给影像的几何校准带来了一些困难, 同时也降低了校正精度。

尽管航摄飞行大都选在低潮时进行, 但在不同的航带, 其岸线潮位还是有差异的, 而且由于地形以及飞行时天气状况的限制, 使上述差异更为明显。如 1980 年在苏北浅滩海区进行航摄时, 由于天气限制, 使原定在低潮时的摄影时段延长, 造成岸滩潮位差异增加; 而且在进行不同年代的航片对比时, 必须考虑海面的季节差异以及风暴与增水对水边线的影响。

因此, 不同时相航片对比时, 必须选择适当的岸线变化对比基线。一般来说, 位置较高的地貌标志物将更为可靠, 它去掉了大部分短期过程带来的影响, 例如, 0.5m 等高线处将消除相当部分位于较低部位的地貌标志的易变成分。为了避免短期岸滩变化及部分地貌标志物难以确定的问题, 如侵蚀陡坎等往往较为模糊、向海侧岸线变化基线难以确定以及影像中水边线不能代表平均岸线位置等问题, 本文根据在研究澳大利亚海滩变化特征时采用等高线作为计算海滩地形、岸线位置以及沙丘体积变化的向海侧基线。在 0~4m 之间, 每隔 0.5m 取一条等高线, 分别计算其等高线的变化, 不同高度的岸滩变化差异可以作为岸滩短期变化在其长期发育过程中的影响。图 1 为南 Ballina 海滩 1947 年、1965 年、1974 年、1981 年和 1991 年等高线位置相对于 1971 年 0.5m 和 1.5m 等高线位置变化的平均值。整个岸滩被分为三段, 垂直于每个岸段划分成 32、26 和 32 条剖面, 图中岸线变化剧烈处为人工束流堤所在地。由图中岸滩的变化可看出, 尽管不同高度岸滩的变化格局相同, 但较高处岸滩变化曲线较平缓, 能更好地反映海岸变化特征。

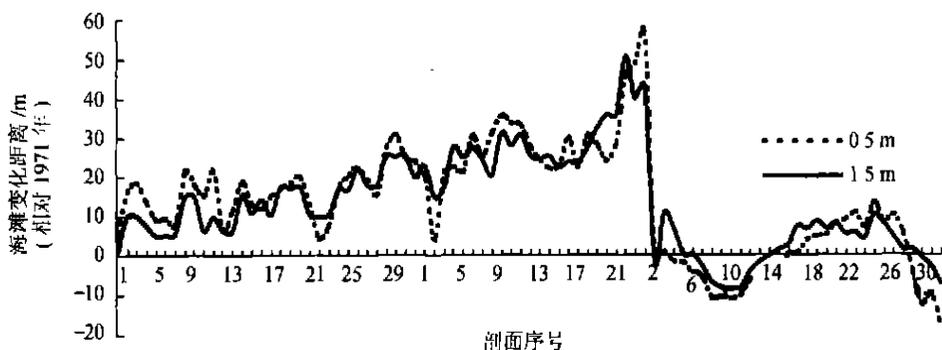


图 1 南 Ballina 海滩五次航片平均变化图
(0.5m 与 1.5m 等高线)

图 2 为该海滩 1965 年以来四个时期 0.5m 等高线的相对位置, 由图中可看出南 Ballina 海滩 20 余年来的变化情况。

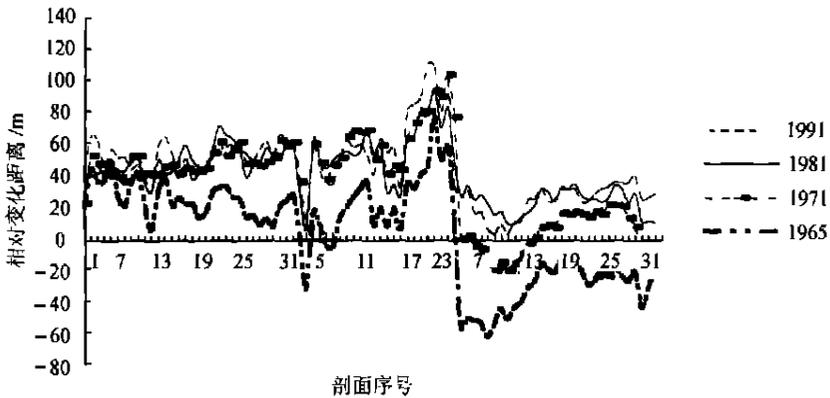


图2 南 Ballina 海滩 0.5m 等高线位置变化(相对 1974 年)

由于海滩起伏较小,因此平坦、固定点较少,尤其是靠海一侧,缺少用于校正的控制点,在生成数字立体海滩模型及进行不同时相的海滩模型对比时会产生一些误差。对该误差的范围国内外一些学者对此有过研究。Hanslow 等(1997)在澳大利亚 Macmasters 海滩用航片生成海滩立体模型时,在同一幅航片内,其地面观察的控制点与设定模型之间的误差为 $\pm 0.2\text{m}$ 左右(水平与垂直方向上均如此);本文作者在澳大利亚访问研究的结果显示,不同幅航片拼接时,其垂直方向平均误差为 0.16m ,水平方向为 0.95m ,在排除航片质量影响后,水平误差为 0.75m (黄海军等,1999);Balson 等(1996)在英国 Holderness 海岸用高精度数字化仪扫描航片生成数字海岸地形模型(DTM)时,其误差在三维方向上均可达 0.2m ;Li 等(1997)所做的实验表明,当摄影机距离目标物 $2\sim 2.5\text{m}$ 时,数字摄影测量技术在水平方向上误差可达 0.3cm ,垂直方向上为 1cm 。该误差范围可以用于相对较稳定的海滩变化的中、短期监测。

二、卫星遥感图像处理

为了尽可能提取卫星影像中地物信息以及使之可与其他资料相融和,必须进行影像投影变换、图像处理与增强等。

1. 投影变换和几何精校正

由于卫星遥感数据相当于沿轨道向两侧的多中心投影,经系统校正处理后,近似于斜轴等角割圆柱投影,与我国基本比例尺地形图及国际上通用的地形图的投影性质不同,故而需要进行投影变换,即将沿轨道斜轴展开的数据象元平面直角坐标系换算成按赤道和某一中央经线展开的地理坐标系或平面坐标系。此项工作通常有专门软件,但如果残差超过允许范围时,需进行几何精校正。

几何精校正即在比例尺大于至少等于目标图像集比例尺的底图上,选用适量准确易辨的、点位中误差小于制图误差标准的地面控制点,将它们的同名点在不同投影的坐标系上一一对应,以参考坐标为准进行复合,这样即消除超标的残差及完成投影变换。苏北浅滩东部主要为海滩、沙洲以及海域,无明显的控制点,故而在进行影像地图几何精校

正时主要利用陆地卫星遥感图像的几何连续性, 精确配准陆地部分, 同时辅以野外验证取点, 这样其连续顺延的海滩部分的点位中误差, 一般不会偏离陆地部分的点位中误差, 实验结果也证实了这一方法的可行性。

2 多源信息的叠加与拟合

在影像上除了图像本身内容外, 还应显示许多地理要素。如等深线、其他等值线或行政区划界线等, 以反映环境的动态变化, 如本项研究中将不同时相影像的同一波段信息进行叠加, 以反映岸滩动态变化, 以及压缩多波段波谱数据, 突出地表现物质的平均物化特性, 提高影像分辨地形地貌的纹理信息等, 这样必须规划不同数据的比例尺和象元分辨率, 然后进行精度复合并叠加。为了保持影像中地物的连续性, 图像叠加时应选择与地物背景有较大反差的色调, 利用多种反差明显的颜色组合, 达到不同信息叠加的目的。

澳大利亚新南威尔士州 Lighthouse 海滩 1884 年的水深图与 1973 年的水深图叠加对比, 两者相差 89a, 通过 GIS 成图, 得出该海滩年淤进速度为 $3.8 \sim 5.5\text{m/a}$ (黄海军等, 1999); 而且通过对不同时期海滩沙丘体积的叠加与对比, 可全面了解海滩的变化特征, 尤其是在沙丘海岸, 经常出现海岸线与沙丘进退方向不一致的现象。苏北浅滩沙脊与黄河三角洲演变则利用不同时期卫片的同一波段经潮位校正后叠加得出岸滩变化信息。

3 制作影像地图

TM 磁带资料经几何精校正后, 满足制作 1:20 假彩色合成影像的精度要求以及进行不同时相影像与地形图对比的要求, 但考虑到研究区东、西部地理环境的差异, 为提高影像制作的精度, 本文对 TM 影像进行经纬网格套绘与地理编码, 即制作影像地图。

地理编码即是建立影像地图的坐标系统, 为每一个数据象元赋予新的且惟一的坐标含义, 使整个图像均属于这个坐标系统。1:20 万比例尺的影像地图制作, 可选用地理坐标系, 用东经和北纬代表 X 、 Y 方向的坐标, 单位以度表示, 经纬网的标注是在图像集管理中进行。

在标注了坐标系统后的图像集, 经过误差检验后, 即具有可与地形图对照的平面点位置精度。具体方法是对照大比例尺地形图, 检查影像地图的坐标方格网线, 是否通过明显地形地物标志点, 记录每个点与方格线之间误差值 Δx 和 Δy , 计算中误差 ΔD ; 不断调整坐标系, 直至平均误差小于或等于其允许值范围。

此外, 根据陆地卫星磁带资料各波段的光学特性及其信噪比, 选择反映地物最敏感的波段或波段组合、子区放大以及对典型地物灰度值进行统计。

三、卫星遥感资料监测岸滩变化方法

为了能在统一标准下比较滩涂面积及海岸的冲淤变化, 我们需要将各时相航、卫片解译的瞬时水边线或瞬时潮位曲线均订正到一个统一的基准面, 如“黄海零米线”或低潮线。订正的关键因素是潮差和坡度, 在缺乏实测资料的条件下, 要利用不同时间的遥感影像资料修正或推算求出沿岸各断面的滩面坡度, 然后据水边线与基准面的高差与已求出的坡度, 向陆或向海推出基准线位置, 在此基础上再进行岸滩变化比较。

1. 潮位的订正

许多人在进行海岸岸线航、卫片解译时直接将影像上的水边线作为海岸线,如果研究区是泥质海岸,又需要进行面积量算和对比,这种简单的做法会影响到结果的精度。因为影像成像时间与潮时和潮汐状况并不对应,因而水边线就不能代表 0m 线,也不能代表低潮线的位置,这一点对泥质海岸不容忽视,微小的潮差,会引起潮间带宽度的极大变化。再者,卫星影像范围大,较大范围之内的海岸瞬时水边线是潮汐波动下的起伏不平的海面与陆地的瞬时交接线,尤其是在潮波性质复杂的地区尤为明显,因而大范围卫星影像中瞬时 0m 线低潮是不存在的。航片范围尽管较小,而且是选择低潮时摄影,但由于不同航带摄影时间的差异以及天气情况的差异,同样存在上述差异。对于滩涂宽平的泥质海岸,各地潮差略有差异,其水边线位置所代表的实际潮高,也会有明显变化(黄海军等,1994)。如黄河三角洲坡度在万分之一量级上,当两低潮时影像潮位相差 10cm 时,解译出的水边线平距最大值可相差 1km,因此在用航、卫片来分析岸线变化时,必须考虑潮位的影响。然而即使在同潮位情况下,由于月份的不同,海滩的平均海面也不同。例如,黄河三角洲东风港,平均海面最高的 8 月份为 44cm,最低的 1 月份,平均海面为 -15cm,两者相差近 60cm。因此,在使用该法计算岸线变化时,还需考虑海平面的季节差异。

由于苏北浅滩、黄河三角洲等地验潮站较少,潮位变化复杂,本文在求其高低潮位值时,先将岸滩按垂直于岸线的方向划分出若干断面,利用已有站位的高、低潮位值绘制研究区海滩的高、低潮位曲线图,从图上内插出各剖面线的高、低潮位值。同时,将已有的验潮站资料在该图中绘出,依据该区潮位分布规律内插,得出一条研究区沿岸瞬时潮位曲线,从图上可读出各剖面上瞬时潮位值与高、低潮位之差,即为需要校正的潮位值(许学工,1991)。利用该值与坡度值便可算出各剖面的、需要校正的水平距离。

2. 潮滩坡度的修正

坡度的求得一般在水深图上量算,但由于岸滩坡度变化迅速,水深图远远来不及更新,因此在用遥感影像对比岸线变化时需要求得坡度资料。

本文收集了研究区已有坡度资料,包括分析历史时期的水深、坡度变化规律,得出了岸滩坡度的近似值。以此为基础,再利用两个时间相近的卫片,假定其坡度在该时段内未有变化,由于两个时相的潮位不同,因而其水边线位置不同,量取其水边线间的水平距离,除以两时相潮位差即得该时期各剖面的坡度值,以此来修正前述的坡度。我们利用该方法在黄河三角洲地区有过较好的尝试。

3. 基准线的推求

取瞬时水边线与基准面的高差和该断面坡度,求出推移平距,并换算成图上推移平距,向海为“+”,向陆为“-”。自水边线向海或陆定出推移点,然后将各断面的推移点连接成平滑的基准线。

通过地形图上 0m 线、水深线、影像特征、规律分析反馈等,可多方验证推算求出其基准线位置是否合理。在影像所显示的信息不足以满足精度要求或存在假象时,可以设法用实测资料或其他方法进行订正。

上述方法得出的岸线解译误差估计为 40~50m 左右(黄海军等,2002)。这一精度在解译黄河三角洲的阶段性进退演化及苏北浅滩沙脊变化的研究中是可行的。黄河三角

洲整体岸线推进速率为 $0.16 \sim 0.19 \text{ km/a}$, 但各时期速率变化很大, 尤其在 1976 年以后, 岸线的淤进速率约为 0.42 km/a , 局部地段更快(黄海军等, 1994)。尽管逐年计算, 累计误差较大, 但在计算较长时间间隔时是可行的, 局部地区(如河口)也可计算短时段的岸线变化。苏北浅滩 1993 年与 1988 年两次卫星影像叠加图显示: 亮月沙由北向南迁移的特征, 其沙洲北岸岸线向南移动了 3.2 km , 年均蚀退速度为 600 m/a ; 通过 1964 年与 1979 年海图对比可知, 亮月沙北岸蚀退距离和速度分别为 $5 \sim 6 \text{ km}$ 和 $330 \sim 400 \text{ m/a}$ (黄海军等, 1998), 两者计算结果相近, 证实了卫星影像监测沙脊变化的可行性。

4 岸滩变化对比的示例分析

本文利用 1988 年、1991 年、1994 年、1997 年和 1998 年 5 个时相的卫星遥感影像对山东半岛东南侧小型基岩港湾海岸进行了对比分析。

在基岩岬湾岸, 岸线两侧植被的差异表现在单波段影像上为灰度的差异, 它们为岸线的划定提供了良好的标志。海湾顶部存在沙堤, 一般大潮难以达到, 同时由于人工虾池的挖掘与堆积, 使沙堤高度得以增加, 形成沙堤与两侧海滩地物的明显差异: 向海一侧为海水经常到达的潮滩, 反射率较低; 向陆一侧为人工挖成的虾池, 或虾池之间的湿地, 光谱反射率也低, 这样在沙堤顶部由于湿度小而形成一道光谱反射峰值区, 因此它可作为本区对比不同时期岸线变化的基准线。对比五个不同时期该反射峰值线的位置变化即可了解该区岸滩的空间变化。

对比结果表明, 本区岸滩大体上是稳定的, 除了少数地点外, 变动较小, 不同时期岸线大都重叠在一起, 其中基岸岬角带, 几乎没有变化; 而在海湾, 可以看出有轻微淤长, 其中 1988 年岸线最为靠陆, 而 1997 年、1998 年岸线则位于靠海一侧, 然而强度不大, 且其变化主要位于人工虾池开挖一带。河口地带变化较大, 尽管河流来水来沙量较少, 但仍有变动, 冲淤现象明显。

为了进一步了解本区岸线 1988 年以来的变化状况, 在典型地段选取垂直海岸线的 2 条纵剖面, 将五个时相该剖面的灰度值叠加, 利用前述的灰度值特征点以了解岸线变动。

图 3a 为基岩海岸, 剖面近东西走向, 该剖面代表了基岩岸较为稳定的特性, 五个时相的灰度曲线中, 其灰度值峰值几乎处于同一位置(图 3a), 表明这期间该区基岩岸未有明显的变化。

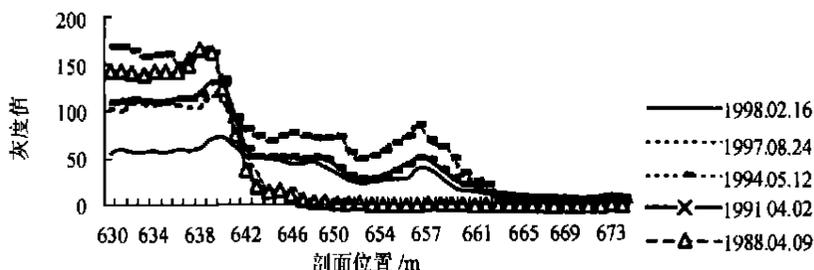


图 3a 基岩海岸不同时期光谱反射峰值曲线

图 3b 反映小河河口岸线变化状况, 该剖面 NE—SW 走向, 由于来沙来水相对较多以及动力条件较强, 岸线变化较复杂, 但总体来说, 自 1988 年以来, 该区是不断淤积的, 其

光谱反射峰值线总体向海区推进, 1991 年以后, 由于虾池的挖掘, 该处岸滩有冲、有淤 (图 3b)。

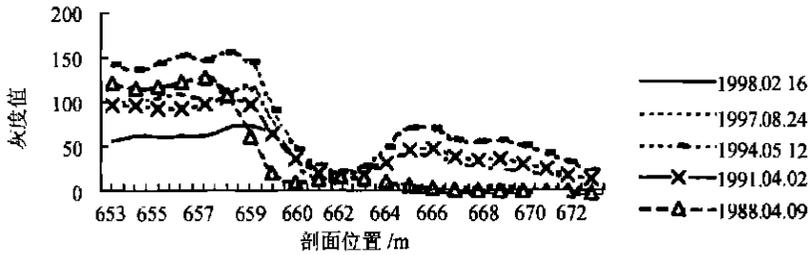


图 3b 小河河口不同时期光谱反射峰值曲线

由此可知, 本区基岩岸滩是稳定的; 河口区域变化较大, 总体为堆积, 人类活动与强烈的天气过程是该区岸线不稳定的两个重要因素。

四、结 语

通过对澳大利亚海滩、黄河三角洲、苏北辐射沙洲和山东半岛小海湾等岸滩变化的对比, 本文提出了利用卫星遥感影像和航摄影像对比海滩动态的方法, 尤其是在控制点较少、验潮资料缺乏的海滩, 对比基线的选取、低潮线的推求和影像地图的制作, 分析了上述两种方法在海滩动态研究中的应用以及适应范围。结果表明: 利用航片立体像对生成的数字立体海滩图可较精确地监测岸滩变化, 其相对误差在 0.75m (水平方向) 和 0.16m (垂直方向); 而用陆地卫星监测岸滩变化时, 其误差在 40~50m 左右。前者可用于岸滩逐年或短期监测, 后者主要用来监测河口、近岸沙洲以及小型海湾等处较长时期的演变。

参 考 文 献

- 许学工, 1991. 利用遥感图像推求泥质海岸滩涂低潮线的方法探讨, 见: 高校联合遥感应用研究中心第六届学术讨论会文集, 万国学术出版社, 414~418.
- 黄海军, 李成治, 1998. 南黄海海底辐射沙洲的现代变迁研究, 海洋与湖沼, 29(6): 640~645.
- 马仲荃, 严蔚芸, 曹豪, 1987. 彩色红外航空摄影在海涂调查中的应用——以杭州湾上海岸段遥感为例, 海洋通报, 6(4): 64~69.
- 黄海军, 李成治等, 1994. 卫星影像在黄河三角洲岸线变化研究中的应用, 海洋地质与第四纪地质, 14(2): 29~37.
- 黄海军, 王珍岩, 张忍顺, 2002. 航测、卫星遥感和 GIS 研究海岸动态变化的误差分析, 海洋科学, 3: 8~10.
- Huang Haijun, Andy Short, Dave Hanslow et al., 1999. Impact of river training walls on adjacent beaches, Ballina, New South Wales Australia. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 17(1): 41~48.
- American Society of Photogrammetry, 1980. *Manual of Photogrammetry*. Fourth Edition, American Society of Photogrammetry, Falls Church Va, 1056.
- Andres, F. J. and Byrnes M. R., 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*, 59(1): 17~26.
- Balson, P. S., Tragheim, D. G. et al., 1996. A photogrammetric technique to determine the potential sediment yield from recession of the Holderness coast UK, PARTNERSHIP IN COASTAL ZONE MANAGEMENT. In: "CARDIGAN UK

SAMARA PUBLISHING LTD" (Taussik, J., Mitchell, J. Eds.), 507~514.

- Banister, A. et al., 1994, *Surveying*. Sixth Edition, Longman Scientific and Technical, 11~43.
- DLWC, 1986, Summary of Storm Damage and Associated Sea and Weather Conditions on the N. S. W. Coast—1876 to 1981, DLWC report No. 86014, 1~45.
- DLWC, 1994, Seven Miles Beach Photogrammetric Analysis. March 1994. DLWC report No: 95103, *Coast & Flood Policy Branch*, 1~91.
- Gordon Petrie 1997, Developments in digital photogrammetric systems for topographic mapping applications, *ITC Journal* 2: 121~135.
- Hanslow, D. J., et al., 1997, Monitoring coastal change using photogrammetry, Second Joint Inst. of Aust. Geographers and N. Z. Geographical Society Conference. 1~10.
- Holland, K. T., Holman, R. A., et al., 1997, Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies, *IEEE—J. OCEAN. ENG.*, 22(1): 81~92.
- Kavanagh, B. F. and Bird S. J., 1984, *Surveying Principles and Applications*, Reston Publishing Co., 10~58.
- Laurel Goman, Andrew Morang and Robert Larson 1998, Monitoring the Coastal Environment Part IV: Mapping, Shoreline Changes and Bathymetric Analysis, *JCR*, 14(1): 61~92.
- Li Rongxing, Li Haihao et al., 1997, Quantitative photogrammetric analysis of digital underwater video imagery, *IEEE J. OCEAN. ENG.*, 22, (2)364~375.
- Methley, 1986 *Computational Models in Surveying and Photogrammetry*, Dlackie & Son Ltd, 58.
- Robert Thieler E. and William, W. Danforth, 1994, Historical shoreline mapping (1): Improving techniques and reducing positioning errors, *JCR*, 10(3): 549~563.

OBTAINING THE BEACH CHANGES INFORMATION FROM DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AND SATELLITE IMAGES^{*}

HUANG Haijun

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences)

XU Xuegong

(Beijing University)

Abstract

Digital photogrammetry, satellite images, as well as nautical maps were used to monitor the shoreline changes of the northern Jiangsu Province, the Huanghe River Delta and beaches in the eastern part of Shandong Province and Australia. Practical methods are proposed to obtain shoreline position from aerial photographs for sand beach with small velocity of change and from satellite images for mud flat with large velocity of change but very small beach slope. Analysis of errors for each method showed that the precision (relative errors) was 0.16 m in vertical direction and 0.75 m in horizontal direction (digital photogrammetry) and about 40~50 m (landsat images).

^{*} Contribution No. 3839 from the Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences.