

# 粉砂淤泥质潮滩的多波段与 多时相卫片解译

任明达 柳 林\* 王 安 龙

(北京大学地理系)

(天津水运研究所)

## 摘 要

陆地卫星多波段图像可用于辨别淤积型、冲刷型和稳定型粉砂淤泥质潮滩。用多时相的6波段图像可预报潮滩的宽度和坡度。在渤海湾沿岸布置13个测量剖面,用13幅不同时相的塘沽幅卫片量计各剖面的实时潮滩宽度,并与塘沽验潮站相应的潮高资料进行对比,拟合成二次曲线。据此算得的潮高为零时的潮滩宽度以渤海湾湾顶附近岸段的最小,向南北两端增大;潮滩平均坡度的分布则相反。从卫片量得的潮滩宽度和坡度的沿岸分布,与根据海图测量的以及地面实测的具有相同的趋势。其计算精度与海图的相似,而高于滩面实测。

我国海岸受潮汐作用,沿岸分布有潮间浅滩,简称潮滩。它是重要的自然资源,是农业围垦、水产养殖、海港建设、种苇、制盐和开辟旅游业的重要基地。潮滩作为海陆交互作用的前锋地带,其特征在很大程度上代表了所在海岸的性质。因此,查清其性质和分布对于合理开发利用潮滩资源和研究现代海岸动态是非常有益的。

对宽度大、滩面泥泞、潮沟密布和变化频繁的粉砂淤泥质潮滩进行实地考察,工作条件极差,调查比较困难,研究程度也很低。空间遥感技术为潮滩调查和制图开创了广阔的前景。潮滩具有一些能被可见光和近红外传感器探测到的特征,例如滩面的组成物质、湿度、植被类型及覆盖度等。因此,陆地卫星的多波段和多时相图像可用于潮滩质量评价和形态量计。

## 一、潮滩质量评价

### ——多波段卫片解译

组成潮滩的泥沙是由岩石经长期风化、搬运、堆积而成。因此,潮滩的主要光谱特征

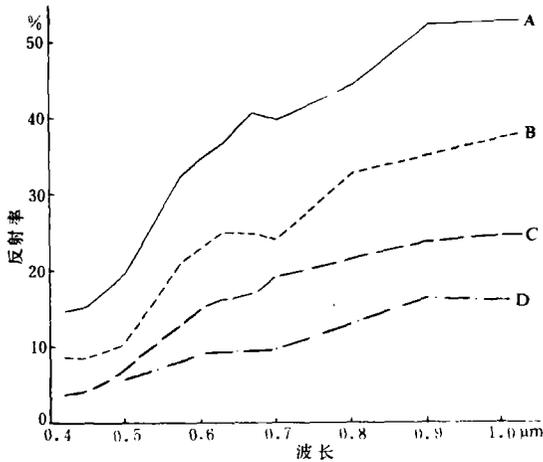


图1 不同性质潮滩的实测光谱曲线

A. 中细沙滩, 湿度20% B. 中细沙滩, 湿度60%。

C. 细沙滩, 水饱和 D. 粉砂淤泥滩, 水饱和

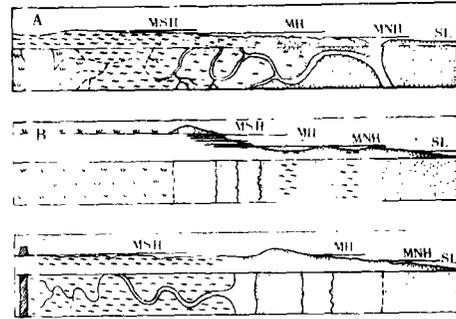


图2 粉砂淤泥质潮滩的冲淤类型

A. 淤积型 B. 冲刷型 C. 缓慢冲刷型

(M平均, S大潮, N小潮, H高潮, L低潮)

与岩石的类似, 从可见光向近红外波段, 反射率逐渐上升。但是泥沙粗细不同及含水量不等的潮滩, 其反射率及反射率上升速度不等(图1)。干沙滩的反射率高, 随着波长增大, 反射率上升快; 富含水的粉砂淤泥滩, 反射率低, 上升慢。因此, 陆地卫星多波段图像可用于潮滩质量评价。

粉砂淤泥质的潮滩主要由沿岸流带来的悬浮泥沙堆积而成, 组成物质极细, 主要为粉砂和粘土。滩面坡度极小, 平均约1/5000。我国粉砂淤泥质潮滩按其冲淤性质大致可分三种, 各具有不同的影像结构(图2)。

### (一) 淤积型粉砂淤泥质潮滩

这里细粒泥沙的来源非常丰富, 由潮流带至滩面沉积, 使滩面淤高, 潮滩位置不断向海推移。这种潮滩的宽度很大, 可达几公里至几十公里。在大潮低潮时成像的陆地卫星多波段图像中, 由海向陆可分四个带: (1) 低潮滩——分布在平均小潮高潮位与大潮低潮位之间。这里受波浪扰动, 沉积物较粗, 为青灰色的粉砂和细砂。它们在黑白片上呈浅色调。(2) 中潮滩——位于平均小潮高潮位与平均高潮位之间。这里经常被潮水淹没, 沉积黑灰色粉砂淤泥, 富含水分。滩面遍布积水小浅洼地。这种粉砂淤泥滩在黑白片上呈深色调。(3) 高潮滩——位于平均高潮位与平均大潮高潮位之间, 系泥滩。中、小潮时长时间露出海面, 大潮高潮时即使被潮水淹没, 也是水浅流缓, 故滩面平整, 经常覆盖一层由海水蒸发而沉淀的白色盐霜, 在卫片上呈浅色调。(4) 潮上滩——分布在平均大潮高潮位之上。这里除偶而被特大潮水浸淹外, 主要受雨水淋溶, 土壤水淡化, 生长芦苇等耐盐植物。在4、5波段的卫片上呈深灰色, 而在6、7波段卫片上呈浅灰色。

综上所述, 淤积型粉砂淤泥质潮滩在黑白片上的色调变化, 由陆向海为深—浅—深—浅。在标准假彩色合成片上, 长芦苇的潮上滩呈浅红色; 露出海面的高潮滩、中潮滩和低

潮滩呈不同深度的黄褐色；低潮滩以下的海域依水体混浊度不同而呈蓝绿、浅蓝和深蓝色。

## （二）冲刷型粉砂淤泥质潮滩

这种潮滩由于泥沙来源断缺，海洋动力作用相对加强而遭受冲刷。高潮时，这里水深浪高，激浪作用在高潮位附近形成高数米的淤泥质陡崖。陡崖的顶面是耕地，由于陡崖被侵蚀迅速后退，耕地紧邻水边线分布，具有植被影像特征。陡崖顶上堆积着被激浪抛上来的贝壳碎屑，形成沿岸分布的贝壳堤，在卫片上呈一条白色的亮带。潮滩分布在贝壳堤向一侧，宽度比较小，一般仅几百米至几公里，由泥沙滩和粉沙滩组成。

## （三）缓慢冲刷或缓慢淤积的稳定型粉砂淤泥质潮滩

粉砂淤泥质潮滩遭受轻微冲刷时，穴居潮滩泥沙中的贝类被冲出，经波浪淘洗后，堆积在高潮位附近，形成大致沿岸分布的贝壳堤。它们具有很高的反射率，形成亮带。贝壳滩的向陆和向海两侧都是深色调的泥滩，说明高潮时海水能进入贝壳滩的向陆侧。缓慢淤积的粉砂淤泥质潮滩，在老贝壳堤或人工堤的外侧，没有或者只有很窄的潮上滩，潮滩主要由高潮位的泥滩、中潮位的粉砂淤泥滩和低潮位的粉沙滩组成。

鉴于粉砂淤泥质潮滩的规模大、地形平坦、滩面性质单调，用陆地卫星的 MSS 图像足以辨别滩面各带，从而对潮滩类型作出评价。

# 二、潮滩宽度与坡度量计

## ——多时相卫片解译

为了合理开发利用潮滩资源，在海岸普查工作中，潮滩宽度和坡度是最基本的调查项目之一。我国目前对粉砂淤泥质潮滩的测量主要通过以下三种途径：

### （一）地面测量

潮滩宽度是指平均大潮高潮位至理论深度基准面之间的水平距离，它们小者几公里，大则几十公里。在如此宽广的淤泥滩上进行测量工作，且不论其危险性和艰苦性，只因难以走到低潮线，无法取得完整的潮滩资料。此外，潮汐海面变动频繁，而滩面测量工作即使在不长的岸段内也往往需要很长时间。这样取得的非同步资料是难以保证计算精度的，更不适用于不同岸段之间的对比。

### （二）航空测量

迄今航空摄影是我国潮滩测量的主要方法。在航片上判别潮滩的位置是轻而易举的。在不长的岸段内，航摄资料基本上可认为是同步的。此外，航空测量可以安排在人们所需要的某种潮汐条件下（如全年最大潮的低潮时刻）进行。这些都是航空遥感方法用于潮滩测量的优点，但它们也存在不足，因为航空遥感所获得的潮滩测量资料仅能反映当时的情况。如果当时存在某种特殊环境条件（如风成增减水和径流量变化等），影响潮位的升降，由此获得的潮滩测量资料的代表性便要降低。而粉砂淤泥质潮滩的冲淤变化是非常迅速的，

需要重复进行观测。但因航空遥感的费用昂贵,不宜于经常重复进行。而任何事物都有其两面性,目前看来,航空遥感仍不失为潮滩测量的一种重要手段。

### (三) 卫片测量

利用陆地卫星图像量计潮滩的几何形态(宽度和坡度)是我们近来所做的一项试验成果。随着我国卫星地面站的建设和使用,将获得大量的、多时相的陆地卫星图像资料。据此多快好省地进行潮滩量测工作是我们设计研究的出发点。根据几个地区的试验结果,证明此方法是可行的。

1. 波段选择:用卫片量计潮滩几何形态的关键是在卫片上辨认高潮线和成像时水边线位置。众所周知,用MSS6和MSS7图像确定潮滩的高潮线和当时水边线位置是比较容易的。落潮后,高潮线两侧地面的湿度差异在MSS7图像上形成明显的色调界线。照例,它们也适用于确定水边线的位置,因为水体强烈地吸收红外线,使水体与露出海面的滩地呈现明显的色调差。但是正因为7波段对水体非常敏感,在落潮过程中刚露出海面的潮滩往往大片积水,使7波段图像亦呈深色调,易与海域混淆。由此量测的潮滩宽度往往偏小。用6波段图像确定低潮水边线位置可获得满意的结果。这样,我们可用分规量得卫片成像时的潮滩宽度。

2. 时相分布:卫星过境的成像时间与潮汐涨落的时间——潮时无固定的关系,不同时相卫片上潮滩宽度的变化是随机的。用作潮滩形态量计的多时相资料,其成像时间要尽可能均匀地分布在整个潮汐周期中,特别是要有大潮低潮前后成像的卫片。潮滩的宽度随潮高而变化,二者呈负相关。对应的潮高可从离测量岸段不远的验潮站记录的潮汐过程线中算得。这样,若在卫片上设置若干个固定测量剖面,每个剖面上的潮高与潮滩宽度构成一个数据对,即潮高—潮滩宽度数据对。

3. 潮高—潮滩宽度散点图:如果对某个岸段收集了若干幅不同时相的卫片,则在每一个测量剖面上均可得到若干个潮高—潮滩宽度数据对。将这些数据对在坐标纸上,绘成散点图。图中,潮高与潮滩宽度呈负相关,散点的分布形状类似于二次曲线,可用指数方程

$$y = a - bx^2$$

加以拟合。式中, $y$ 为潮高, $x$ 为潮滩宽度。据此方程可算得任意潮高下的潮滩宽度。

## 三、实例分析

### ——渤海湾沿岸

#### (一) 卫片分析

我们收集了1973—1982年13幅不同时相的塘沽幅陆地卫片,并在卫片上从北面的人道河口至南面的大口河口均匀地布置了13个测量剖面(图3),量计潮滩的宽度。相应的潮高资料是从位于试验区中部的塘沽验潮站抄录的。由此绘制的各测量剖面的潮高—潮滩宽度散点图,其形状虽不尽相同,但均属于二次曲线形(图4)。若用上述方程来拟合,其

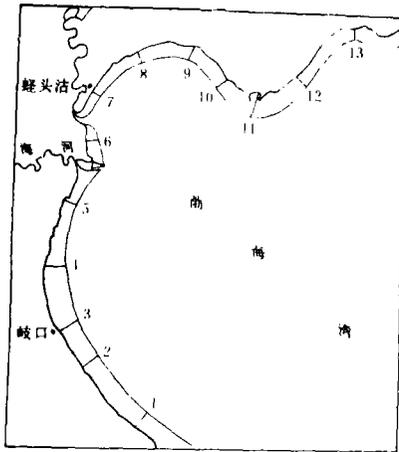


图3 渤海湾沿岸潮滩  
的卫片测量剖面位置  
(数字为剖面号)

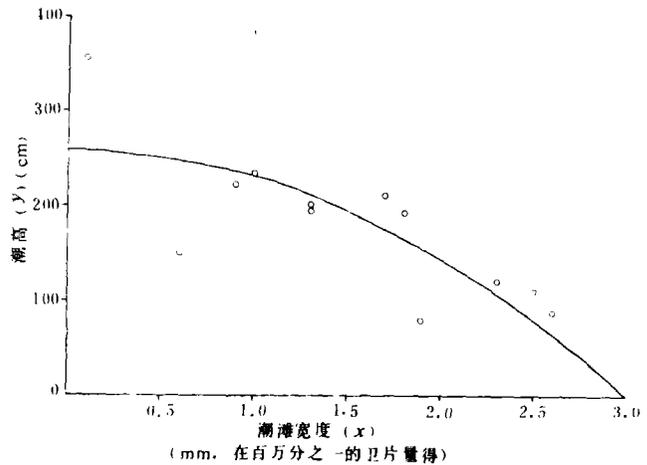


图4 渤海湾卫片测量剖面的潮高与潮滩  
宽度散点图及其拟合的二次曲线

相关系数均很高。除位于试验区南端的冯家堡附近的1号剖面,其相关系数  $R = 0.54$  外,其他剖面均在0.69以上,最高达0.96(表1)。若取方程中的  $y = 0$ ,  $x$  是潮高为零时的潮滩宽度。例如,1号剖面的回归方程

$$y = 212.33 - 7.71x^2$$

令  $y = 0$ , 则  $x = 5.248\text{mm}$ 。由于滩面宽度量自1/100万的卫片,故1号剖面的潮滩测量宽度为5248m。

上述回归方程还可用来计算潮滩的平均坡度。鉴于方程的曲线特征,我们采用潮滩中点的坡度代表潮滩的平均坡度。首先将回归方程的两边对  $x$  微商,得

$$y' = -7.71 \times 2x$$

该剖面潮滩中点的  $x = (1/2) 5.248\text{mm}$ , 代入上式

$$y'_{x=2.624} = -40.46$$

由于计算中的  $x$  和  $y$  采用了不同的长度单位,需加统一。若取  $m$  为单位,潮高  $y = 1\text{c} = 1/100\text{m}$ , 在1/100万的卫片上,潮滩宽度  $x = 1\text{mm}$ , 相当于实际宽度1000m。因此

$$y'_{x=2.624} = -40.46 (1/100000) = -4/10000$$

这里的负号仅表示滩面向海倾斜(即  $x$  值随  $y$  减小而增大),在表1中描述潮滩坡度时已舍去。

计算结果,以位于渤海湾湾顶附近的5、6、7、8号剖面的潮滩坡度最大,宽度最小。最宽的潮滩出现在3号剖面处(河北岐口附近)。

表 1 渤海湾各测量剖面的  $x - y$  回归方程及算得的潮滩宽度和平均坡度

剖面号	剖面位置	回 归 方 程	相关系数 $R$	潮滩宽度 (m) *	潮滩平均坡度**
1	冯家堡	$y = 212.33 - 7.71x^2$	-0.54	5 248	0.000 40
2	赵家堡	$y = 296.88 - 12.13x^2$	-0.88	4 947	0.000 60
3	岐口	$y = 297.44 - 6.75x^2$	-0.78	6 638	0.000 45
4	唐驹河	$y = 266.31 - 7.88x^2$	-0.69	5 813	0.000 46
5	驴驹河	$y = 327.64 - 41.84x^2$	-0.86	2 798	0.001 17
6	塘沽北(工农新村)	$y = 267.55 - 26.33x^2$	-0.83	3 188	0.000 84
7	蛭头沽北	$y = 258.83 - 28.76x^2$	-0.84	3 000	0.000 86
8	大神堂	$y = 256.25 - 42.35x^2$	-0.74	2 460	0.001 04
9	里沿子	$y = 321.99 - 18.54x^2$	-0.96	4 167	0.000 77
10	北堡	$y = 302.53 - 7.73x^2$	-0.95	4 256	0.000 48
11	南堡	$y = 268.12 - 6.17x^2$	-0.78	6 592	0.000 41
12	林雀	$y = 287.98 - 16.34x^2$	-0.86	4 198	0.000 69
13	柳赞	$y = 297.57 - 21.01x^2$	-0.94	3 763	0.000 79

\* 潮高  $y = 0$ 。

\*\* 以潮滩中点的坡度代表。

## (二) 与实测资料比较

若将上述算得的各测量剖面的潮滩宽度和坡度作成散点图(图 5 A), 可得知当宽度增大时, 坡度按指数递减, 两者的关系可用指数函数  $Y = 3533.34 \cdot X^{-1.032}$  拟合, 拟合度 85%。为了检验这些结果的可靠性, 我们用同一地区另外两种测量资料加以比较: (1) 从 1983 年测绘的海图中量计的潮滩宽度; (2) 1983 年渤海湾沿岸潮滩宽度和坡度的地面实测资料。

图 6 是卫片量计、海图测量和滩面实测的潮滩宽度和坡度的沿岸分布。它们具有共同的分布趋势, 即渤海湾中部潮滩的坡度最大, 宽度最小; 向两端作

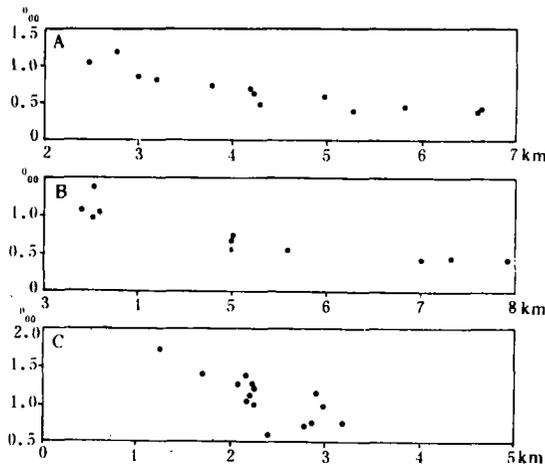


图 5 潮滩宽度与坡度的散点图

A——卫片量计 B——海图测量 C——滩面实测

反向变化。但是按数值而言, 卫片量计的与海图测量的比较接近, 互有高低。相比之下, 地面实测的坡度明显偏大, 宽度明显偏小。这是因为进行地面实测时, 受潮时及其他因素的影响, 往外未能达最低潮线之故。

从海图量计的潮滩宽度与坡度散点图(见图 5 B), 其图形与从卫片量计得到的非常相似, 其拟合的指数函数为

$$y = 30124.68 x^{-1.255}$$

拟合度为86%，若将各测量剖面的上述两种来源的宽度和坡度资料用方差分析的方法加以比较，其差异不显著（表2）。1983年的地面实测资料若也按上述函数拟合，其拟合度仅63%（见图5C）。

由此可见，用多波段和多时相卫片测量和计算的潮滩宽度和坡度可达到通过复杂的测量计算而绘制的海图所能达到的精度，而实际上节省了大量的人力和物力。

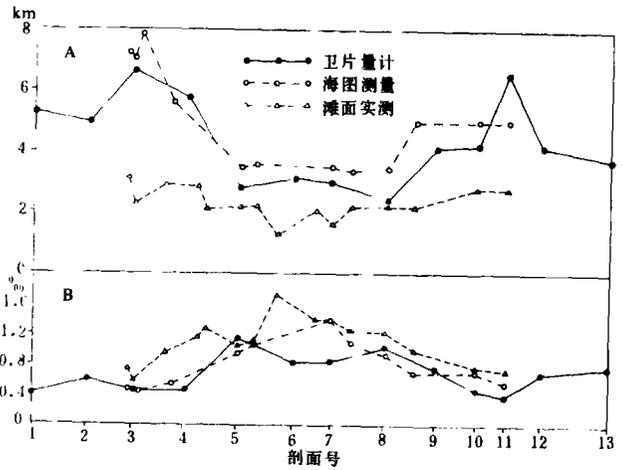


图6 渤海湾沿岸潮滩宽度（A）和坡度（B）分布

表2 由卫片和海图量计的潮滩宽度（x）和潮滩平均坡度（y）的方差分析

$x'_{卫} \left( = x_{卫} \cdot \frac{1}{100} \right)$	$x'_{海} \left( = x_{海} \cdot \frac{1}{100} \right)$	$x'^2_{卫}$	$x'^2_{海}$	$x'_{卫} + x'_{海}$
66	50	4 356	2 500	116
43	50	1 849	2 500	93
42	50	1 764	2 500	92
25	35	625	1 225	60
30	35	900	1 225	65
28	35	784	1 225	63
58	56	3 364	3 136	114
66	70	4 356	4 900	136
358	381	17 998	19 211	739

$$f_i = 16 - 1 = 15 \quad f_{海} = 2 - 1 = 1 \quad f_e = 15 - 1 = 14$$

$$s_i = (17 998 + 19 211) - (739)^2 \cdot \frac{1}{16} = 3 076$$

$$s_{海} = (358)^2 \cdot \frac{1}{8} + (381)^2 \cdot \frac{1}{8} - (739)^2 \cdot \frac{1}{16} = 33$$

$$s_e = 3 076 - 33 = 3 043$$

变动来源	s	f	MS	F
因子	33	1	33	0.15
误差	3043	14	217	
总	3076	15		

$$F'(0.05)(1, 14) = 4.6 \gg 0.15 \quad \text{差异很不显著。}$$

$y'_{卫}$	$y_{海}$	$y'^2_{卫}$	$y'^2_{海}$	$y'_{卫} + y_{海}$
0.11	0.58	0.168	0.336	0.99
0.48	0.70	0.230	0.490	1.18
0.77	0.71	0.593	0.504	1.48
1.04	0.97	1.082	0.941	2.01
0.86	1.41	0.740	1.988	2.27
1.17	0.97	1.369	0.941	2.14
0.46	0.57	0.212	0.325	1.03
0.45	0.41	0.203	0.168	0.86
5.64	6.32	4.597	5.693	11.96

$$f_i = 16 - 1 = 15 \quad f_{\text{回}} = 2 - 1 = 1 \quad f_e = 15 - 1 = 14$$

$$s_e = (4.597 + 5.693) - (11.96)^2 \cdot \frac{1}{16} = 1.35$$

$$s_{\text{回}} = (5.64)^2 \cdot \frac{1}{8} + (6.32)^2 \cdot \frac{1}{8} - (11.96)^2 \cdot \frac{1}{16} = 0.029$$

$$s_e = 1.35 - 0.029 = 1.321$$

变动来源	$s$	$f$	$MS$	$F$
因子	0.029	1	0.029	0.31
误差	1.321	14	0.094	
总	1.350	15		

$$F' (0.05)(1, 14) = 4.6 > 0.31$$

差异很不显著。

### (三) 潮滩横剖面形态解译

在各测量剖面的潮高—潮滩宽度的拟合曲线上还可读出一些有益的信息。弧形的曲线正好反映了粉砂淤泥质潮滩的剖面形态特征：中潮位以下的滩面，坡度较大，宽度随潮高的变化比较缓慢；中潮位以上，滩面坡度平缓，潮滩宽度随潮高迅速变化。因此，上述回归方程和拟合曲线可直接用来表示潮滩剖面的形态特征。在许多拟合曲线上还可见到一种有趣的现象：在  $x$  趋于零处， $y$  值突然增大。这意味着，当涨潮接近高潮位时，尽管潮高继续增大，潮滩宽度却基本稳定。这种现象反映了粉砂淤泥质海岸的地貌特征。在潮滩后缘的高潮位附近，或被波浪侵蚀出陡崖，或堆积形成贝壳堤，或是人工修建的海塘。它们的地形坡度明显大于潮滩。故当海水上涨到这些地物处时，潮滩宽度随潮高增大而微弱变化，使  $y$  值有突然增大之感。

## 四、讨 论

利用陆地卫星图像量计潮滩的几何形态，其费用比航空遥感方法低得多。但要使由此获得的潮滩形态资料达到一定的精度，还需要各种条件保证。其中除上面已经提到的，要收集尽可能多的、不同时相的、其成像时间比较均匀地分布在整个潮汐周期中的陆地卫星图像外，与潮滩宽度作回归分析用的潮高数据必须取自离测量剖面不远的验潮站，而且各测量剖面要尽可能处于相同类型的潮汐区中。前述的渤海湾13个测量剖面，以塘沽新港及新港以北几个测量剖面的相关系数最高，南部的较低（见表1）。这可能是由于所有测量剖面的潮高数据均取自塘沽新港的大沽验潮站，北部岸段的潮型与新港一样，属不正规半日潮；南部岸段却属于正规半日潮之故。若在试验区内有两个以上的验潮站，站间测量剖面的潮高数据可用内插法得出，能获得较高的精度。

利用陆地卫星图像量计潮滩的几何形态，不仅省钱，而且易行，有一些多时相的卫片，加上现成的验潮资料即可进行工作。根据多时相卫片统计取得的潮滩资料更具有多年平均的性质，更具有代表性。可以相信，这种方法将在粉砂淤泥质潮滩的监测和研究中作出越来越大的贡献。