

# 海湾内潮流 流速沿水深 的分布

秦 崇 仁

(天津大学)

究。查明污染状况, 全面掌握我国海洋环境质量。逐步开展外海水域污染调查与研究。

2. 加强海洋污染基本规律和生态效应的研究。近期应根据现场调查数据, 并结合部分实验参数, 围绕几种主要污染物入海途径、通量及其在环境中的分配, 提出流程图或概念模式, 指示不同污染物可能迁移途径, 以便进一步开展主要污染物在海洋-大气, 海水-淡水, 海水-底质界面交换及其动力学过程的研究; 开展主要污染物对生态系统的影响, 特别是污染物在食物链, 网上的积累、转移和代谢规律的研究, 以及低剂量污染物对海洋生态系统结构、功能的长期影响及其数学模型的研究; 根据不同海区环境条件, 进行污水稀释扩散的数值模拟研究。

3. 加强海洋环境科学新方法、新技术的研究。如航空、卫星遥感和电子计算机以及同位素技术在海洋污染调查研究中的应用, 污染水文物理模拟、生态模拟实验室和受控海洋生态系统污染现场实验装置的建立, 海洋监测、分析测试和技术装备的研究。

4. 开展海洋环境容量、自然净化能力以及海洋环境质量综合评价方法和综合防治技术的研究。

5. 大力开展海洋污染对水产资源及人体健康影响的调查与研究, 为制订海洋水质标准、渔业标准, 提供科学依据。

6. 人类活动、大型工程对海洋污染影响及防治措施的研究。

7. 海洋环境管理与政策、条法的研究和制订。

海洋科学和环境科学都是综合性很强的“大科学”, 领域广阔, 内容广泛。海洋环境科学是这两大科学渗透交叉的边缘学科。我国的海洋环境科学在实现四化的历史任务中, 必将广泛吸收各有关学科有益的知识 and 成就, 互相渗透, 相互融合, 不断发展, 不断提高, 逐步建立起一套完整的海洋环境科学体系。为保护海洋环境, 全面推动环境保护工作作出贡献。

若干学者在考察近岸地区的泥沙运动, 特别是推移质运动时, 认为在海底附近范围内的流速分布, 仍可用对数公式:

$$\frac{u}{u_*} = A \ln \frac{Y}{K_s} + B \quad (1)$$

式中  $u$  为理论床面以上  $Y$  处的时均流速,  $u_*$  为摩擦流速,  $K_s$  为粗糙长度;  $A$ 、 $B$  为常数, 在明渠稳定均匀流的情况下,  $A=2.5$ ,  $B=8.50$ 。

应该指出, 在潮流情况下, 并非全部时间都存在着对数型流速分布。Sternberg<sup>(1)</sup> 发现, 在美国华盛顿州各潮汐渠道中, 平均有 85% 的时间内出现对数型流速分布, 只在枯潮前后不存在对数分布。

Mehta 等人在联结墨西哥湾和 Boca Ciega 湾的潮汐渠道 John 和 Blind 通道进行了近底流速和底部摩擦力的测量, 明确提出, 只有满足下列条件时, 才能把宽浅明渠稳定均匀流的诸关系式应用于潮汐通道 (Tidal Inlet)。这些条件是:

1. 没有明显的密度成层现象, 即相对于潮楔体来说, 淡水迳流很小;
2. 潮汐振幅与平均水深之比不大 (John 通道为 3%, Blind 通道为 11%);
3. 宽深比相当大;
4. 忽略波浪所产生的紊动;
5. 对于底部摩擦损耗而言, 水质点的惯性影响可以忽略。

为考虑潮差和惯性力的影响, Mehta采用了两个判别式, 一是:

$$\frac{\Delta n}{n} = \left[ \frac{1}{6} - \frac{1}{(\ln \frac{h}{y_0} - 1)} \right] \frac{\Delta h}{h} \quad (2)$$

式中 $h$ 为水深,  $n$ 为满宁系数,  $\Delta n$ 和 $\Delta h$ 是 $n$ 和 $h$ 的小增量,  $y_0$ 是流速为零的 $y$ 值, 上式用来检查水深变化对满宁系数的影响。如果 $\Delta n/n$ 比较小, 则对于实际计算, 完全可以不必顾及潮差的影响。二是:

$$M = \frac{\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}}{\frac{f}{8h} \bar{u} |\bar{u}|} = \frac{h\rho \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}}{\tau_0} \quad (3)$$

式中 $\bar{u}$ 为垂线平均流速,  $\rho$ 为流体密度,  $\tau_0$ 为底部剪应力。 $M$ 反映惯性力对底部剪应力的比率, 当 $|M| > 1$ 时, 说明惯性力的作用较底部剪应力的作用大。John和Blind两个通道,  $|M| > 1$ 的时间均不超过20%。这表明, 在潮汐渠道中大约有80%左右的时间可以采用明渠稳定均匀流的公式。Mehta的测量结果证明, 在枯潮期以外, 底部以上1米范围的流速分布极好地符合对数规律。

值得探讨的是: 1. 明渠中, 只是在床面以上 $(0.15-0.20)h$ 的所谓内区, 对数流速分布是严格的, 而在 $(0.15-0.20)h$ 以上的外区, 则不再是严格的。那么, 在潮流的情况下是否也有这种现象呢? 2. 前面引证的资料均取自前进潮波的情况, 那么, 立波型潮波的情况又是怎样的呢?

1978年8月, 天津大学水利系与南海石油勘探指挥部联合在广西某海湾进行了为期半月的潮汐水文测验。

该天然海湾纵深25公里, 测验断面宽约2250米, 在两条垂线上做了全潮测验, 平均水深约10米。径流量为潮棱体的 $1/400-1/300$ , 所以可近似认为该海湾没有淡水径流汇入, 水

体不存在密度成层现象; 宽深比为 $1/225$ , 所以, 岸壁摩擦力已不能再影响施测垂线处的流速分布了; 在25公里范围内, 底坡 $i \leq 1/5000$ , 所以可以忽略海底床面对潮波的反射作用。从理论上讲, 如果忽略底床和岸壁的摩擦作用, 则潮波将受到海湾封闭端的全反射, 从而使前进型潮波变为立波型潮波。此外, 由于该海湾长 $L=25$ 公里, 而全日潮潮波波长 $\lambda=880$ 公里(水深 $h=10$ 米), 则 $L/\lambda$ 仅为 $1/35.2$ , 所以, 即使考虑底摩擦对潮波变形的影响, 潮波也不会失去立波性质。实测结果是, 流速与潮位的相位相差大约 $\pi/2$ , 即该海湾内的潮波几乎为典型的立波型潮波。

## 二

实测垂线流速分布曲线(图1)说明, 在立波型潮波中与在前进型潮波中一样, 最大时均流速并不发生在表面或表层, 而是发生在中层甚至中层以下; 转流自底部开始; 在转流前后, 近底流速梯度远较潮位通过平均海平面时的近底流速梯度为小。一般说来, 近底流速梯度也在做周期性变化, 这就告诉我们, 在浅水潮

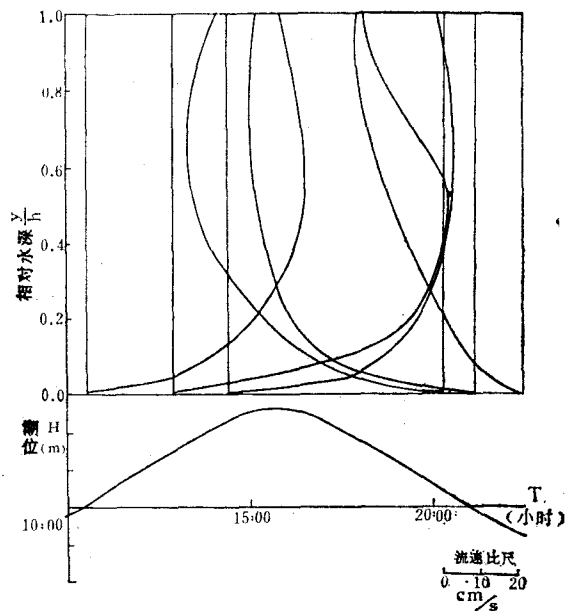


图1 垂线流速分布举例(8月16日2\*测线)

流中,紊动粘滞系数 $\epsilon$ 的推求是一个很复杂的问题。众所周知,对数流速分布的基本假定是:

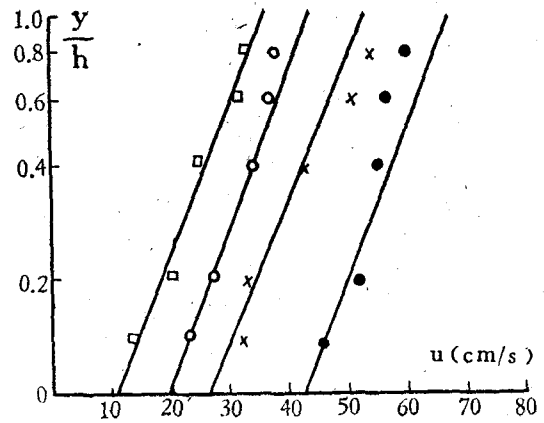
$$\epsilon = l^2 \frac{\partial u}{\partial y} \text{ 和 } l = ky \quad (4)$$

式中 $l$ 为混合长度, $k$ 为卡门常数。由于 $\frac{\partial u}{\partial y}$ 在做周期变化,因此看来, $\epsilon$ 不仅沿水深不应该是常数,而且在一个潮周期内也不会是常数。人们之所以仍然沿用传统的对数流速分布公式,其目的无非是试图通过一个简捷而比较成熟的途径,使工程问题获得解决。

### 三

该海湾是强潮海湾,施测期间,最大涨潮垂线平均流速为70cm/s,最大落潮垂线平均流速为88cm/s,最大涨潮测点流速为102cm/s,最大落潮测点流速为108cm/s。朔望潮潮差为4.77米,小潮潮差为2.60米,在这样的强潮海湾中,流速是否按对数分布呢?根据式(2)来判断,大潮时的 $\Delta n/n=1.5\%$ ,小潮时的 $\Delta n/n=0.8\%$ 。(计算中取 $k_s = d_{65} = 0.05\text{cm}$ ,理论床面 $y_0 = \frac{1}{2}k_s$ ,处的流速为零)可见,满宁系数 $n$ 对潮差变化的反应是很不敏感的。因此,在一个潮周期内,底部糙率的影响,可以认为是没有什么变化的。于是我们试图用对数规律来描述流速分布,看一看会出现什么结果。

图2分别为两条垂线上的实测流速 $u$ 与相对水深 $y/h$ 的关系曲线。显然,在海底以上大约 $0.4h$ 以内的水体中,流速沿垂线的分布可以由对数规律来描述,即在这个范围以内,可以假定混合长度正比于到海底的距离(即 $l \propto y$ ),但自 $0.4h$ 向上,则 $l \propto y$ 的假定已经不再适用了,而恰好在 $(0.4-0.5)h$ 处,往往是垂线上流速达到最大值的部位。如此看来,自床面至垂线上流速达到最大值的范围内,就工程目的而言,对数规律能满意地描述流速分布。鉴于在研究推移质运动时,人们主要关心的是近底流速分布,这一点是十分有价值的。如前所述,在近海或潮汐通道内的前进型潮波的情况



8月17日 2\* 0:12 ● 1:48 × 3:05 □ 6:25 ○

图2  $\frac{y}{h}-u$  关系曲线

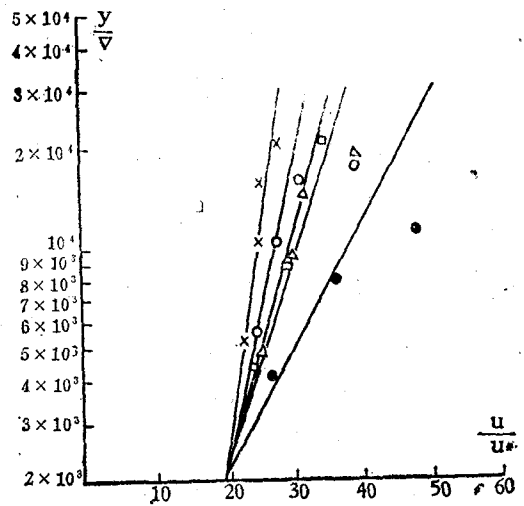
下,研究推移质运动,可以应用对数流速分布。现在,我们的分析表明,在立波型潮波的条件,近底流速同样是遵循对数分布规律的。

### 四

根据文献<sup>[1]</sup>所建议的关系式:

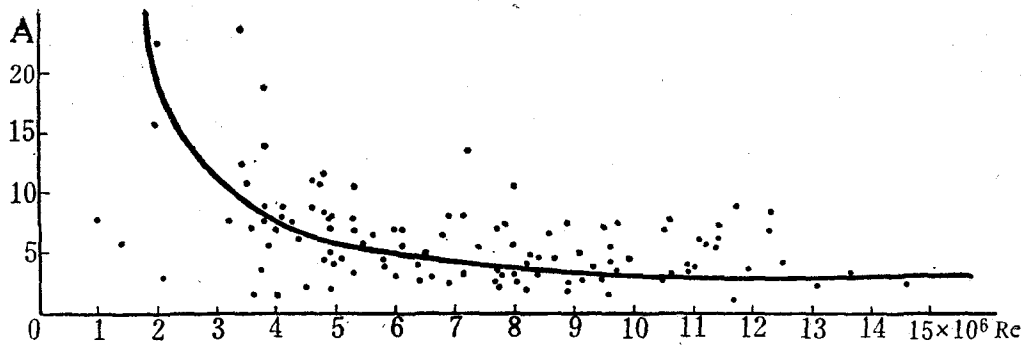
$$u_* = 5.3 \times 10^{-2} u_{100}$$

式中 $u_{100}$ 为底面以上1米处的流速,点绘了实测的 $u/u_*$ 与 $y/k_s$ 的关系曲线(图3)。从图



8月17日 5\* 20:07 ○ 21:07 ×  
22:07 △ 23:07 □ 24:08 ●

图3  $\frac{u}{u_*} - \ln \frac{y}{k_s}$  关系曲线



$$\frac{u}{k u_*} = A \ln \frac{y}{\Delta} + B$$

图4 A - Re ( $= \frac{\bar{u} h}{\nu}$ ) 关系曲线

中曲线，大致可以形成如下看法：

1. 在0.4h以上，测点值往往偏离直线较多。应该加以说明的是，实测点数据的测量并不是绝对同步的， $u_{1.00}$ 、 $u_{0.2}$ 、 $u_{0.4}$ 三个点的测值一般是在5—6分钟内测得的，因此，三个点的测值被认为是同步的，这多少会产生一些小小的偏差；在潮流中，流速又是随时变化的，所以，应该说实测点值与直线是相当一致的。但在0.4h以上，则必须寻找另外的流速分布公式了。这说明，在潮流中同样存在“内区”和“外区”，这两个区内的流速分布，即使从工程实用目的来看，也必须用不同的规律来描述。

2. 雷诺数 $Re$ 不同时， $A$ 值(直线的斜率)也不同。即在潮流中，对数流速公式(式(1))

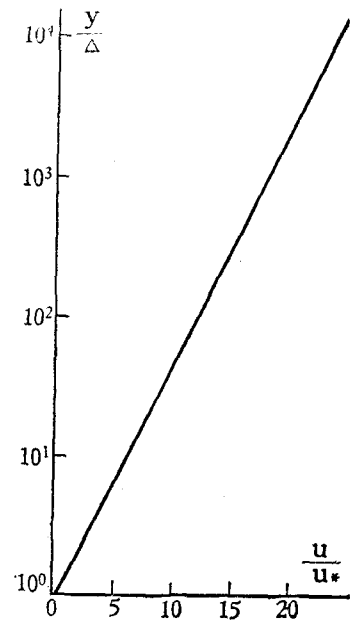
中的系数 $A$ 不是常数，图4为 $A-Re$  ( $= \frac{\bar{u} h}{\nu}$ ,

$\nu$ 为海水的运动粘滞系数)的关系曲线；当 $Re$ 较小时， $A$ 值随 $Re$ 值的增加而减小；当 $Re$ 足够大时， $A$ 值趋向于3.5—2.5之间的一个常值，因为 $A = \frac{1}{k}$ 。所以在这样的情况下，常数

$k$ 小于明渠稳定均匀流的 $k$ (卡门常数)。这是可以理解的。因为潮流是振荡流，在枯潮期间紊动旋涡的发展受到某种抑制，同时水流的加速运动可能损耗一部分紊动能量，因此，紊动旋涡的尺度可能比明渠稳定均匀流的旋涡尺度小。同样，混合长度也小。

可以推断出，因为 $Re$ 是随 $\bar{u}$ 而做周期变化的，所以从理论上讲， $A$ 值的变化(同样还有 $k$ 值的变化)也应该带有周期性。图4表明，随着 $Re$ 的增加， $A$ 值减小并趋于一个常值，则 $k$ 值逐渐增大并趋于常值。这一点描述了下面的物理图案：当流速较低时( $Re$ 较小)，紊动较弱；紊动旋涡较小，混合长度也小。这时，垂线流速分布很不均匀，上下层水体的交换很弱。反映在对数

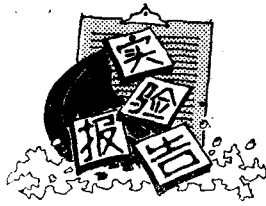
流速分布曲线上，则表现为直线的斜率 $A$ 值较大；流速较高( $Re$ 较大)时，则情况恰好相反，随着流速的逐渐增加， $A$ 值逐渐减小，说明垂线流速分布愈来愈均匀，上下层水体的交换愈来愈强烈；当流速增加到一定数值时( $Re$ 也达一定数值)，紊动旋涡的尺度就不再发展了；而且可



$$\frac{u}{u_*} = A \ln \frac{y}{\Delta} + B$$

$$A = 2.5 \quad B \cong 0.1$$

图5



# 部分国产铜合金在湛江港 的试验报告\*

洛阳铜加工厂中央实验室

中国科学院海洋所腐蚀组

铜及其合金不仅具有一定的抗海水腐蚀性，也具有一定的防海生物附着性能，同时多数铜合金在海洋环境中的应力腐蚀敏感性较小，所以铜合金是海洋开发中较为理想的材料之一。因而，世界许多国家对铜合金进行了大量海港挂片试验，积累了较系统的资料。我国生产的铜合金在海上进行试验的资料尚待丰富完整。我们选用了15种铜合金和一种镍铜合金(蒙乃尔)，在湛江港进行了一年的全浸试验，结果报告如下。

## 一、试验方法

### (一) 取材

从洛阳铜加工厂生产的铜合金中，选择如下16种：

五种白铜合金： $B_{30}$ ， $B_{19}$ ， $B_{10}$ ，128合金，蒙乃尔<sup>1)</sup>；

八种青铜合金： $Q_{Si13-1}$ ， $Q_{Be2}$ ， $Q_{Mn5}$ ， $Q_{Si11-3}$ ， $Q_{Al7}$ ， $Q_{Cd1.0}$ ， $Q_{Cr0.5}$ ， $Q_{Sn6.5-0.13}$

两种黄铜合金： $H_{Sn62-1}$ ， $H_{Sn70-1}$ ；

一种紫铜合金：TUP（加磷脱氧铜）。

以预料，A值发展的最终趋势，将是明渠稳定均匀流的A值，即 $A \rightarrow 2.5$ 。

3. 不仅对数流速分布公式中的常数A是随雷诺数 $Re$ 而变的，常数B（直线的截距）也是随 $Re$ 而变化的。考虑到文献<sup>(2)</sup>所提供的资料，在John和Blind两个通道，B值分别为8.65和8.60。在我们的情况下，如果取 $A = 2.5$ ，则B是一个不大的数值(图5)，约为0.1。

这一点说明，就不同的海湾或河口而言，A和B均有不同的数值。这提醒人们，在研究

合金的成份见表1。

### (二) 试验

把材料剪裁成 $100 \times 50 \times (1-3)$  mm (长×宽×厚度)的样片，用丙酮除去表面油污，然后在50%的硝酸溶液中除去氧化膜。样片经两次冲洗除去残酸后，吹干放入干燥器内，保存24小时。用分析天秤称重，每种合金为三片，安置在涂有防污漆的木框上。将该框垂直放入海水中，深为一米。浸后第八个月检查一次海生物附着情况，满一年进行最终检查。

取样时，先用清水慢慢冲洗，除去表面污泥，拍照记录。对每片生物附着的种类、数量、面积进行检查登记，同时记录腐蚀产物的特征，然后机械清除附着生物，酸洗、干燥、称重、检查腐蚀特征。

## 二、试验结果

### (一) 五种白铜的腐蚀特征与生物附着情况

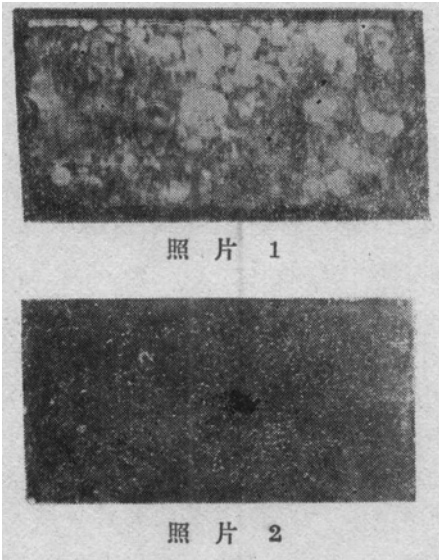
\* 本试验得到中国科学院南海海洋研究所湛江工作站腐蚀组的大力协助，谨致谢意。

1) 蒙乃尔为镍铜合金，这里把它与白铜放在一起讨论。

海湾、河口的泥沙运动中，如果采用对数流速分布公式的话，必须对系数A和B做出验证，以避免产生不能容许的误差。

4. 在强潮海湾或河口，做为能否应用明渠稳定均匀流诸关系式的判别式(2)，一般是可以得到满足的，因为 $\Delta n/n$ 的变化不会很大。但判别式(3)则与非强潮海湾有所不同。即在强潮海湾或河口， $|M| > 1$ 的时间相当长。在当时的情况下，阻力系数 $f \approx 0.011$ ，

1. B<sub>30</sub>: 浸海八个月, 已长满苔藓虫, 并附着少量藤壶, 见照片 1。满一年附着生物有减少。样板处理后, 表面均匀分布  $\phi 0.5-1.0\text{mm}$  的小麻点。两点之间的距离很小, 几乎相通。点的表面直径和点的底部直径几乎一样长, 最大深度为  $0.2\text{mm}$ , 见照片 2。



2. B<sub>19</sub>: 浸海八个月, 样板上仅有极少量的附着生物。满一年附着生物没什么变化。样板处理后, 表面光滑, 为均匀腐蚀。腐蚀深度为  $0.0330\text{mm}/\text{yr}$ 。

3. B<sub>10</sub>: 浸海八个月, 样板上有少量的附着生物。满一年苔藓虫附着面积增至  $96\%$ , 藤壶略有增加。除去海生物后, 样板表面光滑, 为均匀腐蚀。腐蚀深度为  $0.0263\text{mm}/\text{yr}$ 。

4. 蒙乃尔: 浸海八个月, 已长满藤壶。

若取  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = 0.0028 \text{ cm/s}^2$  (即  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = 10 \text{ cm/s/小时}$ ), 则只有当  $\bar{u}$  超过  $45\text{cm/s}$  时, 才能满足  $|M| \leq 1$  的要求。从 8 月 18、19 日涨潮(大潮)的实测资料看, 只有不足一半的时间能满足  $|M| \leq 1$  的要求。因此, 判别式 (3) 似乎可以改写为  $|M| < c$ , 而对于不同的海湾或河口,  $c$  可取不同的常值。

不过, 在研究海湾或河口的泥沙运动问题时, 人们感兴趣的是枯潮期以外的流速分布,

满一年附着生物无变化。样板处理后, 表面有严重的溃蚀, 形成坑状腐蚀洞, 腐蚀坑多出现在藤壶印下。蚀腐深度为  $0.0463\text{mm}/\text{yr}$ 。

5. 128 合金: 浸海八个月, 已长满苔藓虫, 还有一部分藤壶。满一年藤壶仅留  $10\%$ 。样板处理后, 表面光滑, 无任何局部腐蚀的痕迹, 腐蚀深度为  $0.0077\text{mm}/\text{yr}$ 。

## (二) 八种青铜合金的腐蚀特征与生物附着情况

1. Q<sub>S13-1</sub>: 浸海八个月,  $40\%$  的样面上被苔藓虫附着, 还有少量的藤壶。满一年观察的结果, 附着量基本不变。样板处理后, 露出腐蚀坑, 其中最大的直径为  $2.5\text{mm}$ , 坑蚀最大深度为  $1.5\text{mm}$ , 有缝隙腐蚀和冲击腐蚀现象, 见照片 3。腐蚀深度一般为  $0.0570\text{mm}/\text{yr}$ 。



2. Q<sub>Be2.0</sub>: 浸海八个月至一年均无大型附着生物。样板处理后, 表面光滑, 仅发现沿加工方向有腐蚀痕迹, 基本为均匀腐蚀, 在夹具处有缝隙腐蚀。腐蚀深度为  $0.0258\text{mm}/\text{yr}$ 。

3. Q<sub>Mn5</sub>: 浸海八个月, 只有  $2\%$  的样板面被苔藓虫附着, 满一年海生物附着面积

此时对数流速分布规律是肯定可以应用的, 因此, 不必再做出上述判断了。特别是在考察推移质运动时, 常常需要近底的流速分布, 这时采用对数规律是完全可以满足工程要求的。

## 参 考 文 献

- [1] Sternberg, R.W., Shelf Sediment Transport Process and Patten. p61—81.
- [2] Mehta, A.J., Byrne, R. J. and J. T. Dealteris, 1976. Coastal Engineering 2: 1701—1720.