

海洋工程地質

海洋地质情报专辑

2



地质矿产部南海地质调查指挥部情报室

1988

2236

封面设计：杨广泰

责任编辑 梁世容

海洋工程地质
(海洋地质情报专辑)

编辑者 南海地质调查指挥部情报室
印刷者 第二海洋地质调查大队印刷室
日期 一九八八年十月
地址 广州市1180信箱

目 录

与地震—声学有关的海底土工特征.....	(1)
西北太平洋沉积物的物理和土工特征.....	(14)
用地震波速测量法评价土壤固结特征.....	(35)
近海桩柱设计中的土壤不稳定因素.....	(44)
浅海平台位置及管道铺设工程物探调查的一般规范.....	(55)
充填结构和有效应力对剪切、压缩波速及沉 积物的动、静态模量计算的影响.....	(62)
根据北美微玻陨石层推断始新世与渐新 世界限的年龄.....	(71)
密西西比海底扇沉积物的固结特征及超 孔隙水压力.....	(80)
地震—声波波速及沉积物工程特征.....	(97)
近海区域工程地质填图.....	(105)
得克萨斯—路易斯安娜大陆坡深水地质和土 壤条件的工程意义.....	(120)
西北墨西哥湾晚第四纪陆架边缘三角洲.....	(129)

与地震—声学有关的海底土工特征

〔英〕Denzil Taylor Smith

〔摘要〕海洋沉积物的地震—声学现象的特征曲线经常与沉积物的土工特性相对应。因此压缩波的速率随深度的变化非常类似于固结试验中所见到的孔隙比随压力的变化，并且可以用来计算沉积物的单向压缩率。此外利用毕奥特模式，就可以由速度—孔隙度资料来确定渗透率，获得海底工程建筑物的沉降率。毕奥特计算要求有结构和剪切模量两方面的估量，剪切模量由现场测量剪切波速度获得。这个量是一个确定的土工参数，它特别提供了以有益于声波和土工相似为前提的土壤结构各向异性（或非均质性）程度。两者的相互关系由共振柱仪产生的应变速率和应变程度的校正曲线获得。

绪 言

很清楚，在水下环境，设计工程师和声学家的需要是非常相似的。除别的东西之外两者都在判断对策。一系列的技术测量，有助于分类和鉴定基础材料。工程师试图预测直冲击，周期性甚至长期负荷的应变和应力程度下材料的性能。声学家使用相同性能的材料，目的在于通过使用某些多孔介质样品，它们根据毕奥特的不同方程来推断地震声波的传播现象似乎是最方便的。

遗憾的是，对于预测值来说，表面材料在分布和它们的相关性质上经常是多变的。甚至在明显的均质区，在饱和（孔隙水被气体置换）状态下的变化和在大小规模上的非均质效应可以导致在负荷（不管是静态或动态）状态下复杂的性能的变化。泥岩中薄夹层的出现（或其它强的基底）可能潜伏着滑动面；泥岩层中的砂和粉砂夹层，排水常常受阻，可能导致超孔隙压力积累面产生基底破裂。这种非均质性对于地声学家来说同样是可怕的，多次反射的干扰与地震学家假象的底部反射和透射一致。

对于大多数资料，在质和量两方面，土工工程师可以利用地球物理技术获得，尤其是通过对地震波速和电性地层因素测量获得，尽管这种因素有助于声波阻抗的增加。实际上，在地震声波法方面，目前常见的是数字资料采集，并带有一系列的处理技术，因而更为有效，使大量的定界能够标在各种各样的沉积物边界和横向分布图上。气囊清楚地显示在记录上。根据返回信号相位的相互关系经常可以证实薄的泥岩层。处理技术同样可以提供压缩波速和声波阻抗的垂直“测井曲线”。相似的资料也可以从井下，联络巷道、井内炮眼测量获得；重要的是这种技术可以直接提供密度和剪切波速的估算值。当还没有正式生产实践时，一些组织（如英国地调所）提供一系列设备用于地震波速和电

性地层因素的海底测量。另外还介绍了海底测量剪切波速的技术，Kiel大学似乎在剪切波剖面方面取得一些成就。

可是存在着一个难题：为了提供土工设计参数，对收集到的地球物理资料的解释要求使用一个可行的地震一声波模式（如毕奥特）；为了解不同的方程，可行的地震声波模式需要相同的土工参数。对于土工和地震声波来说，十分重要的参数可能是沉积物压缩率和渗透率的观测值。这些需要分别考虑毕奥特模式和固结理论，从而找出有用的相互关系。

毕 奥 特 模 式

许多专家（最近有Ogushwitz）已经用一些数学法对毕奥特理论进行精确地研究。这里大部分定义所包含的参数仅是粗略的测定。对于均度多孔体，它是根据下列的应力—应变关系：

$$\sigma_x = X \Delta - 2G(\epsilon_y + \epsilon_z) - Y \zeta$$

$$\sigma_y = X \Delta - 2G(\epsilon_x + \epsilon_z) - Y \zeta$$

$$\sigma_z = X \Delta - 2G(\epsilon_x + \epsilon_y) - Y \zeta$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$$

$$\tau_{yz} = G\gamma_{yz}$$

$$\tau_{xz} = G\gamma_{xz}$$

$$\lambda = Z \zeta - Y \Delta$$

这里 σ 和 τ 是法线和固体骨架部分的剪切应力； G 是剪切模量； λ 是孔隙水压力； ϵ 和 γ 是相应于施加的应力和反应变组分。体积应变或膨胀由下式得出。

$$\Delta = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z$$

ζ 是“相关膨胀”，表现在由于流入和流出组分容积引起的流体容积的变化，表达式为：

$$\zeta = n(\Delta - \xi)$$

这里 n 是孔隙度， ξ 是流体的绝对膨胀。

参数 x 、 y 和 z ，有压力单位，各自有一个沉积物的弹性模量，并且可能与使用在流体—饱和多介质中应力和应变相关的理论组分的压缩率有关。所有专家得出其相互关系，基本上是恒等的：

$$X = \frac{(1-R)^2}{(1-n-R)C_s + nC_w} + \frac{1}{C_f} + \frac{4G}{3} \quad (10)$$

$$Y = \frac{(1-R)}{(1-n-R)C_s + nC_w} \quad (11)$$

$$Z = \frac{1}{(1-n-R)C_s + nC_w} \quad (12)$$

这里 C_f 是骨架的压缩率, C_s 是组成骨架的固体材料的压缩率, R 是 C_s/C_f 的比率, C_w 是包含在骨架空隙间的流体 (通常是海水) 的压缩率。

如果应力—应变方程与流过多孔介质的达西方程和牛顿第二定律导出的运动应力方程相结合, 就得到两个不同的方程, 它们决定了通过介质膨胀 (压缩) 波的传播:

$$\nabla^2 (X \Delta - Y \zeta) = \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\rho \Delta - \rho_w \zeta) \quad (13)$$

$$\nabla^2 (Y \Delta - Z \zeta) = \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\rho_w \Delta - m \zeta) - \frac{\mu}{k} \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (14)$$

在这方程中, ρ 是体系中的容重, 由下式得到:

$$\rho = (1 - n) \rho_s + n \rho_w \quad (15)$$

ρ_w 是流体密度, μ 是流体粘度, k 是单位面积渗透系数。参数 m 有密度的量纲, 由于颗粒形状相互连接的方式和空隙的顺向形式的关系, 因此, 参数 m 的解释并不是所有流体运动在一般方向的压力梯度上。这个参数可以被写成:

$$m = \frac{b \rho_w}{n}$$

这里 b 是一个质量耦合系数, 它必须比单元大的量值。Stoll 指出 b 值必须通过实验确定, 通常用模拟试验。他使用大小为 1.25 的粗粒物质, 如砂和 3.0 的粘土。Berryman 主张 b 可以理论上确定, 虽然他的公式的成分要求一个骨架—流体相关的微观研究。由于结构因素是由毕奥特提出用于解释孔隙的弯曲, 布朗得出一个类似于在多孔介质中电子弯曲通过地层因素的 F —孔隙度—渗透率的结果。

$$b = F n \quad (17)$$

把方程 (13)、(14) 合并成:

$$\Delta = A_1 \exp \left\{ i (\omega t - I x) \right\} \quad (18)$$

$$\text{和} \quad \zeta = A_2 \exp \left\{ i (\omega t - I x) \right\} \quad (19)$$

这里 ω 是外加地震波的角频率, I 是波数。波速为:

$$V = \omega / I \quad (20)$$

毕奥特的分析考虑了泊肃流有效的低频范围内方程的解, 并且把它延伸到泊肃流无效的高频范围内。后者的分析要求引进一个复杂的通过无量纲比率 ω / ω_c 的频率的粘度校正, 这里 ω_c 是在研究中的材料的一个特性角频率。这个效应的全部估算包括一个复杂的开耳芬函数的应用, 这个函数要求一个孔隙空间的量纲的详细说明。由于严格的数学处理需要有关沉积样品的资料, 而要获得这些资料是十分困难的, 甚至是不可能的。因此, 这里所说的是 Geerstma 和 Ishihara 提出的近似解, 特别是前者处理简单化, 并且与

大多数海底沉积物的实验资料一致，这在后节中作出图解。近似解利用了两个速度：“零频率速度”，施加频率比材料的特性频率要低得多，“无穷频率速度” V_{∞} ，这里施加频率比特性频率要高得多。因而沉积物压缩波速率 V_P 为。

$$V_P^2 = \frac{V_{\infty}^2 + V_0^2 (\omega_c / \omega)^2}{V_{\infty}^2 + V_0^2 (\omega_c / \omega)^2} \quad (21)$$

这里 $V_0^2 = \kappa / \rho$ (22)

$$V_{\infty}^2 = \frac{Z \rho + X m - 2 Y \rho_w}{m \rho - \rho_w} \quad (23)$$

$$\omega_c = \mu \rho / k (m \rho - \rho_w) \quad (24)$$

如果不用面积单位而用速度(ϕ)单位，那么渗透系数被改写为：

$$k = \phi \mu / g \rho_w \quad (25)$$

$$\omega_c = g n \rho / \phi (b \rho - n \rho_w) \quad (26)$$

给出沉积物中渗透率范围，特性频率范围是从大约100KHz(砂)到100MHz以上(粘土)。

因此总的来说，为了预测海底沉积物的压缩波速，需要下列(主要是土工)的量。

- (a)、结构、固体和流体的压缩率 C_f 、 C_s 和 C_w 。
- (b)、剪切模量 G ；
- (c)、沉积物的孔隙度 n ；
- (d)、固体和流体密度 ρ_s 和 ρ_w ；
- (e)、渗透率 ϕ ；
- (f)、质量耦合系数 b 。

固 结 理 论

土工意义上的固结是指在压缩负荷下海底沉积物体积的缩小。这种负荷即可以由某些工程建设产生，也可以是上层覆盖物本身聚积的积土压力产生。两种情况最终结果是沉降，有两种类型的沉降(图1)：

(1) 初始沉降 沉积物一旦承受施加负荷，并为矿物骨架和孔隙流体所支撑，就产生了初始沉降。这种沉降引起骨架结构的轻微变形，但流相实际上是不可压缩的，因此没有发生真正的变形，总负荷将由流体所支撑。

(2) 固结沉降(与时间有关的)

(a) 初始或水压固结作用，有受土中孔隙水的逸出所控制，其结果会导致体积的变化。

(b) 二次固结作用通常是在初始固结作用停止，延续一段时间之后发生，其结果是固体颗粒的重新排列和变形。

北海海底上的 Ekofisk 油罐平台是沉降的一个典型例子（图 2）。假如介质是弹性、各向同性、均质的，那么施加负荷引起的沉积物体的总沉降量可以由弹性理论导出。

表面上适应于多数基础计算的近似值得出沉降（速率） S 为：

$$S = PRA/E \quad (27)$$

这里 P 是施加的负荷， R 是负荷区的半径， E 是杨氏模量， A 是与泊松比 ν 直接相关的常数。

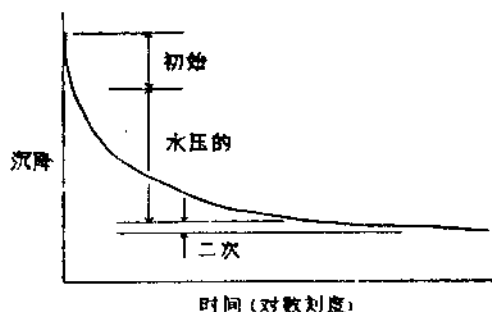


图 1 固结作用中时间与沉降量的关系

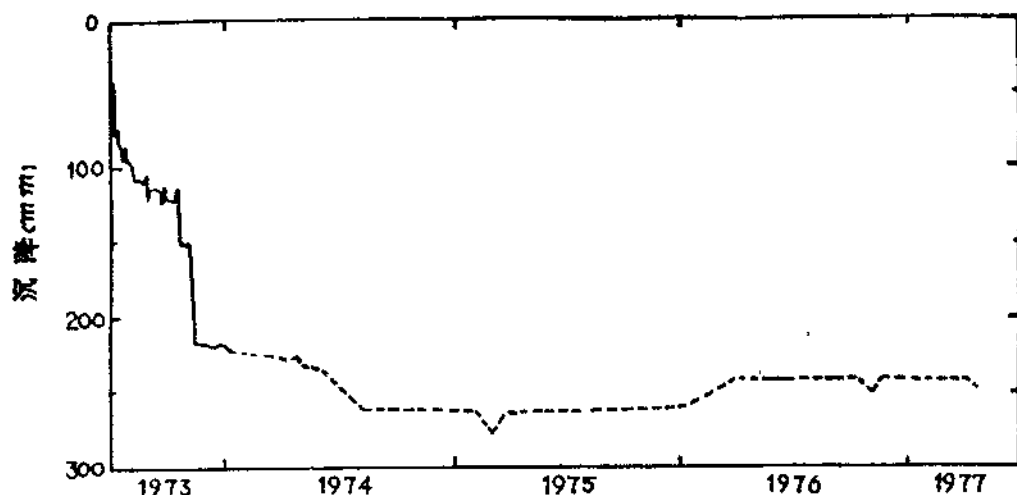


图 2 Ekofisk 油罐的时间与沉降量的关系

通过现场测定 E 和 ν ，就可以利用方程（27）确定沉降量（速率），其正常的与时间有关的特性由实验室的单轴沉降试验测定。在试验中有一个圆柱体的材料在轴向应力下产生线性变形，负荷初始是由孔隙水支承，然后，样品里的水流出，从而使负荷逐渐地转移到骨架上。排泄的结果是：时间增加，超孔隙压力就发生变化。从而导致了样品体积的变化，表现为受压迫的圆柱体表面的轴长减少。每个负荷被施加到当超孔隙压力减少到零时，则出现总压力等于效应力。“100%的初始固结”取决于土层的厚度，压缩率和渗透率；其时间关系式由超孔隙压力的微分方程来定义：

$$C_v d^2 u / d z^2 = du / dt \quad (28)$$

这里 C_v 称为固结系数，它与其它参数有关。

$$C_v = \phi / m_v g \rho_w \quad (29)$$

这里 ϕ 是在毕奥特理论中已经定义的渗透系数； m_v 是单轴压缩率； ρ_w 是孔隙水密度。其中对地震声波特别有意义的是单轴压缩率；它是弹性模量—约束模量 1 的倒数，来自应力—应变曲线的斜率，通常作成施加压力的对数与孔隙比关系（图 3）。约束模量在理论上恒等于由所定义的压缩波速的弹性系数的组合，而压缩波速是由标准波方程的解获得。其中对毕奥特模型制作者有意义的是应力—应变曲线的减压部分。一旦达到“100%初始固结”阶段，由一定压力下的无负荷样品就可获得减压部分。由于在这阶段不存在超孔隙压力，因此减压曲线与骨架的弹性回弹有关，它的

斜率必定提供一个在这个压力下骨架压缩率的值。这一点将在剪切波一节提到。

另一种确定沉积物固结性能的方法是通过研究在选定沉积土柱深度的覆盖物质的水下容重来建立孔隙比—压力曲线。这是 Terzaghi 的沉积—压缩曲线，也可能是从 Skempton 讨论的方法得来的。为了利用这种方法，图 3 通过下式计算得出 D S D P 红粘土试验的等值深度。

$$P = \rho_b g z$$

这里：

$$\begin{aligned} \rho_b &= \text{浸水密度} = \rho - \rho_w \\ &= (\rho_s - \rho_w) / (1 + e) \end{aligned}$$

因此，不管使用哪一种方法，固结曲线表现为孔隙比 e （或孔隙度）随沉积土柱的深度变化。由于在压缩波速和孔隙度之间存在着时间—载荷的关系，因此期望在固结作用上显示的梯度在速度项里将与其本身反映的相同。

速度与固结作用的关系

有关海洋沉积物中压缩波速梯度的文献是值得重视的（如 Hamilton）。这些资料已经从现场地震折射、反射试验和实验室或船上长岩心的测试等各种各样的技术中获得。Oguahwitz 在对毕奥特模式的适应性的详细研究中，根据模式把这些实验值与预测值做了比较。估算技术要求有关于孔隙度随深度变化方面的资料。为了这个目的，根据 D S D P 样品的实验分析，应用 Hamilton 回归方程得出五个不同的类型：

$$n = 0.720 - 0.816z + 0.361z^2 \quad (\text{陆源的})$$

$$n = 0.720 - 0.987z + 0.830z^2 \quad (\text{钙质的})$$

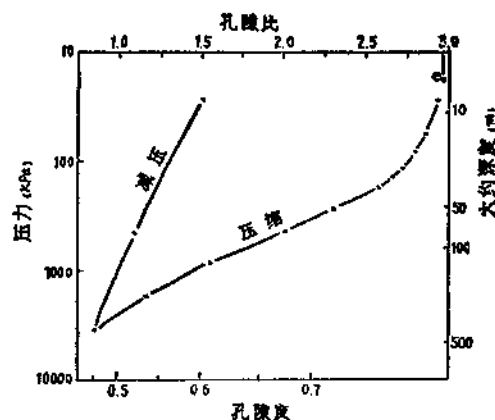


图 3 D S D P 红粘土样品固结作用
应力—应变曲线

$$n = 0.814 - 0.813z - 0.164z^2$$

(深海粘土)

$$n = 0.900 - 0.016z - 3.854z^2$$

(放射虫软泥)

$$n = 0.861 - 0.549z - 0.492z^2$$

(硅藻软泥)

这里深度 z 是公里, 有意义的是用在图3作固结试验的DSDP红粘土样品具有下列孔隙度深度关系:

$$n = 0.765 - 1.236z + 1.229z^2$$

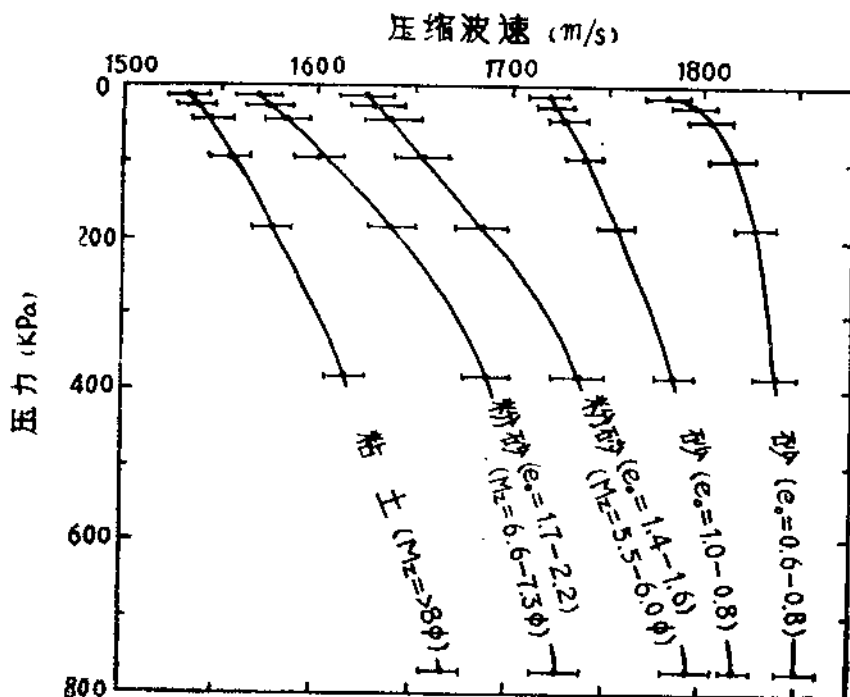


图4 压缩波速随有效应力的变化

Hamdi在固结作用与速度相互关系的综合检验中(由在固结作用试验期间连续测量压缩和剪切波速获得)证明随有效压力变化的速度同样可以分成五类(图4), 对于所有样品, 速度随孔隙比的变化是有效应力的函数(图5)。后者的相互关系表明, 随着孔隙比的减小, 速度的增长率随上覆压力的增加而减少。所以, 对于任何均质的沉积土柱, 速率随深度增加而增加, 而梯度则随深度的减少而减少。这与Ogushwitz的结论相矛盾, 结论中预测梯度随深度增加而增加; 对于钙质泥, 从沉积土柱顶部的 0.4 S^{-1} 到300米的

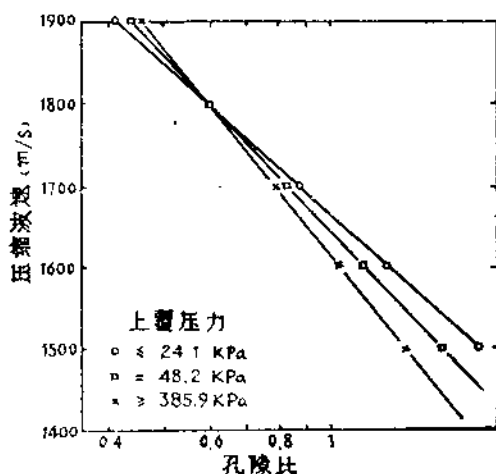


图5 对于不同有效应力压缩波速随孔隙比的变化

1.1 s^{-1} 是增加的, 以后是减少。Ogushwitz 的砂岩预测值取决于假设的孔隙度值, 对于 0.4 的恒定孔隙度, 从接近海底的大约 5.0 s^{-1} 到 20 米的 1.4 s^{-1} 到 400 米的 0.3 s^{-1} 有一梯度递减, 但随深度增加而减少的孔隙度产生一个实际上与钙质粘土相同的递增梯度。有一些观测支持速度梯度随深度增加而减少的观点; 除了 Hamilton 的评述以外, Lovell 和 Ogden 测的梯度值与 Ogushwitz 的相似, 不同的只是梯度随深度增加而减小; 在陆相的饱和牛津粘土上 Davis 的井底测量例外地产生高的起始梯度, 并随深度增加而迅速下降。图 6 反映的是择自 Hamdi, Davis, Lovell 和 Ogden 以及 Ogushwitz 的资料。不管采用哪位作者的结果或预测, 很清楚压缩波速是随深度增加而增大, 并且这种增大不可能单独用固结作用来解释(即由于孔隙度或孔隙比的减少)。情况很可能是这样, 近海底沉积物在快速固结过程中有很大的梯度, 但对于砂类沉积物来说, 随着深度的增加孔隙度的整体变化(由于上覆压力增加的结果)就变得很小, 以致不能说明它的梯度。反映在牛津粘土的 Davis 钻孔测量表明近表面陡峭的斜率可能是顺高超固结粘土侵蚀面压力释放回弹的结果。因此, 看来产生速度梯度的主要原因是沉积土柱上沉积物骨架的刚性随深度增加, 这种刚性增加被认为可能是由许多因素造成的, 其中有有效应力, 化学键, 甚至自身重要的地质时代。

在任何有关沉积物固结作用和压缩波速的预测过程中, 虽然对完全或部分胶结作用和地质年代都难以解释, 但与有效应力(图 4)和孔隙比(图 5)相关的速率的确可以对孔隙比—有效应力曲线作个预测。

这样的预测要求 (a) 利用精确的地震折射、反射法或是钻探技术在海底进行压缩波速的现场测量; (b) 通过测量电阻率以及利用图 7 的曲线, 现场确定原始孔隙比;

(c) 利用抓斗采样确定海底沉积物粒度的图解平均值。有了这些资料就有可能建立起需要的曲线。图 8 是利用 Cernock 的资料做出的预测和实测应力—应变曲线的一个例子。表 1 反映的是利用这种方法对几个不同样品进行预测和实测的单轴压缩率的比较。

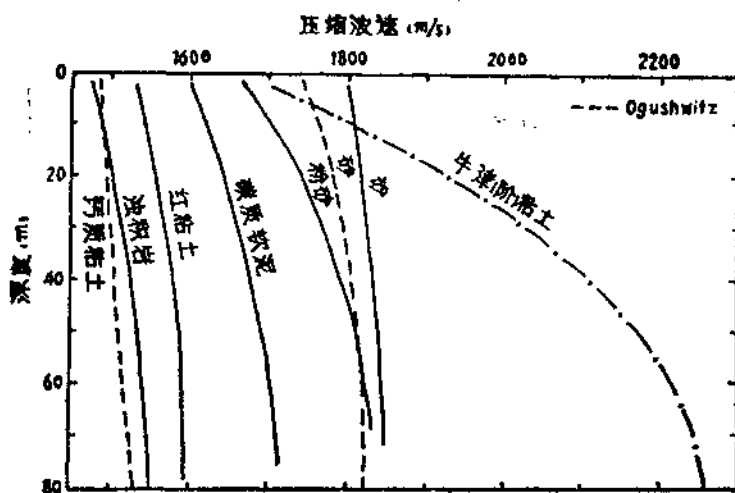


图 6 在沉积物中, 近海底压缩波速随深度的变化

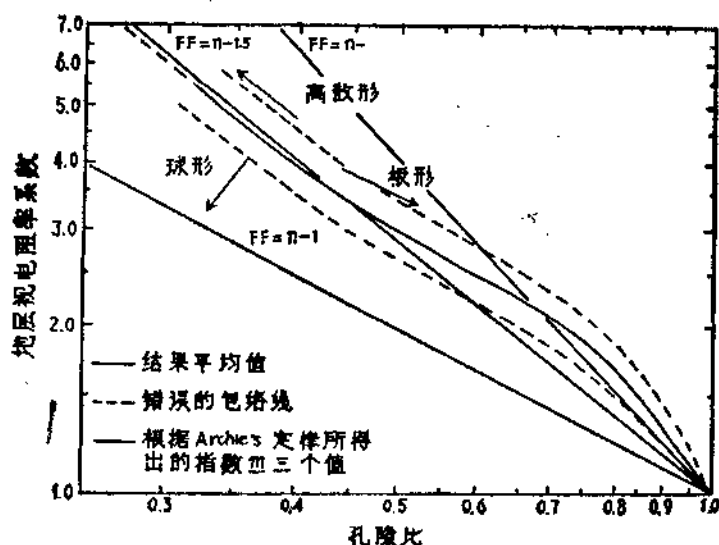


图7 整个沉积物范围（砂—粘土）的电性地层因素—孔隙度关系

表1. 不同沉积物样品预测和实测的单轴压缩率 ($10^{-7} \text{m}^2/\text{N}$)

土 层 类 型	e_0	预 测	实 测
砂	0.83	2.1	1.8
粘 土	1.65	3.9	3.7
粘土质砂	1.34	4.1	3.4
粘 土	1.71	4.1	3.6

为了完成固结过程的研究，需要通过计算固结系数，来建立沉降量—时间关系，并且要求知道渗透率，这个量可以通过已经建立的经验公式推测出，或从地震—声波模式中计算出来。后者的计算需要测量沉积物的剪切波速。

当固结作用和压缩波速之间存在亲合性时，土工观点认为最定性的地震参数是材料的剪切波速。说明这不能忽略考虑地震衰减的重要性，特别是地震区，而且在土工现场测量中使用剪切波速获得如此成功，以致现在已经成为大型建筑（如水坝、核电站）设计所要求的参数之一。

在民用工程中，剪切波的有用性在于它本质上确定剪切模量 G 及其方向性的变化，特别是随着深度的变化，所以，计划建筑的实施方案能够被预定下来。图9、10和11是这种深度变化的例子。这些例子表明：近地表物质（砂、软泥或超固结粘土）在均匀介质中，在刚开始的几十米速率迅速增加。在均质砂中，图11中压力计的数据显示出相同的趋势。非均质性极化方向的灵敏性清楚地反映在图10中。

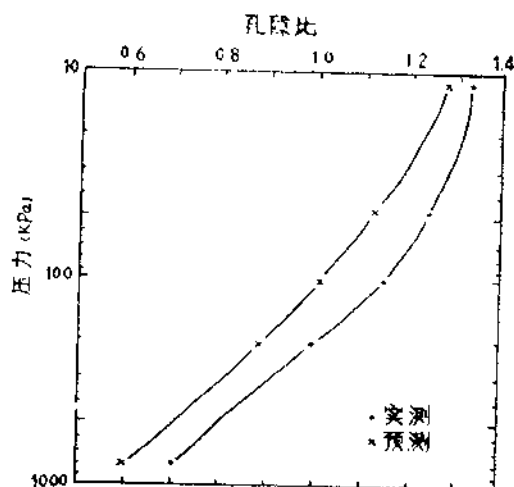


图8 预测固结作用的应力—应变曲线Cernock实测资料的比较

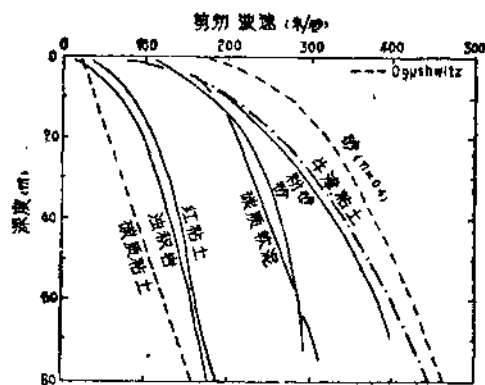


图9 近海沉积物中剪切波速随深度的变化

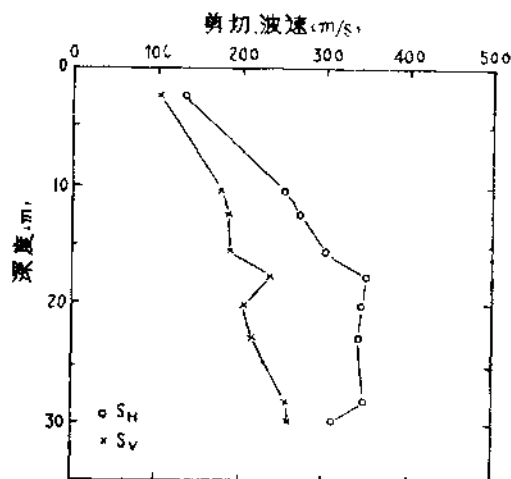


图10 剪切波速在超固结的London粘土中随深度变化的非均质性

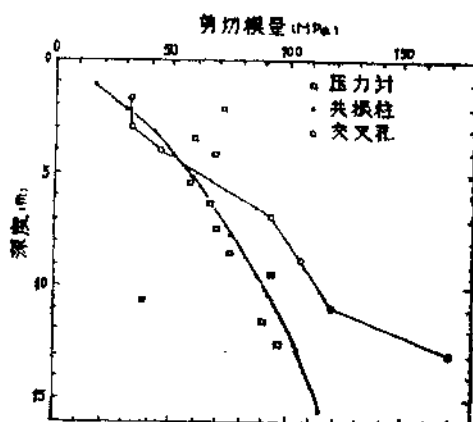


图11 共振柱预测剪切模量深度变化与现场压力计和地震测量的比较

由于剪切波速的大小从根本上与沉积骨架的刚性有关，与其它的原因无关。因此，梯度的起因一定与控制骨架连结的因素有关。无可置疑，有效应力是近表沉积物在这种深度产生这样大的梯度的主要因素。这种控制，有意思的例子是经过液化现象研究得到的。图12反映的是圆柱负荷效应，这里介质的渗透率是这样的：每个加负荷形成的超孔隙压力在负荷再施次加之前没有足够的时间去扩散，这就导致孔隙压力随着有效应力渐减少至零而增加。在这种情况下介质没有抗剪力，液—固混合体就会变成悬浮体，表现为液体一样。当这种现象发生时，由于它可以经常在海底发生，因此，基础就失去了支撑建造在它上面的建筑物的能力从而遭到严重损坏，当这种液化点上的剪切波消失，沉积骨架就完全塌陷。

与压缩波形成对照的是没有明显把各种沉积物分成顺从同类速度梯度的组。对于大多数沉积物，有些幂次定律得到承认，但指数可以从0.25变化到0.05；这似乎与材料的类型没有关系。例如Lovell和Ogden研究的D S D P红粘土样品有下列两种梯度：

$$V_s = 58.1127 Z^{0.2484}$$

$$V_s = 20.4994 Z^{0.4498}$$

Ogushwitz预测提出线性梯度范围是：砂层从沉积物—水界面的 $2.8s^{-1}$ 到500米水深的 $0.9s^{-1}$ ，粘土层在相同的深度上范围从 $2.4s^{-1}$ 到 $0.7s^{-1}$ 。可是，Hamdi和Lovell和Ogden认为表层沉积物有较高的线梯度，前者对表层砂测量的梯度达 $20s^{-1}$ 。有趣的是对于超Davis获得了超固粘土定向线性梯度：

$$V_s = 122 + 9.21 Z \quad (\text{平行于层面})$$

$$V_s = 84 + 16 Z \quad (\text{垂直于层面})$$

第一式相似于Hamilton的浅层粉砂—粘土和油积岩的方程：

$$V_s = 116 + 4.65 Z$$

很清楚、剪切波速随深度变化的经验方程完全是可变的。特别是对于近海底沉积物，那里对于土工和地震声波传播的研究是非常重要的。在深度上，大多数沉积物都有相似的梯度如图9所示。

由于确定了剪切波速在土工设计中的重要性，每一作用又可以反过来检验毕奥特模式预测的压缩波速值。正如早期指出的，计算中的重要参数是沉积物骨架模量和剪切模量。这两个量直接取决于沉积结构，也与所含流体有一点关系，与下式的关系为：

$$B_f = 2(1 + \nu)G / 3(1 - 2\nu)$$

Stoll认为由于泊松比的限 ν 度范围为0.1~0.2，因此 B_f 可以大致作为 G 。当有多种方法

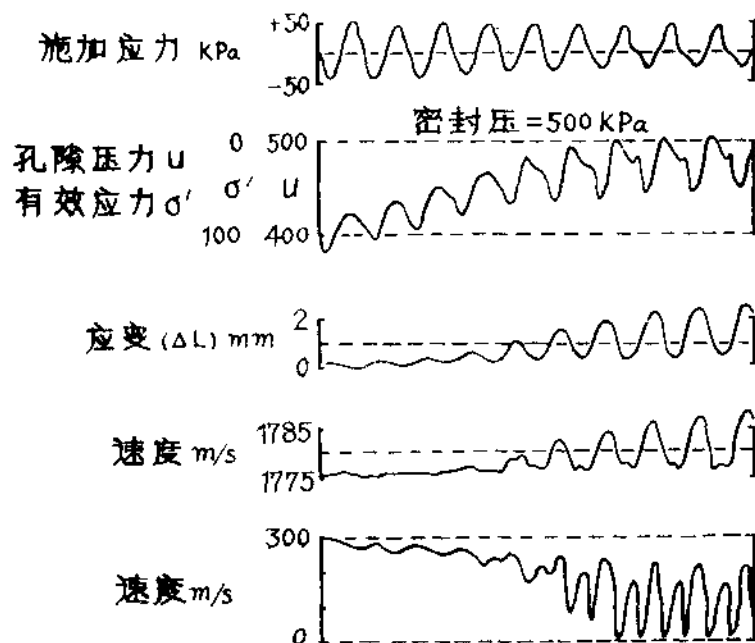


图12 周期负荷在均质砂上的效应

获得G时，满意的一种是通过测量剪切波速，它偶然可以提供骨架模量的估算值。图13反映的是剪切波速随骨架模量的变化，它从孔隙比—压力曲线的减压部分(图8)获得，最合适于这些数据是：

$$B_1 = 0.0005 V_s^{2.1}$$

$$\text{但 } B_1 = 0.001 V_s^2$$

也将很合适。这对在土工研究方面的重要性怎样估计也不会过份，这一点在渗透率预测时可以看到。

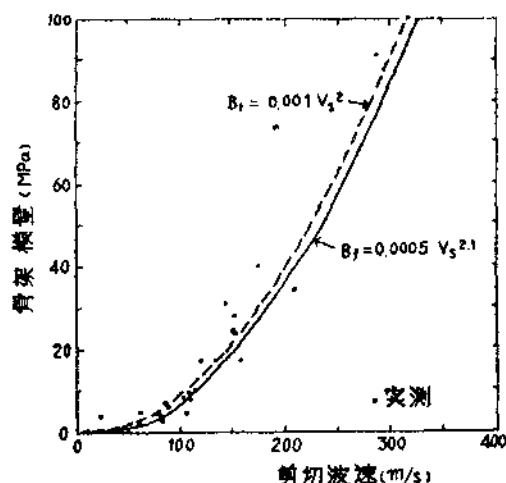


图13 来自固结作用减压曲线(见图8)的骨架模量与沉积物剪切波速的关系

渗 透 率

如前所述，沉积物的渗透率在任何土工设计因素方面明显是一个重要参数。但这个参数同样在毕奥特模式中也是最基本的，这个量比任何其它量更使声学模式制作者和设计工程师陷于困境；前者需要这个量解毕奥特方程式，而后者需要一种(地震—声波)技术来测量现场渗透率的量和它的变化。有一种方法，利用方程21—26，可现场测量地震波速和电阻率。

电测适应于海水电阻率校正，它将提供一个地层因素值，这个值又根据图7提供孔隙度值，孔隙度由方程15求出密度值。有了地层因素值，可从方程17求出质量耦合因素估量值。剪切模量和骨架模量可以从能解方程22的剪切波速计算出来。对于低渗透率的粘土，特征频率 ω_c 总是比外加频率 ω 高得多，“零频率速率” V_0 将大致与测量的压缩波 V_p 的值相似。两种速率的差异(即现场测量的压缩波速和预测的“零频率”速率)将随渗透率的增加而增大，它们之间的关系在所有深度都是相同的(图14和15)。图15同样反映渗透率的预测值，它是从方程21和26结合计算出来的。由于输入资料的不准确而有一定的误差范围：

$$\phi = -\frac{ng}{\omega} \left\{ -\frac{\rho}{b\rho - n\rho_w} \right\} - \frac{V_0^2}{V_\infty^2} \cdot \left\{ \frac{(V_p/V_0^2) - 1}{1 - (V_p/V_\infty)^2} \right\}^{1/2}$$

当然，渗透率也可以通过电测本身或Kozeny—Carman 方程或直接从图15估算出来。

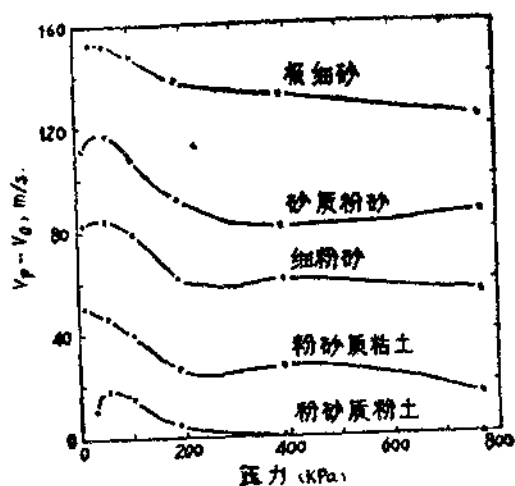


图14 对各种有效应力和沉积物所测量的压缩波速减去“零频率”速度

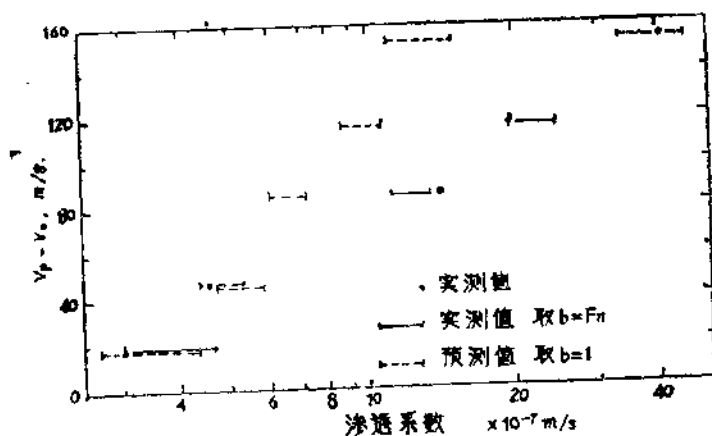


图15 图14的样品显示了实测的渗透率与通过方程31预测的渗透率的对比

结 论

因此，海底的土工特性和地震声光学是相互关联，不可分割的。它们相互依赖。试图利用地震测量来预测土工量在设计工程师中还没有得到普遍地支持，因为没有应变振幅和速率应用的认可。然而，这些可以通过使用需要应变的共振柱测量可易于得到改正。但这是另方面的内容了。

陈玲辉 译自 “Ocean Science Acoustics” 1986

张朝生 校

西北太平洋沉积物的物理和土工特征

(深海钻探计划第86航次)

〔英〕P.J.Schultheiss

〔摘要〕在西北太平洋进行深海钻探计划第86航次的调查中，使用液压活塞取心器，采集了各种类型的沉积物（红粘土、碳酸盐生物软泥以及硅质粘土）标本。所有这些沉积物的物性资料在本文中以图表的形式列出。所做的测试项目包括容重、含水量、伽玛射线衰减孔隙度评价(G R A P E)、剪切强度、压缩波和剪切波速以及固结性和渗透性等。样品质量绝大部分良好，但是，在红粘土中发现一些系统性的取心扰动。船上和岸上所做的重量分析结果有明显的差异，这与海况有关。孔底部的硅质粘土略呈渐进固结，而在孔深20米以下的红粘土则为正常固结。在海底170米深处的红粘土中，十字板剪切强度范围从0到1700克/厘米²，而与十字板剪切强度有关的剪切波速达160米/秒。

简 介

深海钻探第86航次计划的目的是研究西太平洋的海底古环境。用液压活塞取心器采集了各种类型的沉积物标本，包括厚而连续的红粘土（576和578站）、钙质生物软泥（577站）以及硅质粘土（579和578站），因此，这个航次为各种不同类型的沉积物的物性测试和对比提供了良好的机会。此外，在576号站位处，一个全取心的完整孔（576A号孔）被完好地保存下来作土工研究之用。经研究得出的大量资料由土工作业组予以介绍（见本文）。

如果这些“相对未经扰动”的样品利用的话，那么有关深海沉积物的物性和土工特征的资料有助于了解沉积和沉积后的作用过程。在使用液压活塞取心器之前，用回转式取心法来采集海底200米以上的未成岩沉积物。由于这些岩心受到扰动(Demars和Nacci, 1978)，使对某些物性数据的评价和解释感到困难。不过，利用这些物理性质资料，能大有助于了解海底以下深部沉积物的沉积作用和固结作用(Bennett和Keller, 1973; Lee, 1973; Rocker, 1974)。深海钻探计划第68航次(Prell, W.L., Gardner, J.V., 等, 1982)，第一次使用最新改进后的液压活塞取心器，可采取到4米长的沉积物岩心。在这之前，液压活塞取心器仅仅成功地使用过一次(在64航次480号站位上, Curray等, 1979; Schrader等, 1980)。