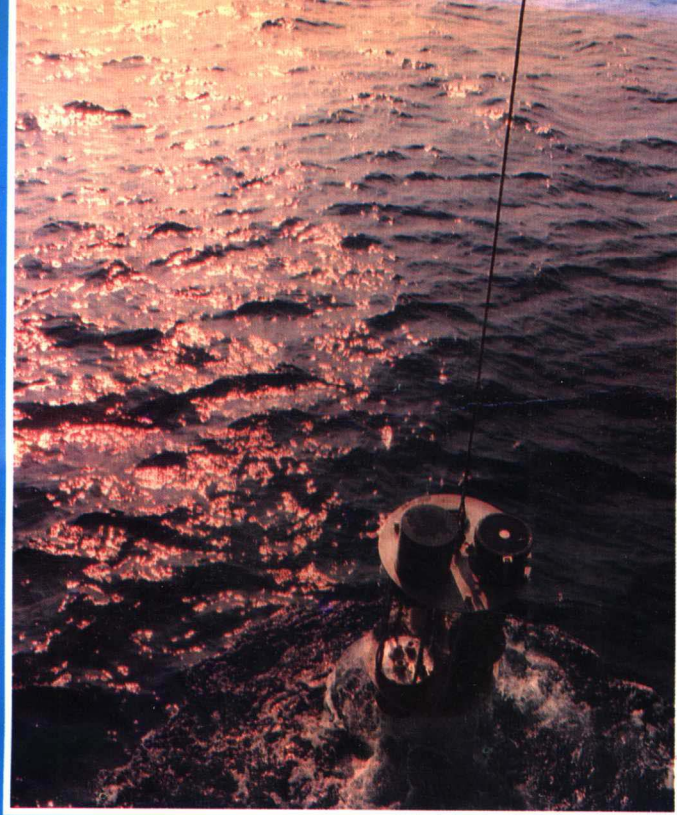




南沙海域声光场 研究论文集

中国科学院南沙综合科学考察队

海洋出版社





ISBN 7-5027-4158-5



9 787502 741587 >

ISBN 7-5027-4158-5/P·365

定价: 15.00 元

南沙海域声光场研究论文集

中国科学院南沙综合科学考察队

海洋出版社

1996·北京

内 容 简 介

本论文集主要汇集“八五”期间在南沙海域进行的有关海水声学参数、海底沉积物声学特性、浅地层声学、海洋水色谱、海面目标物的光谱对比度以及海水中太阳辐照度传输模式等方面的考察研究成果,供同行和有关部门参考。

责任编辑 庄一纯

图书在版编目(CIP)数据

南沙海域声光场研究论文集/中国科学院南沙综合
科学考察队编. —北京:海洋出版社, 1996. 3
ISBN 7-5027-4158-5

I. 南… II. 中… III. ①海洋-声场-考察-南沙群岛-论
文集②海洋磁光学-考察-南沙群岛-论文集 IV. P733-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 08152 号

海洋出版社 出版发行

(100860 北京复兴门外大街 1 号)

北京 兰空印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10

字数: 300 千字 印数: 1—500 册

定价: 15.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

南沙群岛及其邻近海区是我国南海最南部的海上疆土,是我国神圣领土不可分割的一个组成部分。为了保卫我国的海上权益和共同开发南沙群岛自然资源,中国科学院南沙综合科学考察队在1992~1995年再次对该海区开展了多学科的综合考察和研究,获得了丰富的第一手资料和沉积物样品。通过大量的分析测试以及对比研究,他们写出一系列关于南沙海区海洋物理学的研究报告和论文。这是“八五”期间南沙综合科学考察的重要成果之一。

本论文集集中有关海洋声学方面的研究,在某些方面,如沉积物声学物理、沉积物声道等,有了新的进展。概括起来,主要有如下的几个方面:初步研究了南沙海区的海水声速随季节变化的分布特征;建立了沉积物声速与其物理学参数之间的相关关系;初步探讨了海底的声学性质;揭示了南沙海区海底存在着声道的可能性。

本论文集是目前国内考察研究南沙海区海洋声学较为详细和深入的研究结果。它对海洋物理学、海洋声学、沉积物声学物理研究具有重要的理论意义,是我们研究南海的重要文献之一。对于在该海区开展一系列国民经济建设和国防建设任务均具有实际意义。我希望今后作者们有更出色的研究成果问世。

中国科学院院士

张仁和

1995年8月

目 次

南沙群岛海域海底的声学性质	潘福林等 (1)
南沙海域浅层沉积物声速与物理参数的相关关系	卢 博等 (9)
南沙海域海底浅层沉积物的弹性参数及其分布	卢 博等 (23)
用比率法预报南沙海域海底浅层沉积物声速	李赶先等 (33)
南沙海域低声速沉积物与声道的初步研究	李赶先等 (39)
南沙海域沉积物声波的频谱特性	卢 博等 (44)
南沙海域声道轴以下海水声速计算公式	陈汉权 (51)
用声学遥测进行沉积层分类的可能性探讨	潘福林等 (55)
南沙群岛海区水色谱的类型特征	曹文熙等 (61)
南沙群岛海区水色谱类型的地理分布和时间变化	曹文熙等 (69)
海洋水色和荧光辐射谱研究	丁永耀等 (80)
海洋水下太阳光辐射垂直分布的异常尖峰现象	曹文熙等 (88)
水下辐照度分布的三参数模型:异常尖峰的理论解释	曹文熙等 (94)
南沙水域辐照度分布特征研究	丁永耀等 (99)
南沙海域水层辐照度比的分布变化	李 武等 (110)
南沙海域水下太阳辐照度垂直分布模式	杨跃忠等 (119)
可见光波段海面目标物的光谱对比度 I. 理论基础	钟其英等 (130)
可见光波段海面目标物的光谱对比度 II. 模型计算	钟其英等 (139)

南沙群岛海域海底的声学性质

潘福林 卢 博 黄韶健

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

提 要

本文讨论了南沙群岛海域海底沉积物的若干项声学性质, 如反射系数 R 、声速比 r 、声阻抗 z 和海底损失 BL , 以及它们之间的关系。这些水声学重要的参数对声场研究、水声设备作用距离预报都有着重要的参考意义, 是水声学和海底声学研究的一项重要内容。

在 1993~1994 年间, 中国科学院南沙综合科学考察队在我国南沙群岛海域进行了 4 个航次的科学考察, 取得了 58 个海底浅层沉积物样品^①。

在实验室内对样品进行了声学参数的测量和分析。下面仅对南沙海域海底沉积物的声学性质进行一些描述和讨论, 并给出数据、声学参数的平面分布图和分析曲线。取样站位如图 1 所示。

一、沉积物声速和声速比

假如在舰艇或海底上设置水声设备, 那么对于水声设备设计的水声学家来说, 重要的是应该知道声线一次反射时声能的损失量与到海底的掠射角以及与信号频率的依赖关系, 确定水声设备所需要的功率, 从而最终确定其作用距离, 这都将取决于对吸收、反射和散射(或透射)所引起的能量损失的正确估算。首先, 反射所引起的声能量损失的估算有赖于反射系数 R 的确定。反射系数 R 可以用下式表示^[1]:

$$R = \frac{m \cos \theta - \sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}}{m \cos \theta + \sqrt{N^2 - \sin^2 \theta}}, \quad (1)$$

其中 θ 为入射角, m 为海底与海水介质的密度比 ρ_1/ρ_0 , N 为折射率 $C_0/C_p = 1/r$, r 为声速比 C_p/C_0 (C_p 为沉积物声速, 单位为 m/s; C_0 为海水声速, 单位为 m/s)。

求解海底反射系数和算式, 包含了好几项需要测量的参数: 沉积物声速 C_p 、海水声速 C_0 、沉积物密度 ρ_1 以及海水密度 ρ_0 。可以说, 沉积物是水声作用距离预报计算中的一项重要参数, 因为海底毕竟是水声学家相当重视的一个介面。沉积物声速 C_p (压缩波速) 是海

^① 由中国科学院南海海洋研究所沉积研究室王有强、古森昌、陈木宏等人取得样品, 并提供有关资料, 谨此致谢。

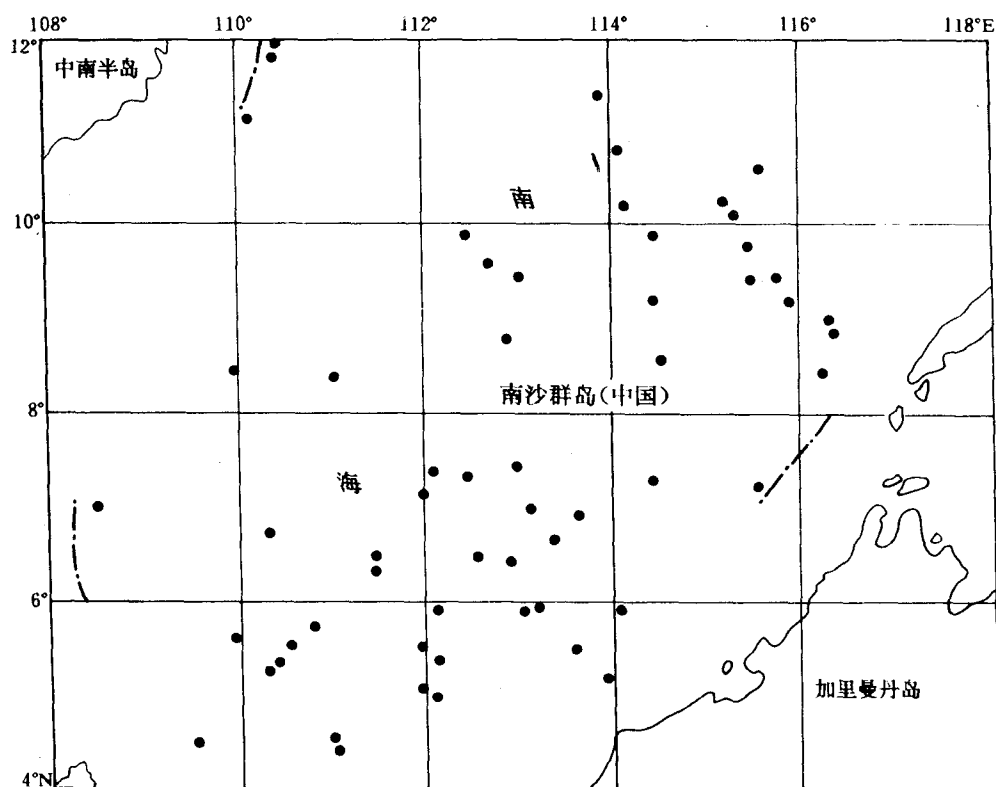


图1 海底沉积物取样站位图

底重要的水声特征量之一。这些沉积物声速与海水声速可用于计算反射系数 R 的预报和提高水声讯号传播轨迹的计算精度^[2], 给水声设备的使用提供了极为重要的帮助。因此, 水声学家们不仅把注意力放在海水声速的测量, 而且也极为重视海底沉积物声速 C_p 与邻近海水层声速 C_o 的比值(声速比 r) 的测量^[3]。梁元博和卢博曾讨论和报道过南海北部大陆架某海区的沉积物声速比与海底反射系数 R 的关系。南沙海域由于近期军事和政治形势日趋复杂, 面对如此局面, 我们要做好准备, 其中之一的工作是对该海域有一个全面的认识, 当然应包括对它的水声环境场的充分了解。表1给出南沙海域若干项声学参数的最大值、最小值和平均值。

表1 南沙海域若干项声学参数

海 区	数据分类	沉积物声速 C_p (m/s)	海水声速 C_o (m/s)	声速比 r	折射率 N
I	最大值	1 490	1 540	0.999	1.067
	最小值	1 391	1 484	0.937	1.001
	平均值	1 447	1 492	0.969	1.032
II	最大值	1 742	1 540	1.142	0.999
	最小值	1 444	1 483	1.001	0.876
	平均值	1 542	1 494	1.030	0.972

其中声速比的平面分布如图 2。声速比 $r < 1$ 的海区称为 I 类海区, 声速比 $r > 1$ 的海区称为 II 类海区。I 类海区海底浅层沉积物声速值在 $1\,391 \sim 1\,490\text{m/s}$ 之间, 最大声速与最小声速相差 799m/s 。II 类海区海底浅层沉积物声速值在 $1\,444 \sim 1\,742\text{m/s}$ 之间, 最大声速与最小声速相差 298m/s 。整个海域的沉积物声速在 $1\,391 \sim 1\,742\text{m/s}$ 之间, 最大值与最小值相差 351m/s 。

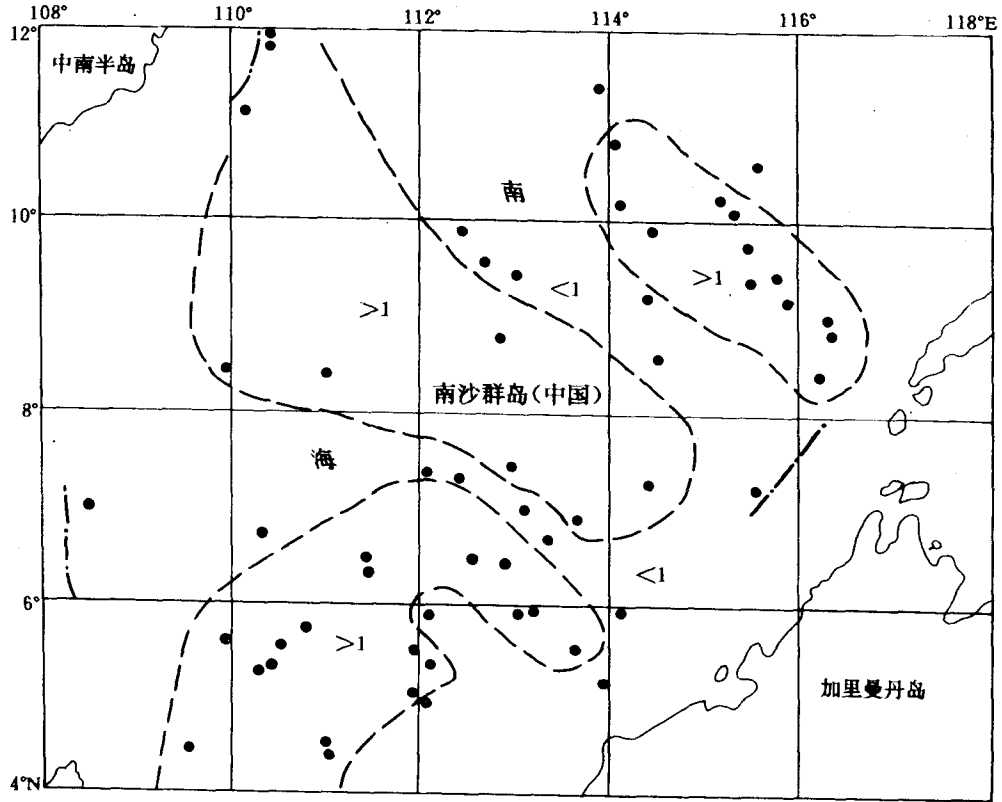


图 2 声速比 r 分布图
虚线内为 II 类海区

声速比 $r < 1$ 的海区 (I 类海区) 意味着透入海底的声能较多, 声速比 $r > 1$ 的海区 (II 类海区) 透入海底的声能比前者少, 因此, I 类海区的反射性能差, II 类海区的反射性能较好。从水声传播和声呐作用距离预报计算来说, I 类海区是不理想的海底; II 类海底是理想的海底。

二、反射系数与掠射角的关系

在式(1)中 θ 用掠射角 φ 代替, 反射系数 R 变成:

$$R = \frac{m \sin \varphi - \sqrt{N^2 - \cos^2 \varphi}}{m \sin \varphi + \sqrt{N^2 - \cos^2 \varphi}} \quad (2)$$

当由于计算与声能在海底中的吸收有关的损失或与声能在粗糙海底(由瑞利参数 $R = 2K\sigma_H \sin \varphi$ 确定, σ_H 为粗糙度的均方值)的散射有关的损失而使得反射模型变得复杂时,则在折射率 N 中引入损失的附加修正值,这个修正值所取的形式为 $N = C_0/C_p(1 + i\alpha)$, $\alpha > 0$ [4]

由于我们没有测量沉积物吸收系数,因此暂且把海底当作无吸收的介质对待,在这种前提下,本文计算了南沙海域无吸收情况下的沉积物最小声速站位和最大声速站位的海底反射系数的模与掠射角的关系曲线,如图3和图4所示,计算中海水声速 C_0 为 1484m/s,海水密度 ρ_0 为 1.03g/cm³。图3的海底沉积物声速 C_p 为 1391m/s,图4的海底沉积物声速 C_p 为 1742m/s。图4中当掠射角 $\varphi = 31^\circ$ 时反射系数的模仍为 1,而图3中仅当掠射角 $\varphi = 5^\circ$ 时反射系数的模已降为 0.5;因此,海底浅层沉积物声速 C_p 比海水声速 C_0 大得越多,则掠射角范围就越大,具有良好的反射特性。如果海底浅层沉积物声速 C_p 比海水声速 C_0 要小,则随着掠射角 φ 的增加,反射系数 R 的模将迅速减小。这就是前面提到的 I 类海底反射性能差,II 类海底反射性能较好的原因。

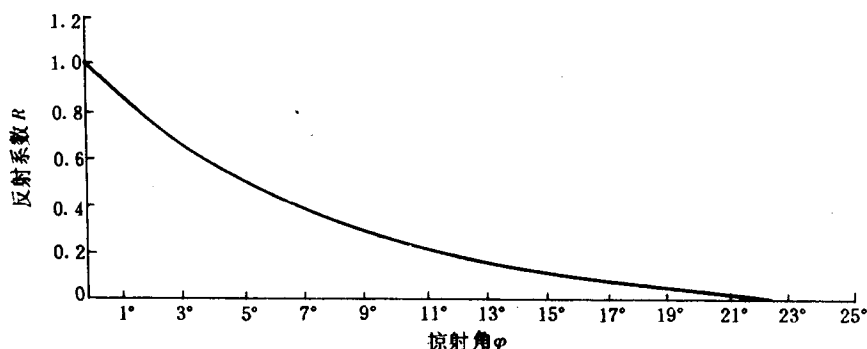


图3 反射系数的模与掠射角的关系
 $C_p = 1391\text{m/s}$

综上所述,可以看到我们必须十分重视海底浅层沉积物声速 C_p 、密度 ρ 和靠近海底处海水声速 C_0 绝对值的测量,显然,这是由于这个问题具有很大应用价值的原因,其中包括水声设备作用距离的预报计算。

三、声阻抗和垂直反射系数的关系

当声波垂直入射海底时,式(1)又可以写成如下的形式:

$$R = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \quad (3)$$

式中 $Z_1 = C_p \cdot \rho_1$ (沉积物声阻抗), $Z_0 = C_0 \cdot \rho_0$, 即垂直入射反射系数正比于海底浅层与靠近海底海水声阻抗之差。

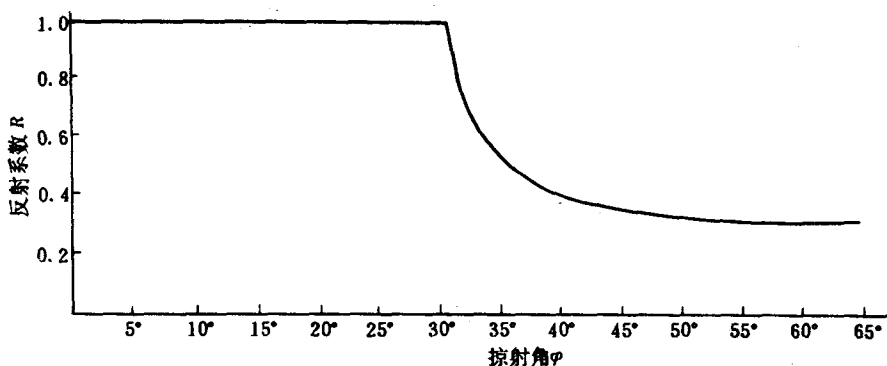


图4 反射系数的模与掠射角的关系

$$C_p = 1742 \text{ m/s}$$

南沙海域浅层沉积物声阻抗 Z 与垂直入射反射系数 R 的分布分别如图5和图6所示。图5虚线范围内的声阻抗 $Z_1 > 2$, 图6虚线范围内的垂直入射反射系数 $R > 0.13$ 。这两个虚线范围相当吻合,反映了海底的特性可以用这两个声学参数来描述,海底沉积物

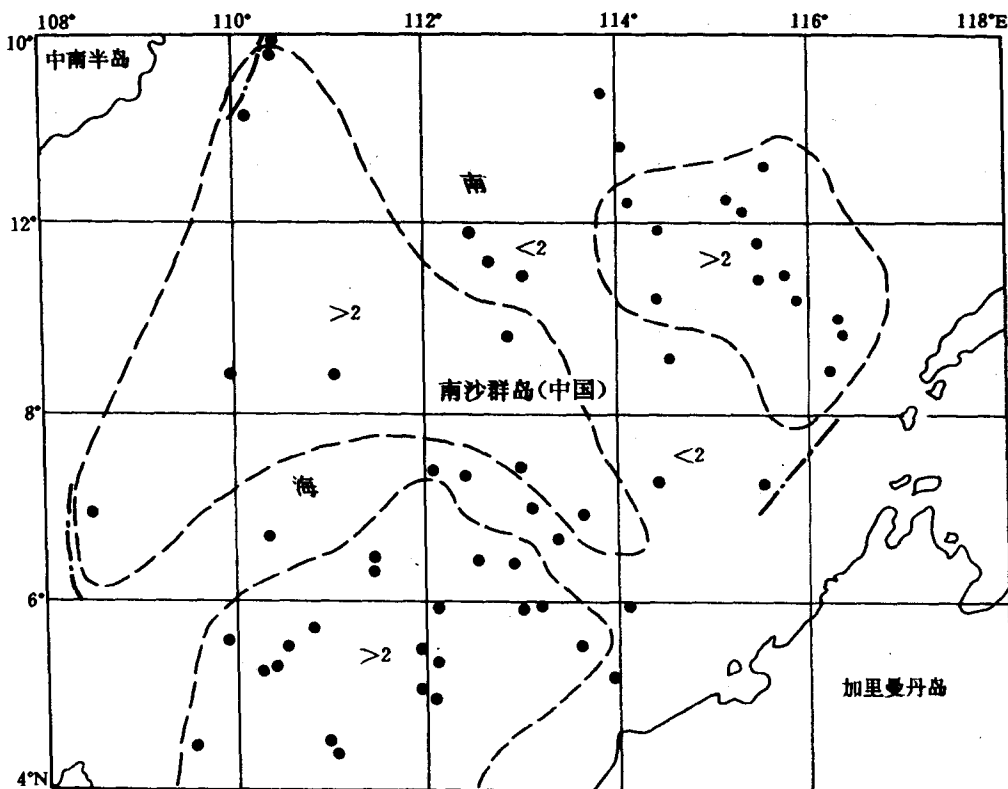


图5 海底浅层沉积物声阻抗 Z 的分布

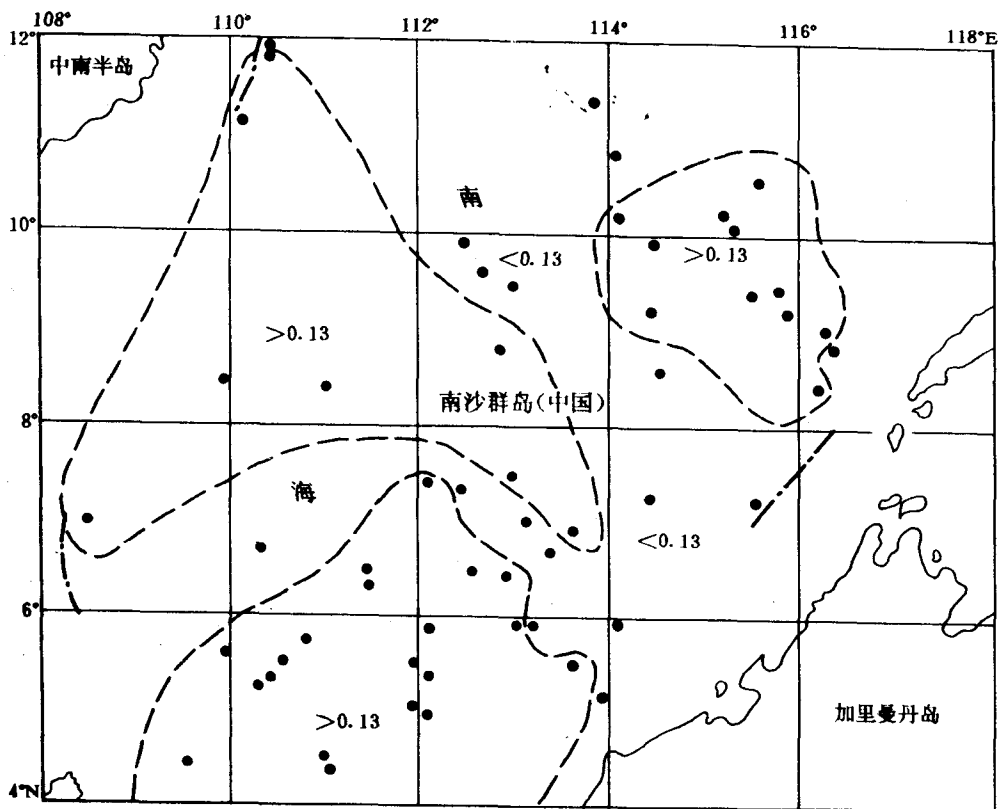


图6 垂直入射反射系数 R 的分布

声阻抗大,其垂直入射反射系数随之增大;海底沉积物声阻抗小,其垂直入射反射系数也随之变小。这种依赖关系可以用图7所表示的一条向上弯曲的曲线所表示。除少数点以外,绝大多数的点都落在这条曲线上,特别在低声阻抗时,曲线的曲率极小,声阻抗与垂直入射反射系数之间几乎可以用一条斜率为3.75的直线来近似表示。海底沉积物的声阻抗(也称特性阻抗)与垂直入射反射系数如此紧密的关系,使我们可以通过垂直入射反射系数的测量来了解海底浅层沉积物的特性。

四、海底损失问题

若把海底近似地视为平坦而均匀的界面,海底损失的估算值可以由下式求出:

$$BL = -20 \lg [(\rho_1 C_p - \rho_0 C_o) / (\rho_1 C_p + \rho_0 C_o)]$$

经过测量和计算,南海海域海底损失 BL 和孔隙度 n 之间存在着如图8的依赖关系,除了极少数点以外,所有的点与曲线偏离不超过2dB。高孔隙度的沉积物海底损失相应增大,这是由于声讯号经过高含水量、高孔隙度沉积物时能量衰减增加所致,一部分声能在传播过程中被充填在沉积物中的流体所吸收。根据图8的结果,从沉积物孔隙度 n 可

以估算出声讯号的能量的海底损失。反之,测得海底损失也可以从图 8 中估计出海底沉积物的孔隙度。

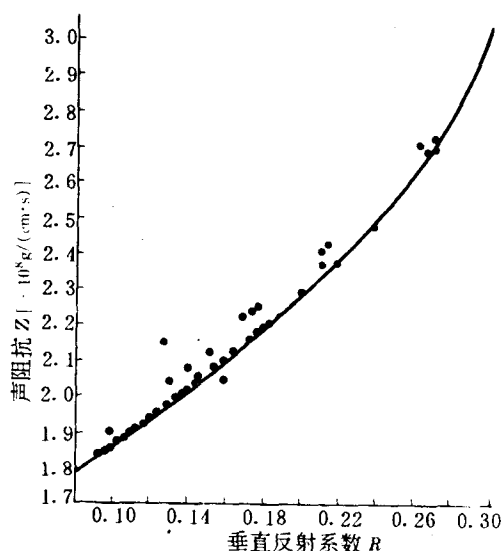


图 7 声阻抗 Z 与垂直入射反射系数 R 的关系

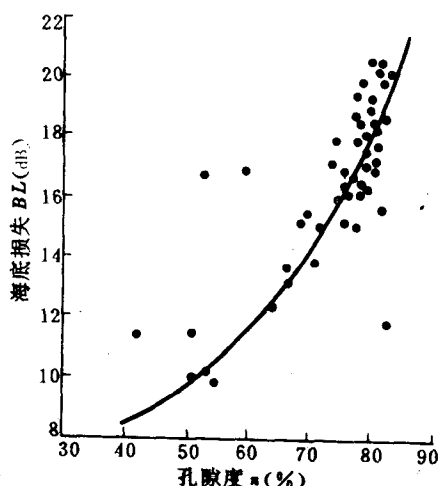


图 8 海底损失 BL 与孔隙度 n 的关系

五、结 语

(1)从南沙海域海底浅层最大声速和最小声速的反射系数的模的计算中可以看到海底浅层沉积物声速对海底的反射特性影响很大,海底浅层声速比海水声速大得越多,则掠射角范围越大,海底反射特性越好,因此,要高度重视海底浅层沉积物声速的测量。

(2)声阻抗与垂直入射反射系数的平面分布图吻合得相当好,这一方面说明海底沉积物的特性可以用这两个参数来描述。另一方面说明这两个参数之间存在着依赖关系,这种关系可以用图 7 所示的一条向上弯的曲线来表示,只要测得垂直入射反射系数,就可以通过这条曲线了解沉积物的特性。

(3)南沙海域海底损失和孔隙度之间存在着如图 8 的依赖关系,除了极少数点之外,所有的点与曲线偏离很小。这样,根据这条曲线,可以从孔隙度估计声讯号的海底损失,反之,根据海底损失也可以从图 8 中估计海底沉积物的孔隙度。

(4)图 7 和图 8 中的极少数点偏离曲线较远,有待今后进一步验证,排除因工作不慎造成误差。如果这些点能排除,无疑这两条曲线是有意义的。

参 考 文 献

- [1] 汪德昭,尚尔昌.1981.水声学,177.北京:科学出版社.
- [2] B.H. 马特维柯,Ю. П. 塔拉休克(水声设备作用距离翻译组译).1976.水声设备作用距离.北京:国防工业出版社.

- [3] 梁元博, 卢 博. 1983. 某海区陆架低声速底质声学物理参数. 热带海洋, 2 (3): 1~9.
- [4] 列·布列霍夫斯基赫, 杨·雷桑诺夫(朱柏贤等译). 1985. 海洋声学基础. 北京: 海洋出版社.
- [5] Anderson, R. S. . 1974. Statistical correlation of physical properties and sound in marine sediments, Edited by L. Hampton, NY: Plenum Press, 481~581.

南沙海域浅层沉积物声速与物理参数的相关关系

卢 博 李赶先 黄韶健

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

提 要

考察海区 58 个站位的浅层沉积物样品声速 C_p 变化范围在 1 391 ~ 1 742 m/s 之间, 而海底上覆海水声速 C_0 大部分在 1 500 m/s 左右, 声速比 $r(C_p/C_0)$ 值约为 0.9 ~ 1.20。因此, 海底沉积物有高声速 $r > 1$ 和低声速 $r < 1$ 之分, 这主要是受到底层海水声速 C_0 和海底沉积物物理性质的影响。特别是沉积物物理性质会较大地影响到声速 C_p 的变化, 其中含水量 ω 、孔隙度 n 、孔隙比 e 等与声速 C_p 的关系相当密切, 但也有部分参数并不是声速变化的原因。本文讨论考察海区海底浅层沉积物声速和物理性质之间的相关关系, 建立二维相关图解, 导出经验公式。

一、引 言

海底沉积物的声学物理性质, 对南沙海域的水声传播、潜艇水下通讯、声场预报和研究、潜航器触底或坐底、工程调查和建设、地球物理人工地震资料解释等方面有着重要的意义。60 年代末美国海军海洋局出于越战的需要在他们命名为第 15 调查区(11°30'N 以北)的南海中、北部进行了为期 2 年的底质取样、海底照相、岩心分析和声学物理性质测量, 个别站位深入到南沙海域^①。后来, 美国 Alpine 地球物理勘探公司亦对南沙群岛附近海域结合地球物理勘探, 用声呐浮标测量了海底沉积物的声速, 但调查资料尚未见公开报道。美国拉蒙特 - 多尔蒂地质观测所的 Houtz 在 70 年代对南海及其邻近海域 850 多个声呐浮标所得的海底沉积物测量结果作了分析^[1]。80 年代中后期, 德国汉堡大学在南沙群岛南部海域进行过地球物理勘探调查。前苏联科学院太平洋海洋研究所在 1983 ~ 1990 年于越南以东海域(140°E 以西)进行过海底沉积物的物理性质调查^②。中国科学院南沙综合科学考察队自 1987 年起开始对南沙群岛及其邻近海区进行海底沉积物声学物理及物理力学性质调查研究^[2,3]。1993 ~ 1994 年共进行了 4 个航次调查, 取得 58 个站位浅层沉积物样品。其站位、经纬度和水深等见表 1。

① 国家海洋局海洋科技情报所, 海洋科技资料, 1975 年, 第 3 期(总 21 期)。

② 地矿部广州海洋地质调查局情报研究室, 海洋地质, 1993 年, 第 3 期。

表 1 调查研究海区 58 个站位, 经纬度和水深一览表

站号 *	水深(m)	E	N	站号	水深(m)	E	N
93-5-6	1 904	112°44.84'	9°39.87'	94-4-XYI	1 515	115°56.11'	9°16.45'
93-5-7	1 415	114°03.62'	10°47.73'	94-4-RAI	1 350	115°47.39'	9°32.78'
93-5-8	1 425	114°09.49'	10°09.39'	94-4-22	2 550	115°38.91'	10°34.07'
93-5-9	924	114°29.15'	9°57.00'	94-4-23	1 430	115°14.25'	10°15.65'
93-5-11	1 797	115°19.51'	10°07.81'	94-4-10	1 370	113°36.73'	6°54.98'
93-5-12	1 111	115°29.03'	9°48.22'	94-4-28	1 437	112°49.48'	6°28.65'
93-5-13	1 200	115°29.10'	9°27.91'	94-4-5	1 535	112°49.52'	8°52.78'
93-5-15	2 050	114°29.59'	9°13.89'				
93-5-19	4 410	113°50.53'	11°29.80'	94-9-1	2 560	110°21.88'	11°59.48'
				94-9-14	625	110°04.48'	11°02.46'
93-12-13	550	110°21.44'	11°55.71'	94-9-29	1 670	110°59.11'	8°30.04'
93-12-18	1 800	112°29.72'	9°59.89'	94-9-30	1 130	109°58.58'	8°31.18'
93-12-19	2 430	112°59.96'	9°25.03'	94-9-38	100	108°29.59'	7°00.22'
93-12-56	103	112°01.65'	4°59.75'	94-9-47	1 613	110°16.14'	6°45.27'
93-12-58	140	112°04.70'	5°26.35'	94-9-52	2 040	112°00.34'	7°22.38'
93-12-59	1 255	112°02.14'	5°52.15'	94-9-53	1 980	112°22.10'	7°21.08'
93-12-63	2 050	113°01.25'	5°58.52'	94-9-56	1 760	111°23.09'	6°23.12'
93-12-65	2 164	113°33.23'	5°30.71'	94-9-60	146	110°15.47'	5°15.79'
93-12-67	723	113°52.64'	5°11.46'	94-9-59	202	110°30.80'	5°30.80'
93-12-69	2 254	114°00.67'	5°59.82'	94-9-62	108	109°29.97'	4°30.27'
93-12-71	1 497	113°52.64'	5°11.46'	94-9-65	91	110°59.75'	4°30.00'
93-12-72	1 546	113°01.37'	6°59.14'	94-9-67	75	110°59.96'	4°29.71'
93-12-47	2 038	111°59.23'	7°01.22'	94-9-68	104	110°59.70'	5°01.15'
93-12-49	1 710	111°20.33'	6°21.69'	94-9-70	142	111°59.93'	5°30.30'
93-12-51	796	110°43.46'	5°46.08'	94-9-74	1 183	112°29.97'	6°30.85'
93-12-53	150	110°16.14'	5°15.78'	94-9-79	2 015	113°01.80'	5°59.33'
93-12-30	149	109°55.49'	5°36.53'	94-9-98	1 643	114°30.27'	8°40.15'
				94-9-104	1 300	115°40.30'	7°14.68'
94-4-8	1 543	112°58.59'	7°28.64'	94-9-108	2 329	116°11.92'	8°29.12'
94-4-12	1 548	114°28.00'	7°19.53'	94-9-109	796	116°18.32'	8°52.70'
94-4-16	1 053	116°18.67'	8°51.97'				

* 站位前两位数是取样年份, 中间的数字是取样月份, 后面的数字是取样站位序号(下同)。

对样品进行了几十项参数的测量、计算和分析, 包括声学参数的声速 C_p (纵波速)、 C_s (横波速)、底层海水声速 C_o 、声速比 $r(C_p/C_o)$ 、波速比 $r'(C_p/C_s, \text{或 } C_s/C_p)$ 、声阻抗 Z 、海底反射系数 R 和海底损失 BL 等。沉积物物理力学性质的含水量 ω 、湿密度 ρ 、孔隙度 (孔隙率) n 、孔隙比 e 、饱和度 S_r 、颗粒比重 G 、液限 W_L 、塑限 W_p 、液性指数 I_L 、塑性指数 I_p 、含水比 u 、活动度 A 、原状样抗压强度 qu 、重塑样抗压强度 qu' 、灵敏度 St 、颗粒中值粒径 Md 、分选系数 So 、偏态值 Sk 等。

目的是通过综合分析研究, 找出影响声速变化和造成高低声速海底的物理因素和机制, 进一步确定它们二者之间的相关关系。

二、样品处理、测量和数据处理

使用国家标准规范的脉冲技术测量沉积物声速 C_p 和 C_s [4]。沉积样品是用直径 5cm 和长约 15cm 的塑料衬管套取的浅层沉积物样品^①。每段样品两面用薄纱布和上面有 8 个直径 2 ~ 3mm 小孔的铝盖盖上,放入低温海水(10 ~ 14°C) 浸泡 24h, 让样品充分均衡地饱和。测量仪器为 SYC-2 型声波参数测定仪以及并联的 CJ-1 数据采集处理系统, 测量换能器频率为 100kHz。有部分样品还使用由黄韶健设计加工的黄氏测量辅助框架, 目的是为了获得更好的耦合状态, 祈望有良好的波形, 让测量者容易判读。仪器上的光标精度取 $\pm 0.1\mu s$ 。样品长度是用精度 0.02mm 游标卡尺测量。当获得测量走时后, 用下式求出声速:

$$C = \frac{l}{t - t_0}$$

其中 C 为声速, (m/s); l 为样品长度, (cm); t 为走时, (μs); t_0 为换能器的延时, (μs);
在 latm 及室温条件下测量时, 当确定光标走时后, 即输入 CJ-1 处理系统(如图 1)。

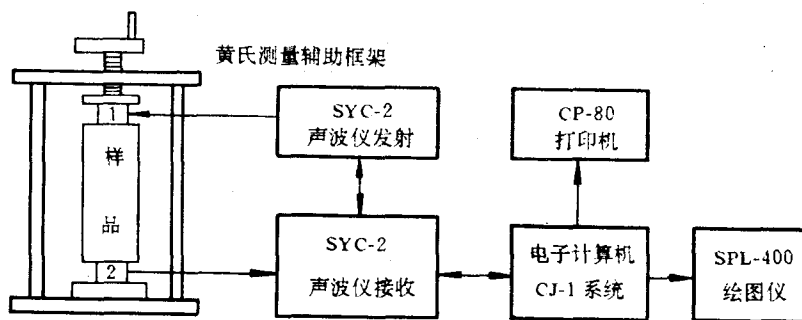


图 1 沉积物声速测量系统图

(1) 发射换能器 (2) 接收换能器

由电子计算机进行快速富里叶变换(FFT), 并作分析处理, 通过打印机和绘图仪给出最终结果, 储存全部信息以便后查。测量误差为 1% ~ 1.5%。

当样品测量完声速之后, 仍然密封好, 保持垂直运送到广东省建设委员会认证许可的土力学实验室之一的华南理工大学土工实验室进行物理力学性质的测量和计算(按中华人民共和国国家标准 GBJ-123-88 土工试验方法进行)。这部分工作的方法及术语规范查阅参考文献[4], 本文略。

将声学 and 物理力学两类不同性质的参数列表, 并在二维相关图解中绘制出相关关系, 这些图解的座标是一致的, 以便加以对比讨论。并与文献[5~9]提供的南海中部、北部、台湾海峡、东海大陆架和太平洋深海沉积物声学物理性质作一些对比分析。从二维相关图解中导出经验公式, 确定哪几项物理参数对声速变化有明显的影响, 试图从这些关系中找到

^① 58 个沉积物样品及现场记录均由中国科学院南海海洋研究所沉积研究室王有强、陈木宏、古森昌等人取样及提供, 谨此致谢。