

深圳湾海底沉积层的研究

朱大奎 李海宇 潘少明 尤坤元

(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室, 南京 210093)

提 要 本文用全球定位系统 (GPS) 与地脉冲剖面系统 (GEOULSE) 对深圳湾进行网格状断面勘测, 经室内剖面记录解译及与钻孔记录校核, 将全部剖面录入计算机, 再经地理信息系统 (GIS) 分析处理, 得出深圳湾海底沉积层的空间分布与各种数据。文中讨论了有关新技术 (3G) 在小区域地貌及第四纪地质研究中的应用及结果。

关键词 全球定位系统 地脉冲剖面系统 地理信息系统 海底沉积层 深圳湾

深圳湾位于深圳市与香港新界之间, 是珠江口东岸的一个浅水海湾, 面积 112 km^2 , 长轴走向 NE-SW, 长约 17 km, 宽 4 km ~ 10 km (图 1)。深圳湾海底地形平坦, 水深 $< 5 \text{ m}$, 湾底中央是一潮流冲刷槽, 在湾顶部份主槽水深 2 m, 到蛇口附近水深增至 4 m, 到湾口 6 m 左右, 主槽二侧为浅滩, 水深仅 1 km ~ 2 m, 低潮时近岸部份可暴露, 深圳湾口外是伶仃洋水道, 水深 16 m ~ 20 m, 故湾口是一向伶仃洋陡然变深的斜坡。深圳湾在地质上是一断陷构造, 由五华—深圳断裂与南岗—虎门断裂在此成 X 交切下陷而成, 因此, 深圳湾形态延伸方向及岸线轮廓均受断裂控制。

深圳湾海底岩层是燕山期花岗岩, 表层已经强烈风化, 风化层厚度 5 m ~ 10 m。有的已成红土状。风化壳上堆积了河流相的砂层及亚粘土层。海底表层是海相淤泥层。流入深圳湾的河流有深圳河、无望河、大沙河, 注入深圳湾河流年输沙总工会量为 $8.38 \times 10^4 \text{ t}$ 。进入深圳湾的泥沙主要来自潮流, 从珠江口伶仃洋进入深圳湾的泥沙每年约为 $1.95 \times 10^6 \text{ t}$ 。目前深圳湾的沉积物主要来自海域, 海相物质占 95%。是一沉积作用比较缓慢的河口区海湾^[1-3]。

1 全球定位系统 (GPS) 与地脉冲剖面系统 (GEO PULSE) 的应用

GPS 地面控制系统由 5 个广泛分布的监控站组成, 这些监控站跟踪、监测全部卫星, 收集测距数据。在计算完相应的星历、时间漂移和传播延迟等全部数据后, 由主控站将各卫星导航电文发射到卫星。

接收系统包括接收机及外围设备。用户利用接收机跟踪接收码相位或载波相位, 获得导航电文, 通过对导航电文的解译计算确定接收机到卫星的伪距。在测量 3 颗 ~ 4 颗卫星的伪距后可以计算出接收机的三维坐标。这种定位方法称伪距法, 精度 15m, 但由于实施了 SA 技术 (Selective Availability), 实际精度会降低。要求更高定位精度可采用相对定位技术, 如实时动态差分定位, 本项研究即采用该定位技术, 精度 1 m ~ 3 m^[4,5]。

来稿日期: 1998-03-10; 收到修改稿日期: 1998-08-09。

GEO PULSE 是利用声波在水中和水下沉积物内传播和反射的特性来探测海底地层的设备,是在回声测深技术的基础上发展起来的。系统主要由换能器、信号接收处理器、图像记录仪组成。在走航过程中,发射器垂直向水下重复发射大功率脉冲声波,声波遇到水底及下面的地层界面时产生回波。由于反射界面的深度不同,回波信号到达接收器的时间也不同,而地层介质均匀性的差别则决定了回波信号的强弱。接收信号经过放大、滤波等处理在图像记录仪上描绘出地层剖面结构。深圳湾物探所用为高分辨率 GEO PULSE,其特点是发射频率高,穿透浅层的分辨率高。GEO PULSE 的地震剖面记录,与岩层剖面相似,但它受各种沉积层因素的影响,如孔隙率、密度等,所以剖面记录有沉积层的形状,但有许多干涉现象,需加以判别、清除。GEO PULSE 所得记录的分辨率,是与仪器发射波长有关。波长可由波速及周期得出,周期是发射频率的倒数,波速可测得,由此可得到波长。波长 (L)、波速 (V)、频率 (λ) 的关系为:

$$\lambda = V \cdot L \tag{1-1}$$

而分辨率 $R = 1/4 \sim 1/8L$ 。此处的分辨率是指分辨沉积层的上下界面,若波速 $1500 \text{ m/s} \sim 2000 \text{ m/s}$,发射频率 50 周,波长为 $30 \text{ m} \sim 40 \text{ m}$,则分辨率可达到 $4 \text{ m} \sim 5 \text{ m}$,这对大于 5 m 的沉积层,所测界面清晰,厚度小于 5 m 者则分辨不清。采用高频,如用 3.5 kc ,则波长为 0.4 m , R 取 $1/4$,则分辨率为 0.1 m ,当然技术上要达到 0.1 m 是困难的。高频率穿透力较低, 3.5 kc 的穿透力一般只达 $30 \text{ m} \sim 50 \text{ m}$ 。GEO PULSE 穿透 100 m ,但受水深影响,在 40 m 或 50 m 以内,图像清晰。当水深很小时,亦会影响图像效果,所以在浅水区(水深 $4 \text{ m} \sim 5 \text{ m}$) 勘测,技术上是个难题。

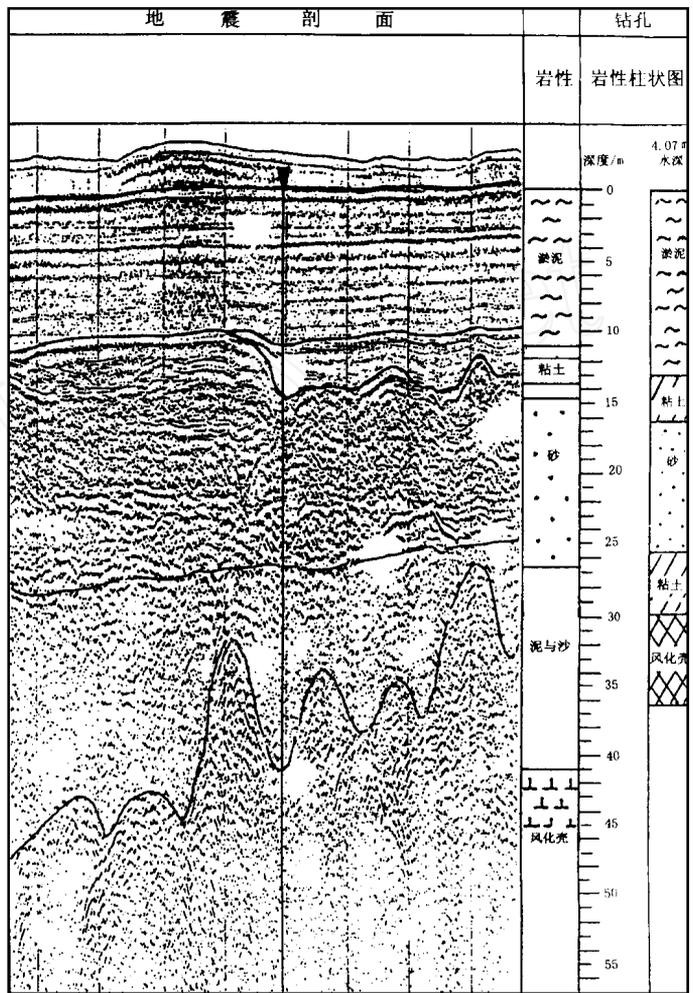


图 1 深圳湾地震剖面

Fig. 1 Seismic profile in Shenzhen Bay

2 海底物探解释及沉积层结构

分析地震剖面记录,首先要确定反射界面,找出区域性的沉积层界面,依据连续性的区域沉积层特征,确定各沉积层及其性状。深圳湾测区内主要沉积层有5层(图1)。

第一层为海相淤积层,静水细粒沉积,为水平连续的均质沉积物,声波穿透性好,表现为低灰度水平层。据表层取样及钻孔取样,以粉砂粘土为主,中值粒径为 $0.008\text{ mm} \sim 0.02\text{ mm}$,其中粉砂粒级占 $45\% \sim 50\%$,粘土粒级占 $23\% \sim 34\%$ 。在粉砂粘土层中夹有砂质粉砂薄层,其中粉砂占 55% 左右,细砂占 $20\% \sim 33\%$ 。该层质地细软,含水饱和,呈软塑至流塑,是现代海相悬浮质沉积物。

第二层为河流相亚粘土层,静水沉积,底层界面随基底界面而起伏,其中有小角度倾斜层构造,水平延伸范围受底部地形影响,成局部坛厚或急剧减薄尖灭。该层物质稍粗,呈韵律变化,剖面上有灰阶,据钻孔取样对比,该层为亚粘土,有乳白色、灰绿色条斑,土质坚实,为古河漫滩沉积,有较长时期出露水面,处于氧化与淋溶环境。

第三层为河流相砂层,该层是紊动水流产物,物质较粗,随底部地形起伏而起伏,有斜层理,小角度倾斜构造,粗细粒互层,使剖面中有灰阶条纹,据钻孔取样分析,该层主要是粗砂,粒径 $0.5\text{ mm} \sim 1.0\text{ mm}$,大多为白色,干净,表面多棱角,该层以粗砂为主,夹粘土薄层,夹层粘重,粗砂夹有灰黑色、杂色条带和黄色锈斑。剖面下部,粘土夹层、杂色条带锈斑逐渐增多。表明该砂层的底部是坡积洪积的混合沉积,向上河流作用明显,为典型的河床沉积,水流动力较强而稳定。底部与坡积洪积逐渐过渡,底层界面随老地形起伏。

第四层是砂粘土混合层,为基岩面上的过渡层,界面清晰,由强反射层砂层及弱反射粘土层构成,剖面上呈暗色与灰白色相间。据钻孔取样,该层是粗砂、砾石、粘土的混合层,粗砂粒径 0.5 mm 左右;砾石粒径 $1\text{ cm} \sim 2\text{ cm}$,少数石英碎块达 4 cm ,碎屑状;粘土层为风化残积物及粘土的混杂堆积,组成不规则的层状或混合堆积。

第五层是风化岩,界面清晰,表面起伏,随风化程度及物质组成的差异,而具有层次构造,随深度增加声波逐渐吸收消失,该层主要是风化岩屑,粒度 $1\text{ cm} \sim 3\text{ cm}$,上部较多砂质,为锈红色粉砂夹锈斑,结构较松散;下部为黄灰色风化岩屑,夹少量松散砂砾,结构较紧密。风化层下部逐渐过渡为新鲜的基岩。

3 GIS 设计原理与技术方法

3.1 设计原理

海底沉积层具有三维的空间特征,为三维实体构造。当船行于勘测海域采样, GPS 信息确定了其平面位置(φ, λ),而 GEO PULSE 则记录了该点的垂直方向,自海面到海底沉积层的信息,剖面的垂直坐标(Z)采用理论深度基准面。这样,便得到一个采样点海底地形的完整信息。随着走航采样,得到一条连续剖面的信息。用密集测线对海区布测,即获得区域海底沉积层非常精确的三维实体信息,这一过程的实施是自动和非常高效的,对于实际勘测中的间断区域,用 GIS 方法予以补充。

海底沉积层具有层状物质分异, 用叠层栅格模型来模拟海底沉积层是十分恰当的, 每一层栅格描述一沉积层, 这样与实际沉积层相对应, 将各层栅格模型依序叠置, 就得到了数层定义于二维区域上的有限项的网点序列, 它以离散分布的平面点序模拟连续分布的地形及其下覆各沉积层, 并载负相关的数据。系统在此模型基础上进行定量分析和计算。栅格精度由数据源本身固有精度和栅格大小决定, 栅格大小与数据量的平方成正比^[6,7]。在深圳湾的计算中栅格大小为 15 m × 15 m。

3.2 设计方法

对海底沉积层的分析处理涉及到不同的数据源, 且信息量巨大, 数据性质不同, 处理方法也不一样, 如地形图需数字化, 地层剖面需解译, 而 GPS 信息则是不同数据连接的纽带。应用 GIS 对其进行分析, 关键需要建立一致的数据库——空间数据与属性数据。空间数据是地理要素位置, 如点位; 属性数据是描述或修饰地理要素的数据, 如沉积层描述。这两类数据在数据库系统的合理组织与联接下, 能够高效进行各种操作, 如提取、索引等^[8,9]。在此基础上设计各种分析模型以获取结果。

3.3 子系统与功能模块

实现数据处理流程, 完成沉积层的各种定量分析, 需构筑基本子系统及功能模块, 这些模块作用对象各不相同, 模块之间反复、交叉调用实现各种功能 (图 2)。

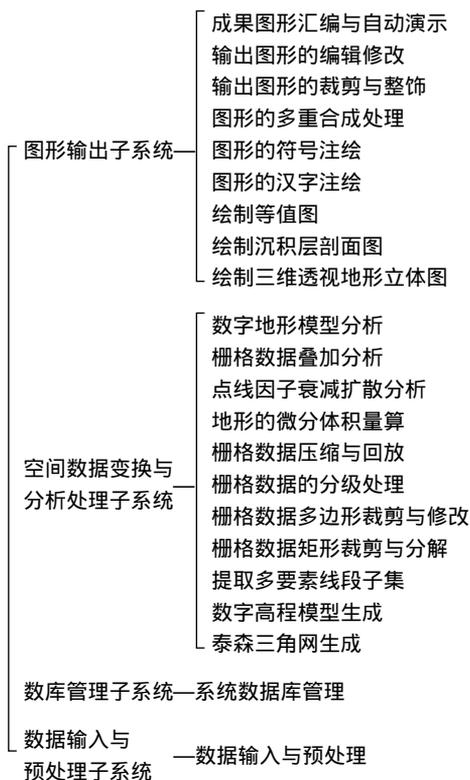


图 2 深圳湾海底沉积层 GIS 功能模块图

Fig. 2 GIS function model of the seabed sediment stratification of the Shenzhen Bay

3.4 实例分析

应用 GIS 方法, 针对深圳湾海底砂层空间分布做一简化分析, 设海底砂层由以下要素确定: a. 砂层厚度大; b. 砂层在海底以下的埋藏深度浅; c. 砂层至海平面的绝对沉度小; d. 储量丰富; e. 环境适宜。据此应用 GIS 确定海底砂层空间分布样点:

据叠层栅格模型做叠置分析提取厚度与埋深信息, 按条件 a、b 分别确定区域 P_1 、 P_2 ;

按条件 c 在模型上做多边形提取, 得到区域 P_3 ;

按条件 e 做环境缓冲区分析, 得到区域 P_5 ;

对 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_5 求交集即为符合条件 a、b、c、e 的候选区域;

对候选区域按条件 d 做微分体积量算, 确定最后符合条件 a、b、c、d、e 的地点。实际情况中一般会有更多的条件因子, 对于复杂的要建立分析模型。

4 沉积层的空间分布及数据

深圳湾海底物探资料经 GIS 分析处理后, 获得各层的空间分布图象与数据。主要有:

4.1 沉积层空间分布

经 GIS 处理后, 可将 5 个沉积层制作出厚度图、埋深图 (图 3)。清晰地反映出其空间位置及形态。海底表层为淤泥层, 其分布与海底地形起伏一致, 二侧浅滩区厚度较小, 一

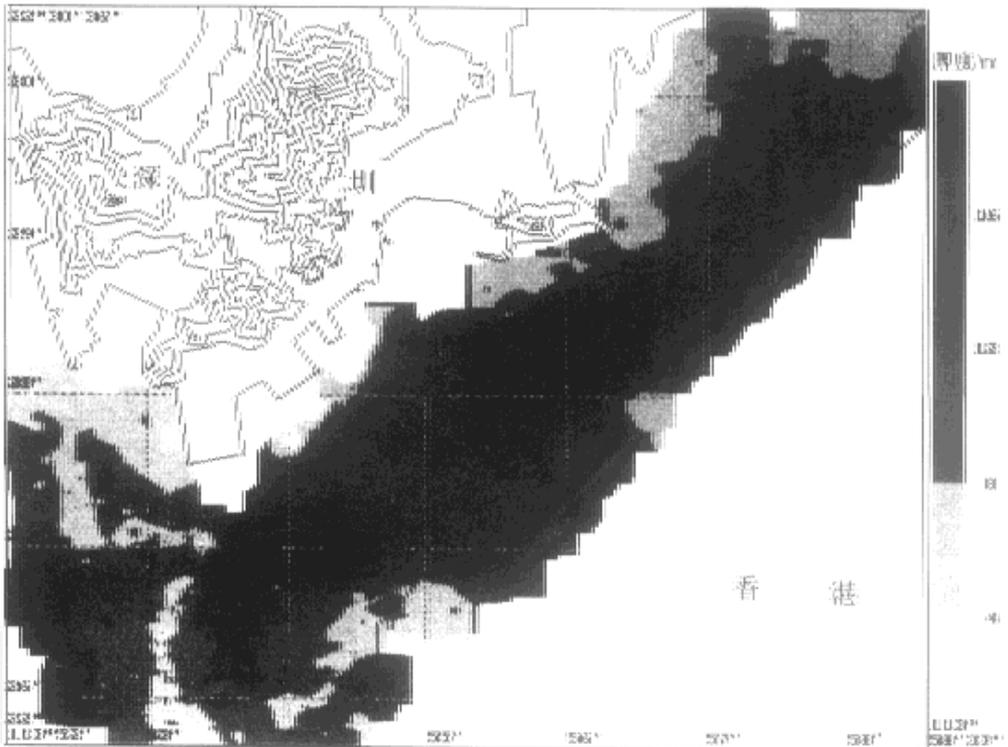


图 3 深圳湾淤泥层厚度图

Fig. 3 The thickness of muddy layer in the Shenzhen Bay

般 $< 8\text{ m}$, 向海湾中央淤泥层加厚为 $10\text{ m} \sim 14\text{ m}$, 而蛇口新老航道淤泥厚度达 $14\text{ m} \sim 20\text{ m}$ 。反映海相淤泥是近代沉积并受人影响。

淤泥层之下为河漫滩相亚粘土, 厚度较小, 一般小于 2 m 。

海底砂层是深圳湾的主要沉积层, 厚度 $10\text{ m} \sim 14\text{ m}$, 最大厚度 20 m 左右。砂层分布大体呈EN-W-S走向, 从蛇口山附近海域向西南到蛇口水道出口一线, 是砂层最大厚度值的轴线, 沿此线砂层厚度达 $14\text{ m} \sim 20\text{ m}$ 向西侧递减。为表示砂层分布, 可制深圳特区砂层埋藏厚度图(图3)。

砂泥混合层(图4)的深度分布大致可分二部分, 湾内均在 $20\text{ m} \sim 30\text{ m}$, 深圳湾口部分在 $30\text{ m} \sim 40\text{ m}$, 砂泥混合层的埋深在 $20\text{ m} \sim 30\text{ m}$ 。河流曾将下伏的冲积及残坡积层削平, 作为高程统一的河床基底。其厚度从不足 $2\text{ m} \sim 20\text{ m}$, 该层底部是一起伏面, 致使厚度变化大而无规则。

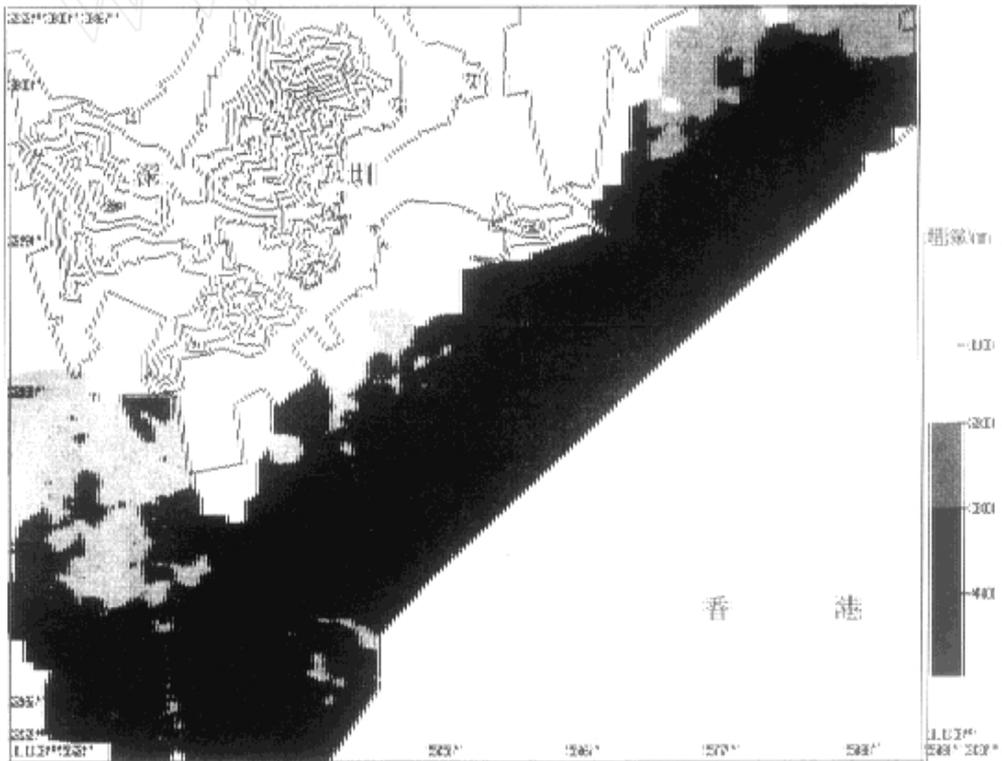


图4 深圳湾混合泥沙层埋深图

Fig. 4 Burying depth figure of mingled layer of sand and mud in Shenzhen Bay

风化岩深度图(图5)是以海平面为基面的基岩地形面分布图。埋深图表示了基岩面各点与海底的距离。基岩起伏面是地震剖面中一个主要的反射界面, 风化岩的深度在湾内是 40 m , 在湾的外部是 50 m , 基岩埋藏深度是 $20\text{ m} \sim 40\text{ m}$, 口门附近是 50 m , 它显示了深圳湾海底整个松散堆积物的厚度。声波通过风化岩逐渐被吸收消失, 未见基底, 但从剖面特征分析, 强风化层的厚度约 10 m 。

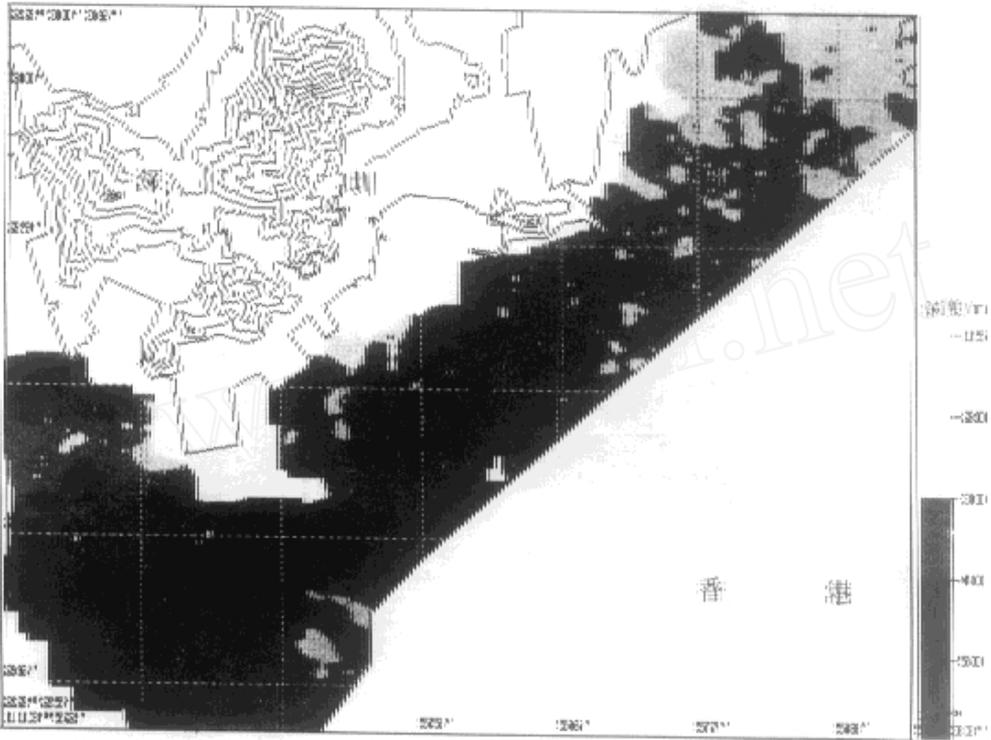


图 5 深圳湾强风化岩层厚度图

Fig. 5 The depth figure of strong weathering rock in Shenzhen Bay

4.2 海底沉积层的物质储量

经 GIS 处理后, 可计算出每一沉积层的体积、分布面积。在给出沉积层物质总储量的同时, 还可以不同方式给出储量统计数据, 如可给出任一深度为界的该沉积层的体积, 这在工程中有很大的使用价值。

4.3 任意提取沉积层剖面

沉积层的数字模型已完全覆盖整个研究区域, 可针对工程建设及地层对比分析研究之需求, 利用 GIS 在模型上提取任意二点间沉积层剖面并输出, 用以观察细部之信息。

参 考 文 献 (References)

- 1 Zeng Zhaoxuan The geomorphologic evolution of drowning valley of Guangzhou *Journal of South China Normal University*, 1979(2). (In Chinese) [曾昭璇 广州溺谷湾地貌发育. 华南师院学报, 1979(2).]
- 2 Zhao Huanting The formation and evolution of Pearl River delta *Acta Oceanologica Sinica*, 1982, 4(5) 596~ 607. (In Chinese) [赵焕庭 珠江三角洲的形成与发展. 海洋学报, 1982, 4(5) 596~ 607.]
- 3 Wang Ying, Aubrey D G The Characteristics of the China coastline *Continental Shelf Research*, 1987, 7(4) 329~ 349
- 4 Roy P S The Geology Stratigraphy and Mineral Prospectively of Inshore Parts of the Gulf of Thailand Department of Mineral Resources, Thailand, 1994 THA /86/018
- 5 Li Deren On the connection of GPS, DPS, RS, GIS and ES *Mapping Bulletin*, 1994(1) 3~ 8 (In Chinese) [李德仁 论全球定位

- 系统(GPS)、数字摄影测量系统(DPS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和专家系统(ES)的结合 测绘通报, 1994(1) 3~ 8]
- 6 Liu Jiyu et al. GPS and its application. Beijing: Mapping Press, 1993. (In Chinese) [刘基余等. 全球定位系统及其应用. 北京: 测绘出版社, 1993.]
- 7 Huang Xingyuan, Tang Qin. The outline of geographical information system. Beijing: High Education Press, 1989. (In Chinese) [黄杏元, 汤勤. 地理信息系统概论. 北京: 高等教育出版社, 1989.]
- 8 Sun Yamei, He Jianbang et al. The information system research of producing sand region in the Loess Plateau. Beijing: Mapping Press, 1993. (In Chinese) [孙亚梅, 何建邦等. 黄土高原重点产沙区信息系统研究. 北京: 测绘出版社, 1993.]
- 9 Ke Zhengyi, He Jianbang. Numerical landform model. Beijing: China Science and Technology Press, 1993. (In Chinese) [柯正谊, 何建邦等. 数字地面模型. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.]
- 10 Nijkamp D, Scholter H J. Spatial Information System: Design, Modeling, and Use in Planning. *Journal of Geographical Information System*, 1994, 7(1) 85~ 96

THE SEABED SEDIMENT OF THE SHENZHEN BAY, CHINA

Zhu Dakui Li Haiyu Pan Shaoming You Kunyuan

(State Pilot Laboratory of Coast & Island Exploitation, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words global positioning system, geopulse system, geographical information system, seabed sediment

Abstract

In collaboration with a coastal engineering project, an investigation into the structures and spatial distribution of the seabed sedimentary stratification of the Shenzhen Bay has been undertaken. Shenzhen Bay is located between Shenzhen City and Hong Kong and in the east coast of the Pear R. Estuary, with an area of 112 km². The seabed topography of the bay is rather flat, with most water depth less than 5 m. The bay is developed along a tectonic fault depression, therefore, the configuration of the coast is controlled mainly by fault tectonics.

The bedrock of the Shenzhen Bay is composed of granite of Yanshan Period. The surface of the bedrock had undergone intensive weathering with a weathering layer thickness of about 5 m ~ 10 m; some of them have become laterite. The climate of the region is tropical monsoon. East wind is dominant throughout a year. Typhoon affects the area often, with a frequency of 2 times each year, normally in September and October. The tides here are irregular and semi-diurnal, with tidal ranges of 3.4 m and 1.36 m for maximum and mean tides, respectively. Flood tidal current velocity is almost equal to that of ebb, at about 70 cm/s. The sediments in the Shenzhen Bay are mainly from the offshore, with marine material taking about 95%; this implies that the region is an estuarine embayment with low sedimentation rates.

The fieldwork undertaken includes two parts. First part is geomorphologic and Quaternary survey in the bay and along the coastline, with the objectives of investigating the initial geomorphologic characteristics and the outlines of environmental evolution. The second part is the survey of the seabed stratification using GPS (model 1008-586), Geopulse (5210A) and chartered steel-hull ship which has a load capacity of 200 tons and light draught of 0.5 m, along

the grid lines in NS and WE.

The seismic profile records were interpreted, on the bases of comprehensive analysis of seabed geomorphology and Quaternary Geology, and core data. Five sedimentary units were found in the seabed sedimentary stratification in the Shenzhen Bay. (1) Marine muddy layer: it is the fine materials deposited in the quiet water environment, with well-developed horizontal bedding structures; (2) Fluvial sub-clay layer: it is a kind of rather solid sediments, with milky white and grayish green strips, and originated from flood plain sediments. It has been deposited in water for quite a long time, and then emerged out of water to be in the oxidizing and leaching environment; (3) Fluvial sand layer: it is composed mainly of pure coarse sand, with a mean grain diameter of 0.5 mm ~ 1.0 mm. The sands are mostly white, with clean surface and many fresh, sharp edges; (4) Layer of mixed sand and clay: it is the alluvial/diluvial sediments on the surface of the weathering crust; (5) Layer of weathered rock: it is the transit layer between the deposited sediments and fresh granite.

All the data were input into computer, and processed using GIS software ARC/INFO. The outputs are various data sets and images about the spatial distribution of seabed sedimentary stratification. The study gives an good example to show that the application of geophysical survey and GIS in coastal water has the characteristics of high speed, high resolution, and illustrative displaying effects, and is promised to have bright future in the studies on regional geomorphology and Quaternary Geology.