

南沙群岛遥感复合信息的珊瑚礁顶 趋势面分析*

刘宝银 王岩峰

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

摘 要 基于南沙海域区域地质构造的控制与珊瑚岛礁发育及其所表现的遥感信息特征, 借助数学模型和电子计算机, 以遥感复合信息所建立的趋势面分析系统, 模拟了南沙珊瑚岛礁顶部地理数据的空间分布及其区域性变化趋势, 从而对南沙珊瑚岛礁的空间分布特征作出科学的解释与区域比较.

关键词 南沙群岛 珊瑚礁 遥感 地貌 趋势面 数学模型

1 引言

我国辽阔的南沙群岛海域中散布着众多的暗礁与险滩, 大部分地区被划为“危险地带”, 对其实施常规调研有相当的难度. 因此, 基于区域地质构造的控制与珊瑚岛礁发育及其所表现的遥感信息特征, 表明珊瑚岛礁地理系统的最重要的特征是其具有区域性. 对此, 以遥感复合信息所建立的李沙珊瑚岛礁趋势面分析系统, 借助数学模型和电子计算机, 来模拟岛礁顶部地理数据的空间分布及其区域性变化趋势, 目的旨在对南沙珊瑚岛礁演化的空间分布特征作出科学的解译与区域比较.

2 基础依据

2.1 南沙群岛形成的地质基础

南沙群岛的分布格局与海底地质构造有关. 南海海盆因多次受地壳运动的作用, 形成了许多深大断裂, 南海诸岛的形成即由这种升降构造支配着, 其中南沙群岛形成于南沙隆起带上.

南沙群岛主要有两条海底构造脊: 一为与南沙海槽相平行的礼乐滩—安渡滩—北康暗沙构造脊, 另一为永暑礁—南威岛—万安滩一带的海底构造脊. 它们成为南沙海底高原和深海

本文于 1997-02-17 收到, 修改稿于 1997-09-21 收到.

* 国家自然科学基金资助项目(编号:49571054).

第一作者简介: 刘宝银, 男, 59 岁, 研究员, 从事海洋遥感应用及其信息系统研究.

盆的分界。

南沙隆起带有多级水下台阶,其中在水深 1 700 m 的第三级台阶上发育了南沙群岛的大部分岛礁,大小海山顶部发育着各类珊瑚礁,大都形成环礁。

南沙群岛海域的海底地形特点呈由南向北的大致三级阶梯地形。台阶上耸立着众多的珊瑚岛礁,礁间为深切的槽谷:其一,南沙群岛东南侧的南沙海槽,呈北东—南西向;其二,位于南沙群岛中部的南华水道海谷,呈北西—南东向,从永暑礁东北端起向东南交会于南沙海槽;其三,为中央水道海谷,呈北北东—南南西向,几乎垂直于南华水道,纵贯南沙群岛北部,从礼乐滩西北边起长达 300 km,宽约 100 km,深为 3 000 m;其四,被人称为华阳水道海谷呈北北东—南南西走向,几乎垂直于南华水道,大致为 113°E ,由永暑礁东北端向西南延伸^[1~3]。

南沙群岛的大型群礁和独立环礁近海面的上部系第四纪珊瑚礁,伏卧在陆架上的礁丘也系第四纪珊瑚礁。冰后期海面上升的速度与区内实测的造礁骨架的珊瑚生长率相当,使该群岛大部分礁体顶部与海面上升呈同步趋势,随潮位而隐现,少部分礁体可能因局部地壳下降,海面上升速度大于珊瑚生长率,使礁顶处在低潮位以下。该群岛的环礁顶部均系全新世中期以来堆积而成,细分有三:(1)水下浅水珊瑚礁礁丘,(2)水面环礁,(3)珊瑚礁灰砂岛。其分布特点与古地理和现代环境有关^[4]。

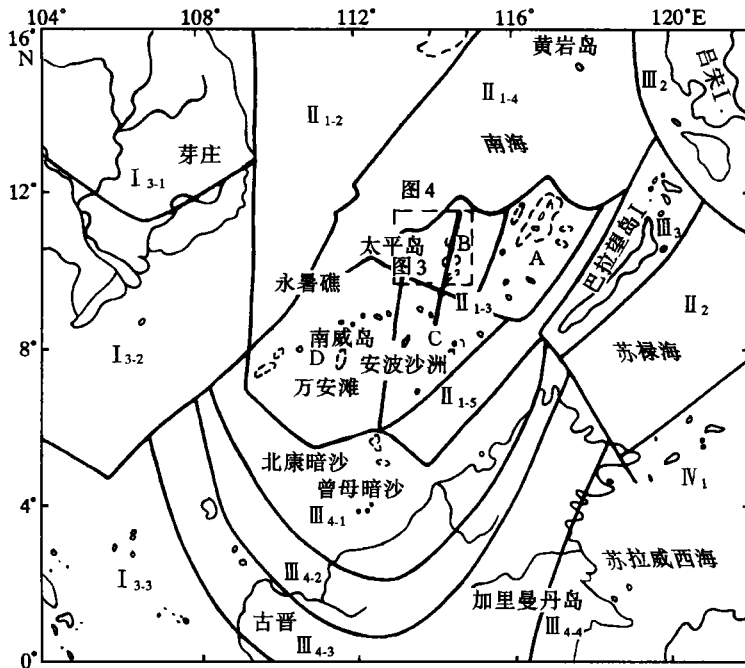


图 1 南海南部构造区划图^[5]

I₃₋₁: 印支断块, I₃₋₂: 长山林同断褶带, I₃₋₃: 印支断褶带, II₁₋₂: 南海西部陆坡断阶带, II₁₋₃: 南海南部陆坡断阶带 (A. 礼乐断块盆地, B. 太平断隆, C. 南华断块盆地, D. 尹庆断隆), II₁₋₄: 南海中央海盆断扩区, II₁₋₅: 南沙海槽挤压带, II₂: 苏禄海地堑带, III₂: 菲律宾断褶带, III₃: 巴拉望断褶带, III₄₋₁: 米里断褶带, III₄₋₂: 泗务断褶带, III₄₋₃: 古晋断褶带, III₄₋₄: 东加里曼丹断褶带, IV₁: 苏禄火山脊

2.2 珊瑚礁分布的局限性

珊瑚礁基本分布在表面水温 20 ℃ 的海域中. 对此, Wells 于 1957 年的研究结果表明, 年最低温度低于 18 ℃ 时, 珊瑚礁就不能发育; 年平均水温在 23~25 ℃ 左右时, 珊瑚礁发育最好.

珊瑚礁的生长限制在一定的海水深度, 通常水深超过 50~70 m 时, 它就不能发育. 大部分珊瑚礁能在 25 或 25 m 以下的水域生长.

盐度对造礁珊瑚的发育也有限制作用, 海水盐度在 32~35 时, 珊瑚礁才能得到很好的生长.

当珊瑚礁处在强波浪海区时则发育很快. 波浪的作用除不断地为珊瑚群体供给含氧的海水和阻止物质的沉积作用外, 还能使珊瑚得到充分的浮游生物饵料.

不同地区的珊瑚礁的生长率不尽相同. 据 Stoddard 1969 年的研究报告, 珊瑚礁每年向上生长的幅度为 0.2~8.0 mm 左右. 当珊瑚礁长期处在空气中时, 大部分珊瑚均要死亡, 所以珊瑚礁的生长高度不能超过最低潮位. 至今对大部分珊瑚礁生长率的测量是按其地形在数年间的变化来推导的, 或利用地质资料(如测定石灰岩沉积厚度)推算出来的.

2.3 珊瑚礁区带与造礁珊瑚生长

珊瑚礁有着各种各样的生境, 因此珊瑚礁区的生物具有多样性的特点. 对环礁而言, 虽然区带情况要比岸礁和堡礁复杂, 但却是稳定的.

环礁的发育和区带的形成强烈而明显地受盛行风引起的波浪的影响, 其横截面可显示出不同的礁带特征, 这是珊瑚礁不同的部位处在迎风面或处在背风面所形成的^[6].

3 影像珊瑚礁地貌信息解译的依据

珊瑚礁地貌学主要是其形态特征与形成这一形态的物质特征和结构, 以及它的成因、发育、演化与空间分布规律. 在遥感图像中所表现的珊瑚礁地貌信息十分丰富.

3.1 珊瑚礁地貌光谱特征

珊瑚礁光谱特征信息是以色调的类别、强弱与反差、珊瑚礁体的大小、高度、宽度、长度、深度及它们之间组合关系所形成的立体结构之形体特征. 这些形体特征的光谱信息表征在影像中, 得以可解译性.

3.1.1 不同珊瑚礁地貌具有不同的光谱特征

如环礁和暗滩这两种不同的地貌类型在影像中, 前者是环状亮带, 中间多呈圆形、椭圆形或长条形水域的深色调, 即低反射率为其形态特征; 后者的整个形体影像色调偏暗, 边缘不清晰, 几何形状随意性大, 且不同波段其影像差异较大.

3.1.2 相同的珊瑚礁地貌在不同波段影像中光谱特征不同

由于不同波段穿透水的能力不同, 如蓝绿波段穿透水的能力相对其他波段为深, 所以同一类型珊瑚礁地貌在蓝绿波段影像中往往能够清晰显现, 而在其他波段该珊瑚礁地貌就难以显现出来.

3.1.3 相同珊瑚礁地貌类型在不同影像中光谱特性不尽相同

此系形成遥感影像的波段不同造成的. 诚然, 图像比例尺也影响影像的清晰性与可解译性.

3.1.4 相同的珊瑚礁地貌在不同时相的影像其光谱特征也不相同

高潮位的 TM 图像信息远没有低潮位的 MSS 图像信息丰富,这是水对光的衰减所致。

3.1.5 风暴潮的作用

当风暴潮将珊瑚砾石抛向礁坪上而地貌实体并无表现时,礁坪的光谱则有所改变,即在相同时相的条件下反射率相对降低,颜色灰度趋于低反差,同时表明了风暴潮袭来的方向。

3.2 珊瑚礁地貌形体的综合影像

无论是环礁、台礁或其他类型的礁体,只要它们系低潮时相的影像,均能直观显现其整体特征。TM 的卫星图像中,表征出呈东北—西南向的、以断续环状在水下发育为特色的南沙群岛的安渡滩分布的格局即是其例。

3.3 珊瑚礁地貌形体影像差异

虽然形体差异不明显,但物质组成及结构部位不同,地貌则显现有所不同,如由于礁体发育较高,顶部到达低潮面,堆积着很多珊瑚砂,以至发育成小沙洲,使礁坪外侧色调较淡。在潟湖边缘,珊瑚较稀疏,礁坑发育(密度与高差不同),到处散布有薄水层,导致影像色调不同。

3.4 影像信息表现了珊瑚礁地貌的形成、发育、演化特征及分布规律

即使在低潮位时相的卫星图像中,一些礁滩的影像仍呈现小反差、边界不清晰、断续发育的礁体影像,由形态结构特征上反映了珊瑚礁滩仍处于低潮面下,但正向低潮面发育生长,例如南沙的安渡滩。六门环礁能在低潮时相的卫星图像中清晰显现,并且礁门也历历在目,说明其经历了暗滩发育过程,形成结构特点清晰的准封闭型环礁,但由于地形效应与基底构造的控制,它演化成西北—东南向的环礁^[7]。

3.5 珊瑚岛礁顶部参数

由遥感复合信息确定每一岛礁的地理坐标(x, y)和所设低潮为标准面的相对高程(h),并用最小二乘法将其化成回归分析问题进行趋势面计算。

4 趋势面的数学模型

珊瑚岛礁的许多特征量均是空间点的函数,它们随空间而变化。由此可知,珊瑚岛礁趋势面分析的数学原理^[8-10]是以 $z_i(x_i, y_i)$ 来表示某一珊瑚礁体顶部在空间上的分布,其中(x_i, y_i)表示空间点的两个坐标。

珊瑚岛礁顶部地理量随空间的变化被分解为两部分;其一为大尺度的区域性变化,即趋势变化主要受大范围的地质构造系统性因素所控制;其二为小尺度的局部性明显变化,它往往与局地环境条件有关。因此,对于 N 个样本数据,可列式如下:

$$z_i = \hat{z}_i + R_i = f(x_i, y_i) + R(x_i, y_i), \quad (1)$$

式中, \hat{z}_i 为趋势值; $\hat{z} = f(x, y)$ 称为趋势面方程,其在几何上对应的曲面称之为趋势面; $R = z - \hat{z} = z - f(x, y)$ 为剩余值,表示小范围的局部变化。

由于南沙珊瑚岛礁顶部 x, y 在空间上的分布至少呈四次曲面,因此用四次多项式来拟合,其数学模型为

$$z = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6x^2y + b_7xy^2 + b_8x^3 + b_9y^3 + b_{10}x^3y + b_{11}xy^3 + b_{12}x^2y^2 + b_{13}x^4 + b_{14}y^4. \quad (2)$$

依据上式,建立图 2 所示的分析系统。

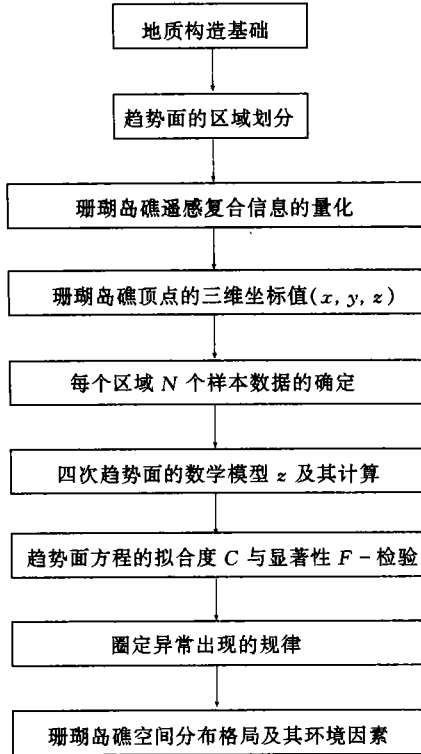


图 2 珊瑚岛礁顶趋势面的遥感综合分析系统

5 趋势面区的划分与岛礁空间分布特征

据上所述,经运算获得了南沙海域的断块相应的一整幅礁顶趋势面图,图 3 和图 4 分别表示太平断隆构造区礁顶部剖面和环礁顶部四次趋势面。

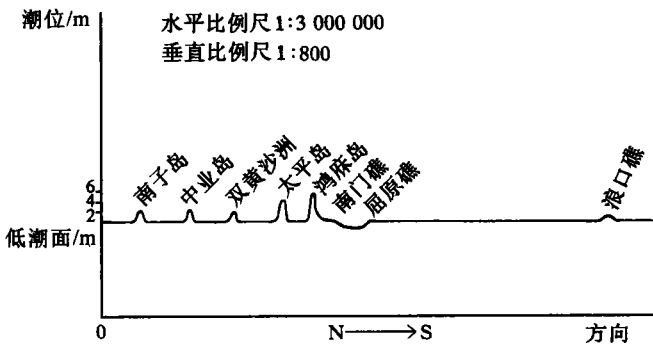


图 3 南沙群岛中北部太平断隆构造区岛礁顶剖面

如上所述,珊瑚礁的生长局限在一定的海水深度,大部分能在 25 或 25 m 以下的水域生长,但高度局限在最低潮位上。图 4 和图 5 表征了珊瑚岛、洲、礁、滩空间分布的特点及其地质构造控制与水文动力等条件促使其发育的因素。其规律如下:

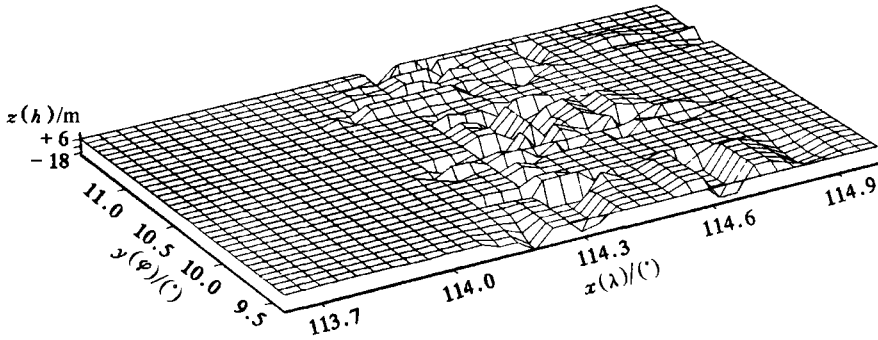


图4 南沙群岛中北部太平断隆构造区环礁顶部四次趋势面

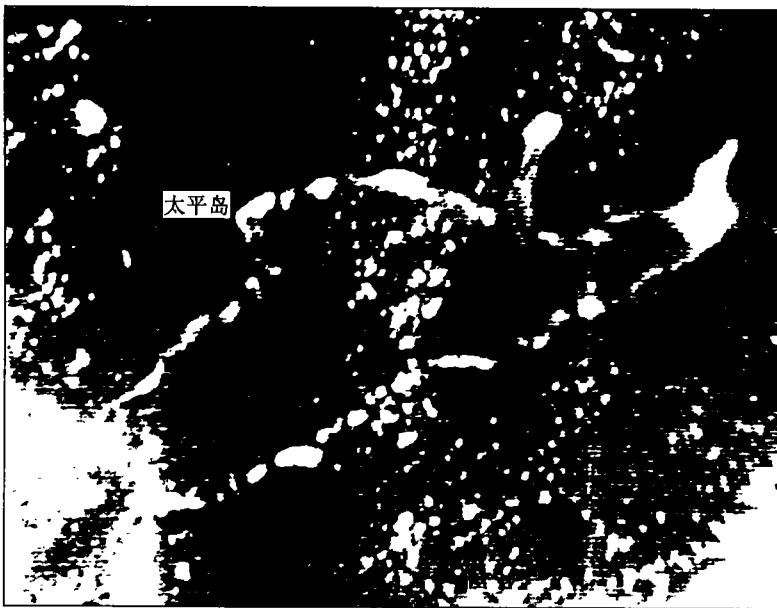


图5 经处理的太平断隆构造区中郑和群礁卫星图像

(1) 大范围内趋势值呈断块状分布, 高值区与大型环礁集中地——断隆呈相应的吻合联系; 低值区与暗滩、暗沙集中地——断块盆地相一致. 这表明了区域地质构造对南沙珊瑚岛礁空间分布格局的控制作用.

(2) 高次趋势面多处于有规律的部位, 如断块的西南部反映了岛与沙洲的集中地, 显示出地质构造的位置, 并为形成大型环礁提供了浅水域的基础, 进而水文与气象等动力条件塑造出珊瑚岛和沙洲.

(3) 近于低潮标准的趋势面, 反映了这里的水文动力条件对珊瑚礁体的发育尚未有快速的作用. 若大范围内均是如此, 则在地壳与海面相对稳定的情况下, 难以形成岛屿和沙洲.

(4) 在区域的断块内, 趋势值的变化梯度方向表明了珊瑚礁体向相应的方向侧伏的特征.

(5) 在断块内趋势面形态较为复杂, 表明了五类珊瑚礁在一定的条件下可转化, 即如部分

暗沙向暗礁发育,环礁上可发育成沙洲乃至岛屿。

(6) 在断块内当异常的趋势值有一定的走向时,往往表明一条构造脊将多类珊瑚礁体相连接。

(7) 在断块内当异常的趋势值较为分散时,表明这多为沉降的盆地,礁滩的发育极为缓慢。

(8) 由趋势面的总体形式,并据南沙珊瑚礁礁坪砾块的 ^{14}C 年龄测定^[11],可看出南沙众多的礁体之所以发育至低潮面,系全新世中期以来,礁体的增长速度相当于或稍大于海面上升和地壳沉降速度,使造礁珊瑚生长至低海面后便向水平方向延伸,最终发育成环礁或台礁。

(9) 在地壳与海面相对稳定的条件下,南沙岛礁的主要分布区,即西起西礁、东至蓬勃暗沙、北从双子群礁、南到弹丸礁一带范围内,礁坪在水平与垂直方向上不断得到发育,加速了台礁化的进程,使之形成珊瑚沙洲乃至珊瑚岛。

(10) 已有的研究表明,南沙群岛大型群礁和独立环礁的上部均系第四纪珊瑚礁,其大部分礁体向上发育与海面上升呈同步,少部分礁体可能因局部地壳下降幅度较大,使海面上升速度大于珊瑚生长率,成为暗礁。该区的环礁顶部系全新世中期以来堆积而成的;大多在 7°N 以北,因在风暴条件下,生物碎屑在礁坪上堆积成灰砂岛;在该区的南部,因全新世早期当地珊瑚生长率低于海面上升速率,使这里呈现有水下浅水珊瑚礁礁丘。概括起来,该区的岛礁演化模式如图6所示^[12]。

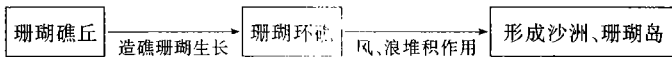


图6 南沙岛礁的演化模式

6 结论

在地壳与海面相对稳定的情况下,珊瑚岛礁的发育相当缓慢,即使如此,也可将每一珊瑚岛礁有关特征量化,取其三维空间进行趋势面分析。随着空间遥感分辨力和测试精度的提高,以及通过最佳波段的选择,采用趋势面分析对南沙珊瑚岛礁空间分布的格局及其演化作进一步研究,无疑是一项重要的基础工作。

参考文献

- 1 中国科学院南海海洋研究所. 南海地质构造与陆缘扩张. 北京: 科学出版社, 1988, 41~73, 344~367
- 2 陈史坚. 南、北康暗沙和曾母暗沙附近的自然环境. 南海研究与开发, 1986, 4(4): 87~94
- 3 赵焕庭, 温孝胜, 孙宗勋等. 南沙群岛景观及区域古地理. 地理学报, 1995, 50(2): 107~117
- 4 赵焕庭, 温孝胜, 孙宗勋等. 南沙群岛自然综合体的形成和发展初探. 见: 南沙群岛及其邻近海区地质、地球物理及岛礁研究论文集(二), 北京: 科学出版社, 1994, 226~238
- 5 中国科学院南沙综合科学考察队著. 南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质. 北京: 海洋出版社, 1992, 17~22
- 6 尼贝肯 J W 著, 林光恒, 李和平译. 海洋生物学——生态学探讨. 北京: 海洋出版社, 1991, 235~254
- 7 Liu Baoyin, Wang Yanfeng. The remote sensing composite information of Nansha reef's closed atoll and the model of its spatial structure evolution——I. Acta Oceanologica Sinica, 1997, 16(1): 57~70
- 8 於崇文编著. 数学地质的方法与应用. 北京: 冶金工业出版社, 1980, 246~289, 320~330

- 9 Santos Oliveira J M, Trend-surface analysis in geochemical prospecting data, Arouca - Castro Daire Region, Northern Portugal. *Chem. Geol.*, 1979, **24**(3/4): 271~292
- 10 Lee P J. The theory and application of canonical trend surfaces. *Jour. Geology*, 1969, **77**, 303~318
- 11 赵焕庭, 宋景朝, 朱袁智. 南沙群岛“危险地带”腹地珊瑚礁的地貌与现代沉积特征. *第四纪研究*, 1992, (4): 368~377
- 12 赵焕庭主编. 南沙群岛自然地理. 北京: 科学出版社, 1996, 258~274

Remote sensing composite information's trend surface analysis of Nansha Islands coral islets and reefs' top

Liu Baoyin,¹ Wang Yanfeng¹

1. *First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266003*

Abstract—Based on the remote sensing information feature of Nansha coral islets and reefs that controlled by the Nansha Islands local area's geological structure and growth law, by means of mathematical model and PC, the Nansha Islands coral islets and reefs' top geological data' spatial distribution and local change trend are simulated by using the trend surface system on the remote sensing composite information, and a scientific interpretation and local comparison of Nansha coral islands and islets' spatial distribution feature are made.

Key words Nansha Islands, coral reefs, remote sensing, geomorphology, trend surface, mathematical model