

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

## 研究简讯

# 多金属结核海底照片的图象识别与处理

王公念 朱克超

(地质矿产部广州海洋地质调查局)

叶剑平 许洪泉 梁朴

(南开大学数学系,天津)

**内容提要** NIRS是结核海底照片的处理系统。照片具点光源特征,中间亮边部暗,依光强与射线距离平方成反比的关系将其校正为平行光源照片;模式识别综合利用灰度、形状等特征分割图象与背景,圈定结核,然后计算覆盖率、估算丰度,以数据库存储管理信息。配置了1850DPI底片扫描仪,显示图象清晰。分析了DY851, DY853航次照片处理结果,划分出五种照片类型,提出了系统的最佳使用方法,讨论了照片处理质量的评价方法。

**关键词** 多金属结核 图象识别 图象处理

自86年起,地质矿产部“海洋四号”船对太平洋中部海域的结核调查已获重要成果。除直接的深海采样外,海底照相是重要的间接调查手段,海底照片形象、直接地反映结核在海底的分布状态,可用以计算结核的覆盖率即结核与背景面积的百分比,了解结核分布情况,与沉积物的关系等等,有很高的使用价值。

海底照相在测站上有两种工作方式,其一是连续照相,是指单一投放深海照相机,以触底开关控制,在距海底3m处拍照,每站可得照片数百张。其二为单次照相,在采取结核样品时,每测站投放无缆抓斗三个,相机固定于第二个无缆抓斗(FG2),故相片与抓斗采样同域。以往手工计算覆盖率(COV),在照片上画网格,统计结核图象与照片总面积的百分比,效率低,精度不高。再者,照片蕴含着丰富的其它信息,诸如结核形状、沉积物覆盖以及结核分布方式等,对研究结核赋存,评价结核矿区皆具价值,但过去尚未深入研究。

以计算机处理照片的主要障碍是结核在海底多为沉积物所掩盖(图版I-1),无清晰边缘或边缘残缺不全。照片经数字化后形成灰度数据,共256阶,纯白为0,全黑为255,其余色阶居中。因掩埋沉积物的灰度与背景相同,故单纯利用灰度差异区分图象与背景来计算覆盖率或进一步估算丰度,研究结核的形态及其分布状态还是不够的。在建立微机图象识别系统NIRS(Nodule Image Recognition System)时,主要方法是模式识别<sup>[1]</sup>及光学校正,然后有针对性地配置硬件环境。

## 1 结核图象的模式识别

识别结核过程分三部分:区域分割,边界跟踪及特征计算与模式识别。

**区域分割** 先自动求出图象阈值,使结核群与背景灰度分开,然后以区域增长的方法,以平均灰度差为标准,从点开始,反复与相邻点或区域作比较,平均灰度差小于某阈值(5—10)则合并,直至无法继续为止。形成了初始的区域,再从中去掉过大或过小的区域(一般不可能是结核),就可得到分割的结果。

**边界跟踪与结核分离** 对分割所得每一区域之边界进行跟踪,得到区域的边界。计算边界上每个点的局部曲率,即相邻边界点的斜率之差。对边界整体算出曲率的10个局部极小值,把达到这些极小值的边界点视为可疑点,依曲率大小,可疑点间之距离,与对边的最短距离等等作分析去掉一些点,如果没有剩下可疑点,则此区域作为一个结核不再分割,它的内部(被沉积物覆盖的部分)自动认为是同一区域。如剩下可疑点,以其为准,结合该区的内边界,对此区反复切割,直至无可疑点为止,该区被分为数个结核。至此即完成了结核与背景图象的分离,也可说作了狭义的“识别”。

**特征计算与识别** 把每一结核边界作为一条简单闭曲线,将其视为周期函数作傅氏展开,傅立叶级数中的一系列系数是直接和边界曲线形状有关的,可用作图象形状描述,称傅立叶描绘子,利用它们就可计算出结核的各种特征,如面积、周长、拟合椭圆的长短轴、圆度等。据长短轴即可求得结核大小与方向;利用圆形度和结核面积与拟合椭圆的面积比等就可将结核分为球、椭球、不规则等三类;结核的掩埋度是由结核内部小于阈值部分的面积与结核整体面积之比而得;结核光滑度是据边界线的光滑程度,结核内部点与邻点的灰度差的大小依一定比例算出。模式识别需逐个圈定结核,精度高,但未见得可应付一切海底情况,对结核分布的复杂性要有充分的估计,浏览功能的设置正基于此。在作了预处理的图象上,以自动求出的阈值灰度区分结核与背景,再计算覆盖率( $COV_B$ )。

至此已完成了对照片的图象识别,算出了整张照片的覆盖率,在逐个圈定结核的基础上又求得每个结核的特征数值,还利用已求得各结核长轴、短轴及形状和经验公式估算丰度( $kg/m^2$ ),以三级专用数据库,即工区、测站以及单张照片存储管理以上信息。

## 2 光学校正

因用闪光灯在5000m深的海底拍照,故照片具明显的点光源特征,即边部暗中间亮,以致边缘结核图象被黑色背景湮没。再者因相机镜头倾斜,距照片光学中心远的图象发生几何畸变。就此类干扰而言,一般的预处理手段很难奏效,故提出了光学校正方法,纠正因相机倾斜引起的图象畸变,改点光源图象为平行光源图象。

先把图象分为 $40 \times 40$ 小块并计算每一块的阈值,以其为均匀的光强采样,目的是去除结核与海底沉积物的灰度深浅对光强均匀性的影响。以光强最亮的点为光学中心,与图象的几何中心比较,求相机的两个偏差角(方向角和仰角)。根据以上建立的光照模型,考虑到海水吸收,光强与距离的平方成反比,利用上面算出的采样值再用最小二乘法估计模型参数,最后依模型对图象的每点校正,使校正后平均灰度为128左右。至此即完成了光学校正。由(图版1-2)可见校正的效果,图左边部的结核图象已被过黑的背景遮蔽,图右为光学校正后,边部的结核图象得以显现。

## 3 系统运行环境的安排

考虑前提是数据容量大,硬件配置简单(适合船载),图象显示清晰。首先选用了目前国内

精度最高的底片扫描仪 MICROTEK PTS-1800 与已有的 486 微机配合以占用空间最小,直接以底片(负片)扫描,省去洗相工序,其分辨率为沿纵横方向光栅孔径为每毫米 72 线(1850DPI),可得细微的结核图象。

一张底片经以适当分辨率扫描后数据量约为 1.5MB,为处理、显示图象需要,又增加扩充内存 12MB,因而系统运行时可自如地访外,显示与处理。以上即是系统的硬件配置,较之一般的图象处理系统,其小巧、灵活,适合船载的特点是明显的。

如前所述,结核图象边缘模糊,图象分割不易,再者提取结核数字特征以及目视研究结核分布情况等皆需高质量显示结核图象,故在  $1024 \times 768$  的 TVGA 卡上开发图象处理方法,摆脱常用的图形处理卡的羁绊,实时(real-time)显示结核边界跟踪进程,可直接在屏幕上观察结核图象的细节。

#### 4 结核图象的分类

NIRS 已应用于 1994 年的东太平洋 DY85-3 航次调查,处理了所有 186 个测站的单次照片,及部分 DY85-1 航次照片,计算覆盖率及结核的各项特征参数,运行情况正常,适合海上工作。据实践的检验,重点分析了结核数量、沉积物覆盖以及结核分布特征;对比了识别求得的覆盖率( $COV_R$ ),浏览算出的覆盖率( $COV_B$ )以及由采样结果得到的甲板覆盖率  $COV_{FG2}$ 等,以便总结 NIRS 的适用情况。结核图象可分为五类:

(1)结核数量中等,覆盖率( $COV$ )中等(图版 I-1),结核边缘清晰,沉积物覆盖较少;浏览所得覆盖率( $COV_B$ )与识别所得覆盖率( $COV_R$ )近似;用 NIRS 中的经验统计公式计算的丰度与抓斗采样得出的丰度相近,故认为 NIRS 的效果最佳。

(2)结核数量较大,浏览方式所得的覆盖率  $COV_B > 30\%$ ;结核呈连片状分布(图版 I-2);许多结核未能圈出边界, $COV_B > COV_R$ ,前者较准确。

(3)结核数量少, $COV$ 低,一般小于  $10\%$ ,结核呈零星分布,沉积物背景与结核难以区分(图版 I-3)。浏览时不得不选择较大的阈值, $COV_B > COV_R$ ,后者较准确;相应的抓斗采样丰度  $ABU_{FG2} < 5\text{kg}/\text{m}^2$ ,经验统计公式计算的丰度较大(不准确)。由(图版 I-3)左部可见边界跟踪的图景。

(4)属特殊类型,因沉积物覆盖严重,许多结核仅能以斑点状显示,但隐约可见一个个结核的形态(图版 I-4)。 $COV_B$ 与 $COV_R$ 都不准确。这时应以 NIRS 中的手工方式(hand count)处理或打印出图象用手工圈定结核边界,也可适当增加阈值求得  $COV_B$ ,使之接近于结核在海底的实际分布。

(5)无结核, $COV = 0$ ,全为沉积物背景。

系统具实时显示功能,即在分割图象与背景时,或跟踪结核边界时,屏幕皆可同步显示,及时观察每一过程的细微变化:分割是否正确,勾勒边界是否精细,剔除干扰是否得当等等,据此自然可对识别的质量作出评估。识别得出多种特征参数,如圆度,掩埋度等均存放于数据库,但尚未研究各特征参数的面积分布状态,若以概率统计学方法求得各参数的面积分布,相信会对结核的分布特征,沉积环境得出新的认识。

#### 参 考 文 献

1 边肇祺等. 模式识别. 北京:清华大学出版社,1987. 292页.

## 图 版 说 明

1. 结核图象(经光学校正和直方校正)。结核数量中等,边缘较清晰。
2. 左为结核图象(未经光学校正和直方校正),具点光源特征。右为经光学校正和直方校正的同一照片,已变为平行光源。结核数量多,呈连片状分布。
3. 左为结核图象,结核边缘被圈定(经光学校正、邻域平均、平滑、区域分割、边界跟踪、模式识别等流程处理)。右为经光学校正和直方校正的同一照片。结核数量少,呈零星分布,沉积物背景与结核难以区分。
4. 结核图象(经光学校正和直方校正)。沉积物覆盖严重,隐约可见结核的边缘。

## IMAGE PROCESSING AND RECOGNIZING OF SEAFLOOR POLYMETALLIC NODULE PHOTOS

Wang Gongnian, Zhu Kechao,

(Guangzhou Marine Geological Survey, MGMR, Guangzhou, Guangdong)

Ye Jianping, Xu Hongquan and Liang Pu

(Mathematics Department of Nankai University, Tianjin)

### Abstract

NIRS (Seafloor Nodule Image Recognition System) is a processing system of seafloor polymetallic nodules images. Those images, with a character of the point light source (light in the center and dim on margins in the photo), can be corrected to such an extent that they have a character of parallel light according to the inverse ratio relation between the light intensity and the power of the light distance. According to the pattern recognition theory, the nodule image and its background can be segregated by some features such as grey and shape; then the edge of each nodule can be circled, the coverage and the estimated abundance can be calculated, and all the information can be stored in the database. A film scanner with resolution 1850DPI is configured and a high clarity image can be displayed. The processing results of the seafloor nodule photo in cruises DY85-1 and DY85-3 have been analysed and five types of the nodule photos can be distinguished. The best operation method of this system has been put forward and the evaluation method of quality of photo processing has been discussed.

**Key words:** polymetallic nodule, image recognition, image processing

### 作 者 简 介

王公念,男,1937年生。1961年毕业于北京地质学院石油物探专业。现从事区域重磁资料解释工作,任地质矿产部广州海洋地质调查局第二海洋地质调查大队高级工程师。通讯处:广州市1180信箱,邮政编码:510760。

