# 砂粒椭球体形态与空间方位测量法及其在南京象山群相分析上的应用*

关　平　　张　磊

（北京大学地质系，北京 100871）　（北京有色金属研究总院，北京 100088）

**关键词**　砂岩组构、古水流、定量计算

对砂岩组构的测量和研究，可为古水流、盆地分析及古环境再造提供许多信息和依据．多年来，沉积岩工作者在这一方面已进行了大量工作，提出了许多组构测量的理论和方法．但迄今为止，这些方法仍然未能令人满意．常用的是在定向薄片上测量砂粒的视产状[1]，但这种方法不能确定其空间方位．另一些方法采用矿物的 $c$ 轴、岩石的介电性、声波、吸水法来代替或推断砂岩组构[1]．这些方法虽然有时可以获得较满意的效果，但均为间接推测，其效果并不稳定．另一方面，一套利用任意三个正交截面上所测得的椭圆轴比及方位数据，来计算其实际的椭球形态和空间方位的方法被提了出来[2]，从而为测量和计算砂粒的空间方位提供了一个新思路．本文试图提出一个"砂粒理想椭球体"的概念并给出其计算方法，利用该法对南京地区象山群的古水流方向和相特征进行了分析，取得了较满意的结果．

## 一、概念的建立

砂粒的理想形态为三轴椭球体，天然的砂粒均可看成三轴椭球体的偏差形态．在砂岩组构的研究中，我们关心的是砂粒的空间定向，亦即 $a$、$b$、$c$ 三轴的空间方位．天然砂粒虽非标准的三轴椭球体，但并不影响其三轴的空间定向．由于砂粒很小，很难测量单个砂粒的形态和长轴方向，因此可以利用砂岩三个正交截面上测得的大量砂粒的二维形态及长轴方位数据，来计算其三轴椭球体的形态及方位．这就需要做如下考虑，即在手标本大小的范围内，砂粒的长轴有一个由沉积作用所造成的优势方向并且大多数砂粒的形态较为相似．根据前人的大量工作，上述两点在大多数情况下是符合自然界的状态的[1]，但若岩层受到了构造变形，则砂粒的长轴方向就不代表原始的沉积状态，而和构造应力有关．

在砂岩截面上，各砂粒的方向不是严格定向的，砂粒的形态也不尽相同．经过对大量标本的实际测量，发现砂粒截面椭圆的轴比是基本按正态分布的，而其长轴方向则有两种情况：当砂粒具定向性时，它按正态分布；当砂粒无定向性时，它按均匀分布．因此，在求取砂岩截面上的砂粒形态和方位时，必须统计 100 个以上的砂粒．对于所测得的椭圆轴比，可采取加权平均的办法求得一个理想值；对于其长轴方向，由于考虑可能有部分砂粒不定向，因此在用直方图求出其概率分布曲线后，即以其峰值作为理想值．这样，在砂岩的三个正交截面上，可得到三

本文 1991 年 1 月 11 日收到．1991 年 6 月 9 日收到修改稿．

* 北京大学自然科学处资助课题．

对六个砂粒截面椭圆的理想参数．根据这六个参数，即可计算出一个椭球方程来，这个方程所代表的椭球体，可称之为“砂粒理想椭球体”．这个椭球体即代表了砂岩中砂粒在统计学意义上的理想形态，其空间方位也代表了砂粒的相应方位．

## 二、计 算 原 理

因为与椭球体三主轴重合的坐标系(JKL)可以通过旋转与大地坐标系(ENV)重合，所以，以 JKL 所描述的椭球方程可以用 ENV 坐标系表达：

$$D_1E^2 + D_2N^2 + D_3V^2 + D_4EN + D_5EV + D_6NV = 1, \tag{1}$$

其中 $E$ 为大地坐标系的正东方位，$N$ 为正北方位，$V$ 为垂直水平面的方位，$D_n$ 为方程系数．式(1)的特征方程为：

$$\lambda^3 + b\lambda^2 + c\lambda + d = 0, \tag{2}$$

其中 $b$、$c$、$d$ 为 $D_n$ 的函数[3]．解方程(2)可得 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 三个根，则椭球体三个主轴的长度为：

$$r_i = 1/(\lambda_i)^{1/2}, \quad (i = 1, 2, 3) \tag{3}$$

椭球体的空间方位为：

$$\alpha_i = \begin{cases} \tan^{-1}(N_i/E_i), & V_i < 0, \\ \tan^{-1}(N_i/E_i) + \pi, & V_i > 0; \end{cases} \tag{4}$$

$$\beta_i = \tan^{-1}[\,|V_i/(E_i^2 + N_i^2)^{1/2}|\,], \tag{5}$$

其中 $\alpha_i$ 为各主轴相对于正东方向的方位角，$\beta_i$ 为椭球体三个主轴与水平面的夹角，而 $E_i$、$N_i$、$V_i$ 为 $D_n$ 的函数[4]．这样，砂粒理想椭球体的各项参数就均可表达为 $D_{n(n=1-6)}$ 的函数了．

上已述及，通过测量可以得到六个砂粒截面椭圆的理想参数，由于截面的产状已知，因此利用极坐标与直角坐标系的换算关系，即可根据这六个理想参数求出各砂粒截面椭圆长短轴的六个顶点在大地坐标系(ENV)中的坐标．由于这六个点取自椭球体的面上，所以均应满足砂粒理想椭球体方程，这样就可以利用(1)式按待定系数法求得 $D_n$．

## 三、测 量 方 法

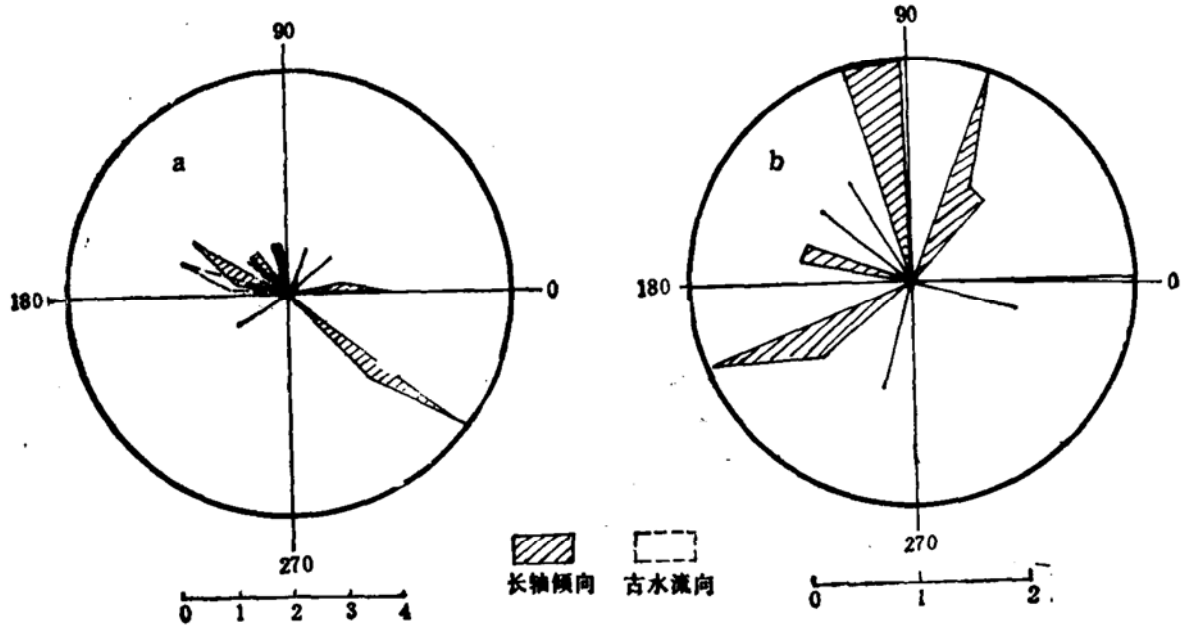
在野外按要求采集砂岩的定向标本，并测量岩层的产状．在室内将标本放在橡皮泥上，调整好方位，用红笔画上三个切面的位置并标好方向．将切好的薄片(标有基线方向)在图像分析仪上测量并统计砂粒的长轴、短轴的长度和长轴侧伏角．应选取石英作为测量的对象．若无图像分析仪，也可用显微投影的办法进行人工统计．测量结果用自编软件进行计算．

## 四、在分析南京象山群相特征时的应用

象山群在南京地区主要出露在紫金山、南北象山和杨坛山等地．笔者在紫金山和南北象山测了两个实测剖面，详细观察了该群的岩性特征，测量了一些沉积构造的产状，以判断古水流的方向，并采集了 40 余块砂岩的定向标本．

象山群总厚为 300—1000m，以中粗粒石英砂岩、长石石英砂岩、岩屑石英砂岩为主，夹有粉砂岩和泥质岩，局部有石英砾岩．经研究，象山群的相特征以河湖相为主，紫金山和南北象山等地主要为河流相．由于象山群的沉积中心位于南京东南的溧水一带，所以对于南京地区来讲，当时的古水流应为南东方向．笔者在野外测量的原生沉积构造包括斜层理、波痕及古植物化石等，其指向均大致为 SE 160°，这与古地理资料是一致的．

笔者对 19 块砂岩的定向标本进行了测量和计算，求出了其“砂粒椭球体”的空间方位和形态(图 1、表 1)。从图上可以看出，大多数“砂粒椭球体”的长轴与古水流的方向一致，且多倾向上游，这与实验结果是吻合的[1]。而“砂粒椭球体”的扁平面倾向则与古水流方向有一较大夹角，这可能与河流的侧向堆积有关。




a. 长轴倾向　　b. 扁平面倾向

图 1　“砂粒椭球体”空间玫瑰花图

表 1　“砂粒椭球体”形态

| 标本号 | 1 | 10 | 14 | 15 | 16 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 形状 | 椭球 | 椭球 | 扁球 | 扁球 | 圆球 | 椭球 | 椭球 | 扁球 | 圆球 | 圆球 |
| 球度 | 0.34 | 0.47 | 0.57 | 0.60 | 0.58 | 0.54 | 0.52 | 0.52 | 0.72 | 0.56 |
| 扁平系数 | 2.26 | 1.86 | 1.94 | 1.81 | 1.68 | 1.78 | 1.78 | 2.12 | 1.42 | 1.77 |

| 标本号 | 23 | 24 | 25 | 27 | 31 | 32 | 33 | 34 | 44 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 形状 | 长扁球 | 椭球 | 扁球 | 椭球 | 椭球 | 椭球 | 圆球 | 椭球 | 椭球 |
| 球度 | 0.49 | 0.36 | 0.75 | 0.50 | 0.45 | 0.40 | 0.62 | 0.45 | 0.55 |
| 扁平系数 | 2.59 | 2.28 | 1.87 | 1.94 | 1.96 | 2.17 | 1.19 | 2.01 | 1.71 |

表 1 列出了“砂粒椭球体”的形状(据津格的分类[5])、球度和扁平系数。数据表明，样品中椭球占 53%，长扁球占 5%，扁球与圆球各占 21%。据研究，形态与沉积环境有很大关系，椭球、长扁球常见于河相环境，扁球则多出现于低能海滩[6]。本区平均球度为 0.53，扁平系数为 1.90，这表明当时沉积环境为中低能，砂粒未经长途搬运，颗粒磨圆不好，球度低。因此，从上述各项指标看，在象山群沉积时，本区应为中低能的河相环境。

本文首次提出了“砂粒理想椭球体”的概念，并推出了其计算方法。在利用该法对南京地区象山群的古水流和岩相进行分析时，取得了较好的效果。

## 参 考 文 献


[1] P.E. 波特等著,陈发景等译,古流和盆地分析,科学出版社,1984.

[2] Ramsay, J.G., *Folding and Fracturing of Rocks*, McGraw-Hill, New York, 1967.

[3] Gendzwill, D.J. and Stauffer, M.R., *J.Math. Geol.*, 13(1981), 2:135—152.

[4] Shao, J. and Wang, C., *J.Math. Geol.*, 16(1984), 8:823—833.

[5] 方邺森、任磊夫主编,沉积岩石学教程,地质出版社,1987.

[6] H.E. 赖内克等著、陈昌明等译,陆源碎屑沉积环境,石油工业出版社,1979.