

# 重力活塞采样器海上采样技术的研究

张君元 杨光复

(中国科学院海洋研究所)

研究海底采样技术是促进海洋地质学发展的重要手段。我们于1966年研制出我国第一台重力活塞采样器(CH-1型)后<sup>[1]</sup>,经过15年的使用和进步,仪器结构逐步完善,在使用方法上积累了一些经验。本文试图从理论与实践上加以阐述,希望为使用者提高采样效果有所启示。

## 一、工作原理

### 1. 结构特点

重力活塞采样器主要依靠自重,在离海底的一定距离配重球触底,使杠杆失去平衡,活动吊环从挂嘴上脱落而获得冲力,使取样管钻进沉积物中。由于活塞受钢丝绳牵引而在管内向上移动的同时造成一定的真空,对进入管内的岩芯产生抽吸作用,从而提高了取芯率,并使样品基本保持原状,在取样管从沉积物中拔出和提升过程中也可防止岩芯脱落。

采样器的尾翼能使采样器落下时保持垂直状态。资料表明<sup>1)</sup>,装有尾翼的采样器从25米高处落下的过程中始终保持垂直状态;而无尾翼的采样器落下2—3米后即偏离垂直状态,当落至6米时,采样器还可能翻倒。为了充分发挥尾翼的垂直定向作用,应当将尾翼装在提管的最上部。

抗衡脱钩装置是重力活塞采样器的关键部件,在投放过程中,它与采样器主体抗衡不使中途脱钩;脱钩后保证活塞的抽吸作用,使采样器获得较大的冲力。

### 2. 钻进深度

重力活塞采样器钻进沉积物的深度取决于自由落下所获得的冲力(或称能量)和沉积物对取样管的阻力(或称所作的功)。设采样器的质量为 $m$ ,从A点落到B点(海底)及取样

管从B点钻进沉积物到C点( $BC=L$ )处停止(图1),其总能量( $W$ )为:

$$W = \frac{1}{2}mu^2 + mgL \quad (1)$$

式中, $u$ 为末速度, $g$ 为重力加速度。

沉积物对取样管的阻力所作的功( $A$ )为:

$$A = \int_0^L f_{kp} dL \quad (2)$$

式中, $f_{kp}$ 包括沉积物与管壁的摩擦力 $f_i$ ;其它如刀口截面垂直方向上的压力及刀刃锥面上的阻力 $f_c$ <sup>[2]</sup>等可忽略不计。上式近似为:

$$A = \int_0^L f_i dL = \tau C \int_0^L L dL = \frac{1}{2} \tau CL^2 \quad (3)$$

式中, $C$ 为取样管的周长(厘米); $L$ 为取样管钻进沉积物的深度(厘米); $\tau$ 为沉积物极限摩擦系数(公斤/厘米<sup>2</sup>)。

按功能原理:

$$\frac{1}{2} \tau CL^2 - mgL - \frac{1}{2} mu^2 = 0 \quad (4)$$

因此,钻进深度为:

$$L = \frac{mg + \sqrt{(mg)^2 + \tau C mu^2}}{\tau C} \quad (5)$$

式(5)中, $\tau$ 值经实验测定,软泥粘土 $\tau = 0.05-0.08$ 公斤/厘米<sup>2</sup>,砂质粘土软泥 $\tau = 0.08-0.15$ 公斤/厘米<sup>2</sup>,粘土质砂 $\tau = 0.15-0.20$ 公斤/厘米<sup>2</sup>,砂 $>0.20$ 公斤/厘米<sup>2</sup>。

采样器在海水中自由落下时的末速度( $u$ )与采样器的密度、形状和落下时的姿势有关。Kullenberg (1955)<sup>[3]</sup>研究了活塞式柱状采样器在海水中速度与诸因素的关系,列出了下列方程:

1) 梁元博, 1973. 《海洋科技》专辑。

$$u^2 = \left[ u_0^2 - \frac{mg}{k} \left( 1 - \frac{1}{d} \right) \right] e^{-\frac{2kx}{m}} + \frac{mg}{k} \left( 1 - \frac{1}{d} \right) \quad (6)$$

式中,  $k = \frac{1}{2} \rho_w C_D A$ ;  $d = \rho_c / \rho_w$ ;  $\rho_w$  为海水密度;  $\rho_c$  为采样器密度;  $u_0$  为初速;  $u$  为末速度;  $C_D$  为海水对采样器的阻力系数;  $A$  为采样器最大横截面积;  $m$  为采样器的质量;  $g$  为重力加速度;  $x$  为落下距离。

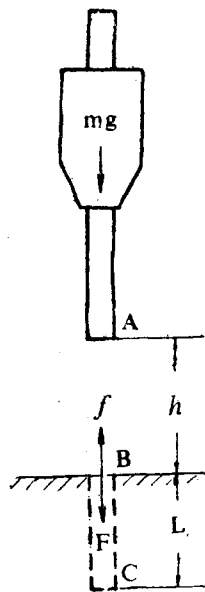


图1 钻进原理

根据不同参数的重力活塞采样器<sup>[2]</sup>, 用公式(6)计算得出的自由落下距离与自由落下速度的关系曲线(见图2)。

从图2中可归纳出以下结论:

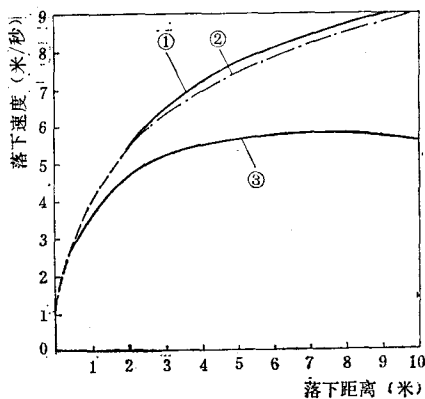


图2 活塞式柱状采样器落下距离与落下速度的关系

①为CH-1型采样器。m为800千克, k为620克/厘米, A为707厘米<sup>2</sup>,  $u_0$ 为50厘米/秒,  $\rho_c$ 为10克/厘米<sup>3</sup>。②为Kullenberg采样器。m为1200千克, k为1100克/厘米, A为1256厘米<sup>2</sup>,  $\rho_c$ 为10克/厘米<sup>3</sup>,  $u_0$ 为70厘米/秒。③为Silverman采样器。m为200千克, k为500克/厘米, A为615厘米<sup>2</sup>,  $u_0$ 为70厘米/秒,  $\rho_c$ 为10克/厘米<sup>3</sup>。

1. 速度( $u$ )的增值随落下距离( $x$ )的增加而迅速减小, 当落下距离增至一定值时, 就趋于匀速运动。因此, 在工作中应按实际情况选择最佳的自由落下距离。按式(6)重力活塞采样器的极限速度, 当:

$$u^2 = \lim_{x \rightarrow \infty} \left[ u_0^2 - \frac{mg}{k} \left( 1 - \frac{1}{d} \right) \right] e^{-\frac{2kx}{m}} + \frac{mg}{k} \left( 1 - \frac{1}{d} \right)$$

时, 等式右边第一项趋近于零。故:

$$u^2 \rightarrow \frac{mg}{k} \left( 1 - \frac{1}{d} \right) \quad (7)$$

由此可得出: ① $u=10.5$ 米/秒, ② $u=9.8$ 米/秒, ③ $u=5.9$ 米/秒。对于CH-1型采样器, 最佳自由落下距离为3—6米, 其末速度为6.5—7.5米/秒。

2. 由于末速度受到限制, 要获得较大的能量, 必须增加采样器的重量。

3. 落下速度还与采样器的形状有关。截面积较小的采样器能获得较大的末速度。如m为800千克的CH-1型采样器的速度反而比m为1200千克的Kullenberg采样器的速度要大。

由上述可知, 活塞式采样器在海水中获得的末速度, 进而可计算在不同类型沉积物中的钻进深度。现用公式(5)及相应的 $\tau$ 值, 按CH-1型采样器的设计参数(m为750千克, C为0.24米,  $u$ 为6米/秒)、冲绳海槽采样所用参数(m为560千克, C为0.24米,  $u$ 为6米/秒)及南黄海采样所用参数(m为450千克, C为0.22米,  $u$ 为5米/秒)分别进行计算, 计算结果列于表1。

上述计算结果与我们在冲绳海槽及南黄海区实际钻进深度基本吻合(见表2)。但是以砂为主的底质中, 实际钻进深度与计算则相差较大, 这可能与刀口在砂中的阻力( $f_c$ )较大有关。另外, 在海上采样时, 由于受流、浪的作用, 活塞在管中运动时与管壁的摩擦力, 以及配重球触底时绞车未能及时停止而减小了冲击高度(自由落下距离)均能影响钻进深度。

表 1

沉积物类型	$\tau$ (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	m=750千克时		m=560千克时		m=450千克时	
		L (米)	平均(米)	L (米)	平均(米)	L (米)	平均(米)
软 泥 粘 土	0.05—0.08	14.1—9.3	11.7	10.9—7.3	9.1	9.3—6.2	7.8
砂质粘土软泥	0.08—0.15	9.3—5.5	7.4	7.3—4.4	5.8	6.2—3.7	5.0
软泥粘土质砂	0.15—0.20	5.5—4.4	4.9	4.4—3.5	3.9	3.7—2.9	3.2
砂	>0.20	<4.4		<3.5		<2.9	

表 2

站 号	水深 (米)	采样长度(厘米)		取芯率 (%)	底 质 特 征
		钻进深度	管入岩芯		
C <sub>2-2</sub>	1350	800	733	92	灰色粘土, 有粉砂夹层, 厚2—3厘米。
C <sub>2-4</sub>	1996	760	686	90	灰色粘土, 258—336厘米为火山喷发物——浮石。
C <sub>2-5</sub>	852	820	771	94	灰色粘土。
C <sub>3-2</sub>	556	282	282	100	0—40厘米为细砂, 260厘米以下为风化层, 余为粉砂。
H <sub>2-29</sub>	78	350	350	100	0—50厘米为细粉砂, 余为硬质粘土-亚粘土。
H <sub>6-76</sub>	42	250	230	92	0—140厘米为细砂, 余为硬质粘土-亚粘土。
H <sub>6-78</sub>	47	240	220	92	0—75厘米为泥质细砂, 75—95厘米为贝壳砾石层, 余为硬粘土。
H <sub>8-99</sub>	36	340	300	90	0—50厘米为细、中砂, 余为含泥中、细砂。

注: C为冲绳海槽取样站, H为南黄海取样站。

## 二、采 样 方 法

使用重力活塞采样器须注意正确的采样方法, 才能充分发挥活塞式采样器的特点, 获得良好的采样效果。正确的采样方法可归纳为四点。

### 1. 根据底质特征确定取样管的长度

CH-1型采样器在砂中只能采集3米左右的岩芯, 取样管超过4米, 不但无用, 而且可能造成弯曲和断裂。这是因为按照压杆稳定问题的有关计算, CH-1型采样器加重至750公斤(水中), 取样管钻进停止后露出海底的长度不得大于3.7米。在实际使用中, 由于取样管不可能是理想的无弯曲和采样器触底时作用力不可能是理想的垂直, 因此, 在硬砂中, 管长不得超过3米, 但在软泥粘土中可接10米以上的管子。

### 2. 及时提升采样器

重力活塞采样器从脱钩自由落下到取样管钻进沉积物, 完成采样的全部动作仅几秒钟,

因此, 船只不需抛锚, 但必须及时提拔取样管。如果钻进后不及时提拔, 船位因风、流影响而移动, 将使取样管拔弯。取样管在沉积物中停留的时间越长, 船位移动越大, 不但会造成管子严重弯曲, 甚至在不能拔出时会导致钢丝绳破断等事故。

要做到及时提拔, 首先要确切知道采样器到底与否。这在水深小于200米的水域, 当取样管触底时可察觉钢丝绳有明显的振动; 但在数千米的深水区, 确难于察觉其触底时的振动反应, 因而往往将钢丝绳多放数十米至数百米, 致使不能及时提拔。为此, 在钢丝绳上安装“平格发生器”, 监测采样器投放状况和到底时的指令, 以便及时停车、提拔。

另外, 还可借助绞车上的拉力计(电子称), 监视其投放时的拉力, 当拉力突然减小, 表明采样器已脱钩落底, 应及时停车、提拔。

### 3. 主钢丝绳与辅助钢丝绳(或铁链)的长度配合要恰当

设主钢丝绳长为AB, 辅助绳长为CD(图

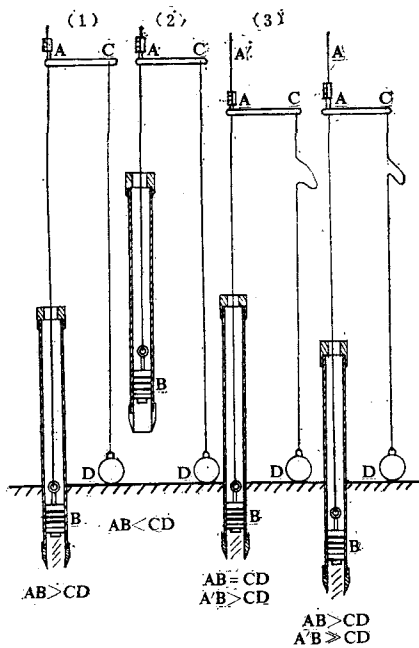


图3 影响采样效果的因素

3)。从理论上说,  $AB = CD$  则配合恰当。当  $AB > CD$ , 取样管开始钻进时, 活塞不能及时抽吸, 反而起了堵塞作用〔图3(1)〕; 当  $AB < CD$ , 取样管触底时, 活塞已停在离海底一段距离, 结果取样管不能全部钻进〔图3(2)〕。上述两种情况均影响采样长度。

#### 4. 掌握好采样器将要到底时的绞车速度

采样器将要到底时, 绞车应慢速下放, 当配重球触底时立即停车, 使取样管触底同时活塞受力。不及时停车, 就相当于  $AB > CD$  的情形〔图3(3)〕。如果  $AB > CD$ , 配重球触底时绞车又继续下降, 则  $AB \gg CD$ 〔图3(4)〕, 活塞将

严重堵塞取样管, 明显地降低采样效果。当  $AB < CD$ , 配重球触底时继续下降, 则促成  $AB = CD$ , 或稍大于和稍小于  $CD$ 。因此, 在实际工作中, 我们一般取  $AB < CD$  0.5米左右, 以补偿绞车难于做到及时停车造成的不足, 获得较好的采样效果。

在浅水区, 钢丝绳的弹性拉伸和绳端失重时的收缩可不予考虑。但在几千米的深海, 绳端悬挂1吨左右的采样器脱钩瞬时失重, 钢丝绳将收缩一定长度, 这时活塞将从管内上升一定距离。这相当于  $AB < CD$  的情形。因此, 在深水区工作, 采样器将要到底时, 绞车速度不宜过慢; 脱钩时立即停车, 用绞车下放的惯性补偿钢丝绳端点失重时的弹性收缩, 使活塞及时受力, 以获得较好的采样效果。

综上所述, 重力活塞采样器是一种良好的柱状岩芯采集工具。其钻进深度与采样器的重量、形状、在海水中自由落下的速度, 以及在不同类型沉积物中所受的阻力等诸因素有关。只有根据采样器的性能、特点和海上的具体工作条件, 灵活地运用, 才能获得良好的采样效果。

#### 参 考 文 献

- 〔1〕 张君元, 1976. 重力活塞取样管的结构及其使用. 海洋科学集刊11:413—415.
- 〔2〕 日本鉱业会編, 1975. 海底サンプリングハンドブック. 132—147 页.
- 〔3〕 Kullenberg2B., 1955. Deep-sea Coring. Rep. Swedish Deep-sea Expedition. 4(2):37—96.

## SAMPLING TECHNIQUE OF PISTON GRAVITY CORER

Zhang Junyuan and Yang Guangfu

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

#### Abstract

The piston gravity corer is a fine instrument to sample sedimental core at sea. It's penetrating depth depends on the weight and shape of the instrument, the distal velocity of the instrument during its free falling in sea water and the sedimental resistance. A good sampling core can be obtained by knowing both the performance of the instrument and the during existing conditions of the sea and the sediment.