

发展我国海底取样技术的几点设想

段新胜, 鄢泰宁, 陈 劲, 顾 湘

(中国地质大学, 武汉 430030)

[摘 要] 论述了进行海底取样的意义和目的, 介绍了国外研制的各种海底取样器工作原理及应用特点, 提出了发展我国海底取样技术的几点设想。

[关键词] 海底取样技术 海底取样器 取样器研制

[中图分类号] P256.5 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2003)02-0069-05

1 海底取样的意义和目的

我国管辖海域接近 300 万 km^2 , 由于历史原因, 我国与发达国家相比, 对大陆架和深海水域海底的地质构造研究程度很不够, 对近海海底矿产资源的勘探投入工作量也不多, 海底勘探的手段较单一, 海底取样设备较落后。因此, 了解国外先进技术, 研制出功能强、性能好的海底取样器, 是我国新一轮国土资源大调查, 进行海底勘探急需开发和研究的课题。

海底沉积物取样技术主要用于: 1) 海底矿产资源勘探, 包括寻找石油和海底新能源—气水合物等; 2) 海洋工程地质勘察, 包括海岸工程勘察, 航道勘察, 海底隧道地质勘察, 海底电缆、光缆、输气管道、输油管道线路勘察, 自升式海洋石油钻井平台柱基勘察等; 3) 全球气候及环境研究, 海底取样也是研究气候和环境变化的重要手段; 4) 进行海洋地质学研究, 包括海底地形地貌、海洋地质构造等; 5) 进行海洋地质填图, 为划定专属经济区和大陆架界限提供依据。

2 国外海底取样器的类型及特点

海底沉积物的取样主要是利用小型船只将取样器沉入海底, 取样器靠自身能量或利用船只上的能量在给定位置贯入或钻入海底沉积物中, 完成一次性取样。海底取样的基本要求是: 取样管尽可能深地钻(贯)入海底地层; 有较高的芯样采取率, 并对所取土(岩)样的扰动程度最小。根据海底沉积物颗粒之间的胶结情况, 可将海底沉积物分为海底土层和岩层; 根据沉积物颗粒粒径的大小, 海底土层又可分为淤泥、淤泥质土、粘土、粉土、粉砂、细砂、中

砂、粗砂、砾砂、砾石和卵石。

按工作原理海底取样器可分为: 抓斗式、重力式、冲击式、锤击式、振动式、扭摆式、回转式、振动回转式取样器等。

2.1 抓斗式取样器

这种取样器一般只能取海底 0.3~0.4 m 深的浅表层土样。

2.2 重力式取样器

重力式取样器主要用于海底淤泥及软土中取样, 常用的有两种。

1) 简单式重力取样器(图 1)

当船上钢丝绳快速释放时, 取样器在配重和自重作用下克服海水的浮力和阻力, 其下端的切削型管靴靠动能贯入地层。管口爪簧防止芯样在提钻时脱落。取样管上部的球阀, 当取样器贯入土层时在管内水压作用下打开, 而提起时关闭, 以保护芯样免受海水冲刷。为了保持取样管在落入过程中处于稳定垂直状态并提高下落速度, 一般还设置配重、稳定器和钢丝绳抛出机构。由于土样在取样管中上升时要克服与取样管内壁的摩擦力和取样管内的水压, 当样品较长时会出现管内土样被压实现象, 从而限制了取样长度。

2) 带框架的活塞式重力取样器(图 2)

该取样器在简单式重力取样器的基础上增加了框架和活塞, 并将活塞引绳固定在框架顶部, 使其长度恒定。当框架下落, 坐于海底时, 活塞锁定在海底平面的位置上, 而取样管在惯性作用下贯入海底完成取样。随着取样管贯入土中的深度不断加大, 活塞在取样管中的相对位置逐渐上移, 隔开了静水压力

[收稿日期] 2002-02-28; [修订日期] 2002-04-25; [责任编辑] 曲丽莉。

[第一作者简介] 段新胜(1962年-), 男, 2002年毕业于中国地质大学, 获博士学位, 副教授, 主要从事岩土工程教学与科研工作。

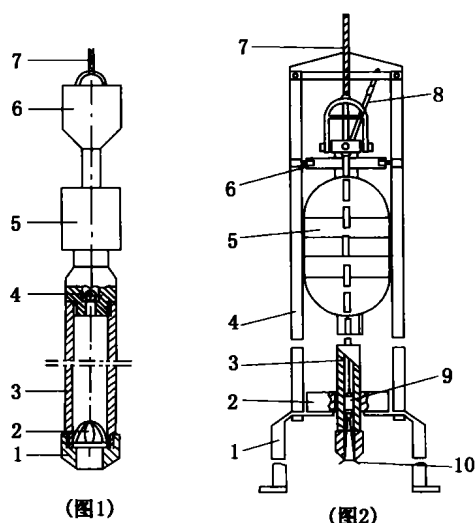


图1 简单的重力取样器

1—管靴;2—爪簧;3—取样管;4—球阀;5—配重;
6—稳定器;7—钢丝绳

图2 活塞式重力取样器

1—支承爪;2—中心配重;3—取样管;4—框架;5—配重;
6—可移动的横梁;7—钢丝绳;8—活塞引绳;9—活塞;
10—卡子

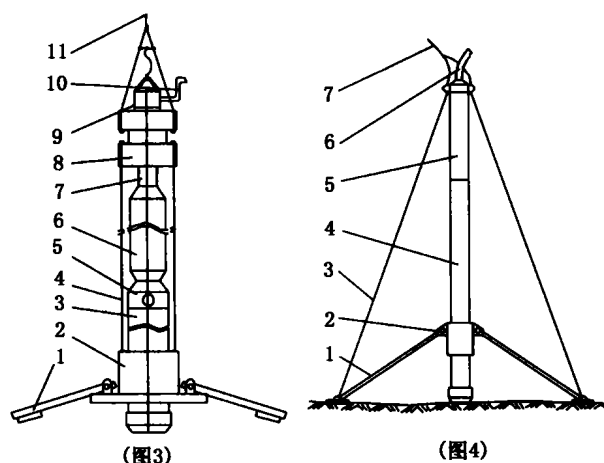


图3 气动冲击取样器

1—可卸式支脚;2—导向管;3—取样管;4—钢丝绳;5—接头;
6—气动冲击器;7—钻杆;8—滑动配重;9—限位器;10—气管;
11—钢丝绳

图4 液动冲击取样器

1—支脚;2—滑动短节;3—绳索;4—取样管;5—液动冲击器;
6—压力软管;7—钢丝绳

对样品的影响,同时消除了土样被非均匀压实的现象,使取出的芯样长度几乎与取样管贯入深度相等。

2.3 冲击式取样器

1) 气动冲击取样器(图3)

这种取样器的取样管上端连接有气动冲击器,由安装在船上的空压机通过输气软管给它提供压缩空气。一般在气量 $7 \sim 8 \text{ m}^3/\text{min}$, 压力 $0.6 \sim 0.7 \text{ MPa}$ 的条件下,可提供冲击频率为 $1500 \sim 1800 \text{ 次}/\text{min}$, 单次冲击功为 $140 \sim 160 \text{ J}$ 。随着海水深度的增加,由于水柱压力造成背压增大,效率降低,甚至背压超过空压机的额定压力时,废气不能排出。因此这种取样器适应的水深有限,一般只适用于在浅水区域采取海底砂样。如:俄罗斯 МП-1 型取样器,用 0.7 MPa 的空压机,直径 89 mm 的取样管,可在 $30 \sim 40 \text{ m}$ 深的海水下贯入砂土层 3 m 深。

2) 液动冲击取样器(图4)

这种取样器与气动冲击式取样器不同的是取样管的上端连接液动冲击器,由船上的水泵通过压力软管给液动冲击器提供压力水,其可贯入的深度取决于泵压的大小。由于水泵体积小压力高,因此,这种取样器可用于在较深的水域采取含卵砾石的海底砂样。如:俄罗斯 УГВП-150 型取样器,取样管直径 150 mm , 泵量 $200 \sim 300 \text{ L}/\text{min}$, 泵压 $2.2 \sim 3.0 \text{ MPa}$, 可贯入水深 100 m 处海底沉积物中 6 m 。但这种取样

器由于压力水管较难布设,也不适用于太深的海域。

2.4 锤击式取样器

1) 简单式锤击取样器

最简单的锤击打入式取样器,是靠人站在小型船只上打击钻杆或靠潜水员潜入水中提起重物打击铁砧使取样管贯入海底土层,一般取样深度可达 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$;若用绞车提起重物,靠自由落体的动能打入取样管,在取样管直径小于或等于 100 mm 的情况下,可贯入沉积物 4 m 深。这类取样器结构简单,成本低,但仅能用于浅水域的软土和松砂,在海水较深且有风浪的情况下也无法使用。

2) 遥控式潜水液压锤锤击取样器

该取样器主要由取样管、带导向的机架、潜水液压锤、液压泵系统、控制系统等组成。其特点是电动机、液压油泵、液压锤全部沉入海底。德国、荷兰、挪威和英国所实施的海洋科技计划(MAST)在 5000 m 水深,使用潜水遥控式液压锤锤击取样器获得了长达 30 m 的未扰动海底沉积物芯样。

2.5 振动式取样器

振动式取样器的特点是当取样管作纵向振动时,会使土壤对取样管的沉入阻力大大降低,而且振动频率愈高,阻力降低得愈显著。使用机械振动取样器时,必须解决电机的密封和激振频率的确定问题。常用的振动式取样器有两种。

1) 刚性支架式振动取样器(图5)

这种取样器靠振动器来实现取样管的贯入,用引

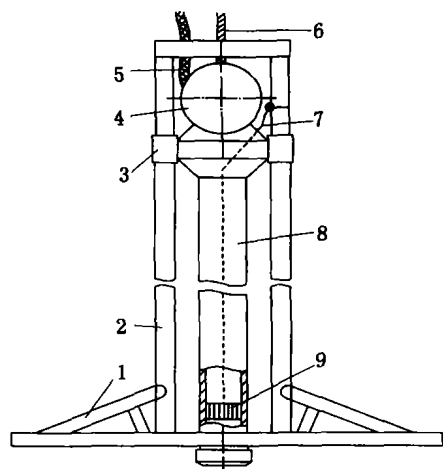


图5 刚性支架式振动取样器

1—支架;2—导向管;3—滑座;4—振动器;5—电缆;6—钢丝绳;7—活塞引绳;8—取样管;9—活塞

绳将取样管内的活塞固定在导向管上。通过活塞可有效地保护样品。俄罗斯的 БИТ-56 型振动式取样器在水深 500 m 的条件下,可贯入砂性沉积物 6 m。

2) 浮球柔性支架式振动取样器(图6)

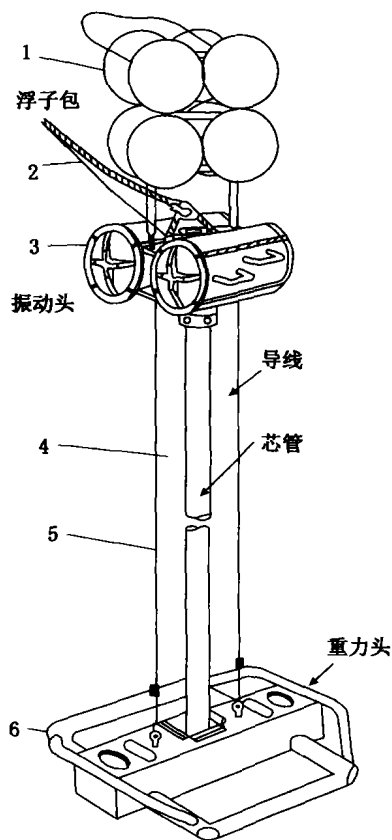


图6 浮球柔性支架式振动取样器

1—浮球;2—钢绳和电缆;3—振动器;4—取样管;5—导向钢绳;6—底盘

该取样器的浮球组是由轻质高强度材料做成的

空心球体。底盘的重量较大,浮球组与底盘间通过两根导向钢绳连成一体。取样器下入海水后,钢绳在底盘重力和浮球组浮力的相互作用下,在垂直方向始终处于绷紧状态,给振动器起导向作用。取芯管的上部与振动器连接,下部穿过底盘中心。由于浮球组、底盘重力及导向钢丝绳对振动器和取芯管的扶正作用,从而能不受海底地形的影响,保证较好地取到垂直方向的芯样。这种取样器的特定结构,使其在运输中可非常方便地解体成4大件,可在一个很小的空间内组(拆)装,甚至可在不平的月台或直升机上装拆,从而具有很好的携带性。加之其重量只相当于固定支架式振动取样器的80%,故运输成本较低。加拿大 P-6 型浮球柔性支架式海底取样器在海水深度为 500 m 时,采用直径 102 mm 和 141 mm 的取样管,可分别采取 10 m 和 6 m 长的砂质芯样。

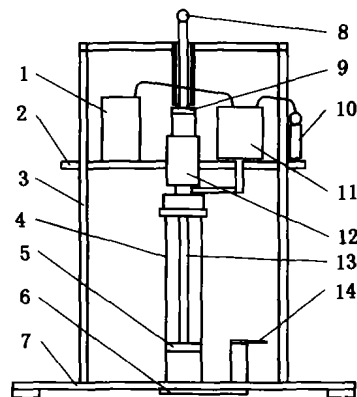


图7 蓄电池驱动的扭摆式取样器

1—蓄电池;2—滑动平台;3—导向柱;4—取样管;5—活塞;6—岩心挡板;7—机架;8—排气阀;9—钢球定位器;10—开关;11—马达;12—动力头;13—活塞轴;14—锁定杠杆

2.6 靠蓄电池驱动的摆扭式取样器(图7)

芬兰地质调查局使用的扭摆式取样器马达由自带的蓄电池驱动,经过有两档的齿轮减速机构带动偏心轮旋转,偏心轮通过摆杆带动动力头,动力头再带动取样管作 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 扇形往复摆动。通过取样管的摆动和滑动平台的自重及配重贯入地层。滑动平台上的配重为铅块和不锈钢重块,目的是增加取样器的稳定性和增加贯入力。活塞装置可防止从沉积物中拔起取样管时芯样脱落,在甲板上打开活塞轴顶部的排气阀就能将活塞拉到最顶端位置,以便容易从动力头上卸下取样管取出样品。当取样管刚脱离海底时,弹簧加压的岩芯挡板能自动关闭取样管下端。

该取样器只需用一个钢丝绳绞车即可将取样器下放到海底,故可用于小型船只上。当钢丝绳充分

松弛后,与钢丝绳相连的触底开关就会自动启动马达。可根据沉积物的类型和所需样品的长度,让取样器在海底工作 1~10 min。取样管贯入量的大小取决于施加的配重、运转时间和沉积物的类型。每充次电,两个串联起来的 6V、6Ah 的蓄电池可采样 10~20 次。取样管直径 100 mm,每次取样长度约 1 m,主要用于采取不扰动的砂样。

2.7 回转式海底取样器

对于海底岩层一般只能用回转钻进的方法来钻取岩芯。回转式海底取样器一般为遥控潜水动力头式钻机,俄罗斯、美国、日本、加拿大等国均生产这种取样器。动力头提供轴向钻压的方式有液压式、链条式和螺旋差动给进式 3 种。一般采用硬质合金钻头或金刚石钻头来破碎海底岩石。这种取样钻机可用于 400~500 m 以内的海深,钻孔深度一般不超过 10 m,主要用于获得海底岩样。

2.8 振动回转式取样器

俄罗斯的振动回转式海底取样器(图 8)由框

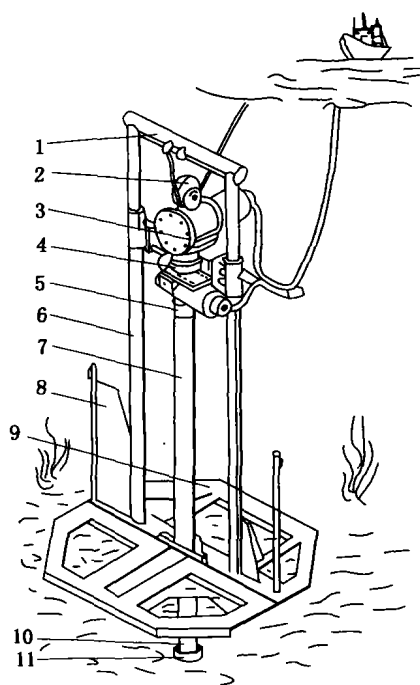


图 8 振动回转式取样器

1—横梁;2—滑轮;3—橡胶减振器;4—轴承头;
5—变换接头;6—立柱;7—取样管;8—水平尾
翼;9—基座;10—爪簧;11—钻头

架、振动回转部分、取样管和控制台组成。框架包括基座、固定在基座上的立柱和横在立柱上的横梁。来自船上起重绞车的钢丝绳穿过振动器上的滑轮固定在横梁上。为了防止钻机在提升和下放作业中扭转,在一个立柱上焊接了水平尾翼,使取样器能被海

流固定在一个方向上。振动回转部分包括振动器和回转器,振动器通过橡胶减振器固定在轴承壳体上,回转器固定在滑动横梁上。振动器和回转器均靠安装在密封壳体内部的电动机驱动。在取样管上部的变换接头中装有球阀,使取样管中岩芯上部的液体能顺利排出。控制台上装有启动和停止振动器和回转器的按钮及电压和电流表。

当供电驱动振动器和回转器时,取样管上同时有回转和振动冲击作用,在它们的共同作用下取样管向土层中钻进。当钻达一定的深度时,设备自动断电,并由起重设备把取样管从土层中拔出。在必要时可接通振动器,边振动边起拔。振动器和回转器的工作由控制台上的仪表进行监测。该设备可在 100 m 深处钻进海底沉积岩,孔深 4 m。广泛应用于地质调查、大陆架找矿和海底工程地质勘察工作。

3 发展我国海底取样技术的几点设想

3.1 开发系列海底取样器,以适应不同的要求

采取淤泥、软土和松砂样品时,采用适合各种海深的重力式取样器,可通过增大取样管的重量,增加配重以及增大取样管直径和长度的方法来增大取样长度;采取中密—密实的砂样或含卵砾石的砂样时,在较浅海域采用气动或液动冲击式取样器,在较深海域,采用振动式取样器或潜水遥控式锤击取样器;采取海底岩样时,采用海底遥控回转式取样器或振动回转式取样器。

3.2 用不同方式解决海底取样器与船只的配合问题

当使用无实时定位装置的船只时,船体在海风和表层海流作用下将产生漂移,漂移速度的大小,与海风和海流的大小有关。一般在 I~II 级海风下作业时,船体漂移速度约为 30~60 m/min。船体漂移对取样工作的影响程度与取样贯入时间及海水深度有关。当海水较浅时,不长的漂移距离也会造成船上拉紧的钢丝绳与取样器构成较大的偏角,使提取取样器的阻力加大,可能将取样器拉倒或把取样管拉弯。因此,在较浅海域应尽量采用抛锚方式来固定船体。当水深过大无法抛锚时,取样器应具有在海底自行起拔的功能,提出海底后再通过船上卷扬机将取样器提至船上。与此同时还须根据船体漂移速度,限制每次取样时的贯入时间。

需要由船上对取样器供应能量时,承载钢丝绳与动力电缆或高压水管、高压输气管的缠绕是一个普遍问题。为了消除相互缠绕问题,海底取样器应尽量采用承载电缆或采用蓄电池驱动的方式。

3.3 研制能满足特殊要求的新型结构海底取样器

气水合物存在于深海海底沉积物的孔隙之中,研究表明:气水合物在不同温度和压力下的形态不同。甲烷浓度较高时甲烷—海水系统的温度—压力状态图(图9)表明,随着温度和压力变化,甲烷—海

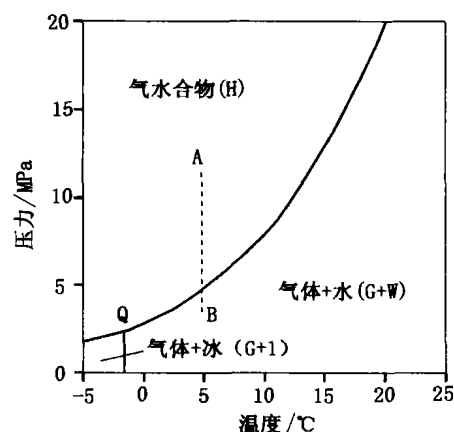


图9 甲烷—海水系统的温度—压力状态图

水系统会呈现3种状态:气水合物(H)、气体+水(G+W)和气体+冰(G+I)。在海底较高压力和较低温度的条件下(A点)采取的样品空隙中含气水合物,当温度不变压力减到B点时(相当于将样品从海底提到海面),样品的孔隙中的气水合物转变成气体+水,气体很容易从样品中逃逸。因此,进行海底新能源——气水合物普查时,取样管提离海底后,要求取样管上下都能密闭且能承受较大的压力,保证气水合物的样品与海底状态相同。

另外,为了能用古地磁法确定沉积物的地质年代,以便进行沉积规律及环境研究,还要求在取样管上能标出海底样品的方位。

3.4 引入高科技实现海底取样过程的可视化、自动化

我们可做的工作主要有:为进行海洋勘探的船只配备GPS定位系统、水下摄像机、海底照相机,研究和开发监控海底取样过程的微机系统,在取样器的正前方安装海底摄像机使其能避开海底障碍物以及海底极倾斜的地方,在取样器的正下方配置海底

照相机,在取样的同时可获得海底地貌照片。

3.5 加强海底取样技术的理论和实验研究

通过深入研究,找出海底未胶结沉积物在不同条件下沿取样管上升的最大高度,用以指导海底取样工艺及海底取样器的设计。因为,这个最大上升高度与作用在取样管上的贯入力大小与性质、取样管的材质、直径、内壁光洁度以及地层的性质等因素有关。当取样管的长度超过了这个最大高度时,则过长的取样管及其过高的机架就失去了意义。

3.6 采用变频的方法来调整振动器的激振力

目前国外在未胶结的沉积物中普遍采用振动式取样器,振动器的激振力可按式计算:

$$F = \frac{G_0 e}{g} \omega^2 \quad \text{式中: } G_0 \text{ — 偏心块的重量之和; } e \text{ — 偏心块的偏心距; } \omega \text{ — 偏心块的旋转角速度。}$$

偏心块的偏心距; ω — 偏心块的旋转角速度。

振动取样时,振动器的激振力必须大于取样管所遇到的总的动阻力才能将取样管贯入地层。而取样管所遇地层的总动阻力是变化的,但目前常用的振动器不容易对偏心块的重量和偏心距进行调节。故应考虑在船上安装变频器,通过改变偏心块的旋转角速度(即变频),来方便地调节激振力。

[参考文献]

- [1] 鄢泰宁,补家武,李邵军. 浅析国外海底取样技术的现状及发展趋势[J]. 地质科技情报, 2000, (2): 67 ~ 70.
- [2] 补家武,鄢泰宁,陈汉中. 浮球式海底取样器的结构及工作原理[J]. 地质科技情报, 2001, (1): 109 ~ 111.
- [3] 鄢泰宁,昌志军,补家武. 海底取样器工作机理分析及选用原则[J]. 探矿工程, 2001, (3): 19 ~ 22.
- [4] 蒋国盛. 钻进过程中天然气水合物的分解抑制和诱发分解[J]. 地质与勘探, 2001, (6): 86 ~ 87.
- [5] 补家武,鄢泰宁,付先成. 非可控制式海底取样器的结构及工作原理[J]. 地质科技情报, 2000, (9): 93 ~ 97.
- [6] 补家武,鄢泰宁,补生蓉. 可控式海底取样器的结构及工作原理[J]. 地质科技情报, 2000, (12): 99 ~ 104.
- [7] D J Smith, K Tronstad. 深海锤击取样管[J]. 海洋技术, 1997, 9 (3): 65 ~ 71.
- [8] 周怀阳,彭晓彤,叶瑛. 天然气水合物勘探开发技术研究进展[J]. 地质与勘探, 2002, (1): 70 ~ 73.

SOME IDEAS ABOUT HOW TO DEVELOP SEAFLOOR SAMPLING TECHNIQUES IN CHINA

DUAN Xin-sheng, YAN Tai-ning, CHEN Jing, GU Xing

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract: The purposes and significances to develop seafloor sampling techniques are discussed in this paper. The characteristics and applications of overseas seafloor sampling devices are introduced. Some ideas about how to develop seafloor sampling techniques in China are put forward here.

Key words: seafloor sampling, seafloor samplers, development of samplers