

# Gravity-Piston Sampling System with Multi-Disciplinary Comprehensive Technologies

—By Introducing the Gravity-Piston Sampling of Haiyangliuhao

Keliang Li<sup>1,2</sup>, Yanjiang Yu<sup>1,2\*</sup>, Feng Zhu<sup>1,2</sup>, Xuguang Ren<sup>1,2</sup>, Nan Yang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou Guangdong

Email: [13430260596@163.com](mailto:13430260596@163.com), [yuyanjiang2004@163.com](mailto:yuyanjiang2004@163.com)

Received: Aug. 16<sup>th</sup>, 2015; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2015; published: Sep. 11<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

Gravity-piston sampling now develops to a technical system with multi-disciplinary comprehensive technologies. The multi-beam and shallow geophysical survey of terrain, landscape and stratum, the precise positioning of navigation system and dynamic positioning system, the reliable gravity-piston sampler, and the coordinate application of powerful winch launch and recovery system and information operation and monitoring system could guarantee a certain number of high-quality core sediments to ensure the sampling success rate. By introducing the gravity-piston sampling of Haiyangliuhao in ocean scientific expedition, it is shown that the multi-disciplinary comprehensive technologies play an important role in marine geological sampling.

## Keywords

Gravity-Piston Sampling, Multi-Disciplinary Comprehensive Technologies, Haiyangliuhao

# 多学科技术综合的重力活塞取样技术

—以“海洋六号”船的重力活塞取样为例

李柯良<sup>1,2</sup>, 于彦江<sup>1,2\*</sup>, 朱峰<sup>1,2</sup>, 任旭光<sup>1,2</sup>, 杨楠<sup>1,2</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广东 广州

<sup>2</sup>国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广东 广州

Email: [13430260596@163.com](mailto:13430260596@163.com), [yuyanjiang2004@163.com](mailto:yuyanjiang2004@163.com)

收稿日期: 2015年8月16日; 录用日期: 2015年9月2日; 发布日期: 2015年9月11日

---

## 摘 要

重力活塞取样现在发展为一门多学科技术综合的技术系统。通过多波束调查, 浅层物探调查等地形, 地貌, 地层的调查; 导航系统和动力定位系统的精确定位; 优良可靠的重力活塞取样器; 强大的绞车收放系统和操作信息监控系统配合使用。可以保证极高的取样成功率, 有效保证获取一定数量的高品质的柱状沉积物。通过介绍大洋科考中“海洋六号”船的重力活塞取样方法, 说明多学科技术综合应用在重力活塞取样过程中发挥的重要作用。

## 关键词

重力活塞取样, 多学科技术综合, 海洋六号

---

## 1. 引言

重力活塞取样是当今海洋调查中获取柱状沉积物的主要方法之一, 在海底矿产资源勘查, 海洋工程地质勘查, 气候和环境变化研究, 海洋地质学研究等领域得到广泛应用。随着海底沉积物探测技术的发展, 重力活塞取样现在发展为一门多学科技术综合的技术系统。优良可靠的重力活塞取样器是保证取样成功的基础。通过多波束调查, 浅层物探调查等技术手段初步认识取样站点的的海形, 地貌, 底质情况; 避免了盲目投放取样器。利用高精度的导航系统和动力定位系统保持船体位置精确, 姿态稳定, 保证了取样器垂直着地。在灵活准确的操作信息系统监控下, 强大的绞车收放系统完成取样器的入水, 着地, 回收等过程, 保证重力活塞取样很高的成功率。这种作业方式可以有效提高重力活塞取样成功率, 保证获取足够的大量的的高品质的柱状沉积物, 具有很高的实用性和经济性。

## 2. 国内外现状

关于重力活塞取样技术方法的研究, 国外经过长时间的理论研究和科学实验, 对取样技术方法取得了显著的成果[1]。如法国调查船 MarionDufresne 号, 具有先进的绞车收放系统, 在高分辨率的地形地貌探测基础上, 使用的 Kullenberg 型重型取芯器重量达 12 t, 样管长可达 60 m, 在北太平洋取到过最长达 53 m 的柱状样品[2]。

国内主要偏向重力活塞取样器本身的研制, 取得了一定的成绩, 但是对重力活塞取样技术方法系统化的研究投入很少。目前国内大部分调查船还只是将重力活塞取样作为一种单一的粗放式的作业手段: 船舶处于漂泊状态, 施放钢缆将取样器放置海底, 待取样器贯入海底后回收。这种取样方式存在很大盲目性, 在海底地形情况复杂多变, 底质软硬不一, 沉积物厚度未知的情况下, 易造成取样长度不足, 成功率低, 对整个调查任务的时效性和经济性有很大影响。1997 年向阳红 09 船在东海海试时, 水深小于 1000 米, 试验四次, 两次取到样品, 一次样品管断, 一次插入海底沙岗无样品[3]。

近年来, 广州海洋地质调查局的技术人员通过研究与探索, 将重力活塞取样发展为一门多学科技术综合的技术系统, 并在“海洋六号”船大洋科考任务中经过实践检验, 工作水深 5000~6000 米, 高效率

地采集了大量的高品质的柱状沉积物样品。

### 3. “海洋六号”船重力活塞取样技术方法

根据影响取样效果的主要因素分析，重力活塞取样应是以下四方面技术系统的综合。一是优良可靠的重力活塞取样器，二是高分辨率的地形、地貌和地层探测系统，三是高精度的定位导航系统，四是强大的收放系统和准确灵活的取样操纵信息监控系统。“海洋六号”船进行重力活塞取样作业时正好是将这四方面的技术系统进行了综合应用(见图 1)：目标区域的地形地貌探测，导航精确定位目标点，在动力定位系统的辅助下，利用先进的绞车系统收放取样器，在大洋科学考察工作中取得了显著的效果。

#### 3.1. 地形地貌探测系统

通过对工区地形地貌的探测，可以避免重力活塞取样的盲目性，提高取样成功率。先利用多波束测深系统对工区进行全覆盖地形地貌调查，获取工区的水深，地形，地质数据，有效的避开海底陡坡，提高取样器投放的成功率；再利用浅地层剖面系统识别站位对应的水深，沉积物厚度以及硬度，保证取样站位点的沉积物满足重力活塞取样的要求。

##### 3.1.1. 多波束调查

多波束测量是进行条带式地形地貌的调查设备，主要用于对调查工区进行地形测量及回波强度测量，可以为重力活塞取样和其他调查手段提供地形与水深信息。如图 2 所示，A1，A2 区域地形较为平坦，B1，B2 区域为陡坡。相比较，平坦的地形对重力活塞取样器的着底姿态影响小，陡坡地形，取样器容易倾斜，弯折，影响取样成功率。

另外还可依据多波束回波强度大小对沉积物的声学性质进行简单分类[4]，为沉积物的判别提供一定的依据(如图 3)。从图中可以看出，该调查工区的大多数海域的背散射强度在 35~40 db 之间，表明该海域以软质沉积物为主。

##### 3.1.2. 浅地层剖面系统

在多波束进行全覆盖地形调查的基础上，利用浅地层剖面系统具有较高的地层分辨率和地层穿透能力的特点，用来识别取样站位对应位置的水深以及沉积物厚度，硬度等情况。如图 4 所示：根据穿透的



Figure 1. Technical method of gravity-piston sampling

图 1. “海洋六号”船重力活塞取样技术方法

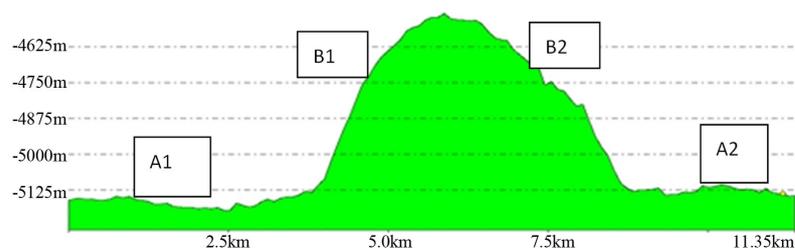


Figure 2. The geography feature of marine massif

图 2. 多波束测量的海底地形特征(海丘)

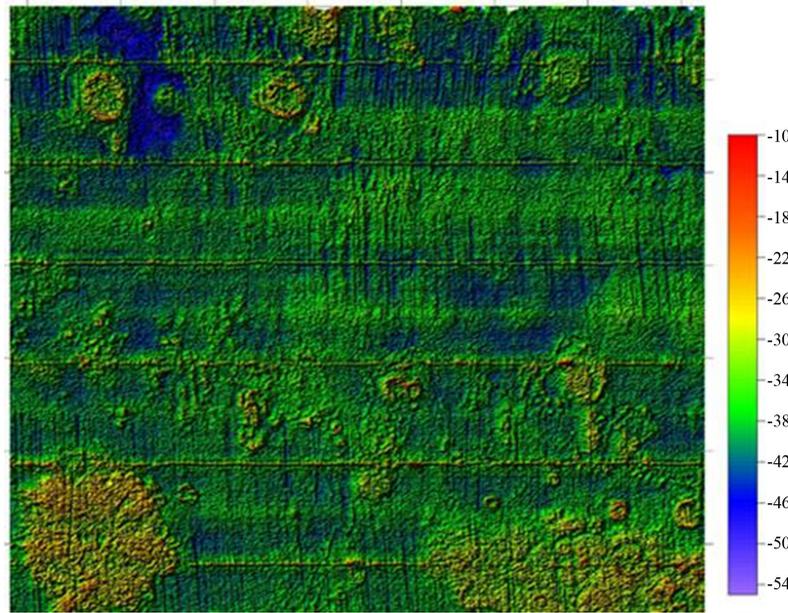


Figure 3. The analysis of the back-scatter intensity data  
图 3. 多波束测量的背反射分析

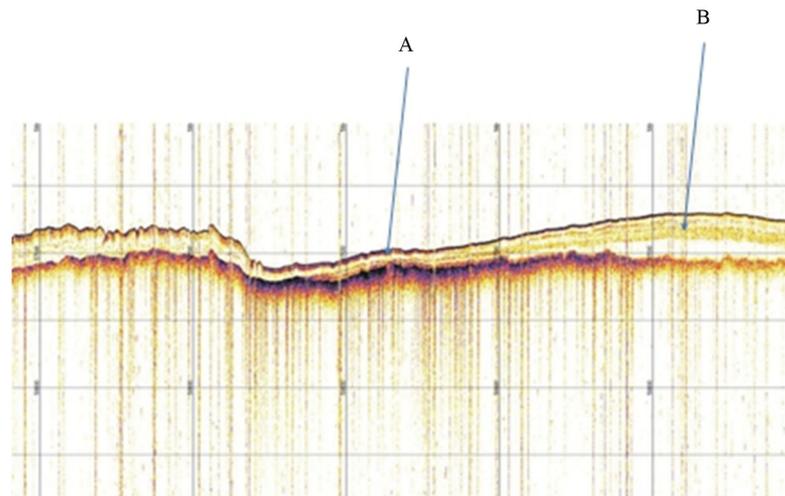


Figure 4. Seabed shallow profile: geography and sediment thickness  
图 4. 浅地层剖面系统测得的海底地形及沉积物厚度

情况判断：A 区的沉积物层薄，且下覆较硬的沉积层，重力活塞取样器无法穿透硬的沉积物层，样品长度不足，且容易损伤取样管。B 区的沉积物层厚，大概有 20~30 m，且底质较软，重力活塞取样的获取足够长度的柱状样品的可能性非常大。通过比较，B 区比较适合作为取样作业的目标点。

### 3.2. 导航和动力定位系统

地形地貌探测系统确定取样站位的地形，地貌，底质等情况后，将测站经纬度坐标同时输入 HYPACK 导航系统和动力定位系统，并设为重力活塞取样的目标点。作业方法：需要在到达测站前半个小时启动动力定位系统，在接近目标点时，将船速降低，并启动船舶的两个侧推[5]。待船停稳后，将舵桨控制系统切至动力定位控制，待动力定位稳定后便可进行重力活塞取样作业。作业过程中，利用 HYPACK 导航

系统捕捉特征异常点的功能[6], 分别在取样器入水、着底、出水时各打印一组定位点, 并记录时间、经纬度、取样器着底时的水深、钢缆长度等数据。导航定位和动力定位系统配合使用, 保证取样点定位精准, 可有效避免因受海风和海流(四级海况以下) [7]引起的船体漂移, 阻止钢缆倾斜, 保证设备的着地姿态垂直, 避免取样管被拉弯和取样器提前释放, 保证取样成功率。

### 3.3. 强大的收放系统和灵活的操作信息监控

“海洋六号”船拥有强大的设备收放系统和操作信息监控能力, 很大程度上提高了取样的成功率和采样长度。A型架主要负责将取样器吊出舷外和收回至甲板; 50t-m深折臂/伸缩吊辅助吊装和拆卸重锤; 深海地质绞车系统可直接控制重力活塞取样器入底速度, 回收速度, 并在确认着地后多放5~10米的钢缆。快的入底速度一定程度上可增加取样器贯入深度, 慢的回收速度防止取样管被拉弯。同时除了绞车本身的信息监控取样器状态外, 还利用 Pinger [8] 图 5(a)判别设备着底。

设备主要参数和图示:

深海洋地质绞车(图 5(b))主要由牵引绞车、储缆绞车和排缆器组成, 由液压单元提供动力。可实现自动排缆, 无级变速, 可远程操控, 速度范围0~100 m/s, 缆长, 张力值可以实时数字显示, 牵引绞车额定安全工作负荷为186 kN。储缆量: 10,000 m, 缆径17.3 mm, 钢缆破断力27.3 kN。

A型架(图 5(c))总高: 10.5 m, 最大舷外跨距: 7.8 m, 动态安全工作负荷: 16吨。

50 t-m深折臂/伸缩吊(图 5(d)), 回转角度: 360°, 最大力矩: 50 t, 最大起吊能力: 8 t, 最大跨距: 16 m。



Figure 5. (a) Pinger; (b) Deep-sea winch system; (c) A frame; (d) 50 t-m flexible crane

图 5. (a) Pinger; (b) 深海地质绞车; (c) A型架; (d) 50 t-m 深折臂/伸缩吊

### 3.4. 优良可靠的重力活塞取样器

“海洋六号”船使用的是广州海洋地质调查局改进仿制的 800 型重力活塞取样器(图 6)。重力活塞取样器由重锤, 取样管, 释放系统, 活塞系统等组成。取样器整体为纺锤形(流线型), 取样器重 800 kg, 可增加到 1200 kg, 最大取样长度超过 15 m, 样品内管采用 pc 透明管, 内径  $\Phi 70$  mm。这种取样器与我国现用的其他各类取样器相比, 其机构简单, 使用方便, 可靠性高, 取样长度长, 样品扰动性小。

取样管采用优质碳钢, 强度高, 韧性好, 不易塑性变形, 抗冲击断裂。每段管的长度为 3 m 或 6 m, 管与管之间连接采用锥螺纹连接, 这样大大减少贯入沉积物时的端面面积, 增加贯入深度, 同时也减少对柱状样品的扰动。

衬管采用聚碳酸酯硬塑料管(PC), 具高冲击强度, 高度透明性, 内壁光洁度高; 无味无臭对人体无害, 对样品无污染。样品易于顺利进入并保证原状, 联接和装卸也极方便。

重力活塞取样器作业过程(见图 7): 设备入水前, 取样器按要求安装, 按照设备入水检查表完成检查, 确保取样器正常。A 型架将设备吊至舷外, 绞车匀速释放取样器, 时时监控钢缆和取样器状态, 避免提前释放。重锤先着底, 平衡机构失去平衡, 取样器以自由落体的方式冲入沉积物中, 连接钢缆的活塞被拉起, 同时海底沉积物也跟随活塞在衬管内往上运行, 在衬管内形成负压环境, 减少了样品与样管的摩擦力, 当活塞到达样管顶端时闭合密封, 采样器完成取样过程[9]。

### 3.5. 取样结果

2014 年大洋某航次, “海洋六号”船利用多学科技术综合的调查方法共收放重力活塞取样器 32 次, 30 次采集到合格样品, 成功率为 93.75%, 共采集的高品质的柱状沉积物样品, 共计 218.7 m, 最长单个站位样品为 13.7 m, 其中大部分站位的取样结果与浅地层剖面系统的观测结果一致。相比较, “海洋四号”船 2012 年在南海中沙海域, 水深 2000~3000 米, 海底地形与底质不清楚, 船上只有简单的多波束数据, 没有更详尽的浅剖资料, 绞车系统为服役 30 年的机械式绞车。该航段, 海洋四号船工作 20 天, 共完成 40 个重力柱状取样和 10 个重力活塞取样, 其中出现多次弯管和刀口损伤的情况, 效率低, 且样品长度不足。表 1 为“海洋六号”船重力活塞取样前 20 次收放过程的站位数据统计。



Figure 6. Model 800 gravity-piston sampling  
图 6. 800 型重力活塞取样器

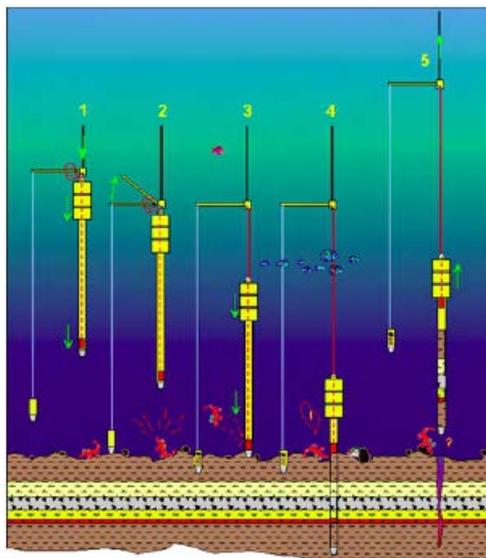


Figure 7. The process of gravity-piston sampling  
图 7. 重力活塞取样器作业过程[5]

Table 1. Statistics of gravity-piston sampling  
表 1. 重力活塞取样站位统计

序号	水深(m)	取样器			操作参数				岩心长度(m)	备注
		取样管 PC管内径(mm)	长度(m)	配重(kg)	自由落体 高度(m)	着底缆长 (m)	放缆速度 (m/min)	钢缆最大张 力(KN)		
1	6012	67.5	9	800	1.0	6020	50.0	8900	3.85	
2	5677	67.5	9	800	3.0	5687	50.0	8700	7.20	
3	5651	67.5	9	800	3.0	5655	50.0	8500	4.65	
4	5747	67.5	9	800	3.2	5775	50.0	8500	6.05	
5	5723	67.5	12	800	4.5	5743	50.0	8800	9.57	
6	5739	67.5	9	800	3.5	5822	50.0	8800	7.15	
7	5753	67.5	9	800	3.5	5795	50.0	9500	4.98	
8	5714	67.5	9	800	3.5	5887	50.0	9100	7.00	
9	5640	80.0	15	1200	5.0	5645	50.0	10,500	4.40	弯管
10	5650	67.5	12	800	4.5	5682	50.0	8671	4.35	
11	5640	67.5	12	800	4.5	5668	50.0	9200	4.18	
12	5644	67.5	12	800	4.5	5675	50.0	9000	6.87	
13	5279	67.5	12	800	4.5	5305	50.0	8700	10.97	
14	5663	67.5	12	800	4.5	5675	50.0	9000	11.72	
15	5737	67.5	12	800	4.5	5774	50.0	9400	3.45	
16	5720	80.0	16	1200	4.0	5725	50.0	10,600	13.70	
17	5613	67.5	12	800	4.5	5643	50.0	9500	5.22	
18	5640	67.5	12	800	4.5	5645	50.0	8500	10.49	
19	5685	67.5	12	800	4.5	5683	50.0	8643	7.52	
20	5750	67.5	12	800	4.5	5755	50.0	9000	7.80	

## 4. 结语

“海洋六号”船在大洋科考中重力活塞取样作业中，通过多学科技术综合应用：多波束测量和浅地层剖面测量，HYPACK 导航系统和动力定位系统，强大的设备收放系统和灵活准确的操作信息监控，优良可靠的重力活塞取样器等。站位成功率高达 93.75%，采获了大量的柱状沉积物样品，具有很高的科学价值和经济价值。通过实践，这种多学科综合的技术方法还可以更广泛的应用到其他常规的地质取样作业中，提高作业成功率，采获高品质的样品。

## 基金项目

中国大洋矿产资源研究开发协会资助项目(DY125-13-R-09)。

## 参考文献 (References)

- [1] 鄢泰宁, 补家武, 李邵军 (2000) 浅析国外海底取样技术的现状及发展趋势. *地质科技情报*, **2**, 67-70.
- [2] Kullenberg, B. (1955) Deep sea coring. *Report of the Swedish Deep Sea Expedition*, **4**, 37-96.
- [3] 臧启运, 韩贻兵, 徐孝诗 (1999) 重力活塞取样技术研究. *海洋技术*, **2**, 56-61.
- [4] 唐秋华, 周兴华, 丁继胜, 等 (2006) 多波束反向散射强度数据处理研究. *海洋学报*, **2**, 51-55.
- [5] 万庭辉, 王静丽, 宗欣 (2014) NMS6000 DP1 动力定位系统在重力活塞取样中的应用. *化学工程与装备*, **11**, 173-177.
- [6] 胡家赋, 刘宇明 (2003) HYPACK 导航系统在海洋资源勘探中的应用. *海洋测绘*, **6**, 21-23.
- [7] 史斌杰, 吴喆莹 (2011) 动力定位系统的最新技术进展分析. *上海造船*, **3**, 42-45.
- [8] 阮锐 (2009) 海底重力取样技术的探讨. *海洋测绘*, **1**, 66-69.
- [9] 耿雪樵, 徐行, 刘芳兰, 等 (2009) 我国海底取样设备的现状与发展趋势. *地质装备*, **4**, 11-16.