

# 高通量深海原位采样及分级过滤系统

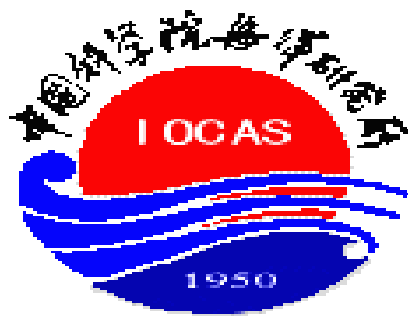
## 深海综合观测浮标系统



中科院海洋所

陈永华

# 高通量深海原位采样及分级过滤系统



中科院海洋所

陈永华



# 目 录

- 一 研究意义
- 二 研发现状
- 三 设计研制
- 四 海上应用

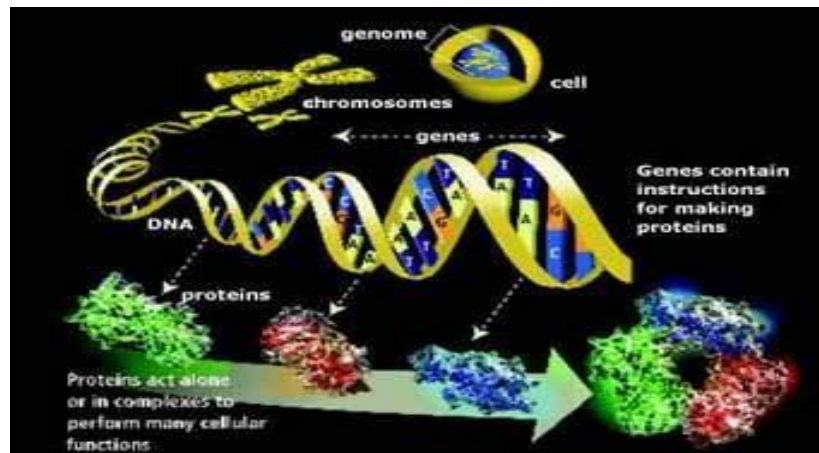
# 研究意义

海水采样是深海研究基本而重要的手段

深海微生物

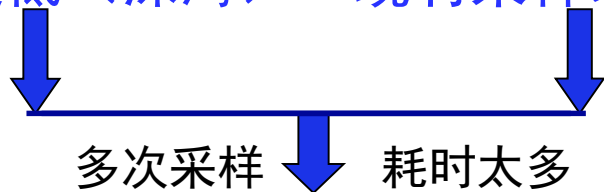
深海悬浮颗粒物

海水痕量元素分析

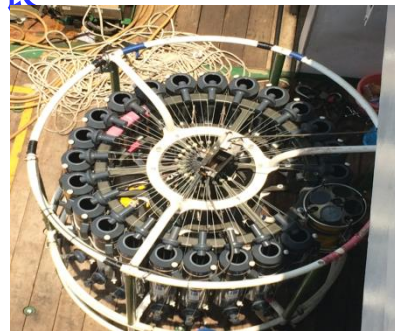


# 研究意义

问题 研究对象丰度较低（深海） 现有采样装置容积有限



**耗费大量的人力、物力和财力**



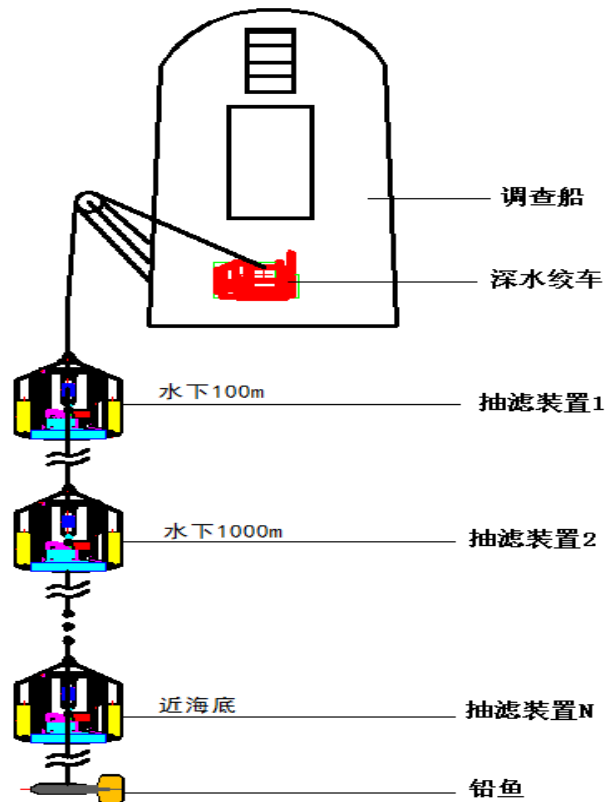
# 研究意义

## 深海海水采样成为技术瓶颈



### 研制高通量深海原位过滤系统

可进行微生物样品采集等水体采样与分级过滤，并同时监测采样点CTD、pH及溶解氧等。





# 目 录

一 研究意义

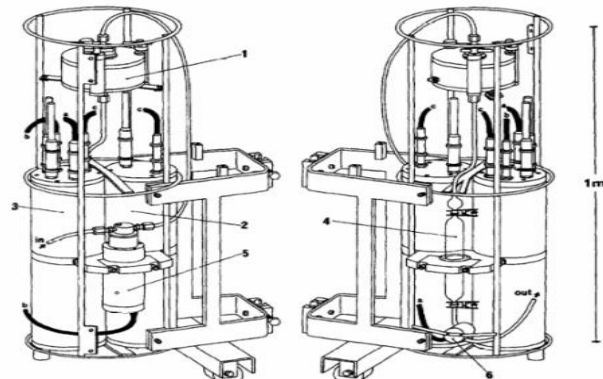
二 研发现状

三 设计研制

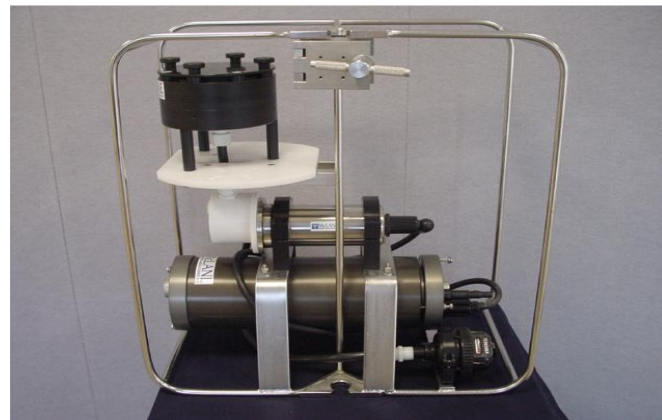
四 海上应用

# 研究现状

深海原位微孔过滤已经成为传统方法的有益补充。国外深海原位微孔过滤技术的研发较早，起始于上世纪80年代，美国伍兹霍尔海洋研究所较早开始深海直流泵和深海原位过滤技术研发，上世纪90年代德国基尔大学海洋学院也研制了工作深度达到4000m的深海原位微孔过滤装置。并且，伍兹霍尔海洋研究所和Mclane公司合作开发了大体积水样抽滤采样系统（Large Volume Water Transfer System (WTS-LV)），形成了产品。



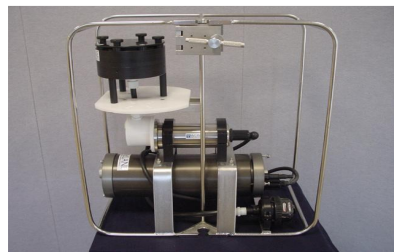
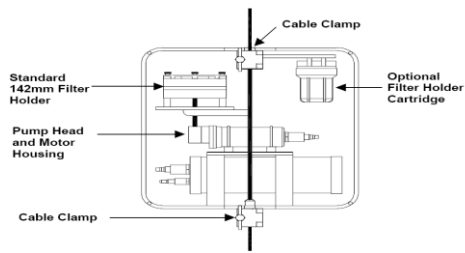
of the in-situ pump. 1 = filter holder; 2 = standard power pack housing; 3 = housing for electronics; 4 = resin housing; 5 = pump; 6 = flow rate counter; a, b, c = cable connections.





# 研究现状

型号	流速	最大容量	容量误差	滤膜类型
LV04	1~4L/min	1500L (10Ahr 电池)	总容量的± 3%	0.2 -1 $\mu$ m 聚碳酸酯或聚酯纤维滤膜, 0.8 -5 $\mu$ m 玻璃纤维滤膜, 60 $\mu$ m 筛绢
LV08 (标准配置)	4~8L/min	5000L (10Ahr 电池)	总容量的± 5 %	0.8 -1 $\mu$ m 聚碳酸酯或聚酯纤维滤膜, 0.8 -5 $\mu$ m 玻璃纤维滤膜, 60 $\mu$ m 筛绢
LV20	10~20L/min	8000L (10Ahr 电池)	总容量的± 5 %	0.8 -5 $\mu$ m 玻璃纤维滤膜, 60 $\mu$ m 筛绢
LV30	15~30L/min	12000L (10Ahr 电池)	总容量的± 5 %	5 $\mu$ m 玻璃纤维滤膜, 60 $\mu$ m 筛绢
LV50	25~50L/min	15000L (10Ahr 电池)	总容量的± 5 %	60 $\mu$ m 筛绢





# 目 录

一 研究意义

二 研发现状

三 设计研制

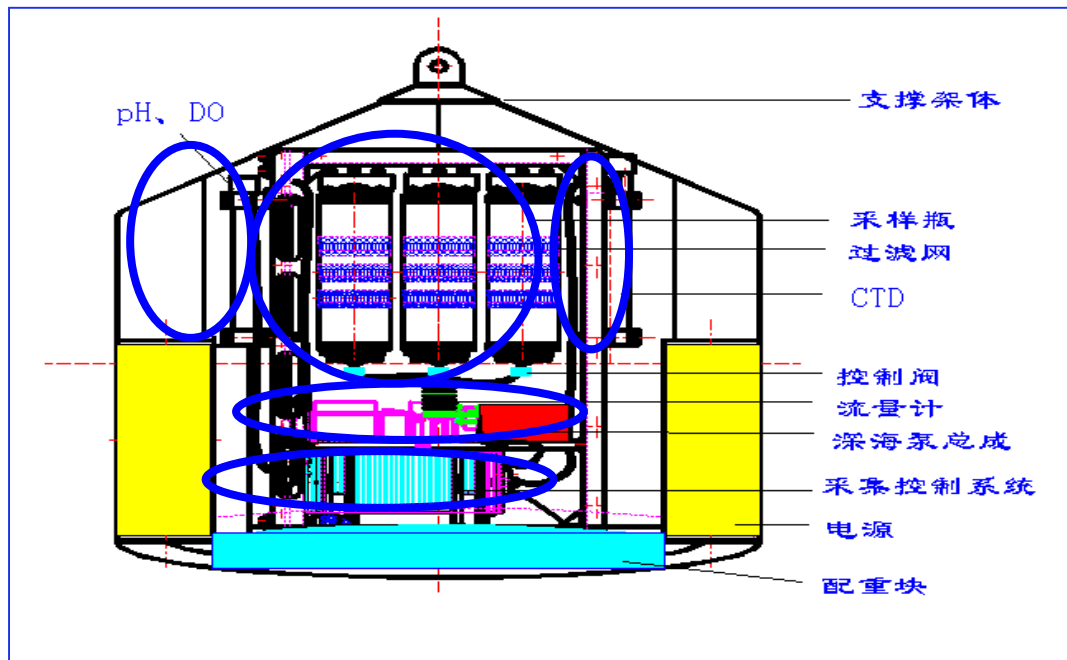
四 海上应用

# 方案设计

## 系统结构组成

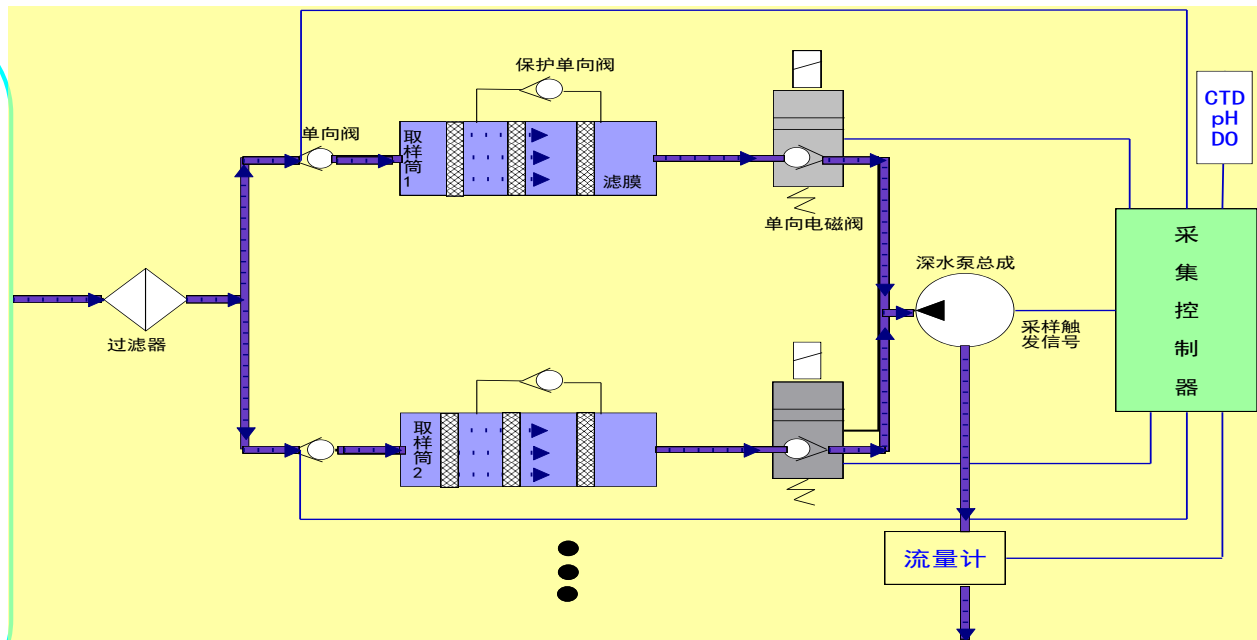
- (1) 深海泵总成模块,
- (2) 分级过滤模块,
- (3) 采集通讯与控制模块,
- (4) 环境参数集成模块,
- (5) 支撑架体与密封壳体,
- (6) 辅助设备（深海电源、与船载绞车或ROV平台的集成装置、后续接口、转接装置等）。

## 高通量深海海水采样及分级过滤系统



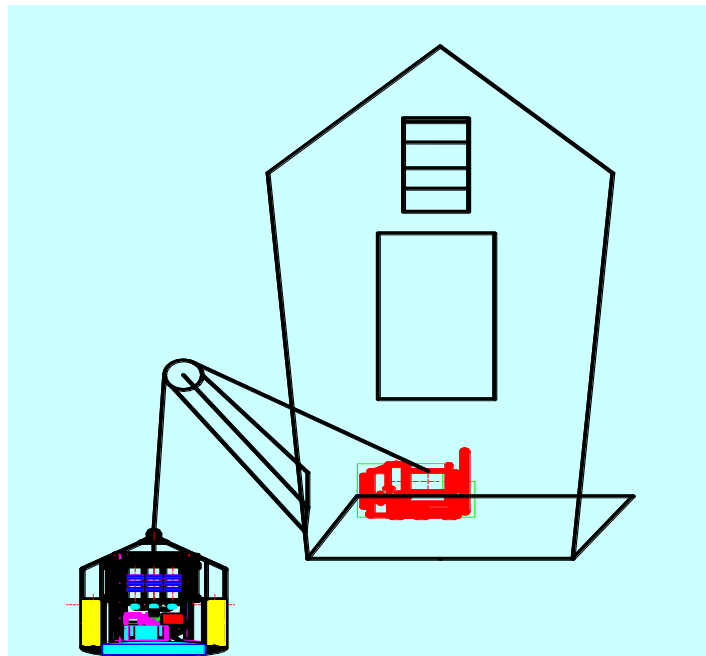
# 三 技术方案—工作原理

- ❖ 采集控制系统实时采集CTD等海洋环境参数；
- ❖ 时间或压力等满足条件后，开启阀门，深水泵开始工作，连续抽取水体，依次进行各样品的采集。



# 技术方案-工作方式

- ❖ 根据采样需求，配置不同孔径的滤膜和不同功率的深水泵。预设采样速度、采样时长、采样开始时间等参数；
- ❖ 设备就位后，开启阀门，连续抽取水体，依次进行各样品的采集。并自动记录采样时间、体积、压力值及流量等数据和CTD等环境参数；
- ❖ 当设备被回收后，取出样品，并下载参数。



# 部件研发

## 深海泵



电压：DC24V；  
电流：1.5A；  
吸程：3米；  
最大压力：0.15MPa；  
流量：3升/分钟；



电压：直流24V；  
额定电流：5A；  
吸程：3米；  
最大压力：1.5MPa；  
流量：5.5升/分钟；

# 部件研发

## 1. 形成了系列直流深海泵



较小功率直流深海泵（吸力和扬程不同）



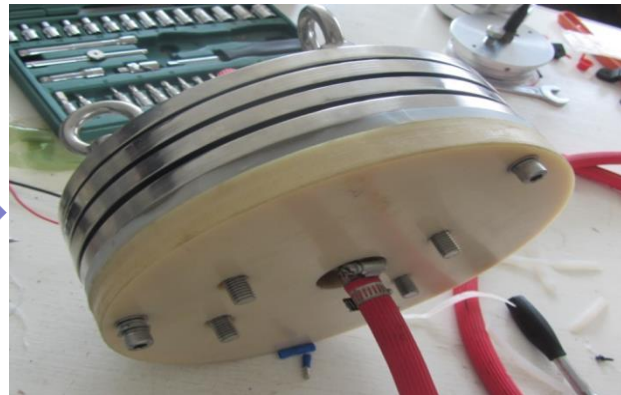
稍大功率直流深海泵（吸力和扬程不同）

# 部件研发

## 核心部件改进—过滤装置改进



放置滤膜直径150mm



放置滤膜直径200mm



# 部件研发

## 辅助功能部件制作



支撑架体



密封舱体



深海电源



流量计与绞车连接机构

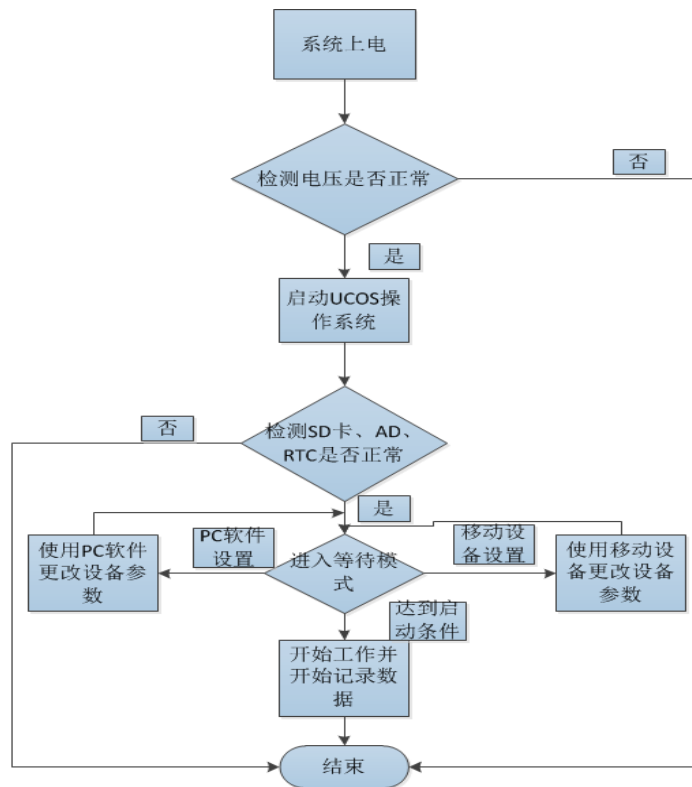


# 部件研发

## 采集与控制系统

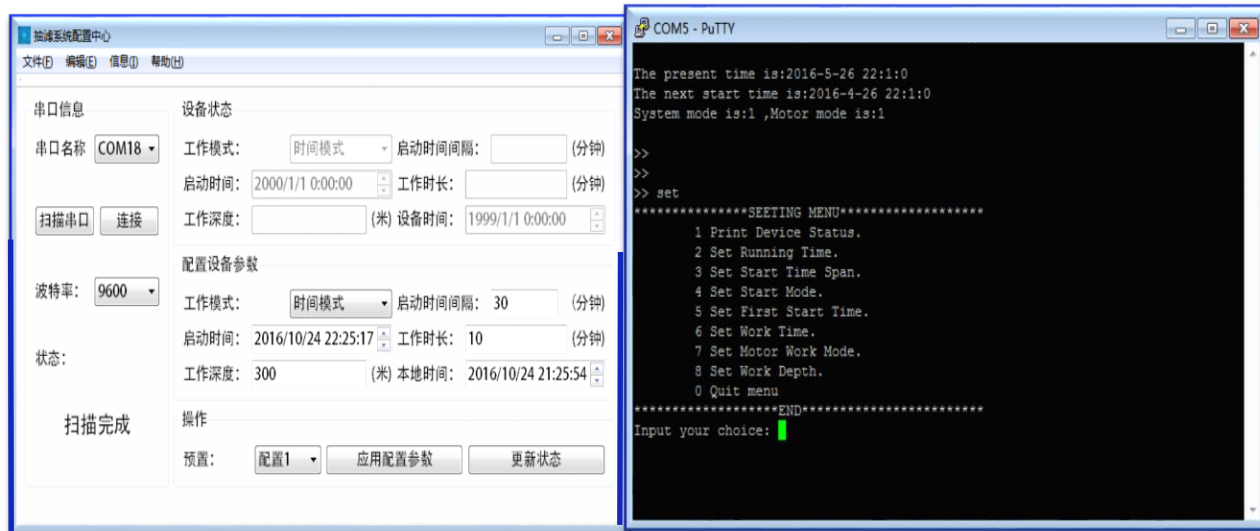
### 控制模式：

- **时间模式：** 上电后延时一定时间，启动控制抽滤泵动作和环境参数采集，工作一定时间停止；
- **压力阈值模式：** 通过设置压力触发值，及其所需要的深度范围，来控制抽滤和环境参数采集；
- **外电磁开关模式：** 通过外部电磁开关与其它设备同步。



# 部件研发

## 通讯设置系统完善



PC端设置软件

超级终端设置

# 部件研发

## 实验室组装测试



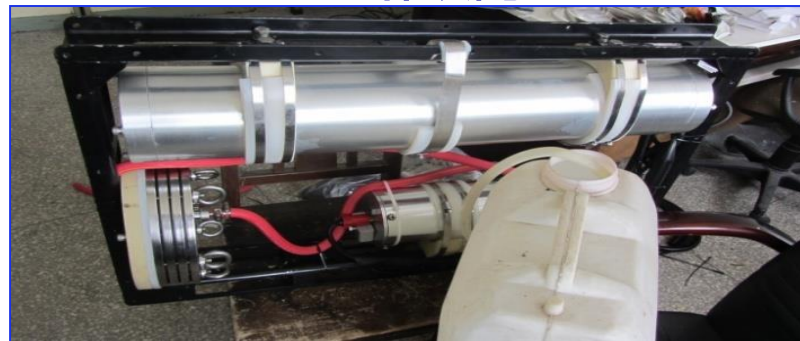
零件装配



整体装配



装配完成



实验室测试

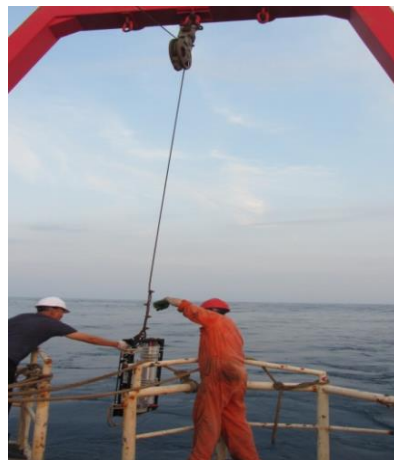
# 装置研制

## 近海测试与改进

- ✓ 2015年6月和8月分别随“科学三号”船在台湾海峡海域进行了两个航次出海测量；
- ✓ 每个航次分别进行了3个站点和2个站点的工作；
- ✓ 半小时工作抽滤水样为30L左右。



设备上船



海上测试



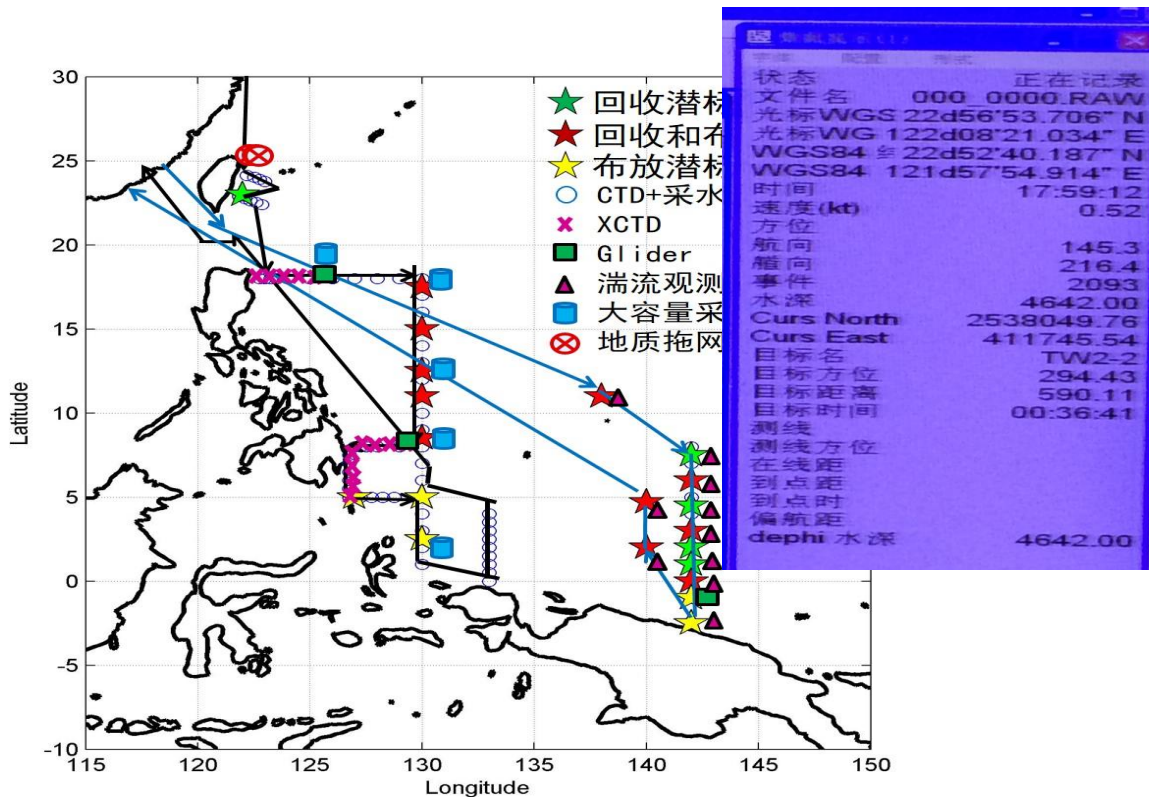
滤膜装配

# 装置研制

## 深远海测试

2015年9月分别搭载“科学”船在台湾东部黑潮海域进行了两个站点的深海（水深4600多米）测试。

TW2-2	121.85E	22.88N
TW2-3	122.10E	22.76N



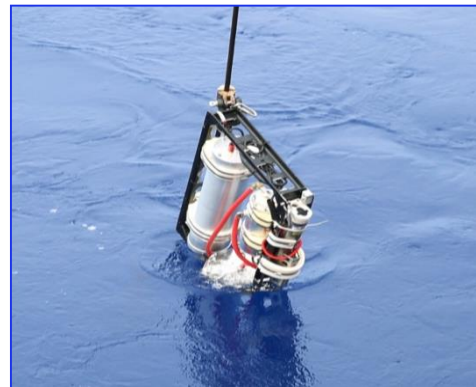
# 装置研制

## 深远海测试

- ✓ 测试深度为1500米；
- ✓ 每个站点工作时间为半小时。



设备固定



设备入水



甲板准备



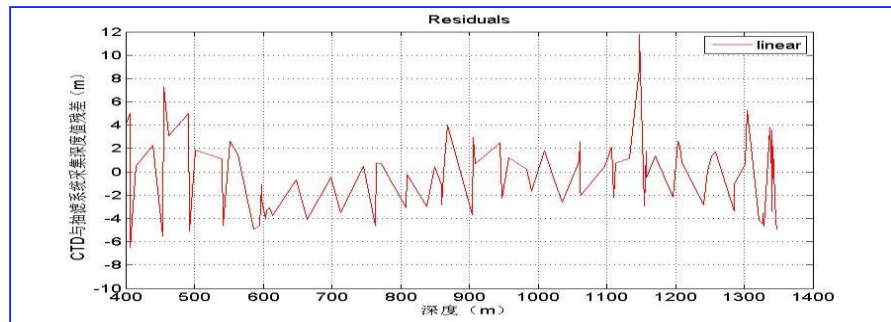
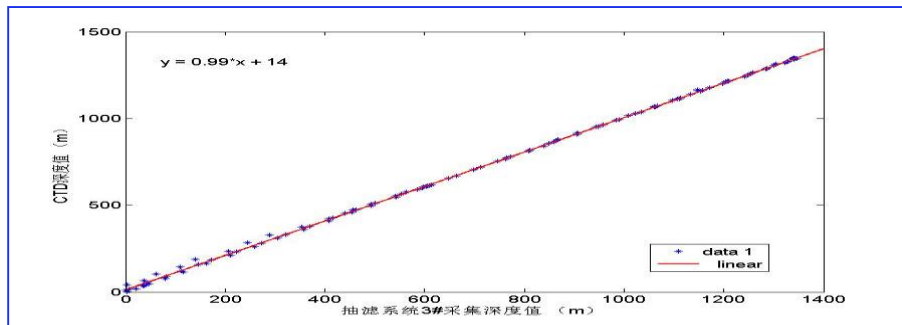
装置出水

# 装置研制

## 深远海测试结果分析

工作时间为半小时：

- ✓ 抽滤水样分别为120升和170升；
- ✓ 试验达到了预期效果；
- ✓ 深度测量数据比较准确。





# 装置研制

◆ 2013-2015:

I型采样系统研  
发与测试;

◆ 2016-2018:

I型采样系统应  
用与改进, 形成II  
型系统, 并加以应  
用。





# 目 录

一 研究意义

二 研发现状

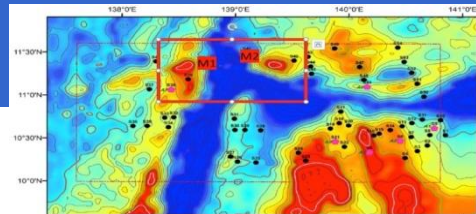
三 设计研制

四 海上应用

# 海上应用

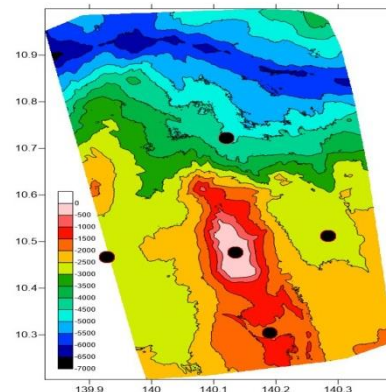
## ◆2016航次应用

- 雅浦海山航次应用
- 海洋牧场航次应用
- 冷泉热液航次应用



## ◆2017航次应用

- 南海综合使用航次应用
- 卡罗琳海山航次应用
- 南海冷泉航次应用
- 西太平洋航次应用



## ◆2018航次应用

- 西太热液冷泉航次应用

过滤水样超过15000L，获取滤

膜样品超过200张。

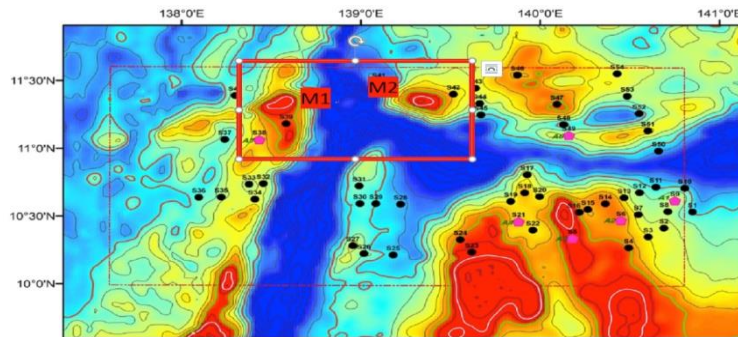
# 海上应用

## 雅浦海山航次应用

- ✓ 2016年3月到4月随“科学号”考察船在雅浦海山区域进行航次应用；
- ✓ 进行了6个站点的取样；
- ✓ 滤膜为底层 $0.22\ \mu\text{m}$ ，中间层 $1\ \mu\text{m}$ ，顶层 $5\ \mu\text{m}$ 。
- ✓ 抽滤时间为20分钟，抽滤水样50-80L不等。



设备上船

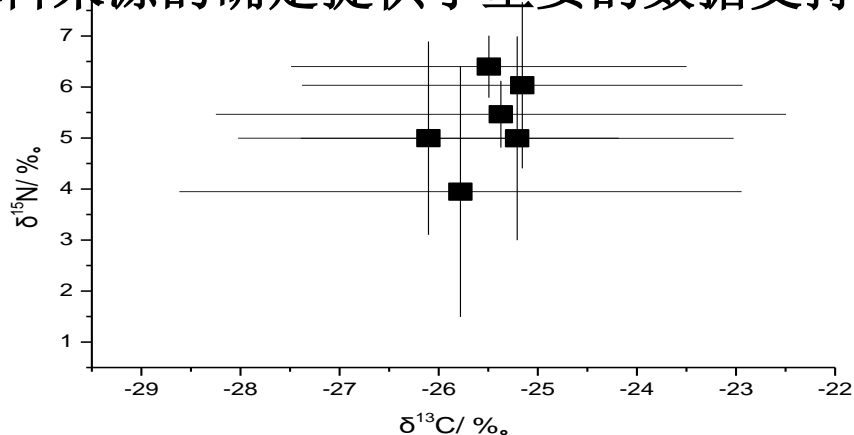


测试站点

# 海上应用

## 雅浦海山海域表层以及叶绿素最大层POM分析

- ❖ 2016年3月搭载“科学号”，参与了雅浦-马里亚纳海山航次。使用深海分级抽滤装置，获得了表层以及叶绿素最大层POM（有机颗粒物）的抽滤样品。对其 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 含量进行了测定。结果显示POM的 $\delta^{13}\text{C}$ 约为-26‰。数据合理，为浮游动物饵料来源的确定提供了重要的数据支持。



表层以及叶绿素最大层POM的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  含量

# 海上应用

## 北黄海海洋牧场航次应用

- ✓ 2016年7月底到8月初随“科学三号”船在北黄海海域进行了海洋牧场环境微生物取样；
- ✓ 此航次进行了3个站点6次取样；
- ✓ 每次工作20分钟，抽滤水样为100-150L不等（滤膜为底层10  $\mu\text{m}$ ，中间层20  $\mu\text{m}$ ，顶层30  $\mu\text{m}$ 筛绢）。



设备上船调试

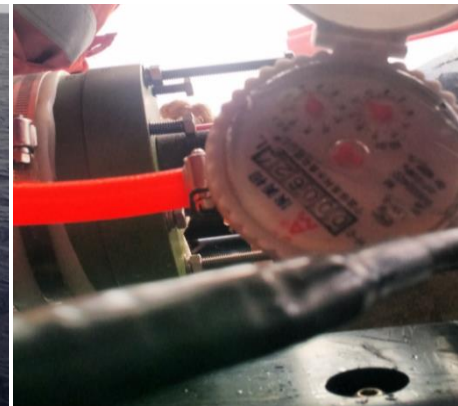


海上测试

# 海上应用

## 冷泉热液航次应用

- ✓ 2016年8月到9月随“科学号”科考船赴冲绳海槽和南海进行海洋生物原位取样；
- ✓ 此航次搭载于ROV进行取样；
- ✓ 分别工作30分钟和10分钟，抽滤水样分别为131L和73L（第一层使用150微米孔径筛绢，第二层使用0.7微米孔径GF/F膜）。



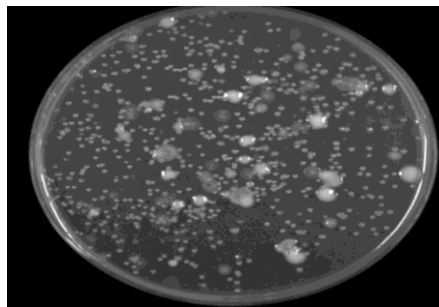
# 海上应用

## 细菌分离与鉴定

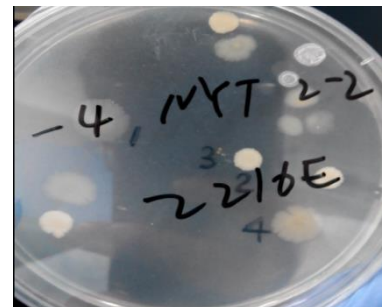
- ❖ 从近海和深海底层样品中共分离获得23株细菌，经16S rDNA测序鉴定得知其中11株为*Alteromonas* sp.，1株为*Marinobacter* sp.，2株为*Halomonas* sp.，1株为*Bacillus* sp.，1株为*Pelagibaca* sp.，1株为*Ruegeria* sp.，1株为*Leeuwenhoekiella* sp.，1株为*Chryseomicrobium amylolyticum* JC16(T)，1株弧菌*Vibrio hemicentroti* AlyHp32(T)，3株为*Pseudomonas* sp.。深海滤膜样品中三个样品进行分离，暂未进行16S rDNA测序鉴定，后续继续对其他样品进行细菌分离与鉴定。



深海样品分离细菌菌落形态（部分）



南海样品分离细菌菌落形态

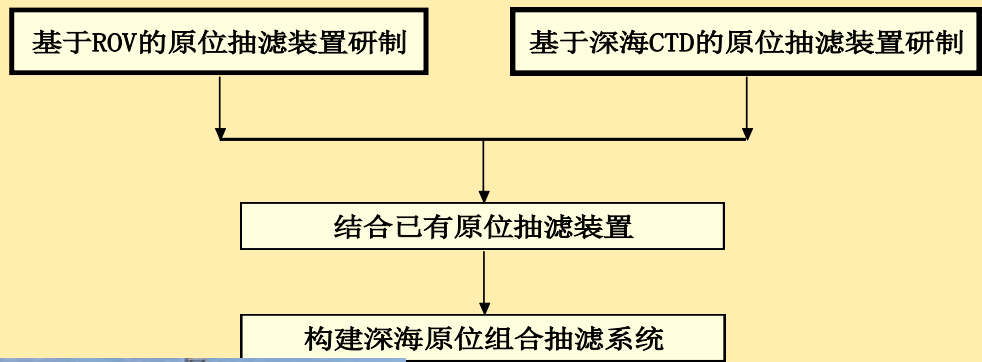


北黄海样品分离细菌菌落形态（部分）

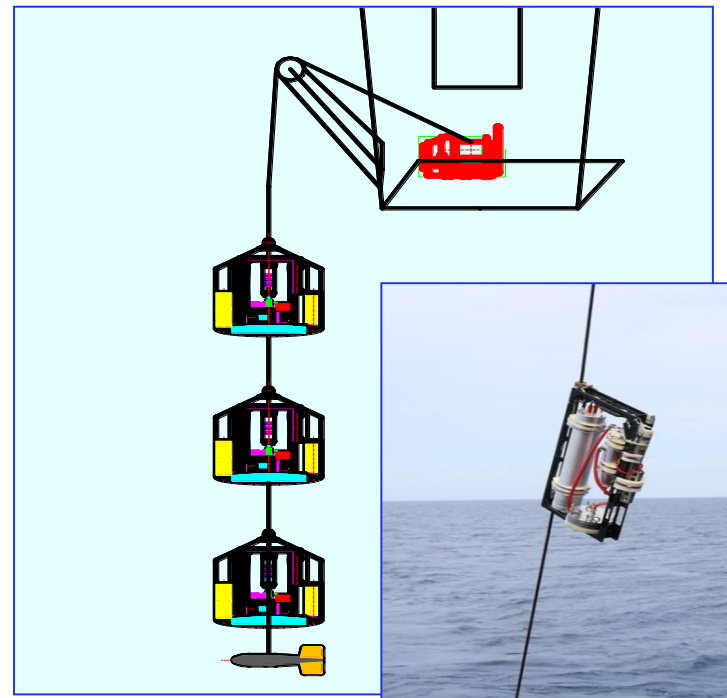


# 海上应用

## 综合观测系统形成



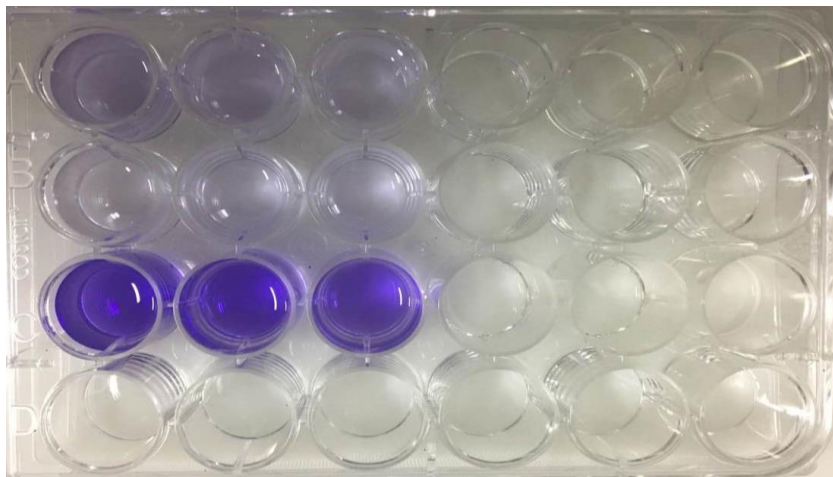
基于CTD或ROV的多层多级异步取样系统



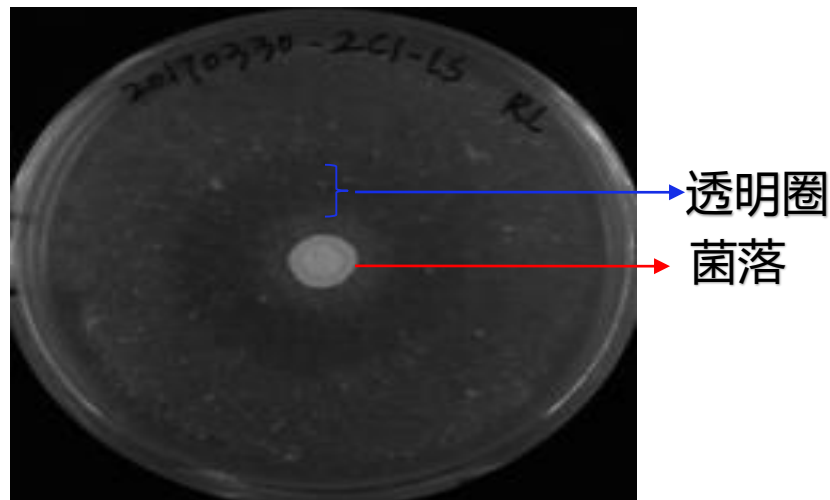
基于绞车的多层多级同步取样

# 数据的分析和发掘

## ❖ 对分离获得菌株进行生物膜和胞外蛋白酶的研究



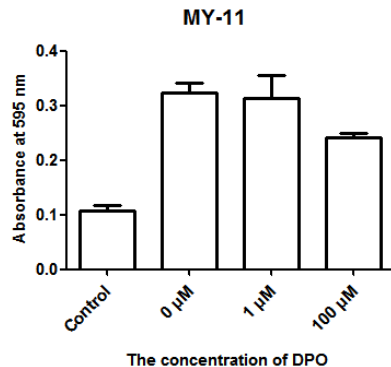
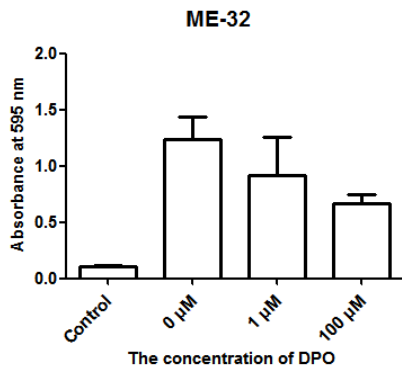
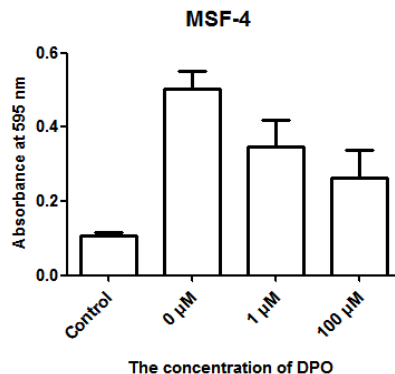
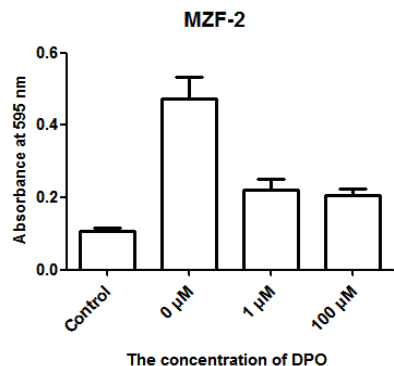
- 生物膜的结晶紫染色实验



- 酪素培养基平板检测蛋白酶透明圈

# 数据的分析和发掘

## ❖ 菌株生物膜检测

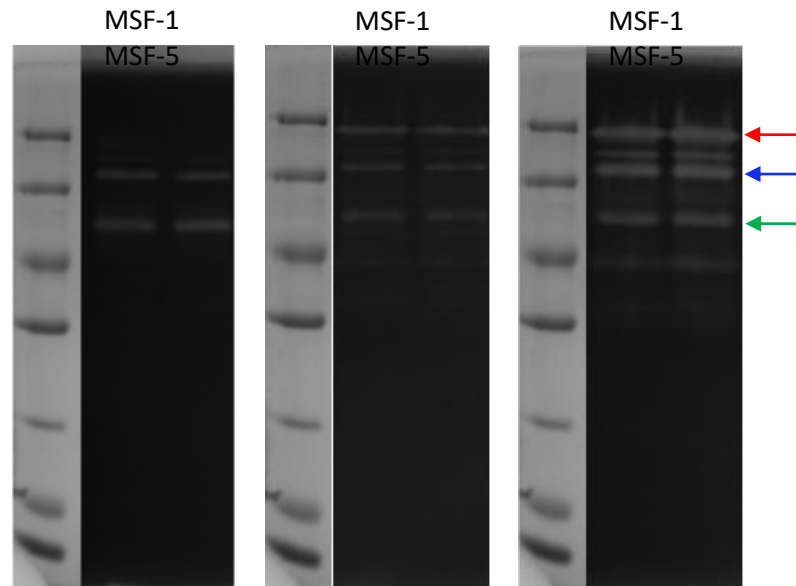


- DPO对生物膜的形成有抑制作用
- 研究DPO对不同菌株生物膜形成的影响,发现一些菌株生物膜的形成受DPO的抑制,而另一些菌株不受DPO的影响。

# 数据的分析和发掘

## • 菌株胞外蛋白酶研究

菌落名称	菌落直径d (cm)	透明圈直径D (cm)	D/d
2A2	1.00	4.00	4.00
2A4	1.10	4.00	3.64
2A7	0.95	3.95	4.16
2B3	1.00	3.30	3.30
2B4	0.90	3.30	3.67
2C1	0.95	4.20	4.42
2D1	0.85	3.20	3.76
2D2	1.00	4.00	4.00
1E3	1.15	3.60	3.13
2E2	1.10	4.10	3.73
2F1	0.90	3.40	3.18
172	0.85	3.30	3.88



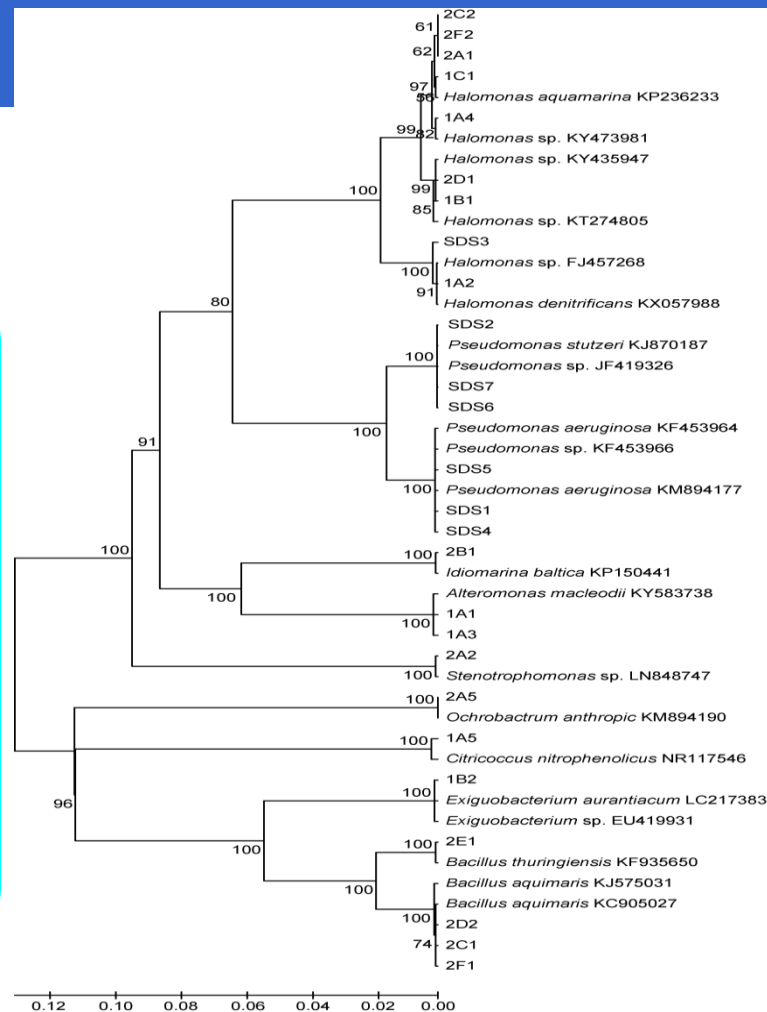
- 丰富型培养基
- 海水LB培养基
- 干酪素诱导型培养基

- 通过透明圈直径与菌落直径比值的大小筛选产蛋白酶较高的菌株，并对其胞外蛋白酶的种类和活性进行研究。

# 数据的分析和发掘

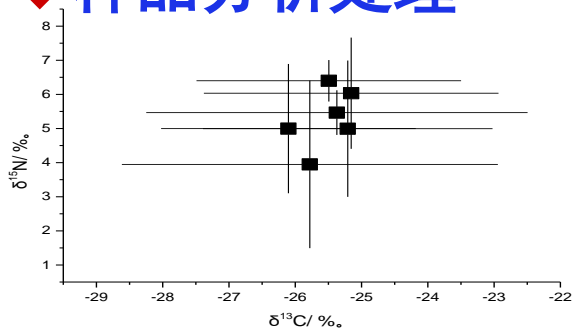
## • 样品测序构建进化树

采集海水滤纸片样品经富集稀释涂布平板后,挑取生长起来的不同菌落进行划线分离。目前筛选到25株细菌,测序构建进化树如图所示,其中9株细菌为*Halomonas* sp., 6株为*Pseudomonas* sp., 1株为*Idiomarina* sp., 2株细菌为*Alteromonas* sp., 1株为*Stenotrophomonas* sp., 1株为*Ochrobactrum* sp., 1株为*Citricoccus* sp., 1株为*Exiguobacterium* sp., 3株为*Bacillus* sp.。

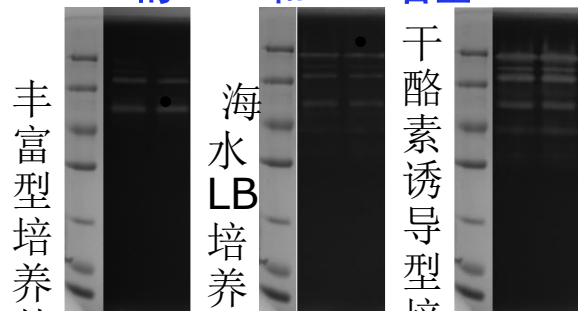


# 数据的分析和发掘

## 样品分析处理



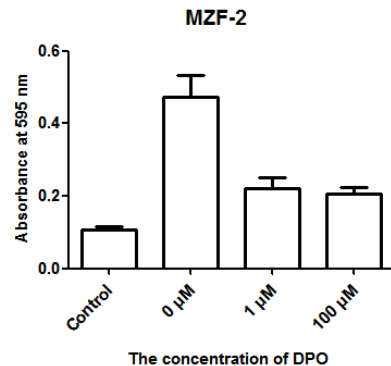
雅浦海山表层以及叶绿素最大层POM的  $\delta^{13}\text{C}$ 和  $\delta^{15}\text{N}$ 含量



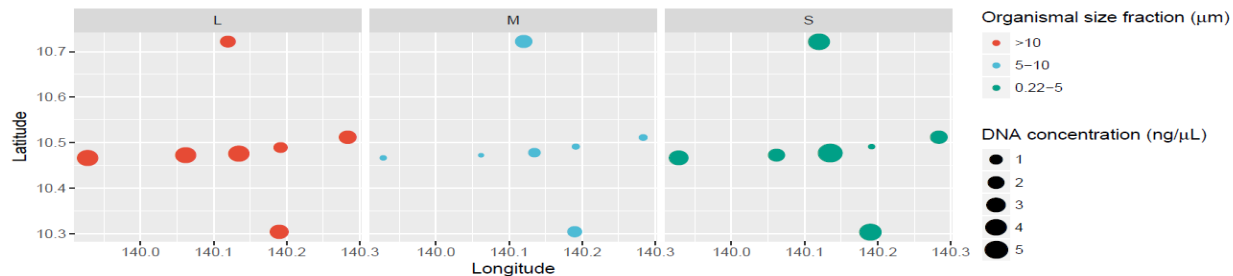
菌株胞外蛋白酶研究



深海样品分离细菌菌落形态 (部分)



菌株生物膜检测

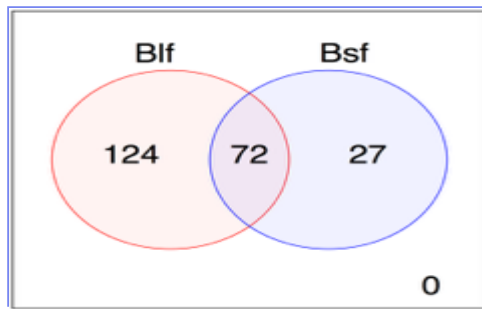
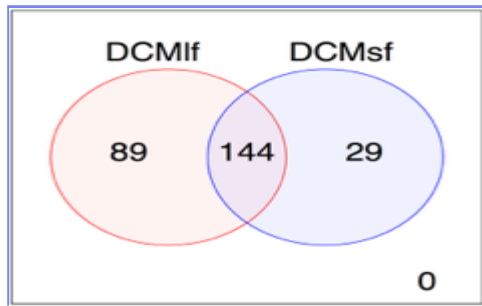
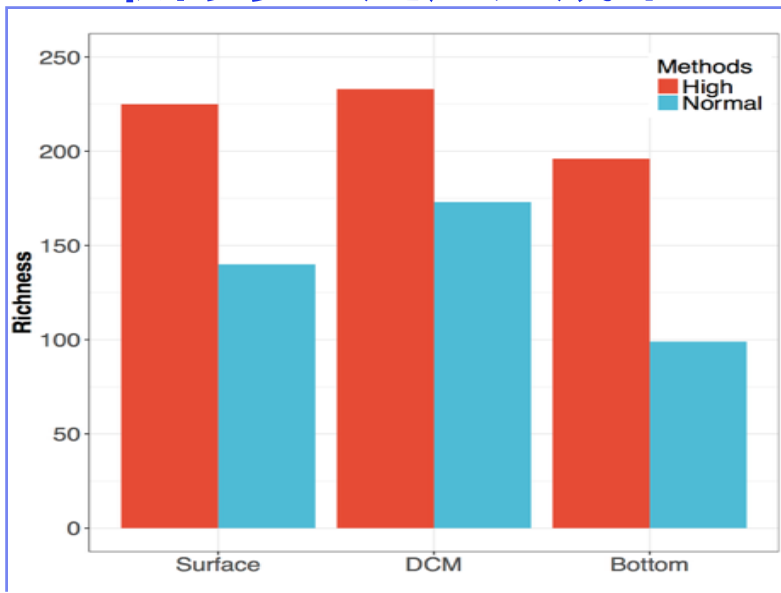


卡罗琳海山样品DNA总量分析

# 应用成果

## ◆ 取得了一定应用成果

(卡罗琳海山样品分析)



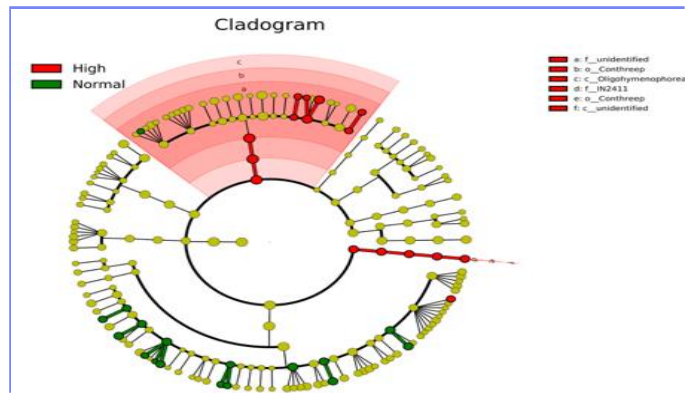
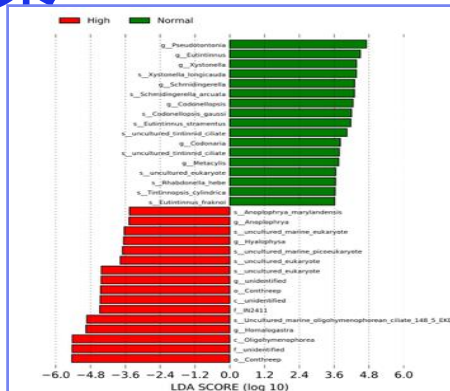
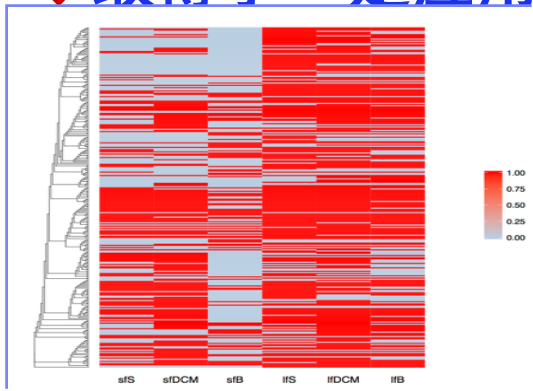
与甲板抽滤相比，原位抽滤可获得更多的物种。随深度增加，原位抽滤所获得的物种相比较更多。

比较原位过滤与甲板过滤，对不同水层微生物多样性的影响

# 应用成果

## ◆取得了一定应用成果

(卡罗琳海山样品分析)



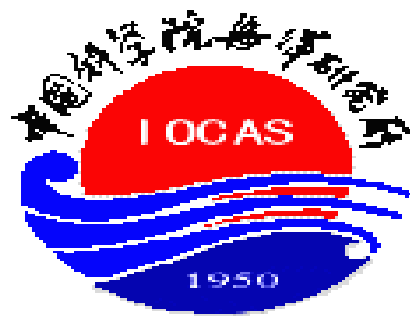
### 传统方法导致微生物有偏损失

原位抽滤方法有效覆盖了受压力变化易裂解的微生物类群，降低了海洋水体样品在抽滤过程对群落结构的有偏好影响。

**结论：**原位抽滤技术对还原深海微生物的真实群落结构具有重要意义。采样深度越深，传统方法造成的损耗越大；并且这种损耗是有偏好的，会导致近**50%**的微生物种类缺失。



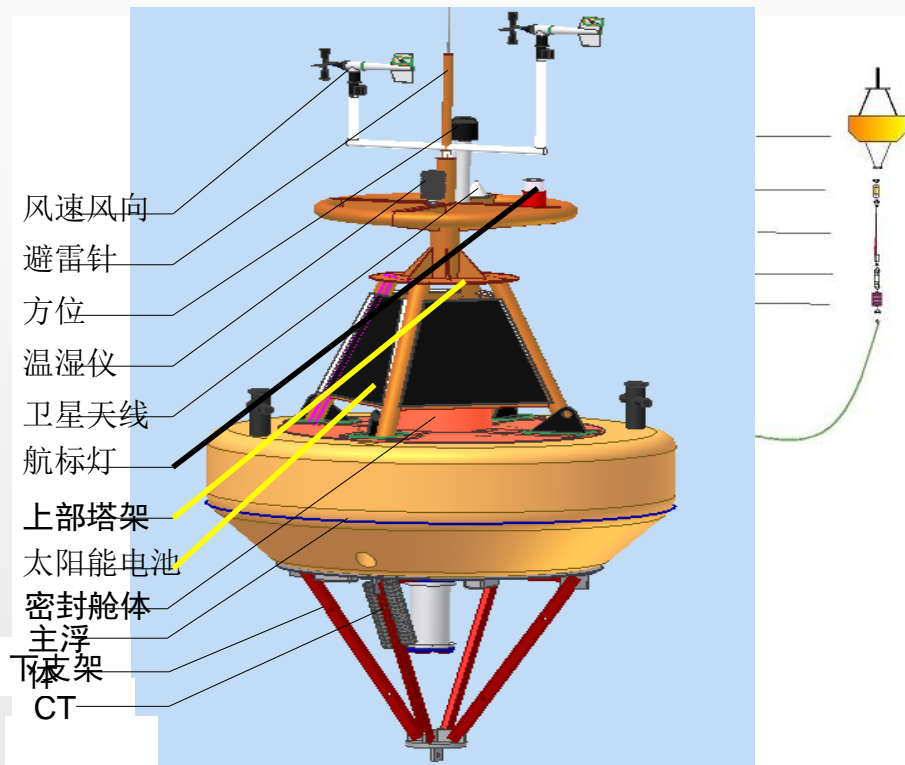
# 深海综合观测浮标系统



中科院海洋所

陈永华

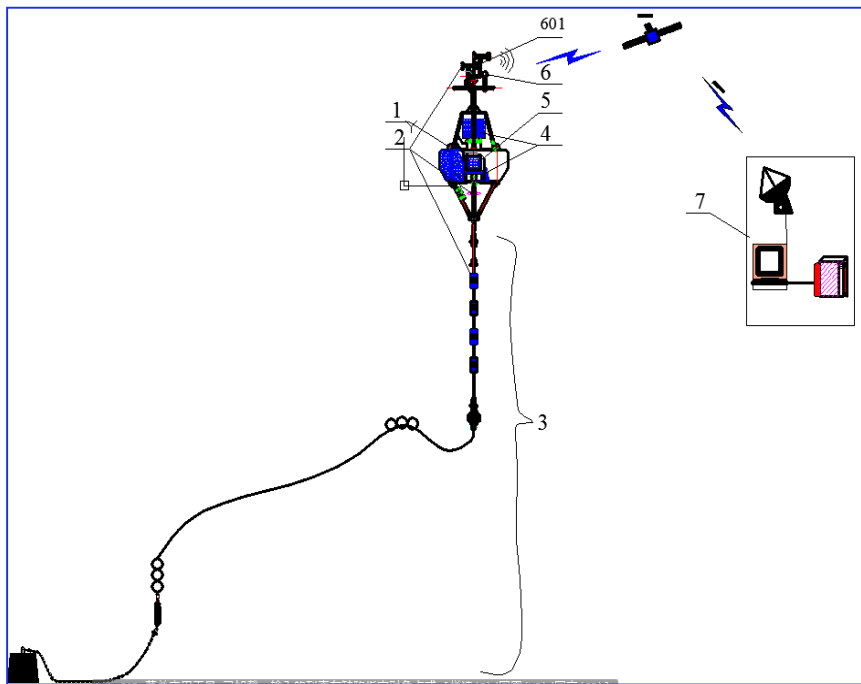
# 深海综合观测浮标系统



- ❖ 标体设计：直径2.3m；
- ❖ 系留系统：松弛式
- ❖ 观测单元：海面气象（风、气温、气压和相对湿度）、表面CT、水下400米剖面海流和温盐深（12套）；
- ❖ 数据采集和控制系统：多路数模；
- ❖ 通信系统：每小时观测和实时传输；
- ❖ 岸站：陆基支撑数据接收系统；
- ❖ 检测与报警系统：系统检测和移位等报警

# 深海综合观测浮标系统

## 水下观测设备布设



仪器名称及编号	工作方式	所在水深 (米)
SBE 37-CTD-IM #1	耦合式	1
SBE 37-CTD-IM #2	耦合式	10
SBE 37-CTD-IM #3	耦合式	30
SBE 37-CTD-IM #4	耦合式	50
SBE 37-CTD-IM #5	耦合式	70
SBE 37-CTD-IM #6	耦合式	120
SBE 37-CTD-IM #7	耦合式	190
SBE 37-CTD-IM #8	耦合式	260
SBE 37-CTD-IM #9	耦合式	330
SBE 37-CTD-IM #10	耦合式	400
SBE 37-CTD-IM #11	自容式	2500
SBE 37-CTD-IM #12	自容式	近海底

仪器名称及编号	小阔龙#1	小阔龙#2	小阔龙#3	小阔龙#4
工作方式	耦合式	耦合式	自容式	自容式
所在水深 (米)	30	200	2500	近海底

# 深海综合观测浮标系统

加工厂拷机



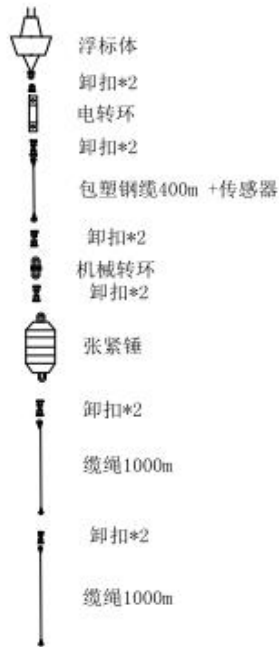
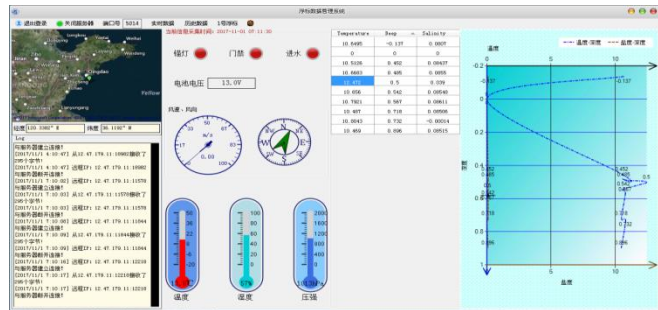
感应耦合CTD

10个

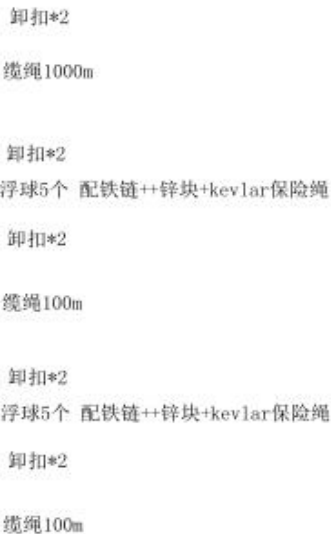
感应耦合海流计

2个

# 系统组成



AQU3  
CTD11



AQU4  
CTD12

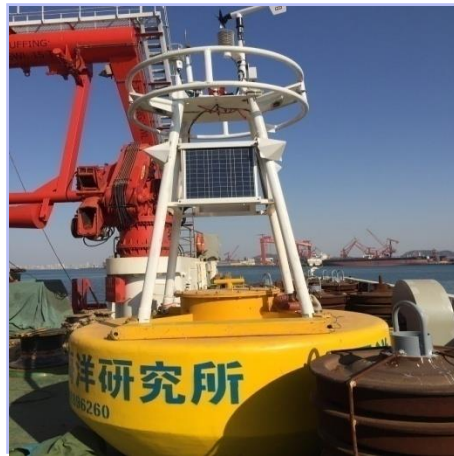


卸扣\*2

锚

# 深海综合观测浮标系统

在“西太主流系潜标观测网维护升级”中，搭载“科学号”科学考察船，于2017年12月24日在西太完成布放，并开展海上应用，连续运行



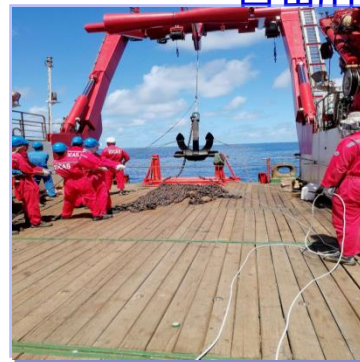
青岛出航



准备布放



布放标体



布放锚系



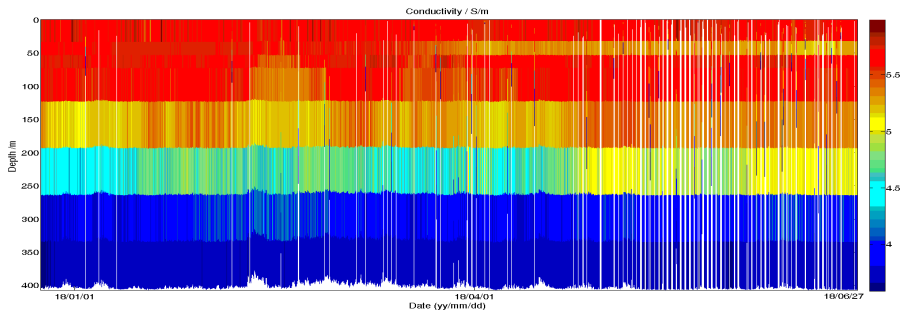
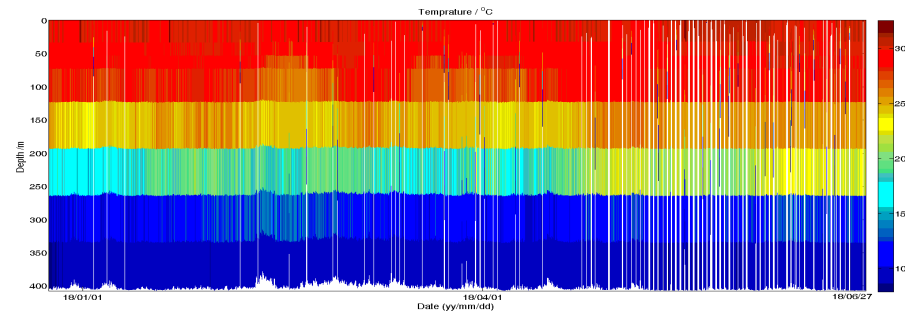
系统就位

# 深海综合观测浮标系统

## ❖ 西太平洋综合观测浮标取得阶段性成果



深海立体综合观测浮标于2017年12月由“科学号”科考船布放于热带西太平洋，布放点水深近4500米。截至目前，系统运行稳定。



欢迎批评指正