

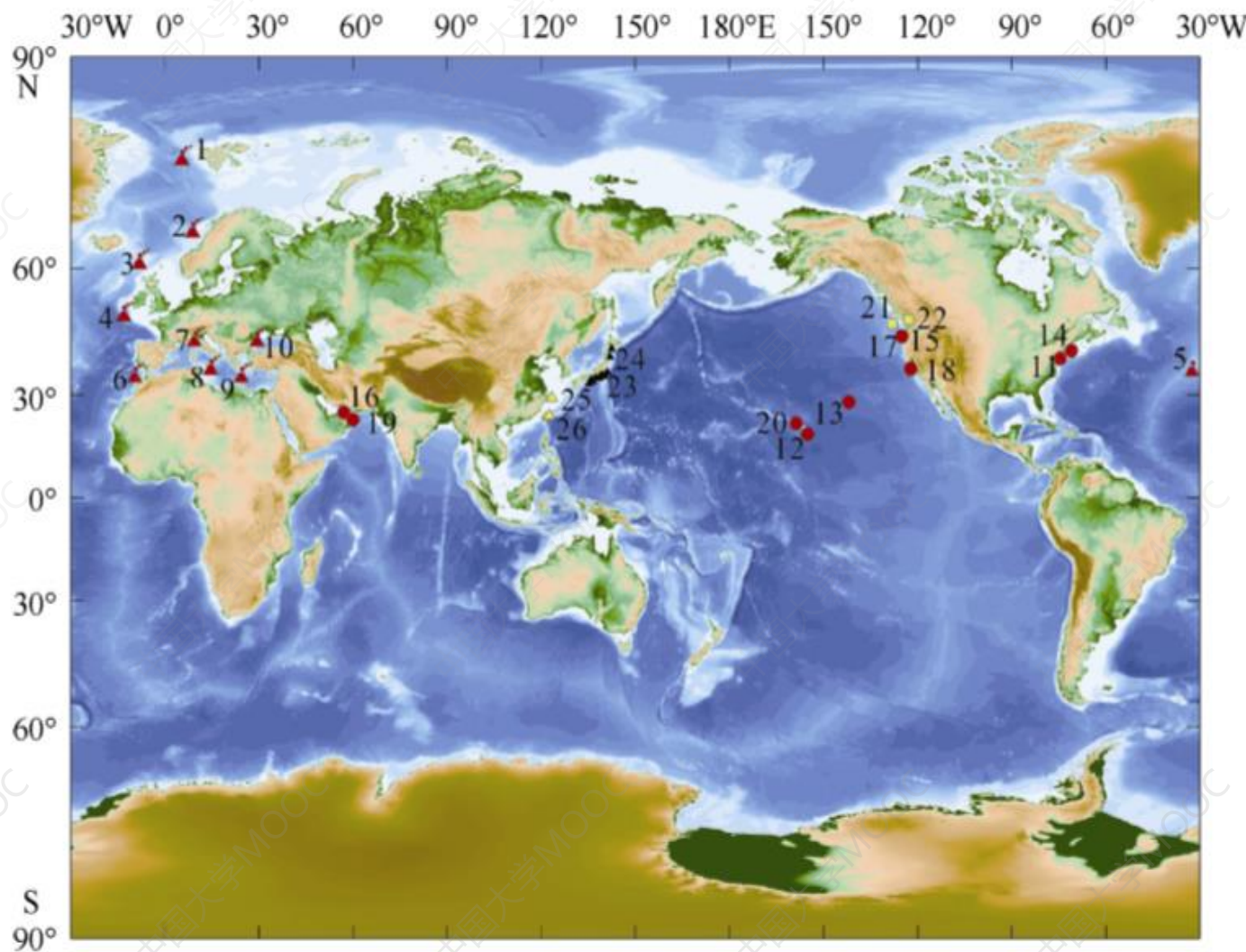
# 海底观测网

# 主要内容

- 海底观测网概述
- 有缆海底观测网的国内外发展现状
- 海底观测网的关键技术

# 海底观测网概述

- 海底观测网是指将各种观测仪器安装到海底，对海水层、海底和海底以下的岩石进行长期、动态、实时的观测
- 近年来，世界各国都加快了深海观测和海底传感器技术研发的步伐，特别重视海洋探测、水下声通讯、海底矿产资源勘探等深海技术。
- 海底观测网主要分为：无缆锚系-浮标系统和有缆观测网系统两大类。
- 根据观测技术，海底观测可分为海底观测站、观测链和海底观测网络。



# 海底观测网概述

- 有缆海底观测网遵循海洋科学与技术的协同发展，是继地面/洋面和空间之后的第三个观测平台，对大洋洋底动力学的研究具有一定推动作用。
- 有缆观测网的优点是能够提供不间断电力支撑，实现长期、连续、实时的海洋立体观测，获取不同时间、空间尺度的海洋过程数据，为不同领域的海洋科学家研究如台风、地震和海啸这样的海洋突发事件的过程提供翔实和精确的数据。
- 有缆观测网的缺点是平台固定，可移动性差，需要结合船载海洋观测和卫星、移动浮标观测相结合。



# 有缆海底观测网的国内外发展现状

## 日本有缆海底观测网

| 序号 | 位置   | 观测网布设单位    | 建设年度 | 电缆长度/km | 备注   |
|----|------|------------|------|---------|------|
| 1  | 御前崎  | 日本气象厅      | 1979 | 120     | 同轴电缆 |
| 2  | 胜浦   | 日本气象厅      | 1986 | 96      | 同轴电缆 |
| 3  | 伊东   | 东京大学地震研究所  | 1993 | 28      | 光电缆  |
| 4  | 平冢   | 防灾科学技术研究所  | 1996 | 127     | 光电缆  |
| 5  | 釜石   | 东京大学地震研究所  | 1996 | 123     | 光电缆  |
| 6  | 室户   | 日本海洋科学和技术厅 | 1997 | 125     | 光电缆  |
| 7  | 钏路   | 日本海洋科学和技术厅 | 1999 | 242     | 光电缆  |
| 8  | 室户   | 日本海洋科学和技术厅 | 2006 | 300     | 光电缆  |
| 9  | 御前崎  | 日本气象厅      | 2008 | 220     | 光电缆  |
| 10 | 纪伊半岛 | 日本海洋科学和技术厅 | 2010 | 450     | 光电缆  |

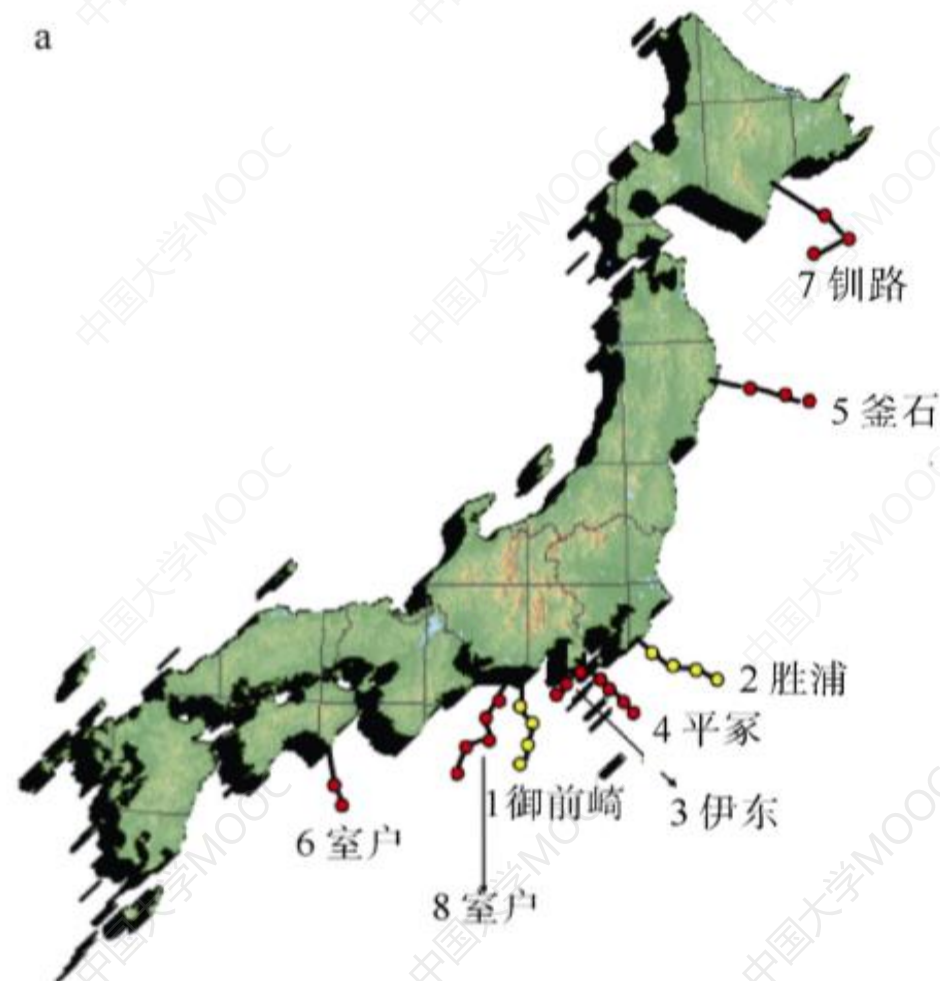
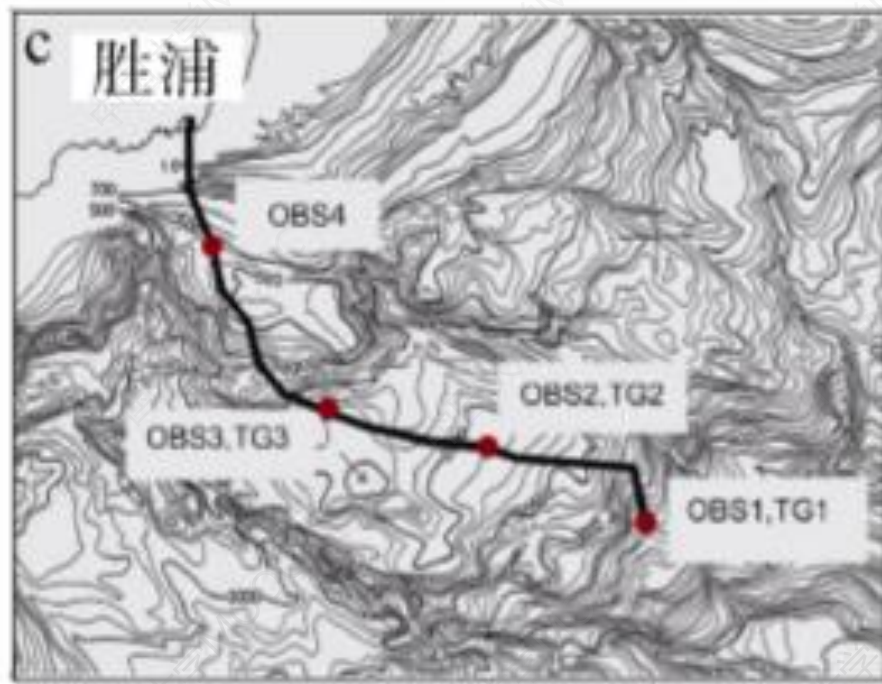
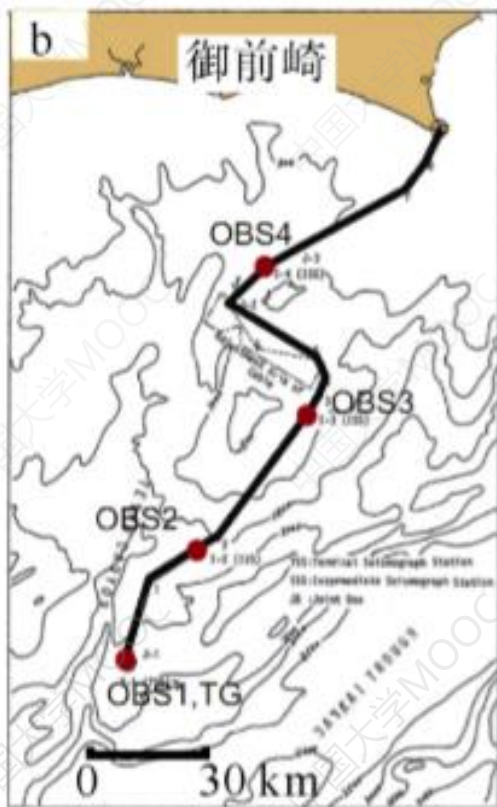
注：数据来源于文献 Joseph (2011)和 [http://www.nec.com/en/global/ir/library/pr\\_archive.html](http://www.nec.com/en/global/ir/library/pr_archive.html)

□ 日本高校和科研院所非常重视海底地震和海啸的监测以及研究。



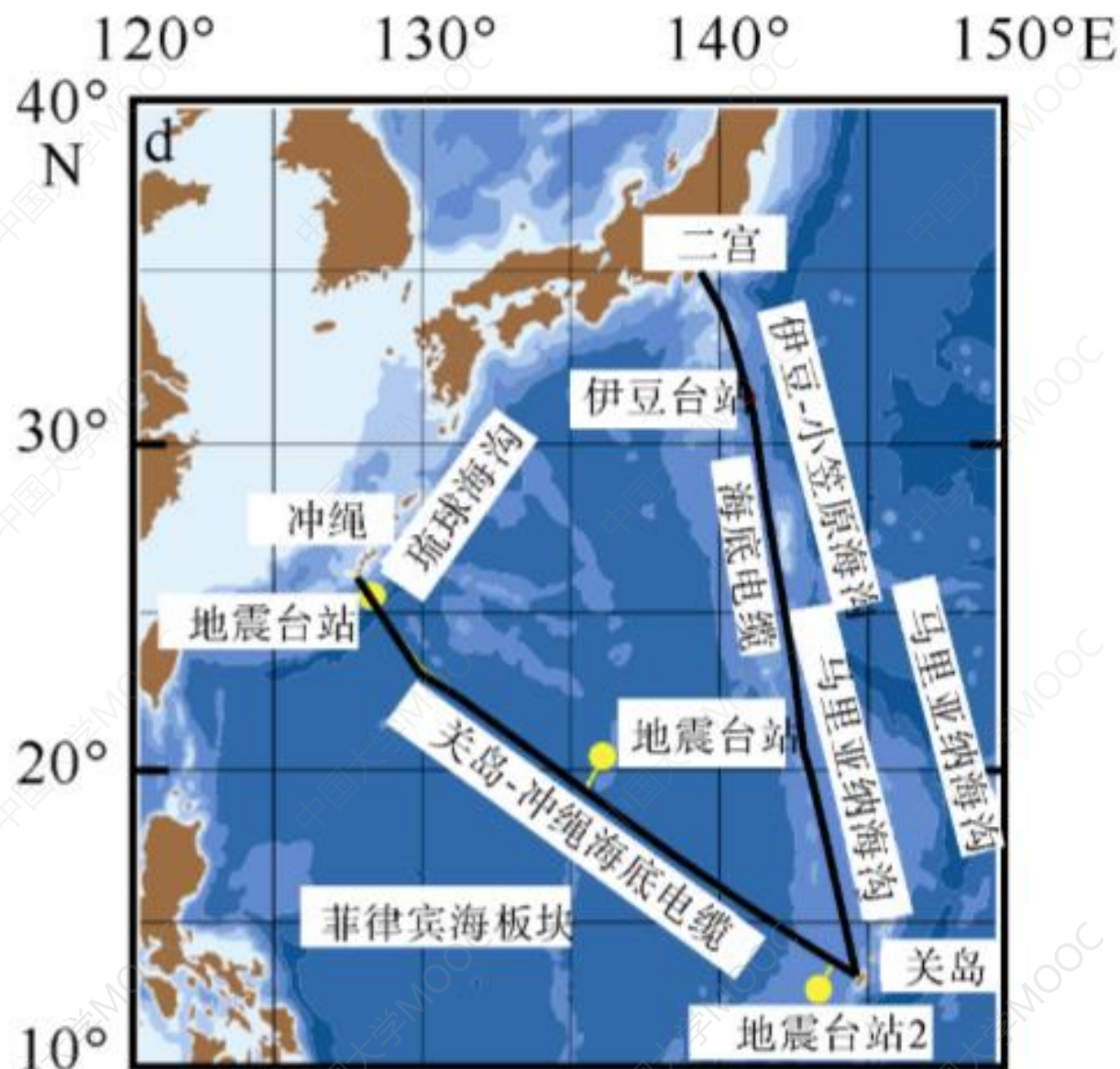
## 日本有缆海底观测网

- 1979年，日本气象厅就建立了两条同轴电缆的在线类型海底地震观测网，该系统主要使用96-120km长的同轴电缆作为主干网络的电力和信息传输介质，水下设备由多个海底地震仪和海啸压力计组成。



## 日本有缆海底观测网

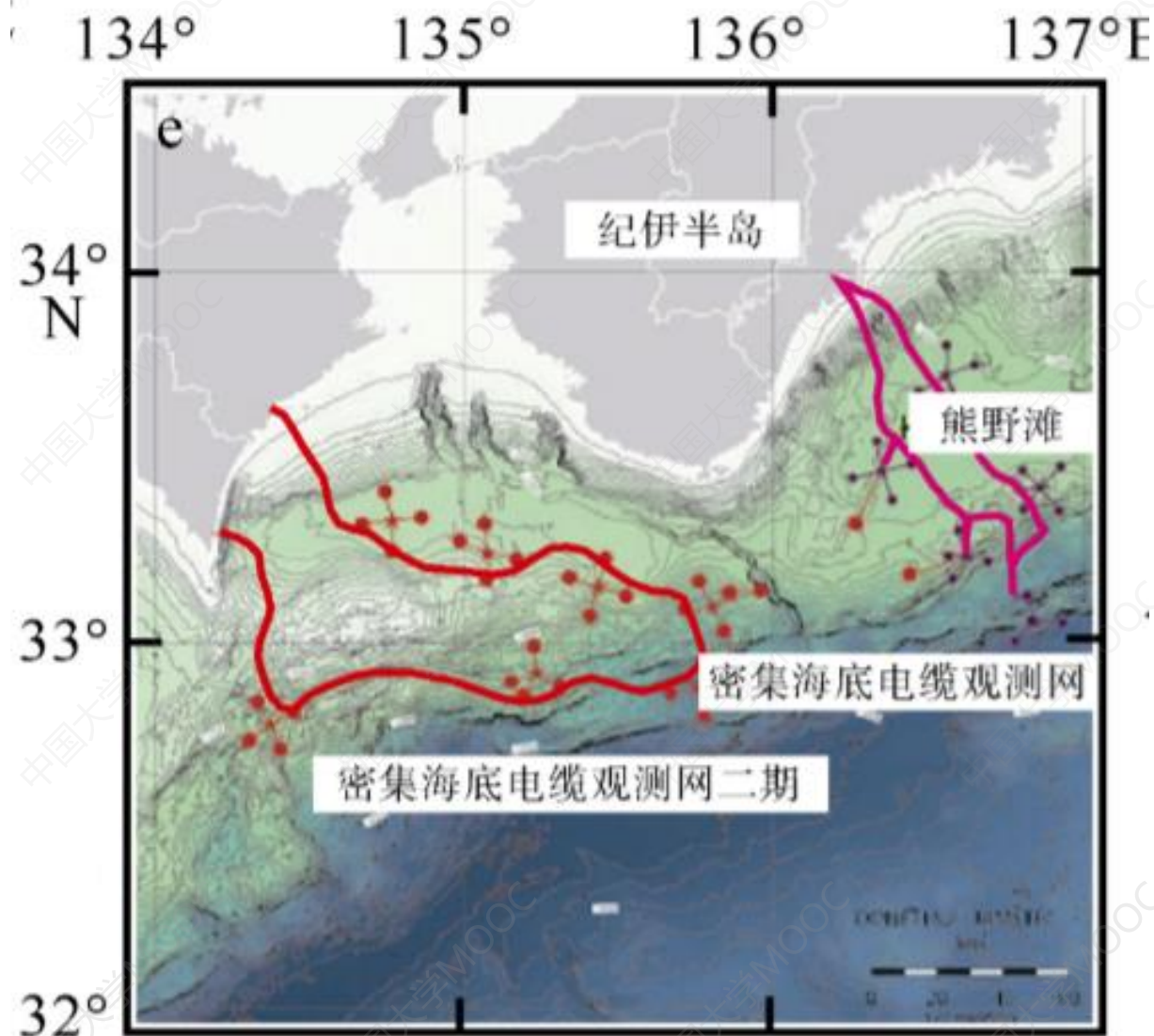
- 上个世纪90年代后期，由于海底光纤电缆技术的发展，东京大学地震研究所分别布设了两条海底地震观测网，采用光纤电缆为主干网，随后日本海洋科学和技术厅布设了其他4条海底地震观测网。
- 1997年1月，东京大学地震研究专家在环太平洋电缆上建立了海底地震观测站。
- 1997年3月，日本海洋科学和技术厅建成了第一条光纤电缆的海底观测网。





## 日本有缆海底观测网

□ 2006年，日本开始建设DONET，第一期在室户海区建立大范围实时海底观测的基础设施，形成一个高密度的网络，以开展大范围、高精度的地震和海啸的连续观测。第二阶段从2010年开始，在纪伊半岛安装29个地震观测台站，2个岸基站，7个节点km长的主干光纤电缆，2013年开始海底布设，2015年系统开始运转。





# 日本有缆海底观测网

- 水下关键设备主要是海底地震仪、海啸压力计、主干光纤电缆末端的多传感器平台。
- 多传感器平台主要由一些测量环境参数的传感器组成：测流计、声学多普勒测流剖面仪、温盐深测量仪、温度探针、水听器、照相设备和石英压力计等。





## 日本有缆海底观测网的特点

- 发展起步早；
- 监测地震和海啸为主要监测目的；
- 观测网规划长远，技术成熟。

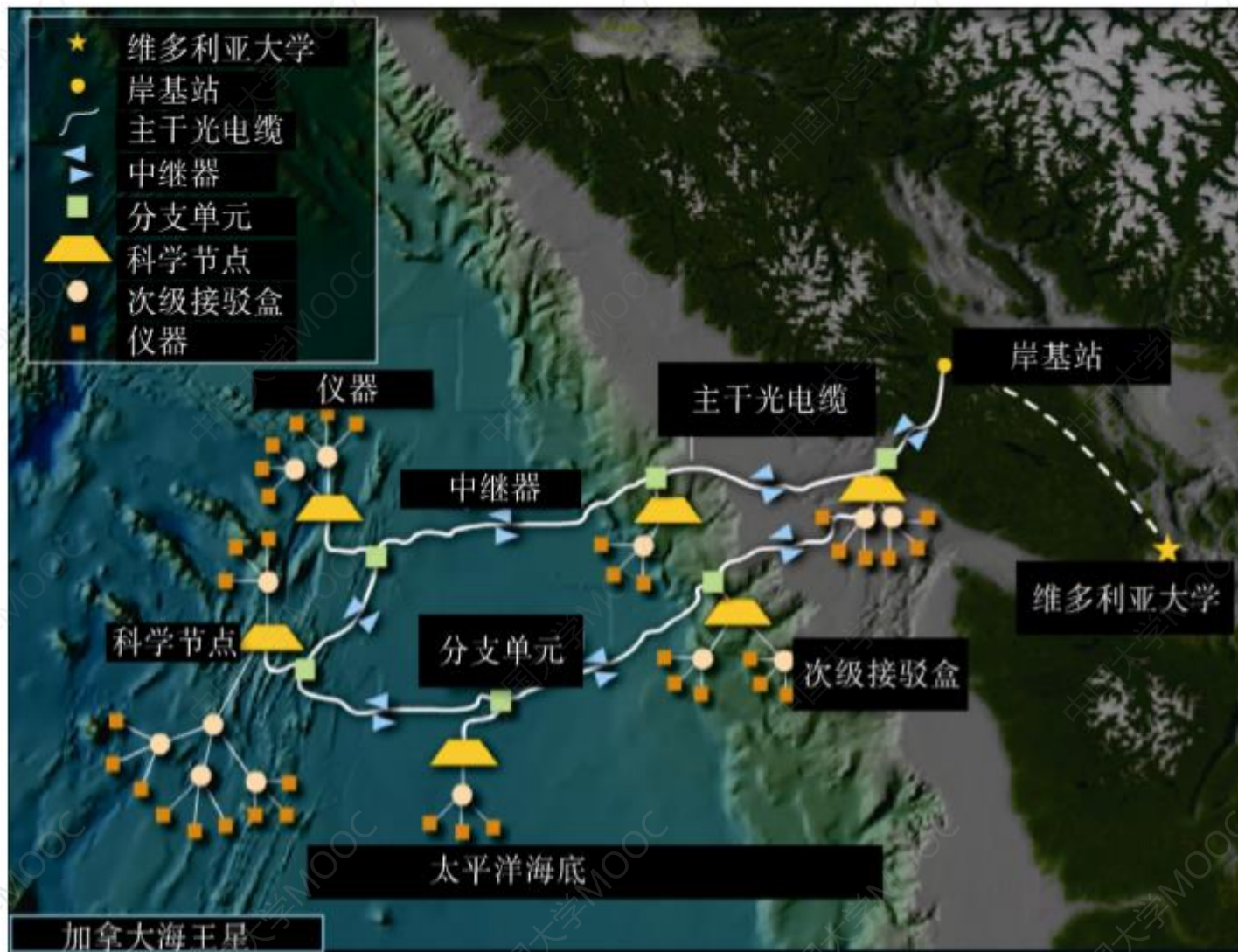
## 加拿大有缆海底观测网

- 加拿大有缆海底观测网主要由加拿大海洋网络ONC负责和管理。
- 目前建成和运转2个有缆海底观测网络：NEPTUNE 和VENUS。
- 这2个观测网络都是由加拿大维多利亚大学运转和维护，数据通过网络从无人岸基站传输到数据中心。



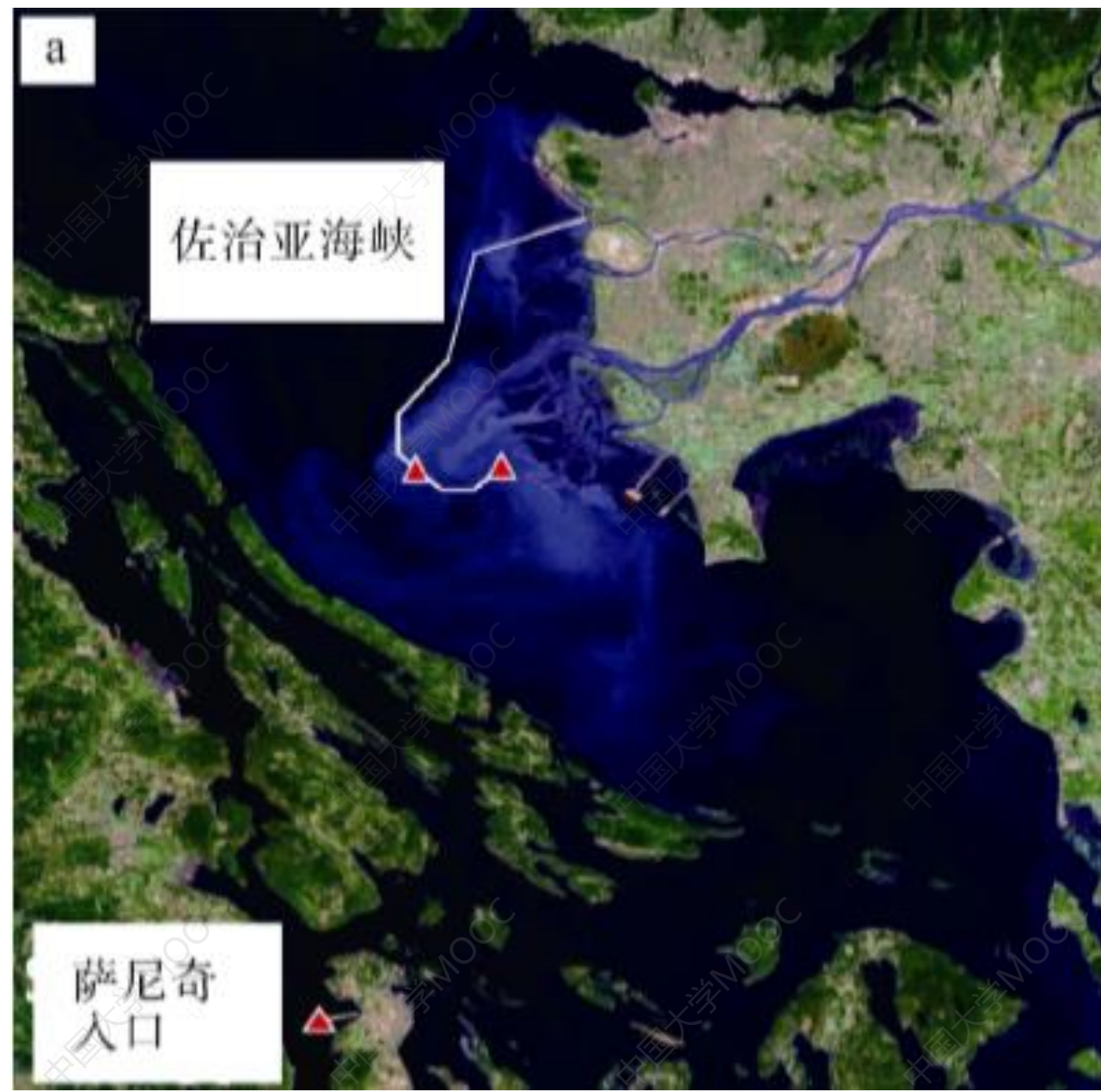
# 加拿大有缆海底观测网

- NEPTUNE是世界上第一个大区域尺度的、多节点、多传感器的有缆海底观测网。
- 该系统水下有6个科学主节点，系统提供10kw的电力和4Gb.s<sup>-1</sup>的数据传输能力。
- 科学主题驱动主要有5个，分别是：
  - 1) 板块构造运动及地震动力机制；
  - 2) 海底洋壳中的流体通量和增生楔内的天然气水合物；
  - 3) 海洋和气候动力机制及其对海洋生物的影响；
  - 4) 深海生态系统动力机制；
  - 5) 工程及计算研究。



## 加拿大有缆海底观测网

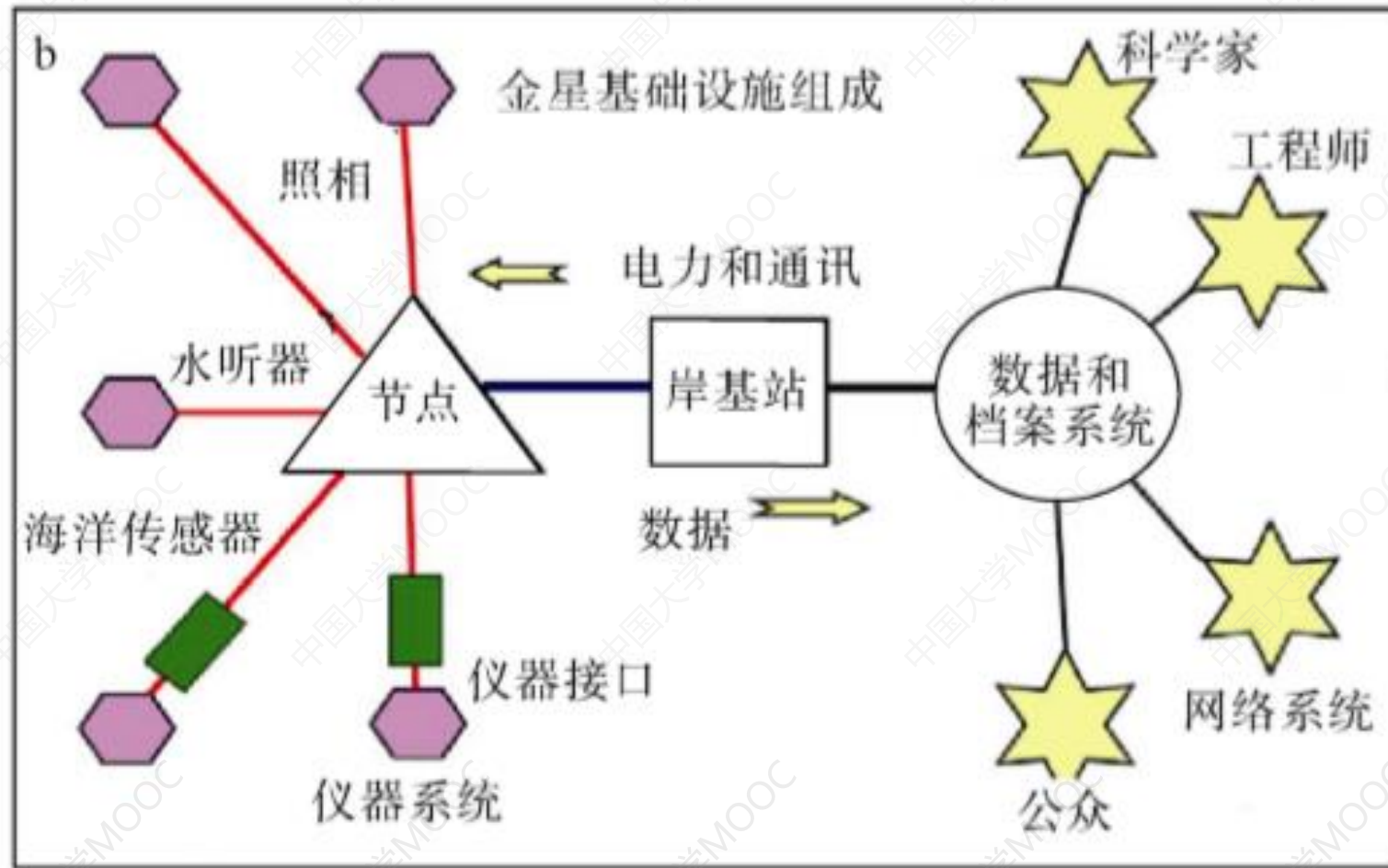
- VENUS是一个近岸尺度的海底观测网。
- 2006年，在萨尼奇入口布设了一条4km长的单节点网，科学节点投放在100m水深处，光纤电缆登陆点在加拿大渔业和海洋科学研究所。
- 2008年，在佐治亚海峡布设了第二条40km长的双节点观测网，2个科学节点从费雷泽三角洲延伸到穿过大部分佐治亚海峡。
- 海底布设的仪器主要有CTD、O<sub>2</sub>传感器、ADCP、浮游动物声学剖面仪、水听器、沉积物捕获器、照相设备和一些自主研制的仪器。





# 加拿大有缆海底观测网

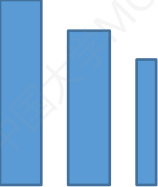
□ VENUS是通过岸基站连接水下科学节点，通过岸站把数据传输到维多利亚大学数据和管理档案中心，水下次级接驳盒或称科学仪器界面模块SIIM通过次级电缆直接连到不同传感器和仪器。



## 加拿大有缆海底观测网的特点

- ❑ 在科学目标驱动下，建立了近海尺度的VENUS和区域尺度的NEPTUNE，观测网系统完善，预留和设计了为将来扩充的端口，开创了全球有缆海底观测网的典范和标准。
- ❑ 加拿大有缆海底观测网的核心技术是SIIM。
- ❑ 海底观测网组建过程中，使用了先进的水下机器人----海洋科学遥控操作平台ROPOS。
- ❑ 海底观测网的观测数据全球公开。





# 美国有缆海底观测网

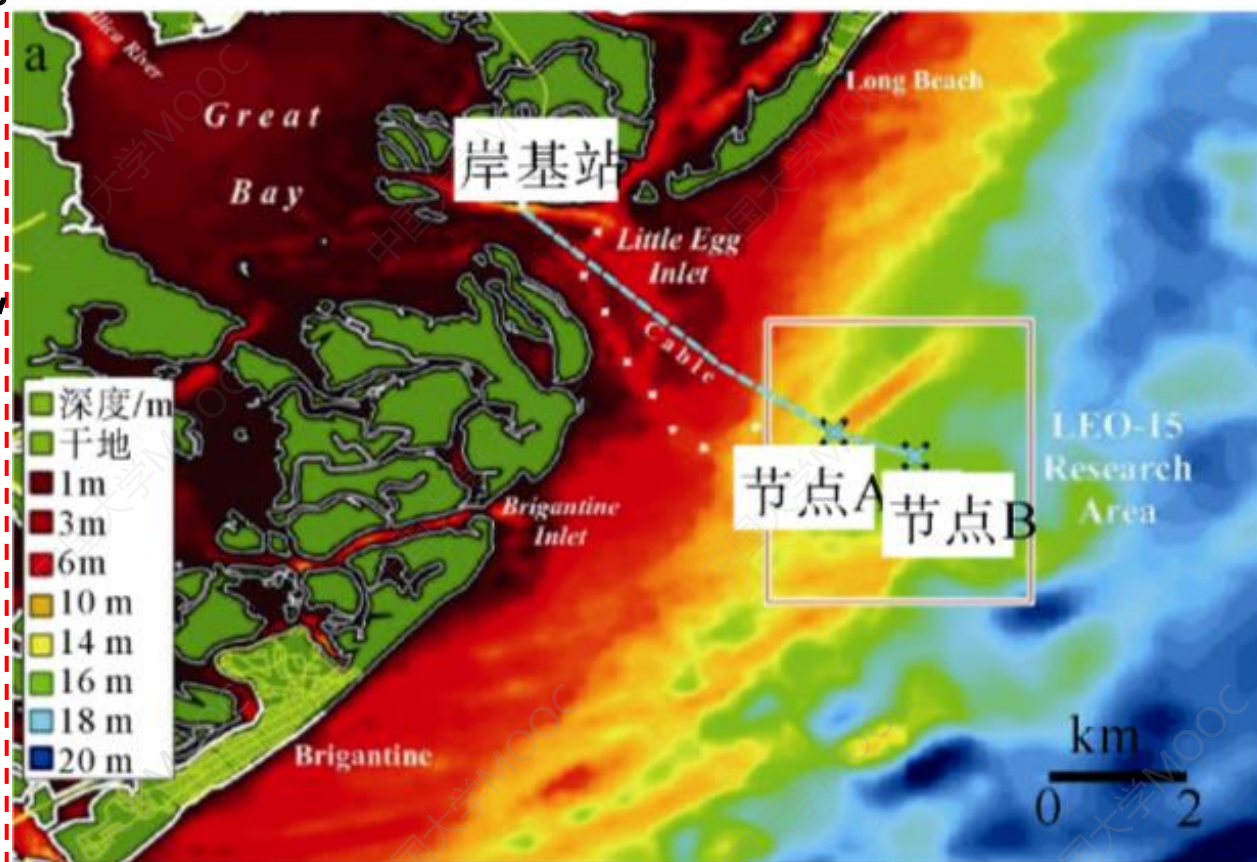
美国已经建成大约10条有缆海底观测网。

| 序号 | 观测网名称    | 布设单位      | 建设年度 | 电缆长度/km |
|----|----------|-----------|------|---------|
| 1  | LEO-15   | 罗格斯大学     | 1996 | 9.6     |
| 2  | HUGO     | 夏威夷大学     | 1997 | 47      |
| 3  | H2O      | 伍兹霍尔海洋研究所 | 1998 | —       |
| 4  | MVCO     | 伍兹霍尔海洋研究所 | 2000 | 4.5     |
| 5  | MOBB     | 蒙特利湾水生研究所 | 2002 | 52      |
| 6  | LORI- I  | 灯塔研发企业    | 2005 | 约 120   |
| 7  | MARS     | 蒙特利湾水生研究所 | 2007 |         |
| 8  | OOI-RSN  | 华盛顿大学     | 2010 | 900     |
| 9  | LORI- II | 灯塔研发企业    | 2010 | 354     |
| 10 | ACO      | 夏威夷大学     | 2011 | —       |

注：“—”表示无法准确确定海底电缆长度

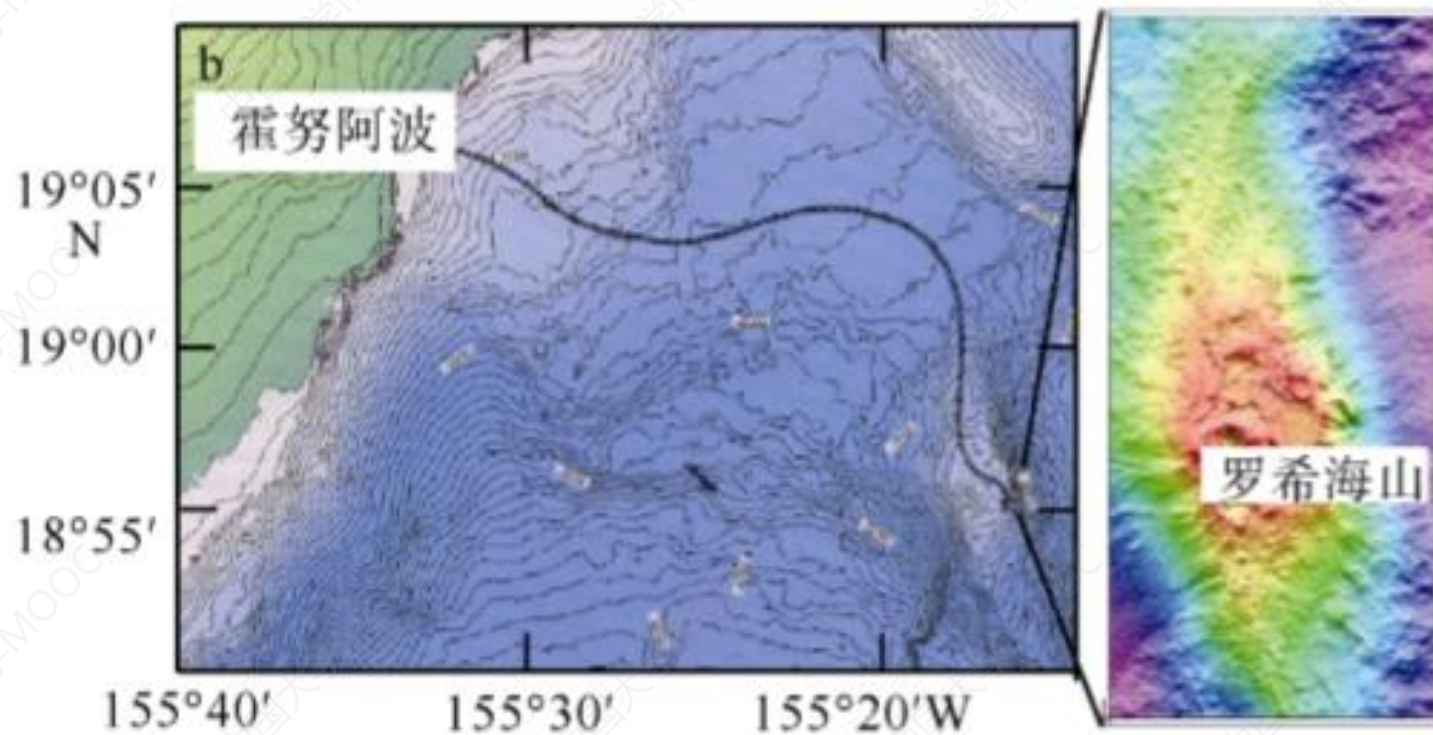
## 美国有缆海底观测网

- ❑ 美国从1996年建设完成的长期生态系统观测系统LEO-15，2010年开设建设OOI-RSN，2011年建设阿罗哈观测网ACO。
- ❑ 每一个观测网络都有各自的特定科学目标。
- ❑ 观测网布设的位置从海岸带、浅海峡谷地带到大洋的深海区域。
- ❑ 1996年9月，美国新泽西州立大学率先在大西洋新泽西大海湾海岸带布设了LEI-15，它是比较早的一个有缆海底观测网，由一条约9.6km长的海底光纤电缆连接科学节点，系统由布设在15m水深的2个科学节点组成。
- ❑ 观测网岸基站设在罗格斯大学的海洋和海岸带科学研究所内，长时间序列数据存储格式为网络通用数据格式NetCDF。



## 美国有缆海底观测网

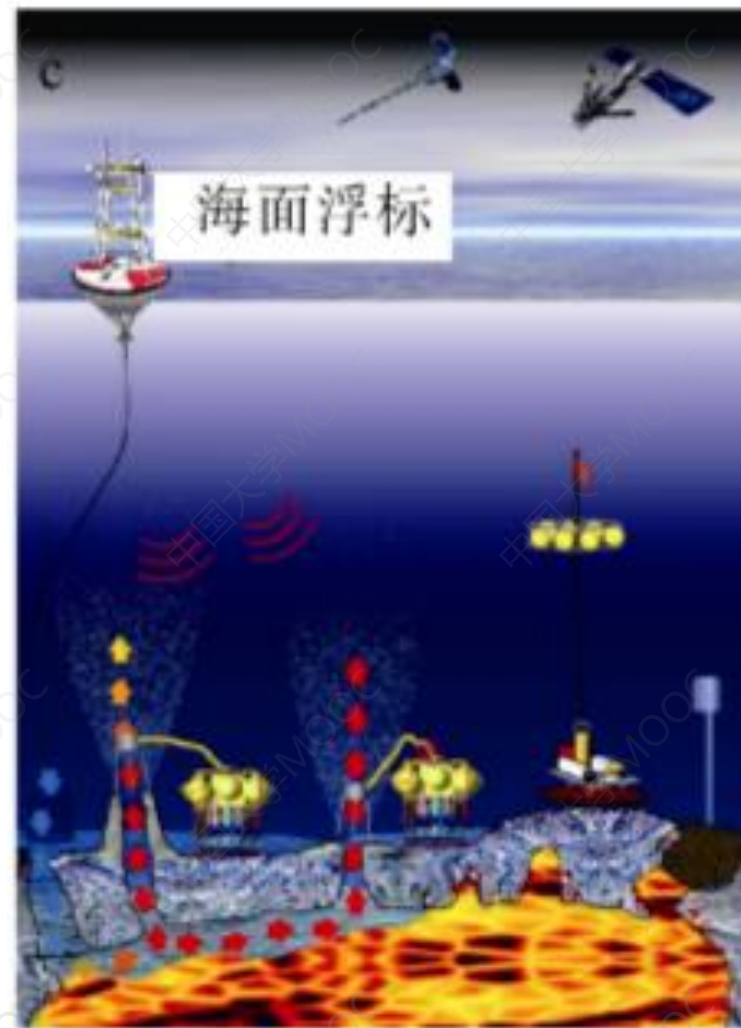
- ❑ 罗希火山是夏威夷火山链中最年轻的火山，火山活动活跃，需要在海底观测网开展长期、连续的观测。
- ❑ 1997年10月，夏威夷罗希火山顶部布设了一条47km长的海底火山观测网HUGO，岸基站在夏威夷的霍努阿波。
- ❑ 科学目标是观测海底火山及相关的物理海洋、生物、地质和声学现象。





## 美国有缆海底观测网

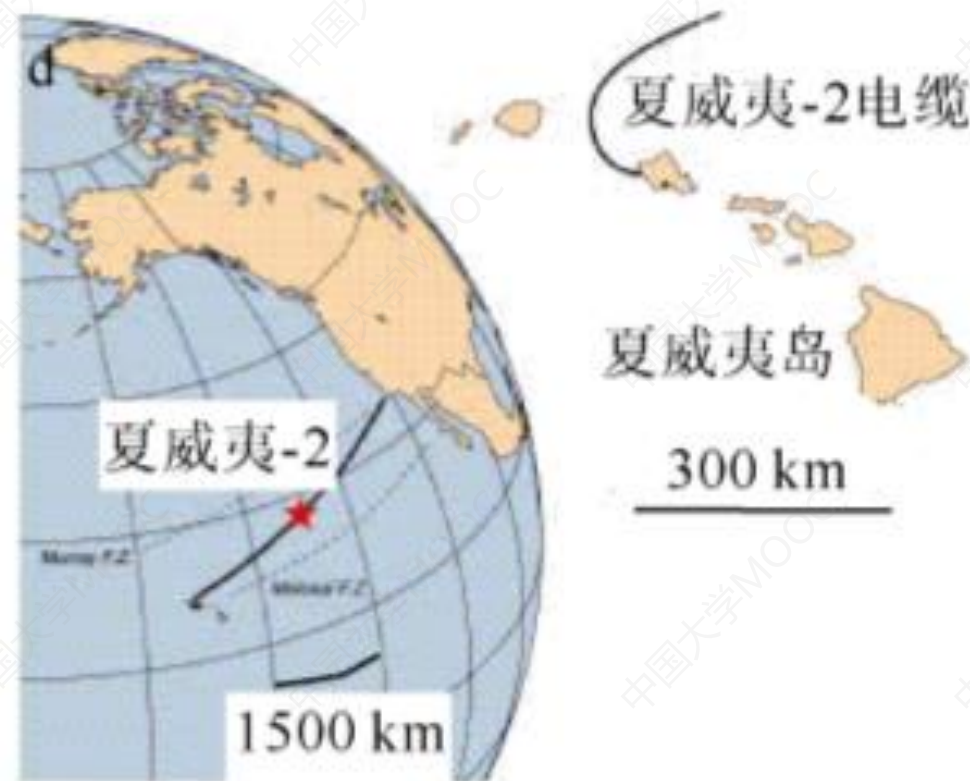
- 载人潜水器Pisces V对HUGO观测网进行布设和维护。
- 1997年，胡安德富卡板块内的洋中脊海山区域也布设了一个新千年海底观测站NeMO，重点观测热液喷口附近的地质、生物和化学相关的科学内容。





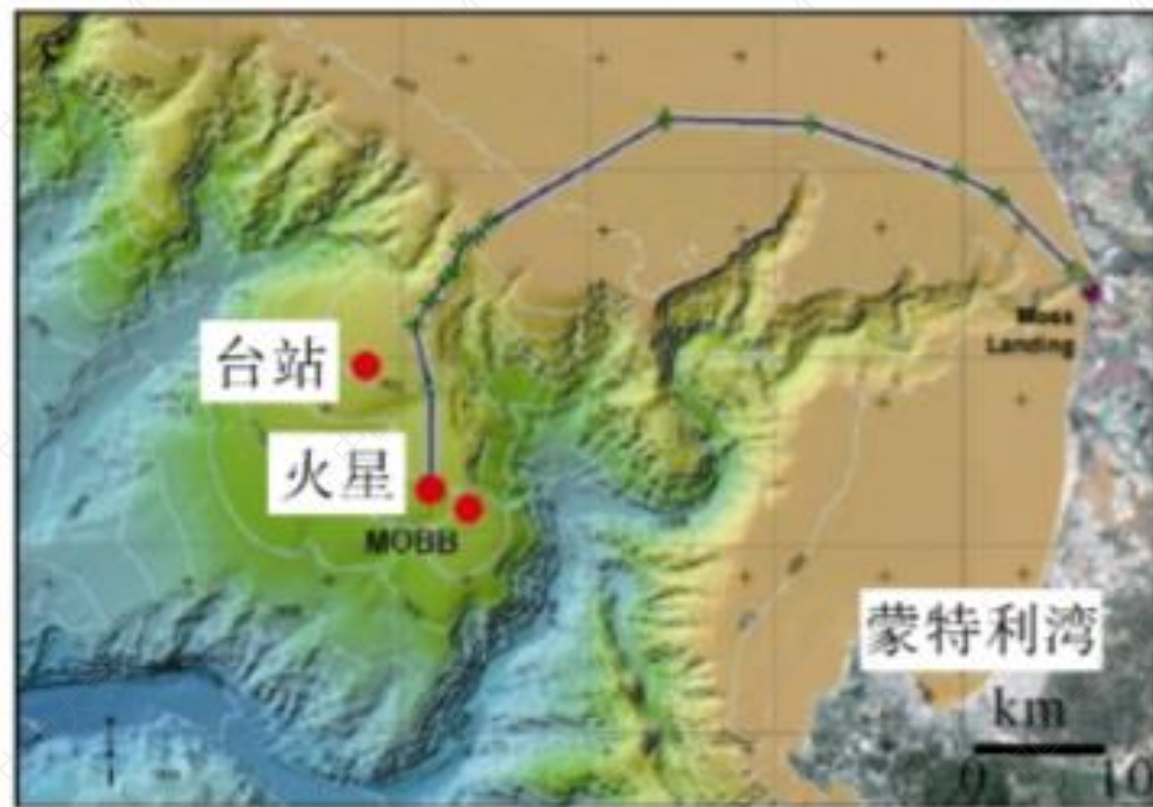
## 美国有缆海底观测网

- 1998年9月，在东太平洋海域，利用废弃的通信电缆布设了夏威夷-2观测网 H2O。
- 该观测网对全球海洋地震台网的覆盖非常有利。
- 数据传输到岸基站马卡哈，之后通过网络传输到夏威夷大学马诺阿校区。
- 该系统主要由地震传感器、声学和环境传感器（包括海流计、温度和压力传感器）组成。
- H2O的科学目标是获取高质量的宽频带地震数据、实时高质量的粒子运动和声学数据。



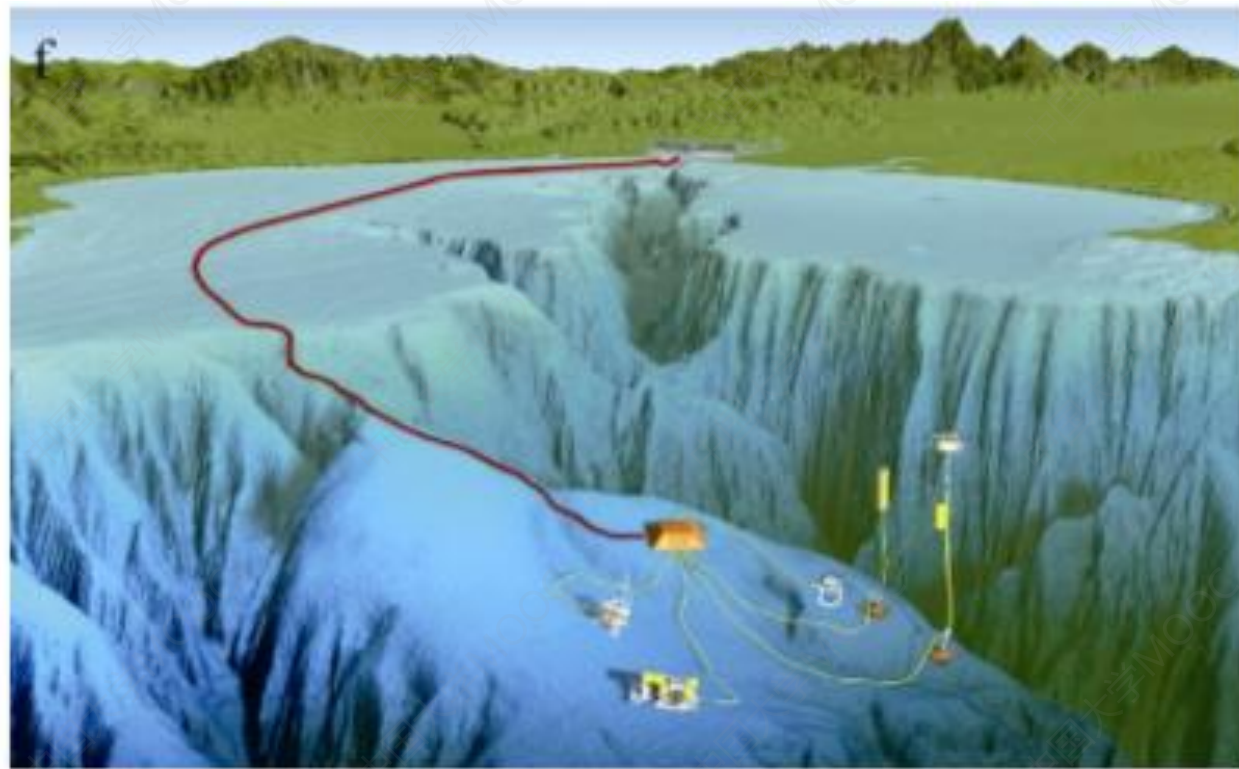
## 美国有缆海底观测网

- ❑ 2002年4月，蒙特利湾水生研究所MBARI和加州伯克利地震实验室BSL联合建立了蒙特利湾海底长期三分量地震台站MOBB。
- ❑ MOBB布设的主要目的是增加地震台站在海域部分的覆盖，通过联合陆上地震台站数据，更有利于地震震中的确定。
- ❑ 地震台站布设在距离蒙特利湾40km处的1000m水深处。
- ❑ 2009年2月，MOBB连接到MARS，成为海底观测网的一部分。



## 美国有缆海底观测网

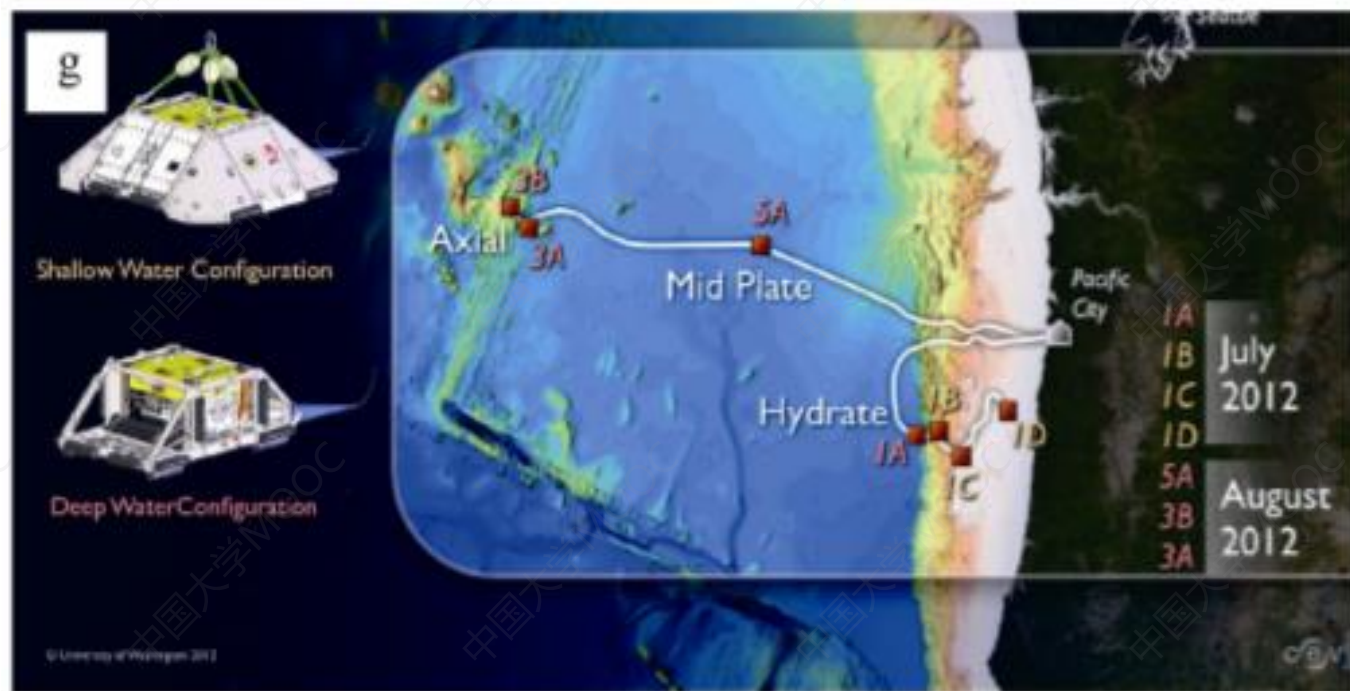
- ❑ 2007年3月，MBARI成功布设了52km长的MARS。
- ❑ MARS是一个布设在约891km水深的单一科学节点网络，一共有8个湿插拔端口来连接海底仪器。
- ❑ MARS的科学目标是为美国海洋观测计划OOI提供测试基础，测试新的科学仪器和传感器技术，检测水下机器人的维护、布放和回收的能力。
- ❑ 该观测网由MBARI管理和维护。





# 美国有缆海底观测网

- ❑ 美国海洋观测计划OOI包括3个部分：全球尺度节点、区域尺度节点、近海尺度节点。
- ❑ 2000年曾被美国科学家命名为NEPTUNE的观测网为海洋观测计划-区域尺度节点(OOI-RSN)。



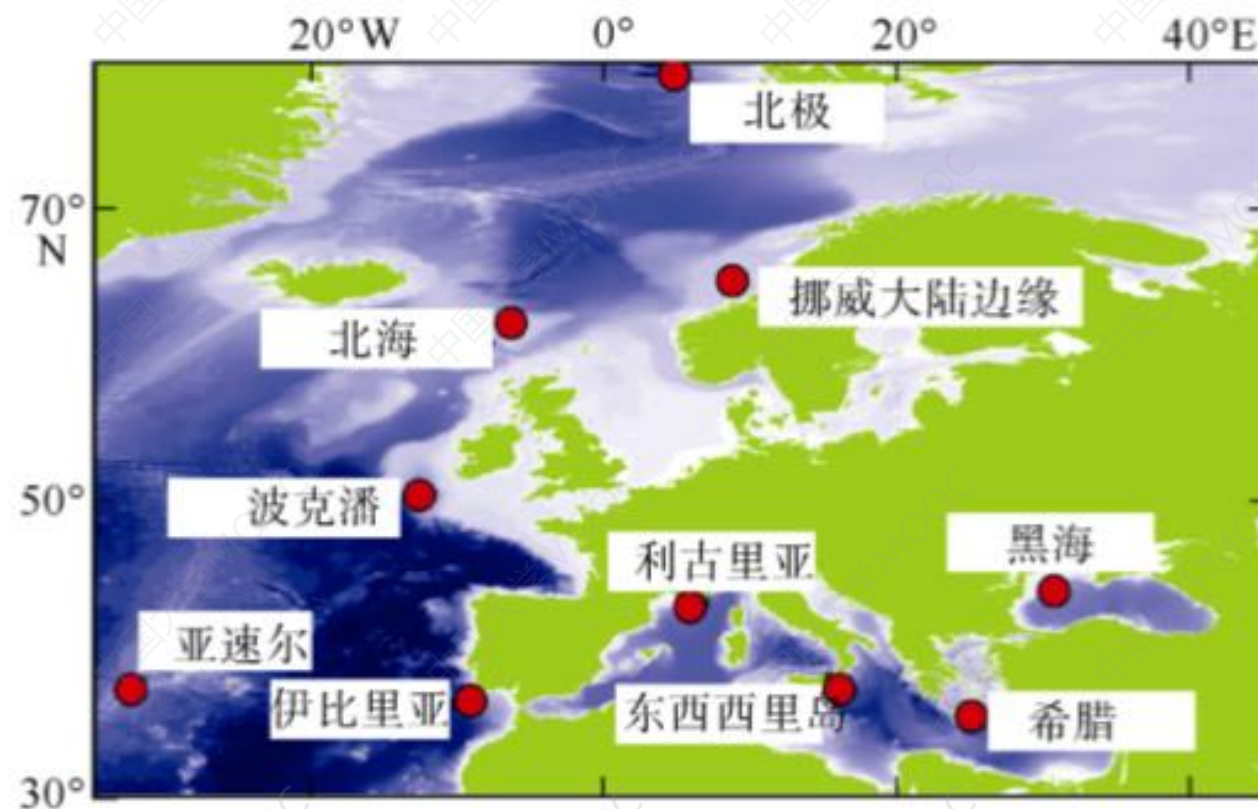


## 美国有缆海底观测网的特点

- 在科学驱动下建立了近海尺度的LEO-15、MVCO和MARS和区域尺度的OOI-RSN。
- 观测网系统完善，建立了不同研究重点的网络，如生态系统网络LEO-15，地震和火山观测网（H2O、NeMO和HUGO）。
- 不同观测平台相互连接完善成熟，如浮标、锚系与有缆海底观测网的连接。
- 观测网的建设具有全球性，包括短期和长期的观测。
- 观测网使用遥控水下机器人ROVs、自主水下机器人(AUVs) 和水下滑翔机等高新技术设备。

## 欧洲国家有缆海底观测网

- ❑ 2004年4月，意大利和希腊合作在希腊佩特雷湾布设了气体控制模量有缆观测网GMM。
- ❑ GMM布设在海底甲烷气体蕴藏的麻点地区，大约离岸站400m，水深42m的位置。
- ❑ 观测系统主要利用三脚架装置，配备短期的3个 $\text{CH}_4$ 传感器、1个 $\text{H}_2\text{S}$ 传感器和测温盐深的传感器。
- ❑ 欧洲国家开启欧洲海底观测网ESONET，计划在北冰洋、大西洋、地中海和黑海等10个海区建立有缆海底观测网。



## 欧洲国家有缆海底观测网

- 北冰洋观测网：重点观测极地气候系统，生物多样性；
- 挪威大陆边缘观测网：重点观测热盐环流与天然气水合物；
- 北海观测网：重点观测低维度到高纬度热盐输运和湾流；
- 东北大西洋波克潘观测网：重点观测海洋深水环境和深海平原生物多样性；
- 大西洋洋中脊亚速尔观测网：重点观测生物多样性和极端环境下的生命；
- 伊比利亚大陆边缘观测网：主要监测大陆边缘地震和海啸；
- 利古里亚海观测网：其功能类似于MARS；
- 西西里岛东部海底观测网：重点观测地震和板块相互作用；
- 地中海希腊观测网：重点观测地震和反转流、深水环境；
- 黑海观测网：主要观测缺氧生态系统和天然气水合物。



## 欧洲国家有缆海底观测网的特点

- ESONET采用有缆和无缆两种观测站系统，获得的数据参考德国国际海洋数据中心的泛古陆“PANGEA”系统管理方式。
- 欧洲海底观测网的特点是跨不同海区，有各自的科学意义，观测网发展的平台多，包括早期移动平台和长期有缆观测平台，参与国家众多。



# 国内有缆海底观测网发展现状

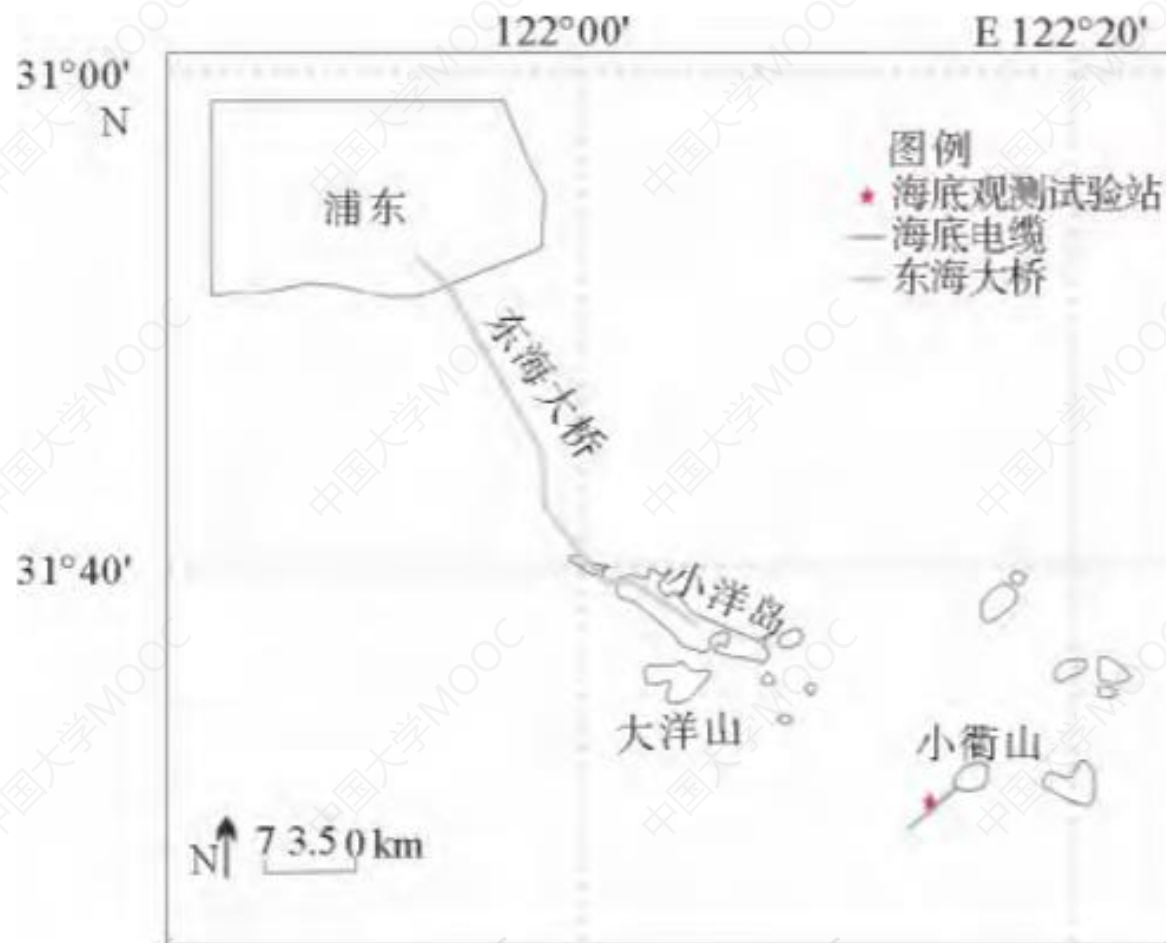
□ 东海小衢山观测站

□ 中国台湾地区的妈祖有缆海底观测网MACHO

□ 中国南海三亚海底观测示范系统。

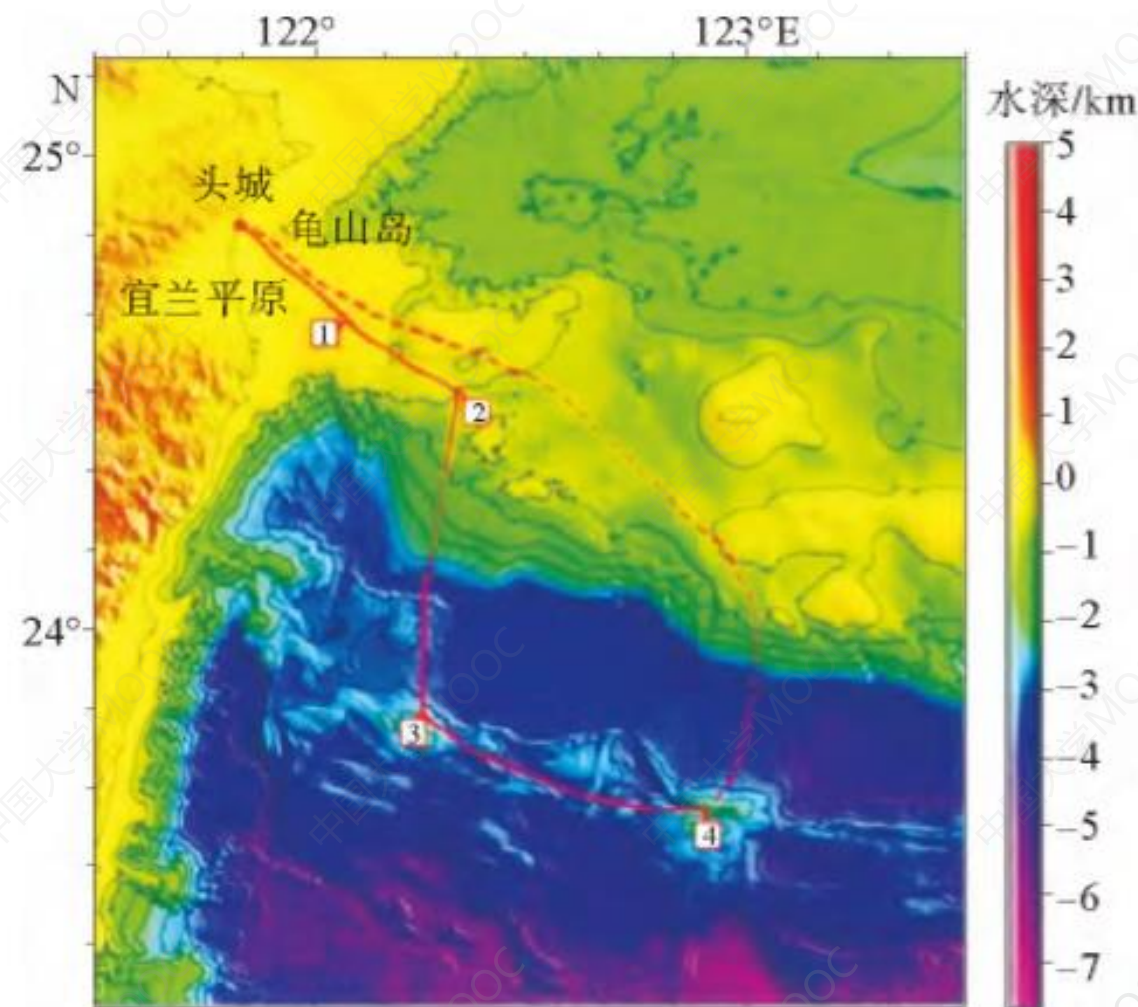
# 国内有缆海底观测网

- 2006年，同济大学承担了“海底观测组网技术的试验与初步应用”重大科技攻关项目，并于2009年4月在上海附近的东海近岸浅水区建成海底观测试验站---小衢山海底观测试验站。
- 试验站的科学主题是研究长江口的泥沙输运和港口安全、观测海洋的生态环境变化等。
- 小衢山观测站于2009年建成，系统主要由一个1.1km长的主干光纤电缆，一个海底接驳盒和3种海底设备组成，海底设备为CTD，ADCP和浊度仪。电力主要通过水文观测平台的太阳能板提供，系统目前在运转。



## 国内有缆海底观测网

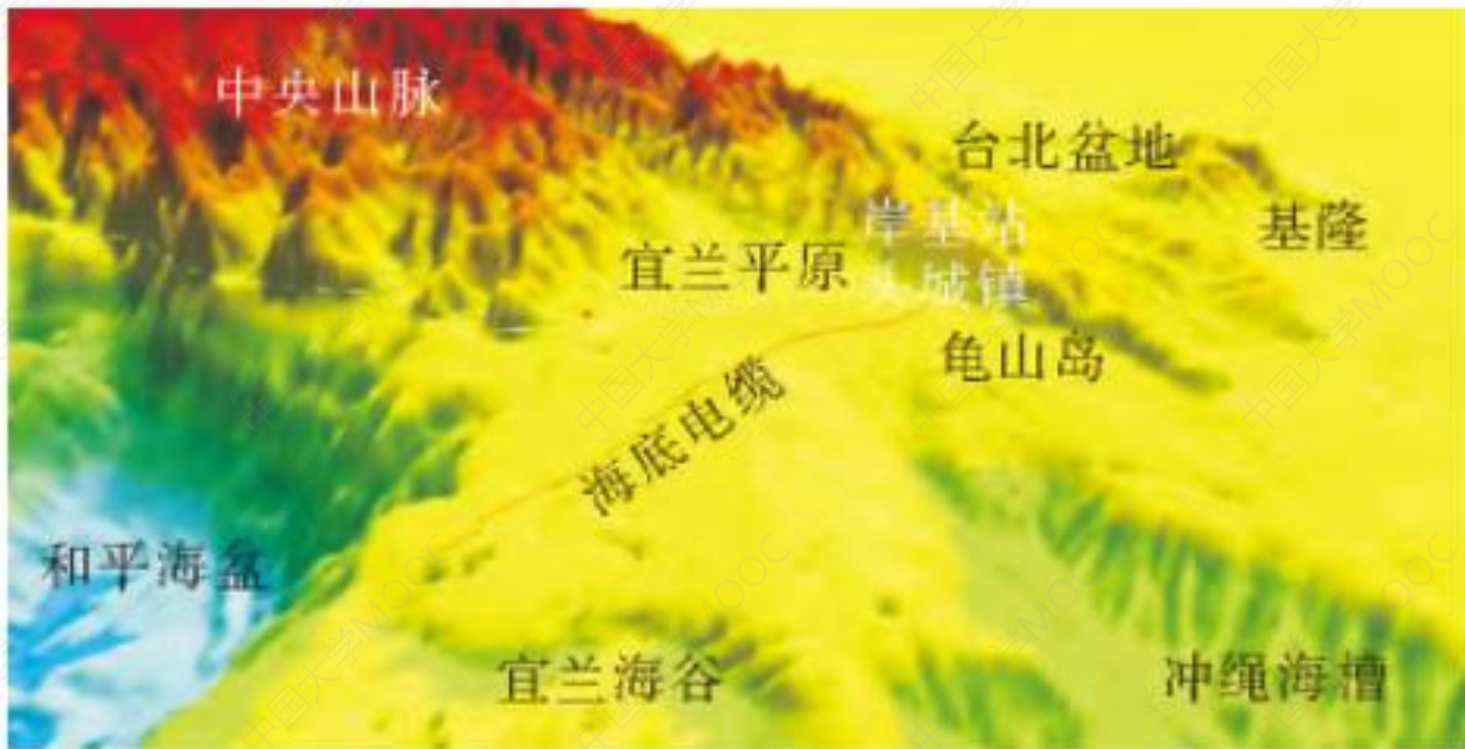
- 台湾地区位于环太平洋地震带上，影响台湾的地震70%发生在海域。
- 台湾实施了“台湾东部海底电缆观测网”计划 Marine Cable Hosted Observatory (MACHO)。
- MACHO计划于2007年通过，以地震和海啸监测为主，最初设想如右图所示。





| Fruit  | Number of people |
|--------|------------------|
| Apple  | 8                |
| Banana | 6                |
| Orange | 3                |

- MACHO 由于后来经费大大缩减，2011年11月只完成第1期建设，如右图所示，未来能否继续开展第2期建设，取决于台湾气象部门能否获得后续支持。
- MACHO于2011年12月建成，第一期已经建成一条主干光纤电缆45km的观测网；海底仪器主要由宽频海底地震仪、加速度地震仪、CTD、水听器和海啸压力计传感器组成。MACHO系统功能是用来监测台湾岛东北部的地震和海啸。



(图片源自 <http://scweb.cwb.gov.tw/macho~web/>)

## 国内有缆海底观测网

- 2013年5月，南海首个海底观测示范系统在三亚建成。三亚海底观测示范系统由岸基站、2km长电缆、3个节点、11个主接驳盒和1个次接驳盒、3套观测设备组成。
- 岸基站提供10kw的高压直流点，接驳盒布放在20km水深的海底。
- 三亚海底观测示范系统是中国科学院重大科技基础设施预先研究项目，由中国科学院南海海洋研究所牵头，沈阳自动化所和声学研究所参与。其中，沈阳自动化所承担了水下接驳盒、岸基站监控系统和数据管理系统等研制工作。

## 国内有缆海底观测网的特点

- 国内有缆海底观测网发展起步较晚；
- 观测平台集中在浅水区，如东海小衢山观测站在10m水深处，MACHO最深位置在300m水深处；连接的海底仪器或传感器数量比较少；
- 重点观测的科学目标比较单一，如MACHO仅仅重点监测地震和海啸，没有化学传感器。

## 有缆海底观测网的关键技术

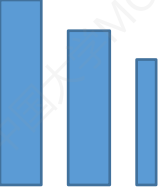
- 有缆观测网络可分为岸站、海底光电缆网络、科学节点与次级接驳盒、观测网仪器和传感器等海底设备。
- 根据有缆海底观测网系统的组成，关键的技术是组网的接驳技术，高压直流输配电技术，水下湿插拔连接器技术，水下网络传输与信息融合技术，物理、化学和生物传感器技术，海底传感器和设备的防护技术，数据库管理技术，水下机器人的性能和操作人员的操控能力。



# 有缆海底观测网的关键技术

| 序号 | 观测网名称   | 水下机器人    | 最大下潜深度/m | 观测网维护单位    |
|----|---------|----------|----------|------------|
| 1  | NEPTUNE | ROPOS    | 5000     | 维多利亚大学     |
| 2  | VENUS   | ROPOS    | 5000     | 维多利亚大学     |
| 3  | DONET   | 海豚       | 3000     | 日本海洋科学和技术厅 |
|    |         | 贝子II     | 7000     | 日本海洋科学和技术厅 |
| 4  | MARS    | Ventana  | 1850     | 蒙特利湾水生研究所  |
| 5  | HUGO    | Pisces V | 2000     | 夏威夷大学      |
|    |         | Jason    | 6500     | 夏威夷大学      |
| 6  | OOI-RSN | 海神 3     | —        | 华盛顿大学      |
|    |         | ROPOS    | 5000     | 华盛顿大学      |
| 7  | ACO     | Jason    | 6500     | 夏威夷大学      |

注：“—”表示没有准确的数据参考



感谢聆听！！！！