

中国大陆科学钻探工程长期观测站

地球科学科普活动

2020.04







姓名：地球  
年龄：4.6E+9 年 (4600 Ma)  
身高 (直径)：1.274E+7 m  
体重 (质量)：5.965E+24 kg  
体型：近似球体

An aerial photograph of a research facility. In the upper left, a tall drilling rig stands on a platform. To its right and in the foreground, a large, U-shaped building complex with a central courtyard and a circular structure is visible. The surrounding area is a vast, flat landscape with a grid-like pattern of fields or agricultural plots.

# 地球科学

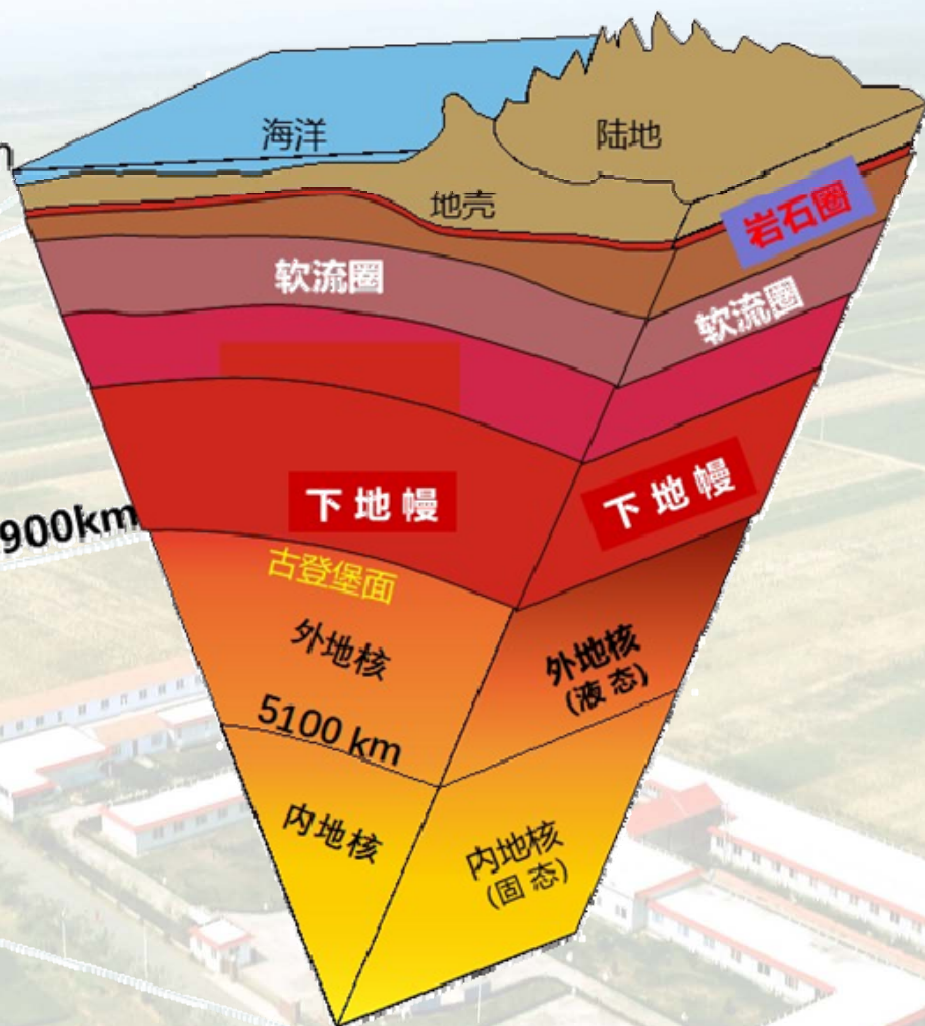
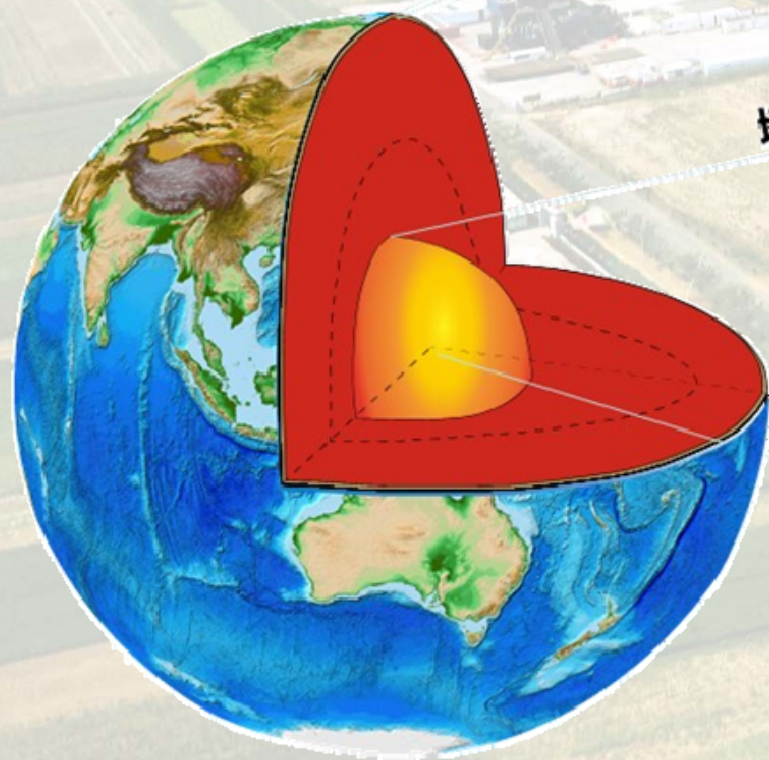
在空间和时间的框架下，研究地球的构成和演化。



大陆地壳厚度一般：30~50 km

海洋地壳厚度一般：5~10 km

地球地壳平均厚度：约17km



地幔：2900km

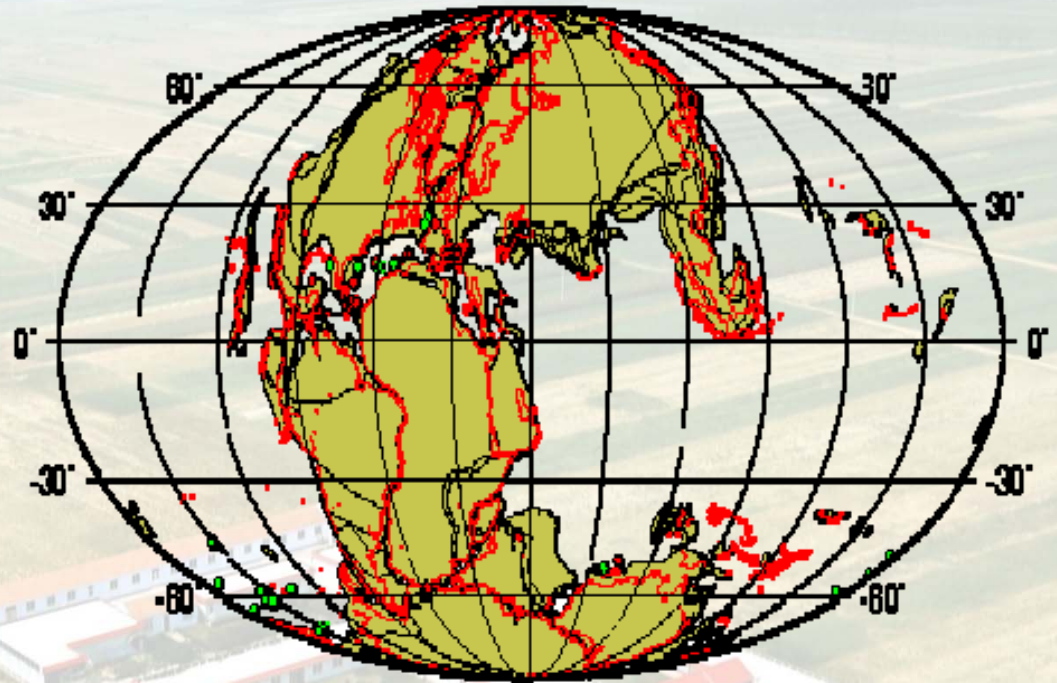
地心：6371 km





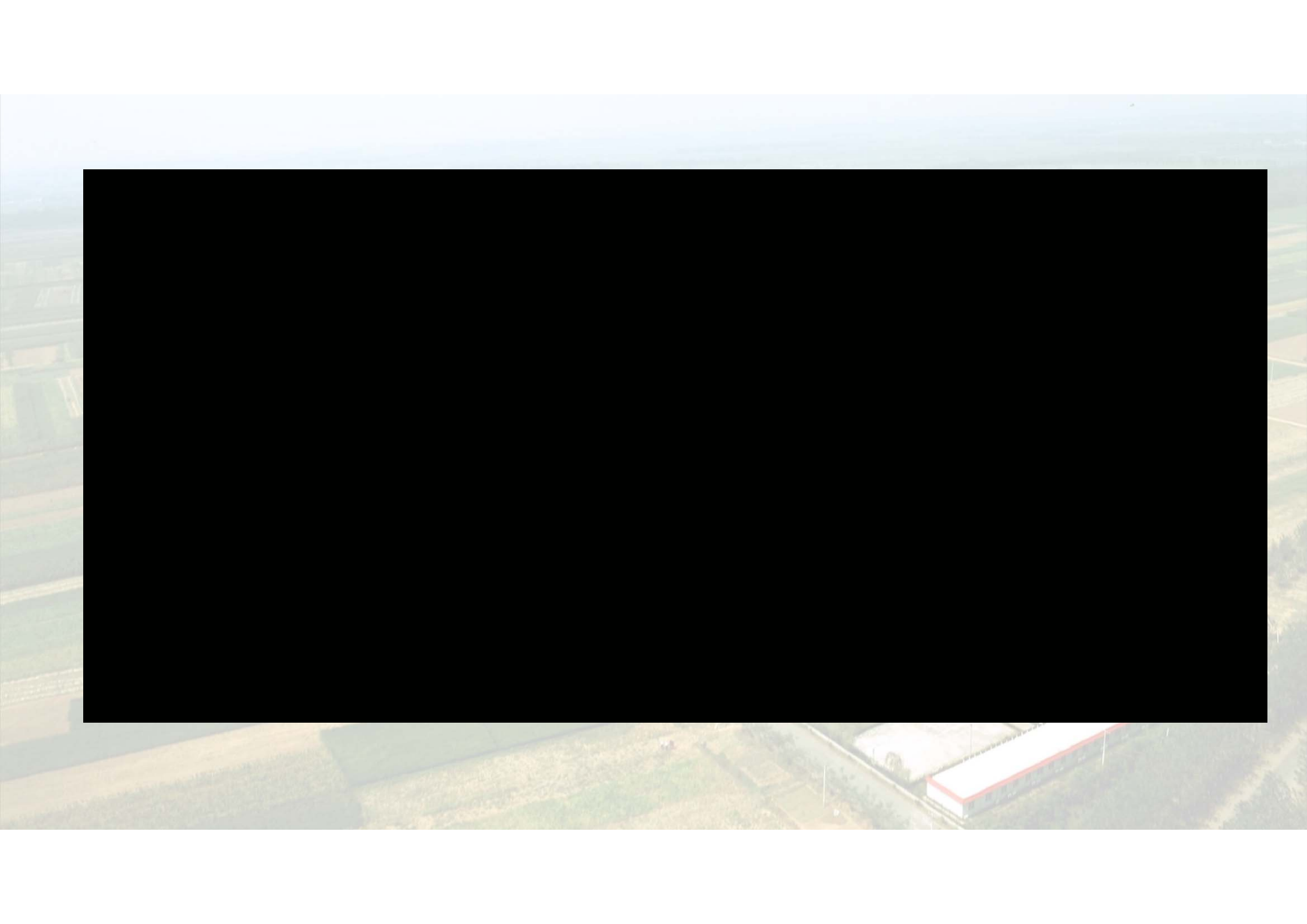


Alfred Lothar Wegener  
1880.11-1930.11




150 My Reconstruction

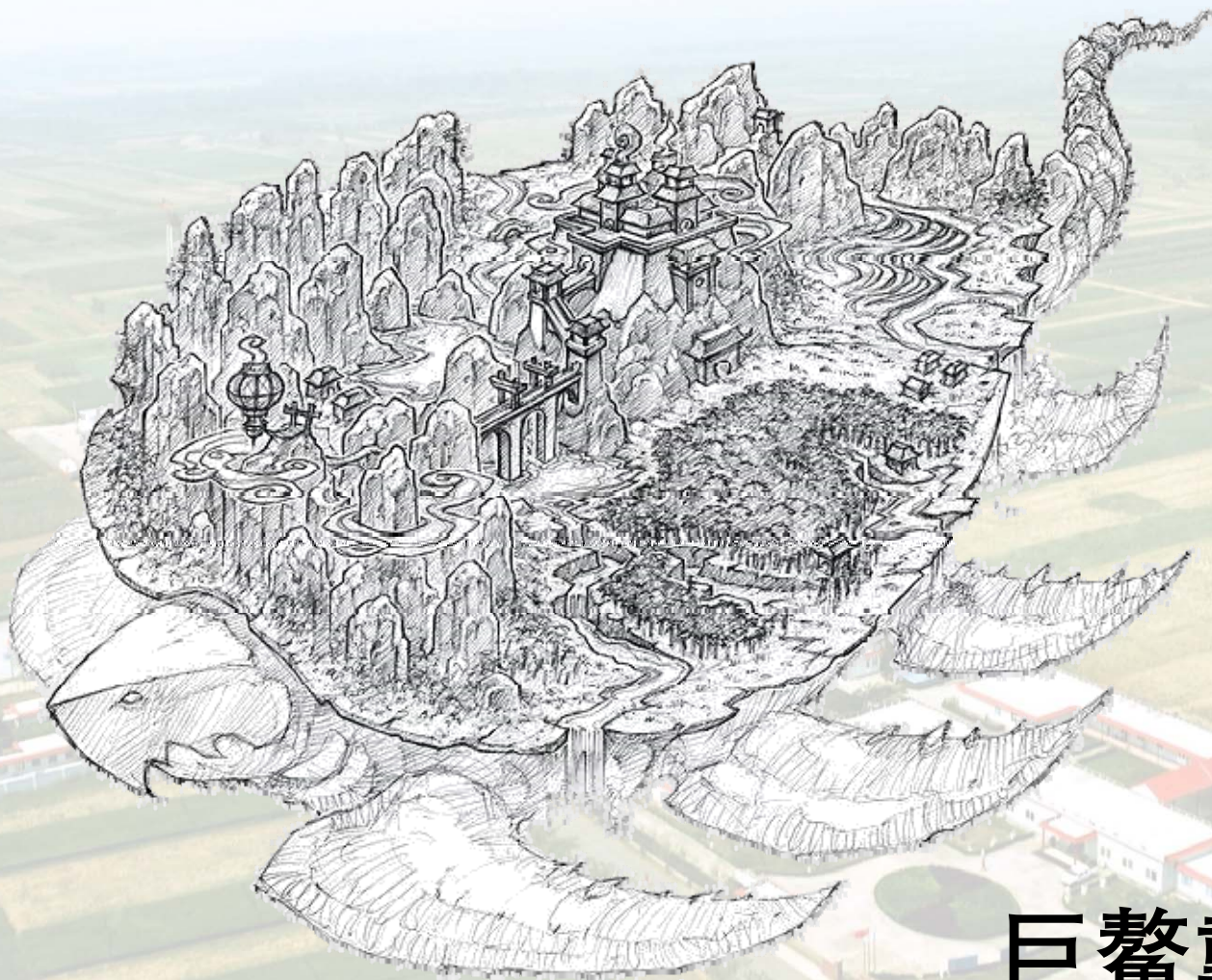
1910: 病床上注意到地图上欧洲和非洲的西海岸与美洲的东海岸轮廓相似  
1912: 正式提出大陆漂移假说





An aerial photograph showing a large industrial facility, likely an oil or gas wellhead, situated in a vast, flat, agricultural landscape. The facility includes a tall drilling rig and several smaller buildings. In the foreground, there is a large, U-shaped building complex with a central courtyard and a circular structure. The text "你相信吗?" is overlaid in the center of the image.

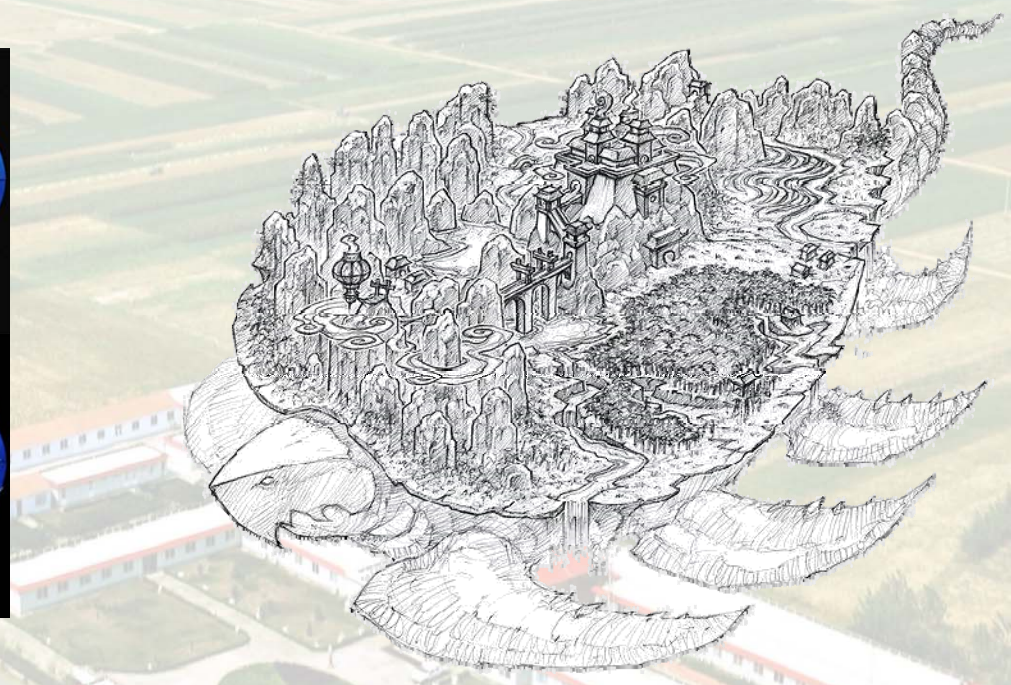
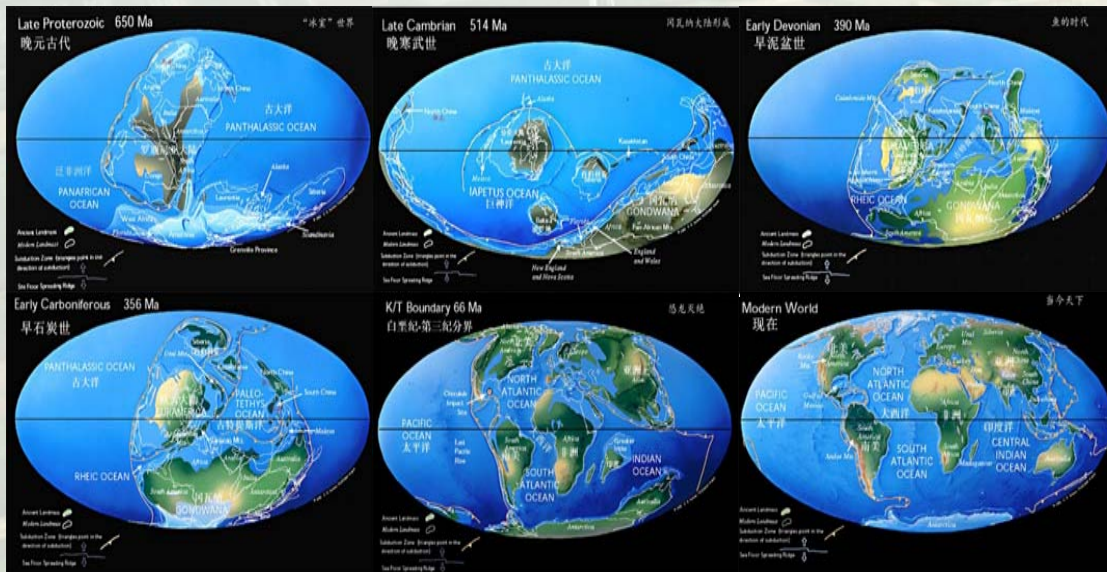
你相信吗?



# 巨鳌戴山

——《列子·汤问》









遂古之初，谁传道之？

上下未形，何由考之？

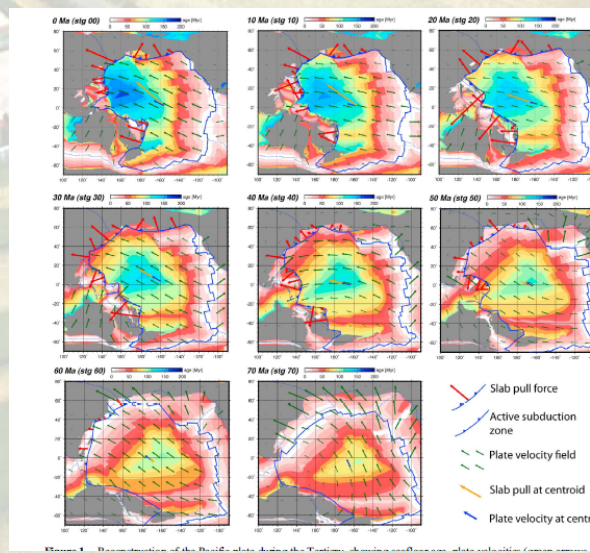
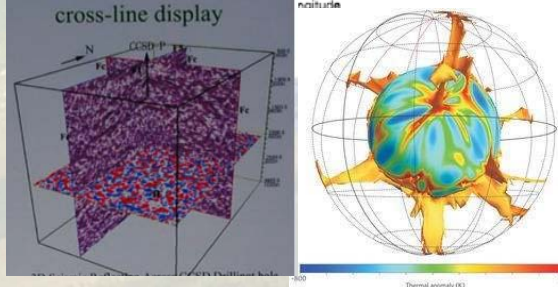
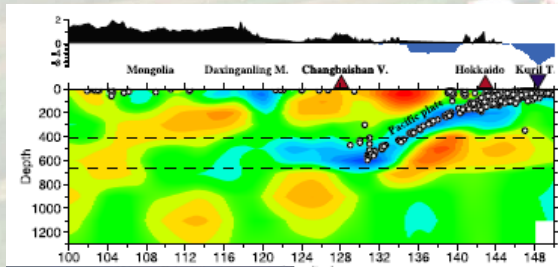
——屈原《天问》





高压白云母石英片岩 (江苏灌云) 超高压榴辉岩 (江苏东海) 超高压片麻岩 (江苏东海)

# 为什么要进行科学钻探?



只有通过钻探才能直接观察和研究地壳深部正在进行着的物理、化学和生物的作用及其变化特征，才能取得对地球科学真实的、精细的认识，验证和修正远程探测的论断，提高探测的可靠性。



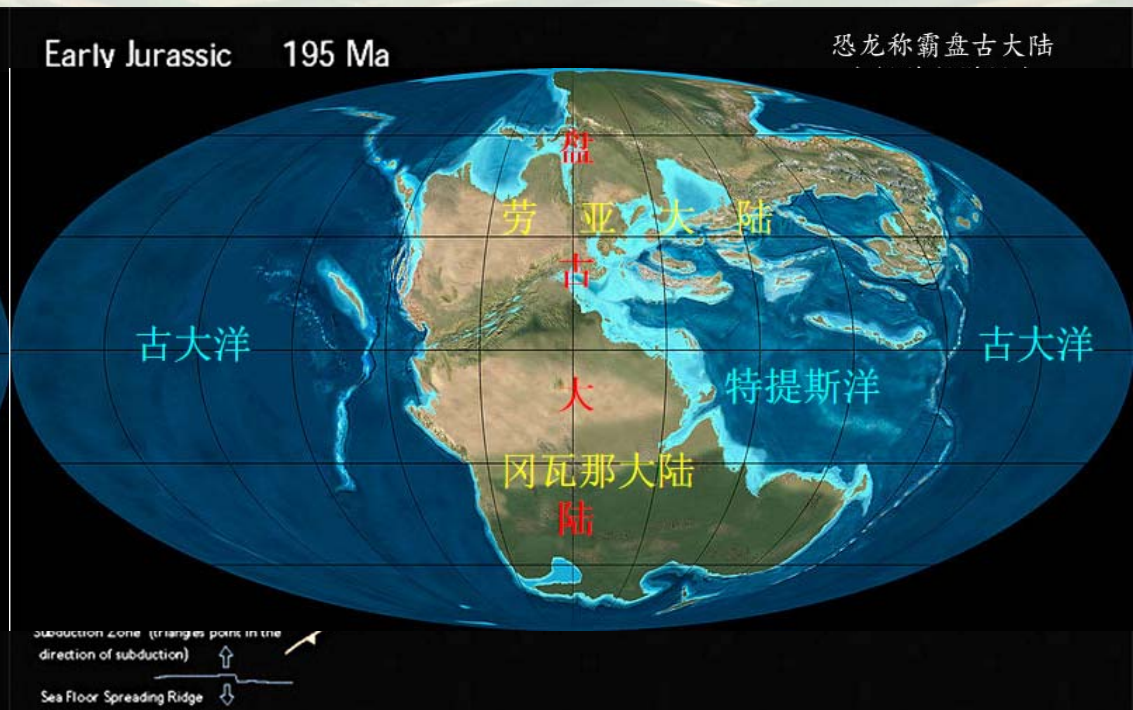
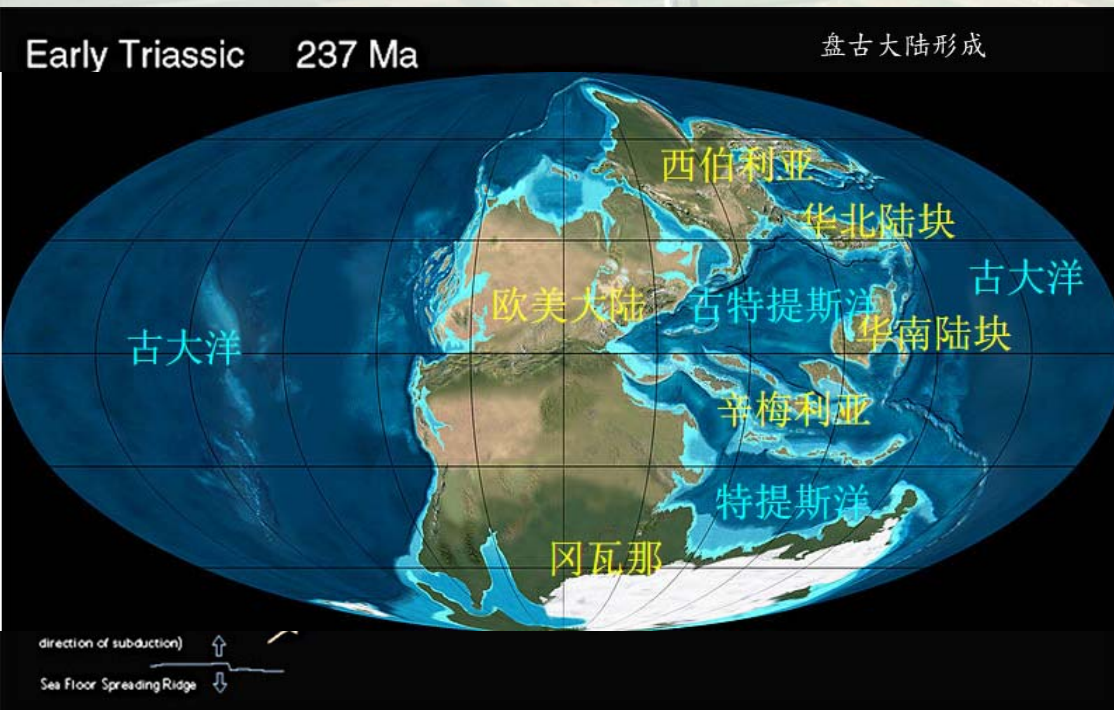
An aerial photograph showing a large-scale scientific drilling operation in a rural area. In the upper left, a tall, slender drilling rig stands on a concrete pad. To its right and in the foreground, a large, U-shaped building complex with white walls and red roofs is visible. The surrounding landscape is a patchwork of green and yellow agricultural fields under a clear sky.

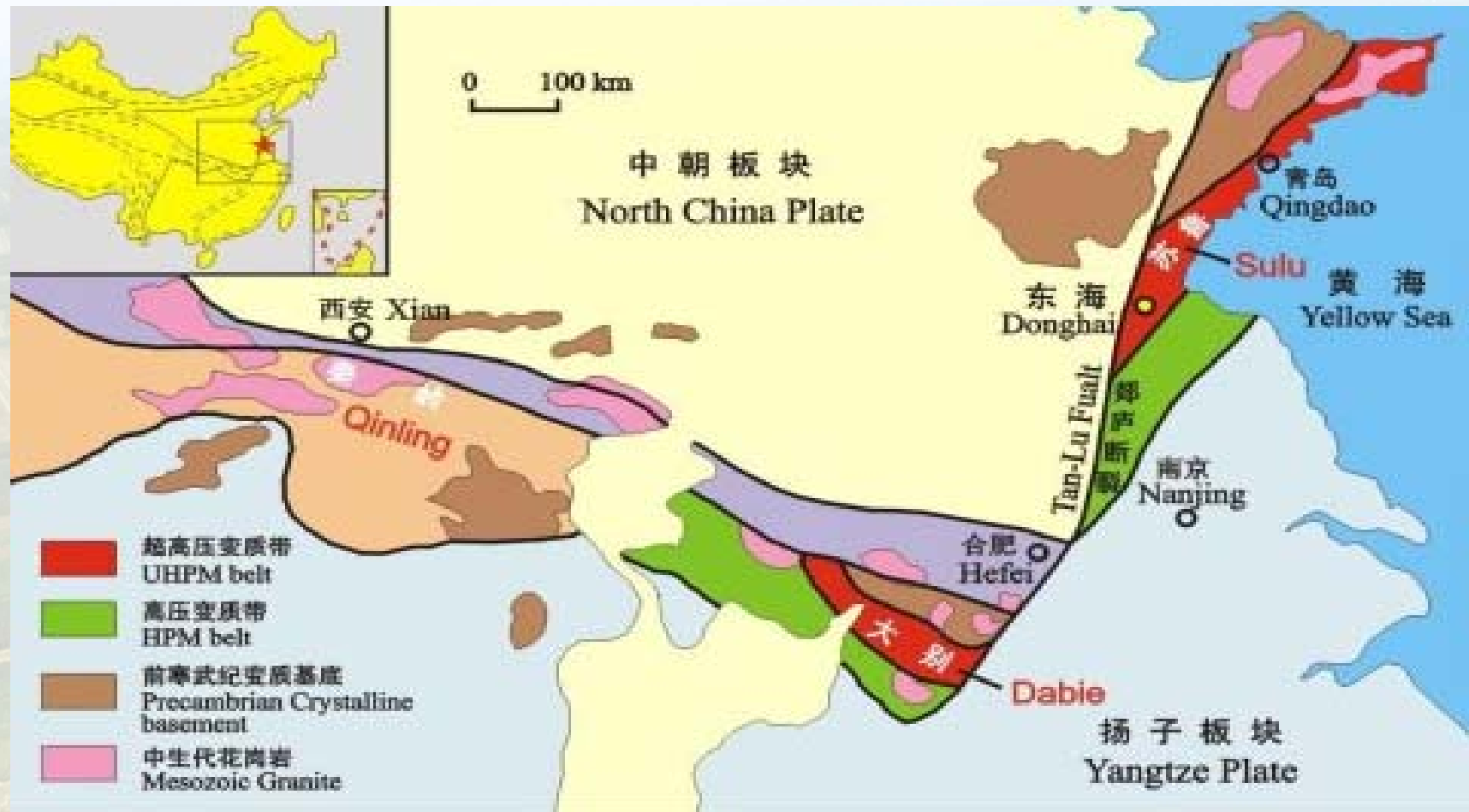
为什么要在东海进行科钻？



背景：

# 古特提斯洋闭合



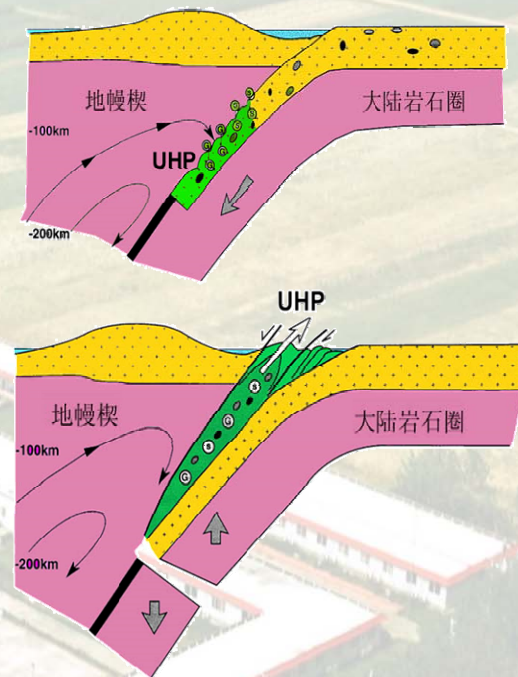
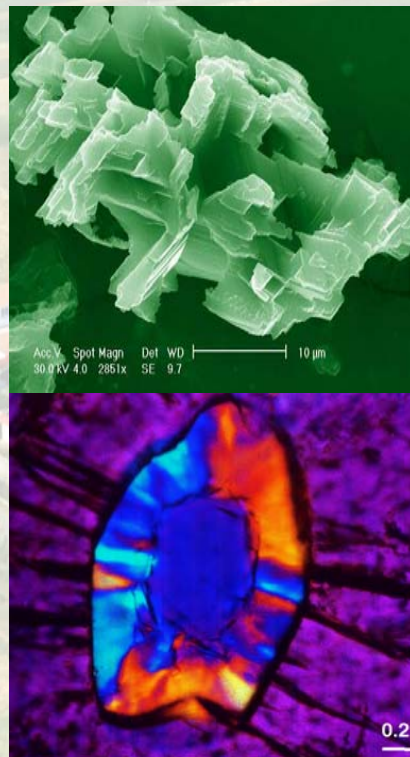


横贯中国东西的昆仑-秦岭-大别苏鲁中央造山带是一条中生代形成的碰撞造山带，代表着古特提斯洋北支的闭合。在碰撞造山带里岩石类型无处不有，构造变形随处可见，岩浆活动广泛分布，沉积地层海陆兼备。



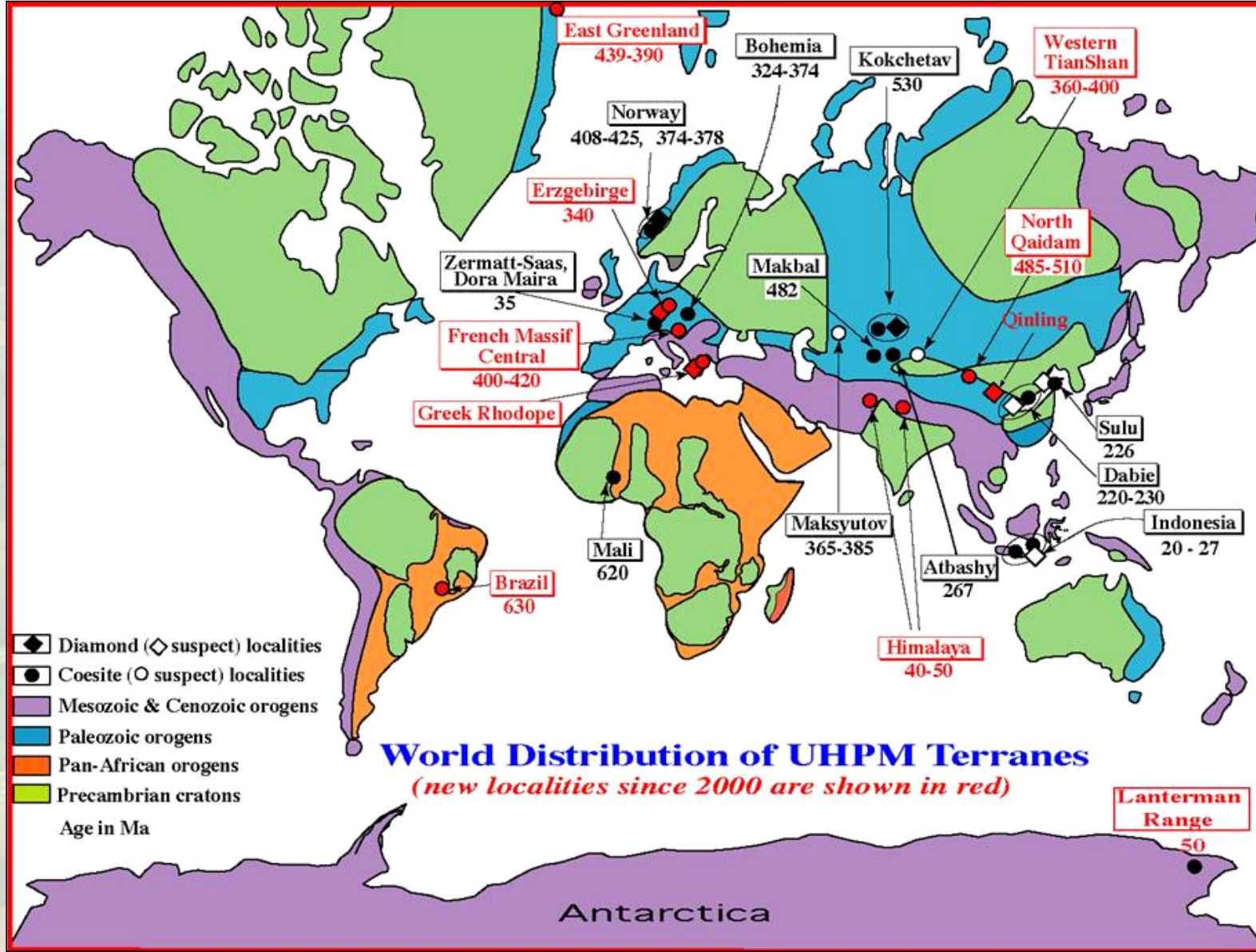
# 发现： 超高压变质岩

超高压变质岩是在 $>100$  km地幔深度， $>28$ 千巴压力下形成的岩石，主要标志矿物为柯石英和金刚石。超高压变质带出现在板块碰撞带的根部，在大陆深俯冲作用下形成，后又经过折返而回到地表。



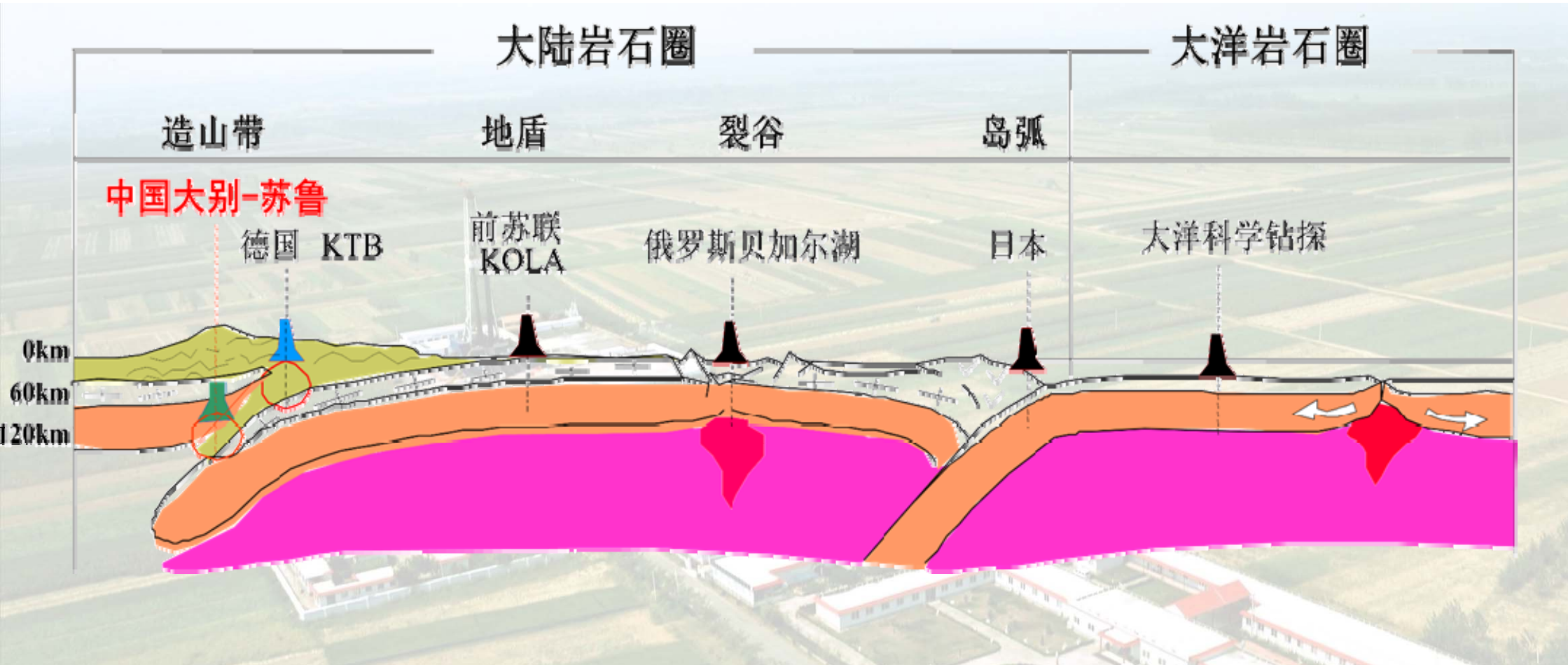
为何低密度的陆壳会俯冲到地幔深部





在全球的碰撞造山带中发现16个超高压变质带，说明超高压变质作用是会聚板块边界普遍的地幔动力学过程。





江苏省东海县位于超高压变质带岩石上，在此地打钻，意味着在全球科学钻探最深构造部位——造山带根部打钻，可以通过最短的距离获得最深部（上地幔及420-660km转换带）的信息

An aerial photograph showing a large-scale drilling operation in a rural area. In the foreground, a massive, U-shaped industrial building with a white facade and red roof dominates the scene. To the left of this building, a tall drilling rig stands on a concrete pad. The surrounding landscape is a patchwork of green and brown agricultural fields. The sky is clear and blue.

# 如何钻探？如何取岩心？

请参观“钻探展示厅”

**钻探深度：5158米，取心长度4332米，取心率：84%**



An aerial photograph of an oil field. In the upper left, a tall drilling rig stands on a platform. To its right and in the foreground, a large, U-shaped industrial facility with white walls and red roofs is visible. The surrounding area is a vast, flat landscape of agricultural fields in various shades of green and yellow. The sky is clear and blue.

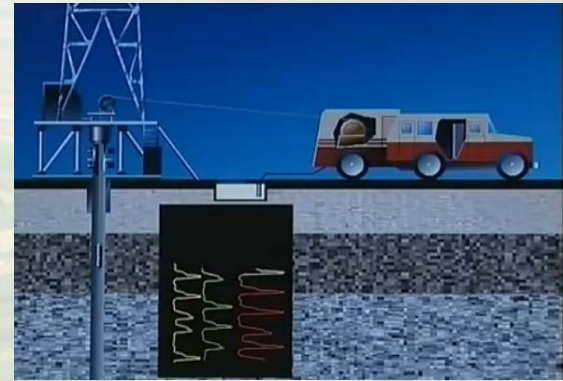
如何分析岩心？



岩心编录



岩心扫描



地球物理测井



电子显微镜



拉曼光谱



电子探针





# 大陆科学钻探的主要成果

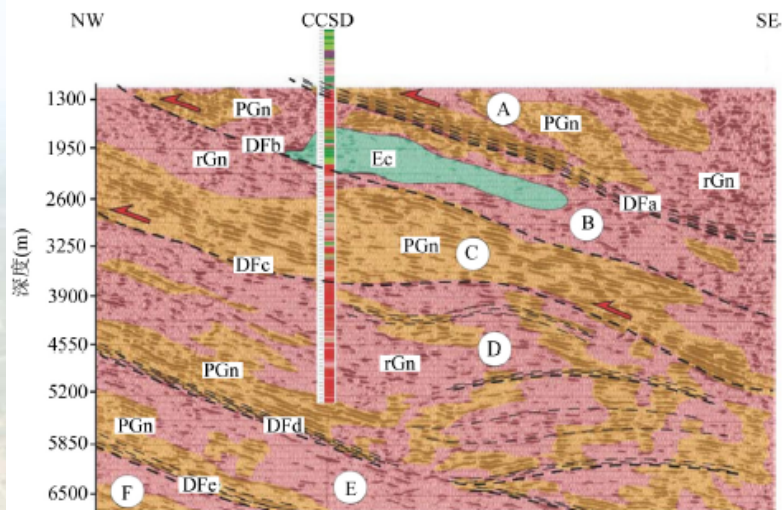


图3 通过 CCSD-1 孔的地震地质解释剖面 (Xu Zhiqin et al., 2009)

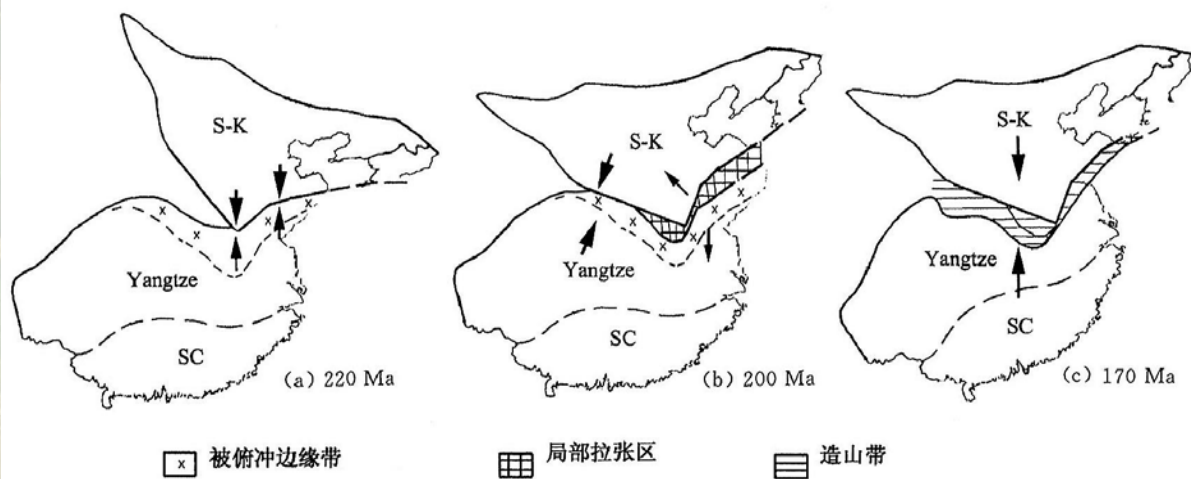
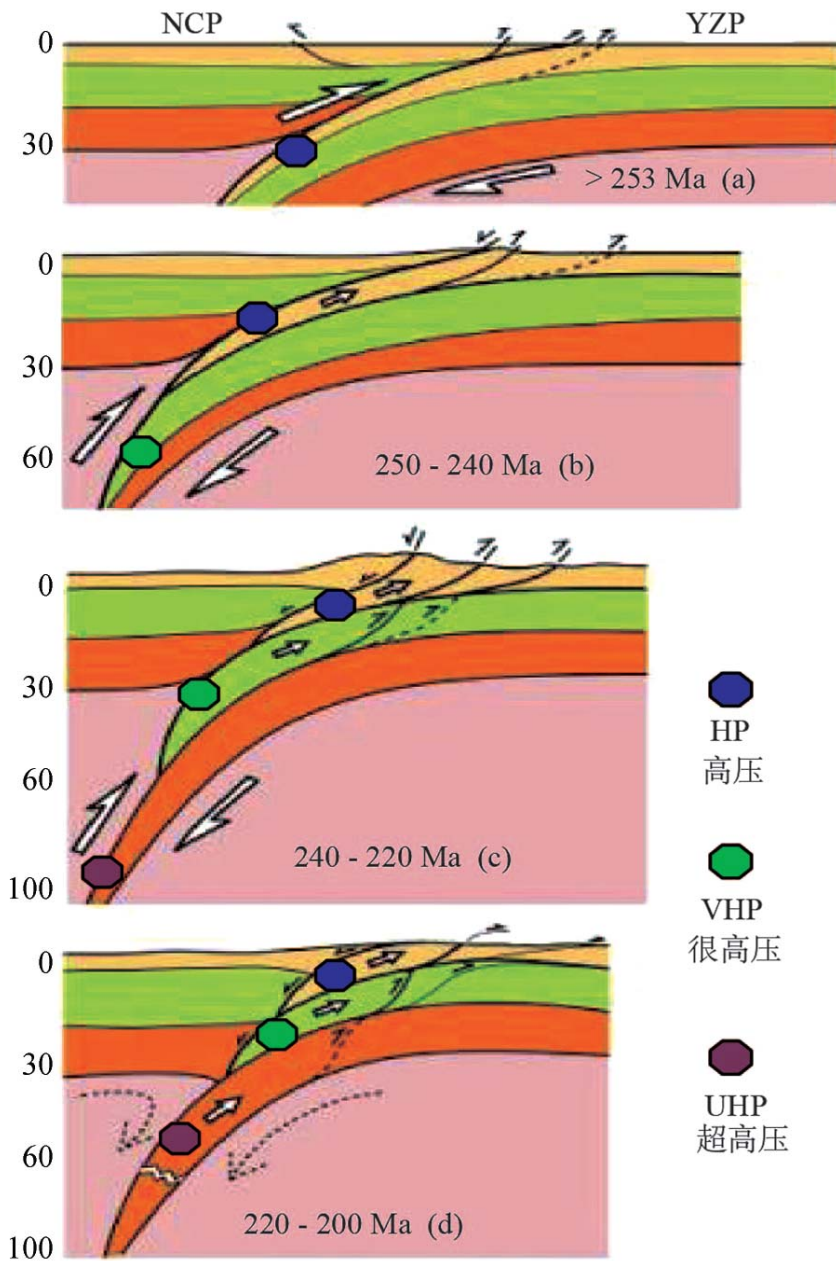


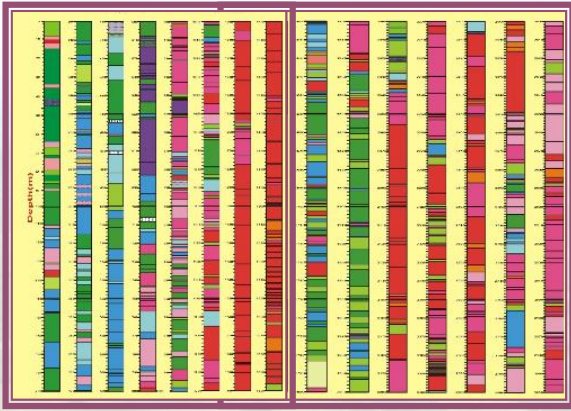
图5.10 大别—苏鲁短期的局部拉张示意图

(a) 第一阶段:沿大别苏鲁碰撞;(b) 第二阶段:大别苏鲁拉张与秦岭碰撞;(c)超高压变质带折返后扬子继续俯冲;SC为华南块体,它在古生代已与扬子联成一体;本图仅表示相对位置而不表示方向.



● HP 高压  
● VHP 超高压  
● UHP 超高压

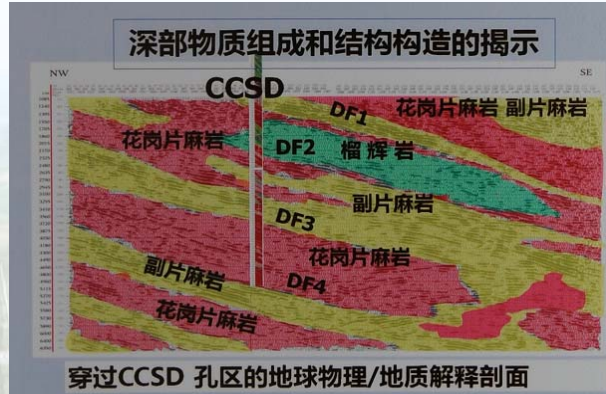




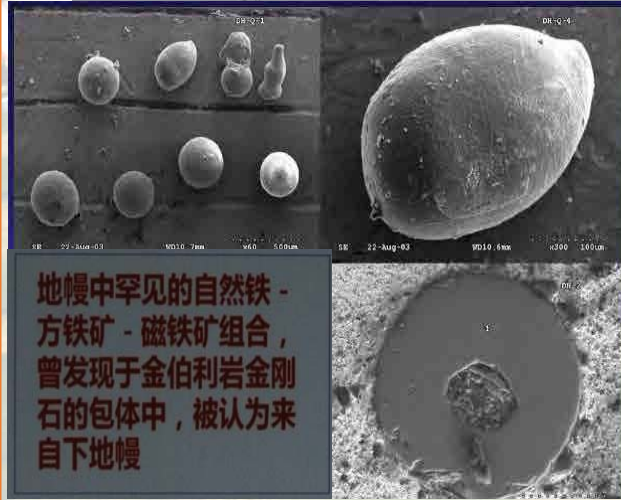
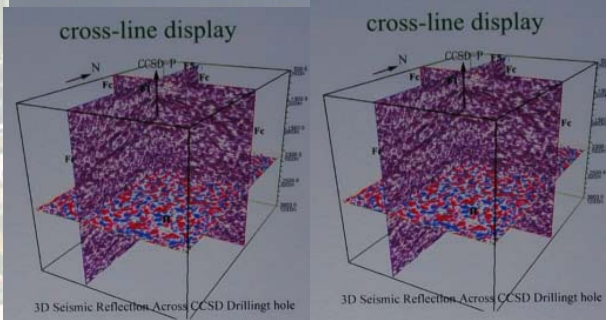
建立了地下5km 多学科系列剖面，证明陆壳巨量物质深俯冲至地幔，提供深部精细结构构造。

- 岩性剖面
- 地球化学剖面
- 构造变形剖面
- 流变学剖面
- 岩芯伽玛异常剖面
- 矿化剖面
- 岩石物性系列剖面
- 地下流体化学剖面
- 地下微生物剖面
- 14种测井参数剖面

# 金柱子



穿过CCSD 孔区的地球物理/地质解释剖面



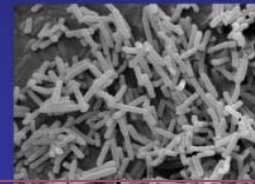
地幔中罕见的自然铁-方铁矿-磁铁矿组合，曾发现于金伯利岩金刚石的包体中，被认为来自下地幔

发现来自深地幔的新矿物

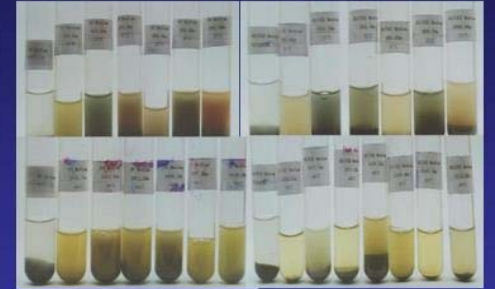
## 可培养微生物（厌氧）



厌氧操作箱



不同深度岩心样品微生物的厌氧培养



37 °C

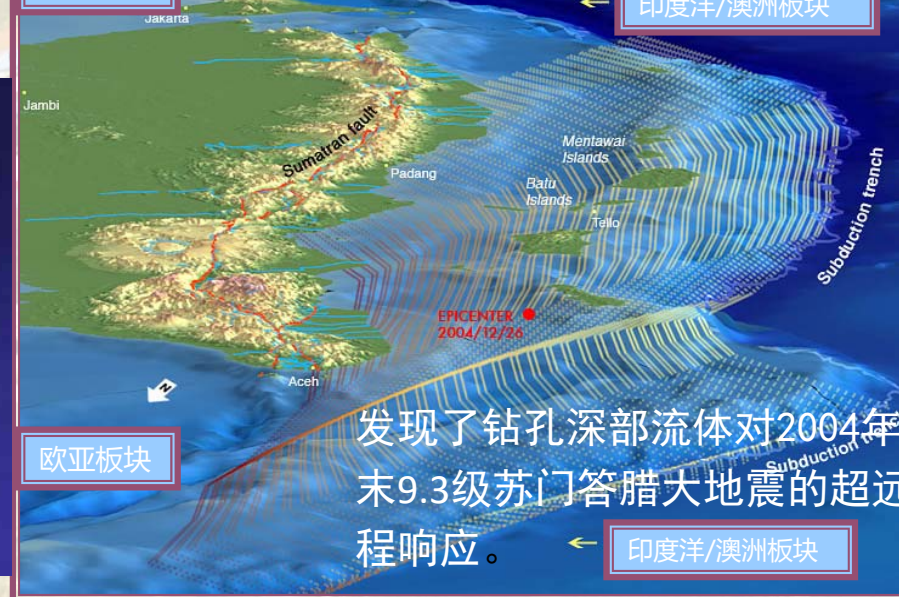
68 °C

DV培养基 H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>培养基

热竖芽孢杆菌：分离自3911米深岩心样

欧亚板块

印度洋/澳洲板块



发现了钻孔深部流体对2004年末9.3级苏门答腊大地震的超远程响应。

欧亚板块

印度洋/澳洲板块



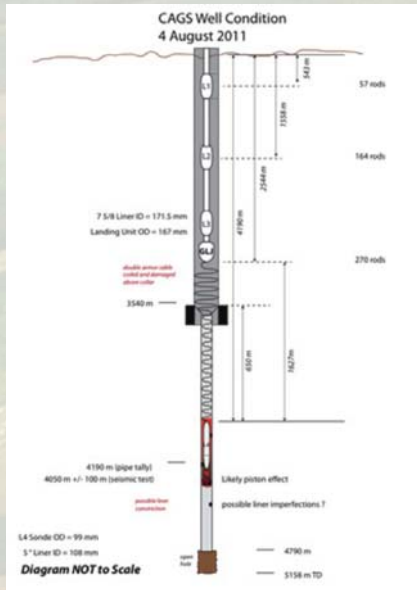


科学问题全部解决了吗？

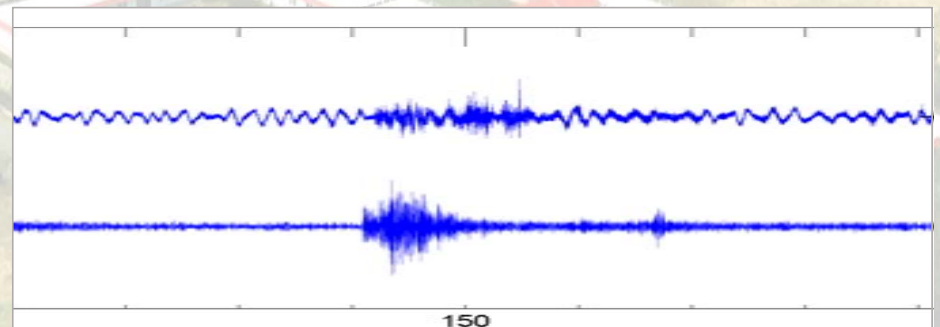


# 长期观测——深井地震仪 (参观观测室)

深井地震是21世纪的一项崭新的高科技项目。其目的是为了解决地球表面效应和人类社会高度发震的城市化、工业化、现代化带来的噪音干扰，提高信噪比，推进现代地球物理观测与研究。



仪器安装现场



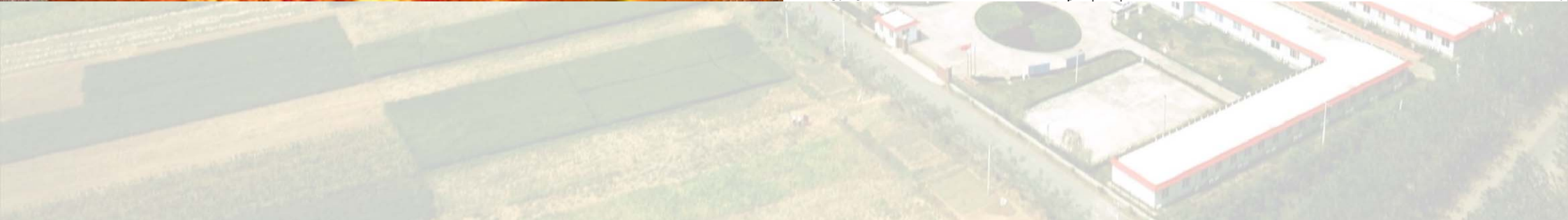
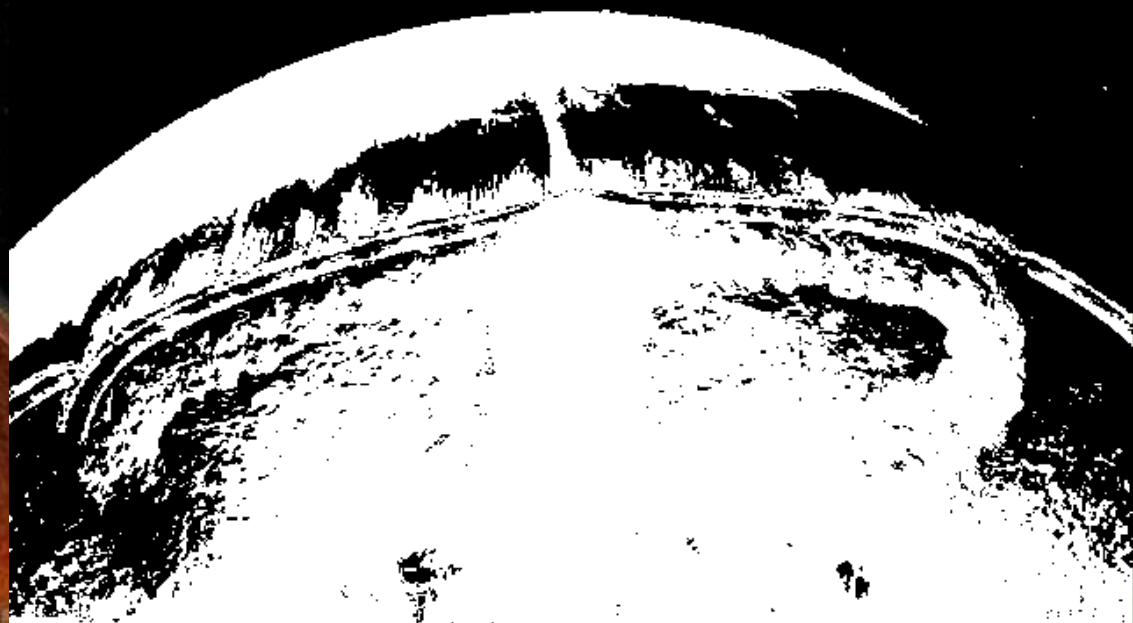
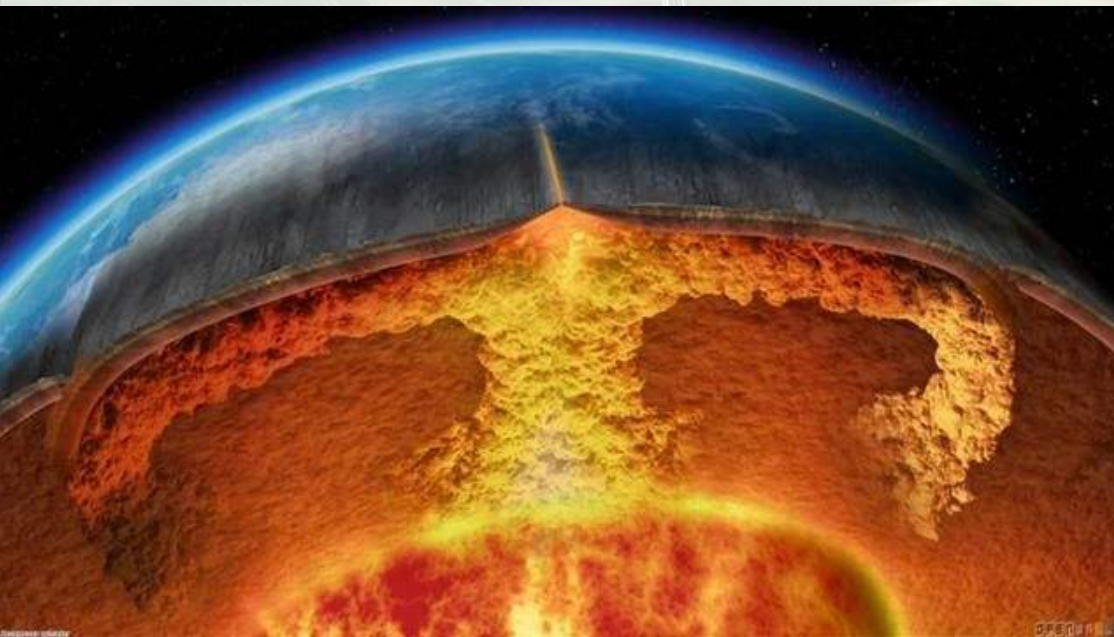
长观站地面仪器（上）和井下仪器（下）记录到的微小地震

An aerial photograph of a research facility in a rural area. In the foreground, there is a large, U-shaped building complex with white walls and red roofs, surrounding a central courtyard with a circular feature. To the left of this complex, a tall drilling rig stands on a platform. The background consists of vast, flat agricultural fields under a hazy sky.

地球科学中还有许许多多问题有待解决……



我们对地球的认识还非常粗浅……





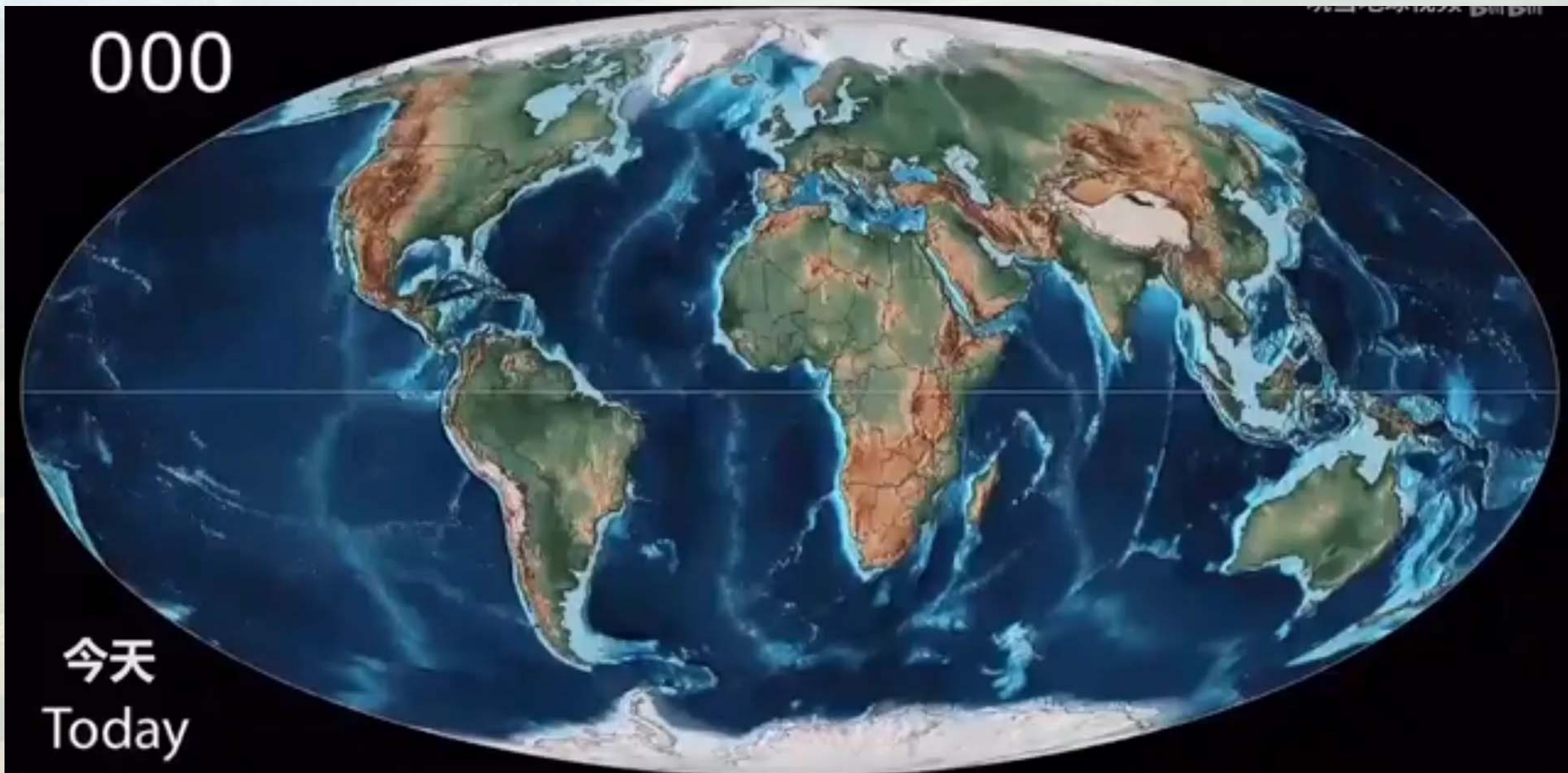
老不死的地球，你好！

——海子《明天醒来我会在哪一只鞋子里》

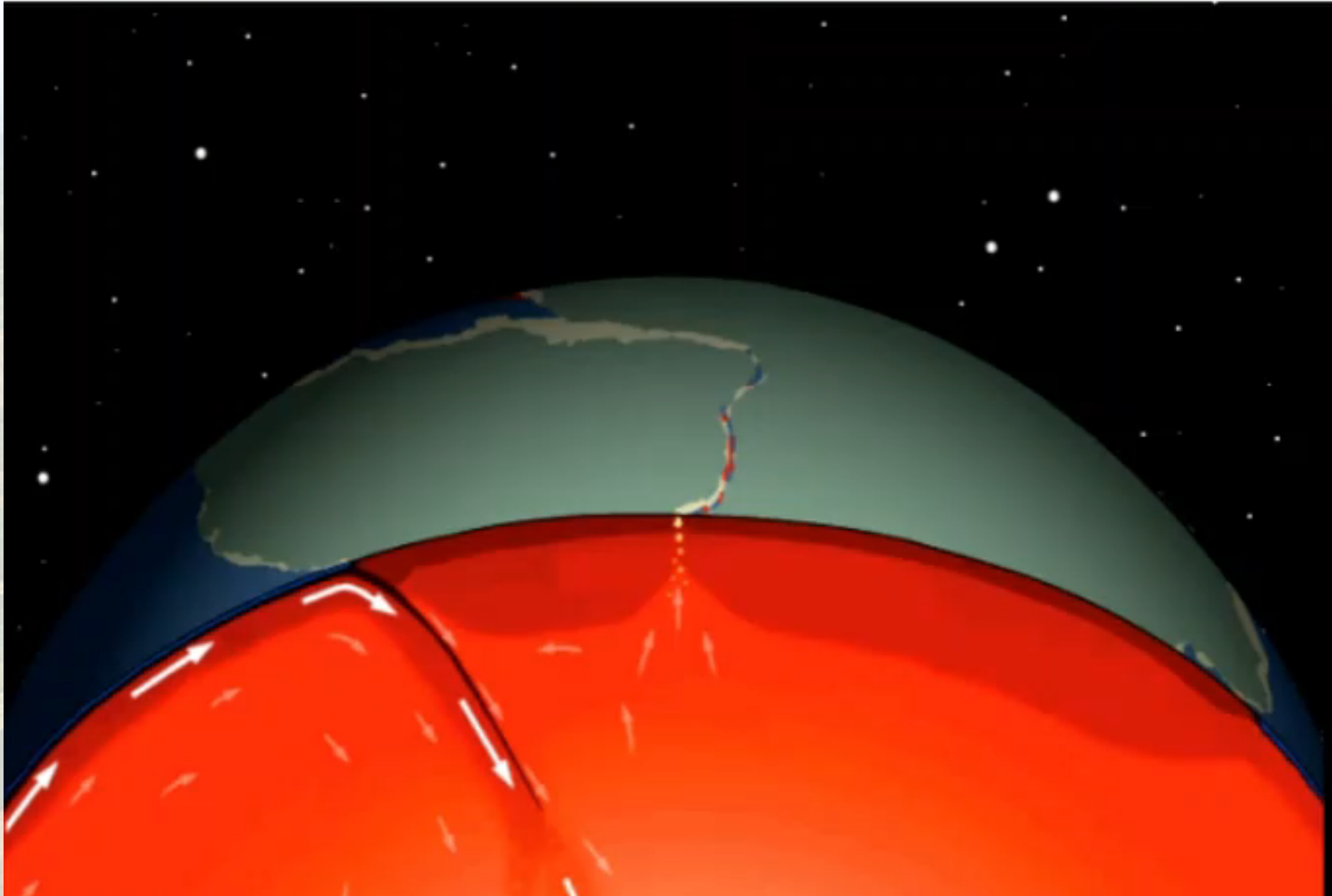


# 大陆漂移 (回放)

000

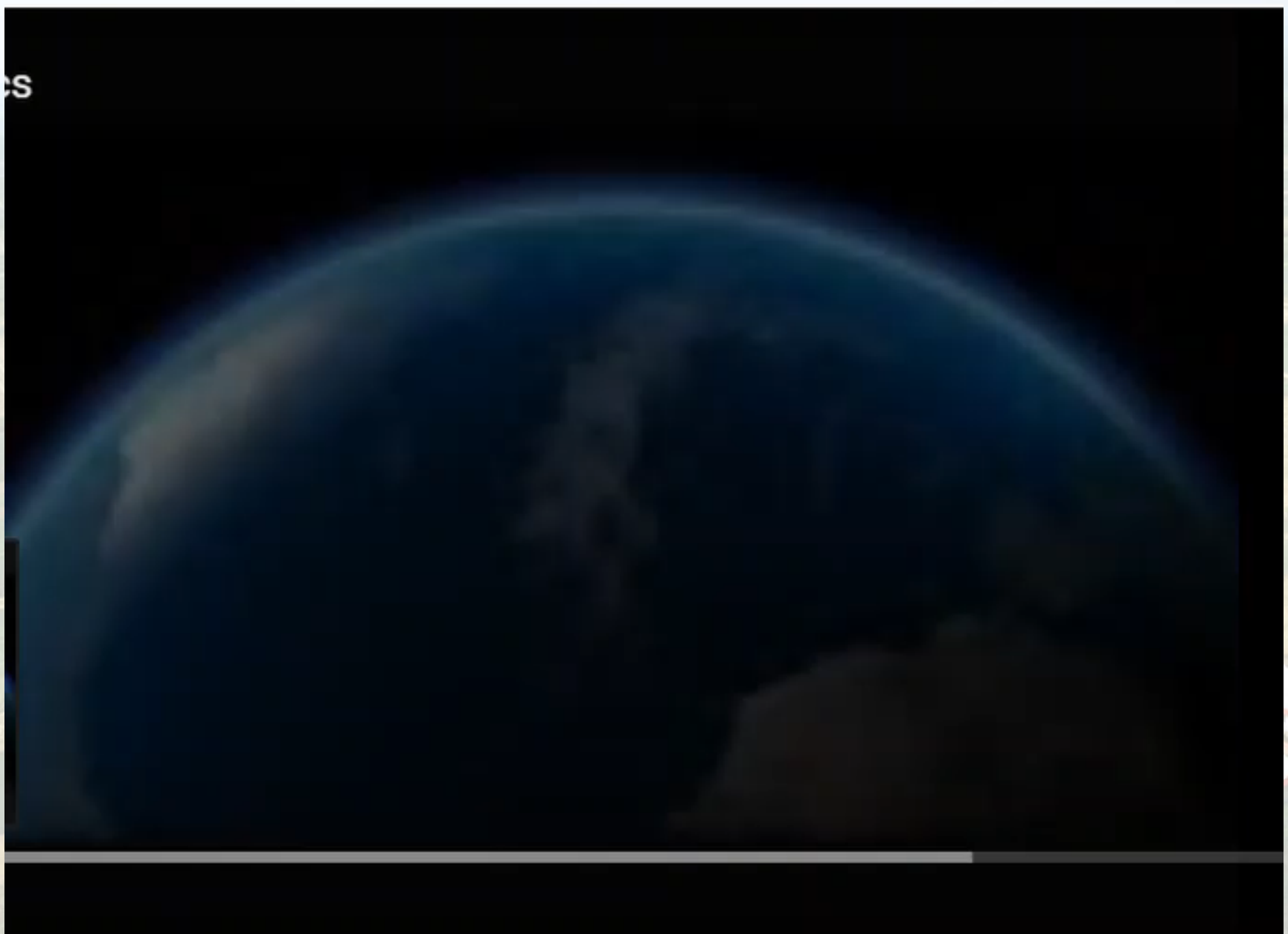


今天  
Today



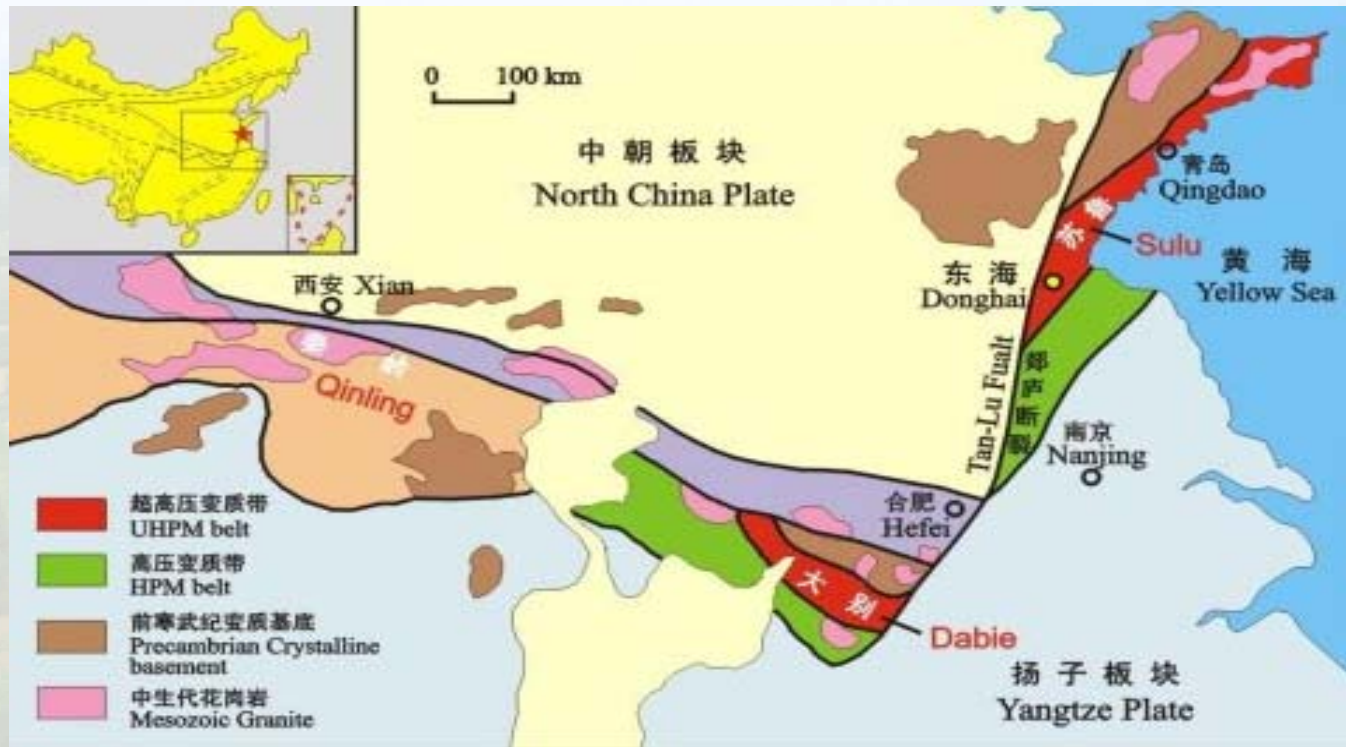


CS

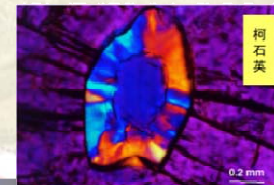
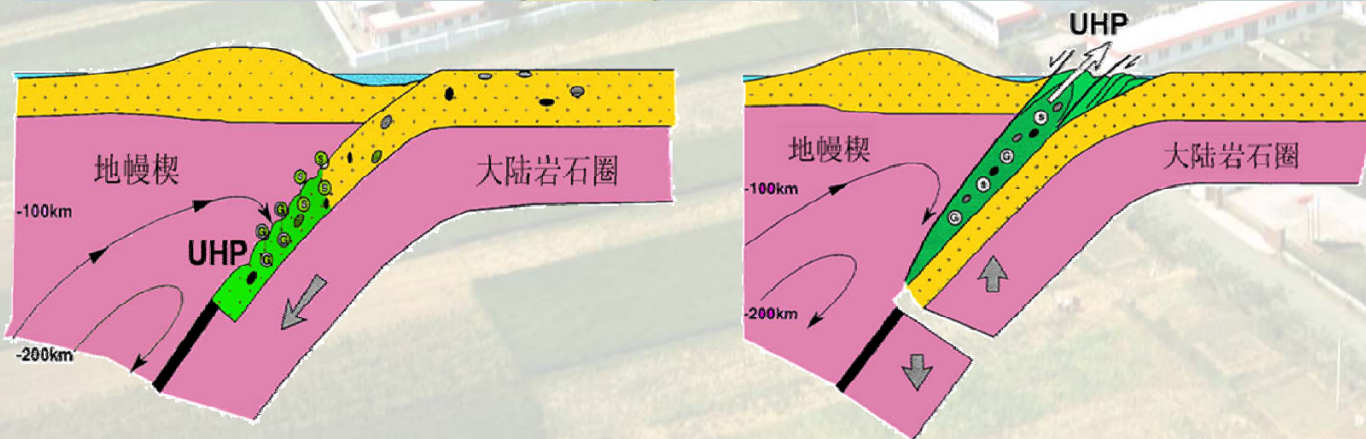








横贯中国东西的昆仑-秦岭-大别苏鲁中央造山带是一条中生代形成的碰撞造山带，代表着古特提斯洋北支的闭合。在碰撞造山带里岩石类型无处不有，构造变形随处可见，岩浆活动广泛分布，沉积地层海陆兼备。



1. 对地壳地球物理遥测的校正，科学地认识陆壳结构。
2. 揭示大陆地壳的成分、性质、构造及流变学，了解地壳深部地质作用过程
3. 调查和研究深部流体系统
4. 调查地壳内部热结构、热状态 与热历史
5. 调查地壳中应力分布，探索地震形成机制。
6. 为全球气候变化及环境变迁提供高分辨记录
7. 了解地下生物圈深度与生命起源
8. 研究矿床学以往达不到的深部禁区
9. 作为国防与工业核废料的深部处理井
10. 作为地壳深部长期观察实验站





## 总体思路

运用现代钻探的高新技术，通过连续、定向的固体岩心及流（气）体样品，及原位测试，进行全方位的多学科的三维动态研究。

解决板块会聚边界的深部动力学及现代地壳作用的关键科学问题，建立亚洲第一个地下长期观测实验站。

## 科学目标

### 大陆板块汇聚边界的深部动力学

- (1) 再造大陆板块汇聚边界的深部物质组成与结构
- (2) 揭示超高压变质岩的形成与折返过程和机理
- (3) 建立结晶岩地区地球物理理论模型和解释标尺

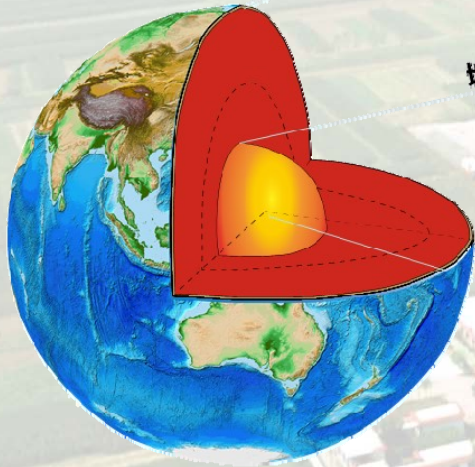
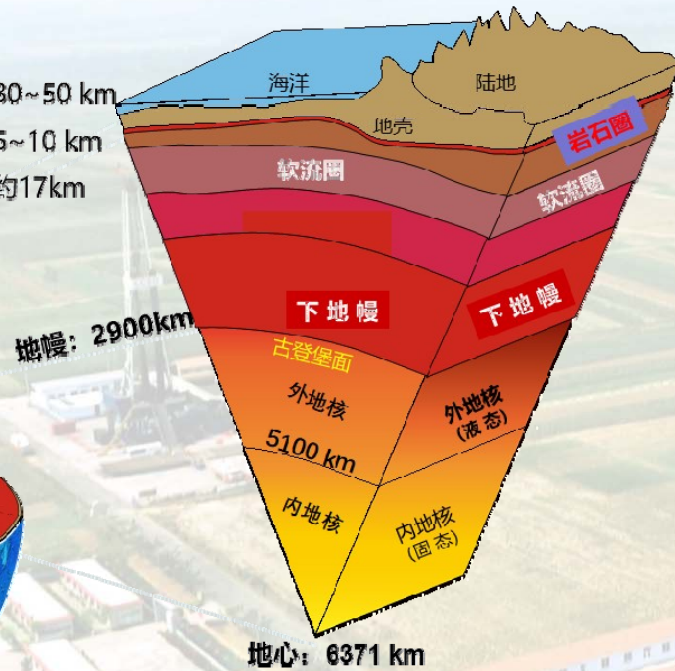
## 技术目标

### 现代地壳作用

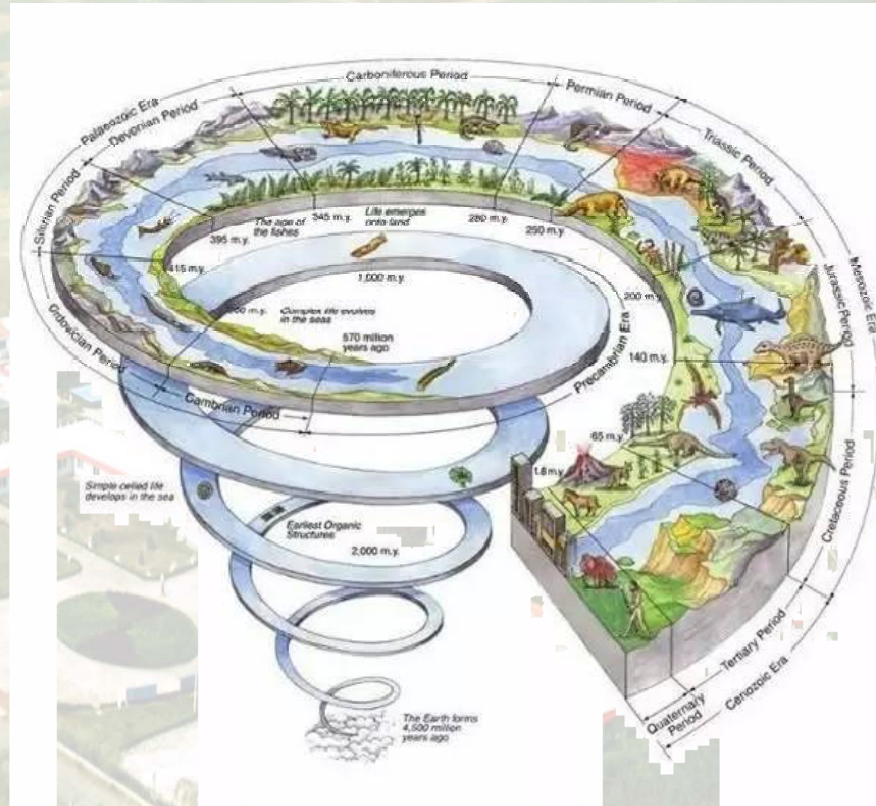
- (4) 探索地下水圈和生物圈

在高难度钻进的超高压变质岩石中，施工一口5000m 深、直径157 mm 的连续取心钻孔，岩心采取率大于80%。  
建立中国大陆科学深孔新的钻探技术体系。

大陆地壳厚度一般：30~50 km  
海洋地壳厚度一般：5~10 km  
地球地壳平均厚度：约17km



姓名：地球  
年龄：4.6E9 yr (4600 Ma)  
身高 (直径)：1.274E7 m  
体重 (质量)：5.965E24 kg  
体型：近似球体





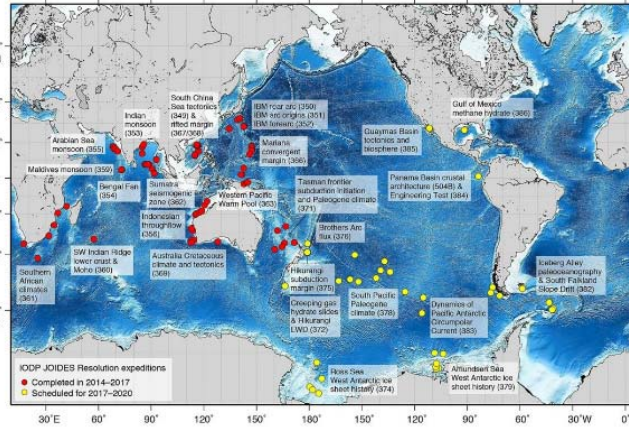
1957-1966莫霍面计划

1968-1983 深海钻探计划 (DSDP)

1985-2003 大洋钻探计划 (ODP)

2003: 国际大洋科学钻探计划 (IODP)

1992: 国际大陆钻探计划 (ICDP)



### IODP国际大洋科学钻探计划

国际性海洋钻探项目，由世界多国的科学家通过对海底环境进行取样、监测等，岩浆深海生物圈和洋壳、环境变化、地球过程与影响、固体地球循环和地球动力学机制

### ICDP国际大陆科学钻探计划

目前有多国参加ICDP组织，主要研究领域包括：板块构造、火山与地震活动、全球环境与气候变化，天体碰击与灾变事件、地热与流体系统和大陆与地幔动力学等。

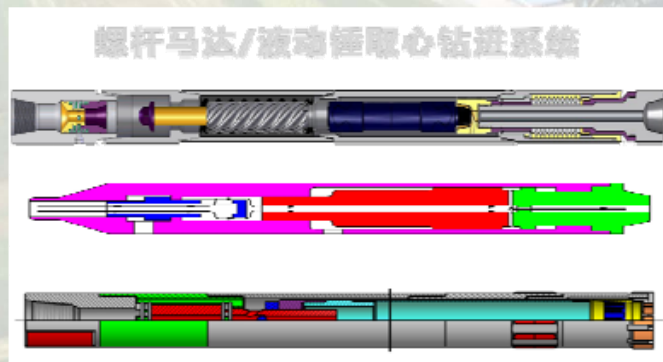






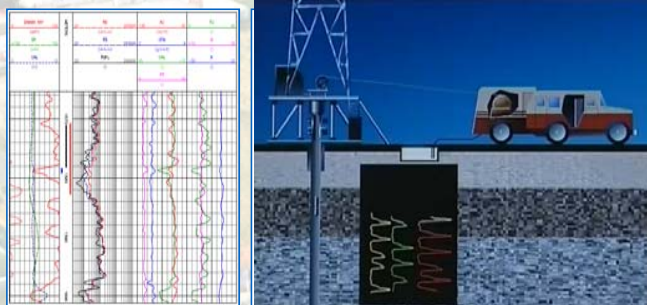
# 大陆科钻技术创新

## 全新的钻探技术体系



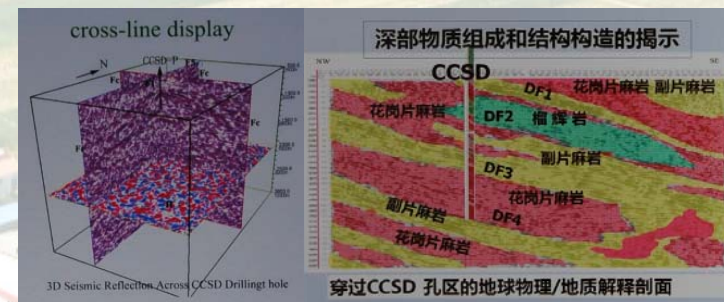
在5100米硬岩施工中创造了全新的钻探技术体系，采用独创的螺杆马达+液动锤+金刚石取心技术，提高钻进效率近一倍，岩心采取率达85%。CCSD钻井技术获得国土资源部科技一等奖

## 测井技术



中子、密度、声波、电阻率、自然 $\gamma$ 、磁化率、光电吸收截面指数、多极子阵列声波等等。填补了我国变质岩区测井空白，取得了丰硕为地学研究提供了重要信息。并获得部二等奖

## 结晶岩区三维三分量地震成像技术



首次完成我国结晶区三维地震和三分量数值地震探测，揭示了精确的地壳构造，为我国结晶岩区树立了第一把地球物理标尺。获得部二等奖。

## 世界上那些地方进行了科学钻探？



苏联大陆科学钻探

苏联（科拉半岛）



德国（KTB）



美国（San Adres）



中国（东海县）



# 中国大陆科钻的历史

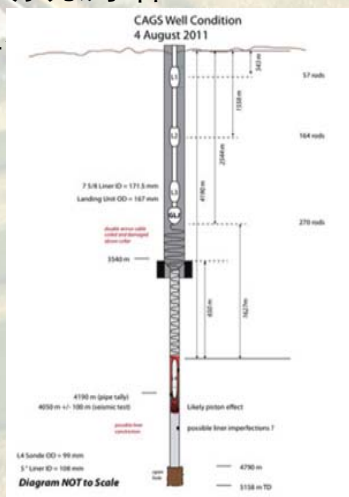
- 1988年：我国科学家开始建议制定中国大陆科学钻探计划。
- 1996年~1997年 在大量的地质地球物理研究基础上，最终选在位于苏鲁超高压变质带的江苏省东海县毛北村。
- 2001年 正式开钻
- 2005年 竣工，终孔深度为5158米。时任国务院总理温家宝发来贺信
- 2007年 成立中国大陆科学钻探长期观测站
- 2012年 长观站深井仪器安装I期工




## 温家宝同志写给 CCSD 的贺信

中国大陆科学钻探工程的实施，是我国地质科技工作的一件大事，对于深化人们对地壳构造及其发展演化规律的认识，促进我国地球科学理论的发展和地球探测技术水平的提高，具有十分重要的意义。中国大陆科学钻探工程是一项集科学与探研于一体的综合性工程，也是多学科、多领域的系统集成。实施这样大的科学工程，必须精心组织、科学管理、大力协同，必须充分发挥广大科技工作者和钻探工人的积极性和创造性，必须弘扬科学、求实、创新、严谨的精神。预祝中国大陆科学钻探工程圆满成功。

温家宝  
明时

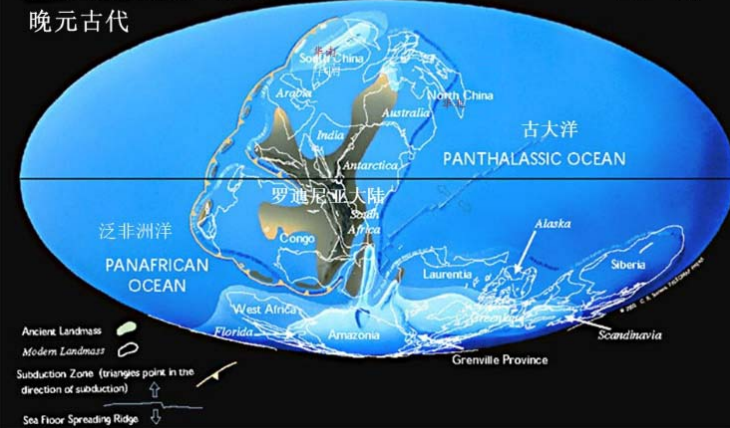


- 
1. 超高压变质带岩石类型丰富，普遍含有柯石英或金刚石
  2. 地层产状平缓，能穿越尽量多的层位，没有花岗岩干扰。
  3. 高波速、高密度高反射系数、高电阻率层位位于3.5-4.5km深处，地温梯度较低
  4. 具有金红石、蓝晶石等矿藏；
  5. 经济发达、交通便利。



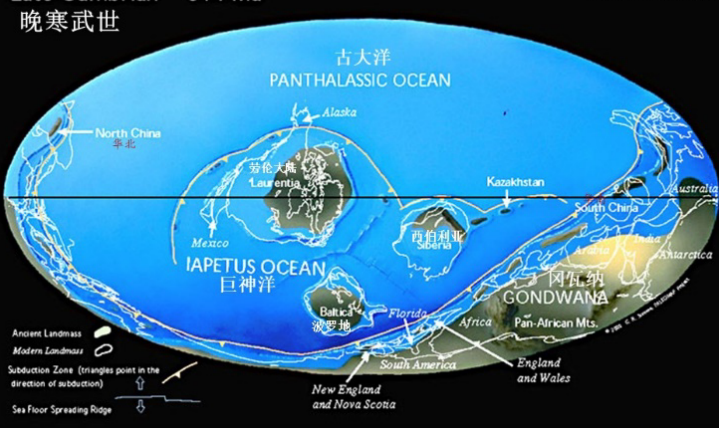
Late Proterozoic 650 Ma  
晚元古代

“冰室”世界



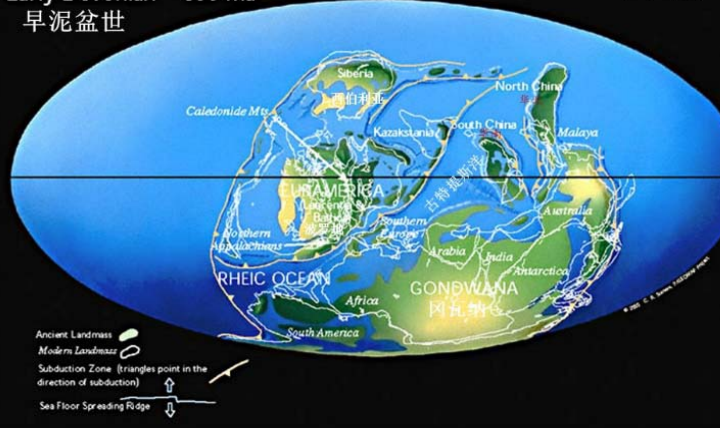
Late Cambrian 514 Ma  
晚寒武世

冈瓦纳大陆形成

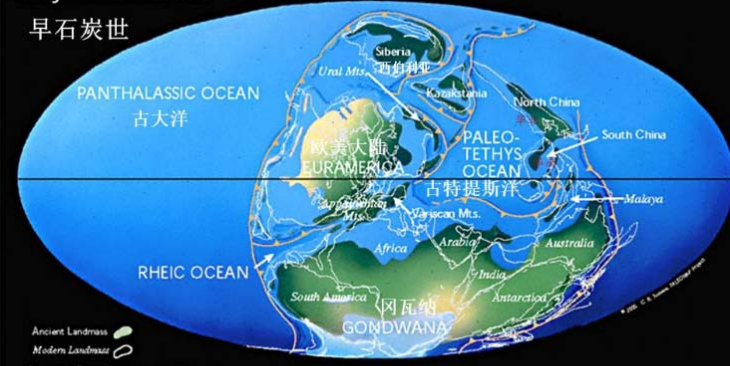


Early Devonian 390 Ma  
早泥盆世

鱼的时代

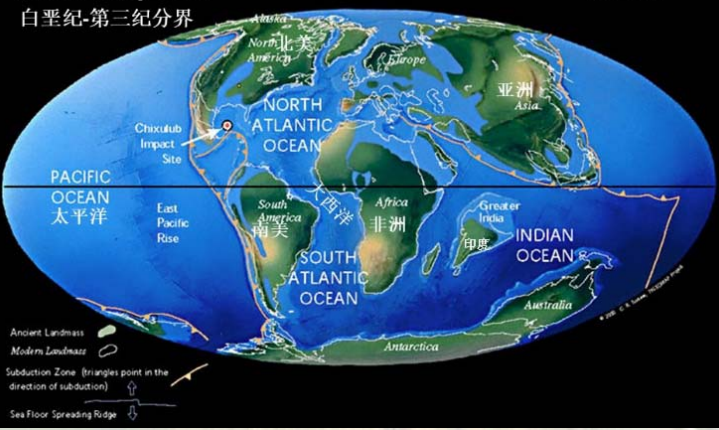


Early Carboniferous 356 Ma  
早石炭世



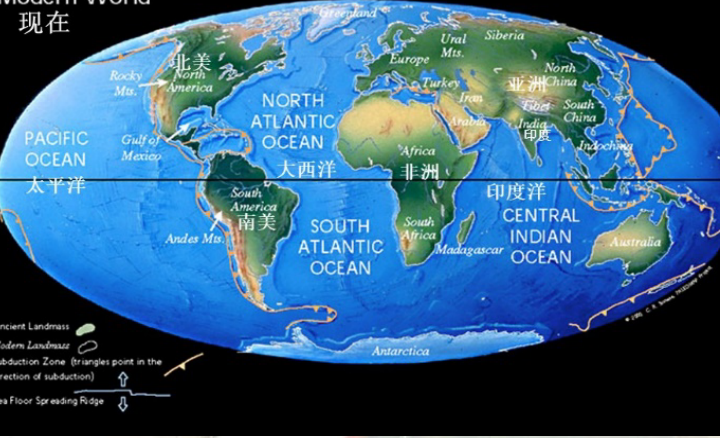
K/T Boundary 66 Ma  
白垩纪-第三纪分界

恐龙灭绝



Modern World  
现在

当今天下





## 问题:

超高压变质岩石曾是地壳上部岩石，它们怎么会插到80-100公里深处，形成造山带的根部？又是在何种驱动力下返回地表，并且使得高压下形成的矿物在低压的环境下得以保存？

这一作用的动力学机制，对于地球科学家来说是一个谜，因而引起了地学界的高度兴趣及关注，并很快形成地学研究的前沿及热点。

