

第一章 地球

§ 1.1 地球概况

§ 1.2 地球的大气环境 1.5节

一、大气圈结构

二、大气温度

三、大气湿度

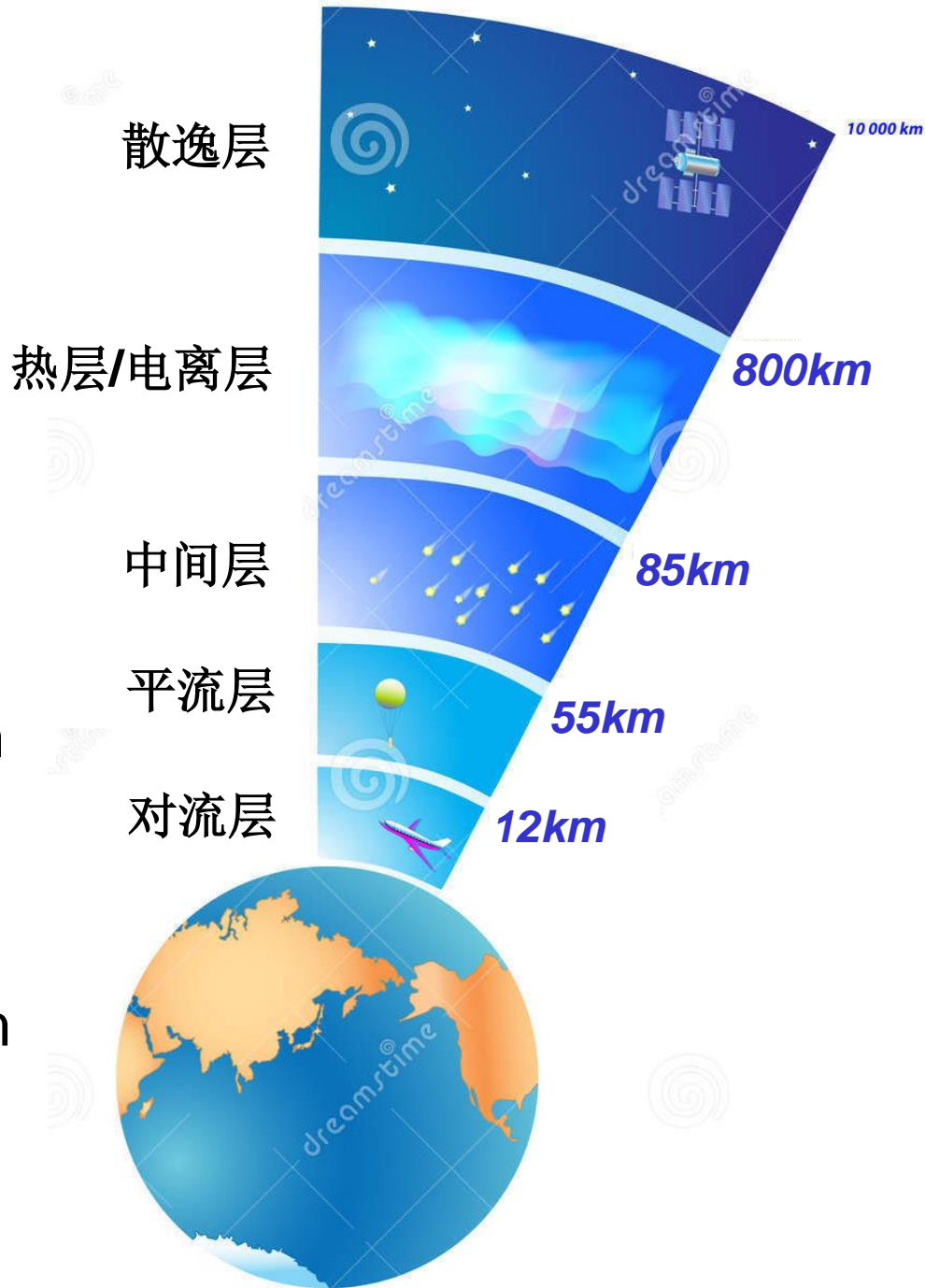
四、雾与霾

§ 1.3 地球的构造

一、大气圈结构

大气垂直分层：5层

- 对流层：地面至8 ~ 17km
- 平流层：对流层顶至50 ~ 55km
- 中间层：平流层顶至85km
- 热层/电离层：中间层顶至800km
- 散逸层：热层顶至3000km



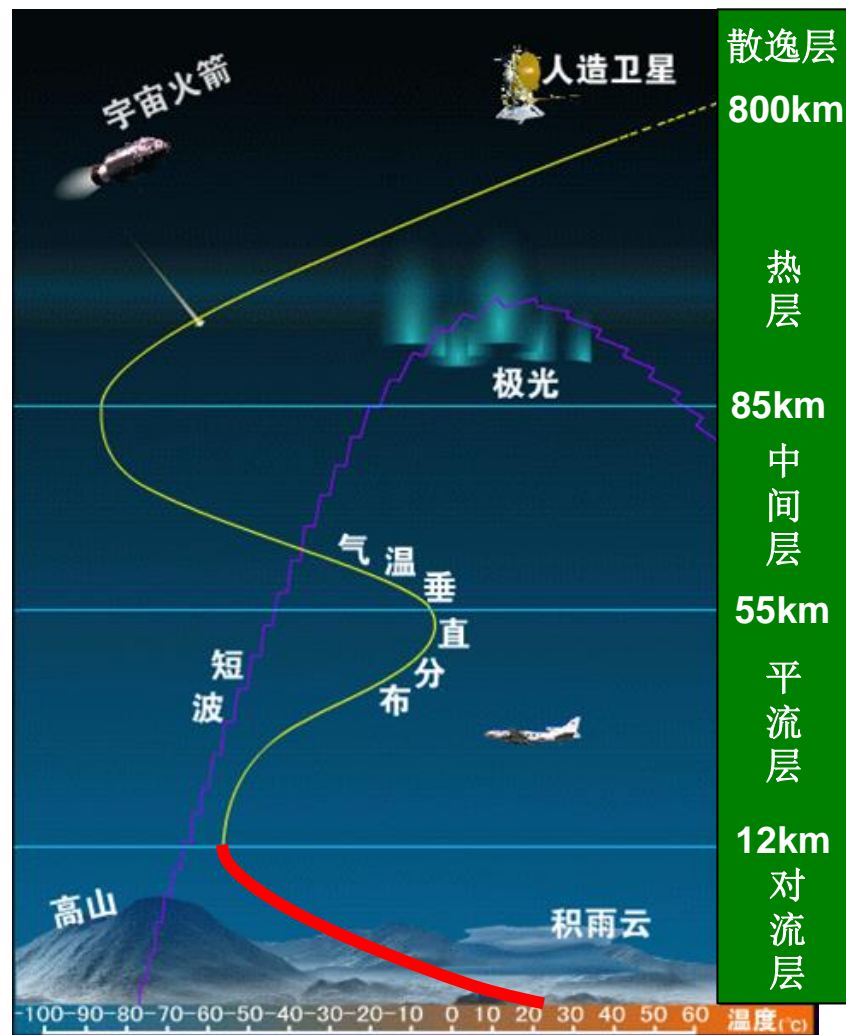
1. 对流层（地面至8 ~ 17km）

对流： 由于地面吸收太阳辐射能，并将其转化为热能，而使气体发生冷热流相互流动的现象。

- 对流层空气密度大，占大气总质量的75%、水蒸汽的90%；
- 对流层高度：8~17km，平均12km；赤道>两极；
- 对流层直接与水圈、生物圈和岩石圈接触，与人类活动密切相关，是人类最主要的活动场所

对流层特点

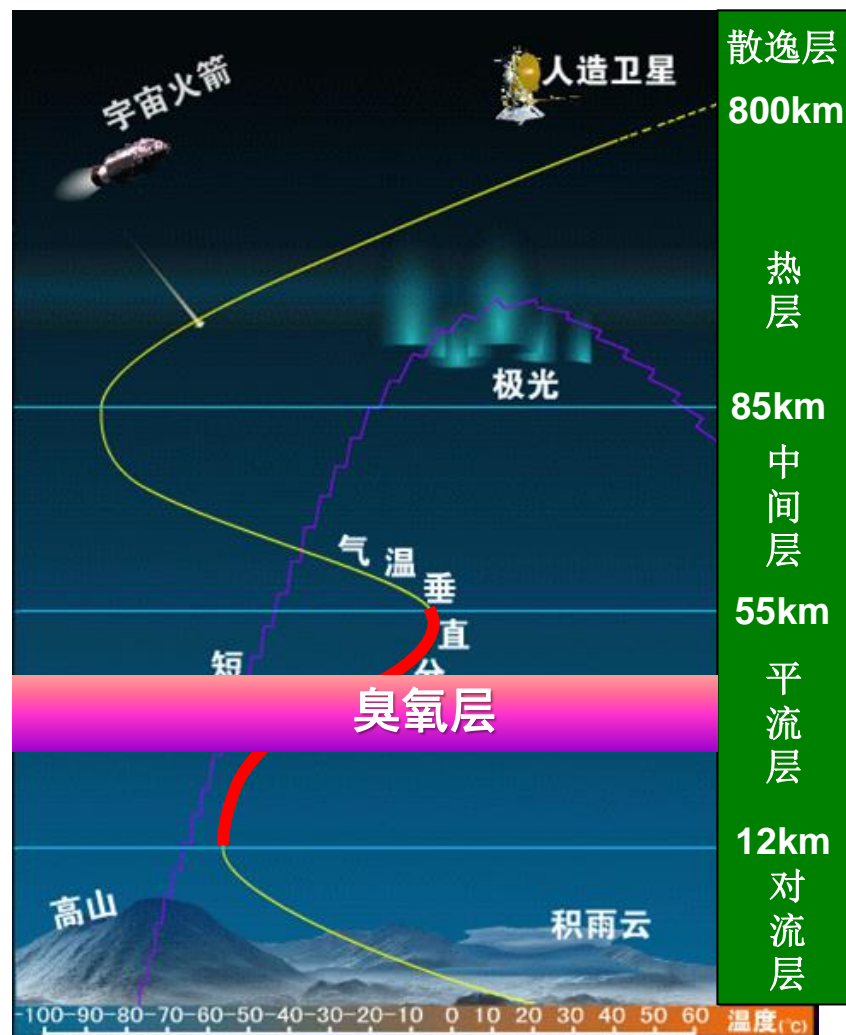
- **降温性：**气温随高度上升而快速降低，递减率： $0.6\sim 0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ；在上界面可达 -50°C 以下。
- **对流性：**地面不均匀加热，导致不同纬度、不同高度的大气具有温度差和密度差，从而造成大气相互流动。
- **气象万千：**由于对流作用，使地面的热、水汽、杂质等向高空输运，从而发生风、雪、雨、云及复杂的天气现象。
- **可污染性：**污染物排放和迁移转化绝大部分集中在对流层



2. 平流层（从对流层顶至 50~55km 高度）

平流层：因为气流在此层中以水平运动为主而得名。

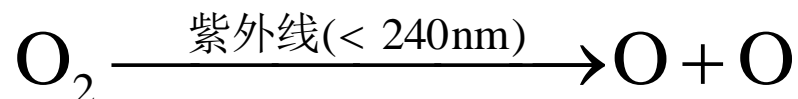
- **质量：**占大气圈的20%；
- 空气比对流层稀薄，水汽、尘埃含量甚微，透明度高；
- **升温度性：**平流层的温度最初随高度缓慢递增，25km以上，增温变快，在上界面可达0°C以上；
- 存在**臭氧层**。



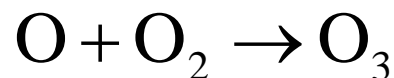
臭氧层

含义：是平流层中臭氧相对集中的层位，极大值出现在 25 ~ 30km 的高度。，臭氧浓度达到 $10 \times 10^{-4} \%$ （大气层平均 $= 0.3 \times 10^{-4} \%$ ），大气中 90% 的臭氧集中在臭氧层。

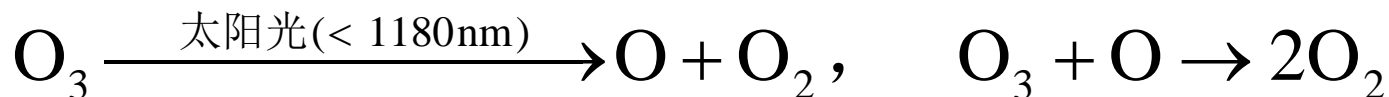
形成机制：氧气分子受短波紫外线照射而分解：



氧原子 O 极不稳定，与氧分子反应生成臭氧（ O_3 ）：



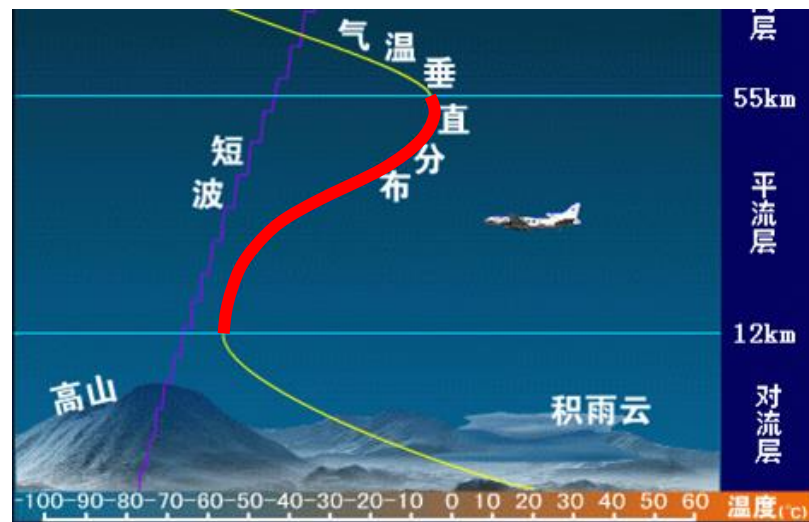
臭氧 O_3 不稳定，可发生光解反应：



由此形成了平流层中臭氧浓度的动态平衡。

臭氧层的三个作用

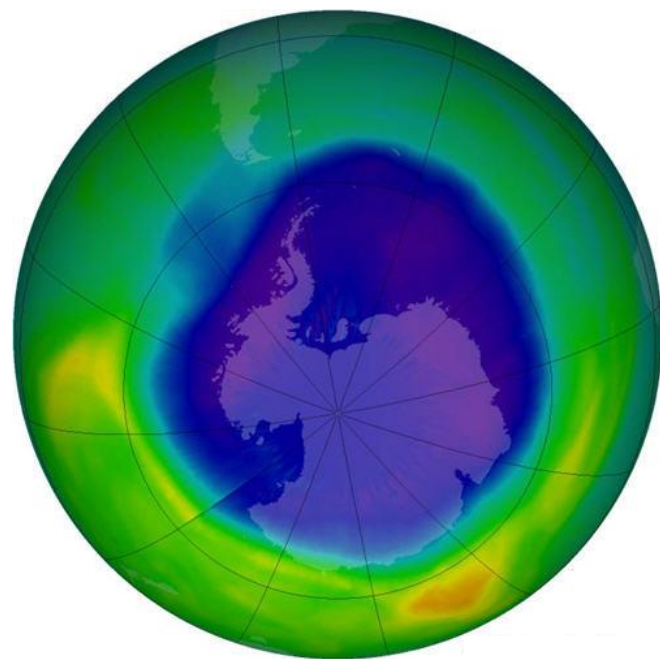
- **“保护伞”作用：**臭氧层吸收太阳光中的短波紫外线，短波紫外线对生物细胞伤害较大。因此，臭氧层保护了地球上的人类和动植物免遭伤害。长波紫外线和少量中波紫外线能够辐射到地面，但伤害较小。



- **加热作用：**臭氧吸收紫外线并将其转换为热能加热大气，使地球上空的平流层中存在升温层——臭氧层。正是由于存在臭氧层才有平流层的存在。
- **温室气体作用：**臭氧造成的平流层升温，对地球起到了暖罩和温度缓冲作用。因此臭氧的存在和变化极其重要。

臭氧层破坏——臭氧空洞

- **1982:** 两位日本科学家在南极考察时最早发现臭氧减少现象；
- **1984:** 英国科学家首次发现南极上空出现臭氧空洞。
- **1985:** 美国 “雨云-7号” 气象卫星监测到了这个臭氧洞，大小与美国国土面积相当。
- **1985:** 英国科学家法尔曼等人在南极发现，过去10~15 年间，每到春天南极上空的臭氧浓度就会减少约 30%。高空的臭氧层已极其稀薄，与周围相比如同一个 **“洞”** —— 臭氧空洞。
- 1998 年臭氧空洞面积比 1997 年增大 约 15%。
- 臭氧空洞引起了世界范围的广泛关注。



南极臭氧空洞

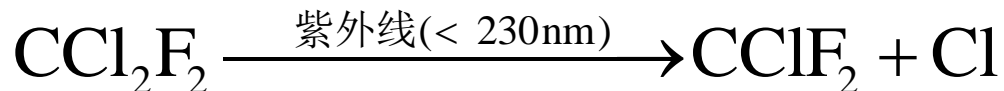
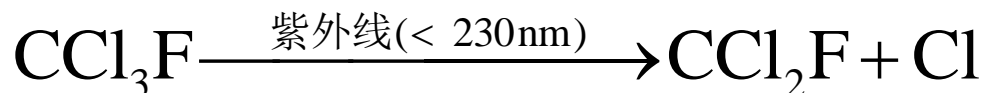
臭氧层破坏的机制

氟利昂进入平流层： 人类合成的
氟氯碳化合物（如氟利昂，主要的
制冷剂**美国杜邦公司发明**）在对流层中是惰
性的，十分稳定。经过一两年，其
在对流层会扩散均匀。在热带地区
上空，被大气环流带入到平流层，
风又将其从低纬度向高纬度输送，
在平流层内混合均匀。

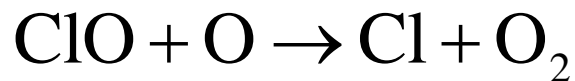
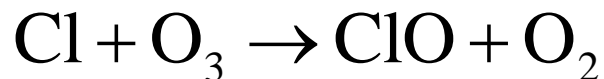


臭氧层破坏机制

在平流层强烈的紫外线照射下，氟氯碳化合物可发生分解，释放出高活性的氯原子 Cl：



氯原子是自由基，能将臭氧和氧原子还原为氧分子：



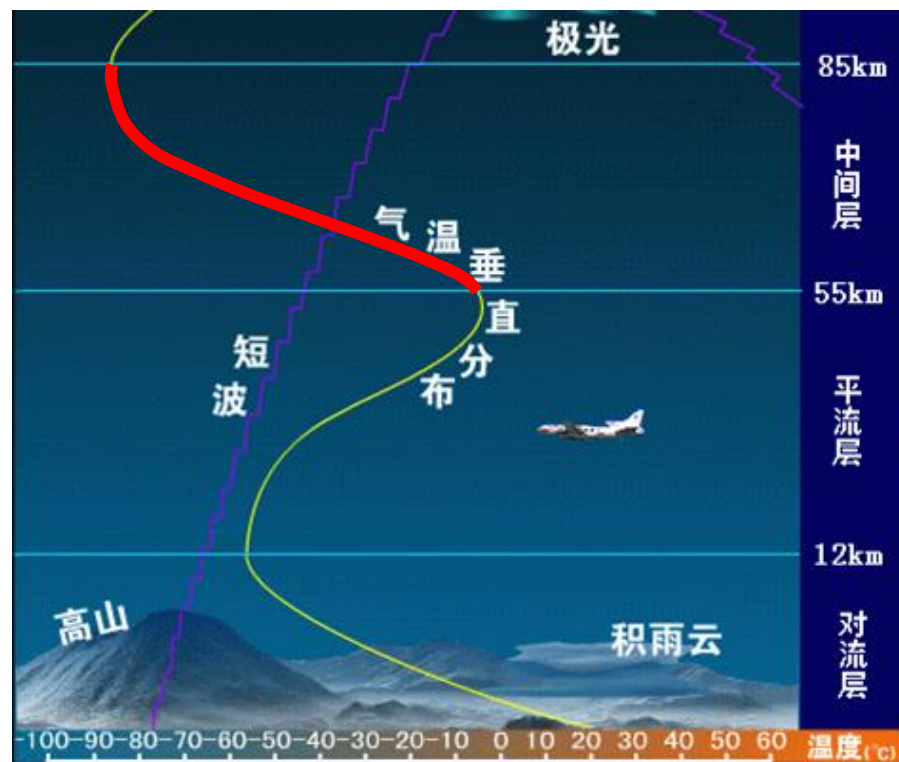
相当于： $\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow 2\text{O}_2$

这是一个**催化反应**，氯是催化剂，反应过程不消耗氯。

估算，一个氯原子能破坏 $10^4 \sim 10^5$ 个臭氧分子。氟原子类似。

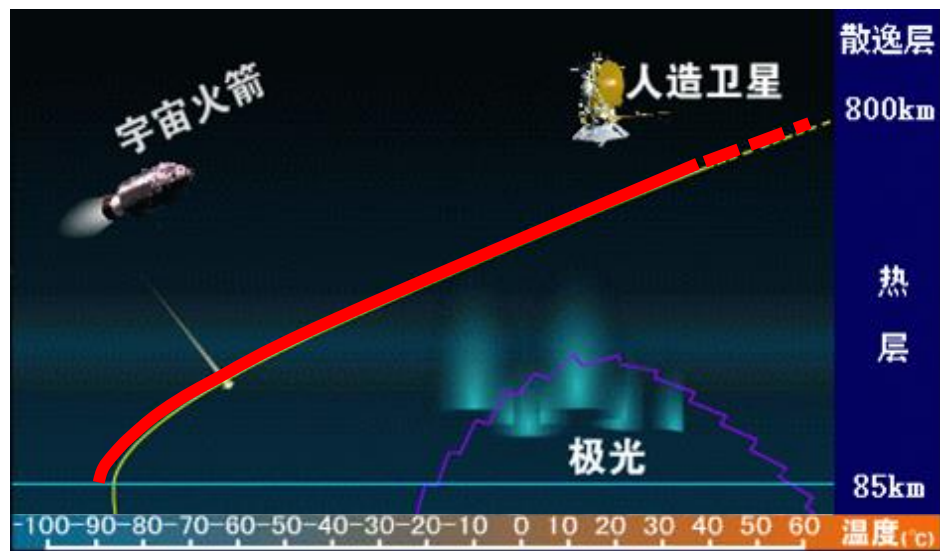
3. 中间层（从平流层顶至 85 km 高度）

- **降温性：**由于没有臭氧吸收太阳紫外线产热，气温随高度增加而迅速降低。中间层顶界面的温度可降至 $-83\sim -113^{\circ}\text{C}$ ；
- 在垂向上的温度分布与对流层相似，但整体上向更低温的方向平移；
- **对流性：**由于空气下热上冷，因此在此层再次出现空气的垂直对流运动。



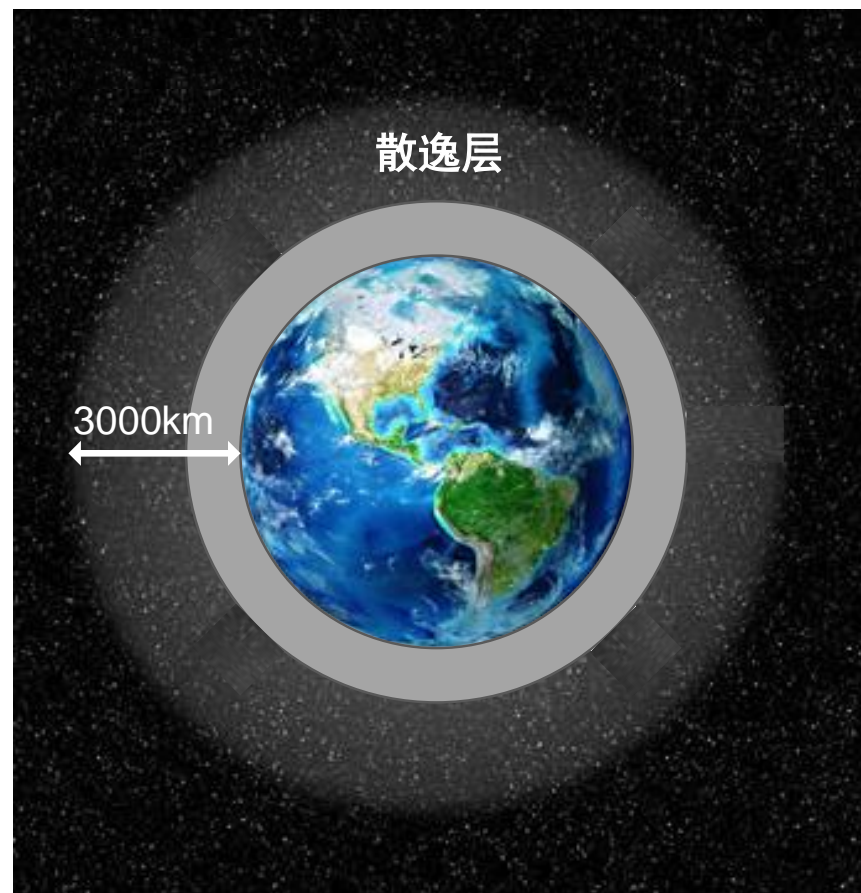
4. 热层/电离层（从中间层顶至 800 km高度）

- **空气稀薄：**质量占大气总质量的0.5%；有较强烈的紫外线和宇宙射线作用；
- **升温性：**大气温度随高度增加而迅速上升，在500km处可达1200°C，500km以上温度变化不大；
- 空气处于电离状态，故又称电离层；
- 此层可**反射无线电波**，因此在远距离无线电通讯中具有重要意义。



5. 散逸层（从热层顶至 3000 km 高度）

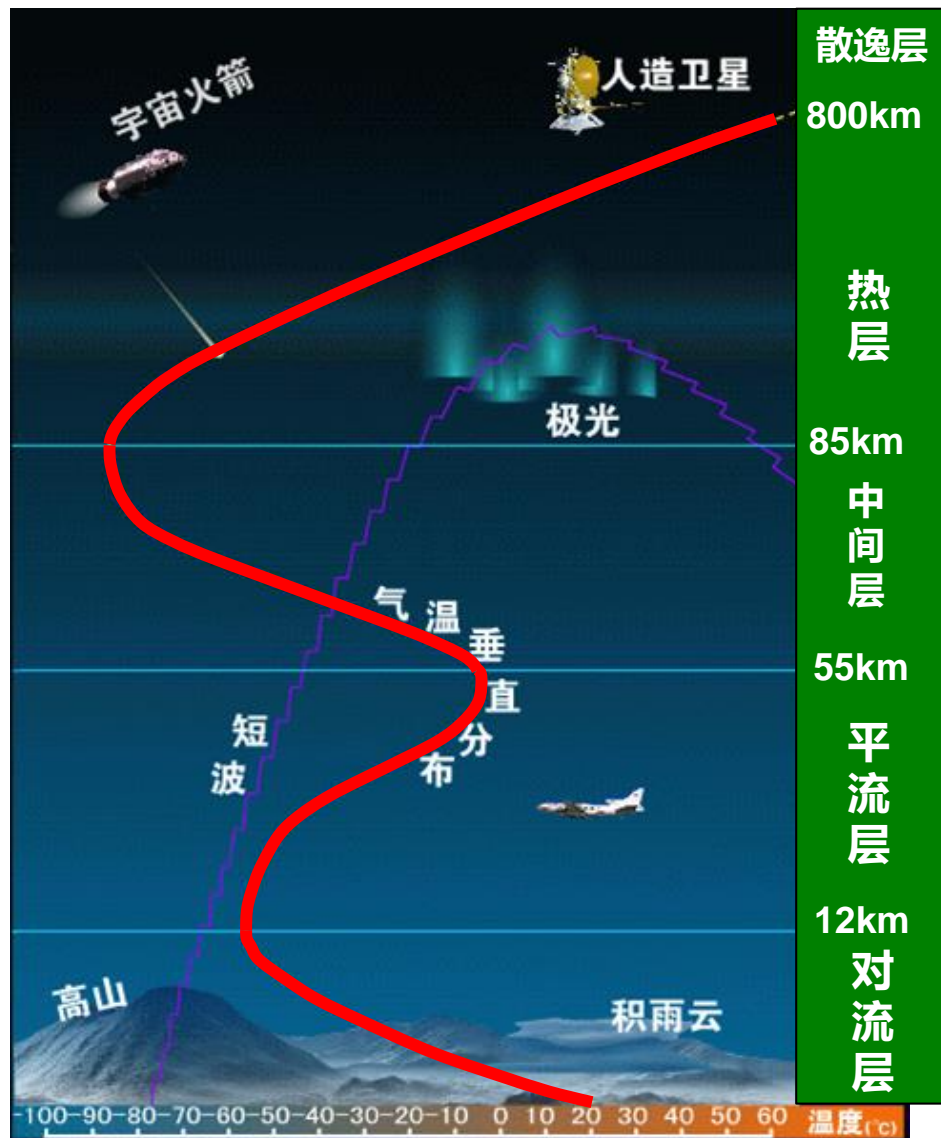
- 大气层的最外层，高度 3000km 以上；
- 温度随高度增加而升高；
- 受地心引力小，空气极为稀薄。气体及微粒可以从这层被碰撞脱离地球重力场，向太空逸散。
- 人造地球卫星在这一层中运行。



二、大气的温度

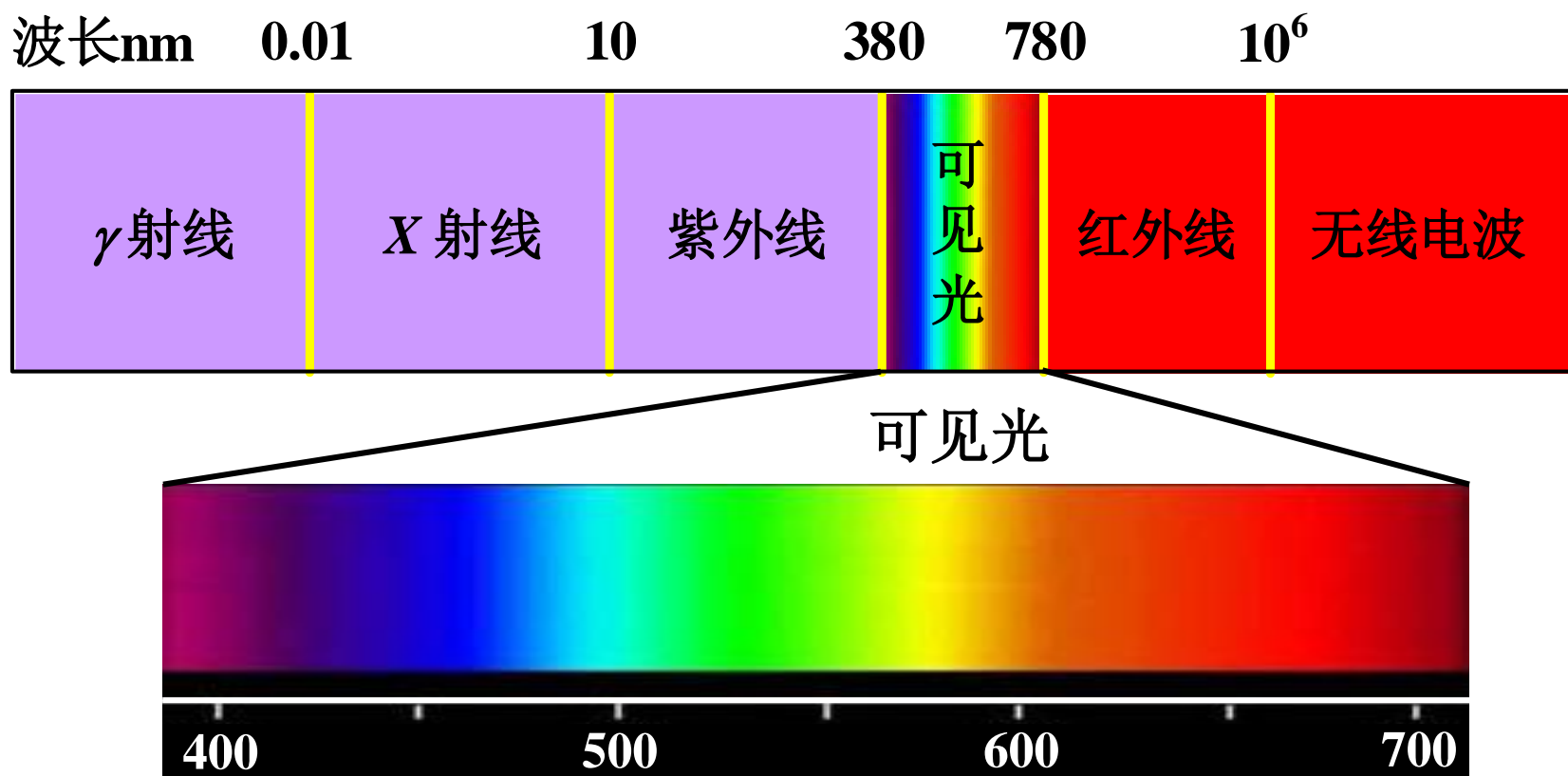
大气圈温度变化

W型

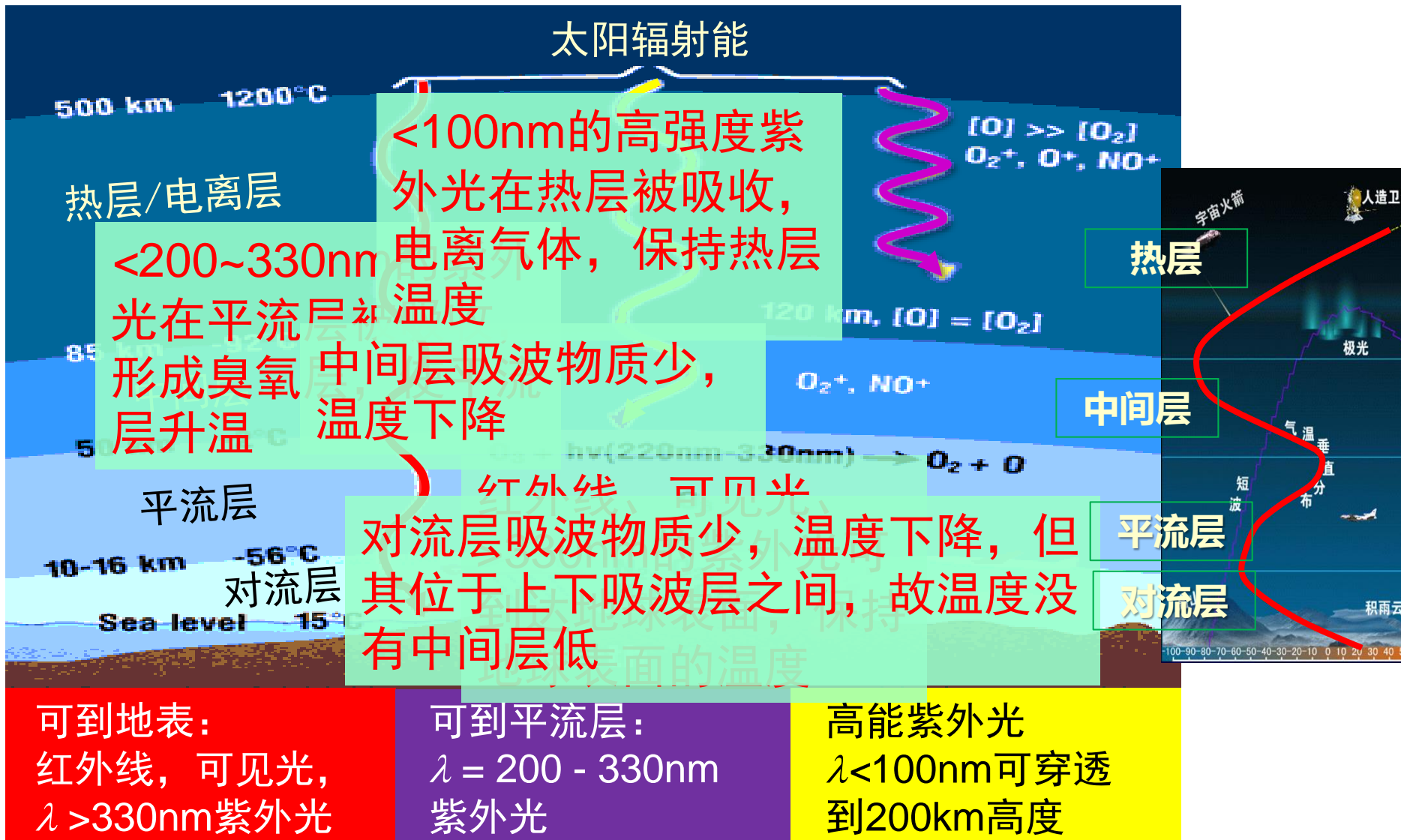


二、大气的温度（续）

➤ 大气温度变化的主要能源是太阳辐射。



1. 大气对太阳辐射的选择性



2. 对流层中的逆温

➤ 对流层气温垂直递减

气温垂直递减率 (Γ) : 表示气温随高度的变化, 即每垂直升高100 m, 气温的变化值:

$$\Gamma = -\frac{dT}{dz}$$

dz : 高度增量, m;
 dT : 温度增量, $^{\circ}\text{C}$

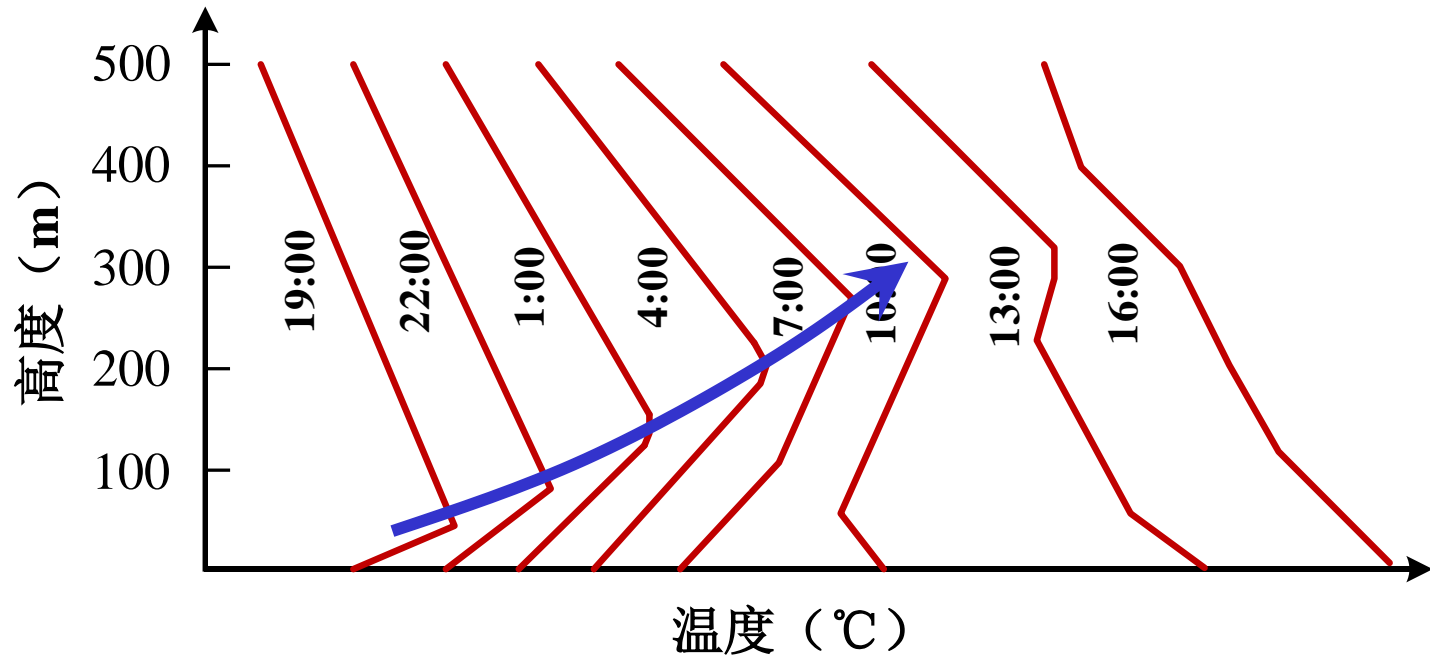
➤ 大气边界层: 靠近地球表面、主要受地面摩擦阻力等影响的大气层, 厚度1-2千米

➤ 逆温: 边界层的气温垂直递减率 Γ 变化有:

- $\Gamma > 0$: 正常状态。对流层平均 $\Gamma = 0.6-0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$;
- $\Gamma = 0$: 等温气层;
- $\Gamma < 0$: 逆温, 对应的气层为逆温气层 (逆温层)

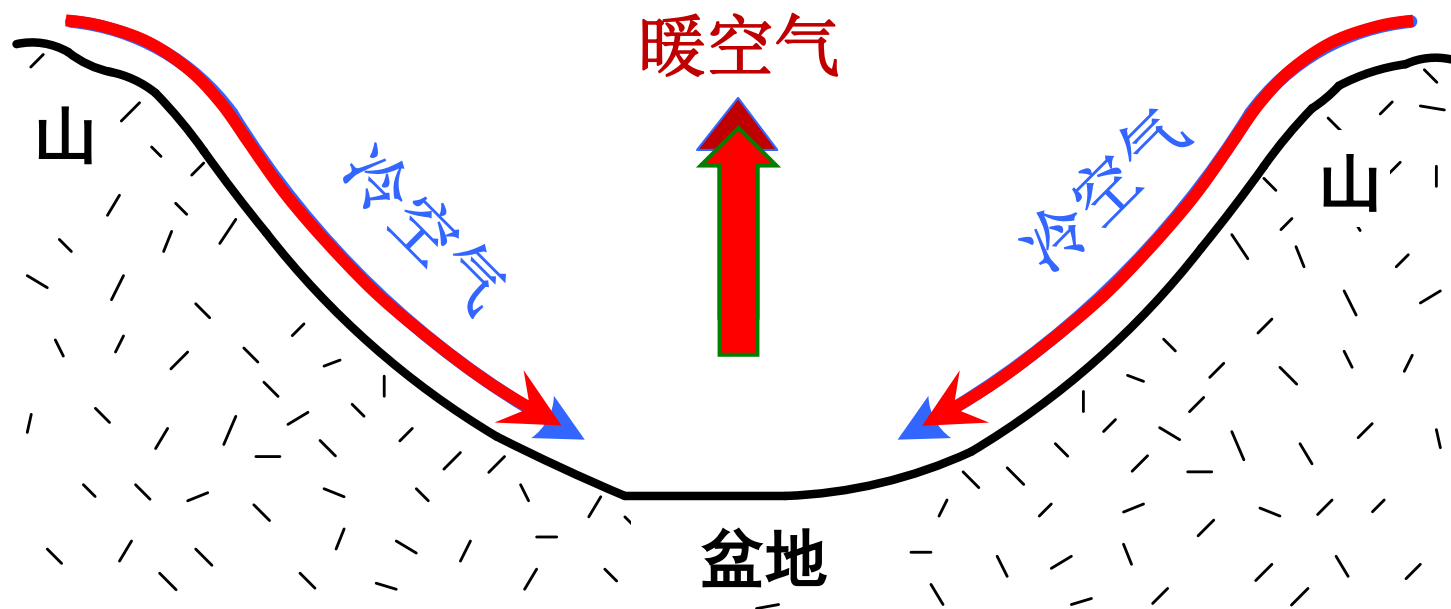
逆温形成的主要机制

(1) 辐射逆温：在晴朗无风的夜晚，冷地面强烈辐射，与地面接触的大气冷却降温最强烈，而上层大气降温较缓慢，从而形成逆温。



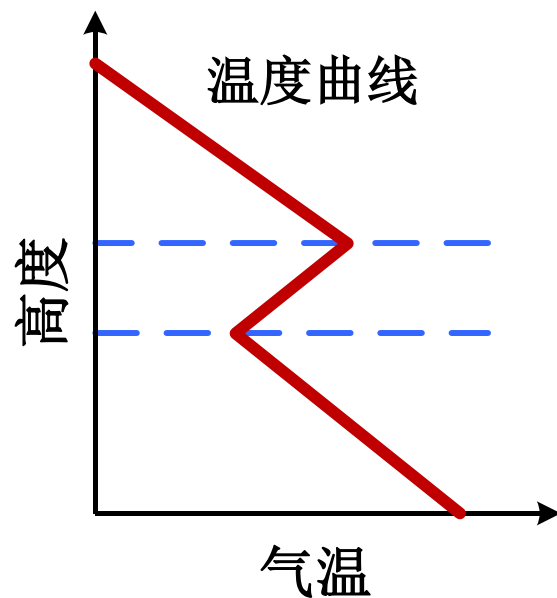
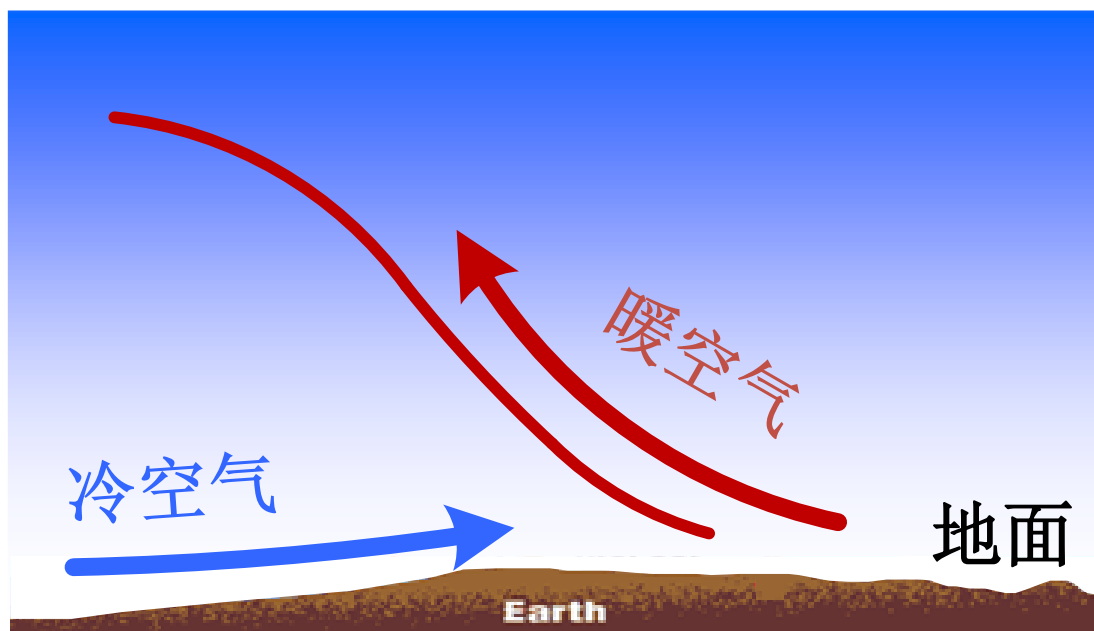
逆温形成的主要机制（续）

(2) 地形逆温：山谷盆地中，晚上冷空气较重，沿山坡流动，聚集在山谷盆地底部，形成**下冷上暖**的气体分布。



逆温形成的主要机制（续）

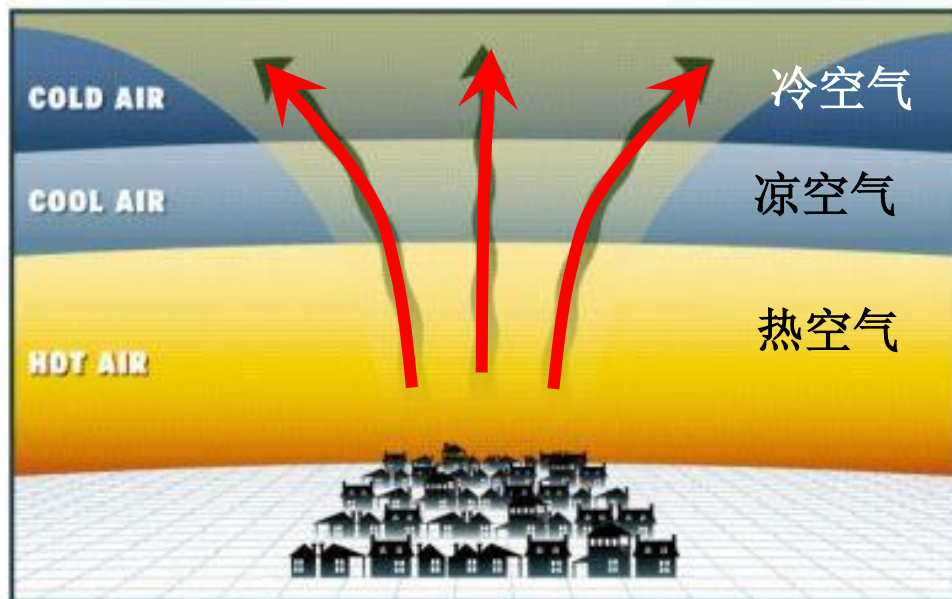
(3) 锋面逆温：冷、暖空气相遇形成一个倾斜的界面（锋面）。较重的冷空气在锋面之下，较轻的暖空气沿着锋面上升，这样在锋面上下附近就会出现逆温层。



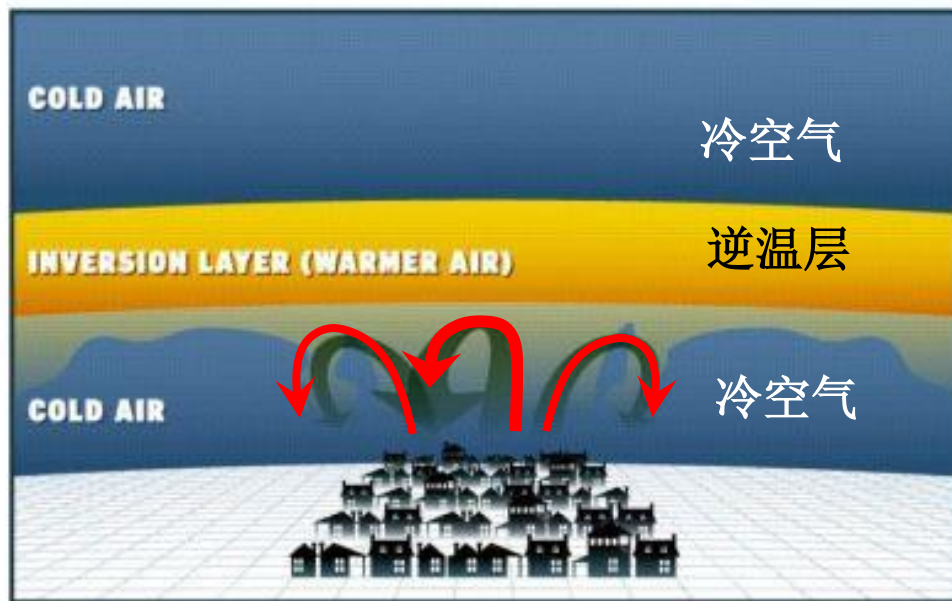
逆温现象的影响

- **环境影响：**逆温的出现不利于空气的上升运动，阻碍污染物扩散；其多出现在冬季的夜晚。
- 发生在比利时的马斯河谷烟雾事件、洛杉矶光学烟雾事件等均与逆温天气有关。
- **天气影响：**易产生大雾、阴雨和冻雨天气。

正常情况



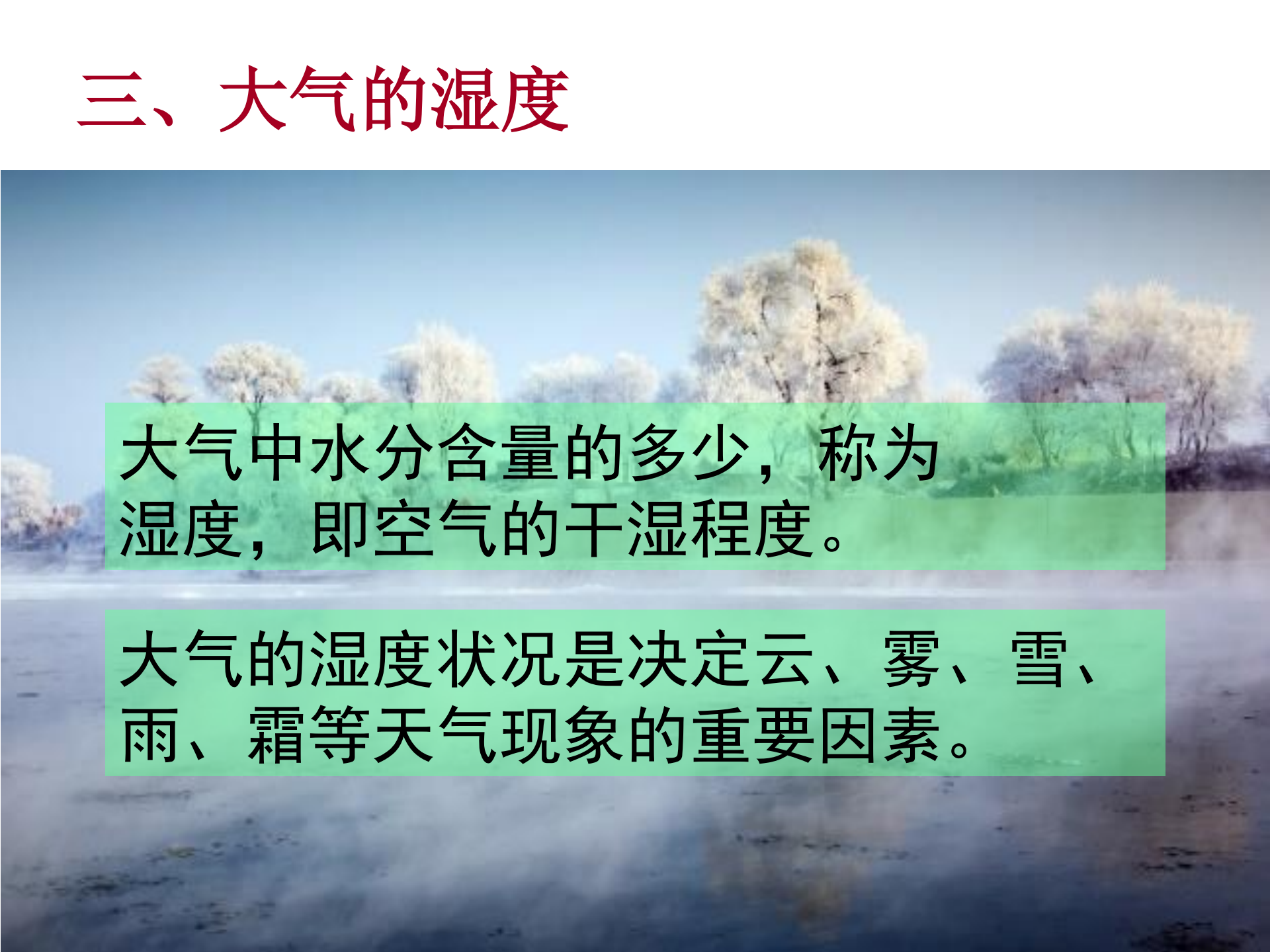
逆温情况



课堂问题：

1. 为什么大气圈平流层会出现臭氧层？
2. 雪后初晴的清晨，为什么容易出现重污染天气？

三、大气的湿度



大气中水分含量的多少，称为湿度，即空气的干湿程度。

大气的湿度状况是决定云、雾、雪、雨、霜等天气现象的重要因素。

1. 大气湿度的表示方法

(1) **绝对湿度** a : 单位体积空气中所含水汽的质量 (= 水汽的密度), 常用单位: g/m^3 。

它表示空气中含有水汽的绝对量, 绝对湿度大, 水汽含量多, 绝对湿度小, 水汽含量少。

(2) **水汽压** e : 大气中水汽所引起的那部分压强 (大气压力中水汽的分压力) 称水汽压。单位与气压相同。它也表示空气中水汽含量多少, 水汽压大, 则水汽含量多

1. 大气湿度的表示方法 (续)

(3) 饱和水汽压 E : 空气中水汽达到饱和时的水汽压。它表示空气“吞食”水汽的能力。饱和水汽压 E 主要受温度等的控制。

(4) 相对湿度 f : 指空气中的实际水汽压 e 与同一温度下的饱和水汽压 E 的比值。

$$f = \frac{e}{E} \times 100\%$$

$f = 100\%$: 空气达到水汽饱和;

$f < 100\%$: 空气未饱和;

$f > 100\%$: 空气过饱和。

大气的相对湿度一般不会超过 101%

2. 大气中的水汽分布

- 大气中的水汽主要来自下垫面的蒸发、输运。水汽的凝结或凝华作用会改变大气中水汽的含量，其分布是不均匀的。不同的下垫面条件、不同季节，水汽含量不同。例如，海洋上空的水汽含量大于沙漠，夏季大于冬季。
- **垂直分布：**绝对湿度随高度的增加而迅速降低。在2km高度处不足地面的1/2；5km处减到地面1/10；90%的水汽集中在3km以下的低层大气中。
- **水平分布：**绝对湿度的水平分布与气温的水平分布基本一致。它与下垫面性质（如海面、陆地、沙漠、冰面等）关系密切。赤道地区大，随纬度的增高而递减。

四、雾与霾

水汽凝结（水汽→液态、固态）必备两个条件：

- 空气达到水汽饱和或过饱和状态；
- 要有凝结核。

空气达到饱和或过饱和的途径：

- 增加水汽含量：水汽压 $e \uparrow$, $e > E$
- 降低气温： 温度 $t \downarrow$, $t < t_d$ （露点温度，结露水的温度）

凝结核：

- 在水汽凝结过程中起凝结核核心作用的固、液、气态微粒

四、雾与霾（续）

雾：指漂浮在近地面层、由水汽凝结而成的小水滴或小冰晶构成的可见集合体。当大气能见度小于 1 km 时称为雾；1~10 km 的称为轻雾。灰白色，湿度大。



四、雾与霾（续）

霾： 是悬浮在大气中的大量微小尘粒、烟粒或盐粒的集合体，使空气浑浊，水平能见度降低到10km以下的一种天气现象。灰黑色，相对湿度一般小于80%。



晴天下的清华主楼



灰霾天气下的清华主楼

霾的成因

霾的形成有三个基本条件：

- 1. 水平静风条件：**城市楼房增大了水平风的地面摩擦，风速减小，静风增多，不利于大气污染物向外扩散。
 - 2. 垂直逆温条件：**逆温层使高空比低空的气温更高，污染物无法从低温的低空向高温的高空扩散，只能停留在低空。
 - 3. PM2.5等悬浮颗粒物增加：**PM2.5 是直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的悬浮颗粒，也称为细颗粒物或可入肺颗粒物。它成为污染物凝聚核，吸附、吸收各种物质——气体污染物、微生物、水汽等，并发生多种化学反应。机动车、燃煤、工业生产、秸秆燃烧、扬尘、居民生活等都可使PM2.5排放量增加，这是造成霾的根本原因。没有大气污染物，就不会有霾。
- 满足上述三个条件，在湿度适当的条件下，就会形成霾

大污染物简介

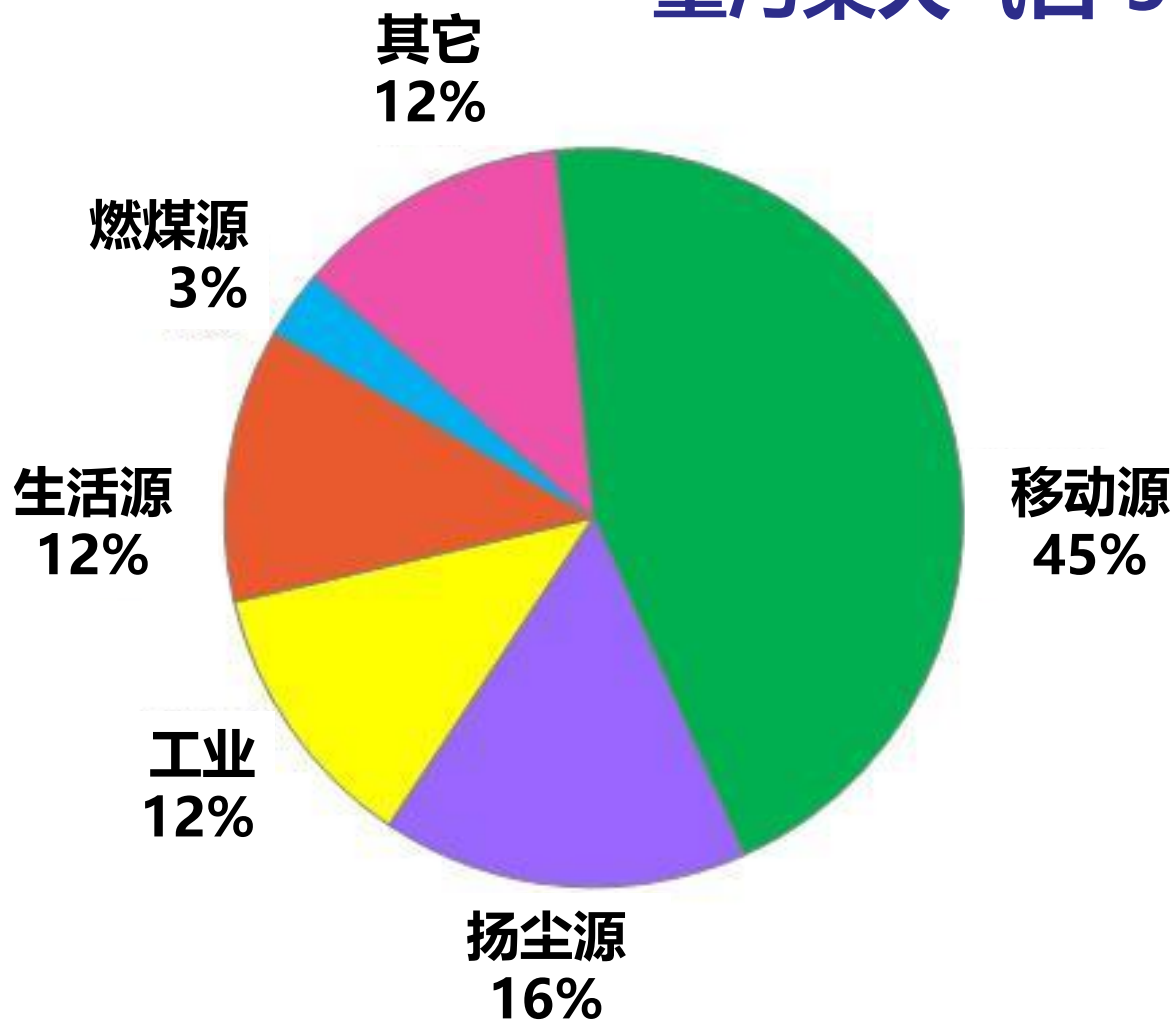
大气污染物：四气一粒

- 四气：二氧化硫 SO_2 ，氮氧化物 NO_x ，挥发性有机物VOC，氨气
- 一粒：颗粒物，包括PM10、PM2.5。

PM2.5虽是颗粒物，但它具有凝聚核的作用，可含多种污染物。

举例：北京PM2.5的组成 2017

外来源输入量平均占 1/3;
重污染天气占 55-75%



第一章 地球

§ 1.1 地球概况

§ 1.2 地球的大气环境

§ 1.3 地球的构造 1.5节

一、地球内部的圈层

二、岩石圈和软流圈

三、地壳

四、地幔

五、地核

六、板块运动

七、地壳的活动性

一、地球的内部圈层

➤ 内部圈层：

✓ **地壳：** 上地壳，下地壳

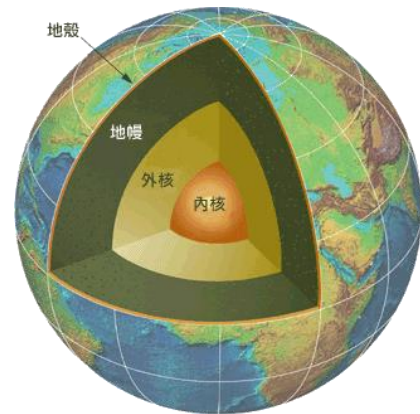
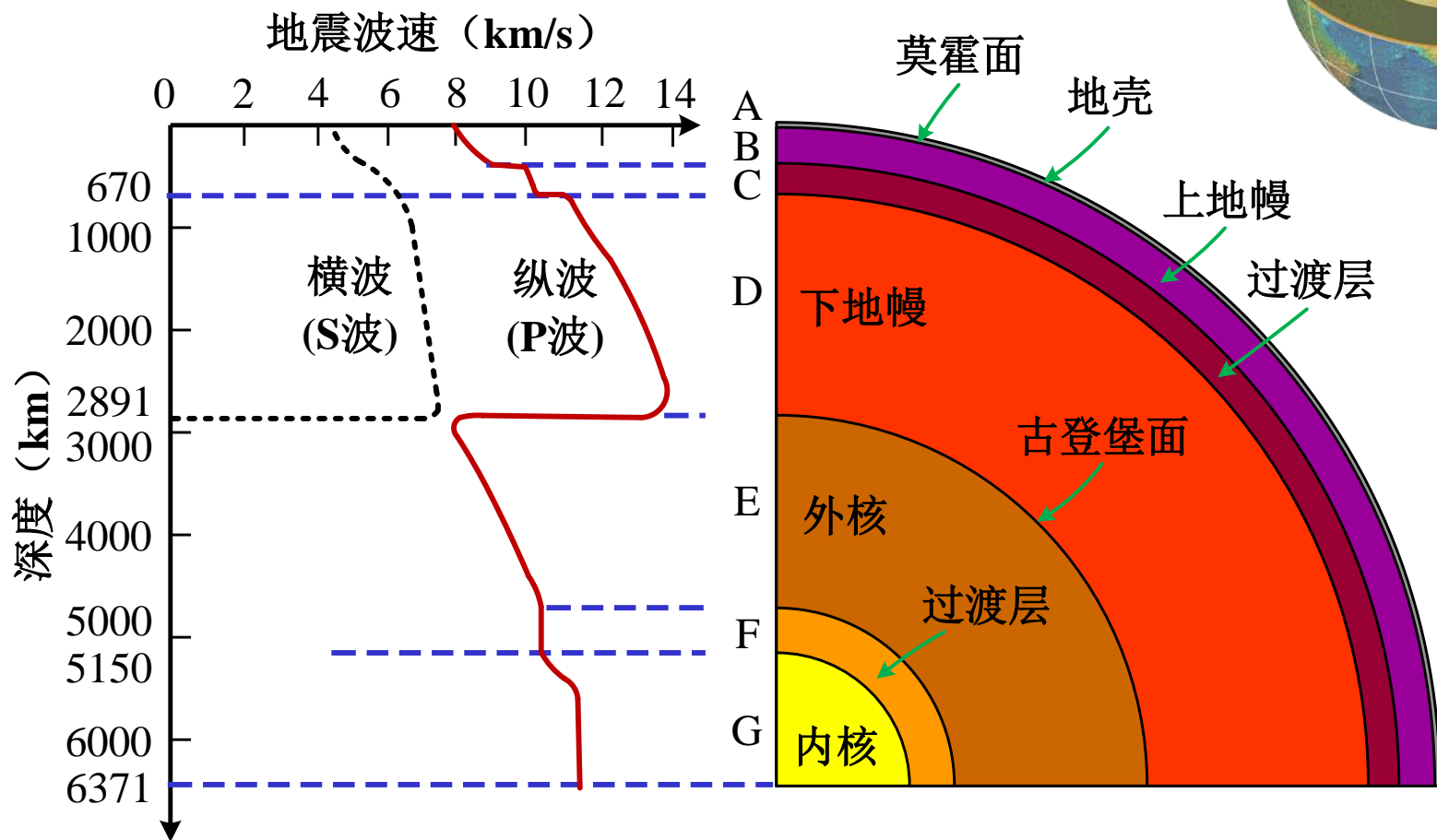
✓ **地幔：** 上地幔，过渡层，下地幔

✓ **地核：** 外核，过渡层，内核

岩石圈： 地壳 + 上地幔顶层（盖层）

一、地球内部的圈层 (续)

地球的内圈层主要依据地震波穿过情况划分



莫霍面: 1909年, 克罗地亚地震学家莫霍洛维奇发现

古登堡面: 1914年, 美籍德裔学者古登堡发现

地球内部圈层划分方案 ——据 PREM, 1981

名称	分层	代号	深度 (km)	密度 (g/cm ³)	状态	圈名
地壳	上地壳	A	15	2.60	固态 莫霍面分界	岩石圈
	下地壳		24	2.90		
地幔	上地幔	B	80	3.37	盖层，固态	软流圈
			220	3.36	熔融态	
			400	3.48	均匀层	中间圈
	过渡层	C	670	3.72-3.99	塑性	
	下地幔	D	2891	4.73-5.55	固态，塑性 古登堡面分界	
地核	外核	E	4771	9.90-11.87	液态（横波=0）	内圈
	过渡层	F	5150	12.06	过渡	
	内核	G	6371	12.77-13.09	固态	

构造圈

二、岩石圈和软流圈

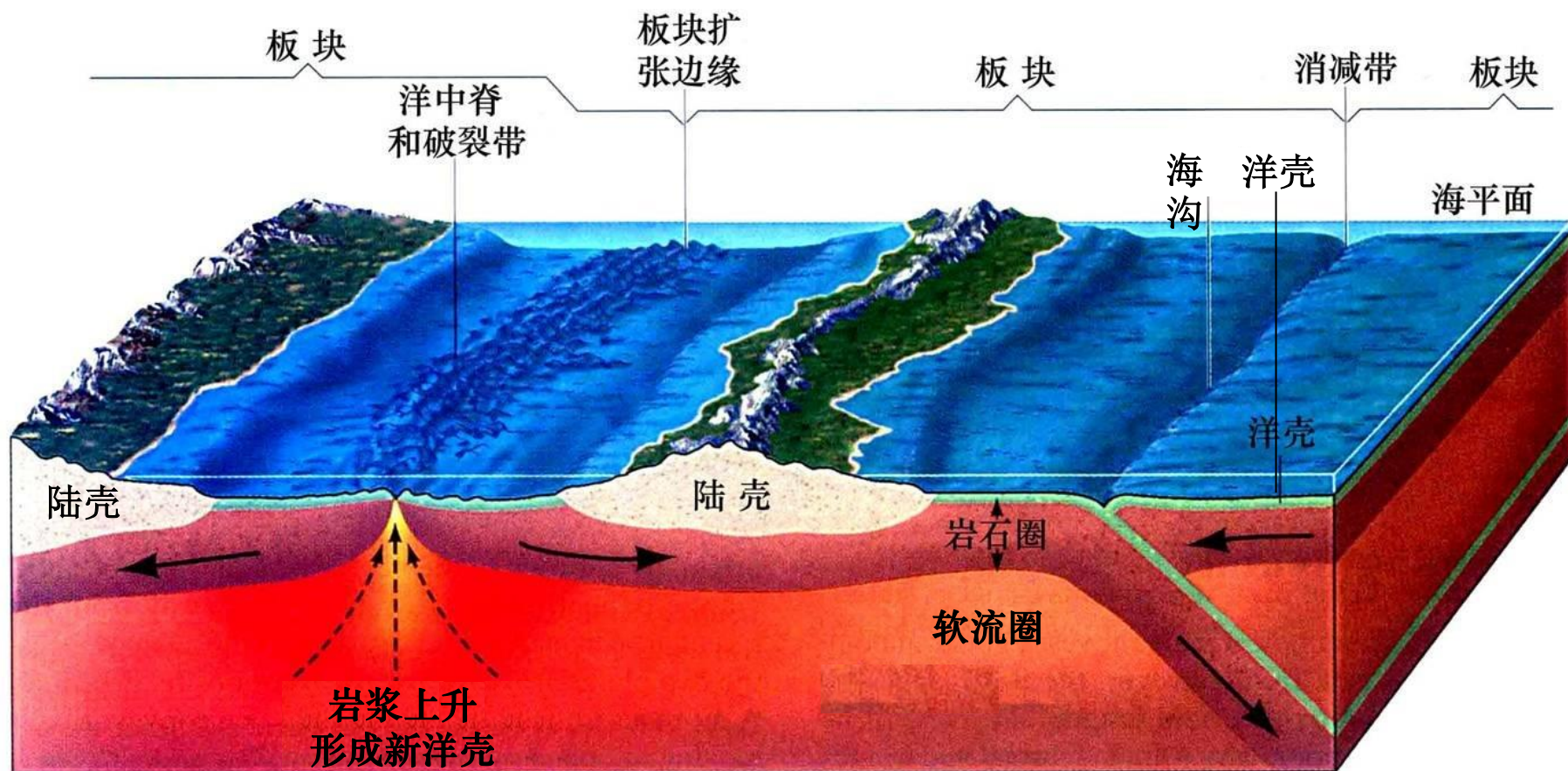
- **岩石圈**：由地壳+上地幔顶部盖层构成的圈层，是地球外部的刚性层（固态：冷、硬、脆），陆地厚，海洋薄，平均厚度80km。岩石圈与人类活动密切相关，是研究的重点。
- **软流圈**：平均厚度140km，平均深度220km。地震波速在此段明显降低，说明物质处于融熔状态（热、软、柔），是岩浆发源地，热对流活跃，推动了岩石圈板块的运动。
- **构造圈**：由岩石圈+软流圈构成的圈层，是地质构造发生和发展的区域。

三、地壳

地壳：莫霍面（24km）以上由固体岩石组成的圈层。体积占地球3%，质量占0.8%，温度 $\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。

- **大陆地壳：**平均厚度33km，最大70-80km，变化较大。
- **大洋地壳：**平均厚度 6 km，最大 8 km，自洋中脊到两侧逐渐增厚；与陆壳对比厚度小、密度大、变形弱、年龄新。

三、地壳 (续)



四、地幔

地幔：莫霍面（24 km）与古登堡面（2891 km）之间的圈层，平均厚度 2867 km，是地球的主体。

- **体积与质量：**地幔体积占地球的82%；质量占 67.8%
- **温度：**从600°C增至3000°C。地热增温梯度= 0.088 °C/100m，相当于地壳地热增温梯度的 1/33。较低的地热增温梯度，说明硅酸盐岩石的热传导能力是很弱的。
- **圈层：**地幔进一步分为上地幔、过渡层、下地幔。

五、地核

地核：古登堡面至地心的部分，深度2891~6371km。

- **体积与质量：**地核体积占地球的16.2%，质量占31.4%。
- **温度：**3000℃，最高可能达 5000~6000℃。
- **圈层：**根据地震波的传播特点细分为：外核（液态）、过渡层（过渡）和内核（固态）
- **物质组成：**一说主要由铁镍的合金组成；另一说认为主要是铁，外核还有少量镍以及硫、硅。

六、大陆漂移和板块运动

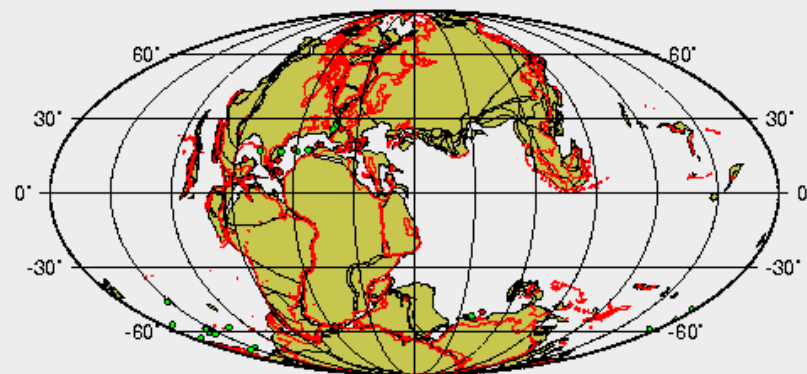
约1.35亿年前

约1.8亿年前

约2亿年前

约6500
万年前

现在



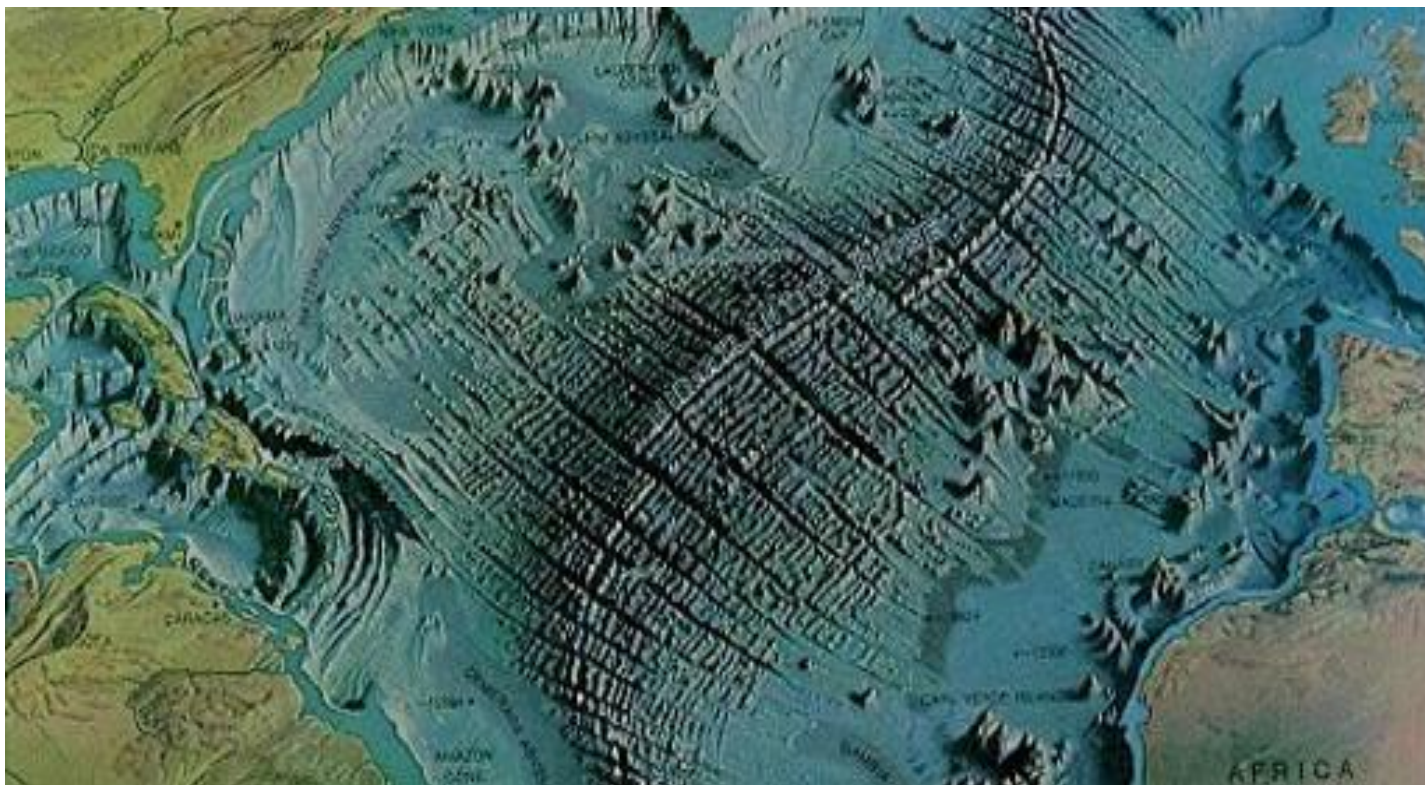
150 My Reconstruction

魏格纳于1910年提出大陆漂移假说

壮丽璀璨的地质史诗——海底扩张

美国学者赫斯和迪茨在1960年代初，借助于丰富的海底调查资料和古地磁学证据，提出了海底扩张假说：

- 洋中脊处裂开，地幔岩浆涌出，冷却固结成新的大洋岩石，并把先期形成的岩石向两侧推挤，导致大洋海底不断扩张。扩张的大洋岩石圈在到达大陆边缘的海沟处后，向大陆岩石圈之下俯冲，重新消亡于地幔中，从而构成一个完整的循环。



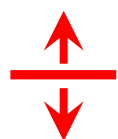
现代地质学的结晶——板块构造学说

板块构造学说：是在大陆漂移和海底扩张假说基础上，根据大量海洋地质、地球物理、海底地貌等资料，经综合分析提出的学说：

- 岩石圈并非整体一块，而是被海沟、海岭、中央裂谷等地质构造分割成的许多构造单元，即板块。
- 岩石圈分为六大板块：欧亚板块、非洲板块、美洲板块、非洲板块、太平洋板块、南极洲板块。大板块还可划分成若干次一级的小板块。
- 板块漂浮在地幔软流层之上，处于不断运动之中。大板块每年可以移动1-6厘米的距离。
- 大洋的发展与大陆的分合相辅相成。



构造运动的六大板块



生长型（海岭，断层）
板块分离边界



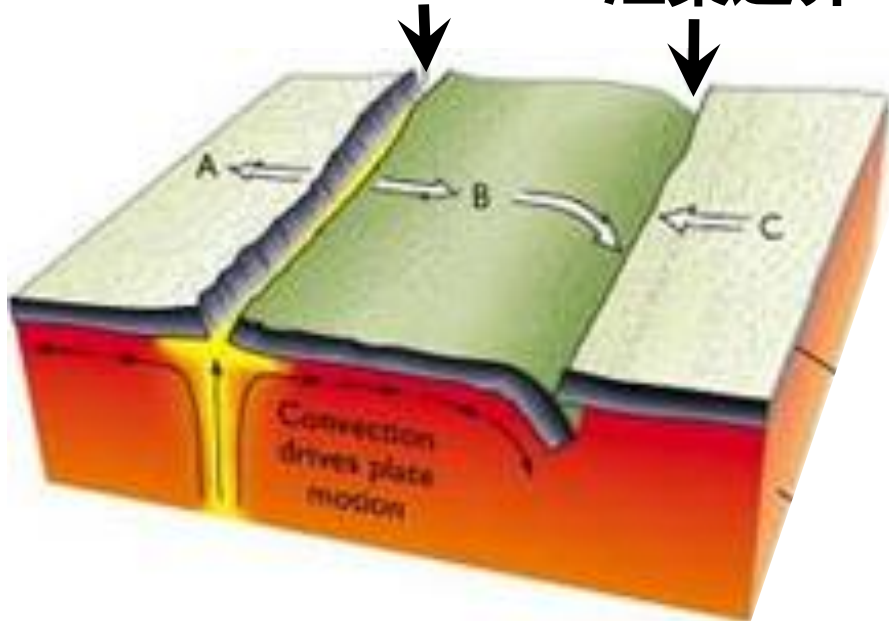
消亡型（海沟，造山）
板块汇聚边界

板块构造边界类型:3类

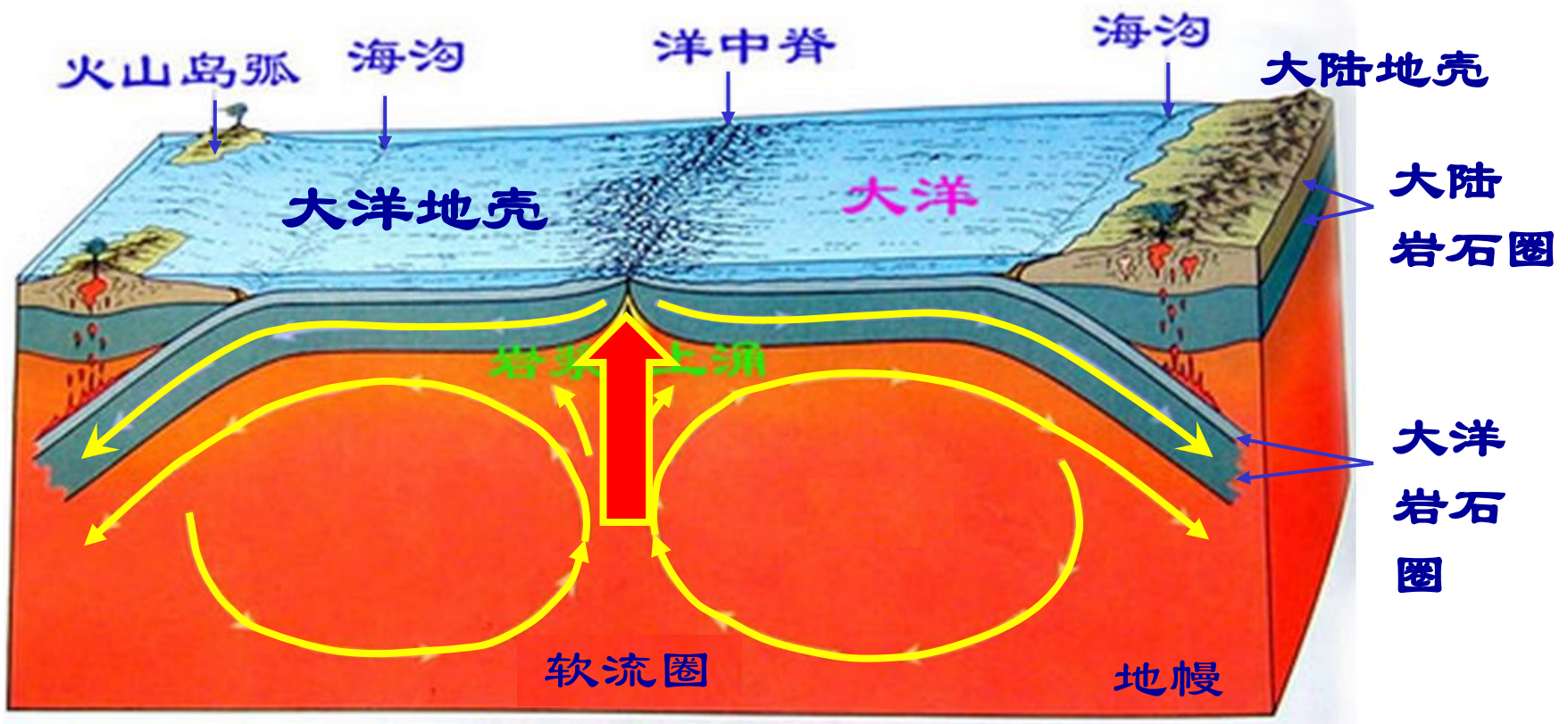
分离边界

汇聚边界

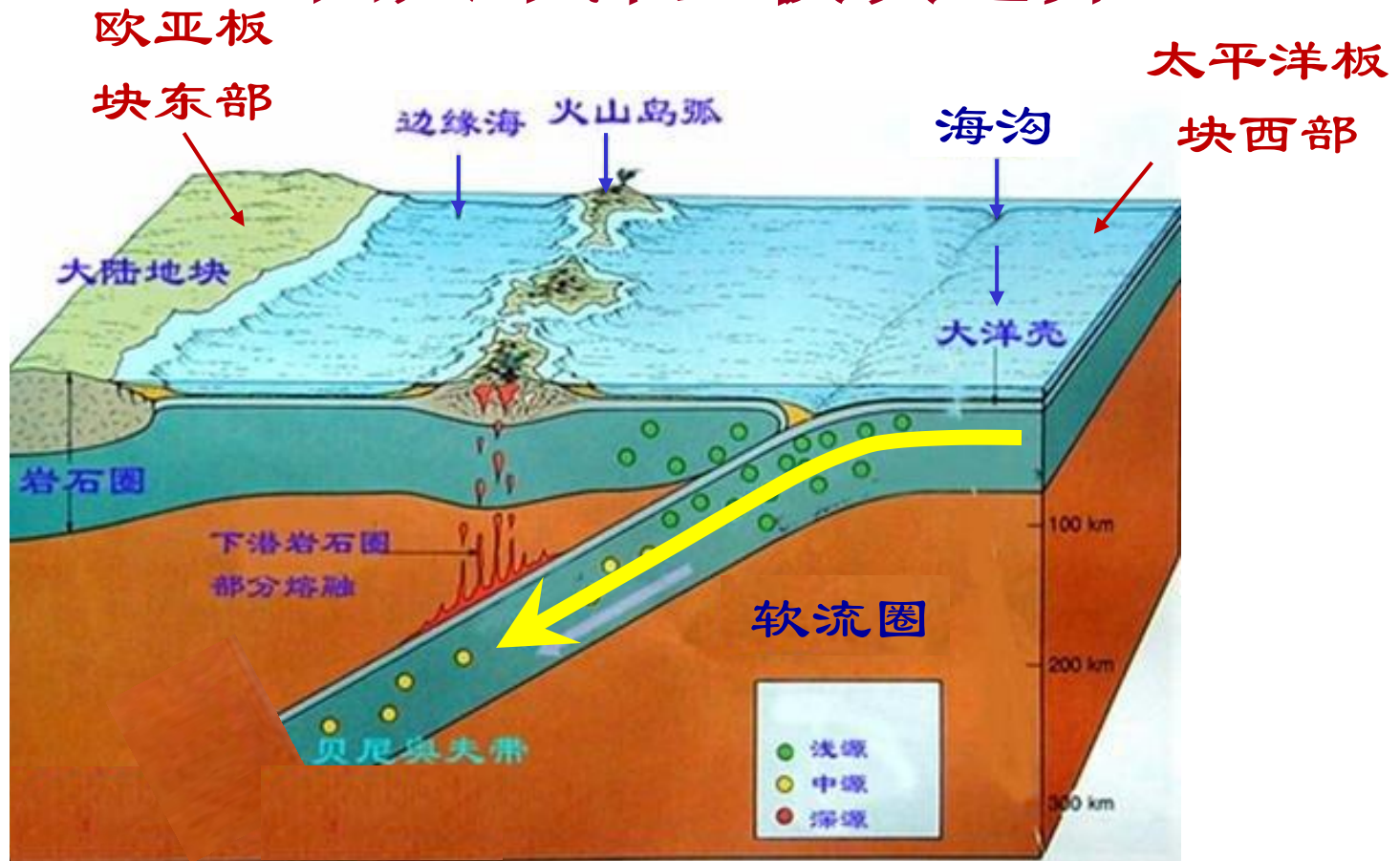
扭转边界



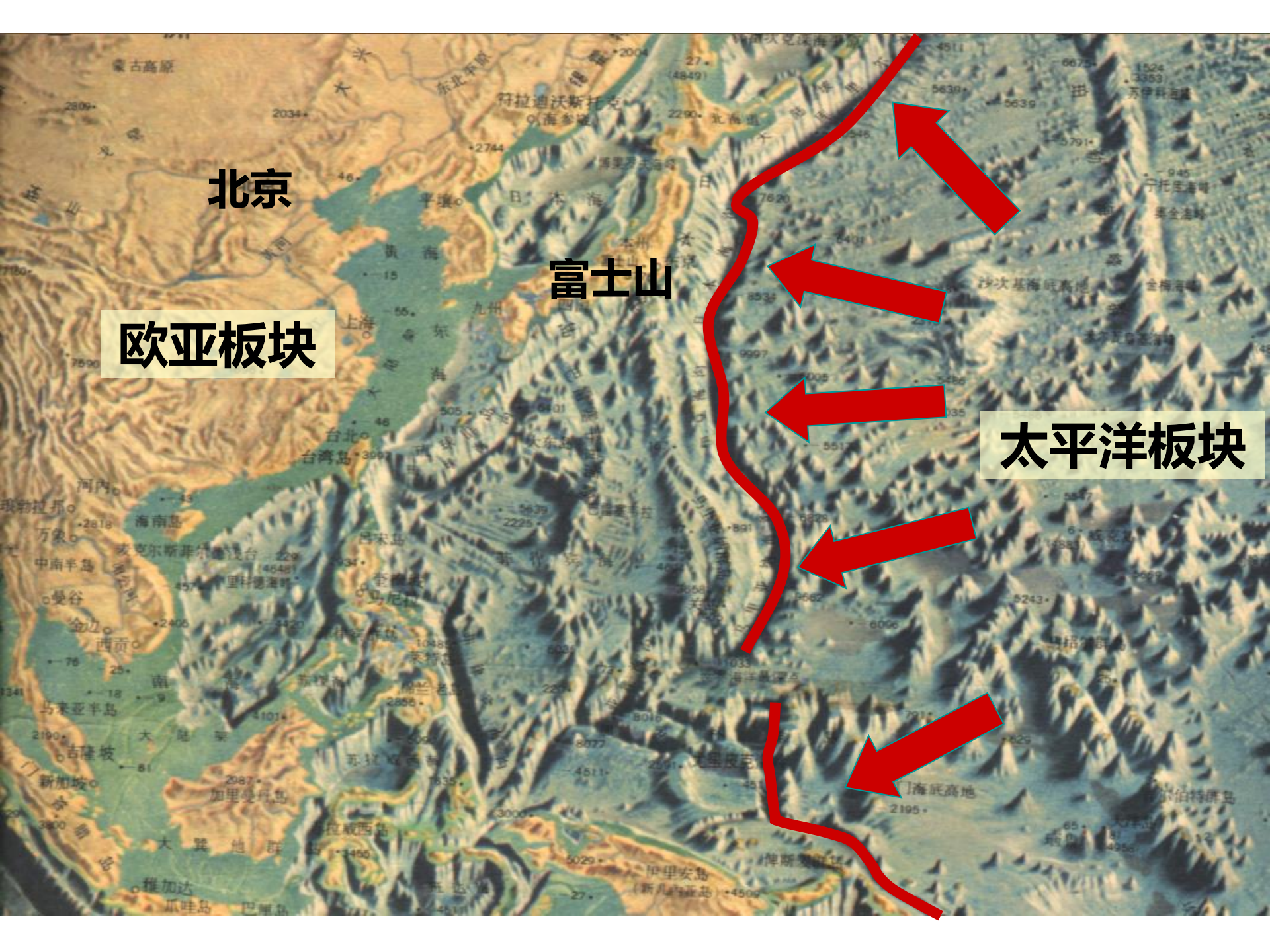
板块是运动的，动力来自地幔对流



西太平洋型板块边界



太平洋板块沿着欧亚板块东部边缘的千岛海沟、日本海沟、琉球海沟，向欧亚板块下面俯冲，形成由海沟、火山岛弧、弧形边缘海盆地组成的亚洲东部列岛式地理面貌。

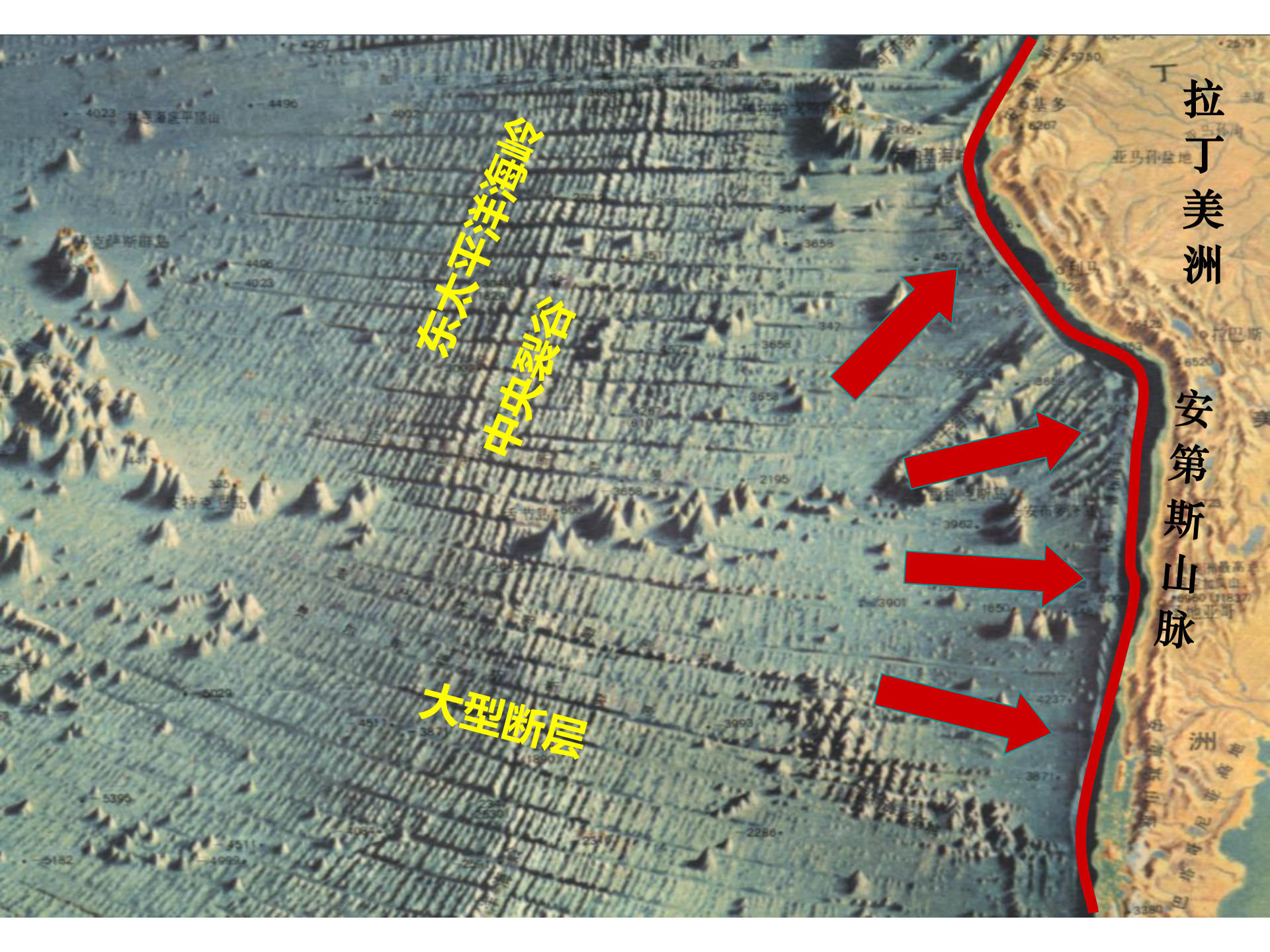


北京

富士山

太平洋板块

欧亚板块



太平洋海岭
中央裂谷

大型断层

拉丁美洲

安第斯山脉

七、地壳的活动性

从稳定性上，地壳有稳定区和活动区之分

地壳稳定区：地壳中相对不活跃的地区，多为古老地块和板块主体。主要特征：

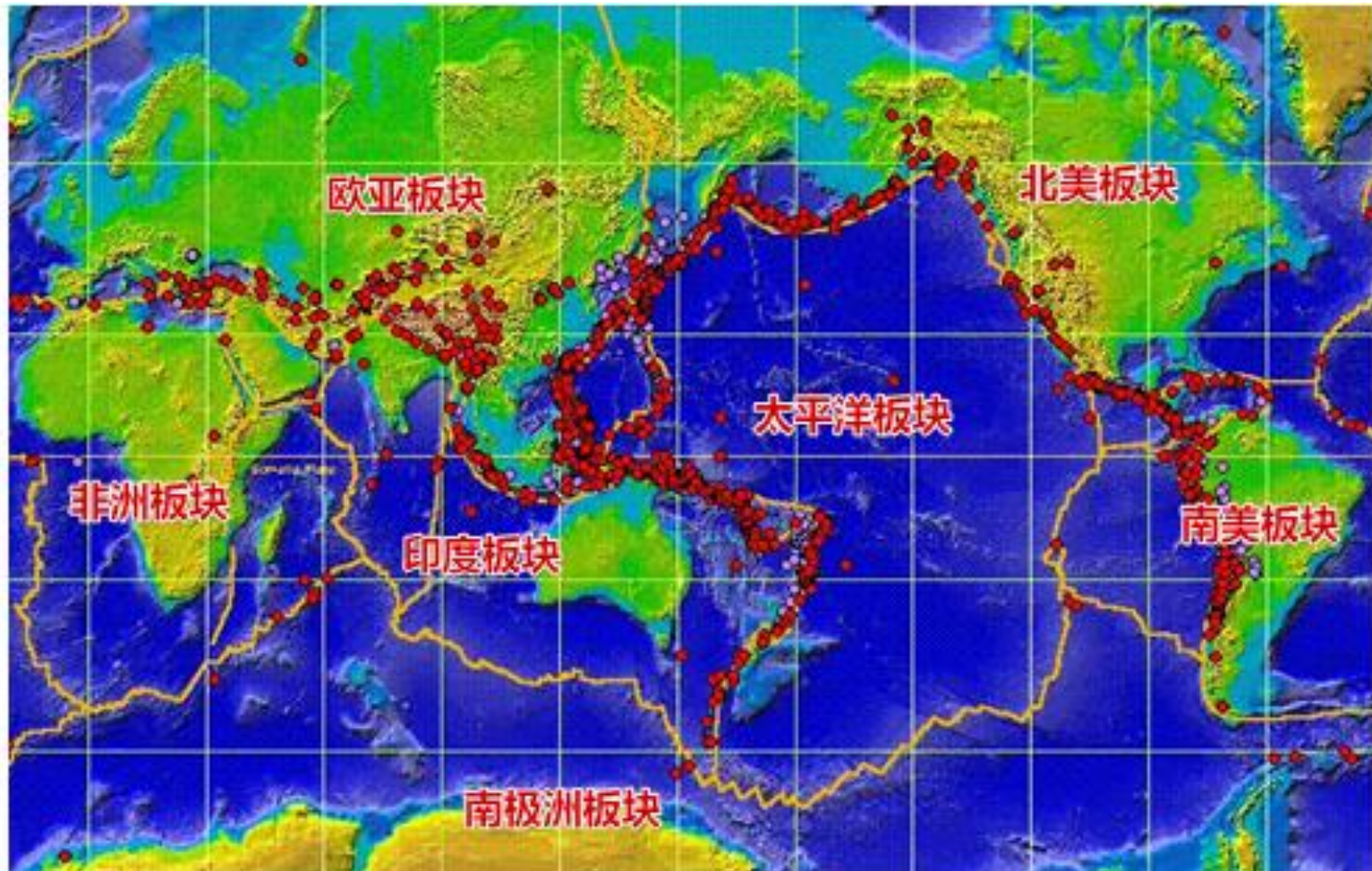
- **地壳厚度稳定：**陆地厚度30~40km；海洋5~7km；
- **地壳顶部具双层结构：**基底和盖层，基底多为前寒武古老岩系，盖层为沉积岩；
- **平面分布：**广大，形成平原或盆地；
- **物质组成：**上部多为花岗质岩石；
- **构造：**构造变动比较微弱，没有强烈褶皱、断裂活动；地震、火山不发育；变质作用微弱。

七、地壳的活动性（续）

地壳活动区：地壳中构造运动相对活跃的地区，主要分布在造山带和**板块构造边缘区**。主要特征：

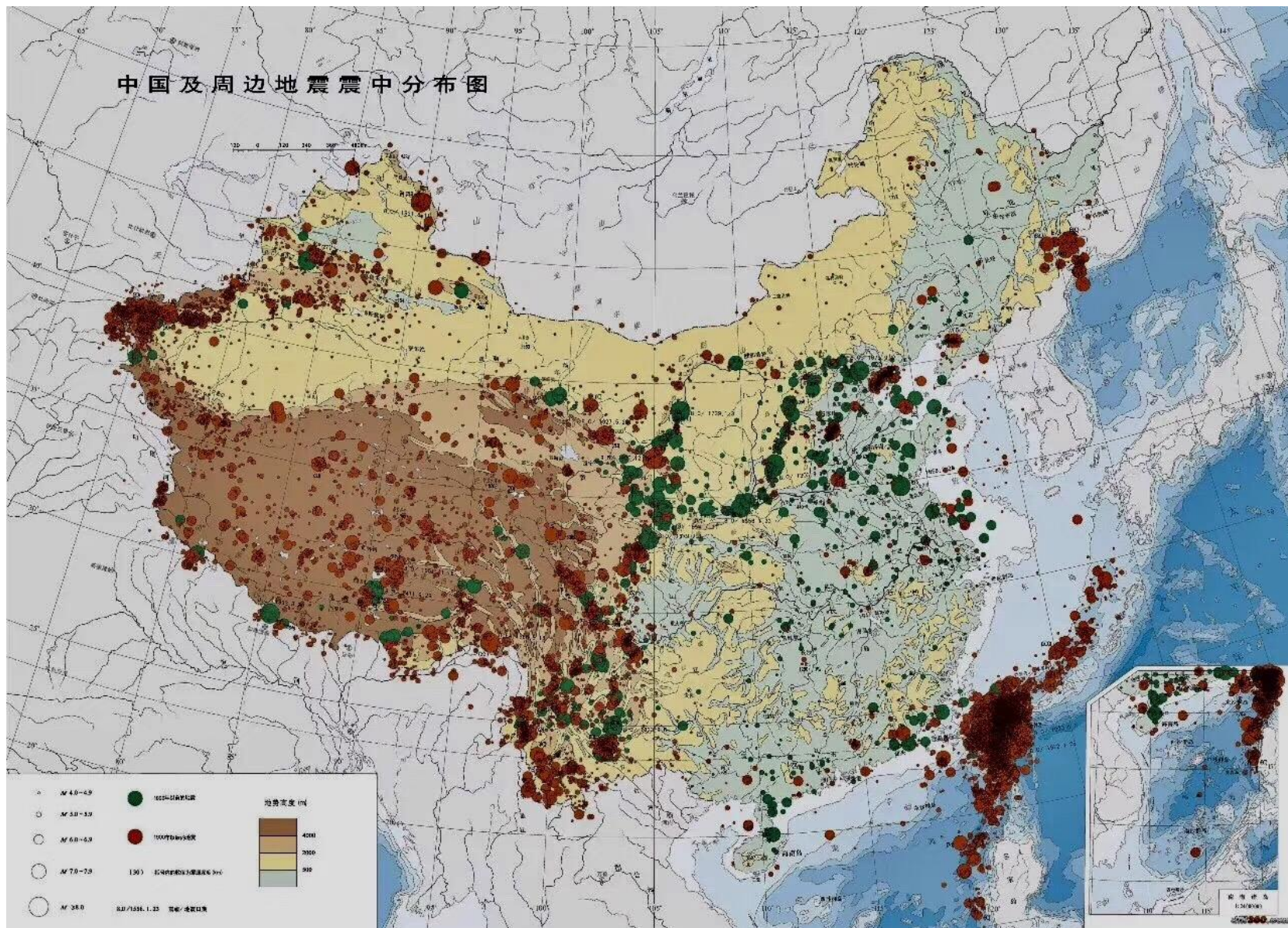
- **地壳厚度变化大：**年轻造山带厚度40~70km，大陆裂谷区28km；活动洋壳3~76km；洋中脊厚度不定；
- **带状分布，高差大：**平面多为狭长带状，延伸数百到几千千米，岩性和厚度不稳定，地表高差悬殊；
- **地热：**常是地热异常带；
- **构造：**构造变动强烈，形成复杂褶皱、断裂；地震震源多，火上密集；岩浆活动强烈且广泛。

世界强地震及主要陆地地震带分布



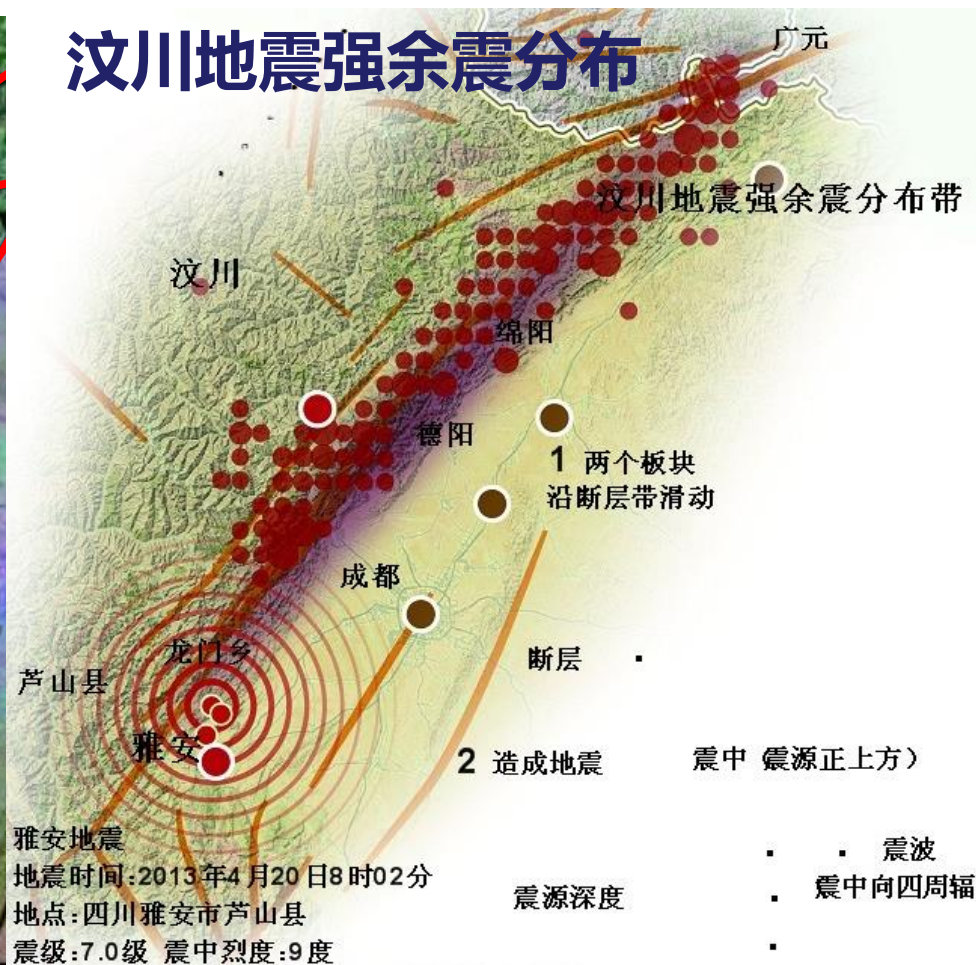
地震带多分布在板块构造边缘的挤压带上，
85%发生在海洋，15%发生在大陆

中国及周边地震震中分布图



汶川地震与龙门山活动断裂带

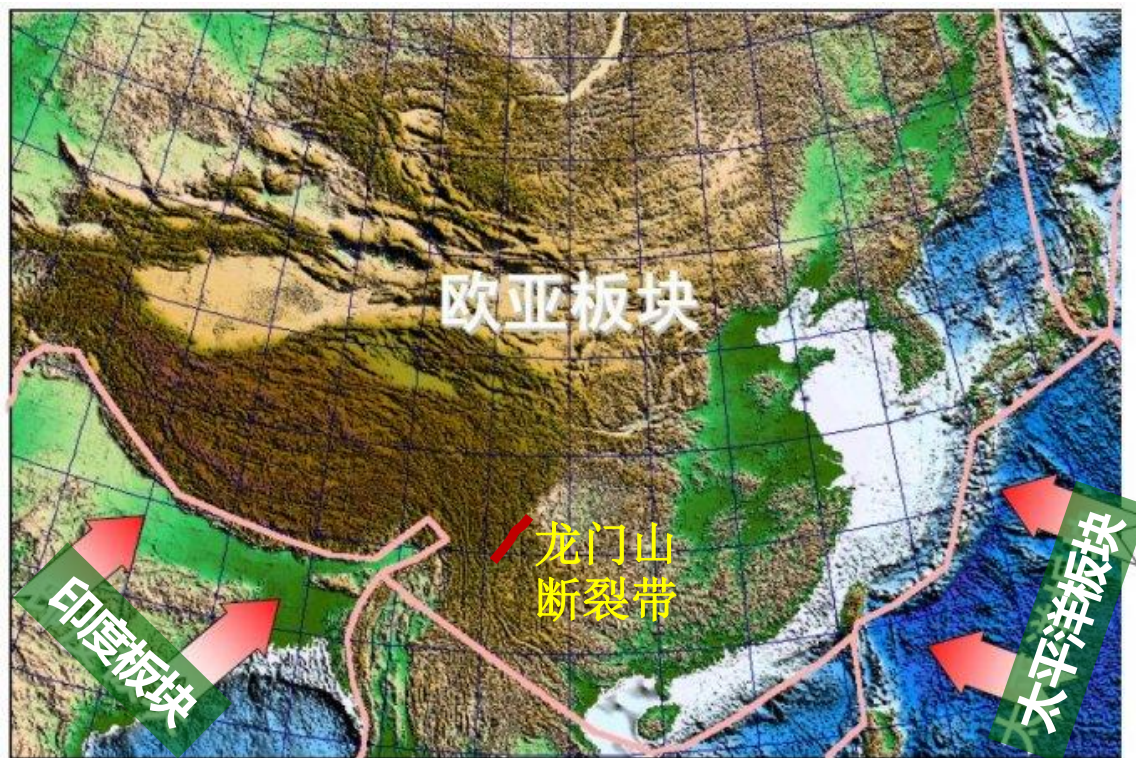
2008年5月12日，四川省汶川发生8.0级地震，震中映秀镇，烈度11度，造成69227人死亡，17923人失踪



我国地震带分布与板块运动的关系

汶川地震可能成因分析：

印度洋板块向欧亚板块俯冲，造成青藏高原快速隆升。高原物质向东缓慢移动，在高原东缘沿龙门山构造带向东挤压，遇到四川盆地之下刚性地块的顽强阻挡，造成构造应力的长期积累，最终在沿龙门山断裂突然释放而造成强烈地震。



建设项目选址特别重要！

http://www.sohu.com/a/237688461_170284

➤ 震撼冲击！一生难得一见的地质动图