



普通地质学

资源与地球科学学院

主讲：郭英海



第七章 地震及地球内部构造

- 地震作用
- 地球的内部构造
- 均衡原理

第七章 地震及地球内部构造

- 地震作用
- 地球的内部构造
- 均衡原理

第一节 地震作用



一、地震

地震是指地壳某个部位的岩层应力突然释放引起的一定范围的地面震动现象。

地震是一种快速、短暂、突发的构造运动，是地壳运动或构造运动的一种特殊形式。



第一节 地震作用

一、地震

1、地震要素

1) 震源

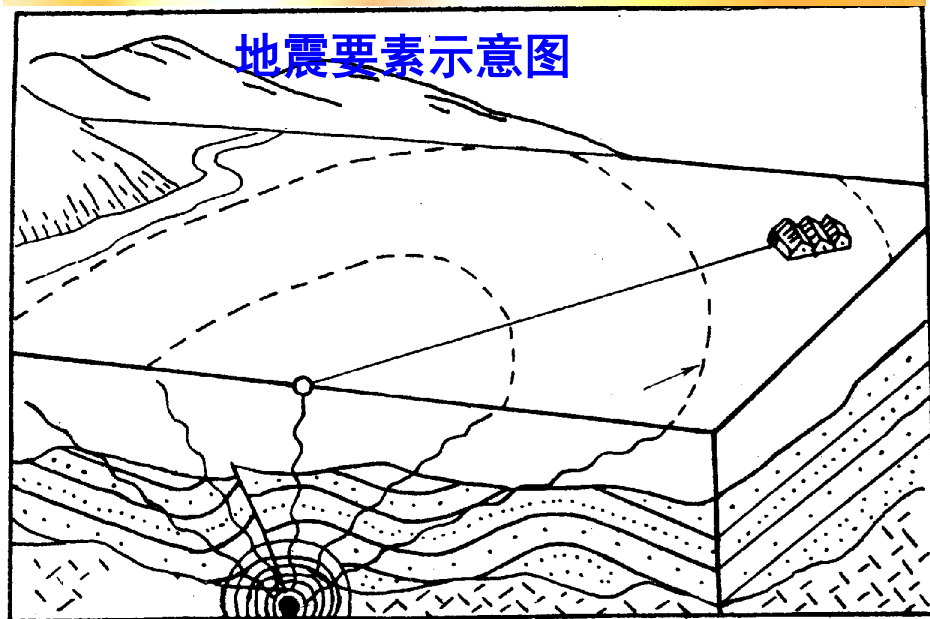
是地球内部能量积聚、引发地震的地方。它不是一个点而是具有一定的范围。

2) 震中

震源上方正对着的地面，是震源在地表的垂直投影点，受震最早。

3) 震中区

震中及其附近地方。



第一节 地震作用

一、地震

1、地震要素

4) 震源深度

震源垂直向上到地表震中的距离是震源深度。

5) 震中距

震中到地面地震台的。

6) 震源距

震源到地面地震台的距离。

7) 等震线

同一地震在地面引起相等的破坏程度（烈度）各点连线。

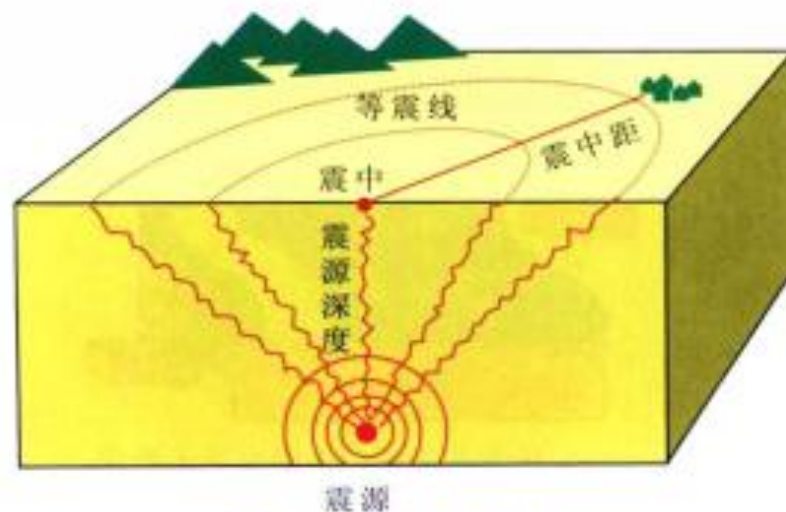


图 7-3 地震要素示意图

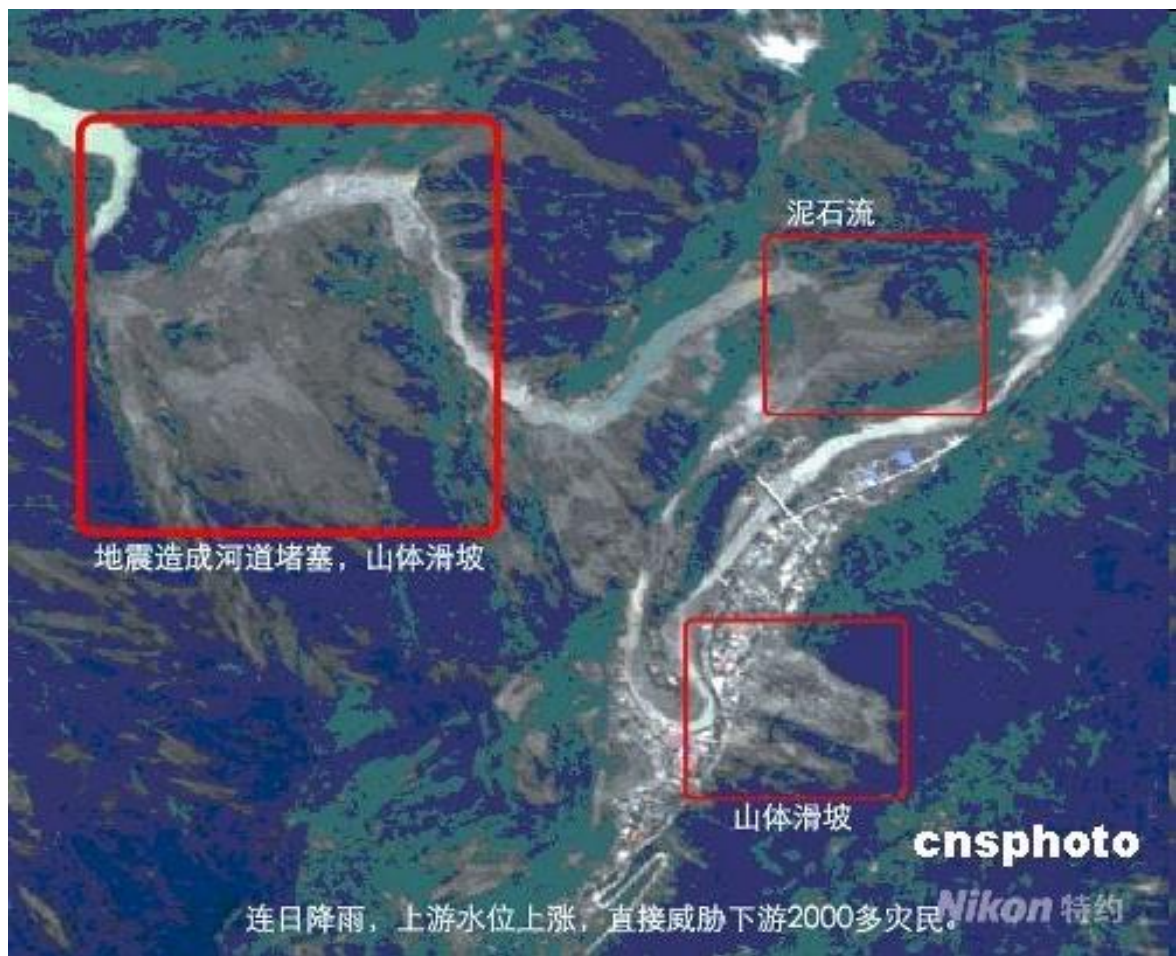
(绘恒力, 2000, 略修改)

第一节 地震作用

一、地震

2、强烈地震的特点

- 1) **突发性**。瞬间、顷刻间完成。
- 2) **破坏性**。山崩地裂、地表升降或错位、河道堵塞决口、海啸。
- 3) **连锁性**。诱发余震、滑坡、泥石流、火灾等地质灾害。





第一节 地震作用

一、地震

3、地震类型

1) 按成因

(1) 构造地震：其原因是地下岩层受地应力的作用。当所受的地应力太大，岩层不能承受时，就会发生突然、快速破裂或错动。岩层破裂或错动时会激发出一种向四周传播地震波，当地震波传到地表时，就会引起地面的震动。世界上85-90%的地震以及所有造成重大灾害的地震都属构造地震。

(2) 火山地震：由于火山爆发引起的地震。

(3) 陷落地震：由于地层陷落引起的地震。

(4) 水库地震：由于水库蓄水、放水引起库区发生地震。

(5) 人工地震：由核爆炸、开炮等人为活动引起的地震。



第一节 地震作用

一、地震

3、地震类型

2) 按震源深度

地震发生在70km以内的称为**浅源地震**；70-300km为**中源地震**；300km以上为**深源地震**。目前，有记录的最深震源达720km。浅源地震破坏力最大。

3) 按震级大小

微震（小于3级）、**弱震**（3-4.5级）、**中强震**（4.5-6级）、**强震**（大于6级）。

4) 按震中距

小于100km为**地方震**、100-1000km**近震**、大于1000km**远震**

5) 按发震时代 现代地震、历史地震、古地震

第二节 地震波与地震仪

二、地震波与地震仪

1、地震波

地震发生时，部分能量以弹性振动波的形式在地球中传播，称为地震波。地震波按传播方式分体波和面波

1) 体波。包括纵波和横波。

(1) **纵波(P-waves)**是推进波简称P波。波动时质点做前后运动，物质呈疏密交替，质点的振动方向与波的传播方向一致。纵波在固态、液态及气态的介质中均能传播。

纵波的速度快，在地壳中的传播速度为 $5.5\sim 7\text{km/s}$ ，是最先到达震中的波，所以又称为初至波。由于它最先到达震中，因而地震时地面总是最先发生上下振动，其破坏性较弱。

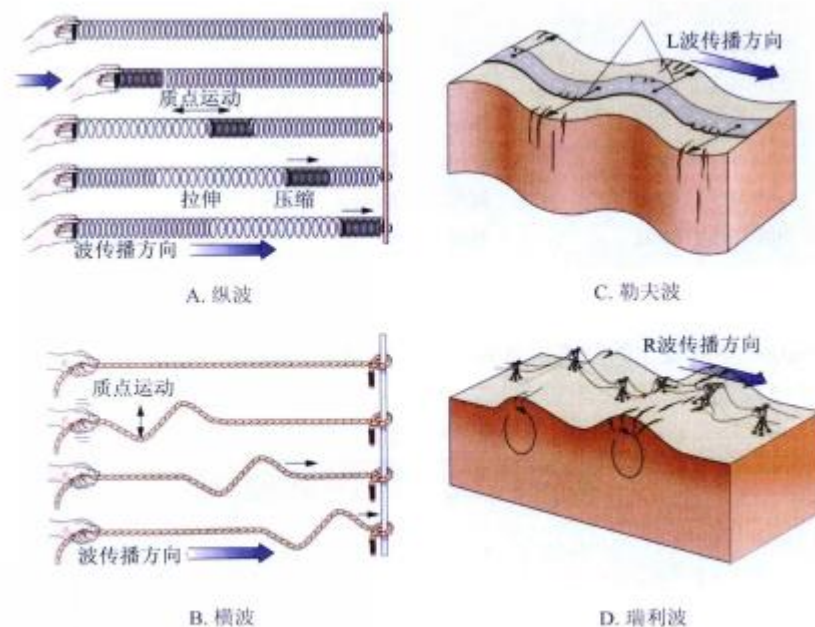


图 7-5 地震波中质点运动方式
(Plummer et al., 2001)

第二节 地震波与地震仪

二、地震波与地震仪

1、地震波

地震发生时，部分能量以弹性振动波的形式在地球中传播，称为地震波。地震波按传播方式分体波和面波

1) 体波。包括纵波和横波。

(2) **横波(S- waves)**是剪切波，简称S波。其波动时质点的振动方向与波的前进方向垂直。横波只能在固体中传播，在地壳中传播速度是 $3.2\sim 4.0\text{km/s}$ ，是在纵波之后到达震中的，因横波是横向振动，当横波到达震中时，地面发生左右振动或前后振动。这种振动方式对建筑物的破坏性较强。

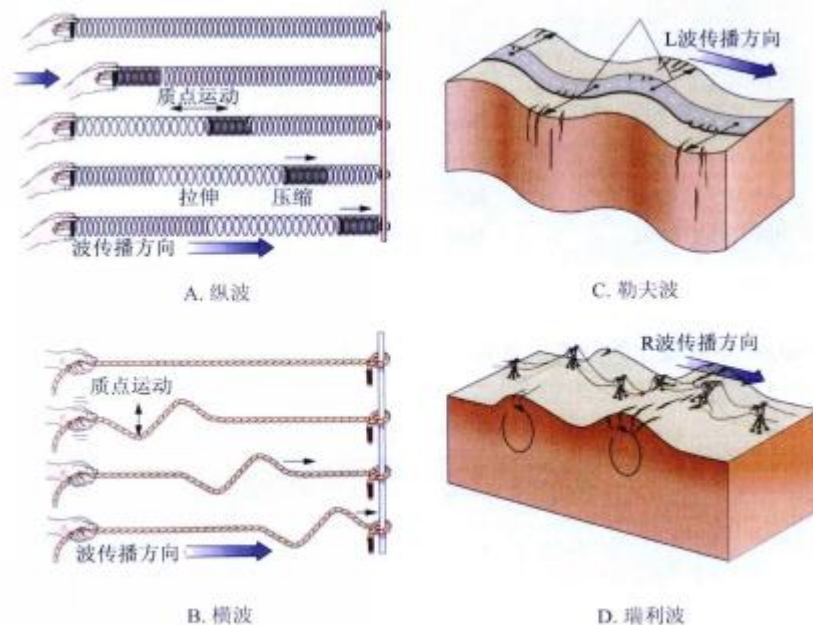


图 7-5 地震波中质点运动方式
(Plummer et al., 2001)

第二节 地震波与地震仪

二、地震波与地震仪

1、地震波

2) 面波

面波是由纵波与横波在地表相遇后激发产生的。它仅沿面(或沿不同介质的界面)传播,不能传入地下。其波长长,振幅大,传播速度比横波小。由于面波的振幅大,因此,它是造成建筑物强烈破坏的主要因素。

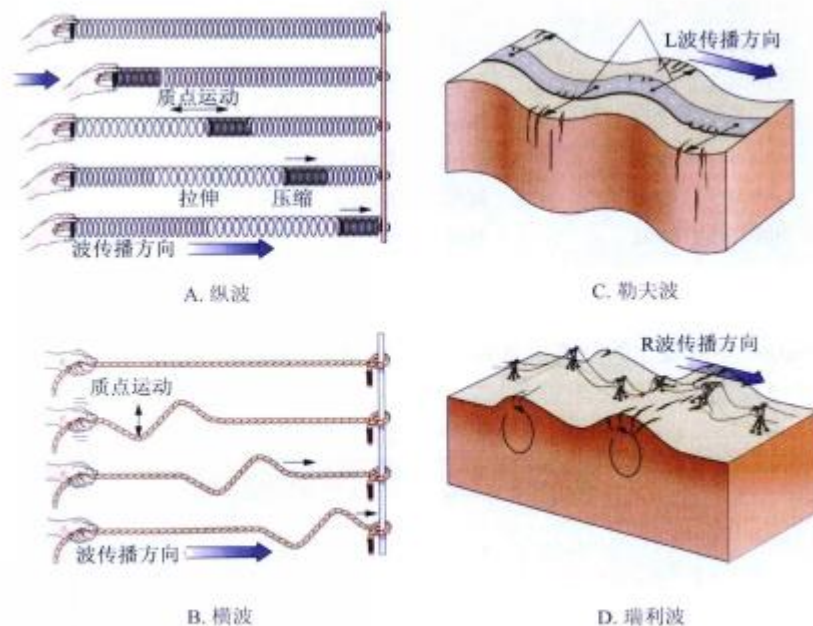


图 7-5 地震波中质点运动方式
(Plummer et al., 2001)

(1) 勒夫波(L波)是振动平行于层的地震横波在物质层中干涉叠加,并在物质层中传播的波。结果导致地面发生一种蛇行状前进的横向波动。

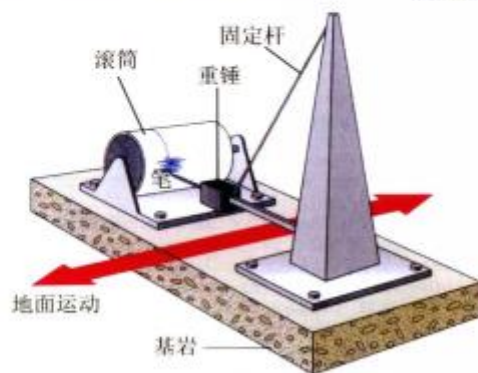
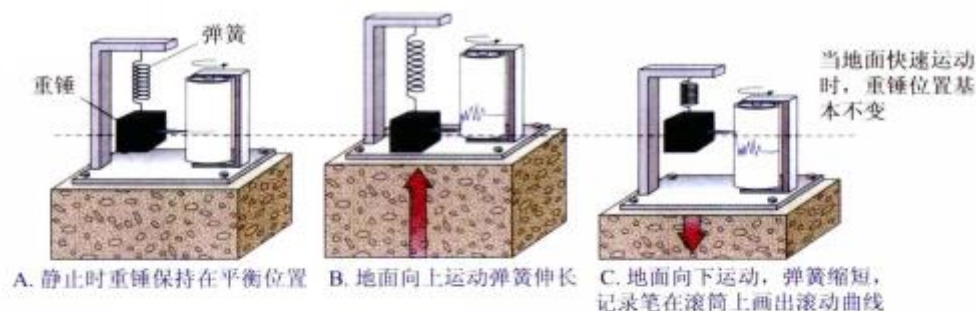
(2) 瑞利波(R波)为平面纵波与平面横波在地表相交或叠加而产生、只存在于半空间表面附近的波。只存在于震中以外的地方地震的破坏性是由地震波造成的,因此,研究地震波就成为研究地震和预报地震的基础工作

第二节 地震波与地震仪

二、地震波与地震仪

2、地震仪

记录地震波的仪器为地震仪。基本原理是利用一件悬挂重物的惯性，地震发生是地面震动而它保持不动。



D. 记录水平方向的振动

图 7-6 地震仪装置原理示意图

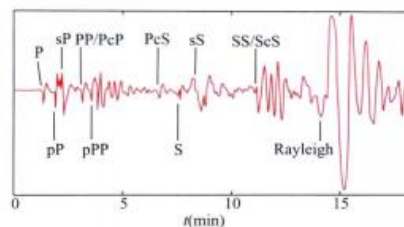
(Plummer et al., 2001)

第二节 地震波与地震仪

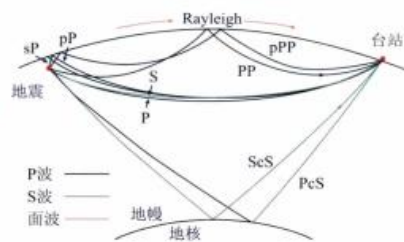
二、地震波与地震仪

2、地震仪

由地震仪记录下来的是一条起伏不同的曲线，表示地震发生的时间、不同性质地震波到达的时间和震动强度等信息，即地震图。



A. 地震记录



B. 相应震相地震波传播路径

图 7-7 地震图

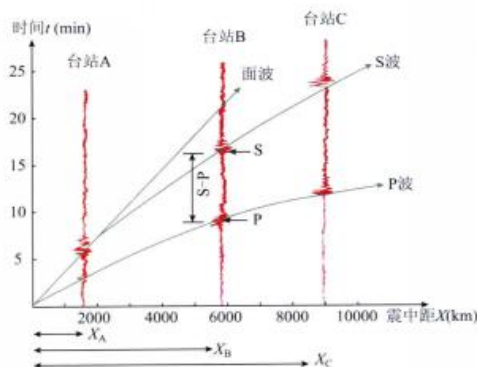


图 7-8 纵波、横波的时差与震中距的关系

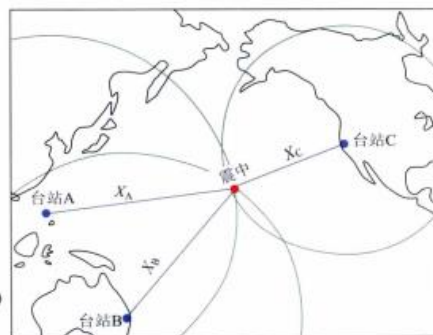


图 7-9 根据三个地震台记录测定震中位置
 X_A —A 站测得的震中距； X_B —B 站测得的震中距；
 X_C —C 站测得的震中距

三、地震强度

地震强度是衡量地震大小的尺度。

1、地震烈度

指地震对地面和建筑物的破坏程度。我国将其分为12度。

小于3度—震感弱，只有仪器能记录到；

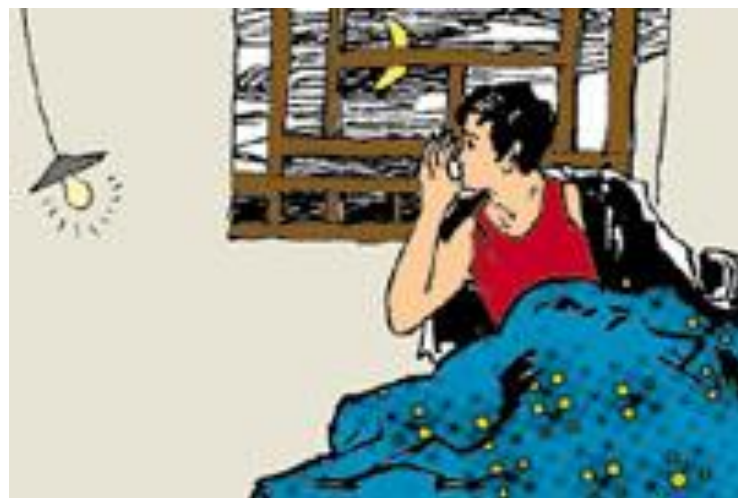
3—5度—有震感，睡觉的人惊醒，吊灯摆动，无破坏；

6度—器物倾倒，房屋有轻微破坏；

7~8度—房屋严重破坏，地面裂缝，人畜大量伤亡；

9~10度—房倒屋塌地面破坏严重

11~12度—毁灭性的破坏，房屋普遍倒塌，山崩地裂。



第一节 地震作用

三、地震强度

地震强度是衡量地震大小的尺度。

2、地震震级

指地震能量的大小的等级。是地震的基本参数。

震源释放出来的波能越大，震级越大。

震级 < 1级为超微震；

1~3级为弱震或微震；

3~4.5级为有感地震；

4.5~6级中强地震；

6~7为强震；

≥7 ~8级为大地震。

≥8级称巨大地震

震 级 与 烈 度 对 应 关 系 （参 考）

震 级	2	3	4	5	6	7	8	>8
震 中 烈 度	1~2	3	4~5	6~7	7~8	9~10	11	12

第一节 地震作用



三、地震强度

3、地震地质作用

孕震阶段——地应力的积累

临震阶段——震情异常，地下水异常

发震阶段——能量的释放

余震阶段——新平衡的建立

三、地震强度

3、地震地质作用

7) 地震导致的灾害

建筑物与构筑物的破坏。如房屋倒塌、桥梁断落、水坝开裂、铁轨变形等等。

地面破坏。如地面裂缝、塌陷，喷水冒砂等。

山体等自然物的破坏。如山崩、滑坡等。

海啸。海底地震引起的巨大海浪冲上海岸，造成沿海地区的破坏。

地震引起的间接灾害有：火灾、水灾、瘟疫等。1932年日本关东大地震，直接因地震倒塌的房屋仅1万幢，而地震时失火却烧毁了70万幢。

第一节 地震作用

三、地震强度

3、地震地质作用

1976年7月28日，河北省唐山、丰南一带发生7.8级强烈地震。唐山市文化路青年宫砖混结构的二层楼房，7.8级地震时倒塌一层，7.1级地震时除四根门柱外，全部坍塌。





1999年9月21日凌晨1时47分，台湾省南投县集集发生7.6级大地震，震源深度10公里左右。该区有许多活断层，开始是“双冬断层”发生活动，同时牵动相邻的车笼埔断层的大规模滑动，导致断层沿岸地区的灾难性破坏，大部分地段被夷为平地。财产损失92亿美元。

地震后水坝被震塌



1999年9月21日凌晨1时47分，台湾省南投县集集发生7.6级大地震，震源深度10 km左右。该区有许多活断层，开始是“双冬断层”发生活活动，并牵动相邻的车笼埔断层的大规模滑动，导致断层沿岸地区的灾难性破坏，大部分地段被夷为平地

第一节 地震作用

四、地震（带）分布

1、全球地震带分布

主要分布在四个地震带上：

- a、环太平洋地震带
- b、地中海—印尼地震带
- c、洋脊地震带
- d、陆内变形带

用地震仪测出的地震，每年全球约50万次，其中有感地震10万次，造成破坏的1000次，而7级以上，足以造成巨大灾害的有十几次。

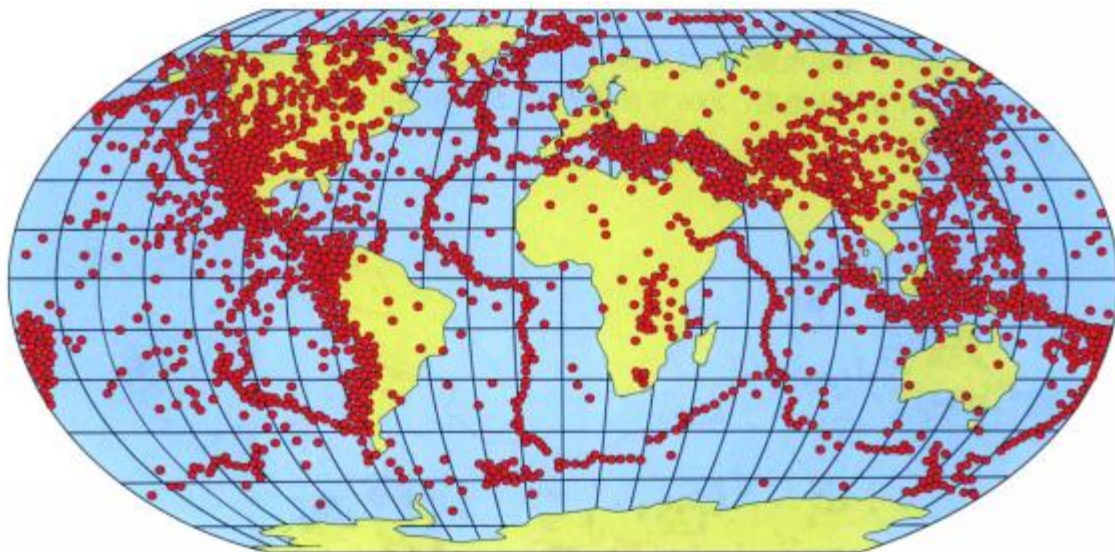
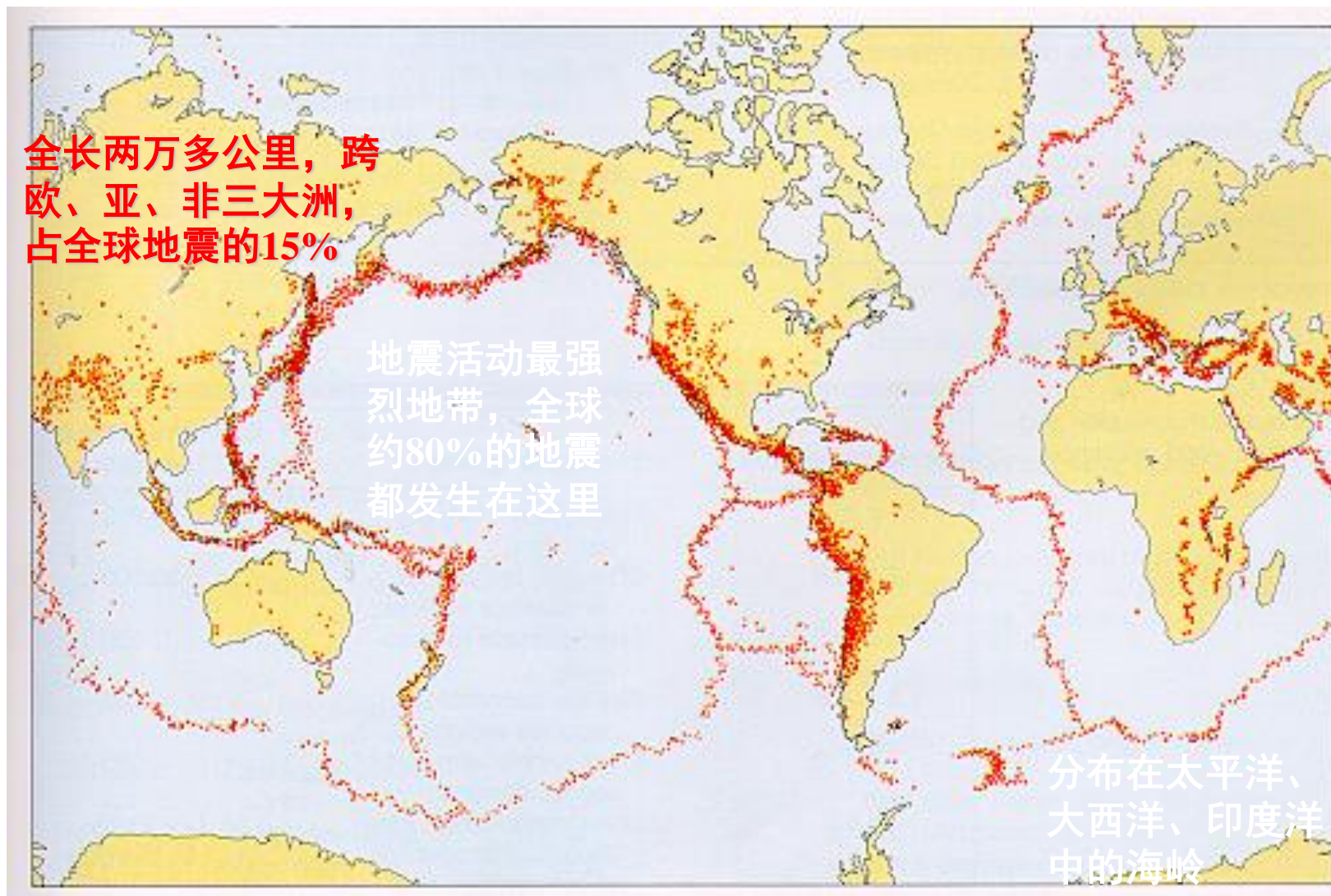


图 7-11 1995-2001 年世界地震震中的分布

第一节 地震的基本概念



世界地震带分布

第一节 地震作用

四、地震（带）分布

2、我国地震带分布

中国位于世界两大地震带—环太平洋地震带与欧亚地震带之间，受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压，地震断裂带十分发育。是地震频繁的国家。

20世纪以来，中国共发生6级以上地震近800次，遍布除贵州、浙江两省和香港特别行政区以外所有地区。



第一节 地震作用

四、地震（带）分布

2、我国地震带分布

主要分布在临近环太平洋地震带、贺兰山-六盘山-龙门山-横断山地震带、我国西部地震带。

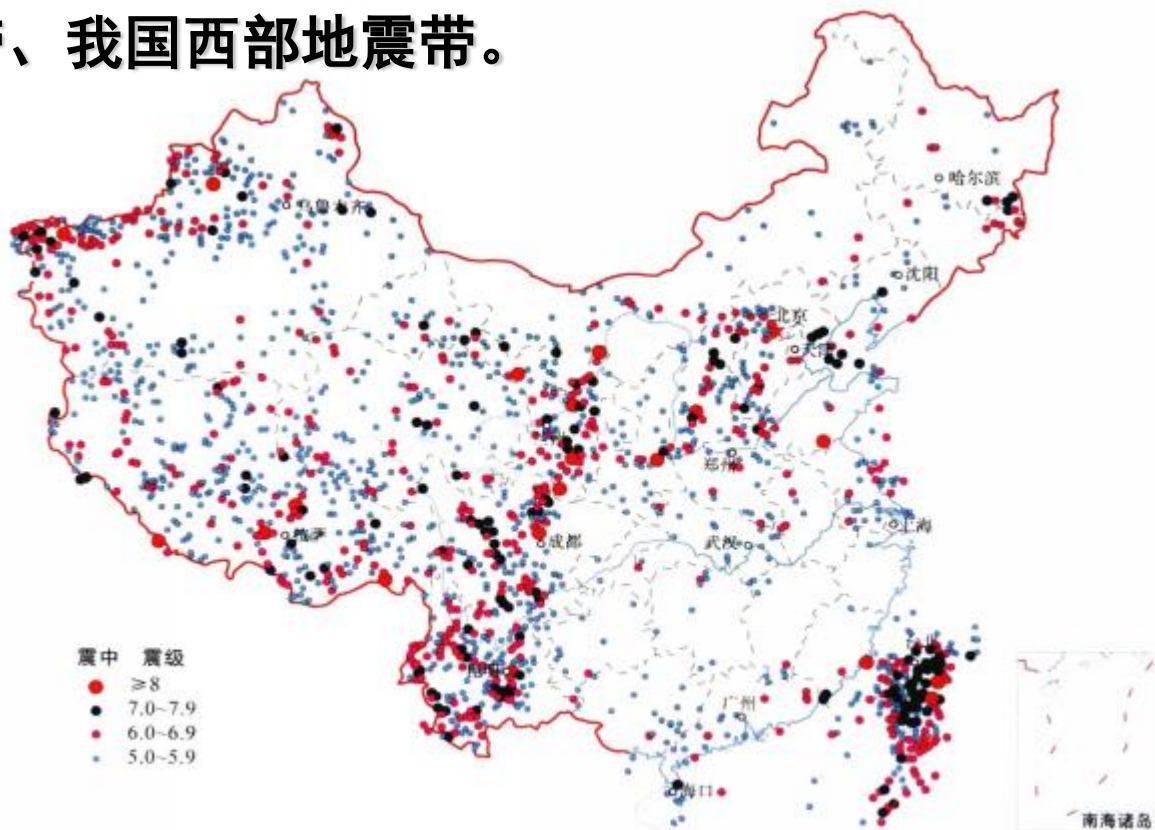


图 7-12 中国地震震中的分布
(徐恒力, 2009)

第一节 地震作用

五、地震预防与预报

1、地震预报

公元132年，在京师（河南洛阳）太史令张衡发明了世界上第一架地震仪，可观测到发生地震的时间和方位。

近代地震仪在1880年才制成，它的原理和张衡地动仪基本相似，但在时间上却晚了1700多年。



五、地震预防与预报

1、地震预报

1966年**邢台地震**（6.8-7.2级）后，李四光**力排众议**，提出加强布署**地震台站**监测地壳内部**地应力**分布状态，积极开展预报。

1975年2月**人类历史上首次成功预报了7.3级海城地震**，事先组织撤离，避免人员伤亡和财产损失。

1999年11月29日12时10分，辽宁海城市和岫岩县发生**5.6级地震**，中午前数小时通知居民疏散，无人员伤亡。是又一次成功的短临预报。

[illegible]

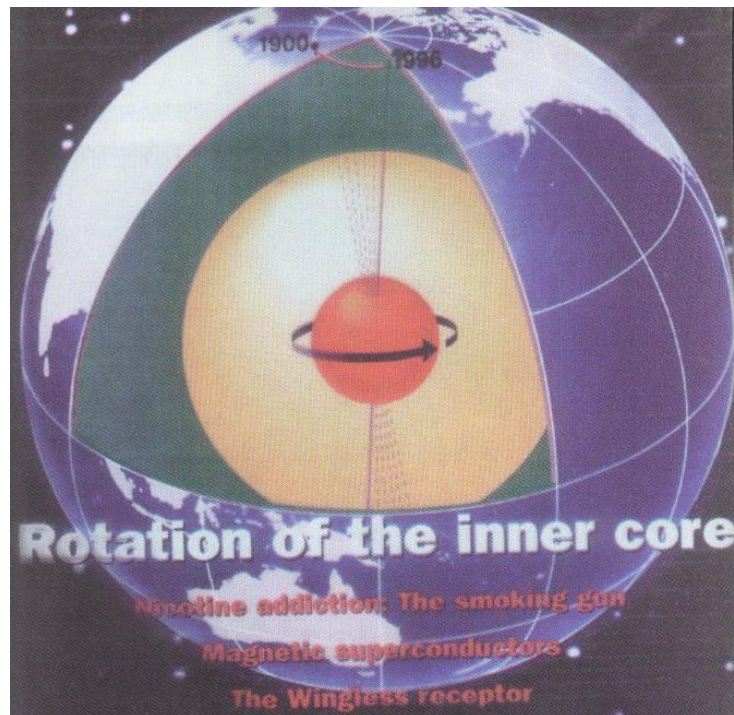
系统，中国
南沙群岛
Nansha Qundao
的能力，
南海诸岛
South China Sea
群岛

第七章 地震及地球内部构造

- 地震作用
- *地球的内部构造*
- 地球的物理性质
- 重力均衡原理



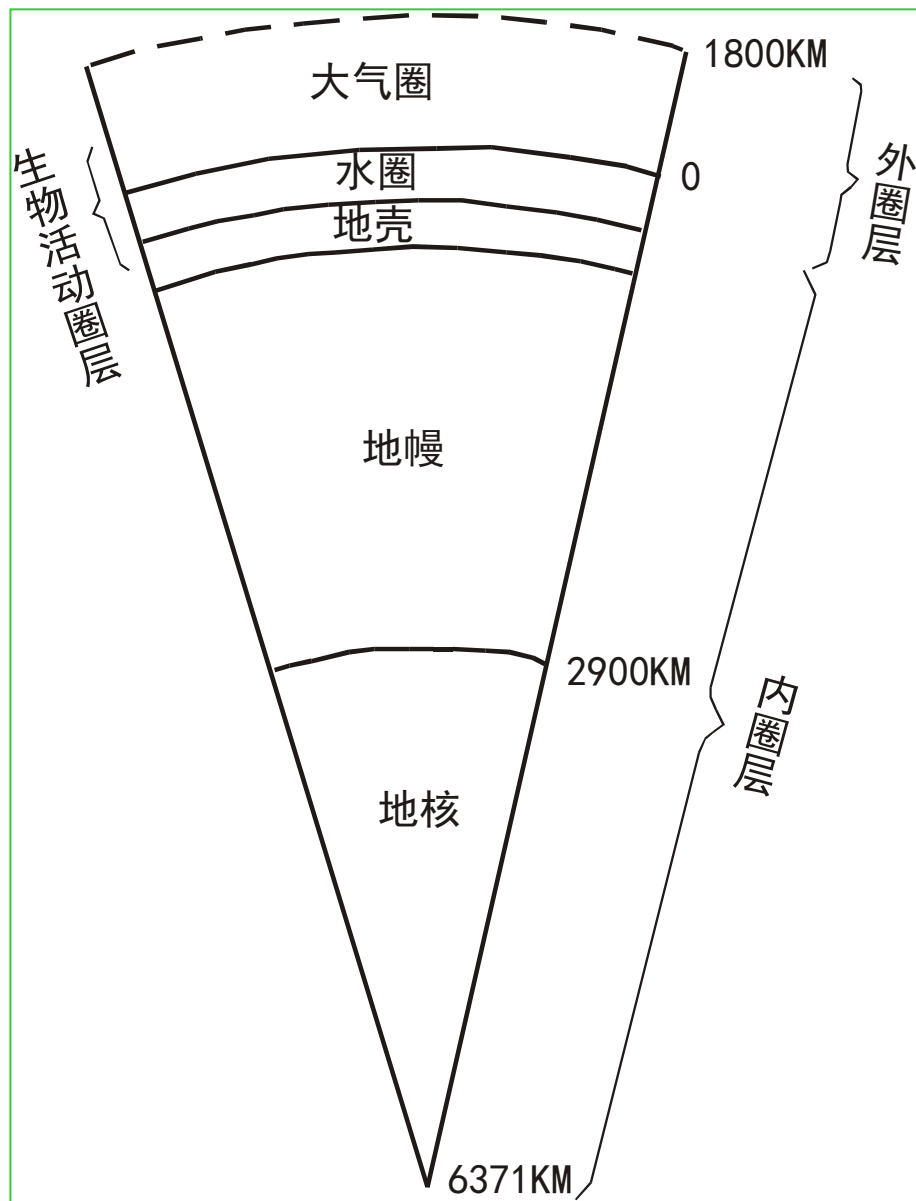
第二节 地球的内部构造



第三节 地球的内部构造

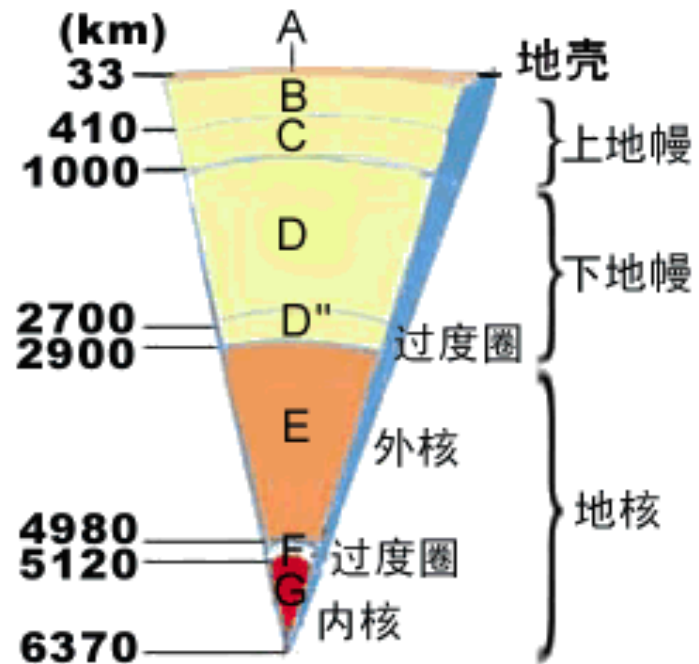
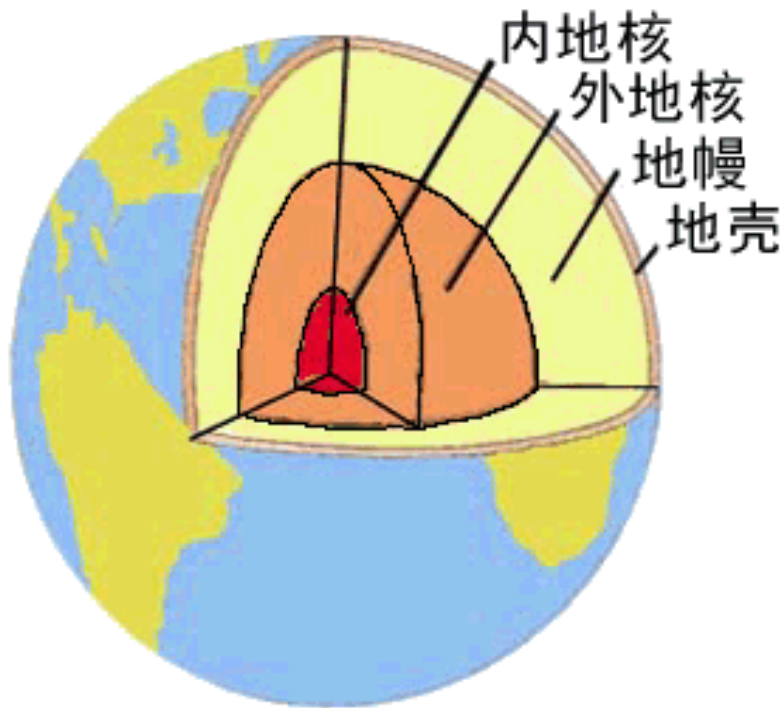
地球不是一个均质体，而是具有同心结构的。以地表为界可划分为内圈和外圈。

其中，外圈包括**大气圈、水圈和生物圈**；内圈分别以**莫霍面**和**古登堡面**为界划分为**地壳、地幔和地核**。



第三节 地球的内部构造

地震波通过地球内部后再反射回地面、并被地震仪所记录，对了解地球内部构造起到了重要作用。



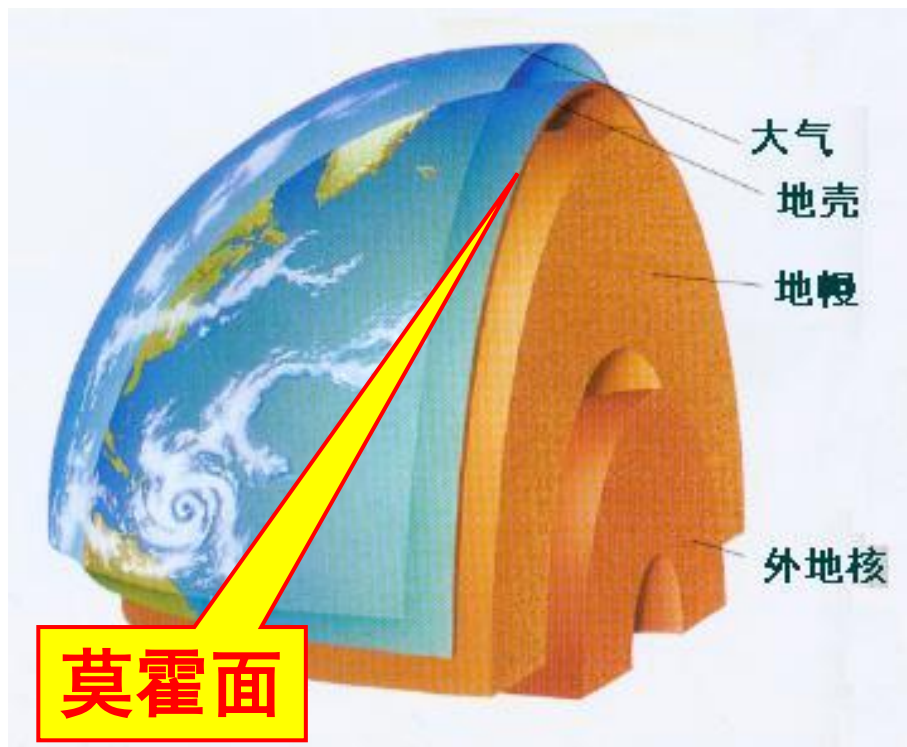
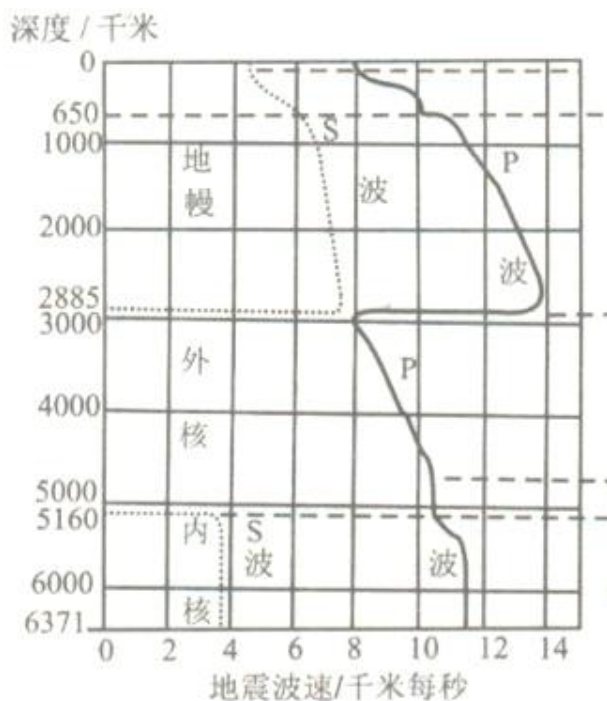
地球内圈分别以**莫霍面**和**古登堡面**为界划分为**地壳**、**地幔**和**地核**。

第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

1、莫霍面

南斯拉夫地震学家莫霍洛维奇 (Mohorovicic, 1857-1936) 1909年研究萨拉布地区一次地震时发现现在地下33km处地震波的波速发生了明显的变化, 由原来的6~7km/s突变到8km/s, 说明组成物质明显不同。



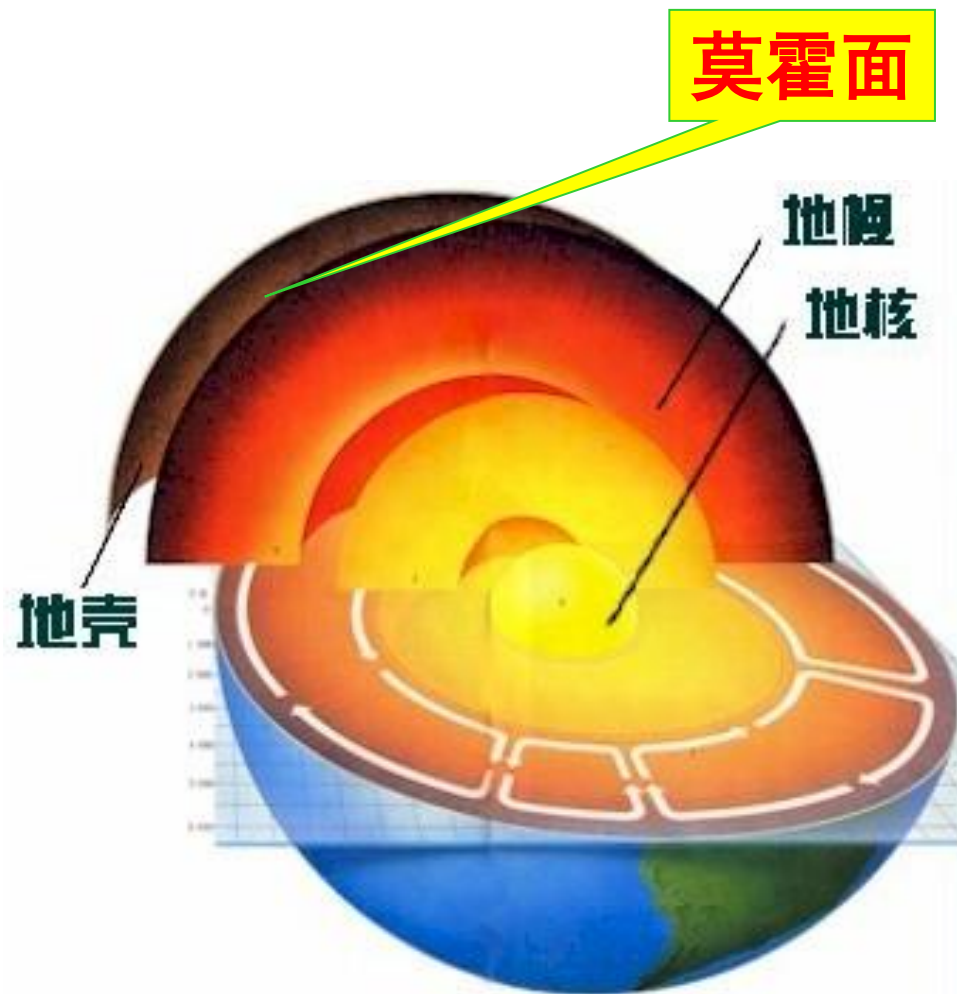
第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

1、莫霍面

持续的研究发现，这一界面具有全球性，并经证实是地壳和地幔的分界线。该不连续面称**莫霍面**。

莫霍面在大陆地区深度约在20~70km左右，大洋地区7~8km之间，平均33km。

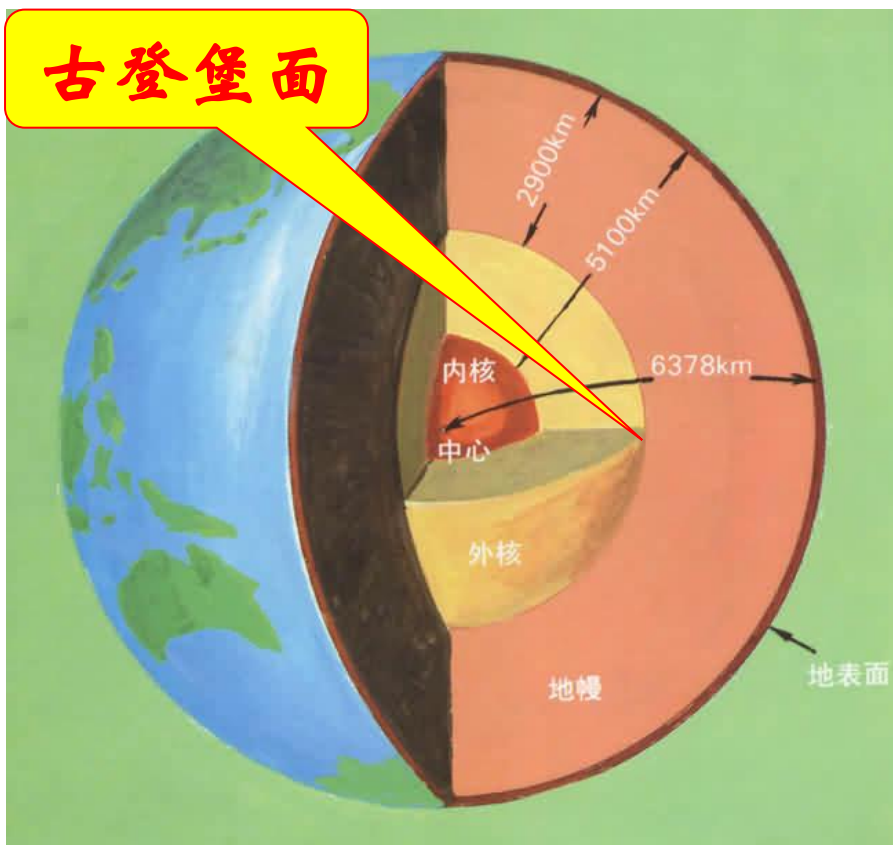
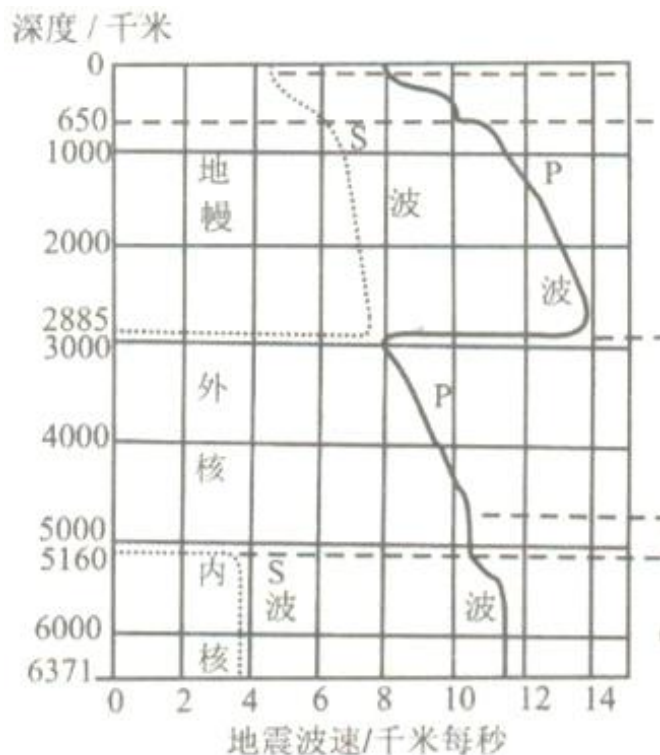


第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

2、古登堡面

1914年，美籍德裔学者古登堡(Gutenberg, 1889—1960)发现地下2900km处存在地震波速的间断面。



第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

2、古登堡面

首先，是发现地表2900km，纵波发生反射与折射，出现纵波的波的阴影区，解释为存在地核。

其次，是传播速度发生了明显变化，纵波存在一次由13.6 km/s突然降低为8.06km/s的截面，横波突然消失。

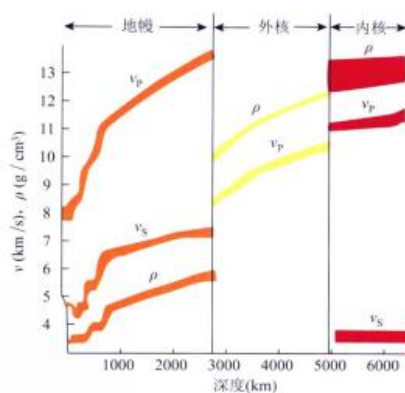


图 7-13 地球内部地震波速度与密度分布

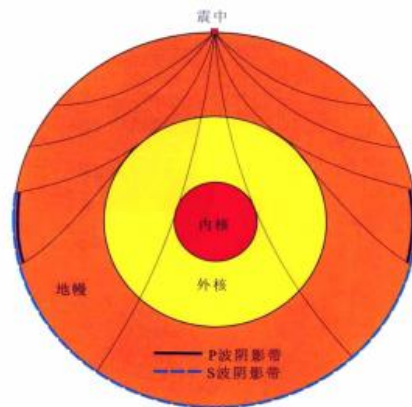
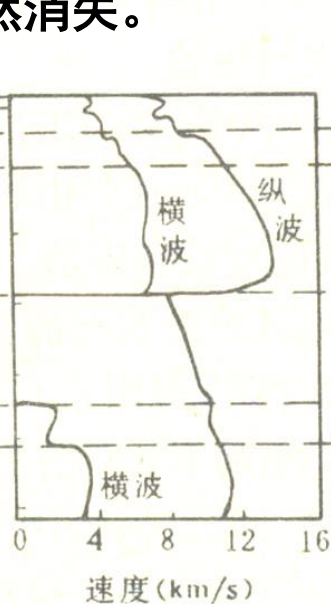
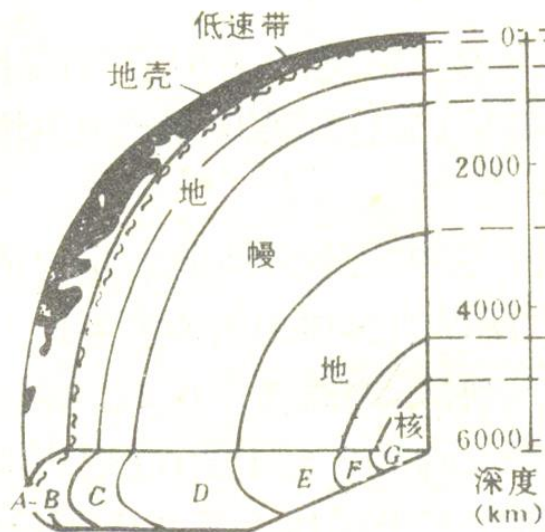


图 7-14 地球内部地震波传播路径示意图

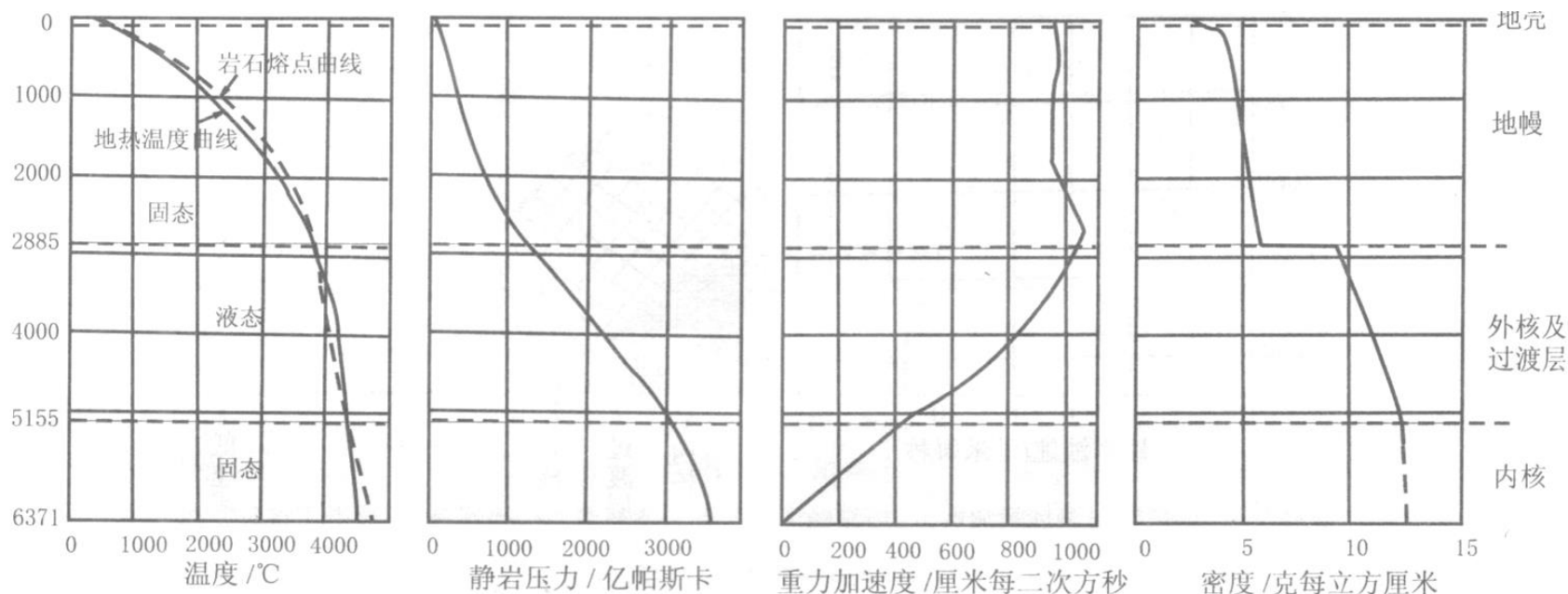


第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

2、古登堡面

另外，物质的密度、熔点、重力等在该深度都发生相应的变化。后证实这是地核与地幔的分界层。该不连续面称为古登堡面。



第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

3、康拉德面

地壳内部存在纵波速度由6.0 km/s突变为6.6km/s，称康德拉面，康德拉（1925）将地壳分为上部花岗岩层和下部的玄武岩层。

但前苏联在科拉半岛实施的12km的超深钻探未发现这一界面。

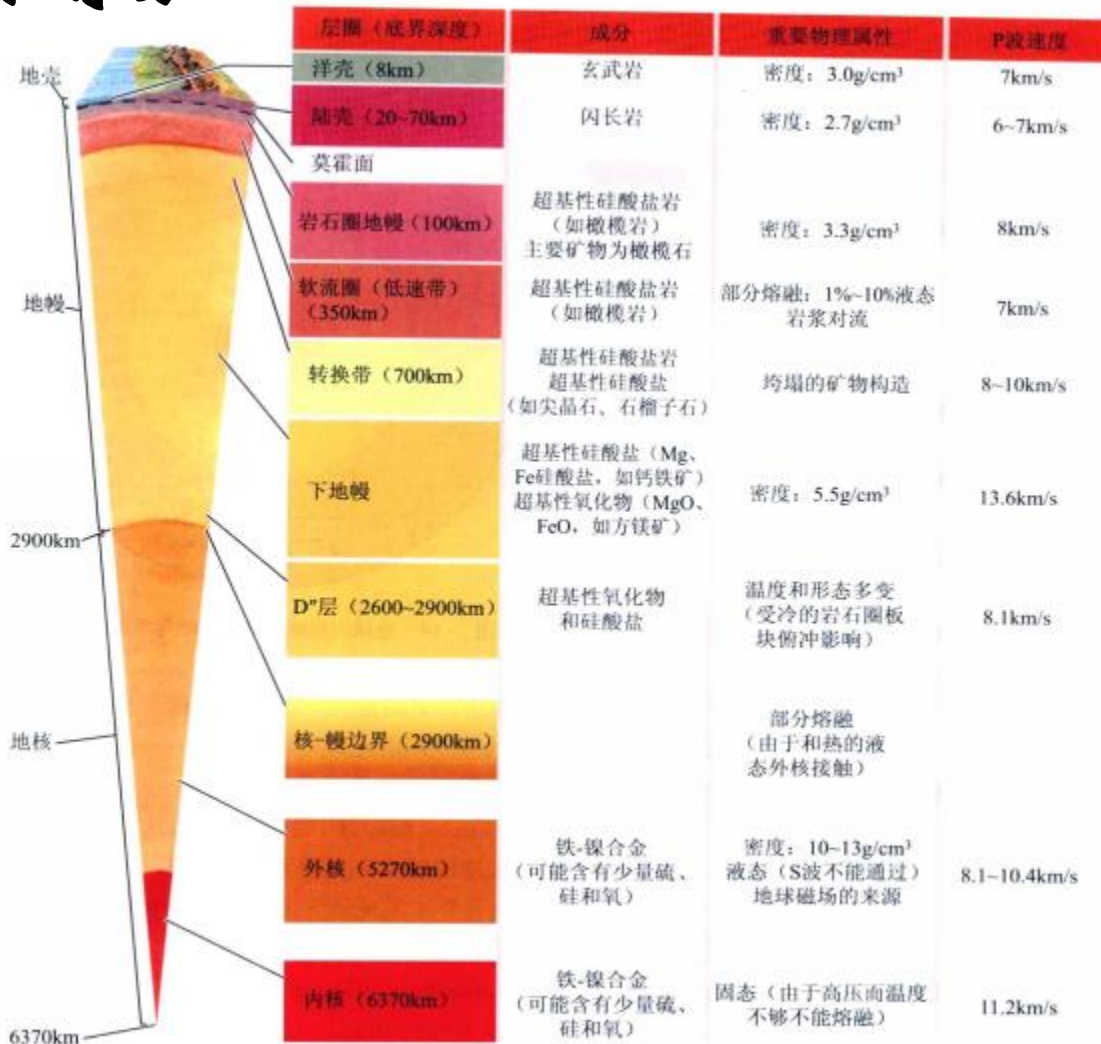


图 7-15 地球分层与各圈层物理特征
(Stanley et al., 2007)

第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

4、上下地幔界面

地下约670km处，纵波速度突然加快，存在密度差异，将地幔分为上、下地幔。

5、内外地核界面

地下约5120km处纵波速度突然增加，地核分液态外核与固态外核。

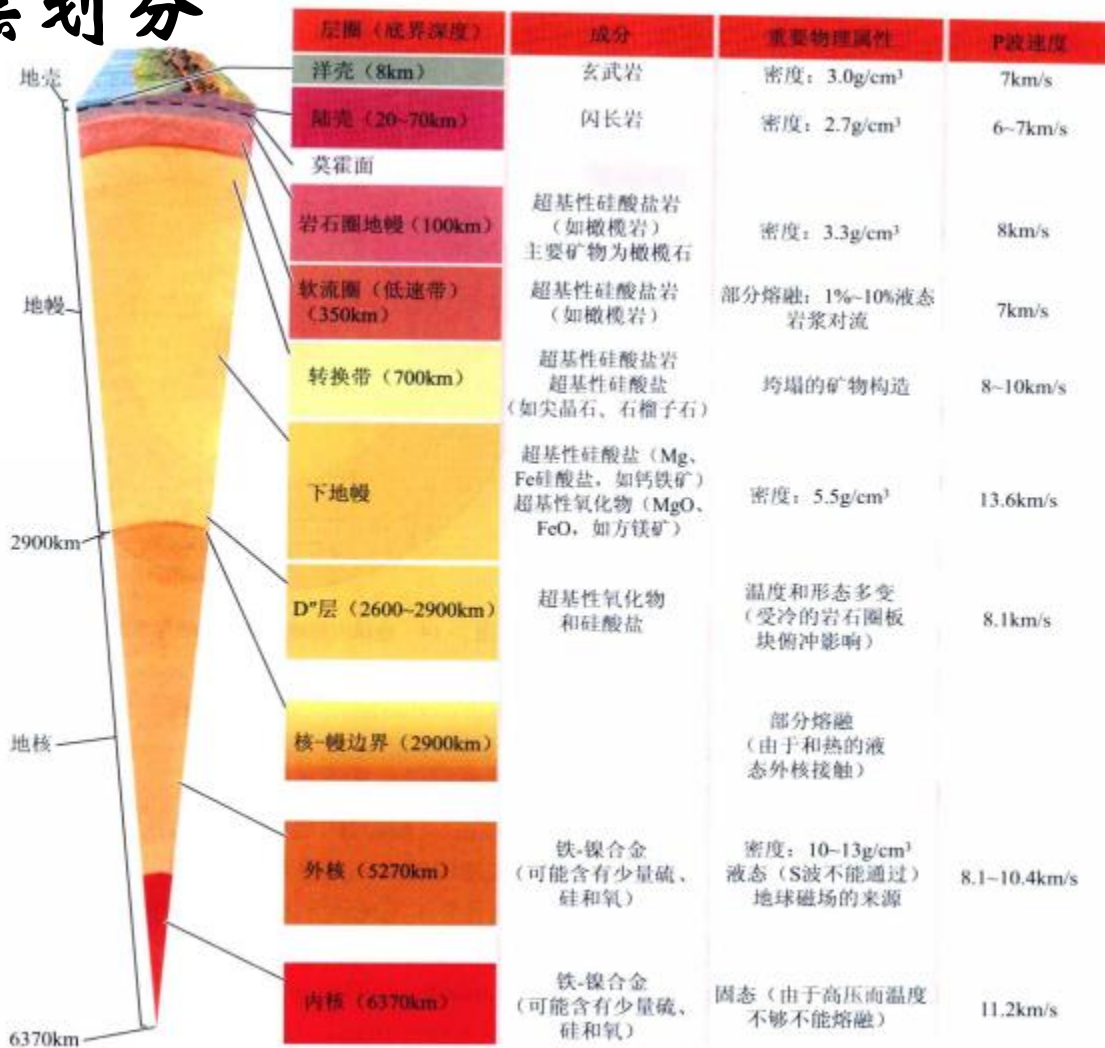


图 7-15 地球分层与各圈层物理特征
(Stanley et al., 2007)

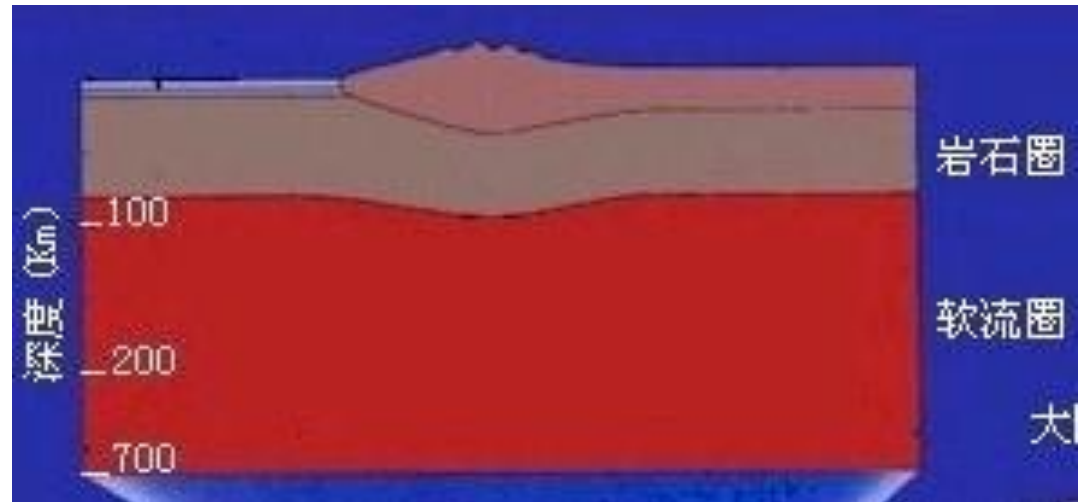
第三节 地球的内部构造

二、地球内部圈层划分

6、岩石圈与软流圈界面

上地幔上部，存在一个地震低速层，深度一般在地表以下约70-220km纵波速度降低，在低速层内，地震波速比上部减少5% - 10%，表明该处岩石强度较低，密度低、软、可能局部熔融易发生塑性流动。这个低速层被称为**软流圈**。

软流圈以上、岩石强度较大的部分，包括地壳和上地幔顶部。称为**岩石圈**。

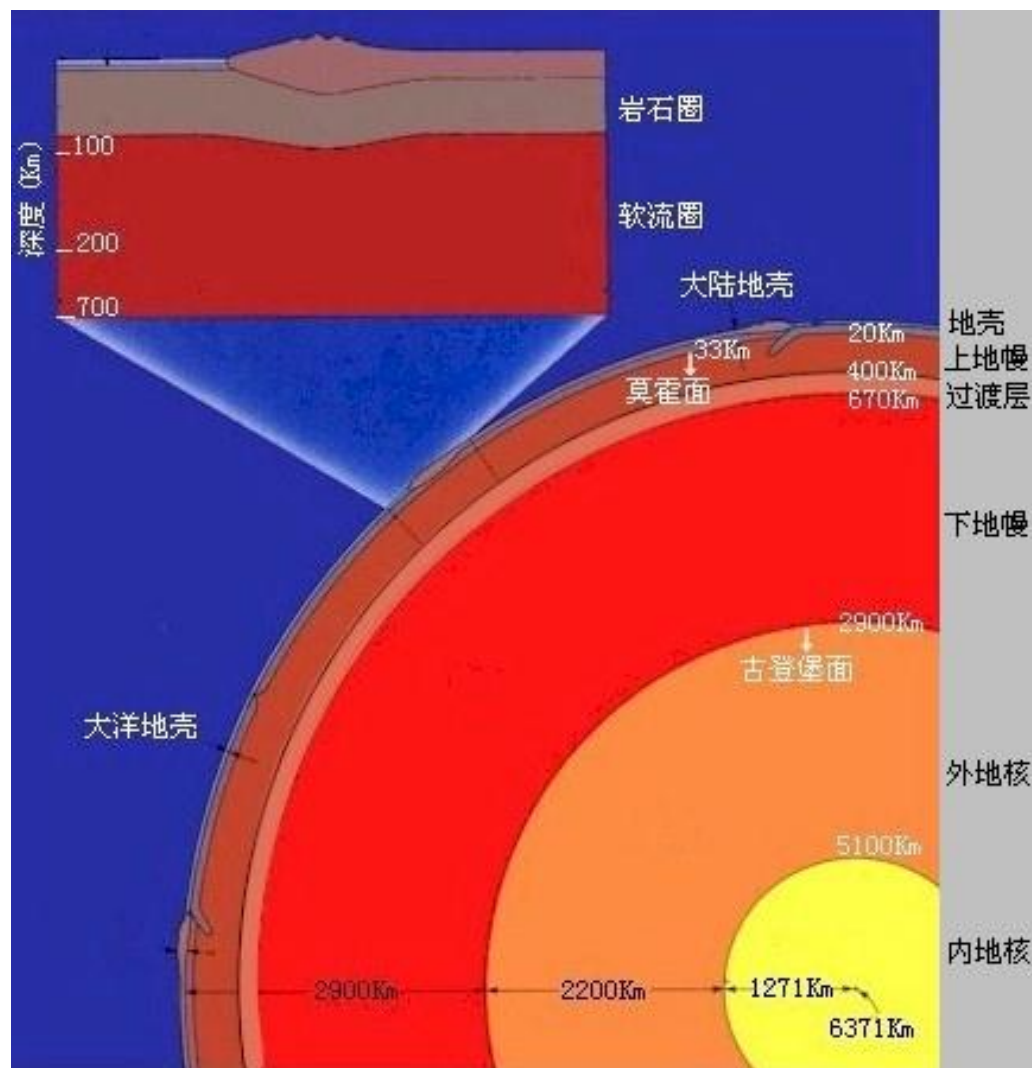


第三节 地球的内部构造

二、地球内部层划分

地球内部圈层分别以莫霍面和古登堡面为界划分为地壳、地幔和地核。

其中，地幔包括上地幔、过渡层和下地幔，地核分外地核和内地核两部分。



第三节 地球的内部构造

- 地壳** 是莫霍面以上的地球表层。其厚度变化在5-70 km之间。其中大陆地区厚度较大，平均约为33km；大洋地区厚度较小，平均约7 km；总体的平均厚度约16km。地壳物质的密度一般为2.6-2.9g/cm³。**大陆地壳（上地壳）**主要为富硅铝的硅酸盐矿物所组成，常称为硅铝层；**大洋地壳（下地壳）**主要为富硅镁的硅酸盐矿物所组成，常称为硅镁层，因其比重较大，主要分布洋底地壳或大陆地壳的下部。
- 地幔** 莫霍面与古登堡面之间的一个巨厚圈层。其厚度约2900km。平均密度为4.5g/cm³。根据次级界面可分为上地幔和下地幔。**上地幔**：从莫霍面至地下1000km，平均密度为3.5g/cm³，成分主要为含铁镁质较多的超基性岩。在上地幔的上部100-350km存在一个由柔性物质组成的圈层称为**软流圈**（地震波的低速带）。此**软流圈**之上的固态岩石圈层称为**岩石圈**。**下地幔**：地下1000km至古登堡面之间，平均密度增大为5.1g/cm³，成分仍为含铁镁质的超基性岩，但铁质的含量增加。
- 地核** 古登堡面以下地心的一个球体。半径为3480km。地核的密度达9.98~12.5g/cm³。其成分以铁镍物质为主。根据其状态可分为外核和内核。**外核**：物态为液态，其成分除铁镍外，可能还有碳、硅和硫；**内核**：物态为固态，其成分为铁镍物质。

I级圈层	II级圈层	剖面柱	状态
地壳	大陆地壳		岩石圈（固态）
	大洋地壳		
莫霍面			
地幔	上地幔		软流圈（柔性）
	下地幔		固态
古登堡面			
地核	外核		液态
	内核		固态

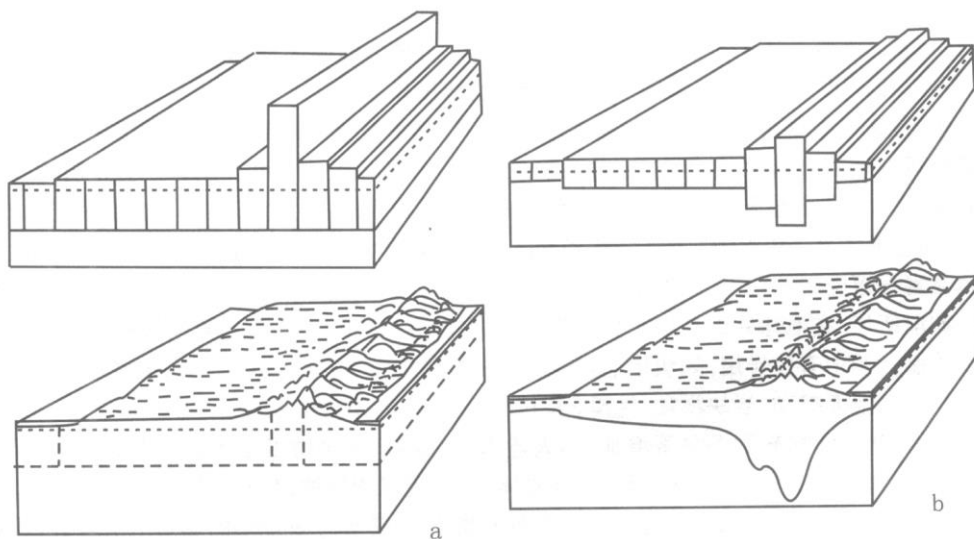
第四节 均衡原理



一、对地壳厚度不一、地形起伏的解释

1、英国人普拉特（1855）：地表的高山和平原均“浮”在一个水平面之上（均衡补偿基面），地壳不同部分的岩石密度不同所引起的浮力差异，通过高差来补偿。

2、艾里（1855）：地表的高山和平原密度类似，高的部位下沉的深度大、受到的浮力也大；低的部位下沉的深度小，所受到的浮力也小——山根说。



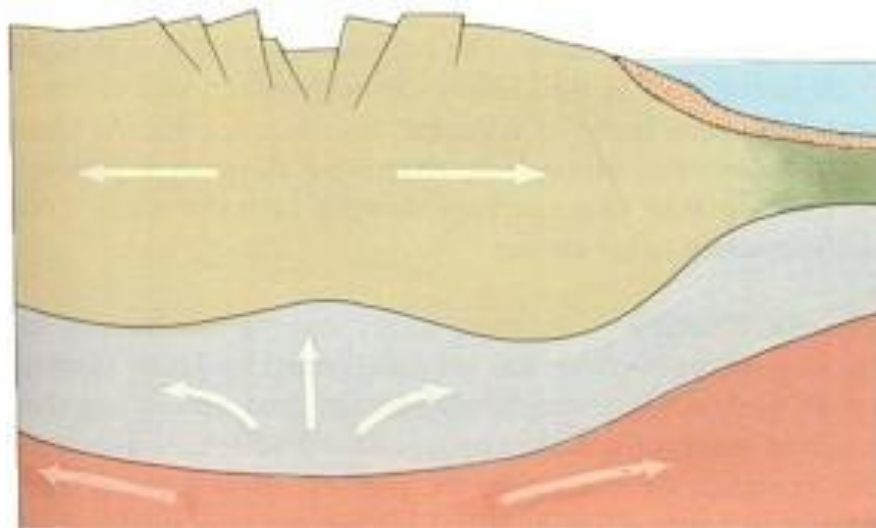
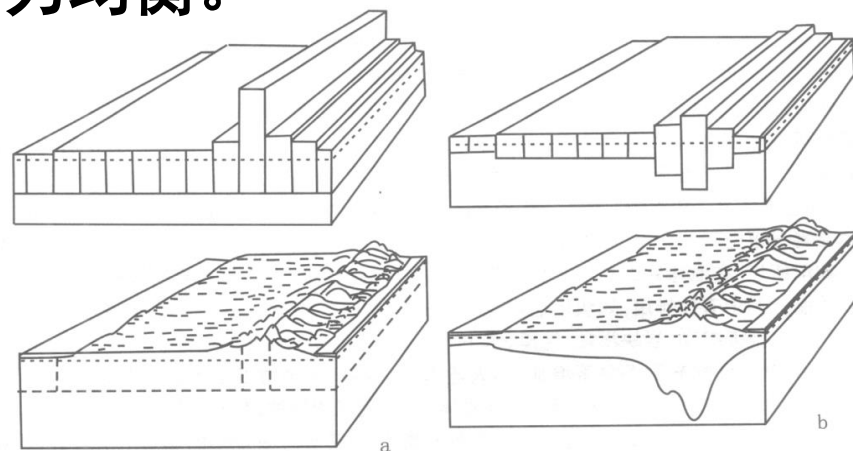
重力均衡补偿假说

二、重力均衡

从地下某一深度算起，相同截面所承载的表面岩石柱体的总质量应趋于相等，称为重力均衡。

地壳均衡既不是一种力，也不是一个过程，它是地壳各部分之间建立一种平衡状态的普遍趋势。

地壳单位体积内物质质量越大，沉陷在地幔里的部分也就越深，高原和高山的地壳就要比平原和盆地更深地陷入地幔。

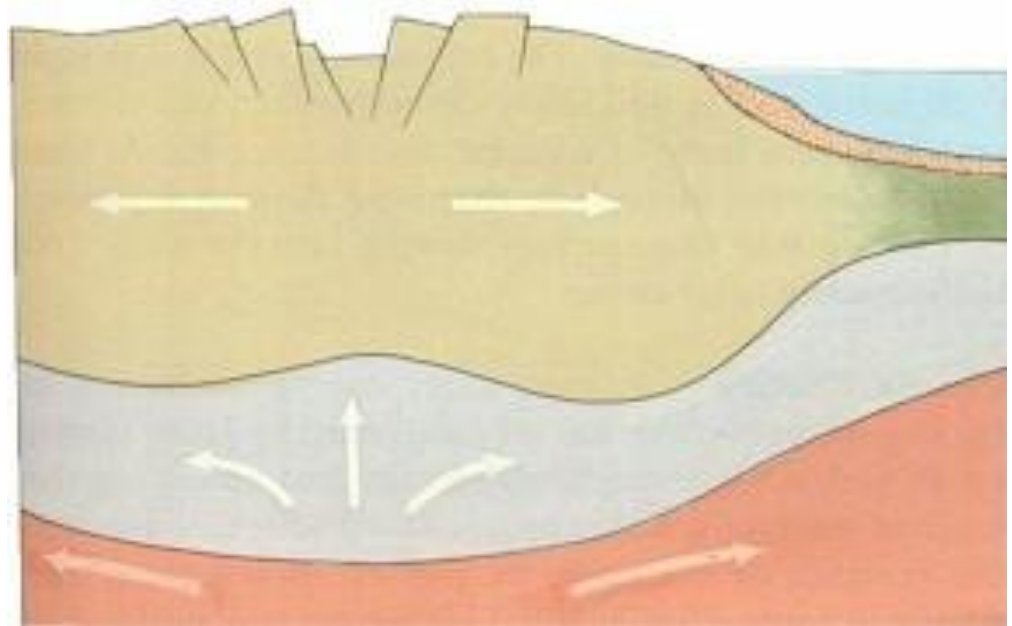


第四节 均衡原理

均衡异常值很小，表明该处地壳基本上处于均衡状态。

正均衡异常是指山脉下部较轻岩石的增多对地表山脉隆起的质量补偿不足，存在着质量亏损，也即莫霍面在山下凹陷得还不够，还不足以补偿山脉的隆起，这也就意味着山脉正在隆升、并将进一步隆升。

负均衡异常是指莫霍面凹陷过深，浅部岩石过多地补偿了地形的隆起，这意味着该区正在下沉，并将继续下沉。



三、重力均衡在地球演化中的作用

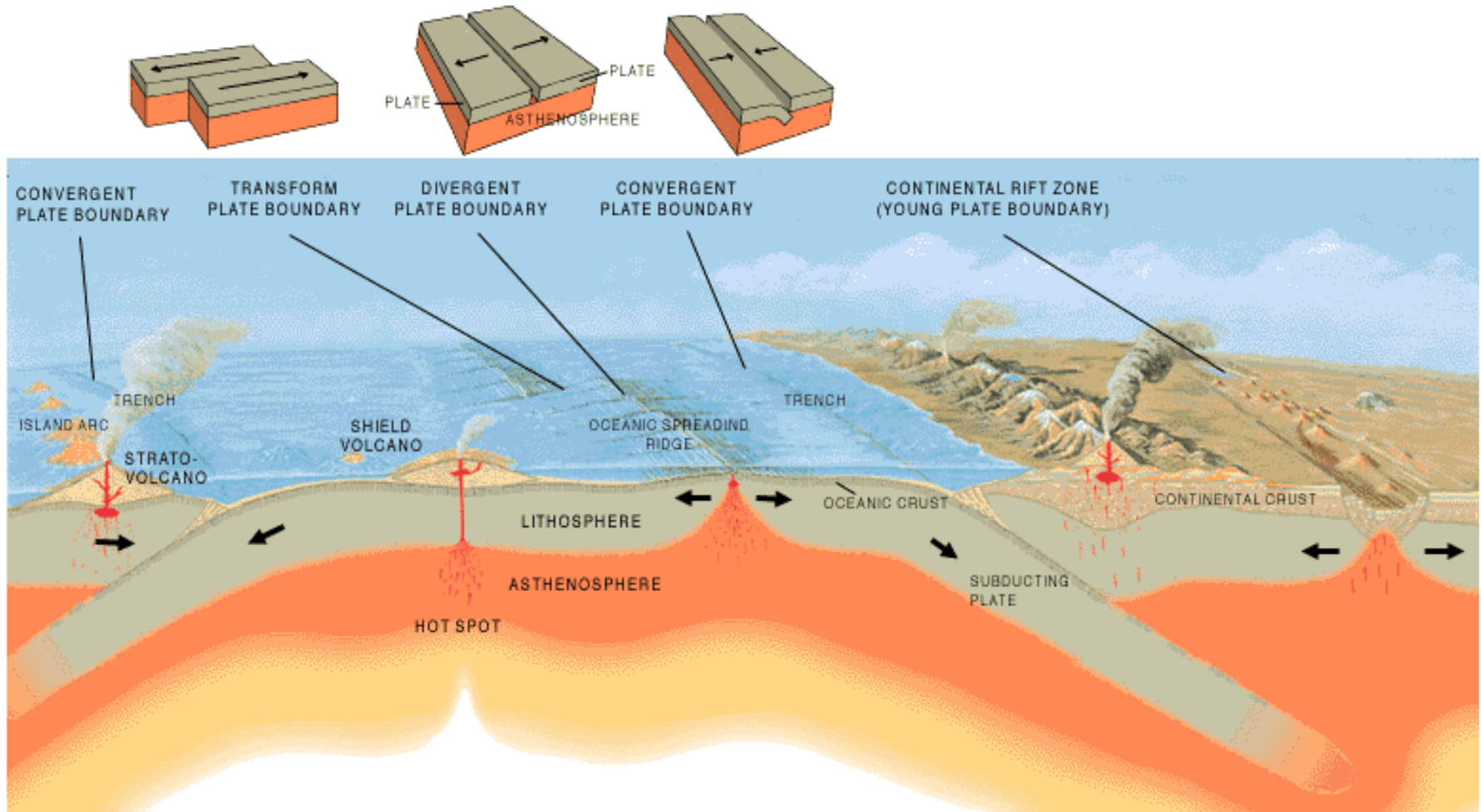
重力对地球各圈层的形成与演化，主要起到了趋向平衡与稳定的作用，但同时又会在趋向均衡的过程中造成一些圈层间或圈层内部的相互作用。

地球表面物质发生显著的增加或亏损时，地球内部物质便会发生重新调整。



第四节 均衡原理

在两个岩石板块会聚地区，由于地壳密度较小的岩石大量的会聚在一起时地壳厚度加大，同时，风化剥蚀作用加强。

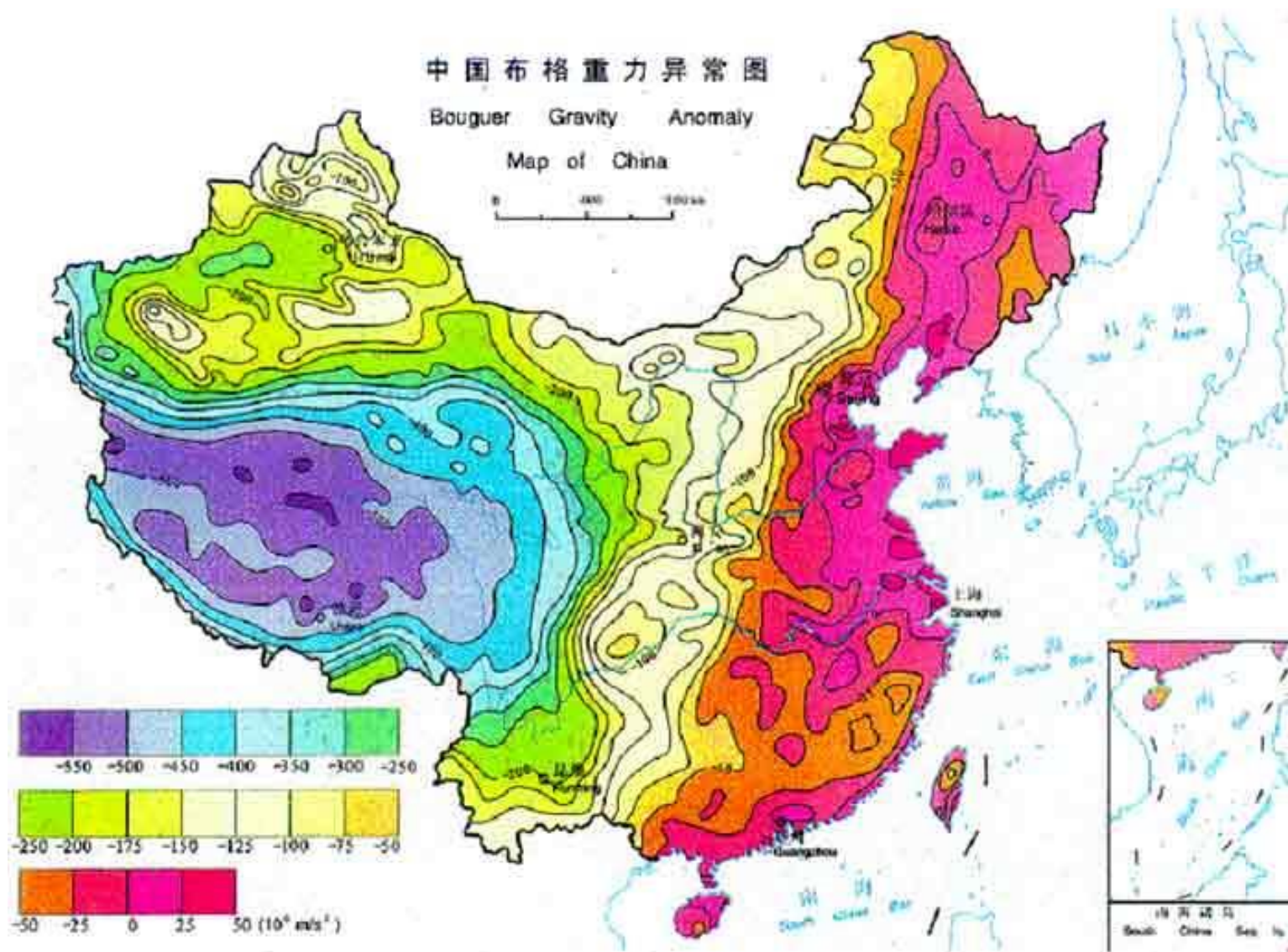


第四节 均衡原理

喜马拉雅山地区，因地壳物质的补偿作用不足，以每年2cm的速度抬升！

世界最高峰——珠穆朗玛峰





1、地震作用

(1) 地震要素、地震类型、地震波类型及特征、地震强度-震级、烈度

(2) 地震地质作用及危害

(3) 地震带分布

(4) 地震的预防预报

2、地球的内部构造

(1) 地球内部圈层的划分

(2) 莫霍面和古登堡面

(3) 地壳、地幔、地核

3、均衡原理



谢谢大家!

