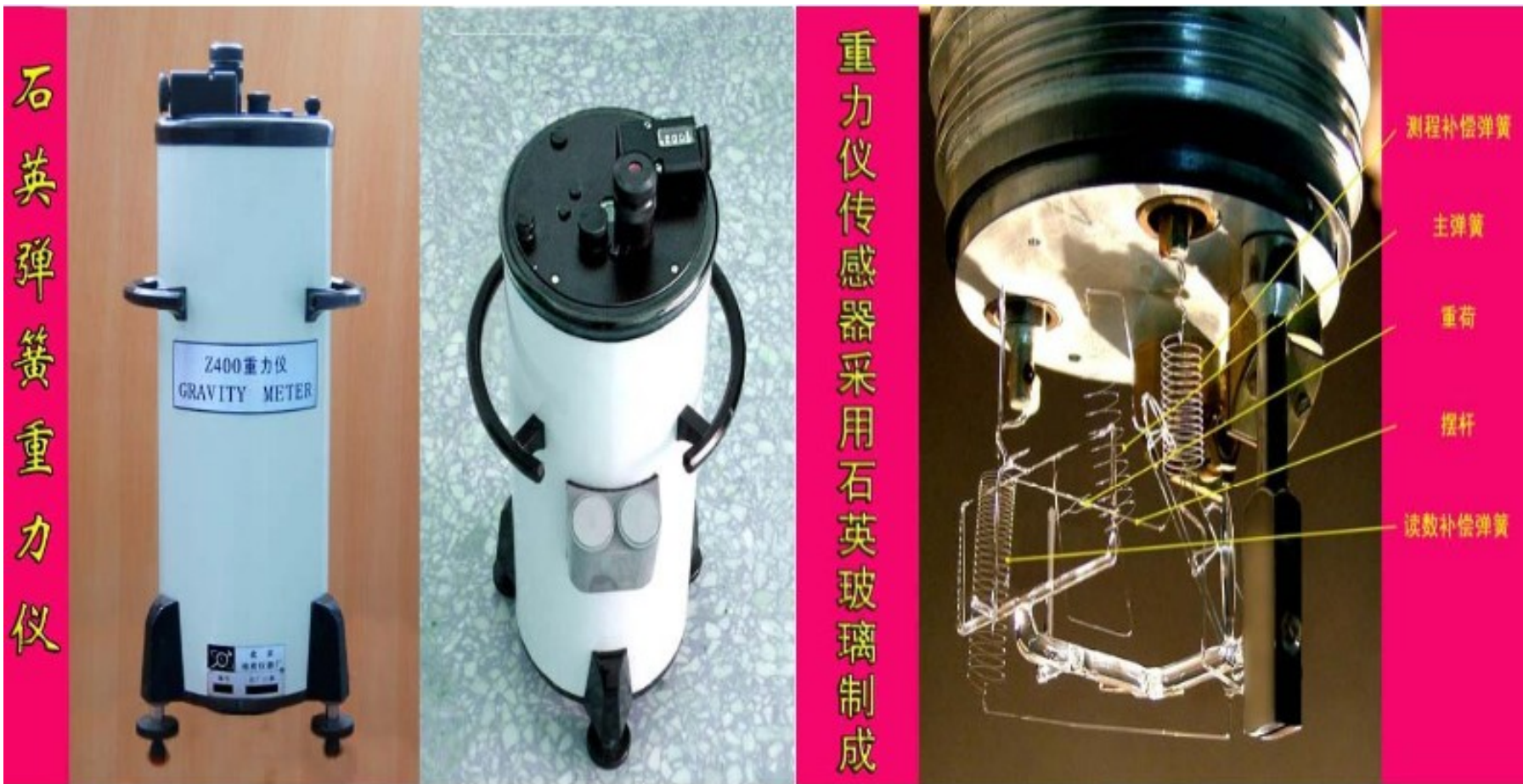
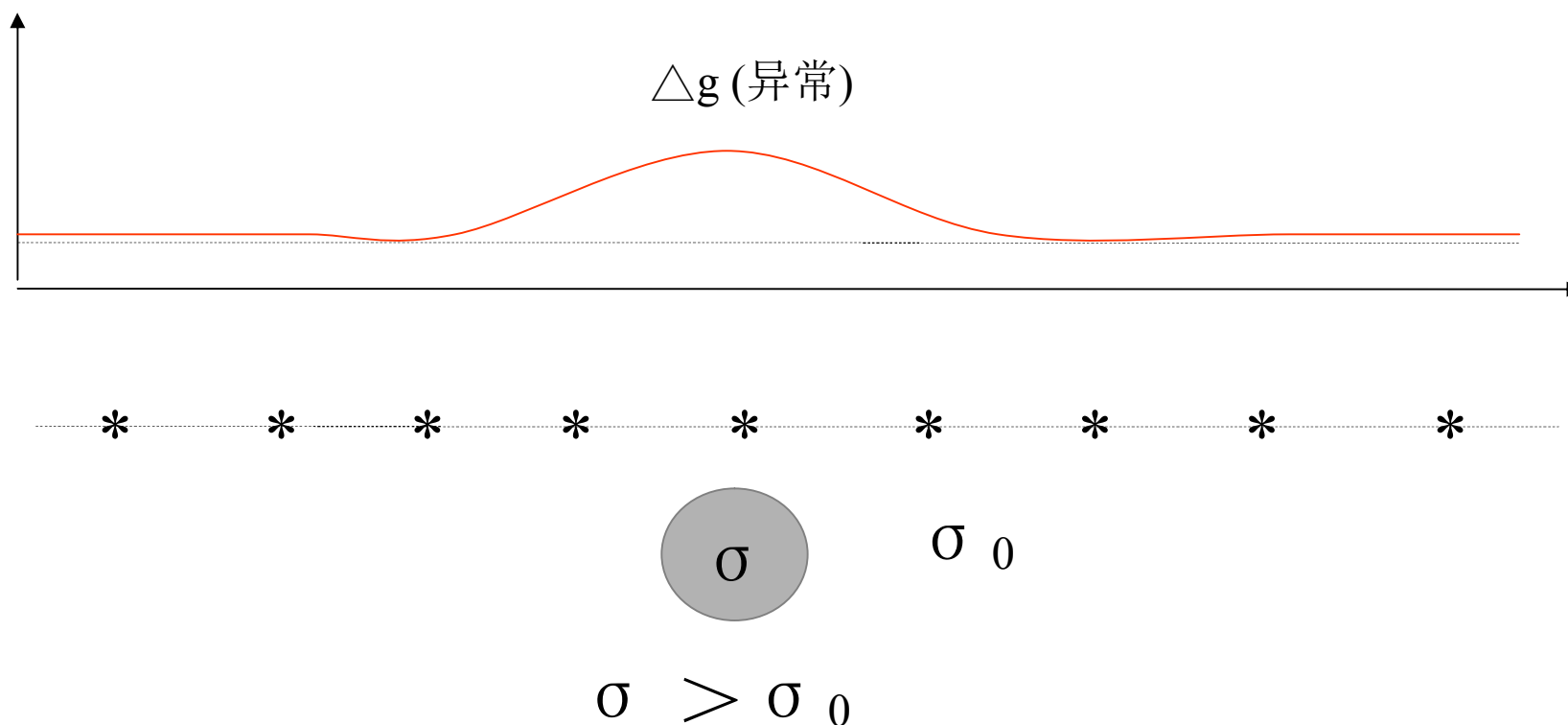


重力勘探 (Gravitational Prospecting)



重力勘探：是以岩、矿石**密度差异**为基础，观测和研究由于密度差异引起的地球正常重力场的局部变化（即重力异常），达到解决地质问题的一种勘查技术手段。



第一节 重力勘探的理论基础

一、重力场 (gravity field)

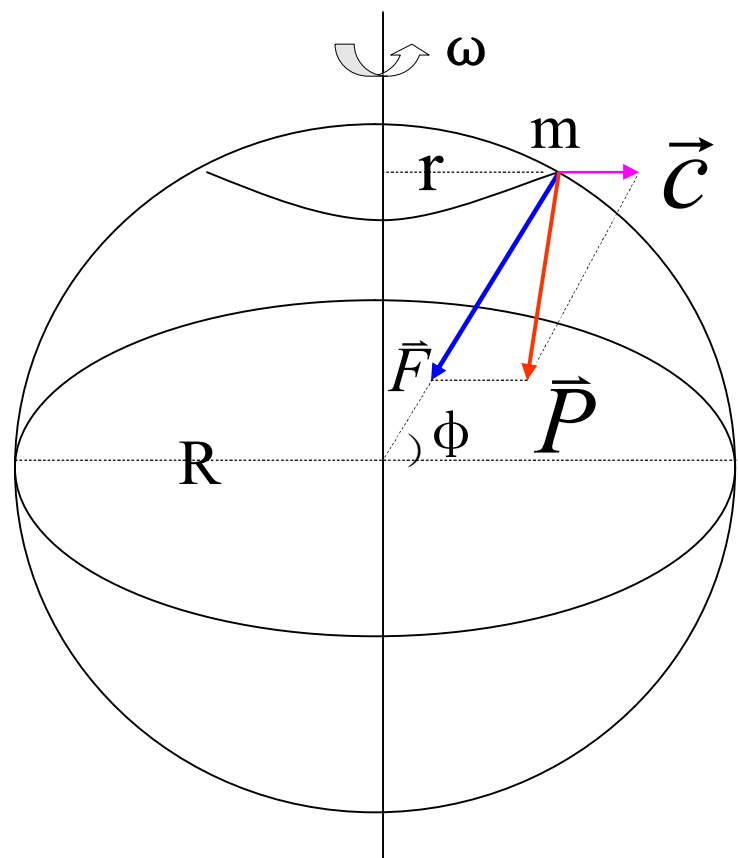
(一) 重力 (gravity)

$$\vec{P} = \vec{F} + \vec{C}$$

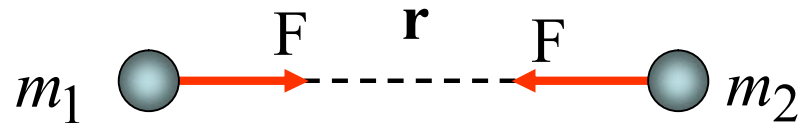
\vec{P} — 重力

\vec{C} — 惯性离心力,

\vec{F} — 地球质量对物体m的引力,



而引力 F 服从万有引力定律，即：



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

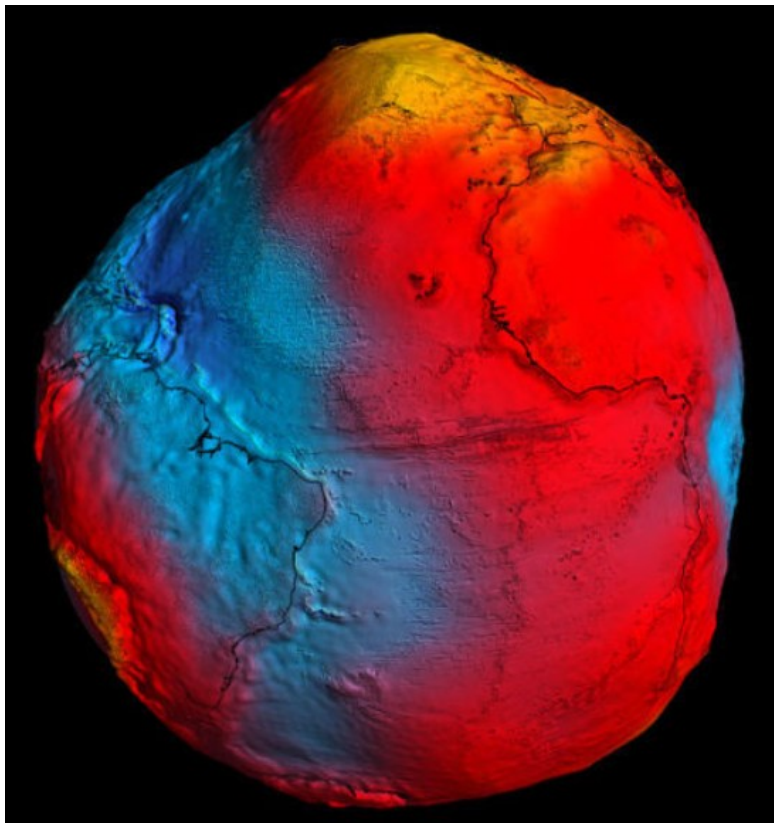
G —万有引力常数， $6.67 \times 10^{-11} \text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{S}^2)$ ；

F —单位为牛（N）；

质量为 m 的质点在自转的地球上所受的惯性离心力 C 为：
 $C = m\omega^2 r$ ，方向垂直自转轴向外。（最大值仅为平均重力值的三百分之一。）

（二）重力场

地球周围具有重力作用的空间，称为重力场。



“地球重力场分布图”

——根据欧洲空间局(ESA)

在轨运行的**GOCE**卫星**2011**

年数据绘制。

（二）重力场

1、重力场强度

单位质量的物体在重力场中所受的力，称为重力场强度

$$P = mg \quad \longrightarrow \quad g = P/m$$

由上式可见：重力场强度，无论在数值上，还是量纲上都等于重力加速度，而且两者的方向也一致。在重力勘探中，凡是提到重力都是指重力加速度（或重力场强度）。

2、重力的单位 (gravity unit)

在SI制中： g （重力加速度）的单位为 $1m/s^2$ ，规定 $1m/s^2$ 的百万分之一为国际通用重力单位（**gravity unit**），简写为 $g.u.$ ，即：

$$1m/s^2 = 10^6 g.u$$

在CGS（厘米.克.秒制）中用 Gal （伽）作为重力单位，与其它单位关系如下：

$$1Gal = 10^3 mGal = 10^6 \mu Gal$$

$$1mGal = 10g.u.$$

$$1mGal = 10^{-5} m/s^2$$

二、重力位

重力场的性质除了用**矢量** g 来描述外，还可以用**重力位**这一标量函数来描述。

对该标量函数沿不同方向求导数，恰好等于重力场强度（ g ）在相应方向上的分量，这个标量函数就叫做重力位函数，简称重力位，即：

$$dW/dS=g.\cos(g.s)=g_s$$

1、当s方向与g的方向垂直时

$$dW/dS=g.\cos(g.s)=0$$

则 $W(x,y,z)=c$ c —常数

上式表示一个空间的曲面，该曲面上重力位处处都等于常数 c ，故称此曲面为“**重力等位面**”，重力等位面处处与重力（ g ）正交，故又将重力等位面称为“**水准面**”；当 c 取某一定值的水准面与平均海平面重合时，则这个水准面—称为“**大地水准面**”

2、当s方向与g的方向平行时

$$dW/dS=g.\cos(g.s)=g$$

由此可见，**重力 g 是重力位沿重力方向的导数**

三、地球的重力场

(一) 正常重力场

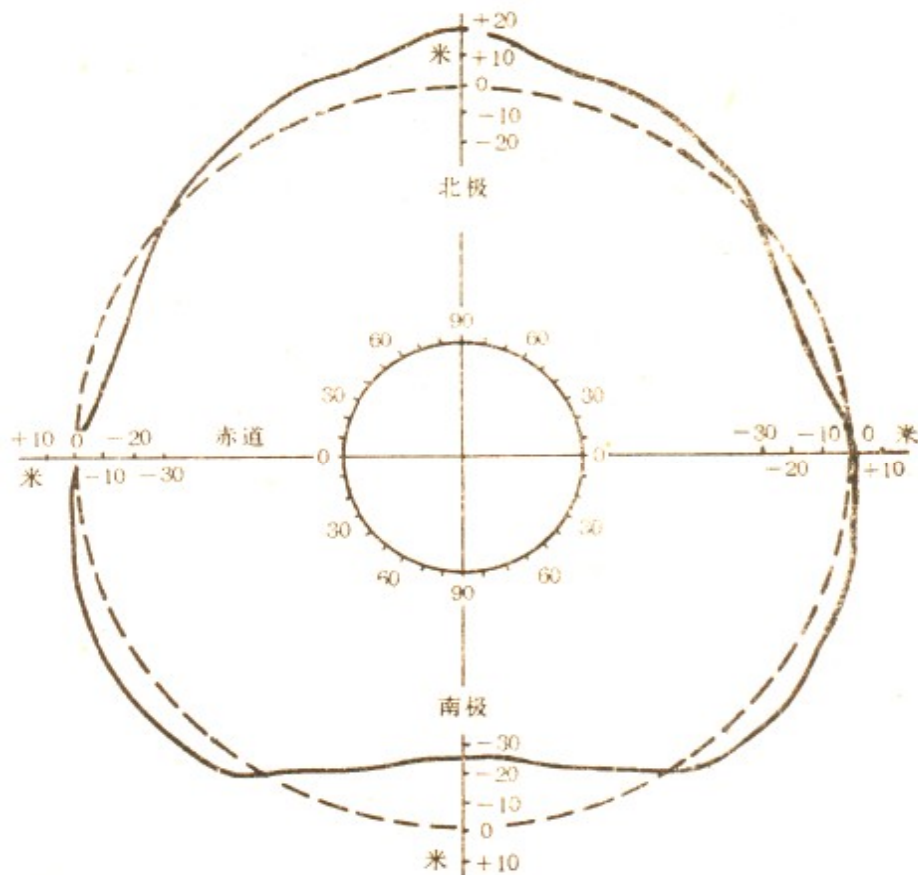


图 1.1.5 大地水准面与旋转椭球面

假定：

❖ 地球是一个旋转椭球体（又称为参考椭球体）、表面光滑；

❖ 内部密度是均匀的，或者是呈同心层状分布，每层的密度是均匀的，并且椭球面的形状与大地水准面的偏差最小

1、计算正常重力值的基本公式:

$$g_0 = g_e (1 + \beta \sin^2 \phi - \beta_1 \sin^2 2\phi)$$

$$\text{式中 } \beta = \frac{g_p - g_e}{g_e}, \quad \beta_1 = \frac{1}{8}\alpha^2 + \frac{1}{4}\alpha\beta, \quad \alpha = \frac{a - c}{c}$$

ϕ 为计算点的纬度; g_e 为赤道重力值; g_p 为两极重力值; g_0 大地水准面上纬度为 ϕ 处的正常重力值; a 为赤道半径; c 为极半径

2、常用公式 (1909年的赫尔默公式):

$$g_0 = 9780300(1 + 0.005302 \sin^2 \phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

3、地球表面正常重力场的基本特征

- (1) 正常重力值不是客观存在的，它是人们根据需要而提出来的；
- (2) 正常重力值只与纬度有关，在赤道处最小（9780300g.u.），两极处最大（9832087g.u.），相差51787 g.u.；
- (3) 正常重力值随纬度变化的变化率，在纬度45°处最大，而在赤道和两极处为零；
- (4) 正常重力值随高度增加而减小，其变化率为-3.086 g.u. /m。

（二）重力随时间的变化

1、长期变化

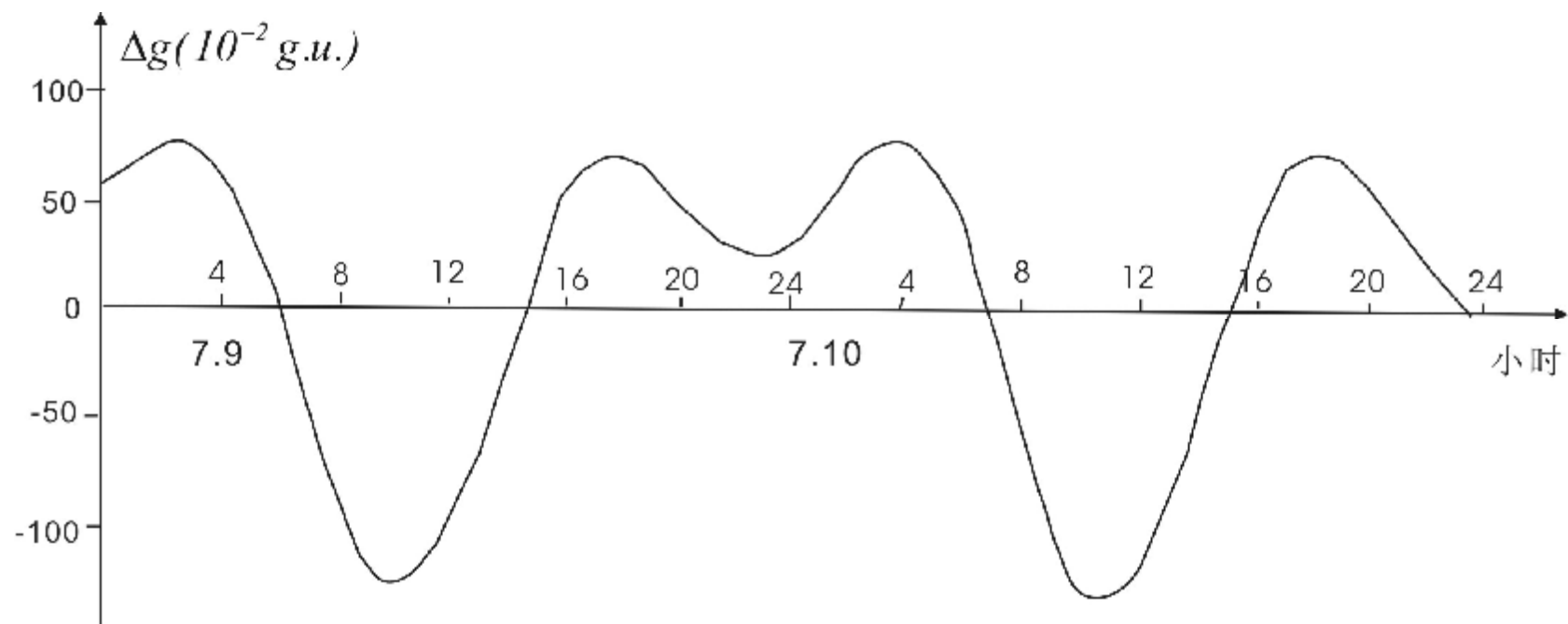
原因：地壳内部的物质运动，如岩浆活动、构造运动、板块运动有关。

特点：变化十分缓慢、幅度小，在短时间内变化很弱，是地球物理研究的重要内容，但在重力勘探中不予考虑。

2、短期变化（日变化）

原因：地球与太阳、月亮之间的相互位置变化引起（即与天体运动有关）；固体潮。

特点：周期短（24小时）、变化幅度较大，可达 $2\sim 3g.u.$



1976年7月9日—10日北京重力日变曲线

(三) 重力异常

1、定义： 在重力勘探中，由地下岩（矿）石密度分布不均匀所引起的重力变化称为重力异常。

广义的讲：

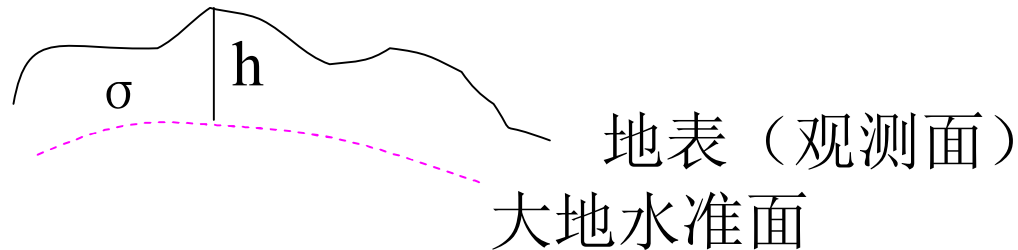
$$\Delta g = g_{\text{观}} - g_0$$

$g_{\text{观}}$ ——测点的重力观测值

g_0 ——测点的正常重力值

Δg ——重力异常

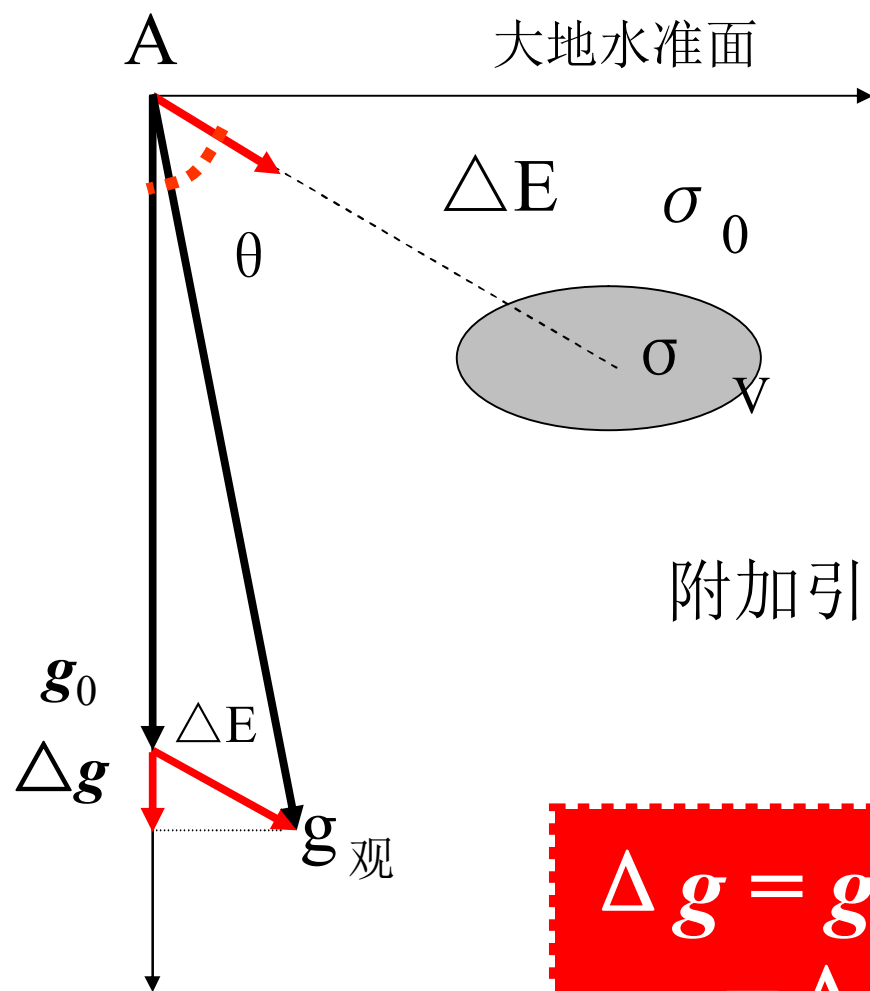
2、造成 $g_{\text{观}}$ 与 g_0 之间差别的原因



重力勘探中 (1) 应消除, (3) 影响小, 除高精度重力测量外, 都可忽略, (2) 引起的重力异常最关键。

- (1) 重力观测是在地球的自然表面上而不是在大地水准面上进行的 (自然表面与大地水准面间的物质及测点与大地水准面间的高差会引起重力的变化)
- (2) 地壳内物质密度的不均匀分布;
- (3) 重力日变化

3、重力异常的物理意义



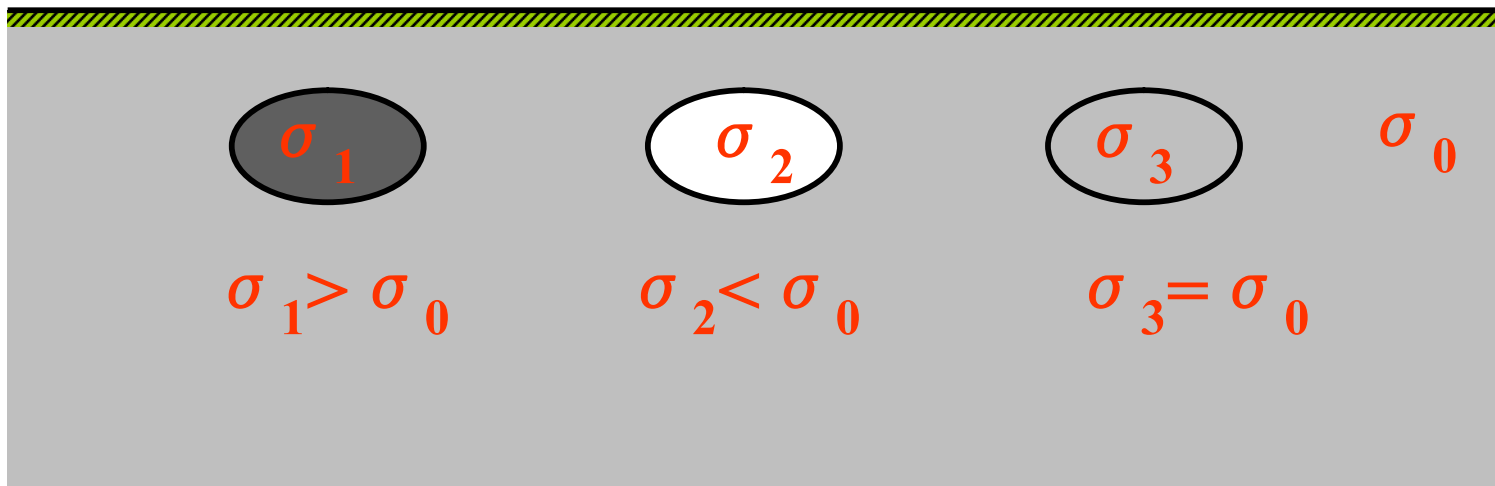
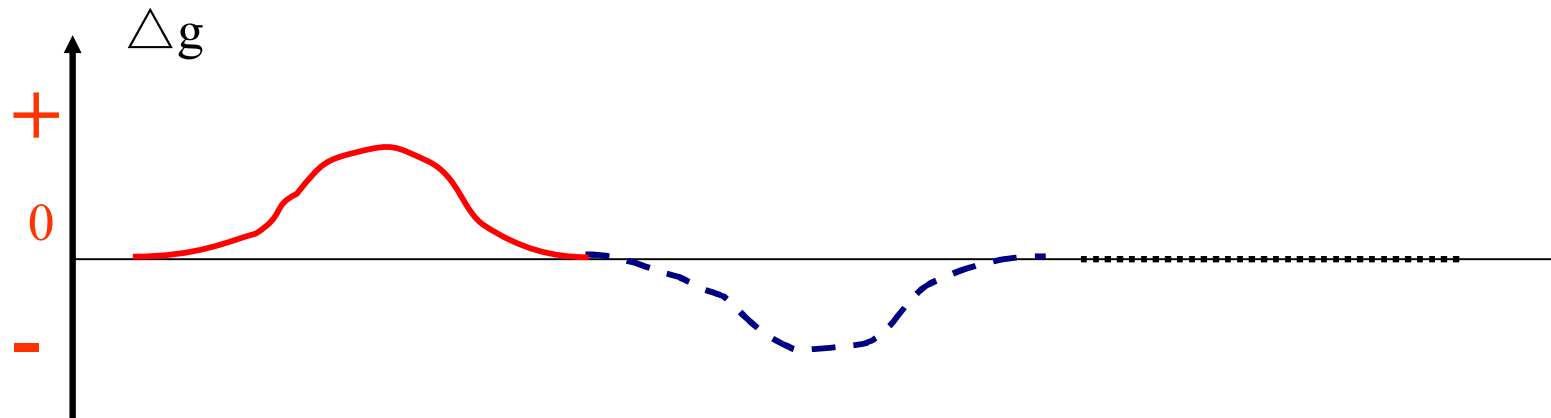
剩余密度: $\Delta \sigma = \sigma - \sigma_0$

剩余质量: $\Delta m = \Delta \sigma \times V$

附加引力 (场强度) $\Delta E = \frac{\Delta F}{m_0} = G \frac{\Delta m}{r^2}$

$$\Delta g = g_{\text{观}} - g_0 = \Delta E \times \cos \theta$$

4、引起重力异常的条件



4、引起重力异常的条件

- (1) 探测对象与围岩要有一定的密度差。
- (2) 岩层密度必须在横向上有变化，即岩层内有密度不同的地质体存在，或岩层有一定的构造形态。
- (3) 剩余质量不能太小（即探测对象要有一定的规模）
- (4) 探测对象不能埋藏过深

（例如， $\Delta m = 50$ 万吨的球形矿体，当中心埋深为100米，可产生 $355 \mu \text{Gal}$ 的异常，当中心埋深为1000米；则只能产生 $3.4 \mu \text{Gal}$ 的异常，该强度的异常仪器不能观测到。）

- (5) 干扰场不能太强或具有明显的特征。

一般恶劣地形、表层密度不均匀、地下岩体密度变化均产生较强干扰。

第二节 岩矿石密度

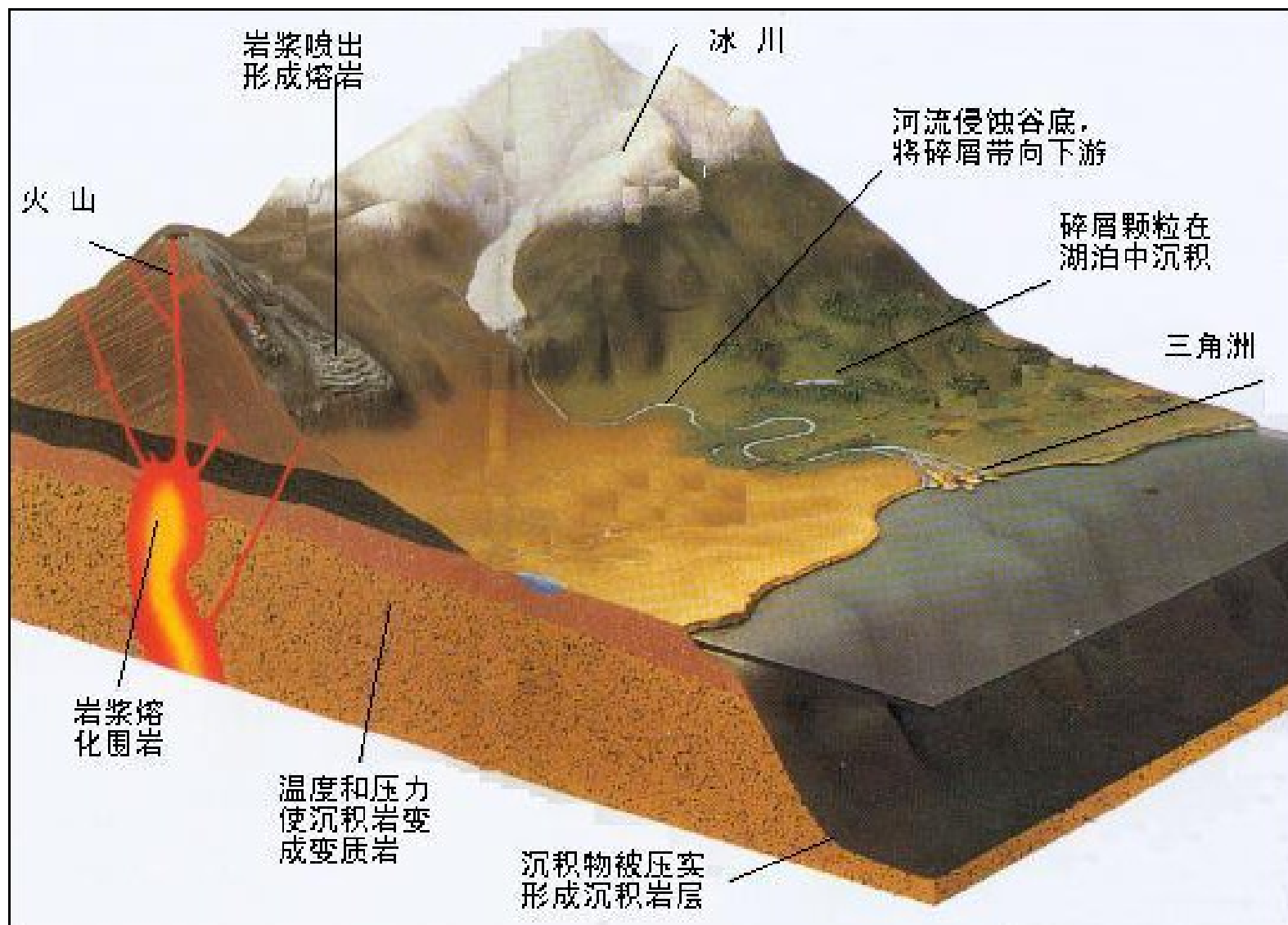
一、岩（矿）石的密度及地球密度分布

（一）岩（矿）石的密度的一般规律

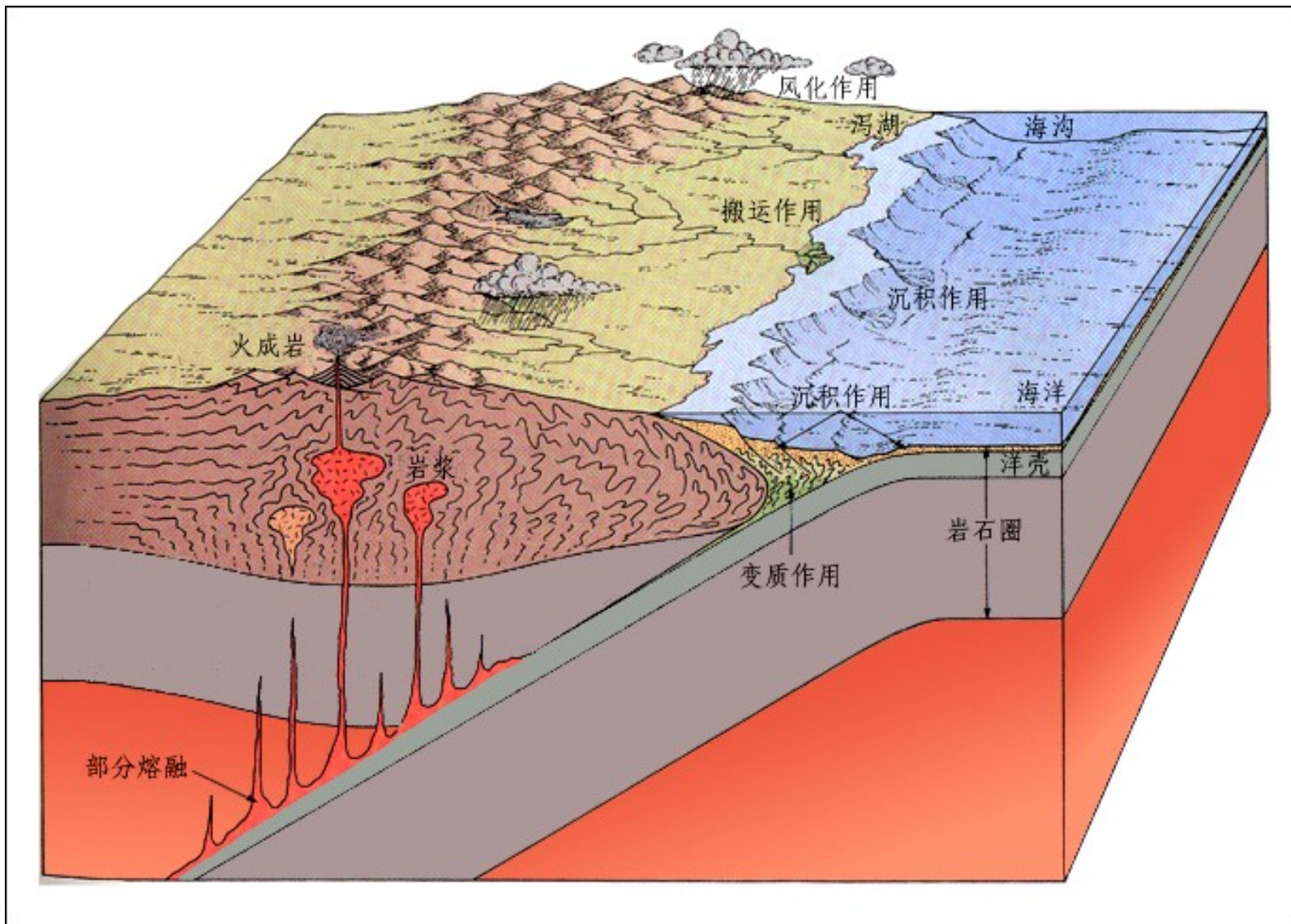
1、火成（岩浆）岩密度 > 变质岩密度 > 沉积岩密度

根据长期研究的结果，认为决定岩、矿石密度的主要因素为：

- ※ 组成岩石的各种矿物成分及其含量的多少；
- ※ 岩石中孔隙度大小及孔隙中的充填物成分；
- ※ 岩石所承受的压力等。



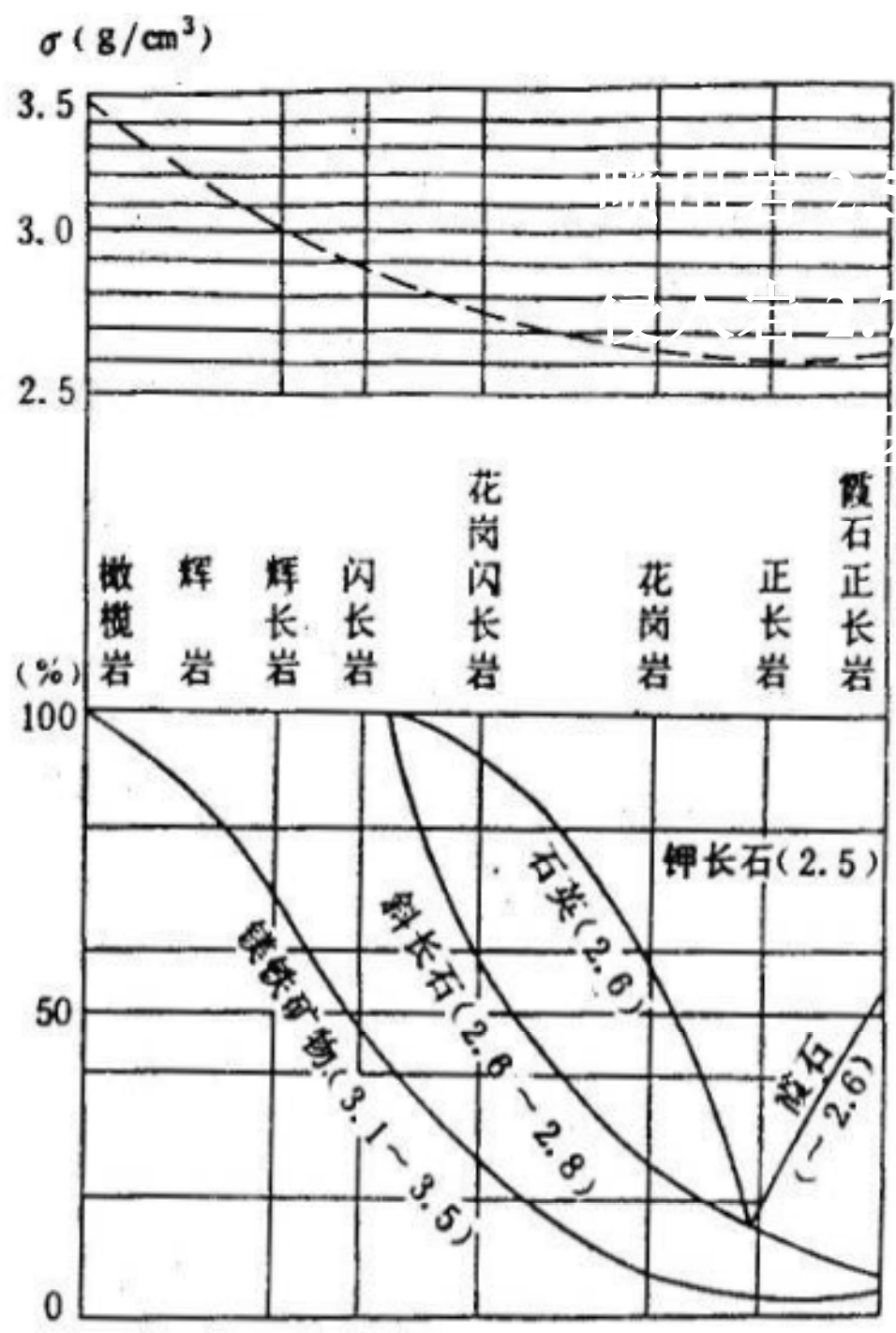
三大岩类物质循环



三大岩类物质循环

2、火成岩 ($2.5\sim 3.6\text{ g/cm}^3$)

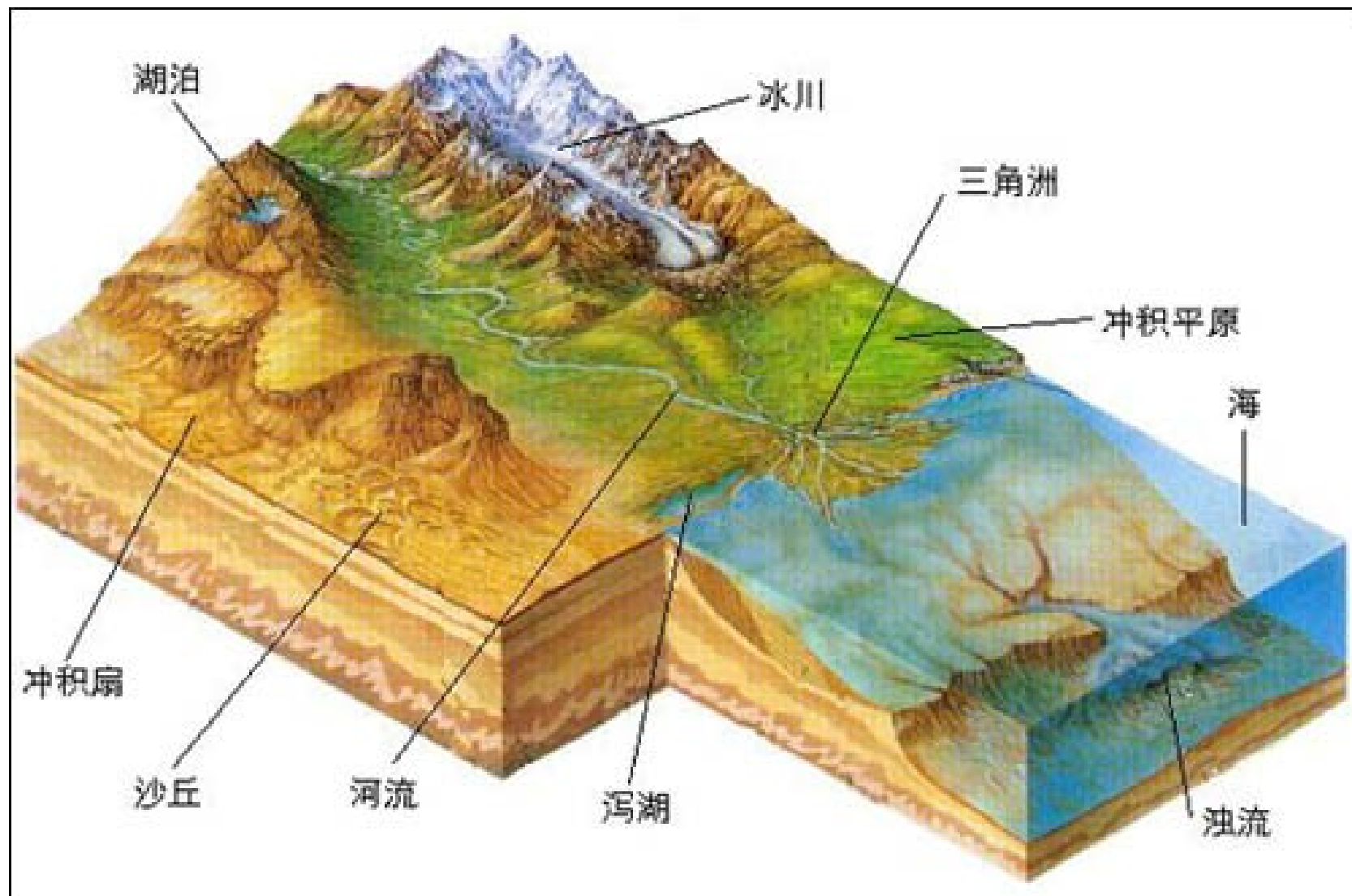
- (1) 主要取决于矿物成分及其含量的百分比，由酸性→基性→超基性岩，随着密度大的铁镁暗色矿物含量增多密度逐渐加大。
- (2) 成岩过程中的冷凝、结晶分异作用也会造成同一岩体不同岩相带，不同岩相带岩石密度与岩石类型有关；
- (3) 不同成岩环境(如侵入与喷发)也会造成同一岩类的密度有较大差异，同一成分的火成岩密度，喷出岩小于侵入岩。



3、沉积岩（ $1.6\sim 2.7\text{ g/cm}^3$ ）

沉积岩的密度主要取决于岩石的孔隙度及岩石的成分：

- 1、沉积岩一般具有较大的孔隙度，如灰岩、砂岩等，这类岩石密度值主要取决于孔隙度大小，干燥的岩石随孔隙度减少密度呈线性增大；
- 2、孔隙中如有充填物，充填物的成分（如水、油、气等）及充填孔隙的百分比也明显地影响着密度值；
- 3、随着成岩时代的久远及埋深加大，上覆岩层对下伏岩层的压力加大，这种压实作用也会使密度值变大。

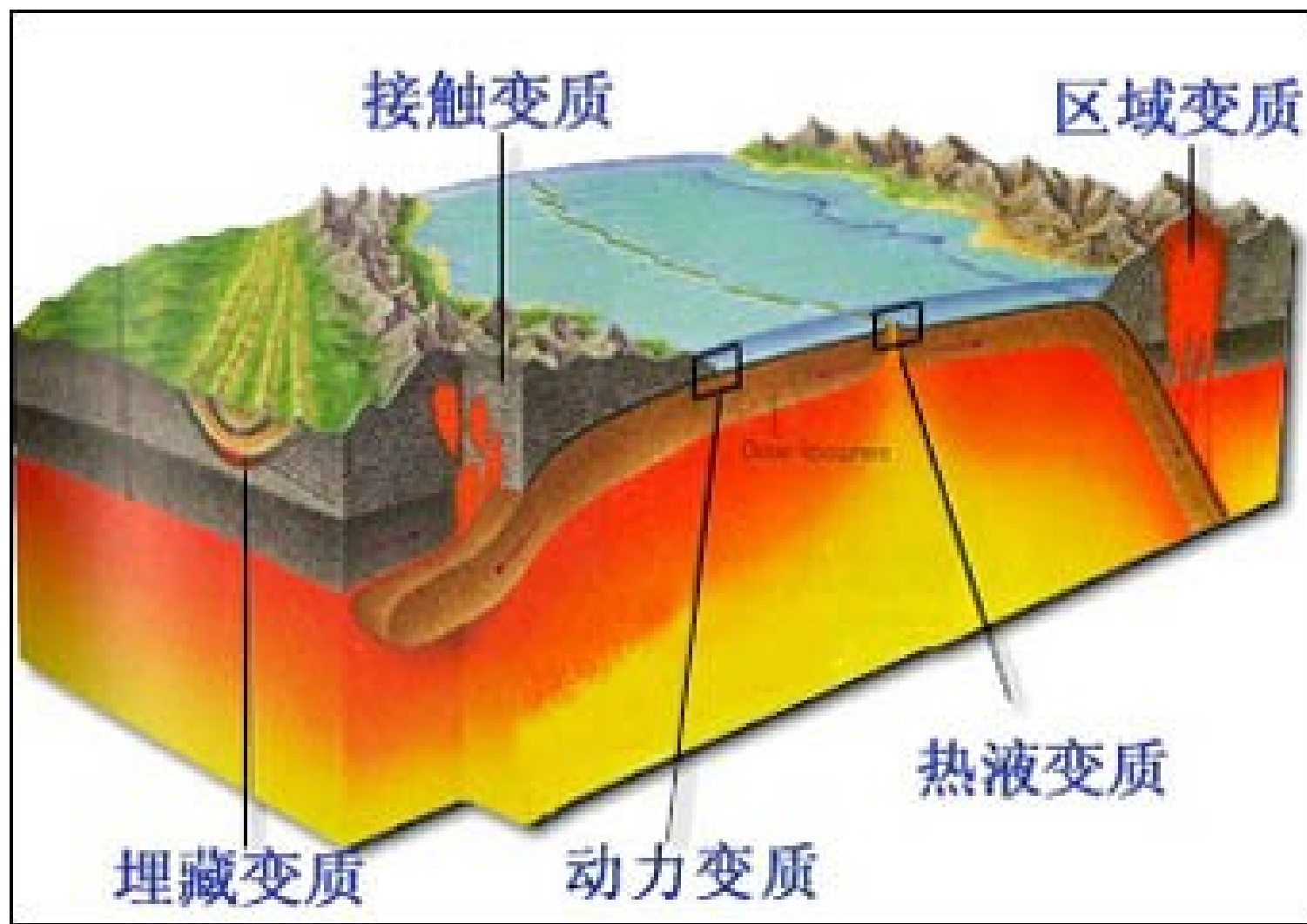


沉积作用与沉积岩

4、变质岩（ $2.6\sim 2.8\text{ g/cm}^3$ ）

变质岩的密度一般大于原岩的密度；变质程度越深，密度越大；动力变质而使岩石破碎，则密度减小。

- 变质岩的密度与矿物成分、含量和孔隙度均有关，这主要由变质的性质和变质程度来决定；
- 通常，由于重结晶等作用，区域变质作用将使变质岩比原岩密度值加大；
- 经过变质的沉积岩，如大理岩、板岩和石英岩比原生石灰岩、页岩和砂岩更致密些。
- 由于变质作用的复杂性，所以这类岩石的密度变化显得很不稳定，要具体情况具体分析



变质作用与变质岩

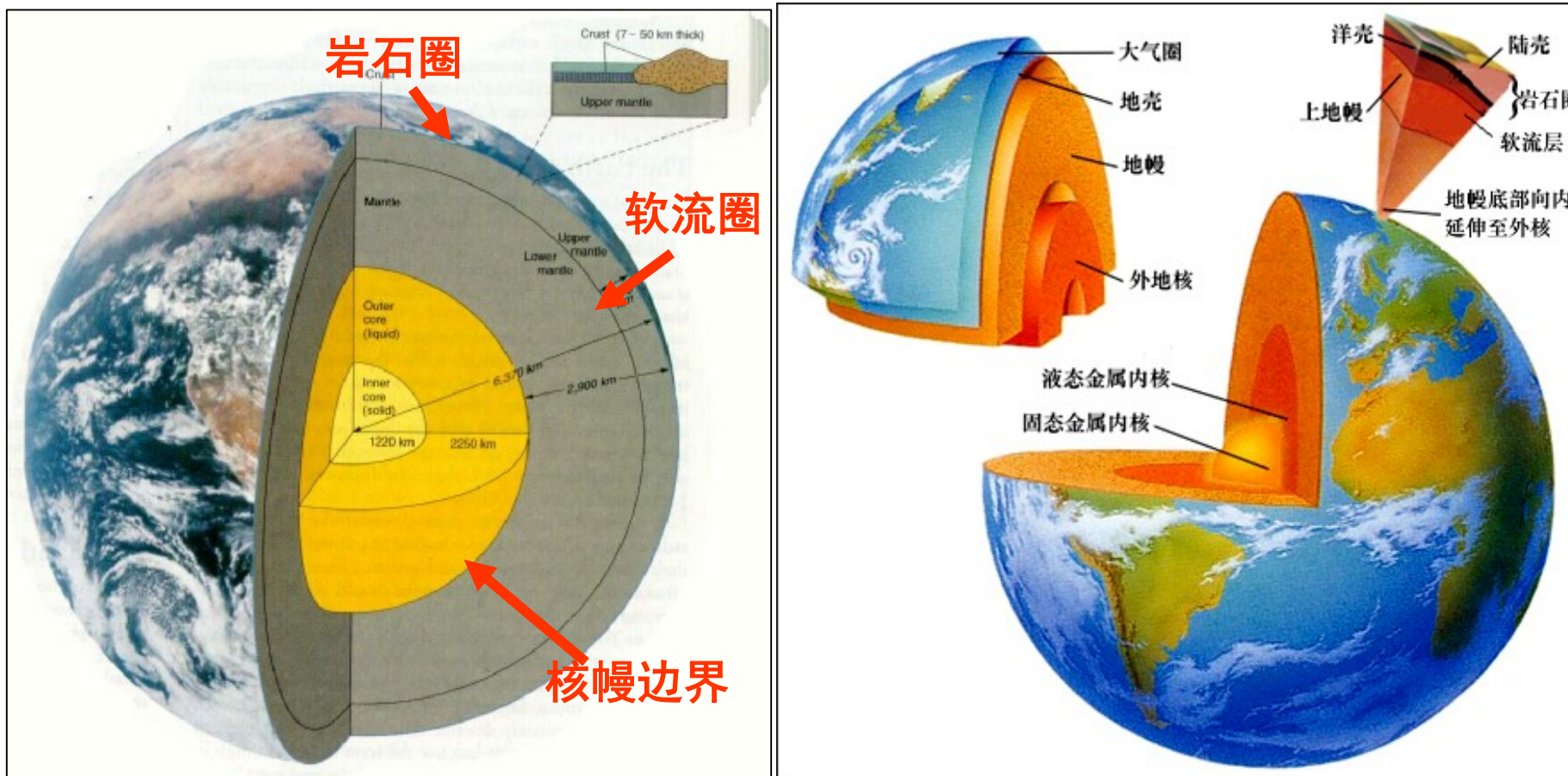
5、矿石

金属矿： σ 很大，一般大于岩石的平均密度（ 2.7 g/cm^3 ）

非金属矿：其 σ 小于岩石的平均密度（ 2.7 g/cm^3 ）

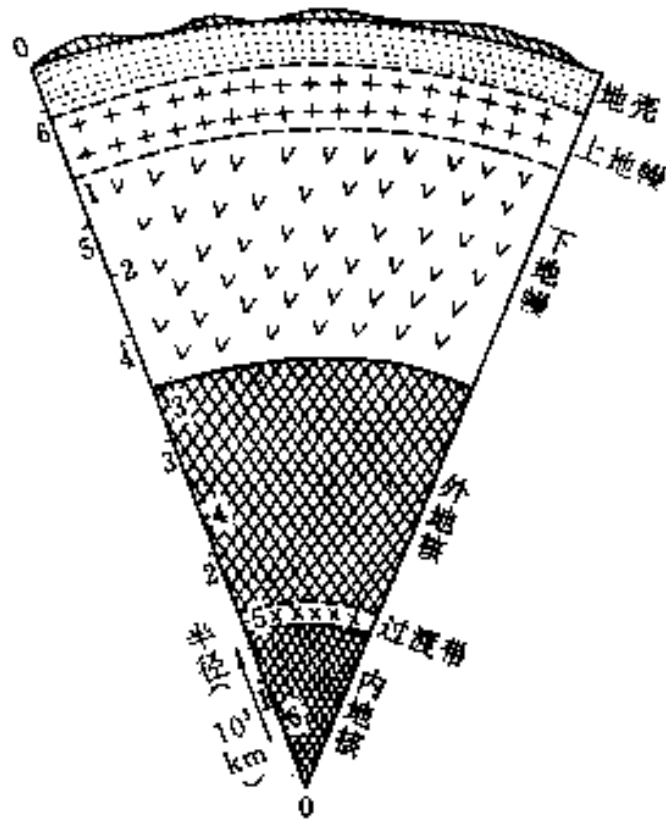
名 称	密 度 (g/cm ³)	名 称	密 度 (g/cm ³)	名 称	密 度 (g/cm ³)
				钛铁矿	4.5~5.0
				磁黄铁矿	4.3~4.8
				铬铁矿	3.2~4.4
				黄铜矿	4.1~4.3
				重晶石	4.4~4.7
				刚玉	3.9~4.0
				盐岩	3.1~3.2
				硬石膏	2.7~3.0
				石膏	2.2~2.4
				铝矾土	2.4~2.5
				钾盐	1.9~2.0
				煤	1.2~1.7
				褐煤	1.1~1.3

（二）地球内部的密度分布



由于地震学等的发展，发现了地球内部一系列的物理界面。有了这个基础才能了解固体地球的各种过程。1914年-地球内部纵波和横波速度分布；1940年-地震波走时表、地球分层模型、上地幔低速层；50年代-分层结构模型。

地球的层圈结构



地壳：平原区一般30~40km，山区和高原地区一般60~70km，最厚可达80~90km，海洋区约几~十几km。

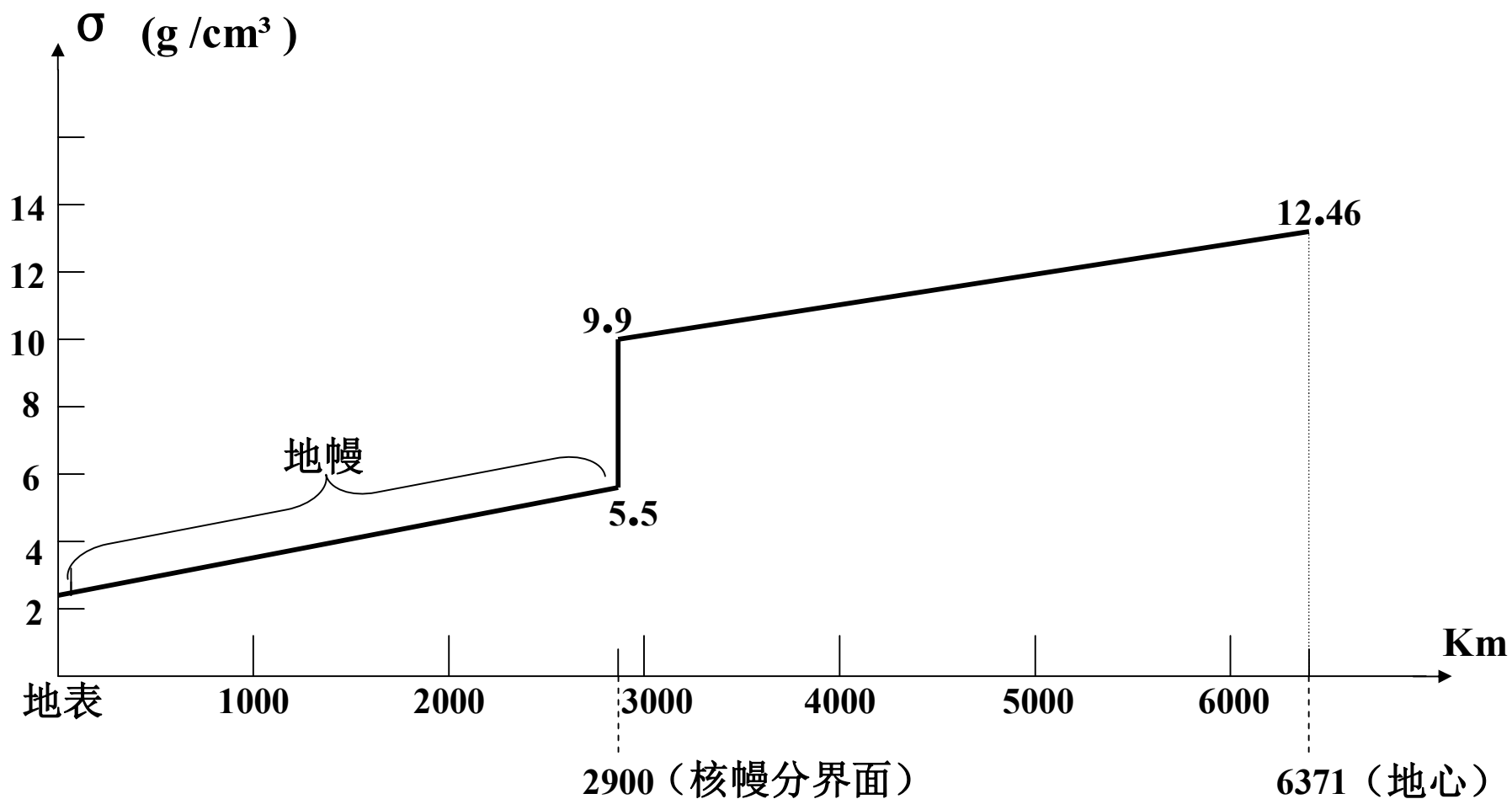
上地壳：花岗岩类，硅铝层，
 2.7g/cm^3

下地壳：玄武岩类，硅镁层，
 2.9g/cm^3

地幔：地壳向下到约2900km，密度大于 3.3g/cm^3 ，并且随深度的加深而增大。认为上地幔平均为
 3.5g/cm^3 ，下地幔平均为 5.1g/cm^3 。

地核：2900km深到地心，密度可能大于 10.0g/cm^3 。

根据有关地球物理资料，推测地球内部物质密度变化如下图所示：



二、岩石、矿石标本的密度测定

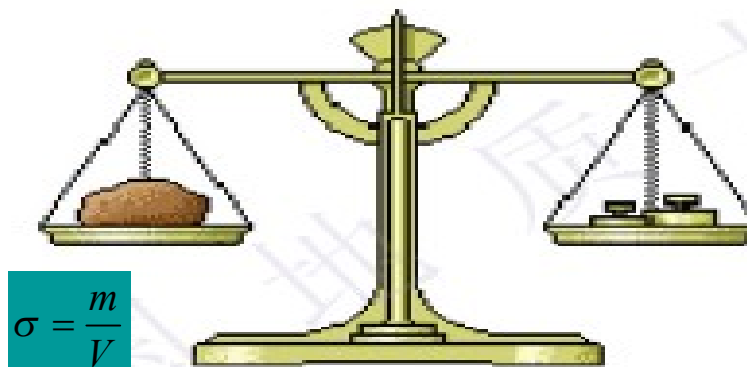
设标本在空气中的重量为 P_1 ，在水中的重量为 P_2 ，水的密度为 σ_0 ，排出水的体积为 V ，则有：

$$P_1 - P_2 = V \cdot \sigma_0 \cdot g$$

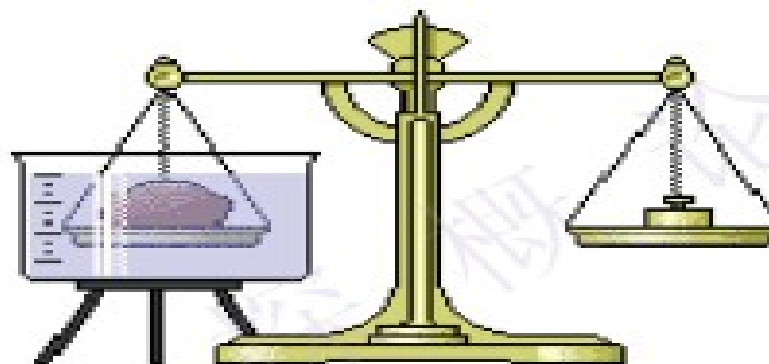
$$V = \frac{P_1 - P_2}{\sigma_0 \cdot g}$$

$$V = \frac{P_1 - P_2}{g}$$

$$\sigma = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{P_1 - P_2}{g}} = \frac{mg}{P_1 - P_2} = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$



$$\sigma = \frac{m}{V}$$



$$\sigma_0 = 1g/m^3$$

图 1-1-2 天平测密

作业:

课后1-10题，其中6、8、9题下节课上交。