



Fundamentals of Hydrogeology

水文地质学基础

第二章 岩石中的空隙与水 (下)

The Interstices and Water in Rocks

中国地质大学（武汉）水文地质学基础教学组

本章内容



2.1 岩石中的空隙

2.2 空隙中的水

2.3 岩石的水理性质

2.2 空隙中的水

存在形式：气态 固态 液态

设想实验：材料（玻璃珠子、细管）+水（水杯）

- (1) 2个玻璃珠子之间滴上几滴水，接触部位就会有所残留水
- (2) 在饱水试样中取1颗和2个颗粒，颗粒和颗粒孔隙间的水？
- (3) 将玻璃细管插入水中，取出，管中残留水？

通过上述3例及图示→空隙中水的存在形式：

结合水——（absorbed water, bound water）

重力水——（gravitational water; bulk water）

毛细水——（capillary water）

2.2.1 结合水

结合水 (absorbed water, bound water)

❖ 定义

附着于固体表面，在自身重力下不能运动的水
即结合水具有一定的**抗剪强度**

结合水与重力水

? 抗剪强度的产生与大小与什么有关

表面引力—服从库仑定律，随固体表面的距离加大而减弱

❖ 性质

结合水具有固态和液态水的双重性质；即自身重力作用下不能运动，在外力作用下能够移动（运动）及变形

❖ 意义

只要有固相表面就存在结合水，存在范围广，其量很小（结合水膜很薄），当孔隙直径小于**2**倍结合水膜厚度时，孔隙中只含有不能自由运动的结合水（又称无效空间）

重力水

结合水与重力水

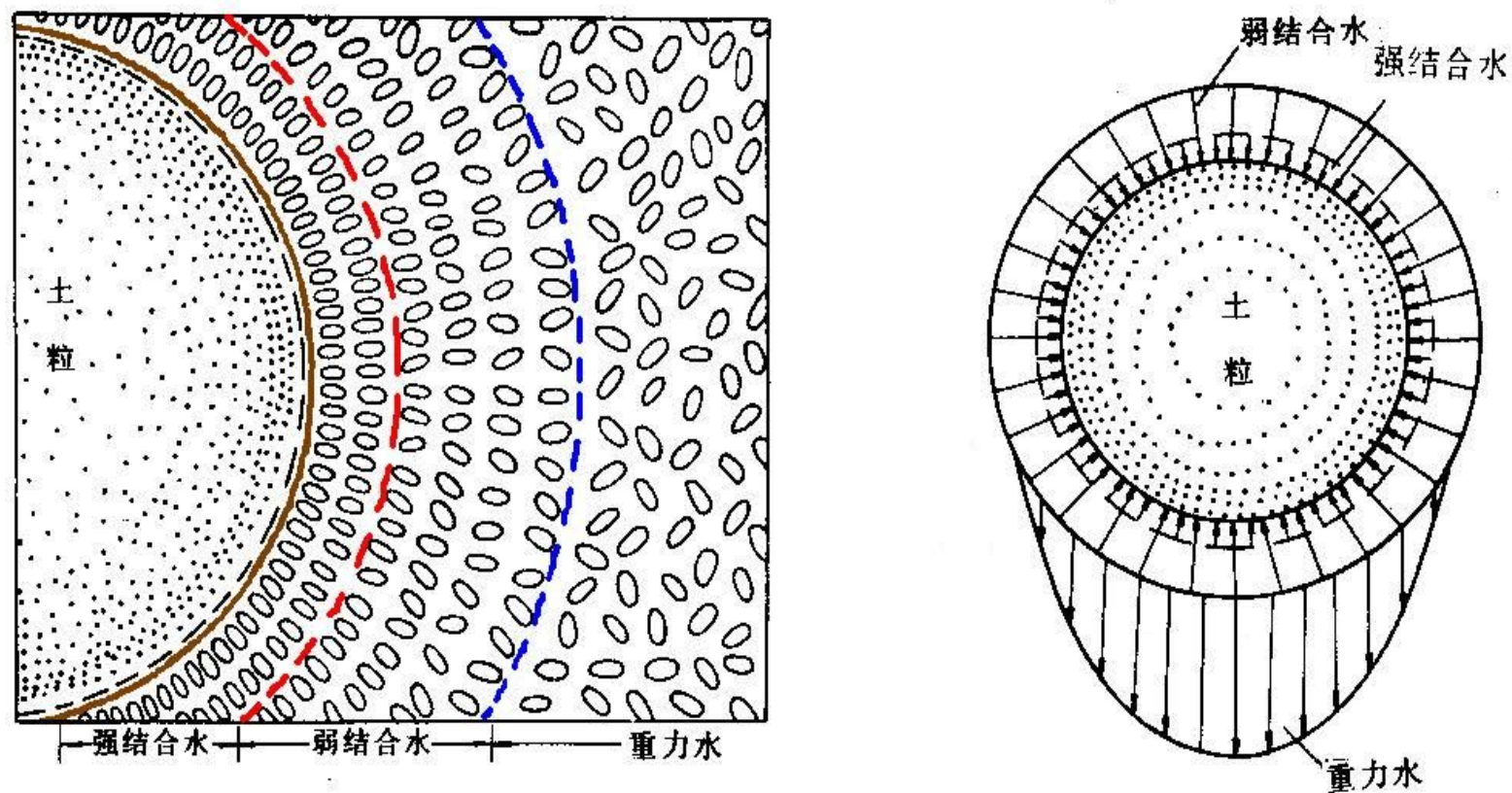


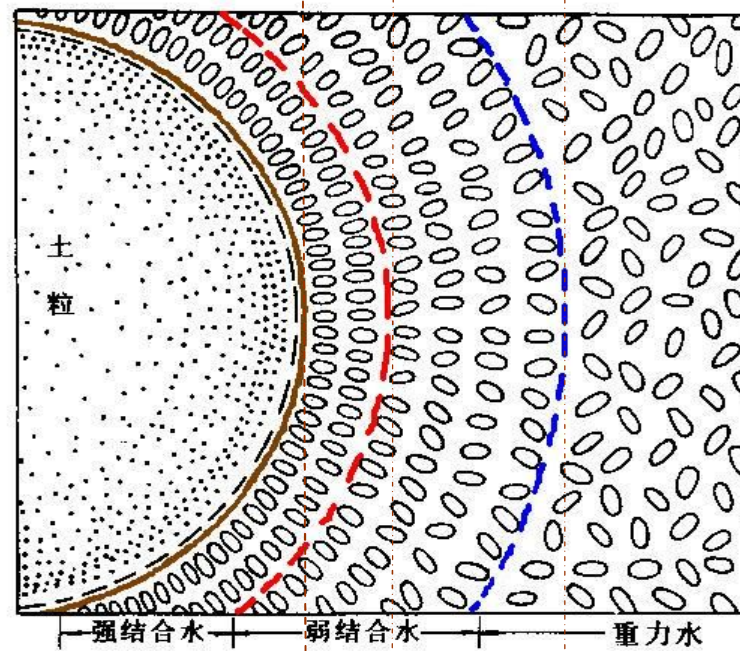
图 2—6 结合水与重力水

〔部分参照列别捷夫〕

左图：椭圆形小粒代表水分子，结合水部分的水分子带正电荷一端朝向颗粒；

右图：箭头代表水分子所受合力方向

结合水与重力水



结合水

表面引力—服从库仑定律，
随固体表面的距离加大而减弱

2.2.2 重力水

重力水 (gravitational water; bulk water)

- ❖ 远离固相表面，水分子受固相表面吸引力的影响极其微弱，主要受重力影响。重力影响下可以自由运动

结合水与重力水

- 无重力作用下水的存在？如在太空中瓶中的水分布——受表面吸引的作用液态水的特征
- ❖ 地层内岩石空隙中如果存在一定的重力水，就可以通过泉，或井流出（抽出）
- ❖ 重力水是水文地质学研究的主要对象，也是勘察的主要对象

2.2.3 毛细水

毛细水 (capillary water)

1、基本概念

❖ 毛细现象:

① 根据细小管插入水中，水上升至一定高度停下来 毛细水

② 在土层中挖个洞，在洞内放个接渗皿，能否接到水？

—北方地窖，陕北的窑洞

毛细水

❖ 毛细力:

毛细水：受到表面吸引力，重力，还有另一种力——称毛细力的作用，产生毛细现象

我们可以把毛细力归纳为3点:

空隙中的水

毛细水，孔角毛细水

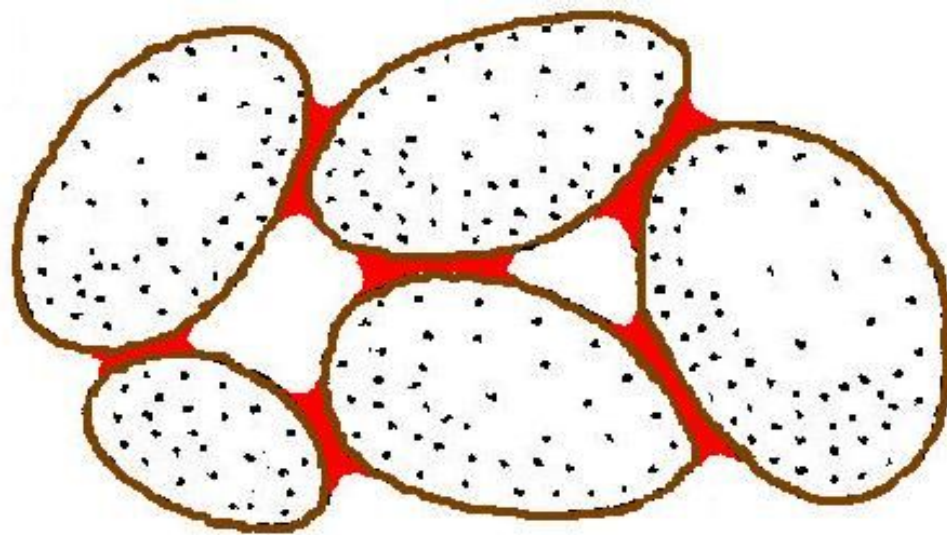
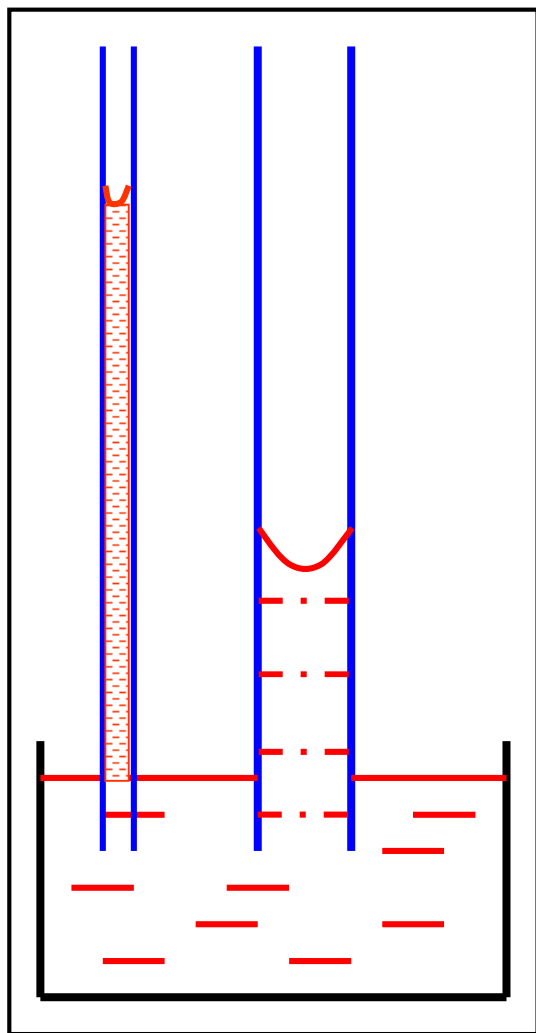
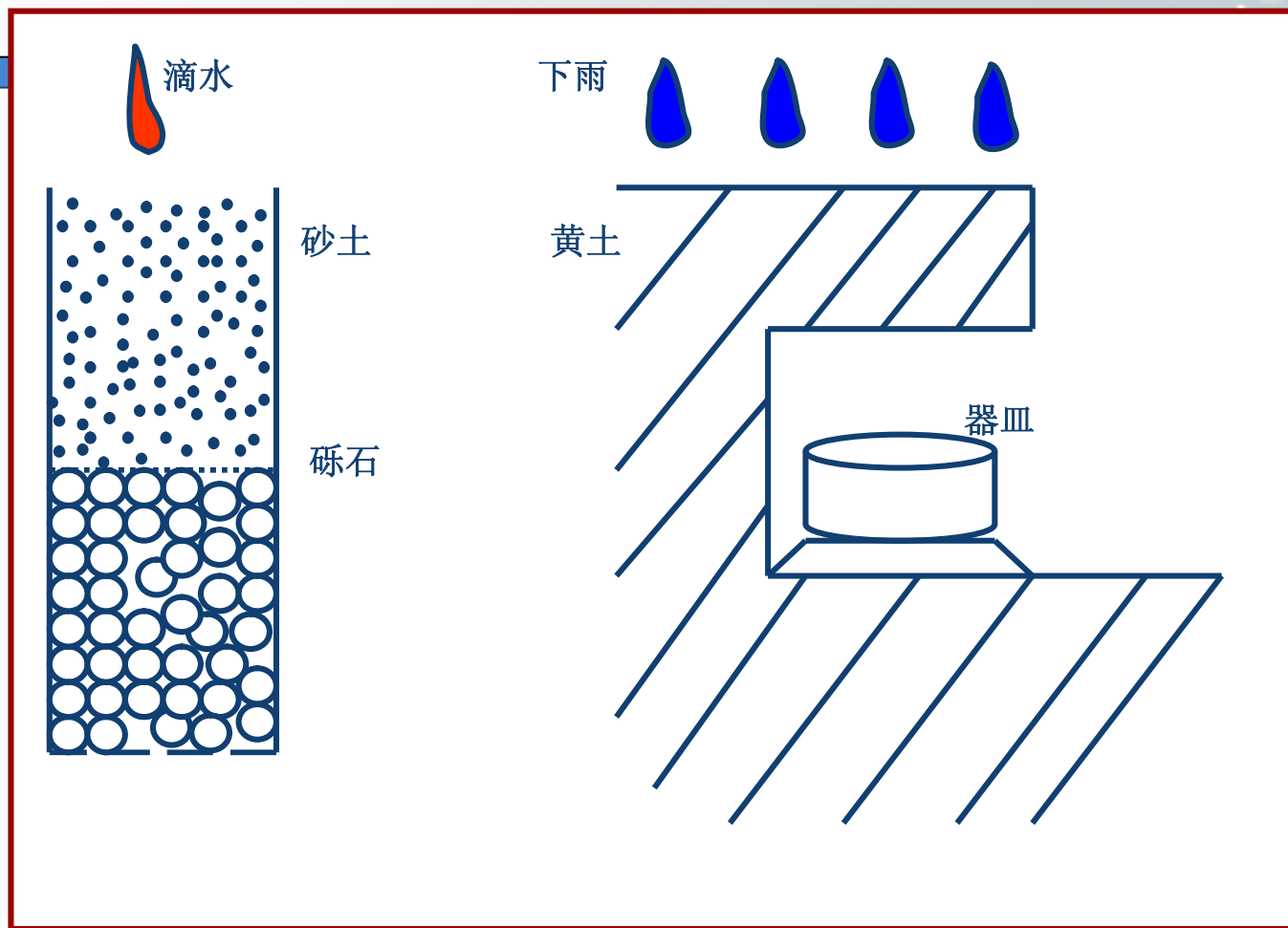


图 2-8 孔角毛细水

毛细水



思考:

- ◆ 1. 上细下粗土层，滴水，水停留在何处？
- ◆ 2. 黄土层中挖平洞，下大雨后，洞内能否接到水？

2.2.3 毛细水

毛细力:

■ 毛细力的产生:

是在三相界面上内弯液面引起——液面弯曲产生的

■ 毛细力的方向: 作用方向始终指向弯曲液面的凹侧

凹凸弯液面是指相对于液相一侧而言的

凹形弯液面——负的毛细压强 (**negative**) ---如同真空吸力

凸形弯液面——正的毛细压强 (**positive**)

■ 毛细力的大小:

毛细力大小与弯液面的曲率成正比 (曲率大,毛细力大;曲率小,毛细力小)

一根毛细管子, 管径越小, 毛细力越大; 反之亦然

毛细力大, 毛细上升高度也越大

毛细水

2.2.3 毛细水

2、毛细水的存在形式 (states forms)

在岩石空隙中，毛细水的存在形式可分为三种：支持与悬挂毛细水

a) 支持毛细水 (supporting capillary water)

在地下水水面支持下存在的（附着水面上的），随地下水升降而升降。上升高度与水面上部的岩石孔隙性质有关

b) 悬挂毛细水 (suspension capillary water)

脱离水面，岩石细小孔隙中保留的水分，称为悬挂毛细水
上粗下细或上细下粗砂砾试样的例子。? 悬挂毛细水的高度

思考：一个等径圆管，如果支持毛细水高度为 h_c ，悬挂毛细水高度？

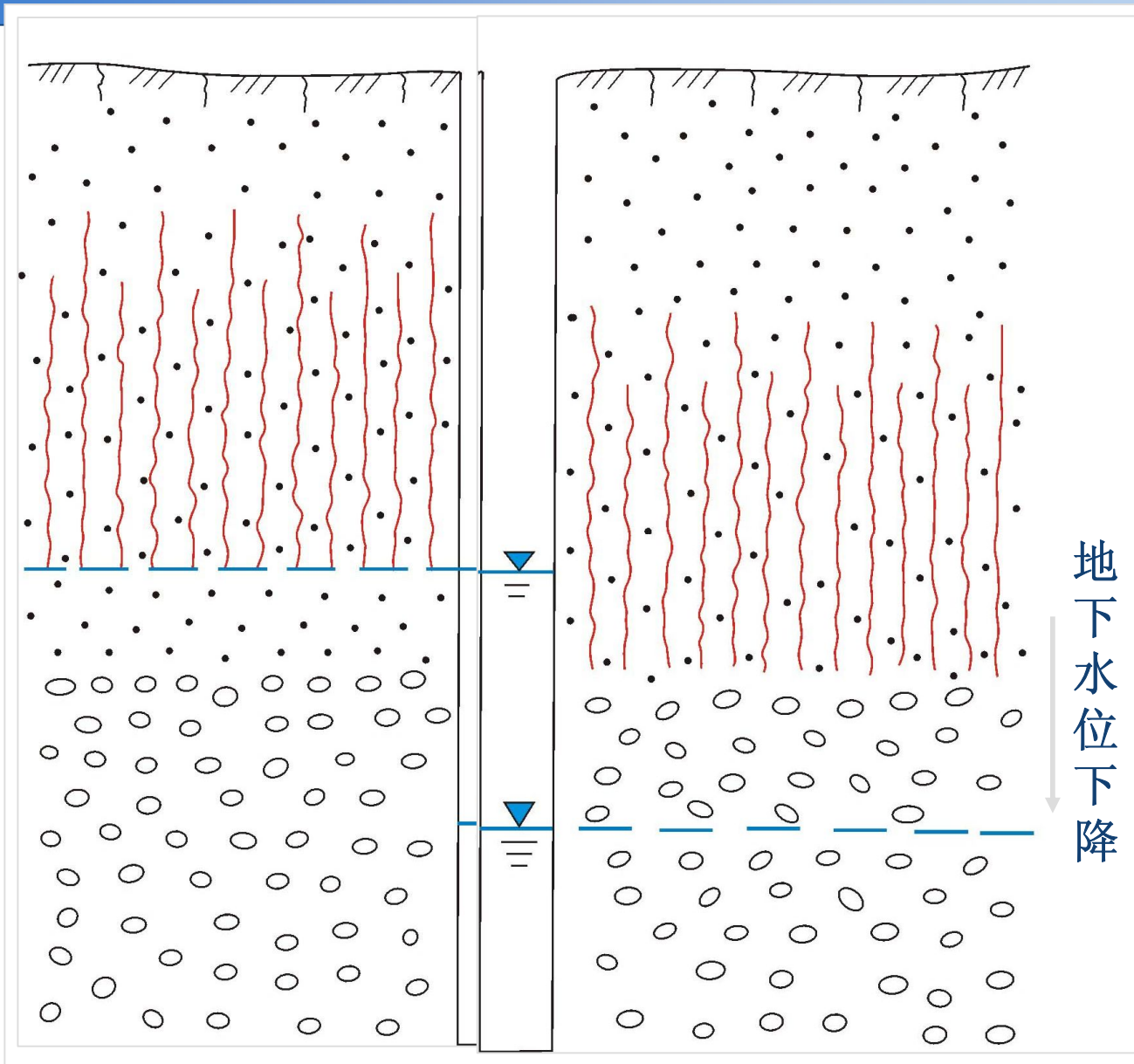
c) 孔角毛细水（触点毛细水） (corner water, contiguity water?)

孔角毛细水与悬挂毛细水是不同——？

悬挂毛细水似串珠状且连续分布的，孔角毛细水是孤立的

小结

支持毛细水与悬挂毛细水



2.2 空隙中的水——小结



小结

岩石空隙中的水——有**三种存在形式**

三种形式的水有差异——与**受力状态**有关

自己总结、比较——加深理解_____有比较就会有记忆

第二节 空隙中的水 结束

2.3 岩石的水理性质

❖ 岩石（包括骨架与空隙在内的总称）

水理性质：就水文地质学主要涉及是与水分**储容、释出与运移**有关的性质 包括：

一、**容水度和孔隙度**（porosity）（反映岩石最大含水能力）

孔隙度—— n ；容水度—— n_r ? 两者有何关系

➤ 岩石完全饱水时，**所能容纳的最大水体积**与岩石总体积之比

二、**含水量**（water content）— ω

➤ 岩石样**实际保留水分的状况**，（是某岩样某时的含水状态）
又称岩石的天然含水量

三、**持水度**（specific retention）— S_r

岩石的持水能力——**最大保持水分的能力**

➤ 岩石的持水量（持水体积）与岩石总体积之比

2.3 岩石的水理性质

四、给水度 (specific yield) —— μ (μ_e μ_d) (water drained from soil under gravity flow)

1、定义:

当地下水位下降一个单位高度时, 单位水平面积岩石柱体, 在重力作用下释放出来的水体积, 称为给水度

$$\mu = \frac{V_{\omega}}{V_{\text{总}}} \times 100 \quad \%$$

当水位下降一个单位, 土层孔隙中是否所有的水都流出来?

在土层中会保留什么形式的水?

均质土包气带水分分布

结合水(膜), 孔角毛细水, 有时悬挂毛细水与支持毛细水

均质土包气带水分分布

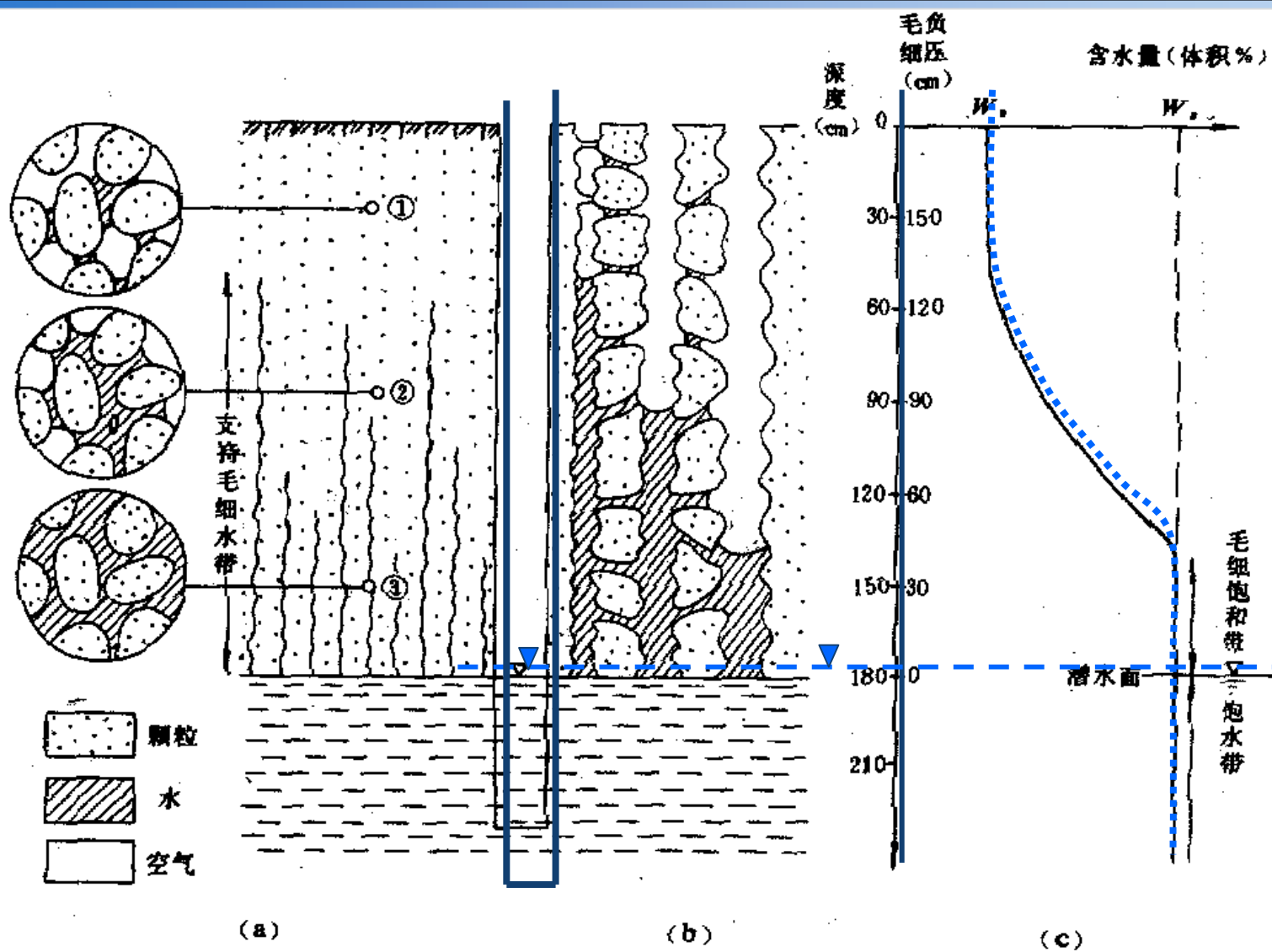


图 5-7 均质土包气带水分分布

2.3 岩石的水理性质

2、影响给水度—— μ 值的因素

? 砾石、粗砂、细砂、砂砾混合样相比较，哪种样给水度大

a) **岩性**：空隙大的样品，给水度大， $\mu \approx n$

- 砾 > 粗砂 > ... > 粉砂——（与粒径有关）
- 颗粒细小者，比表面积大，结合水与孔角毛细水残留多，除岩性外，同一岩层中其它原因也可造成 μ 不同，为什么？

b) **地下水位初始埋深** (H_0)



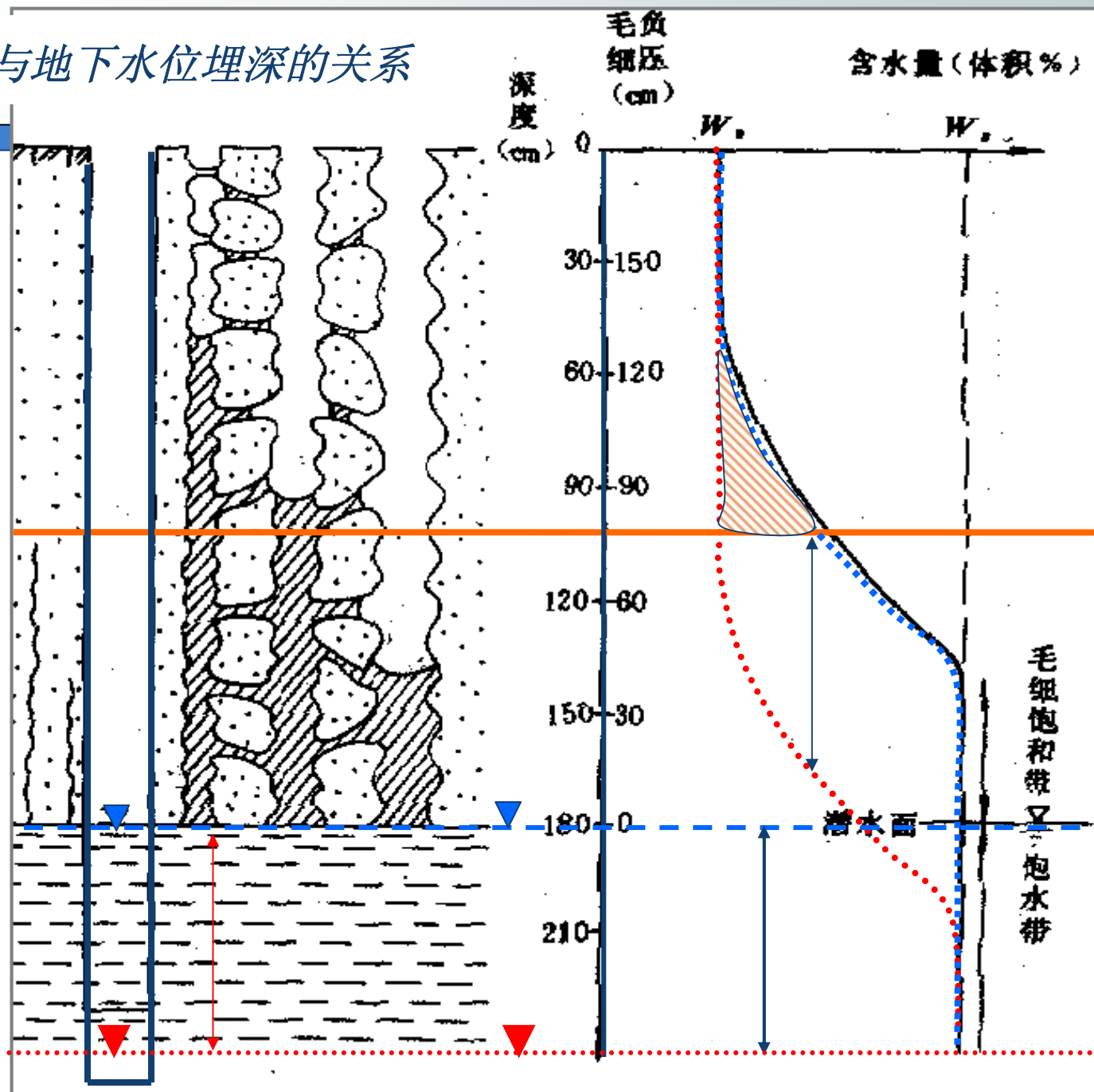
- 当地下水位初始埋深大于支持毛细水带高度时 $H_0 \gg h_c$ ，可达最大 μ 值
- $H_0 \ll h_c$ 时，地下水位下降1个高度时，原重力水大多转化为支持毛细水，土层给水量大大降低， μ 变小。
- 土层含水量曲线分析：当水位埋深足够大时，土层给水度不发生变化（为定值），此时给水度——也是最大理论给水度

$$\mu = \omega_s - \omega_0$$

$$\mu = n - S_r$$

其他影响因素

给水度与地下水位埋深的关系



2.3 岩石的水理性质

四、给水度——2、影响 μ 值的因素

c) 与地下水位下降速度有关



- 地下水位下降快慢会影响到 μ 的大小
——（下降快 $\mu < \mu_{理}$ 、下降慢 $\mu \rightarrow \mu_{理}$ ）

这是因为释水滞后，而导致的释水减量

d) 土层结构

- 均质土特征与上述讨论一致
- 岩土层为层状非均质土时，往往会影响 μ 值，
- 多层状土的特征而言，上粗下细，上细下粗结构影响是不同的。

给水度小结

给水度小结——野外实际测定时:

- 均值土，当地下水位初始埋深大于 h_c ，降速缓慢， $\mu = \omega_s - \omega_0$
- 初始埋深小于 h_c 时，埋深愈浅， $\mu \downarrow$
- 水位降速愈快， $\mu \downarrow$
- 一般而言，层状土 μ 小于均值土。

结合实验课——

设计研究给水度的影响因素与确定方法

2.3 岩石的水理性质



五、透水性 (permeability) —— (先自学一下)

反映岩土透过水的能力

后续讲“地下水的运动”时再讨论

岩石空隙直径越大—透水能力越强—透水性越好！

第二章 结束