

绪论

地下水：指赋存于地面以下岩石空隙中的水，狭义上指赋存于地下水面以下饱和含水层中的水。

水文地质学：研究地下水的形成和分布、物理及化学性质、运动规律、开发利用和保护的科学。

地下水的功能主要有（1）资源（2）生态（3）环境三大方面，包括 5 个部分。主要功能：1、地下水是一种宝贵的资源 2、地下水是极其重要的生态环境因子 3、地下水是一种灾害因子 4、地下水是一种很活跃的地质营力 5、地下水是地球内部地质演变的信息载体

第一章 水循环

水循环：地球上各个层圈系统内的水相互联系、相互转化的过程

水循环包括水文循环和地质循环。

水文循环是指发生于大气水、地表水和地下水之间的水循环。**特点：**循环速度快、水交替迅速、强烈，水质更新较快

水文循环分类：路径不同：大循环（海-陆）和小循环（海-海或陆-陆）

时空尺度：全球水文循环，流域水文循环，水-土-生系统

1.1 自然界的水循环

水文循环的运动规律：海洋的蒸发量大于降水量，陆地的降水量大于蒸发量，大陆输入水汽量与输出水量基本平衡

水文循环的作用：通过循环一水的质量得以净化、水的数量得以再生，水资源不断更新与再生，可以保证在其再生速度水平上的永续利用——也是可持续发展保证

地质循环是地球浅部层圈和深部层圈之间水的相互转化过程。特点：循环时间漫长、缓慢

1.2 与水循环有关的气象水文因素

影响因素：气温、气压、湿度、蒸发、降水、径流

无论哪种因素如果其影响的结果是：有利于蒸发，不利于径流，就会促进内陆水文循环。

蒸发量：一定面积的水面在一段时间间隔内因蒸发减少的水层深度来确定蒸发量大小，以毫米数表示。

降水量是某一地区一定时段内，降落在平地上（假定无渗漏、蒸发、流失等）的降水所积成的水层厚度（如为固态降水则须折合成液态水计算），以毫米数表示。

径流（runoff）是指降水在重力作用下沿地表或地下流动的现象。为水文循环的重要环节和水均衡的基本因素。分为地表径流和地下径流。

水系是指汇流于某一干流的全部河流所构成的地表径流系统。

流域是指一个水系的全部集水面积，亦即地表水或地下水的分水岭所包围的集水区域。

分水岭（分水线）是指相邻两个流域之间地形最高点的连线。

流量是指单位时间通过河流某一断面的水量，单位 m^3/s ，（ $Q=A \cdot V$ ）

径流总量是某一时段 T 内通过河渠某一断面的总水量，单位 m^3 ，（ $W=Q \cdot T$ ）。

径流模数是流域内单位面积单位时间产生的径流量，单位为 $\text{L/s} \cdot \text{km}^2$ ，计算公式 $M=Q/F \times 10^3$ 。

径流深度是某一时段内的径流总量均匀分布于整个流域面积上所得到的平均水层深度，单位为 mm ，计算公式 $R=W/F \cdot 10^{-3}$ 。

径流系数是同一时段内流域面积上的径流深度 R （ mm ）与降水量 P （ mm ）的比值，表示为 $b=R/P$ 。

第二章 岩石中的孔隙与水分

岩石：指坚硬的岩石及松散的土层（水文地质学定义）

空隙：岩石中没有被固体颗粒占据的那部分空间，地下水赋存场所和运移通道

2.1.1 岩石空隙的种类

松散岩石中的孔隙、坚硬岩石中的裂隙、可溶岩石中的溶穴

孔隙是指松散岩石中颗粒或其集合体之间的空隙。**特点**：①呈小孔状，②分布均匀且密集，③连通性好。

孔隙度是指某一体积岩石（包括颗粒骨架和孔隙在内）中孔隙体积所占的比例。

孔隙度是描述松散岩石中孔隙多少的指标

2.1 岩石中的空隙

孔隙度 (n) 大小的影响因素：① 分选程度：分选差时 n 小，大小混杂时 n 小；② 颗粒排列：立方体时 $n=47.64\%$ ，四面体 $n=25.95\%$ ，其余一般介于两者之间，菱面体排列 $n=26.795\%\approx 37\%$ 。③颗粒形状：棱角多、松散的，n 大。④胶结充填：充填物多时 n 小。⑤结构及次生裂隙：粘性土中有结构孔隙和虫孔、根孔等次生裂隙，均使 n 增大。

孔隙是指孔隙通道中最细小的部分，**孔喉**是孔隙中最宽大的部分。孔隙大小影响地下水运动，孔喉对水流动的影响更大。

2.1 岩石中的空隙

裂隙是指固结的坚硬岩石（沉积岩、岩浆岩和变质岩）在各种应力作用下岩石破裂变形而产生的空隙。以裂隙率表示。

成岩裂隙是指岩石在成岩过程中由于冷凝收缩（岩浆岩）或固结干缩（沉积岩）而产生的裂隙，以玄武岩柱状节理最有水文地质意义。

构造裂隙是指岩石在构造变动中受力而产生的裂隙。具有方向性，大小悬殊，分布不均匀。

风化裂隙是指岩石在风化营力作用下发生破坏而产生的裂隙。主要分布于地表附近。

裂隙率 (Kr) 是岩石中裂隙体积 (Vr) 与包含裂隙体积在内的岩石体积 (V) 的比值，此为体积裂隙率，即 $Kr = Vr/V$ 或 $Kr = Vr/V \times 100\%$ 。亦可用面积裂隙率和线裂隙率表示。

溶穴 (溶隙) (Karst) 是指可溶的沉积岩（如盐岩、石膏、石灰岩、白云岩等）在地下水溶蚀作用下所产生的空隙（空洞）。

岩溶率 (Kk) (karst rate) 是指溶穴的体积 (Vk) 与包含溶穴在内的岩石体积 (V) 的比值，即 $Kk = Vk/V$ 或 $Kk = Vk/V \times 100\%$ 。

空隙网络是由岩石中的空隙按一定方式连接起来所构成的网络。

①松散岩石中的孔隙连通性好，分布均匀，其中的地下水分布与流动比较均匀，为孔隙水。

②坚硬基岩中的裂隙，宽窄不等，多具有方向性，连通性较差，分布不均匀，其中的地下水相互关联差，分布流动不均匀，为裂隙水。

③可溶岩石中的溶穴是一部分原有裂隙与原生孔缝溶蚀而成，大小悬殊，分布不均，其中的地下水分布与流动多极不均匀，为岩溶水。

结合水 (Hygroscopic water, bound water) 是指受固相表面的引力大于水分子自身重力的那部分水，亦即被岩土颗粒的分子引力和静电引力吸附在颗粒表面的水。**特点**：①厚达上百个水分子直径，②吸引力大，密度大 ($2g/l$)，③冰点低 ($-78^\circ C$)，呈固态，④无溶解能力，不能运动

结合水的外层由于分子力而粘附在岩土颗粒上的水成为**弱结合水 (weakly bound water, film water)**，又称**薄膜水**。**特点**：①厚度较大，状态处于固态与液态之间，②吸引力小，密度较大，③有溶解能力，④有一定运动能力，在饱水带中，能传递静水压力，静水压力大于结合水的抗剪强度时能够运移，其外层可被植被吸收，有抗剪强度。

重力水 (gravitational/gravity water) 是指距离固体表面更远、重力对其影响大于固体表面对其吸引力、能在重力影响下自由运动的那部分水。

毛细水 (capillary water) 是由于毛细管力作用而保存于包气带内岩层空隙中的地下水，可分为支持毛细水、悬挂毛细水和孔角（触点）毛细水

毛细管由松散岩石中细小的孔隙通道构成。

支持毛细水是在地下水面上由毛细力作用所形成的毛细带中的水。

岩石的水理性质是与水的储容及运移有关的岩石性质的总称。

2.3.1 容水性

容水性是指指在常压下岩土空隙容纳一定水量的能力。衡量指标为容水度。

容水度是指岩石完全饱和时所能容纳的最大的水体积与岩石总体积的比值。用小数或%表示，一般小于或等于孔隙度。 $W_0 = V_0/V \times 100\%$ 。对于膨胀土，容水度可大于孔隙度。

含水性是岩石含有水的性能，用含水量表示

含水量是岩石空隙中所保留的水分的多少。

重量含水量 (W_g) 是松散岩石孔隙中所含水的重量 (G_w) 与干燥岩石重量 (G_s) 的比值， $W_g = G_w/G_s$ 或 $W_g = G_w/G_s \times 100\%$ 。**体积含水量** (W_v) 是岩石中所含水的体积 (V_w) 与包含孔隙在内的岩石体积 (V_s) 的比值， $W_v = V_w/V_s$ 或 $W_v = V_w/V_s \times 100\%$ 。记岩石的干容重为 gd ，则有 $W_v = gd \cdot W_g$ 。

饱和含水量 (W_s) 是岩石孔隙充分饱水时的含水量。数值上在粗颗粒及宽裂隙岩石中接近于土或岩石的给水度。

饱和度是实际含水量与饱和含水量之比，亦即岩石孔隙中水的体积与孔隙体积之比，以百分数表示。反映岩石中孔隙的充水程度。

饱和差(土壤饱和差)是土层或岩层的饱和含水量与实际含水量之差，亦即岩石的容水度与天然湿度(含水量)之差。

给水性是饱和岩土在重力作用下能自由排出水的能力。用给水度表示。

给水度 (m) 是指地下水位下降一个单位深度、从地下水位延伸到地表面的单位面积岩石柱体在重力作用下所释放出来的水的体积。常用小数表示，无量纲。

给水度是饱和介质在重力排水作用下可以给出的水体积与多孔介质体积之比。

给水度的影响因素

①岩性：颗粒粗大的松散岩石，空隙宽大，重力释水时持水性差，给水度大。②地层结构：含有细颗粒夹层时给水度较小。③空隙大小与性质：空隙宽大时给水度较大，而空隙狭小时，结合水与毛细水为主，持水性强，给水度小。④水位埋深（在毛细带内）：埋深小于最大毛细上升高度时，给水度较小。⑤水位降速：抽水时降速过大时给水度偏小，降速很小时给水度较稳定。

水性是饱和岩土在重力排水后，岩土依靠分子力和毛管力而在岩石空隙中能保持一定水分的能力。

持水度 (S_r) 是指地下水位下降一个单位深度、单位水平面积岩石柱体中反抗重力而保持于岩石空隙中的水的体积。常用小数表示，无量纲。存在关系式： $m + S_r = n$ 。

残留含水量 (W_0) 相当于最大持水度，是岩石充分释水的结果，又称**田间持水量**。

岩石的透水性是指岩石允许重力水透过的能力。用渗透系数表征。

岩石透水性的影响因素有：(1) 孔隙直径大则渗透性强，取决于最小孔隙直径：孔隙直径越小，结合水占据的无效空间越大，透水性就小。孔隙直径越大，结合水占据的无效空间就越小，透水性就大。透水能力很大程度上取决于最小的孔隙直径。(2) 圆管通道：形状弯曲而变化时，渗透性较差。(3) 颗粒分选性：比对孔隙度的影响要大。

岩石的毛细性是指水通过岩土的毛细管受毛细作用向各方向运动的性能。用毛细上升高度表示。

毛细性是水在土壤空隙和岩石裂隙中受毛细管力的作用下而作垂直运动的性能。

作用在饱和砂层水平单元面积 AB 上的总应力 P 为该单元上松散岩石骨架与水的重量之和。水所承受的应力相当于孔隙水压力，即 $u = gwh$ ， h 为 AB 平面上水的测压高度， u 可理解为 AB 面处水对上覆地层的浮托力。实际作用于砂层骨架上应力，称为有效应力 P_z 。 AB 处应力处于平衡，总应力等于孔隙水压力 u 与有效应力 P_z 之和，即 $P = u + P_z$ ， $P_z = P - u$ 有效应力等于总应力减去孔隙水压力。这就是太沙基有效应力原理。

本章主要讲授岩石中空隙类型的概念、表示方法，空隙中水的类型，岩石的水理性质及表示方法，太沙基有效应力原理与地面沉降。要求掌握基本概念、有关影响因素。

第三章 地下水赋存

包气带是指地下水面以上至地表面之间的地带。**特点：**①岩石空隙未被水充满②是固、液、气三相介质并存介质。水的存在形式：结合水、毛细水、重力水、气态水

包气带水的垂直分带：土壤水带、中间带和毛细水带。**包气带水**是指以各种形式存在于包气带中的水。其赋存和运移受毛细水和重力的共同影响，确切地说是受土壤水分势能的影响。

毛细带是由于岩层毛细管力的作用在潜水面以上形成的一个与饱水带有直接水力联系的接近饱和的地带。

土壤水是包气带表层土壤层中的各种形式的水。

饱水带是地下水面以下岩土空间全部或几乎全部被水充满的地带。

饱水带特点：1 空隙完全被水充满 2 水体分布连续，可传递静水压力 3 水的运动在水头差作用下可连续运动。其中的重力水是开发利用或排泄的主要对象。

含水层是指饱水并能传输与给出相当数量水的岩层。

构成含水层的三个条件是：(1) 有储存水的空间（储水构造），(2) 周围有隔水岩石，(3) 有水的来源，含有重力水为主。

隔水层是指不能传输与给出相当数量水、或者透过与给出的水量微不足道的岩层。具有相对性，以含有结合水为主。

弱透水层是指本身不能给出水量、但垂直层面方向能够传输水量的岩层。

地下水广义上是指赋存于地面以下岩石空隙中的水；狭义上仅指赋存于饱水带岩土空隙中的水。**潜水**是指饱水带中第一个具有自由表面且有一定规模的含水层中的重力水。亦即地表以下第一个稳定隔水层以上具有自由水面的地下水。

潜水的特性：1 水位易受气象水文因素影响； 2 与大气水、地表水联系密切，积极参与水循环，对气象、水文响应敏感，水资源易得到补充，含水层厚度有限，缺乏多年调节性； 3 水质受气候地形条件影响。

潜水含水层厚度是指从潜水面到隔水底板的距离。**隔水底板**是含水层底部的隔水层。**潜水面**是指潜水的表面，为自由水面。**潜水位**是潜水面任意一点的高程。**潜水埋藏深度（水位埋深）**是指潜水面到地面的距离。**潜水面坡度**指相邻两条等水位线的水位差除以其水平距离。当其值很小时，可视为水力梯度。

潜水等水位线图：潜水位相等的各点连线。

作用：1 判断地下水流向； 2 计算水力坡度； 3 地形图与等水位线仪器计算水位埋深； 4 确定潜水与地表水补排关系

绘图注意：1 等水位线穿越河流 2 分水岭 3 冲沟 4 地貌单元 5 断层两侧水位

承压水是指充满于两个隔水层（弱透水层）之间的含水层中的水，具有承压性质。**隔水顶板**是承压含水层上部的隔水层。**隔水底板**是承压含水层下部的隔水层。**承压含水层的厚度**为隔水顶板、底板之间的距离。**测压水位**是井孔中静止水位的高程。

自流区是测压水位高于地表面的范围，又称为承压水的自溢区。

自流水是承压水位高于当地地面能自行喷出或溢出地表的地下水。

承压高度是指揭露承压含水层的钻孔中承压水位到承压含水层顶面之间的距离，亦为作用于隔水顶板的以水柱高度表示的附加压强。从静止水位到承压含水层顶面的垂直距离。

等水压线图：1 判定地下水流向； 2 水力坡度 3 溢流区

承压含水层的**贮水系数**是指承压水测压水位下降或上升一个单位深度时单位水平面积含水层所释放或储存的水的体积。所释放出的水来自含水层中水的体积的膨胀和含水介质的压缩。

各层地下水循环条件对比表

分 类	补 给	径 流	排 泄	水 质
土壤水、包气带水、上层滞水	降水、地表水	较快，非连续流	蒸发	易污染
潜水	降水、地表水、凝结水、其它水	较快，连续流	泉、泄流（径流）、蒸发	较易污染
承压水	潜水	慢	越流、径流、泉	不易污染

第四章地下水运动的基本规律

渗流是指地下水在岩土空隙中的运动。**渗流场**是指发生渗流的区域。**特征**：遵循水力学基本原理。多孔介质，渗流通道复杂多变，空隙细小，所受阻力大，水流缓慢。

层流运动：水的质点做有秩序的、互不混杂的流动。**紊流运动**：水的质点作无秩序的、互相混杂的流动。

稳定流是指水在渗流场内运动过程中各个运动要素（水位、流速、流量、流向等）不随时间改变的水流运动。

非稳定流是指水在渗流场内运动过程中各个运动要素（水位、流速、流量、流向等）随时间变化的水流运动。

水头压力——承压含水层中任何一点都承受流体压力，因此当有一个钻孔打入含水层中时含水层中的地下水会在这种压力作用下流入钻孔并沿着井筒上升，上升到一定高度。上升到一定高度的钻孔中的水柱，可以看作是含水层中某一点的一种水头或水头压力。

由水力学知， $Q=A V$ ，则 $V=Q/A$ ，于是得到达西定律的另一种表达式： $V = K I$

其中： K --多孔介质的渗透系数(m/d)，是水力梯度等于1时的渗透流速，它是描述含水层介质透水能力的重要水文地质参数。 V --多孔介质中流体的渗透流速(m/d)，它并非真实的流速。

渗透流速 (v) 是假想渗流的速度，是假设水流通过包括骨架与空隙在内的断面 (A) 上的平均流速，等于通过实际过水断面的实际流速 u 与岩石的有效孔隙度之积。

水力梯度 (I) 是指沿等水头面（线）法线方向（水头降低方向）的水头变化率。

渗透系数 (K) 是水力梯度等于1时的渗透流速。

渗透系数 (K) 的影响因素：

K 与岩石空隙性质、水的某些物理性质有关。

- (1) 孔隙直径大则渗透性强，取决于最小孔隙直径。
- (2) 圆管通道：形状弯曲而变化时，渗透性较差。
- (3) 颗粒分选性：比对孔隙度的影响要大。
- (4) 水的物理性质：粘滞性大的液体 $K <$ 粘滞性小的液体

达西定律适用范围： $Re=1 \sim 10$ 的层流运动

流网是指在渗流场的某一典型剖面或切面上，由一系列等水头线和流线所组成的网络。

流线是渗流场中某一瞬时的一条线，线上各个水质点在此时刻的流向均与此线相切。

迹线是渗流场中某一时间段内某一水质点的运动轨迹。

均质岩层：渗流场中所有点都具有相同参数 (K) 的岩层。

非均质岩层：渗流场中所有点不都具有相同参数的岩层，渗透系数 $K=K(x, y, z)$ ，为坐标的函数。

各向同性岩层：渗流场中某一点的渗透系数不取决于方向，即不管渗流方向如何都具有相同渗透系数的岩层。

各向异性岩层：渗流场中某一点的渗透系数取决于方向，渗透系数随渗流方向不同而不同的岩层。

流网的作用：(1) 分析渗流场的水流特征。(2) 追踪污染物质的运移。

流网的绘制：

(1) 首先绘制易确定的等水头线、流线：

A 隔水边界：流线与其平行

B 定水头边界：本身是一条等水位线

C 潜水面：没有补给没有蒸发时，是一条流线

(2) 流线：源→汇 补给区→排泄区，>1 个补给点或排泄点时，确定分流线 ∠ 水力隔水边界

(3) 根据流网的性质，等水头线与流线正交，插补其余的流线、等水头线

层状非均质介质是指介质场内各岩层内部渗透性为均质各向同性，但不同层介质的渗透性不同。

流网的用途：(1) 流线疏密反映地下水径流强度 (2) 等水位线疏密反映水力梯度大小 (3) 利用流网做坝基渗漏计算 (4) 利用流网来追踪污染质的运移

第五章 毛细现象和包气带水

毛细负压：是指凹形弯液面产生的附加压强 P_c (真空值)，其与大气压强作用于液面的方向相反，是一个负压强。

毛细上升高度/毛细压力水头 (h_c)：将 P_c 换算为水柱高度，是一个负的压力水头，可用张力计测定包气带的毛细压力水头。

毛细上升高度：是水从地下水面沿岩层毛细管上升的最大高度。

土壤水势：单位数量的水所具有的能量与其在参照状态下所具有的能量差。高度单位 (m/cm) 表示单位重量水的水势。**重力势：**在恒温条件下将单位重量的水从参考基准面移到某一高度 z ，纯自由水所做的功。**压力势：**相对于大气压力所存在的势能差**基质势：**由非饱和和基质对水的吸附力和毛细力产生。**溶质势：**溶液与纯水之间存在的势能差。

包气带中渗透系数也是含水量的函数： $K=K(w)$ 。含水量 w 变小时， K 迅速变小。其原因：

(1) 过水断面减小

(2) 流动途径的弯曲程度增加，

(3) 水流在更细小的孔角通道中流动，阻力大。

毛细压强：弯液面产生的附加压强。

毛细负压：是指凹形弯液面产生的附加压强 P_c (真空值)，其与大气压强作用于液面的方向相反，是一个负压强。

毛细上升高度/毛细压力水头 (h_c)：将 P_c 换算为水柱高度，是一个负的压力水头，可用张力计测定包气带的毛细压力水头。

毛细上升高度：是水从地下水面沿岩层毛细管上升的最大高度。

土壤水势：单位数量的水所具有的能量与其在参照状态下所具有的能量差。

重力势：在恒温条件下将单位重量的水从参考基准面移到某一高度 z ，纯自由水所做的功。

压力势：相对于大气压力所存在的势能差

基质势：由非饱和和基质对水的吸附力和毛细力产生

溶质势：溶液与纯水之间存在的势能差。

含水量 w 变小时， K 迅速变小。其原因：(1) 过水断面减小 (2) 流动途径的弯曲程度增加，(3) 水流在更细小的孔角通道中流动，阻力大。

包气带水的运动特点（不同于饱水带的）：（1）饱水带只存在重力势，包气带同时存在重力势和毛细势。（2）饱水带任意一点的压力水头为定值，包气带中压力水头 $h_c = h_c(w)$ ，为含水量的函数， w 增大， h_c 减小， w 减小， h_c 增大。（3）饱水带中 K 为定值，包气带中的 $K_c = K_c(w)$ ， w 减小， K_c 增大， w 增大， K_c 增大。

第六章 地下水的化学成分及其演变

地下水化学成分研究的意义

理论意义：揭示地下水的形成和起源；查明不同含水层间的水力联系

实际应用：水质评价（饮用水、工业用水、农田灌溉）、标记矿产资源、地震预报……

水化学是研究天然水化学成分的形成、分布和演变的学科。

水文地球化学是研究地下水化学成分的形成和变化规律以及地下水地球化学作用的学科。

地下水水质是地下水的物理、化学和生物物质之总称。

水文地球化学环境是指控制地下水中化学成分的形成、存在形式以及演变的环境条件。

常量元素(宏量元素)是地下水中经常出现、分布最广、含量较多并能决定地下水化学基本类型和特点的元素。

微量元素是地下水中出现较少、分布局限、含量较低的化学元素。它们不决定地下水的化学类型，但却赋予地下水一些特殊性质和功能。

地下水中的主要气体成分 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2S 等

氧(O_2)和氮(N_2)来源：主要起源于大气：（大气降水+地表水入渗补给） 生物化学作用：微生物分解有机物与矿物盐类、水生植物的光和作用释放氧气变质作用：岩石在高温高压下影响下可生成

O_2 与 N_2 共存---来源于大气并处于**氧化环境、氧化环境**。氮还有生物起源与变质起源。 N_2 单独存在：地下水起源于大气，且为还原环境。在封闭环境下，氧被耗尽只剩下 N_2 ，指示水是大气起源且处于封闭环境；大气中惰性气体（Ar, Kr, Xe）与 N_2 的比值：（Ar, Kr, Xe）/ $N_2 = 0.0118$ ，则 N_2 是大气起源（Ar, Kr, Xe）/ $N_2 < 0.0118$ ，则 N_2 是生物或变质起源

地下水中离子成分及含量主要取决于：地壳元素丰度：组成地壳的化学元素的平均含量（重量百分比）；元素组成的化合物在水中的**溶解度**

地下水中主要阴离子： Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- **阳离子：** Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}

溶解性总固体(TDS)：溶解在水中的无机盐和有机物的总称。mg/L、g/L

矿化度：是指地下水中各种离子、分子与化合物的总量，单位 g/l。通常用 105~110℃ 时将水蒸发所得的干涸残余物总量表征；亦可用阴阳离子总和减去 HCO_3^- 含量之半表征。

地下水中主要离子成分与矿化度有何关系？

地下水中主要离子成分随总溶解固体的变化而变化。溶解度由大而小的顺序是 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 。① 低矿化水中 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主；② 高矿化水中 Cl^- 、 Na^+ 为主；③ 中等矿化水中阴离子 SO_4^{2-} 为主，阳离子以 Na^+ 、 Ca^{2+} 为主。④ 卤水中以 $CaCl_2$ 为主。

地下水中的氯离子 Cl^- 的特点：① Cl^- 不为植物和细菌摄取，② 不被土壤颗粒表面吸附，③ 溶解度大，在水中最为稳定，④ 含量变化大，n mg/L-数百 g/L 随矿化度增大，其含量增大⑤水迁移能力很强。**来源有：**沉积岩中岩盐、氯化物的溶解（钠盐、钾盐）岩浆岩含氯矿物氯磷灰石、方钠石的风化溶解；火山喷发物的溶滤、海水人为污染：工业、生活污水和粪便

SO_4^{2-} 的**来源：**沉积岩盐类、石膏的溶解；金属硫化物的氧化（煤系地层）；火山喷发人类活动 SO_4^{2-} 的**特点：**水迁移能力很强，但次于 Cl^-

Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻ 的来源：碳酸盐类沉积物的溶解、岩浆岩和变质岩地区铝硅酸盐矿物的风化溶解（钠/钙长石）

地下水中的其它成分（1）次要离子：包括 H⁺、Fe²⁺、Fe³⁺、Mn²⁺、NH₄⁺、OH⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、CO₃²⁻、SiO₃²⁻、PO₄³⁻等。（2）微量组分：Br、I、F、B、Sr 等。（3）胶体：Fe(OH)₃、Al(OH)₃、H₂SiO₃。（4）有机质：可增加地下水的酸度，有利于还原。（5）微生物：① 氧化环境：硫细菌、铁细菌等；② 还原环境：脱硫酸细菌等；③ 污染水：致病细菌。

地下水化学成分表达式以类似数学分式形式表示单个水样化学成分的含量和组成的方。表示式为：

$$\frac{\text{微量元素 (g/l)} \quad \text{气体成分 (g/l)} \quad \text{矿化度 (g/l)} \quad \frac{\text{阴离子 (mmol\% > 10\% 者由大到小列入)}}{\text{阳离子 (mmol\% > 10\% 者由大到小列入)}}$$

溶滤作用是指地下水与岩土相互作用、岩土中一部分物质转入到地下水中的作用。地下水与岩石相互作用使岩石中一部分可溶成分转入水中，而不破坏矿物结晶格架的作用。

水解作用是地下水与岩石相互作用成岩矿物的晶格中发生阳离子被水中氢离子取代的过程。

溶滤作用的强度是岩土中的组分转入水中的速率。其大小取决于：

- ① 组成岩土的矿物盐类的溶解度，盐岩 NaCl 易溶，SiO₂ 难溶解；
- ② 岩土的孔隙特征：致密基岩，水与矿物难以接触，难溶滤。
- ③ 水的溶解能力：低矿化水的强，高矿化水的弱；决定着溶滤作用的强度。
- ④ 水中 CO₂、O₂ 等气体成分的含量，决定着某些盐类的溶解能力，有易形成 HCO₃⁻、SO₄²⁻，有 O₂ 易溶解硫化物。
- ⑤ 水的流动状况：是关键因素，地下水的径流与交替强度是决定溶滤作用强度的最活跃、最关键的因素。

蒸发浓缩作用是地下水通过蒸发排泄而引起水中成分的浓缩，使水中盐分浓度增大、矿化度增高的现象。**必备条件：**① 干旱半干旱的气候，② 低平地势控制下的地下水位埋深小，③ 松散岩土颗粒细小，毛细作用强，④ 一般发生于地下水流动系统的排泄处，⑤ 具有时间和空间的尺度。

脱碳酸作用是在温度升高、压力降低的情况下 CO₂ 自水中逸出而 HCO₃⁻ 含量则因形成碳酸盐沉淀减少的过程。 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca/MgCO}_3 \downarrow$

脱硫酸作用是在封闭缺氧的还原环境中，在有机物和脱硫酸细菌作用下，硫酸盐被分解成 H₂S 和 HCO₃⁻ 的生物化学过程。 $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 2\text{HCO}_3^-$ 。**封闭的地质构造为其有利环境，油水中有 H₂S，为找油标志。**

脱硝(氮)作用是水中氮氧化物在去氮菌作用下分解亚硝酸盐和硝酸盐、最后排出自由氮的过程，是水中富含 N₂ 和 CO₂。**硝化作用**是有机质分解产生的酸在硝化菌作用下使铵氧化生成亚硝酸盐和硝酸盐的过程。

阳离子交替吸附作用是地下水与岩石相互作用，岩石颗粒表面吸附的阳离子被水中阳离子置换，并使水化学成分发生改变的过程。**吸附能力：**H⁺ > Fe³⁺ > Al³⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > Na⁺。阳离子交替吸附作用取决于岩土的吸附能力、岩土的比表面积、离子的相对浓度。

混合作用是指两种或两种以上不同成分水之间的混合，使原有水的化学成分发生改变的作用。

人类活动对地下水化学成分影响

（1）工业生产的废水、废气和废渣，以及农业上大量使用化肥、农药，使地下水富集了原来含量很低的有害元素，如酚、氰、汞、砷、铬、亚硝酸等。

（2）人类活动通过改变地下水形成条件而改变地下水的化学成分，表现在：

- ① 滨海地区过量开采地下水引起海水入侵。

② 不合理的打井采水使咸水运移。

③ 干旱半干旱地区不合理地引入地表水灌溉，会使浅层地下水位上升，引起大面积次生盐渍化，并使浅层地下水变咸。

④ 原来分布有地下咸水的地区，通过挖渠打井，降低地下水位，减少蒸发量，可使地下水淡化。

⑤ 在地下咸水分布区，引来区外淡的地表水，合理补给地下水，也可使地下水变淡。

地下水化学成分的基本成因类型

溶滤水是指由富含 CO_2 和 O_2 的水渗入补给并溶滤其所流经岩土而获得主要化学成分地下水。其成分受岩性、气候、地貌等因素的影响。在大范围上，受气候控制而有分带性。

(1) **岩性**：①石灰岩、白云岩分布区，水中 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主；

② 含石膏的沉积岩区，水中 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 均较多；

③ 酸性岩浆岩地区，多为 HCO_3^- — Na 型水；

④ 基性岩浆岩地区，水中常富含 Mg^{2+} ；

⑤ 煤系地层、金属硫化物矿床分布区，多为硫酸盐水。

2) **地形地貌**：会干扰气候的分带性，水的化学成分和矿化度均呈现分带现象。

(3) **气候**：干旱地区的山间盆地，气候、岩性、地形表现为统一的分带性，地下水化学分带也最为典型。往往边缘洪积扇顶部为低矿化重碳酸盐水带，过渡带为中等矿化硫酸盐水，盆地中部为高矿化的氯化物水。

自然界中的绝大部分地下水属于溶滤水，常常具有**水平分带性**和**垂直分带性**。

水文地球化学分带是指地下水中化学成分及水文地球化学环境指标在空间呈带状变化的规律。

水文地球化学水平分带是地下水中化学成分和矿化度在水平方向上呈带状变化的规律性。

水文地球化学垂直分带是地下水中化学成分和矿化度在垂直剖面上随深度变化的规律性。

沉积水(埋藏水)是在沉积过程中保存在成岩沉积物空隙中的水。即与沉积物大体同时形成的古地下水。

内生水又称原生水(初生水)是源自地球深部层圈的地下水，亦即来自地球内部在岩浆冷却等地质作用下形成的地下水。

地下水化学成分分析内容

(1) 简分析：物理性质(温度、颜色、透明度、嗅味、味道等)、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} ； Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ ；总硬度、pH 值； NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 H_2S 、耗氧量。单位为 mg/l ， mmol/l 。

(2) 全分析：化学成分 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^- 、 NO_2^- ； Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} ； H_2S 、 CO_2 、耗氧量；总硬度、pH 值、干涸残余物。单位为 mg/l ， mmol/l 。

(3) 专项分析：细菌类、放射性、I-等。

第七章 地下水的补给与排泄

补给：含水层或含水系统从外界获得水量的过程，水量增加的同时，盐量、能量等也随之增加。

排泄：含水层或含水系统向外界排出水量的过程，减少水量的同时，盐量和能量等也随之减少。

根据地下水循环位置，可分为**补给区**、**径流区**、**排泄区**。

径流区是含水层中的地下水从补给区至排泄区的流经范围。

补给区是含水层出露或接近地表接受大气降水和地表水等入渗补给的地区。

水文地质条件是地下水埋藏、分布、补给、径流和排泄条件、水质和水量及其形成地质条件等的总称。

思考：补给获得水量后，含水层或含水系统会发生什么变化？

答：地下水位上升，增加了势能，使地下水保持不停的流动；由于构造封闭或气候干旱，得不到补给，地下水的流动将停滞

补给的研究包括：补给来源、补给机制、影响因素、补给量

地下水的补给来源有：**天然：**大气降水、地表水、凝结水及相邻含水层的补给等；**人类活动有关的：**灌溉水入渗、水库渗漏及人工回灌

大气降水入渗机制：

松散沉积物的降水入渗有两种方式：均匀砂土层——活塞式；含裂隙的土层——捷径式

“活塞式”入渗 ——适用条件： 均匀的砂土层

降水初期 t_1 ：土层干燥，吸水能力很强，雨水下渗快

降水延续 t_2 ：土层达到一定的含水量，毛细力与重力共同作用

下渗趋于稳定——渗润阶段，渗漏与渗透阶段，

降水再持续：当土层湿锋面推进到支持毛细水带时，含水量获得补给，潜水位上升

活塞式与捷径式区别：① 捷径式下渗，新水可以超过老水，优先达含水层；② 捷径式下渗，不必包气带达到饱和即可补给下方含水层。

越流：具有一定水头差的相邻含水层，通过其间的弱透水岩层发生水量交换的过程

