

第一章 绪论

一、我国现在面临的水问题以及治理措施

- 1、水资源短缺
- 2、土壤退化和海平面上升
- 3、水污染
- 4、水资源浪费
- 5、水资源时空分布不均（南水北调，修建水库）

二、什么是水循环？不同尺度的循环？我国水循环特点？

1、水循环

地球上或某一区域内，在太阳辐射和重力以及地球构造运动的作用与影响下，水分通过蒸发、水汽输送、降水、入渗、径流、排泄等过程不断转化、迁移的现象。

2、全球水循环：大陆与海洋之间的循环——地球水系统

大陆水循环

区域水循环：盆地或流域

局部水循环：局部水体之间（河-湖、含水层之间）

长循环： 10^3 年以上

中循环： 10^2 – 10^3 年

短循环： $N \times 10$ 年

3、水资源时空分布不均：南方多，北方少（南水北调）

降雨集中在夏季（水库）

南方洪涝、北方干旱（由季风气候决定）

第二章 同位素水文学

一、同位素水文学的发展历史

二、同位素概念

- 1、同位素：核内质子数 Z 相同，所含中子数 N 不同的一类核素

2、稳定同位素：原子核的质子数和中子数以及原子核结构都是稳定不变的，自然界中多数原子核都属于这一类，如 ^2H 、 ^{18}O 。

3、放射性同位素：原子核不稳定能自发进行放射性衰变或核裂变而转变成其它一类核素的同位素，如天然同位素 ^3H 、 ^{14}C 等。

4、同位素比率（R）

$$R = \frac{\text{稀有同位素的丰度}}{\text{丰富同位素的丰度}}$$

千分差值（ δ ）

$$\delta \text{‰} = \frac{R_{\text{样品}} - R_{\text{标准}}}{R_{\text{标准}}} \times 1000$$

分馏系数（ α ）

$$\alpha_{A-B} = \alpha_{A/B} = \frac{R(A)}{R(B)} = \frac{R_A}{R_B}$$

富集系数（ ϵ ）

$$\epsilon_{A-B} = \alpha_{A-B} - 1$$

5、参数转换

$$\text{同位素比率 } R_a = \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_a$$

$$R_{\text{VSMOW}} = \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{VSMOW}} = 0.0020052$$

$$\text{千分差值 } \delta_a = \left(\frac{R_a}{R_{\text{VSMOW}}} - 1 \right) \times 1000$$

$$\text{分馏系数 } \alpha_{a-b} = \frac{R_a}{R_b} = \frac{1 + \delta_a / 1000}{1 + \delta_b / 1000} \xrightarrow{1000} \ln(\alpha_{a-b}) = \ln\left(\frac{1 + \delta_a / 1000}{1 + \delta_b / 1000}\right) \approx \delta_a / 1000 - \delta_b / 1000$$

$$\text{富集系数 } \epsilon_{a-b} = \left(\frac{R_a}{R_b} - 1 \right) \times 1000 = (\alpha_{a-b} - 1) \times 1000$$

$$\alpha_{a-b} = 1 + \frac{\epsilon_{a-b}}{1000} \xrightarrow{\quad} \ln(\alpha_{a-b}) \approx \frac{\epsilon_{a-b}}{1000} \quad \epsilon_{a-b} \approx 1000 \ln \alpha_{a-b} \approx \delta_a - \delta_b$$

三、同位素水文学的基本原理

1、同位素变化：水圈同位素的丰度并不保持恒定。

变化原因包括：

- （1）各种类型的核过程可引起同位素较大的变化，即放射性同位素的衰变和生成；
- （2）各种类型的物理、化学过程可引起同位素组成相对较微小的变化，即稳定同位素分馏。

2、同位素丰度变化是水文过程、地球化学过程、水文环境、外部条件等的综合反映，是推断、识别水文系统或反演水文过程的依据。

3、同位素地球化学流：不同尺度的同位素水文系统，随着水循环而发生不同类型的同位素循环，是同位素水文学反映特定尺度水文循环过程的基础。

由三部分组成：

- （1）通过此系统的同位素流入和流出；
- （2）系统内的同位素迁移及各种不同的流程式；
- （3）系统内与水量平衡相应的同位素质量平衡。

4、同位素地球化学梯度：同位素水文学反映特定尺度水文系统空间过程的基础。包括连续梯度和不连续梯度两类：

- （1）连续梯度：系统区域水文特征和环境条件的综合；
- （2）不连续梯度：特殊环境条件如地质构造的反映。

5、同位素演化：同位素水文学反映特定时间尺度水文系统时间过程的基础，同位素水文系统中的不同同位素是不同时间尺度的历史演化结果，包括两类：

- （1）时间上的连续过程，即在地质时期、土壤时期、生态时期和技术时期的演化过程；
- （2）时间上的孤立事件，多半为人为因素产生，如核泄漏、核试验所构成的同位素变化。

6、同位素混合：天然水文系统往往是几个系统以不同方式和比例的组合，而各项源系统有独特的同位素组成，源系统可以是不同空间、时间、或者是时间和空间复合的系统。

同位素混合是水文系统识别的方法性基础。

7、降水同位素关系：降水中氢、氧同位素组成有明显的近似于线性的关系，并因地区环境条件、水汽源地、降水机制等发生地区性分异，是同位素水文学的中心概念。

四、同位素分馏及其应用

1、概念：由物理、化学以及生物作用所造成的某一元素的同位素在两种物质或两种物相间分配上的差异现象。

2、原理：轻重同位素分子结合力的差异造成的分子活性差异

3、分类：平衡分馏、动力学分馏

4、瑞利分馏：在开放体系中，反应生成的产物一旦形成后，马上就从系统中分离开，

从而实现同位素分馏效应的过程。

瑞利模型可用来讨论水体蒸馏及水汽凝结形成降水过程中氢氧稳定同位素的富集或损耗。

瑞利分馏公式： $R = R_0 f^{(\alpha-1)}$

f: 剩余反应物比例

5、大气水线/Craig线：大气降水的氢氧同位素组成呈线性变化。 $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$

氘盈余 (d-excess)：水蒸发过程中，水汽不饱和时发生的动力分馏产生。 $d = \delta D - 8 \delta^{18}O$

影响因素：

(1) 温度效应

大气降水的同位素组成与当地气温的呈正相关变化，但不同地区变化差异很大；

(2) 纬度效应

从低纬度到高纬度，随着温度的降低，降水的重同位素逐渐贫化，同位素千分差值下降；

(3) 季节效应

不同地区由于温度、湿度和气团运移等因素存在季节性的变化；

(4) 大陆效应/离岸效应

大气降水的同位素组成随远离海岸线逐步降低。

区域降水线取决于：

(1) 水汽来源：水汽来源地的大气湿度越大，氘盈余 (d) 越小；

(2) 降水下落过程中的蒸发：下落过程中蒸发越强，降水线斜率越小，d越大。

五、放射性同位素

1、原子有稳定和不稳定两种，不稳定的原子除天然元素外，主要由核裂变或核聚变过程中产生碎片形成。这些不稳定的元素在放出 α 、 β 、 γ 等射线后，会转变成稳定的原子。这种不稳定的元素就称为放射性同位素。

2、放射性衰变规律：单位时间内衰变的原子核数目与t时刻存在的原子核数目成正比。

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

3、半衰期：放射性原子核的数目衰减到原有数目的一半所需要的时间。

$$t_{1/2} = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

4、长半衰期的放射性同位素（ ^{14}C 、 ^{36}Cl 等）可用来测定古地下水年龄；
较短半衰期的放射性同位素（ ^3H 、 ^{37}Ar 等）可测定近几十年以来的地下水。

5、同位素在水文中的应用



第三章 湿地生态系统及其水文过程

一、湿地生态系统

1、定义：地表过湿或常年积水，生长着湿地植物的地区。

2、类型

- （1）海岸湿地：包括河口、三角洲、盐水湖、红树林、盐沼、泥滩等；
- （2）湖泊湿地：包括东部平原地区湖泊、蒙新高原地区湖泊、云贵高原地区湖泊、青藏高原地区湖泊、东北平原与山区湖泊；
- （3）河流湿地：包括内陆河、外流河；
- （4）沼泽湿地：包括森林沼泽、灌丛沼泽，草本沼泽、泥炭沼泽等。
- （5）人工湿地：包括稻田、水库等。

二、湿地生态系统的主要特点

1、水文条件

湿地水文条件是湿地生态系统区别于陆地生态系统和深水生态系统的独特属性，导致独特植物的组成并限制或增加物种的多度。

包括输入、输出、水深、水流方式、淹水持续期、淹水频率。

2、边际效应

多发生在两类（水、陆）生态系统的过渡带，或两种环境的结合部，由于生境的多样性增加，经常出现一些特殊适应的生物物种，从而使这类地带具有的物种更丰富。

3、物种多样性

4、系统的生态脆弱性

每一因素的改变，都或多或少地导致生态系统的变化，特别是水文，当它受到自然或人为活动干扰时，生态系统稳定性受到一定程度破坏，进而影响生物群落结构，改变湿地生态系统。

5、生产力高效性

湿地生态系统同其它任何生态系统相比，初级生产力较高。

6、效益的综合性

既具有调蓄水源、调节气候、净化水质、保存物种、提供野生动物栖息地等基本生态效益，也具有为工业、农业、能源、医疗业等提供大量生产原料的经济效益，同时还有作为物种研究和教育基地、提供旅游等社会效益。

7、生态系统的易变性

当水量减少以至干涸时，湿地生态系统演潜为陆地生态系统；
当水量增加时，该系统又演化为湿地生态系统，水文决定了系统的状态。

三、湿地生态系统的功能

1、生物多样性保护功能

湿地是重要的物种基因库，是众多珍稀濒危物种栖息和繁衍的场所，因而在保护生物多样性方面有极其重要的价值。

2、气候和水文调节的功能

湿地汛期蓄存的洪水，分洪削峰，调节水位，缓解堤坝压力，汛后又缓慢排出多余水量，可以调节河川径流，有利于保持流域水量平衡。

3、净化功能

湿地有很强的降解和转化污染物的能力，被誉为“地球之肾”。

- （1）吸纳水中的营养物；
- （2）降解有机物；
- （3）富集重金属。

4、湿地的天然产品

湿地为人类提供丰富的水产品，肉食，毛皮，木材，药材，水果，造纸材料等，还有一些独特的产品，如泥炭（煤化程度最低的煤）。

5、社会功能

湿地是科研，教育，旅游等的重要基地。

四、我国的湿地现状及保护治理

1、现状

- (1) 我国拥有湿地面积约占世界湿地面积的10%，居亚洲第一位，世界第四位；
- (2) 特点：类型多、绝对数量大、分布广、区域差异显著、生物多样性丰富；
- (3) 问题：湿地的面积锐减、水资源过度开采、生物多样性受损、污染加剧；
- (4) 原因：农民造田耕地、过度捕捞渔、养殖污染破坏、河流改道、法律和管理缺陷

2、保护治理

- (1) 制定适宜的湿地保护，利用和管理条例；
- (2) 进行广泛的宣传，提高全民，尤其是政府管理部门关于湿地保护的意识；
- (3) 实施《中国湿地保护行动计划》提出的湿地保护目标；
- (4) 建立各类自然保护区。

五、湿地的生态水文过程

水文过程是决定各种湿地类型形成与维持，以及湿地过程的唯一最重要的因素。

1、湿地水文要素

(1) 降水

大气中的水克服重力作用降落到地面的过程，包括降雨和降雪，随地理、时间和季节变化，变化依赖于大气和地形因素。

(2) 蒸散发

湿地水或者土壤中蒸发出的水加上通过维管植物到达大气的水汽作用。

(3) 集水区和径流

降雨被拦蓄时无法形成地表径流，拦蓄的积水通过蒸发和下渗输出系统。当雨量超过土壤下渗能力，雨水汇集成径流，并在更大更广泛的低洼处汇集，形成湿地。

径流：在一场暴雨中引起河流流量立即增加的降雨量。

$$S_i = R_p \times P \times A_w$$

式中， S_i 为每次暴雨进入湿地的直接地面径流量 (m^3)； R_p 为水文响应系数； P 为流域平均降水量 (m)； A_w 为水流入湿地的流域面积 (m^2)。

R_p 随纬度增加而增加

(4) 洪水和河源湿地

洪水是河流水位超过河漫滩地面溢流的现象，是一种自然灾害。

(5) 持续时间和周转率

换水周期：全部湖水交换更新一次所需时间长短。

$$t^{-1} = Q_t / V$$

式中， t^{-1} 为周转率（1/时间单位）； Q_t 为总流入速率（体积/时间单位）； V 为湿地的平均贮水量。

$$T = \frac{W}{Q_t \times 3600 \times 24}$$

或者
$$T = W \times \frac{365}{W_q}$$

式中， T 为换水周期（d）； W 为多年平均蓄水量（ 10^8 m^3 ）； Q_t 为多年平均出湖流量（ m^3/s ）； W_q 为多年平均出湖水量（ 10^8 m^3 ）。

(6) 地下水与地表水

地下水存在于岩石颗粒之间或细微的裂缝中，通过影响包气带土壤水分和盐分间接影响天然植物生长状态，主要通过向上的运动补充土壤水分。

地表水指湿地中开阔的水域。

2、湿地水量平衡

(1) 湿地水文周期

湿地水位的季节性变化格局，表现为湿地表层和亚表层水位的升降。

水分收入：降水、地表径流、地下水补给

水分支出：蒸发、地表径流、下渗

(2) 湿地水量平衡的要素

降水（主要输入来源）

降水量的不同核算量间的平衡关系可以用公式 3.3 表示：

$$P = I + TF + SF \quad (3.3)$$

式中， P ——总降水量；

I ——截留水量；

TF ——穿透水量；

SF ——蒸流量。

实际到达湿地水体表面或湿地基质的降水总量称为净降水量，用下式表示：

$$P_n = P - I \quad (3.4)$$

3.3 式和 3.4 式相结合，就可以得到目前使用较为普遍的湿地净降水量计算公式：

$$P_n = TF + SF \quad (3.5)$$

地表径流

通常要估算表面径流是非常困难的,但是通常可以估算由于降水特别是暴雨引起的直接径流量。计算公式如 3.6 所示:

$$S_d = R_p P A_w \quad (3.6)$$

式中, S_d ——直接地表径流(m^3 /每次暴雨);

R_p ——水文响应系数;

P ——流域平均降水量(m);

A_w ——向湿地汇水的流域面积(m^2)。

土壤水(生物需水量)

地下水(利用水量守恒计算)

进入、流经和流出湿地的地下水流通常采用达西定律描述。该定律认为地下水流与压力表面坡度(水力梯度)和土壤的水力传导率或透水性成正比。达西定律的方程形式为:

$$G = k A_s s \quad (3.10)$$

式中, G ——地下水流速;

k ——水力传导率或透水性;

A_s ——与流向垂直的地下水流横截面积;

s ——水力梯度(水位或压力表面坡度)。

潮汐(海岸湿地)

蒸散发

$$E = cf(u)(e_w - e_a) \quad (3.11)$$

式中, E ——蒸发率;

c ——质量传送系数;

$f(u)$ ——风速 u 的函数;

e_w ——表面蒸气压或饱和蒸气压;

e_a ——周围空气蒸气压。

(3) 湿地水量预算

(水分补给) $\rightarrow \Delta V / \Delta t \rightarrow$ (水分支出)

(湿地单位时间蓄水体积的变化)

3、湿地温室气体观测

(1) 静态箱—气相色谱方法

(2) TGR便携式气体分析仪结合实验实时监测

(3) 涡度相关技术测定温室气体排放

第四章 河湖水动力过程及污染观测技术

一、河湖水情要素及动力过程

1、水情要素：反映河流水文情势及其变化的因子。

它主要包括水位、流速、流量、泥沙、水化学、水温和冰情等。

（1）水位：自由水面高出某一基面的高程，以m计。

雷达水位计、压力水位计、深井水位监测仪

（2）水流的运动（层流、紊流）和流速

声学多普勒流速剖面仪（ADCP）

（3）流量：单位时间内通过某过水断面的水量。

（4）浊度

在线浊度仪

（5）水化学指标

天然水离子组成： Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， Na^+ ， K^+ ， HCO_3^- ， SO_4^{2-} ， Cl^- 等。

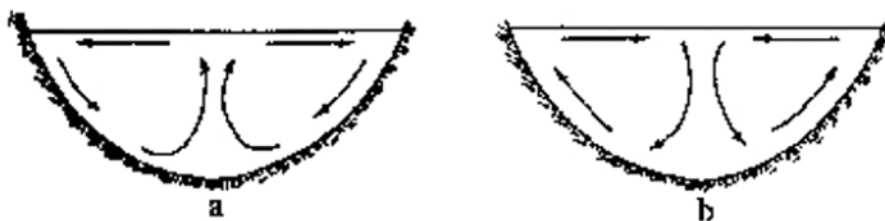
化学性指标：主要有pH，碱度，硬度，氯化物，硫酸盐，总含盐等。

化学需氧量（COD）：以化学方法测量水样中需要被氧化的还原性物质的量。

生物需氧量（BOD）

可溶性有机质（TOC）

2、湖泊的动力过程



a: 升温情况下

b: 降温情况下

（1）换水周期：全部湖水交换更新一次所需时间长短。

$$T=W/(Q\times 86400)$$

T-换水周期(d)；W-湖泊贮水量(m^3)；Q-年平均入湖流量(m^3/s)。

（2）温度分层（表面温跃层、变温层、下层均温层）

湖水热量来自太阳辐射，并同时与周围环境发生热交换，水体中热量传递不均匀而出现

季节性的温度分层，控制水环境中主要的物理、化学和生物作用。

泛塘：秋冬季节，随气温下降，表层湖水温度下降，冷却湖水密度加大而下沉，上、下层湖水发生垂直交替，水温分层逐渐消失。

二、污染物的迁移转化

1、水污染

指水质的恶化。由于人类活动或自然因素的原因，使水的感官状况、物理化学性质、化学成分、生物组成以及底质等发生异常变化。

2、水体的自净能力

水体在物理、化学和生物作用下，受污染的水体逐渐自然净化，水质复原的过程。

3、水体污染源

点源污染（工业废水、城市生活污水）、非点源污染（通过径流汇入受纳水体）

天然水体中的污染物类型：有机无毒物，有机有毒物，无机无毒物，无机有毒物

（1）有机污染物

颗粒状有机物（POM）、溶解性有机物（DOC，如：碳水化合物、含N有机化合物）

耗氧有机物/有机无毒污染物（DOC）、有毒有机污染物（如：农药）

（2）无机污染物

无机无害物：营养物质（N、P）等

无机有毒物：氰化物、重金属污染物、非金属污染物As

（3）有机物含量的表示

总有机碳（TOC）：水中有机物所含碳的总量。

化学需氧量（COD）：在一定条件下，用强氧化剂氧化单位体积水样中还原性物质所消耗的氧化剂的氧当量。

生化需氧量

4、污染物的迁移转化过程

迁移、吸附、生物降解和转化、水解、扩散和稀释、沉淀与再悬浮

三、湖泊富营养化及蓝藻水华发生机理

1、富营养化

概念：一种氮、磷等植物营养物质含量过多所引起的水质污染现象。

发生机理：水生生物特别是藻类将大量繁殖，使生物量的种群种类数量发生改变，破坏了水体的生态平衡。

过程：健康阶段→营养增加阶段→生产力上升阶段→沉水植物消亡阶段→藻华严重发生阶段→黑臭阶段

四、水污染观测

1、采样

玻璃瓶——有机物，聚乙烯瓶——无机物

采集的量保证分析用量3倍以上，至少2次平行采样

2、水样形式

- （1）瞬时水样：在一定时间和地点取样；
- （2）综合水样：同一时间不同地点取样的混合；
- （3）混合水样：同一地点不同时间取样的混合；

3、水样保存

冷藏0-4℃

控制pH，加酸

加保存试剂（生物抑制剂，氧化剂，还原剂）