

# 地下水水文学

## Groundwater Hydrology

讲授：肖长来

吉林大学环境与资源学院  
水文水资源系  
2004年9月



# 地下水水文学

绪言

第一章 地球上的水及其循环

第二章 岩石中的孔隙与水分

第三章 地下水赋存

第四章 地下水运动的基本规律

第五章 毛细现象和包气带水的运动

第六章 地下水的化学成分及其形成作用

第七章 地下水的补给与排泄

第八章 地下水系统

第九章 地下水的动态与均衡

第十~十二章 孔隙水, 裂隙水, 岩溶水



## 第一章 地球上的水及其循环

1.1 地球上的水

1.2 自然界的水循环

1.3 与水循环有关的气象水文因素

1.3.1 气象因素

1.3.2 径流

1.4 我国水文循环概况



## 1.1 地球上的水

世界地图



## 1.1 地球上的水

世界地势图



## 1.1 地球上的水

水体 Water Body	分布面积 (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	水深 (m)	体积 Volume (km <sup>3</sup> )		百分比 Percentage (%)		年滞留量 (km <sup>3</sup> )	滞留时间 Residence
			总水量	占淡水	总水量	占淡水		
大气水 atmosphere	51000	0.025	12.9 × 10 <sup>6</sup>	0.001	0.04	600000	8d	
海洋 Oceans	36130	3700	1.338 × 10 <sup>9</sup>	96.5	99.999	26500	2650a	
冰川及永久积雪 icecaps and glaciers	1622.75	1463	24.0641 × 10 <sup>6</sup>	1.74	68.7		极地 9700a 山岭 1600a	
海冰冰盖			2.160 × 10 <sup>6</sup>	1.56	61.7			
北极冰盖			31.5 × 10 <sup>6</sup>	0.006	0.24			
地 冰川总冰量			2.34 × 10 <sup>6</sup>	0.17	6.48	2477	9700	
冰 其它冰量			40.6 × 10 <sup>6</sup>	0.003	0.12	25	1600	
淡水 Fresh water lakes	206.87	85.7	176.4 × 10 <sup>6</sup>	0.013	0.51	10376	17a	
淡水湖	123.64	73.6	91.0 × 10 <sup>6</sup>	0.007	0.26			
咸水湖 Saline water lakes			85.4 × 10 <sup>6</sup>	0.006				
沼泽 swamps	168.26	4.28	11.47 × 10 <sup>6</sup>	0.0008	0.01	2294	5	
河流 rivers	14880	0.014	2.12 × 10 <sup>6</sup>	0.0002	0.006	49400	16d	
包气带水 Soil moisture and vadose water	8200	0.2	16.5 × 10 <sup>6</sup>	0.001	0.05	16500	1a	
地 潜水带水 Ground water (200m 以内)	13480	174	23.4 × 10 <sup>6</sup>	1.70		16700	1400a	
地下 地下淡水 Fresh groundwater			78	10.53 × 10 <sup>6</sup>	0.76	30.1		
永久冻土带固态水	2100	14	300.0 × 10 <sup>6</sup>	0.022	0.86	30	10000a	
生物水	51000	0.002	1.12 × 10 <sup>6</sup>	0.0001	0.003			
总水量	51000	2717	1.38798 × 10 <sup>9</sup>	100				
淡水 Fresh water			~15.029 × 10 <sup>6</sup>	2.53	100			



## 1.2 自然界的水循环

**水循环**是地球上或某一地区内在太阳辐射和重力作用下,水分通过蒸发、水汽输送、降水、入渗、径流等过程不断变化、迁移的现象。亦即地球上各个层圈系统内的水相互联系、相互转化的过程。包括水文循环和地质循环。

(1) **水文循环**是指发生于大气水、地表水和地壳岩石空隙中地下水之间的水循环。大循环是指海洋或大陆之间的水分交换。小循环是指海洋或大陆内部的水分交换。

(2) **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。每年从地球深部溢出地表的初生水约 $2 \times 10^8 \text{t}$ 。



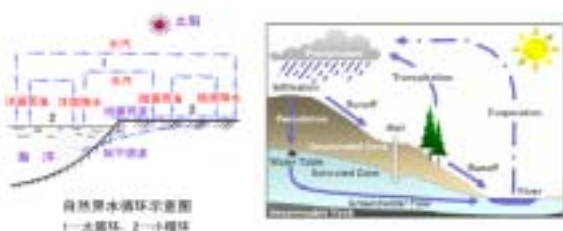
## 1.2 自然界的水循环

**Hydrologic cycle** is the process of evaporation, vertical and horizontal transport of vapor, condensation, precipitation, and the flow of water from continents to oceans. It is a major factor in determining climate through its influence on surface vegetation, the clouds, snow and ice, and soil moisture. The hydrologic cycle is responsible for 25 to 30 percent of the mid-latitudes' heat transport from the equatorial to polar regions (CG)



## 1.2 自然界的水循环

### 水循环图



## 1.3 与水循环有关的气象水文因素

### 1.3.1 气象因素

水循环中的蒸发、降水,均与大气的物理状态相关。气象和气候因素对水资源的形成与分布具有重要影响。

**天气**(weather)是在一定地区一定时间内各种气象因素综合影响所决定的大气物理状态。

**气候**(climate)是某一区域天气的平均状态。

**气象**(meteorology)是大气中的冷、热、干、湿、风、云、雪、霜、雾、雷电、光等各种物理状态和现象的统称。



## 1.3 与水循环有关的气象水文因素

### 1.3.1.1 大气圈的结构

**水汽**主要分布于地面以上3.5km以内,占70%;5km以下含水占总水汽含量的90%。

### 1.3.1.2 大气的热源

来源于**太阳热辐射**,强度为 $8.16 \text{J}/\text{min} \cdot \text{cm}^2$ ,其中15%被大气层吸收,42%返回宇宙,43%到达地面。

### 1.3.1.3 主要气象要素

#### (1) 气温 (air temperature)

气温即大气的温度。通常指的是离地面1.5m左右、处于通风防辐射条件下温度表读取的温度。



## 1.3 与水循环有关的气象水文因素

#### (2) 气压 (air pressure)

**气压**是与大气接触的表面上,由于空气分子的碰撞在单位面积上所受到的力,亦即大气的质量施加在地表或地表物体上的压力。其值等于单位横截面上所承受的垂直空气柱的重量。气压的单位为毫巴或毫米汞柱。

气压按指数律随高度递减。标准状态气压为760mm Hg柱(10<sub>5</sub>Pa), T=0, 纬度45°海面。

从赤道 两侧 两极,即低压带 亚热带高压带 相对低压带 高压带,气压差 周期性的季风 气流,使水汽、热量重新分配。



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

#### (3) 湿度

**湿度** (humidity, moisture) : 表示空气中水汽含量或空气干湿程度的物理量, 是大气中的水汽含量。有绝对湿度、相对湿度、饱和差和露点等多种表示方法。

**绝对湿度** : 表示某一地区某一时刻中的水汽含量, 即单位体积空气中所含水汽的质量。用重量表示时, 符号记为 $m$ , 单位为 $g/m^3$ ; 用压力表示时, 符号记为 $e$ , 为空气中所含水汽分压, 相当于水银柱高度的 $mm$ 数或 $mba$  ( $1mba=10^2Pa$ ), 表示空气中水分的饱和程度。

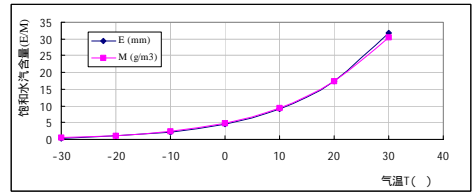
**Absolute humidity** is the amount of moisture in the air as expressed by the number of grams of water per cubic meter of air.



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

**饱和水汽含量** (符号为 $M$ 或 $E$ ) 是指某一温度下空气容纳的最大水汽数量。 $M$ 或 $E$ 随温度 $T$ 升高而增大。

Saturation humidity is the maximum amount of moisture that can be contained by an air mass at a given temperature.



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

**相对湿度** (relative humidity) : 大气中实际水汽含量与饱和时水汽含量的比值, 亦即绝对湿度与饱和水汽含量之比, 数值上也等于实际水汽压与同温度下饱和水汽压之比值, 即

$$r (\%) = e/E \times 100\% = m/M \times 100\%$$

式中,  $r$ 为相对湿度, 以百分数表示, 表示实际水汽压, 单位为毫米汞柱;  $E$ 为饱和水汽压, (同一温度下, 水汽压的最大值)。

**Relative humidity** is percent ratio of the absolute humidity to the saturation humidity for an air mass. (HG)



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

#### (4) 蒸发

**蒸发** (evaporation) : 是指常温下水由液态变为气态进入大气的过程, 亦即温度低于沸点时, 水分子从液态或固态水的自由面逸出而变成气态的过程或现象。

发生于河流、湖泊、水库等自由水面的蒸发称为**水面蒸发**; 发生于陆地表面的蒸发称为**陆地蒸发**, 包括土面蒸发和叶面蒸发 (transpiration)。通常用蒸发皿观测, 单位 $mm$ 。

**Evaporation** is the conversion of a liquid (water) into a vapor (a gaseous state) usually through the application of heat energy during the hydrologic cycle; the opposite of condensation. (GG)



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

#### (5) 降水

**降水** (precipitation) 是空气中的水汽含量达到饱和和状态时超过饱和限度的水汽凝结并以液态形式或固态形式降落到地面的现象, 主要指从云中下降的液态或固态水, 如雨 (rainfall)、雪 (snow)、冰雹 (hailstone) 等。以锋面雨最常见。常用雨量计观测, 单位 $mm$ 。

**Precipitation** is any or all forms of liquid or solid water particles that fall from the atmosphere and reach the Earth's surface. It includes drizzle, rain, snow, snow pellets, snow grains, ice crystals, ice pellets, and hail.



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

**降水量**是一定时段内, 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。



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

#### 1.3.2 径流

**径流 (runoff)** 是指降落到地表的降水在重力作用下沿地表或地下流动的现象。为水流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。

Runoff is that part of the precipitation, snow melt, or irrigation water that appears in uncontrolled surface streams, rivers, drains or sewers. It is the same as stream flow unaffected by artificial diversions, imports, storage, or other works of man in or on the stream channels. Runoff may be classified according to speed of appearance after rainfall or melting snow as direct runoff or base runoff, and according to source as surface runoff, storm interflow, or ground-water runoff.



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

**水系 (hydrological net)** 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 (watershed, basin)** 是指一个水系的全部集水面积, 亦即地表水、地下水的分水岭所包围的集水区域。

**分水线 (分水岭) (divide)** 是指相邻两个流域之间地形最高点的连线。



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

**流量 (discharge)** 是指单位时间通过河流 (渠、管) 某一断面的水量 (水体积), 单位  $m^3/s$ , 计算公式为  $Q=A \cdot V$ , 式中  $V$ ---平均流速 ( $m/s$ ),  $A$ ---过水断面面积 ( $m^2$ )。

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

**径流模数 (runoff modulus)** 是单位流域面积上的平均产水量, 单位为  $l/s \cdot km^2$ , 计算公式  $M=Q/F \times 10^3$ 。

**径流深度 (runoff depth)** 是计算时段内的总径流量均匀分布于测站以上整个流域面积上所得到的平均水深, 单位为  $mm$ , 计算公式  $R=W/F \cdot 10^{-3}$ 。

**径流系数 (runoff coefficient)** 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  $\beta=R/P$ 。



### 1.3 与水循环有关的气象水文因素

径流特征值换算表

关系式	特征值	$Q (m^3/s)$	$W (m^3)$	$M (m^3/s \cdot km^2)$	$R (mm)$
$Q (m^3/s)$	-	-	$\frac{W}{T}$	$M \cdot F \cdot 10^{-3}$	$\frac{R \cdot F}{T} \cdot 10^3$
$W (m^3)$	$Q \cdot T$	-	-	$M \cdot F \cdot T \cdot 10^{-3}$	$R \cdot F \cdot 10^3$
$M (m^3/s \cdot km^2)$	$\frac{Q}{F} \cdot 10^3$	$\frac{W}{T \cdot F} \cdot 10^3$	-	-	$\frac{R}{T} \cdot 10^6$
$R (mm)$	$\frac{Q \cdot T}{F} \cdot 10^{-3}$	$\frac{W}{F} \cdot 10^{-3}$	$M \cdot T \cdot 10^{-6}$	-	-

关系式	特征值	$W (10^6 m^3/a)$	$M (10^6 m^3/a \cdot km^2)$	$R (mm/a)$
$W (10^6 m^3/a)$	-	-	$M \cdot F \cdot 10^{-4}$	$R \cdot F \cdot 10^{-5}$
$M (10^6 m^3/a \cdot km^2)$	$\frac{W}{F} \cdot 10^4$	-	-	$R \cdot 10^{-1}$
$R (mm/a)$	$\frac{W}{F} \cdot 10^5$	$M \cdot 10$	-	-



### 1.4 我国水文循环概况

我国水文循环时空分布不均, 东多西少, 南多北少。降水量 1500mm 600-800mm <50mm。

我国总径流量为 2.78 万亿  $m^3/a$ , 长江及以南占 75%。华北、西北占 10%。

地下水径流量为 7000 亿  $m^3/a$ , 长江及以南占 60%, 华北、西北占 20%。

全国冰川积雪总量为 51322.2 亿  $m^3$  (分布面积 58641  $km^2$ ), 冰雪融水为 563.42 亿  $m^3/a$ , 是绿洲 (oasis) 的补给源。

地下水径流滞缓, 水质佳, 调节作用大, 供水价值大。



### 1.4 我国水文循环概况

中国地势图



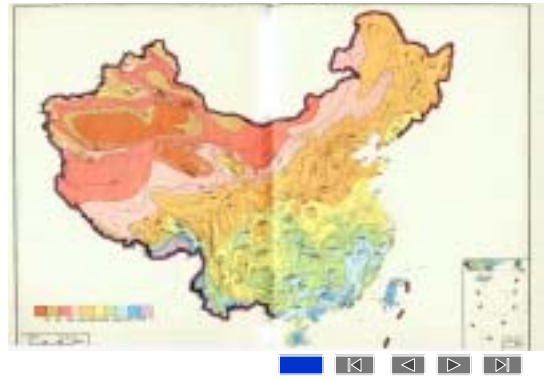
## 1.4 我国水文循环概况

中国河流图



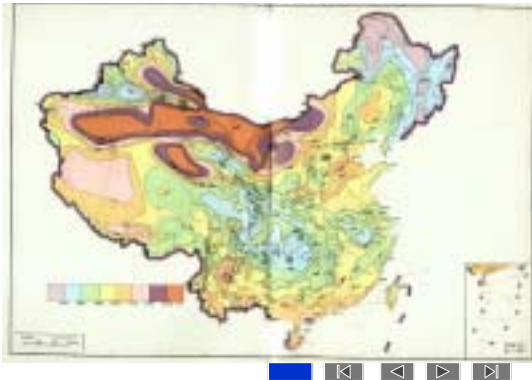
## 1.4 我国水文循环概况

中国多年平均降水量图



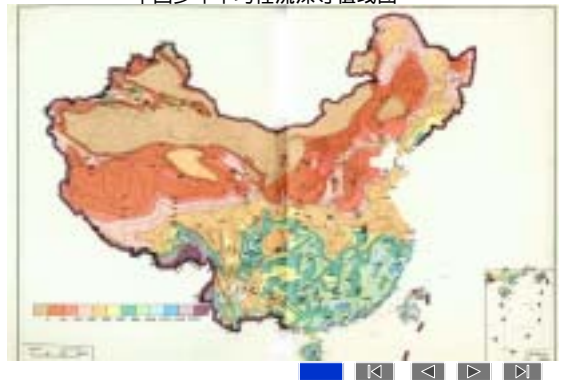
## 1.4 我国水文循环概况

中国多年平均水面蒸发量图



## 1.4 我国水文循环概况

中国多年平均径流深等值线图



## 1.4 我国水文循环

中国七大江河年径流量

项 目	长江	黄河	松花江	珠江	辽河	海河	淮河
流域面积(万km <sup>2</sup> )	180.9	75.2	55.7	44.4	22.9	26.4	26.9
河长(km)	6300	5464	2308	2214	1390	1090	1000
年均降水深(mm)	1070	475	527	1469	473	559	889
年均径流量(亿m <sup>3</sup> )	9513	658	62	3338	148	228	622
注入	东海	渤海	黑龙江	南海	渤海	长江	渤海

END