



Fundamentals of Hydrogeology

水文地质学基础

第九章 地下水动态与均衡

中国地质大学（武汉）水文地质学基础教学组

本章内容



9.1 地下水的动态

9.2 地下水的均衡

9.1 地下水的动态



❖ 含水层（含水系统）经常与环境发生物质、能量与信息的交换，时刻处于变化之中——与时间有关

❖ 地下水动态的概念

在与环境相互作用下，含水层（含水系统）各要素（如水位、水量、水化学成分、水温等）随时间的变化，称之。

9. 1. 1地下水动态的形成机制



与环境的相互作用

❖ 降水——补给地下水系统——水位上升（出现变化）

- 激励——脉冲式的降水
- 响应——波状信号的信息

❖ 地下水水位对外界输入（降水）响应的特点：

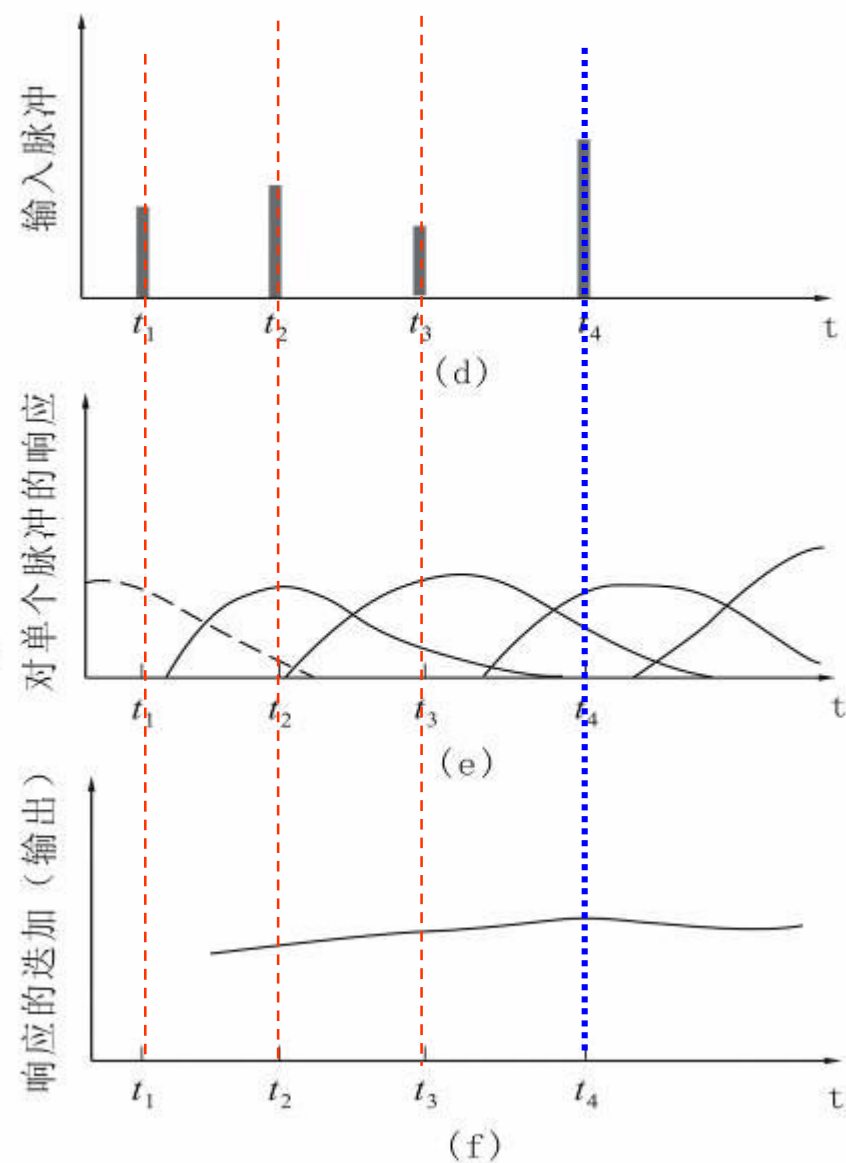
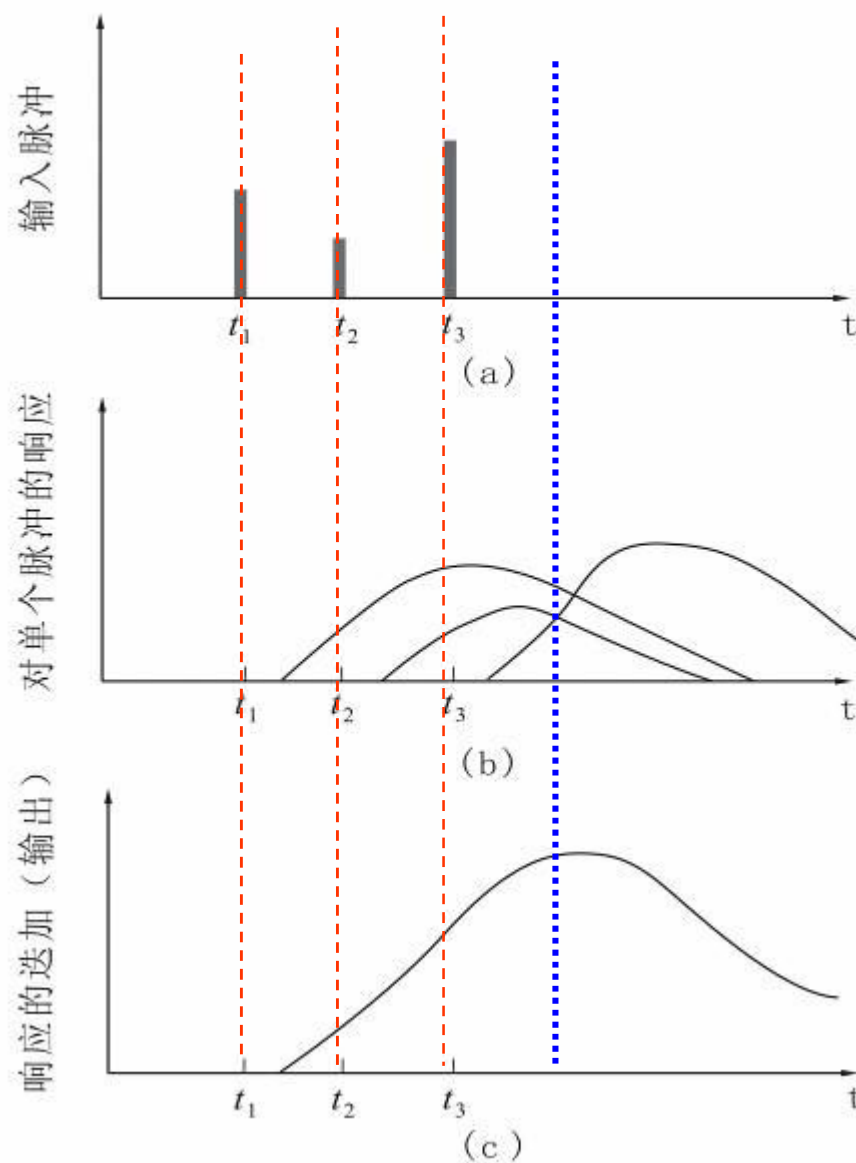
- （1）滞后和延迟现象
- （2）有叠加现象

地下水动态曲线

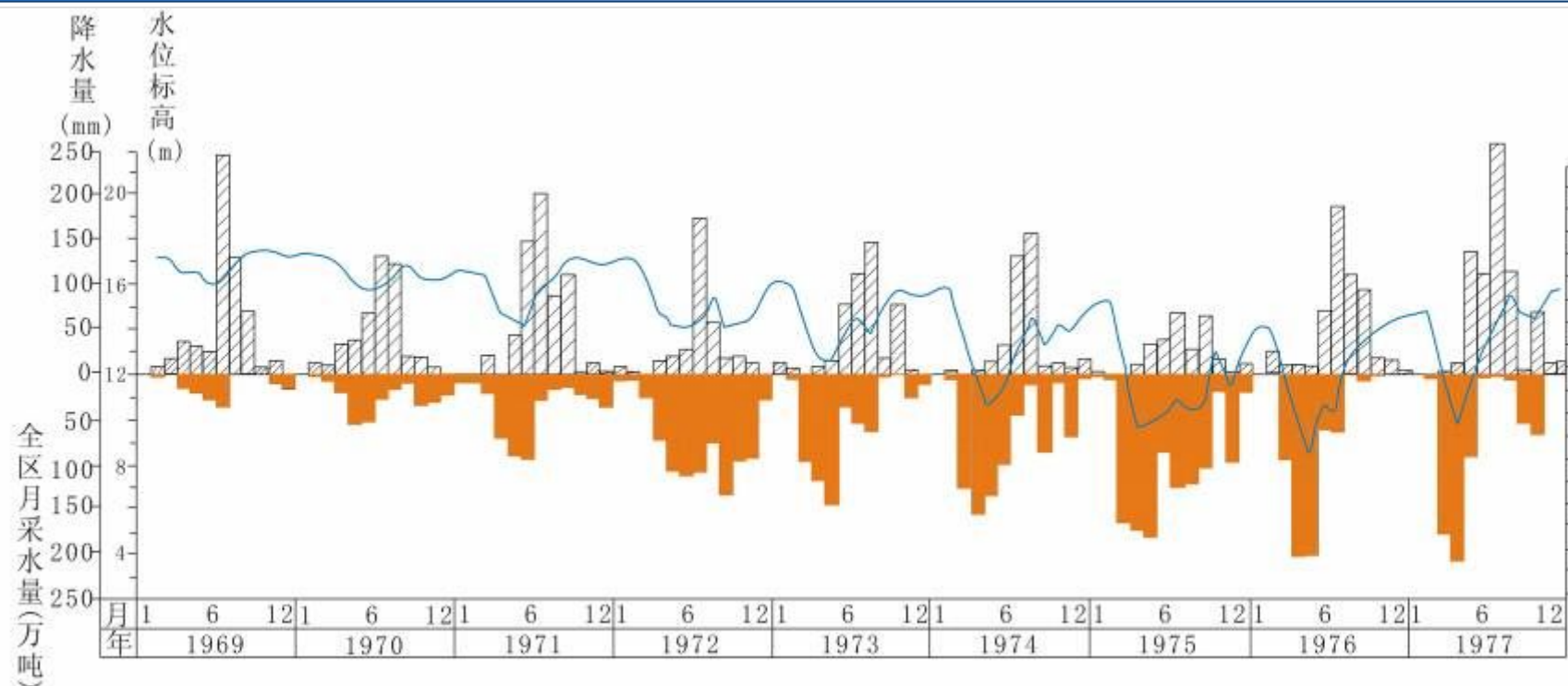
❖ 因外界激励（或输入）而引起的系统响应（或输出）的变化幅度是含水系统内部结构作用的结果

- 某要素（水位）随时间的变化程度用稳定性来衡量
- 动态稳定——变化幅度小
- 动态不稳定——变化幅度大

降水补给引起地下水位响应——滞后-延迟-叠加



河北饶阳地区地下水位动态曲线



思考？影响地下水位变化（动态特征）因素有哪些

9.1.2 地下水动态的影响因素

1、气象（气候）因素—决定动态总轮廓

❖ 特点：大面积，普遍产生影响（主要有降水与蒸发因素）

❖ 气象因素表现：

- 降水的年内季节性变化
- 降水的多年变化（如11年周期）
- 降水的昼夜变化

❖ 与此相对应，地下水动态也有这三种周期性变化

- 昼夜变化 --在许多地区不明显
- 多年变化 --研究周期长
- 年内变化 --最突出

地下水动态曲线

气象（气候）因素

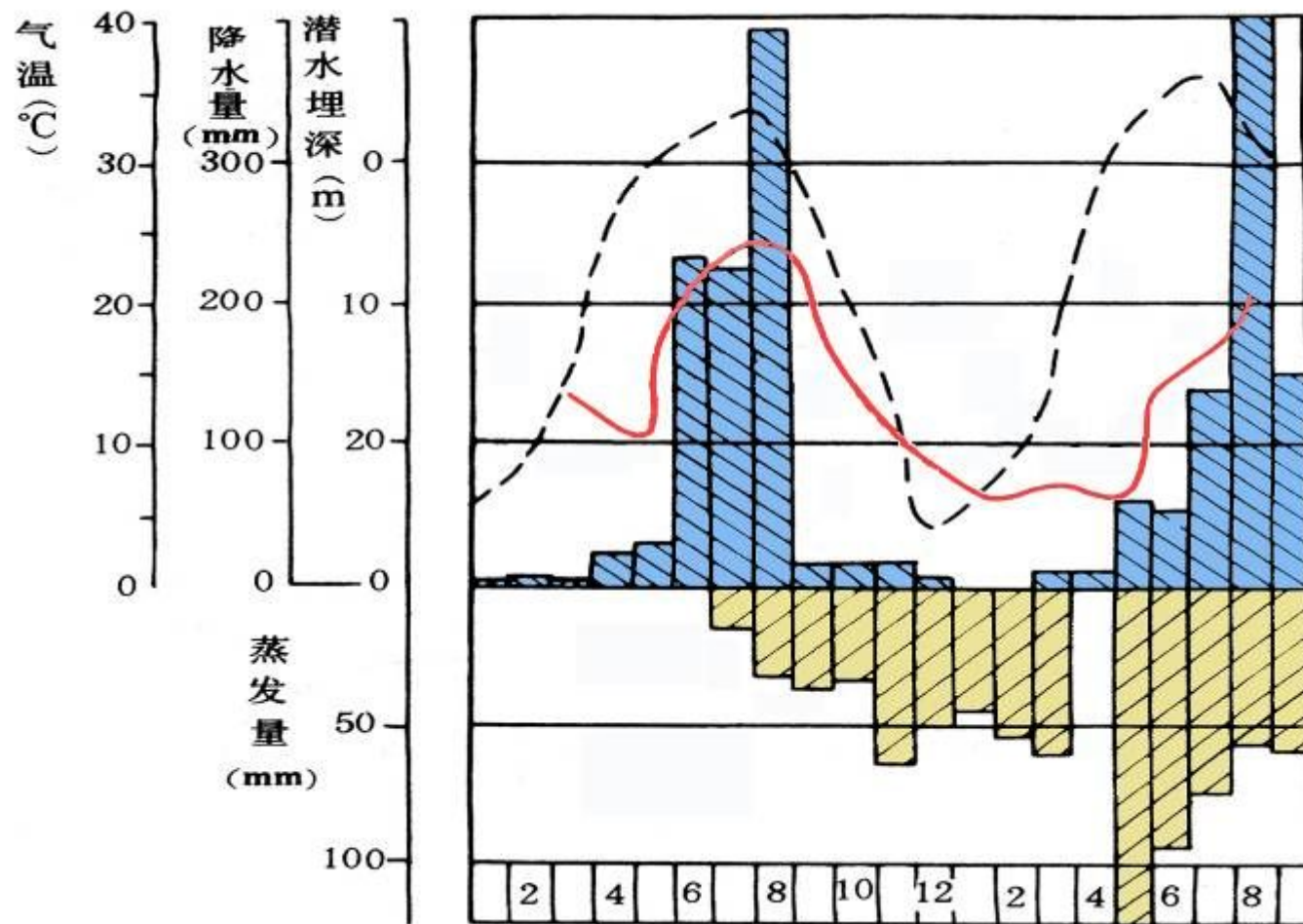


图9—3 潜水动态曲线（1954—1955，北京）

虚线为气温；兰色柱状为降水量；红色为潜水位；黄色柱状为蒸发量

9.1.2 地下水动态的影响因素

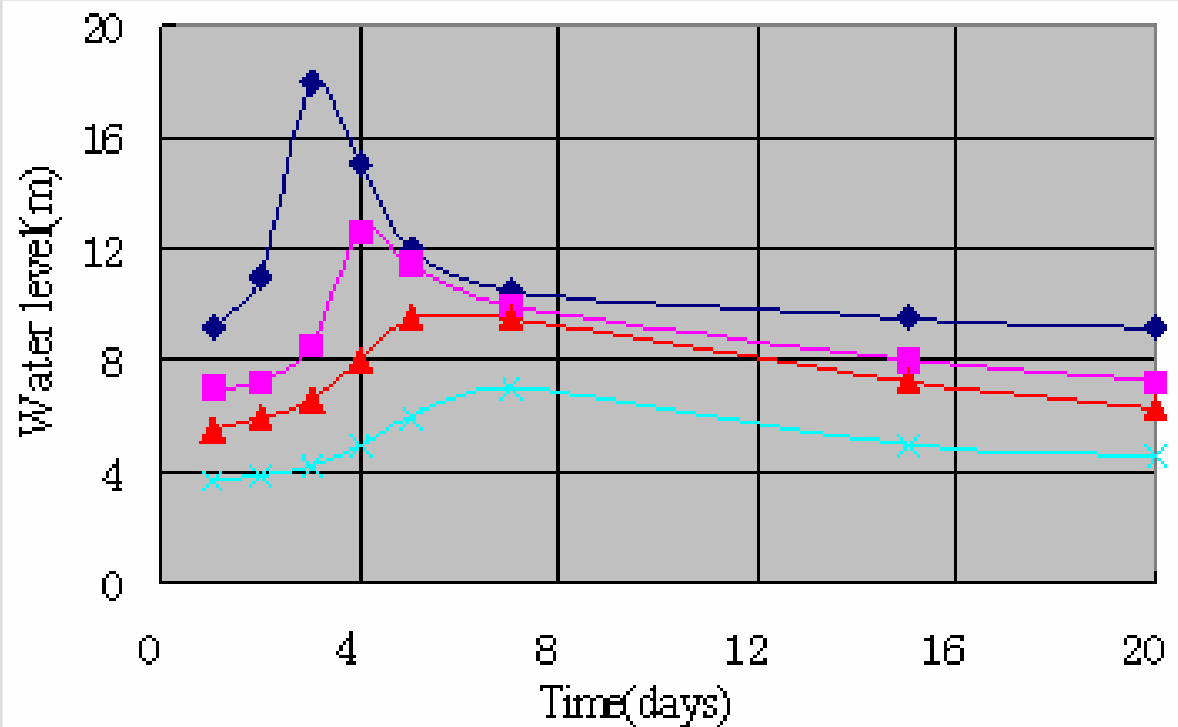
2、水文因素

❖ 指地表水体的变化对地下水动态的影响

❖ 从右图中可以看出什么规律？

与地表水体的距离有关

思考？ 与潜水比较，受河水位影响承压水动态有何特点？



河旁潜水位与河水位的关系

◆ 河水位 ■ 观1水位 ▲ 观2水位 × 观3水位

9.1.2 地下水动态的影响因素

3、地质因素

- ❖ 地质因素是间接因素（相当于滤波器）
- ❖ 气候与水文因素决定了一个地区地下水动态的总轮廓
- ❖ 地质因素起修饰作用，滤波或削峰填谷的作用
 - 潜水位埋深：埋深的大小，对滞后-延迟时和变幅的影响
 - 包气带岩性：K起作用；
 - 饱水带岩性：K和 μ 均起作用
 - 地下水所处的空间部位：补给区，排泄区。一般而言，补给区较排泄区更不稳定

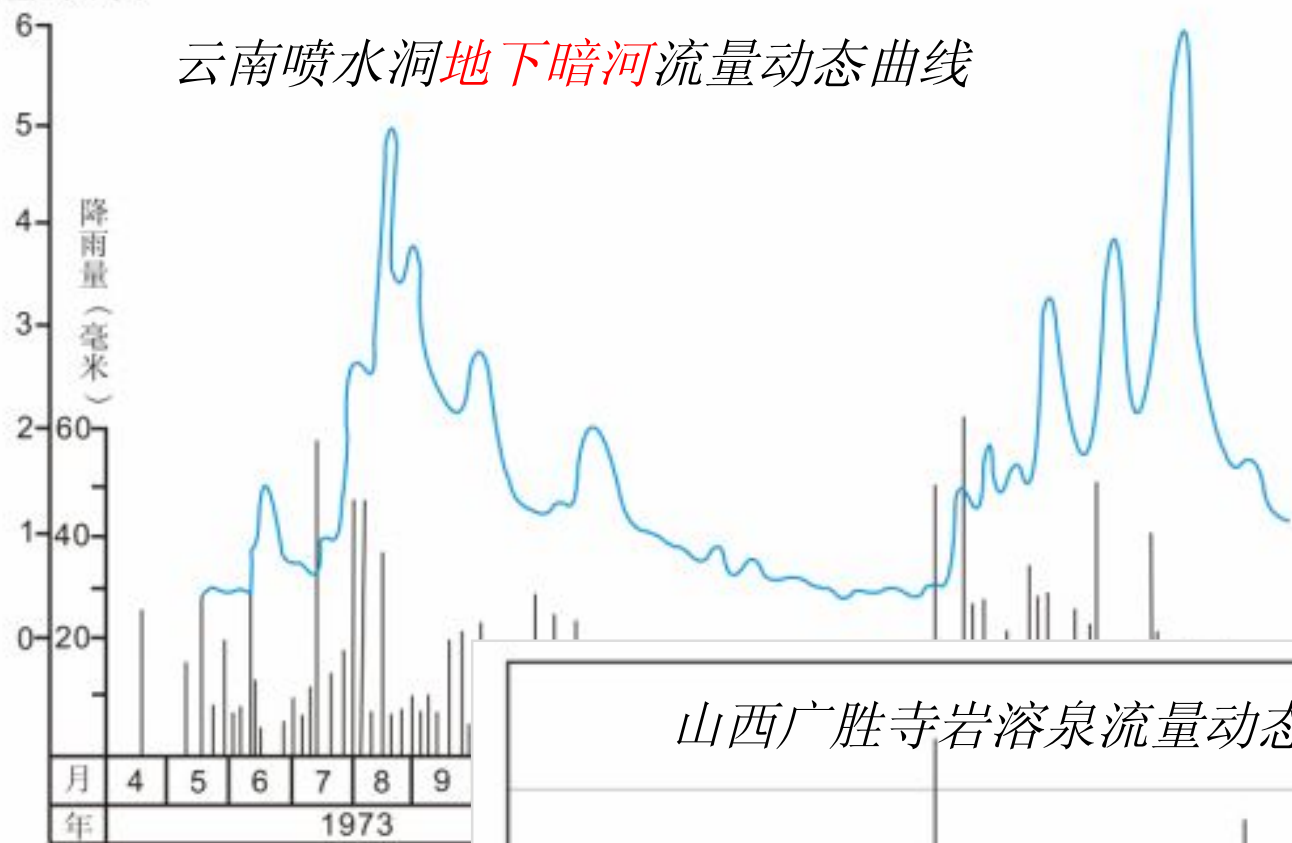
岩溶水动态特征

4、人为因素

- 包括开采、人工回灌、灌溉、库渠渗漏、污水排放等

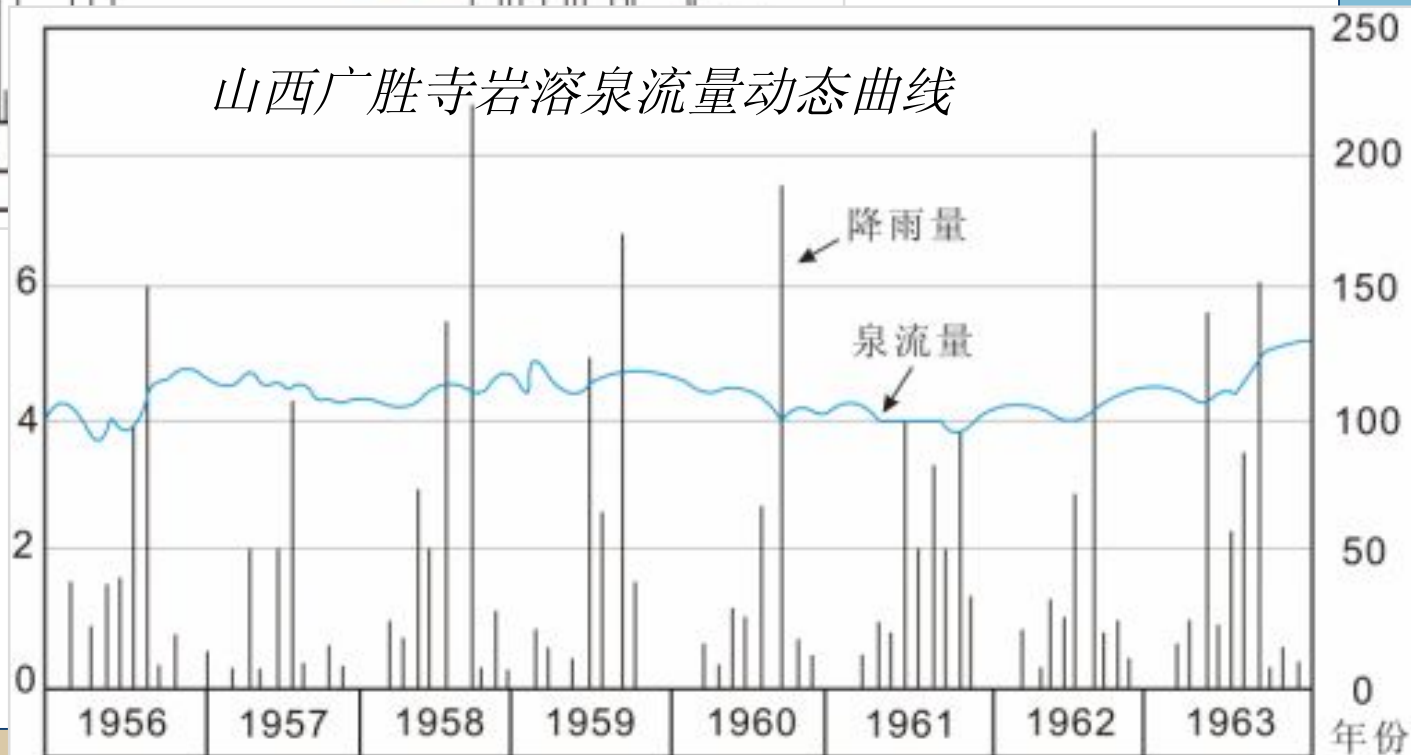
流量(米³/秒)

云南喷水洞地下暗河流量动态曲线



岩溶水动态

山西广胜寺岩溶泉流量动态曲线



9.1.3 地下水天然动态类型

潜水、承压水由于排泄方式、交替程度不同，两者的动态特征也不同

1、潜水的动态类型——三种类型

❖ 蒸发型——

- 主要出现在干旱半干旱地区地形切割微弱的平原或盆地。

❖ 径流型——

- 广泛分布于山区及山前

❖ 弱径流型——

- 气候湿润的平原与盆地，蒸发排泄有限，径流排泄为主，但径流微弱。

9.1.3 地下水天然动态类型

2、承压水

❖ 径流型——

动态变化的程度取决于构造封闭条件。构造开启程度愈好，水交替愈强烈，动态变化愈强烈，水质的淡化趋势愈明显。

3、人类活动影响下的地下水动态

- ❖ 采排地下水：取水或矿坑排除地下水后，人工采排成为地下水新的排泄去路；含水层或含水系统原来的均衡遭到破坏，天然排泄量的一部或全部转为人工排泄量，天然排泄消失或减少（泉流量、泄流量减少，蒸发减弱），并可能增加新的补给量，影响动态
- ❖ 补给地下水：修建水库，利用地表水灌溉等，增加了新的补给来源而使地下水位抬升，形成新的动态特征

9.2 地下水均衡

均衡：某一时间段、某一地段内，地下水水量（热量、盐量、能量）的收支状况，称为地下水均衡

动态是均衡的外部表现

9.2.1 地下水均衡方程式—质量守恒定律

- ❖ 均衡区：均衡计算所选定的区域（三维的）
- ❖ 均衡期：均衡计算的时间段（一个水文年）
- ❖ 均衡方程式一般表达形式： $A - B = \Delta W$

潜水均衡

A——收入项；

B——支出项；

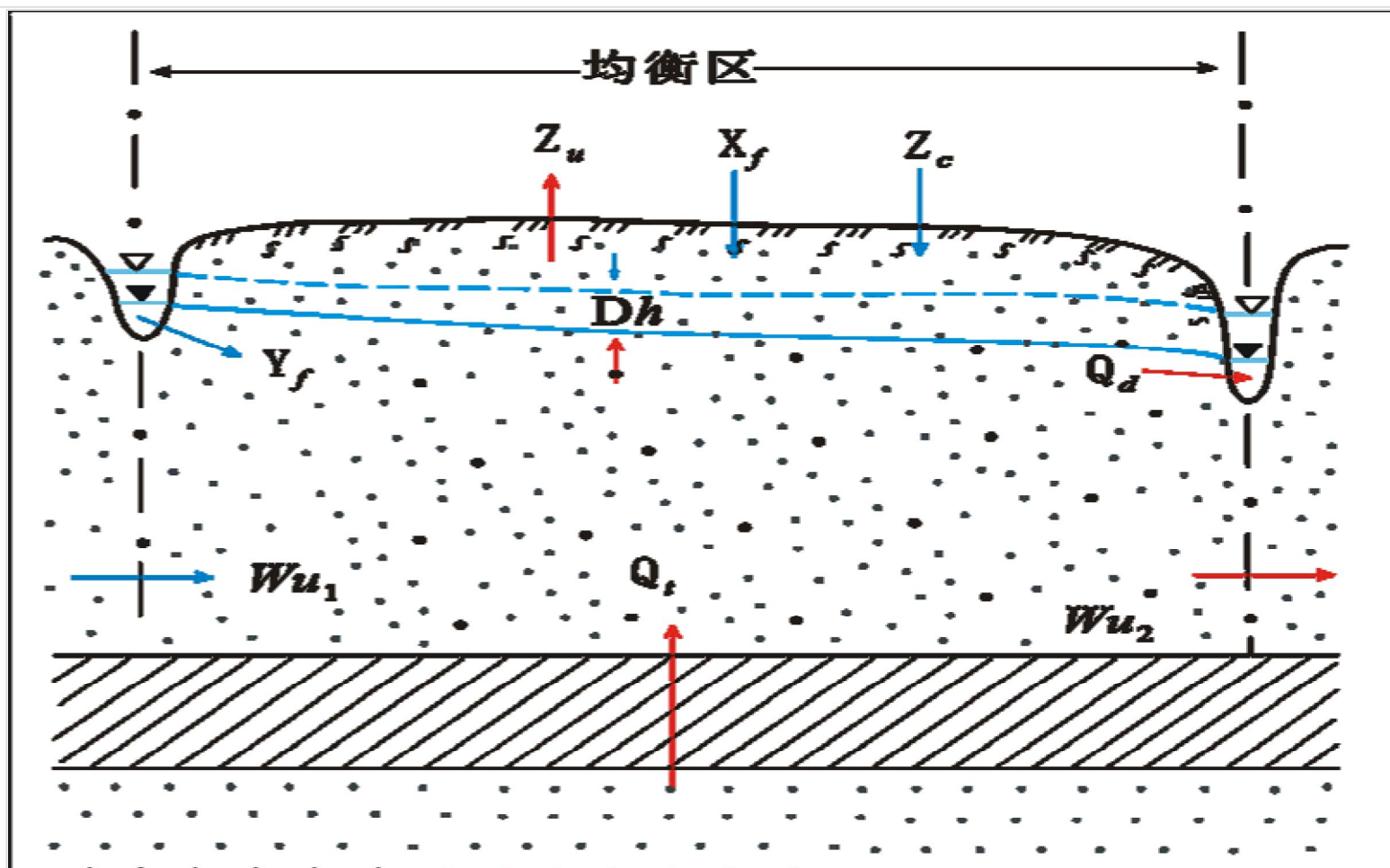
ΔW ——均衡时段内，均衡区的水量变化量

- ❖ 均衡结果（表现）：正均衡或负均衡

地下水均衡图示

潜水均衡方程式:

$$X_f + Y_f + Z_c + W_{u1} + Q_t - (Z_u + Q_d + W_{u2}) = \mu \Delta h$$



潜水均衡方程式

$$\diamond X_f + Y_f + Z_c + W_{u1} + Q_t - (Z_u + Q_d + W_{u2}) = \mu \Delta h$$

几种条件下的潜水均衡方程式：

❖ 干旱半干旱平原区：忽略 Z_c ；地形切割微弱 $Q_d \rightarrow 0$ ；
无越流时 $Q_t = 0$ ；径流滞缓 $W_{u1} \approx W_{u2} \rightarrow 0$ ；

$$X_f + Y_f - Z_u = \mu \Delta h$$

多年均衡条件下： $\mu \Delta h = 0$ ，则

$$X_f + Y_f = Z_u$$

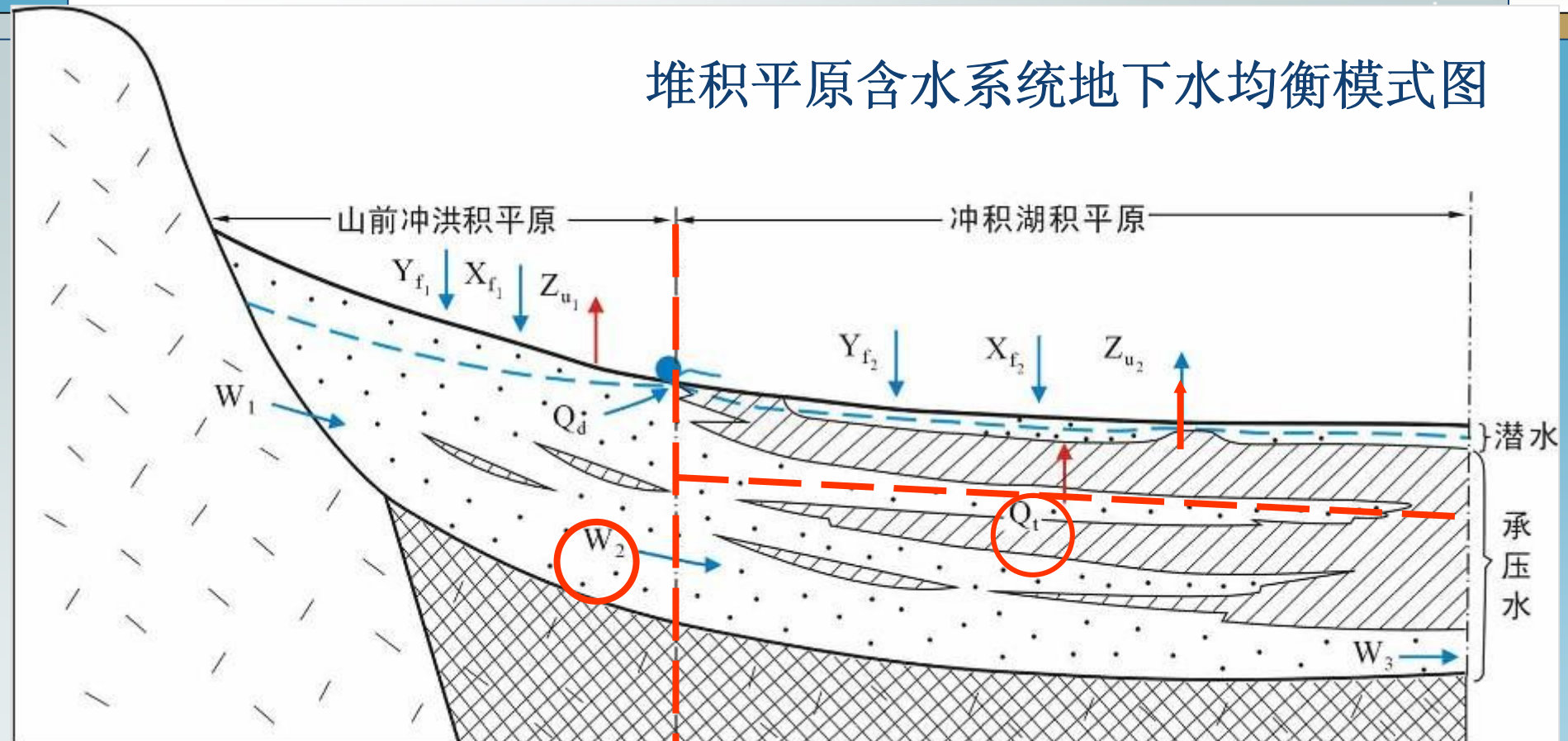
❖ 湿润山区潜水均衡 $Z_u = 0$

$$X_f + Y_f = Q_d$$

❖ 强烈开采区 $X_f + Y_f = Q_{\text{开}}$

9.2.2 区域地下水均衡

堆积平原含水系统地下水均衡模式图



山前丘陵潜水

冲积平原潜水

冲积平原承压水

$$X_{f1} + Y_{f1} + W_1 = Z_{u1} + Q_d + W_2$$

$$X_{f2} + Y_{f2} + Q_t = Z_{u2}$$

$$W_2 = Q_t + W_3$$

(1)

堆积平原含水系统地下水均衡模式分析

❖ 分区（三段均衡区）分析：

$$\left. \begin{array}{l} \text{山前丘陵潜水 } X_{f1} + Y_{f1} + W_1 = Z_{u1} + Q_d + W_2 \\ \text{冲积平原潜水 } X_{f2} + Y_{f2} + \cancel{Q_t} = Z_{u2} \\ \text{冲积平原承压水 } \cancel{W_2} = \cancel{Q_t} + W_3 \end{array} \right\} \quad (1)$$

用含水系统分析，水量均衡方程：

$$X_{f1} + X_{f2} + Y_{f1} + Y_{f2} + W_1 = Z_{u1} + Z_{u2} + Q_d + W_3 \quad (2)$$

进行水均衡研究或计算，切忌避免重复；否则会人为地夸大地下水的可利用量，造成不可挽回的损失和后果

本章小节

- ❖ 地下水动态主要是含水系统水量（盐量、热量等）收支平衡状况的综合表现。
- ❖ 影响地下水动态的因素有：气象、水文、地质条件和人类活动。
- ❖ 地下水均衡计算，应从系统角度遵循质量守恒定律来分析。
- ❖ 地下水量均衡方程式的一般表达式为：
$$\text{收入项} - \text{支出项} = \text{系统储存量的变化}$$

思考题



- 1、一个地区，如何依据地下水动态变化特征，分析地下水均衡状况（或特点）。
- 2、强烈人工开采条件下，抽水井的水有哪些来源？潜水均衡方程式将有哪些变化。

--第九章结束--