

# 水文地质学基础

## 实验实习讲义

梁杏 郭会荣修编

中国地质大学环境学院

二〇〇六年四月

# 前言

水文地质学的基本概念与原理，从字面上理解并不困难，但是，深入掌握并灵活运用，颇不容易。这是因为初学者对地下水缺乏感性认识，同时，课程本身具有综合性，只有结合实际问题进行分析才能深入理解。

当今科技发展迅猛，仅仅记住今天的知识而不深刻把握其实质，到了明天，就不可能成为一个胜任的科技工作者。

基于上述两方面的考虑，近年来，我们改进了实验仪器，大力加强了室内实践环节。实验实习课时由原来占课程总学时的 20% 左右，增加到 40% 左右。从教学实践结果看，这样做有利于提高学生分析与解决问题的能力。

实验实习具有很大的“流动性”。只有当教员明确教学目的，了解学生实际情况，过细地琢磨教案，充分发挥学生的学习积极性，才能取得良好的教学效果。如果学生只是机械地“照方抓药”，而不积极动脑动手，上课就会流于形式。因此，师生双方重视并积极相互配合，是实践课成功的关键。

本讲义适合于水文地质与工程地质专业，以及其它与地下水有关的专业使用。讲义中包含的内容，远远超过了规定的教学课时所需，这是为了便于不同的使用者选用以及学生自学时选读。

这本小册子的内容是三十余年来许多同志在教学中累积和改进的结果。在中国地质大学水文地质教研室《水文地质学基础》教学小组集体讨论的基础上，汇集长春地院、西安地院、南京大学地质系等院校实验讲义之精华，由高云福、靳孟贵编写而成。

值此中国地质大学(原北京地质学院、武汉地质学院)成立三十五周年之际，谨以此作为我们微薄的献礼。

张人权

一九八七年六月二十五日于武昌

在面向 21 世纪专业调整与课程体系改革中，《水文地质学基础》课程的学时与内容均作了较大的变化，为适应改革与调整后的课程安排，我们对“水文地质学基础”实验与实习内容作了相应的增减与修改。敬请使用本讲义的师生多提意见与建议。

梁杏、郭会荣修编

二〇〇一年三月七日

# 目录

## 实验(实习)规则

### 实 验 部 分

实验一	孔隙与水 .....	1
实验二	达西渗流实验 .....	3
实验三	砂土中水的毛细运动 .....	5
实验四	潜水模拟演示 .....	7
实验五	承压水模拟演示 .....	10
实验六	地下水流动系统模拟演示 .....	11

### 实 习 部 分

实习一	编制潜水等水位线图 .....	17
实习二	编制承压水等水压线图 .....	17
实习三	达西定律的物理实质及其应用 .....	18
实习四	地下水化学成分形成作用的实例分析 .....	20
实习五	岩溶及岩溶水的发育规律 .....	21
实习六	读水文地质图 .....	23

### 附 表

附表一	孔隙与水实验报告表(实验一) .....	25
附表二	达西渗流实验报告表(实验二) .....	26
附表三	砂土中水的毛细上升速度实验报告表(实验三甲) .....	28
附表四	毛细饱和带水的运移实验报告表(实验三乙) .....	29
附表五	承压水模拟演示实验报告表(实验五) .....	30

### 附 图

附图(一)	实验四 潜水模拟演示用图 .....	31
附图(二)	实验五 承压水模拟演示用图 .....	32
附图(三)	沙河地区潜水等水位线图 .....	33
附图(四)	龙泉镇地区中寒武统承压含水层等水压线图 .....	34
附图(五)	东王村地区水文地质图 .....	35

---

# 实验(实习)规则

1. 实验(实习)前必须认真预习,明确目的、要求,了解内容、步骤及有关原理、方法。
2. 实验(实习)中听从教师指导。认真操作,细心观察,及时记录;积极思考,主动讨论,培养综合分析问题的能力。
3. 实验(实习)结束后,按要求整理好仪器和样品。实事求是地整理原始资料,按时完成并提交实验(实习)报告。

## 实 验 部 分

### 实验一 孔隙与水

#### 一、实验目的

1. 加深理解松散岩石的孔隙度、给水度和持水度的概念。
2. 熟练掌握实验室测定孔隙度、给水度和持水度的方法。

#### 二、实验内容

1. 熟悉给水度仪并对仪器进行标定。
2. 测定三种松散岩石试样的孔隙度、给水度和持水度。

#### 三、实验仪器和用品

1. 给水度仪(图 1-1)。
2. 十二指肠减压器,或大号吸耳球,用以抽吸气体。
3. 量筒(25ml)和胶头滴管。
4. 松散岩石试样:砾石(粒径为 5~10mm,大小均匀,磨圆好);砂(粒径为 0.45mm~0.6mm);砂砾混合样(指把上述砂样完全充填进砾石样的孔隙中得到的一种新试样)。

#### 四、实验室准备工作

1. 标定透水石的负压值

透水石是用一定直径的砂质颗粒均匀胶结成的多孔板。透水石的负压值是指在气、液、固三相介质界面上形成的弯液面产生的附加表面压强。标定方法如下:

首先,饱和透水石并使试样筒底部漏斗充满水(最好用去气水,即通过加热或蒸馏的方法去掉水中部分气体后的水)。具体做法是:将试样筒与底部漏斗一起从开关 a 处卸下(见图 1-1),浸没于水中并倒置,将漏斗管口与十二指肠减压器抽气管连接,抽气使透水石饱水,底部漏斗全充满水。用弹簧夹在水中封闭底部漏斗管,倒转试样筒,将装有水(可以不满)的试样筒放回支架。同时打开 a、b 两开关,在两管口同时流

水的情况下连接塑料管。关闭 a、b 开关，倒去试样筒中剩余的水，将 A 滴定管液面

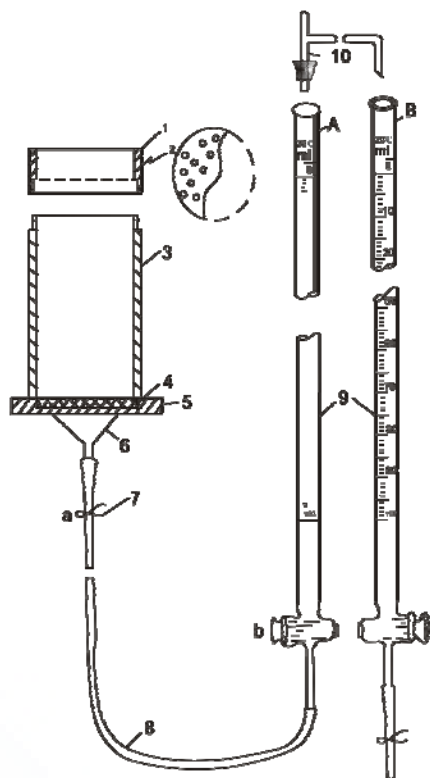


图 1-1 给水度仪装置图

1—装样筛；2—筛板；3—试样筒；4—透水石；  
5—固定连接板；6—试样筒底部漏斗；7—弹簧夹；  
8—硬塑料管；9—滴管；10—三通管

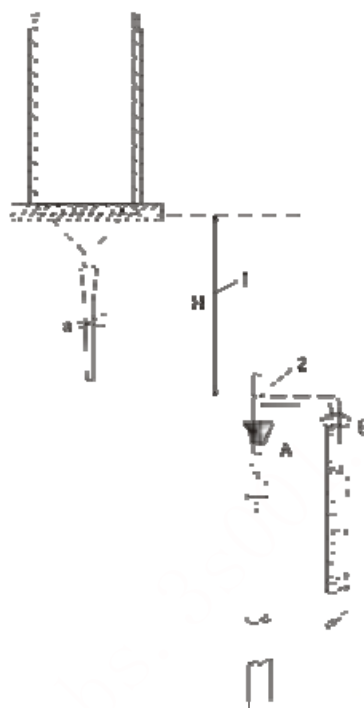


图 1-2 退水时给水度仪安置示意图

1—H 为三通管液面到透水石底面的距离；  
2—三通管液面

调至零刻度，并与透水石底面水平。

第二步，测定透水石的负压值。打开 a、b 开关，缓慢降低 A 滴定管，同时注意观测其液面的变化。当滴定管液面突然上升时，立刻关闭 b 开关。此时滴定管液面到透水石底面的高度就是透水石的负压值。

反复测定几次，选其中最小数值(指绝对值)作为实验仪器所采用的负压值。

## 2. 标定试样筒的容积

将试样筒装满水，用量筒或滴定管测出所装水的体积即为试样筒的容积。

(以上两步可以由实验室同志在实验课前做好。)

## 五、实验步骤

1. 连接：将试样筒与滴定管装满水，同时打开 a、b 两开关，在两管口同时流水的情况下连接塑料管。关闭 a、b 开关，倒去试样筒中剩余的水。

2. 检查：试样筒与滴定管连接之后，检查仪器底部漏斗是否有气泡，如有气泡先要参照实验室准备工作中第 1 点进行排气，然后重复第 1 步。

3. 装样：装样前，将 A 滴定管液面调到零刻度，关闭 a、b 开关，用干布把试样筒内壁擦干(注意不要将干布接触透水石)。装砾石样和砂样时，不用安装装样筛，直

接将试样逐次倒入试样筒并轻振试样筒以保证试样密实，直至与试样筒口平齐。装砂砾混合样时，先按上述方法把砾石装满，再安装装样筛，将砂样从装样筛中漏入，直至完全充填砾石样孔隙。

#### 4. 测定孔隙度

适当抬高滴定管，使其液面略高于试样筒口。打开 a、b 开关(同时用手表计时)，用 b 开关控制进水速度。试样饱水后立即关闭 b 开关。记下 A 滴定管进水量及饱水累计时间，填入附表一。进水量(体积)与试样筒容积之比就是这种试样的孔隙度。

#### 5. 测定给水度

将 A 滴定管加满水并装上三通管。用胶头滴管调整三通管液面(如图 1~2)。将 B 滴定管初始刻度调至 100ml 处。同时降低 A、B 滴定管后，打开 b 开关，使从试样中退出的水沿三通管进入 B 滴定管。退水过程中，三通管液面到透水石底面的距离不得大于透水石的选用负压值。退水终止后，将退水量和累计退水时间记入表 1。退水量(体积)与试样体积之比就是试样的给水度。

6. 重复上述 3、4、5 步骤，测定另两种试样的孔隙度和给水度(也可以分组测定不同试样，各组交换实验记录)。

### 六、实验成果

1. 完成实验报告表(附表一)。

2. 回答下列问题：

(1) 从试样中退出的水是什么形式的水？退水结束后，试样中保留的水是什么形式的水？

(2) 根据实验结果，分析比较松散岩石的孔隙度、给水度、持水度与粒径和分选的关系。

## 实验二 达西渗流实验

### 一、实验目的

1. 通过稳定流条件下的渗流实验，进一步理解渗流基本定律——达西定律。

2. 加深理解渗流速度、水力梯度、渗透系数之间的关系，并熟悉实验室测定渗透系数的方法。

### 二、实验内容

1. 了解达西实验装置。

2. 根据达西公式： $Q = K\omega \frac{\Delta H}{L} = K\omega I$  测定不同试样的渗透系数  $K$ 。式中： $Q$ ——渗透流量； $\omega$ ——过水断面面积； $\Delta H$ ——上下游过水断面的水头差； $L$ ——渗透途径； $I$ ——水力梯度。

### 三、实验仪器及用品

1. 达西仪(图 2~1)，分别装有不同的粒径的均质试样：①砾石(粒径 5~10mm)；②粗砂(粒径 0.6~0.9mm)；③砂砾混合(①与②的混合样)。

2. 秒表。
3. 量筒（100ml,500ml 各一个）。

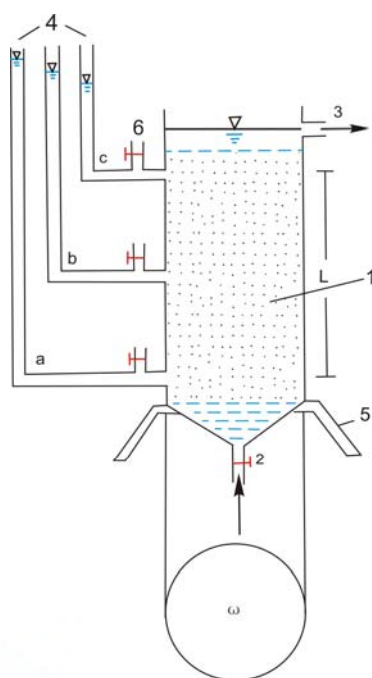


图 2—1 达西仪装置图

1—试样；2—进水开关；3—出水管；  
4—测压管；5—仪器架；6—排气口

4. 直尺。
5. 计算器。

#### 四、实验步骤

1. 测量仪器的几何参数（实验员准备）。

分别测量过水断面面积( $\omega$ )、测压管 a、b、c 的间距或渗透途径(L)；记入附表二。

2. 调试仪器（实验员准备）。

打开进水开关 2，待水缓慢充满整个试样，且出水管有水流后，慢慢拧动开关 2，调节进水量，使 a、c 两测压管读数之差最大。同时注意打开排气口排尽试样中的气泡，使测压管 a、b 的水头差与测压管 b、c 的水头差相等。

3. 测定水头

待 a、b、c 三个测压管的水位稳定后，读出各测压管的水头值，记入附表二中。

4. 测定流量

在进行步骤 3 的同时，利用秒表和量筒测量 t 时间内水管流出的水体积，及时计算流量 Q。连测两次，使流量的相对误差小于 5% [相对误差

$$\delta = \frac{|Q_2 - Q_1|}{(Q_1 + Q_2)/2} \times 100\% ], \text{取平均值记入附表二。}$$

5. 由大往小调节进水量，改变 a、b、c 三个测压管的读数，重复步骤 3 和 4。

6. 重复第 5 步骤 1—3 次。即完成 3—5 次试验，取得 3—5 组数据。

7. 按记录表计算实验数据，并抄录其它小组另外两种不同试样的实验数据(有条件的，可分别做不同的试样)。

#### 注意：

(1)实验过程中要及时排除气泡。

(2)为使渗透流速—水力梯度 ( $v—I$ ) 曲线的测点分布均匀，流量（或水头差）的变化要控制合适。

#### 五、实验成果

1. 提交实验报告表(附表二)。

2. 在同一坐标系内绘出三种试样的  $v—I$  曲线，并分别用这些曲线求渗透系数 K 值，与直接据附表二中实验数据计算结果进行对比。

#### 思考题（任选 2 题回答）

1. 为什么要在测压管水位稳定后测定流量？
2. 讨论三种试样的  $v—I$  曲线是否符合达西定律？试分析其原因。

3. 将达西仪平放或斜放进行实验时，其结果是否相同？为什么？
4. 比较不同试样的  $K$  值，分析影响渗透系数  $K$  值的因素。

## 实验三 砂土中水的毛细运动

### 一、实验目的

了解包气带中毛细水的赋存与运动特征。

### 二、实验内容

1. 观测、比较不同粒径砂样的毛细上升速度。
2. 观测砂土毛细饱和带水的运移。

### 三、实验仪器及用品

1. 观测砂土中水的毛细上升速度装置（如图 3-1）。

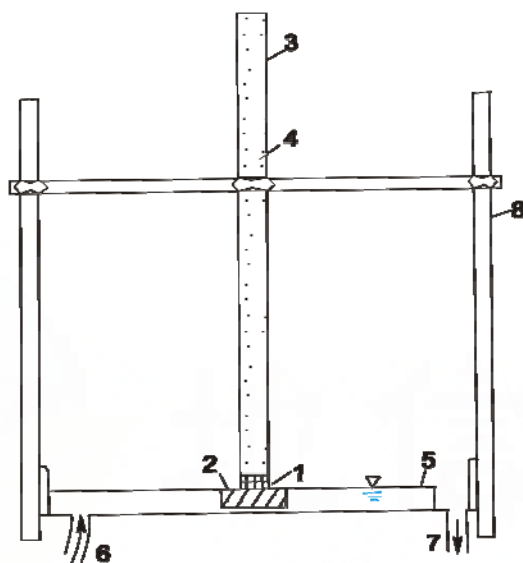


图 3—1 观测砂土中水的毛细上升速度装置图

1—铜丝网；2—透水石；3—玻璃管；4—砂样；  
5—水槽；6—进水管；7—溢水管；8—支架

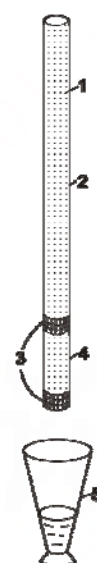


图 3—2 观测砂土饱和毛细水运移的装置图

1—砂样；2—长管；3—铜丝网；4—短管；  
5—量杯

2. 底部包铜丝网的玻璃管（长度 50~100cm）三根，管上标有刻度。
3. 砂样：（1）粗砂 粒径 0.6~0.9mm  
          （2）中砂 粒径 0.45~0.6mm  
          （3）细砂 粒径 0.25~0.45mm
4. 秒表。
5. 底部包铜丝网的长、短有机玻璃管各一根，如图 3-2（长管长 20~40cm，短管长 5~8cm）。
6. 量杯(25mL)。



- 
7. 放大镜及卡尺。
  8. 干布及水箱（高度大于 40cm）。
  9. 内盛颜色水的塑料杯。
  10. 人造玻璃砾石和白石英砂。
  11. 玻璃珠与不同长度的（5~10cm）有机玻璃管 2~3 根。

#### 四、实验内容与步骤

##### 甲 观测砂土中水的毛细上升速度

###### 1. 装样

选择一种砂样，均匀密实地装入玻璃管内。

###### 2. 观测毛细上升速度

将装有试样的玻璃管放入水槽内的透水石上，使玻璃管的下端紧贴水面(如图 3-1)，同时起动秒表。迅速准确地记录对应不同毛细上升高度的时间(附表三)。初期每上升 1cm 观测一次时间；2 分钟后每上升 0.5cm 观测一次时间。也可记录对应不同时刻的毛细上升高度。总之，初期观测频率应尽可能密，后期适当变疏。注意：进行此步骤时，小组成员应配合好。

3. 重复步骤 1 和 2，做另外两种不同粒径的试样。

##### 乙 毛细饱和带水的运移实验

1. 测量短管的容积  $V_1$  及长管的长度，记入附表四。

###### 2. 装样

分别把同一种砂样均匀密实地装入长管和短管中，并使砂样与管口平齐。(所选砂样不宜过细，其最大毛细上升高度应小于长管长度，毛细饱和带高度应大于或等于短管长度)。

###### 3. 长管饱水

将长管垂直缓慢地浸入水箱中，饱水后提起用干布擦干外壁，手持长管使其在重力作用下滴水。

###### 4. 短管饱水

将短管垂直缓慢地浸入颜色水中，充分饱水后提起。用干布擦干外壁。用放大镜观察此时短管饱水情况及短管是否滴水，并比较长、短管的颜色。

###### 5. 测定长、短管相接后的给水体积 $V_2$

待长管停止滴水后（2 分钟不滴水），将长管下端紧压在短管上端使二者密接，并用量杯承接滴出的水(如图 3—2)。滴水停止后，将流出的水体积  $V_2$  记入附表四，同时观察短管饱水情况及颜色，对比流出的水与塑料杯中水的颜色是否不同。

##### 丙 选做实验（必选一个）

###### A. 入渗实验

用有机玻璃管，装入上下不同粒径的人造白石英砂和玻璃砾，构成或上粗下细，或上细下粗，或一测粗一测细的试样管，然后将颜色水滴入有试样的有机玻璃管中，观察入渗现象；也可用颜色水与无颜色水的水交替的方式滴入试样管中，对比试样管中的现象。

###### B. 观察毛细现象

将两颗玻璃珠放在桌面上，彼此靠近但不接触，向两颗玻璃珠之间的空隙滴入颜色水，观察现象。

将三根不同粗细的有机玻璃管插入水槽（或颜色水）中，观察毛细上升的高度；也可以提起观测毛细上升高度的变化与弯液面的变化关系。

### 五、实验成果

1. 提交甲、乙两实验报告表(附表三和附表四)。
2. 在同一坐标系内分别作出三种砂样的毛细上升高度（以厘米为单位）与时间（以秒为单位）的关系曲线。
3. 简述丙实验的选做内容与观察到的现象。

### 思考题

1. 比较甲实验得出的三种砂样的毛细上升高度与时间关系曲线。指出初期及后期三种砂样的毛细上升速度自大而小的顺序，并分析其原因。
2. 长短管相接后滴出的水相当于原先存在于管中的哪一部分水？ $V_2 / V_1 \times 100\%$ 这一数值表征什么？
3. 实验乙中，短管饱水后提起为什么不滴水？而与长管相接后为什么又滴水？

## 实验四 潜水模拟演示

### 一、实验目的

1. 熟悉与潜水有关的基本概念，增强对潜水补给、径流和排泄的感性认识。
2. 加深对流网概念的理解，培养综合分析问题的能力。

### 二、实验内容

1. 观察地表径流。
2. 确定潜水面形状。
3. 分析地下水分水岭的移动。
4. 演示不同条件下的潜水流网。

### 三、实验仪器及用品

1. 地下水演示仪(图 4-1)。该仪器的主要组成部分及功能介绍如下：
  - (1)槽体：内盛均质砂，模拟含水层。
  - (2)降雨器：模拟降雨，可人为控制雨量大小及降雨的分布。
  - (3)模拟井：两个完整井和两个非完整井分别装在仪器的正面(A 面)和背面(B 面)，均可人为对任一井进行抽(注)水模拟，也可联合抽(注)水。
  - (4)模拟集水廊道：可人为控制集水廊道的排水。
  - (5)测压点：与测压管架上的测压管连通，可以测定任一测压点的测压水头；与示踪剂注入瓶连通可以演示流线。
  - (6)测压管架。
  - (7)示踪剂注入瓶。
  - (8)稳水箱：用于稳定河水位。

(9)水表。

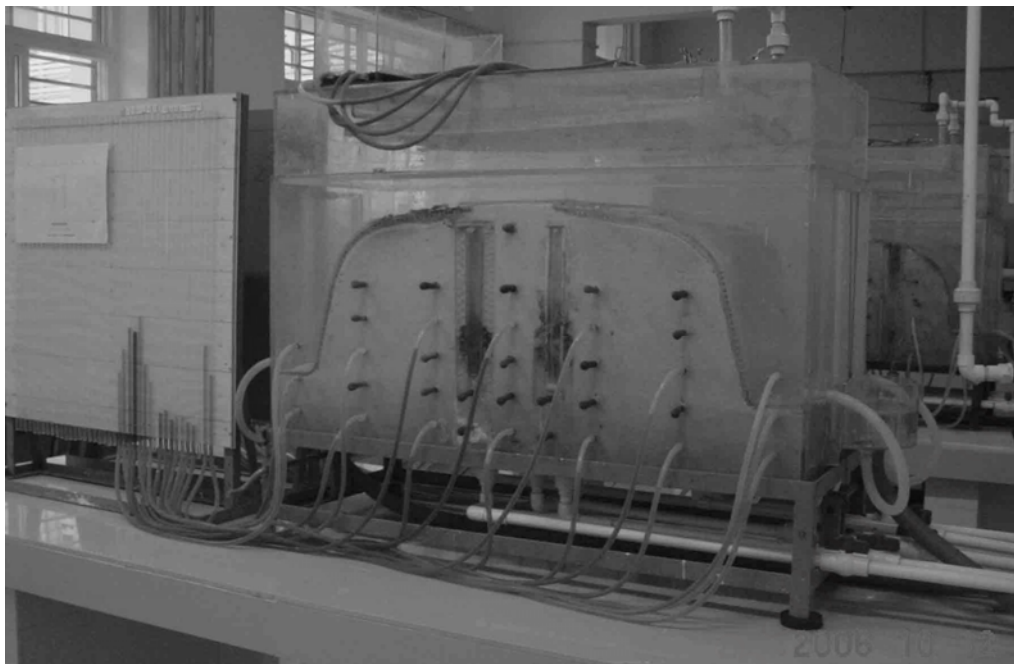


图 4—1 地下水演示仪装置图

2. 示踪剂 选用红墨水演示流线。

3. 直尺(50cm)和计算器等。

#### 四、实验步骤

1. 熟悉地下水演示仪的结构及功能。

2. 地表径流的演示。

打开降雨开关，人为调节降雨强度。保持两河较低水位排水。认真观察地表径流产生情况。分析讨论：

(1)降雨强度与地表径流的关系。

(2)地形与地表径流的关系。

3. 观测有入渗条件的潜水面形状

如图 4-2 所示，潜水含水层中，等势线上各点的水头都相等，即 B、C、D 各点测压水位分别与潜水面上 M、N、O 各点的测压水位相等。由此可以按以下具体步骤确定潜水面形状。

(1)中等强度降雨，保持两河同等低水位排水，待水位稳定后测定井水位和河水位，并按比例表示在 A 剖面图上（见附图一）。

(2)在河与分水岭之间选择 3~5 个测压点，注入示踪剂，观察流线特征，分析流网分布规律，在 A 剖面图上画出流线和等势线。

(3)选择 3~5 个测压点与测压管连接(注意连接时不要进气)，测定测压水位，按比例表示在 A 剖面图上。自各测压点测压水位顶点作水平线交各测压点所在的等势线(各交点均在潜水位线上)。结合井水位和河水位以及各平行线与等势线的交点，在 A 剖

面图上描绘潜水位线。

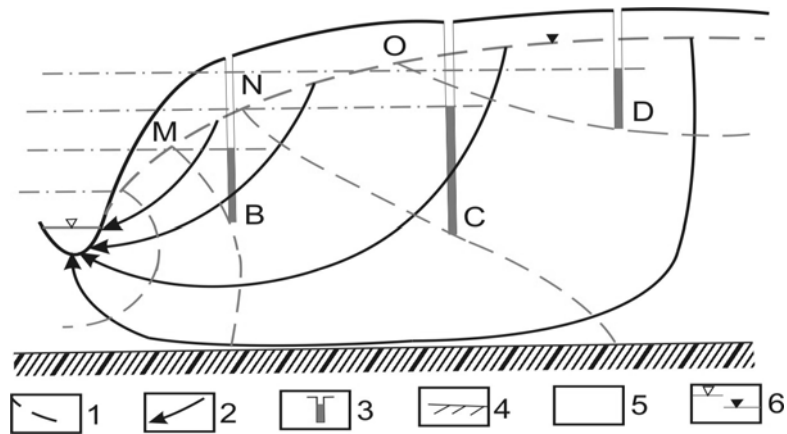


图 4—2 潜水含水层中等势线任一点水头示意图

1—等势线；2—流线；3—测压管 C 涂黑部分为该点测压高度；4—隔水底板；5—含水层；  
6—河水位及潜水位

#### 4. 观测地下分水岭的偏移

中等强度均匀降雨，保持两河等值低水位排水，观察地下分水岭位置。

抬高一侧河水位，即抬高一侧的稳水箱。观察地下分水岭向什么方向移动。试分析为什么分水岭会发生移动？能否稳定？停止降雨，地下分水岭又将如何变化？认真观察停止降雨后地下分水岭变化过程。

#### 5. 人为活动影响下地下水与河水的补给和排泄关系的变化（此项为选择内容）

中等强度降雨，保持两河同等较高水位排水。选择 3~5 个测压点注入示踪剂。使地下水位处于稳定的初始状态。具体演示：

（1）集水廊道抽水：打开集水廊道开关进行排水。观察流线变化特征，分析集水廊道排水对地下水与河水的补给和排泄关系的影响。

（2）完整井抽（注）水：恢复初始状态。打开两个完整井开关，一个抽水，一个注水。观察地下分水岭的变化及流线形态。

（3）非完整井抽水：恢复初始状态。打开两个非完整井的开关，通过开关控制两个非完整井等降深抽水。在适当的测压点上注入示踪剂，观察流线形态并在 B 剖面图（附图一）上描绘地下水流线。分析讨论：两非完整井等降深抽水时，各井的抽水量是否相等？

### 五、实验成果

1. 在附图一上根据步骤 3 绘制 A 剖面流网图；根据步骤 5（3）的演示，在 B 剖面上示意画出两非完整井等降深抽水时的流网图。

2. 对于河间地块含水层，当河水位不等时，地下水分水岭偏向哪一侧？试分析其原因？

## 实验五 承压水模拟演示

---

## 一、实验目的

1. 熟悉与承压水有关的基本概念, 增强对承压水的补给、排泄和径流的感性认识。
2. 练习运用达西定律的基本观点分析讨论水文地质问题。

## 二、实验内容

1. 分析讨论承压含水层补给与排泄的关系。
2. 观测天然条件下泉流量的衰减曲线。

## 三、实验仪器和用品

1. 承压水演示仪(如附图二)。该仪器的主要组成部分的功能如下:
  - (1) 含水层: 用均质石英砂模拟。
  - (2) 隔水层: 用粘土模拟。构成大致等厚的承压含水层的顶板和底板。
  - (3) 断层上升泉: 承压含水层主要通过泉排泄, 泉水通过开关 9 排出, 可用秒表和量筒配合测量其流量。
  - (4) 模拟井(虚线部分为滤水部分): 中间 b 井和开关 8 连通, 通过开关 8 可以控制 b 井的抽(注)水。
  - (5) 模拟河: 承压含水层接受河流补给, 通过调整稳水箱(开关 7 接稳水箱)的高度控制补给承压含水层的河水水位。
  - (6) 隔水板: 上部穿孔, 河水可以通过穿孔部分补给承压含水层。
2. 秒表。
3. 量筒: 500ml、50ml、25ml 各一个。
4. 直尺(50cm)。
5. 计算器等。

## 四、实验步骤

1. 熟悉承压水演示仪的装置与功能。
2. 测绘测压水位线  
抬高稳水箱, 使河水保持较高水位, 以补给含水层, 待测压水位稳定后, 分别测定河水、a、b、c 三井和泉的水位, 在附图二上绘制承压含水层的测压水位线。分析自补给区到排泄区水力梯度有何变化? 为什么会出现这些变化?
3. 测绘平均水力梯度与泉流量关系曲线  
测定步骤 2 的泉流量、河水位( $H_{\text{河}}$ ), 泉点水位( $H_{\text{泉}}$ ), 计算平均水力梯度( $I$ ), 记入附表五。  
分两次降低稳水箱, 调整河水位(但仍保持河水能补给含水层)。待测压水位稳定后, 测定各点水头、计算平均水力梯度, 同时测定相应的泉流量, 记入附表五。
4. b 井抽水, 测定泉流量及 b 井抽水量  
为了保证 b 井抽水后, 仍能测到各井水位, 抽水前应抬高河水位(即抬高稳水箱)。待测压水位稳定后测定泉流量, 记入附表五。b 井抽水, 待测压水位稳定后, 测定各点水头, 标在附表二的平面图上, 画出 b 井抽水时的承压含水层平面示意流网; 同时测定泉流量及 b 井抽水量并记入附表五。从测定结果分析, 抽水后泉流量的减量是否与 b 井抽水量相等? 为什么?
5. 测绘泉流量随时间的衰减曲线

停止 b 井抽水(关闭开关 8)，待水位稳定后，关闭开关 7，测量泉流量随时间的变化，将测量结果记入附表五。

## 五、实验成果

1. 提交实验报告表(附表五)。
2. 在附图二上绘制承压水测压水位线。
3. 绘出 b 井抽水时的承压含水层平面示意流网。
4. 绘制泉流量随时间的变化曲线。

# 实验六 计算机模拟地下水流动演示

## 一、实验目的

运用计算机模拟技术，通过对不同条件下，地下水流动特征的演示，了解并熟悉地形盆地及流动系统的概念。

## 二、实验内容

1. 模拟一个简单地形盆地地下水流动、河间地块地下水流动以及复杂地形盆地的地下水流动系统；
2. 按实验中的提问，独立设计一个流动模式进行模拟演示。

## 三、模拟程序简介

实验采用的是荷兰自由大学地球科学院的教学演示程序，程序名为“FLOWNET”，是稳定的地下水二维流模型。

## 四、实验步骤

### 1. 简单地形盆地地下水流动演示

#### 1.1 均质介质场

模型条件：左、右、下边界模拟隔水层，上边界为单斜的地形坡度，模拟从左到右高程逐渐降低的势边界，中间模拟均质的砂层，渗透系数为  $K_x=K_y=1\text{m/d}$ ，模型 1.1。

问题：在上述模型条件下，盆地的流线是什么样的？请用铅笔在图 1.1 中试画。

操作：(1) 开机进入“FLOWNET”程序，操作到屏幕显示第 3 页；

(2) 键入图 1.1 模式程序名：EXAM1.1—>F1—>PGDN；

(3) 屏幕显示第 4 页，观察上边界水头分布—> PGDN；

(4) 屏幕显示第 5 页，观察介质场的分布与数值—> PGDN—> PGDN，计算完毕，屏幕显示最终流网结果；

(5) 按键盘右侧的“+”键，观察流线上的等时间点的分布与运动情况。

**思考题：**流线分布有何特征？等时间点分布（疏密）说明什么？

#### 1.2（供选做）非均质介质场

在 1.1 模型条件中，置入一个渗透系数较高或较低的透镜体，构成非均质介质。

图 1.2 中  $K_1$  的位置与数值可以任意给定。

问题：图 1.2 模式的流网与图 1.1 有何不同，请用铅笔在图 1.2 上示意画出流线。

操作：重复 1.1 的演示操作步骤至 (4)

(1) 按照计算机屏幕下方的提示，确定  $K_1$  的数据，并置入到模型中，形成



一个透镜体。

(2) 继续 1.1 演示中步骤 (4)，直至屏幕显示计算结果。

## 2. 河间地块地下水流动演示

### 2.1 两河水位同高，对称模式

模型条件：左、右、下为隔水边界；左、右两河排泄地下水；河间为均质的砂层；上边界为均匀降水入渗的潜水面。见图 2.1。

演示操作 (1) 开机屏幕显示第 3 页时，键入图 2.1 模式程序名：HJ—2.1—> F1；

(2) 重复 1.1 演示操作步骤的 (3) 至 (5)，直至屏幕显示结果。

**思考题：**计算机演示结果与实验四的结果是否一致？为什么？

### 2.2 (供选做) 两河水位不同高，均质的河间地块模式

模型条件在图 2.1 的基础上，抬高一侧河水位（高差可以控制在 2 米左右）。见图 2.2。

问题：此时应如何调整模型进行演示？

可用铅笔在图 2.2 中调试。

操作：(1) 开机操作按 1.1 演示步骤至第 (3) 步；

(2) 屏幕显示第 4 页时，将调试后的水头分布值，修改原模型的水头。修改操作按屏幕下方提示进行；

(3) 继续操作重复 1.1 演示步骤 (4) 和 (5)。

**思考题：**对比 2.1 与图 2.2 的差异，是否需要继续调整图 2.2，如需要则继续重复 2.2 内容。

## 3. 地形盆地的地下水流动系统演示

### 3.1 均质介质场

模型条件：左、右、下边界为隔水层，上边界为起伏的地形坡度，中间为均质的砂层。见图 3.1。

问题：演示前用铅笔在 3.1 中试画流线。

操作：(1) 开机操作至屏幕显示第 3 页；

(2) 键入图 3.1 模式程序名：Toth—3.1—> F1；

(3) 重复 1.1 演示步骤 (3) 和 (5)。

屏幕显示复杂的地下水流动模式，观察流线、等势线与等时间点的分布特征。

### 3.2 (供选做) 非均质介质场

在 3.1 模式中，任意加入一个透镜体，重复演示观察流动特征。

演示操作：修改参数同 1.2 模式操作相同，其它操作仍同 1.1 演示相同。

**思考题：**对照 3.1 与 3.2 模拟演示结果，指出它们的不同处。

## 五、实验成果

提交你选做内容的一组流动模式图（根据演示结果草绘），并回答操作步骤中相应的思考题。

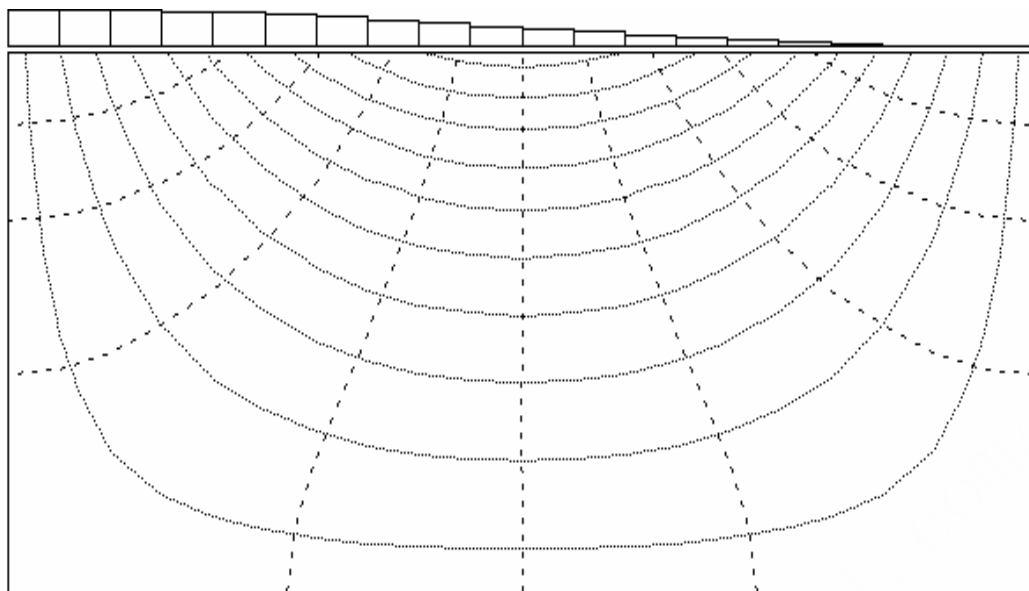


图 1. 1 简单地形盆地地下水流动系统图 ( $K=C$ )

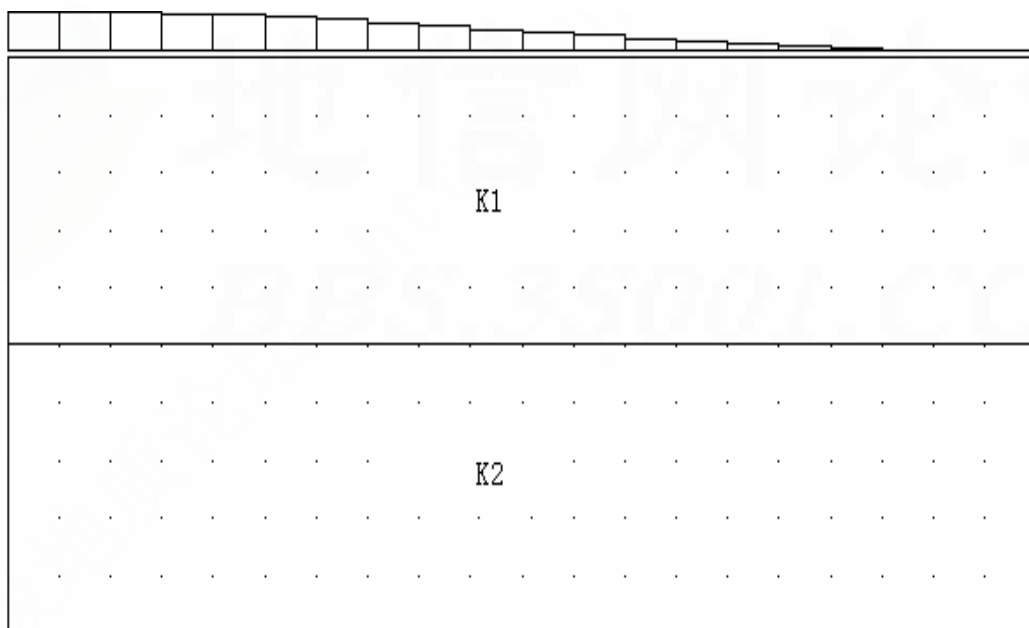


图 1. 2 简单地形盆地地下水流动系统图  
条件:  $K_1=5K_2$  问题: 流线密度如何分布? 画出模拟流网



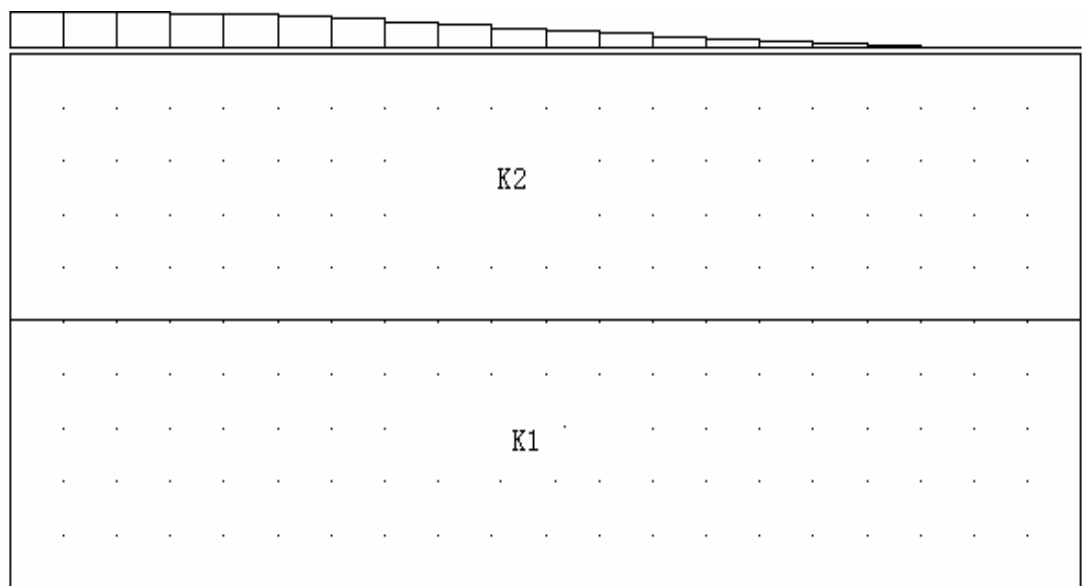


图 1. 3 简单地形盆地地下水流动系统图

条件:  $K_1=1/10K_2$  问题: 流线密度如何分布? 画出模拟流网

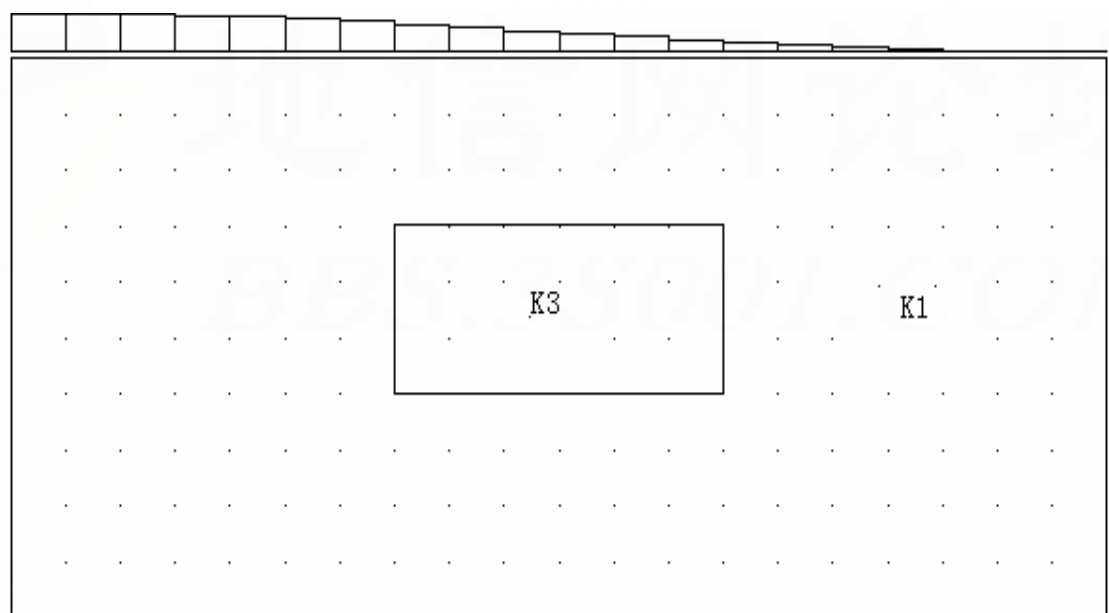


图 1. 4 简单地形盆地地下水流动系统图

条件:  $K_1=5K_3$  问题: 流线密度如何分布? 画出模拟流网

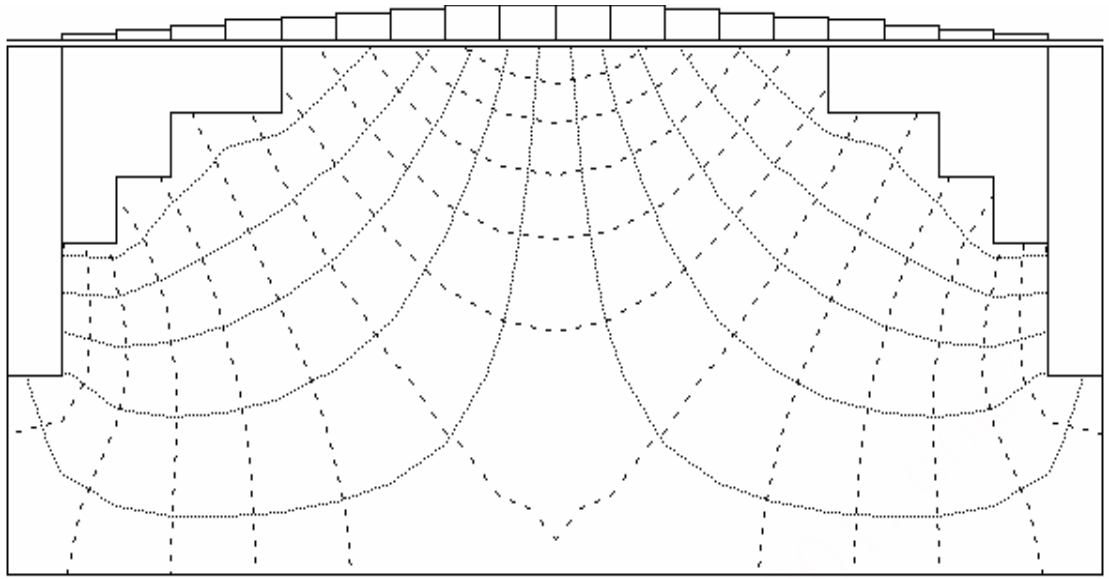


图 2. 1 河间地块地下水流动系统 ( $H_{\text{甲}}=H_{\text{乙}}$ ,  $K=C$ )

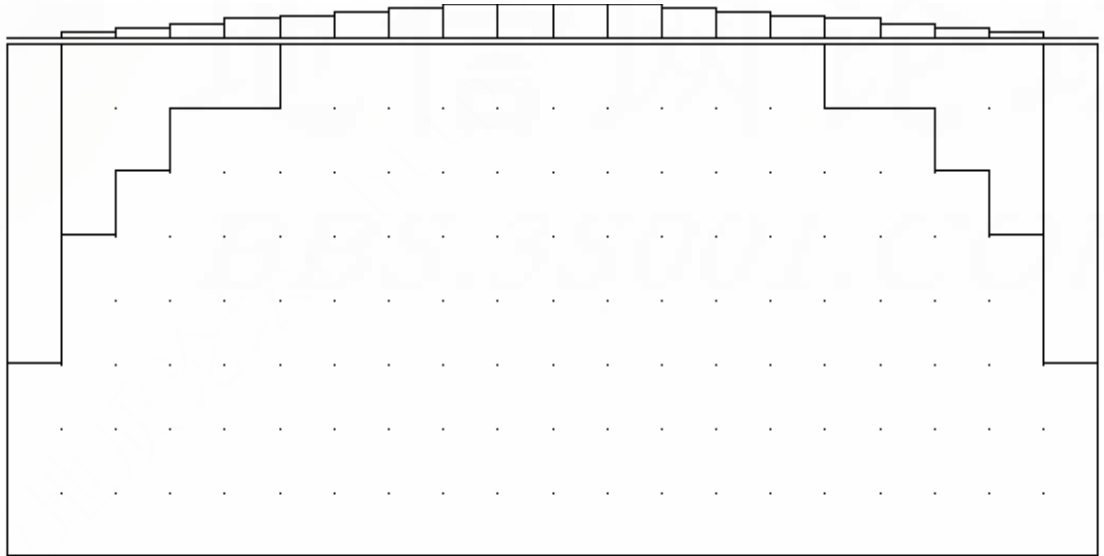


图 2. 2 河间地块地下水流动系统 ( $H_{\text{甲}}>H_{\text{乙}}$ ,  $K=C$ ; 或  $K$  不为  $C$ )

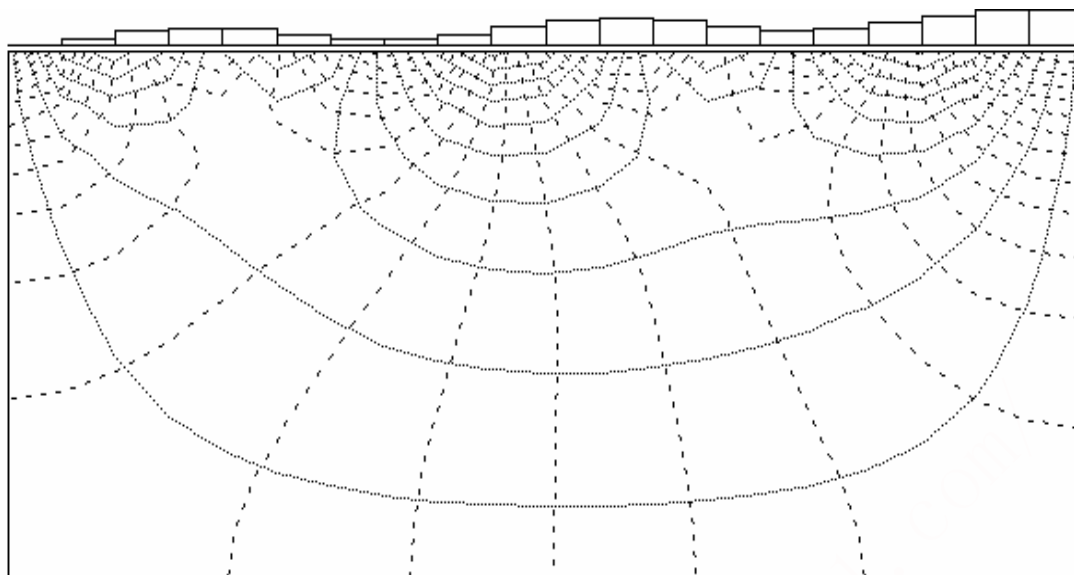


图 3. 1 复杂盆地地下水流动系统图 ( $K=C$ )

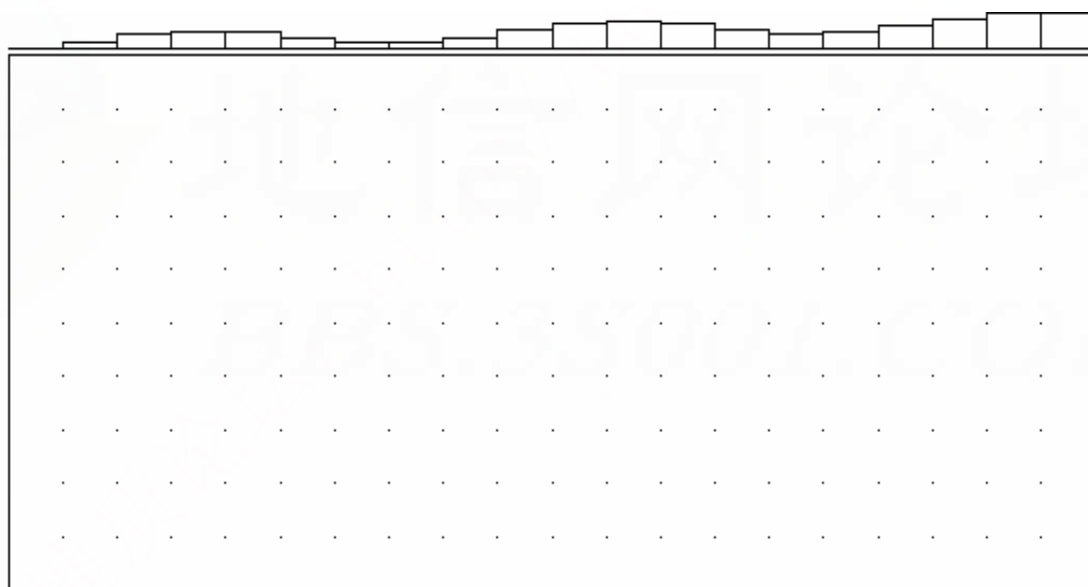


图 3. 2 复杂盆地地下水流动系统图 ( $K \neq C$ )

---

# 实 习 部 分

## 实习一 编制潜水等水位线图

### 一、实习目的

1. 熟悉潜水等水位线图的编制方法。
2. 初步学会阅读和利用潜水等水位线图。

### 二、实习内容

1. 根据有关资料，在附图三上编制沙河地区潜水等水位线图(水位等高距 2m，取偶数)。
2. 用箭头标出 AB、CD 两处的潜水流向，并计算水力梯度的近似值。
3. 根据平面图上的资料，在剖面图上绘出潜水位线及潜水流向。
4. 阅读沙河地区潜水等水位线图，回答下列问题：  
(1)根据所作潜水等水位线图及所提供的有关资料，总结影响潜水面形状与潜水流向的因素。  
(2)畜牧场要打一号饮水井，请在图上标出井位，并简要说明布井依据。

## 实习二 编制承压水等水压线图

### 一、实习目的

1. 掌握绘制承压水等水压线图的基本方法。
2. 培养阅读等水压线图的能力。

### 二、实习内容

1. 绘制龙泉镇地区中寒武统承压含水层等水压线图。所需资料见附图四。等水压线间距取 5m。  
在附图四的 I—I' 剖面上绘出中寒武统灰岩含水层的测压水位线并标明地下水流向。
2. 绘制龙泉镇地区中寒武统承压含水层顶板等高线图。所需资料见附图四。底板等高线间距取 20m。
3. 在龙泉镇地区中寒武统承压含水层等水压线图上圈出中寒武统承压含水层的自溢区。
4. 读《龙泉镇地区中寒武统承压含水层等水压线图》，回答下列问题：  
(1)试分析中寒武统承压含水层的补给区、排泄区、承压区和自溢区，在 I—I' 剖面图上分别表示出来。  
(2)如果龙泉镇计划打一口自流井，井打在哪个位置为宜?井打多深可见水?承压水的静止水位是多少?承压水头多大?

### 实习三 达西定律的物理实质及其应用

#### 一、实习目的

结合实例分析, 进一步理解达西定律的物理实质, 学习运用达西定律分析、认识问题。

#### 二、实习内容

以下内容可以在预习的基础上通过讨论的方式进行, 集思广益。

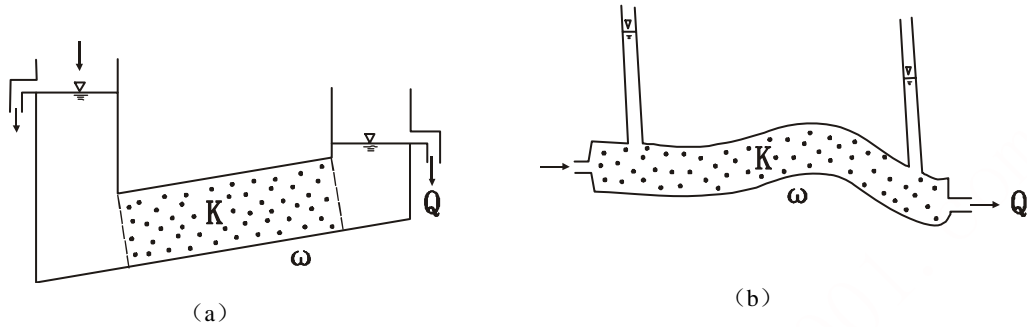


图 9—1

1. 如图 9—1 (a)、(b) 条件, 已知渗透系数  $K$  和过水断面  $\omega$ , 求渗透流量  $Q$  并在图上标明达西公式相应的项。

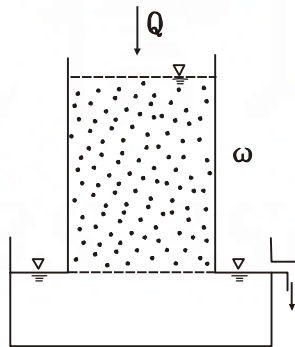


图 9—2

2. 如图 9—2, 上方不断滴水, 使砂柱顶端经常保持一极薄的水层。已知渗透流量  $Q$  和过水断面面积  $\omega$ , 求渗透系数  $K$ , 并在图上标明达西公式相应的项。

3. 示意画出下列条件下 (见图 9—3) 潜水水位线, 并简要说明依据。所示条件均为无入渗无蒸发的稳定流, 剖面二维流 (剖面平面流)。

4. 如图 9—4 所示条件, 试求通过单位面积亚粘土层潜水向承压水的越流量。假定亚粘土层中渗流符合达西定律,  $K_1 \gg K_2$ ,  $K_3 \gg K_2$ 。

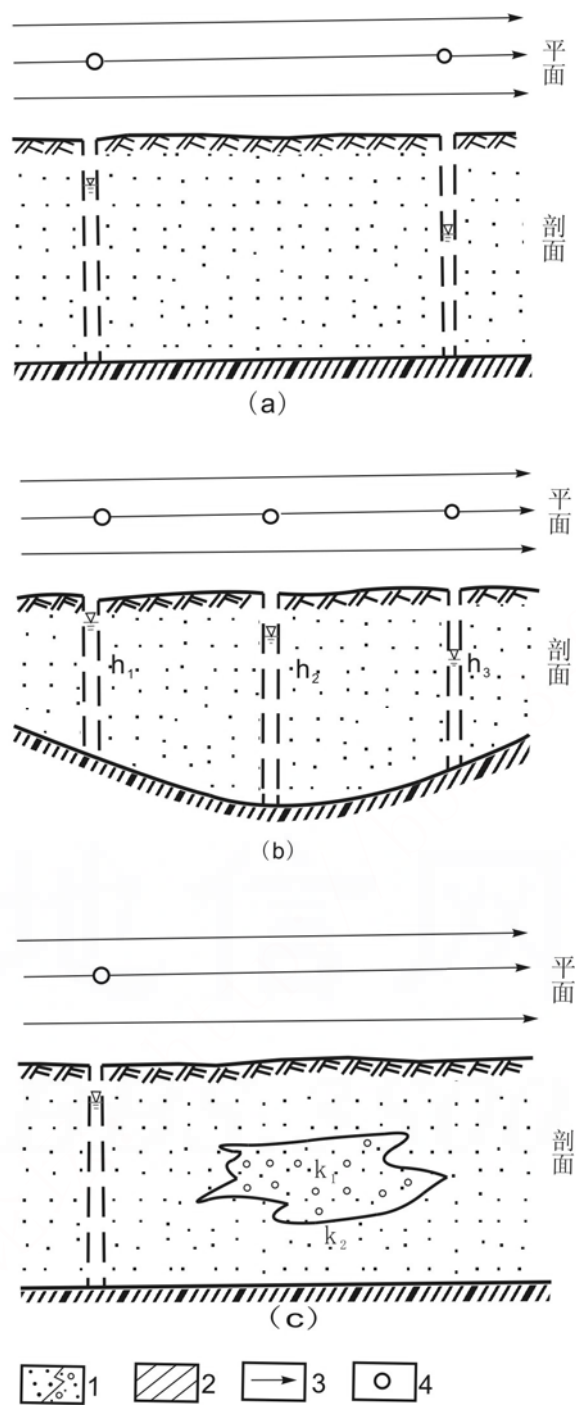


图 9—3

1— 含水层；2—隔水层；3—流线及地下水流向；4—钻孔

(a)含水层均质各向同性，隔水底板水平；(b)含水层均质各向同性，隔水底板起伏且  $h_1 < h_2 > h_3$ ；

(c) 隔水底板水平， $k_1 \gg k_2$

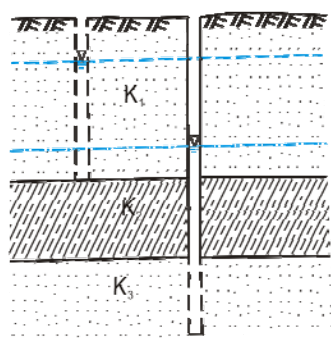


图 9—4

1—砂；2—亚粘土；3—潜水位；4—承压水位；  
K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>—渗透系数

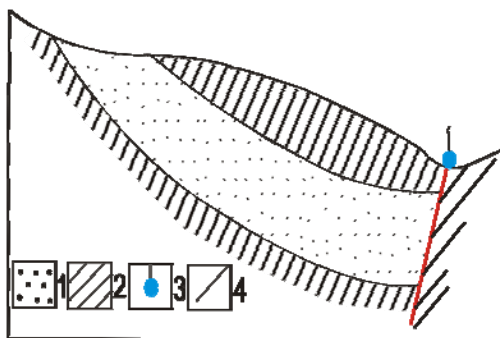


图 9—5

1—含水层；2—隔水层；3—上升泉；  
4—断层

5. 如图 9—5 条件，试利用达西定律分析影响泉流量大小的各种自然地理、地质因素。

## 实习四 地下水化学成分形成作用的实例分析

### 一、实习目的

1. 了解地下水化学成分的形成与其所处自然地理、地质环境之间的联系。
2. 学习运用所学知识分析地下水化学成分的形成作用。

### 二、实习内容

1. 分析下列[a]—[f]各类地下水的化学成分有何差异，判断（1）~（4）用库尔洛夫式表示的地下水化学成分可以代表[a]—[f]中的哪一类？简述判断依据。

不同环境中的地下水：

[a]干旱地区山间盆地中心第四系中的潜水；

[b]上覆煤系地层的石灰岩中的承压水；

[c]基性岩浆岩裂隙潜水；

[d]湿润地区山前第四纪砂砾石中潜水；

[e]滨海山区片麻岩、片岩中的裂隙潜水；

[f]花岗岩山区裂隙潜水。

某环境中的地下水化学成分的库尔洛夫表示式\*：

$$(1) M_{0.21} \frac{HCO_{89}^3}{Ca_{67} Mg_{23}}$$

\*考虑使用法定计量单位规定的浓度单位，该式中的数字表示为“毫摩尔百分数”，即水样中各阴阳离子的毫摩尔每升含量均按  $1/n$  ( $n$  为离子价数) 计算所得的毫摩尔百分数。

$$(2) M_{0.34} \frac{HCO_{67}^3 Cl_{25}}{Na_{47} Ca_{25} Mg_{18}}$$

$$(3) M_{0.32} \frac{HCO_{89}^3}{Na_{83} Ca_{12}}$$

$$(4) M_{4.3} \frac{SO_{63}^4 Cl_{21} HCO_{16}^3}{Na_{42} Ca_{40} Mg_{18}}$$

2. 某地区地表为厚约 10m 的第四纪沉积物，由砂土和亚粘土组成，下伏花岗岩岩体。一温泉源于花岗岩裂隙含水层中，并通过第四系溢溢出地表，其水化学成分用库尔洛夫式表示为：

$$H^2 S_{0.005} M_{0.5} \frac{HCO_{84}^3 Cl_{10}}{Na_{92}} t_{45}^0$$

已知温泉补给区的地下水化学成分的库尔洛夫表示式为：

$$M_{0.2} \frac{HCO_{74}^3 SO_{18}^4}{Ca_{84} Na_{12}} t_{12}^0$$

试分析由补给区到排泄区，地下水主要经受了哪些化学成分的形成作用，写出相应的化学反应式。

以上内容可以通过讨论的方式进行分析，而后再独立地完成实习报告。

## 实习五 岩溶及岩溶水的发育规律

### 一、实习目的

结合实例分析，加深对岩溶发育的基本规律及岩溶水特征的理解。

### 二、实习内容

1. 示意表示图 11-1 中岩溶可能最发育的部位，并简要说明理由。
2. 如图 11-2 所示条件。试比较：
  - (1)a、b 两灰岩岩溶含水层的岩溶发育程度；
  - (2)各含水层不同部位岩溶发育程度。
3. 试根据图 11-3 所示条件布置一个供水孔，并说明理由。
4. 示意表示图 11-4 中岩溶最发育的部位，并说明理由(两河水位相同)。



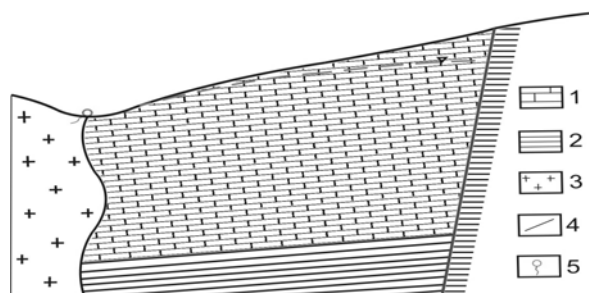


图 11—1

1—灰岩；2—页岩；3—花岗岩；4—断层；5—泉

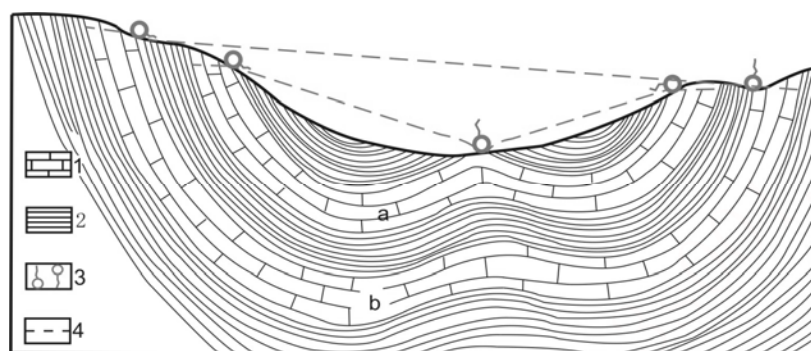


图 11—2

1—灰岩含水层；2—页岩含水层；3—泉；4—测压水位

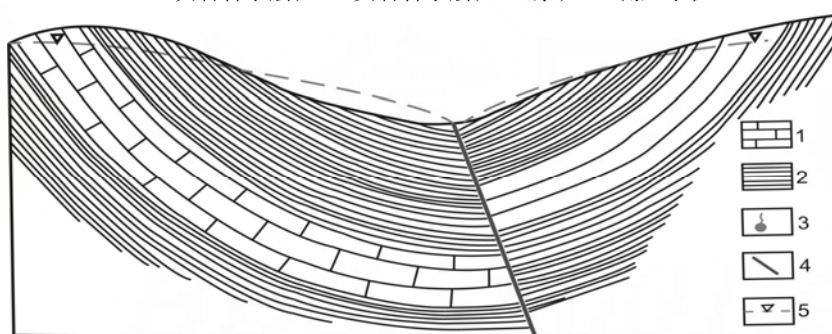


图 11—3

1—灰岩含水层；2—页岩隔水层；3—泉；4—断层；5—测压水位

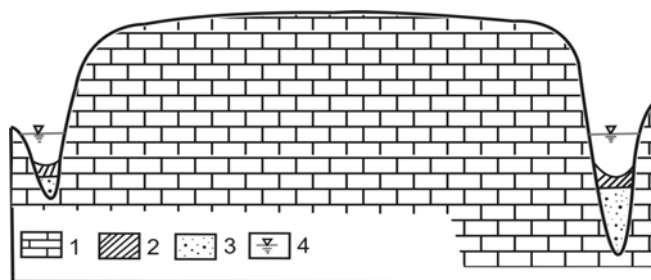


图 11—4

1—灰岩；2—亚粘土；3—沙砾石；4—河水位

---

## 实习六 读水文地质图

### 一、实习目的

1. 了解水文地质的基本内容，初步熟悉阅读水文地质图的方法。
2. 初步学会综合运用所学理论去分析一个地区的水文地质条件。

### 二、实习内容

1. 阅读东王村水文地质图、剖面图(附图五)及有关资料(表 4、表 5)，完成岩石含水 性说明表。

2. 参照读图提纲，每人写一份发言提纲进行小组及全班讨论。
3. 提交一份题为《二叠系灰岩含水层的补给、排泄、径流条件简述》的文字报告。

[附] 读图提纲

#### I、区域自然地理条件

1. 地形：根据水文网的分布及剖面图上的地形及标高，分析本区地势及汇水条件。
2. 气候：根据表 4，分析本区降雨特征和气温特征。
3. 水文：水系发育情况、水系分布与地形、岩性、构造的关系，以及河水的补给来源，不同河段的流量变化等。

#### II、区域地质条件

1. 地层：层序、时代、岩性、接触关系、出露及分布情况。
2. 构造：褶皱特征、断层走向、断距及性质。构造对地层分布、地形及水文网分布等的控制作用，以及构造对地下水形成过程的控制作用。

#### III、区域水文地质条件

1. 岩层含水性：从下列各方面逐层分析哪些是含水层，哪些是隔水层；对含水层则进一步分析其相对含水性和导水性并区分强含水层和弱含水层。

- (1) 岩性(根据岩层含水性说明表中的描述)；
- (2) 裂隙发育情况(根据说明表中的描述以及钻孔资料)；
- (3) 岩溶发育特征(根据说明表中的描述；钻孔资料；图面上岩溶发育及分布状况，岩溶地区水系发育特征)；

(4) 泉的出露情况及流量；

(5) 钻孔单位涌水量。

2. 各含水层的主要水文地质特征：根据泉的分布及泉、钻孔的水位与流量；泉、钻孔的水化学及水温资料(表 5)；东王村地区水文地质图及剖面图，分析下列种项：

- (1) 各含水层的出露分布特征；
- (2) 泉的出露条件、类型及命名；
- (3) 二叠系含水层的水温及水质变化特征；
- (4) 中侏罗统含水层的水温及水质变化特征；
- (5) 含水层的补给、排泄、径流条件(包括补给来源、补给方式、排泄方式、径流强度等)。

3. 断裂带的水文地质特征：根据两盘岩性、出露于断裂带上泉的流量、水质、水温以及河水流量等，分析断裂带的导水性能及其对二叠系和中侏罗统含水层的影响。

4. 地下水资源的概略估算：在对区域水文地质条件建立清晰概念的基础上，估算东王村盆地地下水的补给量及二迭系含水层的年补给量。

表 4 东王村地区多平均（1951—1970 年）降水量及气温资料

项目 \ 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
降水量 (mm)	35.5	60.5	104.5	144.4	161.2	218.0	179.0	133.4	80.6	53.2	56.6	33.5	1260.4
占年降水量的百分比(%)	2.2	4.8	8.3	11.5	12.8	17.3	14.2	10.6	6.4	4.2	4.5	2.6	100.0
气温 (°C)	1.8	5.1	12.5	16.4	21.6	26.0	27.8	28.7	23.4	18.0	9.2	7.3	16.5

表 5 东王村地区地下水化学成份

泉号	库尔洛夫表示式	钻孔号	含水层	库尔洛夫表示式
6	$M_{0.25} \frac{HCO_{89}^3}{Ca_{57}Mg_{34}} t_{15}^0$	1	J <sub>2</sub>	$M_{0.84} \frac{HCO_{76}^3 SO_{24}^4}{Na_{64} Ca_{27}} t_{19}^0$
12	$M_{0.9} \frac{HCO_{66}^3 SO_{24}^4}{Na_{66} Ca_{25}} t_{20}^0$		P	$M_{4.0} \frac{SO_{65}^4 Cl_{20} HCO_{15}^3}{Na_{44} Ca_{40} Mg_{16}} t_{23}^0$
10	$M_{0.23} \frac{HCO_{85}^3}{Ca_{59}Mg_{32}} t_{14}^0$	3	J <sub>2</sub>	$M_{0.5} \frac{HCO_{76}^3 SO_{15}^4}{Na_{46} Ca_{37} Mg_{17}} t_{17.5}^0$
13	$M_{4.1} \frac{SO_{63}^4 Cl_{21} HCO_{16}^3}{Na_{42} Ca_{40} Mg_{16}} t_{23}^0$		P	$M_{1.9} \frac{SO_{68}^4 HCO_{20}^3 Cl_{12}}{Ca_{44} Na_{40} Mg_{16}} t_{19}^0$
14	$M_{0.2} \frac{HCO_{90}^3}{Ca_{54} Na_{25} Mg_{12}} t_{15}^0$			

## 实验一 孔隙水实验报告表

**附表一**

仪器编号:			试样体积:      cm <sup>3</sup>			透水石选用负压值:    cm			
试样名称	粒    径 (mm)	进 水 量 (mL)	累计饱水 时    间 (min)	退 水 量 (mL)	累计退水 时    间 (min)	孔隙度 (%)	给水度 (%)	持水度 (%)	备    注

报    告    人 \_\_\_\_\_ 班    号 \_\_\_\_\_ 组    号 \_\_\_\_\_ 同 组 成 员 \_\_\_\_\_  
 实    验    日    期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 \_

实验二 达西渗流实验报告表

仪器编号\_\_\_\_\_过水断面面积（ $\omega$ ）\_\_\_\_\_cm 渗流途径（ $L$ ） 水温\_\_\_\_\_℃

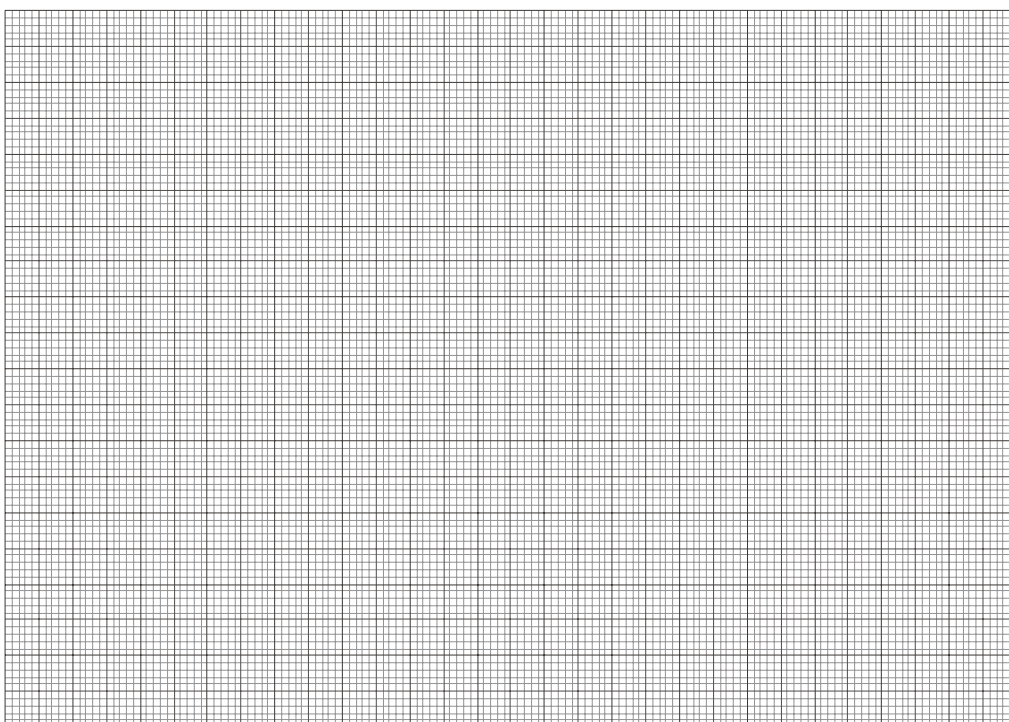
附表二

土样名称	实验次数	水力梯度（ $I$ ）				渗透流速（ $v$ ）				渗透系数（ $K$ ）		备注
		测压管水头		水头差（cm） $\Delta H = Ha - Hc$	水力梯度 $I = \frac{\Delta H}{L}$	渗透时间 t（s）	渗透体积 V（cm <sup>3</sup> ）	渗透流量 （cm <sup>3</sup> /s） $Q = \frac{V}{L}$	渗透流速 （cm/s） $v = \frac{Q}{\omega}$	$K = \frac{V}{I}$		
		Ha（cm）	Hc（cm）							cm/s	m/d	
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											

实验日期\_\_\_\_\_ 报告人\_\_\_\_\_ 班号\_\_\_\_\_ 组号\_\_\_\_\_ 同组成员\_\_\_\_\_

---

实验二用纸



---

实验五用纸



实验三甲 砂土中的毛细上升速度实验报告表

附表三

岩性：（粒径 mm）						岩性：（粒径 mm）						岩性：（粒径 mm）						备注
序号	累计时间（s）	毛细上升高度（cm）	序号	累计时间（s）	毛细上升高度（cm）	序号	累计时间（s）	毛细上升高度（cm）	序号	累计时间（s）	毛细上升高度（cm）	序号	累计时间（s）	毛细上升高度（cm）	序号	累计时间（s）	毛细上升高度（cm）	

实验日期\_\_\_\_\_ 报告人\_\_\_\_\_ 班号\_\_\_\_\_ 组号\_\_\_\_\_ 同组成员\_\_\_\_\_

### 实验三乙

### 毛细饱和带水的运移实验报告表

附表四

[illegible]

实验日期\_\_\_\_\_ 报告人\_\_\_\_\_ 班号\_\_\_\_\_

组号\_\_\_\_\_同组成员\_\_\_\_\_

[illegible]

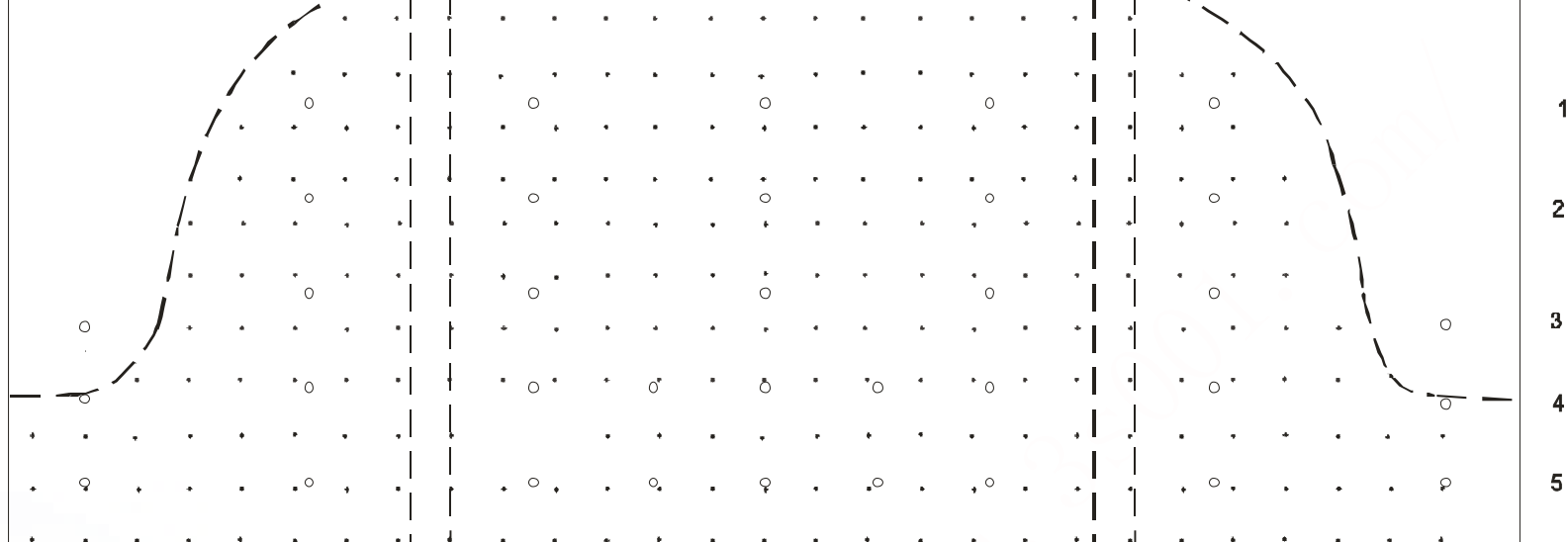


## 实验五 承压水模拟演示实验报告表

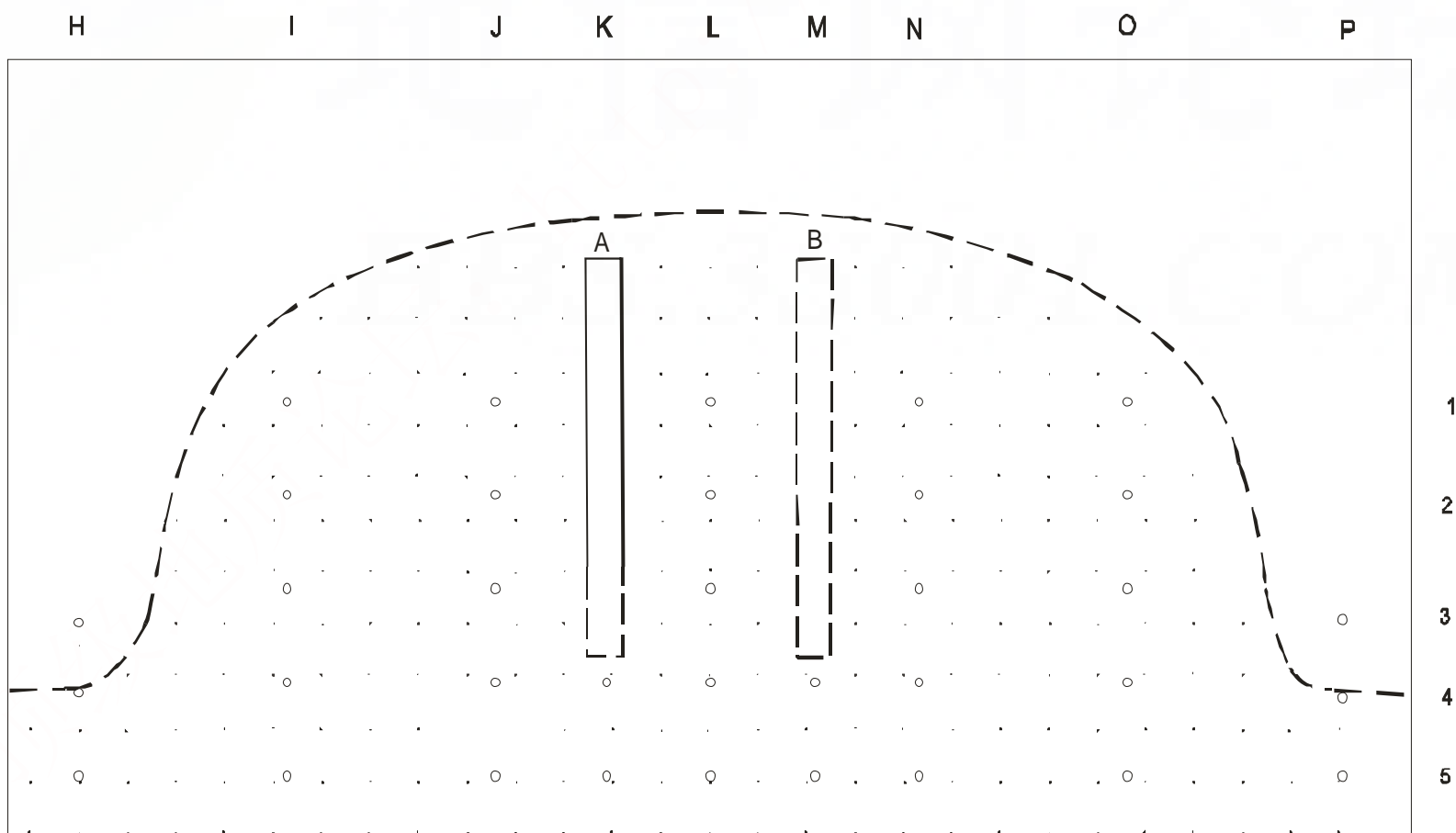
附表五

项目 数据 步骤	河水位 $H_{\text{河}}(\text{cm})$ ( $B_1$ )	泉点水位 $H_{\text{泉}}(\text{cm})$ ( $B_8$ )	平均水力梯度 $I$		泉流量 (L/s)	井流量 (L/s)	备注
3							
4	抽水前						
	抽水后						
5	次数	1	2	3	4	5	6
	累计时间 (s)						
	泉流量 (L/s)						
	次数	7	8	9	10	11	12
	累计时间 (s)						
	泉流量 (L/s)						
	次数	13	14	15	16	17	18
	泉流量 (L/s)						

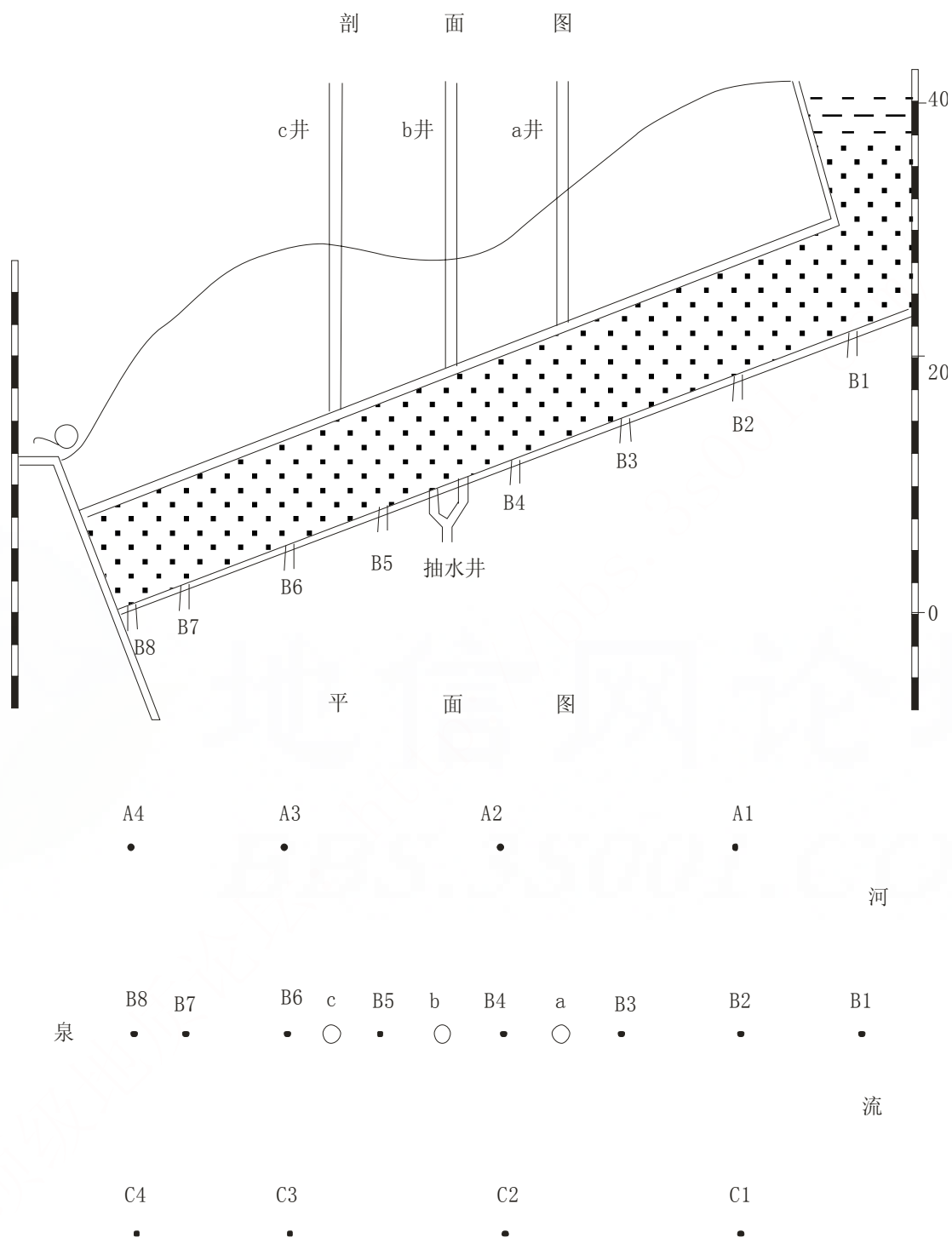
实验日期\_\_\_\_\_ 报告人\_\_\_\_\_ 班号\_\_\_\_\_ 组号\_\_\_\_\_ 同组成员\_\_\_\_\_

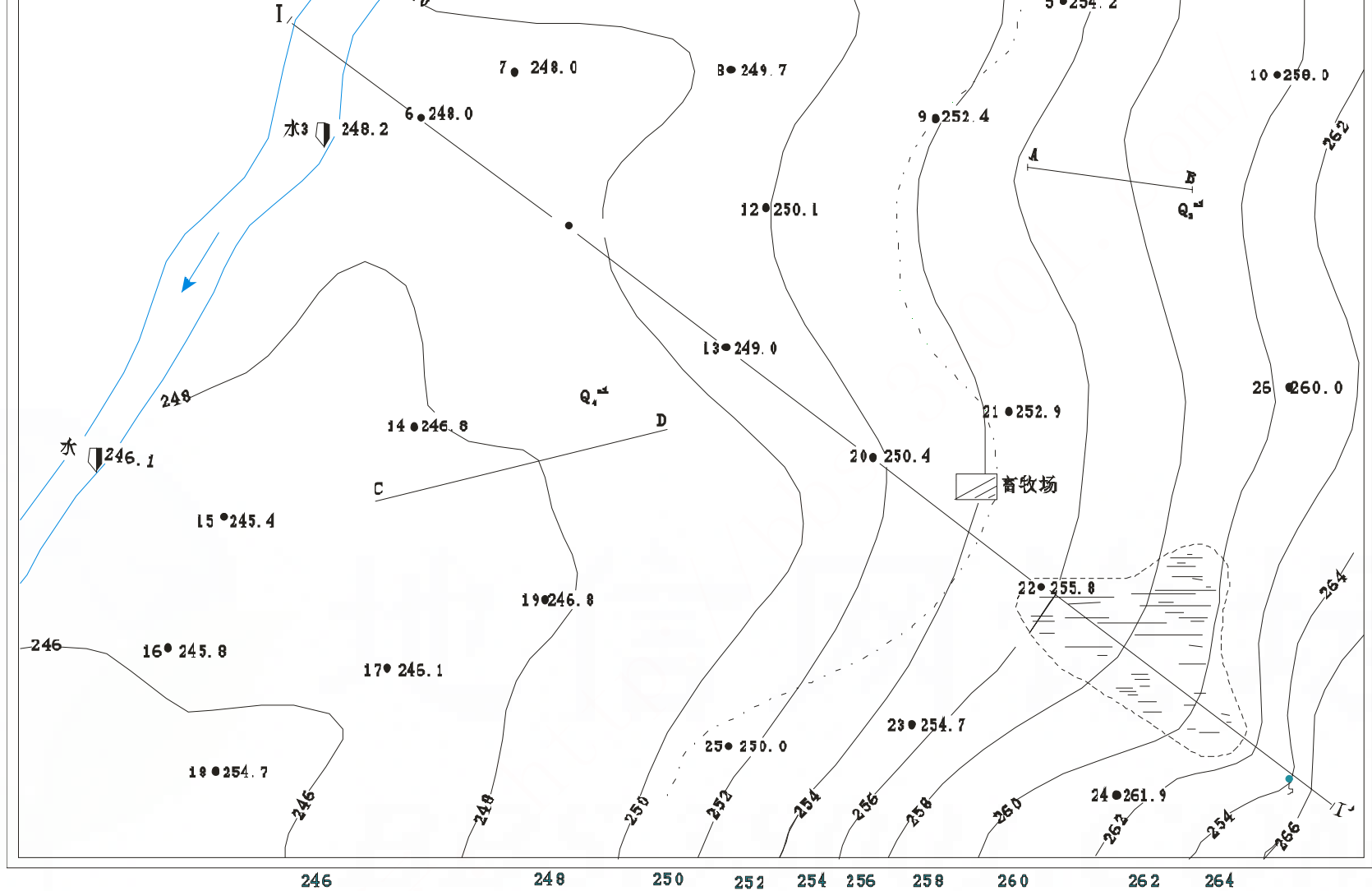


## A 面剖面流网



# 实验五 承压水模拟演示用图（1：5）





测图日期 1965年9月4-6日

I-I' 水文地质剖面图

