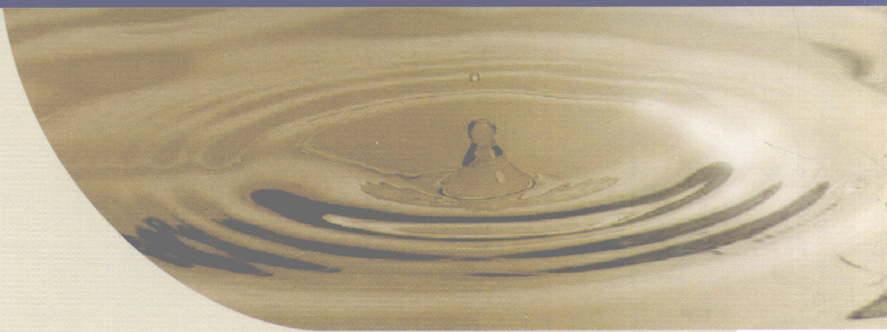


成都理工大学实验教学系列教材

水文地质学 实验教程

主 编 虞修竞
副主编 付小敏 苏道刚
主 审 夏克勤

SHUIWEN DIZHIXUE
SHIYAN JIAOCHENG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

成都理工大学实验教学系列教材

水文地质学实验教程

主 编 虞修竞

副主编 付小敏 苏道刚

主 审 夏克勤

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书紧密结合理论课程的教学内容,包括了水文地质学基础实验、地下水渗流实验、模拟含水层抽水实验及编制潜水等水位线图、阅读综合水文地质图、地下水中主要离子测定等方面的内容。根据理论课程内容,本书还编入了部分“水力学”的实验项目。

本书主要教学对象为水文地质、勘察技术与工程、地矿勘察、石油工程、环境工程等专业的学生。通过理论与实验学习,学生可以掌握水文地质学的基础知识和专门水文地质学及地下水动力学的主要内容,全方位了解水文地质学的基本理论和一些相关的工作方法,了解水文地质参数的测定、地下水量的计算等,为将来从事地质勘察打下良好的专业基础。本书除作为教学用书外,也可供专业人员参考,有较好的适用性。

图书在版编目(CIP)数据

水文地质学实验教程 / 虞修竞主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2008.9
(成都理工大学实验教学系列教材)
ISBN 978-7-5643-0050-0

I. 水… II. 虞… III. 水文地质—实验—高等学校—教材 IV. P641-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第133220号

成都理工大学实验教学系列教材

水文地质学实验教程

主编 虞修竞

*

责任编辑 张 波

特邀编辑 杨 勇

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 6.25 插页: 2

字数: 163千字 印数: 1—3 000册

2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0050-0

定价: 12.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

随着我国改革开放的深入,高等教育也得到了空前的发展,我校也由单一的地质专业学院发展成为综合性的理工大学。一段时期以来,我校水文地质、环境工程、勘察技术与工程、石油工程、地矿勘察等专业本科生和研究生的数量有所增加,实验教学内容也大大扩展,而相关教材缺乏,水文地质实验室作为主要实验教学场所,其原有设备也远远不能满足当今的实验教学需求。为改善这种状况,同时为提高教学质量,近年来在各有关部门支持下,我校一批具有丰富教学和野外科研、生产实践经验的教师总结了历年的教学成果,并参考同类教材及有关文献资料,发扬艰苦创业、自力更生的精神,自行开发研制、改造了一批新型教学仪器,同时设计和开设了一批新实验,扩展了一些原有实验的内容。实践证明,这样的实验教学明显地激发了学生的学习积极性,提高了学生的实践动手能力,也促进了理论教学质量的提高。

本教材即在上述背景下由相关教师编写而成。其内容包括了水文地质学基础实验、地下水渗流实验、模拟含水层抽水实验以及编制潜水等水位线图、阅读综合水文地质图、地下水中主要离子测定等实验,根据理论课程内容,本书还编入了部分“水力学”基础的实验项目,共计 19 项。

本书的实验内容突出反映了专业特点:

如潜水模拟实验,实验装置选取了最具潜水特征的河间地块为模拟对象,可完整显示潜水补给、径流、排泄特征。学生通过实验可以深入理解有关潜水的基本概念及空间立体的分布状态,对潜水补给、径流、排泄建立感性认识,并可运用地下水运动基本定律及绘制流网分析水文地质问题。

而承压水模拟实验则选取了单斜承压含水层为模拟对象,学生通过实验,可熟悉有关承压水的基本概念,对承压水在空间的产出状态及补给、径流、排泄条件建立感性认识。在此基础上,可通过钻孔水位绘制承压水位线,学会分析从补给区到排泄区水力梯度的变化,并通过调节泉流量的大小和钻孔水位的大小进行水均衡分析。

在地下水渗流实验方面也采用了多种模型,如渗流槽、渗流柱、窄缝槽等,用来模拟一些非均质、各向异性以及边界几何形状复杂等条件下的地下水运动规律,且具有形象、直观、演示效果和直观性好等优点。学生通过实验可运用地下水动力学基本知识解释各种类型地下水的运动特征。同时,还可以学习怎样根据需要制作不同物理模型来研究地下水的运动规律。

本书的潜水完整井和承压完整井抽水模拟实验,是根据相似模拟的原理以野外抽水时地下水向潜水完整井和承压完整井稳定运动的水文地质实体为模拟对象的一种物理模型,可以分别再现潜水完整井和承压完整井的抽水过程。通过实验,学生可以对模型中地下水各运动要素进行观测,再将观测到的结果按一定比例放大,就可得到与自然界潜水完整井和承压完整井抽水时相对应的运动要素,并可测定相关的水文地质参数和计算

含水层出水量，清楚看到自然界无法观测到的渗流状态及含水层与抽水井的结构，同时可以了解抽水实验的过程及其资料整理。

野外现场原位实验是水文地质研究的重要方面，但受客观条件的限制，目前在野外现场实习中很难开展此项工作。因此，有必要加强在实验室的实践教学，特别是一些关于相似模拟的水文地质实体与地下水抽水方面的实验。本书实验内容在一定程度上可以弥补野外现场实习的不足。

本书涉及的内容比较广泛，便于不同的使用者特别是不同专业的师生学习使用。

本书由成都理工大学虞修竞任主编，夏克勤主审。全书除实验十五由于静执笔外，其余均由虞修竞执笔，付小敏、苏道刚为完成本书也做了大量工作。

在此向为本书的完成付出辛勤劳动的同志们表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 9 月

目 录

实验一	观测岩土中毛细水的上升高度	1
实验二	测定岩土的水理性质	5
实验三	潜水模拟演示实验	8
实验四	承压水模拟演示实验	12
实验五	达西渗流实验	16
实验六	编制潜水等水位线图	21
实验七	阅读综合水文地质图	25
实验八	潜水平面渗流实验	30
实验九	潜水完整井抽水实验	36
实验十	承压完整井抽水实验	42
实验十一	绕坝渗流演示实验	48
实验十二	地下水局部与区域渗流实验	52
实验十三	地下分水岭演示实验	55
实验十四	潜水井流演示实验	58
实验十五	地下水化学成分分析	61
实验十六	碳酸盐碳、氧稳定同位素样品制备实验	77
附录	水力学实验	83
实验一	静水压强与真空实验	83
实验二	伯努利能量方程实验	86
实验三	层流与紊流演示实验	90
参考文献		94



实验一 观测岩土中毛细水的上升高度

一、实验目的

- (1) 熟悉包气带中毛细水的赋存与运动特征。
- (2) 观察松散岩土中水的毛细运动。
- (3) 初步掌握测定砂中毛细水上升高度的方法。
- (4) 观测砂土毛细饱和带水的运移。

二、实验设备

1. 观测毛细水上升高度实验装置（见图 1.1）

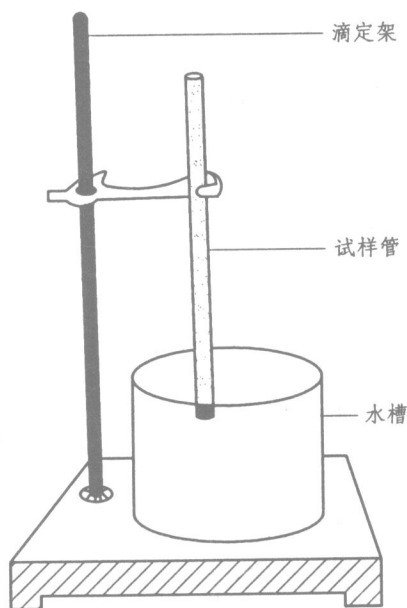


图 1.1 观测毛细水上升高度的实验装置

- | | |
|---|--------------------------|
| (1) 刻度试样玻璃管 | 3 支 (内装粗、中、细 3 种不同粒径的砂样) |
| (2) 水槽 | 1 个 |
| (3) 固定架 | 1 个 |
| (4) 钢尺 | 1 把 |
| (5) 烧杯 (500 mL) | 1 个 |
| (6) 吸管 | 1 支 |
| (7) 秒表 | 1 支 |
| (8) 温度计 ($0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) | 1 支 |
| (9) 干布 | 1 块 |

2. 毛细饱和带水的运移实验装置 (见图 1.2)

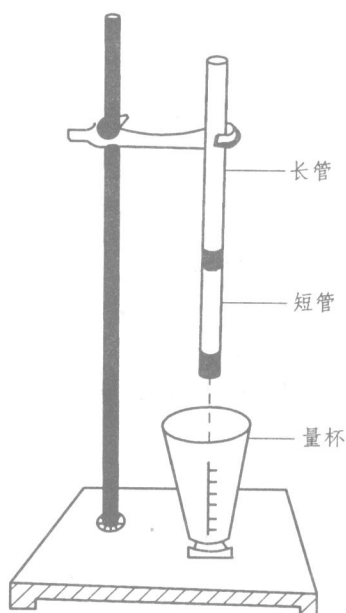
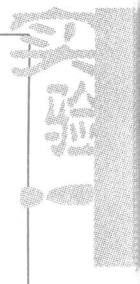


图 1.2 毛细饱和带水的运移实验装置

- | | |
|-----------------|-----|
| (1) 滴定台 | 1 个 |
| (2) 刻度玻璃管: | |
| 长管 (20 cm) | 1 支 |
| 短管 (10 cm) | 1 支 |
| (3) 烧杯 (500 mL) | 1 个 |
| (4) 放大镜 | 1 个 |
| (5) 钢尺 | 1 把 |
| (6) 水桶 | 1 个 |
| (7) 量杯 (50 mL) | 1 个 |
| (8) 干布 | 1 块 |



三、实验步骤

1. 观测砂中水的毛细上升速度

(1) 装试样：将 3 种不同粒径的砂样各自均匀、密实地装入刻度玻璃管中（分多次、少量的装入并不断拍打管壁，装满为止）。

(2) 将水槽盛满水，把装样的玻璃管插入固定架放入水槽的透水支座上（玻璃管底部的白胶布上沿略低于水槽顶口，管底接触水面），并用滴定夹固定玻璃管。

(3) 用钢尺测出水槽顶面与玻璃管在同一平面时玻璃管的高度（即毛细水上升高度的起始读数），并加以记录，迅速向水槽中注水，当水面与水槽顶面平齐时，准确迅速地按秒表计时，并观察玻璃管中水面上升的情况，同时用吸管不断加水入槽，保持槽内水面不变并与槽顶口平齐。读出读数并纪录于表 1.1，记录下列时刻的毛细水上升高度：

00:01:00, 00:03:00, 00:05:00, 00:07:00, 00:10:00, 00:15:00, 00:20:00, 00:25:00, 00:30:00。

2. 毛细饱和带水的运移实验

(1) 装试样：将砂样均匀密实地装入长、短管中与管口平齐。

(2) 长管饱水：将长管垂直缓慢地全部浸入水桶中（注意桶内水面不得超过管上口），使其充分饱水后提起，擦干外壁，固定在滴定架上使其在重力作用下滴水。

(3) 短管饱水：将短管垂直缓慢地浸入盛有颜色水的烧杯中，充分饱水后提起，擦干外壁，并用放大镜观察此时短管饱水情况，注意是否滴水。

(4) 观察长短管相接后的现象：待长管停止滴水后，将长管下口放在短管的上口上，使其紧密接触，用量杯盛接滴水，同时观察短管饱水情况及颜色，对比滴出的水与烧杯中的颜色水是否相同。

四、实验成果

(1) 提交毛细水上升高度实验记录表（表 1.1）。

(2) 在直角坐标纸上分别作出 3 种砂样的毛细水上升高度与时间的关系曲线。

① 根据曲线图及实验数据分析毛细水上升高度随时间的变化情况。

② 对比分析试样粒径大小对毛细水上升高度的影响。

③ 短管饱水后提起为什么不滴水？与长管相接后出现什么现象？为什么？

④ 提出对本实验的改进意见。

表 1.1 毛细水上升高度实验记录表

水温 _____ °C

仪器 编号										
试样粒径 /mm										
时间 /min	读数 /mm	毛细水 上升高度 /mm	毛细水 上升速度 / (mm/min)	读数 /mm	毛细水 上升高度 /mm	毛细水 上升速度 / (mm/min)	读数 /mm	毛细水 上升高度 /mm	毛细水 上升速度 / (mm/min)	毛细水 上升速度 / (mm/min)
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

实习日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日 班号 _____ 组号 _____
报告人 _____ 同组成员 _____

实验二 测定岩土的水理性质

一、实验目的

- (1) 认识水在岩土空隙中的存在形式（以松散岩土为例）。
- (2) 加深认识岩土的水理性质。
- (3) 学习掌握实验室测定孔隙度、容水度、给水度、持水度的方法。

二、实验设备

- (1) 给水度仪装置（见图 2.1）。

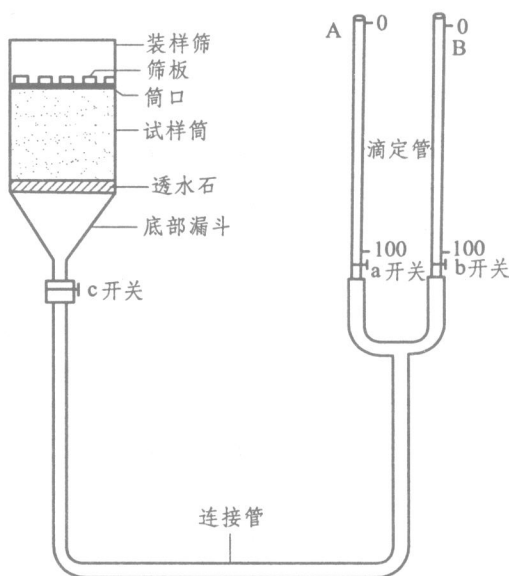


图 2.1 给水度测定装置示意图

- ① 装样筛；
- ② 试样筒；

- ③ 连接管;
- ④ 滴定管 (A、B 两管各 100 mL);
- ⑤ 滴定管架。

(2) 分液漏斗 (250 mL 左右)	1 个
(3) 支架	1 个
(4) 量筒 (500 mL)	1 个
(5) 烧杯 (250 mL)	1 个
(6) 巴氏吸管	1 支
(7) 漏斗	1 个
(8) 洗耳球	1 个
(9) 水桶	1 个
(10) 干布	1 块

三、实验步骤

(1) 饱和透水石及底部漏斗充水: 将开关 c 打开, 将试样筒取下, 底部漏斗向上倒置浸入水桶中, 用洗耳球将底部漏斗中的气体吸出使透水石完全饱水 (不再冒有气泡), 并使底部漏斗完全充水到管口, 用止水夹关闭管口, 在水中倒转试样筒, 并装满水放在支架上, 将滴定管充水并排除连接管中的空气 (同时打开 a、b 开关), 使连接管与底部漏斗管接通, 并关闭开关 c。

(2) 测量试样筒容积: 试样筒装水的液面与筒口平齐, 然后将水倒入量筒中, 记下水的体积, 反复测定 3 次, 取其算术平均值, 即为此试样筒容积。

(3) 测定透水石的负压值: 倒去试样筒中的水, 并打开开关 c 及开关 a 或 b 缓缓降低滴定管 A 或 B, 同时注意观察滴定管的液面, 当液面一有上升立即关闭开关 c, 记下此时滴定管液面至透水石底面的高差, 此即是该透水石的负压值。重复 (1)、(2) 两步骤, 记下测得的负压值, 取两次测定中数值较小者作为此仪器选用的负压值。

(4) 装试样: 用干布将试样筒内壁擦干, 不要使布接触透水石, 试样分多次少量地装入试样筒中并不断拍打试样筒, 以保持装样均匀密实, 试样装到与筒口平齐为止。如装混合样时, 先将砾石装满试样筒, 然后装上试样筛将砂分多次少量地倒入筛内并拍打试样筒, 使砂充满砾石间的孔隙。

(5) 测定进水量: 将滴定管充水到零刻度, 然后升高滴定管的高度, 使其液面始终高于试样筒口。打开开关 c、a (或 b) 并用 a (或 b) 开关控制进水速度, 速度不能过快, 应使试样逐渐饱水。注意观察, 当试样筒口看到液面时, 立即关闭 a (或 b) 开关。记下此时滴定管液面的数值。

(6) 测定退水量: 降低滴定管的高度, 使滴定管液面低于透水石底面并高于负压值

面 5 cm, 打开开关 c、a (或 b), 控制缓慢退水。注意观察, 当滴定管液面趋于稳定时 (2 min 内退水不足 1 mL) 则关闭 c、a (或 b) 开关, 记下此时滴定管液面的数值。

(7) 换试样: 即重复步骤 (4) ~ (6)。

四、实验成果

(1) 提交本实验报告 (表 2.1)。

(2) 从试样中退出的是何形式的水? 退水结束后试样中保留的是何形式的水?

(3) 根据实验结果, 对比分析松散土石粒径大小和分选性对给水度的影响, 并说明原因。

表 2.1 岩土的水理性质测定实验报告表

仪器名称及编号				
试样名称				
试样粒径/mm				
仪器容积/mL				
进水量/mL				
退水量/mL				
持水量/mL				
试验成果	容水度/%			
	给水度/%			
	持水度/%			
	孔隙度/%			

实验日期_____年_____月_____日 班号_____组号_____

报告人_____ 同组成员_____

实验三 潜水模拟演示实验

一、实验目的

- (1) 熟悉与潜水有关的基本概念，建立对潜水补给、径流、排泄的感性认识。
- (2) 培养运用达西定律及利用流网分析水文地质问题的能力。

二、实验设备

潜水演示仪（见图 3.1）主要部件及附件为：

- (1) 槽体，内盛均质砂，模拟含水层；
- (2) 降雨器，可人为控制降雨量的大小；
- (3) 模拟井，2 个完整井，2 个非完整井；
- (4) 模拟集水廊道；
- (5) 测压（示踪）点，与测压管架上的测压管连接可测水头，与示踪剂注入瓶连接可示踪流线（迹线）；
- (6) 测压管架；
- (7) 示踪剂注入装置；
- (8) 稳水箱（用于稳定河水位）。

三、实验方法与步骤

实验采用分析讨论与观察模拟现象相结合的方式。因此，要求学生针对提出的问题分析讨论，积极思考，在此基础上，带着讨论中的结论及疑难进行模拟演示，从而验证和加深对问题的理解。

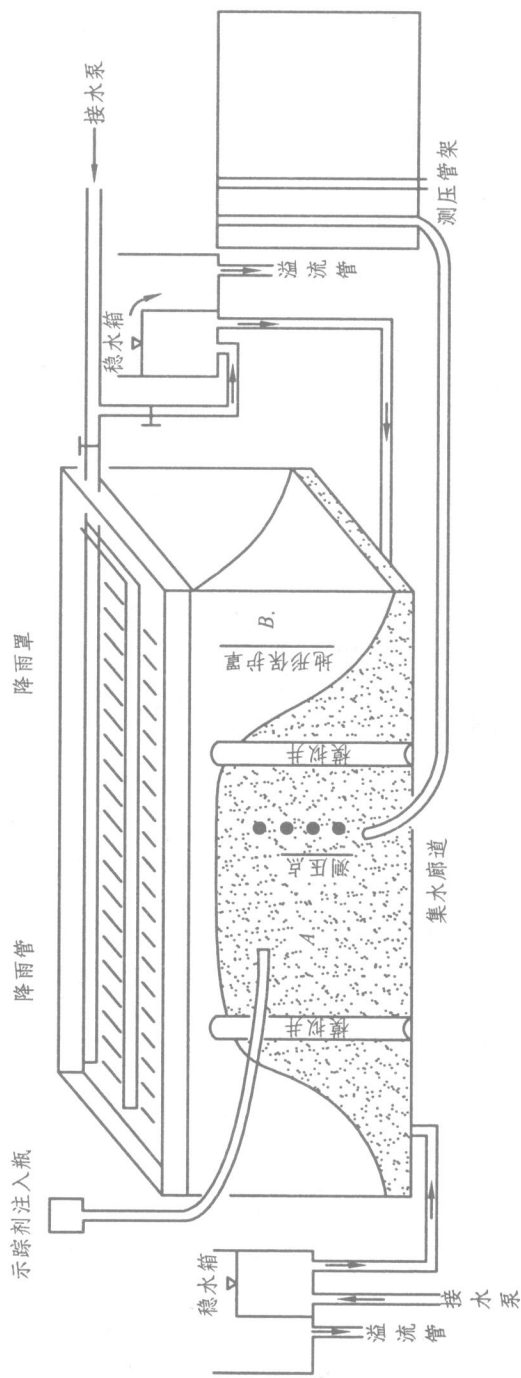


图 3.1 潜水模拟演示实验装置图

1. 熟悉潜水演示仪的装置及功能

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。

- (1) 观测大气降水对潜水的补给过程；
- (2) 观测地表径流产生的情况。

分析讨论：

- (1) 包气带厚度与地表径流的关系；
- (2) 降雨强度与地表径流的关系；
- (3) 地形与地表径流的关系。

3. 观察潜水面形状

如图 3.2 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的 M 、 N 、 O 各点的测压水位相等。由此可按以下步骤确定潜水面形状。

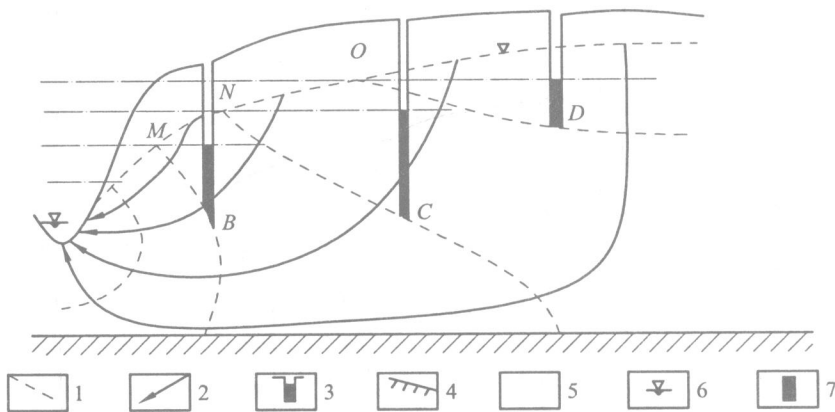


图 3.2 潜水含水层中等势线任一点水头示意图

1—等势线；2—流线；3—测压管；4—隔水底板；5—含水层；
6—河水位及潜水位；7—涂黑部分，即某点测压高度

(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与河水位，并按比例表示在 A 剖面图上（见图 3.1）。

(2) 在河与分水岭之间选择 3~5 个有代表性的示踪点，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 个测压点测定测压水位，按比例表示在 A 剖面上。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。

4. 观测地下分水岭的偏移

在中等强度均匀降雨条件下，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（即抬高该侧稳水箱），观察地下分水岭向什么方向移动，分析地下分水岭为什么会发生偏移，能否稳移？停止降雨继续观察分水岭的变化。

5. 抽水条件下的渗流演示

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，演示以下内容：

（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，打开两个完整井的开关，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。在适当的测压点注入示踪剂，观察流线形态并在 *B* 剖面上（见图 3.1）描绘地下水流线。

四、实验成果

（1）根据步骤 3 获得的资料，绘制 *A* 断面的剖面流网（附原始资料表）。

（2）根据步骤 5 获得的资料，绘制 *B* 断面的示意流网图。

（3）你所作的 *A* 剖面流网图具有哪些主要特征？由此能得出哪些有普遍意义的水文地质结论？

（4）分水岭的存在、偏移和消失需具备哪些条件？

（5）在什么条件下会存在地下分水岭？它们与径流系统有何关系？