

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教材

水文地质学基础

实验实习教程

● 梁 杏 郭会荣 编



地质出版社

中国地质大学（武汉）实验技术研究项目经费资助

水文地质学基础 实验实习教程

梁 杏 郭会荣 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是与普通高等教育“十一五”国家级规划教材《水文地质学基础》配套的实验实习教程；包括实验和实习两部分，所选内容均紧紧围绕教材的重点和难点，有助于促进学生对理论知识的理解并激发学生的学习兴趣，培养学生动手、分析和解决实际问题的能力。

本书可作为水文地质、水文学与水资源工程、地下水科学与工程、环境工程和地质工程（工程地质与岩土工程方向）等专业的教学用书。

图书在版编目（CIP）数据

水文地质学基础实验实习教程/梁杏等编. —北京：地质出版社，2009.9

ISBN 978 - 7 - 116 - 06332 - 7

I. 水… II. 梁… III. 水文地质—实验—高等学校—教学参考资料 IV. P641 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 175978 号

责任编辑：王春庆 李惠娣

责任校对：李 玫

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京市海淀区学院路 31 号，100083

电 话：(010) 82324508（邮购部）；(010) 82324514（编辑室）

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：zbs@gph.com.cn

传 真：(010) 82324340

印 刷：北京地质印刷厂

开 本：787 mm × 1092 mm¹/₁₆

印 张：4.25 插页：3 页

字 数：120 千字

印 数：1—3000 册

版 次：2009 年 9 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价：7.50 元

书 号：ISBN 978 - 7 - 116 - 06332 - 7

（如对本书有建议或意见，敬请致电本社；如本书有印装问题，本社负责调换）

前 言

这本《水文地质学基础实验实习教程》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《水文地质学基础》的配套教程。

《水文地质学基础》自1960年问世以来，修订再版了五次，即将出版的是第六版。但是，与之配套的实验实习讲义仅在1988年出版过一次，此后一直没有再版。

水文地质学的基本概念与原理，从字面上理解并不困难，但能够掌握并灵活运用，颇不容易。原因是，初学者缺乏地下水的感性认识，同时，地下水科学具有综合性，只有结合具体问题进行分析才能理解并掌握。在学科迅猛发展的今天，仅仅记住知识而不把握其实质，到了明天，就不可能成为一名合格的科技工作者。

基于上述考虑，20年来，我们不断改进原有的实验实习内容，不断研制新的实验仪器，充实新的内容，实验实习课时由原来占课程总学时的20%左右，增加到了30%~40%；同时，增添了自主设计性实验。从教学实践看，这样做有利于提高学生分析和解决问题的能力，有利于培养学生的创新思维。

实验实习课能否获得良好效果，取决于师生双方的能动性。只有教员明确教学目的，针对学生的实际情况，仔细琢磨教案，充分发挥学生的主体作用，启发学生积极思考，才能取得良好的教学效果。如果学生只是机械地“照方抓药”，而不积极动手动脑，上课就会流于形式。因此，师生双方重视并相互配合，充分体现“教学相长”及“学为主体，培养能力”，才是实践课成功的关键。

本实验实习教程适合于水文与水资源工程、水文地质与工程地质、地下水科学与工程，以及其他与地下水有关的专业学生使用。实验实习教程中的内容超过了教学课时所需，以便于不同使用者选用以及学生选做。

修订后的实验实习教程删除了水文气象的实习内容，利用新研制的实验设备，增加了一些设计性和选择性的实验内容，增列了仪器的实体照片，重新绘制了图件。

在半个多世纪的教学过程中，本实验实习教程吸收了本校和兄弟院校的经验，凝聚了几代教师的心血和才智，几经修订完善，最终公开出版。敬请使用本教程的师生提出宝贵意见与建议。

值此新中国成立 60 周年之际，谨以此作为我们微薄的献礼。

梁杏 郭会荣
xliang@cug.edu.cn
elsieguo@126.com
二〇〇九年八月

目次

前 言

实验实习规则	(1)
--------------	-----

I. 实 验 部 分

实验一 孔隙与水	(3)
实验二 达西渗流实验	(11)
实验三 砂土中水的毛细运动	(21)
实验四 潜水模拟演示	(29)
实验五 承压水模拟演示	(35)
实验六 地下水流动系统数值模拟演示 (计算机)	(43)
实验七 多源汇地下水流动系统设计与演示	(49)

II. 实 习 部 分

实习一 编制潜水等水位线图	(51)
实习二 编制承压水等测压水位线图	(52)
实习三 达西定律的物理实质及其应用	(53)
实习四 地下水化学成分形成作用实例分析	(56)
实习五 岩溶及岩溶水的发育规律	(58)
实习六 读水文地质图	(60)
附图一 沙河地区潜水等位线图	
附图二 龙泉镇地区中寒武统承压含水层等测压水位线图	
附图三 东王村地区水文地质图	

实验实习规则

1. 实验实习前必须认真预习，明确实验实习的目的、要求，了解有关内容、实验步骤、有关原理及方法。
2. 选做设计性实验时，要提前写出实验方案，经指导教师批阅，与实验室老师预约时间进行。
3. 实验实习过程中听从教师指导，按要求认真操作，细心观察，及时记录；同时，积极思考，主动讨论，培养综合分析问题的能力。
4. 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。

I. 实验部分

实验一 孔隙与水

一、实验目的

1. 加深理解松散岩土孔隙度、给水度和持水度的概念。
2. 掌握实验室测定砂土样孔隙度、给水度和持水度的方法。
3. 了解层状土给水度的测定方法。

二、实验内容

1. 熟悉试样给水度仪的结构，了解仪器的工作原理。
2. 测定3种松散岩土试样的孔隙度、给水度和持水度。
3. 自选实验内容：了解透水石的原理与作用，标定仪器透水石的负压。
4. 设计性实验：均质与层状土理论给水度的求取方法。

三、实验仪器和用品

1. 试样给水度仪（见图 I 1-1）。
2. 水箱、大号吸耳球，用以抽吸试样给水度仪底部漏斗的气体。
3. 量杯、量筒（100 mL）和胶头滴管。
4. 天然松散岩土试样：砾石（粒径为5~10 mm，大小均匀，磨圆度好）；砂（粒径为0.45~0.6 mm）；砂砾混合样（把上述砂样完全充填于砾石样的孔隙中得到的一种新试样）。

四、实验原理与准备

1. 透水石与底部漏斗简介

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实验过程中靠近试样的一侧，在气、液、固三相介质界面上，形成弯液面后产生的附加

表面压强。

给水度仪的底部漏斗是连接供水装置与试样筒的中间部件，实验过程中要保持完全饱水状态，实验前需要进行排气充水。

2. 标定透水石的负压值 ($-P$)

第一步，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）。具体操作：将试样筒与底部漏斗一起从开关 a 处卸下（见图 I 1-1），浸没于水箱中并倒置；将漏斗管口与吸耳球管口连接，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。然后，同时打开 a、b 两开关，在两管口同时流水的情况下连接漏斗下部的塑料管。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 ($-P$)。打开 a、b 开关，缓慢降低 A 滴定管（滴定管液面低于透水石底面），同时注意观察其液面的变化。当 A 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 ($-P$)。

反复测定几次，选其中最小数值（绝对值）作为实验仪器所采用的负压值 ($-P$)。

3. 标定试样筒的容积 (V)

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 (V)。

以上准备工作由实验教师或学生在实验课前做好。

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，保持两管口朝上，在两管口同时流水的情况下连接漏斗底部的塑料管；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好之后，检查试样筒底部漏斗是否有气泡，如有气泡，应参照实验原理与准备工作中第 2 点第一步进行排气，然后重复上述实验步骤第 1 步（连接）。

3. 装样

装样前，在 a、b 开关关闭状态下，将 A 滴定管液面调到零刻度，用干布把试样筒内壁擦干（注意：干布不要接触透水石）。装砾石样和砂样时，不用装样筛，直接将试样逐次倒入试样筒，轻拍试样筒以保证试样密实，试样装至与试样筒口平齐。装砂砾混合样时，先按上述方法把砾石装满，再安装装样筛，将砂样逐次从装样筛中漏入，直至完全充填砾石样孔隙。

4. 测定孔隙度

适当抬高 A 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

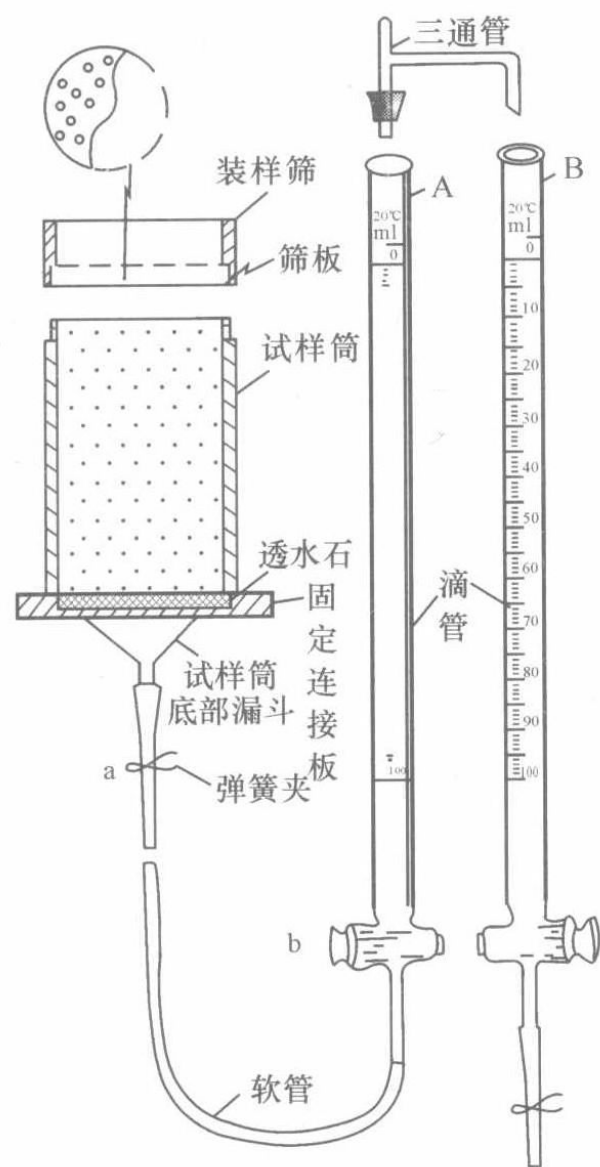


图 I 1-1 试样给水度仪装置图

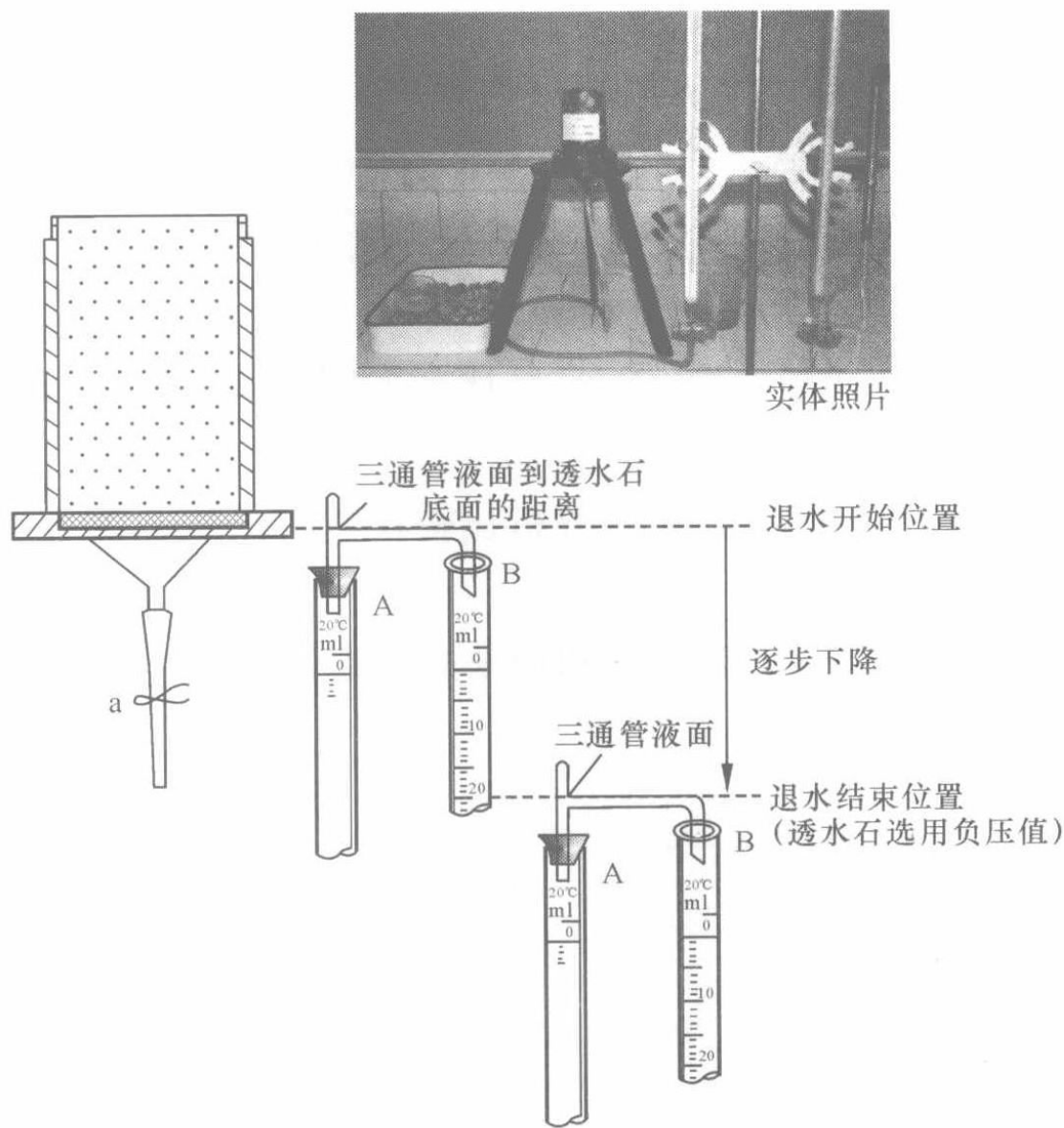


图 I 1-2 退水时试样给水度仪安装/退水示意图

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, 填入表格“实验一 孔隙与水实验记录表”。进水量 (体积) 与试样筒容积之比就是此试样孔隙度。

5. 测定给水度

将 A 滴定管加满水并装上三通管, 通过三通管连接 A、B 滴定管。用胶头滴管调整三通管液面 (图 I 1-2)。将 B 滴定管初始刻度调至 100 mL 处。如图 I 1-2 所示, 逐步 (每次 5 cm) 同时降低 A、B 滴定管的高度, 分别在实验记录表中记录相应的出水量, 直至达到仪器最大负压值结束 (见图 I 1-2 退水结束位置)。即: 首先同时降低 A、B 滴定管后 (见图 I 1-2 退水开始位置), 打开 b 开关, 试样中退出的水沿三通管进入 B 滴定管, 待退水稳定 (B 滴定管水位不上升) 时, 记录退水量; 继续分次降低 (每次 5 cm) A、B 滴定管, 待退水稳定 (B 滴定管水位不上升) 时, 将累计退水量和累计退水时间记录到实验记录表。退水终止后, 将仪器体积和负压等参数记录到实验记录表中。累计退水量 (体积) 与试样体积之比就是试样的给水度。

注意: 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。

6. 重复上述步骤3~5, 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. 提交实验报告表, 即孔隙与水实验记录表。

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, 分析比较松散岩土的孔隙度、给水度、持水度与粒径和分选的关系。

3) 不同试样退水过程中的退水量为什么有差异?

实验一 孔隙与水实验记录表

仪器编号：_____； 试样体积：_____ cm³； 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	退水负压值(-P) cm	累计退水量 mL	累计退水时间 min	孔隙度 %	给水度 %	持水度 %	备注
				0						
				-5						
				-10						
				-15						

实验日期：_____； 报告人：_____； 班号：_____； 组号：_____； 同组成员：_____

裁 剪 线

附 设计性实验

均质与层状土理论给水度的求取方法

一、实验目的

1. 根据给水度的定义与影响因素，自行设计一到两个方案，求取均质与层状土理论给水度。
2. 进一步理解影响给水度测试的主要因素，掌握求取土层给水度的实验方法。
3. 了解并熟悉土层负压的测定方法。

二、设计性实验内容（供参考）

1. 选择一种或两种砂样，求取均质或层状土层理论给水度。
2. 测定包气带任一点的负压，分析其变化特点。
3. 研究均质土层包气带负压与含水量的关系。

三、实验仪器和用品

1. 实验一所用的试样给水度仪、试验样品和相关用品。
2. 土柱给水度仪（见图 I 1-3）。
3. 不同粒径的砂样。

四、土柱给水度仪简介

本仪器主体结构包括有机玻璃试样柱、可升降的供水/排水装置以及测压板。试样柱上设有多孔陶土头负压测点和正压测点，测压点与测压板通过软管相连，可以连续测定土层从饱水的正压到非饱水的负压水头，从而了解土层负压变化及其对给水度的影响。

通过升降装置调节供水/排水装置（溢水箱）水位，控制试样柱中的水位；通过溢水箱水位变化的快慢控制试样柱水位下降速度，从而求取不同埋深或不同水位下降速度下的土层给水度。

五、设计实验的基本要求

1. 自行设计实验方案，包括设计土层结构、初始水位埋深、退水速度等。实验前写出详细实验方案。
2. 根据实验方案设计实验记录表格，要求表达直观，内容齐全，有利于计算分析。

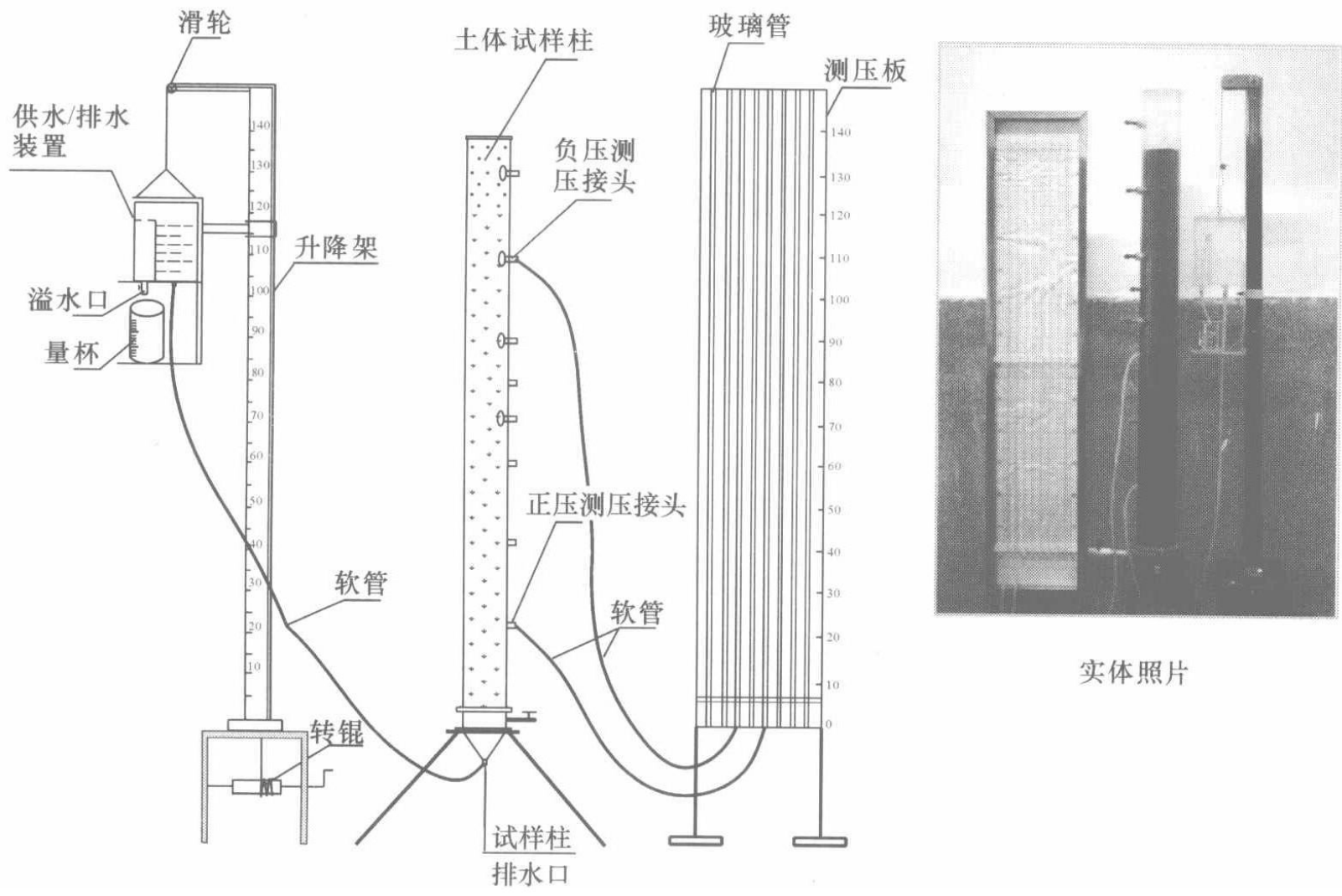


图 I 1-3 土柱给水度仪装置图

3. 根据设计方案自己动手装样与实验，详细记录实验步骤、数据和现象。
4. 对实验数据、计算结果和观察到的现象进行必要的讨论，并撰写实验报告。实验报告的内容包括：实验目的、内容与步骤，主要现象与结果分析，实验改进建议等。

六、思考题

1. 试样给水度仪和土柱给水度仪的测试结果有何差异？为什么？
2. 根据实验结果总结土层给水度的影响因素有哪些？
3. 包气带不同深度的负压有何变化规律？

实验二 达西渗流实验

一、实验目的

1. 通过稳定流渗流实验，进一步理解渗流基本定律——达西定律。
2. 加深理解渗透流速、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. 了解达西实验装置与原理。
2. 测定3种砂砾石试样的渗透系数。
3. 设计性实验：横卧变径式达西渗流实验。

三、达西仪实验原理

达西公式的表达式如下：

$$Q = K \frac{\Delta H}{L} A = KIA$$

式中： Q 为渗透流量； K 为渗透系数； A 为过水断面面积； ΔH 为上、下游过水断面的水头差； L 为渗透途径； I 为水力梯度。

式中各项水力要素可以在实验中直接测量，利用达西定律即可求取试样的渗透系数（ K ）。

四、实验仪器和用品

1. 达西仪（见图 I 2-1）。
2. 试样：①砾石（粒径为 5 ~ 10 mm）；②粗砂（粒径为 0.6 ~ 0.9 mm）；③砂砾混合（试样①与试样②的混合样）。
3. 秒表。
4. 量筒（100 mL，500 mL 各 1 个）。
5. 计算器。
6. 水温计。