

高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材

地下水动力学实验 与习题

(第2版)

靳孟贵 成建梅 文章 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材

地下水动力学实验 与习题

(第2版)

靳孟贵 成建梅 文章 主编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是《地下水动力学》的配套教材,包括实验和习题两部分。实验内容包括非稳定流渗流实验、剖面二维稳定渗流实验、裘布依型潜水稳定流井流实验、水电比拟绘制流网实验、非稳定抽水试验以及抽水试验求参上机实习。每个实验还有设计性实验参考,可为学生开展开放性实验设计提供参考。习题是基于少而精的原则从多年教学实践中精心遴选的,涵盖了地下水动力学教学的主要内容。

本书适用于高等学校水文与水资源工程、地下水科学与工程、水文地质与工程地质、地质工程、环境工程等专业地下水动力学课程的实践教学。

图书在版编目(CIP)数据

地下水动力学实验与习题 / 靳孟贵, 成建梅, 文章
主编. — 2版. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017.2
高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材
ISBN 978-7-5170-5199-2

I. ①地… II. ①靳… ②成… ③文… III. ①地下水
动力学—实验—高等学校—教学参考资料 IV.
①P641.2-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第034050号

书 名	高等学校水利学科专业规范核心课程配套教材 地下水动力学实验与习题 (第2版) DIXIASHUI DONGLIXUE SHIYAN YU XITI
作 者	靳孟贵 成建梅 文章 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 格	北京瑞斯通印务发展有限公司 184mm×260mm 16开本 4.25印张 112千字 2插页
版 次	2010年2月第1版第1次印刷 2017年2月第2版 2017年2月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	15.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第 2 版 前 言

地下水动力学是概念性强、数理逻辑严密而应用灵活的一门应用科学。学习过程中仅记住基本概念、基本定律和计算公式是远远不够的。只有深刻理解概念和定律的物理实质,把握计算公式的应用条件以及分析解决问题的方法技巧,做到举一反三,才能在实际工作中运用自如。

基于上述考虑,在教学实践中我们不断增加实验内容和研制实验仪器、遴选习题,精心组织课堂讨论,增加实践教学环节的比例,并加强计算机的应用。实践表明,这样做有利于提高学生实际动手能力以及分析问题、解决问题的能力。

实验课和讨论课具有很大的弹性,只有当教师明确教学目的,了解学生情况,细致琢磨教案,激发学生学习兴趣,充分发挥其积极性,才能取得较好的教学效果。如果学生只是机械地按照实验步骤做实验,生搬硬套公式做习题,则实践课会流于形式,收不到预期的效果。师生双方重视并积极相互配合,是实践课成功的关键;认真操作,细心观察,积极思考,热烈讨论是上好实验课的保证。

这本《地下水动力学实验与习题》是中国地质大学(武汉)地下水动力学小组全体成员在半个多世纪的教学实践中积累与改革的结果。1999年,由靳孟贵、陈刚编写,中国地质大学出版社出版。2010年,由靳孟贵、成建梅编写,中国水利水电出版社出版。本次再版由靳孟贵、成建梅、文章改编。

本书作为《地下水动力学》的配套教材,适用于本科水文与水资源工程、地下水科学与工程、水文地质与工程地质、地质工程、环境工程等专业的地下水动力学教学。恳切希望读者提出改进意见。

作 者

2016年9月于武昌

第 1 版 前 言

地下水动力学是概念性强、数理逻辑严密而应用灵活的一门应用科学。学习过程中仅记住基本概念、基本定律和计算公式是远远不够的。只有深刻理解概念和定律的物理实质，把握计算公式的应用条件以及分析解决问题的方法技巧，做到举一反三，才能在实际工作中运用自如。

基于上述考虑，在教学实践中我们不断增加实验内容并研制实验仪器，遴选习题，精心组织课堂讨论，增加实践教学环节的比例，并加强计算机的应用。实践表明，这样做有利于提高学生实际动手能力以及分析问题、解决问题的能力。

实验课和讨论课具有很大的弹性，只有当教师明确教学目的，了解学生情况，细致琢磨教案，激发学生学习兴趣，充分发挥其积极性，才能取得较好的教学效果。如果学生只是机械地照实验步骤做实验，生搬硬套公式做习题，则实践课会流于形式，收不到预期的效果。师生双方重视并积极相互配合，是实践课成功的关键；认真操作，细心观察，积极思考，热烈讨论是上好实践课的保证。

这本《地下水动力学实验与习题》是中国地质大学（武汉）地下水动力学小组全体成员在半个多世纪的教学实践中积累与改革的结果。1999年，由靳孟贵、陈刚编写，中国地质大学出版社出版。本次再版由靳孟贵、成建梅改编。

本书是《地下水动力学》的配套教材，适用于本科水文与水资源工程、地下水科学与工程、水文地质与工程地质、地质工程、环境工程等专业的地下水动力学教学。恳切希望读者提出改进意见。

作 者

2009年8月于武昌

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一篇 实 验

实验规则	2
实验一 非稳定流渗流实验	3
实验二 剖面二维稳定渗流实验	7
实验三 裘布依型潜水稳定流井流实验	12
实验四 水电比拟绘制流网实验	16
实验五 非稳定抽水试验	19
实验六 抽水试验求参上机实习	25

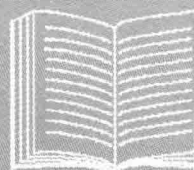
第二篇 习 题

习题一 流网	41
习题二 裘布依微分方程的应用	43
习题三 均匀稳定入渗的潜水二维流动	45
习题四 非均质含水层中地下水的稳定流动	46
习题五 泰斯条件的井流计算	49
习题六 泰斯条件的变流量井流计算	50
习题七 用标准曲线配比法求含水层参数	52
习题八 用直线图解法求含水层参数	54
习题九 直线边界附近的完整井流计算	55
习题十 越流系统含水层参数的确定	58
习题十一 潜水含水层参数的确定	59
习题十二 地下水向不完整井的运动	60
习题十三 非饱和带地下水运动	61
参考文献	62

附录一 $W(u) - \frac{1}{u}$ 标准曲线

附录二 $W\left(u, \frac{r}{B}\right) - \frac{1}{u}$ 标准曲线

第一篇 实 验



实 验 规 则

(1) 实验前必须认真预习，明确目的要求，了解内容、步骤及有关原理方法。

(2) 在完成规定实验内容的基础上，鼓励开展自主设计性实验。要求实验前详细编写设计实验方案（包括实验目的、内容与步骤、记录表格、需要的仪器及材料等），实验课上不能完成者需与实验室另行预约时间完成实验。

(3) 实验中认真操作，细心观察，及时记录，积极思考，主动讨论，注意培养综合分析问题的能力。

(4) 实验结束后，按要求整理好仪器设备，实事求是地整理原始资料，按时提交实验报告。

实验一 非稳定流渗流实验

一、实验目的

通过非稳定流条件下的渗流实验，加深对达西定律的理解，从而认识到达西定律既适用于稳定流条件也适用于非稳定流条件。

二、实验装置

如图 1-1 所示，圆管下段装有待测定的砂样，底端为铜丝网，砂样表层铺放薄层细砾。实验开始时，圆管上部装满水，水便通过砂样渗流，圆管上部水位则逐渐下降。

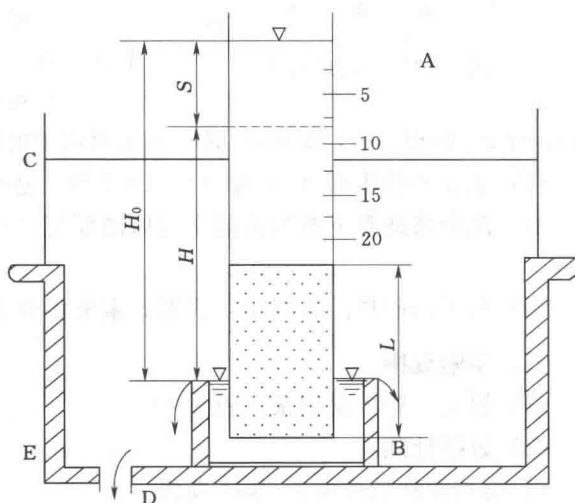
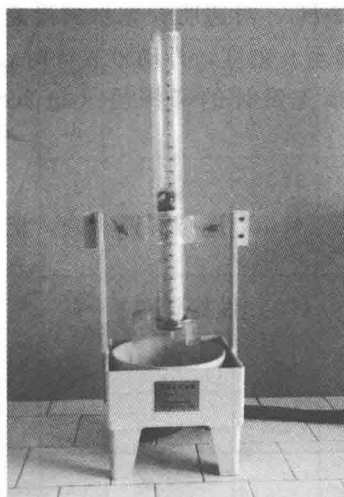


图 1-1 实验装置图

A—带刻度的透明圆管（下部装有砂样）；B—盛水器皿；C—支架；D—排水管；E—排水容器

圆管下端放在盛水器皿中，通过砂样渗流到器皿中的水会自动溢出，以固定渗流段下游水位。排水容器通过排水管随时排走盛水器皿溢出的水。

三、实验原理

利用达西定律和水均衡原理可以证明图 1-1 所示的装置中，水头 H 与时间呈半对数关系（陈崇希等，2011），即

$$t = \frac{L}{K} \ln H_0 - \frac{L}{K} \ln H = \frac{2.3L}{K} \lg H_0 - \frac{2.3L}{K} \lg H$$

式中 t ——时间；

H_0 ——实验的初始水头（即当 $t=0$ 时的水头）；

H ——对应不同时间 t 的水头；

L ——试样长度；

K ——渗透系数。

因此，实验过程中，可测定对应不同时间的水头值，作 $t - \lg H$ 直线关系（图 1-2），利用该直线的斜率 m 求渗透系数 K 。

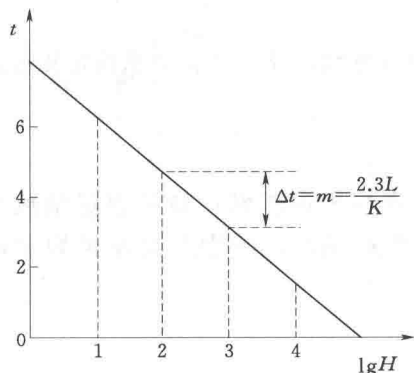


图 1-2 $t - \lg H$ 直线

四、实验步骤

(1) 熟悉仪器结构以及秒表操作方法与读数。进行实验分工，建议 1 人观察水头变化，1 人看秒表，1 人记录。

(2) 将盛水器皿充满水，并将渗透管的下端放入盛水器皿的水面下约 1cm。

(3) 对试样充水，使其自由渗透 2~3 次，以饱和砂样，排除空气。

(4) 记下初始水头 H_0 ，对透明管充水到渗透管零点上方。待水位下降至 0 刻度，开动秒表计时。

(5) 水位下降到预先设计的降深值（如 2cm，4cm，6cm，8cm，…，20cm）时，记录对应的时间（表 1-1）。

(6) 重复实验步骤 (4) 和 (5) 1~2 次，进行核对。

(7) 改变渗透管下端没入盛水器皿的深度（离器皿底部约 1cm）进行同样实验，记录读数。

(8) 与不同砂样的小组交换仪器，重复实验步骤 (4) ~ (7)，做好记录。

五、实验成果

(1) 提交实验数据记录（表 1-1）。

(2) 数据处理。

1) 绘制两种砂样的 $t - \lg H$ 曲线。

2) 计算渗透系数 K （表 1-2）。

(3) 问题讨论。

1) 达西定律的应用条件是什么？

2) 对比实验资料说明，渗透管出口端放在盛水器皿不同深度时，渗透速度有何变化？为什么？

3) 本实验中，测定水位 H 的基准面在何处？

表 1-1

非稳定流渗流实验数据记录表

砂样 1		仪器编号： 砂样名称： 砂柱长 $L=$ 初始水头 $H_{01}=$ $H_{02}=$				砂样 2		仪器编号： 砂样名称： 砂柱长 $L=$ 初始水头 $H_{01}=$ $H_{02}=$			
渗透管出口端 放在盛水器皿浅处			渗透管出口端 放在盛水器皿深处			渗透管出口端 放在盛水器皿浅处			渗透管出口端 放在盛水器皿深处		
设计降深 S/cm	水头/cm $H=H_{01}-S$	时间 t/s	水头/cm $H=H_{02}-S$	时间 t/s	设计降深 S/cm	水头/cm $H=H_{01}-S$	时间 t/s	水头/cm $H=H_{02}-S$	时间 t/s		
第一次	2										
	4										
	6										
	8										
	10										
	12										
	14										
	16										
	18										
	20										
第二次											

表 1-2

非稳定流渗流实验渗透系数计算简表

项目 \ 砂样名称		
计算公式		
变量取值		
$K/(m/d)$		

六、设计性实验参考

自选砂样重新装样，进行多次入渗实验，分析同一砂样的渗透系数与实验次数的关系。

实验二 剖面二维稳定渗流实验

一、实验目的

- (1) 观察有人渗补给条件下潜水二维稳定流的渗流现象及特征。
- (2) 求降雨入渗强度 W 值，并和实测值进行比较。
- (3) 求含水层的渗透系数 K 值。

二、实验装置

图 1-3 为二维渗流实验装置示意图，其长为 380cm，宽为 50cm，槽内装有均匀的砂，顶部设有模拟降雨装置，由转子流量计测定总降雨量。

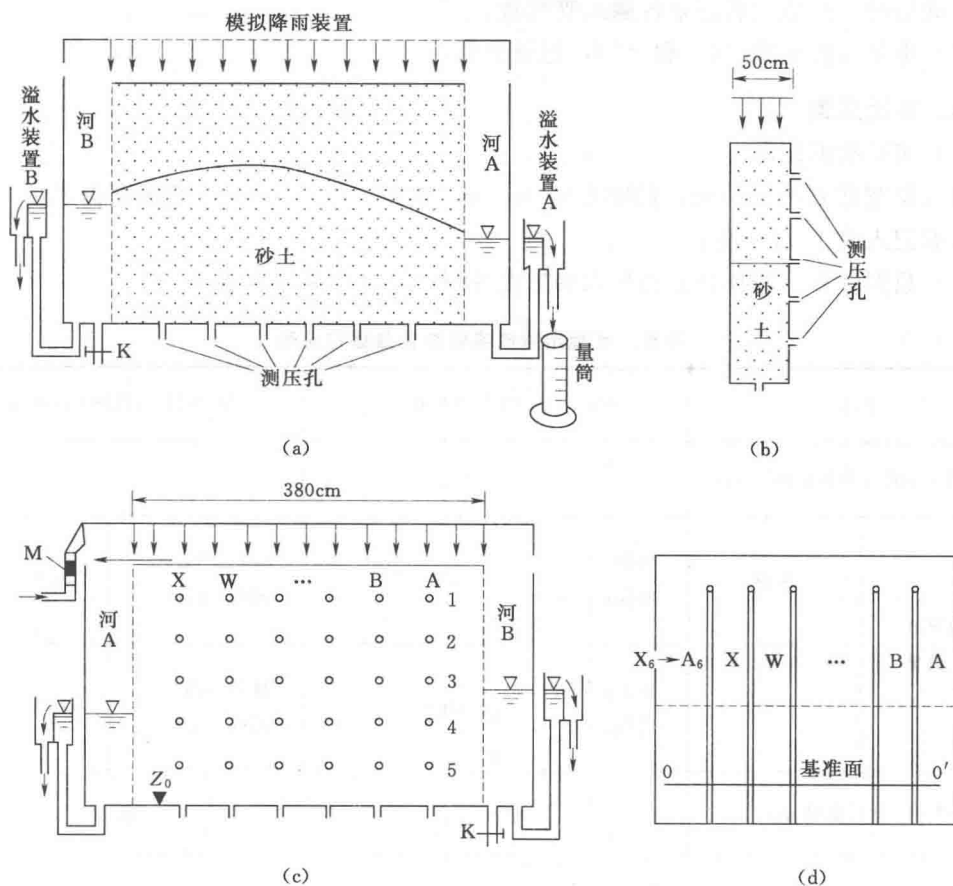


图 1-3 二维渗流实验装置示意图

(a) 前视图；(b) 侧视图；(c) 后视图；(d) 测压管板（测压管组排列顺序）

K—进水阀门；M—转子流量计

槽底和后壁面沿流向按一定间距设有多组测压管（水平方向共 24 组，编号依次是 A, B, C, …, W, X; 每组铅直断面 6 个测点，编号依次为 1, 2, 3, 4, 5, 6)。用软管连接测压管孔和测压管板，可以测定渗流场中 144 个点的测压水头。

表 1-4 剖面二维稳定渗流实验测压水头记录表 ($H_A = H_B$)

x/cm z/cm	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
2 (80)	(5)	(10)	(20)	(30)	(45)	(60)	(80)	(100)	(120)	(140)	(160)	(180)	(200)	(220)	(240)	(260)	(280)	(300)	(320)	(335)	(350)	(360)	(370)	(375)
3 (60)																								
4 (40)																								
5 (20)																								
6 (0)																								

注 表头为测压管编号，括号内数据表示测点到坐标零点的距离； x 以 A 河右壁为零点， z 以含水层底板为零点。

表 1-5 剖面二维稳定渗流实验测压水头记录表 ($H_A > H_B$)

x/cm z/cm	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
2 (80)	(5)	(10)	(20)	(30)	(45)	(60)	(80)	(100)	(120)	(140)	(160)	(180)	(200)	(220)	(240)	(260)	(280)	(300)	(320)	(335)	(350)	(360)	(370)	(375)
3 (60)																								
4 (40)																								
5 (20)																								
6 (0)																								

注 表头为测压管编号，括号内数据表示测点到坐标零点的距离； x 以 A 河右壁为零点， z 以含水层底板为零点。

表 1-6 剖面二维稳定渗流实验数据计算成果表

降雨入渗强度 W			渗透系数 $K (H_A > H_B)$	分水岭位置 $a (H_A > H_B)$
	$H_A = H_B$	$H_A > H_B$	$\frac{W}{K} = \frac{h_1^2 - h_2^2}{(l-x)l} + \frac{h^2 - h_1^2}{(l-x)x}$	$a = \frac{1}{2}l - \frac{K}{W} \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}$
据转子流量计 $\frac{Q_M}{A}$			取值： $h_1 =$ $h_2 =$ $h =$ $l =$ $x =$ $W =$ $K =$	计算结果： $K =$ $h_1 =$ $h_2 =$ $l =$ $W =$ $a =$
据河排泄量 $\frac{Q_A + Q_B}{A}$				
相对误差 $\frac{Q_M - (Q_A + Q_B)}{Q_M}$				

(3) 在方格纸上绘制实测潜水面、计算潜水面以及剖面流网。

(4) 问题讨论。

1) 同一铅直面上，各测压管水头是否相等？试用流网分析为什么？

2) 分析计算的 W 值的误差来源。

3) 进行实验步骤 (6) 时，假如使两侧河流水位高差很大时，渗流可能出现什么现象？

4) 实验装置中 A, B, …, W, X 共 24 根测压管沿流向布置；编号 1~6 的 6 根沿铅直方向布置，表 1-4 所记录的测压管读数中，哪一排读数的连线最接近潜水面？

5) 试分析计算的分水岭位置 a 和观测的分水岭位置 a 数值不一致的原因。

6) 在以上计算中，选哪些断面、哪些测压管的数据计算结果最符合实际？

五、设计性实验参考

(1) 分段降雨条件下的剖面二维渗流实验。调节降雨进水阀，形成分段降雨稳定入渗条件，观察两河水位相等条件下，河间地块分水岭位置、潜水面形状、水头分布及流网特征等。

(2) 河岸出渗面及地表径流的观测。调节降雨进水阀逐渐加大或减小降雨强度，观察不同降水条件下地表产流情况及河岸出渗面现象。