

普通高等教育“十三五”系列教材

# 土壤水动力过程 物理模拟

张建丰 张志昌 李涛 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”系列教材

# 土壤水动力过程 物理模拟

张建丰 张志昌 李涛 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

《土壤水动力过程物理模拟》是为农业水土工程、水文水资源工程、水利工程、岩土工程、资源与环境工程等相关专业编写的理论和实验教材。全书 30 章，共 31 个实验。其中土壤水的物理特性实验 6 个，非饱和土壤水分入渗和蒸发实验 9 个，饱和土壤入渗实验 11 个，渗流的电模拟实验和窄缝槽实验 2 个，与土壤水动力过程有关的地表水文过程要素测验实验 3 个。另外，专门介绍了土壤含水量和泥沙含量的测控系统以及叠加喷洒式模拟降雨系统。

本书以实验项目为主线，全面完整地介绍了实验的理论体系，给出了理论公式的推导过程，增加了对相关理论和概念的讨论，力求做到理论正确、概念准确、通俗易懂；提供了自主研发的土壤水动力过程物理模拟实验的仪器设备，介绍了其设计原理，提出了实验操作方法和数据处理方法；给出了部分实验项目的计算实例。

本书可作为高等院校本科生和研究生的教材，也可作为研究人员开展研究时的参考，同时可供高等职业大学、成人教育学院和中等专科学校的教师、学生及有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目（C I P）数据

土壤水动力过程物理模拟 / 张建丰，张志昌，李涛  
编著. — 北京：中国水利水电出版社，2020.9  
普通高等教育“十三五”系列教材  
ISBN 978-7-5170-8792-2

I. ①土… II. ①张… ②张… ③李… III. ①土壤水—水动力学—物理模拟—高等学校—教材 IV. ①S152.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第155170号

书 名	普通高等教育“十三五”系列教材 <b>土壤水动力过程物理模拟</b> TURANG SHUI DONGLI GUOCHENG WULI MONI
作 者	张建丰 张志昌 李涛 编著
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
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 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 印	清淤永业 (天津) 印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 20.5 印张 499 千字
版 次	2020 年 9 月第 1 版 2020 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500 册
定 价	<b>52.00 元</b>

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

# 前言

我国对土壤水动力过程的研究已进行了几十年，对相关机理和理论的认识逐步深入，引进了部分实验仪器和实验方法，但有些仪器和实验方法存在精度不高、操作复杂、手段落后等问题。为了解决相关问题，张建丰自 20 世纪 80 年代初开始进行土壤水动力过程研究，对相关理论和概念有比较深入的认识。在理论研究的同时，开展了与理论相关的实验仪器设备的改进和研制。首先改进了马里奥特容器进气部分结构，进而发展了串联式、负压式等形式的马里奥特容器；开发了渗吸仪，改进了双环下渗仪、沟灌入渗仪和室内土柱实验系统，使得入渗实验的精度大幅度提高，操作更为简单；研究了土壤水分运动参数的测定方法，开发了相关的仪器和设备；开发了部分饱和土壤水流运动的实验设备，例如达西渗透仪、坝体渗流模拟仪、井的渗流模拟仪、窄缝式渗流模拟仪、渗流电模拟仪以及水文测验模拟实验系统等，结合现代仪器的发展，研制的部分仪器设备实现了自动测量或全自动实验过程，已获得相关发明和实用新型专利 20 余项，这些仪器设备已经在国内大量推广使用。

本书是在张建丰多年理论和实验教学、科学研究以及仪器研发积累的基础上撰写的。每章包含以下内容：实验目的和要求、实验原理、实验设备和仪器、实验方法和步骤、数据处理和成果分析、实验中应注意的事项和思考题。除通用仪器外，其他实验仪器和设备均为张建丰团队所研制。

全书共 30 章。第 1 章至第 3 章为土壤容水度和给水度，土壤密度、重度、孔隙度、含水量和土水势、土壤毛细水测定实验。第 4 章和第 5 章为恒定水头和变水头达西渗透实验。第 6 章至第 11 章为土壤入渗参数测定实验，包括土壤垂直渗吸实验、水平土柱吸渗法测定非饱和土壤水分扩散率实验、垂直土柱入渗实验、盘式入渗实验、双环入渗实验、一维垂直土柱上渗法测定土壤非饱和导水率实验。第 13 章和第 14 章为沟灌入渗实验和降雨入渗实验。第 12 章和第 15 章为土壤含水量和泥沙含量的测控系统以及叠加喷洒式模拟降雨系统。第 16 章为土壤蒸发实验。第 17 章至第 22 章为地下水渗流实验，包括

渗流的电模拟实验，窄缝槽模拟实验，均质土坝、心墙坝、斜墙坝、地下水非均匀渐变渗流模拟实验。第 23 章为排水沟渗流模拟实验。第 24 章至第 26 章为潜水完整井、承压水完整井和集水廊道渗流模拟实验。第 27 章为有压渗流模拟实验。第 28 章至第 30 章为水文测验实验，包括水文测站布置及大断面测量实验、水位观测和流速面积法测量流量实验。

成书过程中作者力求理论完整正确、概念准确、论述通俗易懂、讨论开放、编排合理，书中缺点和错误在所难免，对有些概念和理论的探讨与质疑，纯粹是作者自己的认识，欢迎读者讨论和指正。

作者

2019 年 11 月 1 日

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 土壤容水度和给水度实验</b> .....	1
1.1 实验目的和要求 .....	1
1.2 实验原理 .....	1
1.3 实验设备和仪器 .....	2
1.4 实验方法和步骤 .....	2
1.5 数据处理和成果分析 .....	3
1.6 实验中应注意的事项 .....	4
思考题 .....	4
参考文献 .....	4
<b>第 2 章 土壤密度、重度、孔隙度、含水量和土水势测定实验</b> .....	5
2.1 实验目的和要求 .....	5
2.2 实验原理 .....	5
2.3 实验设备和仪器 .....	13
2.4 实验方法和步骤 .....	14
2.5 数据处理和成果分析 .....	16
2.6 实验中应注意的事项 .....	18
思考题 .....	18
参考文献.....	18
<b>第 3 章 土壤毛细水测定实验</b> .....	19
3.1 实验目的和要求 .....	19
3.2 实验原理 .....	19
3.3 实验设备和仪器 .....	20
3.4 实验方法和步骤 .....	21
3.5 数据处理和成果分析 .....	21
3.6 实验中应注意的事项 .....	22
思考题 .....	22
参考文献.....	22

<b>第 4 章 恒定水头达西渗透实验</b> .....	23
4.1 实验目的和要求 .....	23
4.2 实验原理 .....	23
4.3 实验设备和仪器 .....	28
4.4 实验方法和步骤 .....	29
4.5 数据处理和成果分析 .....	30
4.6 实验中应注意的事项 .....	31
思考题 .....	31
参考文献 .....	31
<b>第 5 章 变水头达西渗透实验</b> .....	32
5.1 实验目的和要求 .....	32
5.2 实验原理 .....	32
5.3 实验设备和仪器 .....	34
5.4 实验方法和步骤 .....	36
5.5 数据处理和成果分析 .....	37
5.6 实验中应注意的事项 .....	38
思考题 .....	38
<b>第 6 章 土壤垂直渗吸实验</b> .....	39
6.1 实验目的和要求 .....	39
6.2 实验原理 .....	39
6.3 实验设备和仪器 .....	43
6.4 实验方法和步骤 .....	48
6.5 数据处理和成果分析 .....	48
6.6 实验中应注意的事项 .....	49
思考题 .....	50
参考文献 .....	50
<b>第 7 章 水平土柱吸渗法测定非饱和土壤水分扩散率</b> .....	51
7.1 实验目的和要求 .....	51
7.2 实验原理 .....	51
7.3 土壤水分运动的扩散率、入渗量和入渗率计算实例 .....	54
7.4 实验设备和仪器 .....	56
7.5 实验方法和步骤 .....	57
7.6 数据处理和成果分析 .....	57
7.7 实验中应注意的事项 .....	60
思考题 .....	60
参考文献 .....	60
<b>第 8 章 垂直土柱入渗实验</b> .....	61
8.1 实验目的和要求 .....	61

8.2	实验原理	61
8.3	实验设备和仪器	68
8.4	实验方法和步骤	69
8.5	数据处理和成果分析	69
8.6	实验中应注意的事项	71
	思考题	71
	参考文献	72
<b>第 9 章</b>	<b>盘式入渗实验</b>	<b>73</b>
9.1	实验目的和要求	73
9.2	实验原理	73
9.3	实验设备和仪器	75
9.4	实验方法和步骤	77
9.5	数据处理和成果分析	77
9.6	实验中应注意的事项	79
	思考题	79
	参考文献	79
<b>第 10 章</b>	<b>双环入渗实验</b>	<b>81</b>
10.1	实验目的和要求	81
10.2	实验原理	81
10.3	实验设备和仪器	82
10.4	实验方法和步骤	84
10.5	数据处理和成果分析	85
10.6	实验中应注意的事项	86
	思考题	87
	参考文献	87
<b>第 11 章</b>	<b>一维垂直土柱上渗法测定土壤非饱和导水率实验</b>	<b>88</b>
11.1	实验目的和要求	88
11.2	实验原理	88
11.3	实验设备和仪器	96
11.4	实验方法和步骤	97
11.5	数据处理和成果分析	98
11.6	实验中应注意的事项	100
	思考题	100
	参考文献	101
<b>第 12 章</b>	<b>土壤含水量和泥沙含量的测控系统</b>	<b>102</b>
12.1	测控系统的组成	102

12.2	测控系统的性能指标 .....	105
12.3	测控系统的运行原理 .....	105
12.4	$\gamma$ 透射法工作原理及计算公式 .....	105
12.5	土壤含水量和泥沙含量的测控系统操作说明 .....	107
12.6	测控系统软件操作说明 .....	109
	参考文献 .....	116
<b>第 13 章</b>	<b>沟灌入渗实验 .....</b>	<b>117</b>
13.1	实验目的和要求 .....	117
13.2	实验原理 .....	117
13.3	实验设备和仪器 .....	120
13.4	实验方法和步骤 .....	121
13.5	数据处理和成果分析 .....	122
13.6	实验中应注意的事项 .....	123
	思考题 .....	123
	参考文献 .....	124
<b>第 14 章</b>	<b>降雨入渗实验 .....</b>	<b>125</b>
14.1	实验目的和要求 .....	125
14.2	实验原理 .....	125
14.3	实验设备和仪器 .....	130
14.4	实验方法和步骤 .....	133
14.5	数据处理和成果分析 .....	134
14.6	实验中应注意的事项 .....	136
	思考题 .....	136
	参考文献 .....	137
<b>第 15 章</b>	<b>叠加喷洒式模拟降雨系统 .....</b>	<b>138</b>
15.1	叠加喷洒式降雨系统的降雨原理 .....	139
15.2	叠加喷洒式模拟降雨系统的组成 .....	141
15.3	叠加喷洒式模拟降雨系统操作说明 .....	141
15.4	计算机控制软件操作说明 .....	145
15.5	线路连接 .....	148
	参考文献 .....	149
<b>第 16 章</b>	<b>土壤蒸发实验 .....</b>	<b>150</b>
16.1	实验目的和要求 .....	150
16.2	实验原理 .....	150
16.3	实验设备和仪器 .....	156
16.4	实验方法和步骤 .....	158
16.5	数据处理和成果分析 .....	159

16.6 实验中应注意的事项 .....	161
思考题 .....	161
参考文献 .....	161
<b>第 17 章 渗流的电模拟实验 .....</b>	<b>162</b>
17.1 实验目的和要求 .....	162
17.2 实验原理 .....	162
17.3 实验设备和仪器 .....	171
17.4 实验方法和步骤 .....	173
17.5 数据处理和成果分析 .....	174
17.6 实验中应注意的事项 .....	174
思考题 .....	175
参考文献 .....	175
<b>第 18 章 渗流的窄缝槽模拟实验 .....</b>	<b>176</b>
18.1 实验目的和要求 .....	176
18.2 实验原理 .....	176
18.3 实验设备和仪器 .....	180
18.4 实验方法和步骤 .....	181
18.5 数据处理和成果分析 .....	182
18.6 实验中应注意的事项 .....	183
思考题 .....	184
参考文献 .....	184
<b>第 19 章 均质土坝渗流模拟实验 .....</b>	<b>185</b>
19.1 实验目的和要求 .....	185
19.2 实验原理 .....	185
19.3 实验设备和仪器 .....	195
19.4 实验方法和步骤 .....	196
19.5 数据处理和成果分析 .....	196
19.6 实验中应注意的事项 .....	198
思考题 .....	198
参考文献 .....	198
<b>第 20 章 心墙坝渗流模拟实验 .....</b>	<b>199</b>
20.1 实验目的和要求 .....	199
20.2 实验原理 .....	199
20.3 实验设备和仪器 .....	204
20.4 实验方法和步骤 .....	205
20.5 数据处理和成果分析 .....	205
20.6 实验中应注意的事项 .....	207

思考题 .....	207
参考文献 .....	208
<b>第 21 章 斜墙坝渗流模拟实验 .....</b>	<b>209</b>
21.1 实验目的和要求 .....	209
21.2 实验原理 .....	209
21.3 实验设备和仪器 .....	215
21.4 实验方法和步骤 .....	216
21.5 数据处理和成果分析 .....	216
21.6 实验中应注意的事项 .....	218
思考题 .....	218
参考文献 .....	218
<b>第 22 章 地下水非均匀渐变渗流模拟实验 .....</b>	<b>219</b>
22.1 实验目的和要求 .....	219
22.2 实验原理 .....	219
22.3 实验设备和仪器 .....	224
22.4 实验方法和步骤 .....	225
22.5 数据处理和成果分析 .....	225
22.6 实验中应注意的事项 .....	227
思考题 .....	227
参考文献 .....	227
<b>第 23 章 排水沟渗流模拟实验 .....</b>	<b>228</b>
23.1 实验目的和要求 .....	228
23.2 实验原理 .....	228
23.3 实验设备和仪器 .....	241
23.4 实验方法和步骤 .....	243
23.5 数据处理和成果分析 .....	244
23.6 实验中应注意的事项 .....	246
思考题 .....	247
参考文献 .....	247
<b>第 24 章 潜水完整井渗流模拟实验 .....</b>	<b>248</b>
24.1 实验目的和要求 .....	248
24.2 实验原理 .....	248
24.3 实验设备和仪器 .....	254
24.4 实验方法和步骤 .....	256
24.5 数据处理和成果分析 .....	257
24.6 实验中应注意的事项 .....	259
思考题 .....	259

参考文献 .....	259
<b>第 25 章 承压水完整井渗流模拟实验 .....</b>	<b>260</b>
25.1 实验目的和要求 .....	260
25.2 实验原理 .....	260
25.3 实验设备和仪器 .....	261
25.4 实验方法和步骤 .....	262
25.5 数据处理和成果分析 .....	263
25.6 实验中应注意的事项 .....	264
思考题 .....	264
参考文献 .....	264
<b>第 26 章 集水廊道渗流模拟实验 .....</b>	<b>265</b>
26.1 实验目的和要求 .....	265
26.2 实验原理 .....	265
26.3 实验设备和仪器 .....	266
26.4 实验方法和步骤 .....	267
26.5 数据处理和成果分析 .....	267
26.6 实验中应注意的事项 .....	269
思考题 .....	269
参考文献 .....	269
<b>第 27 章 有压渗流模拟实验 .....</b>	<b>270</b>
27.1 实验目的和要求 .....	270
27.2 实验原理 .....	270
27.3 实验设备和仪器 .....	280
27.4 实验方法和步骤 .....	281
27.5 数据处理和成果分析 .....	281
27.6 实验中应注意的事项 .....	283
思考题 .....	283
参考文献 .....	283
<b>第 28 章 水文测站布置及大断面测量实验 .....</b>	<b>284</b>
28.1 实验目的和要求 .....	284
28.2 实验原理 .....	284
28.3 实验设备和仪器 .....	289
28.4 实验方法和步骤 .....	291
28.5 数据处理和成果分析 .....	291
28.6 实验中应注意的事项 .....	292
思考题 .....	292
参考文献 .....	292

<b>第 29 章 水位观测</b> .....	293
29.1 实验目的和要求 .....	293
29.2 实验原理 .....	293
29.3 实验设备和仪器 .....	297
29.4 实验方法和步骤 .....	299
29.5 数据处理和成果分析 .....	300
29.6 实验中应注意的事项 .....	302
思考题 .....	303
参考文献 .....	303
<b>第 30 章 流速面积法测量流量实验</b> .....	304
30.1 实验目的和要求 .....	304
30.2 实验原理 .....	304
30.3 实验设备和仪器 .....	310
30.4 实验方法和步骤 .....	311
30.5 数据处理和成果分析 .....	312
30.6 实验中应注意的事项 .....	313
思考题 .....	313
参考文献 .....	313

# 第 1 章 土壤容水度和给水度实验

## 1.1 实验目的和要求

- (1) 认识水在土壤孔隙中的存在形式。
- (2) 掌握测定土壤孔隙度、容水度、持水度和给水度的原理和方法。

## 1.2 实验原理

土壤是孔隙介质的典型代表。水在土壤中的运动、保持、赋存的规律，一方面取决于水的物理力学性质，同时也受到土壤介质体性质和结构的制约。按照水在土壤中的存在形式可以将其分为气态水、附着水、薄膜水、毛细水和重力水等，而如果按照水势理论，水在土壤中的存在和运动主要受到重力、基质吸力（毛管作用）、压力（饱和条件）、土壤溶质、温度的作用。

土壤介质与水作用过程中，所表现的容水、持水、给水和透水性能，是土壤与水相关的物理性质。

(1) 容水性：土壤能容纳一定水量的性能称为土壤的容水性，在数量上以容水度表示，其值大小也代表了土壤孔隙的总量即孔隙度，是土壤中能容纳的水的体积与土壤总体积之比，即

$$C = W/V \quad (1.1)$$

式中：C 为容水度；W 为土壤中所容纳的水的体积；V 为土壤的总体积（包括孔隙体积）。

(2) 持水性：饱和土壤在重力作用下会有部分水量流出，而由于分子力和表面张力的作用，其余水量能保持在土壤空隙之中，土壤保持水分的能力称为持水性。在数量上以持水度来衡量，是土壤在重力作用下土壤孔隙中所保持的水的体积与土壤总体积之比，即

$$S_r = W_r/V \quad (1.2)$$

式中：S<sub>r</sub> 为土壤的持水度；W<sub>r</sub> 为在重力作用下保持在土壤空隙中的水的体积。

在农业和林业上，大多将土壤的持水度表示为田间持水量，该指标对于分析计算田间有效水量非常重要。

(3) 给水性：饱和土壤在重力作用下能自由排出一定水量的性能，称为土壤的给水性。在数量上以给水度来衡量，是土壤在重力作用下能排出的水的体积与土壤总体积的比值，即

$$S_v = W_v/V \quad (1.3)$$

式中：S<sub>v</sub> 为土壤的给水度；W<sub>v</sub> 为在重力作用下饱和土壤排出的水的体积。

因为  $W_r + W_v = W$ ，则

$$C = S_r + S_v \quad (1.4)$$

$$S_v = C - S_r \quad (1.5)$$

由式 (1.4) 和式 (1.5) 可以看出，容水度为持水度与给水度之和；给水度等于容水度减去持水度。因为容水度在数量上与孔隙度相等，所以常通过测定土壤的孔隙度和持水度来确定给水度。

农业生产上将在重力作用下能在土壤中流动的水称为重力水，对于灌溉来讲，重力水如果流出作物生长主根系范围（一般会划定一个计划湿润层指标）以下，就属于深层渗漏损失。该部分损失量往往也作为灌溉回归水的主要计算量。土壤容水度可以采取对土壤进行饱和的方法来测定，而土壤持水度也可以采取对饱和土壤进行重力疏干法测定，可参考《土工试验规程》(SL 237—1999)<sup>[1]</sup>。

(4) 透水性：土壤允许水通过的性质称为土壤的透水性，土壤的透水性能主要取决于土壤孔隙的大小和连通程度以及土壤对水的吸持作用，在孔隙透水、孔隙大小相等的前提下，孔隙度越大，能够透过的水量越多。衡量土壤透水性的数量指标为渗透系数，渗透系数越大，土壤的透水性越强。

土壤透水性指标的测定在第 4 章和第 5 章有专门介绍，由于黏性土壤对水的吸持力比沙性土壤对水的吸持力大，在一定的大孔隙中，虽然同样存在重力水，但是该部分水从两种土壤中排出的过程不一样，重力水从黏土中排出的过程相对比较长，因此，本章主要以沙性土壤为例介绍土壤容水度和给水度的实验方法和步骤。

### 1.3 实验设备和仪器

实验设备由试样筒、透水隔板、透水纱布、法兰、漏斗、开关 1、软管、开关 2、滴定管、固定螺栓和支架 1、支架 2 以及底座组成，在支架 1 上设指针 1 和指针 2，分别指向试样筒内土样的底部和顶部，如图 1.1 所示。

实验仪器为量筒、秒表、洗耳球、干布、装填土壤的小铁铲和捣实棒。

### 1.4 实验方法和步骤

(1) 装填土样。准备好需要装填的土样，用烘干法将土样烘干，测出土壤的初始含水量和土壤重度，根据试样筒内需装填土样的体积计算出所需要装填的土壤重量，用装填土样的小铁铲将土样倒入试样筒，用捣实棒轻轻将土样捣实，并使土样表面高度与所要求的高度相同。

每层装的重量为

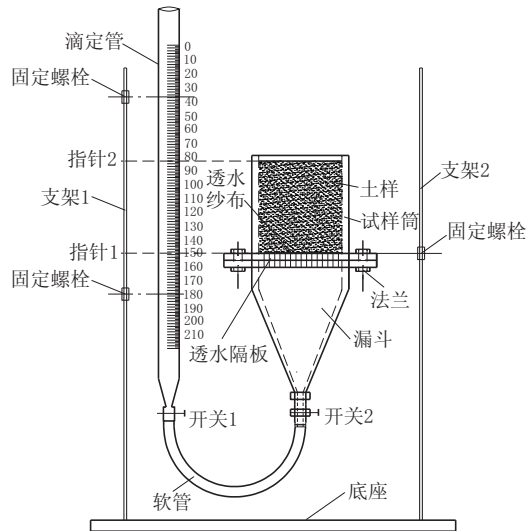


图 1.1 给水度实验设备原理示意图

$$G_s = \gamma_d(1 + \theta_m)V \quad (1.6)$$

式中： $G_s$  为换算后某一刻度的土重，g； $\gamma_d$  为土样的设计干重度，g/cm<sup>3</sup>； $\theta_m$  为土样的初始质量含水量，%； $V$  为某一刻度土柱装土的体积，cm<sup>3</sup>。

(2) 记录有关参数。如试样筒的直径  $D$ 、装土高度  $L$ 、计算土壤总体积  $V$ 、记录滴定管的直径  $d$ 、计算滴定管的断面面积  $A$ 。

(3) 关闭滴定管与试样筒之间的开关 2，给滴定管中充水，充水高度到刻度 0 或接近 0 的某数值，并记录。

(4) 缓慢打开开关 1 和开关 2，使滴定管中水体进入到试样筒下部锥体部，并将试样筒逐渐抬高或者将滴定管逐渐向下降落，待滴定管中自由水面下降到与安装在试样筒上的指针 1 所指高度相同时，记录滴定管中水位读数  $h_1$ ，该读数即为实际起点读数。

(5) 测定总容水体积  $W$ 。逐渐提高滴定管或者降低试样筒，使试样筒中水位上升，当滴定管中自由水面上升到与安装在试样筒上部的指针 2 高度相一致时，停止抬升滴定管或降低试样筒，这时读取滴定管自由水面读数  $h_2$ 。 $(h_2 - h_1)$  乘以滴定管的断面面积  $A$  即为总容水体积  $W$ 。

(6) 测定排水体积  $W_v$ 。降低滴定管的高度或慢慢升高试样筒的高度，使滴定管的液面下降到与指针 1 所指高度一致时记下滴定管中的液面读数  $h_3$ 。 $(h_2 - h_3)$  乘以滴定管的断面面积  $A$  即为总排水体积  $W_v$ 。

(7) 更换试样，重复上面的实验步骤。

(8) 实验结束后将仪器恢复原状。

## 1.5 数据处理和成果分析

实验设备名称：

仪器编号：

同组学生姓名：

已知数据：试样筒直径  $D =$  cm；沙柱长度  $L =$  cm；试样体积  $V =$  cm<sup>3</sup>；

滴定管直径  $d =$  cm；滴定管断面面积  $A =$  cm<sup>2</sup>；漏斗体积 = cm<sup>3</sup>。

### 1. 实验数据记录及计算

沙性土壤容水度和给水度实验数据记录及计算见表 1.1。

表 1.1 沙性土壤容水度和给水度实验数据记录及计算表

试样名称	试样体积 $V$ /cm <sup>3</sup>	自由水面下降与指针 1 同高 $h_1$ /cm	自由水面上升与指针 2 同高 $h_2$ /cm	容水体积 $W$ cm <sup>3</sup>	自由水面下降与指针 1 同高 $h_3$ /cm	排水体积 $W_v$ /cm <sup>3</sup>	持水体积 $W_r$ /cm <sup>3</sup>	容水度 $W/V$ /%	持水度 $W_r/V$ /%	给水度 $W_v/V$ /%	孔隙度 /%

实验日期：

教师签名：

学生签名：

## 2. 成果分析

(1) 试样体积为图 1.1 中透水隔板以上试样筒的体积。漏斗体积为透水隔板以下漏斗的体积。

(2) 试样的容水体积为  $(h_2 - h_1) A$ ,  $A$  为滴定管的面积。

(3) 试样的排水体积为  $(h_2 - h_3) A$ 。

(4) 容水度、持水度和给水度分别用式 (1.1)、式 (1.2) 和式 (1.3) 计算。孔隙度数值上与容水度相同。

## 1.6 实验中应注意的事项

(1) 实验充水和放水时, 要缓慢匀速, 以尽可能地使得充水过程中排净空气。

(2) 实验放水时, 也要缓慢匀速地放水, 直到滴定管中液面趋于稳定时 (2min 内退水不足 1mL), 再关闭开关 1 和开关 2。

(3) 装试样时, 首先用干布将试样筒擦干净再装试样。

## 思 考 题

1. 影响容水度、持水度和给水度的因素是什么?

2. 从试样中退出的是什么水? 保留在试样中的是什么水?

## 参 考 文 献

[1] 中华人民共和国水利部. 土工试验规程: SL 237—1999 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.