



普通高等教育“十三五”规划教材

水力学及 河流动力学实验

主 编 张志昌

副主编 魏炳乾 李国栋



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

水力学及 河流动力学实验

主 编 张志昌

副主编 魏炳乾 李国栋



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书共有 72 个实验（包括演示实验）。除水流现象演示实验外，每个实验均包括有实验目的和要求、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、实验中应注意的问题、思考题等内容。

本书适合作为高等院校的水利、水电、土木、环境、水文地质、给水排水、热能动力、海港、机械、化工等专业的教材，也可供高等职业大学、成人教育学院和中等专科学校教师、学生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

水力学及河流动力学实验 / 张志昌主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2016.6
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4414-7

I. ①水… II. ①张… III. ①水力实验—高等学校—
教材②河流—流体动力学—实验—高等学校—教材 IV.
①TV131②TV143-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第130921号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 水力学及河流动力学实验
作 者	主编 张志昌 副主编 魏炳乾 李国栋
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 (发行部)
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
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.5 印张 392 千字
版 次	2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	36.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

水力学及河流动力学实验是水力学和河流动力学课程的重要实践教学环节。通过实验可以使学生观察实际水流现象和泥沙运动规律，增强感性认识；验证水力学和河流动力学的基本理论，帮助学生深化课堂教学内容，巩固理论知识和提高分析问题的能力；掌握水力要素测量和仪器使用的基本方法，了解现代测量技术的发展和应用，掌握一定的实验技能；培养学生分析实验数据、整理实验成果和编写实验报告的能力；了解水力学学科的发展前沿，培养学生开拓、创新精神和严谨踏实的科学作风，为进一步从事科学研究以及开拓新技术领域奠定坚实的基础。

本书是在作者多年实验教学和科学研究的基础上编写的。全书共 39 章。第 1 章、第 3 章～第 12 章为基本水力学实验，包括静水压强实验、能量方程实验、动量方程实验、毕托管测流速实验、文丘里流量计流量系数实验、孔板流量计流量系数实验、雷诺实验、沿程阻力系数实验、局部阻力系数实验、孔口和管嘴流量系数实验和虹吸原理实验；第 2 章为水流现象演示实验，可以演示 30 余种水流现象；第 13 章为有压管道水击及调压室水位波动实验；第 14 章、第 15 章为边界层实验和紊动射流实验；第 16 章～第 20 章为明渠水流实验，包括复式断面明渠均匀流实验、明渠水面曲线演示实验、明槽水跃实验、量水堰和量水槽流量系数实验、闸孔出流实验；第 21 章～第 27 章为渗流方面的实验，分别为达西渗透定律实验、渗流的电模拟实验、地下河槽渐变渗流浸润曲线实验、潜水完整井渗透系数和浸润曲线实验、承压完整井渗透系数和浸润曲线实验、集水廊道渗透系数和浸润曲线实验以及均值土坝渗透系数和浸润曲线实验；第 28 章～第 31 章为设计性实验，它们是管道不同组合形式的管道水流实验、底流消力池实验、挑流消能实验和戽流消能实验；第 32 章～第 35 章为河流动力学实验，分别为起动流速实验、沙波运动实验、弯道环流实验和悬移质含沙量沿垂线分布实验；第 36 章和第 37 章分别为水流脉动压强实验、水流掺气浓度实验；第 38 章为实验误差分析；第 39 章为水流参

数的测量；附录是水力学常用数据表。

本书由张志昌任主编，魏炳乾、李国栋任副主编。其中张志昌编写第1章~第13章、第17章~第22章、第28章~第31章；魏炳乾编写第16章、第23章~第24章、第32~第35章、第39章；李国栋编写第14章~第15章、第25章~第27章、第36章~第38章。

书中采用的实验教学仪器大多是张志昌在多年从事实验教学的基础上研制的。大部分仪器实现了自循环、小型化、多功能，还有一部分仪器实现了测量的自动化，使水力学实验体现了现代测量技术的发展与应用。

本书主要是为本科生的水力学及河流动力学课程编写的实验，也适应于工程流体力学实验。既可配合水力学（工程流体力学）课程进度来安排实验环节，也可用于独立开设的水力学（工程流体力学）实验课。

本书的出版得到了陕西省国家重点学科建设专项基金的资助。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳切欢迎读者批评指正。

编者

2015年12月

目 录

前言

第 1 章 静水压强实验	1
1.1 实验目的和要求	1
1.2 实验原理	1
1.3 实验仪器	2
1.4 实验方法和步骤	3
1.5 数据处理和成果分析	3
1.6 实验中应注意的问题	4
思考题	4
第 2 章 水流现象演示实验	5
2.1 仪器简介和工作原理	5
2.2 安装使用说明	5
2.3 实验指导	7
第 3 章 能量方程实验	11
3.1 实验目的和要求	11
3.2 实验原理	11
3.3 实验设备和仪器	12
3.4 实验方法和步骤	12
3.5 数据处理和成果分析	13
3.6 实验中应注意的问题	14
思考题	14
第 4 章 动量方程实验	15
4.1 实验目的和要求	15
4.2 实验原理	15
4.3 实验装置和测量仪器	15
4.4 实验方法和步骤	17
4.5 数据处理和成果分析	18

4.6 实验中应注意的问题	20
思考题	20
第 5 章 毕托管测流速实验	21
5.1 实验目的和要求	21
5.2 毕托管测流速的原理	21
5.3 实验设备和仪器	21
5.4 实验方法和步骤	22
5.5 数据处理和成果分析	22
5.6 实验中应注意的问题	23
思考题	23
第 6 章 文丘里流量计流量系数实验	24
6.1 实验目的和要求	24
6.2 文丘里流量计的构造和测流原理	24
6.3 实验设备和仪器	25
6.4 实验方法和步骤	26
6.5 数据处理和成果分析	27
6.6 实验中应注意的问题	28
思考题	28
第 7 章 孔板流量计流量系数实验	29
7.1 实验目的和要求	29
7.2 孔板流量计的构造、实验原理和取压位置	29
7.3 实验设备和仪器	32
7.4 实验方法和步骤	32
7.5 数据处理和成果分析	33
7.6 实验中应注意的问题	34
思考题	34
第 8 章 雷诺实验	35
8.1 实验目的和要求	35
8.2 实验原理	35
8.3 实验设备和仪器	36
8.4 实验方法和步骤	37
8.5 数据处理和成果分析	38
8.6 实验中应注意的问题	39
思考题	39
第 9 章 沿程阻力系数实验	40
9.1 实验目的和要求	40

9.2	实验原理	40
9.3	实验设备和仪器	41
9.4	实验方法和步骤	42
9.5	数据处理和成果分析	43
9.6	实验中应注意的问题	44
	思考题	44
第 10 章	局部阻力系数实验	45
10.1	实验目的和要求	45
10.2	实验原理	45
10.3	实验设备和仪器	46
10.4	实验方法和步骤	47
10.5	数据处理和成果分析	48
10.6	实验中应注意的问题	49
	思考题	50
第 11 章	孔口和管嘴流量系数实验	51
11.1	实验目的和要求	51
11.2	实验原理	51
11.3	实验设备和仪器	54
11.4	实验方法和步骤	55
11.5	数据处理和成果分析	56
11.6	实验中应注意的问题	57
	思考题	57
第 12 章	虹吸原理实验	58
12.1	实验目的和要求	58
12.2	实验原理	58
12.3	实验设备和仪器	59
12.4	实验方法和步骤	59
12.5	数据处理和成果分析	60
12.6	实验中应注意的问题	61
	思考题	61
第 13 章	有压管道水击及调压室水位波动实验	62
13.1	实验目的和要求	62
13.2	水击压强及调压室水位波动现象	62
13.3	实验原理	62
13.4	实验设备和仪器	65
13.5	实验方法和步骤	66
13.6	数据处理和成果分析	66

13.7 实验中应注意的问题	67
思考题	67
第 14 章 边界层实验	68
14.1 实验目的和要求	68
14.2 实验原理	68
14.3 实验设备和仪器	70
14.4 实验方法和步骤	71
14.5 数据处理和成果分析	72
14.6 实验中应注意的问题	73
思考题	73
第 15 章 紊动射流实验	74
15.1 实验目的和要求	74
15.2 实验原理	74
15.3 实验设备和仪器	75
15.4 实验方法和步骤	76
15.5 数据处理和成果分析	76
15.6 实验中应注意的问题	78
思考题	78
第 16 章 复式断面明渠均匀流实验	79
16.1 实验目的和要求	79
16.2 实验原理	79
16.3 实验设备和仪器	80
16.4 实验方法和步骤	80
16.5 实验记录和处理	81
16.6 成果分析	82
16.7 实验中应注意的问题	82
思考题	82
第 17 章 明渠水面曲线演示实验	83
17.1 实验目的和要求	83
17.2 实验原理	83
17.3 明渠水面曲线类型分析	84
17.4 实验设备和仪器	87
17.5 双变坡水槽水面线实验的方法和步骤	88
17.6 单变坡水槽水面线实验的方法和步骤	89
17.7 数据处理和成果分析	90
17.8 实验中应注意的问题	90
思考题	90

第 18 章 明槽水跃实验	92
18.1 实验目的和要求	92
18.2 实验原理	92
18.3 实验设备和仪器	95
18.4 实验方法和步骤	95
18.5 数据处理和成果分析	96
18.6 实验中应注意的问题	96
思考题	97
第 19 章 量水堰和量水槽流量系数实验	98
19.1 量水堰流量系数实验	98
19.2 量水槽流量系数实验	101
思考题	106
第 20 章 闸孔出流实验	108
20.1 实验目的和要求	108
20.2 实验原理	108
20.3 实验设备和仪器	111
20.4 实验方法和步骤	111
20.5 数据处理和成果分析	112
20.6 实验中应注意的问题	113
思考题	113
第 21 章 达西渗透定律实验	114
21.1 实验目的和要求	114
21.2 实验原理	114
21.3 实验设备和仪器	115
21.4 实验方法和步骤	116
21.5 数据处理和成果分析	117
21.6 实验中应注意的问题	117
思考题	118
第 22 章 渗流的电模拟实验	119
22.1 实验目的和要求	119
22.2 实验原理	119
22.3 实验设备和仪器	120
22.4 实验方法和步骤	121
22.5 数据处理和成果分析	121
22.6 实验中应注意的问题	122
思考题	122

第 23 章 地下河槽渐变渗流浸润曲线实验	123
23.1 实验目的和要求	123
23.2 实验原理	123
23.3 实验设备和仪器	125
23.4 实验方法和步骤	125
23.5 数据处理和成果分析	126
23.6 实验中应注意的问题	127
思考题	128
第 24 章 潜水完整井渗透系数和浸润曲线实验	129
24.1 实验目的和要求	129
24.2 实验原理	129
24.3 实验设备和仪器	130
24.4 实验方法和步骤	131
24.5 数据处理和成果分析	133
24.6 实验中应注意的问题	135
思考题	135
第 25 章 承压完整井渗透系数和浸润曲线实验	136
25.1 实验目的和要求	136
25.2 实验原理	136
25.3 实验设备和仪器	137
25.4 实验方法和步骤	138
25.5 数据处理和成果分析	138
25.6 实验中应注意的问题	139
思考题	140
第 26 章 集水廊道渗透系数和浸润曲线实验	141
26.1 实验目的和要求	141
26.2 实验原理	141
26.3 实验设备和仪器	142
26.4 实验方法和步骤	142
26.5 数据处理和成果分析	143
26.6 实验中应注意的问题	144
思考题	144
第 27 章 均值土坝渗透系数和浸润曲线实验	145
27.1 实验目的和要求	145
27.2 实验原理	145
27.3 实验设备和仪器	147
27.4 实验方法和步骤	147

27.5	数据处理和成果分析	148
27.6	实验中应注意的问题	149
	思考题	149
第 28 章	设计性实验 1 管道水流实验	150
28.1	实验目的和要求	150
28.2	实验原理	150
28.3	实验设备和仪器	150
28.4	实验方法和步骤	152
28.5	数据处理和成果分析	152
28.6	实验中应注意的问题	152
	思考题	153
第 29 章	设计性实验 2 底流消力池实验	154
29.1	实验目的和要求	154
29.2	实验原理	154
29.3	实验设备和仪器	165
29.4	实验方法和步骤	165
29.5	数据处理和成果分析	166
29.6	实验中应注意的问题	167
	思考题	167
第 30 章	设计性实验 3 挑流消能实验	168
30.1	实验目的和要求	168
30.2	实验原理	168
30.3	掺气分流墩新型挑流消能设施	170
30.4	实验设备和仪器	170
30.5	实验方法和步骤	171
30.6	数据处理和成果分析	172
30.7	实验中应注意的问题	172
	思考题	173
第 31 章	设计性实验 4 戽流消能实验	174
31.1	实验目的和要求	174
31.2	实验原理	174
31.3	实验设备和仪器	177
31.4	实验方法和步骤	177
31.5	数据处理和成果分析	178
31.6	实验中应注意的问题	178
	思考题	179

第 32 章 起动流速实验	180
32.1 实验目的和要求	180
32.2 实验原理	180
32.3 实验设备和仪器	181
32.4 实验方法和步骤	182
32.5 实验记录和处理	182
32.6 成果分析	183
32.7 实验中应注意的问题	183
思考题	183
第 33 章 沙波运动实验	184
33.1 实验目的和要求	184
33.2 实验原理	184
33.3 实验设备和仪器	185
33.4 实验方法和步骤	185
33.5 实验记录和泥沙运动状态描述	185
33.6 成果分析	186
33.7 实验中应注意的问题	186
思考题	186
第 34 章 弯道环流实验	187
34.1 实验目的和要求	187
34.2 实验原理	187
34.3 实验设备和仪器	188
34.4 实验方法和步骤	188
34.5 实验记录和处理	189
34.6 成果分析	190
34.7 实验中应注意的问题	191
思考题	191
第 35 章 悬移质含沙量沿垂线分布实验	192
35.1 实验目的和要求	192
35.2 实验原理	192
35.3 实验设备和仪器	194
35.4 实验方法和步骤	194
35.5 实验记录和处理	195
35.6 成果分析	195
35.7 实验中应注意的问题	196
思考题	196

第 36 章 水流脉动压强实验	197
36.1 实验目的和要求	197
36.2 实验原理	197
36.3 脉动压强的分析方法	198
36.4 实验设备和仪器	202
36.5 实验方法和步骤	202
36.6 数据处理和成果分析	203
36.7 实验中应注意的问题	203
思考题	204
第 37 章 水流掺气浓度实验	205
37.1 实验目的和要求	205
37.2 水流掺气现象及分类	205
37.3 水流掺气对水工建筑物的影响	205
37.4 水流掺气发生的机理	206
37.5 水流掺气浓度	207
37.6 实验设备和仪器	207
37.7 实验方法和步骤	208
37.8 数据处理和成果分析	208
37.9 实验中应注意的问题	209
思考题	210
第 38 章 实验误差分析	211
38.1 误差的基本概念	211
38.2 误差的来源和分类	212
38.3 随机误差的估计	212
38.4 系统误差及其消除	219
38.5 粗差的判别及剔除	219
38.6 间接测量误差的估计	220
第 39 章 水流参数测量	224
39.1 水位测量	224
39.2 流速测量	227
39.3 压强测量	230
39.4 流量测量	233
附录	244
附录 1 水力学常用物理量的量纲及单位	244
附录 2 常用管壁材料的弹性系数 E 值	244
附录 3 不同温度下水的物理性质	245
附录 4 普通液体的物理性质	245

附录 5 不同温度下水的饱和蒸汽压强水头值·····	246
附录 6 水银的密度和重度 ·····	246
附录 7 不同温度下空气的物理性质 ·····	246
附录 8 气体的物理性质 ·····	247
附录 9 常见气体的黏性系数·····	247
附录 10 管壁的当量粗糙度 Δ 值 ·····	247
参考文献 ·····	248

第1章 静水压强实验

1.1 实验目的和要求

(1) 掌握用测压管测量静水压强的方法,通过对水静力学现象的实验分析,加深理解水静力学方程的物理意义和几何意义,提高解决实际问题的能力。

(2) 观察在重力作用下液体中任意点的位置水头 z 、压强水头 p/γ 和测压管水头 $z+p/\gamma$,验证不可压缩流体静力学的基本方程。

(3) 测量当 $p_0=p_a$ 、 $p_0>p_a$ 和 $p_0<p_a$ 时静水中某一点的压强,分析各测压管水头的变化规律,加深对绝对压强、相对压强、表面压强、真空压强和真空度的理解。

(4) 学习测量液体比重的方法。

1.2 实验原理

在重力作用下,处于静止状态下不可压缩的均质液体,其基本方程为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = \dots = C \quad (1.1)$$

式中: z 为单位重量液体相对于基准面的位置高度或称位置水头; p/γ 为单位重量液体的压能或称压强水头; p 为静止液体中任意点的压强; γ 为液体的重度; $z+p/\gamma$ 为测压管水头。

式 (1.1) 的物理意义是:静止液体中任一点的单位位能和单位压能之和为一常数,而 $z+p/\gamma$ 表示单位重量液体具有的总势能对应的水头,因此也可以说,在静止液体内部各点的单位重量液体的势能均相等。几何意义是:静止液体中任一点的位置高度和该点压强的液柱高度之和为一常数。

静水压强方程也可以写成

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1.2)$$

式中: p_0 为作用在液体表面的压强; h 为由液面到液体中任一点的深度。

式 (1.2) 说明,在静止液体中,任一点的静水压强 p ,等于表面压强 p_0 加上该点在液面下的深度 h 与液体容重 γ 的乘积之和。表面压强遵守巴斯加原理,等值地传递到液体内部所有各点上,所以当表面压强 p_0 一定时,由式 (1.2) 可知,静止液体中某一点的静水压强 p 与该点在液面下的深度 h 成正比。

如果作用在液面上的是大气压强 p_a ,则式 (1.2) 可写为

$$p = p_a + \gamma h \quad (1.3)$$

式(1.3)说明当作用在液面上的压强为大气压强时,其静水压强等于大气压强 p_a 与液体重度 γ 和水深 h 乘积之和。这样所表示的一点压强叫做绝对压强(当液面上压强不等于大气压强时以 p_0 表示)。绝对压强是以没有气体存在的绝对真空为零来计算的压强;如果以当地大气压强为零来计算的压强称为相对压强,可以表示为

$$p = \gamma h \quad (1.4)$$

相对压强也叫表压强,所以表压强是以大气压强为基准算起的压强,它表示一点的静水压强超过大气压强的数值。

如果某点的绝对压强小于大气压强,我们就说“这点具有真空”。其真空压强 p_v 的大小以标准大气压强和绝对压强之差来量度,即

$$p_v = \text{大气压强} - \text{绝对压强} \quad (1.5)$$

当某点发生真空时,其相对压强必然为负,故把真空又称为负压,真空度也就等于相对压强的绝对值。

1.3 实验仪器

静水压强实验仪由盛水密闭圆筒容器、连通管、测压管、U形管、气门、调压筒和底座组成,如图1.1所示。U形管中可以装入不同种类的液体,以测定不同种类液体的比重。

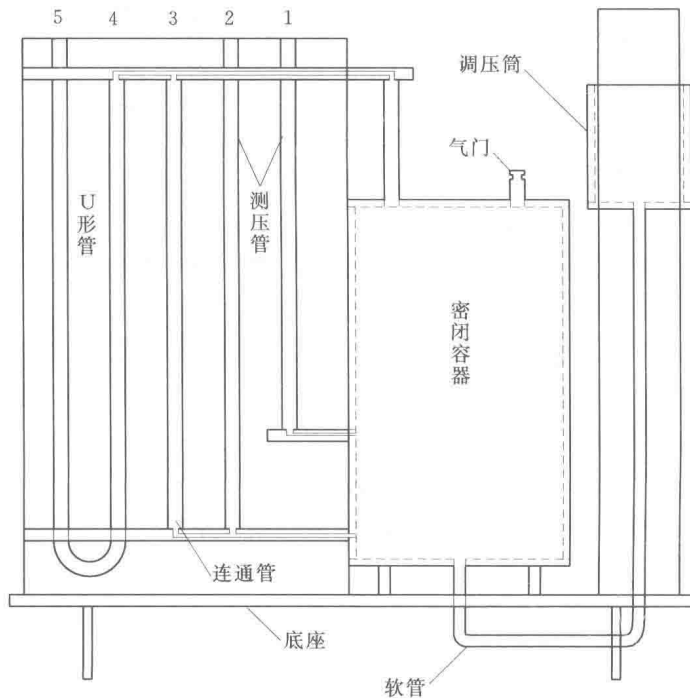


图 1.1 静水压强实验仪