

普通高等教育“十三五”规划教材

水利实验技术

袁晓伟 解宏伟 编著



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

水利实验技术

袁晓伟 解宏伟 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书围绕水利类专业科学研究和基本实验要求，结合水利专业实验设备而编写的专业实验综合教材，本书共分为五章，包括 31 个实验项目、25 个水力要素测量、7 个气象观测、1 个模型实验。实验项目包括实验目的、实验要求、实验原理、实验设备、实验步骤、实验数据记录、实验数据处理及结果、注意事项、思考题等内容；水力要素测量包括设备原理及使用方法；气象观测部分采用图示图解的方法介绍了降水、蒸发、雨情测报、气压、风、湿度、温度等观测设备的基本概念、工作原理、设备安装及观测方法；水工模型实验介绍了相似理论、相似准则及模型设计。

本书可作为水利类专业本科生、研究生的选修教材或参考书，还可供从事水利工程、水文、水资源等方面的技术人员参阅。

图书在版编目（C I P）数据

水利实验技术 / 袁晓伟, 解宏伟编著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2016.2
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4147-4

I. ①水… II. ①袁… ②解… III. ①水利工程—实
验—高等学校—教材 IV. ①TV-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第040400号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 水利实验技术
作 者	袁晓伟 解宏伟 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 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	北京世嘉印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 12.25 印张 290 千字
版 次	2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	27.00 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

水利工程类专业课的特点是实践性强、综合性高，学生课堂理论学习需要与工程实践相结合。因此，实践教学是实践教学体系中的重要环节，是联系理论与实践的关键。

根据水利类专业的实际情况和特点，近年来青海大学针对水利类本科专业所开设的水力学、流体力学、水文学原理、水文测验学、工程水文学、地下水动力学、水信息技术等课程的教学需要，依据现有实验场地和条件，增设和研制出一些与之相配套的实验项目和实验设备，如管道水流综合实验、潜水完整井模拟抽水实验、潜水模拟实验、土壤渗吸实验、水文循环、雨情测报、模拟河道等。为了便于教师教学和学生实验，以及更好地开放实验室，编写了这本水利类综合实验教材。

本书是编者在多年实验教学总结和水利工程模型试验研究的基础上，按专业实验教学的要求编写而成。本书紧紧围绕提高学生的动手能力和掌握一定的实验技能，培养学生采集实验数据、分析实验数据、整理实验结果和编写实验报告的能力，激发学生对本专业的学习兴趣和创新能力而编写。同时，也注重培养学生的团队精神和协作能力。

本书共分五章。第一章水力要素的量测技术，比较系统地介绍了水位、压强、流量、流速等 25 个水力要素及量测方法。第二章水力学实验，第三章水文原理与水文测验，第四章水文地质实验，共介绍了 31 个实验项目，包括实验目的、实验要求、实验原理、实验设备、实验步骤、实验数据记录、实验数据处理及结果、注意事项、思考题等内容。第三章还简要介绍了降水、蒸发、气压、风、温度、湿度、雨情测报的基本概念、观测设备及工作原理、设备安装及观测方法。第五章相似原理及模型设计，包括流动相似、相似准则、水工模型设计、试验实例等内容。

本书由袁晓伟、解宏伟编著。在编写过程中，本书得到了西安理工大学

张建丰教授、清华大学魏加华研究员、钟德钰研究员和青海大学顾声龙副教授、赵勤霞老师的帮助和指导，在此一并深表谢意。

编者

2015 年 10 月

目 录

前言

第一章 水力要素的量测技术	1
第一节 水位的量测	1
一、直接量测法	1
二、测压管法	1
三、测针法	2
四、浮子式水位计	3
五、SSH 型便携式超声波测深仪	4
六、OTT CBS 气泡式水位计	4
第二节 流量量测	5
一、直接量测法	5
二、间接量测法	5
第三节 流速测量	11
一、毕托管法	11
二、浮体追迹法	13
三、LS300 型便携式流速仪	13
四、斯德克 Pro II 雷达测速仪	13
五、LB70-2C 型旋杯式流速仪	14
六、LJ20-1A 型旋桨式流速仪	15
第四节 压强量测	15
一、测压管	15
二、比压计	16
第二章 水力学实验	19
第一节 静水压强量测实验	19
一、实验目的和要求	19
二、实验原理	19
三、实验设备	20
四、实验步骤	20

五、实验数据记录	21
六、实验数据处理及结果	21
七、注意事项	21
八、思考题	21
九、讨论分析题	22
第二节 平面静水总压力量测实验	22
一、实验目的和要求	22
二、实验原理	22
三、实验设备	23
四、实验步骤	23
五、实验数据记录	24
六、实验数据处理及结果	24
七、注意事项	24
八、思考题	24
九、讨论分析题	24
第三节 文丘里流量计率定实验	25
一、实验目的和要求	25
二、实验原理	25
三、实验设备	26
四、实验步骤	27
五、实验数据记录	27
六、实验数据处理及结果	27
七、注意事项	28
八、思考题	28
九、讨论分析题	28
第四节 孔板流量计流量系数实验	28
一、实验目的和要求	28
二、实验原理	28
三、实验设备	29
四、实验步骤	30
五、实验数据记录	30
六、实验数据处理及结果	30
七、注意事项	30
八、思考题	31
九、讨论分析题	31
第五节 流线与流谱演示实验	31
一、实验目的和要求	31
二、实验原理	31

三、实验设备	31
四、实验步骤	31
五、实验结果	33
六、思考题	33
第六节 恒定总流能量方程验证实验	33
一、实验目的和要求	33
二、实验原理	33
三、实验设备	34
四、实验步骤	35
五、实验数据记录	35
六、实验数据处理及结果	35
七、注意事项	36
八、思考题	36
九、讨论分析题	36
第七节 恒定总流动量方程验证实验	36
一、实验目的和要求	36
二、实验原理	36
三、实验设备	37
四、实验步骤	37
五、实验数据记录	38
六、注意事项	38
七、思考题	39
八、讨论分析题	39
第八节 局部水头损失量测实验	39
一、实验目的和要求	39
二、实验原理	39
三、实验设备	40
四、实验步骤	40
五、实验数据记录	41
六、实验数据处理及结果	42
七、注意事项	42
八、思考题	42
九、讨论分析题	42
第九节 流态演示与临界雷诺数量测实验	43
一、实验目的和要求	43
二、实验原理	43
三、实验设备	45
四、实验步骤	45

五、实验数据记录及计算结果	45
六、注意事项	46
七、思考题	46
八、讨论分析题	47
第十节 沿程水头损失量测实验	47
一、实验目的和要求	47
二、实验原理	47
三、实验设备	48
四、实验步骤	48
五、实验数据记录及计算结果	49
六、注意事项	49
七、思考题	49
八、讨论分析题	50
第十一节 管道水流实验	50
一、实验目的和要求	50
二、实验原理	50
三、实验设备	50
四、实验步骤	51
五、数据处理和成果分析	52
六、注意事项	52
七、思考题	52
第十二节 孔口和管嘴出流演示与量测实验	52
一、实验目的和要求	52
二、实验原理	52
三、实验设备	54
四、实验步骤	54
五、实验数据记录	55
六、注意事项	55
七、思考题	55
八、讨论分析题	56
第十三节 非均匀流水面曲线演示实验	56
一、实验目的和要求	56
二、实验原理	56
三、实验设备	57
四、实验步骤	57
五、注意事项	59
六、思考题	59
七、讨论分析题	59

第十四节 明渠糙率测定实验	60
一、实验目的和要求	60
二、实验原理	60
三、实验设备	60
四、实验步骤	61
五、实验数据记录	61
六、注意事项	61
七、思考题	61
第十五节 实用堰与宽顶堰溢流实验	61
一、实验目的和要求	61
二、实验原理	62
三、实验设备	63
四、实验步骤	64
五、实验数据记录	64
六、注意事项	64
七、思考题	65
八、讨论分析题	65
第十六节 明槽水跃实验	65
一、实验目的和要求	65
二、实验原理	65
三、实验设备	66
四、实验步骤	67
五、实验数据记录	67
六、实验数据处理及结果	68
七、注意事项	68
八、思考题	68
九、讨论分析题	68
第十七节 闸下自由出流流量系数的测定实验	68
一、实验目的和要求	68
二、实验原理	68
三、实验设备	70
四、实验步骤	70
五、实验数据记录	70
六、实验数据处理及结果	71
七、注意事项	71
八、思考题	71
第十八节 管道水击现象演示实验	71
一、实验目的和要求	71

二、实验原理 72

三、实验设备 73

四、实验步骤 74

五、注意事项 74

六、思考题 74

七、讨论分析题 74

第十九节 虹吸实验 74

一、实验目的和要求 74

二、实验原理 74

三、实验设备 75

四、实验步骤 75

五、实验数据记录 75

六、实验数据处理及结果 76

七、注意事项 76

八、思考题 76

第二十节 有压地基渗流水电比拟实验 76

一、实验目的和要求 76

二、实验原理 76

三、实验设备 77

四、实验步骤 78

五、实验数据记录 78

六、数据处理及结果 79

七、注意事项 79

八、思考题 79

九、讨论分析题 79

第二十一节 平板边界层实验 80

一、实验目的和要求 80

二、实验原理 80

三、实验设备 81

四、实验步骤 81

五、实验数据记录 82

六、实验数据处理及结果 83

七、注意事项 83

八、思考题 83

九、讨论分析题 83

第二十二节 气体紊动射流实验 83

一、实验目的和要求 83

二、实验原理 84

三、实验设备	84
四、实验步骤	85
五、实验数据记录	85
六、实验数据处理及结果	86
七、注意事项	86
八、思考题	86
九、讨论分析题	87
第三章 水文原理与水文测验	88
第一节 降水、蒸发的观测	88
一、降水观测	88
二、蒸发量的观测	90
三、观测记录表	92
第二节 雨情自动监测系统	92
一、实验目的	92
二、系统介绍	92
三、实验设备安装与结构	94
四、传输方式	96
五、手持式参数设置仪	97
六、雨情监测站 RTU 参数设置内容	99
第三节 风、气压的观测	100
一、风的观测	101
二、气压的观测	103
三、观测记录表	105
第四节 空气温、湿度与土壤温度的观测	105
一、百叶箱	105
二、温度和湿度的观测	106
三、实验记录表	111
第五节 测站布置及大断面测量实验	112
一、实验目的和要求	112
二、实验原理	112
三、实验设备	116
四、实验步骤	116
五、实验数据记录	117
六、注意事项	117
第六节 流量测验实验	117
一、实验目的和要求	117
二、实验原理	117
三、实验设备	120

四、实验步骤	120
五、实验数据记录与实验成果表	121
六、注意事项	121
第七节 水位观测实验	121
一、实验目的和要求	121
二、实验原理	122
三、实验设备	125
四、实验步骤	125
五、实验数据记录	125
六、注意事项	126
第八节 泥沙测验实验	126
一、实验目的和要求	126
二、实验原理	126
三、实验设备	127
四、实验步骤	128
五、实验数据记录及处理	129
六、注意事项	130
第九节 水文循环规律实验	130
一、实验目的和要求	130
二、实验原理	130
三、实验设备	131
四、实验步骤	134
五、注意事项	138
六、思考题	138
第四章 水文地质实验	139
第一节 土壤渗吸实验	139
一、实验目的和要求	139
二、实验原理	139
三、实验设备	139
四、实验步骤	140
五、实验数据记录	141
六、数据处理及结果分析	141
七、注意事项	142
八、思考题	142
第二节 达西定律实验	142
一、实验目的和要求	142
二、实验原理	142
三、实验设备	143

四、实验步骤	143
五、实验数据记录	143
六、实验数据处理及结果	144
七、注意事项	144
八、思考题	145
九、讨论分析题	145
第三节 潜水模拟实验	145
一、实验目的和要求	145
二、实验原理	145
三、实验设备	145
四、实验步骤	146
五、实验数据记录	147
六、注意事项	150
七、思考题	150
第四节 潜水完整井模拟抽水实验	150
一、实验目的和要求	150
二、实验原理	150
三、实验设备	151
四、实验步骤	152
五、实验数据记录	153
六、注意事项	155
七、思考题	155
第五章 相似原理及模型设计	156
第一节 流动相似	156
第二节 相似准则	157
第三节 水工模型设计	163
第四节 试验实例	165
附录	169
附表 1 水力学(工程流体力学)中常用物理量的量纲及单位	169
附表 2 不同温度下水的物理性质	170
附表 3 不同温度下水的饱和蒸汽压强水头值(绝对压强)	170
附表 4 普通液体的物理性质(一个大气压下)	170
附表 5 水银的密度和重度	171
附表 6 气体的物理性质(一个大气压下, 20℃)	171
附表 7 空气的物理性质(一个大气压下)	171
附表 8 常见气体的黏性系数(经验公式)	172
附表 9 常用管壁材料的弹性系数 E 值	172

附表 10	管壁的当量粗糙度 K_s 值	172
附表 11	宽顶堰的淹没系数 σ 值	172
附表 12	大孔口的流量系数 μ 值	173
附表 13	平板闸门的垂直收缩系数 ϵ_1 值	173
附表 14	弧形闸门的垂直收缩系数 ϵ_1 值	173
附表 15	上游面铅直的 WES 剖面堰的流量系数 m 值	173
附表 16	土壤的渗透系数 K 值	173
附表 17	重力相似准则与粘滞力相似准则比例尺	174
附表 18	不同形状的面积特性	174
附表 19	不同形状的体积特性	175
附表 20	泄水建筑物的流速系数 φ 值	176
附表 21	管道的局部水头损失系数 ζ 值	177
参考文献		181

第一章 水力要素的量测技术

第一节 水位的量测

随着水流运动状态的不同，水流表面的特征也有区别，测量时应针对其不同的特点来选取最合适的方法。

一、直接量测法

将具有刻度的标尺直接放入水中，读出水面位置的读数。或在透明容器的外部附上标尺，可直接读出容器内水面位置的读数，如图 1-1-1 所示。

由于表面张力的作用，水面与标尺或容器接触部位水面局部升高，影响到水面位置读数的准确性。在应用直接量测法量测水位时，要考虑由此产生的读数误差。在测量过程中还要注意尺子的起始刻度所在的位置。

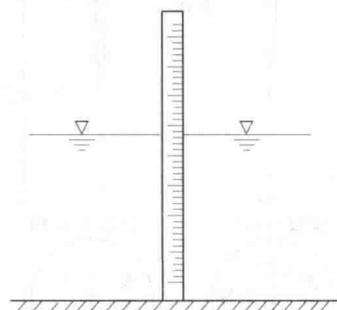


图 1-1-1 水尺法示意图

二、测压管法

在液体容器壁上开一个小孔，将液体引到一个透明玻璃管内，按照连通管等压面的原理，玻璃管内液面与容器内的液面同高，利用测压管旁边安装的标尺可测读出容器内的水位。

测压管是根据连通原理制作的，它是由测压孔、连通管与测压管组成，如图 1-1-2 所示。测压管一般采用玻璃管或有机玻璃管，管子的内径大于 10mm，以免由于毛细管现象影响测量的精度。管的内径必须均匀，如用多管组成测压管组时，各管内径也要相等，否则，毛细管升高将有不同。

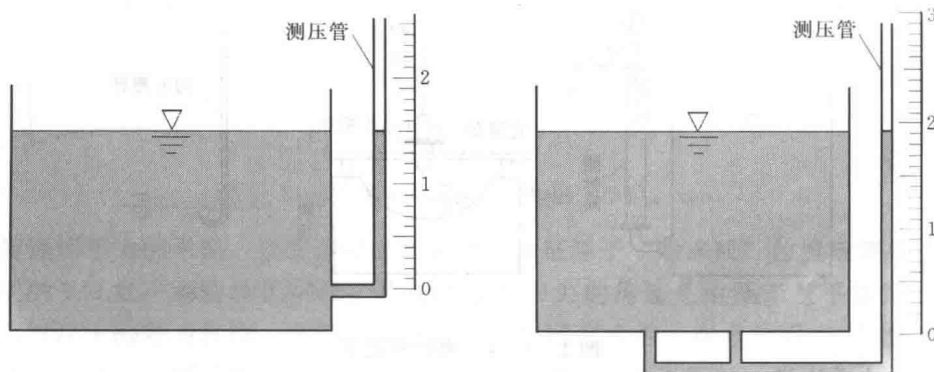


图 1-1-2 测压管测水位装置

测压孔在盛水容器的底板或侧壁等处开设的径向小孔，孔径一般要大于 2mm，使之不易堵塞，并连接防锈材质的短管，用套在短管上的橡皮软管引出，外接一个玻璃管就是测压管。开测压孔时，要与壁面垂直，孔内周边要平顺光滑，其周边不得有毛刺存在。

三、测针法

量测恒定水位时，测针是应用最普遍的一种仪器。如图 1-1-3 (a)、图 1-1-3 (b) 所示，为一种常用国产测针的结构图。测针尖下端接触水面处为针形所示，测量时可在拟测水位处固定测针架。图中套筒牢固地安装在支座上，测杆在套筒中能上下移动。

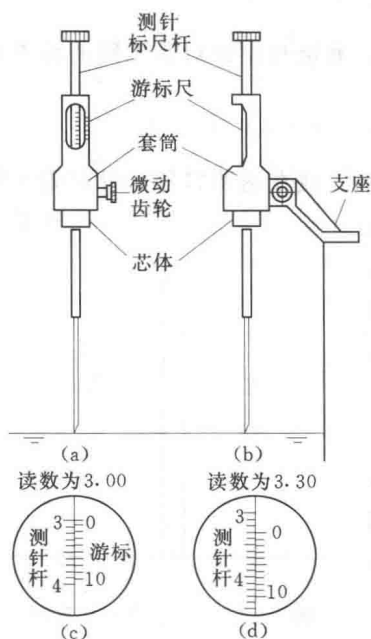


图 1-1-3 测针结构图

为提高读数精度，需了解游标的测读方法。例如图 1-1-3 (c) 游标上的零刻度正好对应测针读数 3，且两刻度重合，所以水位读数为 3.00cm。再如图 1-1-3 (d)，游标上零刻度正好对应测针标尺读数在 3.3cm，两刻度重合，可知此时水位读数为 3.30cm。

使用时，用测针尖直接量测水位，或安装测针筒，将水引出后，在筒内进行测读。在实验室应用量水堰测流量时，测定堰上水深一般多用这种方法，如图 1-1-4 (a) 所示。若需测水面线时，可将测针安装在活动测针车上，如图 1-1-4 (b) 所示，使其沿平直轨道前后左右滑动，以便测得任意断面和测点的水深和水位。为了避免水表面吸附作用的影响，还可以把针尖做成钩形，如图 1-1-4 (c) 所示。

在上下移动测针杆量测水位时，应首先用一只手托住芯体，另一只手抓住测针杆将其向上或向下移动到所需位置附近，此步骤为粗调，粗调时芯体不随测针杆移动。再用微动齿轮仔细地调节测针尖刚好接触水面，此步骤称为细调。

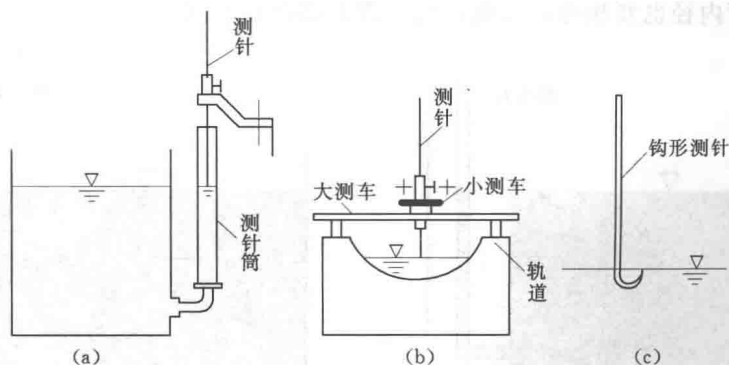


图 1-1-4 测针安装图

使用测针时，应注意以下几点：

- (1) 测针尖端勿过于尖锐，以半径为 0.25mm 的圆尖为宜。