

给水排水工程实践教学指南丛书



给水排水工程 水处理实验技术

李桂柱 主编 马放 南国英 主审



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

给水排水工程实践教学指南丛书

给水排水工程水处理实验技术

李桂柱 主编

马 放 南国英 主审



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

给水排水工程水处理实验技术/李桂柱主编. —北京:
化学工业出版社, 2004. 4

(给水排水工程实践教学指南丛书)

ISBN 7-5025-5437-8

I. 给… II. 李… III. ①给水处理-实验-高等学校-
教学参考资料②污水处理-实验-高等学校-教学参考资料
IV. TU991. 2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 038433 号

给水排水工程实践教学指南丛书
给水排水工程水处理实验技术

李桂柱 主编

马放 南国英 主审

责任编辑: 管德存 董琳 刘兴春

责任校对: 陈静 李军

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 363 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5437-8/X · 436

定价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

给水排水工程专业培养适应我国社会主义现代化建设需要,德智体全面发展,基础扎实、知识面宽、素质高、有创新意识,能在水的开采、加工、运输、回收和可持续利用这一社会循环中,从事水工艺与工程的规划、设计、管理、教育和科研开发等方面工作的高级工程技术人员。

给水排水工程专业学生在比较系统地学习必需的数学、物理和化学等自然科学知识的基础上,通过本专业基本训练,掌握水资源利用与维护、水处理工程学、给水排水管道工程等专业理论;水的开采、加工、输送、回收与再用等工程规划与设计方法;获得水工程的项目管理、施工组织、设备运输等方面的基本能力,具有初步的科学实验、研究与开发能力。

随着我国经济建设的高速发展,城市化水平的逐步提高,给水排水事业作为城市重要的公用设施之一,发展迅速,从而对给水排水工程建设提出了新的要求,对工程设计、施工等提出了许多新的课题。因此,实践教学环节在给水排水工程专业教学中占有十分重要的地位,涉及大部分课程的实验教学、课程设计、测量实习、认识实习、生产实习和毕业实习,以及毕业设计等。

“给水排水工程实践教学指南丛书”就是针对指导实践教学活动的开展而组织编写的。本套丛书具有下列特点。

(1) 系统性 紧密结合专业教学大纲,系统介绍各个实践教学环节的理论基础和实践过程。

(2) 模拟性 紧密结合课堂理论教学,取材于整个教学活动的工程实习、工程设计和实验操作。

(3) 实用性 突出工程实践经验与工程实例,力求做到操作步骤清晰、明确,理论与实践相结合。

(4) 前瞻性 在工程设计、工程实习和实验操作中,力求引用最新生产工艺、生产设备和先进的管理模式。

(5) 权威性与指导性 丛书编审人员都是各自实践教学环节的主讲专家,具有丰富的实践教学经验和工程设计经验。因此,本丛书对于给水排水专业的师生具有较高的参考价值,对其他相关专业也具有指导作用,同时可以供从事给水排水工程专业设计、施工和运行管理方面的工程技术人员参考。

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
2004.3

前 言

《给水排水工程水处理实验技术》是给水排水工程、环境工程等专业的一门重要的必选课程，是培养学生实验研究能力和动手能力的重要手段。通过本课程的学习，可加深学生对水处理技术基本理论的理解；培养学生设计和组织实验方案的初步能力、进行水处理实验的基本技能和使用实验仪器设备的基本能力；训练学生分析与处理实验数据的基本技能。

本书根据目前给水排水专业知识体系重新整合以及专业调整的要求，把给水排水专业实验内容重新整合为水工程技术基础实验与水处理工程技术实验两部分。水工程技术基础实验包括水力学与水泵实验、水质分析化学实验及水处理微生物学实验；水处理工程技术实验包括混凝、沉淀、过滤、软化、除盐、生物处理技术、水质深度处理等实验技术。

本书内容涵盖了给水排水工程专业主导专业基础课及专业课的全部必做实验，并推荐了大量选做实验。不同类型的学校可根据各自的办学特点与培养要求对实验内容灵活取舍；不同学生也可根据自身能力有计划、有目的地选择不同的选做实验以提高自身的实验研究能力与水平。其他相关专业也可根据自身专业要求进行实验项目与内容的组合。

本书是在作者多年从事水处理技术研究和实验教学经验总结的基础上，依据给水排水专业教学的基本要求而编写的。它可作为给水排水工程、环境工程及相关专业的教科书，也可供从事上述专业的工程技术人员参考。

本书由李桂柱主编，张志刚、何延青副主编，哈尔滨工业大学市政环境学院马放教授和河北建筑工程学院南国英副教授主审。具体编写分工：第一章由岳少青、马立山编写，第二章由马登军编写，第三章由何延青、徐伟朴编写，第四章由李桂柱、张志刚编写，第五章由高永编写。

本书编写过程中始终得到河北建筑工程学院以及该院城市建设系领导的大力支持和帮助，得到化学工业出版社环境科学与工程出版中心的鼓励与支持。同时在编写本书的过程中，参考了大量文献资料，引用了其中部分内容，在此，谨向这些文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2004. 3

内 容 提 要

本书涵盖了高等院校给排水工程专业的基础课和专业课的 62 项实验，阐述了教学实验的目的、原理、仪器设备、步骤、数据处理等内容。本书旨在加深对所学专业理论知识的深层理解，着重培养观察、分析问题的能力，培养严谨的科学态度和良好的工作作风，是提高实践教学质量的重要工具。

本书可供高等院校给排水工程、环境工程及其相关专业的在校学生及教师使用，也可供同类专业的工程技术人员和实验人员参考。

目 录

第一章 水力学实验	1
实验一 流体静力学实验	1
实验二 毕托管测速实验	4
实验三 能量方程(伯努利方程)实验	7
实验四 文丘里管的率定	11
实验五 动量方程实验	13
实验六 雷诺实验	17
实验七 沿程水头损失实验	19
实验八 局部水头损失实验	23
实验九 孔口与管嘴实验	26
实验十 水面曲线实验	29
实验十一 堰流实验	33
实验十二 水跃实验	36
实验十三 消能池实验	40
实验十四 水泵特性曲线的测定	43
第二章 水分析化学实验	48
第一节 水分析化学实验的目的与要求	48
第二节 定量分析过程及分析结果的表示方法	48
第三节 化学试剂的规格和取用方法	49
第四节 分析化学中玻璃仪器的洗涤与使用	50
第五节 实验室安全规则	54
第六节 水的理化指标	55
实验一 水温	55
实验二 色度	55
实验三 臭	56
实验四 浊度	57
实验五 pH值	58
实验六 电导率	59
实验七 酸度	60
实验八 碱度(总碱度、重碳酸盐和碳酸盐)	62
实验九 游离二氧化碳	64
实验十 侵蚀性二氧化碳	66
实验十一 钙硬度和总硬度(EDTA滴定法)	68
实验十二 氯化物	70

第七节 营养盐及有机污染综合指标	71
实验一 溶解氧 (碘量法)	71
实验二 耗氧量 (高锰酸钾法)	73
实验三 化学需氧量 (重铬酸钾法)	75
实验四 生化需氧量	77
实验五 总有机碳 (TOC)	80
第八节 专项指标测定	82
实验一 总氮	82
实验二 挥发酚的测定	84
实验三 汞	86
实验四 铁 (邻二氮菲分光光度法)	89
 第三章 水处理微生物实验	92
实验一 显微镜的使用及微生物的形态观察	92
实验二 微生物大小的测量实验	97
实验三 微生物数量的测定实验	98
实验四 微生物的染色实验	102
实验五 培养基的制备与灭菌实验	106
实验六 微生物纯种分离、培养及接种技术	112
实验七 纯培养菌种的菌体、菌落形态观察	117
实验八 微生物的生理生化特性	119
实验九 大肠杆菌生长曲线的测定实验	130
附录一 微生物对含碳化合物的分解和利用	132
附录二 微生物对含氮化合物的分解和利用	135
附录三 活性污泥混合液耗氧速率的测定	137
附录四 废水生物处理过程中常见的微生物	139
 第四章 给水工程实验	146
实验一 颗粒自由沉淀实验	146
实验二 混凝沉淀实验	150
实验三 斜板沉淀实验	152
实验四 过滤与反冲洗实验	154
实验五 水力循环澄清实验	157
实验六 离子交换树脂类型鉴别及交换容量测定	160
实验七 离子交换软化和除盐实验	166
实验八 电渗析除盐实验	169
实验九 活性炭吸附实验	175
 第五章 排水工程实验	181
实验一 絮凝沉淀实验	181

实验二	成层沉淀实验.....	185
实验三	气浮实验.....	188
实验四	曝气设备充氧性能实验.....	194
实验五	污水可生化性能测定.....	203
实验六	生物滤池实验.....	209
实验七	酸性废水过滤中和及吹脱实验.....	213
实验八	污泥厌氧消化实验.....	216
实验九	污泥脱水性能实验.....	221
参考文献.....		227

第一章

水力学实验

实验一 流体静力学实验

一、实验目的

- ① 验证不可压缩流体静力学基本方程；
- ② 掌握用测压管测量流体静压强的技能；
- ③ 测定某液体的密度。

二、实验装置

实验装置如图 1-1 所示。

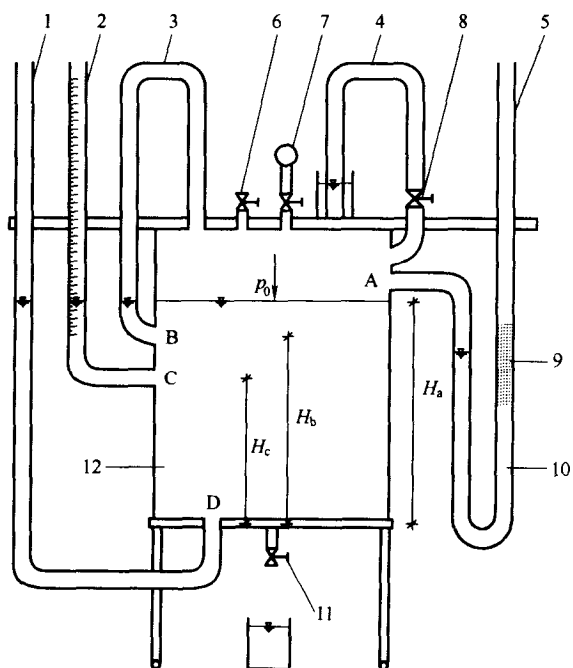


图 1-1 实验装置

- 1—测压管；2—带标尺测压管；3—连通管；4—真空测压管；5—U形测压管；6—通气阀；
7—加压打气球；8—截止阀；9—油柱；10—水柱；11—减压放水阀；12—水箱

说明如下：

- ① 所有测管液面标高均以标尺（带标尺测压管 2）零读数为准；
- ② 仪器铭牌所注 ∇_B 、 ∇_C 、 ∇_D 系测点 B、C、D 标高，若同时取标尺零点作为静力学基本方程的基准，则 ∇_B 、 ∇_C 、 ∇_D 亦为 Z_B 、 Z_C 、 Z_D ；
- ③ 本仪器中所有阀门旋柄顺管轴线为开。

三、实验原理

1. 求点压强

在重力作用下不可压缩流体静力学基本方程：

$$Z + \frac{p}{\rho g} = \text{const}$$

或

$$p = p_0 + \rho gh$$

式中 Z ——被测点相对基准面的位置标高；

p ——被测点的静水压强，用相对压强表示，以下同；

p_0 ——水箱中液面的表面压强；

ρ ——液体密度；

g ——重力加速度；

h ——被测点的液体深度。

2. 测定某液体密度

利用本装置，在不附带其他读尺情况下，测定某种油的密度。

U 形管内装有两种液体：一是与水箱内相同的水；二是待测密度的油。

设油柱高度为 H ，先给水箱加压，使 U 形管内水面和水油交界面处于同一水平面上（见图 1-2）。从测压管标尺上读取 h_1 ，有：

$$p_{01} = \rho_{\text{水}} g h_1 = \rho_{\text{油}} g H \quad (1-1)$$

再给水箱减压，使 U 形管中水面和油面处于同一水平面上（见图 1-3）。从测压管标尺上读取 h_2 ，又有：

$$p_{02} = -\rho_{\text{水}} g h_2 = \rho_{\text{油}} g H - \rho_{\text{水}} g H \quad (1-2)$$

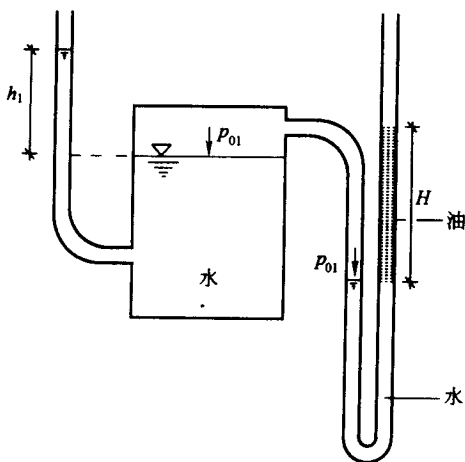


图 1-2 $p > 0$

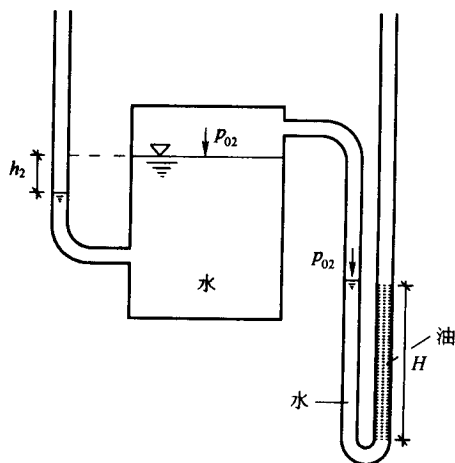


图 1-3 $p < 0$

由式 (1-1)、式 (1-2) 联解, 可得:

$$H = h_1 + h_2$$

即

$$\frac{\rho_{\text{油}} g}{\rho_{\text{水}} g} = \frac{h_1}{h_1 + h_2}$$

则

$$\rho_{\text{油}} = \rho_{\text{水}} \left(\frac{h_1}{h_1 + h_2} \right)$$

四、实验方法与步骤

(1) 检查仪器是否密封

将阀门 6、8、11 关闭, 加压后检查测管 1、2、5 内液面高程是否恒定, 若下降, 表明漏气, 检查通气阀 6、减压放水阀 11 是否关严, 各测压管与水箱连接处连接是否紧密。

(2) 记录仪器号 No 及各常数

(3) 测量各点静压强 (压强用厘米水柱表示, 精度要求 0.5mm)

① 打开通气阀 6, 记录水箱液面标高 ∇_0 和测压管 2 液面标高 ∇_H ;

② 关闭通气阀 6 及截止阀 8, 加压使之形成 $p_0 > 0$, 测记 ∇_0 及 ∇_H ;

③ 打开减压放水阀 11, 使之形成 $p_0 < 0$ (要求其中一次 $\frac{p_B}{\rho} < 0$), 测记 ∇_0 及 ∇_H 。

(4) 测定 $\rho_{\text{油}}$

① 开启通气阀 6, 测记 ∇_0 ;

② 关闭通气阀 6, 打气加压 ($p_0 > 0$), 微调加压打气球 7 上的放气螺母使 U 形管中水面与油水交界面齐平 (见图 1-2), 测记 ∇_0 及 ∇_H ;

③ 打开通气阀 6, 待箱内液面稳定后关闭所有阀门, 然后开启减压放水阀 11 降压 ($p_0 < 0$), 使 U 形管中的水面与油面齐平 (见图 1-3), 测记 ∇_0 及 ∇_H 。

五、注意事项

① 当加压较快时, 压力有一短时间稳定过程, 待各测压管液面不再有变化时方可读数。

② 在加压 (或减压) 过程中应严格控制 U 形管中水自由面和油水交界面, 不得使其中任何一个界面到达 U 形管底部, 否则将造成通气侧油水喷出或两侧油水混装, 导致设备无法使用。

③ 设备采用玻璃或有机玻璃制成, 使用时注意动作力度。

六、实验报告及成果要求

① 分别求出各次测量时 A、B、C、D 点的压强, 并选择一基准, 验证同一静止液体内的任意两点 C、D 的 $\left(Z + \frac{p}{\rho g} \right)$ 为常数。

② 求出油的密度。

③ 解答各讨论题。

七、讨论题

① 何谓测压管水头线? 同一静止液体内的测压管水头线是根什么线?

② 认真体会绝对压强、相对压强、负压的概念。当 $p_B < 0$ 时，试根据记录数据确定水箱内的真空区域。

③ 若再备一根直尺，你能用怎样最简单的方法测定 $\rho_{油}$ ？

④ 如果测压管太细，对测压管液面的读数将产生怎样的影响？

⑤ 过 C 点作一水平面，相对 1、2、5 管及水箱中液体而言，这个水平面是不是等压面？哪一部分液体是同一等压面？

参考表格

实验装置台号 No. : _____

各测点的标尺读数为： $\nabla_B =$ _____ cm， $\nabla_C =$ _____ cm， $\nabla_D =$ _____ cm， $\rho_{水} =$ _____ N/cm³

流体静压强测量记录及计算如表 1-1 所列，油的密度测量记录及计算如表 1-2 所列。

表 1-1 流体静压强测量记录及计算表 (单位：cm)

实验条件	次序	水箱液面 ∇_0	测压管液面 ∇_H	压 强 水 头				测压管水头	
				$\frac{p_A}{\rho g} = \nabla_H - \nabla_0$	$\frac{p_B}{\rho g} = \nabla_H - \nabla_B$	$\frac{p_C}{\rho g} = \nabla_H - \nabla_C$	$\frac{p_D}{\rho g} = \nabla_H - \nabla_D$	$Z_C + \frac{p_C}{\rho g}$	$Z_D + \frac{p_D}{\rho g}$
$p_0 = 0$	1								
$p_0 > 0$	1								
	2								
	3								
$p_0 < 0$ (其中一次 $p_B < 0$)	1								
	2								
	3								

注：表中基准面选在： _____， $Z_C =$ _____ cm， $Z_D =$ _____ cm。

表 1-2 油密度测量记录及计算表 (单位：cm)

条 件	次序	水箱液面标尺读数 ∇_0	测压管 2 液面标尺读数 ∇_H	$h_1 = \nabla_H - \nabla_0$	$\overline{h_1}$	$h_2 = \nabla_0 - \nabla_H$	$\overline{h_2}$	$\frac{\rho_{油}}{\rho_{水}} = \frac{\overline{h_1}}{\overline{h_1} + \overline{h_2}}$
$p_0 > 0$ 且 U 形管中水面与油水交界面齐平	1							
	2							
	3							
$p_0 < 0$ 且 U 形管中水面与油面齐平	1							
	2							
	3							

实验二 毕托管测速实验

一、实验目的

① 了解毕托管测速原理，掌握用毕托管测量流速的方法；

② 测定管嘴淹没出流的测点流速和流速系数。

二、实验装置

毕托管测速实验装置如图 1-4 所示。

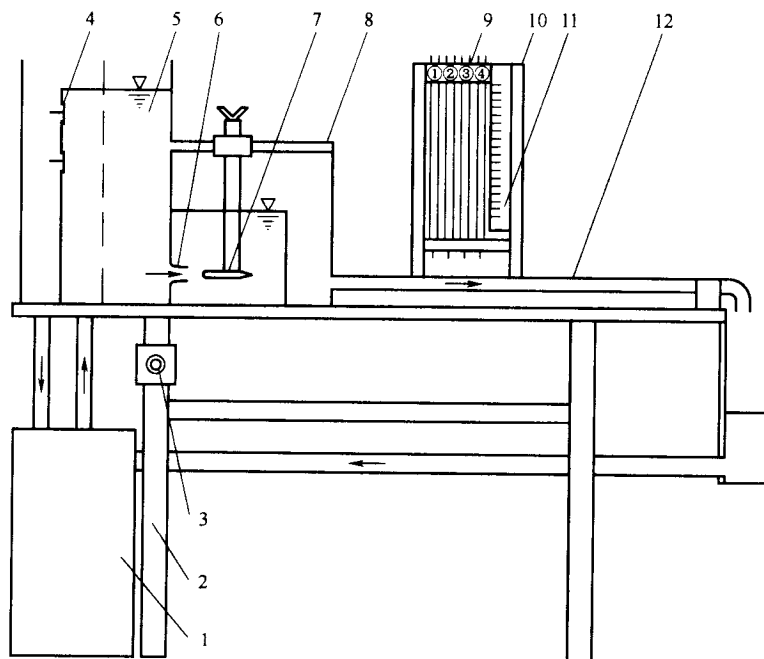


图 1-4 毕托管测速实验装置

- 1—自循环供水器；2—实验台；3—调速器开关；4—水位调节阀；5—恒压水箱；
6—管嘴；7—毕托管；8—尾水箱与导轨；9—测压管；
10—测压计；11—滑动测量尺；12—上回水管

说明如下：

经淹没管嘴 6，将高低水箱水位差的位能转换成动能，用毕托管测出其点流速值。测压计 10 的测压管①、②用以测量高、低水箱位置水头，测压管③、④用以测量测点的总水头和测压管水头，水位调节阀 4 用以改变高水箱位置水头，从而改变测点的流速水头。

三、实验原理

1. 毕托管测速公式

$$u = c \sqrt{2g\Delta h} \quad (1-3)$$

式中 u ——毕托管测点处的点流速；

c ——毕托管的校正系数；

Δh ——毕托管总水头与测压管水头差。

2. 管嘴出流速度公式

$$u = \varphi' \sqrt{2g\Delta H} \quad (1-4)$$

联解式 (1-3)、式 (1-4), 可得:

$$\varphi' = c \sqrt{\Delta h / \Delta H} \quad (1-5)$$

式中 u ——测点处流速, 由毕托管测定;

φ' ——测点流速系数;

ΔH ——管嘴的作用水头。

四、实验方法与步骤

① 准备

- 熟悉实验装置各部分名称、作用性能和毕托管的构造特征、实验原理;
- 用软塑管将上、下游水箱的测点分别与测压管 9 中的测压管①、②相连通;
- 将毕托管对准管嘴, 距离管嘴出口 2~3cm 之间, 上紧固定螺丝。

② 开启水泵 顺时针打开调速器开关 3, 将流量调节至最大。

③ 排气 待上、下游溢流后用吸气球放在测压管口部抽吸, 排除毕托管及连通管中的气体, 待其中气体全部排除干净后方可开始下步实验。

④ 测记各有关常数和实验数据, 填入实验表格。

⑤ 改变流速 操作水位调节阀 4 并相应调节调速器开关 3, 使溢流量适中, 共可获得 3 个不同恒定水位与相应的不同流速。改变流速后, 按上述方法重复测量。

⑥ 完成下述实验项目 (要求边实验、边观察分析)

- 分别沿垂向和纵向改变测点位置, 观察管嘴淹没射流的流速分布;
- 在有压管道测量中, 管道直径相对毕托管的直径在 6~10 倍以内时误差在 2%~5% 以上, 不宜使用, 试将毕托管头部伸入到管嘴中, 予以验证;
- 实验结束时, 检查毕托管及连通管中是否有气体, 若有, 则需重新实验。

五、注意事项

- 仔细观察毕托管位置, 尽量使毕托管与管嘴同心且距离不宜过大或过小。
- 设备采用玻璃或有机玻璃制成, 使用时注意动作力度。

六、实验报告及成果要求

- 整理所记录数据, 设计表格, 计算测点流速及流速系数。
- 解答各讨论题。

七、讨论题

- 利用测压管测量点压强时, 为什么要排气? 怎样检验是否排净?
- 毕托管的动压头 Δh 和上、下游水位差 ΔH 之的大小关系怎样? 为什么?
- 你所测出的流速系数 φ' 说明了什么?
- 分别沿垂向和纵向改变测点的位置时, 管嘴淹没射流的流速分布如何?

参考表格

实验装置台号 No. : _____

校正系数 $c =$ _____ $k = c \sqrt{2g} =$ _____

记录计算如表 1-3 所列, 垂向、纵向速度分布记录如表 1-4 所列。

表 1-3 记录计算表

实验次序	上、下游水位差 /cm			毕托管水头差 /cm			测点流速 $u = k\sqrt{\Delta h}$ (cm/s)	测点流速系数 $\varphi' = c\sqrt{\Delta h/\Delta H}$
	h_1	h_2	ΔH	h_3	h_4	Δh		
1								
2								
3								
4								

表 1-4 垂向、纵向速度分布记录表 (选做)

	实验次序	毕托管水头差/cm			测点流速 $u = k\sqrt{\Delta h}$
		h_3	h_4	Δh	
垂向	1				
	2				
	3				
	4				
纵向	1				
	2				
	3				
	4				

实验三 能量方程 (伯努利方程) 实验

一、实验目的

- ① 验证流体恒定总流的能量方程, 加深对能量方程各项意义的理解;
- ② 测定并绘制总水头线和测压管水头线。

二、实验装置

自循环伯努利方程装置如图 1-5 所示。

说明如下。

① 本仪器测压管有 2 种: (a) 毕托管测压管 (测压管编号标 * 者), 用以测读毕托管探头对准点的总水头 $H' \left(= Z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right)$, 必须注意一般情况下 H' 与断面总水头 $H \left(= Z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right)$ 不同 (因一般 $u \neq v$), 它的水头线只能定性地表示总水头变化趋势; (b) 普通测压管 (测压管编号未标 * 者), 用以定量测量测压管水头。

② 实验测量用阀 13 调节, 流量由体积时间法或重量时间法测量。

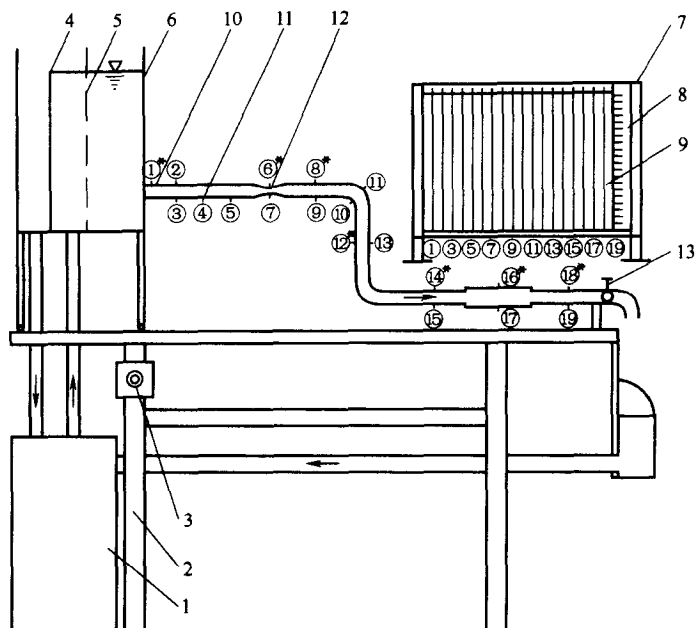


图 1-5 自循环伯努利方程装置

1—自循环供水器；2—实验台；3—可控硅无级调速器；4—溢流板；5—稳水孔板；
6—恒压水箱；7—测压计；8—滑动测量尺；9—测压管；10—实验管道；
11—测压点；12—毕托管；13—实验测量调节阀

三、实验原理

在实验管路中沿管内水流方向取 i 个过水断面，可以列出进口断面 1 至另一断面 i 的能量方程式：

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1 \sim 2} = \Lambda = Z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} + h_{w1 \sim i}$$

取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \Lambda = 1$ ，选好基准面，从已设置的各断面的测压管中读出 $\left(Z + \frac{p}{\rho g}\right)$ 值，测出通过管路的流量，即可算出断面平均流速 v 及 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ ，从而即可得到各测压管水头和总水头（ α 为各段面动能修正系数）。

四、实验方法与步骤

① 熟悉实验设备，了解各测压管与各测点的对应关系，以及普通测压管与毕托管测压管的区别。

② 打开开关供水，使水箱充水，待水箱溢流后，检查泄水阀关闭时所有测压管水面是否齐平；若不平则需查明原因，并加以排除直至调平。

③ 打开阀 13 观察测压管线和总水头线的变化趋势及位置水头、压强水头之间的相互关系，观察当流量增加或减少时测压管水头的变化情况。

④ 调节阀 13 的开度，待流量稳定后，测记各测压管液面读数，同时测记实验流量。

⑤ 调节阀 13 的开度 1~2 次，按步骤④重复测量，并使其中一次为阀门的最大开度。