



“十三五”江苏省高等学校重点教材
普通高等教育“十三五”系列教材

水文与水资源工程专业 实践育人综合指导书

王栋 吴吉春 吴剑锋 王远坤 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



“十三五”江苏省高等学校重点教材（编号 2019-2-055）
普通高等教育“十三五”系列教材

水文与水资源工程专业 实践育人综合指导书

王栋 吴吉春 吴剑锋 王远坤 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书为水文与水资源工程等涉水专业提高人才知行合一培养质量,提升理实融合内涵发展水平,构建实验—设计—实习三位一体实践综合育人新体系而编写。全书分为课程实(试)验、课程设计和专业实习三个部分,内容涉及地表径流模拟、地下径流模拟、水信息采集方法与技术、水力学实验、暴雨设计、洪水设计、水情预报技术、渗水试验、水资源评价、水文频率分析和生产实习、毕业实习等。

本书是水利类水文与水资源工程专业的实践育人综合指导教材,也可供水利类、地质类、环境科学与工程类、土木类、地理科学类、地质学类、地球物理学类师生使用。还可供水利、地质、环境、土木等相关领域工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文与水资源工程专业实践育人综合指导书 / 王栋
等主编. -- 北京:中国水利水电出版社, 2020.5
“十三五”江苏省高等学校重点教材 普通高等教育
“十三五”系列教材
ISBN 978-7-5170-8560-7

I. ①水… II. ①王… III. ①水文学—高等学校—教
学参考资料②水资源—高等学校—教学参考资料 IV.
①P33②TV211

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第078289号

书 名	“十三五”江苏省高等学校重点教材 普通高等教育“十三五”系列教材 水文与水资源工程专业实践育人综合指导书 SHUIWEN YU SHUIZIYUAN GONGCHENG ZHUANYE SHIJIAN YUREN ZONGHE ZHIDAOSHU
作 者	王栋 吴吉春 吴剑锋 王远坤 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
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.5印张 207千字
版 次	2020年5月第1版 2020年5月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	25.00 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

前 言

在高等学校水利学科教学指导委员会指导下，经广大教育工作者的协同努力，水文与水资源工程专业核心课程教材体系建设日趋完善。目前，实习实训、专业实践方面指导性教材相对偏少，特别是对于开设水文与水资源工程专业的综合性院校，可以使用的相关教材更少。根据目前国家对涉水专业人才培养的重大需求和发展形势，本教材专注实践育人综合指导。

本教材内容涉及水文与水资源工程专业多门核心课程或主干课程（水文学原理、水信息技术、水力学、水文统计、地下水动力学、水文水利计算、水文预报、水资源评价和管理、水文地球化学等），涵盖了课程试验、课程实验、课程设计、认识实习、生产实习和毕业实习。内容包括土壤水分特征曲线测定分析试验、土壤三相特性分析试验、非饱和土壤的入渗特性及渗吸速度测定试验、水文地质参数反演室内模拟试验、流速脉动实验、水位测量、流量测量、泥沙测验、沿程水头损失测定实验、雷诺实验、达西渗流实验、地下水主要阴离子分析实验、暴雨频率设计、设计暴雨过程线计算、设计洪水过程线推求、地下水资源评价、P-Ⅲ型分布参数估计试验等。本教材引用了有关院校和科研单位的教材成果和论著，并以参考文献形式列于最后，以利于学生深入理解并开展探究性学习。

本教材由南京大学王栋、吴吉春、吴剑锋、王远坤主编。全书共分为十二章。第一章由王远坤、蒋建国和王栋编写，第二章由徐红霞和王栋编写，第三章由王远坤和王栋编写，第四章由曾献奎、施小清和吴吉春编写，第五章由徐红霞和叶淑君编写，第六章由王远坤和王栋编写，第七章由陈扣平和吴剑锋编写，第八章由祝晓彬和吴剑锋编写，第九章由曾献奎和王栋编写，第十章由王远坤、王栋和吴吉春编写，第十一章由王远坤和王栋编写，第十二章由王远坤、王栋和吴剑锋编写。南京大学研究生陶雨薇、刘文月、贺新月、邱如健、李小兰、沈时、鞠小裴等提供了帮助。

中国科学院院士薛禹群教授、中国工程院院士张建云教高、河海大学董增川教授和陈元芳教授、天津大学冯平教授、武汉大学梅亚东教授主审全书，国内多位前辈和专家予以宝贵指导，编者谨致衷心感谢。中国水利水电出版社的编辑同志为本书的出版付出了大量辛勤劳动，在此一并表示诚挚感谢。

本教材的编写和出版还得到了南京大学和江苏省教育厅的高度重视与大力支持，特别是入选“十三五”江苏省高等学校重点教材立项建设，特此一并致谢。全体编写人员充分利用了夜晚、休息日、寒假和防疫抗疫特殊时期（减少了野外工作、出差出国等）的宝贵时间，全力以赴，认真编写，但囿于编者水平有限，加上专业实践育人综合指导教材编写是一项新探索，教材中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2020年2月

目 录

前言

第一部分 课程实(试)验

第一章 水文学原理实(试)验	3
第一节 土壤水分特征曲线测定分析实验	3
第二节 土壤三相特性分析试验	5
第三节 非饱和土壤的入渗特性及渗吸速度测定试验	6
第四节 水文地质参数反演室内模拟试验	8
第五节 地表径流及物质运移综合实验场	10
第二章 水文测验实验	11
第一节 流速脉动实验	11
第二节 测速垂线数对流量误差影响的实验	12
第三节 水位测量	13
第四节 流量测量	15
第五节 泥沙测验	17
第三章 水力学实验	25
第一节 沿程水头损失测定实验	25
第二节 雷诺实验	27
第三节 伯努利能量方程实验	29
第四节 静水压力试验	31
第四章 地下水动力学实验	34
第一节 达西渗流实验	34
第二节 裘布依型潜水稳定井流实验	36
第三节 渗水试验(野外)	38
第五章 水文地球化学实验	42
第一节 水质测验	42
第二节 地下水主要阴离子分析实验	48
第三节 地下水钙硬度、镁硬度分析实验	51

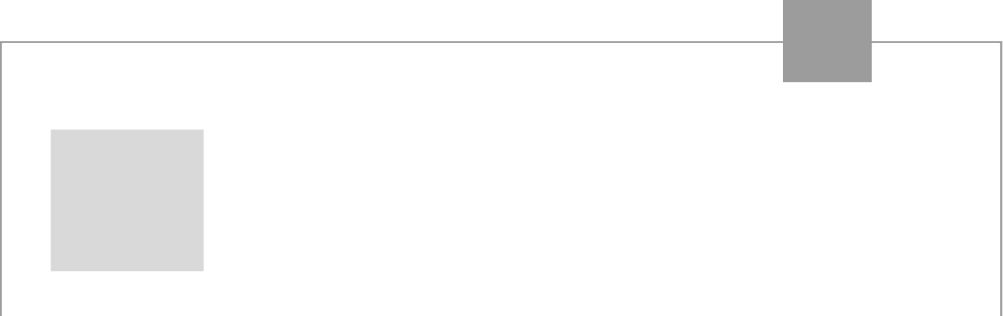
第二部分 课程设 计

第六章 水文水利计算课程设计	57
第一节 暴雨频率设计	57

第二节	设计暴雨过程线计算	61
第三节	产汇流计算	64
第四节	设计洪水过程线推求	72
第七章	水文预报课程设计	76
第一节	模型选择与分析	76
第二节	参数率定与验证	77
第三节	水文过程模拟与计算	79
第八章	水资源评价及管理课程设计	84
第一节	需水计算	84
第二节	地下水资源评价	89
第三节	水资源总量计算	95
第九章	水文统计学课程设计	97
第一节	P-Ⅲ型分布参数估计试验	97
第二节	水文时间序列相关关系试验	99
第三节	适线法估计参数优化试验	105

第三部分 专 业 实 习

第十章	认识实习	111
第十一章	生产实习	120
第十二章	毕业实习	124
参考文献	127

A decorative graphic consisting of a thin black rectangular frame. Inside the frame, there are two solid gray squares: one on the left side and one on the top right corner. A thin white horizontal line is positioned below the text '第一部分'.

第一部分

课 程 实 (试) 验

A grayscale background image of rolling sand dunes, creating a sense of depth and texture.

第一章

水文学原理实（试）验

第一节 土壤水分特征曲线测定分析实验

一、实验目的

- (1) 掌握测定含水率与吸力的方法。
- (2) 绘制含水率与吸力的关系曲线。

二、实验设备

1. 负压计

由陶土头、集气管和负压表三部分组成，如图 1-1 (a) 所示。陶土头为多孔透水材料；负压表量程为 100kPa，分度值为 2kPa；集气管用于收集仪器内真空。负压计的各部分及其连接部分在使用过程中一定要牢固，密封不漏气。在实验前需要对负压计进行排气处理及透气性能测试，然后将负压计的集气管中灌满无气泡水（煮沸后的冷却水即可），放置在盛有无气泡水的容器中备用。

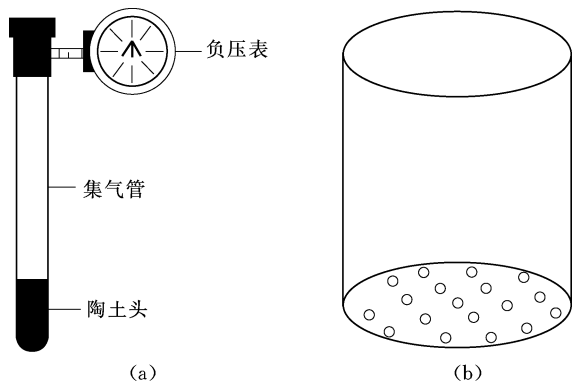


图 1-1 负压计和土罐

2. 土罐

实验采用有机土罐装扰动土样进行实验。土罐如图 1-1 (b) 所示，实验罐高 12cm，内径 10.2cm，罐底均匀地钻有 1.5mm 的小孔，以备湿润饱和土样用。

三、实验原理

1. 土壤水吸力测定

将灌满无气泡水的负压计插入土样后, 负压计中的自由水经过陶土壁与土壤水建立水力联系, 当仪器内外的势值趋于平衡时, 仪器中水的总水势 Φ_{wd} 与土壤中土水势 Φ_{ws} 应该相等。土水势的完整表述为

$$\Phi = \Phi_m + \Phi_p + \Phi_s + \Phi_g + \Phi_T$$

式中: Φ_m 、 Φ_p 、 Φ_s 、 Φ_g 、 Φ_T 分别为基质势、压力势、溶质势、重力势和温度势。

陶土头为多孔透水材料, 溶质也能通过, 因此内外溶质势 Φ_s 相等; 仪器内外温度势 Φ_T 相等; 陶土头中心的内外重力势 Φ_g 相等; 非饱和土壤中土壤水所受的压力为大气压(基准状态), 故土壤水的压力势为零, 仪器中自由水无基质势存在, 这样仪器中和土壤中的总势平衡可表述为

$$\Phi_{ms} = \Phi_{pd} = \Delta PD + z$$

式中: Φ_{ms} 为土壤水基质势; Φ_{pd} 为一期内自由水的压力势, 由负压表显示的吸力值(即负值 ΔPD , $\Delta PD < 0$) 和埋藏在水中的陶土管中心与土面以上负压表之间的静水压力(即水柱高 z , $z > 0$, 向上为正)组成。

按定义, 土壤水吸力为基质势的相反数, 因而即可测得土壤水吸力值 S 为

$$S = -\Phi_{ms} = -\Delta PD - z$$

2. 对应的体积含水率 θ 测定

土壤体积含水率 θ 为

$$\theta = \frac{\theta_g \gamma_c}{\rho_w} = \theta_g \gamma_c$$

其中

$$\theta_g = \frac{\Delta G_w}{\Delta G_s}, \quad \gamma_c = \frac{\Delta G_s}{\Delta V}$$

式中: θ_g 为质量含水率; ΔG_w 、 ΔG_s 分别为 ΔV 体积内的水分和固相物质质量; γ_c 为干容重; ρ_w 为水的密度, $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ 。

在实验中通过测定水分质量 ΔG_w 和固相物质质量(即干土质量) ΔG_s , 计算质量含水率, 再换算得到体积含水率。

四、实验步骤

1. 土样的装填

在罐底铺上一层普通滤纸, 将称好的土样分次装入罐中, 一般分 6 层装填, 每次装入 1/6 总质量的土样, 铺平后用直径比试样罐稍小的击锤夯实土样。装填完毕后, 刮平土壤表面, 盖上罐盖, 称重, 准确求得实际罐中土样的质量 M_s 。

2. 安装负压计

在试样罐中心线用小土钻钻一土孔, 孔径略小于陶土头直径。然后称重, 准确求得罐中最后土样的质量 M_i 。然后将负压计插入, 使陶土头与土样紧密结合。称重求得系统总质量 M_1 。

3. 配置预期的含水量

将系统置于盛水容器中，容器中的水面尽量接近土罐上沿，让其慢慢吸水、均匀，静置 1 天，土样基本可达到饱和。

4. 观测度数、称重测量含水率

将饱和后的系统拿出，擦干土罐表面，称重，计算出饱和含水率，然后将罐盖打开，放在系统置放槽，每天读一次数据。直到负压表的读数接近最大量程。

五、注意事项

- (1) 夯实土样时，罐周边土样除了用击锤夯实外，还应用棍棒进行捣实。
- (2) 浸湿土样时，确保容器水面不漫过土罐。

六、思考题

- (1) 本实验的误差来源有哪些？
- (2) 若实验从干燥土壤开始，在土壤吸收水分的过程中测定，则绘制的土壤水分特征曲线与本实验所得的曲线是否为同一条曲线？
- (3) 引起绳套现象（滞后作用）的可能原因有哪些？

第二节 土壤三相特性分析试验

一、实验目的

- (1) 掌握测定土壤密度的方法、了解土壤的疏密状况。
- (2) 掌握测定土壤含水率的方法。

二、实验设备

- (1) 环刀、天平、切土刀、钢丝锯、凡士林。环刀如图 1-2 (a) 所示。
- (2) 烘箱、称量盒、天平、削土刀。烘箱如图 1-2 (b) 所示。



图 1-2 环刀和烘箱

三、实验原理

1. 土的密度 ρ

$$\rho = (m_1 - m_2) / V$$

式中： ρ 为单位体积土的质量； m_1 为环刀加土的质量； m_2 为环刀的质量； V 为土的体积。

2. 土的含水率

土的含水率为土中水的质量与土粒质量之比：

$$\omega = m_w / m_s \times 100\%$$

式中： m_w 为水的质量； m_s 为烘干后土的质量。

四、实验步骤

1. 土的密度的测定——环刀法

(1) 按人工制备所需状态的扰动土样，其直径和高度应大于环刀的尺寸，整平其两端放在玻璃板上。

(2) 将环刀的刀口向下放在土面上，然后将环刀垂直下压，边压边切削，至土样上端伸出环刀为止。削去两端余土修平，两端盖上平滑的圆玻璃片，以免水分蒸发。

(3) 擦净环刀外壁，称环刀加土的质量，准确至 0.1g。

2. 土的含水率测定——烘干法

(1) 取代表性试样 15~30g 放入称量盒内，立即盖好。称湿土加盒的质量，精确至 0.1g。

(2) 揭开盒盖将试样放入烘箱，在温度 100~105℃ 下烘到恒重。

(3) 将烘干后的试样取出，放入干燥器内冷却，称出盒加干土质量，精确至 0.1g。

五、注意事项

(1) 环刀切取试样时，为防止扰动，应切削一个较环刀内径略大的土柱。

(2) 严禁用直刀在环刀土面上来回抹平。

(3) 测含水率时，取出烘干试样后要迅速测定，冷却时间不要太长。

六、思考题

(1) 对实验中可能存在的误差进行分析。

(2) 土的孔隙度如何计算？

(3) 土壤含水量可以用什么方法来表示？分别如何计算？

第三节 非饱和土壤的入渗特性及渗吸速度测定试验

一、实验目的

(1) 测定土壤的垂直入渗特性曲线。

(2) 掌握测定土壤吸渗和入渗速度的操作方法。

二、实验设备

渗吸速度测试仪、量杯、秒表，如图 1-3 所示。

三、实验原理

描述土壤入渗的过程可用考斯加可夫公式：

$$i_t = i_1 t^{-a}$$

式中： i_t 为入渗开始后时间 t 的入渗速度， i_1 在第一个单位时间土壤的渗透系数，相当于 $t=1$ 时的土壤下渗速度； a 为指数。

对公式取对数得：

$$\lg i_t = \lg i_1 t - a \lg t$$

实测的 $\lg i_t$ 、 $\lg t$ 应呈线性关系，该直线的斜率为 a 。

计算 t_a 、 t_b 时刻对应的 i_a 、 i_b ，代入上式得：

$$a = \frac{\lg i_b - \lg i_a}{\lg t_a - \lg t_b}$$

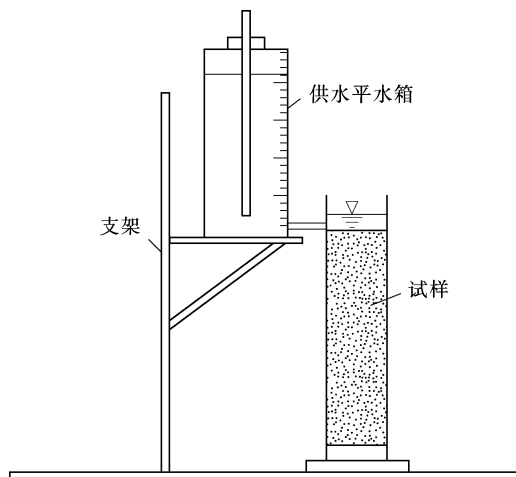


图 1-3 土壤入渗特性实验装置

四、实验步骤

- (1) 取自然风干土碾碎过筛，要求碎块直径不大于 2mm，测筒底铺滤纸，装土至给定深度，适当沉实，再盖上滤纸。
- (2) 在量杯内灌水，并关闭放水管和通气管，放在支架上。
- (3) 实验开始时同时完成：掀动计时秒表，迅速在测试仪中土样上建立水层 2cm。
- (4) 实验开始后，定时记载量杯中水量度数，时间间隔初期较短，以后逐渐加大，并记录间隔时间及水量度数。

五、注意事项

步骤 (3) 应同时进行，动作要迅速、准确、细心。

六、思考题

- (1) 非饱和土壤的总势由哪两部分组成？
- (2) 下渗曲线可以划分为哪三个阶段，各自的特点是什么？
- (3) 绘制下渗过程中的土壤水分剖面，并表示四个有明显区别的水分带。

第四节 水文地质参数反演室内模拟试验

一、实验目的

- (1) 观测有人渗补给的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, 并和实际值进行比较。
- (3) 求含水层的渗透系数 K 值。

二、实验设备

图 1-4 为渗流砂槽示意图, 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 M 测定总降雨量。

砂槽的两端装有活动的溢水装置, 分别用以稳定河 A 和河 B 的水位, 升、降可以控制两河水位的高低, 并通过进水阀门 K 控制供水水源。

槽底和后壁面沿流向按一定间距设有多组测压管。用软管连接测压管孔和测压管板, 可以测定渗流场中各点的测压水头。

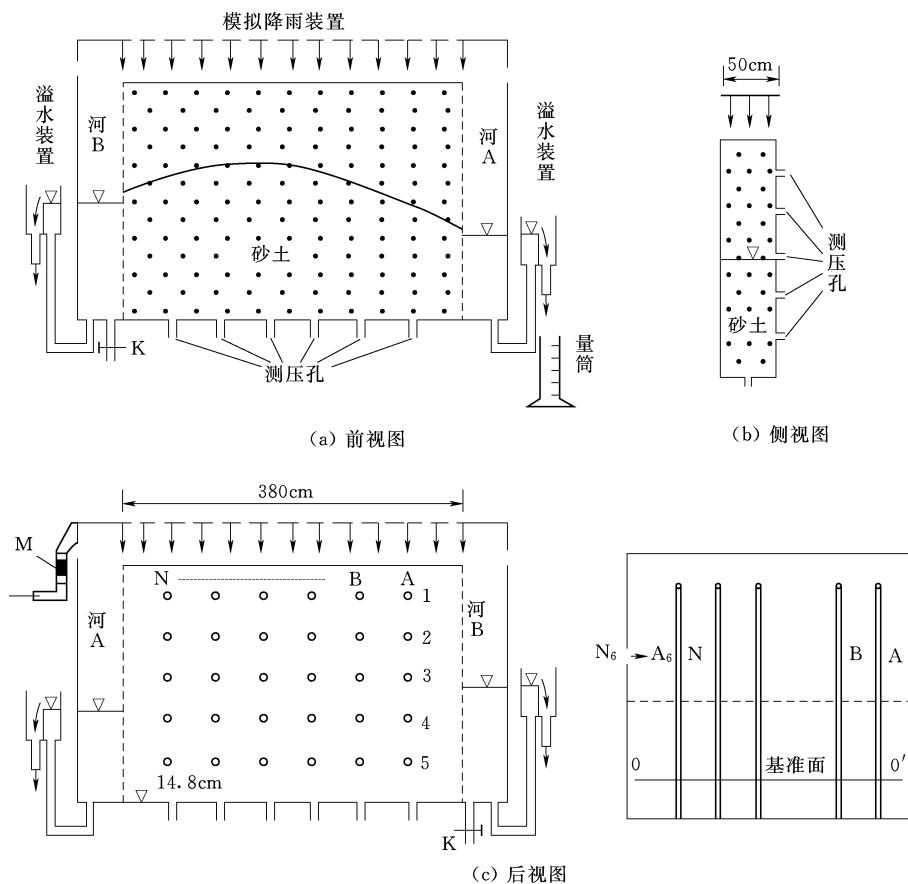


图 1-4 渗流砂槽示意图

三、实验原理

有人渗补给的河渠间潜水运动,若入渗均匀,可将潜水的运动视为稳定流,可根据如下公式计算 K :

$$h^2 = h_1^2 + \frac{h_2^2 - h_1^2}{l}x + \frac{W}{K}(lx - x^2)$$

通过测得三个点的水位数据,可求得渗透系数 K :

$$\frac{W}{K} = \frac{h^2 - h_1^2}{(l-x)x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(l-x)l}$$

式中: h_1 、 h_2 为两河水位; l 为河间矩; h 为潜水流厚度; x 为离左端起始断面处的距离。

若潜水水流为非稳定流,可根据潜水水位动态观测用有限差分法确定给水度 μ 。

$$\frac{\mu \Delta h}{K \Delta t} = \frac{W}{K} + \frac{h_1^2 - h^2}{(l-x)x} + \frac{h_2^2 - h_1^2}{(l-x)l}$$

四、实验步骤

- (1) 领取量筒和秒表。
- (2) 检查并排除测压管内可能存在的气泡。
- (3) 观察有人渗补给、两河水位相等条件下,河间地块分水岭的位置及潜水面形状。
- (4) 用秒表和量筒测定河流排泄量,以求 W 值 ($W=Q/T$)。
- (5) 由转子流量计 M 读降雨量 Q 。
- (6) 升降溢水装置 A 或 B ,使 A 水位高于 B ,观察测压管水位变化,待稳定后各测压管度数。
- (7) 升降溢水装置 A 或 B ,使 A 水位降低,观察测压管水位变化,记录 Δt 和测验管的 Δh 。

五、注意事项

- (1) 注意两河间的高差不要太大。
- (2) 第(6)步应等水位稳定后再读数。

六、思考题

- (1) 根据非承压含水层的厚度和透水性,以及含水层相对于地表水体的位置,可将地下水与地表水之间的关系分为哪几种情况?
- (2) 简要描述承压含水层的水文特征。
- (3) 影响含水层渗透系数的主要因素有哪些?

第五节 地表径流及物质运移综合实验场

一、实验目的

- (1) 观测水循环过程及地表径流形成过程。
- (2) 观测在径流作用下, 物质的运移过程。

二、实验设备

活动槽、塑料草坪、水量平衡计算设施、降水喷头、水塔。

三、实验原理

径流是由降水形成的, 在重力作用下沿一定方向和路径流动的水流。其中, 沿着地面流动的水流称为地表径流。流域内, 自降雨开始到水流汇集到流域出口断面的过程, 称为径流形成过程。通过搭建实验场地, 开展降雨、入渗、地表径流等要素的流域水循环实验。

四、实验步骤

- (1) 搭建降雨径流实验装置。
- (2) 改造下垫面, 使活动槽内的流域为羽毛形流域, 用塑料草坪模拟标准下垫面。
- (3) 搭建降水系统, 水源由稳定高程的水塔供水, 降水装置由降雨喷头组成, 摇动连杆应均匀摆动。
- (4) 铺设水量平衡计量设施, 测定所有径流总量, 径流总量由标定的水尺人工读数。

五、注意事项

- (1) 降雨模拟时, 应均匀设置喷头, 控制降雨强度均匀。
- (2) 水塔供水时, 应保证水压稳定。

六、思考题

- (1) 水文循环的内、外因分别是什么?
- (2) 简要描述泰森多边形法计算区域(流域)平均降水量。
- (3) 降水的基本要素包括什么?