

www.jccbs.com.cn
免费课件下载

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

SHUIHUANJING

SHIYAN JISHU

水环境实验技术

主 编 王利平 陈毅忠

副主编 杜尔登 许 霞 甄树聪

中国建材工业出版社

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

水环境实验技术

主 编 王利平 陈毅忠

副主编 杜尔登 许 霞 甄树聪

中国建材工业出版社

元 08.80 价 定

图书在版编目 (CIP) 数据

水环境实验技术/王利平, 陈毅忠主编. —北京:
中国建材工业出版社, 2014. 11

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

ISBN 978-7-5160-0958-1

I. ①水… II. ①王…②陈… III. ①水环境-实验-
高等学校-教材 IV. ①X143-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 196311 号

内 容 简 介

本书以环境科学与工程教育和技术应用为出发点, 站在学者的高度, 从读者的角度, 全面系统地介绍了水环境科学与工程实验技术和方法, 强调将实验设计原理、数据分析处理与具体水处理实验应用案例相结合, 解决落实实验项目中科学的技术路线方案和规范的实验报告。通过简要概述科学研究方法和科技论文写作的基本要求, 加强科学研究型拓展实验项目的训练, 提高科技论文写作的基本能力, 达到创新型人才培养的目的。

本书特色主要体现在: 以水环境科学与工程为出发点, 在介绍基本理论知识的基础上, 通过设计具体的实验案例融入相关部分, 使理论与应用有机结合, 提高实用性; 围绕当今热点的水环境污染问题和相关课题研究的主要方向, 增设了拓展性探索和创新项目内容, 强化科技创新内涵; 实验与研究相结合, 丰富科学研究思想, 增强系统性。

本书适合作为环境科学与工程、给排水科学与工程等相关专业本科生和研究生教材或教学参考书及大学生科技创新活动指导用书, 也可供相关领域的科研和工程技术人员参考。

水环境实验技术

王利平 陈毅忠 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 12

字 数: 298 千字

版 次: 2014 年 11 月第 1 版

印 次: 2014 年 11 月第 1 次

定 价: 43.80 元

本社网址: www.jcbs.com.cn 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

进入 21 世纪, 由于科学技术发展的突飞猛进以及城镇化进程的加快, 社会生产力得到不断提高, 极大地加速了社会经济的增长, 也为人类创造了前所未有的物质财富, 大大地推进了社会文明的进程, 可以说, 人类社会已进入空前发展的新时代。然而, 在经济的快速发展和人类物质财富的不断积累过程中, 环境污染问题对社会的可持续发展产生了严重的影响。当今, 人类、资源、环境与可持续发展问题已经波及全球的每个角落, 成为影响人类社会现今和未来生存发展的重大问题。因此, 环境治理显得极其重要。

水环境是指自然界中水的形成、分布和转化所处空间的环境, 是指围绕人群空间及可直接或间接影响人类生活和发展的水体, 及其正常功能的各种自然因素和有关社会因素的总体。亦指相对稳定的、以陆地为边界的天然水域所处空间的环境。水在地球上处于不断循环的动态平衡状态。天然水的基本化学成分和含量, 反映了它在不同自然环境循环过程中的原始物理化学性质, 是研究水环境中元素存在、迁移和转化对环境质量(或污染程度)与水质评价的基本依据。水环境是构成环境的基本要素之一, 是人类社会赖以生存和发展的重要条件, 也是受人类干扰和破坏最严重的领域。水环境的污染和破坏已成为当今世界主要的环境问题之一。

水环境实验技术是给排水科学与工程、环境工程及相关学科的重要组成部分, 是科研和工程技术人员解决水环境中水质质量检测评价、水处理工艺方案以及研发水环境污染治理创新技术等问题的一个重要手段。许多水环境污染现象解

释, 污染治理技术、处理方案、装备设计参数和操作运行方式的确定等, 都需要通过实验测定和分析, 才能较合理地进行工程设计, 取得预期的处理效果。鉴于此, 编者针对水环境领域的水质科学及工程问题, 编写了《水环境实验技术》一书, 以供高等院校相关专业师生和科研及工程技术人员选用、参考。

本书按照教育部和专业指导委员会关于高等学校本科专业教学规范的建议编写。内容主要包括: 水环境科学研究方法、实验设计研究与数据分析处理、水样的采集与保存、水处理实验、研究型拓展实验、论文写作等方面。为加强学生科技创新实践能力的培养, 在基本的检测性、验证性和演示性实验基础上, 结合作者近年来承担完成的科研项目, 增选了一些设计性、研究性和创新性拓展实验, 以供有潜能和愿望的本科生、研究生及技术人员选用学习。

本书由王利平、陈毅忠担任主编, 杜尔登、许霞、甄树聪担任副主编。编写过程中, 研究生李祥梅、章滢、刘静静、沈肖龙、任娅娜等参与了录入、绘图、校对等工作。本书的编写还参考了一些专家、学者的相关文献资料和研究成果, 在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限和时间仓促, 书中不妥之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编者
2014 年 10 月

目 录

第1章 水环境工程实验的教学目的与要求	1
1.1 实验的教学目的	1
1.2 实验的基本程序	1
1.3 实验的教学要求	2
1.4 研究性拓展实验思路	3
1.5 实验的安全管理及保障措施	5
第2章 科学研究方法概论	7
2.1 概述	7
2.2 研究方法	7
2.3 研究方向的选择与确定	13
第3章 实验设计	16
3.1 实验规模的确定	16
3.2 优化实验设计原理	17
3.3 单因素优化实验设计	17
3.4 双因素优化实验设计	19
3.5 正交实验设计	22
第4章 实验数据分析处理	29
4.1 实验数据误差分析	29
4.2 实验数据整理	33
4.3 实验数据处理	37
第5章 水样的采集与保存	53
5.1 水样的采集	53
5.2 水样的保存	55
第6章 水处理实验	61
6.1 混凝实验	61
6.2 自由沉淀实验	67
6.3 过滤实验	71
6.4 活性炭吸附实验	76
6.5 加氯消毒实验	80
6.6 臭氧消毒实验	82
6.7 电渗析实验	86
6.8 强酸性阳离子交换树脂交换容量的测定	91

6.9	软化实验	93
6.10	气浮实验	96
6.11	活性污泥性质的测定	100
6.12	污泥厌氧消化实验	103
6.13	完全混合曝气池污水处理实验	108
6.14	酸性污水升流式过滤中和及吹脱实验	111
6.15	加压溶气气浮实验	114
6.16	空气扩散系统中氧的总转移系数的测定	117
6.17	废水化学需氧量的测定	119
6.18	含重金属酸性废水处理实验	121
6.19	水体自净程度指标的测定	123
6.20	SBR 反应器污水处理实验	128
第 7 章	研究性拓展实验	131
7.1	甲萘酚废水处理方法的探究	131
7.2	湖泊型原水中蓝藻处理方法的探究	132
7.3	印染废水处理方法的探究	133
7.4	垃圾渗滤液处理方法的探究	134
7.5	油田废水处理方法的探究	134
7.6	重金属固体废弃物处理方法的探究	135
7.7	重金属污染土壤修复方法的探究	136
7.8	矿井水回用处理方法的探究	138
7.9	污水处理厂污泥处理方法的探究	138
7.10	污染物来源示踪方法的探究	140
第 8 章	水环境数学模型及模拟	141
8.1	数学模型简介	141
8.2	水环境系统数学模型的作用和应用现状	142
8.3	专业应用软件的发展及现状	148
第 9 章	科技论文写作	154
9.1	论文内容	154
9.2	科技论文写作中的注意事项	160
9.3	论文写作助手——科技论文管理软件	161
附表 1	常用正交实验表	164
附表 2	离群数据分析判断表	171
附表 3	F 分布表	173
附表 4	相关系数检验表	182
参考文献		183

第1章 水环境工程实验的教学目的与要求

1.1 实验的教学目的

水环境工程是建立在实验及科学研究基础上的学科。许多水体水量、水质变化规律,水环境污染现象的解释,水污染治理工艺及技术,水处理设施、设备的设计参数和操作运行方式的确定,都需要通过实验的方法和科学的研究来解决。例如,水处理中絮凝沉淀所用药剂种类的选择和生产运行条件的确定,以及催化氧化技术处理工业高浓度有机废水时工艺参数的确定等,需要通过实验测定和分析,才能较合理地进行工程设计,正确地指导运行管理。

水环境工程实验是环境科学与工程学科和给排水科学与工程学科的重要组成部分,是科研和工程技术人员解决水环境污染治理中各种问题的重要手段之一。通过实验研究,可以解决的主要问题有:

- ① 掌握水体中污染物的迁移转化规律,为水环境资源保护和利用提供依据。
- ② 掌握水处理过程中污染物去除的基本规律,以改进和提高现有的处理技术和设备。
- ③ 研发新的水处理工艺、技术和设备。
- ④ 实现水污染控制与治理设备的优化设计和优化控制。
- ⑤ 解决水环境污染治理技术开发中的放大问题。

1.2 实验的基本程序

为了更好地实现教学目标,使学生学好本课程,下面简要介绍关于实验工作的基本程序。

(1) 实验选题

实验的选题应在符合本学科专业培养方案基础上,适当增加学科前沿探索性拓展实验,以提升学生的科技创新能力培养。选题通常来源于专业教学计划要求、实际需要、理论需要、个人经验和前人的研究与文献资料等。

(2) 提出问题

根据已经学习掌握的相关知识,针对实验选题提出打算验证的基本概念、原理或探索研究的问题。

(3) 设计实验方案

确定实验选题和目标后,要根据人力、设备、药品和技术能力等实验条件的具体情况进行实验方案的设计。实验方案应包括实验目的、实验装置、材料与药剂、实验步骤、测试项目和测试方法等内容。

(4) 实验研究

- ① 根据设计好的实验方案组织实验, 按时进行项目测试。
- ② 记录收集实验数据, 观测实验现象。
- ③ 及时整理分析实验数据。

实验数据的可靠性和定期整理分析是实验工作的重要环节, 实验者必须经常用已掌握的基本概念分析实验数据。通过数据分析和实验现象研究加深对基本概念的理解, 并发现实验设备、操作运行、测试方法和实验方向等方面的问题, 以便及时解决, 使实验工作能较顺利地进行完成。

(5) 实验总结

通过系统分析实验数据, 对实验结果进行评价。实验总结的内容主要包括:

- ① 通过实验掌握了哪些新的知识。
- ② 是否解决了提出研究的问题。
- ③ 是否验证了理论上的基本概念和原理或证明了文献中的某些论点。
- ④ 实验结果是否可用于改进已有的工艺设备和操作运行条件或设计新的水处理设备。
- ⑤ 当实验数据不合理时, 应分析原因, 提出新的实验方案。
- ⑥ 编制实验报告书。

1.3 实验的教学要求

水环境工程实验的教学要求一般包括以下几个方面:

(1) 课前预习

为完成好每个实验, 学生在课前必须认真阅读实验指导书, 清楚地了解实验项目的目的要求、实验原理、实验内容、测试项目和方法、实验步骤和注意事项等, 熟悉实验记录表格, 写出简明的预习提纲。

(2) 实验设计

实验设计是实验研究的重要环节, 是获得满足要求的实验结果的基本保障。在实验教学中, 宜将此环节的训练放在部分实验项目完成后进行, 以达到使学生掌握实验设计方法的目的。

(3) 实验操作

学生实验前应仔细检查实验设备、仪器仪表是否正常齐全, 实验材料和药剂是否满足实验要求。实验时要严格按照操作规程认真操作, 仔细观察实验现象, 精心测定实验数据, 并详细填写实验记录表。实验结束后, 要将实验设备和仪器仪表恢复原状, 将周围环境整理干净。学生应注意培养自己严谨的科学态度和协作精神, 养成良好的学习和工作习惯。

(4) 实验数据处理

通过实验取得大量数据后, 必须对实验数据进行科学的整理分析, 去伪存真, 去粗取精, 优化工艺参数, 以得到正确和可靠的结论。

(5) 编写实验报告

实验报告的编写是实验教学中必不可少的环节。这一环节的训练可为学生今后写好科技论文或科研报告打下基础。实验报告应包括: 实验项目、实验目的、实验原理、实验装置和方法、实验仪器和材料、分析项目和方法、实验数据处理、实验结果与讨论以及建议等。

1.4 研究性拓展实验思路

环境类学科是综合性很强的学科,然而长期以来,水环境工程实验的教程形成了一种传统的模式,那就是:提出实验的目的要求、阐明实验的基本原理、描述实验的仪器设备并介绍实验的方法和步骤。学生阅读了这样的教材后,只要按部就班的在实验室按照已安排好的仪器设备上进行运行操作、取样检测、记录数据,并进行适当的数据处理,就可以得出结果,完成实验工作。这样的实验教材,对于让学生初步学习如何进行实验、学会基本仪器的使用、加深对理论的了解都是有益的,也是必要的。但仅有这样的实验教材是不够的,它在一定程度上限制了学生的主动性与积极性,难以激发学生独立思考问题的兴趣和激情,更难以拓展学生对学科前沿知识的学习和技术探索,因而不利于创新人才的培养。

本教程针对环境类本科教育培养目标和培养方案的基本要求,在满足一般的演示性、检测性和验证性实验的基础上,增加了设计性和研究性拓展实验。对于设计性研究性实验,要求学生通过查阅有关书籍、文献资料,了解和掌握与课题有关的国内外技术状况、发展动态,并在此基础上,根据实验课题要求和实验室条件,提出具体的实验方案设计,包括实验方案技术路线、实验条件要求、实验内容和目标、关键技术问题、实验计划进度等。虽然这种实验一般要花费较多的时间,而且往往不是一般风顺的,但却是培养学生独立开展科学研究工作能力,特别是创新能力所必需的。通过这样的实验活动,学生能系统学习相关理论知识,深入理解水环境科学与工程原理,提高自学能力、动手能力、设计能力和实验技能,激发创新精神,拓展国际视野。

设计性研究性实验的研究报告内容应包括:课题的调研、实验方案的设计、实验过程的描述、实验平台的构建、实验结果的分析讨论、实验结论与建议、参考文献、致谢等。

设计性研究性实验,是学生经历“三个全面”的过程,即全面分析研究问题的过程、实验技能得到全面锻炼的过程、综合能力得到全面提升的过程。具体的培养方式和要求有以下几方面。

(1) 实验题目和内容

实验题目的设计是设计性研究性实验的关键。实验题目要体现内容新、难度适中和可操作性强。内容要结合学科的发展,使学生能体会到学科发展的最新动态;难度适中体现在适合本科生的实际水平,通过努力使学生有信心、有能力完成,并得到相应的锻炼;可操作性要求实验题目与实验室的条件、指导教师的研究方向相一致,避免出现实验过程失控的现象。

实验内容要以水环境科技的发展方向、教师承担的研究项目、学生申报的科技创新计划和现有基础为依托,并结合本科生创新人才的培养要求而确定。开设设计性研究性实验,每个实验课题宜在一个大题目下,设若干个子题,当参加实验的学生较多时,可以避免出现题目重复的现象,确保实验质量,使每名学生有均等牵头负责组织实验的机会,同时也有利于实验难度和可操作性的控制。

(2) 实验方案的讨论与确定

组织学生进行实验方案的讨论是设计性研究性实验的另一关键点。本科生不同于研究

生,提出的实验方案会出现诸多方面不合理的问题,需要指导老师予以具体分析,积极引导,协助学生确定一个切实可行的实验方案。同时,实验方案的讨论也是对学生发现问题、分析问题、创新能力和协作精神的重要培养锻炼过程。

(3) 实验目标与要求

合理制定实验目标是顺利完成设计性研究性实验的保障。首先,独立查阅与检索文献。学生应在了解实验背景、目的及基本内容后,学习和掌握文献资料的查阅、检索和应用,独立进行文献查阅与检索工作,完成实验方案的设计;其次,自主进行实验研究。在巩固实验操作技能的基础上,学习实验研究技术。在指导教师辅助与引导下,自主完成实验平台的构建、分析测定试剂的配制与仪器准备。自主运行实验装置,掌握实验数据的记录方式、数据整理与分析方法。在指导教师的督导下,学习掌握相关大型仪器的分析操作技能;第三,科学分析与推导。要求学生学习和初步掌握对实验数据的科学分析与推演方式。掌握依据实验结果推演到结论的科学思维过程,巩固所学的基础知识和相关专业知 识,培养和提高科学研究能力;第四,创新思维 and 能力的提高。通过整个实验研究过程,培养和锻炼发现问题、分析问题和解决问题的综合能力,使学生的主观能动性、创新思维和科研能力得到激发和提高。

(4) 教学过程

组织好教学过程是设计性研究性实验的重要环节。首先,查阅资料提出实验方案。这一过程要求学生通过查阅有关书籍、文献资料,了解和掌握与课题有关的国内外技术状况、发展动态,并在此基础上,根据实验课题要求和实验室条件,提出具体书面实验方案设计,包括实验工艺技术路线与实验装置、实验条件要求、测试分析项目和方法、实验计划进度等;其次,对方案的讨论确定。指导教师在 对实验方案审议的基础上,组织学生开展讨论。由学生介绍实验方案,指导教师根据可行性、实验室条件等因素对方案进行修正,使之具有可操作性,达到实验目的的要求,在尊重学生思路和实验要求的前提下,确定最终的实验方案;第三,组织开展实验。按确定的实验方案,由学生自己动手准备必要的实验材料、搭置实验平台,开展具体的实验和测试工作。指导教师负责现场指导,解答学生实验中遇到的难题,启发学生深入思考。创造必要的实验条件,如分析条件、必要的实验材料、药剂等;第四,实验总结。由学生自主对实验数据进行分析、总结,教师负责进行指导和答疑,使学生分析问题的能力得到锻炼和提高,最终按要求编写出实验研究报告。

(5) 注意事项

① 实验时数和人数。与验证性、演示性等传统实验不同,设计性研究性实验要经过资料查阅、方案讨论、较长的实验过程和总结阶段等。因此,需要安排足够的时间保证开放性实验教学质量。实验时数应根据实验选题确定,每个选题宜控制在 12~36 学时(包括课外学时数),建议课堂与课余相结合,以大学生课外科技实践、开放实验为主。为确保在实验过程中学生得到独立的锻炼,一个子课题的实验人数以 3~5 人为宜。

② 实验条件。设计性研究性实验课题方向较多、内容较新,实验过程所需要的实验装备种类较多,先进性要求也较高,创造较好的实验条件是综合、开放性实验开设成功的重要保障。同时,在学生设计实验方案之前,应将实验条件告知学生,避免出现实验方案与实验条件脱节,挫伤学生实验积极性的现象。

对于工艺性实验,为避免学生在分析测试上耗费过多的时间,在有限的时间内达到实验目的,在实验条件上需要创造较好的实验分析条件,包括提供部分已配置好的分析试剂等。

1.5 实验的安全管理及保障措施

(1) 加强实验教学中的安全教育

要坚持“安全第一,预防为主”的方针,在水环境工程监测实验教学中,要教育学生牢固树立安全意识、环保理念,使学生能自觉地遵守实验室安全规章制度,保护环境。在实验过程中,要经常提醒学生规范操作,注意人身安全及设备安全,不乱丢乱倒废液,能回收的尽量回收,不能回收的要集中收集后统一进行无害化处理后排放。实验结束后,指导教师要求学生全面清洁卫生,关闭水、电、气源,检查无安全隐患后方可离开实验室。实验室工作人员要注意实验室安全,加强安全管理,做到警钟长鸣,以期真正达到防患于未然的理想状态。

(2) 加强化学试剂的安全管理

由于化学试剂大多具有一定的毒性和危险性,若管理或使用不慎,将会造成环境污染,而且有可能危及师生的生命健康和国家财产的安全。因此,应高度重视实验室中化学试剂的安全保障措施。水环境工程实验中涉及的危险化学试剂主要有汞的安全管理、腐蚀性酸碱试剂的管理、有毒有害试剂的管理和易燃易爆试剂的管理等。

(3) 加强气瓶的安全保障措施

在水环境工程实验中涉及测定污水中的铜、锌、铅、镉等重金属元素时要用原子吸收分光光度计,测定水中苯系物时要用气相色谱仪。使用原子吸收分光光度计和气相色谱仪分别要用乙炔、笑气和氢气,这些气体都是压缩气体,如操作不慎,有可能造成爆炸事故。因而,气瓶的安全管理显得尤为重要。气瓶必须存放在阴凉、干燥、严禁明火、远离热源的房间,且各类不同的气瓶不能混杂存放;使用中的气瓶要直立固定放置,严禁横卧滚动;开启高压气瓶时应站在气瓶出口的侧面,动作要慢,以减少气流摩擦,防止产生静电;气体应在贮存期限内使用,气瓶应定期作技术检验,耐压试验,确保气瓶的质量安全。

(4) 加强电气的安全保障措施

水环境工程实验中要用到易燃易爆的物质,如有机溶液、高压气体等,又要用到许多仪器,如原子吸收分光光度计、气相色谱仪、测汞仪、酸度计、溶氧仪、浊度仪、恒温箱等。因此,保障电气安全对人身及仪器设备的保护都是非常重要的。使用烘箱和高温炉前,必须确认自动控温装置可靠。同时还需要人工定时监测温度,以免温度过高。不得把含有大量易燃易爆溶剂的物品放入烘箱和高温炉加热。严禁乱接电源,要经常检修、维护线路以及通风、防火设备等。实验结束,要及时切断电源、气源、火源等,消除火种,关闭门窗。

(5) 加强废弃物的清理处置工作

在实验教学过程中,根据实际情况要尽可能使实验微型化,加大实验室的“三废”处理力度。对于实验结束后的废弃试剂要经过化学处理才能排放掉,对于不能处理的废弃化学药品要统一收集,妥善保管。如实验结束后对剩余的废酸、废碱等,把它们收集起来,然后让它们发生中和反应后再排放掉,消除废弃化学试剂中过酸、过碱对管道、水质、土壤造成的腐蚀和污染;对剩余的有剧毒试剂如氯化汞、四氯汞钾溶液,要集中起来处理,避免对环境

造成危害；对有机溶剂如乙醇、氯仿等，应分类收集、集中回收，这样既可使废物得到利用，同时又使环境免受污染；废渣要采用掩埋法，有毒的废渣必须先进行化学处理后深埋在远离居民点区的指定地点，以免毒物溶于地下水而混入饮水中，无毒废渣可以直接掩埋，掩埋地点应有记录。切实做好实验室废弃物的清理处置工作，防止实验性废弃物污染，实现实验教学的绿色化。

第2章 科学研究方法概论

2.1 概述

科学研究是对某一指定的对象(实物和现象)进行的研究过程,是对新知识的探求、探知。其目的是揭示研究对象的发生、发展、变化及改造的规律性,利用其规律性造福于人类社会。科学研究通常分为理论研究和实验研究,两者互相联系,互相影响,互相补充。实验研究是对新事物认识的积累,通过对实验结果(实验数据)的分析、综合和总结,最后找出可用于实践的规律。实验研究是建立并检验该理论真实性,以及进一步发展和完善的基础。理论研究是对实验研究进行知识的综合,进而形成普遍的规律性。理论研究是对实验结果的阐述和概括,进行事物之间的本质联系,并对以后的实验研究具有指导意义。

科学研究是一种高度复杂而又难以捉摸的活动,尤其对于初次进行科学研究的人员来说,对研究的目的、程序、方法并不十分明确。这时需要请教有经验的研究人员,在他们的指导下进行工作,但不能过分依赖他人,因为每个人的创造力不同,所采用的研究方法也不同,甲所遵循的方法对乙不一定适用,不同的学科,不同的问题需要不同的研究方法。当然,协同精神、发挥各自的特长也是很重要的,这一点类似设计院工作的性质。

掌握并运用良好的科学研究方法,可以发挥研究人员的创造性,使研究方向明确,工作顺利,事半功倍,以最短的时间达到预期的目的。而拙劣的研究方法会阻碍创造能力的发挥,使得研究工作缺乏总体设想,进展缓慢,误入歧途甚至半途而废。

所以掌握并熟练运用正确的研究方法和思维技巧,对每个研究人员来说都很重要的,是必备的基本素质,特别是作为未来研究工作的研究生显得尤为重要。

2.2 研究方法

所谓的研究方法,很明显就是科学工作者在从事某项科学发现时所采用的方法。但是,这个过于简单的说明对我们没有多大帮助。能不能对这个问题作出更详细的说明呢?我们可以描述一下这个问题的一个理想答案。

① 在进行科学研究时,应当首先认识到问题的存在。

例如,在研究物体的运动时,首先应当注意到物体为什么会像它所发生的那样进行运动,即物体为什么在某种条件下会运动得越来越快(加速运动),而在另一种条件下则会运行得越来越慢(减速运动)。

② 要把问题的非本质方面找出来,加以剔除。例如,一个物体的味道对物体的运动是不起任何作用的。

③ 要把你能够找到的、同这个问题有关的全部数据都收集起来。在古代和中世纪,这一点仅仅意味着如实的对自然现象进行敏锐观察。但是进入近代以后,情况就有所不同了,

因为人们从那时起已经学会去模仿各种自然现象,也就是说,人们已经能够有意地设计出种种不同的条件来迫使物体按一定的方式运动,以便取得与该问题有关的各种数据。

例如,可以有意让一些球从一些斜面上滚下来。这样做时,既可以用各种大小不同的球,也可以改变球的表面性质或者改变斜面的倾斜度等。这种有意设计出来的情况就是实验,而实验对近代科学起的作用是如此之大,以至人们常常把它称为“实验科学”,以区别于古希腊的科学。

④ 有了这些收集起来的数据,就可以作出某种初步的概括,以便尽可能简明地对它们加以说明,即用某种简明扼要的语言或者某种数学关系式来加以概括。这也就是假设或假说。

⑤ 有了假说以后,你就可以对以前未打算进行的实验的结果作出推测。下一步,你便可以着手进行这些实验,看看你的假说是否成立。

⑥ 如果实验获得了预期的结果,那么,你的假说便得到了强有力的事实依据,并可能成为一种理论,甚至成为一条“自然定律”。

2.2.1 科学研究的普遍方法

唯物辩证法是科学研究的普遍方法。唯物辩证法是科学的世界观,也是科学研究的方法论,为我们搞科学研究提供了研究方法的总原则。

唯物辩证法是全面的深刻的毫无片面性弊病的发展学说,它告诉我们要分析事物内部各方面之间矛盾诸方面的联系,分析事物的质和量,现象和本质,形式和内容,原因和结果,偶然和必然,可能性和现实诸方面的联系。

唯物辩证法是科学研究的正确指南,是帮助我们揭示各种事物复杂联系的显微镜和望远镜。只有自觉应用唯物辩证法,才能客观地、全面地、深刻地观察事物,才能发现事物内部的规律性。

唯物辩证法不能代替具体科学,更不能代替具体科学的具体研究,而只能以唯物辩证法为指导,对所研究的现象进行调查研究,揭示具体事物本身固有的而不是臆想的内在联系和规律。只有进行大量的观察和实验,获得丰富的资料和数据,运用唯物辩证法进行分析和研究,才能揭示事物内部的固有联系,才能认识事物的特殊本质和规律。

2.2.2 科学研究的逻辑方法

1. 分析和综合

整体和部分自然界普遍存在的一对基本的矛盾。作为思维操作的分析综合,是思维主体对认识对象按一定目标进行的这样或那样的分解和组合。

分析是把客观对象的整体在一定条件和目标下,分解为一定部分、单元、环节、要素并加以认识的思维方法。也就是通过思维将所研究的事物或对象分解成若干个组成单位。

综合是在分析的基础上,按一定条件和目标把对客观对象一定部分、单元、环节、要素的认识联结起来,形成对客观对象统一整体认识的思维方法。也就是通过思维把分析时分解的事物或现象的个别部分结合成为一个整体,建立它们之间的联系,并作为一个统一体加以认识的方法。

分析和综合是相互联系的,是一对对立统一的思维过程,纯粹的综合和纯粹的分析都是错误的。

传统分析综合方法的逻辑起点是分析,逻辑程序是先分析后综合,分析到综合是一个单

向进行的思维过程。

系统分析的逻辑起点则是综合，其逻辑程序是综合 $\Rightarrow$ 分析 $\Rightarrow$ 综合双向并存和反馈。

在对某一事物或现象进行分析之前，我们对作为统一整体的研究对象已经有了一些认识、看法和想象，所以，从研究开始时，分析已经和综合统一进行了。在得到研究对象某些单元的最初分析结果后，我们就可以进行总结，即进行综合。

例如在混凝实验中，原水浊度、投药种类、投药量、水温、pH值、反应时间、水力搅拌条件等都对混凝效果有影响。如果想同时考虑这些因素的影响，试图求出所要最佳工作条件，就会使实验变得复杂，增加实验次数，结果误差大，达不到预期的目的。为使问题简单化，通常，我们可以固定其中某些因素，求某一个或几个因素的影响程度、取值范围和最佳条件，这就是分析。在分析之前，我们已经认识到影响出水水质的并不是某个单独因素，而是众多因素共同作用的结果，所以在分析时已经在进行综合。

将各因素的影响程度，取值范围和最佳条件确定之后，我们就可以在较小的范围内，研究各因素共同起作用时对出水水质的影响，找出最佳工作条件，这就是综合，是在分析基础上的综合。通过对实验数据的处理，求出出水水质和各影响因素之间关系的函数表达式，即数学模型。这个数学模型可以指导下一步的研究工作，也可以作为水厂设计和运行管理的依据。

2. 归纳和演绎

归纳是一种推理，是从个别或特殊的事物概括出共同本质或一般原理的逻辑思维方法，逻辑学上又叫归纳推理。具有不确定性、偶然性。

归纳经历了四个历史阶段：

① 亚里士多德最早提出简单枚举法和直觉归纳。

② 穆勒关于研究因果联系的“穆勒五法”（求同法、求异法、求同求异法、剩余法、共变法）。

③ 科学归纳法，即分析方法或抽象方法和归纳方法的综合，它可以通过“解剖一只麻雀”或对理想模型分析，得到具有必然性的科学推论。

④ 概率推论（将概率引入归纳过程）有代表性的两种：一是赖欣巴赫采用的“频率概念”；另一种是卡尔纳普采用的“确证度”概念。

例如，生活污水排入河流后，河水有机物浓度是否变化，怎样变化，是否有一般性规律。经测定发现，有机物排入水体后，有机物浓度逐渐降低，河水具有自净能力。这就是归纳，是从几条河流（个别的或特殊的前提）有机物浓度变化的趋势得出水体（普遍的）具有自净能力这样一个一般性的结论。

演绎是一种科学的认识形式，是根据已有的一般原则去推论个别事物的方法，即从一般到特殊的推理。

最早的演绎法是亚里士多德在其形式逻辑中阐明的三段论。三段论从前提到结论是从一般到特殊的演绎推理。只要前提为真，又遵从形式逻辑关于推理形式的规则要求，则真值是必然下传的，结论是恒真的。

近代科学宗师笛卡尔、伽利略、牛顿，在科学研究中创造了数学—演绎方法，是演绎方法的极大进步。

演绎是在对整体多数特征认识的基础上，推出个别事物的结论，是从普遍的概念到部分

的概念。例如，由“水体具有自净能力”这个一般的原则，我们可以推出甲河具有自净能力，因而污水排入甲河后，有机物浓度会逐渐降低，可以利用水体的自净能力减小污水厂的规模。这就是演绎，从一般到某一特殊的结论。

注意：归纳法的结论不能导致理论的建立，因为由个别到一般的推理中，个别的数目总是有限的，不可能把全部的个别事物都经过试验，所以归纳后要进行演绎。

所以，演绎推理的实践可以检验并丰富充实归纳推理，归纳和演绎在正确思维中是一对不可分割的矛盾。

在从个别到一般的归纳推理中之所以会得到错误的结论，是由于概括的匆忙性，没有充分的根据就进行概括，或者按照次要的和偶然的特征进行概括，用一般的时间顺序代替联系的内因，或者用不存在的条件作为条件，也就是毫无根据地把所得到的结论扩大到产生这个结论的具体条件范围之外。所以在应用归纳法时要特别小心。

例如，污水排入水体后，在排放口下游测了几个点的溶解氧含量，当 t 等于 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 时，溶解氧含量分别为 C_0 、 C_1 、 C_2 、 C_3 。在坐标纸上点点连线，发现溶解氧含量 C_i 与时间 t_i 呈直线关系： $C_i = C_0 - at_i$ ，见图 2-1，就归纳出：“污水排入水体后，水中溶解氧含量以等速减少”。

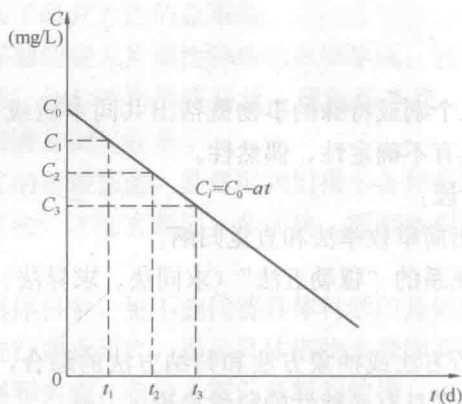


图 2-1 溶解氧变化曲线 (I)

这个结论是否正确可用演绎推理来校验。在 t_3 之后再测几个点就会发现：实测溶解氧含量大于用归纳公式算出的数值，而且时间越长，差值越大，最后水体溶解氧含量恢复到排放点的含量。通过演绎推理可以说明第一次归纳是匆忙的，不正确的。正确的归纳是：污水排入水体后，水中溶解氧含量先是逐渐减少，过了临界点以后，水中溶解氧含量又逐渐增加，最后恢复到排放前的水平。其变化曲线是一条氧垂曲线，见图 2-2。

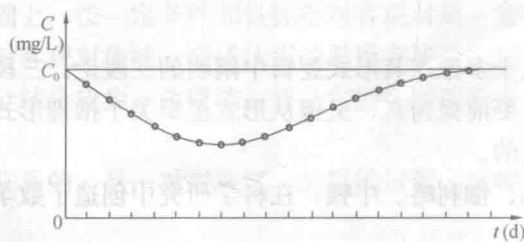


图 2-2 溶解氧变化曲线 (II)