

主 编 张 键

副主编 于林堂

环境工程 实验技术

U A N J I N G G O N G C H E N G S H I Y A N J I S H U

主 编 张 键

副主编 于林堂

环境工程 实验技术

H U A N J I N G G O N G C H E N G S H I Y A N J I S H U

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

环境工程实验技术 / 张键主编. — 镇江 : 江苏大学出版社, 2015.3

ISBN 978-7-81130-927-0

I. ①环… II. ①张… III. ①环境工程—实验—高等学校—教材 IV. ①X5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 049002 号

环境工程实验技术

主 编/张 键

责任编辑/李菊萍 仲 蕙

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/<http://press.ujs.edu.cn>

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

经 销/江苏省新华书店

开 本/787 mm×1 092 mm 1/16

印 张/16.25

字 数/402 千字

版 次/2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-927-0

定 价/39.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

◎前言◎

“环境工程实验技术”是环境工程、给水排水工程、环境科学、资源与环境科学等专业的一门重要的实践性课程,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,可加深学生对水污染控制工程、大气污染控制工程、固体废弃物处理及处置工艺等技术基本理论的理解,培养学生设计和组织实验方案、进行环境工程实验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。

环境工程学科近十几年来发展很快,出现了许多新理论、新工艺和新方法,素质教育对学生动手能力的培养有了新的要求,加之近年来学校、政府、社会对环境类实验中心建设投入力度不断加大,实验室相关实验装置和仪器设备不断更新,为此,在经过数届学生试用的基础上,学院对内部教材进行改编,由扬州大学环境科学与工程实验教学示范中心(省级)建设基金资助出版。

本书较全面系统地介绍了环境工程专业的实验技术,主要内容包括实验报告的书写、实验设计与数据处理、水污染控制实验、大气污染控制实验、固体废弃物处理及处置实验、噪声污染控制实验、环境工程创新及开放实验等。

本书由扬州大学张键副教授担任主编,于林堂实验师担任副主编。其中第1,2,9章由扬州大学实验室与设备管理处周俊高级实验师、张惠芹助理研究员编写,第3,4,10章由张键副教授编写,第5章至第8章由张键副教授、于林堂实验师、周春洪实验师编写。此外,扬州大学环境科学与工程学院环境工程系陈广元老师、陆建兵老师等参加了部分章节的编写工作,全书由张键副教授统稿。本书在编写过程中得到了环境科学与工程学院各系其他老师的帮助和支持,戴静、李忠诚、盛瑾锦等硕士研究生参与了部分编写和校对工作,在此表示衷心感谢。

本教材在编写过程中,参阅并引用了大量的国内外有关文献和资料,在此向所引用文献的作者致以诚挚谢意。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,本实验教材将在实践中不断改进,欢迎读者多提宝贵意见。

编 者

2015年2月

目 录

第 1 篇 总 论

第 1 章	概 论	002
1.1	实验教学目的	002
1.2	实验教学程序	002
1.3	实验过程的基本要求	003
1.4	实验安全基本知识	003
1.5	实验室的管理制度	005
第 2 章	实验报告处理	008
2.1	实验报告书写的基本要求	008
2.2	图表规范	009

第 2 篇 实验设计及数据处理

第 3 章	实验设计	014
3.1	实验设计的几个基本概念	014
3.2	单因素优化实验设计	015
3.3	多因素正交实验设计	020
第 4 章	实验数据分析处理	034
4.1	实验误差分析	034
4.2	实验数据整理	040
4.3	实验数据处理	046

第 3 篇 实验技术

第 5 章	水污染控制实验	078
5.1	混凝实验	078
5.2	自由沉淀实验	083
5.3	原水颗粒分析实验	088

5.4	过滤实验	090
5.5	酸性废水中和实验	093
5.6	电渗析除盐实验	097
5.7	活性炭吸附实验	102
5.8	曝气设备充氧性能测定实验	107
5.9	离子交换软化实验	113
5.10	成层沉淀实验	116
5.11	絮凝沉淀实验	120
5.12	活性污泥法动力学系数测定实验	125
5.13	污水厌氧生化处理实验	130
5.14	污泥比阻测定实验	133
5.15	水中氧系数测定实验(污水充氧修正系数 α, β 值的测定)	138
5.16	膜分离实验	142
5.17	折点加氯消毒实验	145
5.18	SBR 法处理工艺实验	148
5.19	加压溶气气浮实验	150
5.20	自来水深度处理实验	153
第 6 章	大气污染控制实验	157
6.1	旋风除尘器性能测定实验	157
6.2	袋式除尘器性能测定实验	159
6.3	含 SO_2 废气净化实验	163
6.4	有机废气处理实验	166
6.5	吸附法净化有机废气实验	168
6.6	催化净化废气中 CO /碳氢化合物实验	172
第 7 章	固体废弃物处理及处置实验	175
7.1	危险性固体废弃物渗滤实验	175
7.2	垃圾堆肥实验	176
7.3	垃圾渗滤液处理实验	178
7.4	污泥压滤实验	181
第 8 章	噪声污染控制实验	186
8.1	材料吸声系数测定实验	186
8.2	噪声控制实验	189

第 4 篇 创新及开放性实验

第 9 章	创新及开放性实验的过程及要求	192
9.1	创新及开放性实验的基本过程	193
9.2	创新及开放性实验的基本要求	194

第 10 章	创新及开放性实验示例	196
10.1	水处理课题型开放实验	196
10.2	污水生化处理过程的数值模拟	198
10.3	新型水处理剂制备与应用实验	203
10.4	实验室废液处理系统实验	205
10.5	固体废弃物资源化利用实验	210
10.6	城市给水处理流程模拟实验	211
10.7	城市污水处理流程模拟实验	216
10.8	校园环境质量监测	219
10.9	环境工程仿真实验	223

附 录

附录 1	国际单位制(SI)基本单位	230
附录 2	重要元素相对原子质量表	231
附录 3	常用正交实验表	233
附录 4	离群数据分析判断表	238
附录 5	F 分布表	241
附录 6	相关系数检验表	245
附录 7	水中饱和溶解氧量	246
附 图	含盐量与水电阻率计算图	248

参考文献	249
------	-----

第1章 概 论

环境工程实验是给水排水专业、环境工程专业及环境类专业的一门重要学科,是建立在实验基础上的科学。许多水、气、固处理工艺的确定,处理设备设计参数和操作运行方式的确定,都需要通过实验解决。例如,采用塔式生物滤池处理某种工业废水时,需要通过实验确定负荷率、回流比、滤池高度等工艺参数,以较合理地进行工程设计。

环境工程实验是环境工程的重要组成部分,是科研和工程技术人员解决水污染控制、大气污染控制、固体废弃物处置及物理污染中各种问题的一个重要手段。通过实验研究可以解决下述问题:

- (1) 掌握污染物在自然界的迁移转化规律,为环境保护提供依据。
- (2) 掌握环境保护过程中污染物去除的基本规律,以提高和改进现有的处理技术及设备。
- (3) 开发新的水处理技术和设备。
- (4) 实现环境工程设备的优化设计和优化控制。
- (5) 解决环境工程技术开发中的放大问题。

1.1 实验教学目的

实验教学是让学生学会理论联系实际,培养学生分析问题和解决问题能力的一个重要方面。本课程的教学目的如下:

- (1) 加深学生对基本概念的理解,巩固新学知识;
- (2) 使学生了解如何进行实验方案的设计,并初步掌握污染控制实验研究方法和基本测试技术;
- (3) 通过实验数据的整理使学生初步掌握数据分析处理技术,包括如何收集实验数据、如何正确地分析和归纳实验数据、如何运用实验成果验证已有的概念和理论等。

1.2 实验教学程序

为了更好地实现实验教学目的,使学生学好本门课程内容,下面简单介绍实验研究工作的一般程序。

1) 提出问题

根据已经掌握的知识,提出需要研究及解决的问题。

2) 设计实验方案

确定实验目标后,要根据人力、设备和技术能力等方面的具体情况进行实验方案设计。实验方案应包括实验目的、装置、步骤、计划、测试项目和测试方法等内容。

3) 实验研究

- (1) 根据设计好的实验方案进行实验,按时进行测试。



(2) 收集实验数据。

(3) 定期整理分析实验数据。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。

(4) 实验小结。通过实验数据的系统分析,对实验结果进行评价。小结的内容包括以下几个方面:

- ① 通过实验掌握了哪些新的知识;
- ② 是否解决了提出的问题;
- ③ 是否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、操作运行条件或设计新的处理设备;
- ⑤ 当实验数据不合理时,应分析原因,提出新的实验方案。

由于受课程学时等条件限制,学生只能在已有的实验装置和规定的实验条件范围内进行实验,并通过本课程的学习得到初步的培养和训练,并为今后从事实验研究和进行科学实验打好基础。

1.3 实验过程的基本要求

1) 课前预习

为完成好每个实验,学生在实验课前必须认真阅读实验教材,清楚地了解实验项目的目的和要求、实验原理和实验内容,写出简明的预习提纲。预习提纲包括:① 实验目的和主要内容;② 需测试项目的测试方法;③ 实验中应注意的事项;④ 实验记录表格。

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、仪器仪表是否完整齐全。实验时要严格按照操作规程认真操作,仔细观察实验现象,细心测定实验数据并详细填写实验记录。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,养成良好的工作学习习惯。

4) 实验数据处理

通过实验取得大量数据以得到正确可靠的结论。

5) 编写实验报告

将实验结果整理编写成一份实验报告,是实验教学必不可少的组成部分。这一环节的训练可为今后写好科学论文或科研报告打下基础。

1.4 实验安全基本知识

很多实验项目涉及药品试剂使用和仪器设备操作,实验时若不注意实验室的安全,

违规操作,就会造成很大的安全隐患,因此,必须严格遵守操作规程和规章制度,时刻牢记安全第一,保持警惕,做到预防为主,避免事故的发生。在实验室管理和实验操作过程中涉及的安全事项主要有实验室防火安全,实验室水、电、气使用安全,化学危险品与易制毒化学品使用安全,生物安全,特种设备安全等方面。

1.4.1 实验室防火安全

进入实验室前需接受防火安全教育,熟悉防火规定和相关操作规程,正确使用各类消防器材。在有易燃、易爆蒸气和可燃气体散逸的实验室内严禁使用明火;严禁私拉乱接电线,超负荷使用电器设备;使用钢瓶、烘箱、压力容器、化学危险品等火险隐患较大的设备时,应落实岗位操作责任制。若发现火灾隐患,应及时报告和消除隐患,杜绝火灾事故发生。

1.4.2 实验室水、电、气使用安全

必须熟悉所用设施的性能,遵守安全规定,并按正确的操作规程进行操作;对陈旧老化、存有安全隐患的设施,在使用前必须采取特别安全防护措施,否则必须暂停使用。所有用电(气)场所必须执行“人走水关、人走电关、人走气关”的规定;24 h用水、用电及用气的设施,必须有专人值班。发现隐患应及时整改,自身无法解决的应及时联系有关职能部门解决,应防止水淹、触电和煤气中毒等事故的发生。

1.4.3 化学危险品与易制毒化学品使用安全

化学危险品与易制毒化学品的购买、储存、生产、使用、运输和销毁等必须遵守国家、省、市及单位等有关规定。实验过程中必须遵守化学危险品与易制毒化学品安全管理制度、技术操作规程等,学生须征得指导老师同意和签字确认后方可领用,并在导师指导下可控性使用。使用化学危险品与易制毒化学品过程中的废气、废液、废渣、粉尘应回收综合利用,必须排放的,应经过净化处理,其有害物质浓度须经检验、记录且不得超过国家和环保部门规定的排放标准。实验结束后,废液应按要求妥善收集、保存、标识,集中到指定地点,不得擅自处理。严禁在使用化学危险品时使用明火及高温设备。禁止在使用毒物或有可能被毒物污染的实验室内饮食、吸烟,或在有可能被污染的容器内存放物品等。

1.4.4 生物安全

生物安全主要涉及病原微生物安全、实验动物安全、转基因生物安全等方面。从事相关科学研究、生产、教学等活动的单位和个人,必须执行国家、省、市及单位的相关规定。相关人员须掌握实验室技术规范、操作规程、生物安全防护知识和实际操作技能,并进行考核,考核合格后方可进行实验。

实验中所用实验动物必须来源于具备“实验动物生产许可证”的单位且质量合格,必须有兽医检疫证书等。使用病原微生物种毒及实验动物时必须按所用来源、种类、数量、使用方向等性质建立详细的管理台账。

实验设施和环境有等级要求,应取得相应设施许可证后方可使用。生物实验室应根

据不同级别的性质及要求进行审核,经学校批准,报国家相关主管部门批准后方可建设。生物实验室的撤销按国家相关主管部门要求的程序执行。

具有传染性的标本及排泄物处理,应当按照国家规定严格消毒,经检验并达到国家规定的排放标准后,方可排入污水处理系统;实验动物使用过程中产生的各种废弃物可按《医疗废物分类名录》(卫医发[2003]287号)、《医疗废物管理条例》(国务院[2003])进行相应的分类(如感染性、病理性、药物性等)、包装、标识、运输、贮存,集中到专门机构实行无害化处理,任何人不得擅自处理。

实验操作过程中应做好自身防护、外来传染性疾病侵入和向外传染疾病的防护措施。实验中发生传染性疾病、微生物感染时,应当及时采取隔离、预防控制措施,防止感染扩散,同时报告学校主管部门、当地畜牧兽医主管部门、动物防疫监督机构。发生人畜共患病时,还应当立即报告当地疾病预防控制机构。

1.4.5 特种设备安全

特种设备是国家以行政法规的形式认定的设备。实验室现有设备中属于特种设备的有五种,包括锅炉、压力容器(含气瓶、空压机及储气罐)、压力管道、起重机械及厂内机动车辆等。特种设备的操作人员应参加相应的培训考核,取得特种设备作业人员证后方可操作。

对锅炉、压力容器等必须定期检验,检验合格后方可使用。使用气瓶的单位和个人必须按气源的危险性、易燃性、易爆性等进行分类、固定、隔离及落实相关的防范措施。

以下五种情形属于禁用之列:

- ① 未经检验、未办理“注册登记”和“特种设备使用登记证”的特种设备;
- ② 已超过检验日期、已办理停用手续或已报废的特种设备;
- ③ 经检验被判定不合格的特种设备;
- ④ 已发生故障而未排除的特种设备;
- ⑤ 依照国家规定应当报废或国家明令淘汰的特种设备。

1.5 实验室的管理制度

实验室管理工作规章制度是实验室工作经验的总结,是确保实验室正常运转和有效完成各项目标所必须遵循的工作规范和行为准则。实验室管理制度涉及实验室管理的各个方面,学生实验守则、实验室安全制度、实验室开放管理规定等是实验室管理制度中的重要组成部分,是学生在进入实验室前需要认真学习并严格遵守的主要制度内容。

1.5.1 学生实验守则

实验室是开展实验教学和科学研究的场所,学生进入实验室必须严格遵守实验室各项规章制度和操作规程,严格遵守实验室安全守则。

① 学生必须衣着整洁,保持实验室内的整洁、安静,不得迟到早退,严禁喧哗、吸烟、吃零食和随地吐痰。如有违纪,实验教师有权取消其本次实验资格。

② 实验前应认真预习实验教材和有关资料,明确实验目的、内容及步骤,拟定实验计划,按教师要求做好实验前的各项准备,接受教师提问和检查,经教师同意才能进行实

验,不得擅自用与实验无关的仪器设备或其他物品。

③ 实验中应认真操作,细致观察并分析实验现象,如实记录各种实验数据,养成独立思考的习惯,努力提升自己分析问题、解决问题及实际动手的能力。

④ 爱护实验仪器,节约水、电、药品及材料,实验中如发现异常情况,应立即向指导教师报告。发生责任事故应按有关规定进行赔偿和处理。

⑤ 实验后,应认真分析、整理和处理实验结果,并按规定时间和要求送交实验报告。实验报告不合格者必须重写,实验不合格者必须重做。

⑥ 实验结束后,学生应自觉整理好实验仪器设备、工具、量具等,关闭水、电、气源,搞好清洁卫生,保持室内整洁。经指导教师同意后,方可离开实验室。

1.5.2 实验室安全制度

实验室安全工作实行各级主管领导负责制,严格遵守国家和地方各级政府的安全法规、制度,切实保障人身和财产安全。

① 落实防火、防盗、防污染、防事故等方面的防护措施,并定期进行检查,做好检查记录。实验人员必须熟悉实验室的安全要求及配备的消防器材的性能和使用方法。

② 实验人员或工作人员下班时,必须关闭电源、水源、气源、门窗,用余的药品要保管好。

③ 实验室对自燃、易燃、易爆和放射性等危险品要加强管理。使用剧毒药品一定要严格按照有关规定审批,两人领取,用多少领多少,对用余的危险品应及时交危险品仓库暂存,严禁存放在实验室内。对其领、用、剩、废、耗的数量必须详细记录,专人负责管理。

④ 凡有危险性的实验,必须两人以上进行,待授课教师讲清操作规程、安全事项,再进行实验,不得让非实验人员操作。凡须持证上岗的岗位,严禁无证人员操作。

⑤ 对于易燃、有毒气体钢瓶和压力容器,应严格按照规定存放于专门地点,用后关闭阀门开关,严禁违章操作。

⑥ 严禁乱拉乱接电线,经常检修、维护线路及通风、防火设备等。严禁在实验室内抽烟及未经批准动用明火。

⑦ 凡违反安全制度造成事故的,要追究当事人的责任,严肃处理。

1.5.3 实验室开放管理规定

实验室开放适应学分制的客观要求,是培养创新人才的可靠保证,也是发挥实验室资源效益的重要途径。

① 实验室面向学生开放,对改革实验教学形式,培养学生创新精神和实践能力,开展学生技能训练等具有重要作用。全校各实验室都要力求开放,并逐步扩大实验室开放面,增加开放时间,不断充实开放内涵。

② 实验室开放内容可根据不同专业、不同层次的学生和要求确定。专业基础实验室、专业教学实验室、部分科研实验室应向学生开放设计性、综合性和研究性实验,增加小发明、小制作、小论文等课外科技活动实验,并提倡学生自拟实验课题,鼓励学生参加解决工农业生产中实际问题的研究。

③ 实验室开放形式提倡多样性。配合完全学分制的实施,专业课实验室、科研实验

室实行内容灵活的自由式开放,既有课内部分实验项目的开放,也有课外开放,向学生提供实验室的资源,为学生自选综合性、设计性、研究性实验和参与科研活动及进行课外科技活动提供条件。

④ 每学期开学初和暑假前,各开放实验室将本学期和暑假期间实验室开放的时间、地点等情况向学生公布。学生进入实验室前,必须按规定利用网络或登记的方法向实验室报名预约。

⑤ 各开放实验室根据预约学生人数的多少和实验内容提前做好各项准备工作,并配备一定数量的指导教师和实验技术人员。在开放过程中,指导教师应注重加强对实验素质、实验技能、创新思维方法和严谨的科学态度等方面的培养,并做好开放情况的记录和实验室安全工作。

⑥ 学生在进入开放实验室前应预习与实验内容有关的文献资料,设计好实验实施方案,做好实验的各项准备工作。

⑦ 学生进入开放实验室,必须严格遵守实验室的各项规章制度,对于损坏仪器设备的,须按学校有关规章制度处理。

⑧ 实验室开放中应加强大型仪器设备的管理,学生使用前应先接受培训,取得上机资格后方能操作。

第2章 实验报告处理

实验报告的书写是一项重要的基本技能训练。它不仅是对每次实验的总结,更重要的是它可以初步培养和训练学生的逻辑归纳能力、综合分析能力和文字表达能力,是科学论文写作的基础。因此,参加实验的每位学生,均应及时认真地书写实验报告。

2.1 实验报告书写的基本要求

实验报告是对整个实验的全面总结。要求全篇报告除内容实事求是、分析全面具体、文字简练通顺、誊写清楚整洁外,还要图表整齐、结果正确、讨论认真。

实验报告包括下述内容:① 实验目的;② 实验原理;③ 实验装置和方法;④ 实验数据和数据整理结果;⑤ 实验结果讨论。对于设计性和综合性实验报告,最后还要列出参考文献。一般实验教学的实验报告,参考文献一项可省略。实验报告的重点放在实验数据处理和实验结果的讨论上。

实验报告的格式和具体要求如下。

(1) 实验名称。要用最简练的语言反映实验的内容,如“沉淀实验”等,也可写成“校园水环境监测综合实验”。

(2) 实验目的。实施目的要明确,在理论上,检验定理、公式、算法,并使实验者获得深刻和系统的理解,在实践上,掌握使用实验仪器设备的技能、技巧和程序的调试方法。一般需说明是验证性实验还是设计性实验,是创新性实验还是综合性实验。

(3) 实验原理。实验原理是科学实验的基本依据,也是实验报告极其重要的内容。实验设计是否合理,实验所依据的计算公式是否严密可靠,实验采用什么规格的仪器,要求精度如何等,应在原理中交代清楚。同时应注意:① 必须有简明扼要的语言文字叙述,通常教材可能过于详细,目的是便于学生阅读和理解,而书写报告时不能完全照搬书本内容,应该用自己的语言进行归纳叙述,文字务必清晰、通顺;② 写出所用的公式及其来源,并作简要的推导。③ 为阐述原理绘制必要的原理图,如图不止一张,应依次编号,安插在相应的文字附近。

(4) 实验装置。实验装置是指实验用的设备和材料。在科学实验中,仪器设备是根据实验原理的要求配置的,书写时应记录仪器的名称、型号、规格和数量(根据实验实际情况如实记录,没有用到的不写,更不能照抄书本)。在科学实验中往往还要记录仪器的生产厂家、出厂日期和出厂编号,以便在核查实验结果时提供可靠依据。

(5) 实验步骤。只要写出主要操作步骤,要求简明扼要,不要照抄实验指导,还应画出实验流程图(实验装置的结构示意图),再配以相应的文字说明,这样可使实验报告简明扼要、清楚明了。

(6) 实验结果。实验结果是指实验现象的描述、实验数据的处理等。原始资料应附在本次实验主要操作者的实验报告上,同组的合作者复制原始资料。

对于实验结果的表述,一般有三种方法:① 文字叙述:根据实验目的将原始资料系统

化、条理化,用准确的专业术语客观描述实验现象和结果,指明时间顺序及各项指标在时间上的关系。② 图表:用表格或坐标图的方式使实验结果突出、清晰,便于相互比较。尤其是分组较多且各组观察指标一致的实验,图表可使组间异同一目了然。每张图表都应表目和计量单位,应能说明一定的中心问题。③ 曲线图:应用记录仪器描出曲线图,这些指标的变化趋势形象生动、直观明了。

在实验报告中,可以任选一种方法或几种方法并用,以获得最佳表述效果。

(7) 讨论。根据相关的理论知识对所得到的实验结果进行解释和分析。如果所得到的实验成果和预期的一致,那么它可以验证什么理论,实验结果有什么意义,说明了什么问题,这些都是实验报告应该讨论的内容。但是,不能将已知的理论或生活经验硬套在实验结果上,更不能因所得到的实验成果和预期的结论和理论不符而随意取舍,甚至修改实验数据,这时应该分析异常出现的可能原因。如果一次实验失败了,就应找出失败的原因,分析以后实验中应注意的事项。不要简单地复述课本上的理论,要有自己主动思考的内容。

另外,也可以写一写实验的心得或者提出一些问题或建议等。

(8) 结论。结论不是具体实验结果的再次罗列,也不是对今后研究的展望,而是针对这一实验所能验证的概念、原则或理论的简要总结,或是从研究性创新性实验结果中归纳出的概括性的判断,要求简练、准确、严谨、客观。

(9) 参考资料。设计性、综合性实验需详细列举实验中用到的参考资料。

(10) 致谢。在实验中受到他人的帮助,在报告中以简语感谢。

2.2 图表规范

2.2.1 列表表示法

表格是表达实验数据的一种重要方式,具有表达力强、易得要领、便于计算和分析比较及节省版面等优点。制表的基本要求是简单明了、层次清楚、有自明性。表的结构要简单,让人一目了然。

列表表示法是将一组实验数据中的自变量、因变量的各个数值依一定的形式和顺序一一对应列出来,借以反映各变量之间关系的方法。完整的表格应包括表的序号、表题、表内项目的名称和单位、说明及数据来源等。

实验测得的数据,其自变量和因变量的变化,有时是不规则的,使用起来很不方便。此时可以通过数据的分度,使表中所列数据成为有规则的排列,即当自变量作等间距顺序变化时,因变量也随着顺序变化,这样的表格查阅起来较方便。数据分度的方法有多种,较为简便的方法是先原始数据(即未分度的数据)画图,作出一条光滑曲线,然后在曲线上读出所需的数据(自变量作等距离顺序变化)并列表。

列表法具有简单易作、形式紧凑、数据容易参考比较等优点,但对客观规律的反映不如图形表示法明确,在理论分析方面使用不方便。

2.2.2 图形表示法

图形表示法的优点在于形式简明直观,便于比较,易显示出最高点或最低点、转折

点、周期性及其他特异性。当作图足够准确时,可以不必知道变量间的数学关系,对变量求微分或积分后即可得到需要的结果。

图形表示法可用于两种场合:① 已知变量间的依赖关系图形,通过实验,将取得数据作图,然后求出相应的一些参数;② 两个变量之间的关系不明确,将实验数据点绘于坐标纸上,用以分析、反映变量间的关系和规律。

图形表示法包括以下 5 个步骤;

(1) 坐标纸的选择。常用的坐标纸有直角坐标纸、半对数坐标纸和双对数坐标纸等。选择坐标纸时,应根据研究变量间的关系,确定选用哪一种坐标纸。坐标线不宜太密或太稀。

(2) 坐标分度和分度值标记。坐标分度是指沿坐标轴规定各条坐标线所代表的数值的大小。进行坐标分度应注意下列几点:

① 一般以 x 轴代表自变量、 y 轴代表因变量。在坐标轴上应注明名称和所用计量单位。分度的选择应使每一点在坐标纸上都能够迅速方便地找到。例如,图 2-1b 中横坐标的分度不合适,相比而言 2-1a 读图更方便。

② 坐标原点不一定就是零点,也可用低于实验数据中最低值的某一整数作起点,高于最高值的某一整数作终点。坐标分度应与实验精度一致,不宜过细,也不能太粗。图 2-2a 和图 2-2b 分别代表两种极端情况,图 2-2a 的纵坐标分度过细,超过实验精度,而图 2-2b 纵坐标分度过粗,低于实验精度,这两种分度都不恰当。

③ 为了便于阅读,有时除了标记坐标纸上的主坐标线的分度值外,还在一副坐标线上标以数值。

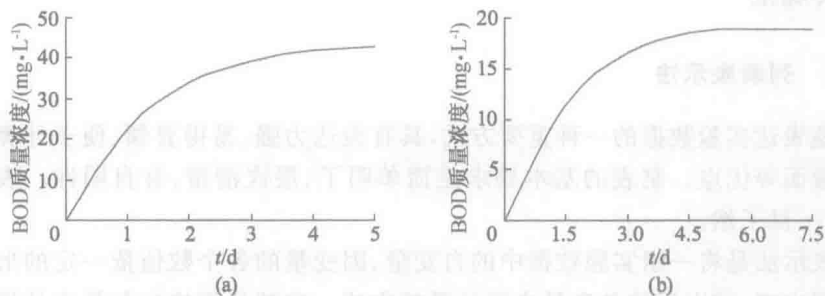


图 2-1 某种废水的 BOD 质量浓度与时间 t 的关系曲线

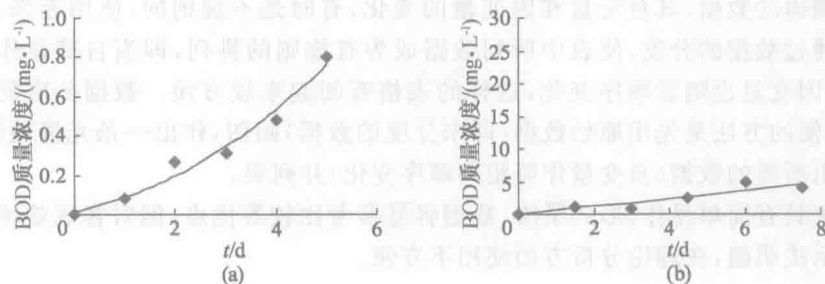


图 2-2 某种污水的 BOD 质量浓度与时间 t 的关系曲线

(3) 根据实验数据描点和作曲线。描点的方法比较简单,把实验得到的自变量与因