

市政与环境工程系列丛书

孙丽欣 主编

水处理工程 应用实验

哈尔滨工业大学出版社

2-31

水处理工程应用实验

主 编 孙丽欣
副主编 冯 琦 张振宇 吕春梅
参 编 (以姓氏笔画为序)
孙作达 龚 凡
盖颜军 窦志诚
主 审 赵庆良

哈尔滨工业大学出版社
哈 尔 滨

内 容 提 要

本书主要阐述了市政工程专业、环境工程专业的教学实验目的、任务、内容、方法与步骤以及数据处理、实验参数的化学分析、实验室的安全知识等。该实验配合理论教学,培养学生观察、思考和独立操作的能力,真正地达到理论与实践技能相结合的水平。

本书可供高等学校给水工程、排水工程及环境工程专业的本科生使用,也可供同类专业的科技人员在科研实验中使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

水处理工程应用实验 / 孙丽欣主编. — 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002. 6

ISBN 7-5603-1725-1

I. 水… II. 孙… III. ①水处理-实验-高等学校-教材 IV. TU991.2-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 032564 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006

传 真 0451-6414749

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 开本 787×960 1/16 印张 12 字数 250 千字

版 次 2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-1725-1/TU·31

印 数 1~4 000

定 价 16.00 元

前 言

水是宝贵的资源,更是国民经济发展和人类生存的重要的基本条件。但是,由于人类在发展过程中不注意水资源的保护,已经出现了全球性的水资源紧张问题,正如联合国在1997年发出的警告“水将成为一种严重的社会危机”,因此,水处理工程已成为当今世界各国最为重要的工程之一。

“水处理工程”是研究水资源与环境保护相关的科学,与国民经济发展有着至关重要的关系。学习水处理工程技术,对社会、国家的发展都是很重要的。本书是市政工程专业和环境工程专业本科生必修课程,是从事环境保护、水质工程处理专业技术人员不可缺少的教材。本书是根据全国高校给水排水专业、环境工程专业及环境科学专业指导委员会制定的教学实验大纲基本要求而编写的,在保证基本理论的系统性和完整性的同时,充分吸收国内外给水排水工程新观念、新技术、新设备和新经验,编写了四个方面的内容:绪论;数据的误差与数据的分析处理;给水排水实验技术的操作过程;水质分析测定的方法及常用仪器的使用说明。该书内容力求反应21世纪给水排水工程领域的学科发展和人才培养的需要。

本书是为配合市政工程专业和环境工程专业本科生的理论教学而编写的,目的是巩固和加强学生对基本原理的理解、贯通和融化,提高学生独立思考、分析问题和解决问题的能力,并且培养学生在实验中的操作技能,提高学生对实验数据的分析与处理的能力。本书的实验内容大都选用目前国内外较先进的水处理工艺和应用技术,对于开阔学生视野、提高理论水平具有重要的意义,并且对从事给水排水专业和环境工程专业的工作人员、科研人员、施工人员有一定的帮助。

本书由哈尔滨工业大学孙丽欣、冯琦、吕春梅、张振宇、孙作达,哈尔滨工程大学窦志诚、龚凡,大庆石油学院盖颜军编写。各章分工如下:第一章、第二章由孙丽欣编写;第三章中第一节由冯琦、孙丽欣、孙作达编写;第二节由张振宇、吕春梅、窦志诚、盖颜军编写;第四章由孙丽欣、吕春梅、龚凡编写,全书由孙丽欣主编,赵庆良主审。该书编写过程中得到了杨德彬、尤宏等教师的帮助与指导,在此一并表示衷心的感谢。

因编写人员水平有限,书中疏漏、不妥之处在所难免的,敬请读者批评指正。

编者

2002.3

目 录

第一章 绪论	1
第一节 给水排水工程实验室的基本要求	1
一 水处理工程应用实验的目的、任务与结果	1
二 水处理工程实验操作过程中的要求	1
第二节 给水排水工程实验室的安全知识	3
一 易燃易爆物质的安全措施	3
二 防止强氧化剂的腐蚀	3
三 实验室的安全管理	4
第二章 数据的误差与实验数据的分析处理	5
第一节 数据误差的基本概念	5
一 数据误差的概念及分类	5
二 实验的误差分析	6
第二节 实验数据的整理及分析	9
一 实验数据的整理	9
二 实验数据的分析	11
第三章 给水排水处理工程实验	14
第一节 给水处理工程实验	14
实验一 混凝实验	14
实验二 脉冲澄清实验	18
实验三 水力循环澄清实验	21
实验四 斜板沉淀实验	23
实验五 流动电流混凝控制系统的运行	26
实验六 过滤与反冲洗实验	28
实验七 重力无阀滤池实验	33
实验八 虹吸滤池实验	36
实验九 离子交换树脂的鉴定及交换容量的测定	38
实验十 离子交换软化除碱和除盐实验	44
实验十一 五塔式离子交换系统(纯水制备)的运行实验	49

实验十二 电渗析除盐实验	54
实验十三 活性炭吸附实验	58
第二节 排水处理工程实验	63
实验一 颗粒自由沉淀	64
实验二 颗粒的絮凝沉淀	68
实验三 曝气充氧实验	73
实验四 污泥吸附、沉降性能的测定	79
实验五 完全混合式活性污泥法处理系统的观测和运行	82
实验六 曝气池中环境因素的监测和菌胶团中生物相的观察	87
实验七 水处理工程中生物污泥的活性测定	89
实验八 不含耗氧微生物的污水曝气充氧修正数 α, β 值的测定	93
实验九 含耗氧微生物的污水曝气充氧修正系数 α, β 值的测定	97
实验十 塔式生物滤池的实验	101
实验十一 生物转盘实验	103
实验十二 SBR 法计算机自动控制系统	107
实验十三 加压溶气气浮实验	110
实验十四 吹脱实验	114
第四章 实验中常用的分析方法及仪器的使用说明	117
第一节 常用的分析方法	117
一 浊度的测定	117
二 pH 值的测定	118
三 硬度的测定(EDTA)	120
四 电导率的测定	122
五 溶解氧(DO)的测定(碘量法)	124
六 化学需氧量(COD)的测定(Cr 法)	126
七 水中生化需氧量(BOD ₅)的测定	128
八 悬浮固体的测定	133
九 纯水的化学检测方法	133
十 水处理环境中的生物相观察	135
十一 油类的测定	143
第二节 常用仪器的使用说明	145
一 分析天平的使用说明	145
二 pHs-2C 酸度计使用说明	147
三 YZD-1 型浊度仪使用说明	152

四	DES-307 电导率仪使用说明	154
五	定时变速搅拌机使用说明	157
六	RSS-5100 型测氧仪使用说明	160
七	瓦勃氏呼吸器使用说明	164
八	生物显微镜使用说明	168
附录		172
附录一	纯水各种指标一览	172
附录二	我国主要离子交换树脂的物理化学性能	177
附录三	常用名词的英语缩写及中英文对照	178
参考文献		179

第一章 绪 论

水处理工程本身不是一个纯理论的学科,对于水处理技术的研究离不开实验教学,在现有水处理技术理论中,基本上都是水处理界科学技术人员经过大量科学实验归纳总结出来的。工程设计、运行、管理中所遇到的许多问题的解决也是由科学实验来完成的。今后水处理领域的新理论、新工艺的发现,水处理工业的发展与进步也必然离不开科学实验。因而,在学习给水排水工程有关专业课程的同时,必须有意识加强水处理工程实验技术的学习,培养学生通过实验方法解决实际技术问题的能力。

第一节 给水排水工程实验室的基本要求

一、水处理工程应用实验的目的、任务与结果

1. 实验目的

通过对实验操作及现象的观察、实验结果的分析、能够加深对水处理基本概念、基本原理的理解。

2. 实验任务

(1)掌握水处理实验参数测定的分析方法及学会对常用实验仪器、设备的使用,培养学生动手能力、创造能力及解决基本实验技术问题的能力。

(2)学会对实验数据测定、分析的处理方法,并能通过实验得到可靠结论。

3. 实验结果

培养学生求实、认真、勤奋、节约的科学态度和工作作风。

二、水处理实验操作过程中的要求

水处理实验过程由实验前准备、实验的操作过程、实验后数据整理及报告的书写、实验作风的规则四个部分组成。

1. 实验前的准备

(1)搞清实验的原理和目的,认真阅读实验教材及专业书籍,使实验具有充分的理论基础,以更好地指导实验。

(2)准备好实验中所需的装置、设备、仪器、容器及配制好实验中所需的化学试剂,熟悉所使用仪器、装置的性能,以及使用条件、精度和量程等,并检查设备的完好性,对于不

熟悉的试剂及仪器、设备必须仔细向指导教师请教。

(3)熟悉实验的操作步骤,对于每一步操作的内容、解决的问题、使用的设备仪器、取样检验的项目、观察和记录的内容、注意事项,要求要做到心中有数,并在实验前准备好实验记录数据所用的表格。

(4)水处理工程实验一般均需要多人配合进行,因此,实验前做好实验分工,使参加实验的每个人员各负其责,如取样、操作、分析、观察、记录等,使整个实验在进行过程中有条不紊,准确无误。

2. 实验操作过程的要求

(1)正式进入实验过程前,由指导实验的教师检查同学对实验内容了解的程度、准备工作是否完善、预习报告的完成情况等。

(2)实验中特殊仪器的使用首先要请教指导教师,不得擅自使用,以免造成错误的操作,使仪器被损害。

(3)在实验的过程中按照事先的人员分工,做好实验运行的操作、取样的分析、现象的观察及实验结果的记录。

(4)实验结束后,要将实验过程的全部记录交给指导教师审合、签字,方可离开。

3. 实验数据的整理及报告的书写

(1)实验数据的整理

数据的整理是整个实验过程的总结,是实验技术的重要组成部分,通过实验所得数据整理既可检验实验效果好坏,又可及时发现实验中所存在的问题。实验数据的整理分析主要包括实验误差、有效数字的取舍、实验数据的整理、实验数据的完善。

(2)实验报告的书写

实验报告是对整个实验的全面总结,是整个实验的宝贵资料,要求全篇报告文字通顺、字迹端正、图表整齐、结果正确、讨论认真,实验报告书写要求如下:

①实验报告必须在规定时间内独立完成,按时交给指导教师。

②报告内容包括实验目的、实验原理、操作过程、原始数据、数据处理、结果分析及问题讨论。

③问题讨论是报告中的重要一项,主要是对实验时观察到的重要现象及实验中出现的操作误差带来的不正确的结果的原由进行讨论,也可以对实验提出改进性意见以及新的要求和希望。

④实验报告经指导教师批阅后,如认为有必要重做者,应按指定时间补做,以达到实验的真实效果。

4. 实验作风的规则

(1)实验时,应遵守操作规则,遵守一切规章制度,保证实验安全进行。

(2)遵守纪律、不迟到、不早退、保持室内安静,不大声谈笑、喧哗,不到处乱走、乱动,不许在实验室内嬉戏及恶作剧。

(3)使用水、电、气、药品、试剂都应本着节约的原则。

(4)未经教师允许不得乱动精密仪器,如发现仪器损坏,立即报告并追查原因。

(5)随时注意室内整洁卫生,废纸及脏物不能随地乱丢,实验完毕将玻璃仪器洗净,把实验桌打扫干净,公用仪器、试剂、药品整理好。

(6)实验时要集中注意力,认真操作,仔细观察,积极思考,实验数据要及时地记入报告中,不得涂改伪造,如有记错可在原数据上画一杠,再在旁边记下正确值。

(7)实验结束后,轮流值日,负责打扫整理实验室,检查水、气、门窗是否关好,电闸是否拉掉,以保证实验室的安全。

实验室规章制度是人们长期从事实验工作的总结,它是保持良好环境和工作秩序,防止意外事故,做好实验的重要前提,也是培养学生优良素质的重要措施。

第二节 给水排水工程实验室的安全知识

实验室本身就存在着某些危险因素,但只要实验人员严格遵守操作规程和规章制度,无论做什么实验都要牢记安全第一,经常保持警惕,事故就可以避免。如果预防措施可靠,发生事故处理得当,就可以使损害减到最小程度。安全知识不可忽视,这里将实验室可能存在的某些危险因素及其注意要点作一简介。

一、易燃易爆物质的安全措施

实验室常用有机溶剂,有机溶剂大多都是易燃易爆的物品,它们的沸点低、挥发性大,闪点都在室温甚至 0°C 以下,很容易着火。

易燃溶剂在一定的温度和压力下,其蒸气与空气组成可燃性混合物,溶剂蒸气与空气混合后达到一定浓度范围,遇到明火时就会燃烧或爆炸。

为此,在实验室内必须注意防火安全。防火安全是最主要的,也是经常遇到的注意事项,万一不慎失火,首先要冷静,并迅速切断电源,用纯棉布或防火砂子将火扑灭。绝对不可用水去灭火,用水不但不能灭火,反而会助长火势。因为水的相对密度较大,使有机溶剂上浮更易燃烧,所以,应特别注意。在可能的情况下,最好不要用泡沫灭火器或四氯化碳灭火器去灭火,前者污染环境,后者易在高温下生成对人体有毒的光气,只有在火势较大,用简单的方法难以扑灭时,才用这类灭火器。

二、防止强氧化剂的腐蚀

实验室中常用高氯酸、硝酸、硫酸、盐酸及双氧水等强氧化剂,它们具有氧化性,同时还有腐蚀性,操作时应注意安全,因皮肤或服饰一旦接触了这类氧化性较强的物质将会被腐蚀,所以,不可大意。更主要的是在配制混酸时,首先,要看准溶液的密度说明,然后先取密度较小的酸,后倾入密度较大的酸,一边加入一边不断搅拌,使混酸立刻均匀混合,避

免激烈反应产生不安全因素。

三、实验室的安全管理

实验室的安全管理工作,在保证有一个安全的工作环境方面起着相当重要的作用。因此,每一个实验室在实验教学时,均应设置一位安全员,负责实验教学时的安全管理工作。安全员必须具备良好的安全知识,能够判断危险,设法使危险减小或者是消除。

从管理方面要求建立一套完善的安全管理条例和安全制度,同时,要求实验室的房屋要设足够的火警安全通道,并且在恰当的地点设置安全设备。安全员要知道安全器材及安全设备的存放地点,并熟悉它们的用法,以保证实验室在教学时具有安全的工作环境。

第二章 数据的误差与实验数据的分析处理

实验数据的分析处理是整个实验过程中的一个重要组成部分,实验过程中应随时进行数据的整理分析。一方面可以预计实验结果能否达到预期目的;另一方面又可以随时发现问题,修改实验方案,指导下一步实验进行。整个实验结束后更要对数据进行分析,进行数据可靠性判断、数据取舍,从而确立因素主次、最佳运行条件、建立经验公式、给出事物内在规律。

水处理工程实验,常需要做一系列的测定结果工作,并取得大量数据。实验表明,每项实验都有误差,同一项目的多次重复测量,结果总有差异,即实验值与真实值之间的差异。这是由于实验环境不理想、实验人员技术水平不高、实验设备的不完善造成的,实验中的误差可以不断减少,但是不可能做到没有误差。因此,决不能认为得到了实验数据就万事大吉了,一方面,必须对所测对象进行分析研究,估计测试结果的可靠程度,并对取得的数据给予合理的解释;另一方面,还必须将所得数据加以整理归纳,用一定的方式表示出各数据之间的相互关系。前者为误差分析,后者为数据处理。

对实验结果进行分析与数据处理的目的在于:

- ①根据科学实验的目的,合理选择实验装置、仪器、条件和方法。
- ②正确处理实验数据,以便在一定条件下得到接近真实值的最佳结果。
- ③合理选定实验结果的误差,避免由于误差选取不当造成人力、物力的浪费。
- ④总结测定的结果,得到正确的实验结论,并通过必要的整理归纳(如绘成实验曲线或得到经验公式),为验证理论分析提供条件。

误差与数据处理内容很多,在此,只介绍一些基本知识,读者需要更深入了解时,可参阅有关参考书。

第一节 数据误差的基本概念

一、数据误差的概念及分类

实验过程中要做各种测试工作,由于仪器、测试方法、环境、人的观察力、实验方法等都不可能做到完美无缺,所以许多因素都会使得测量值与真实值有所偏差,这种偏差即为

误差。误差通常可分为系统误差、偶然误差和过失误差三大类。

1. 系统误差

系统误差又称恒定误差,是指在测定中由未发现或未确认的因素所引起的误差。这些因素使测定结果永远朝一个方向发生偏差,其大小及符号在同一试验中完全相同。产生系统误差的原因有以下几种:

- (1)仪器不良,如刻度不准,砝码未校正等;
- (2)环境的改变,如外界温度、压力和湿度的变化;
- (3)个人习惯和偏向,如读数偏高或偏低等。

以上这类误差可以根据仪器的性能、环境条件或个人偏差等加以校正克服,使之降低。

2. 偶然误差

偶然误差又称随机误差。单次测试时,观测值总是有些变化且变化不定,其误差时大、时小、时正、时负,方向不定,但是多次测试后,其平均值趋于零,具有这种性质的误差称为偶然误差。

偶然误差产生的原因一般是不清楚的,因而无法人为控制。偶然误差可用概率理论处理数据而加以避免。

3. 过失误差

过失误差是由于操作人员工作粗枝大叶,过度疲倦或操作不正确等因素引起的,是一种与事实明显不符的误差。过失误差是可以避免的。

二、实验的误差分析

误差分析的目的在于确定实验直接测量与间接测量值误差的大小,数据可靠性的大小,从而判断数据准确度是否符合工程实践要求。

1. 直接测量值与间接测量值

实验要对一些物理量进行测量,物理测量可分为两类,一类为直接测量,另一类为间接测量。水处理实验中到处可见这两类测量值。

(1) 直接测量值

在一次实验中实测值为直接测量。例如,曝气设备清水充氧实验中,充氧时间长短及水中溶解氧值 O_t (仪表测定) 都是直接可得的价值,即为直接测量值。

(2) 间接测量值

间接测量值是经过公式计算后所得到的一些测量值。例如,设备的氧总转移系数 K_L 是通过计算才能得到的值,即为间接测量值。

2. 直接测量值误差分析

(1) 单次测量值误差分析

水处理实验,不仅影响因素多,而且测试量大,更多测量是在动态实验下进行,不容许对被测量值做重复测量,所以,实验中往往对某些测量值只进行一次测定。例如,曝气设备清水充氧实验中,取样时间、水中溶解氧值测定(仪器测定)、压力计量等,均为一次测定值。这些测定值的误差,应根据具体情况进行具体分析,对于偶然误差较小的测定值,可按仪器上注明的误差范围分析计算;无注明时,可按仪器最小刻度的 $1/2$ 作为单次测量的误差,如用上海第二分析仪器厂的 SJ 6-203 溶解氧测量仪记录,仪器精度为 0.5 级。当测得 $DO=3.2 \text{ mg/l}$ 时,其误差值为 $3.2 \times 0.005 = 0.016 \text{ mg/l}$;若仪器未给出精度,由于仪器最小刻度为 0.2 mg/l ,故每次测量的误差可按 0.1 mg/l 考虑。

(2) 重复多次测量值误差分析——算术平均误差及均方根偏差

为了能得到比较准确可靠的测量值,在条件允许的情况下,尽可能进行多次测量,并以测量结果的算术平均值近似代替该物理量的真值。该值误差的大小,在工程中除用算术平均误差表示外,多用均方根偏差或标准偏差来表示。

① 算术平均误差,是指测量值与算术平均值之差的绝对值的算术平均值。

设各测量值为 x_i ,则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

偏差为 $d_i = x_i - \bar{x}$,则算术平均误差 Δx 为

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |d_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (2.2)$$

则真值可表示为 $a = \bar{x} \pm \Delta x$ 。

② 均方根偏差又叫标准偏差,是指各测量值与算术平均值差值的平方和的平均值的平方根,故又称为均方偏差。其计算式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (2.3)$$

在有限次测量中,工程上常用下式计算标准偏差

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.4)$$

由于上式中是用算术平均值代替了未知的真值,故用偏差这个词代替了误差,将由此式得到的均方根误差也称为均方根偏差。测量次数越多,算术平均值越接近于真值,则各偏差也越接近于误差。因此,工程中一般不去区分误差与偏差的细微区别,而将均方根偏差也称之为均方根误差,简称为均方差,则真值可用多次测量值的结果表示为

$$a = \bar{x} \pm \sigma$$

3. 间接测量值误差分析

间接测量值是通过一定的公式,由直接测量值计算而得。由于直接测量值均有误差,故间接测量值也必有一定的误差。该值大小不仅取决于各直接测量值误差大小,还取决于公式的形式。表达各直接测量值误差与间接测量值误差间的关系式,称之为误差传递公式。

(1) 间接测量算术平均误差计算

这种误差分析,是在考虑各项误差同时出现最不利情况时,其绝对值相加而得。计算时可分为以下几类。

① 加减法运算中间接测量值误差分析

设 $N = A + B$ 或 $N = A - B$, 则有

$$\Delta N = \Delta A + \Delta B \quad (2.5)$$

即和、差运算的绝对误差等于各直接测得值的绝对误差之和。

② 乘、除运算中间接测量值误差

设 $N = A \cdot B$ 或 $N = \frac{A}{B}$, 则有

$$\delta = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} \quad (2.6)$$

即乘、除运算的相对误差等于各直接测量值相对误差之和。

由上述结论可见,当间接测量值计算式只含加、减运算时,以先计算绝对误差后计算相对误差为宜;当式中只含乘、除、乘方、开方时,以先计算相对误差,后计算绝对误差为宜。

(2) 间接测量值标准误差计算

由于间接测量值算术平均误差是在考虑各项误差同时出现最不利情况下的计算结果,这在实际工程中出现的可能性是很小的,因而按此法算得的误差夸大了间接测量值的误差,故工程实际多采用标准误差进行间接测量值的误差分析,其误差传递公式如下。

绝对误差

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right)^2 \cdot \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}\right)^2 \cdot \sigma_{x_2}^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}\right)^2 \cdot \sigma_{x_n}^2} \quad (2.7)$$

相对误差

$$\delta = \frac{\sigma}{N} \quad (2.8)$$

式中 σ ——间接测量值的标准误差;

$\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}, \dots, \sigma_{x_n}$ ——直接测量值 $X_1, \dots, X_n$ 的标准误差;

$\frac{\partial f}{\partial X_1}, \frac{\partial f}{\partial X_2}, \frac{\partial f}{\partial X_3}, \dots$ ——函数 $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 对变量 $X_1, X_2, \dots$ 的偏导数,并

以 $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots$ 代入求其值。

由于上式更真实地反映了各直接测量值误差与间接测量值误差间的关系,因此,在正式误差分析计算中都用此式。但实际实验中,并非对所有直接测量值都进行多次测量,此时所算得的间接测量值误差,相对各直接测量值的误差均比标准误差算得的误差要大一些。

4. 测量仪器精度的选择

掌握了误差分析理论后,就可以在实验中正确选择所使用仪器的精度,以保证实验结果有足够精度。

工程中,当要求间接测量值 N 的相对误差为 $\frac{\sigma_N}{N} = \delta_N \leq A$ 时,通常采用等分配方案,将其误差分配给各直接测量值 X_i ,即

$$\frac{\sigma_{x_i}}{X_i} \leq \frac{1}{n} A \quad (2.9)$$

式中 X_i ——某待测量 X_i 的直接测量值;
 σ_{x_i} ——某直接测量值 X_i 的绝对误差值;
 n ——待测量值的数目。

则根据 $\frac{1}{n}A$ 的大小就可以选定测量 X_i 时所用仪器的精度。

在仪器精度能满足测试要求的前提下,尽量使用精度低的仪器,否则由于仪器对周围环境、操作等要求过高,使用不当,反而加速仪器的损坏。

第二节 实验数据的整理及分析

水处理实验,不仅影响因素多,而且大多数因素相互变化规律也不十分清晰,因而学好这一节,对于进行水处理实验的分析整理、正确认识客观规律是个关键。

一、实验数据的整理

实验数据整理的目的在于分析实验数据的一些基本特点,计算实验数据的基本统计特征,利用计算得到的一些参数,分析实验数据中可能存在的异常点,为实验数据取舍提供一定的统计数据。

1. 有效数字及其运算

每一个实验都要记录大量的原始数据,并对它们进行分析运算。但是这些直接测量数据都是近似数,存在一定误差,因此,这就存在一个实验时记录应取几位数,运算后又应保留几位数的问题。

(1) 有效数字

准确测定的数字加上最后一位估读数字所得的数字称为有效数字。如用 20 ml 刻度为 0.1 ml 的滴定管测定水溶解氧含量,共消耗硫代硫酸钠为 3.63 ml 时,有效数字为 3 位,其中 3.6 为确切读数,而 0.03 为估读数字。因此,实验中直接测量值的有效数字与仪表刻度有关,根据实际可能,一般都应尽可能估计到最小分度的 1/10 或是 1/5。

(2) 有效数字的运算规则

由于间接测量值是由直接测量值计算出来的,因而也存在有效数字的问题。

①有效数字的加、减。运算和、差值时,小数点后有效数字的位数与参加运算各数中小数点后位数最少的相同。

②有效数字的乘、除。运算后,积、商的有效数字的位数与各参加运算有效数中位数最少的相同。

③乘方、开方的有效数字。乘方、开方运算后的有效数字的位数与其底的有效数字位数相同。

有效数字运算时,应注意到公式中某些系数不是由实验测得的,计算中不考虑其位数。对数运算中,首数不算有效数字。乘、除运算中,首位数是 8 或 9 的有效数字多计一位。

2. 实验数据的整理

(1) 实验数据的基本特点

对实验数据进行简单分析后,可以看出,实验数据一般具有以下一些特点:

①实验数据总是以有限次数给出并具有一定波动性。

②实验数据总存在实验误差,且是综合性的,即随机误差、系统误差、过失误差同时存在于实验数据中。今后我们所研究的实验数据,认为是没有系统误差的数据。

③实验数据大都具有一定的统计规律性。

(2) 几个重要的数字特征

用几个有代表性的数,来描述随机变量 x 的基本统计特征,一般把这几个数称为随机变量 x 的数字特征。

①位置特征参数及其计算

实验数据的位置特征参数,是用来描述实验数据取值的平均数和特定位置的,常用的有均值、极大值、极小值、中值、众值等等。

1) 均值 $\bar{x}$ 由实验得到一批数据 $x_1, x_2, \dots, x_n$, n 为测试次数,则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.10)$$

2) 极大值

$$a = \max\{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (2.11)$$

3) 极小值