



水污染控制工程实验

SHUIWURAN KONGZHIGONGCHENG SHIYAN

吕松 牛艳 主编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

水污染控制工程实验

SHUIWURAN KONGZHI GONGCHENG SHIYAN

吕松 牛艳 主编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

• 广州 •

图书在版编目 (CIP) 数据

水污染控制工程实验 / 吕松, 牛艳主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2012. 6
ISBN 978-7-5623-3680-8

I. ①水… II. ①吕… ②牛… III. ①水污染-污染控制-实验 IV. ①X52-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 113455 号

水污染控制工程实验

吕松 牛艳 主编

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 毛润政

责任编辑: 张媛 潘宜玲

印刷者: 湛江日报社印刷厂

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 8.5 字数: 206 千

版次: 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1 600 册

定 价: 19.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

目 录

第一章 总论	(1)
一、实验教学目的	(1)
二、实验教学要求	(2)
第二章 实验设计	(3)
一、实验设计简介	(3)
二、单因素优化实验设计	(3)
三、多因素正交实验设计	(6)
四、正交实验分析举例	(8)
第三章 误差分析与数据处理	(9)
一、误差的概念及分类	(9)
二、实验数据的误差分析	(9)
第四章 水样的采集及保存	(11)
一、水样的类型	(11)
二、地表水样的采集	(11)
三、地下水样的采集	(12)
四、废(污)水样的采集	(12)
五、采集水样注意事项	(12)
六、水样的运输与保存	(12)
第五章 水污染控制工程实验	(15)
实验一 混凝沉淀实验	(15)
实验二 混凝条件优化实验(设计实验)	(19)
实验三 折点加氯消毒实验	(20)
实验四 过滤与反冲洗实验(综合实验)	(26)
实验五 自来水的深度处理实验	(30)
实验六 动态混凝实验	(32)
实验七 颗粒自由沉淀实验	(36)
实验八 活性炭吸附实验	(42)
实验九 清水曝气充氧实验	(44)
实验十 臭氧、紫外光化学氧化实验	(47)
实验十一 加压溶气气浮实验	(51)
实验十二 活性污泥性质的测定实验	(55)
附录	(58)
附录1 废水浊度的测定	(58)

附录 2	中润 ZR4-6 型智能六联混凝试验搅拌机使用说明	(59)
附录 3	pHS-3C 酸度计使用说明	(62)
附录 4	EDI 电除盐实验室装置的使用方法	(65)
附录 5	废水悬浮固体的测定方法	(66)
附录 6	水中亚甲基蓝的测定 (分光光度法)	(68)
附录 7	溶解氧测定 (碘量法)	(69)
附录 8	JPSJ-605 型溶解氧测定仪的使用方法	(70)
附录 9	化学需氧量 (COD) 的测定 (化学法)	(72)
附录 10	化学需氧量 (COD) 的测定 (仪器法)	(75)
附录 11	培养基配制和灭菌消毒	(77)
附录 12	水中细菌总数和大肠菌群的检测	(83)
附录 13	色度的测定 (稀释倍数法)	(90)
附录 14	臭氧、紫外光化学反应装置的使用方法	(90)
附录 15	OIL 400 系列红外分光测油仪使用说明	(92)
附录 16	水中铬的测定 (分光光度法)	(97)
附录 17	生化需氧量 (BOD) 的测定 (五日培养法)	(100)
附录 18	生化需氧量 (BOD) 的测定 (仪器法)	(104)
附录 19	地面水环境质量标准	(112)
附录 20	地下水质量分类标准	(114)
附录 21	我国生活饮用水水质标准	(115)
附录 22	污水综合排放标准	(116)
附录 23	常用正交实验表	(121)
参考文献		(131)

第一章 总 论

一、实验教学目的

实验教学是使学生理论联系实际,培养学生观察问题、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,巩固新的知识。

(2) 使学生了解如何进行实验方案的设计,并初步掌握水净化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、运用实验结果验证已有的概念和理论等。

为了更好地实现教学目的,使学生学好本门课程,下面简单介绍实验研究工作的一般流程:

1. 提出问题

根据已经掌握的知识,提出打算验证的基本概念和探索研究的问题。

2. 设计实验方案

提出问题后要根据人力、设备、药品和技术能力等方面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、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,实验者必须经常运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,并从中发现实验设备、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,使实验工作能够顺利地进行。

(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是否解决了提出研究的问题;

③是否证明了课程讲授中的某些论点;

④当实验数据不合理时,应分析原因,提出新的实验方案。

由于受到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,为今后从事实验研究和进行科学实验打好基础。

二、实验教学要求

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教材,清楚地了解实验项目的目的要求、实验原理和实验内容,写出简明的预习提纲。

预习提纲包括以下几个方面:

- (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) 准备好实验记录表格。

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。对于设计性及综合性实验,应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、仪器是否完整齐全。实验时要严格按照操作规定认真操作,仔细观察实验现象,准确测定实验数据,并详细填写实验记录。实验结束后,要将实验设备和仪器恢复原状,将实验环境整理干净。学生应注意培养自己严谨的科学态度,养成良好的实验操作习惯。

4. 实验数据处理

通过实验取得大量数据以后,必须对数据作科学的整理分析,去伪存真,去粗取精,以得到正确可靠的结论。

5. 编写实验报告

将实验结果整理并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。

实验报告包括以下内容:

- (1) 实验目的;
- (2) 实验原理;
- (3) 实验仪器和设备;
- (4) 实验所用试剂;
- (5) 实验步骤;
- (6) 实验数据整理和分析;
- (7) 实验结果讨论;
- (8) 思考题。

对于科研论文,最后还要列出参考文献;对于设计性及综合性实验,要求写出实验方案。实验报告的重点在于实验数据处理和实验结果的讨论。

第二章 实验设计

一、实验设计简介

实验设计是进行科学实验研究的重要环节，其目的是在进行实验之前，针对所研究的问题要素，选择一种最佳的科学实验方案，以使用尽可能少的人力、物力和时间获得满意的实验结果。如果实验设计得好，将事半功倍，所以近年来如何优化实验设计越来越得到科学工作者的重视，并广泛应用。实验设计的内容包括明确实验目的、确定测定参数、确定需要控制和改变的条件、选择合适的测试仪器和优化的实验方法、设计实验方案、进行误差分析和数据处理等。

实验设计的方法很多，有单因素实验设计、多因素正交实验设计、析因分析实验设计、序贯实验设计等。其中单因素实验设计的 0.618 法和分数法，多因素的正交实验设计法应用较为广泛，取得了较好的实验效果。

在科学研究中，对实验指标有影响的条件称为因素。有一类因素，在实验中可以人为地加以调节和控制，称为可控因素，如水污染实验中混凝剂的加药量属于可控因素。另外一种因素，由于自然条件、技术等限制，不能人为控制的，称为不可控因素，如气温的影响属于不可控因素。实验设计中提到的因素一般都是指可控因素。在实验设计中用来衡量实验效果好坏所采用的标准称为指标。例如，对含有胶体的水样进行混凝实验时，为求得混凝剂的最佳加药量，剩余浊度即为实验指标。因素在实验中处于不同的状态，可能引起指标的变化，因素变化的各种状态称为因素的水平。某个因素在实验中需要考察它的几种状态，这几种状态就称为因素的水平。

在进行实验设计时，首先要明确实验目的、确定实验指标。其次要挑选主要研究的因素，即考察那些对实验指标影响比较大的因素。如果是已经掌握的指标，可以固定在某一最佳的状态上。然后是选择合适的实验设计方法，确定因素的水平。三个以上因素的问题，可以选用正交实验设计法。最后所有的问题都解决了，就可以开始安排具体的实验。

二、单因素优化实验设计

对于只有一个影响因素的实验，或影响因素很多但在实验安排时只需考虑一个对指标影响最大的因素，其他因素尽量保持不变的实验，即为单因素实验。单因素优化实验设计就是科学地安排实验，以确定最优实验点，使实验的结果更好。可采用均分法、对分法、0.618 法（黄金分割法）和分数法等。其中对分法效果最好，每做一个实验就可以去掉一半的实验范围；分数法应用较广，因为它还可以应用于实验点只能取整数或某特定数的情况，以及限制实验次数和精确度的情况；均分法适用于一次可以同时得出许多个实验结果的问题。

(一) 均分法

均分法的方法是, 如果要做 n 次实验, 就把实验范围等分成 $n+1$ 份, 在各个分点上做实验。把 n 次实验结果进行比较, 选出所需要的最好结果, 相对应的实验点即为 n 次实验中的最优值。

均匀分批实验法也是均分法的一种。当完成实验需要较长时间, 或者一次实验要花很大代价, 而每次同时测试几个样品和测试一个样品所花的时间、人力和物力相近时, 采用均匀分批法较好。这种方法是把每批实验均匀地安排在实验范围内, 例如每批要做四个实验, 我们可以先将实验范围 (a, b) 均分为五份, 在其四个分点 x_1, x_2, x_3, x_4 处做四个实验, 将四个实验样品同时进行测试分析, 如果 x_3 好, 则去掉小于 x_2 和大于 x_4 的部分, 留下 (x_2, x_4) 范围。然后将留下的部分再分成五份, 在未做过实验的四个分点上做实验, 这样一直进行下去, 就能找到最佳点, 如图 2-1 所示。



图 2-1 均匀分批法实验点分布图

均分法是一种古老的实验方法。优点是只需把实验放在等分点上, 实验可以同时安排, 也可以一个接一个地安排; 其缺点是实验次数较多, 代价较大。

(二) 对分法

对分法的要点是每次实验点取在实验范围的中点。设实验范围在 $[a, b]$ 之间, 第一次实验点安排在 (a, b) 的中点处, 即

$$x = \frac{(a+b)}{2}$$

若实验结果表明 x 取大了或者取小了, 则舍掉大于 x 的一半或者小于 x 的一半, 再取中点重新安排实验。用这种方法的优点是每次可去掉实验范围的一半, 直到取得满意的实验结果为止, 而且取点方便。但是用对分法是有条件的, 它只适用于每做一次实验, 根据结果就可确定下次实验方向的情况。

(三) 分数法

1. 分数法又叫斐波那契数列法

它是利用斐波那契数列进行单因素优化实验设计的一种方法。当实验点只能取整数, 或由于某种条件限制只能做几次实验的情况时, 或实验点只能取某些特定值时, 采用分数法较好。例如, 如果只能做一次实验时, 就在 $1/2$ 处做, 其精确度为 $1/2$ 。如果只能做两次实验, 第一次实验在 $2/3$ 处做, 第二次在 $1/3$ 处做, 其精确度为 $1/3$ 。如果能做三次实验, 则第一次在 $3/5$ 处做实验, 第二次在 $2/5$ 处做, 第三次在 $1/5$ 或 $4/5$ 处做, 其精确度为 $1/5$ ……

斐波那契数列法满足下列关系的数列:

$$F_0 = F_1 = 1, F_n = F_{n-1} + F_{n-2} \quad (n \geq 2)$$

即从第三项起, 每一项都是它前面两项之和, 写出来就是 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, …, 相应的 F_n 为 $F_0, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, \dots$, 具体见表 2-1 所示。

表 2-1 分数法试验点位置与精确度

试验次数	2	3	4	5	6	7	...	n	...	...
等分试验范围的份数	3	5	8	13	21	34	...	$F_n + 1$	...	...
第一次试验点的位置	2/3	3/5	5/8	8/13	13/21	21/34	...	F_n / F_{n+1}	...	...
精确度	1/3	1/5	1/8	1/13	1/21	1/34	...	$1/F_{n+1}$	...	...

分数法各实验点的位置,可用下列公式求得:

$$\text{第一个实验点} = (\text{大数} - \text{小数}) \times F_n / F_{n+1} + \text{小数} \quad (1)$$

$$\text{新实验点} = (\text{大数} - \text{中数}) + \text{小数} \quad (2)$$

式中 中数——已实验的实验点数值。

2. 利用分数法进行单因素优化实验设计举例

某污水处理厂准备投加某一药品改善污泥的脱水性能,据初步调查投药量在 80 mg/L 以下,要求通过四次实验确定出最佳投药量。具体计算方法如下:

(1) 根据式 (1) 可得到第一个实验点位置:

$$(80 - 0) \times 5/8 + 0 = 50 \text{ (mg/L)}$$

(2) 根据式 (2) 得到第二个实验点位置:

$$(80 - 50) + 0 = 30 \text{ (mg/L)}$$

(3) 假定第一点比第二点好,所以在 30 ~ 80 之间找第三点,丢去 0 ~ 30 的一段,即

$$(80 - 50) + 30 = 60 \text{ (mg/L)}$$

(4) 第三点与第一点结果一样,此时可用“对分法”进行第四次实验,即在 $(50 + 60) / 2 = 55 \text{ (mg/L)}$ 处进行实验,得到的效果最好。

(四) 0.618 法

0.618 法和分数法都是适合单峰函数的单因素优化法,它们的不同之处是分数法要求预先给出实验总次数,而 0.618 法没有实验次数的要求。所谓单峰函数是指目标函数只有一个峰值,在峰值的两侧实验效果较差,在峰值处实验效果较好。单峰函数分为上单峰函数和下单峰函数。0.618 法简便易行,可以用较少的实验次数迅速找到最佳点。

举例说明 0.618 法。以上单峰函数为例,下单峰函数同理。设实验范围为 $[a, b]$,第一次实验点 x_1 选在实验范围的 0.618 位置上,即

$$x_1 = a + 0.618 (b - a) \quad (3)$$

第二次实验点选在第一点 x_1 的对称点 x_2 上,即实验范围的 0.382 位置上

$$x_2 = a + 0.382 (b - a) \quad (4)$$

实验点 x_1 、 x_2 如图 2-2 所示。



图 2-2 0.618 法第 1、2 个实验点分布图

用 $f(x_1)$ 和 $f(x_2)$ 表示 x_1 与 x_2 两点的实验结果。

(1) 如果 $f(x_1)$ 比 $f(x_2)$ 好, 根据“留好去坏”的原则, 去掉实验范围 $[a, x_2]$ 部分, 在剩余范围 $[x_2, b]$ 范围内继续做实验。

(2) 如果 $f(x_1)$ 比 $f(x_2)$ 差, 同样根据“留好去坏”的原则, 去掉实验范围 $[x_1, b]$ 部分, 在剩余范围 $[a, x_1]$ 内继续做实验。

(3) 如果 $f(x_1)$ 和 $f(x_2)$ 实验效果一样, 去掉两端, 在剩余范围 $[x_1, x_2]$ 内继续做实验。

接下来, 第一种情况下, 在剩余范围 $[x_2, b]$ 上, 用公式 (3) 计算新的实验点 x_3 。

$$x_3 = x_2 + 0.618(b - x_2)$$

第二种情况下, 在剩余范围 $[a, x_1]$ 上, 用公式 (4) 计算新的实验点 x_3 。

$$x_3 = a + 0.382(x_1 - a)$$

第三种情况下, 剩余实验范围为 $[x_1, x_2]$, 用式 (3) 和式 (4) 计算两个新的实验点 x_3 和 x_4 。

$$x_3 = x_2 + 0.618(x_1 - x_2)$$

$$x_4 = x_2 + 0.382(x_1 - x_2)$$

无论上述哪种情况, 在新的实验范围内都有两个实验点的实验结果, 可以进行比较。按照“留好去坏”原则, 再去掉实验范围的一段, 这样反复做下去, 直到找到满意的实验点为止, 或实验范围已很小, 再做下去实验结果差别不大, 就可停止实验。

三、多因素正交实验设计

(一) 正交实验设计

实验研究中往往需要考察很多因素, 每个因素又具有多个水平, 它们相互交织, 错综复杂, 如果按照常规方法, 要做很多实验, 费时费力, 而正交实验设计恰恰解决了这个问题。正交实验设计 (orthogonal experimental design) 是研究多因素多水平的又一种实验设计方法, 它是利用事先制备好的特殊表格——正交表来安排多因素实验, 并进行数据分析的一种方法。它根据正交性从全面实验中挑选出部分有代表性的点进行实验, 这些有代表性的点具备了“均匀分散, 齐整可比”的特点, 正交实验设计是一种高效率、快速、经济的实验设计方法。

日本著名的统计学家田口玄一将正交实验选择的水平组合列成表格, 称为正交表。例如作一个三因素三水平的实验, 按全面实验要求, 须进行 $3^3 = 27$ 种组合的实验, 且尚未考虑每一组合的重复数。若按 $L_9(3^3)$ 正交表安排实验, 只需做 9 次, 按 $L_{18}(3^7)$ 正交表需进行 18 次实验, 显然大大减少了工作量。因而正交实验设计在很多领域的研究中已经得到广泛应用。

(二) 正交表介绍

用正交实验设计法安排实验都要用到正交表。它是正交实验设计法中合理安排实验, 以及对数据进行统计分析的工具。

正交表简记为 $L_n(m^k)$, 各字母的含义如图 2-3 所示。



图 2-3 正交表符号的含义

例如 $L_4(2^3)$ ，它表示二水平，三因素，需做 4 次实验。

1. 确定实验考察的主要因素指标

明确实验目的，确定评价指标，即根据所掌握的专业知识和工程实践确定实验要解决什么样的问题。要选择实验的主要指标作为实验分析的评价指标。一个实验可能同时存在几个指标。

2. 确定因素，选取水平，制定因素水平表

影响实验结果的因素很多，但我们不可能对每个因素都加以研究，因此要根据平时积累的专业知识和相关文献，结合实际情况挑选一些主要的因素，排除一些次要的因素。但是，对于不可控因素，由于测不出因素的数值，因而无法看出不同水平的差别，也就无法判断该因素的作用，所以不能被列为研究对象。对于可控因素，要考虑那些对实验结果影响比较大，但又没有把握的因素来考察。特别注意的是不能把重要因素固定在某一状态上进行考察。一般倾向于多挑选一些因素进行考察，除非事先根据经验，能肯定某因素作用很小，不用考察。

确立各因素的水平。对于选出的因素，可以根据经验定出它们的实验范围，然后在实验范围内选出因素的水平，即确定水平的个数和各个水平的数量。确定因素的水平时，主要因素应多安排几个水平，次要因素少安排几个水平。因素水平选定后，就可以列出因素水平综合表。该表制定过程中，对于各个因素在哪一列，同一因素的各个水平在哪一行，一般来讲最好是打乱次序安排。但一经选定之后，实验过程中就不允许再改变。

3. 选取合适的正交表

常用的正交表有几十个，可以根据实际情况进行综合分析后决定选用哪个正交表。一般是根据因素和水平的多少以及交互作用、实验工作量的大小以及实验允许条件而定。

(1) 先看水平数。若各因素全是二水平，就选用 $L(2^k)$ 表；若各因素全是三水平，就选 $L(3^k)$ 表；若各因素的水平数不相同，就选择合适的混合水平表。

(2) 每一个交互作用在正交表中应占一列或两列。要看所选的正交表是否足够大，能否容纳下所考虑的因素和交互作用。为了对实验结果进行方差分析或回归分析，还必须至少留一个空白列，作为“误差”列，在极差分析中要作为“其他因素”列处理。

(3) 要看实验精度的要求。若要求高，则宜选取实验次数多的 L 表。

(4) 若实验费用很昂贵，或实验的经费很有限，或人力和时间都比较紧张，则不宜选取实验次数太多的 L 表。

(5) 按原来考虑的因素、水平和交互作用去选择正交表，若无正好适用的正交表

可选, 简便且可行的办法是适当修改原定的水平数。

(6) 对某因素或某交互作用的影响是否确实存在没有把握的情况下, 选择 L 表时, 常为该选大表还是选小表而犹豫。若条件许可, 应尽量选用大表, 让影响存在的可能性较大的因素和交互作用各占适当的列。某因素或某交互作用的影响是否真的存在, 留到方差分析进行显著性检验时再做结论。这样既可以减少实验的工作量, 又不至于漏掉重要的信息。

四、正交实验分析举例

实际安排实验时, 挑选因素水平、选用正交实验表等步骤都是同时进行的。例如, 在混凝实验中, 首先通过实践确定将剩余浊度作为考察实验效果好坏的指标。然后确定实验要考察的三个因素: pH、搅拌强度、加药量。接下来为每个因素选取水平数, 如 pH 因素水平可选为 6, 7, 8 三个水平。这些因素和水平之间可能有 27 种不同的组合, 也就是说, 要经过 27 次实验后才能知道哪一种组合最好。显然, 这种全面进行实验的方法, 不但费时费钱, 有时甚至是不可能完成的。对于这样一个问题, 我们可采用合适的正交实验设计表来安排实验, 只要经过 9 次实验便能得到满意的结果, 我们选用 $L_9(3^3)$ 表, 如表 2-2 所示。通过计算每个因素水平的平均值和极差 (R), 确定因素影响的主次顺序 (即哪些是主要影响因素)。

表 2-2 混凝正交实验 $L_9(3^3)$ 实验计划表

实验号	因 素			
	加药量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	搅拌强度/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	pH	剩余浊度/FTU
1	10	90	6	y_1
2	10	100	7	y_2
3	10	120	8	y_3
4	20	90	7	y_4
5	20	100	8	y_5
6	20	120	6	y_6
7	30	90	8	y_7
8	30	100	6	y_8
9	30	120	7	y_9
K_1				
K_2				
K_3				
$\overline{K_1}$				
$\overline{K_2}$				
$\overline{K_3}$				
R				

第三章 误差分析与数据处理

一、误差的概念及分类

误差就是测量值和真值的偏差。对某一指标进行测试后,观测值与真值之间的差值称为绝对误差。绝对误差是用来反映观测值偏离真值大小的。由于很难测得真值,实际应用中常用观测值与平均值之差表示绝对误差。绝对误差与平均值(真值)的比值称为相对误差。相对误差用于不同观测结果的可靠性的对比,常用百分数表示。

根据对测量值影响的性质,误差通常分为系统误差、偶然误差和过失误差。

1. 系统误差

系统误差是指在测定中未确定的因素隐去的误差。造成系统误差的原因很多,可能是环境、仪器、装置、测试方法等。

2. 偶然误差

又称随机误差,这种误差时大时小,方向不定,但多次测量后其误差平均值趋于零。偶然误差的来源一般为人的感官分辨能力不同、环境干扰等,这种误差是无法人为控制的。

3. 过失误差

过失误差一般是由于实验过程中操作人员工作粗心、仪器使用不当或者自身状况等因素造成的,过失误差是可以避免的。

二、实验数据的误差分析

误差分析的目的在于确定实验直接测量值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。

(一) 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值。例如,混凝实验中,混凝剂加药量和浊度都是直接可以测得的数值,即为直接测量值。

2. 间接测量值

间接测量值是根据公式计算后所得到的一些测量值。例如,过滤实验中求得的孔隙率,即为间接测量值。

(二) 直接测量值误差分析

1. 单次测量值误差分析

单次测量值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。如某仪器精度为 0.5 级，当测量值为 4.6 时，其误差值为 $4.6 \times 0.005 = 0.023$ ；若仪器未给出精度，假使仪器最小刻度为 0.2 ，那每次测量的误差可按 0.1 来考虑。

2. 重复多次测量值误差分析

(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：

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

偏差为 $d_i = x_i - \bar{x}$ ，则算术平均误差为：

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

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：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (3)$$

在有限次测量中，工程上常用下式计算标准偏差：

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

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：

$$a = \bar{x} \pm \sigma \quad (5)$$

第四章 水样的采集及保存

一、水样的类型

(一) 瞬时水样

瞬时水样是指在某一特定时间和地点从水体中采集的水样。当水体水质稳定,或其组分在相当长的时间内变化不大时,瞬时水样具有很好的代表性;当水体水量组分随时间变化时,就应调整采样间隔及采样点,多点采集瞬时样,分别进行分析,摸清水质的变化规律。瞬时水样一般用于给水水源和地面水水源的调查分析。

(二) 混合水样

混合水样是指在同一采样点,于不同时间所采集的瞬时水样的混合样品,有时称“时间混合水样”。这种水样在观察平均浓度时最有用。若水样的被测组分在贮存过程中会发生明显变化,则不能采用混合水样,而要采集个别水样,采样后立即进行测定,最好在采样地点进行。如所有溶解性气体、可溶性硫化物、剩余氯、温度、pH 等都不能采用混合水样。

(三) 综合水样

综合水样是指同一时间在不同采样点采集的各个瞬时水样混合后所得到的水样。这种水样在某些情况下更具有实际意义。例如,当为几条排污河、渠建立综合处理厂时,以综合水样取得的水质参数作为设计的依据更为合理。

二、地表水样的采集

(一) 采样前的准备

采样前,要根据监测项目的性质和采样方法的要求,选择适宜材质的盛水容器和采样器,并清洗干净。对采样器具的材质要求化学性能稳定,大小和形状适宜,不吸附欲测组分,容易清洗并可反复使用。此外,还需准备好交通工具,交通工具常使用船只。

(二) 采样方法和采样器

(1) 在河流、湖泊、水库、海洋中采样:常乘坐监测船或采样船、手划船等交通工具到采样点采集,也可涉水或在桥上采集。

(2) 采集表层水水样:可用适当的容器如塑料筒等直接采集。

(3) 采集深层水水样:可用简易采水器、深层采水器、采水泵、自动采水器等采集。

一般在采样之前,用水样冲洗采样瓶 2 ~ 3 次,采样时,水样距离瓶塞 2 cm。采集江河湖泊、海洋表面的水样时,将采样瓶浸入水面以下 20 ~ 50 cm 并距离岸边 1 ~ 2 m 处采集水样。

(三) 采样的量

供一般物理性质、化学分析用的水样采集约 2 L 即可。如需对水样进行全分析或某

些特殊测定时,则要采集 5 ~ 10 L 或更多水样。

三、地下水样的采集

(一) 井水

利用抽水设备从井中采集水样时,应先放几分钟水,将积存在管道内的杂质和陈旧的水排出。对于无抽水设备的水井,可选择适合的采水器直接采集水样,如深层采水器、自动采水器等。

(二) 泉水、自来水

对于自喷泉水,在涌水口处直接采样。对于不自喷泉水,用采集井水水样的方法采样。对于自来水,先将水龙头完全打开,将积存在管道中的陈旧水排出后再取样。

四、废(污)水样的采集

(一) 浅层废(污)水

从浅埋排水管、沟道中采样,用采样容器直接采集,也可用长把塑料勺采集。

(二) 深层废(污)水

对埋层较深的排水管、沟道,可用深层采水器或固定在负重架内的采样容器放入检测井内采样。

(三) 自动采样

采用自动采水器可自动采集瞬时水样和混合水样。当废(污)水排放量和水质较稳定时,可采集瞬时水样;当排放量较稳定、水质不稳定时,可采集时间等比例水样;当二者都不稳定时,必须采集流量等比例水样。

五、采集水样注意事项

(1) 测定悬浮物、pH、溶解氧、生化需氧量、油类、硫化物、余氯、放射性、微生物等项目需要单独采样;其中,测定溶解氧、生化需量量和有机污染物等项目的水样必须充满容器;pH、电导率、溶解氧等项目宜在现场测定。另外,采样时还需同步测量水文参数和气象参数。

(2) 采样时必须认真填写采样登记表;每个水样瓶都应贴上标签(填写采样编号、采样日期和时间、预测定项目等);要塞紧瓶塞,必要时还要密封。

六、水样的运输与保存

(一) 水样的运输

水样采集后,必须尽快送回实验室。根据采样点的地理位置和测定项目最长可保存时间,选用适当的运输方式,并做到以下两点:

(1) 为避免水样在运输过程中震动、碰撞导致损失或玷污,要将其装箱,并用泡沫塑料或纸条挤紧,在箱顶贴上标记。

(2) 需冷藏的样品,应采取制冷保存措施。冬季应采取保温措施,以免冻裂样品瓶。

(二) 水样的保存方法

各种水质的水样,从采集到分析测定这段时间内,由于环境条件的改变,微生物新