



UANJIANGKEXUEYUGONGCHENGSHIYANJIAOXUEXILIEJIAOCAI
环境科学与工程实验教学系列教材

环境工程实验

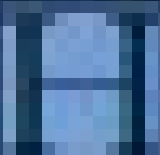


● 主 编 卞文娟 刘德启

HUANJING



南京大学出版社



湖北环境工程学院

环境工程实验



主编 王 强 副主编 王 强

HUANPING



环境科学与工程实验教学系列教材

环境工程实验

主 编 卞文娟 刘德启



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境工程实验 / 卞文娟, 刘德启主编. —南京: 南京大学出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 305 - 09520 - 7

I. ①环… II. ①卞… ②刘… III. ①环境工程—实验 IV. ①X5 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 277894 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出 版 人 左 健

丛 书 名 环境科学与工程实验教学系列
书 名 环境工程实验
主 编 卞文娟 刘德启
责任编辑 陈济平 编辑热线 025 - 83686531

照 排 江苏南京大学印刷厂
印 刷 南京玉河印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 15.75 字数 291 千
版 次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
ISBN 978 - 7 - 305 - 09520 - 7
定 价 28.00 元

发行热线 025 - 83594756
电子邮箱 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

工科专业教学过程中,实践技能的培养是非常重要的内容。环境工程实验是环境工程专业的一门核心实践课程,内容涵盖水污染控制工程、大气污染控制工程和固体废弃物处理与处置的各主要实用技术和部分新技术,是环境工程专业理论和原理在工业领域的具体实施和理论概念的具体化。本书根据国家教育委员会环境工程类专业教材委员会制定的教学基本要求,结合多年“环境工程实验”教学实践,同时参考各校教材讲义的基础上,编写而成。

本书分为五章,前面两章简要介绍了实验设计和数据处理的基本方法和原则,第三、四、五章为环境工程各主干专业课程的实践教学内容。本书的实验内容以现行较为成熟的实用技术为主,结合部分新技术设计了三十六个实验,基本包括了环境工程类污染处理设施通用的各类治污工艺、技术、方法、仪器和设备,以实验室小型化和模拟化手段,实现了理论到实践的过渡。实验设计以模拟工程设施的运行、监督和维护为主线,贯彻本专业主要专业理论,旨在培养工艺设备的运行管理及使用实验仪器、设备的技能,可加强学生对环境污染控制主要工艺流程和基本原理的理解和掌握,强化学生的分析和动手能力。实验过程中,力求使学生学习如何用实验方法判断和监控控制过程的性能和规律,锻炼学生对实验数据的分析和处理能力,使他们初步掌握工艺设备运行状况的分析和评价技能,了解实验手段在环境工程工艺与设备研究开发中的重要作用。

本书由卞文娟、刘德启担任主编,各章节的主要编写人员如下:第三章实验一、七、八由王文丰、郭晓稚编写;第三章实验三、六由王廖沙编写;第三章实验四、十、二十由刘德启、张聿平编写;第三章实验十二、十五、十六由陈建军编写;附录由张聿平、张娇编写;其余章节均为卞文娟编写,陈喜华辅助全书工艺流程图绘制。本书的出版得到了教育部2008年度国家人才培养模式创新实验区建设项目“理工结合模式培养化学化工科技创业人才实验基地”的资金支持,苏州大学材料与化学化工学部郎建平、倪沛红两位老师给予本书方向性的鼓励和指导,在此表示衷心的感谢。

本书可作为高等院校环境工程及相关专业的实验教学用书,也可供科研、设计及管理 人员参考。

由于编者水平及知识宽度有限,书中若有错误和不当之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2012年2月

目 录

| | |
|-----------------------|-----|
| 绪 论 | 1 |
| 第一节 环境工程实验教学的目的是要求 | 1 |
| 第二节 实验的基本程序 | 3 |
| 第一章 实验设计 | 5 |
| 第一节 实验设计简介 | 5 |
| 第二节 单因素实验设计 | 8 |
| 第三节 双因素实验设计 | 11 |
| 第四节 正交实验设计 | 12 |
| 第二章 误差分析与数据处理 | 25 |
| 第一节 误差的基本概念 | 25 |
| 第二节 实验数据整理 | 29 |
| 第三节 实验数据处理 | 33 |
| 第三章 水处理实验 | 42 |
| 实验一 化学混凝实验 | 42 |
| 实验二 水静置沉淀实验 | 47 |
| 实验三 加压溶气气浮实验 | 51 |
| 实验四 过滤与反冲洗实验 | 55 |
| 实验五 活性炭吸附实验 | 61 |
| 实验六 离子交换实验 | 66 |
| 实验七 电渗析实验 | 70 |
| 实验八 超滤膜分离实验 | 75 |
| 实验九 加氯消毒实验 | 82 |
| 实验十 臭氧紫外脱色实验 | 88 |
| 实验十一 放电等离子体技术降解酚类废水实验 | 94 |
| 实验十二 活性污泥法评价指标实验 | 98 |
| 实验十三 CASS 处理系统的观测和运行 | 103 |
| 实验十四 生物转盘实验 | 108 |
| 实验十五 生物接触氧化实验 | 113 |

| | | |
|-------------|-------------------------|------------|
| 实验十六 | 移动床生物反应器 | 118 |
| 实验十七 | 剩余污泥厌氧消化实验 | 122 |
| 实验十八 | 升流式厌氧污泥床处理高浓度有机废水实验 | 127 |
| 实验十九 | 污泥比阻测定实验 | 131 |
| 实验二十 | 土地处理系统综合实验 | 137 |
| 第四章 | 大气污染控制工程实验 | 142 |
| 实验一 | 文丘里洗涤器除尘实验 | 142 |
| 实验二 | 布袋除尘实验 | 145 |
| 实验三 | 静电除尘实验 | 151 |
| 实验四 | 干法脱除烟气中二氧化硫 | 156 |
| 实验五 | 碱液吸收烟气中二氧化硫 | 160 |
| 实验六 | 吸附法治理恶臭气体 | 166 |
| 实验七 | 放电等离子体烟气脱硫脱硝 | 171 |
| 实验八 | 放电等离子体技术处理甲苯废气 | 176 |
| 实验九 | 催化转化法去除氮氧化物 | 182 |
| 实验十 | 生物洗涤塔净化挥发性有机物 | 186 |
| 第五章 | 固体废物处理与处置实验 | 191 |
| 实验一 | 固体垃圾跳汰分选实验 | 191 |
| 实验二 | 固体垃圾破碎实验 | 194 |
| 实验三 | 剩余污泥板框压滤脱水实验 | 197 |
| 实验四 | 生活垃圾厌氧发酵产气实验 | 203 |
| 实验五 | 生活垃圾好氧堆肥实验 | 207 |
| 实验六 | 有机固废热解实验 | 210 |
| 附录 | | 214 |
| 附录 I | 分析测试方法 | 214 |
| 一、 | 化学需氧量的测定 | 214 |
| 二、 | 水质氨氮的测定(水杨酸分光光度法) | 218 |
| 三、 | 水质总氮的测定(气相分子吸收光谱法) | 223 |
| 四、 | 溶解氧的测定(电化学探头法) | 226 |
| 五、 | 水质挥发酚的测定(4-氨基安替比林分光光度法) | 229 |
| 六、 | 环境空气中悬浮颗粒物浓度的测定 | 234 |
| 附录 II | 常用正交表 | 237 |
| 附录 III | 水中氧的溶解度与温度、压力和盐分的关系 | 241 |
| 参考文献 | | 245 |

绪 论

第一节 环境工程实验教学的目的是要求

污染观象的解释、污染治理设施的工艺运行以及污染物处理技术和设备的研发都需要通过实验来确定。环境工程实验是建立在实验基础上的一门学科,以典型的污染治理工艺和设备的基本运行流程为基础,结合基本的监测分析手段,使学生了解现行的典型污染治理设备和工艺,加深对环境工程基本理论的理解和掌握,并初步培养工艺设备运行的操作和监控技能。该课程是高等学校环境工程专业本科实践必修课程,是环境工程相关理论教学的重要组成部分,内容涵盖水处理工程、大气污染控制工程和固体废弃物处置的各主要治理技术以及工艺设备的运行管理与监督。

一、教学目的

(1) 通过实验教学促进学生理论联系实际,以培养学生观察问题、分析问题和解决问题的能力。

(2) 本课程旨在加深学生对环境工程主要技术、工艺流程和基本原理的理解和掌握,巩固所学基本理论知识,并培养一定的操作、分析技能。

(3) 培养学生设计和组织相关实验方案的初步能力,促进学生掌握主要工艺设备的运行管理技能及使用实验仪器、设备的能力。

(4) 掌握分析、采集数据的基本方法,建立数据与设备运行状况之间的基本关系,初步掌握对所采用的污染治理流程进行综合分析的基本技能。

(5) 加强学生对实验数据的分析和处理能力,训练学生根据实验数据来分析、判断、评价工艺设备运行状况。

(6) 通过一系列设计型实验提高学生分析问题和解决问题的能力。

二、教学要求

1. 课前预习

本实验课程是相关理论课程的延伸。实验前,学生应认真阅读实验教材中相关的实验内容,复习理论教材中有关基本理论和原理,并需进一步查阅其他的相关参考文献和资料。实验前要求做到:明确所做实验的目的、要求和实验内容;理解实验所涉及的专业知识和原理;明确具体实验的测试项目和测试方法;准备好实验记录表格和计算用具;熟悉相关实验的系统流程图,明确实验的基本流程和步骤;明确实验重点设备的操作要点和注意事项。

2. 实验设计

不同的工艺流程具有不同的实验手段和实验流程,实验设计是实验手段和实验流程的细化,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。学生应在熟悉基本工艺设备运行原理和流程的基础上,依据实验目的,进行实验设计。在实验教学中,应将此环节反复训练,使学生掌握实验设计的基本方法。

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,实验所用器具是否灵活可用,测试设备是否准备就绪。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,详细真实地进行数据记录。实验结束后,要将实验设备和仪器仪表恢复原状。检查实验装置是否完好,将实验室周围环境整理干净。学生应注意培养自己严谨的科学态度,养成良好的实验习惯。

4. 实验数据的记录和处理

实验过程中及时取样分析并获得实验数据具有非常重要的作用。不同的数据反映不同的现象或工程设备的不同运行状况,必须对所获得的实验数据进行科学、及时的分析整理并进行数据处理,根据所获得的实验数据对该次实验进行评价、总结,并对污染治理设备的运行状况进行评价和判断,并分析结论的可靠性。

5. 编写实验报告

实验报告是对整个实验的全面总结,是实验教学必不可少的组成部分。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。实验报告包括以下组成成分:实验名称;实验目的;实验原理;实验装置或流程图;实验步骤和方法;实验数据及分析处理;实验结果及问题讨论。

综合开发性实验报告内容应包括:课题的调研;实验方案的技术路线;实验过程设计;实验结果的分析讨论;实验结论;参考文献等。

第二节 实验的基本程序

由于工程实验涉及设备仪器众多,实验程序复杂,因此,在进行实验时,必须遵循正确的实验程序,熟悉实验的系统流程,以避免实验过程中的误操作。对于复杂的仪器设备,更要留意操作注意事项。

一、提出问题

根据已经掌握的知识,提出实验拟验证的基本概念或探索研究的问题。

二、设计实验方案

确定实验目标后要根据人力、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、实验系统流程及设备、实验步骤、测试项目和测试方法等内容。

三、实验研究

实验中应该严格按照实验方案、遵照操作规程进行实验操作,并仔细观察实验现象。在实验中除了密切观察实验流程中各主要仪器仪表参数外,还应注意以下几个方面的工作:根据设计好的实验方案进行实验,按时取样并按要求进行测试。

监测实验是协助工程设备良好运行的重要辅助手段,实验数据往往和一定的实验流程、实验设备运行工况和实验现象联系在一起,实验过程中及时准确的取样分析,对发现实验数据的变化过程和规律具有非常重要的作用。

四、记录实验数据并分类

工程实验往往不止一类实验数据,可能会有多类测试项目以正确反映一定流程的运行状况和效果,因此,实验数据的获得和分类是非常重要的工作。

五、按时整理分析实验数据

实验数据的可靠性和按时分析整理是工程实验的重要环节,学生应利用已掌握的基本原理和方法分析实验数据,通过数据分析加深对基本理论的理解,并及时发现实验过程中的异常现象,包括实验装置操作运行情况、测试方法等方面的问题,要及时总结,及时解决,使实验工作能顺利进行。

六、实验小结

实验小结可以帮助学生加深对实验目的和内容的理解。通过对实验数据的系统分析,对实验结果进行评价,实验过程中是否发现新的问题,是否验证了文献中的某些观点,是否可以设计新的实验流程,是否可以提出新的实验方案。只有通过学生自己动手进行实验设计,才能使学生初步获得实际工作的训练,为今后的科学研究和实际工作能力打下良好的基础。当实验数据不合理时,应分析原因,对实验方案进行调整并按新方案开展实验。

第一章 实验设计

第一节 实验设计简介

实验是解决复杂实际和工程问题的一个重要手段。几乎所有的科学研究都要用到实验,但是采用什么样的理论来指导实验,什么样的方法来设计实验,又如何对实验的数据进行整理,将影响到实验的成败、成本和方案优化。环境工程实验是各类污染治理工程的小型模拟,其采用设备的基本原理和设计思路与工程设备具有一定的相似性,因此,做好实验设计是有效开展实验的基础。

一、实验设计的目的

实验设计的目的是选择一种对所研究的特定问题最有效的实验安排,以使用最少的人力、物力和时间获得满足要求的实验结果。广义地说,它包括明确实验目的、确定实验参数、确定需要控制或改变的条件、选择实验方法和测试仪器、确定测量精度要求、实验方案设计和数据处理步骤等。科学合理地安排实验应做到以下几点:

实验次数应尽可能少;

实验数据要便于分析和处理;

通过实验结果的计算、分析和处理,寻找出最优方案,以便确定进一步实验的方向;

实验结果要令人满意、信服;

实验设计是实验研究过程中的重要环节,通过实验设计,可以使我们的实验安排在最有效的范围内,以保证通过较少的实验步骤得到预期的实验结果。

二、实验设计的几个基本概念

一般来说,完善的设计方案需具备以下几个条件:实验所需的人力、物力和时间资源。实验设计应符合专业和统计学要求,对实验数据的收集、整理、分析等有一套科学的规范和正确的方法,而其中准确把握统计研究设计的“三要素”,

是科学实验设计的核心。

1. 实验指标

在实验设计中用来衡量实验效果好坏所采用的标准称为实验指标,或简称指标。例如,二氧化硫吸收试验中,为了确定最佳的运行工艺和参数,选定进出口气体中二氧化硫浓度或去除率作为评定各次实验效果好坏的标准,即二氧化硫浓度作为吸收法治理二氧化硫废气的实验指标。

2. 实验因素

在生产过程和科学研究中,对实验指标有影响的条件,通常称为因素。有一类因素,在实验中可以人为地加以调节和控制,叫做可控因素。例如,混凝实验中的投药量和 pH 是可以人为控制的,属于可控因素。另一类因素,由于技术、设备和自然条件的限制,暂时还不能人为控制的,叫做不可控因素。例如,气温、风对沉淀效率的影响都是不可控因素。实验方案设计一般只适用于可控因素。下面说到的因素,凡没有特别说明的,都是指可控因素。在实验中,影响因素通常不止一个,但我们往往不是对所有的因素都加以考察。有的因素在长期实践中已经比较清楚,可暂时不考察,固定在某一状态上,只考察一个因素,这种考察一个因素的实验,叫做单因素实验;考察两个因素的实验称双因素实验;考察两个以上因素的实验称多因素实验。

3. 实验水平

在实验设计中用来衡量实验效果好坏所采用的标准称为实验指标,或简称指标。例如,在进行地面水的混凝实验时,为了确定最佳投药量和最佳 pH,选定浑浊度作为评定比较各次实验效果好坏的标准,即浊度是混凝实验的指标。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,就称它是几水平的因素。因素在实验中所处状态(即水平)的变化,可能引起指标发生变化。例如,在污泥厌氧消化实验时要考察三个因素——温度、泥龄和负荷率,温度因素选择为 25℃、30℃、35℃,这里的 25℃、30℃、35℃就是温度因素的三个水平。

因素的水平有的能用数量表示,有的则不能用数量表示。例如,在采用不同混凝剂进行印染废水脱色实验时,要研究哪种混凝剂较好,在这里各种混凝剂就表示混凝剂这个因素的各个水平,不能用数量表示。再如,吸收法净化气体中 SO₂ 的实验中,可以采用 NaOH 和 Na₂CO₃ 溶液为吸收剂,这时 NaOH 和 Na₂CO₃ 就分别为吸收剂这一因素的两个水平。凡是不能用数量表示水平的因素,称为定性因素。在多因素实验中,有时会遇到定性因素。对于定性因素,只要对每个水平规定具体含义,就可与定量因素一样对待。

三、实验设计的应用

在生产和科学研究中,实验设计方法已得到广泛应用,概括地说,包括三方面的应用:

(1) 在生产过程中,人们为了达到优质、高产、低消耗等目的,常需要对有关因素的最佳点进行选择,一般是通过实验来寻找这个最佳点。实验的方法很多,为能迅速地找到最佳点,这就需要通过实验设计,合理安排实验点,才能最迅速地找到最佳点。例如,混凝剂是水净化常用的化学药剂,适宜的混凝剂以及混凝剂投加量因废水的具体情况不同而异,因此,常需要多次实验进行混凝剂筛选并确定最佳投药量,此时便可以通过实验设计来减少实验的工作量。

(2) 估算数学模型中的参数时,在实验前,若通过实验设计合理安排实验点、确定变量及其变化范围等,可以使我们以较少的时间获得较精确的参数。

(3) 当可以用几种数学模型来描述某一过程时,常需要通过实验确定哪一种是比较恰当的模型(即竞争模型的筛选),此时也需要通过实验设计来保证实验向我们提供可靠的信息,以便正确地进行模型筛选。

实验设计的方法很多,有单因素实验设计、双因素实验设计、正交实验设计、析因分析实验设计、序贯实验设计等。各种实验设计的目的和出发点不同,因此,在进行实验设计时,应根据研究对象的具体情况决定采用哪一种方法。

四、实验设计的步骤

进行实验方案设计的步骤如下:

1. 明确实验目的,确定实验指标

实验以需要解决的问题作为研究对象,一般研究对象不止一个。例如,在进行混凝效果的研究时,要解决的问题有适宜的混凝剂、最佳投药量、最佳 pH 和水流速度梯度。我们不可以通过一次实验把所有这些问题都解决,因此,实验前应首先确定这次实验的目的究竟是解决哪一个或者哪几个主要问题,然后确定相应的实验指标。

2. 挑选因素

在明确实验目的和确定实验指标后,要分析研究影响实验指标的因素,从所有的影响因素中排除哪些影响不大,或者已经掌握的因素,让它们固定在某一状态上,挑选那些对实验指标可能有较大影响的因素进行考察。例如,在进行 BOD 模型的参数估计时,影响因素有温度、菌种数、硝化作用及时间等,通常是把温度和菌种数控制在一定状态上,并排除硝化作用的干扰,只通过考察 BOD 随时间的变化来估计参数。

3. 选定实验设计方法

因素选定后,可根据研究对象的具体情况决定选用哪一种实验设计方法。例如,对于单因素问题,应选用单因素实验设计法;三个以上因素的问题,可以用正交实验设计法;若要进行模型筛选或确定已知模型的参数估计,可采用序贯实验设计法。

4. 实验安排

上述问题都解决后,便可以进行实验点位置安排,开展具体的实验工作。

下面我们仅介绍单因素实验设计、双因素实验设计及正交实验设计法的部分基本方法,原理部分可根据需要参阅有关书籍。

第二节 单因素实验设计

单因素实验指只有一个影响因素的实验,或影响因素虽多,但在安排实验时只考虑一个对指标影响最大的因素,其他因素尽量保持不变。单因素实验设计方法有 0.618 法(黄金分割法)、对分法、分数法、均分法、爬山法和抛物线法等。前三种方法可以用较少的实验次数迅速找到最佳点,适用于一次只能出一个实验结果的问题。对分法效果最好,每做一个实验就可以去掉实验范围的一半。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。爬山法适用于研究对象不适宜或者不易大幅度调整的问题。

下面介绍对分法、分数法和均分法。

一、对分法

采用对分法时,首先要根据经验确定实验范围。设实验范围在 (a, b) 之间,第一次实验点安排在 (a, b) 的中点 $x_1[x_1 = (a + b)/2]$,若实验结果表明 x_1 取大了,则丢去大于 x_1 的一半,第二次实验点安排在 (a, x_1) 的中点 $x_2[x_2 = (a + x_1)/2]$ 。如果第一次实验结果表明 x_1 取小了,便丢去小于 x_1 的一半,第二次实验点就取在 (x_1, b) 的中点。这个方法的优点是每做一次实验便可以去掉一半,且取点方便,适用于预先已经了解所考察因素对指标的影响规律,能够从一个实验的结果直接分析出该因素的值是取大了或取小了的情况。

例如,确定消毒时加氯量的实验,可以采用对分法。

二、分数法

分数法又叫菲波那契数列法,它是利用菲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,或者限制实验次数的情况下,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 $1/2$,即这一点与实际最佳点的最大可能距离为 $1/2$ 。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 $1/5$ ……,做几次实验就在实验范围内 F_n/F_{n+1} 处做,其精度为 $1/F_{n+1}$ 。如表 1.1 所示。

表 1.1 分数法实验点位置与精确度

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---|---------------|---|---|
| 试验次数 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | … | n | … | … |
| 等分试验范围的分数 | 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 | $1/3$ | $1/5$ | $1/8$ | $1/13$ | $1/21$ | $1/34$ | … | $1/F_{n+1}$ | … | … |

表中的 F_n 及 F_{n+1} 叫“菲波那契数”,它们可由下列递推式确定:

$$F_0 = F_1 = 1 \quad (1.1)$$

$$F_K = F_{K-1} + F_{K-2} (K = 2, 3, 4, \dots) \quad (1.2)$$

由此得

$$F_2 = F_1 + F_0 = 2 \quad (1.3)$$

$$F_3 = F_2 + F_1 = 3 \quad (1.4)$$

$$F_4 = F_3 + F_2 = 5 \quad (1.5)$$

$$F_{n+1} = F_n + F_{n-1} \quad (1.6)$$

因此,表 1.1 第三行中各分数,从分数 $2/3$ 开始,以后的每一分数,其分子都是前一分数的分母,而其分母都是等于前一分数的分子与分母之和,照此方法不难写出所需要的第一次实验点位置。

分数法各实验点的位置,可用下列公式求得:

$$\text{第一个实验点} = (\text{大数} - \text{小数}) \times F_n/F_{n+1} + \text{小数} \quad (1.7)$$

$$\text{新实验点} = (\text{大数} - \text{中数}) + \text{小数} \quad (1.8)$$

式中:中数为已试的实验点数值。

(1.7)式和(1.8)式推导如下:首先由于第一个实验点 x_1 取在实验范围内的 F_n/F_{n+1} 处,所以 x_1 与实验范围左端点(小数)的距离等于实验范围总长度的

F_n/F_{n+1} 倍, 即:

$$\text{第一实验点} - \text{小数} = [\text{大数}(\text{右端点}) - \text{小数}] \times F_n/F_{n+1}$$

移项后, 即得式(1.7)。

又由于新试验点 (x_2, x_3, \dots) 安排在余下范围内与已试点相对称的点上, 因此, 不仅新试验点到余下范围的中点的距离等于已试点到中点的距离, 而且新试点到左端点的距离也等于已试点到右端点的距离(图 1.1), 即:

$$\text{新试点} - \text{左端点} = \text{右端点} - \text{已试点}$$

移项后即得式(1.8)。

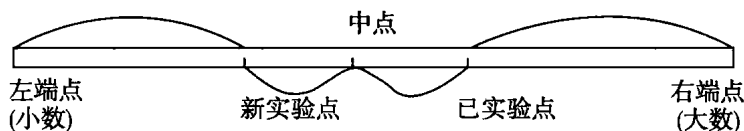


图 1.1 分数法实验点位置示意图

下面以一具体例子说明分数法的应用。

某污水厂准备投加三氯化铁改善污泥的脱水性能, 根据初步调查投药量在 160 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(1.7)可得到第一个实验点位置:

$$(160-0) \times 5/8 + 0 = 100(\text{mg/L})$$

(2) 根据式(1.8)得到第二个实验点位置:

$$(160-100) + 0 = 60(\text{mg/L})$$

(3) 假定第一点比第二点好, 所以在 60~160 之间找第三点, 丢去 0~60 的一段, 即:

$$(160-100) + 60 = 120(\text{mg/L})$$

(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 $(100+120)/2=110(\text{mg/L})$ 处进行实验得到的效果最好。

三、均分法

当完成实验需要较长时间, 或者测试一次要花很大代价, 而每次同时测试几个样品和测试一个样品所花的时间、人力或费用相近时, 采用均分法比较好。这种方法是每批实验等步长地安排在实验范围内。例如每批要做 4 个实验, 我们