



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

水处理实验技术

(第三版)

吴俊奇 李燕城 主 编

吕亚芹 副主编

周玉文 主 审

中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

水处理实验技术

(第三版)

吴俊奇 李燕城 主 编
吕亚芹 副主编
周玉文 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水处理实验技术/吴俊奇等主编. —3 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材. 高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-10131-3

I. 水… II. 吴… III. 水处理-实验-高等学校-教材
IV. TU991.2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 113261 号

本书在《水处理实验技术》(第二版)的基础上,对第1章和第2章的有关概念、内容和文字表达进行了精炼,使涉及的公式推导及表达更加严谨和规范,许多记法更符合数学常规。书后附有光盘,是对第3章和第4章的实验进行筛选,用近两年的时间制作的11个基本实验过程的动画演示和录像,对学生会有很好的指导作用。

本书可作为给水排水工程、环境工程及相关专业学生的教科书,也可作为相关技术人员的参考书。

* * *

责任编辑:王美玲

责任设计:董建平

责任校对:刘 钰 关 健

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材 水处理实验技术 (第三版)

吴俊奇 李燕城 主 编

吕亚芹 副主编

周玉文 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市彩桥印刷有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 19¼ 字数: 480 千字

2009 年 1 月第三版 2009 年 1 月第十五次印刷

定价: 39.00 元 (含光盘)

ISBN 978-7-112-10131-3

(16934)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第三版前言

本书是在《水处理实验技术》(第二版)的基础上,根据全国高等学校给排水工程专业指导委员会的建议对本书进行修订。本次修订工作由吴俊奇教授全面负责。

本次修订对第1章和第2章的有关概念、内容和文字表达进行了精炼,使涉及的公式推导及表达更加严谨和规范,许多记法更符合数学常规。为今后能配合开放实验,既达到锻炼学生动手能力,又提高有限实验时间利用率的目的,增加了常用实验仪器设备使用说明章节,并对第3章和第4章的实验进行筛选,对其中11个基本实验用近两年的时间制作了实验过程的动画演示和录像,对学生将会有很好的实验指导作用。

本书第1、2章由吕亚芹编写,第3、4章由吴俊奇、李燕城编写,第5章由吴俊奇、韩芳、秦纪伟编写。参与实验动画制作和录像的教师有黄忠臣、袁京生、韩芳、吴菁、杨海燕、张春学、秦纪伟、李颖娜、罗溪婧等。本书由北京工业大学周玉文教授主审。

本书在修订过程中得到了马龙友教授、贾玲华副教授、汪慧贞教授、张雅君教授的指导和帮助,在此一并表示感谢。

因编者水平有限,书中不足之处敬请批评指正。

吴俊奇

2008年4月于北京建筑工程学院

第二版前言

本书自 1989 年出版以来，一直是高等院校给水排水工程专业本科生的重要参考教材之一。近十几年来本学科发展很快，出现了许多新理论、新工艺和新方法，而且现今提出的素质教育对学生动手能力培养方面有了新的要求和含义，为此，给水排水工程专业指导委员会建议对本书进行修改。受本书主编李燕城教授的委托，吴俊奇副教授负责此次的全面修订工作。

本书是李燕城教授等教师多年教学和科研工作的结晶，书中收集了大量第一手科研资料和成果，对学生科研能力培养很有益处，且也基本符合现今素质教育的要求，故对原书只作了少量的改动，但增加了一些新的实验如给水处理动态模型实验、SBR 法实验、流动电流絮凝控制实验、膜生物反应器实验等。由于有些实验本身包括了生物处理、物理处理、化学处理、物理化学处理等原理，而有些实验又在给水处理、污水处理中都有应用，所以很难用物理处理、化学处理、生物处理或给水处理、污水处理来进行分类。但为了配合相关教材及沿袭过去的分类习惯，在参考了几所兄弟院校编写的水处理实验指导书后，对原书第 3 章按给水处理和污水处理进行分类编写。此外，为配合教学，本次修订尽可能使书中公式的符号与第四版《给水工程》和《排水工程》教材相一致。

本版所增加的给水排水动态模型实验主要是根据哈工大制造的水处理模型实验装置说明资料和孙丽欣主编的《水处理工程应用实验》一书中有关内容编写而成，在此对有关作者表示衷心感谢。

本书在修订过程中得到了汪慧贞教授、张雅君教授、付婉霞副教授和韩芳工程师等多位教师的指导和帮助，在此一并表示感谢。

本书由北京工业大学周玉文教授主审。

因编者水平有限，书中不足之处敬请批评指正。

吴俊奇

2003 年 12 月于北京建筑工程学院

第一版前言

《水处理实验技术》是给水排水工程专业必修课，是水处理教学的重要组成部分，是培养给水排水工程、环境工程技术人员所必需的课程。本课程可以加深学生对水处理技术基本原理的理解；培养学生设计和组织水处理实验方案的初步能力，培养学生进行水处理实验的一般技能及使用实验仪器、设备的基本能力；培养学生分析实验数据与处理数据的基本能力。

本书根据 1983 年长沙给水排水工程专业教学大纲会议及 1984 年给水排水工程、环境工程教材编审委员会“水处理实验技术教学大纲”审定稿和 1987 年给水排水及环境工程教材编审委员会“水处理实验技术教学基本要求”审定稿编写。

本书内容包括：1. 实验方案的优化设计；2. 实验数据的分析处理；3. 给水处理及废水处理必开与选开的 19 个实验项目，其中：（1）物理处理实验 7 项；（2）生物处理实验 5 项；（3）化学处理实验 5 项；（4）污泥处理实验 2 项。由于本书主要面向各高等院校教学，同时也面向生产和科研，考虑到本书的完整性、实验性及独立性，故编写了实验方案的优化设计及实验数据的分析处理部分。目前各院校情况不同，又考虑到科研、生产的需要，编写了 19 项水处理实验，有些实验项目还采用了几种不同的方法；或者选用了不同的实验设备。每个实验开头有简短的提要，主要介绍实验内容及在工程实践中的重要意义；结尾都有思考题以利于学生学习和实验工作的深入；在内容叙述上，力求做到：实验原理叙述清晰，计算公式推导完整，实验步骤简明扼要。

根据 1987 年给水排水及环境工程教材编审委员会第六次会议决定，本书作为给水排水工程专业本科教材，并决定本课程应开出包括水处理课在内的混凝沉淀、过滤、软化和除盐，自由沉淀（或成层沉淀）、生物处理（包括曝气充氧内容）、酸性废水中和、活性炭吸附、污泥处理 9 项必开实验，其他选开实验则由各院校根据本校的具体情况自定。

本书由北京建筑工程学院李燕城副教授主编。第一章及第二章由数学教研室马龙友副教授、贾玲华讲师及给水排水教研室李燕城副教授编写，第三章由给水排水教研室编写，其中实验 1（2）、4、5（2）、7、13（1）、14、15（1）由柳新根副教授编写，实验 5（1）、（3）、13（2）、15（2）由李耀曾副教授编写。此外给水排水教研室李常居助理工程师、邱少强工程师、王茂才实验师等参加了部分

工作。

本书由哈尔滨建筑工程学院张自杰教授、重庆建筑工程学院姚雨霖教授主审。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，欢迎广大读者给予批评指正。

编者

1988年5月

目 录

绪论	1
0.1 水处理实验技术的作用	1
0.2 水处理实验过程	1
第1章 实验设计	5
1.1 实验设计的几个基本概念	5
1.2 单因素优化实验设计	6
1.2.1 均分法与对分法	7
1.2.2 0.618 法	8
1.2.3 分数法	10
1.3 多因素正交实验设计	13
1.3.1 正交实验设计	13
1.3.2 多指标正交实验及直观分析	22
第2章 实验数据分析与处理	30
2.1 实验误差分析	30
2.1.1 测量值及误差	30
2.1.2 直接测量值误差分析	31
2.1.3 间接测量值误差分析	34
2.1.4 测量仪器精度的选择	36
2.2 实验数据处理	37
2.2.1 有效数字及其运算	37
2.2.2 实验数据处理	38
2.2.3 实验数据中可疑数据的取舍	39
2.2.4 实验数据处理计算举例	42
2.3 实验数据分析	44
2.3.1 单因素方差分析	44
2.3.2 正交实验方差分析	49
2.3.3 实验成果的表格、图形表示法	59
2.3.4 回归分析	60
第3章 给水处理实验	80

3.1 混凝搅拌实验	80
3.2 过滤实验	85
3.2.1 滤料筛分及孔隙率测定实验	85
3.2.2 过滤实验	89
3.2.3 滤池冲洗实验	93
3.3 流动电流絮凝控制系统运行实验	98
3.4 消毒实验	102
3.4.1 折点加氯消毒实验	102
3.4.2 臭氧消毒实验	107
3.5 离子交换软化实验	112
3.5.1 强酸性阳离子交换树脂交换容量的测定实验	112
3.5.2 软化实验	113
3.6 除盐实验	117
3.6.1 离子交换除盐实验	117
3.6.2 电渗析除盐实验	121
3.7 给水处理动态模型实验	128
3.7.1 脉冲澄清池实验	129
3.7.2 水力循环澄清池实验	130
3.7.3 重力式无阀滤池实验	132
3.7.4 虹吸滤池实验	134
3.7.5 斜板沉淀池实验	136
3.8 冷却塔热力性能测试实验	137
第4章 污水处理实验	143
4.1 颗粒自由沉淀实验	143
4.1.1 颗粒自由沉淀实验	143
4.1.2 原水颗粒分析实验	148
4.2 絮凝沉淀实验	151
4.3 拥挤沉淀实验	156
4.4 污水可生化性能测定实验	162
4.4.1 BOD_5/COD 比值法	163
4.4.2 瓦勃氏呼吸仪测定法	163
4.5 活性污泥活性测定实验	170
4.5.1 吸附性能测定实验	170
4.5.2 生物降解能力测定实验	172
4.6 好氧生物处理实验	175

4.6.1 曝气池混合液比耗氧速率测定实验	176
4.6.2 完全混合生化反应动力学系数测定实验	178
4.7 曝气充氧实验	189
4.7.1 曝气设备清水充氧性能测定实验	189
4.7.2 污水充氧修正系数 α 、 β 值测定实验	197
4.8 间歇式活性污泥法 (SBR 法) 实验	202
4.9 高负荷生物滤池实验	205
4.10 污水处理动态模型实验	209
4.10.1 完全混合型活性污泥法曝气沉淀池实验	209
4.10.2 生物转盘实验	212
4.10.3 塔式生物滤池实验	214
4.11 膜生物反应器实验	215
4.12 污水和污泥厌氧消化实验	218
4.13 污泥脱水性能实验	226
4.13.1 污泥比阻测定实验	226
4.13.2 污泥滤叶过滤实验	230
4.14 气浮实验	232
4.14.1 气固比实验	233
4.14.2 释气量实验	236
4.15 活性炭吸附实验	238
4.16 酸性污水升流式过滤中和及吹脱实验	244
第5章 实验仪器设备使用说明	248
5.1 BX40 摄影显微镜使用说明	248
5.2 BS 224S 电子天平使用说明	249
5.3 PB-10 型 pH 计使用说明	251
5.4 DDSJ-308A 型电导率仪使用说明	255
5.5 YSI 550A 溶氧仪	260
5.6 H-STZ 型浊度仪使用说明	263
5.7 WZS-180/185 型低/高浊度仪使用说明	265
5.8 硬度测定仪 HI93735 使用说明	268
5.9 ZR4-6 型混凝试验搅拌机使用说明	269
5.10 MY3000-6D 型混凝试验搅拌机使用说明	272
5.11 ZBSX-92A 标准振筛机使用说明	274
5.12 711 型便携式悬浮物分析仪使用说明	275
5.13 TDL-5 型低速大容量离心机使用说明	277

5.14 WG 电热鼓风干燥箱使用说明·····	281
附录 实验用数据表 ·····	283
附表1 常用正交实验表·····	283
附表2 离群数据分析判断表·····	289
(1) 克罗勃 (Grubbs) 检验临界值 T_α 表·····	289
(2) Cochran 最大方差检验临界 C_α 表·····	290
附表3 F 分布表·····	291
附表4 t 分布表·····	293
附表5 相关系数检验表·····	295
附表6 氧在蒸馏水中的溶解度 (饱和度)·····	295
附表7 空气的物理性质·····	295
主要参考文献 ·····	296

绪 论

0.1 水处理实验技术的作用

自然科学除数学而外，几乎都可以说是实验科学，离不开实验技术。实验不仅用来检验理论正确与否，而且大量的客观规律、科学理论的发现与确立又都是从科学实验中总结出来的，因此实验技术是科学研究的重要手段之一。

给水排水工程本身就不是一个纯理论性学科，因而实验技术更为重要，不仅一些现象、规律、理论，就是工程设计、运行管理中的很多问题，也都离不开实验。例如，给水处理工程中的混凝沉淀，其药剂种类的选择及生产运行适宜条件的确定；又如废水处理工程中活性污泥系统沉淀池的设计，其污泥沉速与极限固体通量等重要设计参数都要通过实验测定，才能正确地选择。同时，水处理实验可应用于指导水处理规律的研究，改进现有工艺、设备以及研究新工艺、新设备。因此在学习给水排水工程有关专业课程的同时，必须有意识地加强水处理实验技术课程的学习，注意培养自己独立解决工程实践中一些实验技术问题的能力。

水处理实验技术课的教学目的与任务是：

- 1) 通过对实验的观察、分析，加深对水处理基本概念、现象、规律与基本原理的理解；
- 2) 掌握一般水处理实验技能和仪器、设备的使用方法，具有一定的解决实验技术问题的能力；
- 3) 学会设计实验方案和组织实验的方法；
- 4) 学会对实验数据进行测定、分析与处理，从而能得出切合实际的结论；
- 5) 培养实事求是的科学态度和工作作风。

0.2 水处理实验过程

水处理实验过程一般分为：实验准备工作，实验，实验数据分析与处理三个步骤。

(1) 实验准备工作

实验前的准备工作，不仅关系到实验的进度，而且直接影响实验的质量和成

果。其准备工作大致如下：

1) 理论准备工作

主要包括三个方面：

A. 搞清实验原理和实验目的。实验前搞清实验目的及实验原理，才能更好地指导实验、进行实验并得到满意的结果。例如，在研制生化处理中使用的曝气设备时，当搞清充氧原理和实验目的后，就可以通过清水充氧实验，分析产品的优缺点、存在问题和改进方向，以期得到一个较佳的新产品及适宜的运行条件。

B. 进行实验方案的优化设计。如何以最小代价迅速圆满地得到正确的实验结论，关键在于实验方案的设计。所以在掌握实验原理和实验目的之后，要利用所学实验设计的知识及专业知识进行实验方案设计，从而正确地编排实验内容，指导实验。

C. 查阅有关文献资料。了解当前技术发展情况，掌握研究现状。

2) 实验设备、测试仪器的准备

设备、仪器是完成实验必不可少的工具，水处理问题的复杂性以及当前测试设备、仪器还不够完备，给水处理实验带来了一定的困难。

A. 一般设备、仪器的准备。为了保证实验顺利进行并有足够的精度，对所使用的设备、仪器要求做到：事先熟悉其性能、使用条件，并正确地选择仪器的精度；检查设备、仪器的完好度；记录各种必要的数；某些易损易耗的设备、仪表要有备用品。

B. 专用实验设备的准备。为了进行某项水处理实验而选用专用设备时，必须注意这些设备的可靠性、使用条件和性能。当某些专用设备和某种工艺流程所需各种构筑物需自己设计加工时，除了从理论上要符合水处理、水力学等要求外，还要考虑到实验条件与今后生产运行条件的一致性，以使实验成果具有良好的实用价值。在没有运行前，一般要先经清水调试修改至正常运行为止。

3) 测试步骤与记录表格的准备

A. 步骤。整个实验分几步或几个工况完成，每一步或每一工况操作的内容、解决的问题、使用的设备、仪表、取样与化验项目、观察与记录内容、人员分工、注意事项、要求等，都要做到测试人员人人心中有数。

B. 记录表格。设计记录表格是一项重要的工作，实验前应认真地设计出各种测试所需的记录表格。对于某些新开实验则应根据实验过程中发现的问题，随时进行修改、调整。要求记录表格正规化，便于记录、便于整理。其内容包括：参加人员、测试条件、仪器设备名称、型号、精度、观察现象、测试原始数据等。

4) 人员分工。水处理实验，一般均需多人同时配合进行，因此要事先共同制订出实验方案，使每一个参加测试的人员对实验原理、目的、测试步骤，从整

体上做到心中有数，同时清楚每人负责的工作，如：操作、取样、化验、观察、记录等，以便使实验有条不紊地进行。

(2) 实验

1) 仪器设备的安装与调试

使用各种仪器、设备进行实验时，必须满足仪器、设备的正常运行要求。安装调试后要认真检查，确认一切符合要求后方可开始实验，否则事倍功半，这一点特别要引起足够的重视。一般要注意，仪器设备安装位置应便于观察、读数和记录。条件允许时，最好通过试做以达到对整个实验的了解并检查全部准备工作。

2) 实验

在上述各项工作结束后，即可进入实验阶段，按人员分工，分别完成各项工作。

A. 取样与分析。取样一定要注意要求，例如，时间、地点、高度等，以便能正确地取出所需的样品，提供分析。样品分析，一般可参照水质分析要求进行。

B. 观察。实验中某些现象只能通过肉眼观察并加以描述，因此要求观察时一定要集中精力，排除外界干扰，边观察，边记录，用图与文字加以描述。例如做悬浮物絮凝沉淀时，对颗粒絮凝作用及絮凝体形成和凝聚变大，下沉过程的描述；曝气设备清水充氧实验时，各类曝气设备所形成的池内气泡分布，气泡大小变化的观察描述等。

C. 记录。记录是实验中一项经常性的工作，它们记下的数据是今后整个实验计算、分析的依据，是整个实验的宝贵资料。一般要求有：

a. 记录要记在记录纸或记录本上，不得随便乱记，更不得记后再整理抄写而丢掉原始记录。记错改动不得乱涂，而应打叉后重写，以便今后分析时参考。

b. 记录就是如实地记下测试中所需要的各种数据，要求清楚、工整。

c. 记录的内容要尽可能地详尽。一般分为，一般性内容：如实验日期、时间、地点、气温等；与实验有关的内容如：实验组号、参加人员、实验条件、测试仪表名称、型号、精度等；实验原始数据，即由仪表或其他测试方法所得，未经任何运算的数值。读出后马上记录，不要过后追记，尽可能减少差错；实验中所发现的问题及观测到的一些现象或某些特殊现象等，也应随时详细记录。

总之记录不要怕多、怕麻烦，避免由于实验前对其规律认识还不透彻、记录内容考虑不周，实验后进行分析、计算时发现缺这少那，又后悔莫及，造成不可弥补的损失。

(3) 实验数据分析处理与实验报告

1) 实验数据的分析处理

这是整个实验过程中的一个重要部分。实验过程中应随时进行数据整理分析，一方面可以看出实验效果是否能达到预期目的，另一方面又可以随时发现问题，修改实验方案，指导下一步实验的进行。整个实验结束后，要对数据进行分析处理，从而确定因素主次，最佳生产运行条件，建立经验式，给出事物内在规律等。其内容大致分为实验数据的误差分析，实验数据的分析整理，实验数据的处理。

2) 实验报告

这是对整个实验的全面总结。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。一般报告由以下几部分组成：①实验名称；②实验目的；③实验原理；④实验装置仪表；⑤实验数据及分析处理；⑥结论；⑦问题讨论。

第1章 实验设计

实验是解决水处理问题必不可少的一个重要手段，通过实验可以得出三方面结论。

(1) 找出影响实验结果的主要因素及各主要因素的主次顺序，揭示水处理方法的内在规律，建立水处理实验的理论基础。

(2) 寻找各主要因素的最佳量，以使水处理实验在最佳条件下实施，达到高效、节能及节省费用的目的。

(3) 确定某些数学公式中的参数，建立起经验表达式，以解决工程实际中的问题。

在实验安排中，如果实验设计得好，实验次数不多，就能获得有用信息，通过实验数据的分析，可以掌握内在规律，得到满意结论；如果实验设计得不好，实验次数较多，也摸索不到其中的变化规律，得不到满意的结论。因此如何合理地设计实验，实验后又如何对实验数据进行分析，用较少的实验次数达到我们预期的目的，是很值得我们研究的一个问题。

优化实验设计，就是一种在实验进行之前，根据实验中的不同问题，利用数学原理，科学地安排实验，以求迅速找到最佳方案的科学实验方法。它对于节省实验次数，节省原材料，较快得到有用信息是非常必要的。由于优化实验设计法为我们提供了科学安排实验的方法，因此，近年来优化实验设计越来越被科技人员重视，并得到广泛的应用。优化实验设计打破了传统均分安排实验等方法，其中单因素的 0.618 法和分数法、多因素的正交实验设计法在国内外已广泛地应用于科学实验上，取得了很好效果。本章将重点介绍这些内容。

1.1 实验设计的几个基本概念

(1) 实验方法——通过做实验获得大量的自变量与因变量间的对应数据，以此为基础来分析整理并得到客观规律的方法，称为实验方法。

(2) 实验设计——根据实验中不同问题，在实验前利用数学原理科学合理编排实验的过程，以求迅速找到最佳实验条件，揭示出事物内在规律，达到节省人力、财力的目的。

(3) 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，天然水中存在大量胶体颗粒，使水浑浊，为了降低浑浊度

需往水中投放混凝剂，当实验目的是求最佳投药量时，水样中剩余浊度即作为实验指标。

(4) 因素——对实验指标有影响的条件称为因素。例如，在水中投入适量的混凝剂可降低水的浊度，因此水中投加的混凝剂即作为分析的实验因素，简称其为因素。有一类因素，在实验中可以人为地加以调节和控制，如水质处理中的投药量，叫做可控因素。另一类因素，由于自然条件和设备等条件的限制，暂时还不能人为地调节，如水质处理中的气温，叫做不可控因素。在实验设计中，一般只考虑可控因素。因此，今后说到因素，凡没有特别说明的，都是指可控因素。

(5) 水平——因素在实验中所处的不同状态，可能引起指标的变化，因素变化的各种状态叫做因素的水平。某个因素在实验中需要考察它的几种状态，就叫它是几水平的因素。

因素的各个水平有的能用数量来表示，有的不能用数量来表示。例如：有几种混凝剂可以降低水的浑浊度，现要研究哪种混凝剂较好，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。凡是不能用数量表示水平的因素，叫做定性因素。在多因素实验中，经常会遇到定性因素。对定性因素，只要对每个水平规定具体含义，就可与通常的定量因素一样对待。

(6) 因素间交互作用——在一个实验里，如果不仅考虑各个因素在起作用，而且还考虑因素之间联合起来影响实验指标，这种作用叫做交互作用，并记为 $A(\text{因素}) \times B(\text{因素})$ 。

1.2 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的实验，即为单因素实验。在应用时，只要主要因素抓得准，单因素的实验也能解决很多问题。当一个主要因素确定之后，我们的任务是如何选择实验方案来安排实验，找出最优实验点，使实验的结果（指标）最好。

在安排单因素实验时，一般考虑三方面的内容：

首先确定包括最优点的实验范围。设下限用 a 表示，上限用 b 表示，实验范围就用由 a 到 b 的线段来表示，并记作 $[a, b]$ ；若 x 表示实验点，则写成 $a \leq$

$x \leq b$ ，如果不考虑端点 a, b ，就记成 (a, b) 或 $a < x < b$ ，如图 1-1 所示。

图 1-1 单因素实验范围

然后确定评定指标。如果实验结果 (y) 和因素取值 (x) 的关系可写成数学表达式 $y = f(x)$ ，称 $f(x)$ 为指标函数