



高等学校实验实训规划教材

水处理工程实验技术

张学洪 张 力 梁延鹏 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高等学校实验实训规划教材

水处理工程实验技术

张学洪 张 力 梁延鹏 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2008

内 容 简 介

本实验教材是在作者多年从事水处理工程技术研究和实验教学经验总结的基础上,根据目前高校环境类学科本科专业知识体系重新整合以及专业调整的要求,把本学科专业实验内容重新整合为专业实验基础理论、水处理技术基础实验和水处理工程技术实验三部分。实验基础理论包括误差理论、实验数据分析与处理和实验设计等内容;水处理技术基础实验包括水力学(流体力学)实验、水泵与水泵站实验及水处理微生物实验;水处理工程技术实验包括混凝、沉淀、软化、生物处理技术等实验技术。

本实验教材可作为大专院校的环境工程、环境科学、给水排水工程、水文与水资源工程等专业的本科生、研究生实验教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水处理工程实验技术/张学洪,张力,梁延鹏主编. —北京:
冶金工业出版社, 2008. 9

高等学校实验实训规划教材

ISBN 978-7-5024-4577-5

I. 水… II. ①张… ②张… ③梁… 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 061357 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 王之光 美术编辑 张媛媛 版式设计 张 青

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4577-5

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008 年 9 月第 1 版, 2008 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19.5 印张; 518 千字; 300 页; 1-3000 册

39.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

“水处理工程实验技术”是高等院校环境工程、环境科学、给水排水工程等专业的一门重要必修课程，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，可加深学生对水处理工程实验基本理论的理解，培养学生科学地设计和组织水处理工程实验方案的初步能力，培养学生进行水处理工程实验的一般技能以及使用实验仪器、设备和测试工具的基本能力；训练学生分析与处理实验数据的基本技能。

本实验教材是在作者多年从事水处理工程技术研究和实验教学经验总结的基础上，根据目前高校环境类学科本科专业知识体系重新整合以及专业调整的要求，把本学科专业实验内容重新整合为专业实验基础理论、水处理技术基础实验和水处理工程技术实验三部分。实验基础理论包括误差理论、实验数据处理与分析 and 实验设计等内容；水处理技术基础实验包括流体力学实验、水泵与水泵站实验及水处理微生物实验；水处理工程技术实验包括水样的采集与保存方法、水质分析基础实验和水质工程学实验。本书在编排上尽量做到由浅入深，在实验项目设计上具有较强的完整性、实用性、独立性、系统性、正确性和科学性。

本实验教材内容涵盖了环境类学科本科专业主导专业基础课和专业课的全部必做实验，并推荐了许多选做实验。本书主要面向高等院校本科教学，可作为环境工程、环境科学、给水排水工程、水文与水资源工程及相关专业的教学用书，也可供从事上述专业的工程技术人员参考。在应用时，各院校可根据自身办学特点、培养目标与要求和学时设计，对实验项目、内容酌情选择与组合，予以不同要求。

本实验教材的绪论和第一篇由张学洪、张力编写，第二篇和附录由梁延鹏、黄月群、曾鸿鹤编写，第三篇由李艳红和陆燕勤编写，第四篇由梁美娜、

李艳红、张力、张萍编写。全书由曾鸿鹄负责统稿，由张学洪、张力、梁延鹏主编。本书在编写过程中，得到了桂林工学院及该院资源与环境工程系老师的大力支持和帮助；同时在编写本书的过程中，参考了大量文献资料，引用了其中部分内容。在此，谨向这些文献的作者表示感谢。

本实验教材由国家精品课程建设项目“水污染控制工程”、广西环境工程与保护评价重点实验室、广西高校人才小高地环境工程创新团队和广西高校重点建设专业市政工程建设经费资助。本教材的出版还得到了桂林工学院教材建设基金资助。

由于作者水平所限，书中有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2008年1月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
高浓度有机废水处理技术与工程应用	69.00
钢铁工业废水资源回用技术与应用	68.00
焦化废水无害化处理与回用技术	28.00
冶金过程废水处理与利用	30.00
水污染控制工程	32.80
工业水再利用的系统方法	14.00
固体废物污染控制原理与资源化技术(教材)	39.00
氮氧化物减排技术与烟气脱硝工程	29.00
二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程	56.00
工业除尘设备——设计、制作、安装与管理	158.00
袋式除尘技术	118.00
噪声控制技术及其新进展	56.00
噪声与振动控制技术	23.00
电炉炼钢除尘	45.00
除尘技术手册	78.00
现代除尘理论与技术	26.00
矿山废料胶结充填	45.00
金属矿山尾矿综合利用与资源化	16.00
矿业开发密集地区景观生态重建	22.00
环境保护及其法规(第2版)	45.00
环境生化检验	14.80
燃料电池(第2版)	29.80
炼焦化学产品生产技术问答	35.00
环保设备材料手册(第2版)	178.00
生活垃圾处理与资源化技术手册	180.00
环保知识400问(第3版)	26.00
矿山固体废物处理与资源化	26.00
工业固体废物处理与资源	39.00
中国钢铁工业环保工作指南	180.00
烟尘纤维过滤理论、技术及应用	45.00
环境地质学	28.00
材料环境学	30.00

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 实验基础理论

第一章 误差理论	5
----------------	---

第一节 真值与平均值	5
第二节 误差的基本概念	7
第三节 实验数据误差的来源及分类	10
第四节 实验数据的精准度	12
第五节 实验数据误差的估计与检验	13

第二章 实验数据的处理	18
-------------------	----

第一节 有效数字及其运算规则	18
第二节 实验数据整理	19

第三章 实验设计	27
----------------	----

第一节 实验设计的几个基本概念	27
第二节 单因素实验设计	28
第三节 双因素实验设计	33
第四节 多因素正交实验设计	37

第二篇 流体力学与水泵实验

第四章 流体力学实验	51
------------------	----

实验 1 流体静力学实验	51
实验 2 自循环静水压强传递演示实验	54
实验 3 毕托管测速实验	56
实验 4 不可压缩流体恒定流能量方程 (伯努利方程) 实验	57
实验 5 不可压缩流体恒定流动量定律实验	60
实验 6 雷诺实验	63
实验 7 沿程水头损失实验	66
实验 8 局部阻力损失实验	69
实验 9 孔口与管嘴出流实验	72

实验 10	水面曲线实验	74
实验 11	堰流实验	78
实验 12	消能池实验	81
实验 13	消能坎(墙)实验	85
实验 14	挑流消能实验	88
实验 15	自循环流谱流线演示实验	91
实验 16	自循环流动演示实验	92
实验 17	水击综合演示实验	97
实验 18	自循环虹吸原理演示实验	99
第五章	水泵与水泵站实验	102
实验 19	水泵结构及运行原理演示实验	102
实验 20	水泵特性曲线的测定实验	104
第三篇 水处理微生物实验		
第六章	水处理微生物的基本研究方法	109
第一节	显微镜技术	109
第二节	灭菌和消毒技术	125
第三节	纯培养与接种技术	132
第四节	菌种保存技术	140
第七章	水处理微生物的基础实验	143
实验 1	生物显微镜的使用及典型活性污泥微生物的观察	143
实验 2	细菌的简单染色和革兰氏染色	149
实验 3	细菌的荚膜染色	152
实验 4	细菌的芽孢染色	154
实验 5	细菌的鞭毛染色	155
实验 6	细菌的运动性观察实验	157
实验 7	微生物细胞大小的测定	158
实验 8	微生物细胞的显微直接计数法	160
实验 9	水中细菌总数的测定	162
实验 10	大肠菌群数的测定	165
第八章	水处理有关的细菌学实验	172
实验 11	水处理微生物生长曲线的测定	172
实验 12	活性污泥微生物呼吸活性(耗氧速率)的测定	173
实验 13	发光细菌毒性测试实验	175
实验 14	藻类生长及其抑制实验	177
实验 15	水体富营养化的测定	180

实验 16 腐蚀和堵塞金属管道的微生物试验	181
第九章 水处理微生物常用的生理生化鉴定	185
第一节 细菌的分离和纯化	185
第二节 细菌形态特征的观察	186
实验 17 细菌的抗酸染色法	187
实验 18 细菌的类脂粒染色	188
实验 19 细菌的异染颗粒染色	188
第三节 细菌培养特征的观察	189
第四节 细菌的生理生化反应	190
实验 20 氧化酶试验	190
实验 21 接触酶试验	191
实验 22 唯一碳源实验	192
实验 23 葡萄糖氧化发酵试验	192
实验 24 糖或醇类发酵试验	193
实验 25 淀粉水解试验	194
实验 26 油脂水解试验	195
实验 27 甲基红试验 (M. R 试验)	195
实验 28 乙酰甲基醇试验 (V. P 试验)	196
实验 29 产吲哚 (indole) 试验	197
实验 30 石蕊牛奶试验	198
实验 31 硝酸盐还原试验	199
实验 32 柠檬酸盐利用试验	200
实验 33 明胶液化试验	201
实验 34 产硫化氢试验	201
实验 35 产氨试验	203
实验 36 尿素水解试验	203
实验 37 氰化钾试验	204
实验 38 生长温度试验	205
实验 39 初始生长 pH 值试验	205
实验 40 需氧性的测定	206
第五节 属的检索	207

第四篇 水处理技术实验

第十章 水样的采集与保存	213
第一节 水样的采集	213
第二节 采样的形式	213
第三节 水样的保存	214

第十一章 水质分析测定方法	215
实验 1 硬度的测定	215
实验 2 溶解氧的测定(碘量法)	216
实验 3 高锰酸盐指数的测定(酸性高锰酸钾容量法)	218
实验 4 化学需氧量(COD _{Cr})的测定	220
实验 5 生物化学需氧量(BOD ₅)的测定	223
实验 6 色度、浊度的测定	226
实验 7 pH 值的测定	228
实验 8 酸度的测定	230
实验 9 总氮的测定	231
实验 10 总磷的测定	234
实验 11 水中挥发酚的测定	236
实验 12 水中铁的测定(邻菲罗啉分光光度法)	239
第十二章 水质工程实验技术	241
实验 13 混凝沉淀实验	241
实验 14 絮凝沉淀实验	246
实验 15 过滤与反冲洗实验	250
实验 16 活性炭吸附实验	255
实验 17 水的软化实验	257
实验 18 酸性废水过滤中和及吹脱实验	260
实验 19 成层沉淀实验	263
实验 20 颗粒的静置自由沉淀实验	268
实验 21 污泥比阻的测定实验	270
实验 22 评价活性污泥性能的测定	273
实验 23 曝气设备充氧性能实验	274
实验 24 污水可生化性能测定	281
实验 25 电解法处理含铬废水	286
附 录	290
附录 1 废水生物处理过程中常见的微生物	290
附录 2 秩和临界值	297
附录 3 格拉布斯(Grubbs)检验临界值 $\lambda_{(\alpha,n)}$	298
附录 4 狄克逊(Dixon)检验的临界值 $f_{(\alpha,n)}$ 值及 f_0 计算公式	299
参考文献	300

绪 论

水处理工程实验技术是对环境类学科本科专业流体力学、水处理微生物学、水污染控制工程（或水质工程学）等专业主干理论课程中重要知识点和规律的实验诠释。

水处理工程实验技术突出基础性和综合性。通过基础性实验操作训练，使学生掌握基本的实验技能和简单的仪器、设备及测量工具的使用方法；同时通过对直观实验现象的观察、分析，使学生在感性认识的基础上对专业基础技术知识的基本概念与规律能更准确的理解并加以巩固。在此基础之上，再通过专业的综合性实验操作训练，贴近生产和工程实践应用，使学生掌握开展科学研究的最基本方法和步骤的实验技能，培养学生进行实验设计和实验成果整理的综合分析问题、解决问题的能力。

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。本课程的教学目的是：

- (1) 从专业基础技术入手，逐步深入专业理论学习，增强综合性，使学生逐步从感性认识提升到理性分析和认识。
- (2) 通过对实验现象的观察、分析，加深对水处理基本概念、现象、规律与基本理论的理解。
- (3) 通过基础性和综合性实验操作训练，使学生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，了解现代测量、分析技术。
- (4) 使学生了解如何进行实验方案的设计，以及如何科学地组织和实施实验。
- (5) 培养分析实验数据、整理实验成果和编写实验报告的能力。
- (6) 培养实事求是的科学作风和融洽合作的共事态度以及爱护国家财产的良好风尚。

二、实验教学模式

为了更好地实现教学目的，使学生学好本课程、掌握科学组织与实施实验的基本技能，在实验的教学过程中结合实验内容逐步介绍组织和实施科学实验的一般程序。

1. 拟定实验研究计划

- (1) 确定实验的目的与要求。
- (2) 分析前人做过的与本课题有关的理论和实验成果，以取得借鉴。
- (3) 确定必须测量的主要物理量，分析它们的变化范围与动态特性。
- (4) 确定实验过程中必须严格控制的影响量。
- (5) 根据对实验准确度的要求，运用误差理论，确定对原始数据的测量准确度要求和测量次数。
- (6) 确定数据点（自变量间隔或因素水平值），进行实验设计，编制实验方案。
- (7) 根据技术、精度、经济、时间和可靠性要求等方面，比较几种可能的方案，选择最适当的实验方案。

(8) 编制人员、物资、进度与分工等计划。

2. 实验的准备

(1) 设计和制造专用的测试仪器和实验装置。

(2) 选择和采购所需其他仪器设备。

(3) 安排与布置实验场地, 储备实验过程中需要的消耗物资和工具。

(4) 安装和连接测量系统, 并进行调试和校准。

(5) 编印记录用表格。

(6) 对少量数据点进行试测, 初步分析测得数据以考核测量系统的工作可靠性和试验方案的可行性, 必要时可以作调整。

3. 实验的实施

(1) 按预定计划收集实验数据——应指定专门的记录人员, 并使用专用的记录本; 对实验过程中出现的过失或异常现象应做详细的记载并有现场负责人的签署。

(2) 确保互相协调工作和正确操作仪器; 如有必要, 应指定专职的安全员, 保证技术安全, 以及规定命令、应答制度。

(3) 根据实验进程中的具体情况, 对原定实验计划作必要的调整, 增删某些实验项目或内容, 或推迟实验进程。

4. 整理与分析实验结果

(1) 整理测量结果, 估算测量误差, 做出必要和可能的修正。

(2) 将实验数据及结果制成表格或曲线。

(3) 根据实验的目的与要求对试验结果进行分析计算, 得出所需的结论, 例如与理论分析的比较、经验公式、特征参数和系数等。

5. 编写实验报告

实验报告一般应包括下列内容:

(1) 引言。扼要地介绍课题的来由、意义和整个工作的要求。

(2) 说明。论证本实验所采用的方案和技术路线, 及其预期的评价。

(3) 扼要的实验结果, 尽量列成表、图和公式; 可将原始数据作为附录。

(4) 结论与讨论, 包括与理论分析或前人工作的对比由此得出的结论, 以及实验改进方向。

(5) 注释及参考文献。

三、实验教学要求

1. 课前预习

实验课前, 学生必须认真预习实验教材, 明确实验目的、内容、原理和方法; 了解实验设备的基本构造、工作原理和使用方法; 写出简明的预习提纲。

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, 先在专业基础实验中讲授实验设计基础知识, 然后在专业实验项目中进行设计训练, 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。实验时要有指挥, 有分工, 做到有条不紊; 要严格按照操作规程认真操作, 仔细观察实验现象, 精心测定实验数据并详细填

写实验记录。实验结束后,要将使用过的仪器、设备、测量工具整理复位,将实验场地打扫、整理干净。

4. 实验数据处理

通过实验取得大量数据以后,必须对数据进行科学的整理分析,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

将每个实验结果整理编写成一份实验报告,是实验教学必不可缺的组成部分。通过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。实验报告要用正规的实验报告纸书写,卷面清洁,字迹清楚,内容一般包括:

- (1) 报告人的姓名、班级、同组人、实验日期。
- (2) 实验名称。
- (3) 简述实验目的、实验原理、实验装置和实验步骤等。
- (4) 测量、记录原始数据,列明所用公式,计算有关成果。
- (5) 列出计算结果表。
- (6) 对实验结果进行讨论分析,找出产生误差的原因,完成“实验分析与讨论”。

对于实验报告绘制曲线部分要用正规的坐标纸或用计算机成图,图中需表明:

- (1) 图的标题。
- (2) 图的横、纵坐标含义。
- (3) 图的有效数字位。
- (4) 图中各项含义。

第一篇 实验基础理论

第一章 误差理论

精准性原则是科学实验必须遵守的基本原则之一。为了更好地满足精准性的要求，就需要用误差理论来指导实验研究工作。误差理论包括误差的概念和性质、仪器的选择、误差的处理和如何给出实验结果等内容。

实验的成果最初往往是以数据的形式表达，如果要得到更深入的结果，就必须对实验数据作进一步的整理工作。为了保证最终结果的准确性，应该首先对原始数据的可靠性进行客观的评定，也就是需对实验数据进行误差分析。

在实验过程中由于实验仪器精度的限制、实验方法的不完善、科研人员认识能力的不足和科学水平的限制等方面的原因，在实验中获得实验值与它的客观真实值并不一致，这种矛盾在数值上表现为误差。可见，误差是与准确相反的一个概念，可以用误差来说明实验数据的准确程度。实验结果都具有误差，误差自始至终存在于一切科学实验过程中。随着科学水平的提高和人们经验、技巧、专门知识的丰富，误差可以被控制得越来越小，但是不能完全消除。

第一节 真值与平均值

一、真值

真值是指在某一时刻和某一状态下，某量的客观值或实际值。真值一般是未知的，但从相对的意义上来说，真值又是已知的。例如，平面三角形三内角之和恒为 180° ；同一非零值自身之差为零，自身之比为1；国家标准物质的标称值；国际上公认的计量值，如碳12的相对原子质量为12，绝对零度等于 -273.15°C 等；高精度仪器所测之值和多次实验值的平均值等。

二、平均值

在科学实验中，虽然实验误差在所难免，但平均值可综合反映实验值在一定条件下的一般水平，所以在科学实验中，经常将多次实验值的平均值作为真值的近似值。平均值的种类很多，在处理实验结果时常用的平均值有以下几种。

1. 算术平均值

算术平均值是最常用的一种平均值。设有 n 个实验值： x_1, x_2, \dots, x_n ，则它们的算术平均值为：

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-1)$$

式中, x_i 表示单个实验值, 下同。

同样实验条件下, 如果多次实验值服从正态分布, 则算术平均值是这组等精度实验值中的最佳值或最可信赖值。

2. 加权平均值

如果某组实验值是用不同的方法获得的, 或由不同的实验人员得到的, 则这组数据中不同值的精度或可靠性不一致, 为了突出可靠性高的数值, 则可采用加权平均值。设有 n 个实验值: x_1, x_2, \dots, x_n , 则它们的加权平均值为:

$$\bar{x}_w = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1-2)$$

式中, w_1, w_2, \dots, w_n 代表单个实验值对应的权。如果某值精度较高, 则可给以较大的权数, 加重它在平均值中的分量。例如, 如果我们认为某一个数比另一个数可靠两倍, 则两者的权的比是 2:1 或 1:0.5。显然, 加权平均值的可靠性在很大程度上取决于科研人员的经验。

实验值的权是相对值, 因此可以是整数, 也可以是分数或小数。权不是任意给定的, 除了依据实验者的经验之外, 还可以按如下方法给予。

(1) 当实验次数很多时, 可以将权理解为实验值 x_i 在很大的测量总数中出现的频率 n_i/n 。

(2) 如果实验值是在同样的实验条件下获得的, 但来源于不同的组, 这时加权平均值计算式中 x_i 代表各组的平均值, 而 w_i 代表每组实验次数, 见例 1-1。若认为各组实验值的可靠程度与其出现的次数成正比, 则加权平均值即为总算术平均值。

(3) 根据权与绝对误差的平方成反比来确定权数, 见例 1-2。

例 1-1 在实验室称量某样品时, 不同的人得 4 组称量结果如表 1-1 所示, 如果认为各测量结果的可靠程度仅与测量次数成正比, 试求其加权平均值。

解: 由于各测量结果的可靠程度仅与测量次数成正比, 所以每组实验平均值的权值即为对应的实验次数, 即 $w_1 = 3, w_2 = 2, w_3 = 5, w_4 = 3$, 所以加权平均值为:

$$\begin{aligned} \bar{x}_w &= \frac{w_1 \bar{x}_1 + w_2 \bar{x}_2 + w_3 \bar{x}_3 + w_4 \bar{x}_4}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4} \\ &= \frac{100.3510 \times 3 + 100.354 \times 2 + 100.343 \times 5 + 100.343 \times 3}{3 + 2 + 5 + 3} \\ &= 100.346 \end{aligned}$$

表 1-1 例 1-1 数据表

组	测量值	平均值
1	100.357, 100.343, 100.351	100.350
2	100.360, 100.348	100.354
3	100.350, 100.344, 100.336, 100.340, 100.345	100.343
4	100.339, 100.350, 100.340	100.343

例 1-2 在测定溶液 pH 值时, 得到两组实验数据, 其平均值为: $\bar{x}_1 = 8.5 \pm 0.1$; $\bar{x}_2 = 8.53 \pm 0.02$, 试求它们的平均值。

解: $w_1 = \frac{1}{0.1^2} = 100, w_2 = \frac{1}{0.02^2} = 2500$

$$w_1 : w_2 = 1 : 25$$

$$\bar{\rho H} = \frac{8.5 \times 1 + 8.53 \times 25}{1 + 25} = 8.53$$

3. 对数平均值

如果实验数据的分布曲线具有对数特性, 则宜使用对数平均值。设有两个数值 x_1, x_2 都为正数, 则它们的对数平均值为:

$$\bar{x}_L = \frac{x_1 - x_2}{\ln x_1 - \ln x_2} = \frac{x_1 - x_2}{\ln \frac{x_1}{x_2}} = \frac{x_2 - x_1}{\ln \frac{x_2}{x_1}} \quad (1-3)$$

注意: 两数的对数平均值总小于或等于它们的算术平均值。如果 $\frac{1}{2} \leq \frac{x_1}{x_2} \leq 2$ 时, 可用算术平均值代替对数平均值, 而且误差不大 (不大于 4.4%)。

4. 几何平均值

设有 n 个正实验值: x_1, x_2, \dots, x_n , 则它们的几何平均值为:

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} = (x_1 x_2 \cdots x_n)^{\frac{1}{n}} \quad (1-4)$$

等式两边同时取对数, 得:

$$\lg \bar{x}_G = \frac{\sum_{i=1}^n \lg x_i}{n} \quad (1-5)$$

可见, 当一组实验值取对数后所得数据的分布曲线更加对称时, 宜采用几何平均值。一组实验值的几何平均值常小于它们的算术平均值。

5. 调和平均值

设有 n 个正实验值 x_1, x_2, \dots, x_n , 则它们的调和平均值为:

$$H = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \cdots + \frac{1}{x_n}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} \quad (1-6)$$

或

$$\frac{1}{H} = \frac{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \cdots + \frac{1}{x_n}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}}{n} \quad (1-7)$$

可见调和平均值是实验值倒数的算术平均值的倒数, 它常用在涉及与一些量的倒数有关的场合。调和平均值一般小于对应的几何平均值和算术平均值。

综上所述, 不同的平均值都有各自适用场合, 选择哪种求平均值的方法取决于实验数据本身的特点, 如分布类型、可靠性程度等。

第二节 误差的基本概念

一、绝对误差

实验值与真值之差称为绝对误差, 即: