

建筑环境与设备工程专业系列教材

燃气测试实验技术

RANQI CESHI SHIYAN JISHU

伍国福	任季琼	编著
曾永红	叶学光	
	彭世尼	主审

重庆大学出版社

建筑环境与设备工程专业系列教材

燃气测试实验技术

RANQI CESHI SHIYAN JISHU

伍国福 任季琼 编著
曾永红 叶学光
彭世尼 主审



重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是《建筑环境与设备工程专业系列教材》之一。燃气测试实验技术是以鉴定、提高燃气设备的效益和节约能源的重要科学方法。本书从测试实验原理和方法等方面介绍了燃气生产净化、煤的工业分析、元素分析、燃气输配、输配器具、管网事故工况评判等方面的测试与实验;重点阐述了燃气燃烧、燃烧设备、工业窑炉的热工测定,工业窑炉热平衡编制的测试与实验;同时,考虑到燃气是易燃、易爆物质,还介绍了事故火灾消防及消防设备的测试与实验。

本书可作为高等院校建筑环境与设备工程专业的教材,也可供从事燃气事业的科技人员、实验室工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

燃气测试实验技术/伍国福等编著. —重庆:重庆大学出版社,2005.10

(建筑环境与设备工程专业系列教材)

ISBN 7-5624-3527-8

I. 燃... II. 伍... III. 燃料气—测试技术—高等学校—教材 IV. TU996

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 117575 号

燃气测试实验技术

伍国福 任季琼 曾永红 叶学光 编著

彭世尼 主审

责任编辑:陈红梅 马校飞 版式设计:李长惠 陈红梅

责任校对:任卓惠 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.25 字数:280千

2005年10月第1版 2005年10月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3527-8 定价:15.50 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

编审委员会名单

顾问	田胜元	彦启森	刘安田	
主任	付祥钊			
秘书	卢 军	陈红梅		
委员	段长贵	张 旭	张国强	连之伟
	李安桂	安大伟	李 帆	张小松
	裴清清	黄 晨	龚延风	刘光远

序

建筑环境与设备工程专业是按新的教育思想,以原供热供燃气通风与空调工专业为主,与建筑设备等专业一起整合拓宽的一个新专业。学生毕业后从事的主要工程领域是公用设备工程,执业身份是注册公用设备工程师。

公用设备工程是一幢建筑、一个城市、一个国家现代化程度的主要标志之一,是一个十分广阔而且正在不断发展扩大的工程领域。为了学生能在有限的时间内全面完成注册公用设备工程师所要求的专业教育,必须构建好建筑环境与设备工程专业学科体系。在全国高校建筑环境与设备工程学科专业指导委员会的组织与指导下,各高校合作开展教学改革,构建了建筑环境学和流体输配、传热传质等工程学原理与关键技术组成的学科平台,并编写出版了推荐教材。

建成学科平台之后,紧接着需要在平台上展开公用设备工程的技术体系。

本系列教材就是为了满足上述要求而组织编写的。其目标是充分利用学科平台,全面展开公用设备工程技术体系的教学,显著拓宽专业口径,增强学生驾驭工程技术的能力。

本系列教材的突出特点是内容体系上的创新。它特别注意与学科平台的联系,努力消除原专业课程中的重复现象,突出公用设备工程的主体技术,提高学时效率,符合教学改革的要求。

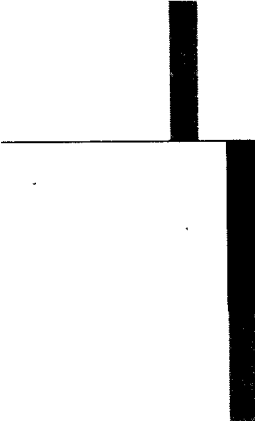
本系列教材的编者既有教学经验又有工程实践经验,而且一直处于教学和工程实践第一线。他们在编写这套教材时,十分重视理论联系实际,重视引入最新工程技术成果。

通过本系列教材的学习,学生能够掌握建筑环境与设备工程专业的学科技术;结合生产实习、课程设计和毕业设计等实践教学环节的训练,掌握工程技术问题的综合处理方法,达到注册公用设备工程师所要求的专业技术水平。

这套系列教材也可用于学生和工程技术人员自学来系统掌握公用设备工程技术。

预祝本系列教材在编者、授课教师和学生的共同努力下,通过教学实践,获得进一步的完善和提高。

付祥利



序 (第二版)

重庆大学教学改革成果——《建筑环境与设备工程专业系列教材》，在编著者和重庆大学出版社的共同努力下，从2002年至2004年，陆续出版，满足了该专业教学的迫切需要，2005年获得重庆市优秀教学成果奖。

2003年11月13日，《全国高等学校土建类专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求——建筑环境与设备工程专业》正式颁布。重庆大学城市建设与环境工程学院、重庆大学出版社联合组织来自清华大学、重庆大学、华中科技大学、东南大学、南京航空航天大学、后勤工程学院、重庆科技学院、西南石油学院、福建工程学院等高校的专家、学者同编著者一起，进行了学习和研讨，并决定立即启动《建筑环境与设备工程专业系列教材》（第二版）及扩展新教材的编写和出版工作。各位编著者都做出了积极的响应；更多学术造诣高，富有教学和工程实践经验的老师们加入了编写、主审和编委队伍。

《建筑环境与设备工程专业系列教材》的及时更版和扩展，为解决长期以来学生和社会反映强烈的教学内容陈旧问题创造了条件。各位编著者认真总结了第一版使用中的经验教训，仔细领会专业指导委员会的意见和公用设备工程师注册的专业教育要求，密切关注相关科学技术的发展，使第二版从体系到内容都有明显改进。第二版更注意在保持各门课程的完整性的同时，加强各门课程之间的呼应与协调，使理论与工程实践相结合的特色更加鲜明。扩展新教材是该系列教材的进一步补充和完善，有助于拓宽专业口径。燃气方向的选题，丰富了我国该方面急需的技术专业书籍。

教材建设是一个精益求精、永无止境的奉献过程。希望编著者和出版社积极进取，努力奉献，保持本系列教材及时改版、更臻完美的好做法。编著者亲自在教学第一线讲授自己编写的教材，对于教材质量的提高是必须的；同时，通过广泛交流和调查研究，听取意见和建议，吸取各校师生使用教材的经验教训，对于教材的完善更是非常重要的。

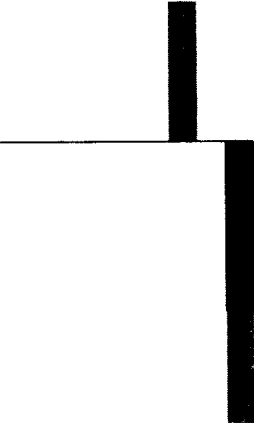
如何解决专业课教学内容日益丰富，而讲授学时显著减少的矛盾，是当前专业教学面临的困难之一。全国各高校的专业教师们都在努力寻找或创造解决这一矛盾的方法。总结和提炼

这方面的教学实践经验,可使本系列教材内容新颖而丰富,所需的讲授学时相对减少。

近几年,现代教材手段正在各高校迅速普及。基于现代教学手段,我们这套系列教材的教学方法也应努力创新。

本系列教材第二版的完成及扩展新教材的出版,既要祝贺编审者和出版社,更要感谢使用该系列教材的教师和同学们,他们献出了很多极有价值的意见。

付祥钊
2005. 10. 1



前言

众所周知,从有科学实践以来,到近、现代科学技术的进步,可以说是科学实验的进步。科学实验对科技理论的形成具有举世公认的决定性作用。它在培养学生的自学能力、研究能力、逻辑思维能力、表达能力和创新能力上,远远超过纯理论知识的涵养作用。

在当代,实验教学得到所有学科及各层次教育工作者最广泛的重视。它有助于学生深化理解理论教学的基本原理,掌握科学研究的基本方法,建立创新意识和能力,培养学生从感觉、观察、归纳、演绎到逻辑推理的独立思维和解决问题的能力,是衡量学校教育水平的关键组成部分之一。

随着教学改革的深入,学校不仅要开放实验室,而且要进一步开放实验,把实验室作为“第二课堂”,把专业实验的教学内容、教学层次、教学手段、教学体系、教学目的按“三层段”进行合理配置,以重点课为龙头有计划地改造实验,即在教学实施时,把较直观、浅显的实验作为学生对专业原理的认证来处理,使学生掌握本专业的基本理论和实验操作技能;把应用性、综合性实验行为作为对专业理论提升、应用技术的演绎来处理,培养学生在一定程度上的科学素质和实践技能,使学生学会处理复杂实验数据和推理升华能力;把带研究性、设计性特征的实验作为学生引进本专业发展的新成果、新技术来处理,让学生把握学科发展前沿趋势,扩展知识深度,带着科研命题参与实验设计,并完成实验。实验教学过程形成一个目的明确、层次分明、结构合理、系统完整的实验教学构架,让学生得到一种知识是基础、能力是体现、素质是核心的训练,最终成为高素质复合型人才。

本书在编写过程中,注重把燃气测试实验教学中的知识层次和结构特征、整体相关特征和动态调节特征有机地联系起来,介绍了燃气生产净化、燃气输配、燃气输配设备、燃气燃烧与应用设备、管网事故工况评判、工业窑炉的热工测定、工业窑炉平衡编制和事故火灾消防工程等的实验测试技术,具有“加强基础,重视应用”的特色。

只有准确地测试和实验,才能合理地设计和控制各种设备运行的可靠性,达到安全、连续稳定地供气,使用气设备节能降耗;只有准确地测试和实验,才能检验燃烧设备的技术性能,保

证产品质量,实现生产的标准化;只有准确地测试和实验,才能有利于科学研究和新产品开发,不断提高科技水平,实现燃气事业现代化。

本书可作为建筑环境与设备工程专业的教学用书,也可供相关领域工程技术人员的参考、阅读。

全书由重庆大学伍国福等编著,其中1.2,1.7由曾永红撰稿;4.1,4.6由叶学光撰稿,第6章及1.6,3.2由任季琼撰稿;书中插图由伍劲涛绘制。全书由重庆大学彭世尼教授主审。本教材由重庆大学教材基金资助。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评、指正。

编者
2005年10月

目 录

1 实验计划、大纲、报告的编写	1
1.1 实验计划	1
1.2 实验大纲	2
1.3 实验报告	2
1.4 实验模型设计	3
2 燃气生产实验	8
2.1 煤的工业分析	8
2.2 固体燃料发热量的测定	15
2.3 煤灰熔融性的测定	22
2.4 煤中碳、氢元素的测定	24
2.5 高温燃烧碘量法测定煤中全硫含量	28
2.6 燃气发热量测定	32
2.7 燃气的全分析及其发热量的计算	36
2.8 天然气的全分析及其发热量的计算	41
2.9 燃气相对密度的测定	45
2.10 天然气中硫化氢含量的测定	47
3 燃气输配设备的实验	51
3.1 燃气表的校正	52
3.2 土壤电阻率的测定	54
3.3 管网事故工况的测试与分析	56
4 燃烧及燃烧设备的测试	62
4.1 层流火焰传播速度的测定	64

4.2	高速气流中的火焰稳定	67
4.3	大气式燃烧器工作性能的测试	70
4.4	引射型燃烧器的气体动力性能测试	73
4.5	燃气热水器性能测试	77
4.6	民用燃气灶具质量测定	84
4.7	工业窑炉的热工测试及热平衡计算	88
4.8	中餐燃气炒菜灶测定	101
5	利用气相色谱分析燃气、烟气的原理及方法	110
5.1	概述	110
5.2	定性与定量分析	113
5.3	定量校正因子及定量方法	120
6	建筑消防实验	127
6.1	湿式自动喷水系统实验	127
6.2	泡沫/水喷淋自动灭火系统测试	131
6.3	火灾自动报警系统实验	133
6.4	消防设施的联动控制实验	136
6.5	喷头性能测试	138
6.6	减压节流孔板性能测试	144
6.7	火灾探测器的性能测试	145
附 录		152
附录 1	IGU 基准燃气成分表	152
附录 2	各国基准燃气使用情况表	152
附录 3	IGU 界限燃气成分表	153
附录 4	各国界限燃气使用情况表	153
附录 5	有害化学物质的最高允许浓度	154
附录 6	毫米水柱与帕斯卡换算表	155
附录 7	大气压力温度修正值表	156
附录 8	饱和蒸气压力表	158
附录 9	相对湿度表	160
附录 10	学生实验报告	161
附录 11	气体发热量测定记录表	163
基本符号表		164
参考文献		166
《建筑环境与设备工程专业系列教材》书目		167

实验计划、大纲、报告的编写

当接受一项实验任务,为达到要求及预期的目的,应从了解被测对象的特征和各事物间的关系着手,并进行规划。把所需的实验环节及手段展现在实验文件中,这样才能使整个实验科学地、有条不紊地进行,寻求运行参数和结构参数的最佳结合,从而获得满意的结果。

1.1 实验计划

制定实验计划的目的是对整个实验进行全盘的考虑和安排。对于大型的和比较复杂的测试,必须在实验计划中列出各个工作项目、完成日期或进程、负责人及参加人员的队伍组成等。

在制定实验计划时,通常应考虑以下几个方面:

(1) **实验的目的及意义** 为什么要做该实验,怎样完成该实验,要求达到的水平是什么,为此可到现场了解情况,从而明确实验的目的、实验对象的特点、实验条件的特点等。

(2) **制定实验大纲或进行实验设计** 根据预计要达到实验的目的,明确需要哪些数据加以支撑,应对哪些特定量进行测定控制。

(3) **实验方法的确定** 需要什么样的仪器设备,采用什么样的实验条件和手段。

(4) **实验条件** 哪些因素需要变化,如何变化。

(5) **实验准备** 包括对所有仪器设备、化学药品进行标定,作出标定系数或特性曲线。

(6) **现场准备** 现场实验条件准备(包括仪器设备的安置、电源的配置、工作场地的选择、工具等的准备),仪器安装完后,应进行实验系统的可靠性测试,检查与确定系统是否处于正常状况,做出相应的计算表格。

(7) **实验数据的整理与分析** 通过整理与分析能够得出什么样的结果。

(8) **实验报告编写及实验总结** 对实验得到的数据进行充分地分析或讨论后,从整理处理上升到理性认识,并提出结论建议,编写出有效的实验报告。

1.2 实验大纲

实验大纲是指导实验工作的依据。在调查研究的基础上,对实验中各重要环节进行论证与计算,使实验各环节有科学的依据和遵循的规程。实验大纲大致包括以下内容:

(1) **实验性质** 明确所做实验是鉴定性实验、专门研究性实验、检验性实验,还是其他性质的实验;根据实验性质确定实验方案。

(2) **实验内容** 基本参数的组成,对被测物需做可靠性、生产率、经济性、物理(化学)特性及热工指标等的实验测定。

(3) **实验设计** 选用最优化结构参数或物理、化学指标,选用最优化运行参数;按有关规定,对被测物进行科学鉴定;按精度要求确定实验次数等。

(4) **实验方法** 根据实验设计,确定具体实施措施和步骤。

(5) **实验所能达到的精度分析** 根据实验的目的和要求,决定其预期的精度,列出计算公式;确定是用人工处理,还是用专门分析仪器或者计算机进行处理。

(6) **实验基本理论和实验技术性能的确定分析** 在确定实验任务后,充分利用相似理论、信号分析理论、测试系统特性,把握信号变换、信号传输、信号测试规律,从而完成实验计划的任务。

1.3 实验报告

实验报告是对实验进行归纳上升至理性,做出结论的宝贵资料。它可以找出尚存问题,指明研究方向,总结成绩或指导生产。

1) 实验报告的作用

实验报告应具有科学性、可信性、公证性、法律性和权威性:

①为工业、农业生产,国防建设、科学研究服务。

②为国内、外贸易出证。

③为人民的健康安全提供保证,维护国家和人民的利益。

④为提高产品质量,节能降耗,环境评价与环境保护提供科学数据。

⑤为企业提高社会效益,环境效益和经济效益,为现代化管理提供决策依据。

2) 实验报告的内容

①问题的提出及简要测试经过。

- ②实验条件。
- ③实验设计及实验方法。
- ④选用的主要仪器。
- ⑤数据的处理方法,数据处理结果及误差范围。
- ⑥实验结果分析。
- ⑦结论。
- ⑧提出建议或改进意见。
- ⑨用户对实验报告提出异议时的处理程序:
 - a. 核对层次数据;
 - b. 检查仪器设备的完好程度;
 - c. 明确实验方法的正误性;
 - d. 确定报告是否有效;
 - e. 如果重新做(修改)实验,应说明理由;
 - f. 明确实验者的责任;
 - g. 明确双方责任;
 - h. 将结果通知用户,发出更改通知书。
- ⑩. 附录。较典型的记录曲线,数据处理结果,实验规律曲线等。

1.4 实验模型设计

实验性质和规模是设计实验模型和完成实验任务的量的考核指标。为实现指标则应考察参与实验的诸因素和对诸因素所测结果的认定和取舍。要得到准确可信的数据,就要对以下问题加以讨论。

1.4.1 实验中常用术语

1) 计量

保证量值准确一致的测量。其特点:统一性、准确性、法律性、经济性、权威性和群众性、社会性、技术性和综合性。

2) 量

量是一种现象,用来定性区别和定量确定物体和物质的一种属性。“量”是计量,是测试科学研究的基本对象。

3) 量值

量值是数值和计量单位的乘积。量与量值的区别在于量是大小或多少,而量值是大小(多少)与单位之积。

4) 测量

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程,也即常说的“测量能描述物质世界,改造客观世界;如果没有测量,社会一切活动将会停止”。

5) 测试

测试是确定物质的特性(物理、化学和几何等特性)所必须的实验过程和具有研究性质的测量。要实现准确的测试,需具备以下条件:

(1) **计量基准** 以国家规定的准确度等级作为检定依据用的计量器具或物质。其中又含有国家基准、副基准和工作基准。

(2) **量值传递** 通过检查和确定,把国家基准所复现的计量单位量值,经标准逐级传递到工作用计量器具,以保证对被测对象所测的量值的准确和一致。

(3) **检测系统** 用图表结合文字的形式,规定了国家基准、各级标准的检定程序,并保证其测的量值在允许误差范围内。其内容包括对基准、标准的名称,测量范围、准确度和检测方法的规定。

(4) **检测规程** 为评定计量器具的计量性能,作为检定依据的具有国家法定性的技术文件,由计量器具的法定文件的宣贯执行单位和参与检测人员的素质等因素构成。

1.4.2 实验模型设计

实验模型设计是制定实验方案,分析实验的工具。它能解决多因素、多指标间的优选,根据实验精度要求,确定实验次数,从而实现最优化结构参数和运行参数的合理匹配。

1) 实验设计

(1) **目的** 即为所追求的指标。

(2) **控制因子** 实验中可以控制的因子。

(3) **指示因子** 实验者对某可控因子设定若干水平,但任意选择其最合适的水平,且只对它与控制区因子的交互作用感兴趣的因子。

(4) **区组因子** 以提高实验精度为目的,为区分不同实验环境而提出的因子。

(5) **水平** 能影响实验指标的因子,通常人为地加以控制分组,在统计学上统称为因子的水平。

2) 实验方法

(1) **全面实验法** 把全部因子和所有水平都一一搭配起来进行实验的方法。

例如,把 A, B, C 三个因子按照二水平的实验搭配起来,其模型为

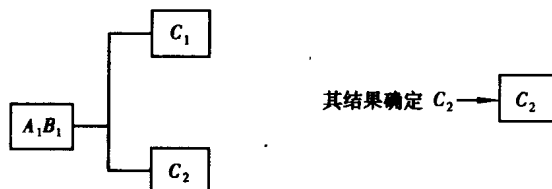
$$\begin{array}{l}
 A_1 - \begin{bmatrix} B_1 - \begin{bmatrix} C_1 & A_1 B_1 C_1 \\ C_2 & A_1 B_1 C_2 \end{bmatrix} \\ B_2 - \begin{bmatrix} C_1 & A_1 B_2 C_1 \\ C_2 & A_1 B_2 C_2 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad A_2 - \begin{bmatrix} B_1 - \begin{bmatrix} C_1 & A_2 B_1 C_1 \\ C_2 & A_2 B_1 C_2 \end{bmatrix} \\ B_2 - \begin{bmatrix} C_1 & A_2 B_2 C_1 \\ C_2 & A_2 B_2 C_2 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\
 B_1 - \begin{bmatrix} A_1 - \begin{bmatrix} C_1 & B_1 A_1 C_1 \\ C_2 & B_1 A_1 C_2 \end{bmatrix} \\ A_2 - \begin{bmatrix} C_1 & B_1 A_2 C_1 \\ C_2 & B_1 A_2 C_2 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad \dots
 \end{array}$$

可以看出, m 个因子、 n 个水平的全面实验,需做 n^m 次实验(即水平的因子次方实验)。对于常规实验,这种实验方法虽然最终能够找出最好的搭配方案,但费工、费时,有

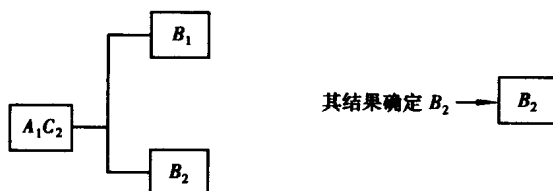
时甚至不可能实现。为此,在不影响其精度的前提下,常采取下述简单对比法。

(2) **简单对比法** 变化其中一个因子,其余的固定,然后逐步地得到较好的搭配方法。

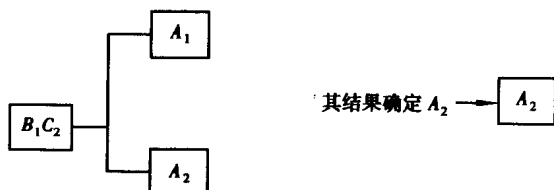
如仍把因子 A, B, C 作简单对比法搭配,先把 A, B 固定在 A_1, B_1 , 然后变化 C , 即:



然后把 C 因子固定在 C_2 , 变化 B , 即:



最后变化 A , 即:



由此得到的模化方案是 $A_2B_1C_2$ 。这种方法一般也能得到较好的效果,而且实验次数比全面实验法少。其缺点是对待各因子和水平是不均匀的,如 A_1 参加了 3 次,而 A_2 参加了 1 次;另外,先固定哪些因子,再变化哪些因子都对实验结果有一定的影响。当然,若参与实验者有一定的经验,能熟练地控制实验目标,也能得到较好结果。

(3) **完全随机化实验** 完全随机化实验是一种最基本的实验设计。例如,某厂采用新型燃烧器后,比较 2 种热处理温度对同一材料材性影响的差异。这里,只做一因素二水平实验,即 A, B 二水平(2 种处理),先对 A 处理为 1 次重复,对 B 处理为 10 次重复。实验分配完全随机,实验完成后,对平均数 $\bar{A}$ 与 B 进行差异显著性检验:

$$\frac{\sum x_{A_i}}{11} = 238.73 \approx 240$$

$$\frac{\sum x_{B_i}}{10} = 193.6 \approx 200$$

表 1.1 完全随机化实验计算表

序号	x_{A_i}	x_{B_i}	$x'_{A_i} = x_{A_i} - 240$	$x'_{B_i} = x_{B_i} - 200$	$x'^2_{A_i}$	$x'^2_{B_i}$	备 注
1	221	147	-19	-53	361	2 809	
2	244	141	4	-59	16	3 481	
3	243	208	3	8	9	64	
4	288	230	48	30	2 304	900	
5	233	203	-7	3	49	9	
6	220	206	-20	6	400	36	
7	210	180	-30	-20	900	400	
8	258	179	18	-21	324	441	
9	245	207	5	7	25	49	
10	264	235	24	35	576	1 225	
11	200	—	-40	—	1 600	—	
12	合 计		-14	-64	6 564	9 414	

差异补偿:

$$\bar{x}_A = 240 + \left(\frac{-14}{11} \right) = 238.7$$

$$\bar{x}_B = 200 + \left(\frac{-64}{10} \right) = 193.6$$

均方差:

$$S_A^2 = \frac{1}{11} \left[\sum_{i=1}^{11} (x'_{A_i})^2 - \frac{(\sum x'_{A_i})^2}{11} \right] = \frac{1}{11} (6\,564 - \frac{(-14)^2}{11})$$

$$= 595.107$$

$$S_B^2 = \frac{1}{10} \left[\sum_{i=1}^{10} (x'_{B_i})^2 - \frac{(\sum x'_{B_i})^2}{10} \right] = \frac{1}{10} (9\,414 - \frac{(-64)^2}{10})$$

$$= 900.44$$

冲击韧性(自由度) t 值检验:

$$t = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{(n_1 S_A^2) + (n_2 S_B^2)}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} = \frac{45.1}{12.5} = 3.6$$

工程上,常用 $t_{0.05}$ ——不可靠度为5%时; f_{19} ——挠度满足要求。所以, $t_{0.05}(f=19) = 2.09$;则 $t > t_{0.05}$,从而看出2种状况所代表的2个总体的平均数具有显著差异,即不同的热处理温度对材质有显著影响。

(4) 拉丁方与正交拉丁方实验方法

①拉丁方法:将一定的文字排成正方形,每个文字在各行各列中都出现1次,而且只出现1次所构成的模化型式法。对于因子多于3个的实验,实验次数将随着因子数的增