

高 等 学 校 教 学 用 书

# 有色冶金试验研究方法

冶金工业出版社

高等学校教学用书

# 有色冶金试验研究方法

西安冶金建筑学院 黄桂柱 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书  
**有色冶金试验研究方法**  
西安冶金建筑学院 黄桂柱 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街黄冶院北巷38号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 8 5/8 字数 224 千字

1986年11月第一版 1986年11月第一次印刷

印数 00,001~3,100 册

统一书号: 15062·4513 定价1.40元

## 前 言

《有色冶金试验研究方法》教材系根据冶金工业部1982年教材工作会议制订的教材出版规划编写的。全书共分五章：第一章试验研究工作分类、阶段划分及程序；第二章文献资料工作（重点介绍化学文摘、专利的检索及国际联机检索）；第三章试验方法（重点讲授正交试验的设计方法）；第四章误差分析及数据处理；第五章试验技术，其中包括试样采取、高温、压力、真空获得，气体净化等；第六章科学论文编写。某些章之后附有思考题和习题。

本书为高等学校有色冶金专业教学用书，也可供有关科研、设计等工程技术人员及中等专业学校师生参考。

本书由西安冶金建筑学院袁志昌（第一章、第五章）、黄立柱（第二章）、张箭（第三章、第六章）、彭济时（第四章）编写。黄立柱任主编。

书稿完成后，承蒙中南工业大学、东北工学院、昆明工学院、江西冶金学院、贵州工学院、唐山工程技术学院、沈阳黄金专科学校等任课老师审阅，并提出宝贵意见，在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，必有不少缺点、错误及不足之处，敬希读者提出批评指正。

编 者

一九八六年二月

# 目 录

<b>第一章 试验研究工作的分类、阶段划分及程序</b> .....	1
第一节 有色冶金试验研究工作的分类 .....	1
第二节 有色冶金试验研究工作阶段划分 .....	1
一 实验室试验阶段 .....	2
二 扩大实验室试验 .....	2
三 半工业试验 .....	3
第三节 有色冶金试验研究工作的程序 .....	4
一 选定研究课题 .....	5
二 文献资料工作 .....	5
三 制订试验方案及试验计划 .....	6
四 试验准备 .....	7
五 试验 .....	8
<b>第二章 文献资料工作</b> .....	9
第一节 文献资料查阅 .....	9
一 图书 .....	9
二 期刊 .....	10
三 专利文献 .....	19
第二节 文献资料积累与整理 .....	30
一、文献资料积累 .....	30
二、文献资料整理 .....	31
第三节 国际联机检索 .....	31
一、DIALOG和ORBIT系统 .....	32
二、DIALOG系统检索方法 .....	32
三、WPI文档检索方法特点介绍 .....	38
<b>第三章 试验方法</b> .....	40
第一节 概述 .....	40
一、试验方法的术语及符号 .....	40
二、试验的数据结构式 .....	41
第二节 单因素试验的优选法 .....	47

一、0.618 法 .....	47
二、分数法(斐波那奇数列的应用) .....	51
三、其它方法 .....	53
第三节 多因素试验的优选法 .....	53
第四节 正交试验的设计步骤 .....	56
第五节 正交试验的极差分析 .....	58
一、单指标试验的极差分析 .....	64
二、多指标试验的极差分析 .....	69
第六节 正交试验的方差分析 .....	76
一、单因素试验的方差分析 .....	76
二、多因素试验的方差分析 .....	81
三、小结 .....	88
第七节 正交试验的数据补漏 .....	90
一、利用数学模型方程和参数估计法补漏 .....	90
二、极小化误差法补漏 .....	92
第八节 不同水平的正交试验 .....	96
一、选用混合型正交表 .....	96
二、并列法 .....	98
三、拟水平法 .....	100
第九节 正交试验设计的技巧 .....	100
一、直和法 .....	101
二、追加法 .....	101
三、裂区法 .....	101
<b>第四章 误差分析及数据处理 .....</b>	<b>107</b>
第一节 误差的基本概念 .....	107
一、误差定义 .....	107
二、误差来源 .....	107
三、误差分类 .....	108
四、误差表示法 .....	110
五、准确度与精密度 .....	114
第二节 误差的正态分布及概率 .....	115
第三节 平均值的可靠性 .....	120
第四节 误差的传递 .....	126

一、误差的分解 .....	126
二、系统误差的判定与估计 .....	127
三、系统误差的传递 .....	129
四、随机误差的传递 .....	131
五、误差传递的逆问题 .....	134
第五节 有效数字与计算规则 .....	136
一、有效数字的概念 .....	136
二、运算规则 .....	137
第六节 异常数据的舍取 .....	140
第七节 插值方法 .....	143
一、线性插值 .....	143
二、牛顿插值 .....	144
三、拉格朗日插值 .....	145
四、双内插法 .....	148
第八节 试验结果列表与图示法 .....	149
一、列表表示法 .....	149
二、图形表示法 .....	152
第九节 由试验数据建立数学模型 .....	160
一、数学模型的概念 .....	160
二、一元线性回归模型的建立及其检验 .....	162
三、多元线性回归模型的建立及其检验 .....	174
四、非线性模型的参数估计 .....	189
<b>第五章 试验技术</b> .....	<b>203</b>
第一节 试样的采取 .....	<b>203</b>
一、取样的目的 .....	<b>203</b>
二、取样的分类 .....	<b>204</b>
三、固体物料取样 .....	<b>204</b>
四、取样操作 .....	<b>207</b>
第二节 高温的获得 .....	<b>209</b>
一、获得高温的一般方法 .....	<b>209</b>
二、电热体及电阻加热 .....	<b>210</b>
三、高温测量 .....	<b>213</b>
四、保温材料及耐火材料 .....	<b>214</b>

<b>第三节 压力的获得</b> .....	215
一、获得压力的一般方法 .....	251
二、泵、压缩机组的选择 .....	216
三、压缩气体的消耗量计算 .....	217
四、压力容器 .....	218
<b>第四节 真空的获得</b> .....	219
一、真空的获得 .....	219
二、真空系统 .....	221
三、真空检漏 .....	224
<b>第五节 气体净化及反应器内气氛的控制</b> .....	225
一、气体净化的方法 .....	227
二、反应器内气氛的获得及控制 .....	229
<b>第六节 计算机在试验研究中应用的简介</b> .....	231
一、数据处理 .....	232
二、处理系统主要部分简介 .....	233
三、综合测试系统 .....	234
<b>第六章 科学论文编写</b> .....	237
<b>第一节 命题</b> .....	240
<b>第二节 作者及其工作单位</b> .....	241
<b>第三节 目录</b> .....	242
<b>第四节 前言</b> .....	242
<b>第五节 实验材料与实验方法</b> .....	242
<b>第六节 实验结果</b> .....	243
<b>第七节 讨论</b> .....	244
<b>第八节 结论</b> .....	245
<b>第九节 摘要</b> .....	245
<b>第十节 致谢</b> .....	245
<b>第十一节 参考文献</b> .....	246
<b>附录</b> .....	247
<b>主要参考文献</b> .....	266

# 第一章 试验研究工作的分类、 阶段划分及程序

## 第一节 有色冶金试验研究工作的分类

随着工业生产现代化程度的提高及科学技术的发展，试验研究工作的先导作用和推动作用越来越显著，其内容也越来越广泛和深入。有色冶金科研工作分为基础理论研究和应用研究两个方面。基础理论研究包括热力学性质的研究、反应动力学的研究、化学平衡的研究等。应用研究包括新方法、新工艺、新设备的研究、改革现有工艺流程和改进现有生产设备的研究、强化生产过程提高产品质量的研究及原材料综合利用和环境保护的研究等。

概括起来，有色冶金试验研究工作可分为四种类型：

- (1) 有色冶金生产中已经或将要遇到的理论问题和实际问题；
- (2) 在科学技术发展中原有的理论和新的试验结果之间所暴露出来的新矛盾；
- (3) 在科学技术发展和国家长远性规划中需要解决的重大课题；
- (4) 暂时还看不到任何实际用途，但具有重大科学价值的基本理论研究课题等。

其中前两类的研究课题是最大量的。

了解试验研究的类型及其特点，有助于更好地选题，根据课题的研究任务及条件决定和安排试验方案，制定实施计划，也便于进行文献资料的查阅工作。

## 第二节 有色冶金试验研究工作阶段划分

试验研究工作的步骤，取决于其类型，目的与要求。

对于理论性的研究课题，实验室所用的设备、方法即可满足要求。对于直接用于生产实践的课题，须将试验规模逐渐扩大，以获取指导设计和生产的可靠数据。为此，其研究工作，按其规模由小到大，分为若干阶段。目前是将试验过程分为：实验室试验；扩大实验室试验及半工业试验。各阶段特点分述如下。

### 一、实验室试验阶段

实验室小型试验主要是解决技术上的可行性问题，是属于探索性质。其基本任务是对几种可能的方法进行试验，分析比较，选择实验室条件下最优方案及获取该方案相应的条件试验数据。实验室试验的特点如下：

(1) 规模小，测试手段先进，可采用小型标准设备（仪器）。其数据易于采集和处理。

(2) 条件容易控制，干扰因素较少，操作严格，试验结果的准确度高。

(3) 试样的物相组成及物理化学性质波动不大，试验数据重现性好。

(4) 分批试验，机动灵活，可在较大范围内进行探索。

实验室试验是后续扩大实验室试验及半工业试验的基础。但由于实验室试验是分批操作，各因素之间的交互作用，各环节的相互影响不能充分暴露出来。故所得数据与实际相比会有较大出入，因而必须按实验室提供的数据资料，逐渐扩大试验规模，使其尽量接近于生产实际。

实验室所得数据只提供了在技术上是可行的，而不能作为指导生产及进行设计的依据，因此，还需进行扩大试验及半工业试验。

有时，在研究内容不复杂的情况下，在实验室就可以进行扩大实验室试验，这时在开始考虑试验设备时，就应将规模适当放大，以便根据实验室试验的数据进行扩大实验室试验。

### 二、扩大实验室试验

扩大实验室试验是介于实验室试验和半工业性试验之间的一

种中间试验，是在实验室试验的基础上进行的。其主要任务是进一步肯定实验室试验的结果和取得接近半工业试验的各项指标。在研究内容比较简单的情况下，扩大实验室试验可代替半工业试验，其研究结果可直接用于生产。在大多数情况下，扩大实验室试验是为了查明在实验室的规模下不能肯定的一些重要条件。这样，扩大试验仍起着初步研究的作用，因而所取得的实验室数据不能作为指导生产和进行设计的依据。

与实验室试验相比，扩大实验室试验，大部或全部是连续操作，较接近工业生产要求，它的规模较大，运行时间较长，各环节之间的相互影响暴露得较充分，试验结果的可靠性更高；而且原材料消耗较大，费用较高，加之参加人员较多，故需精心组织，密切配合，协同工作。

扩大实验室试验要求对产物（包括中间产物）进行系统地取样和分析化验。对所使用的原材料要作详细的统计记录。对物料平衡、热平衡、主要设备能力要做出粗略计算。扩大实验室试验所取得的数据应能满足半工业试验要求。

### 三、半工业试验

半工业试验主要是克服在扩大实验室试验中发现的不稳定现象。经长时间运转验证所用设备的适应性能和相互之间的配合性。在接近工业生产规模下测定出可靠的物料平衡与热平衡数据，进一步肯定产品的质量和各项技术经济指标。同时借以计算出比较可靠的单位生产成本。初步制定出操作规程，查明劳动条件并制定出劳动保护及环境保护等措施，为设计提供必须的资料等。

半工业试验，一般是针对新技术或缺乏经验的生产方法进行的，其规模大小由具体情况而定，有人提出半工业试验规模应该较扩大实验室试验大500~1000倍。设备正式运转为100天，才能获得比较稳定可靠的指标。

半工业试验设备应为生产设备的雏形或一个生产单位的雏形，应要求操作连续化、机械化或自动化，并配备将来工业生产

设备同样需要的控制仪表。

设计半工业试验时，要考虑到各重要设备或其构造材料的来源与供应情况，并做出最适当的选择。还应考虑到主要设备的使用期限，维护措施，原材料、燃料的来源及供应情况，生产过程中原材料及废物的综合利用以及与生产有关的其它问题等等。

总之，通过半工业试验，应能解决将来生产上所有可能碰到的一切问题，为工业设计积累一切必要数据。

### 第三节 有色冶金试验研究工作的程序

冶金领域的科研课题，在实验室试验阶段，一般可按下列程序进行：

选定研究课题；查阅文献资料；制订试验方案及试验计划；试验的准备；试验；编写试验研究报告。

事实上，上述程序在不同程度上是相互重叠和交叉的。有的课题在文献工作之后并不能立即确定试验方案，而是对几个可能方案首先进行探索性试验，经比较后再确定其中的一个方案。有的课题由于可供借鉴的经验知识较多，一开始就能确定试验方案。文献资料工作只是为了制定较细的试验计划，有时则是在试验进行过程中，还需要查阅文献，借以分析研究某些具体问题。有些自选的长期研究课题，往往是先查阅文献资料，再定主攻方向，甚至在大方向确定后才拟定正式的试验研究课题。

由于试验过程中各程序间的交叉重叠，使得各程序的时间很难预先确定，通常设备是决定试验方法的重要因素。在一般情况下，文献工作、试验准备和正式试验所占的时间较多。文献工作占用的时间多少，与研究的内容及对文献工作熟练的程度有关。在正式试验（探索试验和条件试验）中，条件试验的时间较长，因此，详细地制定计划，对于精简试验内容，减少工作量，避免走弯路，使试验有计划、按步骤的进行是十分重要的。

扩大实验室试验及半工业性试验是在实验室试验基础上进行的，其主要程序是设备准备、安装、预试及正式试验。

## 一、选定研究课题

选题是进行科学研究的第一步。它是直接影响研究工作能否完成、或者有没有价值的具有重大意义的大事。选题的原则是为生产服务为社会主义建设服务，理论与实践相结合。选题的方向既要研究解决目前和长远的生产实践中提出的各种科学理论与技术课题，又要走到生产实践前面，更深入地进行理论研究，揭示自然规律，为生产开辟新的途径。

有色冶金研究的课题，可以是国家下达的科研任务，也可以是有关单位委托的，还可以是科研人员自选的。选题时要注意：

(1) 既要考虑课题的意义和价值，又要考虑课题解决的客观条件和研究者的主观条件；

(2) 处理好热门和冷门，重要和次要，中心和边缘的关系，研究者应把自己能做出有价值、有独创见解和发现的可能性作为选择和决策的主要标准；

(3) 要处理好目前和将来的关系，尽量挑选那些有利今后长远发展方向的课题。

选题是科研中头等重要的工作。因此，必须拟报选题计划，呈上级机关审批，作为确定和安排工作的依据。选题计划一般应包括如下内容：

- (1) 题目（包括大题目和小题目）；
- (2) 选题依据，目的及意义；
- (3) 题目来源；
- (4) 有关本题目国内外研究现状，已有成果及存在问题；
- (5) 要求解决问题的基本内容，预期达到的指标及结果；
- (6) 计划预定起始和完成时间；
- (7) 主要措施；
- (8) 经济预算及来源；
- (9) 负责人及参加人员姓名；
- (10) 协作单位。

## 二、文献资料工作

文献资料工作是试验研究的一项基本功。查阅文献资料可以从前人工作的经验教训中得到启迪，从而更好地安排研究计划。研究者通过文献资料工作，可以了解有关问题的发展历史、现状及动向、确定研究方向，提出科学预见；了解别人的科学构思，从中得到启发，以形成和完善新的概念；了解和借鉴别人成功的经验并在其研究基础上，有所创新，有所提高；了解别人失败的教训，少走弯路，减少人力、物力、时间的浪费。

总之，文献工作是为了扩大有关的知识范围、吸取前人的经验教训，使研究计划建立在坚实的基础上，以提高科研工作的质量和效率。

### 三、制订试验方案及试验计划

1. 制定试验方案 制定方案是试验研究的关键环节，在文献工作的基础上，对各种可能的方案要进行分析比较，最终要舍弃其它方案而确定一个最佳方案，在对方案的比较、选择过程中，一般要遵循如下一些原则：进行基础理论研究所遵循的原则是：需采用先进设备及试验手段，以获取准确可靠的信息；分析这些信息所作出的结论，应能正确反映理论问题的本质。

进行实用性课题研究时，选择方案的基本原则是：

(1) 技术上先进可行。就是要尽量采用先进技术，提高生产力，而且所采用先进的技术，在实际应用中创造条件是可以实现的。

(2) 经济上合理。就是必须考虑原料的综合利用，尤其是有色冶金研究的对象主要是有色金属矿石，其中除主金属外，还伴生有经济价值很高的多种元素，需综合回收。其它还有基本设备投资，各种原材料及燃料消耗等。

(3) 不造成环境污染。在试验及生产过程中，所产生的废气、废水、废渣、要尽可能少，或予以回收，变害为利，避免造成对环境的污染。

(4) 生产过程应安全。

试验方案的选择是一项相当复杂、细致的工作，往往在试验

进行中，还要不断修改、补充、以使方案更加完善，更加合理。

2. 制订试验研究计划 试验研究计划是根据试验方案制定的。它的作用和目的，就是使试验方案的内容和要求得以付诸实施。制定试验研究计划应包括下列主要内容：

(1) 前言。试验题目（包括小题目）名称，目的要求，欲解决的问题及要达到的目标、采用的方法及措施。

(2) 试验总表。可用流程图的形式，将整个试验过程的全部内容（各项指标，试验条件和波动范围）列在表中。

(3) 试验进度安排。将试验（探索性试验和条件试验）分为若干阶段，根据试验内容，按日期安排出试验进度。

(4) 物料清单。根据试验总表，计算出所需物料，试剂用量（计算值乘以1.2~1.5系数）连同所要求的规格、等级、物理性质、化学成分及特殊要求（如物相组成……），一并列成明细表。对矿物原料（熔剂、试料等）还需说明来源、产地、组成等。需要自制的试剂，要订出制备计划及制备方法，并说明在何处进行。

(5) 设备仪器清单。对试验研究所用的设备、仪器及其备用配件，以图表形式列出名称、规格、数量等，特殊特况要予以说明。

为了使设备、仪器不致遗漏，应绘制出试验设备连接图。图中要示出主体设备、附属设备、连接管道等，并标出检验与控制仪表的位置及线路连接。对各种工具也要列出详表一次备齐。

(6) 化验分析。试验研究中的化验分析，物理检验要在计划总表中估计出工作总量。若要其它专业人员协作的，要求要明确，任务要具体；若是自己进行化验或检验，则应就方法、所需设备、仪器、试剂等作出详细计划。

#### 四、试验准备

准备工作一般包括技术准备，物料准备，设备装配及调试，化验分析工作的配合及科研人员的训练等几个方面。

技术准备主要是指试验方法选择，试验条件控制，观测指标

及其测量方法的确定以及设备、仪器的性能，使用及维护等。

1. 物料准备 物料是研究工作的主要对象，试验之前，必须作充分的准备。试料要按规定取样，准确测定其物理化学性质，贴上标签，注明名称，规格等，其它所需药品试剂也应按要求准备齐全。

2. 试验设备的准备 进行实验室试验时，要尽量利用实验原有的小型标准设备，有时仅需稍加改装即可使用，只有在必要时，才添置或自制。各类仪器、设备在配套安装前须仔细阅读说明书，弄清其结构与性能，掌握其操作规程及注意事项，以免组装错误、造成损坏。设备仪器按规定组装完后，要认真检查，并经调试、运转、当确认为符合要求时，方可正式运行。对大型、精密、贵重设备，应由专人管理使用。

3. 化验分析工作的配合 正确可靠的化验分析数据是判断试验进行情况与试验结果好坏的依据，试验研究的质量很大程度上取决于信息的采集及数据（包括化验分析数据）处理的精确度。因此，在开始制定计划时，就需同时考虑化验分析的人员（包括参与化验的研究人员、化验人员）、化验方法、设备、仪器、所用试剂、精度要求等内容，并做好安排。在有色冶金试验研究中，化验工作往往是工作量大，速度慢，费用高的项目。

#### 五、试验（包括试验方法设计、观察、及数据处理）

试验是研究的中心环节，它决定科学研究的质量。科研人员应有严格的科学态度、精细准确的作风，熟练的操作技能，在整个试验过程中要求：

（1）制定好操作程序。需根据试验条件及设备、规定出整个试验工作进行的步骤及仪器、设备使用方法，均可用流程图形式表示，并附以文字说明。在试验过程中，须严格按操作程序进行。

（2）认真操作，仔细观察，试验中的各种现象，要细心分析，如实记录。

（3）作好原始记录。对所有试验资料，数据都要编号、记录、所有的记录应清晰、完整、准确。

## 第二章 文献资料工作

### 第一节 文献资料查阅

研究课题时，需尽可能全面而无遗漏地找出有关问题文献。

随着科学的发展，文献资料已不断增多，据统计，以期刊为例，十九世纪末世界上只有一百多种，到一九六零年有近一万种，到一九八零年发展到十万种。目前世界出版图书达五六十万种，总册数近百亿；国际会议录每年十多万篇；专利说明书每年增加数十万件。据估计，大约七八年科技文献量就得翻一番。要从中找出所需资料是要花力气的，但如掌握了查找方法，也可快速找到有关文献。

文献资料通常以图书、期刊或报纸三种形式发表和保存。对自然科学，文献主要是图书和期刊。此外，还有专利说明书、会议文件、商品广告、信函、图表、不出版的学位论文以及机关团体的内部资料等。

#### 一、图书(book)

一般指的是装订成书本形式的，主要包括教科书、百科全书、字典和词典、手册、技术标准、专著、会议录、论文集、指南、丛书、年鉴、书目、目录等等。图书在文章结构上分章分节系统叙述，内容一般是总结性的，经过重新组织过所谓第二手材料。时间上，报导比期刊论文晚，但比期刊论文提供的资料系统而全面。

1. 教科书(textbook) 是专为学生学习该门学科而编写，反映出学生和师资水平，是具有严格科学性、系统性和逻辑性的一种参考书。

2. 专著(monograph) 是针对某一专门题目分章作系统深入而全面叙述的一种著作，在科技书籍中占有重要位置。