无机非金属材料实验技术

高里存　任耘　编著

WUJI
FEIJINSHU
CAILIAO
SHIYAN
JISHU

冶金工业出版社
http://www.cnmip.com.cn

02

无机非金属材料实验技术

[illegible] [illegible] [illegible] 编著

[illegible]工业出版社

无机非金属材料实验技术

高里存　任　耘　编著

北　京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 提 要

本书内容包括：实验方案的设计及数据处理，各种实验设备、温度测量及控制，制样设备和试样的采取与制备，耐火材料实验原理及影响实验结果的因素，耐火材料性能实验，材料光学显微分析方法，近代测试方法实验，综合设计性实验等，力求使无机材料实验从实验技术到内容、方法构成了一个有机的完整体系。

本书内容丰富，实用性强，可供无机非金属材料专业的技术人员阅读，也可作为高校无机非金属材料专业本科生、大专生试用教材，也可供相关专业科研、技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料实验技术/高里存等编著. —北京：冶金工业出版社，2007.3

ISBN 978-7-5024-4223-1

Ⅰ.无… Ⅱ.高… Ⅲ.无机材料：非金属材料－实验 Ⅳ.TB321.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 030817 号

出 版 人 曹胜利（北京沙滩嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009）
责任编辑 章秀珍 美术编辑 李 心 版面设计 张 青
责任校对 刘 倩 李文彦 责任印制 牛晓波
ISBN 978-7-5024-4223-1
北京鑫正大印刷有限公司印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销
2007 年 3 月第 1 版，2007 年 3 月第 1 次印刷
850mm×1168mm 1/32；10.25 印张；274 千字；310 页；1－3000 册
28.00 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
（本社图书如有印装质量问题，本社发行部负责退换）

前　言

无机非金属材料的科学技术与实验科学密切相关，材料的各项性能指标现阶段仍然依靠实验测试获得。因为任何一种新材料的诞生都离不开实验研究，任何一种新技术、新工艺的开发也离不开实验研究。作为无机非金属材料科学技术工作者，必须具备一定的实验设计知识，掌握实验技术，熟悉实验原理和操作技能，处理实验数据，分析实验结果和编写实验报告。通过这门课程的学习，使学生进一步巩固和应用学到的材料科学与工程方面的基本理论，掌握材料制备与材料性能测试的基本知识和基本技能，培养和提高学生的自学、动手、创新能力，为研究开发新材料、检测新材料和生产材料及合理应用材料打好基础，达到培养学生从事科学研究能力的目的。

本书内容包括：实验方案的设计及数据处理，各种实验设备、温度测量及控制，制样设备和试样的采取与制备，耐火材料实验原理及影响实验结果的因素，耐火材料性能实验、材料光学显微分析方法、近代测试方法实验、综合设计性实验等。实验教学课应处理好与理论教学课的关系，应建立独立的实验教学体系，使无机材料实验从实验技术到内容等，构成一个有机的完整体系，全书特别配备了各种实验方法的应用举例，并尽可能取材于科研实例，反映了实验过程最本质的规律。全书体现了以突出应用和实验方法为重点的特点，不仅便于学生自学，而

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

且有利于学生整体科研素质的培养和提高。

本书由西安建筑科技大学的教师编写，参编人员有：前言、目录、第1章、第2章1～2节、8～9节、第3章、第4章、第5章8～14节、第8章1～2节、4～5节由高里存编写；第6章、第7章及附录2、3由任耘编写；第2章3～7节、第5章1～7节及附录1由武志红编写；第8章3节由尹洪峰编写。全书由高里存统稿定稿。尹洪峰教授对本书提出了修改意见，在此表示感谢。

本书是编者结合多年教学与科研工作的体验，并参考了有关文献资料编写而成。在此谨向所有文献资料作者致以衷心感谢！限于篇幅，所用参考文献未能悉数列出，祈请未予列入的作者谅解，并深致歉意。

由于编者学识所限，尤其将实验技术与实验相关的基础知识及各项实验融为一体尚属初试，难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

于西安建筑科技大学

目　录

1　实验方案的设计及数据处理…… 1

1.1　实验设计的必要性…… 1
1.1.1　因素位级…… 2
1.1.2　实验计划和实验结果…… 2
1.1.3　数据处理…… 2
1.1.4　结果分析…… 3
1.2　正交实验法…… 5
1.3　回归分析实验法——直线关系式的建立…… 12
1.3.1　作图法…… 13
1.3.2　平均法…… 14
1.3.3　最小二乘法…… 15
1.4　数据处理…… 17
1.4.1　基本概念…… 17
1.4.2　测量误差…… 18
1.4.3　平均值的计算方法…… 22
1.4.4　有效数字及计算规则…… 24
1.4.5　误差计算…… 27

2　实验设备…… 31

2.1　电阻炉…… 31
2.1.1　工作原理…… 31
2.1.2　炉体结构…… 32
2.1.3　金属加热体…… 37

2.1.4　非金属加热体…… 38
2.1.5　硅碳棒和硅钼棒电炉的使用及维护…… 43
2.1.6　氧化锆电炉…… 44
2.2　碳粒炉(碳阻炉)…… 45
2.2.1　工作原理…… 46
2.2.2　炉体结构…… 46
2.2.3　碳粒炉的发热体…… 47
2.2.4　装炉及操作…… 47
2.3　全自动高温热膨胀测试仪…… 49
2.3.1　仪器组成…… 49
2.3.2　整机操作…… 50
2.4　全自动抗热震性试验机…… 50
2.4.1　炉体结构说明…… 50
2.4.2　控制系统…… 51
2.4.3　机械部分…… 51
2.5　显气孔率、体积密度测定仪 …… 51
2.6　真空热压炉…… 53
2.6.1　用途…… 53
2.6.2　结构说明…… 54
2.6.3　整机操作…… 55
2.6.4　需要注意的问题…… 56
2.7　钟罩式烧结炉…… 57
2.7.1　用途…… 57
2.7.2　基本结构…… 57
2.8　温度测量…… 58
2.8.1　热电偶…… 59
2.8.2　辐射式温度计…… 76
2.9　温度的控制…… 86
2.9.1　DWK-702 精密温度自动控制装置 …… 86
2.9.2　HRY-01 型荷软蠕变仪温度自动控制系统 …… 89

2.9.3　计算机程控高温电阻炉…… 90

3　试样的采取和制备…… 91

3.1　制样设备…… 91
3.1.1　斜槽式分样器…… 91
3.1.2　密封式化验制样粉碎机…… 92
3.1.3　玛瑙乳钵研样机…… 93
3.1.4　金刚石切割机…… 95
3.1.5　金刚石钻样机…… 97
3.1.6　机械磨圆样机…… 99
3.1.7　花篮式压片机 …… 100
3.1.8　真空练泥机 …… 102
3.1.9　全自动磁场注射成型机 …… 102
3.2　试样的采取 …… 104
3.2.1　耐火制品取样 …… 105
3.2.2　散装矾土取样 …… 107
3.2.3　普通硅酸铝质耐火纤维毡取样 …… 111
3.3　试样的制备 …… 112
3.3.1　耐火制品理化检验制样 …… 112
3.3.2　原料及粉样的制备 …… 112
3.3.3　散装原料制样方法 …… 114

4　耐火材料实验原理及影响实验结果的因素 …… 117

4.1　直接比较测试法 …… 117
4.2　示差法实验原理 …… 120
4.2.1　示差式荷软蠕变测定仪 …… 120
4.2.2　示差式热膨胀仪 …… 126
4.3　模拟实验法 …… 129
4.3.1　抗渣性实验 …… 130
4.3.2　抗热震性实验(镶板法) …… 131

4.4 热导率的测试方法 …… 132
4.4.1 平板法 …… 133
4.4.2 热线法 …… 137
4.5 显气孔率、真密度的测试原理及影响测试结果的因素 …… 138
4.5.1 显气孔率实验 …… 139
4.5.2 真密度实验 …… 141
4.6 耐火材料实验方法的进展 …… 143
4.6.1 我国检验标准发展概况 …… 143
4.6.2 国外标准概况及我国标准的主要制订依据 …… 144
4.6.3 值得探讨的几个问题 …… 145

5 耐火材料性能实验 …… 148

5.1 耐火制品检验用试样的制备 …… 148
5.1.1 目的 …… 148
5.1.2 原理 …… 148
5.1.3 取样部位的规定 …… 149
思考题 …… 152
5.2 显气孔率、体积密度和真气孔率的测定 …… 152
5.2.1 实验目的 …… 152
5.2.2 实验原理 …… 152
5.2.3 仪器设备 …… 153
5.2.4 试样制备 …… 153
5.2.5 实验步骤 …… 154
5.2.6 结果计算 …… 155
5.2.7 实验报告 …… 156
思考题 …… 156
5.3 真密度的测定 …… 157
5.3.1 实验目的 …… 157
5.3.2 实验原理 …… 157

5.3.3　仪器设备 …… 157
5.3.4　试样制备 …… 158
5.3.5　实验步骤 …… 158
5.3.6　结果计算 …… 159
5.3.7　实验报告 …… 160
思考题 …… 161
5.4　常温耐压强度的测定 …… 161
5.4.1　实验目的 …… 161
5.4.2　实验原理 …… 161
5.4.3　仪器设备 …… 162
5.4.4　试样制备 …… 162
5.4.5　实验步骤 …… 163
5.4.6　结果计算 …… 163
5.4.7　实验报告 …… 164
思考题 …… 164
5.5　常温抗折强度的测定 …… 164
5.5.1　实验目的 …… 164
5.5.2　实验原理 …… 164
5.5.3　实验装置 …… 165
5.5.4　试样制备 …… 165
5.5.5　实验步骤 …… 166
5.5.6　结果计算 …… 167
5.5.7　实验报告 …… 168
思考题 …… 168
5.6　高温抗折强度的测定 …… 168
5.6.1　实验目的 …… 168
5.6.2　实验原理 …… 169
5.6.3　实验装置 …… 169
5.6.4　试样制备 …… 170
5.6.5　实验步骤 …… 171

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

5.6.6 结果计算 …… 172
5.6.7 实验报告 …… 172
思考题 …… 173
5.7 高温蠕变的测定 …… 173
5.7.1 实验目的和意义 …… 173
5.7.2 蠕变性能的表征 …… 174
5.7.3 实验原理及所用仪器 …… 175
5.7.4 实验步骤 …… 177
5.7.5 结果计算 …… 178
思考题 …… 179
5.8 热膨胀的测定 …… 179
5.8.1 实验目的 …… 179
5.8.2 实验原理 …… 180
5.8.3 实验装置 …… 180
5.8.4 试样制备 …… 181
5.8.5 实验步骤 …… 181
5.8.6 结果计算 …… 182
5.8.7 实验报告 …… 183
思考题 …… 184
5.9 热导率的测定 …… 185
5.9.1 实验目的 …… 185
5.9.2 平板法 …… 185
5.9.3 热线法 …… 187
5.9.4 实验报告 …… 191
思考题 …… 191
5.10 耐火度的测定 …… 191
5.10.1 实验目的 …… 191
5.10.2 实验原理 …… 191
5.10.3 仪器设备 …… 192
5.10.4 试样制备 …… 193

5.10.5　实验步骤…… 193
5.10.6　结果计算…… 194
5.10.7　实验结果及记录…… 195
思考题…… 196
5.11　荷重软化温度的测定…… 196
5.11.1　实验目的…… 196
5.11.2　实验原理…… 197
5.11.3　示差——升温法…… 197
5.11.4　非示差——升温法…… 202
5.11.5　实验误差…… 204
5.11.6　实验报告…… 204
思考题…… 204
5.12　重烧线变化的测定…… 204
5.12.1　实验目的…… 204
5.12.2　实验原理…… 204
5.12.3　仪器设备…… 205
5.12.4　试样制备…… 206
5.12.5　实验步骤…… 207
5.12.6　结果计算…… 207
5.12.7　实验误差…… 208
5.12.8　实验报告…… 208
思考题…… 208
5.13　抗热震性的测定…… 210
5.13.1　实验目的…… 210
5.13.2　实验原理…… 210
5.13.3　仪器设备…… 211
5.13.4　试样制备…… 211
5.13.5　实验步骤…… 212
5.13.6　结果计算…… 213
5.13.7　实验记录…… 214

思考题…… 214
5.14　抗渣性测定…… 215
5.14.1　实验目的…… 215
5.14.2　实验原理和各种实验方法的特点…… 215
5.14.3　回转法…… 218
思考题…… 220

6　材料光学显微分析方法 …… 221

6.1　晶体模型的观察与分析(一) …… 221
6.1.1　实验目的与任务 …… 221
6.1.2　在晶体模型上确定对称要素的方法 …… 221
6.1.3　实验内容 …… 223
6.1.4　晶体模型分析结果记录 …… 223
思考题…… 224
6.2　晶体模型的观察与分析(二) …… 224
6.2.1　实验目的与任务 …… 224
6.2.2　结晶学知识基础 …… 225
6.2.3　实验内容 …… 226
6.2.4　实验报告要求 …… 226
思考题…… 227
6.3　偏光显微镜的构造、调节和使用…… 227
6.3.1　实验目的与任务 …… 227
6.3.2　偏光显微镜的构造 …… 227
6.3.3　偏光显微镜的使用和调节 …… 229
6.3.4　实验内容 …… 233
思考题…… 233
6.4　单偏光下晶体的光学性质 …… 233
6.4.1　实验目的与任务 …… 233
6.4.2　晶体在单偏光镜下的光性特征 …… 233
6.4.3　实验方法 …… 236

6.4.4　实验内容与步骤 …… 236
6.4.5　实验结果记录 …… 238
思考题 …… 238
6.5　正交偏光下晶体的光学性质 …… 239
6.5.1　实验目的与任务 …… 239
6.5.2　正交偏光下晶体的光性特征 …… 240
6.5.3　实验方法 …… 242
6.5.4　实验内容与步骤 …… 242
思考题 …… 247
6.6　锥光下晶体的光学性质 …… 247
6.6.1　实验目的与任务 …… 247
6.6.2　锥光下干涉图特征 …… 247
6.6.3　实验方法 …… 251
6.6.4　实验内容与步骤 …… 252
思考题 …… 253
6.7　材料显微结构评价 …… 254
6.7.1　实验目的与任务 …… 254
6.7.2　实验方法 …… 254
6.7.3　实验内容与步骤 …… 254
6.7.4　实验报告要求 …… 258
思考题 …… 258

7　材料近代分析测试方法 …… 259

7.1　X射线衍射分析 …… 259
7.1.1　实验目的与任务 …… 259
7.1.2　物相的定性分析 …… 259
7.1.3　晶体结构参数的测定 …… 261
7.1.4　实验内容与步骤 …… 263
思考题 …… 263
7.2　扫描电子显微镜 …… 264

7.2.1 实验目的与任务 …… 264
7.2.2 SEM 的工作原理、结构 …… 264
7.2.3 图像解释 …… 266
7.2.4 实验内容与步骤 …… 268
7.2.5 实验报告要求 …… 269
思考题 …… 269
7.3 透射电子显微镜 …… 269
7.3.1 实验目的与任务 …… 269
7.3.2 TEM 的工作原理、结构 …… 269
7.3.3 明、暗场成像与选区电子衍射 …… 270
7.3.4 实验内容与步骤 …… 271
7.3.5 实验报告要求 …… 273
思考题 …… 273
7.4 热分析 …… 273
7.4.1 实验目的与任务 …… 273
7.4.2 热分析方法 …… 274
7.4.3 实验仪器设备 …… 279
7.4.4 试样制备 …… 280
7.4.5 实验内容与步骤 …… 280
7.4.6 实验报告要求 …… 281
思考题 …… 281

8 综合、设计性实验 …… 282

8.1 高铝质浇注料的制备 …… 282
8.1.1 实验目的 …… 282
8.1.2 实验内容 …… 282
8.1.3 实验原理 …… 282
8.1.4 实验设备与原料 …… 282
8.1.5 实验步骤 …… 283
8.1.6 实验报告 …… 284

思考题…… 284
8.2　莫来石质高温材料的合成 …… 284
8.2.1　实验目的 …… 284
8.2.2　实验内容 …… 284
8.2.3　实验原理 …… 284
8.2.4　实验设备 …… 286
8.2.5　实验步骤 …… 287
8.2.6　实验报告 …… 287
思考题…… 288
8.3　高温材料烧结性实验 …… 288
8.3.1　实验目的与任务 …… 288
8.3.2　实验仪器与原料 …… 288
8.3.3　实验内容与步骤 …… 288
8.3.4　实验报告 …… 290
思考题…… 290
8.4　二级颗粒最佳级配实验 …… 291
8.4.1　实验目的与任务 …… 291
8.4.2　粗颗粒体积密度的测定 …… 292
思考题…… 294
8.4.3　粗颗粒堆积密度的测定 …… 294
8.4.4　计算粗颗粒的空隙度 …… 296
8.4.5　二级颗粒最佳级配实验 …… 296
8.5　综合性实验提纲 …… 299
8.5.1　目的 …… 299
8.5.2　建议的综合性实验项目 …… 300
8.5.3　实验的方法及程序 …… 301
8.5.4　实验时间安排 …… 301
8.5.5　考核 …… 301

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com