



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

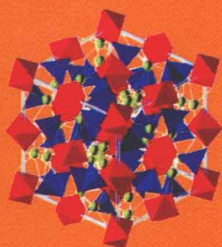
# *Thermal Equipment in Ceramics*

# 无机非金属材料热工设备

(第3版)



主编 姜洪舟



[www.techbook.com.cn/rgsb/](http://www.techbook.com.cn/rgsb/)



武汉理工大学出版社

WUTP Wuhan University of Technology Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

*Thermal Equipment in Ceramics*  
无机非金属材料热工设备

(第3版)

主 编 姜洪舟  
副主编 黄迪宇 田道全 李福洲  
何 峰 阎法强 文 进

审 订 岳振星等 26 位专家教授

Wuhan University of Technology Press  
武汉理工大学出版社

## 【内容简介】

本教材是高等学校材料科学与工程学科无机非金属材料专业方向的相关课程教材,教育部《普通高等教育“十一五”国家级规划教材》。编写本教材的宗旨是将本领域内有关热工设备方面“崭新而丰富的内容,先进而实用的技术”奉献给读者,强调:科学性、先进性、广泛性和实用性。

本教材用“深入浅出的语言、简明扼要的方式、直观易懂的插图、崭新实用的技术”来论述无机非金属材料(以水泥、玻璃、陶瓷、结构性建筑材料、耐火材料、高科技功能材料为主线,辅助其他一些专用的无机材料)领域内有关热工设备的结构、原理、技术、设计、操作等方面的基础知识。

在本教材编写过程中,特别强调有关热工设备的基本流程、基本结构、基本原理以及新技术的论述。且其重点放在目前应用广泛的、新型高效的、有发展前途的无机非金属材料热工设备与技术,而对于一些传统的、过时的、被淘汰的热工设备则不再收入到本教材中或只作为辅助内容简介。为了扩展读者的视野和知识面,本教材还增设了其他辅助内容。辅助内容专门用楷体字排版,以示区别。

本教材也非常注重学习的时效性与动态学习效果,为此在每一章最后都列出了相关的 Internet 网站,以便读者能随时跟踪相关领域国内、外最新的技术动态和发展趋势。如果不特别指明,本教材中的物理量均采用 SI 制下的单位与量纲。

本教材作为高等学校材料科学与工程学科无机非金属材料专业方向本科生的教学用书,但也推荐作为相关科技人员的参考用书,以及作为研究生教育的教学用书(在无机非金属材料领域:整体概况,请阅读第 1 章;工程研发与实践,请阅读第 2~4 章、第 5.4 节、第 6、7 章;试验、实验与新能源,请阅读第 5.1~5.3 节;自控知识,请阅读第 8 章)。

欢迎登录本教材网址:[www.techbook.com.cn/rgsb](http://www.techbook.com.cn/rgsb)

### 图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料热工设备/姜洪舟主编. —3 版. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.5  
ISBN 978-7-5629-3716-6

I. ① 无… II. ① 姜… III. ① 无机材料-非金属材料-工业炉窑-高等学校-教材  
IV. ① TB321 ② TG306

中国版本图书馆 CIP 数据 2012 第(078044)号

项目负责人:田道全                      责任编辑:田道全  
责任校对:万三宝                      装帧设计:陶冶  
出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮政编码:430070)  
<http://www.techbook.com.cn>      E-mail:tiandaoquan@126.com  
印        刷:武汉兴和彩色印务有限公司  
开        本:787×1092 1/16  
印        张:36.75  
插        页:8  
字        数:941 千字  
版        次:2012 年 5 月第 3 版  
印        次:2012 年 7 月第 1 次印刷 总第 7 次印刷  
印        数:12501—15500 册  
定        价:52.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

# 普通高等学校材料科学与工程类专业 新编系列教材编审委员会

顾问：郭景坤 袁润章 范令惠 杨南如  
胡道和 王民权 岳文海 曹文聪

主任委员：张联盟

副主任委员：徐德龙 郑治祥

委员：(以姓氏笔画为序)

万发荣	马保国	王国梅	王培铭	文梓芸
叶卫平	叶枝荣	叶菁	田道全	曲祖源
刘亚云	刘军	孙成林	吴建青	吴建锋
陈文	宋晓岚	林宗寿	杨长辉	姜洪舟
钱觉时	钱春香	高建明	徐秋林	陶珍东
黄佳木	黄学辉	蒋阳	程晓敏	程新
谢峻林	曾令可	葛勇	潘伟	薛理辉

秘书长：田道全

总责任编辑：徐秋林

## 出版说明

材料是社会文明和科技进步的物质基础和先导,材料科学与能源科学、信息科学一并被列为现代科学技术的三大支柱,其发展水平已成为一个国家综合国力的主要标志之一。教育部颁布重新修订的《普通高等学校本科专业目录》后,为适应 21 世纪人才培养需要,及时组织并实施了面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划、世界银行贷款 21 世纪初高等理工科教育教学改革项目,部分高等学校承担了其中材料科学与工程专业教学改革项目的研究与实践。已经拓宽了专业面的材料科学与工程专业,相应的业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的材料科学与工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。武汉理工大学出版社在教育部高等学校材料科学与工程专业教学指导委员会的指导和帮助下,经过大量的调研,组织国内几十所大学材料科学与工程学科的知名教授组成“普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材编审委员会”,共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问,遵照教育部材料科学与工程专业教学指导委员会的有关会议及文件精神,经过充分研讨,决定首批编写出版 14 种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。本套新编系列教材的编写具有以下特色:

**教材体系体现人才培养目标**——本套系列教材的编写体现了高等学校材料科学与工程专业的培养目标和教学要求,从整体上考虑材料科学与工程专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合后合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列化教材。本套教材的编写除正文以外,还增加了本章内容提要、本章小结、思考题与习题等内容,以使教材既适合于教学需要,又便于学生自学。

**教材内容反映教改成果**——本套系列教材的编写坚持“少而精”的原则,紧跟教学内容和课程体系改革的步伐,教材内容注重更新,反映教学改革的阶段性成果,以适应 21 世纪材料科学与工程专业人才的培养要求。本套系列教材的编写中,凡涉及材料科学与工程学科的技术规范与标准,全部采用国家最新颁布实施的技术规范和标准。

**教材出版实现立体化**——本套教材努力使用和推广现代化的教学手段,实现立体化出版,凡具备条件的课程都将根据教学需要,及时组织编写、制作和出版相应的电子课件或教案,以适应教育方式的变革。

本套教材是在教育部颁布实施重新修订的本科专业目录后,组织全国多所高等学校材料科学与工程学科的具有丰富教学经验的教授们共同编写的一套面向新世纪、适应新专业的全新的系列教材。能够为新世纪我国材料科学与工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为一套开创性的系列教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提宝贵的意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为我国高等教育事业的发展作出贡献。

武汉理工大学出版社

# 《无机非金属材料热工设备》 编写人员名单

(总体上按照水泥、玻璃、陶瓷、新材料、其他材料的顺序排列)

**主 编：** 姜洪舟<sup>1a</sup>  
**副主编：** 黄迪宇<sup>2</sup> 田道全<sup>1b</sup> 李福洲<sup>1c</sup>  
何 峰<sup>1a</sup> 阎法强<sup>3</sup> 文 进<sup>1a</sup>

1—武汉理工大学(a 材料学院无机非金属材料系、b 出版社、c 硅酸盐材料工程教育部重点实验室)

2—上海睿信玻璃技术装备工程有限公司

3—中材高新材料股份有限公司

## 参编：

武汉理工大学

材料学院无机非金属材料系：裴新美 朱 明 陈袁魁

李应开 王 浩 李洪斌

材料学院无机非金属材料实验中心：李娟娟 刘玉兰 韩春华

硅酸盐材料工程教育部重点实验室：韩建军 王征平

硅酸盐材料工程教育部重点实验室燃烧器研究所：周立秋 陈学军 王怀德

材料研究与测试中心：赵青南

自动化学院：刘教喻

信息工程学院：王 琳

合肥水泥研究设计院：姚 强 张自立

武汉长利玻璃有限责任公司：刘怀艺

洛阳浮法玻璃集团公司技术中心：张宪岭 王晓红

中材高新材料股份有限公司：付伟峰

特邀武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室与材料学院的教授、专家：

周 建 唐新峰 沈 强 木士春

王玉成 程晓敏 麦立强 朱泉晓

# 《无机非金属材料热工设备》 审稿专家名单

(各章节的审稿专家按姓氏笔画为序)

第1章:岳振星(教授、博士,清华大学材料系)

林发森(教授,武汉理工大学能源与动力工程学院)

晋占平(高级工程师、秘书长,中国硅酸盐学会)

第2章:朱光喜(高级工程师、工艺设计研究所所长,南京凯盛水泥工业设计研究院)

俞为民[教授级高级工程师、总工程师,中材国际工程股份(天津)公司]

陶从喜(教授级高级工程师、博士、热工研究所所长,天津水泥工业设计研究院有限公司)

蔡玉良[教授级高级工程师、设计大师、技术中心主任,中材国际工程股份有限公司(南京)]

第3章:李兆群(高级工程师,秦皇岛耀华玻璃股份有限公司)

吴雪良(高级工程师、工艺室主任,中国建材国际工程集团有限公司)

靳占强(高级工程师、总经理,秦皇岛嘉隆高科实业有限公司)

第4章:许文华(高级工程师,咸阳陶瓷研究设计院)

陈达谦(教授级高级工程师、总工程师,山东工业陶瓷设计研究院)

张伟儒(教授级高级工程师、总经理、博士,北京中材人工晶体有限公司)

第5章:第5.1~5.3节:杨中民(博士、测试中心主任、教授,华南理工大学材料学院)

杨继芳(高级工程师,咸阳陶瓷研究设计院)

第5.4节:季尚行[教授级高级工程师、总工程师,中材国际工程股份有限公司(南京)]

聂纪强(主编、技术信息中心主任,《新世纪水泥导报》总编室与成都  
建材工业设计研究院有限公司)

鲁应春(教授级高级工程师、总设计师,合肥水泥研究设计院)

第6章:孙铁石(高级工程师、副会长、秘书长,中国建筑材料联合会)

向才旺(教授、副总经理,华中科技大学产业集团)

李波(教授级高级工程师、天津港湾工程研究院有限公司技术部)

第7章:孔祥忠(教授级高级工程师、副会长、秘书长,中国水泥协会)

陈涛(教授级高级工程师、副院长,成都建材工业设计研究院有限公司)

冯明良(教授级高级工程师、院长助理,秦皇岛玻璃工业研究设计院)

施存有(教授级高级工程师、副院长,中国新型建筑材料工业杭州设计研究院)

陈达谦(教授级高级工程师、总工程师,山东工业陶瓷设计研究院)

张伟儒(教授级高级工程师、总经理、博士,北京中材人工晶体有限公司)

第8章:陈士修(教授,武汉大学电气自动化学院)

## 前 言

本教材(第3版)的编写是在教育部材料科学与工程专业教学指导委员会无机非金属材料工程分委员会和武汉理工大学有关领导的亲切关怀和大力支持下,在很多有识之士的热情关心下完成的,并且得到了相关单位的大力支持,所以,它的编写凝聚了许多人的心血。

本教材的具体编写分工如下:前言由姜洪舟、田道全撰写;第1章由李应开、姜洪舟、田道全编写;第2章中第2.1节由姚强、姜洪舟编写,第2.2节由李福洲、姜洪舟、王怀德、刘玉兰编写,第2.3~2.5节由姜洪舟、李应开编写,第2.6节由周立秋、张自立、姜洪舟编写,第2.7节由姜洪舟、陈学军编写,第2.8节由姜洪舟、韩春华编写,第2.9~第2.10节由姜洪舟编写;第3章中第3.1~3.2节由黄迪宇、刘怀艺、王晓红、姜洪舟编写,第3.3~3.5节由何峰、刘怀艺、李娟娟、姜洪舟编写,第3.6~3.8.1节由刘怀艺、张宪岭、何峰编写,第3.8.2节由赵青南编写,第3.9~3.11节由李娟娟、姜洪舟、何峰编写;第4章中第4.1节由裴新美、何峰编写,第4.2~4.4节由阎法强、裴新美、姜洪舟编写,第4.5~4.7节由田道全、姜洪舟、裴新美编写;第5章中第5.1节由文进、付伟峰、田道全编写,第5.2节由周健、王玉成、王琳、姜洪舟编写,第5.3节由韩建军、唐新峰、麦立强、木士春、程晓敏、沈强、朱泉峒几位特邀专家以及姜洪舟编写,第5.4节由李娟娟、姜洪舟编写;第六章中第6.1节由陈袁魁编写,第6.2~6.5节由王征平、姜洪舟编写,第6.6节由朱明编写,第6.7~6.9节由李洪斌、姜洪舟编写,第6.10节由王浩、姜洪舟编写;第7章中第7.1节由李福洲、张自立、姚强编写,第7.2节由黄迪宇、何峰、姜洪舟编写,第7.3节由田道全、文进编写;第8章由刘教喻编写。全书由姜洪舟担任主编,并对全书内容进行了统稿、编排和整理。

本教材按20~40学时编写,各章的建议授课时数为:第1章,1~2学时;第2章,5~10学时;第3章,5~10学时;第4章,4~6学时;第5章,2~6学时;第6章,1~2学时;第7章,1~2学时;第8章,1~2学时。

在本教材再版与更新完成之际,本教材的主编要特别感谢武汉理工大学张联盟等校领导,杨学忠等出版社领导,谢峻林等材料学院领导及吴少鹏等无机非金属材料系领导给予的支持和帮助。也感谢原武汉工业大学刘玉明、钱芝宇、沈大荣、刘顺妮、张荣国等领导对本教材出版曾给予的支持,还感谢热工专家曲祖源、李利;水泥专家郭俊才、龙世宗;玻璃专家程金树;陶瓷专家吴建锋;磨料专家武七德;自控专家黄晓华给予的指点。当然,也时刻牢记知名材料科学家袁润章教授和长江学者傅正义教授的谆谆教诲,以及长江学者、中国科学院院士南策文教授和楚天学者洪汉烈教授的真诚关怀。那些曾经给予帮助的人,永远不会忘记他们的恩德,特表示深深的谢意!本教材的主编也曾得到好友郭德选、贾华平、张浩云、孙宜俭、贾培元、刘桂珍的建议与帮助,这里一并表示谢意。为了便于读者了解和掌握最新的科技成就与实用技术,在编写过程中,我们编者还大量阅读和参考了相关的图书、论文、科研成果、设计资料等,对于这些专家和科技人员所付出的辛勤劳动以及所取得的丰硕成果,在此均表示真诚的谢意与赞赏。

本教材为高等学校材料科学与工程学科无机非金属材料专业方向所用的教科书。本教材奉献给读者的是:本领域内热工设备及技术方面“崭新而丰富的内容,先进而实用的技术”。

作为一部面向新世纪的《普通高等教育“十一五”国家级规划教材》,本教材注重材料专业本科教学改革所遵循的“面向一级学科,立足二级学科”这一基本思想:面向一级学科就是在本教材编写过程中注意与其他二级学科的联系、交叉与知识共享(尤其在材料制备新技术与新型能源材料方面注重与金属材料、有机材料、复合材料的融合与借鉴);立足二级学科就是本教材



的内容仍以无机非金属材料(水泥、玻璃、陶瓷、结构性建筑材料、耐火材料、高科技功能材料为主线,辅助一些专用的无机材料)领域内的热工设备与技术为核心与主体。

作为一部主供本科教学用教材,我们全体编者十分注重现代教育思想体系所坚持的宗旨:追踪学科发展、强化学科交叉、课内外相结合、加强素质教育。在追踪学科发展方面,本教材在各章的最后列出了与该章内容相关的网站与参考文献(按照中外文、图书论文、作者姓氏拼音字母的顺序排列),这就使得读者在掌握基本原理与技术的基础上,能够动态地跟踪有关领域内的发展动向;在强化学科交叉方面,本教材首先强调的是无机非金属材料热工设备的内涵与共性,然后对其外延鼓励(在必要的地方也提示)读者寻找其联系点与相互交叉点;在课内外相结合方面,本教材本身就是学校内基础知识教育与社会需求的设备技术优化之间的一座桥梁,也是学生了解社会需求与技术进步的窗口;在加强素质教育方面,热工设备自身就是社会生产过程的产物,对其讲解实际上就是加强实践学习与强化素质教育。

作为高等学校材料科学与工程学科新编系列教材之一,本教材也遵循材料专业改革的正确方向:面向世界、面向前沿、面向行业,并将这三条作为本教材编写的一个宗旨。面向世界是指:本教材将国际上近期公开发表或发布的相关新技术、新设备、新思想融入其中;面向前沿是指:本教材将目前先进的材料热制备技术作为专门的章节包含在其内;面向行业是指:本教材的核心内容仍以水泥工业、玻璃工业、陶瓷工业为主,着重传授行业内所需的有关热工设备、热工技术、设备设计与操作等方面的知识。

作为高等学校材料科学与工程学科无机非金属材料专业方向一个完备教学体系中的重要一环,本教材的编者也注意与本专业其他课程教材的衔接。在具体编写过程中尽可能减少有关交叉点,也尽可能避免有关空白点。而且,其编写还注意以下三个方面:一是**历史性与发展性**:历史性是指首先将有关领域内主流热工设备的来龙去脉讲清楚;发展性是指根据人们对主流热工设备认知水平的阶梯式发展与当时社会需求的协调关系,有层次地讲解相关的热工设备。二是**先进性与广泛性**:先进性是指将最新公开发表和正式公布的新设备、新技术有机地整合在本教材中;广泛性是指将无机非金属材料领域内尽可能多的热工设备与技术包含在本教材中。三是**统一性与权威性**:统一性是指各章(尤其是第2~4章)按照统一的模式和风格进行编写,从而增加本教材的逻辑性与协调性;为了提高本教材的权威性,不仅组织无机非金属材料领域内熟悉有关业务的技术人员、专家进行编写,还邀请各章节相关领域内优秀的专家代表独立评阅,并根据反馈建议认真修改、精益求精,从而提高其科学性、严谨性与可读性。

总之,本教材考虑到了社会需求与学生就业方向、考虑到了与实践相结合的素质教育、考虑到了先进的材料制备技术、考虑到了所授内容的科学布局。因此,我们真诚地希望:第一,本教材成为一个**宣传员**,向读者宣传:节能环保的理念、科学实用的原理、结构合理的设备、增产降耗的技术、开拓创新的设计、均衡稳定的操作;第二,本教材成为一个**播种机**:通过本教材将人类可持续发展的愿望、科学革新的思想、优质稳定与节能环保的生产方式、合理优化的设备结构、为材料发展而贡献的态度植根于受教育者的脑海之中。希望这些理念能够作为种子,经过他们的学习与思考后孕育发展。这样,在需要他们发挥才能时可以生根、发芽、开花、结果,这是我们的愿望,也是编写本教材的真谛所在;第三,本教材成为一块**路标石**:使受教育者沿着正确、科学的轨道,快速而不彷徨、振奋而不颓废地向着美好的未来攀登。

最后需要指出的是:尽管我们的编者都是长期在无机非金属材料领域内从事科技工作的人员,但因编写经验不足,虽加倍努力,但个别错误在所难免。因此,衷心地欢迎更多读者的意见。对于进一步提高本教材质量所馈赠的中肯建议,也特表谢意!

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	(1)
1.1 无机非金属材料热工设备的内涵与共性 .....	(3)
1.1.1 工艺过程的特点 .....	(3)
1.1.2 热工过程的特点 .....	(4)
1.1.3 热平衡计算的概念 .....	(6)
1.1.4 筑炉材料、砌筑窑炉和烘烤窑炉的简介 .....	(7)
1.1.5 燃烧设备的简介 .....	(8)
1.1.6 热工设备自动控制的必要性 .....	(10)
1.2 无机非金属材料热工设备的外延及总体概况 .....	(10)
本章小结 .....	(14)
本章相关的网站 .....	(14)
参考文献 .....	(14)
<b>2 新型干法水泥回转窑系统</b> .....	(15)
2.1 系统概述 .....	(15)
2.1.1 系统简介 .....	(15)
2.1.2 新型干法水泥回转窑系统的几个重要性能指标 .....	(17)
2.2 悬浮预热器 .....	(22)
2.2.1 旋风预热器的工作原理 .....	(22)
2.2.2 影响旋风预热器换热效率的因素 .....	(25)
2.2.3 旋风预热器的结构参数和技术参数 .....	(28)
2.2.4 各级旋风预热器性能的配合 .....	(34)
2.2.5 旋风预热器串联级数的选择 .....	(35)
2.2.6 旋风预热器(SP)的分类、特点以及几种典型的旋风预热器 .....	(37)
2.3 分解炉 .....	(45)
2.3.1 窑外分解技术的产生 .....	(45)
2.3.2 预分解窑流程的分类 .....	(46)
2.3.3 分解炉的分类 .....	(47)
2.3.4 几种典型分解炉的结构特征简介 .....	(51)
2.4 回转窑 .....	(81)
2.4.1 回转窑的结构与功能 .....	(81)
2.4.2 回转窑的几个技术控制参数 .....	(85)
2.5 水泥熟料冷却机 .....	(87)

2.5.1	概述	(87)
2.5.2	冷却机的分类与简介	(89)
2.5.3	一些常用冷却机的简介	(89)
2.5.4	篦冷机与回转窑之间的中心线错位问题	(115)
2.5.5	国外其他类型熟料冷却机的简介	(116)
2.6	固体燃料煤的燃烧设备	(117)
2.6.1	煤粉燃烧技术	(117)
2.6.2	流化床燃烧技术	(137)
2.7	预分解窑系统的工艺设计计算方法简介	(138)
2.7.1	旋风预热器的设计计算	(138)
2.7.2	分解炉的设计计算	(138)
2.7.3	回转窑的设计计算	(145)
2.7.4	熟料冷却机的选型	(148)
2.7.5	预分解窑系统一些附属设备的选型	(149)
2.8	新型干法水泥回转窑系统的均衡稳定操作与防止一些异常操作现象	(149)
2.8.1	均衡稳定操作	(149)
2.8.2	防止一些典型的异常操作现象	(154)
附:2.9	水泥窑系统用耐火材料的简介	(159)
2.9.1	水泥回转窑系统用的耐火材料	(160)
2.9.2	水泥立窑用的耐火材料	(162)
附:2.10	水泥立窑的简介	(163)
2.10.1	立窑的分类	(163)
2.10.2	立窑水泥熟料煅烧系统的流程和立窑结构	(163)
2.10.3	立窑的工作原理	(167)
	本章小结	(169)
	思考题	(169)
	习题	(171)
	本章相关的网站	(171)
	参考文献	(172)
3	玻璃池窑及有关的热工设备	(179)
3.1	浮法玻璃池窑和锡槽	(184)
3.1.1	玻璃熔制部分	(184)
3.1.2	热源供给部分	(201)
3.1.3	余热回收部分	(202)
3.1.4	排烟供气部分	(206)
3.1.5	锡槽(浮法玻璃池窑的成型部)	(209)
3.2	浮法玻璃池窑和锡槽的设计简介	(217)
3.2.1	玻璃熔制部分的设计	(217)

3.2.2	热源供给部分的设计 .....	(228)
3.2.3	余热回收设备——蓄热室的设计 .....	(231)
3.2.4	排烟供气系统的设计 .....	(234)
3.2.5	锡槽的设计 .....	(236)
3.3	马蹄焰玻璃池窑 .....	(242)
3.3.1	玻璃熔制部分 .....	(243)
3.3.2	热源供给部分 .....	(248)
3.3.3	余热回收部分 .....	(249)
3.3.4	排烟供气部分 .....	(249)
3.3.5	成型部 .....	(249)
3.4	马蹄焰池窑的设计简介 .....	(251)
3.4.1	玻璃熔制部分的设计 .....	(251)
3.4.2	热源供给部分的设计 .....	(256)
3.4.3	余热回收部分的设计 .....	(256)
3.4.4	排烟供气部分的设计 .....	(256)
3.4.5	马蹄焰玻璃池窑供料道的设计 .....	(257)
3.5	玻璃池窑的操作原理——作业制度简介 .....	(257)
3.5.1	温度制度 .....	(258)
3.5.2	压力制度 .....	(259)
3.5.3	泡界线制度 .....	(261)
3.5.4	液面制度 .....	(261)
3.5.5	气氛制度 .....	(262)
3.6	退火窑 .....	(263)
3.6.1	玻璃制品的退火原理、退火标准和退火温度 .....	(263)
3.6.2	浮法平板玻璃的退火 .....	(271)
3.6.3	日用玻璃的退火 .....	(280)
3.6.4	网带式退火窑的设计概要 .....	(287)
3.6.5	热加工玻璃的退火窑 .....	(288)
3.7	玻璃钢化窑 .....	(289)
3.7.1	玻璃钢化 .....	(289)
3.7.2	与钢化玻璃相关的其他类型玻璃深加工产品 .....	(294)
3.8	玻璃制品表面深加工用的热工设备 .....	(295)
3.8.1	玻璃烤花窑 .....	(295)
3.8.2	玻璃的镀膜技术 .....	(297)
3.9	常用的燃油燃烧器以及燃烧器在玻璃池窑上安装位置的选择 .....	(302)
3.9.1	燃油烧嘴 .....	(303)
3.9.2	烧嘴安装位置的选择 .....	(306)
3.9.3	玻璃池窑燃烧系统设计和操作过程中值得注意的几个问题 .....	(309)
3.9.4	液体燃料燃烧常用的一些新技术 .....	(309)

3.10 玻璃池窑及有关热工设备用耐火材料的简介	(315)
3.10.1 玻璃池窑用的耐火材料和保温材料	(316)
3.10.2 玻璃退火窑用的耐火材料	(319)
附:3.11 坩埚窑与全电熔窑的简介	(320)
3.11.1 坩埚窑简介	(320)
3.11.2 电熔窑简介	(323)
本章小结	(330)
思考题	(330)
习题	(331)
本章相关的网站	(332)
参考文献	(333)
<b>4 隧道窑与辊道窑</b>	<b>(337)</b>
4.1 隧道窑	(338)
4.1.1 隧道窑的分带、流程和结构	(339)
4.1.2 隧道窑的附属设备和窑车自动运行系统的操作程序	(352)
4.1.3 隧道窑的设计计算概要	(352)
4.2 辊道窑	(357)
4.2.1 概述	(357)
4.2.2 工作系统	(358)
4.2.3 辊道窑的结构	(358)
4.2.4 辊道窑的快速烧成与节能效果	(366)
4.2.5 辊道窑的设计计算概要	(368)
4.3 隧道窑、辊道窑的操作控制、自动测控系统与安全防护	(370)
4.3.1 各带的温度控制	(371)
4.3.2 烧成带的气氛控制	(372)
4.3.3 各带的压强控制	(373)
4.3.4 隧道窑、辊道窑的自动检测系统与自动安全防护系统	(374)
4.4 常用的气体燃料燃烧设备	(376)
4.4.1 高速调温烧嘴	(376)
4.4.2 脉冲烧嘴的简介	(380)
4.4.3 其他气体燃料烧嘴的简介	(380)
4.5 隧道窑与辊道窑用耐火材料的简介	(381)
4.5.1 隧道窑用耐火材料	(382)
4.5.2 辊道窑用耐火材料	(384)
附:4.6 其他类型隧道窑的简介	(384)
4.6.1 非窑车式隧道窑	(385)
4.6.2 多通道隧道窑	(386)
4.6.3 隔焰式隧道窑(马弗式隧道窑)及半隔焰式隧道窑(半马弗式隧道窑)	(387)

附：4.7 熔块窑、色料煨烧窑与烤花窑的简介 .....	(387)
4.7.1 熔块炉 .....	(388)
4.7.2 色料煨烧窑 .....	(390)
4.7.3 烤花窑 .....	(390)
本章小结 .....	(391)
思考题 .....	(391)
习题 .....	(392)
本章相关的网站 .....	(392)
参考文献 .....	(393)
<b>5 高科技的热工设备与技术 .....</b>	<b>(395)</b>
5.1 梭式窑 .....	(395)
5.1.1 梭式窑的结构 .....	(396)
5.1.2 几种典型现代梭式窑的简介 .....	(399)
5.2 电热窑炉与一些高科技的材料热制备技术 .....	(401)
5.2.1 电热窑炉与高科技材料热制备技术的类型 .....	(402)
5.2.2 电阻炉与电极(电阻)炉 .....	(402)
5.2.3 电磁感应炉 .....	(414)
5.2.4 电弧炉、弧像炉与其他加热成像炉 .....	(415)
5.2.5 等离子体炉 .....	(418)
5.2.6 电子束炉 .....	(420)
5.2.7 红外加热炉 .....	(422)
5.2.8 太阳能高温炉 .....	(422)
5.2.9 材料的微波加热技术 .....	(423)
5.2.10 材料的激光烧结技术 .....	(428)
5.2.11 材料的热压烧结技术(HP 烧结技术)与材料的热等静压制备 技术(HIP 技术) .....	(429)
5.2.12 材料的反应烧结技术与 SHS 技术 .....	(434)
5.2.13 材料的活化烧结技术与活化热压烧结技术 .....	(438)
5.2.14 材料的直流电场烧结技术 .....	(439)
5.2.15 材料的真空烧结技术与气氛烧结技术 .....	(439)
5.2.16 材料的加压气氛烧结技术 .....	(441)
5.2.17 材料的爆炸制备方法 .....	(441)
5.2.18 材料的其他制备方法简介 .....	(442)
5.3 新型能源材料简介 .....	(448)
5.3.1 新型能源材料的概念与分类 .....	(448)
5.3.2 光-电转换材料 .....	(448)
5.3.3 热-电转换材料 .....	(455)
5.3.4 化学能-电转换材料 .....	(459)

5.3.5	储能材料 .....	(468)
5.3.6	核能材料 .....	(469)
5.3.7	磁流体发电材料 .....	(474)
5.3.8	与能源相关的其他材料 .....	(476)
5.4	余热锅炉 .....	(479)
5.4.1	锅炉的工作原理 .....	(479)
5.4.2	热管技术与热管余热锅炉 .....	(481)
5.4.3	余热锅炉的主要技术参数 .....	(483)
5.4.4	无机非金属材料工业领域利用余热锅炉的实例 .....	(484)
	本章小结 .....	(490)
	思考题 .....	(490)
	习题 .....	(490)
	本章相关的网站 .....	(490)
	参考文献 .....	(492)
<b>6</b>	<b>无机非金属材料行业内的其他专用热工设备 .....</b>	<b>(495)</b>
6.1	石灰窑 .....	(495)
6.2	煅烧石膏的热工设备 .....	(498)
6.3	混凝土轻集料的烧结机 .....	(500)
6.4	烧胀陶粒的焙烧炉 .....	(500)
6.5	膨胀珍珠岩的焙烧炉 .....	(500)
6.6	混凝土制品的热养护设备 .....	(501)
6.6.1	热养护过程 .....	(502)
6.6.2	连续作业的热养护窑 .....	(507)
6.6.3	其他热养护方法的简介 .....	(511)
6.7	制备一些特殊玻璃制品用的热工设备 .....	(515)
6.7.1	制造玻璃纤维用的热工设备 .....	(515)
6.7.2	拉制玻璃管用的热工设备 .....	(518)
6.7.3	拉制玻璃基板用的热工设备 .....	(520)
6.7.4	制造光学玻璃用的热工设备 .....	(521)
6.7.5	制造石英玻璃与高硅氧玻璃用的热工设备 .....	(522)
6.7.6	制造微晶玻璃用的热工设备 .....	(524)
6.7.7	生产玻璃微珠用的热工设备 .....	(525)
6.7.8	生产泡沫玻璃用的热工设备 .....	(525)
6.8	生产搪瓷用的热工设备 .....	(525)
6.9	生产碳素材料用的热工设备 .....	(527)
6.9.1	生产石墨制品用的热工设备 .....	(527)
6.9.2	制备金刚石用的热工设备 .....	(528)
6.9.3	新型类碳素材料——氮化硼及其制备方法 .....	(529)

---

6.10 制造磨料用的热工设备	(529)
6.10.1 生产铸石用的热工设备	(530)
6.10.2 高温制备碳化硅用的热工设备	(531)
6.10.3 硬质合金的烧结方法	(534)
6.10.4 炼制刚玉用的热工设备	(534)
本章小结	(536)
思考题	(536)
习题	(537)
本章相关的网站	(537)
参考文献	(538)
<b>7 无机非金属材料工业主流热工设备的发展动态与展望</b>	<b>(539)</b>
7.1 水泥熟料烧成系统的最新动态及其展望	(539)
7.1.1 环境保护方面	(539)
7.1.2 熟料烧成系统本身	(541)
7.2 玻璃池窑的最新发展动态	(543)
7.2.1 玻璃工业与玻璃池窑的进步	(543)
7.2.2 玻璃池窑的新技术	(544)
7.3 隧道窑和辊道窑的最新发展动态	(553)
本章小结	(554)
思考题	(554)
习题	(556)
本章相关的网站	(556)
参考文献	(557)
<b>8 热工设备的自动控制技术简介</b>	<b>(559)</b>
8.1 概述	(559)
8.2 传统的 DDZ 系列电动单元组合仪表简介	(560)
8.3 窑炉集散型计算机控制系统的简介	(561)
8.4 PC 可编程控制器的简介	(562)
8.5 计算机控制系统的可靠性设计	(564)
8.5.1 故障来源	(564)
8.5.2 元件级及单元的可靠性设计	(564)
8.5.3 系统级的可靠性设计	(565)
本章小结	(566)
思考题	(566)
习题	(566)



# 1 绪 论

## 本章提要

本章是关于本教材全部内容的引导与浓缩,重点是无机非金属材料热工设备的内涵与共性,然后逐渐引导出无机非金属材料的外延以及本教材的总体概况。

“无机非金属材料”这个名称是从传统上的“窑业材料”、“硅酸盐材料<sup>①</sup>”逐渐演变而来的。在历史上,陶瓷是这类材料的早期代表,而传统意义上的硅酸盐材料是因其主导产品中含有硅酸盐矿物而得名。但是,现在这个领域已经大大拓宽,具体来说:现代的无机非金属材料已经从硅酸盐领域扩展到氮化物、碲化物、硫化物、卤化物、硼化物、碳化物、硒化物、氧化物、碲酸盐、矾酸盐、硅酸盐、磷酸盐、铝酸盐、钼酸盐、硼酸盐、钛酸盐、碳酸盐、锑酸盐、钨酸盐、锆酸盐等领域。它与有机(高分子)材料、金属材料并列为三大基础材料。除了这三种基础材料以外,材料的另一个重要分支就是基于这三大基础材料而发展迅速的复合材料。

从微观上来说,无机非金属材料通常是通过离子键、共价键或离子-共价混合键构成。而材料是需要通过人们的制备与加工来成为对人类有用的物质。在无机非金属材料制备过程中,由于上述三种化合键具有很高的键能、键强,于是破坏原有化合键而整合成新的化合键就需要很大的能量,这里所需的能量往往是由热量与较高的温度位(即高温)来供给与保障。所以,无机非金属材料的特点之一就是:绝大多数无机非金属材料产品的制备与生产过程都要经过高温阶段(即需要热制备过程)。基于这一点,我国最早将这类材料称为:窑业材料,后称为:陶业材料或陶瓷材料,其后因其主要产品中含有硅酸盐矿物而将其称为:硅酸盐材料,再以后,随着其领域的拓宽,人们才将这一大类材料称之为:无机非金属材料。从“窑业材料”到“硅酸盐材料”,再到“无机非金属材料”,是我国科技工作者对于此类材料认识的几次飞跃。但欧、美等国家习惯上仍沿用广义陶瓷(Ceramics,其定义参见第4章)的概念来表示我们所谓的无机非金属材料,它属于无机材料(Inorganic Material)的范畴。在无机材料中,由于金属材料单独为一个材料体系,于是有人干脆将“无机非金属材料”简称为:无机材料。如果将无机非金属材料领域比拟为一棵枝繁叶茂大树的话,那么热工设备就是主树干,它连接着发达的根系与丰硕的树枝。图 1.1 表示的就是该领域的基础知识与热工设备及主要产品之间的相互关系。

既然绝大多数无机非金属材料的制备与生产需要高温,而产生高温的根源是热量,因此高等学校材料科学与工程学科无机非金属材料工程专业方向的本科教学就需要设置与“热工”相关的课程。产生热量、利用热量的设备叫做:热工设备,热工设备的主要代表就是:窑炉(Kiln and Furnace)。因此,本教材的内容就是围绕着无机非金属材料领域内所使用的窑炉与其他相关的热工设备。

<sup>①</sup> 中国最早将元素 Silicon 译作:矽,所以这类材料早期曾叫做:矽酸盐材料。后来元素 Silicon 改译为:硅,这类材料就随之改称为:硅酸盐材料。而我国台湾地区,关于元素 Silicon 一直沿用“矽”的称呼。