

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

XINXING CAILIAO KEXUE YU JISHU

WUJI CAILIAO JUAN

新型材料 科学与技术

无机材料卷 (上册)

主 编 王迎军

副主编 文梓芸 吴清仁
周曦亚



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

XINXING CAILIAO KEXUE YU JISHU

WUJI CAILIAO JUAN

新型材料 科学与技术

无机材料卷（上册）

主 编 王迎军

副主编 文梓芸 吴清仁
周曦亚



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

新型材料科学与技术·无机材料卷/王迎军主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2016. 10
“十二五”国家重点出版物出版规划项目
ISBN 978 - 7 - 5623 - 4134 - 5

I. ①新… II. ①王… III. ①材料力学 ②无机材料 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 237171 号

新型材料科学与技术·无机材料卷

王迎军 主编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

出版策划: 范家巧 潘宜玲

策划编辑: 袁 泽

技术编辑: 杨小丽

责任编辑: 吴兆强 胡 元 袁 泽 吴翠微 张 颖 王建洲

印 刷 者: 广州市岭美彩印有限公司

开 本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 114 字数: 3532 千

版 次: 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 698.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

《新型材料科学与技术》

顾问委员会

主 任：师昌绪

委 员：(以姓氏笔画为序)

干福熹	才鸿年	师昌绪	江东亮	严东生
张立同	张立群	李龙土	李恒德	杜善义
陈肇源	卓仁禧	周 玉	周 廉	南策文
姜中宏	柳百成	胡壮麒	赵连城	钟 掘
钟世镇	唐本忠	唐明述	徐德龙	郭景坤
曹 镛	章明秋	黄白云	傅 强	程榕时
瞿金平				

编审委员会

总 主 编：李元元

副总主编：王迎军 朱 敏 贾德民 童 真

委 员：(以姓氏笔画为序)

文梓芸	王迎军	叶建东	刘正义	朱 敏
吴清仁	李元元	陈维平	周曦亚	罗承萍
赵耀明	贾德民	曾幸荣	童 真	

《无机材料卷》

编辑委员会

主 编：王迎军

副主编：文梓芸 吴清仁 周曦亚

委 员：（以姓氏笔画为序）

王迎军	文梓芸	叶建东	刘粤慧	余其俊	何新华
吴清仁	吴建青	吴善淦	陈晓峰	陈志武	罗宏杰
杨中民	周曦亚	胡 星	赵景泰	赵修建	饶平根
凌志远	傅沛兴	韩仲琦	曾令可	管宗甫	

编写人员：

第一篇：周曦亚 吴建青 张志杰 吕 明 饶平根 王燕民

叶建东 税安泽 赵娜如

第二篇：杨中民 刘粤惠 何 峰 陆 平 陶海征 蒋亚丝

李 宏 刘启明 邓再德 徐善辉 戴世勋 陈东丹

第三篇：文梓芸 余其俊 韦江雄 傅沛兴 尹 茂 吴笑梅

韩仲琦 宋少文 刘娟红

第四篇：吴清仁 吴善淦 孙创奇

第五篇：凌志远 何新华 陈志武 胡 星

第六篇：王迎军 叶建东 陈晓峰 赵娜如 邓春林 丁焕文

张德贵 吴 刚 宁成云 任 力 郑华德 魏 坤

第七篇：王继扬 赵景泰 陈昊鸿 冯锡淇 张志军 胡关钦

第八篇：曾令可 王 慧 程小苏 刘平安 刘艳春 李 萍

任雪潭 金雪莉 吕海涛 高富强

总 序

材料是人类文明的基石和进步的标志，是发展高新技术的物质基础和先导。随着现代科学技术的迅猛发展，各种新材料不断涌现。这一方面得益于材料科学理论的不断突破，另一方面是工业需求的推动。应该指出的是，新的先进材料制备与加工技术的发展，对新材料的发展起了极为重要的作用。改革开放以来，我国材料工作者在国家的大力支持下，瞄准国际科学前沿，学习国际先进技术，积极开展自主创新，努力解决国家建设急需，极大地提高了我国材料科学与技术的水平，研发了大量的重要的新材料与材料制备加工新技术，为国家经济建设做出了重要贡献。

华南理工大学（原华南工学院）是教育部直属的国家“985工程”和“211工程”建设的重点大学。该校的材料科学与工程学科是一级学科国家重点学科，拥有500多人组成的从事材料科学与工程领域研究的教学与科研队伍，是国内为数不多的金属、无机非金属、高分子三大材料齐全，且科研水平高的单位。建校以来，特别是改革开放以来，华南理工大学材料学科依托广东这一改革开放的先行区，积极开展“产学研”合作，不仅在材料科学理论方面开展了大量的深入研究，而且还研发了一批新材料和材料制备与成型加工新技术，为推动先进材料工业、制造业和国防军工的发展做出了重要贡献，产生了显著的社会与经济效益。

华南理工大学以李元元教授为总主编，王迎军、朱敏、贾德民和童真等教授为副总主编，组织校内外几十位专家学者编撰《新型材料科学与技术》一书，旨在展示我国20世纪80年代以来，特别是近20年来材料科学与技术的新发展，同时也总结了华南理工大学材料学科在新材料和材料制备与成型加工领域的研究成果。这对于满足我国广大

从事材料等相关领域工作的研究者和工程技术人员了解材料的新发展、促进我国材料科学与技术的进步、推动相关工业领域的技术提升等都具有重要意义。

《新型材料科学与技术》全书分为金属材料卷、无机材料卷、高分子材料卷，复合材料的内容则分别穿插到各分卷中相应的学科里。本书内容丰富，既反映了学科前沿进展，又突出了材料实际应用，深入浅出，有很强的知识性和可读性。对从事材料科学与技术的研究、教学乃至生产与管理的人员都有很好的参考价值。为此，我预祝编著者们辛勤的劳动成果得到读者们的认可和好评。

并作此序。

中国科学院、中国工程院和第三世界科学院院士
国家科技图书文献中心理事长
国家自然科学基金委员会特邀顾问

师昌绪

2012年3月于北京

总 目 录

第一篇 新型陶瓷材料科学与技术

1 概 论	(3)
2 陶瓷基础理论	(4)
2.1 表面与界面	(4)
2.1.1 表面能	(4)
2.1.2 固体表面结构	(6)
2.1.3 表面性质	(10)
2.1.4 晶界	(20)
2.1.5 纳米粉体的制备原理	(29)
2.2 相图在陶瓷制备中的应用	(31)
2.2.1 相律	(31)
2.2.2 单元系统	(35)
2.2.3 二元系统	(38)
2.2.4 三元系统	(42)
2.3 烧结机理	(48)
2.3.1 烧结基本问题	(49)
2.3.2 固相烧结	(51)
2.3.3 液相烧结	(62)
2.3.4 粘性流动烧结	(67)
2.3.5 低温快速烧结	(71)
2.3.6 纳米陶瓷的烧结问题	(72)
参考文献	(73)
3 普通陶瓷	(74)
3.1 新型成型方法	(74)
3.1.1 压制成型	(74)
3.1.2 注浆成型	(76)
3.1.3 可塑成型	(78)

3.2 新型干燥与烧成方法	(78)
3.2.1 新型干燥方法	(78)
3.2.2 新型烧成方法	(82)
3.3 新型陶瓷表面处理方法	(84)
3.3.1 离子注入技术	(85)
3.3.2 脉冲等离子技术	(85)
3.3.3 镀膜	(85)
3.3.4 表面修饰	(87)
3.4 多功能普通陶瓷	(88)
3.4.1 抗菌与自洁陶瓷	(88)
3.4.2 防静电陶瓷	(89)
3.4.3 保温隔热陶瓷	(89)
3.4.4 导电及红外陶瓷	(90)
参考文献	(91)
4 特种陶瓷	(92)
4.1 纳米粉体制备技术	(92)
4.1.1 陶瓷纳米粉体制备技术	(92)
4.1.2 由液相制备的方法	(96)
4.1.3 由固相制备的方法	(103)
4.1.4 制备纳米颗粒的分散技术	(106)
4.2 原位凝固、注塑、流延等新型成型方法	(107)
4.2.1 原位凝固胶态成型工艺	(108)
4.2.2 注射成型	(113)
4.2.3 流延成型法	(116)
4.3 新型烧成方法	(120)
4.3.1 气氛加压烧结(GPS)	(121)
4.3.2 热等静压烧结(HIP)	(121)
4.3.3 微波烧结(microwave sintering)	(122)
4.3.4 放电等离子烧结(SPS)	(123)
4.3.5 自蔓延高温合成(SHS)	(124)
4.4 新型陶瓷材料	(124)
4.4.1 氧化物陶瓷	(124)
4.4.2 氮化物陶瓷	(148)
4.4.3 碳化物陶瓷	(168)
4.4.4 硼化物陶瓷	(178)
参考文献	(182)
5 陶瓷基复合材料	(187)
5.1 纳米颗粒强韧化陶瓷复合材料	(187)

5.2 金属陶瓷	(189)
5.2.1 概述	(189)
5.2.2 金属陶瓷材料的制造方法	(191)
5.2.3 氧化物基金属陶瓷	(192)
5.2.4 碳化物基金属陶瓷	(195)
5.2.5 碳化钛(TiC)基金属陶瓷	(196)
5.2.6 碳化铬基金属陶瓷	(203)
5.3 陶瓷基层状复合材料	(203)
5.3.1 陶瓷制品的仿生结构构思	(203)
5.3.2 材料体系和制备技术	(204)
5.3.3 陶瓷基层状复合材料的结构和性能	(205)
5.3.4 陶瓷基层状复合材料的强韧化机制	(208)
5.4 梯度复合技术	(210)
5.4.1 梯度功能材料概念的提出	(210)
5.4.2 梯度功能材料的设计	(210)
5.4.3 梯度复合技术	(212)
5.4.4 梯度复合技术的应用	(215)
5.5 金属直接氧化技术	(216)
5.5.1 金属直接氧化技术的由来	(216)
5.5.2 铝合金熔体直接氧化生长机理	(216)
5.5.3 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 复合材料的微观结构和性能	(217)
5.5.4 增强 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 复合材料的微观结构和性能	(218)
5.5.5 Lanxide 复合材料和 Lanxide 工艺的特征	(218)
5.6 原位复合技术	(219)
5.6.1 原位复合的基本概念	(219)
5.6.2 金属基复合材料原位复合技术	(219)
5.6.3 陶瓷基复合材料原位复合技术	(221)
5.6.4 SHS 粉末技术	(221)
5.7 颗粒弥散增韧	(221)
5.7.1 颗粒弥散增韧补强机理	(221)
5.7.2 陶瓷颗粒弥散强韧化复合材料	(227)
5.8 纤维、晶须增韧	(229)
5.8.1 纤维增韧补强机理	(229)
5.8.2 长纤维增韧补强复合材料	(231)
5.8.3 短纤维增韧陶瓷基复合材料	(235)
参考文献	(235)

第二篇 新型玻璃材料科学与技术

6 概 述	(239)
6.1 玻璃的定义及应用	(239)
6.1.1 玻璃的定义	(239)
6.1.2 玻璃的类型及应用	(239)
6.2 玻璃材料发展简史	(240)
6.2.1 国外玻璃材料发展简史	(240)
6.2.2 我国玻璃材料发展简史	(241)
6.3 玻璃材料的发展展望	(241)
参考文献	(241)
7 玻璃材料科学理论	(243)
7.1 玻璃的形成理论	(243)
7.1.1 玻璃的形成	(243)
7.1.2 玻璃的分相	(245)
7.1.3 玻璃的析晶	(249)
7.2 玻璃的结构与性质	(252)
7.2.1 玻璃的结构	(252)
7.2.2 玻璃的性质	(255)
参考文献	(272)
8 新型玻璃材料与制备技术	(274)
8.1 建筑玻璃	(274)
8.1.1 浮法玻璃	(274)
8.1.2 钢化玻璃	(285)
8.1.3 夹层玻璃	(293)
8.1.4 中空玻璃	(298)
8.1.5 防火玻璃	(304)
8.1.6 防弹玻璃	(311)
8.2 日用玻璃	(314)
8.2.1 瓶罐玻璃	(315)
8.2.2 器皿玻璃	(323)
8.2.3 晶质玻璃	(327)
8.2.4 厨具玻璃	(333)
8.2.5 眼镜玻璃	(343)
8.2.6 保温瓶玻璃	(346)
8.3 电光源用玻璃	(351)
8.3.1 引言	(351)

8.3.2	普通灯泡玻璃	(355)
8.3.3	大功率灯泡玻璃	(363)
8.3.4	节能灯泡玻璃	(374)
8.4	光学玻璃	(380)
8.4.1	光学玻璃的应用、要求和发展	(380)
8.4.2	光学玻璃品种和化学组成	(386)
8.4.3	无铅无砷光学玻璃	(398)
8.4.4	光学玻璃连续熔炼	(401)
8.4.5	光学玻璃精密模压	(408)
8.5	微晶玻璃	(426)
8.5.1	概述	(426)
8.5.2	微晶玻璃的组成	(432)
8.5.3	微晶玻璃的结构	(442)
8.5.4	微晶玻璃的性能	(449)
8.5.5	微晶玻璃的应用	(455)
8.6	激光玻璃	(464)
8.6.1	激光原理	(465)
8.6.2	激光玻璃的性能要求	(467)
8.6.3	实用激光玻璃	(470)
8.6.4	其他激光玻璃	(476)
8.7	功能玻璃	(477)
8.7.1	引 言	(477)
8.7.2	变色玻璃	(482)
8.7.3	透红外玻璃	(486)
8.7.4	光敏玻璃	(489)
8.7.5	梯度折射率玻璃	(491)
8.7.6	非线性光学玻璃	(494)
8.7.7	法拉第旋转玻璃	(499)
8.8	玻璃纤维	(504)
8.8.1	普通玻璃纤维	(504)
8.8.2	石英传输光纤	(506)
8.8.3	稀土离子掺杂玻璃光纤	(517)
8.8.4	光子晶体光纤	(529)
8.8.5	其他光纤	(542)
	参考文献	(544)

第三篇 新型无机胶凝及其复合材料科学与技术

9 无机胶凝材料概论	(557)
9.1 无机胶凝材料的概念	(557)
9.1.1 无机胶凝材料的定义	(557)
9.1.2 无机胶凝材料的应用	(557)
9.2 无机胶凝材料及其复合材料的种类	(558)
9.2.1 气硬性胶凝材料	(558)
9.2.2 水硬性胶凝材料	(569)
9.2.3 水泥基复合材料	(583)
9.3 无机胶凝材料发展简史	(587)
9.4 无机胶凝材料发展展望	(588)
9.4.1 无机胶凝材料的生态化	(588)
9.4.2 无机胶凝材料高性能化	(589)
9.4.3 无机胶凝材料的功能化	(589)
9.4.4 无机胶凝材料品种的多样化	(590)
9.4.5 无机胶凝材料组成的复合化	(590)
参考文献	(591)
10 水泥基胶凝(复合)材料科学理论及其最新进展	(593)
10.1 硅酸盐水泥熟料的矿物微结构与性能	(593)
10.1.1 熟料的率值与矿物组成	(593)
10.1.2 硅酸盐水泥熟料的矿物组成	(594)
10.2 非硅酸盐水泥熟料矿物	(601)
10.2.1 高铝水泥熟料矿物	(601)
10.2.2 氟铝酸盐、硫铝酸盐水泥矿物	(602)
10.2.3 硅酸盐水泥熟料矿物与非硅酸盐熟料矿物的亚稳共存	(603)
10.3 水泥及其混合材料粉体形成理论的进展	(605)
10.3.1 颗粒群的粒度表示方式	(605)
10.3.2 水泥的颗粒级配与调粒水泥	(606)
10.3.3 水泥粉体颗粒形状与球状水泥	(608)
10.4 水泥基胶凝材料结构形成理论	(609)
10.4.1 硅酸盐水泥的水化反应及机理	(609)
10.4.2 硅酸盐水泥的水化产物组成及结构	(616)
10.4.3 硅酸盐水泥的水化	(620)
10.4.4 硬化水泥石的结构	(626)
10.5 水泥基混凝土研究及理论的进展	(629)
10.5.1 混凝土结构模型及界面科学	(629)

10.5.2	混凝土的结构与性能	(632)
10.5.3	混凝土各种耐久性问题的专门研究	(636)
10.5.4	混凝土耐久性整体论	(641)
10.5.5	混凝土的形变与强度理论	(644)
10.6	现代混凝土材料组成与配合比理论	(662)
10.6.1	混凝土集料的种类、品质与作用	(662)
10.6.2	混凝土加强与改性材料的种类、品质与作用	(672)
10.6.3	混凝土配合比的传统理论与现状	(678)
10.6.4	混凝土配合比理论研究的新进展	(683)
	参考文献	(688)
11	传统水泥与混凝土工艺技术的新发展	(690)
11.1	水泥生产工艺技术的新发展	(690)
11.1.1	水泥品种及其发展	(690)
11.1.2	干法回转窑工艺技术的新发展	(696)
11.1.3	水泥粉磨工艺技术的新发展	(705)
11.1.4	水泥生产技术的其他新发展	(713)
11.2	预拌(商品)混凝土产业与混凝土工业一体化	(723)
11.2.1	预拌(商品)混凝土产业的兴起	(724)
11.2.2	预拌(商品)混凝土产业的作用	(725)
11.2.3	混凝土工业集团的形成趋势及其技术经济效益	(726)
11.3	高强度、高性能、多品种混凝土	(728)
11.3.1	高强度混凝土	(728)
11.3.2	高性能混凝土	(729)
11.3.3	自密实混凝土	(731)
11.3.4	大体积(低热)混凝土	(731)
11.3.5	道路混凝土	(733)
11.3.6	其他新品种混凝土	(735)
11.4	混凝土新型外加剂与矿物掺合料技术	(741)
11.4.1	新型混凝土减水剂	(741)
11.4.2	新型混凝土多功能减水剂	(744)
11.4.3	新型混凝土调凝剂与早强剂	(746)
11.4.4	新型混凝土防水剂与抗渗剂	(748)
11.4.5	混凝土膨胀剂及补偿收缩技术	(751)
11.4.6	混凝土减缩剂与抗裂剂	(753)
11.4.7	混凝土超细矿物掺合料及技术	(757)
11.5	混凝土构件预制与预应力新技术	(764)
11.5.1	混凝土构件预制新技术	(764)
11.5.2	预应力混凝土新技术	(787)

11.5.3 预应力混凝土施工	(797)
参考文献	(802)
12 新型胶凝复合材料与制备技术	(806)
12.1 新型水泥基复合材料工艺技术	(806)
12.1.1 聚合物-水泥基砂浆与混凝土	(806)
12.1.2 纤维增强与改性混凝土	(820)
12.2 高技术水泥基复合材料	(822)
12.2.1 DSP 水泥基材料	(822)
12.2.2 MDF 水泥基材料	(822)
12.2.3 RPC 水泥基材料	(824)
12.2.4 CBC 化学结合陶瓷	(825)
12.2.5 SIFCON 渗浆纤维混凝土	(826)
12.3 新型胶凝材料及其制品制备技术	(826)
12.3.1 原料制备先进技术	(826)
12.3.2 蒸压蒸养	(834)
12.3.3 热压技术	(843)
12.3.4 真空脱水技术	(847)
12.3.5 碾压技术	(851)
12.3.6 离心成型技术	(855)
参考文献	(866)

第四篇 新型耐火材料科学与技术

13 概 述	(871)
13.1 新型耐火材料的基本概念	(871)
13.1.1 耐火材料的定义	(871)
13.1.2 耐火材料的化学组成与矿物组成	(873)
13.1.3 耐火材料的基本要求	(875)
13.1.4 耐火材料在窑炉热工设备中的作用	(875)
13.2 新型耐火材料的类型	(878)
13.2.1 普通耐火材料的类型	(878)
13.2.2 特种耐火材料的类型及特点	(880)
13.2.3 保温隔热耐火材料的类型	(881)
13.3 新型耐火材料的发展简史	(882)
13.3.1 国外新型耐火材料的发展简史	(882)
13.3.2 我国新型耐火材料的发展简史	(884)
13.4 新型耐火材料的发展新动向	(889)
13.4.1 不定形耐火材料的发展新动向	(889)

13.4.2	耐火原料和耐火材料制造工艺的发展新动向	(892)
13.4.3	特种耐火材料的功能化发展新动向	(893)
13.4.4	窑炉炉体水冷却技术的发展新动向	(893)
13.5	我国耐火材料工业发展的对策	(893)
13.5.1	耐火材料工业发展目标与政策	(894)
13.5.2	调整耐火材料产业布局	(894)
13.5.3	耐火材料产业技术政策及准入条件	(895)
13.5.4	耐火材料产业结构调整	(897)
13.6	我国新型耐火材料工业发展优势与方向	(898)
13.6.1	我国新型耐火材料工业发展优势	(898)
13.6.2	我国新型耐火材料工业发展方向	(899)
13.6.3	我国新型耐火材料工业的发展趋势	(901)
14	新型耐火材料基础理论	(904)
14.1	平衡状态图在耐火材料制备中的应用	(904)
14.1.1	确定制备耐火材料组成区域	(904)
14.1.2	确定多元系统的最低共熔点	(906)
14.2	不同系统耐火材料的基础理论	(906)
14.2.1	Al-O 系统耐火材料	(906)
14.2.2	Si-O 系统耐火材料	(908)
14.2.3	Al_2O_3 - SiO_2 系统耐火材料	(910)
14.2.4	Mg-O 系统耐火材料	(914)
14.2.5	MgO- SiO_2 系统耐火材料	(917)
14.2.6	MgO- Al_2O_3 系统耐火材料	(920)
14.2.7	Cr-O 系统耐火材料	(921)
14.2.8	氧化铁- Cr_2O_3 系统耐火材料	(922)
14.2.9	MgO- Cr_2O_3 系统耐火材料	(923)
14.2.10	Ca-O 系统耐火材料	(925)
14.2.11	CaO-MgO 系统耐火材料	(926)
14.2.12	Zr-O, ZrO_2 - SiO_2 和 Al_2O_3 - ZrO_2 系统耐火材料	(927)
14.2.13	碳-氧化物和 Si-C-O-N 系统耐火材料	(930)
14.2.14	Si-Al-O-N 和 Al-O-N 系统耐火材料	(933)
14.2.15	超级耐火材料	(935)
14.3	原位耐火材料及其组成设计	(936)
14.3.1	不定形耐火材料的原位反应与应用	(937)
14.3.2	耐火材料的合理选择与使用分析	(938)
14.4	耐火材料的结构与性能	(941)
14.4.1	耐火材料的结构特点	(941)
14.4.2	耐火材料的力学性能	(946)

14.4.3	耐火材料的热物理性能	(955)
14.4.4	耐火材料的电物理性能	(979)
14.5	耐火材料的热应力与抗热震性	(981)
14.5.1	耐火材料的热应力分类	(981)
14.5.2	耐火材料几种典型情况下的第二类热应力计算	(982)
14.5.3	耐火材料抗热震性的评价理论	(984)
14.5.4	耐火材料热震残留强度的预测	(989)
14.5.5	影响耐火材料抗热震性的主要因素及其改善途径	(991)
14.6	耐火材料的抗化学侵蚀性	(999)
14.6.1	耐火材料与侵蚀物的化学反应	(999)
14.6.2	化学反应的理论分析	(1000)
14.6.3	耐火材料与氧化物熔体之间的反应	(1001)
14.6.4	耐火材料与金属熔体之间的反应	(1006)
14.6.5	耐火材料氧化物与碳的相互反应	(1008)
14.6.6	耐火材料与气体的相互反应	(1009)
14.6.7	含碳耐火材料与侵蚀物的相互反应	(1010)
14.6.8	不同成分耐火材料之间的相互反应温度	(1011)
15	新型耐火材料与制备技术	(1012)
15.1	钢铁工业用新型耐火材料	(1012)
15.1.1	炼钢用耐火材料	(1012)
15.1.2	炼铁用耐火材料	(1016)
15.1.3	连续铸钢用耐火材料	(1022)
15.1.4	轧钢用耐火材料	(1028)
15.2	有色冶金工业用新型耐火材料	(1039)
15.2.1	炼铝工业用耐火材料	(1039)
15.2.2	炼铜工业用耐火材料	(1041)
15.2.3	炼铅工业用耐火材料	(1045)
15.2.4	炼锌工业用耐火材料	(1046)
15.3	建材工业用新型耐火材料	(1048)
15.3.1	水泥工业用耐火材料	(1048)
15.3.2	陶瓷工业用耐火材料	(1051)
15.3.3	玻璃工业用耐火材料	(1054)
15.4	化学工业和垃圾焚烧炉用耐火材料	(1057)
15.4.1	化学工业用耐火材料	(1057)
15.4.2	垃圾焚烧炉用耐火材料	(1059)
15.5	普通耐火材料的制备技术	(1062)
15.5.1	耐火原料粉磨与净化技术	(1062)
15.5.2	耐火材料的成型	(1063)