

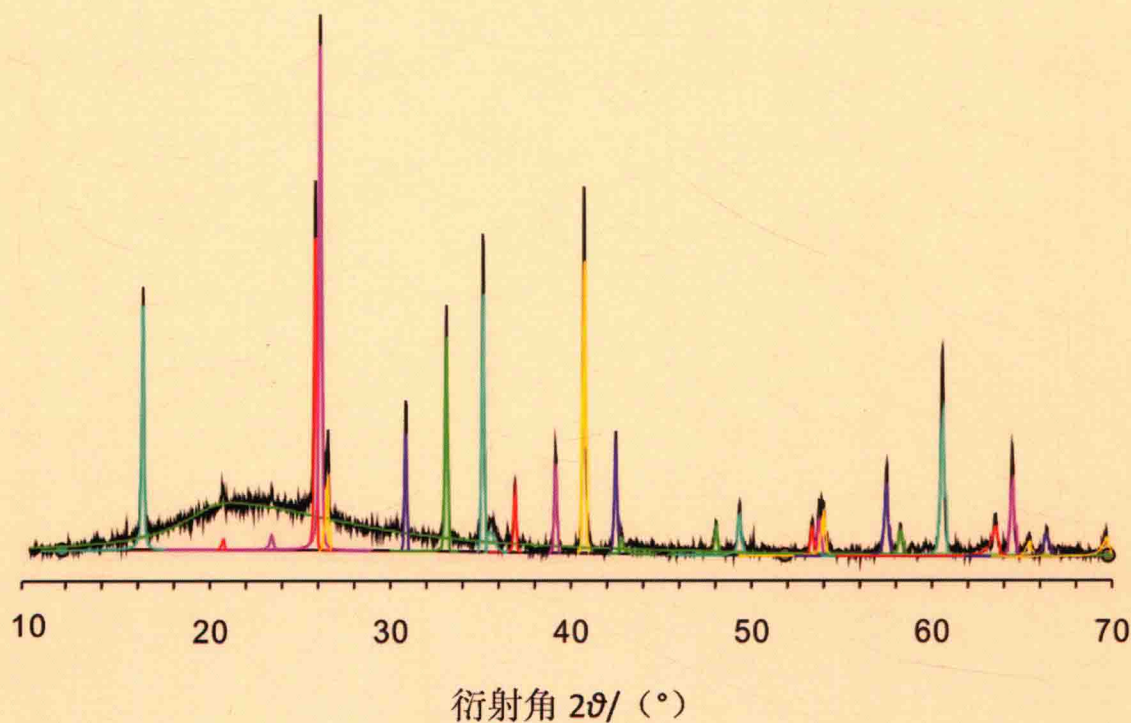


湖北省学术著作出版专项资金资助项目

Non-tradition Cementitious Materials Chemistry

非传统胶凝材料化学

杨南如 著



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

Non-tradition Cementitious Materials Chemistry

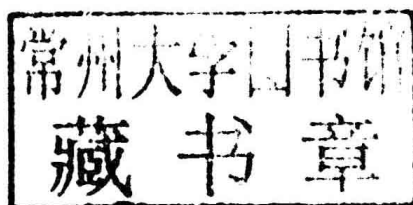


湖北省学术著作出版专项资金资助项目

Non-traditional Cementitious Materials Chemistry

非传统胶凝材料化学

杨南如 著



武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

【内容提要】

全书内容共分为 14 章,系统阐述了非传统胶凝材料化学的基本理论和实际应用。图书内容侧重于材料和原料的化学成分和矿物组成、微观结构、性能特点、测试方法及应用领域;介绍了非传统胶凝材料的特殊制备方法的基本原理、优缺点及应用;介绍了节约能源、节约资源和环境友好的非传统胶凝材料;介绍了应用 XRD、XRFA 方法与化学萃取法相结合,对粉煤灰中玻璃体的含量和玻璃体的化学组成进行测试分析。作者对于在胶凝材料化学领域存在的某些具有争议的学术问题,提出了自己的观点和看法,并建议澄清一些常见而易混淆的概念。

本书可供材料科学与工程学科领域无机胶凝材料专业方向从事科学研究、专业教学、材料制备和工程应用的研究人员、专业教师、研究生和高年级本科生以及工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

非传统胶凝材料化学/杨南如著. —武汉:武汉理工大学出版社,2017. 12
ISBN 978-7-5629-5680-8

I. ① 非… II. ① 杨… III. ① 胶凝材料—化学工业 IV. ① TQ177

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 303689 号

项目负责人:田道全

责任编辑:田道全

责任校对:张明华

封面设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社

社址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮编:430070

网址:<http://www.wutp.com.cn>

经销:各地新华书店

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:880mm×1230mm 1/16

印张:33.75

字数:1000 千字

版次:2018 年 1 月第 1 版

印次:2018 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册

定价:198.00 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 •

【作者简介】

杨南如教授,女,生于1930年,常州人。1952年7月毕业于南京大学化学系。她曾长期就职于南京工业大学,担任无机非金属材料专业教授、博士研究生导师;曾担任中国硅酸盐学会水泥专业委员会委员,是我国水泥化学专业领域著名的材料科学家。

作者主要从事无机非金属材料专业物理化学和水泥化学方面的教学和研究工作,先后主持多项国家自然科学基金资助的重大应用基础理论研究课题。其研究成果获得了多项省(部)级的科技进步奖、基础研究奖、优秀教材奖、优秀教学成果奖等奖励。她主持了我国首次“碳化煤球制气与生产水泥熟料联合工艺”的研究与开发,在“穆斯林技术和正电子湮没技术在无机非金属材料中的应用”等研究方面取得了重大突破。

发表学术论文:

100多篇(受邀担任 Science PG 特约撰稿人)。

出版学术著作:

《无机非金属材料测试方法》(主编,国家统编教材);

《无机非金属材料图谱手册》(主编,国家重点图书);

《硅酸盐物理化学》(参编,国家统编教材)。

外文学术译著:

《胶凝物质工艺学和制品》(苏联专家教材,共3册,未出版);

《胶凝物质工艺学》(苏联教科书,与南京工学院教师和研究生合译);

《苏联第3届水泥化学会议论文集》(与胡道和、张学明合译);

《第6届国际水泥化学会议论文集(2)》(俄语,与闵盘荣、谢玉声合译);

《水泥与混凝土化学》(F. M. Lea. The Chemistry of Cement and Concrete. 3rd ed.)
(与唐明述、胡道和、闵盘荣合译)。

【著作简介】

《非传统胶凝材料化学》是由南京工业大学杨南如教授撰写的一部高水平学术著作,系作者与其同事和学生们多年在水泥化学领域的一些研究成果和学术观点的总结。

作者在系统阐述“非传统胶凝材料化学”的理论和应用时,着重于材料和原料的化学成分和矿物组成、微观结构、性能特点、测试方法及应用领域;介绍了非传统胶凝材料的特殊制备方法的基本原理、优缺点及应用;介绍了节约能源、节约资源和环境友好的非传统胶凝材料;介绍了应用XRD、XRFA方法与化学萃取法相结合,对粉煤灰中玻璃体的含量和玻璃体的化学组成进行测试分析;但对于非传统胶凝材料的制备工艺过程,只做了简要介绍。

全书内容共分14章(未包括硅酸盐水泥和铝酸盐水泥的相关内容),其主要内容和特色可归纳为以下5个方面:

第一,介绍了非传统无机胶凝材料的原料的化学成分、矿物组成、微观结构和在非传统无机胶凝材料中的应用。例如:

(1) 天然原料;(2) 工业固体废弃物原料。

第二,详细介绍了几种非传统无机胶凝材料的特殊制备方法的基本原理、优缺点及应用。例如:

(1) 水热合成法;(2) 溶胶-凝胶法;(3) 机械力化学法;(4) 化学激发法。

第三,重点介绍了节约能源、节约资源和环境友好的无机胶凝材料。例如:

(1) 非传统硅酸盐水泥(以 C_2S 替代部分 C_3S 的硅酸盐水泥);(2) 大掺量工业固体废弃物混合材料硅酸盐水泥;(3) 无熟料或少熟料的化学激发胶凝材料;(4) 贝利特类非硅酸盐水泥(贝利特-铝酸盐水泥、波色尔水泥,贝利特-硫铝酸盐水泥、低温合成粉煤灰水泥)。

第四,介绍了其它与非传统无机胶凝材料有关的问题。例如:

(1) 水在不同无机胶凝材料中不同的作用;(2) 无机聚合物材料(水化硅酸钙和C-S-H凝胶,其它无机高分子),以及C-S-H凝胶的化学组成、微观结构和测定方法;(3) 一些用于测定无机胶凝材料化学成分和矿物组成的方法。

第五,特别介绍了应用XRD(X射线衍射分析法)、XRFA(X射线荧光光谱分析法)与化学萃取法相结合,对粉煤灰中玻璃体的含量和玻璃体的化学组成的研究与测试。

作者对于在胶凝材料化学领域存在的某些具有争议的学术问题,提出了自己的观点和看法,并建议澄清一些常见而易混淆的概念。例如:

(1) 认为“水泥”与“胶凝材料”具有一定的差别;(2) 认为传统的硅酸盐水泥熟料是不可可持续发展的材料,必须发展非硅酸盐水泥和非传统硅酸盐水泥;(3) 认为评定工业固体废弃物早期活性的依据,是其中铝硅酸玻璃体的 $[SiO_4]^{4-}$ 四面体与 $[AlO_4]^{5-}$ 四面体的聚合度的大小,而不是其含量;(4) 认为不能笼统地采用“水化”一词概括胶凝材料与水的反应,胶凝材料与水的作用有水解、水化、酸碱反应之别,水甚至可以是反应产物;(5) 认为具有胶凝性矿物的活性大小不是固定的,而是取决于矿物形成的条件,因此提出了活性 $\beta-C_2S$ 的概念,并给出了具体制备方法等。

本书可供材料科学与工程学科领域无机胶凝材料专业方向从事科学研究、专业教学、材料制备和工程应用的研究人员、专业教师、研究生和高年级本科生以及工程技术人员阅读参考。

前 言

1952年,我毕业于南京大学化学系,被分配到南京工学院化工系工作(注:当时的南京大学的前身为中央大学,1952年进行院系调整时,将南京大学的“工学院”划分成单独的“南京工学院”)。

1953年,学校推荐我去苏联学习。经过考试,我于1953年9月去北京俄语专科学校学习俄语。但是,学习结束后,我却因故未能如期赴苏联学习,就只能回到原来的工作单位——南京工学院。

也就在这时,为了进一步全面学习苏联的教学体制,要从培养通才转变为培养专才,原来的化工学科都要进行改革而设立专业。因此,南京工学院的化工系要设立硅酸盐工学专业中的水泥专门化。当时的高等教育部为此聘请了苏联莫斯科门捷列夫化工学院的A. M. 库兹涅佐夫(A. M. Куцнецов)副教授来南京工学院化工系工作,传授苏联的一整套有关水泥专门化的课程设置、课程大纲、教学计划、教学环节和教学方法等。当时的化工系主任时钧老师看到我回来了,就很高兴地说:“你回来得正好,我就有俄语翻译的人了。”于是,我就被任命为苏联专家的业务翻译,从此,也就和水泥结下了不解之缘,虽然这并不是我原来的愿望。

苏联专家回国后,时钧老师考虑到我原来是学习化学的,对工科的知识基本欠缺,因此就分配我去教“硅酸盐物理化学”课程。这也就是我为什么会做有关水泥化学领域的教学和科学研究的原因。

我于2000年退休。到2005年以后,我已经基本上是自由人,于是想把以前的工作作一个归纳和总结,而不是把相关的已经发表的论文进行汇编。

刚开始,我就是想写一部《水泥化学》。因考虑到国外已有两本知名的《水泥化学》著作了,若再写一部,除了可添加一些最近的研究成果以外,不会有多少新的内容。与此同时,我认为,《水泥化学》的内容,无非就是“水泥熟料化学”和“水泥应用化学”两大部分,而前者已经基本成熟,于是想还不如就写一部《水泥应用化学》。可是再一想,《水泥应用化学》必须包括“混凝土”的内容,而本人对“混凝土”的相关内容可是一无所知,若要写这样的内容,显然是自不量力了。我想到,多年以来,尤其是近几十年来,在“节能减排”“保护环境”的大趋势下,对某些工业固体废弃物的利用、非传统硅酸盐水泥方面的研究和开发已逐渐增多,于是就想还不如写一部关于非传统的胶凝材料化学方面的著作。与此同时,本人多年来比较关注这一领域的发展情况,并且在这一领域多少也做过一些研究,于是就把书名定为《非传统胶凝材料化学》。

对于书名和书中对一些问题的看法是否恰当,还希望读者能够不吝赐教,以便修订。

杨南如

2017年10月

目 录

1 制作非传统胶凝材料的天然原料	(1)
前言	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 原料的种类和分类	(1)
1.1.2 各种天然原料的特点	(3)
1.2 碳酸盐类矿物	(3)
1.2.1 石灰石	(4)
1.2.2 菱镁矿	(11)
1.2.3 白云石	(27)
1.3 硫酸盐类矿物——石膏与硬石膏	(28)
1.3.1 硬石膏	(29)
1.3.2 石膏	(31)
1.4 二氧化硅(硅石)类原料	(39)
1.4.1 含有 SiO_2 的矿物和岩石	(39)
1.4.2 SiO_2 的晶体结构与同质多晶体	(39)
1.4.3 SiO_2 的晶体结构	(40)
1.4.4 石英的主要种类	(42)
1.4.5 石英在非传统胶凝材料中的用途	(42)
1.5 黏土类原料	(43)
1.5.1 概述	(43)
1.5.2 黏土矿物的结构	(43)
1.5.3 黏土矿物受热时的变化	(48)
1.5.4 黏土矿物的性质	(50)
1.5.5 黏土矿物在非传统胶凝材料中的应用	(53)
1.6 火山灰	(58)
1.6.1 概述	(58)
1.6.2 火山灰的化学成分	(59)
1.6.3 火山灰的活性和测定方法	(60)
1.6.4 火山灰在胶凝材料中的应用	(60)
小结	(61)
参考文献	(61)
2 制作非传统胶凝材料的人工原料	(63)
前言	(63)

2.1 工业固体废弃物概述	(63)
2.1.1 工业固体废弃物的产生	(63)
2.1.2 工业固体废弃物的化学成分	(64)
2.1.3 各种工业固体废弃物原料中存在的矿物和结晶状态	(64)
2.1.4 以玻璃体状态或以无定形状态存在的工业固体废弃物	(65)
2.1.5 工业固体废弃物中离子与原子间的排列结构	(65)
2.1.6 各种工业固体废弃物的排放及应用	(66)
2.1.7 水泥工业在应用工业固体废弃物中“价值观”的演变	(66)
2.2 黑色冶金工业排放的固体废弃物	(67)
2.2.1 高炉矿渣	(68)
2.2.2 炼钢炉渣	(79)
2.2.3 硅灰	(86)
2.3 有色冶金工业排放的固体废弃物	(87)
2.3.1 赤泥	(87)
2.3.2 其它	(93)
2.4 化学工业排放的固体废弃物	(93)
2.4.1 磷渣	(93)
2.4.2 电石渣	(99)
2.4.3 磷石膏	(100)
2.5 热电工业排放的固体废弃物	(101)
2.5.1 粉末燃料飞灰——粉煤灰	(101)
2.5.2 烟气脱硫石膏	(109)
2.6 尾矿——煤矸石	(113)
2.6.1 煤矸石的产生	(113)
2.6.2 煤矸石的矿物组成和化学成分	(114)
2.6.3 煤矸石的活性和活化措施	(117)
2.6.4 煤矸石的选煤措施	(121)
2.6.5 煤矸石活性的评价方法	(122)
2.6.6 煤矸石的应用	(123)
小结	(124)
参考文献	(125)
3 制备非传统胶凝材料的方法(I)——普通煅烧法	(127)
前言	(127)
3.1 以简单热分解热处理单一原料	(127)
3.1.1 分解反应	(127)
3.1.2 以 MgCO_3 制备 MgO	(133)
3.2 脱水反应	(133)
3.3 高温下煅烧原料混合物	(133)
3.3.1 制备硅酸盐水泥熟料的原料混合物间的反应	(133)
3.3.2 铝酸盐水泥熟料的形成	(148)

小结	(153)
参考文献	(154)
4 制备非传统胶凝材料的方法(Ⅱ)——水热合成法与溶胶-凝胶法	(155)
前言	(155)
4.1 水热合成法	(155)
4.1.1 基本概述	(155)
4.1.2 水热合成法的分类	(155)
4.1.3 水热合成法体系中反应的特点	(156)
4.1.4 晶体生长与粉体合成的水热反应	(157)
4.1.5 水热合成法在制备材料中的应用	(158)
4.1.6 水热合成法在制备无机胶凝材料中的应用	(158)
4.1.7 低温水热合成粉煤灰水泥	(159)
4.2 溶胶-凝胶法	(160)
4.2.1 发展简史	(160)
4.2.2 名词术语	(160)
4.2.3 溶胶-凝胶法的基本原理和反应	(162)
4.2.4 溶胶-凝胶法的工艺过程	(163)
4.2.5 溶胶-凝胶法在无机胶凝材料中的应用	(172)
小结	(172)
参考文献	(172)
5 制备非传统胶凝材料的方法(Ⅲ)——机械力化学法和化学激发法	(174)
前言	(174)
5.1 机械力化学法——一门新兴的交叉学科	(174)
5.1.1 机械力化学的概念及发展	(174)
5.1.2 固体物质在机械力作用下发生的效应	(175)
5.1.3 机械力化学作用的原理和过程	(178)
5.1.4 颗粒的粒径与比表面积的变化	(180)
5.1.5 密度的变化	(181)
5.1.6 脱水效应	(182)
5.1.7 结构变化	(185)
5.1.8 混合物在机械力作用下的化学反应	(191)
5.1.9 机械力化学效应在制备胶凝材料中的应用	(194)
5.1.10 机械力化学效应的检测和判断方法	(201)
5.1.11 机械力化学在应用中的优缺点	(202)
5.1.12 前景和展望	(202)
5.2 化学激发法——一种全新的制备非传统胶凝材料的方法	(203)
5.2.1 化学激发胶凝材料的含义	(203)
5.2.2 制备化学激发胶凝材料的工艺过程	(204)
5.2.3 主要原料	(204)

5.2.4 化学激发胶凝材料的形成特点	(205)
小结	(205)
参考文献	(206)
6 化学激发(碱激发)胶凝材料	(208)
前言	(208)
6.1 化学激发胶凝材料概述	(208)
6.1.1 化学激发胶凝材料的含义	(208)
6.1.2 化学激发胶凝材料的特点	(208)
6.1.3 化学激发胶凝材料与硅酸盐水泥的异同	(209)
6.2 化学激发胶凝材料的发展过程和现状	(210)
6.2.1 比利时 A. O. Purdon 的发现和工作的	(210)
6.2.2 苏联 В. Д. Глуховский 和 П. В. Кривенко 的工作	(210)
6.2.3 法国 J. Davidovits 的工作和 Geopolymer 一词的提出	(211)
6.2.4 欧洲和国际上对化学激发胶凝材料的关注	(212)
6.2.5 我国在化学激发胶凝材料领域的研究现状	(212)
6.3 化学激发胶凝材料的生产工艺过程	(213)
6.3.1 生产工艺流程	(213)
6.3.2 主要原料	(213)
6.3.3 碱的种类和性能	(215)
6.4 化学激发胶凝材料的分类和命名	(220)
6.4.1 化学激发胶凝材料的分类	(220)
6.4.2 化学激发胶凝材料的命名	(222)
6.4.3 碱激发胶凝材料的类别	(223)
6.5 化学激发胶凝材料的性能	(224)
6.5.1 化学激发胶凝材料的性能特点	(224)
6.5.2 力学性能	(224)
6.5.3 耐久性	(226)
6.5.4 碱-集料反应	(226)
6.6 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 玻璃体结构	(227)
6.6.1 玻璃体结构的一般概念	(227)
6.6.2 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 体系与 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 体系的玻璃体结构的特点和差异	(228)
6.7 化学激发胶凝材料与水的反应过程和机理	(230)
6.7.1 A. O. Purdon 的碱催化作用机理	(231)
6.7.2 В. Д. Глуховский 的“结构破坏-絮凝-聚合结晶”三阶段理论	(232)
6.7.3 铝硅酸盐矿物受碱激发的过程——“溶解—无定形产物形成—生成物聚合” 的 3 个步骤	(234)
6.7.4 J. Davidovits 的沸石机理	(236)
6.7.5 A. O. Palomo 的沸石前驱体机理	(238)
6.7.6 碱激发胶凝材料和硅酸盐水泥熟料与水反应的异同	(239)
6.8 碱激发胶凝材料的品种	(239)

6.8.1 高钙含量的碱激发胶凝材料	(239)
6.8.2 原材料中无钙或少钙的碱激发胶凝材料	(245)
6.9 化学激发胶凝材料的反应过程与硅酸盐水泥水化的异同	(253)
6.9.1 反应过程和水化放热过程的相同点	(253)
6.9.2 反应机理的不同点	(254)
6.9.3 反应产物的不同点	(254)
6.9.4 浆体结构	(254)
6.10 杂交(杂化)胶凝材料	(256)
6.10.1 杂交胶凝材料概述	(256)
6.10.2 杂交胶凝材料的关键问题	(256)
6.10.3 杂交胶凝材料的品种	(259)
6.10.4 杂交胶凝材料的前景	(262)
小结	(262)
参考文献	(262)
7 大掺量混合材料硅酸盐水泥	(267)
前言	(267)
7.1 传统和非传统硅酸盐水泥	(267)
7.1.1 传统硅酸盐水泥	(267)
7.1.2 非传统硅酸盐水泥	(269)
7.2 传统硅酸盐水泥工艺所面临的挑战	(269)
7.2.1 传统硅酸盐水泥生产的不可持续发展性	(269)
7.2.2 硅酸盐水泥熟料生产工艺过程的不合理性	(271)
7.2.3 应对措施	(272)
7.3 非传统硅酸盐水泥的实质	(272)
7.3.1 对于工业固体废弃物在水泥中应用的价值观的变迁	(272)
7.3.2 提高工业固体废弃物在水泥中掺加量的措施	(273)
7.4 矿渣和粉煤灰的超细粉磨工艺	(276)
7.4.1 矿渣的超细粉磨	(276)
7.4.2 粉煤灰的粉磨工艺	(277)
7.4.3 分别粉磨后的混合	(283)
7.5 大掺量磨细矿渣硅酸盐水泥	(283)
7.5.1 矿渣微粉的活性与矿渣硅酸盐水泥性能的关系	(283)
7.5.2 钢渣-矿渣硅酸盐水泥	(288)
7.6 大掺量粉煤灰水泥	(290)
7.6.1 概述	(290)
7.6.2 内蒙古鄂尔多斯电厂的粉煤灰试验	(292)
7.6.3 内蒙古伊敏电厂的粉煤灰的试验	(297)
7.7 大掺量磷渣硅酸盐水泥	(305)
7.7.1 磷渣活性的激发	(305)
7.7.2 磷渣水泥的凝结时间与调整	(305)

7.8 对大掺量矿渣水泥后期强度高于硅酸盐水泥原因的初步探讨	(306)
小结	(307)
参考文献	(307)
8 硅酸二钙和硅酸二钙水泥	(309)
前言	(309)
8.1 硅酸二钙晶体的同质异晶和结构	(309)
8.1.1 硅酸二钙的化学组成和固溶体	(309)
8.1.2 硅酸二钙的多晶型	(309)
8.1.3 硅酸二钙各种晶型的晶体结构	(316)
8.1.4 硅酸二钙多晶转变类型	(318)
8.1.5 硅酸二钙相变动力学	(319)
8.1.6 硅酸二钙高温相的稳定	(320)
8.1.7 各种晶型硅酸二钙的水化性能	(322)
8.2 以硅酸二钙为主要矿物的高贝利特硅酸盐水泥	(324)
8.2.1 生产以硅酸二钙(贝利特)为主要矿物的水泥的意义	(325)
8.2.2 生产高硅酸二钙含量的水泥熟料的可行性	(326)
8.2.3 以硅酸二钙为主要矿物组成的低碳型硅酸盐水泥	(327)
8.3 高贝利特硅酸盐水泥基混凝土的制备与性能	(332)
8.3.1 外加剂的选择	(332)
8.3.2 高贝利特硅酸盐水泥混凝土的工作性	(332)
8.3.3 高贝利特硅酸盐水泥混凝土的力学性能	(333)
8.3.4 高贝利特硅酸盐水泥混凝土的耐久性	(334)
8.3.5 生产高贝利特硅酸盐水泥和混凝土的优越性	(335)
8.4 高活性 β 型硅酸二钙	(336)
8.4.1 高活性 β 型硅酸二钙的概念的提出	(337)
8.4.2 水热合成-低温烧成联合法制备高活性 β - C_2S	(338)
8.4.3 合成产物的鉴定	(340)
8.4.4 高活性 β - C_2S 的形成机理	(343)
8.4.5 高活性 β - C_2S 的水化	(350)
8.4.6 活性 β - C_2S 的性能	(352)
8.4.7 水热合成-低温煅烧的 β - C_2S 活性高的原因探讨	(353)
小结	(354)
参考文献	(354)
9 贝利特-铝酸盐水泥和贝利特-硫铝酸盐水泥	(357)
前言	(357)
9.1 贝利特-铝酸盐水泥	(357)
9.1.1 研究贝利特-铝酸盐水泥的出发点	(357)
9.1.2 从化学组成和矿物组成分析	(357)
9.1.3 铝酸盐矿物	(359)

9.1.4	贝利特-铝酸盐水泥熟料的形成	(360)
9.1.5	贝利特-铝酸盐水泥的水化	(362)
9.1.6	贝利特-铝酸盐水泥的性能	(363)
9.1.7	其它贝利特-铝酸盐水泥	(365)
9.2	波色尔水泥	(365)
9.2.1	$\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-SO}_3$ 四元体系	(365)
9.2.2	波色尔水泥熟料的化学成分和矿物组成	(365)
9.2.3	波色尔水泥生料的配料	(366)
9.2.4	波色尔水泥熟料的形成	(366)
9.2.5	波色尔水泥的水化	(367)
9.2.6	波色尔水泥的性能	(367)
9.3	改进型贝利特-硅酸盐水泥	(368)
9.3.1	理论依据	(368)
9.3.2	改进型硅酸盐水泥矿物组成的设计	(368)
9.3.3	改进型硅酸盐水泥熟料的制备和性能	(370)
9.4	硫铝酸盐水泥——第3系列水泥	(371)
9.4.1	硫铝酸盐水泥中的主要矿物	(371)
9.4.2	硫铝酸盐水泥熟料的制备	(373)
9.4.3	无水硫铝酸盐水泥的水化	(375)
9.4.4	硫铝酸盐水泥的性能	(376)
9.4.5	硫铝酸盐的应用	(376)
9.4.6	含 Ba(Sr) 的硫铝酸盐水泥	(377)
9.5	低温合成低钙-粉煤灰水泥	(377)
9.5.1	低温水热合成粉煤灰水泥的由来	(377)
9.5.2	新工艺的构思	(377)
9.5.3	低温合成粉煤灰水泥的工艺流程	(378)
9.5.4	低温合成粉煤灰水泥的矿物形成及机理	(378)
9.5.5	低温合成的粉煤灰水泥的特性	(385)
9.5.6	低温合成的粉煤灰水泥的用途	(387)
9.5.7	对低温合成粉煤灰水泥的展望	(388)
	小结	(389)
	参考文献	(389)
10	磷酸盐胶凝材料	(391)
	前言	(391)
10.1	元素磷及其化合物	(391)
10.1.1	元素磷	(391)
10.1.2	磷的氧化物	(392)
10.1.3	磷酸和磷酸盐及其结构	(392)
10.2	磷酸镁胶凝材料	(395)
10.2.1	磷酸镁胶凝材料特性	(395)

10.2.2	磷酸镁胶凝材料的组成	(395)
10.2.3	磷酸镁胶凝材料的性能	(396)
10.2.4	磷酸镁胶凝材料与水反应的过程和产物	(399)
10.2.5	磷酸盐胶凝材料用作修补和抢修材料	(400)
10.3	磷酸盐骨水泥	(402)
10.3.1	引言	(402)
10.3.2	磷酸盐骨水泥的理论基础——羟基磷灰石的形成	(403)
10.3.3	磷酸四钙粉料的制备	(404)
10.3.4	磷酸钙骨水泥的制备	(404)
10.3.5	磷酸钙骨水泥与溶液反应的过程	(405)
10.3.6	磷酸钙骨水泥的性能及影响因素	(408)
10.3.7	提高 CPC 强度的措施	(411)
10.4	磷酸盐化学键结合陶瓷(CBC)材料	(412)
10.4.1	概述	(412)
10.4.2	CaO-SiO ₂ -P ₂ O ₅ (H ₂ O)体系材料的初期研究	(413)
10.4.3	磷酸盐 CBC 材料的合成	(413)
10.4.4	CaO-SiO ₂ -P ₂ O ₅ -H ₂ O 体系中 CBC 材料的原料配比	(420)
10.4.5	磷酸盐 CBC 材料的水化	(424)
10.4.6	CBC 材料的水化产物	(431)
10.4.7	CBC 材料的水化反应过程	(435)
10.4.8	磷酸盐胶凝材料在其它材料中的应用	(436)
小结		(436)
参考文献		(437)
11	水与不同的无机胶凝材料间的作用	(439)
前言		(439)
11.1	水	(439)
11.1.1	水的化学组成、化学式和物理状态	(439)
11.1.2	水的特性	(440)
11.1.3	溶液	(441)
11.1.4	水的电离和酸碱理论	(441)
11.2	水泥加水后的化学反应	(442)
11.2.1	对水泥水化的有关经典描述	(442)
11.2.2	水解反应与水化反应	(443)
11.3	水对不同胶凝材料的作用	(444)
11.3.1	水以分子状态结合在化合物中	(444)
11.3.2	水以 OH ⁻ 状态掺入原化合物的晶体结构中而成为结晶体结构的结点	(444)
11.3.3	在水解反应的同时形成新的含水的化合物	(444)
11.3.4	体系中两种及其以上化合物与水共同反应而生成新的且复杂的含水化合物	(445)
11.3.5	材料组成之间进行酸-碱反应	(446)

11.3.6 水对碱激发胶凝材料的作用	(446)
小结	(448)
参考文献	(448)
12 硅酸钙水化物和 C-S-H 凝胶	(449)
前言	(449)
12.1 水化硅酸钙的名称	(449)
12.2 含水的多元体系	(450)
12.2.1 含水体系的特点	(450)
12.2.2 $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系	(451)
12.3 C-S-H 凝胶的组成和测定方法	(454)
12.3.1 C-S-H 凝胶的特点	(454)
12.3.2 C-S-H 凝胶的化学组成的测定	(455)
12.4 C-S-H 凝胶的合成	(456)
12.4.1 C-S-H 凝胶的合成方法	(456)
12.4.2 合成条件对 C-S-H 组成的影响	(457)
12.5 C-S-H 凝胶的性状和应用	(460)
12.5.1 C-S-H 的颗粒和比表面积	(460)
12.5.2 C-S-H 凝胶的吸附性能	(460)
12.6 C-S-H 凝胶的结构	(461)
12.6.1 C-S-H 的晶体学结构——托勃莫来石/羟基硅钙石	(462)
12.6.2 富钙和富硅 C-S-H 结构模型——不同 $n(\text{CaO})/n(\text{SiO}_2)$ 比值的 C-S-H 凝胶结构	(466)
12.6.3 C-S-H 的纳米结构和介观结构模型	(468)
12.6.4 C-S-H 纳米结构模型的进展——高密度和低密度 C-S-H 的观点	(469)
12.7 凝胶的定义和特性	(471)
12.7.1 凝胶的定义	(471)
12.7.2 凝胶的分类	(471)
12.7.3 凝胶的特性	(472)
小结	(472)
参考文献	(473)
13 无机聚合物和无机胶凝材料	(475)
前言	(475)
13.1 高分子或聚合物	(475)
13.1.1 高分子的定义	(475)
13.1.2 高分子的分类	(475)
13.2 有关高分子的术语	(476)
13.2.1 单体	(476)
13.2.2 官能团	(476)
13.2.3 官能度和平均官能度	(476)

13.2.4	本体聚合	(476)
13.2.5	均聚合和共聚合	(476)
13.2.6	逐步聚合	(476)
13.2.7	连锁聚合	(477)
13.2.8	结构单元	(477)
13.2.9	高分子的相对分子质量	(477)
13.2.10	数均聚合度	(478)
13.2.11	齐聚反应和齐聚物	(479)
13.3	无机高分子或无机聚合物概述	(479)
13.3.1	无机聚合物的特点	(479)
13.3.2	可构成无机聚合物物质的元素	(480)
13.3.3	无机聚合物的分类	(481)
13.3.4	无机聚合物的命名	(482)
13.4	链状结构硅酸盐和铝硅酸盐无机聚合物	(482)
13.4.1	硅酸盐水泥在水化过程中硅酸钙的聚合反应	(482)
13.4.2	水化硅酸钙(C-S-H)的聚合	(482)
13.4.3	水泥中 C_3S 和 C_2S 水化物的聚合机理及聚合过程	(485)
13.5	三维结构无机聚合物——沸石	(487)
13.5.1	沸石名称的来源	(487)
13.5.2	沸石的结构	(487)
	小结	(490)
	参考文献	(490)
14	几种应用于胶凝材料的常用测试方法	(491)
	前言	(491)
14.1	三甲基硅烷化-气液相色谱和凝胶色谱法	(491)
14.1.1	三甲基硅烷化方法的基本原理和反应	(491)
14.1.2	方法的进展	(492)
14.1.3	三甲基硅烷化测定 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 四面体聚合态的优点和局限	(493)
14.1.4	三甲基硅烷化方法的应用	(494)
14.2	X 射线荧光分析	(497)
14.2.1	X 射线荧光概述	(497)
14.2.2	X 射线荧光用于化学分析及其特点	(499)
14.2.3	X 射线荧光分析的基本原理	(500)
14.2.4	测试试样的制备	(500)
14.2.5	与常规化学分析比较	(500)
14.3	多组分材料晶相组成的 X 射线定量分析方法	(501)
14.3.1	测定硅酸盐水泥熟料的矿物组成	(501)
14.3.2	测定混合水泥中矿渣的含量	(502)
14.3.3	测定粉煤灰的矿物组成的含量	(502)
14.4	高分辨率固体核磁共振波谱学	(502)

14.4.1	基本原理	(502)
14.4.2	固体高分辨核磁共振谱	(503)
14.4.3	固体高分辨核磁共振谱用于测定胶凝材料结构的特征	(504)
14.4.4	^{27}Al 和 ^{29}Si 的测定—— ^{29}Si 和 ^{27}Al NMR 化学位移与结构的关系	(504)
14.4.5	硅酸盐结构分析举例	(507)
14.5	玻璃体和无定形相的定量测定	(508)
14.5.1	化学萃取法	(508)
14.5.2	Rietveld 定量法测定	(510)
14.5.3	Rietveld 定量法与化学法的协同测定	(510)
14.5.4	实际应用举例——对鄂尔多斯粉煤灰的测定分析	(512)
	小结	(516)
	参考文献	(516)
	后记	(518)