



国外优秀科技著作出版专项基金资助

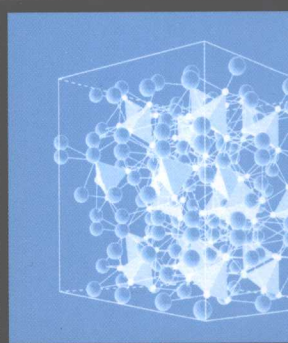
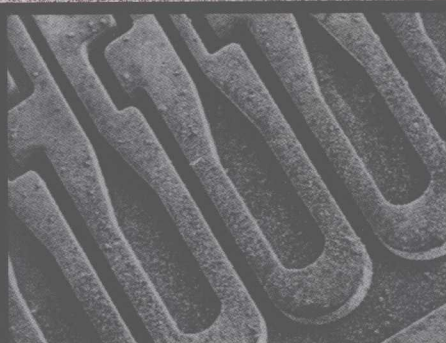
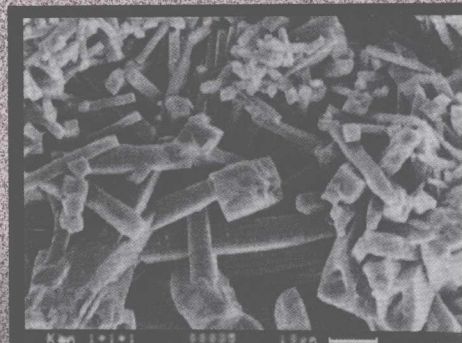
水泥的结构和性能

Structure and Performance of Cements

[英] J. 本斯迪德 P. 巴恩斯 编
J. Bensted P. Barnes

廖欣 译

【原著第二版】
Second Edition



化学工业出版社





国外优秀科技著作出版专项基金资助

水泥的结构和性能

Structure and Performance of Cements

[英] J. 本斯迪德 P. 巴恩斯 编

J. Bensted

P. Barnes

廖欣 译

[原著第二版]
Second Edition

责任编辑：李林

副主编：李林

封面设计：李林

责任编辑：李林

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区黄柏大街17号）
印刷：北京市印刷厂
装订：北京市印刷厂
开本：787mm×1092mm 1/32
字数：100千字
印张：3.5
版次：1997年10月第1版
印次：1997年10月第1次印刷



化学工业出版社

· 北京 ·

定价：20.00元

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥的结构和性能: 第2版/[英]本斯迪德 (Bensted, J.), [英]巴恩斯 (Barnes, P.) 编; 廖欣译. —北京: 化学工业出版社, 2008.8

书名原文: Structure and Performance of Cements, Second Edition

ISBN 978-7-122-02991-1

I. 水… II. ①本…②巴…③廖 III. ①水泥-结构
②水泥-性能 IV. TQ172.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 109419 号

Structure and Performance of Cements, 2nd edition/by J. Bensted and P. Barnes

ISBN 0-419-23330-X

Copyright©2002 by Spon Press. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Taylor & Francis, a member of Taylor & Francis Group.

本书中文简体字版由 Taylor & Francis, a member of Taylor & Francis Group 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分, 违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2005-4999

责任编辑: 窦臻 仇志刚

文字编辑: 胥景岩

责任校对: 李林

装帧设计: 关飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

装订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 32½ 字数 820 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 80.00 元

版权所有 违者必究

国外优秀科技著作出版专项基金

FUND FOR FOREIGN BOOKS OF
EXCELLENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY
(FFBEST)

管理委员会名单

名誉主任：成思危 全国人大常委会原副委员长
主任委员：谭竹洲 中国石油和化学工业协会名誉会长
副主任委员：李学勇 王心芳 阎三忠 曹湘洪 潘德润
朱静华 王印海 龚七一 俸培宗 魏 然

委 员（按姓氏笔画顺序排列）：

王子镐	王心芳	王印海	王光建	王行愚
申长雨	冯 霄	冯孝庭	朱家骅	朱静华
刘振武	杨晋庆	李 彬	李伯耿	李学勇
李静海	吴剑华	辛华基	汪世宏	欧阳平凯
赵学明	洪定一	俸培宗	徐 宇	徐静安
黄少烈	曹 光	曹湘洪	龚七一	盛连喜
阎三忠	葛 雄	焦 奎	曾宝强	谭竹洲
潘德润	戴猷元	魏 然		

秘 书 长：魏 然

副 秘 书 长：徐 宇

编写人员名单

Dr L. P. Aldridge
Australian Nuclear Science and Technology
Organisation
Lucas Heights Research Laboratories
PMB7 1, Menai
Bangor
New South Wales 2234
Australia

M. Attfield
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Stephen P. Bailey
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Prof Paul Barnes
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Prof John Bensted
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Prof S. Chandra

Division of Applied Concrete Chemistry
Chalmers University of Technology
Sven Hulting Gata 8
S-412 96 Gothenburg
Sweden

Dr A. K. Chatterjee
The Associated Cement Companies Ltd
Research & Consultancy Directorate
CRS Complex
L.B.S. Marg
Thane 400 604
India

Dr T. M. Chrisp
Department of Civil and Offshore Engineering
Heriot-Watt University
Riccarton
Edinburgh, EH14 4AS
UK

Dr Sally L. Colston
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Dr D. Damidot
Lafarge Central Laboratory
95 rue du Montmurier
BO 15, 38291
Saint Quentin Fallavier
France

Dr Wolfgang Ehrfeld
IMM Institute of Microtechnology
GmbH
Carl-Zeiss-Strasse 18-20
D-55129 Mainz-Hechsteim
Germany

Dr C. Famy
Lafarge
Laboratoire Central de Recherche
95 Rue du Montmurier - B.P. 15 38291

St Quentin Fallavier Cedex
France

Dr Herbert Freimuth
IMM Institute of Microtechnology
GmbH
Carl-Zeiss-Strasse 18-20
D-55129 Mainz-Hechstein
Germany

Dr E. M. Gartner
Lafarge
Laboratoire Central de Recherche
95 Rue du Montmurier - B.P. 15 38291
St Quentin Fallavier Cedex
France

Prof Christopher Hall
Division of Engineering and Centre for
Materials Science & Engineering
The University of Edinburgh
King's Buildings
Edinburgh EH9 3JL
UK

Dr I. Hinczak
Cementech Pty. Ltd.
PO Box 362
Liverpool
New South Wales 2170
Australia

Dr D. Hobbs
British Cement Association
Century House
Telford Avenue
Crowthorne
Berkshire, RG11 6YS
UK

Dr S. D. M. Jacques
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Dr Hans J. Jakobsen
Instrument Centre for Solid-State
NMR Spectroscopy
Department of Chemistry
University of Aarhus
DK-8000 Aarhus C
Denmark

Dr I. Jawed
Transportation Research Board
National Research Council
Washington D.C. 20418
USA

Dr Tom R. Jones
New Materials Group
Imerys Minerals Ltd
John Keay House
St Austell
Cornwall, PL25 4DJ
UK

Dr A. C. Jupe
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Prof H. Justnes
SINTEF
Civil & Environmental Engineering Group
Cement & Concrete Group
N-7034 Trondheim
Norway

Prof Wiesław Kurdowski
Institute of Building Materials
Academy of Mining and Metallurgy
Al. Mickiewicza
Pawilion A3
Krakow
Poland

Dr E. Lang
Abteilungsleiter
Forschungsgemeinschaft
Eisenhuetenschlacken EV
Forschungsinstitut
Bliersheimer Str 62
D-47229 Duisberg
Germany

P. Livesey
Castle Cement Ribblesdale Ltd
Clitheroe
Lancashire BB7 4QF
UK

Dr Karen Luke
Now at:
Halliburton Energy Services
Duncan Technology Center

2600 South 2nd Street
Duncan, Oklahoma 73536
USA

Dr S. Lunt
Thermo VG Scientific
Imberhorne Lane
West Sussex, RH19 1UB
UK

Prof F. Massazza
Laboratorio Centrale
Italcementi-SCF S.p.A.
Via Gabriele Camozzi 124
I-24100 Bergamo
Italy

Dr C. E. Matulis
CSIRO Coal and Energy Technology Division
Lucas Heights Research Laboratories
PMB7
Bangor
New South Wales 2234
Australia

Prof W. J. McCarter
Department of Civil and Offshore Engineering
Heriot-Watt University
Riccarton
Edinburgh, EH14 4AS
UK

S. Morgan
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

R. Pisula
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Dr David O'Connor
Industrial Materials Group
Department of Crystallography
Birkbeck College
University of London
Malet Street
London, WC1E 7HX
UK

Prof Herbert Pöllman
Institut für Geologische Wissenschaften und
Geiseltalmuseum
Martin Luther Universität
D-06099 Halle (Saale)
Germany

Dr I. Richardson
Civil Engineering Materials Unit
School of Civil Engineering
University of Leeds
Leeds, LS2 9JT
UK

Prof K. L. Scrivener
Lafarge
Laboratoire Central de Recherche
95 Rue du Montmurier – B.P. 15 38291
St Quentin Fallavier Cedex
France

Dr Jørgen Skibsted
Instrument Centre for Solid-State
NMR Spectroscopy
Department of Chemistry
University of Aarhus
DK-8000 Aarhus C
Denmark

Dr G. Starrs
Department of Civil and Offshore Engineering
Heriot-Watt University
Riccarton
Edinburgh, EH14 4AS
UK

Prof H. F. W. Taylor
Maundry Bank
Lake Road
Coniston, Cumbria LA21 8EW
UK

Dr J. C. Taylor
CSIRO Coal and Energy Technology Division
Lucas Heights Research Laboratories
PMB7
Bangor
New South Wales 2234
Australia

Prof J. F. Young
Center for Cement Composite Materials
205 Ceramics Building
105 S. Goodwin Avenue
University of Illinois at Champaign-Urbana
Urbana, Illinois 61801
USA
Now at:
R.D.2 Katikati
New Zealand

译者的话

前言

《水泥的结构和性能》(第二版)(Structure and Performance of Cement, Second Edition)的中译本即将付梓开印,国内读者不久就可了解到海外这部颇负盛名的水泥科学专著的全部精华了。

这部著作由 J. Bensted 和 P. Barnes 编著,42 位撰稿人受到邀约,他们分别来自欧、美、亚、大洋四大洲的 12 个国家的 24 个不同的学术机构,新老结合,以 22 章的篇幅,展开了对近二十年来世界水泥科学新成果与新进展的描述。丰富的参考资料,鲜明的学术观点,不拘一格的论述方式,以及风格各异的语言文字,是这部论著引人入胜的一大特点。比较 20 世纪 80 年代初由 P. Barnes 编著的原作第一版(中译本译者吴兆琦、汪瑞芬,1991,中国建筑工业出版社),第二版内容更侧重水泥掺和料、水泥的新型测试方法以及由此带来的对水泥本征结构和水化历程的更客观的认识,同时还加大了对水泥生产、水泥品种以及水泥制品的可持续性发展的关注,而且又专辟一章(17 章)介绍了水泥基复合材料微型制品的前瞻性研究,预示了水泥材料发展前景中那个也许并不遥远的极富想象力的领域。由此可见,传统水泥的概念正在被突破,材料复合的趋势越来越扩大,对水泥的结构、构成和性能,专家学者和工程技术人员无不正在经历一个从观念到行为的新的认识过程。

在翻译这部著作的过程中,译者面临的一大难点,与其说是语言上的,莫如说是专业上的。虽然,置身水泥混凝土专业近半生,聊知其一二,然究属皮毛。而以一己之鄙陋,转对四海俊彦之宏富,岂“应接不暇”一语可喻之!于是,开译之后,即心怀虔心学习之念,一步一步跋涉在时现榛莽和陷阱的未知或准未知世界中,力求呈献给读者的是一部信实可靠的译作。而在此书背后,更多的是来自各方面的支持和帮助:出版社的信赖,编辑的指导与校对,还有家人默默的付出和关心。尤其值得感谢的是王培铭教授对书稿提出了很多宝贵的意见,并对第 22 章全文作了改定,倾注了很大的关切之情!

而语言上的困难之一,则在于如何处理书中存在的不少尚未有通用译名的专业词汇。为避免生造和杜撰,本书遵循三条处理原则:偶尔出现者,直接用原文,或另加注;平常出现者,试用其音译形式,后接括号中原文;经常出现者,则试用其音译或意译形式,首次出现时,后接括号中原文,再次出现时则免之。

常言道“文章千古事”,译作又岂能自外。译者唯愿能得到深中肯綮的批评指点,一以提高自身的才学识,一以追求翻译的信达雅。如果读者觉得这部译作不但基本体现了原著技术上的参考价值,而且还在阅读上另有一番值得咀嚼的滋味,那么,这对于译者将是一种莫大的鼓励和慰藉。

廖欣

2008 年 9 月

于同济大学

前言

《水泥的结构和性能》于1983年首版发行。在过去的18年里，虽然发生了很大的变化，但是，读者出于对这样一本书的需求而提出的多得惊人的种种理由，时至今日却依然成立，这些理由包括：

各类水泥构成世界上第二大产成品（按重量）。

大多数人的生活继续依赖于各类水泥的性能。

由水泥生产和销售带来的收益，其中，仅很小部分用于研究各类水泥的性能和应用，包括各种新的发展。

然而，尽管在多数水泥的生产中，基本的初始原料并未有非常大的改变，但事实上，研究的主题却已有了明显的推进。与过去相比，今天水泥的应用，其量更大，范围更广。现有水泥的各类品种（含或不含外掺料/外加剂等内掺物者）其数目大增。各种检测技术都已更新，我们对许多不同类型水泥的性能要求及其应用的理解也已有所改进。

尤其是，生料浆中水分的排出，牵涉到很高的能耗开发，因此，波特兰水泥的湿法生产工序很快便走向衰落。目前，一些现代装置能对含水量很大的软质生料，如白垩和黏土，运用快速分解炉，施行环境友好性更强的干法生产工艺。同样，原材料方面，大量环境友好性材料的应用，还节省了煤炭、石油和天然气之类的传统燃料。而这些原材料，在水泥生产中原先被视为各种工业废弃物。如今，这类令人耳目一新的工艺过程可以使这些以往被倾倒掉的废弃物，通过在水泥窑中的煅烧，以常规运行的方式，而被安全地处理一清。

与此相辅相成的是对水泥的填充。这是指一些工业副产品，例如粉化燃料灰渣（pfa）、磨细粒化高炉矿渣（ggbfs）以及冷凝硅粉（csf或“微细二氧化硅”）可以部分取代各类水泥中的波特兰水泥熟料。这类取代所带来的效益，在成品水泥被应用于灌浆体、砂浆体以及混凝土体的范围中是非常显著的。

与第一版相同的是，这第二版仍然是为那些工作在水泥工业和所有建筑业方面的科技工作者和工程师们，以及大专院校里从事研究和创新工作的专业人员而写的，他们需要这些自1983年以来有所发展的水泥技术各关键领域里的最新知识。而此书并无意成为一册全范围涉及各类水泥及其应用的标准教科书。拟取而代之的却是一部关注热点的论著，它阐述了在过去的17个年头里所发生的全球性进展，它的问世得力于全体编著者之间的多国合作。现代水泥生产方法，水泥填充材料的主要类型和重要的检测技术，以及在各现行重要方法上的进展，是其着重强调以飨各国读者的三个方面，其中前两方面又属本书的新增内容。本书的更新，旨在反映当今水泥学界有关生产和研究两方面的状况，而正如上述，却不打算成为一卷详尽的专题论文集。不然，其卷帙浩繁，断难应付。

全书内容的编排次序反映了已有进展的演进过程，并被粗略地分成三大类：

基本材料和方法——水泥生产，水泥相组成，波特兰水泥的水化，铝酸钙水泥，掺外加剂的混凝土的性能，特种水泥，各种反应/腐蚀机理。

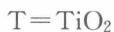
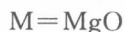
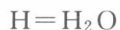
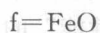
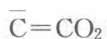
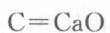
水泥充填材料——水淬粒化高炉矿渣（ggbfs），天然火山灰质材，粉化性燃料灰（pfa），偏高岭土以及冷凝硅灰（csf）——都已在质量和应用上取得了可观的发展；还有许多其他的填充材料并未包罗在此，对它们还需要做更多的基础性工作。

重要的检测技术既包括成熟的 X 射线衍射和电子显微镜技术，它们在过去的 17 年里取得了很大发展，也包括那些被引用年代较近的方法 [电子阻抗，核磁共振 (NMR)，基于同步回旋加速器辐射的技术等]，这些方法与水泥基的各组成的微观结构一起，需要得到更大读者的关注。而一些较传统的技术则未予列入，原因是它们近年来的用途似乎相当少。

作为编者，我们努力在来自世界许多不同国家的各位著者之间去取得一种广泛的平衡。其中有许多著者，他们国际知名。而由其领域中尚属新人的其他著者加入到他们之中，将有助于形成既是学术上的，又是通行于国际范围的概括性更强的观点。在一本冠名为“水泥的结构和性能”的书中，能成功地汇集起这样一支世界范围内杰出学者的团队，我们为此深感荣幸！

代 号

本书通篇假定的水泥化学的标准代号为：



C-S-H 表示一种可变的组成

AFm 表示一种其结构范围为单硫型的固溶体（即从单硫型硫铝酸钙水化物到单硫型硫铁酸钙水化物）。

AFt 表示一种其结构范围为钙矾石类型的固溶体（即从三硫型硫铝酸钙水化物到三硫型硫铁酸钙水化物）。

目 录

第 1 章 水泥生产

1

Wiestaw Kurdowski

1.1 引言	1
1.2 原料的制备	2
1.3 原料的破碎	3
1.4 原料的粉磨	3
1.5 选粉机	4
1.6 均化	5
1.7 熟料的烧成	7
1.8 冷却机	13
1.9 水泥的粉磨	15
1.10 自动化	17
1.11 环境保护	18
1.12 致谢	20
1.13 参考文献	21

第 2 章 水泥的相组成

23

Herbert Pöllman

2.1 引言	23
2.2 单一氧化物、各组成物及其在水泥化学方面的潜在作用	25
2.3 硅酸钙 (C_xS_y)	27
2.4 硅酸铝、铝硅酸钙的性能及在水泥中的现象	31
2.5 铝酸钙	31
2.6 铁铝酸钙	33
2.7 微量成分的影响 (单独的或联合的)——碱、 MgO 、 SO_3 、磷酸盐、 氟化物、硼酸盐、氯、钛及重金属	34
2.8 增多的 MgO 含量	35
2.9 含硫酸盐各相	35
2.10 含氯各相	36
2.11 水泥中的磷酸盐	37
2.12 水泥中的重金属	38
2.13 作为助熔剂的元素 (硼和氟)	39
2.14 Rietveld 方法对胶凝材料的定量	39
2.15 致谢	40

2. 16 参考文献	40
------------------	----

第 3 章 波特兰水泥的水化 45

E. M. Gartner, J. F. Young, D. A. Damidot, I. Jawed

3. 1 引言	45
3. 2 硅酸三钙的水化	45
3. 3 硅酸二钙的水化	63
3. 4 铝酸三钙的水化	66
3. 5 铁酸盐相的水化	71
3. 6 波特兰水泥的水化	73
3. 7 硬化浆体的微观结构	83
3. 8 附录——术语编汇	89
3. 9 参考文献	90

第 4 章 铝酸钙水泥 94

John Bensted

4. 1 引言	94
4. 2 生产	95
4. 3 相组成	97
4. 4 物理性能	97
4. 5 水化	98
4. 6 外加剂	103
4. 7 与其他材料的混合	103
4. 8 低温应用	105
4. 9 高温应用	106
4. 10 疏水性的应用	106
4. 11 耐久性	107
4. 12 CAC 的安全使用	109
4. 13 英国 (UK) 混凝土协会关于 CACs 的报告	112
4. 14 CAC 和各种结构	113
4. 15 关于抗硫酸盐性的进一步评述	113
4. 16 评价 CAC 转晶的热分析方法	114
4. 17 进一步的评论	115
4. 18 结语	116
4. 19 谢辞	116
4. 20 参考文献	117

第 5 章 含矿物和化学外加剂的混凝土性能 119

S. Chandra

5. 1 引言	119
---------------	-----

5.2 胶结料	120
5.3 水泥性质与混凝土的相关关系	121
5.4 胶凝性材料的水化	122
5.5 超塑化剂	128
5.6 界面过渡区 (ITZ)	132
5.7 耐久性能	139
5.8 工程性质	143
5.9 制定长龄期试验方法的需要	152
5.10 总结性评点	152
5.11 谢辞	153
5.12 参考文献	153

第 6 章 特种水泥 158

A. K. Chatterjee

6.1 引言	158
6.2 回顾及以往的定义	158
6.3 特种水泥发展的动力	160
6.4 耐久性潜能提高的建筑工程用水泥	160
6.5 工程性质改善的水泥配方	175
6.6 有益环境的胶凝性产品	185
6.7 能量和水泥的同时产出	191
6.8 高节能性水泥	192
6.9 各色水硬性和化学性水泥	196
6.10 结语	196
6.11 参考文献	197

第 7 章 油井水泥的发展 201

John Bensted

7.1 引言	201
7.2 ISO 的级别和类型	201
7.3 相关的 ISO 标准	203
7.4 ISO 的固井标准简介	203
7.5 不同条件的影响	204
7.6 G 级和 H 级水泥的其他一些有趣现象	205
7.7 恶劣条件下的固井	206
7.8 用于一些特定井型的水泥	207
7.9 标准 G 级和 H 级水泥之外的选择	209
7.10 结语	213
7.11 谢辞	213
7.12 参考文献	213

第 8 章 水泥中的石膏 215

John Bensted

8.1 引言	215
8.2 硫酸钙-水系统	215
8.3 石膏在波特兰水泥基系统调凝方面的作用	217
8.4 石膏的品质	219
8.5 副产品石膏	220
8.6 闪凝	221
8.7 假凝	221
8.8 气凝	222
8.9 波特兰水泥-铝酸钙水泥复合物	223
8.10 硫铝酸钙水泥	223
8.11 结语	224
8.12 参考文献	225

第 9 章 混凝土中的碱-硅反应 (ASR) 226

D. H. Hobbs

9.1 引言	226
9.2 反应过程	226
9.3 膨胀机理	227
9.4 受影响的混凝土	227
9.5 由 ASR 引发的可见裂缝和内部裂缝	228
9.6 劣性行为	229
9.7 碱的来源	231
9.8 活性氧化硅	232
9.9 对作为可见裂缝起因的 ASR 的诊断	232
9.10 影响膨胀的因素	233
9.11 总评	239
9.12 参考文献	239

第 10 章 钙矾石延迟生成 (DEF) 241

C. Fany, K. L. Scrivener, H.F.W.Taylor

10.1 引言	241
10.2 现场混凝土中的 DEF	241
10.3 受 DEF 损害的材料粗微观结构	242
10.4 与 DEF 相关的宏观性能	242
10.5 水泥成分的作用	243
10.6 70~100℃ 的水泥水化	243
10.7 冷却至环境温度之后的化学变化	245
10.8 高温下养护的物料中净浆的微观结构	246

10.9	膨胀	247
10.10	结语	251
10.11	谢辞	251
10.12	参考文献	251

第 11 章 胶凝系统中的氯化物侵蚀 254

Wiestaw Kurdowski

11.1	引言	254
11.2	水泥浆体中氯离子的扩散	254
11.3	水泥浆体中氯离子的结合能	256
11.4	水泥浆体中氯离子扩散的影响因素	257
11.5	氯化物介质中水泥浆体破坏的机理	258
11.6	混凝土中氯化物引起的钢筋腐蚀	265
11.7	参考文献	266

第 12 章 高炉水泥 268

E. Lang

12.1	历史	268
12.2	矿渣的成分和活性	269
12.3	研磨性	271
12.4	高炉水泥的特性	271
12.5	耐久性	276
12.6	参考文献	280

第 13 章 天然火山灰的性能和应用 282

F. Massazza

13.1	引言	282
13.2	天然火山灰的分类	282
13.3	火山灰-石灰混合物	285
13.4	含火山灰的水泥	292
13.5	结语	302
13.6	参考文献	302

第 14 章 作为水泥补充料的粉化性燃料灰 (PFA) 306

Karen Luke

14.1	引言	306
14.2	PFA 的形成	307
14.3	PFA 的特性	308
14.4	PFA 对被补充系统性能的作用	311
14.5	参考文献	320

第 15 章 偏高岭土：混凝土的火山灰质掺和料 322

Tom R. Jones

15.1 引言	322
15.2 偏高岭土 (mk) 的结构	323
15.3 mK 的火山灰反应	324
15.4 mK 对 PC 混凝土基本性能的影响	327
15.5 mK 对未经养护混凝土性能的影响	330
15.6 mK 对硬化混凝土性能的影响	333
15.7 mK 混凝土的耐久性	337
15.8 工程混凝土中的偏高岭土	341
15.9 谢辞	342
15.10 参考文献	342

第 16 章 作为水泥的一种补充料的冷凝硅粉 346

H. Justnes

16.1 引言	346
16.2 物理作用	346
16.3 化学作用	348
16.4 结语	353
16.5 参考文献	354

第 17 章 水泥基复合物的微结构体 355

Stephen P. Bailey, David O'Connor, Sally L. Colston, Paul Barnes, Herbert Freimuth, Wolfgang Ehrfeld

17.1 引言	355
17.2 水泥复合物的发展	357
17.3 微型模具的设计	358
17.4 模具的制作	358
17.5 MSCCD 的应用	360
17.6 MSCCD 的制作	361
17.7 MSCCD 面貌的品质	362
17.8 结语	364
17.9 谢辞	364
17.10 参考文献	365

第 18 章 水泥的 X 射线粉末衍射分析 366

J. C. Taylor, L. P. Aldridge, C. E. Matulis, I. Hinczak

18.1 引言	366
18.2 水泥中的 X 射线衍射	367
18.3 水泥的定性分析	368
18.4 X 射线衍射方法	368