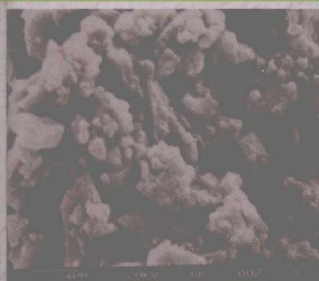




Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

碱-激发水泥和混凝土

ALKALI-ACTIVATED CEMENTS AND CONCRETES



[加] 史才军 (Caijun Shi) 著

[乌克兰] 巴维尔·克利文科 (P.V.Krivenko)

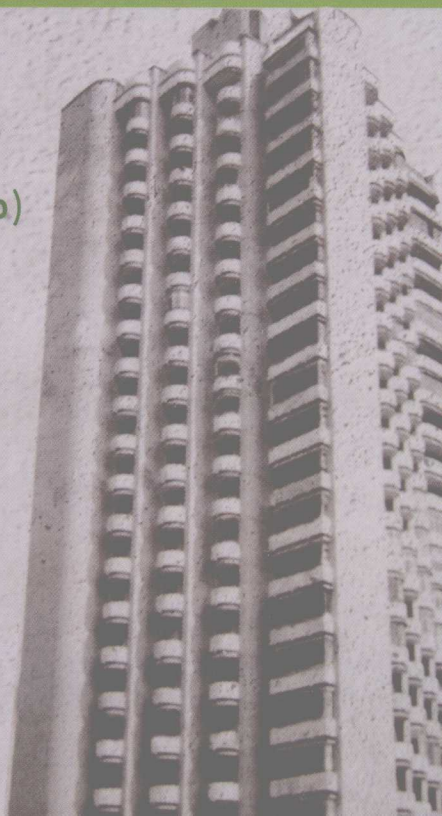
[美] 黛拉·罗伊 (Della Roy)

[加] 史才军 郑克仁 编译

杨南如 审校



化学工业出版社

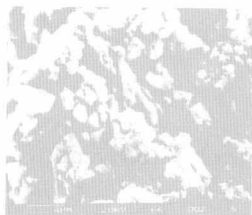




Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

碱-激发水泥和混凝土

ALKALI-ACTIVATED CEMENTS AND CONCRETES



[加] 史才军 (Caijun Shi) 著

[乌克兰] 巴维尔·克利文科 (P.V. Krivenko)

[美] 黛拉·罗伊 (Della Roy)

[加] 史才军 郑克仁 编译

杨南如 审校



化学工业出版社

· 北京 ·

本书原版为第一部关于碱-激发水泥与混凝土研究进展的评述及总结的英文专著,专著的基本主题涵盖以下内容:碱-激发水泥及混凝土的原材料及其特性;碱-激发矿渣水泥的水化进程及微观结构的形成;碱-激发水泥与混凝土的力学性能、耐久性;其他碱-激发胶凝材料体系及应用;碱-激发水泥与混凝土的相关标准。本书的作者均在碱-激发水泥与混凝土的研究领域取得了令人瞩目的研究成就,相信这些研究成果将吸引相关领域专业人员及学者的极大关注及兴趣,并促使碱-激发水泥和混凝土成为更耐久、更环保的材料。

本书可以用作土木工程材料高级课程的教科书或学生、工程设计人员和研发科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

碱-激发水泥和混凝土/[加]史才军(Shi, C. J.), [乌克兰]克利文科(Krivenko, P. V.), [美]罗伊(Roy, D.)著;
[加]史才军, 郑克仁编译. —北京:化学工业出版社,
2008. 7

书名原文: Alkali-Activated Cements and Concretes
ISBN 978-7-122-03125-9

I. 碱… II. ①史…②克…③罗…④史…⑤郑… III. ①水
泥-研究②混凝土-研究 IV. TQ172 TU528

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第086159号

Alkali-Activated Cements and Concretes/by Caijun Shi, Pavel V. Krivenko,
Della Roy

ISBN 0-415-70004-3

Copyright© 2006 by Taylor & Francis

All rights reserved.

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

本书中文简体字版由 Taylor & Francis 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。

本书封面贴有标签,未贴标签者视为非法图书。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2008-0563

责任编辑: 窦 臻
责任校对: 吴 静

文字编辑: 胥景岩
装帧设计: 韩 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: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张21½ 字数364千字

2008年9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: 58.00 元

版权所有 违者必究

著者名单

史才军 (Caijun Shi)

Professor of the School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, China, CJS Technology Inc., Burlington, Ontario, Canada

巴维尔·克利文科 (Pavel V. Krivenko)

Professor of the Kiev National University of Civil Engineering and Architecture, Kiev, Ukraine

黛拉·罗伊 (Della Roy)

*Professor Emerita of Materials Science, Materials Research Laboratory
The Pennsylvania State University, University Park, USA*

译者前言

本书是由我和郑克仁博士根据由我主写的英文版原著，在保留原意但又根据中文表达的习惯方式编译而成的。南京工业大学的著名水泥化学家杨南如教授对全书进行了细心的审校。书中的地名和机构名已译成中文，但所有的英文人名均没译成中文。

感谢下列人员在本书编译过程中提供的帮助：中南大学的何富强、元强、邹庆炎，湖南大学的黄宏及加拿大的吴延中。另外，也感谢化学工业出版社对本书出版的支持。

史才军

湖南大学教授

2008年4月28日

致谢

我们由衷地感谢下列人员在本书编写过程中的大力帮助：重庆大学的陈晓阳和袁江女士帮助重制本书的插图，本书第一作者史才军博士的女儿史乔亿 (Joy Shi) 帮助复制和修改了许多本书里的插图，本书第二作者 Pavel Krivenko 博士的同事 Elena Kavalerova 博士帮助检索了俄文资料并将它们译成英文，重庆大学的钱觉时教授帮助收集了相关的中文资料，美国 W. R. Grace 公司的 Chuck Cornman 博士评阅了本书的第 2 章，美国波特兰水泥协会的 Beatrix Kerkhoff 女士评阅了本书的第 3 章，英国利兹大学 (Leeds University) 的 Adrian Brough 博士评阅了本书的第 4 章和第 5 章，澳大利亚 Maunsell 公司的 Frank Collin 博士评阅了本书的第 6 章和第 7 章，美国波特兰水泥协会的 Steve Kosmatka 先生评阅了本书的第 8 章和第 13 章，西班牙 Eduardo Torroja Institute (CSIC) 的 Ana Fernandez-Jimenez 博士评阅了本书的第 9~11 章，波兰 University of Mining and Metallurgy 的 Jan Deja 博士评阅了本书的第 12 章和第 13 章。

我们也感谢下列个人和单位授权使用了书中的一些插图：波兰的 Jan Deja 博士，西班牙的 Ana Fernandez-Jimenez 博士，美国的蒋伟民博士，芬兰的 Technical Research Centre of Finland (VTT)，英国的 Thomas Telford Ltd、John Wiley and Sons，美国混凝土协会 (American Concrete Institute)，荷兰的 Elsevier Science，英国的 Chapman and Hall Ltd，南非水泥混凝土协会 (Cement and Concrete Institute)，印度国家水泥和建筑材料研究院 (National Council for Cement and Building Materials)。

Caijun Shi (史才军)

Pavel Krivenko

Della M. Roy

目录

第 1 章 导言	1
1.1 碱-激发水泥和混凝土的发展史	1
1.2 应用及规范	2
1.3 碱-激发水泥和混凝土的展望	3
1.4 本书的结构	4
第 2 章 碱激发剂	5
2.1 引言	5
2.2 苛性钠	5
2.2.1 引言	5
2.2.2 苛性钠的特性	6
2.2.3 苛性钠在水泥混凝土中的应用	7
2.3 碳酸钠	8
2.3.1 引言	8
2.3.2 碳酸钠的来源	9
2.3.3 碳酸钠的特性	9
2.3.4 碳酸钠在水泥混凝土生产中的应用	12
2.4 硅酸钠	13
2.4.1 引言	13
2.4.2 硅酸钠的生产	13
2.4.3 固体硅酸钠的结构和特性	14
2.4.4 液体硅酸钠的结构和特性	17

2.4.5 硅酸钠在水泥和混凝土生产中的应用	22
2.5 硫酸钠	22
2.5.1 引言	22
2.5.2 硫酸钠的来源	22
2.5.3 $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 相图	23
2.5.4 硫酸钠在水泥和混凝土生产中的应用	24
2.6 小结	24
第3章 胶凝组分	25
3.1 引言	25
3.2 高炉矿渣	25
3.2.1 高炉矿渣的产生	25
3.2.2 高炉矿渣的化学组成	26
3.2.3 高炉矿渣的冷却	27
3.2.4 玻璃体高炉矿渣的结构	29
3.2.5 水硬活性的测量	31
3.2.6 影响粒化高炉矿渣水硬活性的因素	32
3.3 粒化磷渣	36
3.3.1 粒化磷渣的产生	36
3.3.2 化学和矿物组成	36
3.3.3 磷渣的水硬活性	37
3.4 钢渣	38
3.4.1 钢渣的产生	38
3.4.2 钢渣的冷却	39
3.4.3 钢渣的化学组成	40
3.4.4 钢渣的矿物组成	40
3.4.5 钢渣的胶凝性能	42
3.5 火山灰	44
3.5.1 火山灰材料的定义	44
3.5.2 火山灰材料的分类	44
3.5.3 火山灰材料的化学组成	45
3.5.4 火山灰材料火山灰活性的评估	45
3.5.5 火山玻璃体材料	46
3.5.6 沸石	48

3.5.7	粉煤灰	49
3.5.8	偏高岭土	51
3.5.9	凝聚硅灰	51
3.5.10	有色金属渣	52
3.5.11	火山灰材料在碱-激发水泥和混凝土中的应用	53
3.6	小结	54
第4章	碱-激发矿渣水泥的水化与微观结构	55
4.1	引言	55
4.2	水化热	55
4.2.1	硅酸盐水泥	55
4.2.2	激发剂种类对水化热的影响	56
4.2.3	激发剂掺量对水化热的影响	59
4.2.4	水-矿渣比对水化热的影响	61
4.2.5	激发剂溶液初始 pH 值的影响	62
4.2.6	温度的影响	63
4.2.7	碱-矿渣水泥水化的表观活化能	64
4.3	碱-激发矿渣水泥中矿渣的反应程度	65
4.3.1	选择性溶剂溶解法	65
4.3.2	重结晶方法	66
4.4	非蒸发水量	66
4.5	硅酸盐的聚合	67
4.6	水化动力学	68
4.7	水化产物	70
4.7.1	概述	70
4.7.2	矿渣化学成分对水化产物的影响	70
4.7.3	化学激发剂对水化产物的影响	71
4.7.4	压蒸养护条件下的水化产物	73
4.8	微观结构的形成	74
4.8.1	常压下的微观结构	74
4.8.2	压蒸养护碱-矿渣水泥的微观结构	77
4.8.3	微区成分分析	79
4.9	孔溶液化学组成	82
4.10	碱-激发矿渣水泥浆体中的 C-S-H	84

4.11 激发剂的选择性	86
4.12 碱-激发矿渣水泥浆体中碱的存在状态	86
4.12.1 引言	86
4.12.2 碱与 C-S-H 之间的相互作用	87
4.12.3 C-S-H 的溶解度及碱离子的溶析	88
4.13 小结	90
第 5 章 碱-激发矿渣水泥净浆和砂浆的特性	91
5.1 简介	91
5.2 工作性	91
5.2.1 简介	91
5.2.2 激发剂的影响	91
5.2.3 化学外加剂的影响	94
5.2.4 石灰掺量的影响	95
5.2.5 矿物掺合料的影响	97
5.2.6 激发剂加入时间的影响	97
5.3 凝结时间	97
5.3.1 矿渣对凝结时间的影响	98
5.3.2 激发剂及掺量的影响	99
5.3.3 复合激发剂	100
5.3.4 外加剂的影响	101
5.4 强度	102
5.4.1 引言	102
5.4.2 矿渣和激发剂的特性	102
5.4.3 矿渣的细度	106
5.4.4 激发剂的掺量	106
5.4.5 激发剂加入的时间	108
5.4.6 其他掺合料	109
5.4.7 水/矿渣比	109
5.4.8 养护温度	110
5.4.9 成型压力	112
5.5 收缩	114
5.5.1 自收缩	114
5.5.2 干燥收缩	115

5.6 孔隙	116
5.6.1 引言	116
5.6.2 孔隙的测量	117
5.6.3 碱-激发矿渣水泥浆体中的孔	119
5.6.4 碱-激发矿渣水泥砂浆中的孔结构	120
5.6.5 压蒸养护条件下水泥净浆的孔结构	120
5.7 孔隙率和强度之间的关系	122
5.8 碱-激发矿渣水泥砂浆的孔隙率和抗压强度之间的相互关系	124
5.9 小结	125
第6章 碱-激发矿渣水泥混凝土的性能	127
6.1 引言	127
6.2 新拌碱-激发矿渣水泥混凝土的工作性	127
6.2.1 引言	127
6.2.2 激发剂对坍落度以及坍落度损失的影响	128
6.2.3 超细矿物掺合料的影响	129
6.2.4 其他影响因素	130
6.3 引气剂	130
6.3.1 引言	130
6.3.2 引气剂和碱-激发矿渣水泥的兼容性	130
6.4 强度	131
6.4.1 引言	131
6.4.2 骨料的影响	131
6.4.3 养护条件的影响	132
6.4.4 超细掺合料的影响	133
6.5 应力-应变关系和弹性模量	134
6.6 碱-激发矿渣水泥混凝土的断裂	136
6.7 界面	136
6.7.1 引言	136
6.7.2 碱-激发矿渣水泥砂浆和混凝土中界面过渡区的演变	137
6.7.3 显微硬度	138
6.7.4 碱-激发矿渣水泥浆体与骨料的黏结	140
6.8 收缩	142
6.8.1 引言	142

6.8.2	激发剂的影响	143
6.8.3	骨料的影响	144
6.8.4	养护条件的影响	146
6.8.5	收缩机理	146
6.9	开裂趋势	146
6.10	徐变	148
6.10.1	引言	148
6.10.2	碱-激发矿渣水泥混凝土的徐变	149
6.10.3	控制混凝土徐变的因素	151
6.11	小结	151
第7章 碱-激发水泥和混凝土的耐久性		153
7.1	引言	153
7.2	水渗透性和氯离子扩散性	153
7.2.1	水渗透性	153
7.2.2	氯离子的迁移和结合	155
7.3	抗冻性	158
7.4	抗酸侵蚀	161
7.5	抗氯盐侵蚀	165
7.6	抗碱侵蚀	167
7.7	抗硫酸盐侵蚀	167
7.8	抗液体有机物的侵蚀性能	171
7.9	碱骨料反应	172
7.10	碳化	177
7.11	钢筋锈蚀	181
7.12	防火性	183
7.13	抗磨性	186
7.14	抗干湿循环性	186
7.15	小结	188
第8章 碱-激发矿渣水泥混凝土的配合比设计		189
8.1	简介	189
8.2	经验配合比设计法	189
8.3	实验配合比设计法	193

8.4 总结	198
第9章 碱-激发掺混合材的硅酸盐水泥	199
9.1 引言	199
9.2 矿渣硅酸盐水泥	199
9.2.1 概述	199
9.2.2 水泥浆的流变性	199
9.2.3 凝结时间	200
9.2.4 强度发展	201
9.2.5 硅氧四面体阴离子的分布	202
9.3 磷渣硅酸盐水泥	203
9.3.1 概述	203
9.3.2 凝结时间	203
9.3.3 强度发展	203
9.3.4 水化动力学	206
9.3.5 水化产物与微观结构	206
9.4 硅粉硅酸盐水泥	206
9.5 钢渣矿渣硅酸盐水泥	208
9.5.1 概述	208
9.5.2 凝结时间	208
9.5.3 强度发展	208
9.6 钢渣-粉煤灰硅酸盐水泥	209
9.7 粉煤灰硅酸盐水泥	210
9.8 多组分复合水泥	211
9.9 总结	213
第10章 碱-激发石灰-火山灰水泥	214
10.1 引言	214
10.2 石灰-天然火山灰水泥的激发	214
10.2.1 激发剂种类和掺量对石灰-天然火山灰水泥的影响	214
10.2.2 石灰-火山灰水泥在不同温度下的激发	215
10.2.3 Na_2SO_4 对石灰-火山灰水泥火山灰反应的影响	219
10.2.4 天然火山灰的细度对石灰-火山灰水泥强度的影响	221
10.2.5 显微结构	222

10.2.6	Na_2SO_4 存在时的火山灰反应机理	224
10.3	石灰-粉煤灰水泥	226
10.3.1	简介	226
10.3.2	凝结时间	227
10.3.3	抗压强度	227
10.3.4	激发剂对火山灰反应速率以及显微结构的影响	228
10.3.5	石灰-粉煤灰水泥的激发机理	231
10.4	石灰-偏高岭土水泥	231
10.4.1	简介	231
10.4.2	水化热	231
10.4.3	凝结时间	233
10.4.4	强度发展	233
10.4.5	水化产物和显微结构	233
10.4.6	激发机理	236
10.5	石灰-高炉矿渣水泥	236
10.5.1	概述	236
10.5.2	强度发展	236
10.5.3	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的反应率	237
10.5.4	硬化石灰-矿渣浆体的水化产物和显微结构	237
10.5.5	石灰-矿渣水泥的激发机理	238
10.6	总结	239
第 11 章	其他种类的碱-激发水泥	240
11.1	简介	240
11.2	碱-激发偏高岭土或碱-激发粉煤灰水泥	240
11.2.1	引言	240
11.2.2	碱-激发偏高岭土或碱-激发粉煤灰水泥的水化	241
11.2.3	微观结构的发展和产物	242
11.2.4	碱-激发偏高岭土或碱-激发粉煤灰水泥的强度	244
11.2.5	耐久性	247
11.3	碱-激发高炉矿渣-粉煤灰水泥	248
11.3.1	引言	248
11.3.2	水化热	249
11.3.3	凝结时间	250

11.3.4 强度发展	250
11.4 碱-激发高炉矿渣-钢渣系统	255
11.5 碱-激发高炉矿渣-钢包渣水泥	255
11.6 碱-高炉矿渣-MgO 系统	257
11.7 小结	258
第 12 章 应用实例	259
12.1 引言	259
12.2 碱-激发钢渣硅酸盐水泥混凝土在中国的应用	259
12.2.1 办公和零售大楼	260
12.2.2 车间厂房的预浇混凝土梁和柱	260
12.2.3 混凝土灌溉渠	261
12.3 碱-激发矿渣结构混凝土	262
12.3.1 俄罗斯利佩茨克 (Lipetsk) 城市的高层居民住宅	262
12.3.2 波兰克拉科夫 (Kraków) 市的仓库	263
12.3.3 俄罗斯楚道伏 (Tchudovo) 火车站预应力混凝土铁路 轨枕	264
12.4 乌克兰马里乌波尔市的建筑砌块	265
12.5 混凝土路面	266
12.5.1 俄罗斯马格尼托哥尔斯克 (Magnitogorsk) 市通向马格尼 特娜娅 (Magnitnaya) 山采石场的重载路	266
12.5.2 黛诺珀 (Ternopol) 市黛诺珀建筑工业联合企业建的 路面和蓄水池	268
12.6 乌克兰敖德萨 (Odessa) 市的五号排水渠	269
12.7 乌克兰扎波罗什州 (Zaporozhye) 奥良克 (Orlyanka) 村的 饲料池	269
12.8 压蒸加气混凝土	271
12.9 耐火混凝土	271
12.10 油井水泥	271
12.11 有毒害、放射性及混合废物的固化	272
12.11.1 引言	272
12.11.2 用碱-激发矿渣水泥固化有毒害废弃物	273
12.11.3 用碱-激发偏高岭土或粉煤灰水泥固化有毒害废弃物	274
12.11.4 放射性废物的固化	275

12.11.5 废物在水热条件下的固化	276
12.12 小结	277
第 13 章 碱-激发矿渣水泥、混凝土及其制品的标准和规范 ...	278
13.1 简介	278
13.2 碱-激发矿渣水泥各组分的规范	278
13.2.1 矿渣	278
13.2.2 碱激发剂	280
13.3 碱-激发矿渣水泥的标准	282
13.4 碱-激发矿渣水泥混凝土	285
13.5 用碱-激发矿渣水泥混凝土生产的结构及构件	287
13.6 生产和使用碱-激发矿渣水泥、混凝土和结构的建议	287
13.6.1 新拌碱-激发矿渣水泥混凝土拌和物的生产	288
13.6.2 浇筑	288
13.6.3 养护	288
13.7 碱-激发矿渣水泥和混凝土在特殊工程中的应用	290
13.8 小结	290
参考文献	291

第 1 章

导 言

1.1 碱-激发水泥和混凝土的发展史

用碱作为胶凝材料的组分可追溯到 1930 年,当时德国的 Kuhl 研究了磨细矿渣粉和氢氧化钾溶液混合物的凝结特性。Chassevent 于 1937 年用氢氧化钠和氢氧化钾的溶液测试了矿渣的活性。Purdon (1940) 于 1940 年首次对由矿渣和氢氧化钠或由矿渣、碱及碱性盐组成的无熟料水泥进行了广泛的实验室研究。表 1.1 归纳了碱-激发水泥的一些重要发展历程。

表 1.1 碱激发水泥的重要发展历程

年份	研究者	国别	工 作
1930	Kuhl	德国	矿渣在氢氧化钾溶液中的凝结特性
1937	Chassevent	未知	用氢氧化钠/钾的溶液来测试矿渣活性
1940	Purdon	比利时	研究了由矿渣和氢氧化钠或由矿渣、碱及碱性盐组成的无熟料水泥
1957	Glukhovsky	前苏联	用含水和无水的铝硅酸盐(玻璃质岩石、黏土、冶金矿渣)合成了胶凝材料,发现并提出了 $\text{Me}_2\text{O}-\text{Me}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Me}_2\text{O}-\text{MeO}-\text{Me}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 两大胶凝系统理论,把这种胶凝材料称为“土壤水泥”,把相应的混凝土称为“土壤混凝土”
1982	Davidovits	法国	将煅烧过的高岭土、石灰石和白云石混合物与碱溶液混合得到胶凝材料,申请了 Pyrament、Geopolycem 和 Geopolymite 等不同商标

1957 年后期, Glukhovsky 发现可用低钙或无钙的硅铝酸盐(黏土)和碱金属的溶液来生产胶凝材料 (Glukhovsky 1959), 他把这种胶凝材料称为“土壤水泥”, 把相应的混凝土称为“土壤混凝土”。根据原材料的组成, 其胶凝材料可分成两大系统: $\text{Me}_2\text{O}-\text{Me}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ (碱系列) 和 $\text{Me}_2\text{O}-$