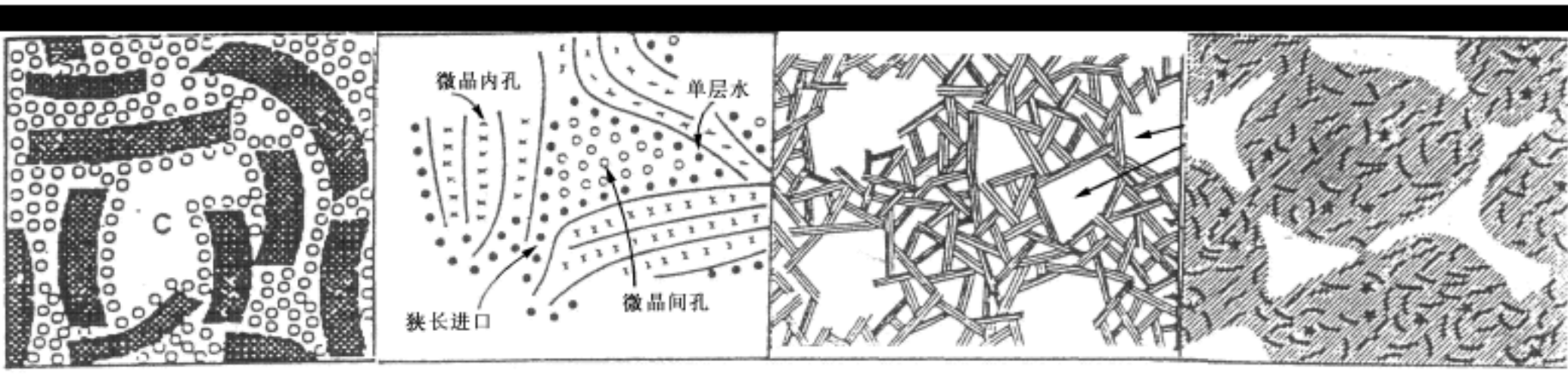
坝工混凝土专论(三)

国家自然科学基金重点项目资助(批准号 50139030)



硬化水泥浆化学物理性质

刘崇熙　汪在芹　李　珍　张明山　编著

华南理工大学出版社
·广州·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

硬化水泥浆化学物理性质/ 刘崇熙,汪在芹,李珍,张明山编著 .—广州: 华南理工大学出版社, 2003.9
坝工混凝土专论 (三)
ISBN 7_5623_1984_7

Ⅰ. 硬… Ⅱ.①刘…②汪…③李…④张… Ⅲ. 水泥石_物理化学分析 Ⅳ.TQ172.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 035184 号

总 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)
发行部电话: 020_87113487 87111048 (传真)
E_mail: scut202@scut .edu .cn http:/ / www2 .scut .edu .cn/ press
责任编辑: 吴兆强
印 刷 者: 中山市新华印刷厂有限公司
开 本: 889×1194 1/ 16 **印张**: 36.5 **字数**: 841 千
版 次: 2003 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
印 数: 1～1000 册
定 价: 98.00 元

版权所有 盗版必究

前　　言

硬化水泥浆是混凝土材料组成中的关键组分。它把混凝土中散体的骨料颗粒群胶结成为任意几何形状的建筑部件或建筑物,并按人的科学意识控制成为多种物性、多种功能的固体材料。水泥混凝土用量的广度和深度超过一切固体材料,遍及全球。

所谓水泥基复合材料,其基材就是硬化水泥浆。

经历 170 多年的水泥混凝土材料,由于实验科学的发展,与时俱进地演化出各种新型材料,保持经久不衰的繁荣态势。作为基材的硬化水泥浆,有必要进一步深化研究,以充实混凝土材料科学理论。

本书是以多孔材料吸附实验为基础,研究得出硬化水泥浆多孔介质中各类结构水的存在形态、数量、环境温-湿度等相互关系等的定性、定量的化学物理系统规律,勾画出较为完整的理论体系。

就本书命名而论,所谓“物理化学”和“化学物理”,同属化学领域的两个方面。“物理化学”,早期亦称“理论化学”,是应用物理学原理和方法,研究化学现象和化学过程的一门学科。其内容主要应用热力学、统计物理学和量子力学等三种基本方法,从理论上探讨物质结构与其性能间关系、化学反应(反应速度、反应机理和控制反应的条件等)之间的关系。它是整个化学学科和化学工艺学的理论基础。而“化学物理学”,是化学和物理学之间的一门边缘学科。大体上说,研究对象以宏观为主的属于“物理化学”;而以微观为主的则属于“化学物理学”,即由化学反应引起的物质物性问题。本书命名为《硬化水泥浆化学物理性质》,是基于上述命名原则,局限于水泥浆水化硬化过程的化学反应引致的材料物性演变规律。

本书主要取材于美国水泥化学家 T .C .Powers、J .F .Young、英国水泥化学家 H .F .W .Tayler 和法国水泥化学家 M .—M .Regourd 等等学者的近代研究成果,同时编汇我们的研究成果。

本书共分三篇。第一篇为有关波特兰水泥化学问题,主要论述波特兰水泥的化学组成、矿物的晶体结构、水泥水化硬化、水化产物晶体结构、化学腐蚀、水

化溶液的结构和真实液相组成。同时简单介绍了水泥浆冻结的冰晶(冰Ⅰ,…,冰Ⅶ)的晶体结构,其中冰多晶体是超冷和高压形成的,可能对超低温混凝土和今后研究极地混凝土冻结有所助益。第二篇为硬化水泥浆的化学物理性质(一),论述多孔物质的吸附理论和方法;硬化水泥浆等温吸附数据、形态、规律;多孔浆体中水的形态、分类和孔的分类、分布等化学物理规律。第三篇为硬化水泥浆的化学物理性质(二),主要论述浆体几种主要物性,如力学性能、渗透性能、变形性能和抵抗冻融性能的基本规律。

本书由刘崇熙主编;第一篇:李珍、汪在芹;第二篇:汪在芹、李珍、姚柏年;第三篇:张明山、汪在芹、李珍等编著。由于硬化水泥浆混凝土材料的基础材料、硬化水泥浆的基本性能和规律决定着混凝土材料性能和规律,在学科上也起着基础作用。本书在我国混凝土科技中是一部处女版。在内容、结构、层次等方面,相信会有许多不当或错误之处,故请同行专家、学者斧正,谨致谢忱。

编者于长江科学院

2003 年 1 月 1 日

目　　录

第一篇　有关波特兰水泥化学问题

第一章　关于阿利特(Alite) …… (3)
1.1　关于阿利特(Alite)矿物 …… (3)
1.2　阿利特的组成 …… (3)
1.3　阿利特的稳定性和晶体光性 …… (5)
1.4　硅酸三钙和阿利特的晶体结构 …… (7)
1.5　C_3S 的水化 …… (14)
1.5.1　C_3S 的水化阶段(或时期)的划分 …… (14)
1.5.2　C_3S 水化阶段(或时期)的解释 …… (15)
1.5.3　C_3S 的水化产物 …… (26)
1.5.4　C_3S 水化模型 …… (29)
1.5.5　C—S—H 凝胶的结构模型 …… (30)
第二章　关于贝利特(Belite)、菲利特(Felite) …… (32)
2.1　关于 B—矿[贝利特(Belite)和菲利特(Felite)] …… (32)
2.2　贝利特的组成 …… (32)
2.3　贝利特的稳定性和晶体光性 …… (33)
2.4　硅酸二钙和贝利特的晶体结构 …… (35)
2.5　关于 $[SiO_4]^{4-}$ 四面体的结构性质 …… (46)
2.6　C_2S 或贝利特的水化 …… (48)
2.6.1　C_2S 水化反应 …… (48)
2.6.2　C_2S 水化机理 …… (48)
2.7　波特兰水泥熟料中矿物的化学组成 …… (50)
第三章　关于才利特(Celite) …… (52)
3.1　关于 C—矿才利特(Celite) …… (52)
3.2　铁铝酸盐相的组成 …… (52)
3.3　才利特固溶体和晶体光性 …… (53)
3.4　铁铝酸盐相的晶体结构 …… (57)
3.5　铁铝酸盐相的水化 …… (59)
3.5.1　铁铝酸盐相的水化 …… (59)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

3.5.2 石膏存在下的水化 …… (61)
3.5.3 铁酸钙的水化 …… (62)
第四章 铝酸盐相和玻璃体相 …… (63)
4.1 关于铝酸盐相和玻璃体相 …… (63)
4.2 铝酸三钙的晶体结构 …… (64)
4.2.1 铝酸三钙的晶体结构 …… (64)
4.2.2 $Ca_{9-x/2}Na_xAl_6O_{18}$固溶体 …… (66)
4.3 RO 相 …… (71)
4.3.1 RO 相的组成 …… (71)
4.3.2 RO 相的结构 …… (72)
4.4 硫酸盐相 …… (73)
4.5 C_3A_H_2O 系的水化反应 …… (76)
4.5.1 C_3A_H_2O 系反应 …… (76)
4.5.2 CaO_Al_2O_3_H_2O 系相图 …… (77)
4.5.3 水化铝酸钙的结构 …… (80)
4.6 C_3A_$CaSO_4$_H_2O 系的水化反应 …… (84)
4.6.1 C_3A_$CaSO_4$_H_2O 系的反应 …… (84)
4.6.2 CaO_Al_2O_3_$CaSO_4$_H_2O 系相图 …… (85)
4.6.3 钙矾石晶体结构剖析 …… (95)
4.6.4 钙矾石脱水过程中晶体结构的演变 …… (107)
4.7 碱对 C_3A 水化的影响 …… (113)
4.7.1 碱对 C_3A 水化的影响 …… (113)
4.7.2 碱对 CaO_Al_2O_3_$CaSO_4$_H_2O 四元相图的影响 …… (113)
4.8 有硅酸盐存在时 C_3A 的水化 …… (114)
第五章 波特兰水泥水化 …… (116)
5.0 概述 …… (116)
5.1 中国的波特兰(硅酸盐)水泥 …… (120)
5.1.1 中国通用的波特兰(硅酸盐)水泥 …… (120)
5.1.2 水工水泥 …… (121)
5.2 美国波特兰水泥 …… (127)
5.3 日本波特兰水泥 …… (129)
5.4 波特兰水泥的化学热力学基本参数 …… (130)
5.4.1 熟料形成的生成热参数 …… (130)
5.4.2 波特兰(硅酸盐)水泥的水化热 …… (131)
5.4.3 水泥水化物的化学热力学参数 …… (133)
5.5 波特兰(硅酸盐)水泥的水化—凝结—硬化 …… (135)

5.6 波特兰(硅酸盐)水泥水化的需水量和体积改变 …… (136)
5.6.1 水泥水化的理论需水量 …… (136)
5.6.2 水泥的矿物和水化物的密度 …… (137)
5.6.3 水泥水化的体积改变 …… (137)
5.7 波特兰(硅酸盐)水泥的水化产物 …… (140)
5.7.1 Portlandite 晶体相 …… (142)
5.7.2 C—S—H 凝胶相 …… (142)
5.7.3 AFm 相 …… (145)
5.7.4 AFt 相 …… (147)
5.7.5 水泥水化微结构的发展 …… (148)
5.8 掺有活性混合材的波特兰(硅酸盐)水泥水化问题 …… (149)
5.8.1 矿渣波特兰水泥及其水化问题 …… (150)
5.8.2 粉煤灰波特兰水泥及其水化问题 …… (156)
5.9 本章结语 …… (163)
5.9.1 波特兰(硅酸盐)水泥的水化产物 …… (163)
5.9.2 水泥石_骨料的胶结界面 …… (164)
第六章 水泥混凝土的化学腐蚀 …… (165)
6.1 水质特征 …… (165)
6.1.1 天然水质特征 …… (165)
6.1.2 水体中的碳酸 …… (165)
6.1.3 天然水质分类法 …… (166)
6.1.4 天然水质分类 …… (167)
6.1.5 我国河流水化学分区各特征值 …… (168)
6.2 溶出型腐蚀 …… (170)
6.2.1 溶出型腐蚀本质 …… (170)
6.2.2 溶出型侵蚀介质 …… (170)
6.2.3 溶出型腐蚀的防治 …… (170)
6.3 碳酸型和泛酸型腐蚀 …… (171)
6.3.1 碳酸型和泛酸型腐蚀本质 …… (171)
6.3.2 碳酸型腐蚀 …… (171)
6.3.3 泛酸型腐蚀 …… (172)
6.4 硫酸盐型腐蚀 …… (172)
6.5 镁盐腐蚀 …… (174)
6.6 海水的腐蚀 …… (174)
第七章 硬化水泥浆中的液相 …… (176)
7.1 水和溶液的结构 …… (176)

7.1.1 水的结构 …… (176)
7.1.2 水的蒸发、水蒸气 …… (177)
7.1.3 盐在水中溶解及溶液结构 …… (177)
7.1.4 固态水(冰)的结构 …… (178)
7.2 溶液中离子水化 …… (178)
7.2.1 溶液概念 …… (178)
7.2.2 水的性质和结构 …… (179)
7.2.3 离子水化 …… (180)
7.3 混凝土中毛细孔穴液相真实组成 …… (181)
第八章 冰的结构、性质 …… (183)
8.1 水的一般性质 …… (183)
8.2 水的相图 …… (183)
8.3 冰的相图 …… (187)
8.4 冰的结构 …… (189)
8.4.1 冰 I 的结构 …… (190)
8.4.2 冰的多晶形体 …… (191)
8.4.3 冰 II 的结构 …… (191)
8.4.4 冰 III 的结构 …… (192)
8.4.5 关于冰 IV 的结构问题 …… (192)
8.4.6 冰 V 的结构 …… (192)
8.4.7 冰 VI 的结构 …… (193)
8.4.8 冰 VII、冰 VIII 的结构 …… (194)
8.4.9 玻璃冰和冰 I_c …… (194)
8.4.10 综合 …… (195)
参考文献 …… (197)

第二篇 硬化水泥浆的化学物理性质(一)

第九章 固体表面的吸附理论 …… (201)
9.1 固体表面的吸附现象 …… (201)
9.2 吸附时间 τ …… (203)
9.3 吸附的分子数 *n* …… (203)
9.4 吸附量 σ …… (204)
9.5 吸附量 σ: 单分子层吸附理论——Langmuir 吸附方程 …… (207)
9.6 吸附等温线 …… (211)
9.7 Langmuir 理论的动力学解释 …… (212)

9.8 吸附量 σ:多分子层吸附理论——B.E.T.吸附方程 …… (214)
9.9 B.E.T.等温吸附方程又一解析 …… (217)
9.10 解吸的阻滞现象 …… (222)
9.11 毛细管凝聚理论 …… (225)
9.11.1 液体表面张力与 Laplace 方程式 …… (225)
9.11.2 Kelvin 方程 …… (226)
9.11.3 毛细管凝聚的孔模型、孔体积、孔分布 …… (228)
9.11.4 接触角 θ …… (234)
第十章 等温吸附线的测量 …… (237)
10.1 B.E.T.吸附方程式的线性化 …… (237)
10.2 氮吸附容量法装置 …… (238)
10.3 苯蒸气动态吸附法的装置 …… (244)
10.3.1 仪器的结构 …… (244)
10.3.2 流速计的制备、校正 …… (247)
10.3.3 试样准备 …… (248)
10.3.4 测量程序及结果处理 …… (248)
10.4 流动色谱法 …… (248)
10.5 T.C.Powers 的吸附测量装置 …… (248)
10.5.1 高真空装置 …… (249)
10.5.2 气流吸附装置 …… (250)
10.6 干燥器吸附装置 …… (251)
10.7 水泥石样品干燥方法和不可蒸发水量 …… (252)
10.7.1 干燥方法选定 …… (252)
10.7.2 水泥石样品制备 …… (253)
10.7.3 样品干燥 …… (253)
10.7.4 不可蒸发水的确定 …… (254)
10.7.5 有关的争论 …… (256)
10.8 可蒸发水总量的确定 …… (257)
第十一章 水泥石等温吸附测量和吸附数据的理论解释 …… (261)
11.1 等温吸附测量 …… (261)
11.1.1 测量结果的重演性 …… (261)
11.1.2 水泥组成不同对吸附的影响 …… (261)
11.1.3 水灰比对吸附的影响 …… (263)
11.1.4 养护时间对吸附的影响 …… (264)
11.1.5 养护制度对吸附的影响 …… (264)
11.1.6 低压下保持的总水量与不可蒸发水的关系 …… (266)

11.1.7 吸附 解吸循环反复的作用 …… (266)
11.1.8 附录 …… (271)
11.2 吸附数据的理论解释 …… (307)
11.2.1 B.E.T.理论和 Kelvin 方程 …… (307)
11.2.2 B.E.T.理论和毛细管凝聚理论的联合 …… (309)
11.2.3 可溶盐对吸附曲线的影响 …… (310)
11.3 B.E.T.方程式的应用 …… (311)
11.3.1 c 和 V_m 的评估方法 …… (311)
11.3.2 V_m 和不可蒸发水(W_n)之间的关系 …… (314)
11.3.3 硬化水泥浆的比表面积 …… (318)
第十二章 硬化水泥浆的吸附水热力学 …… (327)
12.1 吸附热 …… (327)
12.1.1 范围 …… (327)
12.1.2 毛细管凝聚的总净热的估计 …… (327)
12.1.3 表面吸附的总净热的估计 …… (328)
12.2 吸附净热的测量 …… (328)
12.2.1 材料和程序 …… (328)
12.3 吸附的自由能和熵变 …… (336)
12.3.1 吸附的自由能 …… (336)
12.3.2 熵减的评估 …… (339)
12.4 硬化水泥浆中水的结合能 …… (342)
12.5 肿胀压力 …… (343)
12.6 收缩机理 …… (345)
12.7 附录 …… (348)
第十三章 藉平均质量体积测量研究硬化水泥浆 …… (358)
13.1 按照平均质量体积对饱和水泥浆体中水的分类 …… (358)
13.1.1 水的分类和质量体积测定 …… (358)
13.1.2 $(1-V_t)/(W_n/W_t)$的平均比值 …… (374)
13.1.3 总水量平均质量体积低的极限值 …… (375)
13.1.4 固体总体积和毛细管水体积的估量 …… (376)
13.2 固相体积的测量 …… (377)
13.2.1 仪器装置和实验方法 …… (377)
13.2.2 排代介质的选择 …… (378)
13.2.3 实验的结果 …… (378)
第十四章 硬化水泥浆的物性综述 …… (393)
14.1 新拌水泥浆的性质 …… (393)

14.1.1 新拌水泥浆的流变性质 …… (393)
14.1.2 新拌水泥浆的沉降作用(泌水作用) …… (398)
14.1.3 新拌水泥浆的渗透性 …… (399)
14.1.4 新拌水泥浆中的毛细引力 …… (400)
14.2 硬化水泥浆的性质 …… (401)
14.2.1 硬化水泥浆的孔隙率和水化水泥的质量体积 …… (401)
14.2.2 水泥凝胶的孔隙率和质量体积 …… (407)
14.2.3 毛细管水量和孔隙率的计算 …… (413)
14.2.4 硬化水泥浆的比表面积 …… (416)
14.3 硬化水泥浆结构的描述 …… (419)
参考文献 …… (422)

第三篇 硬化水泥浆的化学物理性质(二)

第十五章 硬化水泥浆的力学性质 …… (427)
15.1 硬化水泥浆的强度 …… (427)
15.1.1 固相体积增加和有效空间比 …… (427)
15.1.2 胶_空比 …… (432)
15.1.3 空隙理论 …… (438)
15.1.4 水泥水化度与强度关系 …… (439)
15.2 硬化水泥浆的弹性模型 …… (440)
15.2.1 弹模和强度 …… (440)
15.2.2 弹性模量的模型分析 …… (442)
15.2.3 弹模的影响因素 …… (446)
15.2.4 水泥石结构强度数学模型 …… (449)
15.3 Poisson 比 …… (457)
第十六章 硬化水泥浆的收缩和徐变性质 …… (459)
16.1 水泥浆的收缩 …… (459)
16.1.1 新拌水泥浆的塑性收缩 …… (459)
16.1.2 硬化水泥浆的收缩 …… (459)
16.1.3 硬化水泥浆的干—湿循环 …… (472)
16.1.4 碳化收缩 …… (476)
16.1.5 热学性质 …… (476)
16.1.6 干燥收缩的预测和规定 …… (478)
16.2 硬化水泥浆的徐变 …… (480)
16.2.1 硬化水泥浆的徐变性质 …… (480)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

16.2.2 硬化水泥浆的徐变曲线 …… (481)
16.2.3 非线性徐变方程和比徐变 …… (482)
16.2.4 影响徐变的因素 …… (483)
16.2.5 徐变的表达式和估量 …… (489)
16.2.6 徐变的机理 …… (492)
第十七章 硬化水泥浆的渗透性 …… (499)
17.1 硬化水泥浆渗透性的基本规律 …… (499)
17.1.1 基本概念 …… (499)
17.1.2 饱和硬化水泥浆中水的粘度 …… (499)
17.1.3 硬化水泥浆与天然岩石的渗透性的比较 …… (500)
17.1.4 新拌水泥浆水化硬化过程中渗透性的变化 …… (501)
17.1.5 渗透性与 *W/C* 的关系 …… (501)
17.1.6 渗透性与毛细管孔隙率的关系 …… (501)
17.1.7 坝工混凝土渗透性与水泥含量的关系 …… (501)
17.2 Darcy 定律及其理论 …… (502)
17.2.1 Darcy 定律 …… (502)
17.2.2 Darcy 渗流理论 …… (504)
17.3 硬化水泥浆的渗流理论 …… (507)
17.3.1 Darcy 方程的变形 …… (507)
17.3.2 硬化水泥浆的渗透方程(Ⅰ) …… (508)
17.3.3 最小渗透率理论 …… (509)
17.3.4 硬化水泥浆渗透方程(Ⅱ) …… (509)
17.4 硬化水泥浆中水分与固相的相互关系 …… (512)
17.5 硬化水泥浆的吸水率和渗透率关系 …… (513)
17.6 混凝土的渗透方程 …… (516)
17.6.1 渗透、扩散和热传导等方程的相似性 …… (516)
17.6.2 用渗透距离计算渗透系数 *k* …… (517)
17.6.3 混凝土抗渗标准问题 …… (518)
第十八章 硬化水泥浆的冻—融变形分析 …… (519)
18.7 多孔介质孔隙水的冻结 …… (519)
18.1.1 孔隙水的冻结温度 …… (519)
18.1.2 孔隙水结冰压力 …… (522)
18.1.3 孔隙中含盐水的冻结 …… (523)
18.2 冻结点理论分析 …… (524)
18.2.1 水和冰的平衡相图 …… (524)
18.2.2 E.W.Washburn 方程的应用 …… (525)

18.3 冻结实验装置和方法 …… (525)
18.3.1 试验样品 …… (525)
18.3.2 膨胀计 …… (526)
18.3.3 冻、融的程序 …… (526)
18.3.4 低温恒温器 …… (526)
18.4 实验结果 …… (527)
18.4.1 膨胀曲线 …… (527)
18.4.2 由融化曲线对冰量的估计 …… (528)
18.4.3 融化曲线上甲苯的影响 …… (530)
18.5 各样品中冰形成的数量 …… (530)
18.5.1 各样品的组成 …… (530)
18.5.2 硬化水泥浆中蒸发水成冰量与温度关系 …… (531)
18.5.3 附表 …… (532)
18.6 给定温度冻结水的理论数量 …… (537)
18.6.1 浆体中冰的位置 …… (537)
18.6.2 冻结水对总蒸发水的关系 …… (538)
18.6.3 给定温度下,未冻结水量与 25℃等温蒸气压之间的关系 …… (539)
18.7 从不可蒸发水含量估算最大冻结水的方程 …… (542)
18.8 微气泡对浆体冻结的作用 …… (544)
18.8.1 微气泡对浆体耐久性的作用 …… (544)
18.8.2 气泡大小和气泡间隔距离 …… (545)
18.8.3 理论分析 …… (547)
18.8.4 可冻结水量 …… (551)
18.8.5 冻融过程中水泥浆体积的变化 …… (552)
参考文献 …… (555)

附录 水泥、混凝土先驱科学家简介

John Smeaton …… (559)
Louis Joseph Vicat …… (559)
Henri Le Chatelier …… (560)
Thaddeus Hyatt …… (561)
William Evans Ward …… (562)
Rene Feret …… (563)
Eugene Freyssinet …… (564)

Duff A .Abrams …… (565)
T .C .Powers …… (566)
M .—M .Regourd …… (566)

第　一　篇

有关波特兰水泥化学问题

第一章　关于阿利特(Alite)

1.1　关于阿利特(Alite)矿物

在波特兰(硅酸盐)水泥熟料的矿物组成中,所谓 A—矿(Alite)究竟为何物?这个问题自20世纪初开始,至少有半个世纪的争论,众说纷纭,成为一个学案。20世纪30年代起,一些著名学者(L.T.Brownmiller, R.H.Bogue, E.Janecke, H.E.Schweite, W.Bussem, J.W.Jeffery, P.F.Glasser, H.F.W.Taylor,等等)对阿利特矿物争论的歧点,从各方面进行了实验论证,比较统一认识的是,阿利特矿物的结构,其原子在空间排布秩序与硅酸三钙(C_3S)是基本一致的。但熟料中的阿利特含有一些固溶物,如 MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3,甚至 K_2O 等,使得 Alite 与硅酸三钙矿物之间略微差异。

还有一些学者(如 J.W Jeffery,1956)利用磁选和重液分离技术,分离碱性马丁炉渣,获得 Alite 矿物,旁证阿利特的组成。得到碱性炉渣中 Alite 的组成为(质量分数):CaO 为 68.65%, SiO_2 为 22.77%, FeO 为 2.01%, P_2O_5 为 1.72%, MnO 为 1.20%, MgO 为 1.29%, TiO_2 为 0.18%, Fe_2O_3 为 0.76%, Al_2O_3 为 0.20%。按相对分子质量计算,相当于 86% 的 $3CaO\cdot SiO_2$ 和 14% 的杂质,其中 12% 含在阿利特中。经证实,在碱性炉渣中存在 Alite 矿物,但与理论的 C_3S(CaO 为 73.69%, SiO_2 为 26.31%)比较,Alite 则被杂化和元素多样化。

还有一些学者(A.Guttmann, F.Gille,1931)利用离心机在重液中直接分离(A, B)两组硅酸盐水泥熟料的粉细物,获得富集的 Alite 矿物的晶屑(含微量其他粘附矿物),其化学组成质量分数是:CaO 为 67.4%～69.87%, SiO_2 为 22.7%, MgO 为 1.2%～1.63%, Na_2O 为 0～0.56%, Al_2O_3 为 5.4%～3.5%, TiO_2 为 0～0.3%, Fe_2O_3 为 3.1%～0.55%, Mn_2O_3 为 0.1%～0.71%, SO_3 为 0～0.1%。分析计算得出 Alite 中氧化物的分子比例如下:

水泥中的 Alite	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	$\frac{CaO + MgO + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$ 比值	相对密度
A 水泥中的 Alite	3.19	0.08	0.05	1	3.11/1 和 2.99/1	3.06～3.11
B 水泥中的 Alite	3.0	0.04	0.02	1	3.31/1 和 2.83/1	3.10～3.15

由此直接证明,硅酸盐水泥中的阿利特矿物,基本上是硅酸三钙的组成,其中的固溶体可能是铝酸三钙($3CaO\cdot Al_2O_3$_C_3A)。

天然的硅酸三钙石,称之为 Janeckeite。

1.2　阿利特的组成

上面指出,阿利特矿物化学组成中含有少量 MgO、Al_2O_3、Fe_2O_3 等固溶物质。其固溶极限

质量分数大约为 2% MgO, 1% Al_2O_3, 1% Fe_2O_3。有些学者[V .Ludwing, A .Wolter(1980)]称这种阿利特为“正常阿利特”。正常阿利特的化学式大致为: 54CaO·16SiO_2·(Al, Fe)$_2O_3$·MgO。这就是说,在 18 个 C_3S 分子中,有 1 个 SiO_2 分子被 Al_2O_3 所代替。工业硅酸盐水泥熟料中的阿利特矿物,其中还含有其他少量组分:如碱(Na, K)、重金属氧化物(TiO_2, Cr_2O_3, Mn_2O_3, ZnO, NiO, PbO 等)和阴离子团(F, Cl, SO_4, P_2O_5 等)存在。当含重金属氧化物时,熟料的颜色将发生改变,如含铬时,熟料或阿利特呈绿色,可谓铬阿利特;含锰时,则呈深色(近黑色);含亚铁时(还原氧气下),则呈黄色,即所谓黄心料;等等。

阿利特的平均组成,详见表 1_1。

可以认为,阿利特矿物本质上是硅酸三钙固溶体。与纯净的硅酸三钙的理论组成相比较,熟料中的阿利特矿物中混杂有 w = 3%～4% 的其他上述氧化物。定量地研究这些不纯的氧化物的取代关系,设 I_a 为阿利特中混杂的不纯氧化物总量(%), M_c 为熟料中 MgO 的含量,两者之间相互关系为: $I_a \approx 0.7\ M_c + 2.1\%$ (A .I .Boikova, 1986)。

关于个别混杂的氧化物的定量关系:

(1) 对于 MgO,阿利特中 MgO 含量 M_a(%)与熟料中 MgO 含量 M_c(%)的关系为: $M_a = 0.67 \times M_c$ ($M_c \leq 3.0\%$;若 $M_a \approx 2.0\%$,则 $M_c > 3.0\%$) (M .Kristmann 1978)。

(2) 对于 Fe_2O_3,阿利特中 Fe_2O_3 含量 F_a(%)与熟料中 Fe_2O_3 含量 F_c(%)的关系为: $F_a = 0.33 \times F_c$ ($F_c < 4\%$时) (M .Kristmann 1978)。

(3) 对于 Al_2O_3, Kristmann 没有找到任何有意义的相互定量关系。

阿利特中混杂的 MgO(M_a)和熟料中的 MgO(M_c)以及 Al_2O_3 分别分布的 A_a 和 A_c, Fe_2O_3 分别分布的 F_a 和 F_c,它们之间的比例关系为(A .I .Boikova, 1986):

$$\frac{M_a}{M_c} = 0.34 \sim 0.82, \quad \frac{F_a}{F_c} = 0.17 \sim 0.36, \quad \frac{A_a}{A_c} = 0.09 \sim 0.23$$

此外,阿利特中还含有微量的 Na_2O、K_2O(见表 1_1a)。

表 1_1a 波特兰水泥熟料中物相组成的质量分数[1]

	样号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Mn_2O_3	Fe_2O_3
Alite	1	0.1	1.1	1.0	25.2	0.2	0.0	0.1	71.6	0.0	0.0	0.7
Belite	2	0.1	0.5	2.1	31.5	0.2	0.1	0.9	63.5	0.2	0.0	0.9
Aluminate(立方晶)	3	1.0	1.4	31.3	3.7	0.0	0.0	0.7	56.6	0.2	0.0	5.1
Aluminate(斜方晶)	4	0.6	1.2	28.9	4.3	0.0	0.0	4.0	53.9	0.5	0.0	6.6
Aluminate(低 Fe)	5	0.4	1.0	33.8	4.6	0.0	0.0	0.5	58.1	0.6	0.0	1.0
Ferrite	6	0.1	3.0	21.9	3.6	0.0	0.0	0.2	47.5	1.6	0.7	21.4
Ferrite(低 Al)	7	0.1	2.8	15.2	3.5	0.0	0.0	0.2	46.0	1.7	0.7	29.8

样号 1:对于含有 1.65% MgO 和 2.6% Fe_2O_3 的熟料,通常地, $w_{MgO} = 0.667 \times w_{MgO}$(熟料中),但不大于 2%; $w_{Fe_2O_3} = 0.25 \times w_{Fe_2O_3}$(熟料中),但不大于 1.1%; $w_{CaO} = 71.6\% - 1.4 \times [w_{MgO(在Alite中)} - 1.1]$,组成应标准化达到 100%总量。

样号 2:高的 SO_3/(Na_2O + K_2O)质量比的熟料中含有较高的 SO_3。

样号 3:正常型熟料中低碱和 Al_2O_3/ Fe_2O_3 质量比值范围为 1.0～3.0。

样号 4:斜方晶和假正方晶型,发现于高碱熟料中,此熟料具有多样的 Na/ K 质量比。

样号 5:在白水泥熟料中的铝酸盐相的暂定组成。

样号 6:正常熟料组成, Al_2O_3/ Fe_2O_3 质量比为 1.0～3.0。

样号 7:抗硫酸盐熟料中的铁相的暂定组成。

需要全本请访问 www.ertongbook.com