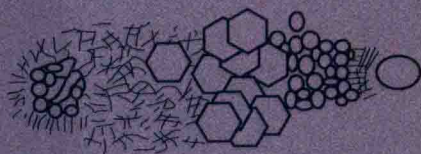




安爱军 周永祥◎著

天然火山灰质材料 与火山灰高性能混凝土

TIANRAN HUOSHAN HUIZHI CAILIAO
YU HUOSHANHUI GAOXINGNENG HUNNINGTU



中国铁道出版社有限公司
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE CO., LTD.

非
外
借

天然火山灰质材料与 火山灰高性能混凝土

安爱军 周永祥 著

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

内 容 简 介

以东非地区新建蒙内铁路和内马铁路为背景,针对该地区缺乏粉煤灰、矿渣粉等传统矿物掺合料的现状,以当地储量丰富的天然火山灰质材料(火山渣、凝灰岩)为研究对象,从天然火山灰质材料技术指标及生产加工技术、东非地区混凝土原材料情况、火山灰高性能混凝土配制技术、天然火山灰质材料用于预制混凝土、火山灰混凝土长期性能和耐久性能、火山灰混凝土抗裂性能测试、天然火山灰—水泥胶凝材料体系水化亚微观机理等方面,系统研究了天然火山灰质材料配制铁路工程高性能混凝土成套技术,使得天然火山灰质材料成功应用于蒙内铁路和内马铁路混凝土工程,为在缺乏传统矿物掺合料地区进行工程建设提供了掺合料技术解决方案的示范。

图书在版编目(CIP)数据

天然火山灰质材料与火山灰高性能混凝土/安爱军,
周永祥著. —北京:中国铁道出版社有限公司,2019. 8
ISBN 978-7-113-24533-7

I. ①天… II. ①安…②周… III. ①铁路线路-火山
灰-高强混凝土-工程材料-研究 IV. ①U214. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 117528 号

书 名: 天然火山灰质材料与火山灰高性能混凝土
作 者: 安爱军 周永祥 著

责任编辑: 许士杰
编辑助理: 刘 晴
封面设计: 崔丽芳
责任校对: 王 杰
责任印制: 赵星辰

编辑部电话: 010-51873204

电子邮箱: syxu99@163. com

出版发行: 中国铁道出版社有限公司(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中煤(北京)印务有限公司

版 次: 2019年8月第1版 2019年8月第1次印刷

开 本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 16.5 字数: 269 千

书 号: ISBN 978-7-113-24533-7

定 价: 68.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本公司读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

序 言

火山灰质材料是现代水泥与混凝土的重要组分材料,很多方面的高性能、超高性能都是通过火山灰质材料实现的。天然火山灰材料在水泥与混凝土材料研究中之所以受到重视,不仅是因为天然火山灰具有火山灰活性,经过磨细加工后可直接作为水泥混合材和混凝土掺合料,更重要的是通过对其研究,探明其组分、结构和性能之间的关系,为更多的天然和人工火山灰质材料的开发利用提供理论指导。这些天然和人工火山灰质材料包括已广泛使用的沸石岩、矿渣、粉煤灰、硅灰、烧黏土等天然和经过工业高温过程的硅质和硅铝质材料。这些火山灰质材料对于水泥和混凝土材料的绿色低碳发展已经并且将继续发挥重要作用。

中国对天然火山灰质材料在水泥和混凝土中的研究已长达几十年,在建筑、公路、大坝、桥梁和铁路等工程中广泛得到应用。由于天然火山灰质材料的组分和形成条件差异,各地的火山灰质材料的性能也差异很大,因此,对不同火山灰质材料的组分、结构与性能之间关系往往需要分别确认与甄别。在对天然沸石材料的研究方面,特别值得一提的是清华大学廉慧珍和冯乃谦两位先生,他们在基础理论和工程应用方面的研究作为天然火山灰质材料在水泥和高性能混凝土中的开发应用提供了基础性和开拓性成果。相对于不同研究者在天然火山灰质材料基础和应用领域不同方面的探索,本书作者呈现给读者的则是以肯尼亚天然火山灰为对象,以肯尼亚铁路工程混凝土需求为导向,从基础研究到工程应用所进行的系统、全面和深入研究,走完了从原材料

评价、混凝土性能研究、原材料工业化制备、工程混凝土设计、以及在铁路混凝土工程用的预拌与预制混凝土全产业链和创新链流程,并且将经工程应用验证的理论认知和实践经验进行了总结,制定了技术标准规范。这样一个完整的以问题为导向、从研究到应用、从材料到工程的成功科技创新案例实属难得。

本书还具有一些值得读者关注的特点,例如读者或许经常看到的,在许多编著的专业书籍中,由于取材于不同作者的工作,所编写的内容在完整性、试验条件和观察数据的一致性以及衍生出的观点结论方面,经常互不协调甚至自相矛盾。本书所呈现的科研工作具有完整性和系统性,其理论依据、试验数据和应用结果能相互印证,不仅聚焦于肯尼亚的天然火山灰质材料,还对比研究了矿渣、粉煤灰、石灰石粉等常用的混凝土矿物掺合料,在对火山灰质材料的基础理论、试验研究方法、用于高性能混凝土的配合比设计方法、以及一些物理力学性能的测试等,集国内外研究的相关理论知识和工程应用经验之大成。仔细阅读本书对研究工作的表述,还能看到对今后的研究方向提出的建议,例如采用掺减水剂的方法评价流动度、区别材料中处于不同状态的碱对混凝土中碱骨料反应的影响等等,这些工作对今后的相关研究和测试方法改进具有重要参考价值。

本书对于火山灰质材料的研究突出了火山灰活性、微骨料、稀释三大效应对水泥水化与微结构、强度、混凝土工作性、耐久性等方面的影响。沸石类天然火山灰质材料的研究至今仍然还有令人感兴趣的未知方面。例如,沸石岩中的沸石晶体组分既然不参与水泥中的水化反应,其反应活性的来源可能只是其可溶的活性 SiO_2 和 Al_2O_3 ,但该组分含量并不高,为什么作用如此显著。再如在较高水灰比下,沸石岩粉体的火山灰活性不足以弥补所取代的水泥活性,但是在较低水灰比下,复合水泥的强度差异减小甚至超过不掺的,由此应该怎样科学评价火山灰

质材料的活性。此外,在高温养护效应方面,本书在 $50^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 范围蒸汽养护的研究结果与之前冯乃谦先生在其书中呈现的温度效应一致,即在标养、室内养护、 $90^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 蒸养条件下,高温养护降低火山灰混凝土强度,这和许多掺火山灰质材料在高温蒸汽养护条件下火山灰活性提高的特点相反。对这些问题的科学解释有待对沸石质火山灰材料的结构与性能关系的更深入研究。笔者希望本书的研究成果能够启迪后人,激励来者,通过对火山灰质材料的深入研究进一步提高水泥基材料的性能,推动绿色低碳发展。

值此书付梓之际,谨向作者致以祝贺。

原中国硅酸盐学会
中国混凝土与水泥制品协会

徐永模

前 言

蒙内铁路是“一带一路”倡议的重要早期收获,是非洲“三网一化”和中非产能合作的标志性工程,是完全采用中国标准、中国技术、中国设备、中国运营管理的国际干线铁路,被称为肯尼亚的“世纪铁路”。它的成功实践为中国铁路标准在东非乃至整个非洲的推广应用奠定了基础,同时也将全方位带动中国铁路全产业链走出国门,为中国铁路进一步“走出去”产生重要的示范意义。

本书以肯尼亚蒙内铁路和其延长线内马铁路为工程背景,系统介绍了天然火山灰质材料国内外研究现状、天然火山灰质材料技术指标及生产加工技术、东非地区混凝土原材料情况、火山灰高性能混凝土配制技术、天然火山灰质材料用于预制混凝土、火山灰高性能混凝土长期性能和耐久性能、火山灰混凝土的裂缝控制技术、天然火山灰—水泥胶凝材料体系水化亚微观机理等,并总结了天然火山灰质材料及火山灰混凝土在实际工程中的应用技术。同时介绍了在研究与应用过程中形成的工程技术相关标准,对于缺乏传统矿物掺合料地区开展工程建设具有较好的借鉴意义。

对于铁路高性能混凝土,目前国内外普遍成熟的做法是在混凝土中掺加粉煤灰、矿渣粉以及硅灰等来自工业废渣的活性矿物掺合料,从而达到改善和易性、延缓水化放热速度、减少混凝土开裂、提高耐久性并降低成本的目的。然而肯尼亚当地及周边地区缺乏这些工业废渣,如果从国外进口,无疑会产生巨大的物流成本和时间成本,对项目的高效实施必将带来重大影响。肯尼亚分布着许多火山,早期的火山活动

留下了大量的火山喷发物及其衍生矿物(统称为天然火山灰质材料)。经研究,天然火山灰质材料作为矿物掺合料用于混凝土,具有与粉煤灰、烧黏土、烧页岩等人工火山灰质材料类似的作用。本书介绍了以天然火山灰质材料替代粉煤灰配制高性能混凝土用于蒙内铁路和内马铁路的研究成果和成功实践,提供了就地取材突破肯尼亚及其周边地区缺乏传统矿物掺合料缺乏的限制,并提高了混凝土性能,节能环保的工程成功案例。

本书由安爱军、周永祥编著。主要内容根据“十三五”国家重点研发计划子课题“利用火山灰渣制备绿色混凝土的研究与应用”(2016YFC0701002-03)、北京市科委课题“天然火山灰高性能混凝土的研制及工程应用”(Z171100002117004)、中国路桥工程有限责任公司课题“天然火山灰质材料在蒙内铁路高性能混凝土中的应用技术研究”的有关成果撰写而成。蒙内铁路和内马铁路各参建标段、中国建筑科学研究院高性能混凝土研究中心夏京亮研究员、中国交建肯尼亚标准轨铁路建设总经理部温欣岚教授级高级工程师为本书的编写做了大量细致的基础性工作,在此表示衷心的感谢!限于作者的水平和能力,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2019年8月

目 录

第一章 天然火山灰质材料	1
第一节 天然火山灰质材料简介	1
第二节 天然火山灰质材料国外研究应用概况	2
第三节 天然火山灰质材料国内研究应用概况	6
第四节 天然火山灰质材料研究应用存在的问题	8
第五节 东非地区铁路混凝土矿物掺合料现状	13
第二章 天然火山灰质材料技术指标分析及生产技术	15
第一节 前 言	15
第二节 技术指标分析	15
第三节 生产技术	44
第四节 结 论	62
第三章 东非地区混凝土原材料	65
第一节 前 言	65
第二节 水 泥	65
第三节 粉 煤 灰	68
第四节 粗 骨 料	69
第五节 细 骨 料	70
第六节 减 水 剂	73
第四章 火山灰高性能混凝土配制技术	75
第一节 前 言	75

第二节	天然火山灰与外加剂的适应性	75
第三节	研究方案设计	80
第四节	天然火山灰对混凝土工作性的影响	93
第五节	天然火山灰对混凝土力学性能的影响	99
第六节	结 论	112
第五章	天然火山灰质材料用于预制混凝土研究	115
第一节	前 言	115
第二节	火山灰用于预制混凝土的蒸养制度研究	115
第三节	火山灰早期活性提高研究	124
第四节	火山灰对预制构件混凝土基本性能影响研究	132
第五节	结 论	136
第六章	火山灰混凝土长期性能和耐久性能研究	139
第一节	前 言	139
第二节	抗渗性能	140
第三节	抗氯离子渗透性能	142
第四节	密 实 性	144
第五节	抗碳化性能	146
第六节	抗冻性能	148
第七节	混凝土长期性能	150
第八节	结 论	156
第七章	火山灰混凝土的抗裂性能测试	159
第一节	前 言	159
第二节	抗裂性能试验	160
第三节	水化热与绝热温升	164
第四节	结 论	170

第八章 天然火山灰—水泥胶凝材料体系水化亚微观机理研究	173
第一节 前 言	173
第二节 化学结合水	175
第三节 SEM 分析	178
第四节 XRD 物相分析	193
第五节 差热失重分析	202
第六节 孔结构分析	205
第七节 结 论	208
第九章 天然火山灰质材料在铁路工程的应用	211
第一节 天然火山灰质材料的生产	211
第二节 天然火山灰质材料技术指标验证	214
第三节 天然火山灰质材料混凝土验证试验	215
第四节 天然火山灰质材料混凝土试验构件	216
第五节 天然火山灰质材料混凝土配合比	217
第六节 天然火山灰质材料混凝土工程应用	218
附录 中国交建企业标准	221
参考文献	245

第一章 天然火山灰质材料

第一节 天然火山灰质材料简介

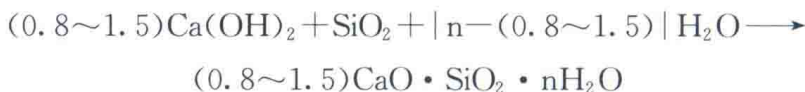
混凝土掺合料可分为火山灰质材料和非火山灰质材料。火山灰质材料指凡是天然的或人工的以氧化硅和氧化铝为主要成分的矿物质材料,在没有外加剂情况下加水拌和不会发生凝结硬化,但在有石灰存在时,则不仅能在空气中硬化,且能在水中继续硬化^[1,2]。火山灰质材料有多种分类方法,若按火山灰质材料的来源分,可以将其分为天然的和人工的火山灰质材料两种。其中天然火山灰是火山喷发后形成的细粒碎屑的疏松沉积物,种类丰富,主要包括火山灰、浮石、沸石岩、凝灰岩、硅藻土、硅藻石、蛋白石等,矿物结构主要为细粒至隐晶质结构、斑状结构,矿石构造特征有气孔、杏仁状或致密构造,矿物成分由无定形玻璃质($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$)所包围的无数微晶体所组成,可溶性的酸性氧化物 SiO_2 和 Al_2O_3 是天然火山灰质材料水化活性的主要来源。人工火山灰原材料则以炉渣和烧制黏土砖瓦为主,一般常见的有烧黏土、烧页岩、煤渣、粉煤灰、煤矸石等,其中以粉煤灰的应用最为普遍^[3]。

火山灰的英文“pozzolan”源于那不勒斯附近一个叫 Pozzuoli 的村庄,公元 79 年意大利的 Vesuvius 火山喷发后,大量火山灰沉积在此,因此而得名,此后成为具有类似性能的所有材料的通称。这类材料与水泥水化产物氢氧化钙发生火山灰反应,生成水化硅酸钙凝胶,显示水硬胶凝性能,提高混凝土的密实性能和耐久性能。火山灰以意大利火山灰最为有名^[4],它是火山爆发的碎屑,其化学组成:氧化硅(SiO_2) 45%~60%;氧化铝(Al_2O_3)和氧化铁 15%~30%;氧化钙(CaO)、氧化镁(MgO)、碱质之和约 15%;烧失量高达 10%。它的岩相结构主要是玻璃质并夹杂少量晶体矿物如长石、石榴石、辉石等,具有良好的火山灰活性。火山玻璃沸石化后形成凝灰岩,如德国的粗石凝灰岩(trass), also 具有良好的火山灰活性。火山灰除含有可溶氧化硅外,还含有少

量的可溶氧化铝。

一、天然火山灰质材料化学作用对混凝土的影响

水泥中约占总质量 75% 的硅酸盐熟料矿物 C_3S 与 C_2S 在水化后主要生成钙硅比为 1.6~1.9 的高碱性水化硅酸钙 ($C/S > 1.5$) 和大量氢氧化钙^[5]。相对于低碱性水化硅酸钙 ($C/S < 1.5$)，其强度要低得多^[6]。特别是氢氧化钙的强度低，稳定性差，这就导致水泥石和混凝土的强度不高，耐久性降低。掺入足够数量的天然火山灰质材料作为掺合料，天然火山灰质材料中的活性 SiO_2 和 Al_2O_3 能逐步的与水化产物 $Ca(OH)_2$ 、水化硅酸钙产生二次水化反应，即所谓的火山灰反应，生成低碱性水化硅酸钙，其反应式为^[7,8]：



二、天然火山灰质材料物理作用对混凝土的影响

火山灰在混凝土中的物理作用包括微骨料效应和稀释效应。

微骨料效应：火山灰的微骨料效应是指火山灰颗粒均匀的分布于水泥浆体的基相之中，就像细微的骨料一样，这样的硬化浆体，也可以看做“微混凝土”。砂浆或混凝土的硬化过程及其结构和性质的形成，不仅取决于水泥，而且还取决于微骨料。

稀释效应：火山灰的稀释效应是指适量的火山灰作为掺合料掺入浆体中，降低了水泥用量，使水泥水化更加充分，同时水泥水化后产生的易腐蚀物质减少，从而有效的增加硬化水泥石的抗侵蚀性能。

第二节 天然火山灰质材料国外研究应用概况

火山灰质材料作为一种重要的辅助性胶凝材料有很久的应用历史。早在 2000 年前，罗马人用石灰、火山灰混合物建造了很多大型的建筑物如万神殿 20 英尺 (约 6.1 m) 厚的墙，表面砌有一层薄砖，墙身用的是凝灰岩和火山灰制

成的混凝土;跨度为 142 英尺 6 英寸(约 43.4 m)的圆屋顶是完全用含浮石的火山灰混凝土浇筑的。公元 12~14 年,罗马 Caligula 皇帝时期用石灰和火山灰以 1:2 比例配合,成功地建造了那不勒斯海湾,至今虽然被海浪磨光了表面,长满青苔,但混凝土却完好无损,数百米长的墙几乎无一裂缝。18 世纪中期,英国的 J. Smeaton 被委派建造位于 Cornish 海湾外的 Eddystone 灯塔,该灯塔受海浪冲刷,环境恶劣,而 Smeaton 则使用石灰—火山灰砂浆成功地建造了耐海水的灯塔。



图 1—1 两千年前用天然火山灰质材料建造的罗马万神殿

维苏威火山是欧洲大陆唯一的活火山,曾在公元 79 年喷发过一次,这次著名的喷发破坏了庞贝和赫尔库拉涅乌姆城,但也产生了大量的火山灰。这些天然火山灰已经被使用了很多个世纪,起先用于石灰砂浆,后来又用于硅酸盐水泥混凝土。仅 1977 年,意大利就生产了 1500 万 t 火山灰水泥,使用了大量的天然火山灰材料^[9]。

由于在很多国家蕴藏有大量天然火山灰矿产,将天然火山灰用于水泥替代材料已成为必然之势。例如,希腊、德国、罗马尼亚、俄罗斯、美国等国家已经大量使用天然火山灰。美国第一次大量使用火山灰是在 1910~1912 年建造洛杉矶高架渠工程,该工程使用的火山灰材料超过 10 万 t^[10]。自从那时开始,美国天然火山灰开始大量应用于大坝、桥梁以及其他大型工程建设中。

石灰—火山灰混合物之所以后来被硅酸盐水泥所替代,是由于石灰—火山灰胶凝体系早期强度低,水化反应慢,不能满足人类对于建筑业、交通基础设施快速发展的需要。由于使用部门对混凝土早期强度要求的不断提高,使

得水泥厂家不断提高水泥强度,片面追求高强度而忽视其他方面的性能。水泥生产向大幅度提高水泥细度、增加硅酸三钙含量的方向发展,使得混凝土的耐久性问题变得越来越突出。有 2000 年前的古罗马使用天然火山灰质材料的成功先例,混凝土中掺加火山灰质材料能够提高混凝土耐久性能已被工程实践所证明。

一、对力学性能的影响

土耳其的 T. K. Erdem 等人研究了使用土耳其珍珠岩作为混凝土掺合料,研究表明,掺珍珠岩的混凝土虽然早期强度低,但是由于火山灰效应,后期强度比普通混凝土甚至有所提高。Bails Ozer 指出早期养护对于火山灰混凝土很重要,早期是否放入水中养护对于尽快发挥火山灰效应有重要影响。放入水中养护 14 d 的火山灰混凝土强度能够达到普通混凝土水中养护 2 个月左右的强度。

L. Turanli, B. Uzal, F. Bektas 等人的研究结果表明,到 90 d 龄期时,大掺量火山灰的掺合料水泥的砂浆的抗压强度在所有测定龄期中都低于波特兰水泥,特别是由于掺合料水泥砂浆中低波特兰水泥含量和相对高的水灰比的共同作用,火山灰水泥的早期强度下降幅度很大^[11]。天然火山灰的粒径分布显著地影响了早期强度,而强度的发展状况更多地与天然火山灰的火山灰活性有关^[12]。

意大利 Marco Goisis 等人研究利用意大利 Lazio Cellerferro 的天然火山灰替代部分水泥的抗压强度^[13],结果表明,用配比 90/10 NP、80/20 NP、70/30 NP 制备的火山灰水泥砂浆,其抗压强度低于用 CEM I 水泥制备的砂浆,且这个差距随着火山灰掺量的增加而增加,随着龄期的增加而减少。粉煤灰替代有着同样的结论。

B. Y. Pekmezci, S. Akyuz 采用 Uzuntarla-Turkey 的凝灰岩研究掺量对混凝土力学性能的影响^[14],结果表明,当天然火山灰/硅酸盐水泥比例为 0.28 时,混凝土能够得到最佳的力学性能,这个比例也可以用在混合水泥生产中。如果天然火山灰/硅酸盐水泥比例过大,天然火山灰效益会较低。

M. J. Shannag 采用约旦西北部 Tal Rimah 地区的凝灰岩复合硅灰提高混凝土的力学性能^[15],混凝土的抗压强度达到 69~110 MPa,采用天然火山

灰和硅灰复合得到的混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、弹性模量和工作性远优于单独采用天然火山灰或者硅灰,因此在当地采用天然火山灰和硅灰复合具有显著的技术和经济效益。

Kemal Celik, Cagla Meral, Mauricio Mancio, P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro 对比研究采用大掺量的天然火山灰和粉煤灰制备的自密实混凝土的工作性、力学性能和耐久性^[16],结果表明,采用 70%硅酸盐水泥+30%天然火山灰作为胶凝材料的混凝土比 70%硅酸盐水泥+30%粉煤灰复合,抗压强度在 7 d、28 d、91 d 分别高 12%、6%、2%,但是采用 50%硅酸盐水泥+50%天然火山灰作为胶凝材料的混凝土比 50%硅酸盐水泥+50%粉煤灰复合,抗压强度在 28 d、91 d 却分别低 18%、12%;同时 55%硅酸盐水泥+30%天然火山灰+15%石灰石粉抗压强度较高,45%硅酸盐水泥+40%天然火山灰+15%石灰石粉和 35%硅酸盐水泥+50%天然火山灰+15%石灰石粉抗压强度低,相对于同比例的粉煤灰。

Y. Senhadji, G. Escadeillas, M. Mouli, H. Khelafic, Benosman 研究了辅助胶凝材料(包括阿尔及利亚西部的天然火山灰、硅灰和石灰石粉)对混凝土力学性能的影响^[17],结果表明,15%、20%、25%三个比例替代硅酸盐水泥,其 2 d、7 d、28 d、90 d 抗压强度均比纯硅酸盐水泥基准组低,20%天然火山灰替代组,在 360 d 时的抗压强度超过基准组,并且 15%和 25%天然火山灰替代组,360 d 抗压强度也比较接近基准组。说明天然火山灰作为辅助胶凝材料,具有较大的后期强度发展潜力。

二、对耐久性能的影响

Khandaker M. A. Hossain, Mohamed Lachemi, Mustafa Sahmaran 等人研究粉煤灰和巴布亚新几内亚新不列颠省拉包尔附近塔乌鲁火山天然火山灰对海洋环境下混凝土抗渗性能的影响^[18],结果表明,由于火山灰效应使混凝土孔结构细化,因此掺加粉煤灰和天然火山灰的混凝土氯离子渗透系数比普通混凝土减小很多。

Adnan Cola 研究了石膏—硅酸盐水泥—天然火山灰胶凝材料的耐久性^[19],结果表明,掺加天然火山灰能够很好的提高混凝土的抗冻性能,不但可以提高冻融循环次数,还可以提高冻融循环后混凝土的抗压强度。

天然火山灰做为辅助胶凝材料有着广泛的应用,特别是在缺乏其他矿物掺合料(如粉煤灰、矿渣粉、硅灰)的地区,天然火山灰的应用具有较大的技术效益和经济效益,尤其是节约能源和减少碳排放量。N. Kaid, M. Cyr, S. Julien, H. Khelafi 采用阿尔及利亚(北非国家)的天然火山灰,研究其对混凝土耐久性的影响^[20],结果表明,掺加天然火山灰的混凝土具有良好的抗腐蚀性。

G. Fajardo, P. Valdez, J. Pacheco 采用墨西哥的天然火山灰研究 0~20% 掺量的火山灰对混凝土中钢筋腐蚀的影响^[21],结果表明,10%~20% 掺量的墨西哥天然火山灰替代硅酸盐水泥对减轻混凝土中钢筋锈蚀是有利的,主要原因为:(1)天然火山灰的掺加能够显著提高混凝土的电阻率;(2)20% 掺量的天然火山灰能够显著延长钢筋锈蚀的诱导期,从而数量级的降低钢筋锈蚀速率;(3)天然火山灰参与到水泥水化当中,可以有效的降低混凝土的孔隙率,从而进一步降低钢筋锈蚀发展的速率。同时,试验发现天然火山灰替代部分硅酸盐水泥会使混凝土抗压强度降低,但是相对于钢筋锈蚀的减轻和防护性能的提高是可以接受的,而且抗压强度的降低可以通过减水剂的使用降低水胶比来弥补。

R. E. Rodriguez-Camacho, R. Uribe-Afif 研究了墨西哥境内九种不同产地天然火山灰的差异以及对混凝土耐久性能的影响^[22],结果表明,天然火山灰的主要矿物成分为:玻璃体、碱性长石、中性长石、石英、浮石等;九种不同产地的天然火山灰大多数可以用于生产火山灰水泥和用于混凝土当中;试验中混凝土的抗压强度相对于纯硅酸盐水泥抗压强度有所降低,但是抗硫酸盐侵蚀性能提高较多。

第三节 天然火山灰质材料国内研究应用概况

在国内,虽然我国火山地带较多,但是对于天然火山灰的应用研究却是从近几十年才开始进行的。

一、在生产水泥中的应用

20 世纪 90 年代,我国的云南西双版纳人工火山灰混合材料短缺,起初该