



EFFECTS OF MINERAL ADMIXTURE ON THE PHYSICAL
PROPERTY OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE

矿物掺量对轻骨料混凝土 物理性能的影响研究

王萧萧 著
申向东



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

矿物掺量对轻骨料混凝土 物理性能的影响研究

王萧萧
申向东 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书充分利用内蒙古当地丰富的天然浮石资源和工业废料,研制了水泥、天然浮石、砂子、粉煤灰、石粉等混合的新型轻质节能寒区材料——天然浮石轻骨料混凝土。

本书系统研究了天然轻骨料混凝土的力学性能和抗冻耐久性,并结合电子计算机 X 射线断层扫描、环境扫描电镜、超景深三维显微系统试验分析探讨了细观力学特点;首次利用低温核磁共振仪测量分析了冻融过程中轻骨料混凝土孔溶液的结冰量,得出了孔溶液结冰的一般规律;并结合亚微观研究与宏观研究提出轻骨料抗冻耐久性预测模型,不但定性地判断轻骨料混凝土抗冻性的优劣,而且就轻骨料混凝土冻害全过程进行了定量描述。

本书可供土木、水利、交通等行业的建筑材料和材料技术人员使用,亦可供有关科研和工程设计人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

矿物掺量对轻骨料混凝土物理性能的影响研究 / 王
萧萧, 申向东著. — 北京 : 中国水利水电出版社,
2015. 4

ISBN 978-7-5170-3054-6

I. ①矿… II. ①王… ②申… III. ①矿物质—影响
—轻集料混凝土—物理性能—研究 IV. ①TU528. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第060484号

策划编辑: 宋俊娥

责任编辑: 李 炎

封面设计: 李 佳

书 名	矿物掺量对轻骨料混凝土物理性能的影响研究
作 者	王萧萧 著 申向东
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 16.25 印张 291 千字
版 次	2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	56.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

轻骨料混凝土（又名轻集料混凝土，Lightweight Aggregate Concrete）是指用轻粗骨料、轻细骨料（或普通砂）、水泥和水，必要时加入化学外加剂等矿物掺合料配制而成，并且在标准养护条件下，28d 龄期的干表观密度 $<1950\text{kg/m}^3$ 的混凝土。这种混凝土由于孔隙率大、密度低、抗冻、保温性好，近年来被广泛使用。天然浮石是一种多孔玻璃质火山喷出岩，在内蒙古地区分布广泛，蕴藏量大。

轻骨料混凝土与普通混凝土比较具有如下独特的性能特点：比强度高；具有隔热、保温、保湿功能；耐火性好；抗震性能好；耐久性好；抗裂性好；无碱集料效应；综合经济效益好。但浮石的本身强度较低且成分组成差异性较大，致使轻骨料混凝土强度比较低且稳定性不足。在北方寒冷地区轻骨料混凝土的推广和应用因其基础强度较差而成为其发展的瓶颈。如何保证反复冻融条件下轻骨料混凝土的强度，进而保证工程的使用寿命，是轻骨料混凝土在寒区进一步推广应用的关键，寻求改性效果显著的外加剂是提高轻骨料混凝土强度和耐久性的重要研究内容，此外掺入外加剂可提高其结构的密实度。轻骨料混凝土中加入矿物掺合料，对在低温条件下混凝土的冻胀应力、温度应力和强度的发展变化规律等均具有相当重要的作用。国内外在轻骨料混凝土外加剂研究方面已有一些成果，但针对寒冷地区自然环境（尤其是西北盐碱地区环境）的特点，矿物掺量对轻骨料混凝土反复冻融条件下的力学性能和耐久性影响的试验研究开展得尚不充分。

本书充分利用内蒙古地区丰富的浮石资源和工业废料，研究和开发水泥、浮石、砂子、粉煤灰、石粉等混合的新型轻质节能寒区材料——天然浮石轻骨料混凝土，其主要优点是就地取材，减少砂石及水泥用量，节约能源，减轻环境污染等，具有十分重要的意义。轻质、高强、耐久是混凝土技术发展的方向，所以发展轻骨料混凝土不仅能够满足自重轻、耐久性好等要求，并且属于绿色材料。

本书选取内蒙古地区的天然浮石作为粗骨料，通过室内试验，研究了石灰石粉和粉煤灰对水泥浆体流变性能的影响，探讨了二者对水泥净浆、水泥胶砂工作性能的改善。为了研究轻骨料混凝土的基本力学性能和抗冻耐久性能，通过不同矿物掺量进行单掺试验，确定不同矿物掺量对轻骨料混凝土力学性能的影响及改性效果，并进行了双掺不同矿物的力学试验和在盐渍溶液中的抗冻性能研究，同时结合内蒙古地区丰富的工业材料和自然资源，研究配制了针对寒冷地区的轻骨料混凝土，提出了它的最佳配合比。为了验证轻骨料混凝土的强度特征和耐久性，

通过室内试验,对轻骨料混凝土进行了不同掺量、不同养护龄期的抗压强度、劈裂强度、抗拉强度、抗冻性等试验。并结合电子计算机 X 射线断层扫描(CT)、环境扫描电镜(ESEM)、超景深三维显微系统试验分析探讨了轻骨料混凝土的细观力学特点,分析了轻骨料混凝土内部的结构,并结合核磁共振测试,分析了冻融前后的内部孔隙损伤扩展特征。

本书利用低温核磁共振仪测量得到冷冻过程和融化过程中轻骨料混凝土孔溶液的结冰量,掌握孔溶液结冰的一般规律,为预测轻骨料混凝土抗冻耐久性提供必要的参数。最后结合亚微观研究与宏观研究提出轻骨料抗冻耐久性预测模型,不仅定性地判断了轻骨料混凝土抗冻性的优劣,而且就轻骨料混凝土冻害的全过程进行了定量描述。

本书得到了国家自然科学基金、高等学校博士学科点专项科研基金、内蒙古自然科学基金、内蒙古自治区科技计划(应用与研究开发项目)、内蒙古高等学校重点科研基金等的资助。

本书的成果在国家核心期刊及大型国际会议上均有发表,共发表学术论文 28 篇,被两大国际检索系统收录 10 篇,其中 SCI 1 篇, EI 9 篇。

全书由王萧萧、申向东统稿。参加本书编写工作的人员有内蒙古农业大学王萧萧、申向东、张通、高矗、张佳阳、王海龙、韩俊涛、李燕、李红云、秦淑芳等。

本书所研究的内容属于建筑材料、岩土工程、工程力学的交叉学科,作者从 2009 年 6 月以来一直从事浮石混凝土的试验研究工作,但影响轻骨料混凝土抗冻性能预测模型的因素众多,本书仅是结合室内试验理论进行预测模型,与真实的轻骨料混凝土抗冻耐久性预测模型尚有一定的误差。许多问题仍在研究与探索阶段,作者虽夙兴夜寐、殚心竭虑,但鉴于水平有限,书中难免有不足之处,敬请广大读者和专家批评指正。

作者

2014 年 12 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 研究背景和研究意义	1
1.2 国内外轻骨料混凝土研究现状	5
1.2.1 国外轻骨料混凝土研究现状	5
1.2.2 国内轻骨料混凝土研究现状	7
1.3 混凝土的流变学	9
1.3.1 流变学发展应用	9
1.3.2 流变学混凝土	9
1.3.3 流变学的表征方法	10
1.4 粉煤灰-石灰石粉-水泥胶凝材料流变性能的发展现状	11
1.5 粉煤灰增强轻骨料混凝土的特性及应用	12
1.6 石粉掺合料对轻骨料混凝土的影响	13
1.7 研究的内容与方法	15
第二章 天然轻骨料的特性	17
2.1 天然轻骨料的开发和应用	19
2.2 轻骨料混凝土标准和规程的编制	20
2.3 轻骨料混凝土分类及优点	20
第三章 试验材料和试验方法	23
3.1 试验材料	23
3.1.1 天然浮石的基本性能	23
3.1.2 水泥	25
3.1.3 粉煤灰	26
3.1.4 石粉	27
3.1.5 细骨料	29
3.1.6 其他试验材料及基本性能	29
3.2 试样的制备及养护方法	30
3.2.1 水泥砂浆制备	30
3.2.2 轻骨料混凝土的制备	31
3.2.3 试件的养护方法	32

3.3 试验内容	33
3.3.1 细度模数的测定	33
3.3.2 粒度分析	33
3.3.3 流动性能的测定	34
3.3.4 和易性测定	35
3.3.5 浮石混凝土干表观密度的测试	36
3.3.6 抗压强度的测试	36
3.3.7 抗折强度的测试	37
3.3.8 劈裂抗拉强度的测试	38
3.3.9 轴心抗压强度试验	38
3.3.10 应力应变曲线试验	39
3.3.11 扫描电镜试验	40
3.3.12 轻骨料混凝土抗冻性试验	41
3.3.13 X射线计算机断层成像技术 (CT 扫描)	43
第四章 粉煤灰、石灰石粉对水泥净浆流动性能的影响	45
4.1 概述	45
4.1.1 粉煤灰对水泥净浆流动度影响机理	45
4.1.2 石灰石粉对水泥净浆流动度影响机理	46
4.2 试验方案	46
4.3 粉煤灰、石灰石粉与水泥粒度分析试验	47
4.4 粉煤灰、石灰石粉单掺对水泥净浆流变性的影响	48
4.4.1 粉煤灰与石灰石粉单掺对水泥净浆流动度与 marsh 时间的影响	48
4.4.2 粉煤灰与石灰石粉单掺水泥净浆流动度与流动速度的关系	50
4.5 粉煤灰与石灰石粉复掺对水泥净浆流动度的影响	52
4.5.1 粉煤灰与石灰石粉复掺对水泥净浆流动度与 marsh 时间的影响	52
4.5.2 粉煤灰与石灰石粉复掺对水泥净浆度与流动速度的影响	54
4.6 水泥净浆流变表征模型建立	56
4.7 小结	58
第五章 粉煤灰、石灰石粉对水泥胶砂工作性能的影响	59
5.1 概述	59
5.2 试验设计	59
5.3 粉煤灰、石灰石粉单掺对水泥胶砂流动度经时损失的影响	61
5.3.1 单掺粉煤灰对水泥胶砂流动度经时损失的影响	61
5.3.2 单掺石灰石粉对水泥胶砂流动度经时损失的影响	63
5.4 粉煤灰、石灰石粉复掺对水泥胶砂流动度及经时损失的影响	65

5.5 小结	68
第六章 浮石混凝土基本力学性能试验研究	70
6.1 概述	70
6.2 试验设计和配合比	70
6.3 试验现象与破坏形态分析	71
6.4 抗压强度和劈裂抗拉强度的换算关系	72
6.5 浮石混凝土抗压强度计算公式	74
6.6 小结	74
第七章 粉煤灰对轻骨料混凝土性能影响的试验研究	76
7.1 试验概况	76
7.2 试验设计	76
7.3 粉煤灰对轻骨料混凝土抗压强度的影响	77
7.3.1 粉煤灰轻骨料混凝土抗压强度	77
7.3.2 粉煤灰轻骨料混凝土回归分析	78
7.4 粉煤灰对轻骨料混凝土抗冻性能的影响	79
7.4.1 粉煤灰轻骨料混凝土抗冻性能	79
7.4.2 轻骨料混凝土 100 次冻融前后的应力-应变关系曲线	81
7.5 小结	82
第八章 石粉替代砂子的轻骨料混凝土力学性能研究	83
8.1 概况及试验结果	83
8.2 不同掺量的石灰石粉对轻骨料混凝土工作性能的影响	84
8.3 不同掺量的石灰石粉对轻骨料混凝土抗压强度的影响	84
8.4 不同掺量的石灰石粉对轻骨料混凝土劈裂抗拉强度的影响	85
8.5 微观结构分析	86
8.6 小结	88
第九章 石粉替代水泥的轻骨料混凝土力学性能研究	89
9.1 概况及试验结果	89
9.2 试验设计和配合比	90
9.3 石灰石粉掺量对浮石混凝土抗压强度的影响	90
9.4 石灰石粉掺量对浮石混凝土劈裂抗拉强度的影响	92
9.5 掺石灰石粉浮石混凝土微观结构分析	93
9.6 石粉石粉对浮石混凝土作用机理和规律分析	95
9.7 小结	96
第十章 应力损伤轻骨料混凝土抗冻融性能试验研究	98
10.1 概述	98

10.2	试验设计	98
10.3	试验结果与分析	99
10.3.1	相对动弹性模量	99
10.3.2	质量损失率及破坏形态	100
10.3.3	微结构特征分析	101
10.3.4	冻融损伤机理分析	104
10.3.5	冻融损伤演化过程分析	105
10.4	小结	106
第十一章	石粉和粉煤灰双掺对轻骨料混凝土力学性能的影响研究	108
11.1	概况及试验结果	108
11.2	石粉对轻骨料混凝土基本力学性能试验研究(含早期)	110
11.2.1	石粉对轻骨料混凝土和易性能的影响	110
11.2.2	石粉对轻骨料混凝土抗压强度的影响	111
11.2.3	石粉对轻骨料混凝土抗折强度的影响	112
11.2.4	石粉对轻骨料混凝土轴心抗压强度的影响	113
11.3	石粉轻骨料混凝土应力应变-本构关系	113
11.3.1	应力-应变曲线	113
11.3.2	无量纲化应力-应变全过程曲线	115
11.3.3	石粉轻骨料混凝土的本构方程	116
11.4	石粉轻骨料微观结构形态分析	117
11.5	小结	120
第十二章	石粉轻骨料混凝土在盐渍溶液中抗冻性能的试验研究	121
12.1	冻融循环的试验设计	121
12.2	石粉轻骨料混凝土抗冻性试验	122
12.2.1	石粉轻骨料混凝土冻融循环后的试验结果	122
12.2.2	河套灌区溶液对冻融循环过程中抗压强度损伤的影响	123
12.2.3	河套灌区溶液对冻融循环过程中质量损伤的过程	125
12.2.4	石粉轻骨料混凝土的冻融后破坏形式	126
12.3	石粉轻骨料混凝土冻融损伤机理分析	131
12.3.1	化学反应机理	131
12.3.2	混凝土冻融循环损伤	133
12.3.3	轻骨料混凝土的损伤试验	133
12.3.4	石粉轻骨料混凝土冻融损伤破坏机理分析	133
12.4	小结	134

第十三章 矿物轻骨料混凝土细观研究初探	136
13.1 混凝土细观力学的研究	138
13.1.1 混凝土细观力学的研究方法	139
13.1.2 细观力学数值模拟研究	139
13.1.3 细观力学试验研究	144
13.2 计算机断层扫描的基本原理	146
13.2.1 CT的一般原理	146
13.2.2 CT技术的应用领域	147
13.2.3 CT扫描原理与方法	148
13.3 CT机的构成	150
13.4 试样制备与试验过程	154
13.5 CT图像分析	154
13.6 ESEM照片	156
13.7 超景深三维显微系统的基本特点	158
13.8 利用超景深三维显微系统进行测试	160
13.9 超景深显微形貌分析	161
13.10 微裂纹变化	162
13.11 小结	164
第十四章 矿物轻骨料混凝土核磁共振研究初探	165
14.1 核磁共振基本原理	166
14.1.1 原子核的磁性	166
14.1.2 极化	167
14.1.3 脉冲翻转和自由感应衰减	169
14.1.4 自旋回波及CPMG	170
14.2 核磁共振在多孔材料中的应用原理	171
14.2.1 孔隙流体的核磁共振弛豫机制	171
14.2.2 自由弛豫	172
14.2.3 表面弛豫	172
14.2.4 扩散弛豫	173
14.2.5 孔隙流体的多指数衰减	173
14.3 核磁共振成像技术	174
14.4 核磁共振测量仪器	176
14.4.1 核磁共振分析系统	176
14.4.2 真空饱和装置	178
14.5 基于NMR技术的轻骨料混凝土孔隙结构测量实验	179

14.5.1	试验设计	179
14.5.2	实验步骤	179
14.5.3	试验结果及分析	181
14.5.4	核磁共振成像分析	183
14.6	传统试验方法测试	184
14.6.1	质量损伤	184
14.6.2	相对动弹模量	186
14.6.3	质量损伤、相对动弹模量与孔隙率的结果对比	187
14.7	小结	188
第十五章	轻骨料混凝土核磁共振的应用研究	189
15.1	轻骨料混凝土渠道衬砌冻融损伤的核磁共振特征分析	189
15.2	超声波测试	189
15.3	毛细吸水量分析	190
15.4	天然浮石混凝土孔隙度	192
15.5	核磁共振 T_2 谱分布	194
15.6	T_2 谱面积分析	196
15.7	核磁共振成像分析	197
15.8	小结	200
第十六章	轻骨料混凝土孔隙结冰规律的研究	201
16.1	轻骨料混凝土的孔结构与其抗冻性的关系	201
16.1.1	凝胶孔	201
16.1.2	毛细孔	201
16.1.3	非毛细孔	201
16.2	混凝土孔溶液的冻结	202
16.3	已有的实验方法	203
16.4	轻骨料混凝土孔溶液结冰量的测试	204
16.4.1	试验测试原理	204
16.4.2	试验方法和测试过程	205
16.5	试验结果及分析	206
16.5.1	未冻水含量测试	206
16.5.2	T_2 谱图及孔径分布	209
16.5.3	孔隙度测试	214
16.6	小结	216
第十七章	轻骨料混凝土抗冻耐久性预测模型	217
17.1	混凝土冻融破坏机理	217

17.1.1	静水压假说	217
17.1.2	渗透压假说	219
17.2	轻骨料混凝土抗冻耐久性预测模型	220
17.2.1	静水压是导致轻骨料混凝土冻害的主要原因	221
17.2.2	冻融中轻骨料混凝土内应力的计算模型	222
17.3	轻骨料混凝土静水压计算过程	224
17.3.1	硬化混凝土气泡参数试验	224
17.3.2	静水压力的计算	227
17.4	预测轻骨料混凝土抗冻耐久性的疲劳损伤模型	230
17.4.1	损伤力学的研究方法	230
17.4.2	混凝土冻害损伤演化方程	231
17.4.3	预测轻骨料混凝土的疲劳损伤模型	232
17.5	模型的验证	233
17.6	小结	234
第十八章	结语	235
18.1	结论	235
18.2	展望	239
	参考文献	241

第一章 绪论

1.1 研究背景和研究意义

随着我国经济的逐步发展,国家开始大力投资土木工程的建设,例如道路桥梁、高层建筑等。在建设中,普通混凝土的应用领域是最大的,但其本身存在着很多缺点,例如由于普通混凝土中的粗骨料是碎石,不仅增加了自重,而且碎石的隔热保温性能也差,为它的发展应用造成了阻碍。当今,更多的建筑工程向着超高层建筑、大跨度桥梁的方向发展,与此同时,更多新型结构的特殊要求,使普通混凝土自重大的缺点越来越明显,从很大程度上限制了土木工程的发展,使得我国一些结构技术进入瓶颈时期。因此发展自重轻的轻骨料混凝土来代替普通混凝土是刻不容缓的,也是解决现存问题的最好办法^[1]。

轻骨料混凝土与普通混凝土比较具有如下独特的性能特点:比强度高;隔热、保温、保湿;耐火性好;抗震性能好;耐久性好;抗裂性好;无碱集料效应;综合经济效益好。轻质、高强、耐久是混凝土技术发展的方向,发展轻骨料混凝土是减轻结构自重,使混凝土向轻质、高强、绿色节能方面发展的主要途径。

国内的轻骨料混凝土现存在以下几个问题:轻骨料混凝土的强度问题。当轻骨料混凝土达到一定强度以后,在继续增加水泥用量的情况下,其强度增加不再明显。同时,与水泥石的强度相比,轻骨料的强度偏低,这也大大限制了轻骨料混凝土强度的提高。同时还存在轻骨料混凝土的泵送问题。目前,LC40~LC60的高强轻骨料混凝土已开始在工程上应用,但对轻骨料混凝土中骨料与胶凝材料易离析而影响泵送施工的问题并没有根本解决,存在的问题主要有:

(1) 工作性能降低,当泵送时,部分水泥浆中的水在压力作用下渗入轻骨料中,降低了混凝土的工作性能。

(2) 当水分由水泥浆渗入轻骨料中,混凝土的体积将轻微降低。因此,泵送轻骨料混凝土具有可压缩性和在泵压下表现为塑性。

(3) 当增加泵压时,混凝土中的空气被压缩到轻骨料中,这也是泵送轻骨料混凝土具有可压缩性的原因。然而,当泵压降低和消逝后,存在轻骨料孔中的被压缩空气又会将轻骨料孔中的水分挤出。如果这种情况发生在泵管中,会导致混

凝土拌和物泌水并堵塞泵,为轻骨料混凝土的实际工程应用带来了一定的阻力。

轻骨料混凝土无论在组成、结构还是性能方面,与普通混凝土相比,都有很大的不同。所以发展轻骨料混凝土不仅能够满足自重轻、耐久性好等要求,而且属于绿色材料。因此开展高性能天然轻骨料混凝土的研究及解决其现存的一些问题,意义十分显著。北方寒区及水工建筑物中大量使用普通混凝土,特别是在节水工程中使用混凝土,既不经济又不环保。发展“绿色建材”,选择资源节约型、污染最低型、质量效益型、科技先导型的生产方式是21世纪我国水利工程及其他建筑工程的必然之路。所以有必要充分利用丰富的浮石资源和工业废料,研究和开发水泥、浮石、粉煤灰、石灰粉等混合的新型绿色环保材料——天然浮石轻骨料混凝土。

为了更加完善轻骨料混凝土的物理力学性能和耐久性,本文对混凝土的工作性能、力学性能及耐久性等进行试验研究。首先,新拌轻骨料混凝土的工作性能成为混凝土性能的首要考虑指标,已有不少学者对新拌混凝土的工作性能进行研究,有多种研究方法,并阐述其多种涵义,但迄今为止仍没有一个公认的确切定义。目前大多数研究者认同的观点是新拌混凝土的工作性能与混凝土自身因素及施工工艺有关。冯乃谦^[2]认为:工作性能是反映新拌混凝土性质的概念,是指混凝土拌合物从搅拌开始到抹平,整个施工过程中易于运输、浇注、振捣、不产生组分分离析,容易抹平,并获得体积稳定、结构密实的混凝土的性质。黄大能等^[3]认为,工作性能的定义应该是:混凝土混合物在拌和、输送、浇灌、捣实、抹平这一系列操作过程中,在消耗一定能量情况下达到稳定和密实的程度。这就是说,一种混凝土混合物,在整个操作过程中消耗最少能量下能达到最稳定和密实的程度,就是最佳工作性能。因此,新拌混凝土的工作性能的涵义应该包括流动性、粘聚性、可塑性、稳定性、易密性等,是混凝土拌合物运输、浇捣、抹面等主要操作工序能够顺利进行的保证,故又称和易性。流动性是指混凝土拌合物在自重或机械振捣力的作用下,能产生流动并均匀密实地充满模型的性能。流动性的大小反映拌合物的稠度,它直接影响施工的难易和混凝土的质量。粘聚性则是指混凝土拌合物内部组分之间具有一定的粘聚力,在运输和浇注过程中不会发生分层离析现象,能使混凝土保持整体均匀性。高强、泵送混凝土已逐渐在工程中普遍应用,在这些新的混凝土工程中,混凝土的流动性,特别是混凝土中水泥浆的流动性应引起人们的高度重视。

随着混凝土的工作性能越来越受到重视,对一些有益于混凝土工作性能提高的掺合料的研究也越来越多,其中对混凝土工作性能影响比较大的有粉煤灰和石灰石粉。粉煤灰作为一种常用的矿物掺合料,已进行了大量研究并取得了大量成

果。粉煤灰这种工业废渣,其“形貌效应”“微集料效应”“火山灰效应”在工程中已得到充分利用。随着我国基础建筑的大量开展,粉煤灰已经成为了一种紧缺材料。故研究一种能取代粉煤灰或部分取代粉煤灰的掺合料已势在必行。石灰石粉作为混凝土掺合料的研究也越来越多,其对混凝土的工作性能的改善也被大多数学者所认可。

石灰石粉、粉煤灰等工业副产品有了广阔的应用前景,不同掺合料对混凝土工作性能的影响也不同,多种掺合料的掺加也成为现阶段混凝土研究的热门课题。本文主要研究如何发挥各掺合料的优点,降低掺合料对混凝土的不良影响,通过研究粉煤灰、石灰石粉不同对比对混凝土工作性能的影响,来优化各掺合料配比,最大限度发挥各自优点。

影响混凝土流动性能的因素有很多,所以在实际工程应用中常常难以得到令人满意的结果。因此需要研究减水剂、矿物掺合料等因素对混凝土流动性能的影响。目前我们对混凝土流变性能的检测,最常采用工作性能检测方法,这种方法虽然能够基本反映混凝土的流变特征,但相对于使用流变仪检测,其精度还是有一定的差距。但混凝土流变仪只能在少数的试验中心才能够找到,而且使用这种方法进行试验时,试验周期长,成本比较高,也是其不能得到广泛运用的主要原因,也直接制约了对混凝土流动性能的研究。水泥基材属于非牛顿流体中的Bingham体,比牛顿流体更为复杂,因此选用合适的试验方法判断混凝土流动性能的优劣,对混凝土配合比设计、外加剂相容性分析具有十分重要的理论和现实意义。

在水工方面,近几年对混凝土的耐久性调查总结得出:与南方相比,在我国三北地区即东北、华北和西北,水工建筑物由于混凝土的冻融破坏造成的损失所占比例相对较大。北方严寒地区的水工建筑物(图1-1)损伤破坏的主要原因是:由于北方冬季时间长,混凝土长期经历冻融循环,所以破坏的程度较大。一些水工建筑物一般只能运行30年左右,有的甚至达不到20年就已经丧失了使用功能,每年因冻融破坏造成的损失高达1000余万元,故解决混凝土的抗冻性变得尤为重要。在经历反复冻融循环后,由于水分的不断进入,混凝土中的裂缝随着冻融出现互相贯通,致使强度逐渐降低,最后甚至可能完全丧失强度,使混凝土由表及里破坏。轻骨料混凝土由于弹性大、低密度,抗冻胀能力强、保温性好,并且由于内部多孔可以缓解水工建筑物的抗冻性,对北方特殊地理气候环境下适应能力更强,因此在寒冷地区使用轻骨料混凝土具有非常重大的经济效益与社会效益。

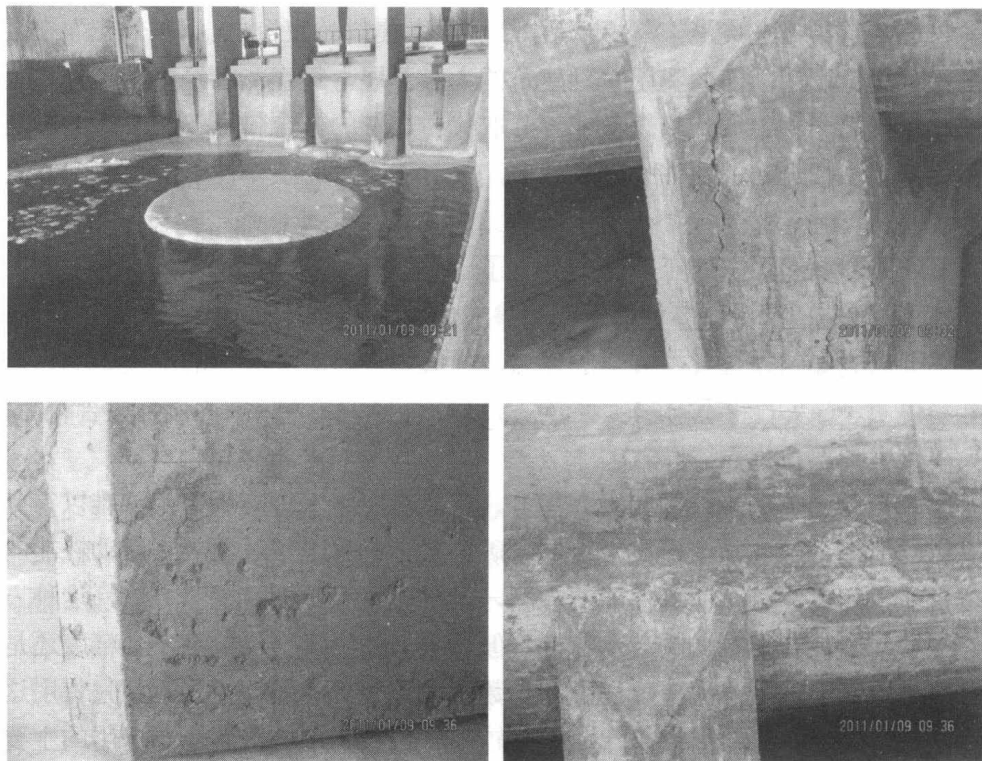


图 1-1 水工建筑物普通混凝土的冻融破坏

Fig.1-1 The hydraulic structures of common concrete freeze-thaw damage

由于内蒙古地区轻骨料分布比较广泛，而各个地区的轻骨料又存在差异。故本课题针对内蒙古集宁地区的轻骨料进行系统的研究，为其在工程实际应用提供理论基础，并为内蒙古其他地区的浮石应用提供依据。

在普通混凝土中，掺入粉煤灰代替水泥已经在工程实际中大量应用，应用技术已经非常成熟。对于内蒙古地区的轻骨料混凝土，并没有针对性地研究粉煤灰对轻骨料混凝土的影响，也没有系统地分析其最佳掺量。本课题则是针对内蒙古集宁地区的轻骨料混凝土，应用内蒙古地区火力发电厂的粉煤灰，掺入不同掺量的粉煤灰来替代水泥用量，探讨粉煤灰对轻骨料混凝土的影响，得出最佳掺量。不仅能够从环保和节能方面，合理地利用粉煤灰，对其废物利用；而且能对内蒙古其他地区的轻骨料的应用提供理论依据。

针对轻骨料混凝土现存的问题，对轻骨料混凝土再继续增加水泥用量，其强度增加已不再明显，并且由于轻骨料孔隙率大、吸水率高、饱和性太大，满足不了泵送混凝土高坍落度的要求，对轻骨料在工程中的应用也带来了一定的阻力。本课题以粉煤灰最佳掺量为基准组，研究不同掺量的石粉代替河砂的基本力学性能。由于石粉具有填充和包裹作用，可以一定程度上减小轻骨料的孔隙率，改善

其和易性及抗压强度,为工程上的应用带来了一定的参考价值和意义,从而更好地应用于工程实践。

针对北方寒冷地区及盐渍溶液环境的特殊性,分析双掺石粉、粉煤灰轻骨料混凝土的抗冻性,主要研究在盐渍溶液中的质量损失率、强度损失率及其抗冻机理。针对水工建筑物要承受冻融循环以及侵蚀作用的双重因素,目前的研究一般是在清水、3%NaCl、5%Na₂SO₄溶液中进行,距实际环境中的溶液成分有较大的差异。本文采用的冻融溶液——盐渍溶液是根据试验以及参考资料选取出河套灌区中离子的最大含量配出的溶液。这样能较好地对比双掺石粉、粉煤灰的轻骨料混凝土的抗冻性、盐蚀现象进行研究,对河套灌区的水工建筑物的轻骨料混凝土的使用提供一定的参考价值。力求既能提高轻骨料混凝土强度,又能保证较高的抗冻耐久性能。

本课题旨在通过大量试验研究不同矿物掺量下的轻骨料混凝土在特殊地理气候条件下的抗冻机理,通过各种掺料,得到符合寒旱区水利工程建筑物要求的混凝土,系统地研究轻骨料混凝土在环境中受到的冻融侵蚀,目前国内外在这方面研究甚少。

1.2 国内外轻骨料混凝土研究现状

1.2.1 国外轻骨料混凝土研究现状

在世界上对轻骨料混凝土研究及其应用较为先进的国家包括:美国、挪威和日本等国家。这些国家的轻骨料混凝土应用技术一直走在世界的前列^[4]。

人造轻骨料最早使用在1920年左右。S.J 海德最初运用回转窑烧制膨胀粘土轻骨料。1928年,美国开始把这种方法用于商业生产。西欧在第二次世界大战以后才开始有了轻骨料的生产,美国^[5]和前苏联因缺少天然的普通骨料,大量生产和使用了人造轻骨料,使轻骨料混凝土在这两个国家得到飞速发展,但是轻骨料混凝土长期以来一直被当作非结构材料使用,应用范围受到了很大的限制。

美国在1913年就研制出页岩陶粒,并且利用它很快配置成强度为30~35MPa的轻骨料混凝土,研制成功后,首先应用在桥梁工程和船舶制造业中,后来随着应用范围的拓展,房屋建筑中也被应用到。一个轻骨料混凝土耐久性极为优良的成功例子是1919年美国建造的7500吨页岩陶粒混凝土油轮Selma号^[6],其船壳暴露在海水中几十年仍完好无损。1929年,在美国堪萨斯城西南贝尔电话公司14层办公大楼的增层扩建工程中,由于采用轻骨料混凝土替代普通混凝土,使该建