



玻化微珠保温材料的系列研究与 “城市窑洞”式绿色建筑

BOHUA WEIZHU BAOWEN CAILIAO DE XILIE YANJIU YU
CHENGSHIYAODONG SHI LÜSE JIANZHU

李珠 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

玻化微珠保温材料的系列研究 与“城市窑洞”式绿色建筑

李 珠 著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 提 要

随着我国对建筑节能的要求不断提高,高性能保温绝热材料的研制开发与应用成为了业内专家和全社会共同关注和研究的重大课题,高效节能松脂岩玻化微珠保温系列的成功研发与应用就是在这一领域的一个重大突破。这种无机保温材料具有优良的保温、隔热性能和耐老化性能,为 A 级防火材料,涂抹在外墙上强度高、不空鼓、不开裂,并且非常易于施工操作,现场施工加水搅拌即可使用,可直接施工于干状墙体上,施工可操作性能好。本书从技术可行性研究、力学性能研究及经济性综合评价三个方面,对玻化微珠系列产品的研发过程和结果进行了详细的介绍,希望借此书出版的机会,将多年来的研究成果呈现给社会,期盼对我国,乃至世界的建筑节能研究与应用提供一些可借鉴的情报。

本书可供土建类和建筑学方面的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

玻化微珠保温材料的系列研究与“城市窑洞”式绿色建筑/李珠著.--北京:北京邮电大学出版社,2011.12

ISBN 978-7-5635-2849-3

I. ①玻… II. ①李… III. ①建筑材料:保温材料—研究 IV. ①TU55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 253566 号

书 名: 玻化微珠保温材料的系列研究与“城市窑洞”式绿色建筑

作 者: 李 珠

责任编辑: 何芯逸 张国申

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京联兴华印刷厂

开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 20.25

字 数: 396 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2849-3

定 价: 44.00

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

“在建筑节能领域做出微小创新,就是对全人类做出巨大贡献”,这是我和我的团队的理念。正是在这样的理念支持下,团队通过不断努力,在中国建筑节能领域产、学、研相结合的道路上做出了自己的探索,获得了一些经验,也有失败和教训。本书以团队核心研究成果——“城市窑洞”式绿色建筑的研究为主线,介绍了玻化微珠系列保温材料及“城市窑洞”式绿色建筑体系方面的研究方法及其研究成果。

全书研究内容分为三大部分。

第一大部分为第一篇,着重阐述了建筑节能的重要性,介绍本书研究内容的研究背景及研究现状。随着我国对建筑节能要求的不断提高,高性能保温绝热材料的研制开发与应用,成为业内专家和全社会共同关注和研究的重大课题。

第二大部分为包括第二篇和第三篇,介绍系列保温材料的研究。材料的研究是形成绿色建筑的基础。玻化微珠系列保温材料具有优良的保温隔热和耐老化性能,并且具有无毒、无污染、A级防火、成本低、施工简便等特点。系列材料可用于新建建筑保温节能工程及既有建筑节能改造工程,能有效改善室内热环境、节约建筑能耗、提高能源利用效率。

第三大部分为第四篇,该部分介绍了“城市窑洞”式绿色建筑的研究思路、设计、施工及其性能。“城市窑洞”是基于绿色建筑的发展要求而研发的,研发中借鉴传统土窑洞整体式保温隔热原理,应用现代建筑理论、方法、材料和技术,形成“形状上不似窑洞,功能上胜似窑洞”的绿色建筑。该建筑继承和发展了传统土窑洞冬暖夏凉、恒温恒湿、绿色环保、节能节地、造价低廉的建筑特性,使现代建筑室内热湿环境接近窑洞效果,并实现良好的隔声、防火以及吸收装饰有害气体的效果。使建筑在有效满足各种实用功能的同时,成为有益于使用者身心健康的绿色住宅,并在其全寿命周期内最大限度的节能、节地、节水、节材,保护环境。

本书对系列保温隔热产品及“城市窑洞”的研发进行了较为详尽的介绍,力求反映在无机保温隔热材料及系统研发方面的最新进展,期望能借此书出版的机会,将多年来的研究成果呈现给社会,为我国乃至世界的建筑节能研究与应用提供一些可以借鉴的情报。希望本书对从事建筑节能研究、设计的工程技术人员有所帮助。

本书所涉及到的研究内容先后得到山西省自然科学基金(项目编号:

2006011050)、国家火炬计划(项目号:2007GH050009)、国家自然科学基金(项目号:50778118)、高等院校博士点专项科研基金(200801120003、20101402120007)、山西省重大科技专项(项目号:20111101020)的资助。特此致谢!

本书作者感谢多年来为玻化微珠保温材料研发作出贡献的所有人,直接参与项目研究工作的有张泽平、刘元珍、代学灵、杨卓强、赵林、朱民伟、刘玉伟、商冉、芦建军、卫丽、张巍、涂劲松、岳俊峰、白晓青、袁波等。感谢太原理工大学、太原思科达科技发展有限公司以及山西建筑工程领域的各位领导和同仁。没有你们的辛勤工作、参与及大力协作,本书的研究工作就无法完成。感谢在书稿的整理、刊印和出版过程中付出辛勤劳动的王蕊博士、多位专家及编辑。

由于作者学识水平和阅历有限,书中难免会有不妥之处,期待读者给予批评指正。随着课题组研究工作的进一步深入,作者将对本书的内容进行进一步完善和充实。

作 者

符号说明

K	传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$
α_i	内表面换热系数, $W/(m^2 \cdot K)$
α_e	外表面换热系数, $W/(m^2 \cdot K)$
$\delta_1, \delta_2, \delta_n$	材料的厚度, m
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$	材料的导热系数, $W/(m \cdot K)$
a_1, a_2, a_n	材料导热系数的修正值, 无量纲
q	热流密度, W/m^2
α	导温系数, m^2/h
c	比热, $kJ/(kg \cdot K)$
γ	密度, kg/m^3
$\Delta\tau$	热脉冲加热时间, h
R	导热系数极差, $W/(m^2 \cdot K)$
S_i	抗压强度平方和, N/mm^2
σ	应力, N/mm^2
ϵ	应变, 无量纲
f_c	抗压强度峰点值, N/mm^2
α_{max}	地震影响系数最大值, 无量纲
ζ	阻尼比, 无量纲
F_x, F_y	底部剪力, kN
R, R_1, R_2, R_n	热阻, $(m^2 \cdot K)/W$
Q_q, Q_n	建筑能耗, W/m^2
η	建筑能耗的比值, 无量纲
AC	年成本, 元
P	净现值, 元
I	利率, 无量纲
R_0	传热阻, $(m^2 \cdot K)/W$
E	混凝土弹性模量, N/mm^2
G	混凝土剪切弹性模量, N/mm^2
$[D_{c,s}]$	混凝土和钢筋单元本构矩阵, 无量纲
f_{ck}	混凝土棱柱体抗压强度标准值, N/mm^2
f_{cu}	混凝土立方体抗压强度, N/mm^2

n	轴压比,无量纲
f_t	混凝土抗拉强度, N/mm^2
σ_0	峰值压应力, N/mm^2
$\sigma_{1,2,3}$	主应力, N/mm^2
ε_0	应变,无量纲
F_c, F_y, F_u	开裂、屈服、极限荷载, kN
Δ	开裂、屈服、极限位移, mm
U	侧向位移, mm
θ	顶点的位移角,无量纲
λ	计算截面的剪跨比,无量纲
μ	位移延性系数,无量纲
β	刚度衰减系数,无量纲
K_c, K_y, K_u	开裂、屈服、极限割线刚度, N/mm
γ_i	第 i 阶模态的参与系数
f	频率, Hz
T	结构自振周期, s
α	水平地震影响系数,无量纲
β	地震波动力系数,无量纲
k	地震系数,无量纲
ξ	阻尼比,无量纲

目 录

第一篇 绪论

第 1 章 建筑节能的重要性及研究现状	3
1.1 我国能源现状与建筑节能的重要性	3
1.2 国内外建筑节能情况比较	13
1.3 当今建筑节能材料的发展与应用	13
1.3.1 有机保温材料	14
1.3.2 无机保温材料	16
1.4 本书研究内容的背景及意义	19
1.4.1 玻化微珠保温砂浆的提出	19
1.4.2 玻化微珠保温混凝土	20
1.4.3 玻化微珠整体式保温隔热建筑的研究背景	21
本篇参考文献	27

第二篇 玻化微珠保温砂浆的研究

第 2 章 玻化微珠保温砂浆构成分析与试验研究	35
2.1 玻化微珠骨料的开采与加工	35
2.2 玻化微珠保温砂浆的构成	36
2.2.1 玻化微珠	37
2.2.2 纤维	38
2.2.3 水泥	38
2.2.4 胶结材料	38
2.2.5 外加剂	38
2.3 对玻化微珠保温砂浆基本性能的试验操作	39
2.3.1 试验目的	39
2.3.2 配合比设计原则及预期达到的性能指标	39
2.3.3 试件的制作	40

2.3.4	试件的养护	41
2.3.5	烘干	41
2.3.6	试件的测试	41
第3章	玻化微珠保温砂浆的试验方法及数据分析	43
3.1	试验方法——正交试验设计的基本步骤 ^[12]	43
3.2	试验目的	43
3.3	试验因素水平及其数据	43
3.3.1	选择因素水平	43
3.3.2	实验方案和实验结果	44
3.4	试验数据分析	45
3.4.1	实验结果直观分析	45
3.4.2	方差分析	48
第4章	玻化微珠保温砂浆的能耗分析	52
4.1	能耗分析理论	52
4.1.1	建筑物耗热量指标计算公式 ^[15-17]	52
4.1.2	低限热阻	54
4.2	本体系满足太原建筑节能要求的厚度计算	56
4.2.1	工程概况	56
4.2.2	能耗计算	57
4.2.3	低限热阻计算	59
4.3	本体系在不同结构体系的热工计算	59
第5章	玻化微珠保温砂浆施工技术	66
5.1	概述	66
5.2	施工准备	66
5.2.1	材料配制	66
5.2.2	施工机具	68
5.2.3	作业条件	68
5.3	玻化微珠保温砂浆外墙外保温系统施工工艺	70
5.3.1	工艺原理	70
5.3.2	工艺流程	70
5.3.3	施工要点	72

5.3.4 玻化微珠保温砂浆保温体系的具体施工工序及内容	73
5.4 成品保护	79
5.5 质量检验	79
5.6 玻化微珠保温砂浆保温体系的特点	80
第6章 玻化微珠保温砂浆的经济分析	82
6.1 对玻化微珠保温砂浆施工定额的研究方法	82
6.1.1 研究的基本原理	82
6.1.2 研究的基本方法——计时观察法	83
6.2 玻化微珠保温砂浆的施工过程	84
6.2.1 施工过程的概念	84
6.2.2 施工过程的分类	84
6.2.3 玻化微珠保温砂浆在施工过程中耗费的时间	85
6.3 玻化微珠保温砂浆施工定额的测定	85
6.3.1 玻化微珠保温砂浆现场搅拌写实记录	85
6.3.2 玻化微珠保温砂浆施工计时观测	87
6.3.3 总费用分析	91
6.3.4 同类体系的比较	93
本篇参考文献	94
第三篇 玻化微珠保温混凝土的研究	
第7章 玻化微珠保温混凝土基本性能试验方案设计研究	99
7.1 对玻化微珠的改性研究	99
7.2 试验用玻化微珠的优良特性	100
7.3 玻化微珠保温混凝土基本性能试验方法的理论分析	101
7.4 玻化微珠保温混凝土的导热性能理想化分析	101
7.5 玻化微珠保温混凝土的正交试验设计方案研究	103
7.5.1 正交试验因素水平的确定	103
7.5.2 正交试验方案表的设计	104
7.6 玻化微珠保温混凝土抗压强度与导热系数的试验方法与设备选择	105
7.6.1 测定抗压强度试验设备	105
7.6.2 测定导热系数试验仪器	106
第8章 玻化微珠保温混凝土抗压强度与导热系数的试验	111
8.1 试件的制作	111

8.1.1	试件材料选配	111
8.1.2	试件制作	112
8.2	试验结果	113
8.3	试验数据结果分析	114
8.3.1	试验数据极差分析	114
8.3.2	方差分析	118
8.3.3	导热系数与玻化微珠掺量的关系分析	120
8.4	基于正交试验的玻化微珠保温混凝土试验	122
8.4.1	C30 强度等级试配的玻化微珠保温混凝土试验结果	123
8.4.2	掺加细铁矿砂的玻化微珠保温混凝土试验结果	125
8.4.3	掺加粗铁矿砂的玻化微珠保温混凝土试验结果	126
8.4.4	掺加细尾砂的玻化微珠保温混凝土试验结果	126
8.4.5	掺加粗尾砂的玻化微珠保温混凝土试验结果	127
8.4.6	用强度等级 52.5 铝酸盐水泥配制的玻化微珠保温混凝土试验结果	128
8.4.7	用强度等级 32.5 普通硅酸盐水泥配制的玻化微珠保温混凝土试验结果	129
8.4.8	用强度等级 32.5 普通硅酸盐水泥掺加 I 型外加剂配制的玻化微珠保温混凝土试验结果	129
8.5	试验结果分析	130
8.5.1	各种配合比的玻化微珠保温混凝土玻化微珠掺量与导热系数、抗压强度、坍落度等指标的关系分析	130
8.5.2	掺加 I 型外加剂对玻化微珠保温混凝土影响的试验结果分析	131
8.5.3	玻化微珠替代引气剂对保温混凝土性能的影响分析	132
8.5.4	玻化微珠保温混凝土受压破坏的断面特性分析	133
第 9 章	玻化微珠保温混凝土单轴受压试验研究	134
9.1	试验用材料及试件制作	134
9.1.1	原材料与混凝土配合比	134
9.1.2	试块制作	135
9.2	单轴受压试验	136
9.2.1	加载过程	136
9.2.2	试件处理	136
9.2.3	试件加载破坏过程	136
9.3	单轴受压试验全曲线	137

9.3.1	三种试验方案的全曲线	137
9.3.2	三种试验方案玻化微珠保温混凝土本构关系的建立	139
9.3.3	运用 Origin 软件拟合应力—应变全曲线方程	144
9.4	试验结果及分析	150
第 10 章	玻化微珠保温混凝土剪力墙结构抗震性能有限元分析	152
10.1	计算模型的建立	152
10.1.1	模型采用的单元	152
10.1.2	结构模型图	153
10.2	模态分析	153
10.2.1	参数分析	153
10.2.2	振型分析	155
10.3	谱分析	161
10.3.1	谱分析基本参数的确定	161
10.3.2	地震反应谱分析	161
10.4	在 8 度多遇地震作用下的时程分析	167
10.4.1	从 x 方向输入地震波进行地震作用分析	168
10.4.2	从 y 方向输入地震波进行地震作用分析	171
第 11 章	玻化微珠保温混凝土建筑能耗分析	175
11.1	DeST-h 软件简介	175
11.2	能耗分析模型的建立	176
11.2.1	模型概况	176
11.2.2	在 DeST-h 中绘制模型	178
11.3	设定模型参数	178
11.3.1	设定地理信息参数	178
11.3.2	设定结构参数	180
11.3.3	设定内扰参数	184
11.3.4	设定通风参数	189
11.3.5	增设系统	190
11.4	模拟计算	190
11.5	计算结果对比分析	190
11.5.1	房间能耗对比分析	190
11.5.2	系统能耗对比分析	191

11.5.3 建筑能耗对比分析	193
11.6 对我国寒冷地区热工模拟分析	194
第12章 玻化微珠保温混凝土技术经济评价	195
12.1 玻化微珠保温混凝土自保温系统的技术先进性	195
12.1.1 整体性强	195
12.1.2 保温性能佳	196
12.1.3 综合性强	196
12.2 玻化微珠保温混凝土自保温系统与常用的保温节能系统全寿命费用比较	196
12.2.1 玻化微珠保温混凝土自保温系统技术经济静态比较	197
12.2.2 玻化微珠保温混凝土自保温系统技术经济动态比较	198
本篇参考文献	200
第四篇 “城市窑洞”——玻化微珠整体式保温隔热建筑研究	
第13章 玻化微珠整体式保温隔热建筑的材料研究	207
13.1 石膏基玻化微珠保温砂浆正交试验研究	207
13.1.1 试验用原材料	207
13.1.2 试验仪器设备	209
13.1.3 正交试验设计方案	209
13.1.4 试件测试	212
13.1.5 玻化微珠保温砂浆导热系数的极差分析	214
13.1.6 玻化微珠保温砂浆立方体抗压强度的极差分析	215
13.1.7 玻化微珠保温砂浆导热系数的方差分析	216
13.2 玻化微珠承重型保温混凝土研究	218
13.2.1 玻化微珠保温混凝土的导热性能理想化分析	218
13.2.2 试验用原材料	220
13.2.3 正交试验设计方案	220
13.2.4 试件制作及养护	222
13.2.5 试件测试	222
13.2.6 玻化微珠保温混凝土试件的极差分析	223
13.2.7 玻化微珠保温混凝土试件的方差分析	224
13.2.8 玻化微珠承重保温混凝土的受压破坏断面分析	225

第 14 章 玻化微珠整体式保温隔热建筑设计与施工	227
14.1 整体式保温隔热建筑设计原理	227
14.1.1 整体封闭原理	227
14.1.2 微环境控制原理	227
14.1.3 相变蓄能原理	228
14.2 整体式保温隔热建筑设计	228
14.2.1 整体式保温隔热建筑的形式	229
14.2.2 整体式保温隔热建筑围护结构构造	232
14.2.3 整体式保温隔热建筑门窗设计	233
14.3 整体保温建筑热源设计	236
14.3.1 地源热泵供暖系统	236
14.3.2 太阳能低温热水地板辐射供暖系统	238
14.4 整体式保温隔热建筑施工	239
14.4.1 玻化微珠保温混凝土浇筑施工	239
14.4.2 玻化微珠保温砂浆发泡喷涂施工	240
14.4.3 玻化微珠保温砂浆人工抹面施工	241
第 15 章 整体式保温体系与外保温体系节能效果对比分析	242
15.1 工程概况	242
15.2 热工计算依据	244
15.3 玻化微珠外保温节能计算	247
15.3.1 玻化微珠保温外围护构造法	247
15.3.2 玻化微珠保温外围护结构节能计算	248
15.3.3 玻化微珠保温外围护结构最小传热阻计算	249
15.4 玻化微珠整体式保温与外保温单个房间能耗对比	249
15.4.1 玻化微珠外保温建筑单个房间能耗计算	249
15.4.2 玻化微珠整体式保温单个房间(城市窑洞)能耗计算	252
15.4.3 整体式保温与外保温能耗对比分析	254
15.5 整体式保温隔热建筑与外保温湿度实测及对比分析	254
15.5.1 冬季未供暖时整体式保温隔热建筑实测温湿度对比分析	254
15.5.2 冬季连续供暖时整体式保温隔热系统温湿度实测及对比分析	255
15.5.3 冬季间歇供暖时整体式保温隔热建筑温湿度实测及对比分析	256

第 16 章 玻化微珠整体式保温隔热建筑能耗模拟分析	257
16.1 能耗分析模型的建立	257
16.1.1 模型概况	257
16.1.2 在 DeST-h 中绘制模型	260
16.2 设定模型参数	260
16.2.1 设定地理信息参数	260
16.2.2 设定结构参数	262
16.2.3 设定内扰参数	266
16.3 模拟计算	268
16.4 计算结果对比分析	268
16.4.1 连续供暖时系统冷热负荷统计	268
16.4.2 只开一户时系统冷热负荷统计	269
16.4.3 只开一个房间空调系统冷热负荷统计	270
第 17 章 整体式保温隔热建筑抗震性能有限元分析	271
17.1 计算模型的建立	271
17.1.1 模型采用的单元	271
17.1.2 结构模型图	271
17.2 模态分析	272
17.2.1 参数分析	272
17.2.2 振型分析	274
17.3 谱分析	281
17.3.1 谱分析基本参数的确定	281
17.3.2 地震反应谱分析	281
17.4 在 8 度多遇地震作用下的时程分析	287
17.4.1 从 x 方向输入地震波进行地震作用分析	288
17.4.2 从 y 方向输入地震波进行地震作用分析	289
第 18 章 玻化微珠整体式保温隔热建筑性能分析	291
18.1 玻化微珠保温混凝土整体式保温经济评价	291
18.1.1 玻化微珠保温混凝土整体式保温系统技术经济静态比较	291
18.1.2 玻化微珠保温混凝土整体式保温系统技术经济动态比较	293

18.2 玻化微珠整体式保温隔热建筑耐久性能分析	295
18.2.1 整体式保温的吸水性与透气性	295
18.2.2 玻化微珠整体式保温隔热建筑的抗裂性	295
18.2.3 玻化微珠整体式保温隔热建筑的结露现象研究	298
18.3 玻化微珠整体式保温隔热建筑舒适性能分析	301
18.4 玻化微珠整体式保温隔热建筑绿色性能分析	304
18.4.1 充分利用工业废料	304
18.4.2 吸收室内装潢有害气体	305
18.5 玻化微珠整体式保温隔热建筑防火性能分析	305
本篇参考文献	306

第一篇 绪 论