

WAIBAOWEN JISHU LILUN YU YINGYONG



外保温技术 理论与应用

北京振利节能环保科技股份有限公司
住房和城乡建设部科技发展促进中心 主编
北京中建建筑科学研究院

中国建筑工业出版社

外保温技术理论与应用

主编单位：北京振利节能环保科技股份有限公司
住房和城乡建设部科技发展促进中心
北京中建建筑科学研究院

参编单位：中国建筑科学研究院
建筑环境与节能研究院
住房和城乡建设部住宅产业化促进中心
清华大学土木工程系
中国建筑标准设计研究院
嘉兴学院土木工程研究所

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

外保温技术理论与应用/北京振利节能环保科技股份有限公司等主编.
北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 3
ISBN 978-7-112-13003-0

I. ①外… II. ①北… III. ①建筑物-外墙-保温 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 038840 号

本书详细介绍了建筑外墙保温技术原理与应用方法, 共十章。作者经过对国内外建筑外墙外保温技术大量调查、试验、研究和工程实践的基础上, 总结分析我国建筑外墙外保温技术的经验和教训, 提出用有限差分法建立温度场和热应力的数学模型, 对外保温、内保温、夹芯保温和自保温墙体形式进行对比, 分析了墙体湿迁移现象产生的危害和应对措施, 分析了大型耐候性试验、抗震试验和大尺寸模型火试验的结果, 分析了风压对保温层空腔结构的破坏作用, 研究出多种工业废弃物在外保温墙体的应用可能性。

本书对于从事建筑节能技术的研究人员、设计人员和施工人员有着较高的参考指导作用, 也可作为大专院校相关专业教学参考资料。

责任编辑: 曲汝铎

责任设计: 赵明霞

责任校对: 赵 颖 王雪竹

外保温技术理论与应用

主编单位: 北京振利节能环保科技股份有限公司
住房和城乡建设部科技发展促进中心
北京中建建筑科学研究院

参编单位: 中国建筑科学研究院
建筑环境与节能研究院
住房和城乡建设部住宅产业化促进中心
清华大学土木工程系
中国建筑标准设计研究院
嘉兴学院土木工程研究所
北京市消防科学研究所
北京市房地产科学技术研究所
国家住宅和居住环境工程技术研究中心
中国建筑节能减排产业联盟

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 15½ 插页: 10 字数: 520 千字

2011 年 4 月第一版 2011 年 4 月第一次印刷

定价: 56.00 元

ISBN 978-7-112-13003-0

(20454)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

编写委员会

主 编：黄振利

副主编：涂逢祥 梁俊强

编写者：(按姓氏笔画顺序排列)

王 川	王立乾	王满生	付海明	朱春玲	任 琳
刘 锋	刘祥枝	孙晓丽	李文博	李志国	李春雷
宋长友	吴希晖	何柳东	邹海敏	张 君	张 明
张 磊	张磊磊	陈志豪	林燕成	季广其	郑金丽
居世宝	胡永腾	高汉章	涂逢祥	曹德军	续俊峰

审定委员会

主 审：杨 榕

副主审：金鸿祥 朱 青 杨西伟

审 核：(按姓氏笔画顺序排列)

丁万君	于青山	马 恒	马韵玉	王 健	王公山
王汉义	王庆生	王国君	王国辉	王春堂	王绍军
王振清	王满生	尤晓飞	方 明	方展和	叶金成
田灵江	冯 雅	冯金秋	冯葆纯	曲振彬	朱传晟
朱盈豹	刘小军	刘加平	刘幼农	刘怀玉	刘念雄
刘振东	刘振贤	刘晓钟	刘敬疆	安艳华	江成贵
许锦峰	孙四海	孙克放	孙洪明	苏 丹	苏向辉
李东毅	李金保	李晓明	李浩杰	李熙宽	杨宏海
杨惠忠	吴 钢	吴希晖	宋 波	张巨松	张国祥
张树君	张剑峰	张瑞晶	陆善后	陈 星	陈丹林
陈殿营	林国海	林海燕	郑义博	郑德金	郑襄勤
赵士琦	赵立华	赵成刚	郝 斌	胡小媛	祝根立
秦 钢	秦 铮	秦佑国	贾冬梅	顾泰昌	徐卫东
郭 丽	栾景阳	唐 亮	涂逢祥	陶驷骥	梅英亭
曹永敏	崔荣华	梁晓农	梁俊强	蒋 卫	栗冬青
韩宏伟	游广才	廖立兵	魏永祺		

序 一

近二十年来,我国建筑节能的社会实践有了很大的发展。在墙体保温的各种技术发展过程中,外墙外保温技术发展最快,已经进入技术成熟期,成为我国建筑墙体节能领域的技术主导,形成了从设计、施工、材料、验收、评定等全过程的技术标准。成为实现节能减排这一基本国策的重要技术保障。

《外保温技术理论与应用》一书的出版,表明建筑节能的社会实践催生了建筑节能技术理论的发展。外墙外保温技术是研究热应力、水、火、风、地震作用等五种自然力在自身运动中对外保温系统造成影响的一门科学。研究这五种自然破坏力的运动,分析其内在的规律,提出适应其规律的技术措施,就是外保温技术从实践到理论的发展,是由必然王国向自由王国的进步。

外墙外保温构造为建筑结构提供了合理的温度场,外保温使建筑结构受环境温度的影响变化最小,外保温的技术构造延长了建筑的寿命,是墙体节能技术的主要手段。

研究延长外墙外保温的使用寿命,使外墙外保温的使用能与建筑结构寿命同步,是外保温技术进步的又一阶段。本书在研究五种自然力对外保温的影响方面开了个好头。

墙体保温技术还需要有大的发展,对外墙外保温技术也要有更多的探索,总结实践的经验上升为理论,可以更好地指导实践。让实践插上理论的翅膀,就能不断推进外保温技术的发展,拓宽外保温技术的应用领域,为建筑节能作出更大的贡献。

住房和城乡建设部建筑节能与科技司
2011年3月

序 二

《外保温技术理论与应用》一书出版了，这是节能行业应该庆贺的一件事。中国建筑节能领域关于外保温技术实践的路程走过二十多年了，在这前无古人的社会大实践中，我们一路攀登、一路抛洒着艰辛。本书中所述的两个减少，即“减少能源消耗量，减少垃圾生成量”，体现党的基本国策深植民心。在这个节能减排的社会大实践中产生了建筑节能方面的各种技术标准。在建筑节能领域有着巨大的标准宝库，这些标准门类繁多、配套齐全，外保温技术在其中居重要位置。这些标准功能巨大，成为以政府为主导的节能减排社会实践得以全面、广泛、深入开展的有力法宝。这些标准从节能实践中来，又对节能实践产生着指导、规范、提高和再发展的作用。

在编写标准的过程中，不断摸索那些带有规律性的实践经验，人们把这些成熟的实践经验归纳总结成为标准的条文，用这些标准来指导规范实践，在实践中这些标准又在不断被修改完善。在不断地否定中，不断认识新的规律，将标准中所包含的内在科学规律不断上升为理论。标准的社会实践催生了节能技术理论的形成。

理论是实践飞跃的产物，是内在规律的揭示和提炼，是在动态发展中反复被验证的，其轨迹是可由数学公式计算的。

近几年标准编制工作的不断发展，推进外保温技术理论的深化研究。特别是基础理论的研究，成为强势企业科研关注的焦点。相关基础理论的研究将促使标准成为科学、严谨的应用工具，构成先进生产力的优良要素。

本书的内容表述了我国外保温领域的一些技术理论，是建筑节能实践阶段性的标志。没有技术理论的形成，就没有技术领域连续不断地发展。本书集中了行业内很多人的科研成果，但是作为技术理论仍显稚嫩，还要在社会实践中碰撞，在不断探索过程中成熟发展。

节能减排基本国策的成功实践，要求我们都要搞点理论。理论能使强势企业不断在竞争中胜出，能使弱小企业跟进行业龙头企业飞舞，能使行政管理者正确决策实现科学行政。创新型国家鲜活的重要特征是：社会大实践中不断有阶段性的理论形成。注重理论研究无疑是科学发展观的重要事项。

住房和城乡建设部标准定额司
2011年3月

前 言

建筑物消耗了全球约 1/3 的自然资源和能源。随着人民生活条件的改善,我国的建筑能耗占社会总能耗的比例正在逐年提高,目前超过了 1/4,在不久的将来将会达到更高的水平,因此推进建筑节能刻不容缓。外保温技术是建筑节能技术的一个重要组成部分,研究发展外保温技术,必将对建筑节能技术进步做出有益的贡献。

我国的外保温技术在经过二十多年的发展,取得了很大的成就。在我国节能减排基本国策的指引下,外保温技术不仅要求保温隔热、节约能源、绿色环保,满足低碳经济的需要,还必须十分重视工程质量,确保安全与使用寿命,众多的专家为此做出了不懈的努力。

《外保温技术理论与应用》一书的出版,是外保温技术发展到目前阶段的产物,本书以十几年的工程实践和大量的试验数据为基础,研究五种自然破坏力(热应力、火、风、水和水蒸气、地震力)对外保温墙体的影响,总结了外保温技术发展至今的一些规律性认识,并结合工程应用对其技术理论进行研究讨论,让人们从过去着重关注墙体热阻发展到当前更加关注外保温的安全、耐久等各项性能指标和整体寿命的提高。

本书通过有限元法、有限差分法建立温度场热应力的数学模型进行数值模拟,研究保温层构造位置及构造措施对建筑物稳定性和安全性的影响;在五种自然破坏力中,以湿热应力和火灾对建筑外墙保温系统的影响和损害是十分严重的,本书以外保温系统整体构造为主的防火技术路线开展研究,积累和分析了燃烧试验过程中所采集的 120 万个数据,提出了外保温系统抗火灾攻击能力和适用建筑高度的技术数据;而湿热应力对建筑的影响和损害也不容低估,它不仅可能引起墙面开裂、起鼓,而且还可能造成饰面材料脱落,以致砸坏地面财物或导致人员伤亡,本书从理论和实践的结合上对其中影响最大的外饰面贴面砖做法进行了研究和探讨。本书还对外保温的资源综合利用进行了专项论述,体现了外保温技术与低碳经济相结合的思路,而采用低碳绿色技术可使我们的建筑更节能。

建筑节能技术的发展与外保温的技术理论研究与应用,需要得到社会各界人士的广泛关注,需要产、学、研各方面的共同支撑与协作,让我们共同努力,使建筑节能及外保温技术在自主创新的道路上更快、更好地发展。

本书主要编写及审查人员如下:

第一章执笔:林燕成、张君、任琳、宋长友;编审:梁俊强、涂逢祥、金鸿祥、杨西伟、王庆生、冯葆纯、孙克放、顾泰昌、祝根立、刘小军、方展和、游广才、郑襄勤、王国君

第二章执笔:张君、王满生、刘锋、吴希晖;编审:林海燕、金鸿祥、涂逢祥、杨西伟、许锦峰、冯雅、田灵江、刘幼农、张巨松、张树君、孙四海

第三章执笔:居世宝、刘锋;编审:刘念雄、秦佑国、刘加平、朱盈豹、金鸿祥、涂逢祥、杨西伟、苏向辉、赵立华、郝斌、刘敬疆、唐亮、韩宏伟、杨宏海、陈丹林

第四章执笔:胡永腾、刘锋、郑金丽;编审:宋波、冯金秋、杨西伟、涂逢祥、金鸿祥、孙洪明、方明、张国祥、魏永祺、张剑峰、刘怀玉、徐卫东

第五章执笔:朱春玲、季广其、张明、胡永腾、张磊磊、曹德军;编审:梁俊强、马恒、崔荣华、王国辉、赵成刚、金鸿祥、涂逢祥、杨西伟、丁万君、刘振东、贾冬梅、王绍军、陈星、苏丹、

梅英亭、曹永敏、梁晓农、吴钢、王健、吴希晖、尤晓飞

第六章执笔：刘锋、邹海敏；编审：金鸿祥、涂逢祥、杨西伟、王春堂、李东毅、李晓明、李熙宽、蒋卫、陶驷骥、李金保、曲振彬、秦铮、安艳华、郭丽、林国海

第七章执笔：李文博、刘锋、孙晓丽；编审：金鸿祥、涂逢祥、杨西伟、王满生、秦钢、江成贵、朱传晟、李浩杰、马韵玉

第八章执笔：付海明、张磊、续俊峰、刘锋、刘祥枝、陈志豪、李春雷；编审：金鸿祥、涂逢祥、杨西伟、杨惠忠、陆善后、刘晓钟、郑德金、陈殿营、张瑞晶、王汉义、王公山、王振清、栗冬青

第九章执笔：王川、何柳东、孙晓丽；编审：金鸿祥、涂逢祥、杨西伟、栾景阳、胡小媛、刘振贤、廖立兵、于青山、郑义博

第十章执笔：涂逢祥；编审：金鸿祥、梁俊强、叶金成、赵士琦

本书可供从事外墙保温技术的研究人员、设计人员和施工技术人员参考学习。

外墙保温技术发展迅速，存在许多尚待解决的问题，对于书中存在的一些不足和错讹之处，欢迎读者批评指正。

编 者
2011年3月

目 录

1 概述	1
1.1 国内外外墙外保温发展现状	1
1.1.1 外墙外保温在国外的技术发展与应用	1
1.1.2 外墙外保温在国内的技术发展与应用	2
1.1.2.1 国内外保温发展简史	2
1.1.2.2 国内建筑节能标准介绍	3
1.1.3 国内外保温发展趋势—外保温是发展中的科学	5
1.2 国内外外墙外保温基础理论研究相关进展	5
1.2.1 外墙外保温基础理论的基本点	5
1.2.2 国内基础理论研究的进展	6
2 保温外墙体的温度场及温度应力数值模拟	7
2.1 保温外墙体的温度场数值模拟	7
2.1.1 保温外墙体温度场计算模型	7
2.1.1.1 热传导方程	7
2.1.1.2 初始条件和边界条件	8
2.1.2 有限差分法求解保温外墙体的一维热传导方程	8
2.1.2.1 外墙体内表面的对流换热边界条件	9
2.1.2.2 外墙体外表面的对流换热边界条件	9
2.1.2.3 太阳辐射	9
2.1.2.4 保温外墙体温度场计算的有限差分方程	12
2.1.3 温度场计算结果及分析	13
2.1.3.1 计算的墙体类型	13
2.1.3.2 室内外空气温度	13
2.1.3.3 初始条件及加载时间	13
2.1.3.4 材料参数	14
2.1.3.5 计算结果与分析	15
2.1.4 小结	25
2.2 保温墙体的温度应力计算	25
2.2.1 保温墙体温度应力计算模型	25
2.2.1.1 单一墙板的温度应力模型	25
2.2.1.2 多层复合墙板的温度应力模型	27
2.2.1.3 材料参数	28
2.2.2 保温墙体温度应力计算结果及分析	30
2.2.2.1 胶粉聚苯颗粒涂料饰面外保温墙体	30

2.2.2.2	胶粉聚苯颗粒面砖饰面外保温墙体	33
2.2.2.3	胶粉聚苯颗粒涂料饰面内保温墙体	36
2.2.2.4	胶粉聚苯颗粒面砖饰面内保温墙体	40
2.2.2.5	加气混凝土自保温墙体	42
2.2.2.6	混凝土岩棉夹芯保温墙体	45
2.2.3	小结	47
2.3	ANSYS 软件模拟外墙外保温系统的温度场和温度应力	48
2.3.1	ANSYS 软件温度场和温度应力计算原理	48
2.3.1.1	ANSYS 软件模拟温度场	48
2.3.1.2	ANSYS 软件模拟温度应力	50
2.3.2	温度场和温度应力计算实例	50
2.3.2.1	计算模型	51
2.3.2.2	温度场计算结果分析	52
2.3.2.3	温度应力计算结果分析	53
2.3.2.4	温度变形	54
2.3.3	小结	54
2.4	总结	55
3	防水透气	56
3.1	湿迁移的基本原理	57
3.1.1	液态水在多孔材料中的流动	58
3.1.2	水蒸气在多孔材料中的迁移	58
3.2	建筑墙体的防潮	59
3.2.1	水蒸气渗透	59
3.2.2	空气温湿度	61
3.2.2.1	相对湿度和露点温度	61
3.2.2.2	湿球温度、空气温湿度图	61
3.2.2.3	室内空气湿度	62
3.2.3	内部冷凝和冷凝量的检验	62
3.2.3.1	冷凝判别	62
3.2.3.2	冷凝强度计算	62
3.2.3.3	采暖期累计凝结量估算	63
3.2.4	建筑墙体内表面冷凝及防止措施	63
3.2.5	不同保温层位置的设置对墙体水蒸气渗透的影响	64
3.2.5.1	外墙外保温冷凝分析	64
3.2.5.2	外墙内保温冷凝分析	66
3.2.5.3	外墙夹芯保温冷凝分析	66
3.2.5.4	外墙自保温冷凝分析	67
3.2.5.5	四种保温构造冷凝结果的对比分析	67
3.3	外墙外保温系统的防水性和透气性	68
3.3.1	Kuenzel 外墙保护理论	68
3.3.2	材料吸水性能	68
3.3.3	材料憎水性能	68
3.3.4	材料透气性能	69

3.3.5	系统防水和透气性能	69
3.3.6	外保温系统的防水性和透气性设计原则	71
3.4	外墙外保温系统防水屏障和水蒸气迁移扩散构造	71
3.4.1	水对外墙外保温系统粘结性能的影响	73
3.4.1.1	粘结方式	73
3.4.1.2	聚合物砂浆粘结原理	73
3.4.1.3	聚合物乳液成膜的基本原理	74
3.4.1.4	不同乳液对 XPS 板粘结性能的影响	74
3.4.1.5	影响 XPS 板与聚合物砂浆粘结性能的因素	76
3.4.2	高分子弹性底涂层	78
3.4.2.1	涂膜防水透气的基本原理	78
3.4.2.2	影响涂层透气性的因素	79
3.4.3	水分散构造层	80
3.5	总结	81
4	外保温系统耐候性能	83
4.1	试验简介	83
4.1.1	试验目的	83
4.1.2	试验设备	83
4.1.3	试验方法	84
4.2	耐候墙体温度场的数值模拟	84
4.2.1	边界条件	84
4.2.1.1	高温-淋水循环箱体内环境温度	84
4.2.1.2	加热-冷冻循环箱体内环境温度	85
4.2.1.3	耐候墙体内表面的对流换热边界条件	86
4.2.1.4	耐候墙体外饰面表面的对流换热边界条件	86
4.2.2	初始条件	86
4.2.3	温度场的数值模拟结果	86
4.3	试验过程及结果评价	88
4.3.1	XPS 板外保温系统耐候性试验	88
4.3.1.1	试验方案	88
4.3.1.2	试验记录与分析	89
4.3.1.3	试验结果与分析	90
4.3.2	喷涂硬泡聚氨酯外保温系统耐候性试验	93
4.3.2.1	试验方案	93
4.3.2.2	试验记录与分析	93
4.3.2.3	试验结果与分析	95
4.3.3	小结	97
5	外保温系统防火性能	98
5.1	外保温系统防火安全性分析	98
5.1.1	外保温材料分类和应用	98
5.1.1.1	岩棉、矿棉类不燃材料的燃烧特性	99
5.1.1.2	胶粉聚苯颗粒保温浆料的燃烧特性	99
5.1.1.3	有机保温材料的燃烧特性	99

5.1.2	国内外应用现状	99
5.1.3	外保温火灾事故分析	100
5.1.4	解决外保温防火问题的思路	101
5.1.5	影响外保温系统防火安全性的关键要素	102
5.1.6	外保温防火研究的重点	104
5.2	外保温材料和系统防火试验	104
5.2.1	锥形量热计试验	104
5.2.1.1	锥形量热计试验原理	104
5.2.1.2	试验对比一	106
5.2.1.3	试验对比二	108
5.2.1.4	小结	111
5.2.2	燃烧竖炉试验	112
5.2.2.1	试验原理	112
5.2.2.2	试验结果	113
5.2.2.3	小结	122
5.3	外保温系统大尺寸模型火试验	123
5.3.1	防火试验方法简介	124
5.3.1.1	UL 1040 墙角火试验	124
5.3.1.2	BS 8414-1 窗口火试验	124
5.3.2	窗口火试验	126
5.3.2.1	试验汇总	126
5.3.2.2	试验结果分析	133
5.3.2.3	小结	135
5.3.3	墙角火试验	136
5.3.4	小结	138
5.4	外保温系统防火等级划分及适用建筑高度	138
5.4.1	防火分级重点考虑的因素	138
5.4.1.1	保温材料燃烧性能等级	138
5.4.1.2	保温系统热释放速率	138
5.4.1.3	保温系统火焰传播性	138
5.4.2	系统防火等级划分及适用建筑高度	139
5.4.2.1	编制的基础	139
5.4.2.2	防火分级试验方法及指标	139
5.4.2.3	关于适用高度	140
5.4.3	系统对火反应性能及适用建筑高度	140
5.4.4	外保温系统防火构造和适用高度	141
5.4.4.1	采用可燃保温材料的薄抹灰外保温系统	141
5.4.4.2	保温浆料外保温系统及其他外保温系统	141
5.5	防火软件的设计及应用	142
5.5.1	软件概述	142
5.5.2	项目背景	143
5.5.3	编制原理	143
5.5.4	软件介绍	143

5.5.5	运行与维护	143
5.5.5.1	防火设计软件	143
5.5.5.2	防火审查软件	144
5.5.6	设计结果	144
5.5.7	注意事项	144
5.5.8	工程实例	144
6	风荷载对外墙外保温系统的影响	149
6.1	正负风压产生的原因	149
6.2	与风压有关的因素	150
6.3	带空腔结构的系统介绍及工程案例	150
6.4	负风压计算与空腔系统抗风压安全性	152
6.4.1	负风压计算及系统抗风压安全系数	152
6.4.2	粘结面积与安全系数	152
6.4.3	粘结方式与系统抗风压安全性	154
6.5	总结	155
7	外墙外保温系统抗震	156
7.1	外墙外保温系统抗震要求	156
7.1.1	外墙外保温系统的抗震	156
7.1.2	外墙外保温系统抗震的基本要求	156
7.2	外墙外保温系统抗震计算	156
7.2.1	外保温系统水平地震作用计算方法	157
7.2.2	外保温系统抗震计算实例	157
7.3	外墙外保温系统抗震试验	158
7.3.1	试验原理	158
7.3.2	试验装置	159
7.3.3	测点布置	159
7.3.4	试验步骤	159
7.3.5	试验数据	159
7.3.6	试验报告	159
7.4	外墙外保温系统抗震试验实例	160
7.4.1	试验目的	160
7.4.2	试验试件	160
7.4.2.1	构造设计	160
7.4.2.2	模型的设计与制作	160
7.4.2.3	加载及测试方案	161
7.4.3	试验结果及分析	162
7.4.3.1	试验结果	162
7.4.3.2	结果分析	162
8	外保温粘贴面砖的安全性	163
8.1	外墙外保温粘贴面砖现状	163
8.1.1	外保温粘贴面砖的相关规定	163
8.1.2	外保温粘贴面砖的质量问题	164
8.1.3	外保温粘贴面砖的研究内容	164

8.2 粘贴面砖系统安全性的研究	164
8.2.1 自重产生的剪力和拉力计算模型	164
8.2.2 系统构造及材料参数	164
8.2.3 力学模型	165
8.2.4 计算结果	166
8.2.5 系统抗自重安全系数	166
8.3 粘贴面砖系统增强构造的研究	166
8.3.1 采用增强构造的必要性	166
8.3.1.1 单层玻纤网格布	167
8.3.1.2 双层玻纤网格布	168
8.3.1.3 镀锌钢丝网	169
8.3.1.4 锚固件	172
8.4 粘贴面砖系统相关材料的研究	173
8.4.1 抗裂砂浆	173
8.4.1.1 性能指标	173
8.4.1.2 抗裂砂浆的厚度	173
8.4.2 瓷砖胶	174
8.4.2.1 性能指标	174
8.4.2.2 聚灰比对粘结砂浆柔韧性的影响	174
8.4.2.3 养护条件对粘结性能的影响	175
8.4.2.4 可使用时间对粘结性能的影响	175
8.4.2.5 面砖吸水率对粘结砂浆的粘结性能影响	175
8.4.3 勾缝砂浆	176
8.4.3.1 性能指标	176
8.4.3.2 聚灰比对面砖勾缝胶粉的柔韧性的影响	176
8.4.4 面砖	177
8.4.5 外保温粘贴面砖系统性能要求	177
8.5 外保温粘贴面砖系统的施工与工程实例	178
8.5.1 工艺流程	178
8.5.1.1 玻纤网格布增强粘贴面砖的工艺流程	178
8.5.1.2 钢丝网增强粘贴面砖的工艺流程	178
8.5.2 施工要点	178
8.5.2.1 玻纤网增强粘贴面砖抹面层施工要点	178
8.5.2.2 钢丝网粘贴面砖抹面层施工要点	179
8.5.2.3 粘贴面砖	179
8.5.2.4 面砖勾缝	179
8.5.3 工程实例	179
8.5.3.1 北京滨都苑	179
8.5.3.2 北京永泰花园小区	179
8.5.3.3 青岛鲁信长春花园	180
8.6 总结	180
9 外保温资源综合利用	181
9.1 概述	181

9.2 资源综合利用评价	181
9.2.1 外墙外保温系统及组成材料固体废弃物含量	181
9.2.2 外墙外保温系统及组成材料生产能耗量和废物排放量	182
9.3 固体废弃物综合利用	182
9.3.1 固体废弃物在保温材料中的综合利用	182
9.3.1.1 废聚苯乙烯泡沫塑料	182
9.3.1.2 废聚酯塑料瓶	184
9.3.1.3 废聚氨酯	184
9.3.2 固体废弃物在砂浆产品中的综合利用	185
9.3.2.1 粉煤灰	185
9.3.2.2 尾矿砂	187
9.3.2.3 废纸纤维	190
9.3.2.4 废橡胶颗粒	190
9.3.2.5 砂浆产品中固体废弃物含量	191
9.3.3 外保温系统固体废弃物综合利用	192
9.3.4 综合评价	192
9.4 保温材料生产能耗和环境污染分析	192
9.4.1 模塑聚苯板	193
9.4.2 挤塑聚苯板	194
9.4.3 聚氨酯	195
9.4.4 酚醛保温板	196
9.4.5 无机保温砂浆	197
9.4.6 胶粉聚苯颗粒保温浆料	198
9.4.7 岩棉	199
9.4.8 综合评价	199
9.5 资源综合利用发展前景	200
10 结论	201
10.0.1 中国外墙外保温经验十分丰富	201
10.0.2 外墙外保温是一种最合理的外墙保温构造方式	201
10.0.3 外墙外保温工程必须能耐受多种自然因素的考验	201
10.0.4 外保温墙体湿传递必须得到控制	202
10.0.5 采用柔性过渡层可以分散热应力起到抗裂作用	202
10.0.6 施工现场防火与保温系统整体构造防火是外保温防火安全的关键	202
10.0.7 负风压可能导致带空腔的外保温系统脱落	203
10.0.8 外保温粘贴面砖必须采取妥善的安全措施	203
10.0.9 采用柔性连接构造缓解地震作用对外保温面层的冲击	204
10.0.10 以固体废弃物为原料是发展保温技术的一个重要方向	204
1 Overview (第1章 英文译文)	205
10 Conclusions (第10章 英文译文)	216
参考文献	224
跋	226

Contents

1 Overview	1
1.1 The current situation of the outer wall external thermal insulation development both home and abroad	1
1.1.1 Technology development and application of external insulation of outer walls overseas	1
1.1.2 Technology development and application of external insulation of outer walls at home	2
1.1.2.1 Brief history of external thermal insulation in China	2
1.1.2.2 Introduction to the building energy conservation standard at home	3
1.1.3 Development trend of external thermal insulation in China-external thermal insulation is a developing science	5
1.2 Progress of the fundamental theoretical research on external thermal insulation of outer walls in China	5
1.2.1 Main points of the fundamental theory of external thermal insulation of outer walls	5
1.2.2 Progress of the basic theoretical research in China	6
2 Temperature field and temperature stress numerical simulation of insulated outer walls	7
2.1 Temperature field numerical simulation of insulated outer walls	7
2.1.1 Temperature field computation model of insulated outer walls	7
2.1.1.1 Heat conduction equation	7
2.1.1.2 Initial condition and boundary condition	8
2.1.2 Solving of the unidimensional heat conduction equation of insulated outer walls through the finite difference method	8
2.1.2.1 Boundary conditions of heat convection of the internal surface of outer walls	9
2.1.2.2 Boundary conditions of heat convection of the external surface of outer walls	9
2.1.2.3 Solar radiation	9
2.1.2.4 Finite difference equation of the temperature field computation of insulated outer walls	12
2.1.3 Temperature field calculation results and analysis	13
2.1.3.1 Wall type for computation	13
2.1.3.2 Air temperature indoors and outdoors	13
2.1.3.3 Initial condition and load time	13
2.1.3.4 Material parameter	14
2.1.3.5 Computation results and analysis	15
2.1.4 Summary	25
2.2 Temperature stress computation of insulated walls	25
2.2.1 Temperature stress computation model of insulated walls	25
2.2.1.1 Temperature stress model of single wall board	25

2.2.1.2	Temperature stress model of multilayer wall board	27
2.2.1.3	Material parameter	28
2.2.2	Temperature stress computation results and analysis of insulated walls	30
2.2.2.1	External insulating walls with the finish of mineral binder and expanded polystyrene granule painting	30
2.2.2.2	External insulating walls with the finish of mineral binder and expanded polystyrene granule facing bricks	33
2.2.2.3	Internal insulating walls with the the finish of mineral binder and expanded polystyrene granule painting	36
2.2.2.4	Internal insulating walls with the finish of mineral binder and expanded polystyrene granule facing bricks	40
2.2.2.5	Aerated concrete self-insulation walls	42
2.2.2.6	Concrete sandwich insulating walls with the core of rock wool	45
2.2.3	Summary	47
2.3	ANSYS temperature field and temperature stress simulation of the external thermal insulation system of outer walls	48
2.3.1	ANSYS temperature field and temperature stress calculation principles	48
2.3.1.1	ANSYS temperature field simulation	48
2.3.1.2	ANSYS temperature stress simulation	50
2.3.2	Temperature field and temperature stress calculation examples	50
2.3.2.1	Computation model	51
2.3.2.2	Analysis of the temperature field calculation results	52
2.3.2.3	Analysis of the temperature stress calculation results	53
2.3.2.4	Temperature deformation	54
2.3.3	Summary	54
2.4	Conclusion	55
3	Waterproofness and air permeability	56
3.1	Fundamental principles of the moisture migration	57
3.1.1	Flowing of liquid water in cellular materials	58
3.1.2	Migration of water vapour in cellular materials	58
3.2	Moisture resisting of building walls	59
3.2.1	Water vapor permeation	59
3.2.2	Air Humiture	61
3.2.2.1	Relative humidity and dew-point temperature	61
3.2.2.2	Wet bulb temperature and air hythergraph	61
3.2.2.3	Indoor air humidity	62
3.2.3	Examination of the interior condensation and condensation amount	62
3.2.3.1	Condensation discrimination	62
3.2.3.2	Condensation strength calculation	62
3.2.3.3	Estimate of the accumulated condensation amount during the heating period	63
3.2.4	Condensation and preventing measures of the internal surface of building walls	63
3.2.5	Influence of the different locating of the insulating layers on the water vapor permeability of walls	64
3.2.5.1	Condensation analysis of the external thermal insulation of outer walls	64