

第二版



外保温技术

理论与应用

北京建筑节能与环境工程协会
住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
北京中建建筑科学研究院 主编
山东省建筑科学研究院
北京振利节能环保科技股份有限公司

中国建筑工业出版社

WAIBAOWEN JISHU LILUN YU YINGYONG

★ 4. 4. 4 ★

RESUME

[illegible]

外保温技术理论与应用

(第二版)

北京建筑节能与环境工程协会
住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
北京中建建筑科学研究院 主编
山东省建筑科学研究院
北京振利节能环保科技股份有限公司

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/北京建筑节能与环境工程
协会等主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社,
2015. 7

ISBN 978-7-112-18276-3

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(2015)第 145141 号

《外保温技术理论与应用(第二版)》是在第一版的基础上, 经过四年多的实践与发展, 主编单位组织业内多名专家学者总结几年的成果和经验, 在第一版的基础上经过一年多的整理与修订而成, 本书将第一版中实用的技术与理论进一步完善, 并增添了新的内容, 使得外墙外保温技术得以发展, 成为我国建筑节能的经典用书, 可供建筑节能界技术人员和大中专学生学习使用。

责任编辑: 孙立波 曲汝铎

责任校对: 姜小莲 党 蕾

外保温技术理论与应用

(第二版)

北京建筑节能与环境工程协会
住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
北京中建建筑科学研究院 主编
山东省建筑科学研究院
北京振利节能环保科技股份有限公司

*

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

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 21½ 字数: 664 千字

2015 年 6 月第二版 2015 年 6 月第四次印刷

定价: 59.00 元

ISBN 978-7-112-18276-3

(27495)

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)

第二版主编单位：北京建筑节能与环境工程协会
住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
北京中建建筑科学研究院
山东省建筑科学研究院
北京振利节能环保科技股份有限公司

第二版参编单位：中国建筑科学研究院
公安部天津消防研究所
清华大学
中国建筑标准设计研究院有限公司
哈尔滨工业大学
嘉兴学院土木工程研究所
北京建筑材料检验研究院有限公司
北京市房地产科学技术研究所
中国建筑节能减排产业联盟
北京建筑技术发展有限责任公司
中国建筑材料企业管理协会
中国民营科技促进会建筑建材专家委员会

第二版编写委员会

主 编：黄振利

副主编：涂逢祥 梁俊强 屈宏乐 孙洪明

委 员：（按姓氏笔画顺序排列）

王 川	王永魁	王俊胜	王满生	左 庆	史树丽
付海明	朱 青	朱春玲	向丽娜	刘 博	任 琳
闫春燕	孙佳晋	孙桂芳	孙惠琴	李 鹏	李文博
李晓亮	李喜超	杨兴明	邱军付	何晓燕	邹海敏
张 永	张 君	张玉祥	张立波	张树君	张晓颖
陈志豪	林燕成	罗淑湘	季广其	周红燕	郑金丽
居世宝	钟圣军	洪 梅	徐 新	高 巍	郭 清
黄 凯	曹德军	解福州			

第二版审定委员会

主 审：金鸿祥

副主审：杨西伟 王立臣

委 员：（按姓氏笔画顺序排列）

王 政	王庆生	王国辉	方展和	叶金成	田灵江
冯金秋	刘小军	刘怀玉	刘晓钟	刘敬疆	安艳华
许锦峰	孙四海	孙克放	李东毅	李金保	李晓明
宋 波	陈丹林	陈殿营	林国海	郑襄勤	祝根立
贾冬梅	顾泰昌	陶驷骥	崔 琪	彭灿云	檀春丽

第一版编写委员会

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

第一版审定委员会

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	粟冬青
韩宏伟	游广才	廖立兵	魏永祺		

第一版序一

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

第一版序二

《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

第二版前言

《外保温技术理论与应用》一书出版后，承蒙业内读者欢迎，很多地方建设单位将该书作为干部再教育的培训用书，众多大专院校也作为学习建筑节能的辅助教材。出书至今的四年间多次重印，已成本畅销书，书中见解得以广泛流传，我们也颇受鼓舞。

本书出版的第二年，美国 ASTM 协会副总裁专程来到北京，了解本书中关于五种自然破坏力对外保温的影响的相关科研工作，参观了外保温系统的大型耐候试验情况，访问了外保温系统关于构造防火、窗口火及墙角火的科研现场。随后美国 ASTM 标准委员会总裁又为本书作者颁发著作优秀论文奖，这是对我们国家这方面研究成果的一种肯定。

中国建筑和世界建筑的历史证明，建筑技术研究的灵魂和核心就是实现长寿命，做到百年，甚至超百年建筑，当然，长寿命建筑所达到的节能减排效果也是无与伦比的。

本书的基本内容和核心思想，无论是关于建筑温度场的研究，还是外保温延长建筑结构寿命的分析等方面，都是为了高效建筑节能，同时也是为了实现长寿命建筑，或者说百年建筑的目标。

在墙体保温的各项技术发展过程中，外墙外保温技术应用最有成效，也最受欢迎，最为广泛，合格的外墙外保温建筑就会是长寿命建筑，理所当然地成为我国建筑墙体节能领域的主导技术，已经形成了从设计、施工、材料，到验收、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支柱。中国建筑规模世界最大，有着世界最宏大的建筑节能市场，有着世界最众多的节能应用技术。从这世界最丰富的节能实践经验中，实事求是地科学地总结出来的应用技术精华及其理论，不仅会推动中国建筑节能技术的进步，还将使全世界受益。

目前我国社会道德滑坡，急功近利突出，拜金主义盛行，人心浮躁，市场经济还很不成熟。一些追求利润最大化的建筑企业往往不择手段，以劣质低价竞争，中标后偷工减料，导致工程质量低下；一些企业只顾赚钱，缺少技术研发投入，只是简单“山寨”，往往是使用多种不同材料，却全都套用一种薄抹灰构造；某些政府管理部门滥用权力，无视技术规律，随意颁发文件，规定准用或禁用某些产品、材料、技术，甚至对一些不成熟的技术也下令推广，对一些常用技术产生的个别问题则肆意夸大，并粗暴地全盘否定。这些市场乱象造成了一些工程质量事故，工程寿命缩短。由于保温工程事故时有发生，影响很坏，于是有的地方行政部门未作全面深入分析和调查研究，就草率地发出了不许做外保温，只许做内保温或夹心保温的错误规定，造成了诸多难以弥补的损失。

错误和挫折给了我们极大的警示，宣扬科学的节能技术思想多么重要，多么必要。为了把建筑节能保温的机理与实用技术更加深入普及，为了实现科学行政，在建筑节能减排领域减少行政职能对节能技术的误导、误判，也为了控制低价竞争造成保温工程质量的破坏，加强对建筑节能技术和理论的研究，一些专家建议将这本《外保温技术理论与应用》修订再版。

既然准备再版，就应该把近期取得的一些进展补充进去。为此，这次再版书的修订编写工作经历一年半的时间，邀请了不少专家和科技人员参与。

再版时对原书中技术理论部分作了一些增补，主要增补的内容有：清华大学张君教授关于温度应力、温度场对建筑结构运动状态的影响；还增加了北京振利公司科研机构对外保温系统 48 种大型耐候试验结果的分析；关于防止水分相变破坏外保温构造层的原理；负风压对外保温层内连通空腔的破坏作用；低弹性模量墙体释放地震破坏力的验证。

与此同时，这次再版增加了外保温技术应用的篇幅。其中，第 11 章外保温工程案例分析的内容，是从 120 篇征文中筛选出的 7 篇代表作。这些文字论述了近近年来外墙外保温发生工程事故的情况。从事故中分析案例所反映出来在构造设计原理、材料热稳定性能差异、施工方法有别等方面的原因，同时给出了解决问题的设计思路、构造做法的调整、施工方法的改善等。

新增第 9 章的内容，主要介绍了胶粉聚苯颗粒外保温做法的技术内涵，胶粉聚苯颗粒复合保温板技术系统的构造设计原理，提出了控制外保温保温层、抗裂层裂缝产生的技术路线。这章是技术理论与应用的密切结合，也是本书再版的亮点所在。

本书第二版主要编写人员如下：

第 1 章 执笔：林燕成，修改：黄振利、涂逢祥、金鸿祥；

第 2 章 执笔：张君、王川、王满生，修改：黄振利、金鸿祥；

第 3 章 执笔：居世宝、王川，修改：黄振利、金鸿祥；

第 4 章 执笔：王川，修改：黄振利、金鸿祥；

第 5 章 执笔：朱春玲、季广其；王川，修改：黄振利、金鸿祥；

第 6 章 执笔：王川，修改：黄振利、金鸿祥；

第 7 章 执笔：王川，修改：黄振利、金鸿祥；

第 8 章 未修订；

第 9 章 执笔：付海明，修改：黄振利、金鸿祥；

第 10 章 未修订；

第 11.1 节 执笔：洪梅，修改：黄振利、方展和、王庆生、金鸿祥、涂逢祥；

第 11.2 节 执笔：高巍、林燕成，修改：黄振利、方展和、王庆生、金鸿祥、涂逢祥；

第 11.3 节 执笔：林燕成、任琳，修改：黄振利、金鸿祥；

第 11.4 节 执笔：林燕成、罗淑湘、孙桂芳、邱军付、王永魁，修改：黄振利、方展和、王庆生、金鸿祥；

第 11.5 节 执笔：黄凯、林燕成，修改：黄振利、冯金秋、李东毅、金鸿祥；

第 11.6 节 执笔：周红燕、林燕成，修改：黄振利、金鸿祥；

第 11.7 节 执笔：孙佳晋、林燕成，修改：黄振利、金鸿祥；

第 12 章 执笔：涂逢祥，修改：金鸿祥。

编 者

2015 年 4 月

第一版前言

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 1 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 2 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 3 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 4 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 5 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6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7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8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、粟冬青

第9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10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 外墙外保温技术的发展	1
1.1.1 我国建筑能耗的现状	1
1.1.2 国外外墙外保温技术的发展	1
1.1.3 国内外墙外保温技术的发展	2
1.2 我国建筑节能标准化概况	3
1.2.1 建筑节能设计标准	3
1.2.2 建筑节能工程建设标准	4
1.2.3 建筑节能产品标准	4
1.2.3.1 《膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统》	4
1.2.3.2 《胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统》	6
1.2.3.3 《现浇混凝土复合膨胀聚苯板外墙外保温技术要求》	6
1.3 国内外墙外保温技术理论研究	6
1.3.1 外墙外保温技术理论的基本点	6
1.3.2 外保温技术理论研究的进展	7
2 保温外墙体的温度场理论研究	8
2.1 保温外墙体的温度场数值模拟	8
2.1.1 保温墙体温度场计算模型	8
2.1.1.1 热传导方程	8
2.1.1.2 初始条件和边界条件	9
2.1.2 有限差分法求解保温墙体的一维热传导方程	9
2.1.2.1 墙体体内表面的对流换热边界条件	10
2.1.2.2 墙体体外表面的对流换热边界条件	10
2.1.2.3 太阳辐射热环境的数值模拟	10
2.1.2.4 保温墙体温度场计算的有限差分方程	13
2.1.3 温度场计算结果及分析	14
2.1.3.1 计算的墙体保温形式	14
2.1.3.2 室内外空气温度	14
2.1.3.3 初始条件及加载时间	15
2.1.3.4 材料参数	15
2.1.3.5 计算结果与分析	16
2.1.4 小结	28
2.2 保温墙体的温度应力计算	29
2.2.1 保温墙体温度应力计算模型	29
2.2.1.1 墙体的温度应力模型	29

2.2.1.2	复合墙体的温度应力模型	31
2.2.1.3	材料参数	32
2.2.2	保温墙体温度应力计算结果及分析	33
2.2.2.1	胶粉聚苯颗粒涂料饰面外保温墙体	34
2.2.2.2	胶粉聚苯颗粒面砖饰面外保温墙体	37
2.2.2.3	胶粉聚苯颗粒涂料饰面内保温墙体	40
2.2.2.4	胶粉聚苯颗粒面砖饰面内保温墙体	44
2.2.2.5	加气混凝土自保温墙体	46
2.2.2.6	混凝土岩棉夹芯保温墙体	50
2.2.3	小结	52
2.3	ANSYS 软件模拟外墙外保温系统的温度场和温度应力	52
2.3.1	ANSYS 软件温度场和温度应力计算原理	52
2.3.1.1	ANSYS 软件模拟温度场	53
2.3.1.2	ANSYS 软件模拟温度应力	54
2.3.2	温度场和温度应力计算实例	55
2.3.2.1	计算模型	56
2.3.2.2	温度场计算结果分析	57
2.3.2.3	温度应力计算结果分析	58
2.3.2.4	温度变形	59
2.3.3	小结	59
2.4	总结	60
3	保温外墙体防水透气性能研究	61
3.1	湿迁移的基本原理	62
3.1.1	液态水在多孔材料中的流动	63
3.1.2	水蒸气在多孔材料中的迁移	63
3.2	建筑墙体的防潮	64
3.2.1	水蒸气渗透	64
3.2.2	空气温湿度	66
3.2.2.1	相对湿度和露点温度	66
3.2.2.2	湿球温度、空气温湿图	66
3.2.2.3	室内空气湿度	67
3.2.3	内部冷凝和冷凝量的检验	67
3.2.3.1	冷凝判别	67
3.2.3.2	冷凝强度计算	67
3.2.3.3	采暖期累计凝结量估算	68
3.2.4	建筑墙体内表面冷凝及防止措施	68
3.2.5	不同保温层位置的设置对墙体水蒸气渗透的影响	69
3.2.5.1	外墙外保温冷凝分析	70
3.2.5.2	外墙内保温冷凝分析	71
3.2.5.3	外墙夹芯保温冷凝分析	72
3.2.5.4	外墙自保温冷凝分析	73
3.2.5.5	四种保温构造冷凝结果的对比分析	73
3.2.6	外保温系统露点位置分析	73

3.3	外保温系统的防水性和透气性	75
3.3.1	Kuenzel 外墙保护理论	75
3.3.2	材料吸水性能	75
3.3.3	材料憎水性能	75
3.3.4	材料透气性能	76
3.3.5	外保温系统防水和透气性能	76
3.3.6	外保温系统的防水性和透气性设计原则	77
3.4	外保温系统防水屏障和水蒸气迁移扩散构造	78
3.4.1	高分子弹性底涂层	78
3.4.1.1	涂膜防水透气的基本原理	79
3.4.1.2	影响涂层透气性的因素	79
3.4.2	水分散构造层	80
3.5	总结	82
4	外保温系统耐候性能研究	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	耐候性试验环境状态模拟	84
4.2.2	模拟计算结果与分析	85
4.2.3	小结	92
4.3	试验案例分析	92
4.3.1	概述	92
4.3.2	聚氨酯外保温系统耐候性试验分析报告	94
4.3.2.1	试验目的	94
4.3.2.2	系统构造及材料选择	94
4.3.2.3	耐候性试验记录与分析	95
4.3.2.4	小结	101
4.3.3	挤塑聚苯板(XPS板)外保温系统耐候性试验分析报告	102
4.3.3.1	试验目的	102
4.3.3.2	系统构造及材料选择	102
4.3.3.3	耐候性试验记录与分析	102
4.3.3.4	小结	106
4.3.4	EPS板、XPS板、聚氨酯外保温系统耐候性试验情况对比分析	107
4.3.4.1	试验目的	107
4.3.4.2	系统构造及试验结果	107
4.3.4.3	试验结果分析	108
4.3.4.4	小结	110
5	外保温系统防火性能研究	111
5.1	外保温系统防火安全性分析	111
5.1.1	外保温材料应用的现状	111
5.1.1.1	岩棉、矿棉类不燃材料的燃烧特性	112

5.1.1.2	胶粉聚苯颗粒浆料的燃烧特性	112
5.1.1.3	有机保温材料的燃烧特性	112
5.1.1.4	国内外应用现状	112
5.1.2	外保温系统火灾事故分析	113
5.1.3	解决外保温系统防火问题的思路	113
5.1.4	影响外保温系统防火安全性的关键要素	114
5.1.5	外保温系统防火研究的重点	116
5.2	外保温材料和系统防火试验	116
5.2.1	锥形量热计试验	116
5.2.1.1	锥形量热计试验原理	116
5.2.1.2	试验对比一	118
5.2.1.3	试验对比二	120
5.2.1.4	小结	123
5.2.2	燃烧竖炉试验	123
5.2.2.1	试验原理	123
5.2.2.2	试验结果	124
5.2.2.3	小结	130
5.3	外保温系统大尺寸模型火试验	130
5.3.1	防火试验方法简介	130
5.3.1.1	UL 1040 墙角火试验	130
5.3.1.2	BS 8414-1 窗口火试验	131
5.3.2	窗口火试验	133
5.3.2.1	试验汇总	133
5.3.2.2	试验结果分析	139
5.3.2.3	小结	140
5.3.3	墙角火试验	142
5.3.4	小结	144
5.4	外保温系统防火等级划分及适用建筑高度研究	144
5.4.1	防火分级重点考虑的因素	144
5.4.1.1	保温材料燃烧性能等级	144
5.4.1.2	保温系统热释放速率	144
5.4.1.3	保温系统火焰传播性	144
5.4.2	系统防火等级划分及适用建筑高度研究	145
5.4.2.1	防火等级划分的依据	145
5.4.2.2	防火分级试验方法及指标	145
5.4.3	系统对火反应性能及适用建筑高度研究	146
5.4.4	外保温系统防火构造和适用高度	147
5.4.4.1	采用有机保温材料的薄抹灰外保温系统	147
5.4.4.2	保温浆料外保温系统及其他外保温系统	147
5.4.4.3	《建筑设计防火规范》	148
6	风荷载对外保温系统的影响	149
6.1	正负风压产生的原因	149
6.2	与风压有关的因素	150