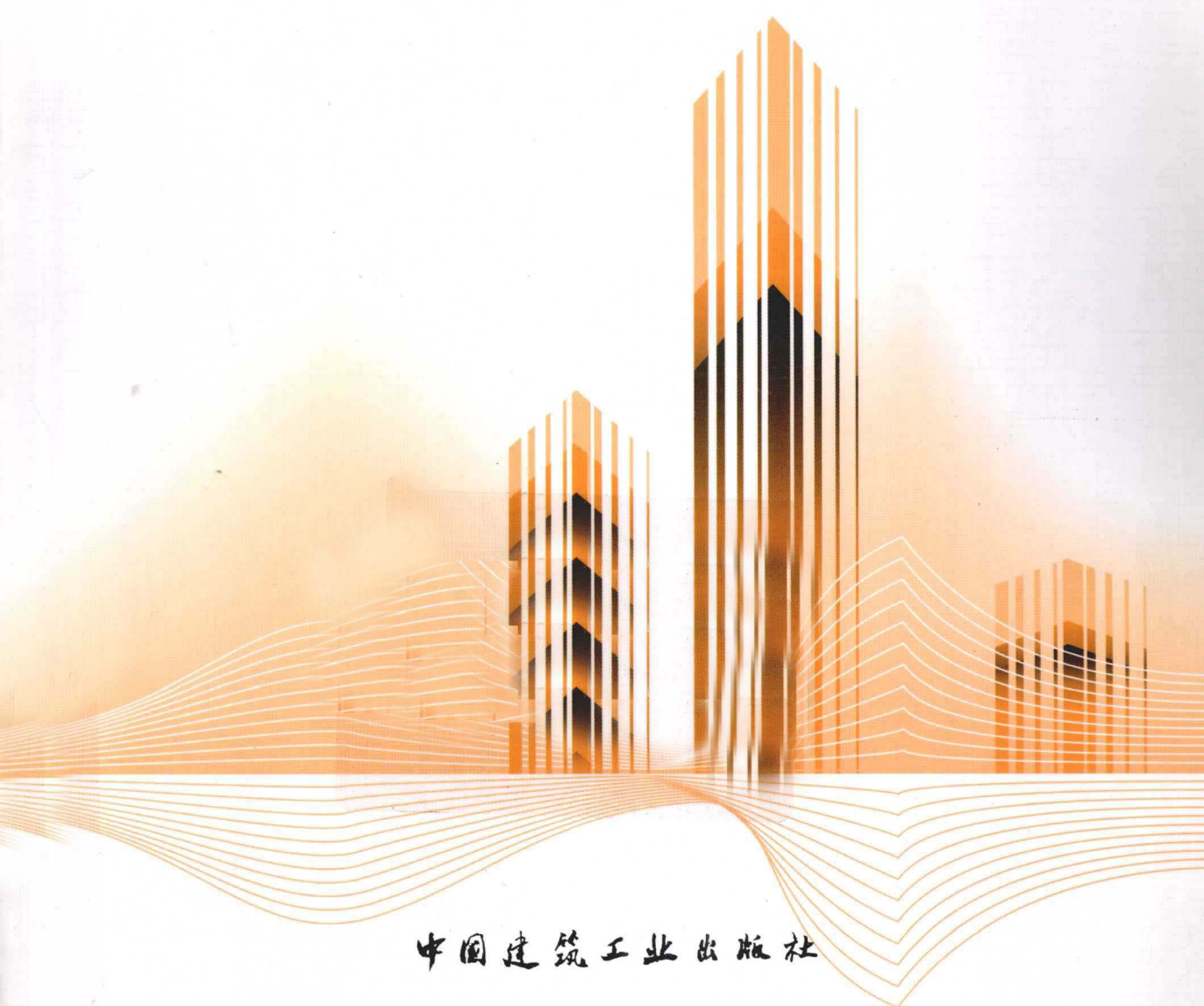


建筑围护结构 保温隔热应用技术

JIANZHU WEIHU JIEGOU

BAOWEN GERE YINGYONG JISHU

徐 峰 周爱东 刘 兰 编著



中国建筑工程出版社

建筑围护结构保温隔热应用技术

徐 峰 周爱东 刘 兰 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑围护结构保温隔热应用技术/徐峰等编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-112-12507-4

I. ①建… II. ①徐… III. ①建筑物-围护结构-保温
②建筑物-围护结构-隔热 IV. ①TU111. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 188251 号

我国强制实施建筑节能近年来已经取得重大实效, 建筑围护结构节能措施已有成熟系统和配套技术, 建筑门窗节能已得到足够重视。但是, 在建筑物围护结构保温隔热技术的应用中, 由于施工技术的普及性和工程质量管理的复杂性。使得建筑物围护结构保温隔热的应用技术仍然成为建筑节能的薄弱环节。本书根据这一实际状况而专门介绍建筑保温隔热的应用技术。内容包括外墙外保温技术、屋面保温技术和门窗节能技术等保温隔热材料性能要求、施工技术、施工管理、实际中出现的质量问题和预防、解决措施等。全书分为六章, 依次为: 绪论、聚苯板和聚氨酯外墙外保温技术、保温砂浆、胶粉聚苯颗粒和其他外墙外保温系统、墙体自保温和外墙内保温技术、屋面保温隔热技术和建筑门窗保温隔热技术等。

本书可供从事建筑保温隔热材料施工、生产、检测和管理的工程技术人员阅读, 也可供大专院校相关专业的教师、学生作为课外参考阅读参考。

* * *

责任编辑: 费海玲

责任设计: 赵明霞

责任校对: 张艳侠 刘 钰

建筑围护结构保温隔热应用技术

徐 峰 周爱东 刘 兰 编著

*

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: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 $\frac{3}{4}$ 字数: 492 千字

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-12507-4

(19766)

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)

目 录

第一章 绪论	1
第一节 建筑节能概述	1
一、建筑节能的技术措施	1
二、建筑节能设计	3
三、室内热舒适度及其影响因素	5
第二节 建筑物围护结构的保温隔热	7
一、建筑物墙体和屋面的保温隔热	7
二、我国建筑物围护结构保温隔热技术现状	9
三、我国门窗节能技术现状	11
四、建筑保温隔热材料的种类与应用	12
第三节 基本概念、术语和技术标准	13
一、热工概念和术语	13
二、建筑保温隔热术语	15
三、保温与隔热的区别	16
四、有关建筑门窗用玻璃保温隔热的基本概念和术语	17
第四节 节能建筑门窗概述	19
一、限制和禁止使用的非节能建筑外窗产品和技术	19
二、金属类节能窗和实木节能门窗	20
三、塑料类节能窗	21
四、复合类节能门窗	22
第五节 建筑能效测评与标识简介	24
一、基本概念与范围	24
二、能效测评内容	25
三、建筑能效测评标识标准	26
四、建筑能效测评证书	26
第六节 维护结构保温隔热系统的防火问题	27
一、保温隔热材料的阻燃性要求	27
二、墙体	27
三、屋顶	28
四、建筑外保温系统施工及使用的防火规定	28
参考文献	29
第二章 聚苯板和聚氨酯外墙外保温技术	30
第一节 概述	30

一、引言	30
二、目前应用的外墙外保温系统概述	31
三、施工质量对外墙外保温工程的影响	33
四、外墙外保温技术应用中的几个实际问题	35
第二节 膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统	37
一、膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统的技术特征	37
二、系统构造和技术要求	37
三、系统构成材料特征和技术要求	39
四、膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统施工技术	43
五、关于膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统的几个应用问题	49
第三节 挤塑聚苯板薄抹灰外墙外保温系统	61
一、概述	61
二、系统构成材料的主要作用和作用原理	62
三、系统及其构成材料的性能要求	63
四、挤塑聚苯板薄抹灰外墙外保温系统施工方案举例	64
第四节 硬泡聚氨酯外墙外保温系统	79
一、概述	79
二、聚氨酯硬泡外墙外保温工程设计技术要点	82
三、聚氨酯硬泡外墙外保温工程施工技术	89
四、面砖饰面聚氨酯硬泡外墙外保温建筑应用实例	99
五、用胶粉聚苯颗粒保温浆料找平的现场喷涂聚氨酯硬泡外墙外保温系统施工技术	101
参考文献	112
 第三章 保温砂浆、胶粉聚苯颗粒和其他外墙外保温系统	113
第一节 建筑保温砂浆外墙外保温系统	113
一、建筑保温砂浆的组成和特征	113
二、建筑保温砂浆应用技术	114
三、建筑保温砂浆外墙外保温系统技术规程举例	117
第二节 胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统	132
一、胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统应用技术	132
二、胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统施工技术	133
三、有机-无机复合型外墙外保温系统简介	142
第三节 其他外墙外保温系统	143
一、保温装饰一体化外墙外保温系统及其构成材料	143
二、保温装饰一体化外墙外保温系统的标准	144
三、保温装饰一体化外墙外保温系统施工举例	146
四、泡沫玻璃	148
五、某工程泡沫玻璃板外墙外保温系统施工方法	150
六、岩棉外墙外保温系统应用技术	152

七、机械固定钢丝网架聚苯乙烯保温板外墙外保温技术	157
第四节 建筑反射隔热涂料及其应用技术	162
一、建筑反射隔热涂料反射热辐射的基本原理与应用	162
二、技术性能指标	164
三、建筑反射隔热涂料应用技术	165
参考文献	174
第四章 墙体自保温和外墙内保温技术	175
第一节 墙体自保温技术概述	175
一、墙体自保温技术特征	175
二、墙体自保温技术中使用砌块的种类和特征	176
三、墙体自保温体系中梁、柱外保温与无保温部位接缝抗裂技术	177
第二节 夹芯砌块类墙体自保温系统	178
一、夹芯砌块的基本构造及规格	178
二、应用技术条件	179
三、夹芯砌块施工技术	182
四、现浇发泡夹芯墙体保温系统简介	189
第三节 蒸压加气混凝土砌块墙体自保温系统	191
一、蒸压加气混凝土的基本特性	191
二、蒸压加气混凝土砌块的质量指标	192
三、蒸压加气混凝土砌块砌体专用砂浆质量指标	194
四、加气混凝土自保温与聚苯板外保温墙体保温隔热性能对比	195
五、蒸压加气混凝土砌块施工技术	197
六、加气混凝土砌块填充墙的控制防渗	201
第四节 轻质空心砌块墙体自保温技术	206
一、轻质空心砌块的基本特性和热工性能	206
二、轻质空心砌块产品类别和质量指标	207
三、轻质空心砌块施工技术措施	209
四、轻质砌块墙体抹灰层防裂技术措施	212
第五节 外墙内保温技术	214
一、概述	214
二、建筑保温砂浆外墙内保温应用技术	216
三、酚醛泡沫塑料内保温材料简介	217
四、内外墙组合保温系统	219
五、胶粉聚苯颗粒外墙内保温系统施工技术	221
六、聚苯板外墙内保温系统施工技术	222
第六节 《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB 50411—2007)	
中墙体节能验收项目	223
一、验收规范规定的项目	223

二、验收规范规定的检验方法和检查数量	225
参考文献	226

第五章 屋面保温隔热技术

第一节 概述

一、屋面保温隔热的特点	228
二、屋面保温隔热材料的种类及性能特征	229
三、屋面的结构形式和提高保温隔热的措施	230
四、屋面保温隔热层的有关设计要求和热工计算举例	231

第二节 喷涂硬泡聚氨酯屋面保温隔热技术

一、喷涂硬泡聚氨酯屋面保温防水工程的特征	232
二、硬泡聚氨酯屋面保温防水工程的基本应用条件	234
三、硬泡聚氨酯屋面保温防水工程设计要点	235
四、硬泡聚氨酯屋面保温防水工程细部构造	237
五、硬泡聚氨酯屋面保温防水工程施工	239
六、硬泡聚氨酯在彩钢压型板屋面体系中的应用	242
七、上人硬泡聚氨酯防水保温复合屋面施工技术	244

第三节 泡沫混凝土屋面保温技术

一、应用原理和性能特征	247
二、泡沫混凝土质量指标举例	248
三、泡沫混凝土保温隔热屋面施工技术	249
四、某泡沫混凝土保温隔热屋面渗漏的处理	251

第四节 其他屋面保温隔热技术

一、泡沫玻璃屋面保温隔热技术	257
二、应用于倒置式屋面的防水保温隔热砌块及其施工	258
三、轻质陶粒混凝土在屋面保温隔热中的应用	260
四、聚苯颗粒保温浆料在屋面保温隔热工程中的应用	262

第五节 《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB 50411—2007)

中屋面节能验收项目	264
一、验收规范规定的项目	264
二、验收规范规定的检验方法和检查数量	264
参考文献	265

第六章 建筑门窗保温隔热技术

第一节 概述

一、门窗保温隔热对建筑节能的作用与意义	266
二、节能门窗定义与特征	268
三、提高建筑外窗保温隔热性能的途径	269

第二节 节能门窗应用技术

一、建筑外门窗的气密、水密和抗风压性能分级	272
二、建筑外门窗保温性能、隔声性能和采光性能分级	273
三、节能门窗设计要点与国家标准图集简介	274
四、建筑节能门窗施工技术简述	276
五、国家标准《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB 50411—2007) 规定的 门窗节能验收项目	278
第三节 建筑外窗安装施工中的几个技术问题	280
一、铝合金及塑钢门窗企口后塞安装法	280
二、严寒与寒冷地区塑料门窗基本安装方法及注意事项	282
三、铝合金推拉门窗雨水渗漏原因分析及解决方法	284
四、建筑外窗抗风压性能及铝窗钢插芯加固法	286
五、高层建筑铝合金门窗的防雷接地施工	287
六、塑料窗安装质量通病及其防治	290
七、铝合金门窗与土建连接收口技术的有关问题	293
八、铝合金推拉窗的质量通病及防治措施	295
九、干挂饰面砖幕墙建筑的外窗与遮阳系统施工技术	296
第四节 新型节能门窗产品与技术介绍	298
一、65 三密封平开节能保温窗	298
二、一种适用于既有建筑门窗节能改造的节能窗罩	300
三、铝合金遮阳技术及其应用简介	302
四、涂膜反射隔热技术及其在门窗节能中的应用	305
参考文献	307

第一章 绪 论

第一节 建筑节能概述

一、建筑节能的技术措施

我国是一个能源相对紧缺的国家，居住建筑和公共建筑耗能巨大。因而，实施居住建筑和公共建筑节能，意义重大，刻不容缓。我国近年来的强制实施已经取得重大实效。

建筑节能技术主要包括四个方面的内容，即节能与新能源开发利用技术、节能与地下空间开发利用技术、节材与材料资源合理利用技术和节水与水资源开发利用技术。

在节能与新能源开发利用技术范围内，大体上又包括建筑物围护结构保温隔热技术与新型节能建筑体系、供热采暖与空调制冷节能技术、可再生能源与新能源应用技术和城市与建筑绿色照明节能技术等方面的内容。本书主要介绍建筑物围护结构保温隔热技术。

建筑物围护结构保温隔热技术在建筑节能中非常重要。以北京市采暖居住建筑为例，围护结构热损失占 77%，其中外墙 25%，外窗 24%，楼梯间 11%，屋面 9%，阳台 3%，户门 3%，地面 2%，门窗空气渗透 23%。由此可见，通过改善围护结构的热工性能，减少热（冷）损失，降低采暖空调系统能耗（在建筑中保持能源），是达到节能目的的重要途径。下面介绍我国不同气候区的气候特点、建筑要求和适宜使用的外墙保温隔热技术等。

1. 严寒地区

(1) 气候特点 冬季严寒漫长，夏季短促；太阳辐射量大，日照丰富。

(2) 建筑要求 建筑物必须充分满足冬季防寒、保温、防冻等要求，夏季可不考虑防热。

(3) 技术优选要求 总体规划、单体设计和构造处理应使建筑物满足冬季日照和防御寒风的要求；建筑物应采取减少外露面积，加强冬季密闭性，合理利用太阳能等节能措施；房屋外围护结构宜厚重，屋面构造应考虑积雪及冻融危害；施工应考虑冬季漫长严寒的特点，尽量缩短工期。

(4) 适宜技术 膨胀聚苯板（EPS 板）薄抹灰、膨胀聚苯板现浇混凝土、面板浇注聚氨酯等外墙外保温系统；挤塑聚苯板（XPS 板）、喷涂聚氨酯等屋面保温系统；塑钢、断桥铝合金、木中空玻璃外窗；集中供热系统技术；太阳能热水和采暖系统；土壤源热泵供热系统。

(5) 慎用技术 应慎用现场施工保温层的浆体类外墙保温材料（如胶粉聚苯颗粒保温浆料、建筑保温砂浆）、地下水源热泵供热系统 and 无结构保温墙体的玻璃幕墙等。

2. 寒冷地区

(1) 气候特点 冬季较长且寒冷干燥，夏季短促；气温年较差较大；太阳辐射量大，日照丰富。

(2) 建筑要求 建筑物必须充分满足冬季防寒、保温、防冻等要求,夏季部分地区兼顾防热。

(3) 技术优选要求 总体规划、单体设计和构造处理应使建筑物满足冬季日照和防御寒风的要求;建筑物应采取减少外露面积,加强冬季密闭性且兼顾夏季通风和利用太阳能等节能措施;房屋外围护结构宜厚重,屋面构造应考虑积雪及冻融危害;施工应考虑冬季寒冷期较长和夏季多暴雨的特点,尽量缩短工期。

(4) 适宜技术 膨胀聚苯板薄抹灰、膨胀聚苯板现浇混凝土、面板浇筑聚氨酯等外墙外保温系统;挤塑聚苯板、喷涂聚氨酯、加气混凝土等屋面保温系统;塑钢、断桥铝合金、玻璃钢中空玻璃外窗;集中供热系统技术;太阳能热水和采暖系统,污水源、土壤源热泵供热(冷)系统。

(5) 慎用技术 应慎用外墙保温浆体材料(如胶粉聚苯颗粒保温浆料、建筑保温砂浆)和地下水源热泵供热系统。

3. 夏热冬冷地区

(1) 气候特点 大部分地区夏季闷热,冬季湿冷,气温日差较小;年降水量大,易有大雨、暴雨天气;日照偏少。

(2) 建筑要求 建筑物必须满足夏季防热、通风降温要求,冬季应适当兼顾防寒。

(3) 技术优选要求 总体规划、单体设计和构造处理应有良好的自然通风,建筑物应避免西晒,并满足防雨、防潮、防洪、防雷击要求;夏季施工应有防高温和防雨措施。

(4) 适宜技术 加气混凝土自保温、膨胀聚苯板薄抹灰外保温、膨胀聚苯板现浇混凝土、墙体内外保温浆料、挤塑聚苯板、加气混凝土等屋面保温和热反射屋面隔热系统;塑钢、断桥铝合金、玻璃钢中空玻璃外窗;外窗遮阳技术、太阳能生活热水、水源热泵供热(冷)系统、温度、湿度独立控制技术等。

(5) 慎用技术 应慎用燃煤、燃气集中供热系统。

4. 夏热冬暖地区

(1) 气候特点 长夏无冬,温高湿重;气温年较差小;雨量丰沛,易有大暴雨天气;日照较小,太阳辐射强。

(2) 建筑要求 建筑物必须满足夏季防热、通风、防雨要求,冬季可不考虑防寒、保温。

(3) 技术优选要求 总体规划、单体设计和构造处理宜开敞通透,充分利用自然通风,建筑物应避免西晒,应注意防暴雨、防潮、防洪、防雷击;夏季施工应有防高温和防雨措施。

(4) 适宜技术 加气混凝土自保温砌块墙体、墙体架空隔热技术;架空屋面、种植屋面、热反射屋面隔热系统;塑钢、断桥铝合金、玻璃钢中空玻璃外窗;外窗外遮阳技术;太阳能生活热水;水源热泵供热(冷)系统;温度、湿度独立控制技术等。

(5) 慎用技术 应慎用外墙外保温技术、集中供热和土壤源热泵供热(冷)系统。

5. 温和地区

(1) 气候特点 大部分地区冬温夏凉,干湿季分明;常年有雷暴、多雾;日照较少,太阳辐射强烈;部分地区冬季气温偏低。

(2) 建筑要求 建筑物必须满足湿季防雨和通风要求,可不考虑防热。

- (3) 技术优选要求 总体规划、单体设计和构造处理宜使湿季有较好自然通风，主要房间应有良好朝向；建筑物应注意防潮、防雷击；施工应有防雨措施。
- (4) 适宜技术 独立太阳能生活热水。

二、建筑节能设计

1. 我国建筑热工设计分区情况

《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—93) 对全国建筑热工设计进行了分区，并对不同区域建筑的冬季保温、夏季防热提出相应的设计要求，如表 1-1 所示。表中的严寒和寒冷地区涵盖了西安、郑州、徐州及其以北的（例如北京和天津等）城市和地区。规范的主要目的在于降低建筑物的能耗，逐步提高建筑物室内的温度环境质量。

建筑热工设计分区情况和设计要求 表 1-1

分区名称	分 区 指 标		设 计 要 求
	主要指标	辅助指标	
严寒地区	最冷月平均温度 $\leq -10^{\circ}\text{C}$	日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $\geq 145\text{d}$	必须充分满足冬季保温要求，一般可不考虑夏季防热
寒冷地区	最冷月平均温度 $(0\sim-10)^{\circ}\text{C}$	日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $90\text{d}\sim 145\text{d}$	应充分满足冬季保温要求，部分地区兼顾夏季防热
夏热冬冷地区	最冷月平均温度 $(0\sim 10)^{\circ}\text{C}$ ，最热月平均温度 $(25\sim 30)^{\circ}\text{C}$	日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数： $0\sim 90\text{d}$ ；日平均温度 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数： $40\text{d}\sim 110\text{d}$	必须满足夏季防热要求，适当兼顾冬季保温
夏热冬暖地区	最冷月平均温度 $> 10^{\circ}\text{C}$ ，最热月平均温度 $(25\sim 30)^{\circ}\text{C}$	日平均温度 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数 $100\text{d}\sim 200\text{d}$	必须充分满足夏季防热要求，一般可不考虑冬季保温
温和地区	最冷月平均温度 $(0\sim 13)^{\circ}\text{C}$ ，最热月平均温度 $(18\sim 25)^{\circ}\text{C}$	日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 $0\sim 90\text{d}$	部分地区应注意冬季保温，一般可不考虑夏季防热

2. 不同气候区对节能居住建筑外墙的设计要求

按照我国目前建筑节能的要求，在各气候区的节能居住建筑的设计除应按照上述表 1-1 的要求外，还应该按照现行相关的节能设计标准要求，例如《民用建筑节能设计标准（采暖居住部分）》(JGJ 26—1995)、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准（附条文说明）》(JGJ 134—2001) 和《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准（附条文说明）》(JGJ 75—2003) 等。建筑节能外墙的设计要求如表 1-2 所示。

不同气候区对节能居住建筑外墙的设计要求 表 1-2

气候区	传热系数 K ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	防潮性	热惰性指标 D	隔 热 性
严寒地区 (哈尔滨)	$\leq 0.40\sim 0.52$	内表面温度与室内气温允许温差为 6.0°C	—	房间在自然通风下，建筑物东、西外墙的内表面最高温度应小于或等于夏季室外计算温度最高值
寒冷 (北京)	$\leq 0.55\sim 1.16$		—	
夏热冬冷	≤ 1.5	室内空气温度与露点温度之差	≥ 3.0	
	≤ 1.0		≥ 2.5	
夏热冬暖	≤ 2.0		≥ 3.0	
	≤ 1.5		≥ 3.0	
	≤ 1.0		≥ 2.5	
	≤ 0.7		—	

3. 上海市《居住建筑节能设计标准》对围护结构传热系数的规定

随着建筑节能的发展，对建筑节能设计的要求也在不断改进和提高，有的地区还根据其具体条件编制更适合的节能设计标准。例如，上海市建设和交通委员会组织编制、并于2009年颁布了《居住建筑节能设计标准》。该标准对建筑物围护结构各部分传热系数的规定如表1-3所示。其中，还规定外墙的传热系数应考虑结构性冷热桥的影响，取平均传热系数 K_m ，并计入热反射隔热涂料的作用。

上海市《居住建筑节能设计标准》对围护结构传热系数 K 值的规定 表 1-3

建筑及围护结构部位		传热系数 $[W/(m^2 \cdot K)]$	
		轻钢、木及轻质结构 ¹	普通结构 ²
3层以上	屋面	$K \leq 0.70$	$K \leq 0.80$
	外墙	$K \leq 1.0$	$K \leq 1.2$
	底面接触室外空气的架空或外挑楼板	$K \leq 1.2$	
	分户墙、采暖和非采暖空间的隔墙	$K \leq 2.0$	
	户门	$K \leq 2.5$	
	外窗（含阳台门透明部分） ³	$K \leq 2.3 \sim K \leq 4.0$	
3层及以下	屋面	$K \leq 0.50$	$K \leq 0.60$
	外墙	$K \leq 0.80$	$K \leq 1.1$
	底面接触室外空气的架空或外挑楼板	$K \leq 1.1$	
	分户墙、采暖和非采暖空间的隔墙	$K \leq 2.0$	
	户门	$K \leq 2.5$	
	外窗（含阳台门透明部分） ³	$K \leq 2.3 \sim K \leq 4.0$	

- 注：1. 轻质结构指墙体单位面积质量小于 $200kg/m^3$ 。
2. 普通结构指各种混凝土框架、剪力墙、砌体结构（包括加气混凝土）等。
3. 根据不同朝向、不同窗墙面积比而变化。

4. 采暖居住建筑外墙在能耗中的比例

采暖居住建筑外墙的能耗在不同节能阶段由于节能要求的不同所占总建筑耗热量的比例是不同的。如果按照北京地区 80 筑 2-4 住宅建筑热耗指标为基线，节能 50%按照标准 JGJ 26—1995，预测节能 65%，假设外墙传热系数的要求为 $0.537W/(m^2 \cdot K)$ ，外窗传热系数的要求为 $2.7W/(m^2 \cdot K)$ ，屋面传热系数的要求为 $0.445W/(m^2 \cdot K)$ ，围护结构其他部位条件仍按标准 JGJ 26—1995 要求不变的情况下来计算围护结构各部位能耗的百分比，结果如表 1-4 所示^[1]。

围护结构各部位耗热量的分布情况 表 1-4

节能要求	建筑物结构部位耗热量分布				空气渗透 (%)	总传热耗热量 (W/m^2)	耗热量指标 (W/m^2)
	外墙 (%)	外窗 (%)	屋面 (%)	其他部位			
80 筑 2-4	25.5	23.7	8.6	19.2	23.0	27.43	31.8
节能 50%	27.5	18.9	7.9	24.7	21.0	19.26	20.6
节能 65%	16.8	16.9	5.9	32.6	27.8	13.32	14.6

注：其他部位包括楼梯间隔墙、户门、阳台门下部和地面等。

从表 1-4 中可见建筑物围护结构各部位的耗热量分布，在不同的节能阶段是不同的，随着对建筑物节能要求的提高，采取保温措施的部位与不采取保温措施部位的耗热量比例变化就越大。从外墙的传热系数和传热耗热量来看，节能效果是很明显的，如表 1-5 所示。

采暖居住建筑外墙在不同节能阶段中的节能率 表 1-5

外 墙	传热系数 K ($W/m^2 \cdot K$)	传热耗热量 (W/m^2)	节能率 (%)	占总传热耗热量 百分比 (%)	占总耗热量 百分比 (%)	总耗热量 (W/m^2) [*]
80 筑 2-4	1.57	22.6	0	82.4	63.5	35.6
节能 50%	1.16	16.7	26.1	86.7	68.4	24.4
节能 65%	0.537	7.7	65.8	57.8	41.8	18.4

注：* 总耗热量为单位面积通过建筑物围护结构的传热量与单位面积的空气渗透耗热量之和。

从表 1-5 中可以看出，外墙的耗热量在整个围护结构的传热耗热量中占绝大多数，目前占总耗热量达 60% 以上，即使在节能的第三阶段，也占 40% 以上。显然，外墙的热工性能直接影响建筑物的耗热量。

5. 对公共建筑节能外墙的设计要求

2005 年，国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189—2005（全国各地区），执行 50% 节能规定。该标准按照建筑物围护结构能耗占全年建筑总能耗的比例特征，公共建筑划分为甲、乙两类：甲类建筑是指单幢建筑面积大于 2 万 m^2 ，且全面设置空气调节系统的建筑，为大型公共建筑；乙类建筑是指甲类建筑以外的普通公共建筑。这两类公共建筑节能外墙的传热系数规定如表 1-6 所示。

公共建筑节能外墙的传热系数要求 表 1-6

建筑及围护结构部位	传热系数 K [$W/(m^2 \cdot K)$]		
	甲类建筑	乙类建筑	
		体形系数 $S \leq 0.3$	$0.3 < \text{体形系数} S \leq 0.4$
外墙（包括非透明幕墙）	$K \leq 0.8$	$K \leq 0.6$	$K \leq 0.5$
底面接触室外空气的架空或外挑楼板	$K \leq 0.50$	$K \leq 0.50$ (0.60)	$K \leq 0.5$
非采暖空调房间和采暖空间房间的隔墙或楼板	$K \leq 1.5$	$K \leq 1.5$	

三、室内热舒适度及其影响因素

实施建筑节能的目的，一是节约能源，二是提高建筑物的居住舒适度，更主要的是提高热舒适度。

热舒适是人的感受，应用最广泛的热舒适性评价指标是预测平均投票数指标（PMV 指标）。PMV 指标是在大量试验数据统计分析的基础上，结合人体的热舒适方程，综合考虑室内空气温度、相对湿度、风速、热辐射、人体活动强度和衣着等六个因素的影响而得出的^[2]。当接受外界的热量加上体内产生的热量与向外散发的热量保持平衡时，人感到舒适。反之，人就会感到“热”或“冷”。

1. 室内空气温度

人的体温变化幅度很小，基本上是稳定的。按人体皮肤平均温度约 $33\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的要求，室内热舒适环境中室内空气温度按标准要求，冬季采暖设计指标为 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ ，夏季空调设计指标为 $26\sim 28^{\circ}\text{C}$ 。

在不同气候区对建筑外墙按节能设计标准规定墙体传热系数的基本限值。外墙外保温在冬季采暖期间，高热阻的保温层增加了外墙整体的传热阻，减少室内热量通过外墙向室外传递，提高保温能力。在夏季，高热阻的保温层，外表面的蓄热系数小，传递给墙体的热量少，延迟了室外热流进入墙体。另一方面，重质材料的主体结构层热惰性指标高，具有很好的热稳定性，给人一种“冬暖夏凉”的感觉。

2. 相对湿度

冬季一般要关闭外窗，室内湿度主要来自人为因素，如起居、饮食和加湿等，夏季室内的湿度则主要来自室外降雨和室外空气湿度等。水蒸气可通过材料由蒸汽压高的一侧向蒸汽压低的一层转移。当室内水蒸气压大于室外时，水蒸气就会通过墙体向室外传递。

冬季采暖期间室内的水蒸气压大于室外，水蒸气通过墙体向室外传递。当水蒸气通过墙体时，在某一材料内部超出了某点结露的饱和蒸汽压力，该处就会出现结露现象。室内相对湿度越高，持续时间越长，结露可能就会越严重。但是，当建筑物内部发生少量结露后，水分在短时间内还能够传递出去的话，那么还是允许的。

外保温墙体的重质主体结构部分因处在室内一侧，内表面蓄热系数大，整个主体结构为暖体。通过主体结构与保温层的水蒸气压均小于会结露的饱和蒸汽压，因此保温墙体不产生结露。

当室外相对湿度较高时，有可能在外保温层的外侧出现少量结露现象，但是能够蒸发出去，加上室外经常受太阳辐射和风的影响，此处的水分较容易向室外转移而干燥，也就是室内的水蒸气能够通过墙体转移出去，对建筑物的热损耗影响不大。

内保温墙体的主体结构部分处于室外一侧，其温度接近室外温度，内保温层内表面蓄热系数小，水蒸气压超出结露的饱和压力，处在保温层及其以外的墙体产生结露。此处的结露会产生一些弊病，例如，结露如果发生在保温层，因室内相对湿度较高，空气流通性差，水分在整个采暖期可能保留在保温层中，引起保温层失效，使建筑物达不到保温效果，以及主体结构的温度低，结露水分很难蒸发，会因冻融造成结构的破坏。

在夏季多雨天气，室外的水蒸气压大于室内，在关闭窗户的空调室内，水蒸气可能由墙体外部向室内渗透，使室内的相对湿度增加。

对于空调房间，无外保温的墙体内外表面温差大，露点处在墙体内侧并向内侧扩散，造成内墙面潮湿发霉。在采用外保温系统时，主体墙体的内外表面温差较小，而外保温系统的内外侧温差较大。当阴雨天气时，露点处在保温层中；在晴天凝结在保温层中的水分会汽化形成水蒸气并向外部扩散。

在阴雨天内保温墙体和无保温措施的墙体与大气环境接触的是混凝土或砖石结构材料，会吸收大量的雨水，使墙体处于湿热状态。水蒸气还会通过墙体扩散进入室内，增大室内的相对湿度。夏天室内湿度过高，人体排汗的蒸发散热量降低，会使人感到闷热。

3. 热辐射

建筑物围护结构内表面温度的最高值如果不超过人体皮肤平均温度则较为舒适。高于此值，人会感受到明显的热辐射，尤其是在 36°C 以上，人体的热感很明显。

夏季白天太阳辐射是建筑物热负荷的主要来源,外墙的热工性能除了传热系数符合标准要求外,就是用来抵抗温度波和热流波的热惰性指标,降低太阳辐射热传入室内,减少室内热负荷。外保温措施能够降低围护结构的传热系数,增强隔热性能。

在夏季不开空调的情况下,外保温比内保温舒适(约低 2°C)。这是由于外保温层置于墙体外侧,传热系数小,外表面蓄热系数小,传递给墙体的热量少,有效延迟了室外热流进入墙体。

第二节 建筑物围护结构的保温隔热

一、建筑物墙体和屋面的保温隔热

1. 提高建筑物围护结构保温隔热性能的节能意义

如上述,建筑节能涉及很多方面,措施、技术很多。例如,国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189—2005 规定,新建、改建和扩建的公共建筑与 20 世纪 80 年代的公共建筑相比较,全年在采暖、通风、空气调节和照明方面的总能耗减少 50%。而该节能 50% 的任务将由建筑物围护结构、空调设备和照明设备 3 个方面的节能来分担。

但是,就节能的长期效益来说,建筑物围护结构的节能起着极其重要的作用,因为一旦建筑物建设完工后,建筑物围护结构的节能能力就很难再改变。相对而言,空调设备和照明设备的节能能力较易通过使用新的节能技术得到较快的提高。因此,建筑物围护结构的保温隔热非常重要。如果建筑的保温隔热性能不好,即使暖通、空调设备的效率再高,能耗也非常大,且室内的热环境无法达到基本舒适的要求。

从清华大学超低能耗示范楼围护结构的热工性能及其节能效果可看出建筑物围护结构对建筑节能的重要性。该楼选用近 10 种不同的外围护结构做法,包括由可控遮阳百叶、双层玻璃幕墙、高保温隔热墙体组成的智能化围护结构以及植被屋面设计、生态舱设计、相变蓄热地板和阳光传导系统。其热工性能十分优异,外墙、屋面等的传热系数不大于 $0.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,这仅为目前北京地区节能建筑标准 $0.82\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的 1/2 以下。北京地区一般性的节能建筑冬季平均采暖负荷为 $20.6\text{W}/\text{m}^2$ (大量非节能建筑的采暖能耗都在 $40\text{W}/\text{m}^2$ 左右)。超低能耗示范楼由于采取了上述热工性能优异的建筑物围护结构,整体示范楼冬季平均采暖负荷仅为 $0.7\text{W}/\text{m}^2$ 。最冷时,月平均采暖负荷也仅为 $2.3\text{W}/\text{m}^2$,基本能够实现冬季零采暖能耗^[3]。

建筑节能的重点是建筑物外墙节能、新型节能门窗、低温地板辐射采暖等。而提高建筑物围护结构的保温隔热性能,是实现建筑物围护结构节能效果的最重要技术措施。

2. 墙体保温隔热

墙体保温隔热措施有外墙外保温、外墙内保温、墙体自保温和复合保温等几种形式。

(1) 外墙外保温 外墙外保温是将保温隔热体系置于外墙外侧,使建筑物达到保温隔热效果的建筑节能处理方法。由于保温隔热体系置于墙体外侧,从而使主体结构所受温差作用大幅度下降,温度变形减小,对结构墙体起到保护作用,并可有效阻断冷(热)桥,有利于结构寿命的延长。因此,从有利于结构稳定性方面来说,墙体外保温隔热体系具有明显的优势,在可选择的情况下应首选外保温隔热。外墙外保温是建设部目前大力推广的

提高建筑物围护结构保温隔热的措施。

然而，由于保温隔热体系被置于墙体外侧，要直接承受来自自然界的各种因素影响，因此对外墙外保温体系提出了更高的要求。就太阳辐射及环境温度变化对其影响来说，置于保温层之外的抗裂防护层为 3~20mm，保温材料又具有较大的热阻，在热量相同的情况下，外保温抗裂保护层的温度变化速度比无保温情况时提高 8~30 倍。因此，抗裂防护层的柔韧性和耐候性对外保温体系的抗裂性能起着关键的作用。

(2) 外墙内保温 外墙内保温就是在外墙的内侧使用聚苯乙烯泡沫板、保温砂浆等保温材料，使建筑物达到保温节能效果。内保温具有施工方便，对建筑物外墙的垂直度要求不高，施工进度快等优点。同时，外墙内保温对于外墙装修的影响不大，例如，外墙需要面砖、石材装修时，使用内保温则不再需要采取特殊措施。

外墙内保温明显的缺陷是：结构冷（热）桥的存在使局部温差过大导致产生结露现象。由于内保温保护的位置仅在建筑的内墙及梁内侧，内墙及板对应的外墙部分得不到保温材料的保护。因此，在此部分形成冷（热）桥，冬天室内的墙体温度与室内墙角（保温墙体与不保温墙板交角处）温度差约在 10℃ 左右，与室内的温度差可达到 15℃ 以上，一旦室内的湿度条件适合，在此处即可形成结露现象。而结露水的浸渍或冻融很容易造成内墙面的发霉、开裂等。

另外，在冬季采暖、夏季制冷的建筑中，室内温度随昼夜和季节的变化幅度通常不大（约 10℃ 左右），这种温度变化引起建筑物内墙和楼板的线性变形和体积变化也不大。但是，外墙和屋面受室外温度和太阳辐射热的作用而引起的温度变化幅度较大。当室外温度低于室内温度时，外墙收缩的幅度比内保温隔热体系的速度快，当室外温度高于室内气温时，外墙膨胀的速度高于内保温隔热体系，这种反复的形变使内保温隔热体系始终处于一种不稳定的墙体基础上，在这种形变应力反复作用下不仅是外墙易遭受温差应力的破坏，同时也易造成内保温隔热体系的空鼓开裂。

(3) 墙体自保温 墙体自保温技术是在外墙外保温技术因施工或材料因素而出现开裂和渗漏情况下而出现的一种建筑围护结构保温隔热技术。墙体自保温技术就是使用绝热性能较好的材料砌筑建筑物的结构墙体，墙体在承担结构作用的同时，还具有满足要求的保温隔热功能。

显而易见，墙体自保温技术具有与结构同寿命，在使用过程中基本上无需保养维修以及在成本上比外墙外保温有所降低等优点，但也存在着冷（热）桥需要处理、需要使用配套保温砂浆以及在有较多剪力墙的高层建筑上的应用受到限制等问题。墙体自保温技术目前刚开始受到重视，应用的不多，但可以预见，随着其优势被认识，其应用将会逐渐增多。

(4) 外墙复合保温 外墙复合保温即是在外墙上同时采用不同的保温隔热方法。例如，有些建筑物使用保温砌块砌筑，能够取得一定保温隔热效果，但还不能够满足政府节能标准的要求，这时又采取外保温或者内保温的方法进一步提高；再例如，有时外墙表面采用面砖饰面，采用强度高、干密度大的建筑保温砂浆外墙保温体系，以降低增加粘贴面砖的安全费用，但同时因不能够满足政府的节能要求，而又采取内保温进行补偿等。

3. 屋面保温隔热

屋面保温机理与墙体保温相同，主要使用的保温材料为膨胀聚苯板、挤塑聚苯板、闭

孔膨胀珍珠岩基保温隔热砂浆、聚苯颗粒保温砂浆、加气混凝土砌块、硬泡聚氨酯等。

屋面保温隔热措施主要有保温隔热板块类材料铺砌和现场施工保温层两类。板、块保温隔热材料如挤塑聚苯板、泡沫玻璃板、加气混凝土块、膨胀珍珠岩板、膨胀蛭石板和水泥聚苯泡沫塑料板等。

现场施工保温层如现喷硬质聚氨酯泡沫塑料、现浇水泥聚苯颗粒保温层和现浇加气(泡沫)混凝土保温层等。此外,仅以隔热为主要目的,如架空、蓄水、种植等这些属于使用普通建筑材料进行现场施工而得到的隔热结构,不在本书讨论范围。

二、我国建筑物围护结构保温隔热技术现状

目前,我国绝大多数大中城市处在实施住房和城乡建设部三步建筑节能的第二阶段,即节能 50% 的阶段;而北京、天津等少数大城市已经开始实施或者试点建筑节能第三阶段,即节能 65% 的阶段。

1. 外墙外保温系统

为了实现节能 50% 或者 65% 的目标,提高建筑物围护结构的保温隔热性能成为最重要的措施。这种情况下,我国在外墙保温方面做了大量工作,外墙外保温技术在我国严寒、严寒和夏热冬冷气候区得到普遍推广应用,施工了大量外墙保温工程,建成的大量节能建筑明显改善了居住舒适度和实现了一定的节能效果。寒冷和严寒气候区的节能建筑冬季平均室内温度提高到 18℃ 以上。外墙外保温做法由单一型逐步发展为多种各具特色的工艺做法。

2004 年我国颁布了《外墙外保温工程技术规程》JGJ 144—2004,该标准中规定了五种外墙外保温系统,近年来得到不同程度的应用。除此之外,陆续开发研制成功的还有胶粉聚苯颗粒粘贴聚苯板薄抹灰、聚苯板外墙外保温装饰一体化、聚氨酯外墙外保温装饰一体化、泡沫玻璃板、岩棉板等十几种外墙外保温系统。

(1) 聚苯板(膨胀型、挤塑型)薄抹灰外墙外保温系统 外墙外保温做法中应用量最大,应用最广泛的是聚苯板(膨胀型、挤塑型)薄抹灰外墙外保温系统。该系统是直接将膨胀聚苯板或挤塑聚苯板用聚合物改性水泥胶粘剂粘贴在结构层的基底上(条、点粘法),厚度 3~5mm。表面用聚合物改性水泥抹面胶浆复合耐碱玻纤网格布薄抹灰(厚 3~5mm)。该类系统几乎适用于各种结构墙体,实用性极强。

(2) 胶粉聚苯颗粒、保温砂浆和现场喷涂聚氨酯泡沫等外墙外保温系统 这几种外保温系统也得到不同程度的推广应用。特别是胶粉聚苯颗粒系统,前几年在夏热冬冷、夏热冬暖气候区得到普遍应用,由于节能标准的提高及工程质量问题较多,目前应用有所减少,在某些地区因政府部门停止其推广而呈现锐减状态。

建筑保温砂浆外墙外保温系统的耐老化好,和易性好、易批涂施工,强度高,与水泥基材料的粘结性能好,既可以做外保温,也可以做内保温,目前的应用处于增长阶段。

(3) 现浇混凝土模板内置保温板做法 这是将保温层(聚苯板外附钢丝网架)和钢筋混凝土外墙浇筑在一起的工艺。聚苯板与钢丝网架由专业加工厂负责生产。该法最大的优点是能更好地把保温层与结构层紧紧锚合在一起,不存在保温层脱落问题,没有保温层下坠的风险,外饰面可以粘贴面砖。这种技术曾在北京较普遍使用^[4]。

该技术存在的问题:混凝土结构施工时增加工序,掉落的聚苯颗粒在模板内不易清理