

聚氨酯硬泡外墙外保温工程 设计与施工详解

韩喜林 编著

中国建筑工程出版社

聚氨酯硬泡外墙外保温工程 设计与施工详解

韩喜林 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

聚氨酯硬泡外墙外保温工程设计与施工详解/韩喜林编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2009
ISBN 978-7-112-10891-6

I. 聚… II. 韩… III. ①建筑物-聚氨酯-墙-保温-建筑设计
②建筑物-聚氨酯-墙-保温-工程施工 IV. TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 052510 号

本书以国家现行相关最新标准、规范为依据,以建筑节能施工为主线,以相关技
术为依托,系统介绍了聚氨酯硬泡在建筑外保温工程中的设计与施工技术。

在介绍聚氨酯硬泡基本知识、外保温系统性能、材料性能、检测方法和脚手架安
装的同时,着重介绍聚氨酯硬泡在建筑外墙体、屋面保温(防水)系统工程中,采用典
型的喷涂、浇注、外挂和粘贴等常见工法的设计、施工、检验和工程质量管理等内容。

本书综合聚氨酯硬泡的节能构造设计、施工及工程质量管理等内容为一体,内容
翔实、实用,可供节能建筑工程设计、施工、监理、质检和配制聚氨酯硬泡基础材料人
员参考使用。

* * *

责任编辑:刘婷婷

责任设计:董建平

责任校对:刘 钰 关 健

聚氨酯硬泡外墙外保温工程设计与施工详解

韩喜林 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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张 22½ 字数: 560 千字

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-10891-6

(18147)

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)

序

建筑节能工程已在我国各气候地区普遍贯彻实施，节能建筑工程正在蓬勃发展，节能建筑工程设计和施工技术已进入新的发展阶段。

在寒冷、严寒和夏热冬冷地区，已按国家相关规定的要求，从 2006 年开始，新建公共建筑执行 50% 节能标准、民用建筑执行 65% 的节能标准，目前已初步取得可喜节能效果，但在既有建筑节能改造工程的展开和建筑节能率的继续提高方面，我们仍然任重道远。

提高建筑物的节能率涉及多种因素，如门窗结构、墙体结构和屋面结构，以及使用的材料性能、设计和施工（安装）技术等。

建筑外保温施工，指在墙体和屋面结构采用保温材料施工技术，是提高建筑节能率重要措施之一。在节能建筑保温工程中，常用保温材料类型可简单划分为有机类型、无机类型以及它们之间以多种形式的适当复合，由此构成的施工技术又有多种。

聚氨酯硬泡属有机类型泡沫保温材料中的一种，与常规保温材料相比，在其性能和应用技术上具有许多独特优势，不仅成熟应用在石油化工、热力管道工程、轻工冷藏等诸多行业隔热（冷）节能工程，而且随着我国建筑节能率的逐步提高，已逐步开始应用于节能率分别为 50% 和 65% 以上的公用建筑和民用建筑节能工程。

国家相关部门，先后发布了聚氨酯硬泡的产品标准、《聚氨酯硬泡外墙外保温工程技术导则》、《硬泡聚氨酯保温防水工程技术规范》（GB 50404—2007）和《国家建筑标准设计图集》等技术要求，使聚氨酯硬泡在节能建筑工程上应用、设计、施工更加规范化。因此，聚氨酯硬泡在新建节能建筑和既有建筑节能改造工程中将被广泛地使用，为使更多读者能够了解聚氨酯硬泡应用相关技术，作者尽微薄之力，编写本书。

该书编写的内容，主要依照现行国家、行业、地方相关技术标准，结合聚氨酯硬泡的基本知识，将其内容具体化、通俗易掌握，以利读者阅读使用。

在编写中，借鉴哈尔滨天硕建材工业有限公司、沈阳工贝保温材料厂、沈阳城荣赛柏斯防水材料有限公司等单位提供的科技成果资料，同时邀请行业专家赵亚明、陈德龙、刘策、董广杰、刘非等同志参加部分章节编写，在此对提供资料单位及参加编写人员深表谢忱。

由于我们设计、施工经验不足，加之技术水平有限，编写错误和疏漏在所难免，恳请读者予以批评指正，以资改进。

目 录

引言	1
第 1 章 建筑围护结构热工特性与热工计算	6
1.1 建筑围护结构热工特性	6
1.1.1 太阳辐射热	6
1.1.2 建筑热过程特点	6
1.2 建筑围护结构热工计算	9
1.2.1 平壁稳定传热	10
1.2.2 围护结构的热稳定性	13
1.2.3 外墙的最小传热阻	15
第 2 章 基本规定	18
2.1 节能建筑外保温系统性能	18
2.1.1 外墙外保温系统整体性能要求	18
2.1.2 屋面保温防水系统整体性能要求	20
2.2 聚氨酯硬泡外保温工程设计技术要点	20
2.2.1 设计基本原则	20
2.2.2 设计程序	23
2.3 编制工程施工方案的依据和内容	24
2.3.1 编制保温工程施工方案的依据和内容	24
2.3.2 编制屋面防水保温工程施工方案的依据和内容	26
第 3 章 聚氨酯泡沫基本知识	28
3.1 聚氨酯泡沫类型、特点及应用范围	28
3.1.1 聚氨酯泡沫类型	28
3.1.2 聚氨酯硬泡性能、特点及应用范围	30
3.2 聚氨酯硬泡化学反应原理、原料及参考配方	36
3.2.1 聚氨酯硬泡化学反应原理	36
3.2.2 聚氨酯硬泡原料及参考配方	38
第 4 章 聚氨酯硬泡外墙外保温系统施工	50
4.1 外墙外保温系统基本优点及其他	50
4.1.1 外墙外保温系统基本优点	50
4.1.2 外保温工程设计与施工常用术语	51
4.1.3 聚氨酯硬泡施工常用工法	55

4.1.4 聚氨酯硬泡发泡设备	59
4.1.5 脚手架安装与使用	61
4.2 喷涂聚氨酯硬泡外墙外保温系统施工	67
4.2.1 喷涂聚氨酯硬泡复合无机轻质浆料系统	67
4.2.2 喷涂聚氨酯硬泡饰面系统	96
4.2.3 喷涂聚氨酯硬泡复合防水涂膜稀浆系统	102
4.2.4 喷涂聚氨酯硬泡与外挂饰面板系统	106
4.3 模浇聚氨酯硬泡外墙外保温系统施工	114
4.3.1 可拆模浇聚氨酯硬泡系统	115
4.3.2 免拆模浇聚氨酯硬泡系统	132
4.4 干挂板材外墙外保温系统施工	139
4.4.1 干挂聚氨酯硬泡保温装饰复合板系统	140
4.4.2 干挂饰面板浇注硬泡外墙外保温系统	152
4.4.3 无机浆料粘贴锚固聚氨酯硬泡保温装饰复合板系统	157
4.5 粘贴板材外墙外保温系统施工	164
4.5.1 发泡粘贴聚氨酯硬泡保温装饰复合板系统	165
4.5.2 无机浆料粘贴聚氨酯硬泡板材系统	171
4.6 模板内置板外墙保温系统施工	187
4.6.1 聚氨酯硬泡板现浇混凝土系统	187
4.6.2 钢丝网架聚氨酯硬泡板现浇混凝土系统	203
第5章 聚氨酯硬泡夹芯墙体保温系统施工	207
5.1 砌体夹芯聚氨酯硬泡板复合墙体系统	207
5.1.1 砖砌体夹芯板复合墙体系统	207
5.1.2 混凝土空心砌块夹芯板复合墙体系统	210
5.2 空心墙体浇注聚氨酯硬泡系统	211
5.2.1 灌注聚氨酯硬泡复合墙体保温特点及适用范围	212
5.2.2 灌注聚氨酯硬泡现场施工	212
第6章 聚氨酯硬泡围护结构内保温系统施工	216
6.1 喷涂聚氨酯硬泡保温（冷）隔热系统	216
6.1.1 冷藏库喷涂聚氨酯硬泡系统	216
6.1.2 大型公共设施喷涂聚氨酯硬泡系统	221
6.2 聚氨酯硬泡板材安装系统	222
6.2.1 冷藏库凹凸槽夹芯聚氨酯硬泡板拼装系统	222
6.2.2 聚氨酯硬泡板材粘结固定保温系统	224
第7章 聚氨酯硬泡屋面防水保温系统施工	225
7.1 聚氨酯硬泡屋面保温系统施工	226
7.1.1 屋面聚氨酯硬泡及配套材料性能	227
7.1.2 屋面聚氨酯硬泡设计	228
7.1.3 聚氨酯硬泡保温屋面系统施工	233

7.2 聚氨酯硬泡屋面复合防水材料施工	253
7.2.1 保温屋面防水材料性能	253
7.2.2 聚氨酯硬泡保温屋面防水材料设计	258
7.2.3 聚氨酯硬泡保温屋面防水材料施工	260
7.3 彩钢夹芯聚氨酯硬泡保温板安装	267
7.3.1 彩钢夹芯板主要特点、适用范围	268
7.3.2 彩钢夹芯板分类、规格和技术性能	268
7.3.3 彩钢夹芯板施工要点	270
7.3.4 质量标准	271
第8章 聚氨酯硬泡节能管道系统安装	273
8.1 聚氨酯硬泡热力供暖管道安装	273
8.1.1 设计要点	273
8.1.2 管道安装	275
8.1.3 质量标准	278
8.2 聚氨酯硬泡铝箔复合空调保温风管安装	278
8.2.1 聚氨酯硬泡风管特性及应用范围	278
8.2.2 聚氨酯硬泡空调风管性能参数、检验结果	280
8.2.3 聚氨酯硬泡空调风管制作安装	280
8.2.4 质量标准	281
第9章 聚氨酯硬泡系统工程项目管理	282
9.1 工程质量与控制管理	282
9.1.1 工程材料质量检验	282
9.1.2 分项工程质量管理	283
9.1.3 工程出现质量缺陷及具体解决方法	295
9.2 设计管理	301
9.3 施工管理	301
9.3.1 施工技术管理	301
9.3.2 工程质量验收记录管理	303
9.4 安全技术管理	314
9.4.1 安全管理	314
9.4.2 安全与文明施工措施	316
9.5 施工监理	321
9.5.1 质量控制	321
9.5.2 进度控制、投资控制	322
9.5.3 合同管理、组织协调	322
第10章 聚氨酯硬泡系统材料及系统性能试验方法	323
10.1 聚氨酯硬泡性能试验方法	323
10.1.1 喷涂法聚氨酯硬泡材料性能试验方法	323
10.1.2 浇注法聚氨酯硬泡材料性能试验方法	330

10.1.3	粘贴法聚氨酯硬泡保温板材料性能试验方法	331
10.1.4	硬泡聚氨酯不透水性试验方法	333
10.2	聚氨酯硬泡配套材料性能试验方法	334
10.2.1	胶粘剂（抹面胶浆）拉伸粘结强度试验方法	334
10.2.2	耐碱玻纤网格布耐碱拉伸断裂强力试验方法	336
10.2.3	免拆模浇注法施工专用模板性能试验方法	336
10.3	聚氨酯硬泡外保温系统性能试验方法	337
10.3.1	抗风荷载性能	337
10.3.2	抗冲击	338
10.3.3	吸水量	339
10.3.4	耐冻融性能	339
10.3.5	热阻	340
10.3.6	抹面层不透水性	340
10.3.7	水蒸气渗透阻	340
10.3.8	系统耐候性	341
附录 A	常用材料及施工构造名称缩写	342
附录 B	围护结构冬季室外计算参数及最冷最热月平均温度	344
附录 C	居住建筑和公共建筑聚氨酯硬泡厚度选用表	348
附录 D	全国建筑热工设计分区图	350
主要参考文献		351

引 言

一、建筑节能功在当代利在千秋

(一) 建筑节能意义重大

建筑节能,即在建筑中合理使用和有效利用能源,不断提高能源利用效率。建筑节能是指通过采取合理的建筑设计和选用符合节能要求的墙体材料、屋面隔热材料、门窗、空调等措施,在保证相同的建筑室内热舒适环境的条件下,可以提高电能利用效率,减少建筑能耗。

建筑能耗指建筑使用能耗,其中包括采暖、空调、通风、热水、炊事、照明、家用电器、电梯和建筑有关设备等方面能耗,它是主要的民生能耗。

建筑节能是一项系统工程,在建筑程序上包括规划、设计、施工和监理。在建筑技术上,包括围护结构保温隔热技术、建筑遮阳技术、太阳能利用技术、新型供冷供热技术、照明节能技术等。在建筑材料上包括节能墙体材料、节能保温材料、节能型门窗、节能玻璃等。

我国的建筑能耗总量逐年上升,从单位建筑面积能耗与国际比较,我国单位面积采暖能耗相当于气候条件相近发达国家的2~3倍。据专家对哈尔滨、北京与多伦多高层公寓热损失实际测算,北京建筑外墙热损失是多伦多的4.4倍、窗户热损失是多伦多的2.2倍、屋顶热损失是多伦多的4.2倍;哈尔滨建筑外墙热损失是多伦多的3.6倍、窗户热损失是多伦多的1.1倍、屋顶热损失是多伦多的2.6倍。由此可以看出,我国即便在达到了节能50%的目标以后,与发达国家相比仍有相当大的差距

随着城市化进程的加快和居民生活质量的改善,预计我国建筑能耗还将上升35%左右,假如按此状况继续发展,到2020年,我国建筑能耗将达到1089亿t标准煤,空调夏季高峰负荷将相当于10个三峡电站满负荷发电能力。由此可见不解决建筑能耗问题,将直接影响我国经济的可持续发展。另外,无论是建筑节能改造还是改造高能建筑,建筑节能改造不仅能够节约能源,还可以促进消费带动产业结构调整,因此建筑节能迫在眉睫、刻不容缓。

(二) 建筑领域的节能减排被列入节能重点

我国城乡每年新建建筑面积约20亿m²。我国既有建筑超过400亿m²,95%以上是高耗能建筑。至少有三分之一既有建筑需要进行节能改造。

2006年4月建设部负责人指出,我国建筑节能目标:通过全面推进建筑节能工作,到2010年,城镇建筑达到节能率50%的设计标准,其中各特大城市和部分大城市率先实施节能率65%的标准;开展城市既有居住和公共建筑的节能改造;大城市完成改造面积25%,中等城市完成15%,小城市完成10%。

国家有关部门相继公布一系列有关建筑节能政策,从设计到验收的各个环节强制实施

建筑节能。

我国在建筑节能方面制定两个目标：一是到 2010 年，所有城镇建筑节能要达到 50% 的节能率，特大城市和部分城市率先达到 65%；二是到 2020 年，城镇建筑节能全部达到 65%。

2007 年 5 月，建筑节能被列入“十一五”科技计划重大项目。据有关领导介绍：“十一五”期间，建设节能建筑的总面积累计要超过 21.6 亿 m^2 。目前我国将有 130 亿 m^2 的已建建筑进行改造。

2007 年 6 月，国务院下发《民用建筑节能条例》（2008 年 10 月 1 日实施）；2007 年 10 月，十届全国人大常委会第三十次会议表决通过了《中华人民共和国节约能源法》（2008 年 4 月起施行）。

2008 年，住房和城乡建设部有关负责人表示：促进城乡建设节能降耗将作为建设领域的重要任务，其中建筑节能重点推进三项工作：

一是加大新建建筑节能工作。研究制定节能省地环保型建筑的经济激励政策，鼓励住宅技术创新，推广应用节能、节电、节地、节材、环保的技术和部品，大力发展节能省地环保型住宅和公共建筑。强化新建建筑执行节能标准的监管力度，对不符合标准的项目，不得开工建设和组织竣工验收备案。

二是推进既有建筑节能改造。认真落实国务院确定的北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造 1.5 亿 m^2 的工作任务。研究制定利用中央财政资金支持北方采暖地区既有居住建筑节能改造的相关政策。继续加强既有政府办公建筑和大型公共建筑运行节能监管。在直辖市、计划单列市，河北、辽宁等 15 个省及其省会城市开展国家机关办公建筑和大型公共建筑的能耗统计、能源审计工作，公示一批国家机关办公建筑和大型公共建筑基本能耗情况。抓紧研究制定用能标准、能耗限额和超限额加价、节能服务等制度，逐步在全国范围内推开。

三是发展新型节能节材建筑材料。以太阳能、浅层地能、生物质能等在建筑中的应用为重点，推进可再生能源在建筑中规模化应用，抓好示范项目，扩大示范规模。继续开展禁止使用实心黏土砖工作，确保第二批“禁实”目标城市在 2008 年年底前完成工作目标。推动新型墙体材料和节能建材生产及应用，促进高强度钢材、水泥等新型建材的研发和应用。

建筑节能作为“十大”节能工程之一，是节能减排的重点领域。

二、外围护保温材料现状

（一）外围护保温常用材料

中国是世界上建筑业发展最快的国家，全国到处都是建筑工地。因此，中国也是目前世界上建筑材料需求最多的国家。

1980 年以前，我国保温材料的发展十分缓慢，并且以少量的无机保温材料为主，如膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、矿渣棉、超细玻璃棉、微孔硅酸钙、泡沫混凝土、加气混凝土、硅藻土（砖）、泡沫玻璃、硅酸盐保温膏等产品，无论从产品品种、规格还是节能效果和应用范围等，各方面都不能满足国家建设的需要，与先进国家相比，至少落后 30 年。之后，我国保温隔热材料有了长足进展，已发展成为品种比较齐全、初具规模的生产和技术

体系。

特别近 10 年的高速发展,无论是有机类型还是无机类型保温材料,不少产品从无到有,从单一到多样化、功能化,普遍质量从低到高,已成为品种比较齐全的产业,材料合成技术、生产设备水平也有很大提高。

目前在外墙外保温系统节能施工技术中,常用的保温材料主要有轻体膏(浆)状材料(如:胶粉聚苯颗粒浆料、保温砂浆、硅酸盐保温膏)、板(块)状材料(如:聚苯乙烯泡沫板、聚氨酯硬质泡沫塑料板、岩棉板、玻璃棉毡、保温材料复合饰面板、珍珠岩块、泡沫玻璃)和现场喷涂(浇注)保温材料等。

按墙体(屋面)结构特征,利用保温材料之间的相容性进行复合使用,在保温性能上达到相互补充;在增加结构强度上采用镀锌钢丝网、耐碱玻纤网格布或锚栓的机械固定等方法。通过设计深度的增加和施工技术的提高,墙体(屋面)结构所采用保温层施工后,使外保温系统还能与相邻部位的门窗洞口、穿墙管道、边角、面层装饰等得到适当处理,使外围护的保温效能明显增加。

各类保温材料所构成的工法,广泛适用于全国不同的温度区域和建筑风格。可用于新建、既有的民用建筑和公共建筑。

根据住房和城乡建设部第 659 号公告:金属复合保温板、钢丝网架水泥聚苯乙烯夹芯板、EPS 板薄抹灰外墙外保温系统、EPS 板现浇混凝土外墙外保温系统、矿物棉喷涂保温技术、XPS 板屋面保温技术等产品外,现喷聚氨酯硬泡屋面保温防水技术、单组分聚氨酯泡沫填充剂已列入我国“十一五”期间推广应用技术。

(一) 聚氨酯硬泡外保温应用前景

聚氨酯硬泡材料生产和应用技术比较成熟,已在油田石油管道、热力供暖管道、轻工、冷藏等行业定型并广泛、大量使用。

聚氨酯硬泡从 1995 年开始,逐步向建筑围护节能方面探索使用,随着建筑业节能率的提高,聚氨酯硬泡常规应用的机械喷涂法和浇注法,已拓展到工业建筑和民用建筑围护结构的外保温工程。

目前,聚氨酯硬泡的建筑节能施工技术逐渐成熟、发展较快,经在我国寒冷地区、严寒地区和夏热冬冻地区大面积推广应用,已取得可喜节能效果。

聚氨酯硬泡施工技术根据应用基层条件、构造等,可分别选用机械喷涂方式或浇注方式进行现场施工或预制成型。聚氨酯硬泡(喷涂或浇注)与多种材质粘合力强、导热系数低、比强度大,并且在使用方面具有性能指标调整灵活、施工方便、节能效果显著等特点。

据有关资料介绍,在全世界每年生产的聚氨酯材料中,泡沫材料约占 80%,其中约 1/3 是聚氨酯硬泡材料。由于聚氨酯硬泡材料密度轻、导热系数相对小,因而其绝热保温性能在诸多绝热材料中为最佳,所以应用节能效益十分显著。

日本 1988 年聚氨酯硬泡的生产量为 7.4 万 t,其中聚氨酯硬泡板在冷库使用部位约占 9.5%~12.5%,使用聚氨酯硬泡喷涂的部位约占 5.3%~9.5%;美国 1990 年聚氨酯硬泡消费量约 40 万 t,其中 50%以上用于建筑隔热,主要使用板材作单层保温屋面、现场喷涂聚氨酯硬泡用于屋面翻修;在西欧,建筑用聚氨酯硬泡约占聚氨酯材料总消费量的 17%;据前苏联资料统计,在建筑中使用硬质聚氨酯硬泡夹芯板材,可使安装工作的劳动

生产率增加 25%~30%，减轻建筑物重量 2/5~1/3，缩短工期 2/3。

我国改革开放以来，随着商业冷库和家用冰箱的迅猛发展，带动聚氨酯硬泡生产的高速增长，聚氨酯硬泡的平均年增长率为 20% 左右，主要用于冷藏（商业冷库、冰箱）、交通、油田、热力、石化管道、建筑等领域。

在“六五”期间，国内先后从西德、意大利等国家引进夹芯板材生产，这种薄钢板与聚氨酯硬泡复合的新型板材具有重量轻、导热系数小、有足够强度，使用寿命长，加工简单、安装方便等优点，可用于装配式冷库、活动房、车辆船舶制造和公共节能建筑等。

我国聚氨酯工业虽然起步较晚，但发展很快。特别在 20 世纪 80 年代初，我国聚氨酯工业出现突飞猛进发展。

建筑上常用的聚氨酯产品主要有，起绝热保温作用的聚氨酯硬泡、起密封作用的聚氨酯密封膏和起堵水作用的聚氨酯灌浆液等，各类聚氨酯产品在建筑上相对用量比较，其中用量较大的是聚氨酯硬泡。

2006 年 11 月，建设部聚氨酯建筑节能应用推广工作组制定《聚氨酯硬泡外墙外保温工程技术导则》；2006 年国家编制《外墙外保温建筑构造（三）》（06J121-3）标准图集；2006 年发布《喷涂聚氨酯硬泡体保温材料》（JC/T 998—2006）标准。

2007 年国家发布《硬泡聚氨酯保温防水工程技术规范》（GB 50404—2007）标准，同年国家又发布《建筑节能工程施工质量验收规范》（GB 50411—2007）标准。另外，《墙体材料应用统一技术规范》（国家标准）即将发布实施。一系列标准和规范的发布，体现与时俱进的发展，使聚氨酯硬泡在节能建筑上施工更加规范化和法制化，使设计、施工和验收有法定依据。

随着聚氨酯硬泡应用市场的扩大，给聚氨酯硬泡原料供应能力也带来压力，尤其是聚异氰酸酯的供应，在过去几年内，由于国内生产能力有限，在原料产能迅速扩张的情况下，仍然不能满足需求发展的速度，还需要大量进口。

20 世纪 80 年代中期开始，我国执行改革开放政策，虽然聚氨酯工业出现十分活跃的局面，1986 年全国聚合 MDI（含 PAPI）生产能力也只有 13000t/a；90 年代初，全国聚合 MDI（含 PAPI）也不超 30000t/a 生产能力，造成国内供求矛盾十分突出。

国外聚异氰酸酯的生产和消耗主要集中在西欧、北美（美国）和日本，1988 年世界聚合 MDI 生产能力达到 133 万 t，到 20 世纪 90 年代初世界聚合 MDI 生产能力达到 162.4 万 t。从 80 年代后期开始，这些地区经济不景气，对异氰酸酯需求量减少，装置开工率下降。而此时正是中国聚氨酯工业迅速发展时期，由于我国国民经济的持续稳定增长，聚合 MDI 的需求量逐年增加，世界主要生产厂向中国大量出口聚合 MDI。1990 年代开始，国外公司进而在中国投资控股建世界级规模的聚合 MDI 生产装置，同时，国外仍然向中国大量出口，特别是我国建筑节能率提高到 65% 后，使聚氨酯硬泡在建筑应用、国内市场对聚合 MDI 的需求还会逐年增加。

现国内市场供应聚异氰酸酯有多个品牌，如烟台万华聚氨酯股份有限公司、拜尔中国有限公司、巴斯夫（中国）有限公司、陶氏化学（中国）投资有限公司、日本聚氨酯工业株式会社、亨斯迈和韩国等单位的品牌产品。

不完全统计，2007 年国内仅在建筑市场应用国产和进口聚合 MDI 总量不低于 7.7 万 t，2006 到 2007 年，国内 MDI 的自给率仍不足 50%。随着国内生产装置进一步扩产，

会出现新转折点。

我国聚醚料和助剂供应主要是国产化产品，相对比聚合 MDI 供应充足。在生产组合聚醚技术水平上，已从含氟聚醚、减氟聚醚发展到无氟硬泡聚醚。还有阻燃聚醚、耐高温聚醚等，适用制造全水发泡聚醚体系、烷烃类发泡体系和 HCFC 发泡体系无氟聚氨酯硬泡等多种牌号系列产品。

建筑市场需求量较大，暂时障碍是聚氨酯硬泡原料价格，聚氨酯硬泡价格高于传统保温材料，但应用在节能建筑上的综合效益却非常显著，建筑外围护应用聚氨酯硬泡成套建筑节能技术，的确是历史发展的机遇。

第 1 章 建筑围护结构热工特性与热工计算

1.1 建筑围护结构热工特性

墙体保温的热工问题，实际上就是墙体中的传热问题在工程中的应用。传热有固体导热、辐射换热、对流换热三种基本方式。但是，实际的传热往往都是将这三种传热方式纠合在一起。而且还有一种由相变引起的传热，称为潜热传热。

在多孔建筑材料（保温材料）中，包括导热、对流和辐射三者的传热。在建筑实践中，物体表面与空气之间的或物体表面与表面之间（空气层）的换热，往往包括了三种传热方式的复杂传热。

在生活中，由于室内外空气温度经常变化，标准的稳定状态下建筑围护结构的传热并不存在，实际当中考虑最多的是房屋外墙平壁稳定传热，考虑到室内外空气温度变化对围护结构传热影响较小时，在工程上可以作为稳态传热处理，稳定传热是一种最简单和最基本的传热过程，即一维稳定传热，而且计算简便，在建筑热工计算和工程设计估算中，是最为基本的计算公式。

在我国各地区气候不同，建筑围护结构热工特性也不相同。北方采暖建筑重点考虑热过程的单向传递，甚至把围护结构的保温作为唯一的控制指标，如降低墙体、屋面、窗户的传热系数，增加隔热保温材料厚度来达到节约建筑能耗的目的。

在夏热冬冷地区的建筑热过程涉及夏季隔热、冬季保温以及过渡季节的除湿和自然通风等因素。

1.1.1 太阳辐射热

在夏热冬冷地区，太阳辐射热是影响建筑热过程的主要热源，日照和遮阳、太阳辐射热能源使用是节能建筑设计者尤其关心的事。

当太阳射线照射到围护结构外表面时，一部分被反射，另一部分被吸收，二者比例决定于表面粗糙度和颜色，表面愈粗糙，颜色愈深，则吸收的太阳辐射热也越多。同一种材料对于不同波长的热辐射的吸收率（或反射率）也不同。黑色表面对各种波长的辐射几乎都是全部吸收，而白色表面对不同波长则显著不同，对于可见光线几乎 90% 都反射回去，在建筑物围护结构涂刷白色涂料、安装浅色饰面板，在建筑物顶面施工浅色涂料、反光膜及其他隔热处理，都是为了减少进入室内的太阳辐射热。

1.1.2 建筑热过程特点

1.1.2.1 围护结构的热作用

在夏热冬冷气候条件下，建筑热过程为室外综合温度作用下一种非稳态传热。如图

1-1、图 1-2 所示,夏季白天外围护结构受到太阳辐射被加热升温,热量向室内传递,夜间围护结构散发热量,即存在建筑围护结构内、外表面日夜交替变化方向传热。以及在自然通风条件下,对围护结构双向温度波作用;冬季是通过外围护结构向室外传递热量为主的热过程,如图 1-3 所示。

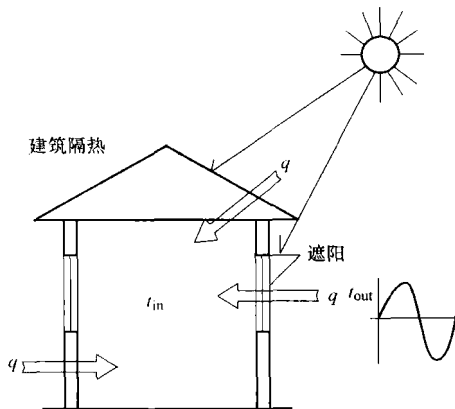


图 1-1 夏季白天吸热

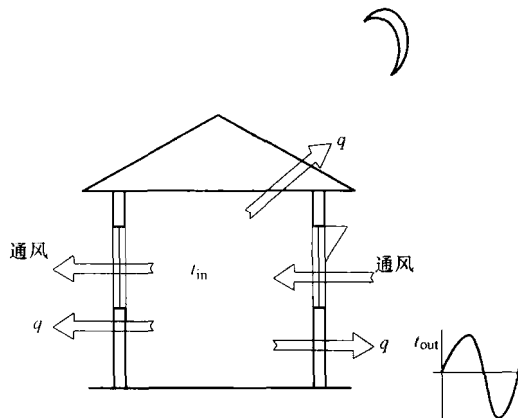


图 1-2 夏季夜间散热

在夏热冬冷地区,主要针对夏热冬冷地区节能建筑围护结构设计重点是解决夏季建筑的隔热,兼顾冬季保温。围护结构设计除了满足夏季白天具有良好的隔热性、夜间散热快之外,还要求冬季具有良好的保温功能,同时了解空调运行方式以及自然通风与室外热作用之间关系。

在北方地区冬季,主要解决室内热量向外传递,防止冷气进入室内,即隔热保温。

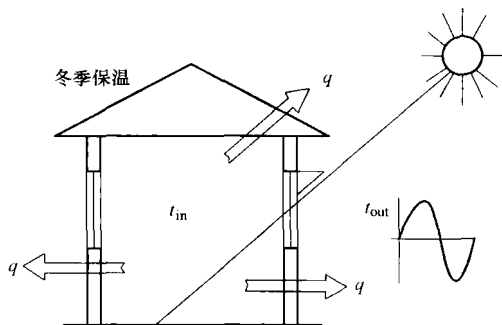


图 1-3 冬季向室外传递热量

1.1.2.2 保温隔热原则

目前,无论在夏热冬冷地区还是北方严寒、寒冷地区,在条件允许情况下,原则上隔热保温主要采用外保温的方式为主。

在夏热冬冷地区采用内保温隔热措施时,夏季在太阳强烈辐射下,围护结构主体部分普遍加热,会使建筑蓄存不必要的大量热量。因此,应将室外热作用尽可能地在围护结构表面与建筑外部环境之间转化。

现在节能建筑的保温水平,还远没达到最经济的保温水平,将来逐渐使用洁净能源,会有更重要的经济意义和节能效果。高节能率的节能建筑外墙,一定要采用高效保温材料,并设计成使用复合保温结构的外墙。

1.1.2.3 冬季围护结构隔热保温的特性

在北方地区采用外保温方式,不但使建筑室内受室外温度波动影响小、有利于保护主体结构,而且避免产生热桥。

用图示比较内保温和外保温温差变化,图 1-4 是保温层设在外墙内侧,使其外侧的承

重部分，常经受冬夏的很大温差的反复作用。图 1-5 是将保温层设在外墙外侧，则承重结构所受温差作用大幅度下降，温度变形很小。

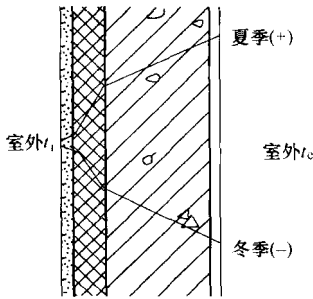


图 1-4 外墙内保温方式

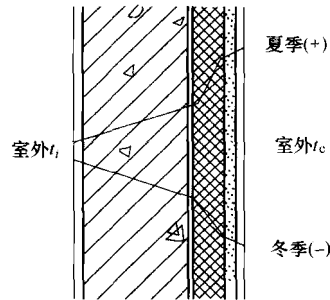


图 1-5 外墙外保温方式

外围护结构隔热保温层在内侧还是外侧对建筑热过程影响很大，它直接影响建筑能耗的大小和室内热环境条件。

从建筑热过程来分析，外隔热保温对减轻室内热负荷，防止外围护结构龟裂和内部结露都很有利。另外，由于一般保温材料的线性膨胀系数比钢筋混凝土小，所以外保温可减少防水层的破坏。

外保温使墙体或屋顶结构部分受到保护，大大降低温度应力的起伏，提高结构的耐久性。

1.1.2.4 夏季隔热构造形式和特点

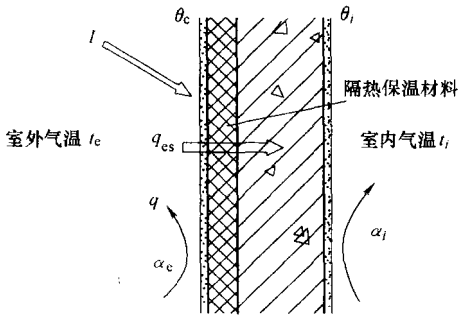


图 1-6 外墙表面热平衡

围护结构表面在太阳辐射条件下的升温速度和大小反映出围护结构的隔热功能，例如对采用轻质材料而言，外表面升温快，温度高，其隔热性能反而好，因为外表面温度高，必然向空气中散热量多，传入围护结构并透过到室内的热量少的缘故，如图 1-6 所示。

围护结构外表面在太阳辐射作用下升温 and 升温值，能够反映出围护结构的隔热能力。夏季传入外围护结构并通过其传入室内的

的热量可用式 (1-1) 表示：

$$q_{es} = \rho_l - \alpha_e (\theta_c - t_c) \quad (1-1)$$

式中 q_{es} ——进入外表面的热流量 (W/m^2)；

ρ_l ——接受太阳辐射的热量 (W/m^2)；

θ_c ——外表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

α_e ——围护结构外表面传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]；

t_c ——室外气温 ($^{\circ}\text{C}$)。

由式 (1-1) 对照图 1-6 可见，当 ρ_l 和 t_c 按照一定规律变化时，外围护结构的热阻值越大，外表面温度 θ_c 升得越高，由外表面向外通过辐射与对流散发的热量就越多，传入

外表面的热流 q_{es} 就越小, 也就是隔热性能越好。

隔热保温材料用在建筑外保温时一般都采用复合结构或适当加固技术措施。因为仅用保温材料来建造建筑的外围护结构, 往往难于同时满足其承重、保温、防水、隔汽、抗老化、装饰等要求。在使用时采用复合结构后, 把力学性能好的材料用于结构受力, 把绝热性能好的材料用于保温隔热, 防水、隔汽、抗老化、装饰等功能要求可根据具体工程、使用部位、所处环境等使用条件的需求来合理设置。

恰当地选择围护结构构造措施, 来满足外围护结构节能要求和合理、经济的隔热效果, 是在节能建筑中应用效果的主要问题。

1.2 建筑围护结构热工计算

建筑室内温度状态受室外气候状态和建筑围护结构所影响, 改进建筑围护结构形式以改善建筑热性能, 是建筑节能的重要途径。

采暖能耗与室内外空气温度差成正比, 在我国北方的严寒地区室内外温差要比寒冷地区、夏热冬冷地区相差成倍, 甚至 3~4 倍。在南方地区外墙外窗的平均传热系数达到 $1\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 后, 进一步改善墙体保温, 对降低采暖起到的作用并不大。

空调的作用是从室内排除热量, 空调排出的热量绝大多数来自各种电器设备、照明等发出的热量及室内人体发出的热量, 或太阳透过外窗进入室内的热量, 而少量来自通过外墙的传热。

当室内外温度低于室内允许的舒适温度时, 依靠室内外的温差, 通过外墙、外窗的传热以及室内外通风换气, 可以把室内热量排出到室外。

围护结构平均传热系数越大 (保温越不好), 通过围护结构向外传出的热量就越多, 室内发热导致室内温度的升高就越小。同时如果能够开窗通风, 并且建筑造型与开窗位置具有较好的自然通风能力, 则可通过室内外通风换气向室外排热。如果由于某些原因不能开窗通风, 热量主要依靠围护结构排除, 则围护结构保温越好, 散热能力就差, 导致室温升高, 就需开启空调。例如在大型公共建筑, 由于内部发热量大、建筑体量大, 又不能开窗通风, 仅靠出入口通风换气, 室内大量的热量不能通过围护结构排出, 只好开启空调, 靠制冷排热, 消耗大量电能。

当室外空气日平均温度高于室内要求的舒适温度后, 室外向室内传热, 造成室内热量的增加, 使空调需要排除的热量增大。

围护结构保温越好, 通过围护结构进入室内的热量就越少, 但围护结构保温对夏季空调负荷的影响远不如对北方地区冬季采暖的影响大。由于累计温差与通过围护结构造成的冷负荷或热负荷成正比, 所以南方地区围护结构造成的夏季冷负荷一般不到北方地区造成的冬季热负荷的 $1/5$ 。

如果将夏季冷负荷分为室内发热量和太阳透过外窗进入室内的热量、外温通过围护结构的传热以及由于通风室外热湿空气带入室内的热量, 这三部分在炎热季大体各占三分之一, 其中围护结构的传热所占比例最小, 相比而言, 冬季采暖时围护结构的传热作用却占到 $60\% \sim 80\%$ 的作用。

南方夏季西向外墙和水平屋顶在太照射下, 外表面温度可达 50°C 以上, 良好的保温