

YITIHUA
WAIQIANG
BAOWENBAN

一体化 外墙保温板

逢鲁峰 郭庆亮 著



化学工业出版社

一体化外墙保温板

YITIHUA WAIQIANG BAOWENBAN

逢鲁峰 郭庆亮 著



化学工业出版社

·北京·

本书系统地介绍了建筑墙体保温与结构一体化技术的内涵及特点,发展应用现状,一体化外墙保温板材体系生产、设计、施工技术及应用。从建筑墙体保温与结构一体化的技术涵义、技术特点、技术分类及应用现状开始,以技术原理为主线,以不同保温板产品的设计原理及应用实例为对象,进行了详细的阐述。有助于读者把握一体化技术的核心原理,熟悉应用特点。

本书内容翔实、应用覆盖面广,可以作为土木工程设计和施工技术人员的技术参考书,也可以作为建筑类高等院校教师与学生以及培训人员的参考和辅助教材。

第一版第一次印刷

2015年6月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16 印张11 1/4 字数277千字

图书在版编目(CIP)数据

一体化外墙保温板/逢鲁峰,郭庆亮著. —北京:
化学工业出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-122-23309-7

I. ①一… II. ①逢…②郭… III. ①建筑物-外墙-
保温板 IV. ①TU55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 052329 号

责任编辑:刘丽菲 满悦芝

文字编辑:刘丽菲

装帧设计:刘剑宁

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张11 1/4 字数277千字 2015年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:45.00 元

版权所有 违者必究

前言

近年来,节能与环保已成为全世界共同的话题。随着国民整体素质的提高,人们居住条件的改善,提高能源利用率越来越受到广泛重视。建筑能耗占社会能耗比重很大,随着我国新的建筑节能标准的实施,建筑已从低层次的解决人的居住向高层次的绿色生态建筑发展。在建筑中,外围护结构的热损耗较大,外围护结构中墙体又占了很大份额,所以建筑墙体改革与墙体节能技术的发展是建筑节能技术的一个重要的环节,发展外墙保温技术及节能材料则是建筑节能的主要实现方式。

传统外保温的弊病催生了建筑墙体保温与结构一体化技术。相比传统的外墙外保温技术,建筑墙体保温与结构一体化技术不仅能有效解决保温体系与建筑主体同寿命问题,而且在抗震、安全等性能方面也得到了加强,能同时满足建筑、防火等要求,是建筑节能发展的方向,加快建筑墙体保温与结构一体化技术推广、逐步限制淘汰已经明显落后的传统外墙外保温技术已经势在必行。近年来,住房和城乡建设部多次通过会议部署、技术研讨交流等形式,鼓励引导发展一体化技术,并要求加大一体化技术研发推广力度,完善建筑节能技术支撑体系。

本书通过近年来作者的科研实践,系统阐释了建筑墙体保温与结构一体化技术的内涵及特点、发展应用现状,一体化外墙保温板材体系生产、设计、施工、技术及应用。本书从建筑墙体保温与结构一体化的技术涵义、技术特点、技术分类及应用现状为起始,以技术原理为主线,以不同保温板产品的设计原理及应用实例为对象,进行了详细的阐述和分析研究,有助于读者把握一体化技术的核心原理,并熟悉应用特点。

全书分为5章:第1章讲述建筑墙体节能及一体化技术的发展现状;第2章讲述建筑墙体保温与结构一体化的概念及原理;第3章讲述一体化免拆保温模板的设计研制;第4章讲述一体化装配式外墙保温装饰条板的设计研制;第5章针对一体化工程应用实例进行了分析。本书对于建筑墙体保温与结构一体化技术分析透彻、内容翔实,所介绍的技术先进、方法实用,希望本书的出版可促进建筑墙体保温与结构一体化技术以更快的速度普及、在更广的领域应用、在更深的层次优化。

本书在撰写过程中,得到了济南市住宅产业化发展中心王全良研究员的多次具体指导,同时也得到了山东建筑大学的王广义、主红香、宋军龙、孙绪廷、胡文、翟玉仕、赵艳艳、赵松蔚等人的帮助,在此一并表示最诚挚的感谢!

本书针对该项技术进行了深入浅出的技术原理阐述和应用实例设计,对于该项技术的研究人员、产品生产企业、设计人员、施工人员以及相关从业人员具有积极的指导意义。本书可以作为土木工程设计和施工技术人员的参考书,也可以作为建筑类高等院校教师与学生以及培训人员的参考和辅助教材。

作者水平有限,书中不妥之处,敬请广大读者指正。

逢鲁峰 郭庆亮

2015年1月于山东建筑大学

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑节能概述	1
1.1.1 我国的建筑节能发展史	1
1.1.2 建筑节能的意义	2
1.1.3 建筑节能的措施	4
1.2 建筑墙体保温节能概述	8
1.2.1 国内外墙体保温发展现状及应用现状	8
1.2.2 墙体保温技术分类与评价	10
1.2.3 建筑墙体保温材料	12
1.3 一体化技术的发展	14
1.3.1 建筑墙体保温与结构一体化	14
1.3.2 外墙保温与装饰一体化	15
1.3.3 保温、装饰与结构一体化	16
参考文献	16
第 2 章 建筑墙体保温与结构一体化	17
2.1 建筑墙体保温与结构一体化概述	17
2.1.1 建筑墙体保温与结构一体化的涵义	17
2.1.2 建筑墙体保温与结构一体化的特点	18
2.1.3 推广建筑墙体保温与结构一体化的意义	19
2.2 建筑墙体保温与结构一体化技术分类	20
2.2.1 现浇混凝土结构复合墙体保温体系	20
2.2.2 砌体自保温体系	23
2.2.3 夹芯保温复合砖砌体结构体系	25
2.2.4 装配式混凝土复合墙板保温体系	25
2.3 建筑墙体保温与结构一体化技术原理	28
2.3.1 建筑墙体保温基本理论	28
2.3.2 建筑物节能的综合指标	36
2.3.3 建筑节能 75% 的墙体规定性指标分析	36
2.3.4 建筑墙体保温与结构一体化设计原则	39
参考文献	42
第 3 章 一体化免拆保温模板	43
3.1 一体化免拆保温模板概述	43

3.1.1	建筑模板的发展	43
3.1.2	一体化免拆保温模板的提出	44
3.2	广泛应用的外墙外保温系统分析对比	45
3.2.1	粘贴式保温板外保温系统分析	45
3.2.2	EPS 现浇混凝土外墙外保温系统分析	50
3.2.3	粘贴式外墙保温板外保温系统和 EPS 现浇混凝土外保温系统的对比	51
3.3	一体化免拆保温模板设计理论	52
3.3.1	外墙外保温系统质量问题产生的原因分析	52
3.3.2	外墙外保温系统构造设计理论	55
3.4	一体化免拆保温模板的设计	57
3.4.1	一体化免拆保温模板体系	57
3.4.2	一体化免拆保温模板设计思路	60
3.4.3	一体化免拆保温模板的构造设计	62
3.4.4	模板系统分析与计算	65
3.4.5	一体化免拆保温模板的设计原则	69
3.5	一体化免拆保温模板的性能分析	72
3.5.1	热工计算及分析	72
3.5.2	连接件对热工性能的影响	75
3.5.3	温度场的有限元分析	79
3.5.4	与传统外墙外保温系统的有限元对比分析	84
3.5.5	结构安全性分析	88
3.6	一体化免拆保温模板的标准化生产	89
3.6.1	生产设备	89
3.6.2	生产工艺流程及主要操作要点	90
3.7	一体化免拆保温模板的施工工艺及工程验收	91
3.7.1	施工工艺	91
3.7.2	工程验收	93
	参考文献	93
第 4 章	一体化装配式外墙保温装饰条板	96
4.1	一体外装配式外墙保温装饰条板概述	96
4.1.1	国外的发展与现状	96
4.1.2	国内的发展与现状	97
4.2	HRP 外墙条板概念的提出及基本设计	99
4.2.1	概念	99
4.2.2	基本设计	101
4.2.3	主要原材料选定	105
4.3	HRP 外墙条板的结构优化设计及计算分析	111
4.3.1	板缝设计及优化	111

4.3.2	结构计算及分析	113
4.3.3	节点构造设计	118
4.4	HRP 外墙条板的抗弯性能	121
4.4.1	抗弯性能理论	121
4.4.2	抗弯性能有限元分析	125
4.4.3	有限元模拟结果与数据分析	131
4.4.4	影响抗弯性能的因素	136
4.5	HRP 外墙条板的热工性能	140
4.5.1	热工计算及节能分析	140
4.5.2	热工性能有限元分析	142
4.6	HRP 外墙条板的隔声性能	144
4.6.1	单层密实的细石纤维混凝土墙板的隔声性能	144
4.6.2	HRP 外墙条板的隔声性能	145
4.7	HRP 外墙条板的工业化生产技术	146
4.7.1	试验原材料	146
4.7.2	试验方法	148
4.7.3	试验方案设计	149
4.7.4	试验结果分析与讨论	152
4.7.5	工业化生产工艺设计	154
4.8	HRP 外墙条板的施工技术及工程验收	158
4.8.1	施工技术	158
4.8.2	工程验收	159
	参考文献	162
第 5 章	一体化工程应用实例分析	165
5.1	一体化工程应用案例	165
5.1.1	拟建建筑物的基本概况	165
5.1.2	采用不同保温材料的围护结构构造及热物理性参数	165
5.1.3	围护结构耗热量计算	168
5.2	围护结构耗热量参照值的计算	169
5.2.1	计算依据	169
5.2.2	75%建筑节能指标对应的围护结构的耗热量参照值的计算	170
5.3	围护结构传热耗热量分析	171
5.3.1	不同围护结构做法耗热量比较	171
5.3.2	最优保温系统的选择	172
	参考文献	173

第1章 绪论

1.1 建筑节能概述

建筑节能是指建筑产品在规划、设计、建造和使用过程中,通过采用新型墙体材料,执行建筑节能标准,加强建筑物用能设备的运行管理,合理设计建筑围护结构的热工性能,提高采暖、制冷、照明、通风、给排水和通道的运行效率,以及利用可再生能源,在保证建筑物使用功能和室内热环境质量的前提下,降低建筑能源消耗,合理、有效地利用能源的活动。

自1973年发生世界性的石油危机以来40多年间,在发达国家,建筑节能的涵义经历了三个阶段:第一阶段,称为在建筑中节约能源(Energy saving in buildings),我国称为建筑节能;第二阶段,称为在建筑中保持能源(Energy conservation in buildings),意为在建筑中减少能源的损失;第三阶段,近年来,普遍称为在建筑中提高能源利用率(Energy efficiency in buildings),意为不是在消极意义上的节省,而是积极意义上的提高能源利用效率。

在我国,现在通称的建筑节能,其涵义应为第三阶段的内涵,即在建筑中合理地使用和有效地利用能源,不断提高能源利用效率。

1.1.1 我国的建筑节能发展史

目前,我国社会总能耗主要有工业能耗、建筑能耗、交通能耗,其中建筑节能被视为热度最高的领域,建筑能耗占社会总能耗30%~40%左右,而且还在以每年1个百分点的速度增加,比同等气候条件下的发达国家高出2~3倍。自哥本哈根大会以后,我国日益重视建筑节能问题,建筑节能的政策不断推出,旨在提高建筑行业使用节能建材的比例和促进节能技术的发展,降低建筑能耗,从而降低单位GDP能耗。

“十一五”我国节能减排目标是2010年万元GDP能耗由2005年的1.22吨标准煤下降到0.98吨标准煤左右,下降20%,目标基本实现。“十二五”提出万元国内生产总值能耗下降到0.869吨标准煤,比2010年的1.034吨标准煤下降16%。在《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》中,节能环保在七大战略性新兴产业中高居第一。根据规划,“十二五”期间中国环保投资达3.1万亿元,较“十一五”期间1.54万亿的投资额大增101%。

《2013—2017年中国建筑节能行业发展前景与投资战略规划分析报告》统计数字显示:我国每年新建房屋建筑面积近20亿平方米,其中80%以上为高能耗建筑;既有建筑近500亿平方米,90%以上是高能耗建筑,建筑节能改造和技术更新有很大的空间。对于我国来说,无论是资源、环境的现实压力,还是人们对居住环境舒适度的迫切要求,建筑节能都被寄予了厚望,我国建筑节能市场前景广阔。

根据我国建筑节能发展的基本目标:新建采暖居住建筑1986年起,在1980—1981年当

地通用设计能耗水平基础上普遍降低 30%，为第一阶段；1996 年起在达到第一阶段要求的基础上再节能 30%，（即总节能 50%）为第二阶段；2005 年起在达到第二阶段要求基础上再节能 30%（即总节能 65%）为第三阶段。

我国现行有关第二阶段的节能标准《民用建筑节能设计标准》（JGJ 26—95）已于 1996 年发布实施，相关应用技术也基本成熟。第三阶段节能，目前实施的标准为《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 26—2010）与《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》（JGJ 134—2010），此两项标准是配合“十二五”规划对节能的要求，于 2010 年 8 月 1 日实施。

2011 年 11 月，北京市公布了《北京市居住建筑节能设计标准（征求意见稿）》，文中指出：“北京市‘十二五’时期建筑节能发展规划中的重点工作任务指出，从 2012 年起，北京市新建居住建筑要执行修订后的北京市居住建筑节能设计标准，节能幅度将达到 75% 以上。”目前我国住宅和公共建筑普遍执行的是节能 65% 的标准，北京、天津等地区在居住建筑方面已经陆续开始执行节能 75% 的标准。

1.1.2 建筑节能的意义

现在世界各国相继出现能源危机，消耗的能源量越来越多。在中国，我们面临的一项迫切任务就是节能环保。根据资料显示，在 20 世纪 90 年代初，我国消耗的煤大约是 1.13 亿吨，在全国所有能源中的比重约为 11.5%，但是到 21 世纪初，在建筑方面我国需要煤的量达到 3.76 亿吨，在全国能源总量中所占比重约为 27.6%。在我国，能源本来就少，而对能源的需求量又大，在建筑方面需要消耗的能源差不多是欧洲的 3 倍。

中国是一个发展中大国，又是一个建筑大国，每年新建房屋面积 17 亿~18 亿平方米，超过所有发达国家每年建成建筑面积的总和。随着全面建设小康社会的逐步推进，建设事业迅猛发展，建筑能耗迅速增长。节约能源是我国的一项基本国策，建筑节能是我国节能工作的重要组成部分，深入持久地开展建筑节能工作意义十分重大。

1.1.2.1 建筑节能有利于缓解能源供给的紧缺局面

我国人均能源资源较少（约为世界平均数的 50%），资源分布不均，优质能源少，是世界上少数几个以煤炭为主的国家。由于煤炭的比重过大，造成对交通运输和环境保护的巨大压力，同时也是能源利用效率低下的主要原因。

我国是一个能源消费大国，全年能源消耗仅次于美国，总量居世界第二位。目前我国经济发展速度约为 8%，能源增长速度约为 3.5%，我国能源生产的增长速度滞后于国民经济的增长速度。随着我国现代化建设的发展，我国建筑能耗比例将日益向国际水平（30%~40%）接近，能源供应将更加紧张。

我国城乡建设发展十分迅速，房屋建设规模日益扩大，建筑用能增长速度较快。我国城乡现有建筑面积已超过 360 亿平方米，到 2020 年预计将达到 500 亿平方米。由于我国的城市建设正处在快速增长时期，建筑用能缺口很大，仅靠单方面加强能源方面的投入和基础设施建设无法满足快速增长的社会发展需求和减缓能源供给的紧缺局面。

如果从现在起对新建建筑全面强制实施建筑节能设计标准，并对既有建筑有步骤地推行节能改造，到 2020 年，我国建筑能耗可减少 3.35 亿吨标准煤，空调高峰负荷可减少约 8000 万千瓦（约相当于 4.5 个三峡电站的满负荷出力，减少电力建设投资约 6000 亿元），由此造成的能源紧张状况必将大为缓解。

1.1.2.2 建筑节能有利于改善大气环境, 实现可持续发展

煤炭的大量直接燃烧会导致严重的城市大气污染。我国每年采暖燃煤排放二氧化硫约 60 万吨、烟尘约 25 万吨, 采暖期城市大气污染指数普遍超标。北京地区采暖期与非采暖期相比, 空气中总悬浮物高 1.2 倍, 氮氧化物和一氧化碳高 1.7 倍, 二氧化硫高 1.6 倍。烟尘颗粒物和二氧化硫、氮氧化物不仅损害人体健康, 还会形成对土壤、水体、森林、建筑物危害严重的酸雨, 更为严重的是煤炭燃烧还直接造成温室气体(二氧化碳)的大量排放。我国每年采暖燃煤排放的二氧化碳约 2.6 亿吨, 二氧化碳排放量居世界第二位, 约占总排放量的 13%。

全球变暖的现实正不断地向世界各国敲响警钟。2003 年, 欧洲各地气温连续几个月比往年同期平均值高 5°C , 而且酷热天气扩大到了整个北半球。在印度的某些地区, 气温高达 $45\sim 49^{\circ}\text{C}$ 。加拿大、美国、中国、俄罗斯的部分地区都创下了当地最高气温纪录。我国自 1986 年出现明显的“暖冬”以来, 暖冬不断, 已持续至今。统计数据表明 1981—1990 年全球平均气温比一百年前的 1861—1880 年上升了 0.48°C 。预测到 21 世纪末全球平均气温比现在还要提高 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。全球变暖将使世界生态环境发生重大变化, 如极地融缩、冰川消失、海面升高、洪水泛滥、干旱频发、风沙肆虐、物种灭绝、疾病流行等, 这对人类的生存构成了严重威胁, 全球变暖是人类在 21 世纪所面临的最大挑战之一。近几年我国由于气候变化引起的特大灾害十分频繁, 许多地方发生特大洪水、持续干旱, 荒漠化加剧和沙尘暴频发, 已使我国蒙受了巨大经济损失。

1992 年 5 月 9 日国际社会通过了《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC), 1995 年各缔约国又在柏林启动了新一轮关于减排温室气体的强制性目标和时间表的谈判, 1997 年 12 月 149 个国家和地区的代表在日本东京召开《联合国气候变化框架公约》缔约方会议, 会议通过了旨在限制发达国家温室气体排放量以抑制全球变暖的《京都议定书》。我国政府目前已正式核准《联合国气候变化框架公约》京都议定书, 切实履行减排温室气体义务。保护地球大气和生态环境对建筑节能提出了更高的要求。

1.1.2.3 建筑节能有利于保护耕地资源

我国人口居世界第一位, 以世界上 7% 的耕地养活了世界上 22% 以上的人口。到 2000 年底, 我国人均耕地的占有量仅为 1.51 亩, 只占世界人均耕地的 45%, 其中低于联合国规定的人均耕地在 0.8 亩危险线以下的城市约有 170 个, 耕地资源十分有限。

我国传统建筑的墙体材料以实心黏土砖为主。实心黏土砖不仅其保温性能达不到国家对建筑的节能要求, 而且严重毁占耕地, 消耗大量能源。我国约有 12 万个砖瓦企业, 占地 600 多万亩, 每年烧制 6000 多亿块黏土砖, 取土约 14.3 亿立方米, 相当于毁坏耕地 20 万亩。此外我国每年烧砖要烧掉 6000 多万吨标准煤, 占建材生产总能耗的 55%。全面禁止使用实心黏土砖、推行节能节地和利废的新型墙体材料是我国目前建材行业的首要任务。建筑节能极大地推动了我国建材领域的墙材革新, 对保护耕地和生态环境起到了积极作用。

1.1.2.4 建筑节能有利于提高人民生活水平

我国地域广阔, 冬季南北温差极大, 气候条件比较严酷。东北地区不仅气温低, 而且持续时间长。华北地区虽然不如东北地区冬季那样寒冷, 但冷热时间都很长, 夏季不仅长而且经常出现炎热天气。我国与世界同纬度地区的气候相比相对恶劣, 平均气温一月份东北地区偏低 $10\sim 18^{\circ}\text{C}$ 、华北地区偏低 $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ 、长江南岸偏低 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ 、东南沿海偏低 5°C , 而 7

月份各地平均温度又偏高 $1.3\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 。

过去我国对建筑物的保温、隔热、气密性重视不够,大多数住宅的建筑品质和节能水平仅相当于欧洲 50 年代的水平,冬季普遍居室温度低于 16°C 、夏季超过 30°C ,居住热环境很差,影响广大人民群众的身心健康,特别是老人、儿童、病人、产妇。每年冬天,感冒、气管炎、关节炎、风湿性心脏病、心脑血管疾病的发病率明显增高,到了盛夏季节,气温高,室内闷热,特别是处在顶层和西向房间的人们最为难熬,白天在室内如入蒸笼,大汗淋漓,晚上辗转反侧无法入睡。建筑节能开展后上述情况得到改观,新建节能建筑除了采用高效、节能的供暖、空调设备之外,还特别加强围护结构(外墙、屋顶、门窗和地面)的保温和隔热性能以及门窗的气密性,这样不仅能降低建筑能耗,而且显著地改善室内环境的热舒适性,实现冬暖夏凉,提高人民群众的生活质量和健康水平。

综上所述,建筑节能是一个世界性潮流,我国起步时间晚而且相对落后,因此建筑节能研究是我国目前亟待深入研究的前沿应用型课题。推进建筑节能的深入发展对保证能源安全、减少温室气体排放、保护大气环境及生态环境、节约土地资源、提高人民生活水平都有重要意义。

1.1.3 建筑节能的措施

1.1.3.1 减少能源总需求量

据统计,在发达国家,空调采暖能耗占建筑能耗的 65%,中国的采暖空调和照明用能量近期增长速度已明显高于能量生产的增长速度,因此,减少建筑的冷、热及照明能耗是降低建筑能耗总量的重要内容,一般可从以下几方面实现。

(1) 建筑规划与设计 面对全球能源环境问题,不少全新的设计理念应运而生,例如微排建筑、低能耗建筑、零能建筑和绿色建筑等,它们本质上都要求建筑师从整体综合设计概念出发,坚持与能源分析专家、环境专家、设备师和结构师紧密配合。在建筑规划和设计时,根据大范围的气候条件影响,针对建筑自身所处具体环境的气候特征,重视利用自然环境(如外界气流、雨水、湖泊和绿化、地形等)创造良好的建筑室内微气候,以尽量减少对建筑设备的依赖。

具体措施可归纳为以下三个方面:

- ① 合理选择建筑的地址、采取合理的外部环境设计(如在建筑周围布置树木、植被、水面、假山、围墙);
- ② 合理设计建筑形体(包括建筑整体体量和建筑朝向的确定),以改善既有的微气候;
- ③ 合理的建筑形体设计是充分利用建筑室外微环境来改善建筑室内微环境的关键部分,主要通过建筑各部件的结构构造设计和建筑内部空间的合理分隔设计得以实现。

同时,可借助相关软件进行优化设计,如运用天正建筑(Ⅱ)中建筑阴影模拟,辅助设计建筑朝向和居住小区的道路、绿化、室外休闲空间;利用 CFD 软件,如 PHOENICS, Fluent 等,分析室内外空气流动是否通畅。

(2) 围护结构 建筑围护结构组成部件(屋顶、墙、地基、隔热材料、密封材料、门和窗、遮阳设施)的设计对建筑能耗、环境性能、室内空气质量与用户所处的视觉和热舒适环境有根本的影响。一般增大围护结构的费用仅为总投资的 $3\%\sim 6\%$,而节能却可达 $20\%\sim 40\%$ 。通过改善建筑物围护结构的热工性能,在夏季可减少室外热量传入室内,在冬季可减少室内热量的流失,使建筑热环境得以改善,从而减少建筑冷、热消耗。首先,提高围护结

构各组成部件的热工性能,一般通过改变其组成材料的热工性能实现,如欧盟新研制的热二极管墙体(低费用的薄片热二极管只允许单方向的传热,可以产生隔热效果)和热工性能随季节动态变化的玻璃。然后,根据当地的气候、建筑的地理位置和朝向,以建筑能耗软件DOE-2.0的计算结果为指导,选择围护结构组合优化设计方法。最后,评估围护结构各部件与组合的技术经济可行性,以确定技术可行、经济合理的围护结构。

(3) 提高终端用户用能效率 高能效的采暖、空调系统与上述削减室内冷热负荷的措施并行,才能真正地减少采暖、空调能耗。首先,根据建筑的特点和功能,设计高能效的暖通空调设备系统,例如:热泵系统、蓄能系统和区域供热、供冷系统等。然后,在使用中采用能源管理和监控系统监督和调控室内的舒适度、室内空气品质和能耗情况。如欧洲国家通过传感器测量周边环境的温、湿度和日照强度,然后基于建筑动态模型预测采暖和空调负荷,控制暖通空调系统的运行。在其他的家电产品和办公设备方面,应尽量使用节能认证的产品。如美国一般鼓励采用“能源之星”的产品,而澳大利亚对耗能大的家电产品实施最低能效标准(MEPS)。

(4) 提高总的能源利用效率 从一次能源转换到建筑设备系统使用的终端能源的过程中,能源损失很大。因此,应从全过程(包括开采、处理、输送、储存、分配和终端利用)进行评价,才能全面反映能源利用效率和能源对环境的影响。建筑中的能耗设备(空调、热水器、洗衣机等)应选用能源效率高的能源供应。例如,作为燃料,天然气比电能的总能源效率更高。采用第二代能源系统,可充分利用不同品位热能,最大限度地提高能源利用效率,如热电联产(CHP)、冷热电联产(CCHP)。

1.1.3.2 利用新能源

在节约能源、保护环境方面,新能源的利用起至关重要的作用。新能源通常指非常规的可再生能源,包括有太阳能、地热能、风能、生物质能等。人们对各种太阳能利用方式进行了广泛的探索,逐步明确了发展方向,使太阳能初步得到一些利用,如,①作为太阳能利用中的重要项目,太阳能热发电技术较为成熟,美国、以色列、澳大利亚等国投资兴建了一批试验性太阳能热发电站,以后可望实现太阳能热发电商业化;②随着太阳能光伏发电的发展,国外已建成不少光伏电站和“太阳屋顶”示范工程,将促进并网发电系统快速发展;③全世界已有数万台光伏水泵在各地运行;④太阳热水器技术比较成熟,已具备相应的技术标准和规范,但仍需进一步地完善太阳热水器的功能,并加强太阳能建筑一体化建设;⑤被动式太阳能建筑因构造简单、造价低,已经得到较广泛应用,其设计技术已相对较为成熟,已有可供参考的设计手册;⑥太阳能吸收式制冷技术出现较早,已应用在大型空调领域;太阳能吸附式制冷处于样机研制和实验研究阶段;⑦太阳能干燥和太阳灶已得到一定的推广应用。但从总体而言,太阳能利用的规模还不小,技术尚不完善,商品化程度也较低,仍需要继续深入广泛地研究。在利用地热能时,一方面可利用高温地热能发电或直接用于采暖供热和热水供应;另一方面可借助地源热泵和地道风系统利用低温地热能。风能发电较适用于多风海岸线山区和易引起强风的高层建筑,在英国和香港已有成功的工程实例,但在建筑领域,较为常见的风能利用形式是自然通风方式。

1.1.3.3 新技术的应用

理想的节能建筑应在最少的能量消耗下满足以下三点。一是能够在不同季节、不同区域控制接收或阻止太阳辐射;二是能够在不同季节保持室内的舒适性;三是能够使室内实现必要的通风换气。建筑节能的途径主要包括:尽量减少不可再生能源的消耗,提高能源的使用

效率；减少建筑围护结构的能量损失；降低建筑设施运行的能耗。在这三个方面，高新技术起着决定性的作用。当然建筑节能也采用一些传统技术，但这些传统技术是在先进的试验论证和科学的理论分析基础上才能用于现代化的建筑中。

(1) 减少能源消耗，提高能源的使用效率 为了维持居住空间的环境质量，在寒冷的季节需要取暖以提高室内的温度，在炎热的季节需要制冷以降低室内的温度，干燥时需要加湿，潮湿时需要抽湿，而这些往往都需要消耗能源才能实现。从节能的角度讲，应提高供暖（制冷）系统的效率，它包括设备本身的效率、管网传送的效率、用户端的计量以及室内环境控制装置的效率等。这些都要求相应的行业在设计、安装、运行质量、节能系统调节、设备材料以及经营管理模式等方面采用高新技术。

在供暖系统节能方面有三种新技术：①利用计算机、平衡阀及其专用智能仪表对管网流量进行合理分配，既改善供暖质量，又节约能源；②在用户散热器上安设热量分配表和温度调节阀，用户可根据需要消耗和控制热能，以达到舒适和节能的双重效果；③采用新型的保温材料包敷送暖管道，以减少管道的热损失。

近年来低温地板辐射技术已被证明节能效果比较好，它是采用交联聚乙烯（PEX）管作为通水管，用特殊方式双向循环盘于地面层内，冬天向管内供低温热水（地热、太阳能或各种低温余热提供）；夏天输入冷水可降低地表温度（国内只用于供暖）；该技术与对流散热为主的散热器相比，具有室内温度分布均匀，舒适、节能、易计量、维护方便等优点。

(2) 减少建筑围护结构的能量损失 建筑物围护结构的能量损失主要来自三部分：外墙、门窗、屋顶。这三部分的节能技术是各国建筑界都非常关注的。主要发展方向是：开发高效、经济的保温、隔热材料和切实可行的构造技术，以提高围护结构的保温、隔热性能和密闭性能。

(3) 外墙节能技术 就墙体节能而言，传统的用重质单一材料增加墙体厚度来达到保温的做法已不能适应节能和环保的要求，而复合墙体越来越成为墙体的主流。复合墙体一般用块体材料或钢筋混凝土作为承重结构，与保温隔热材料复合，或在框架结构中用薄壁材料加以保温、隔热材料作为墙体。建筑用保温、隔热材料主要有岩棉、矿渣棉、玻璃棉、聚苯乙烯泡沫、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、加气混凝土及胶粉聚苯颗粒浆料、发泡水泥保温板等。这些材料的生产、制作都需要采用特殊的工艺、特殊的设备，而不是传统技术所能及的。值得一提的是胶粉聚苯颗粒浆料，它是将胶粉料和聚苯颗粒轻集料加水搅拌成浆料，抹于墙体外表面，形成无空腔保温层。聚苯颗粒集料是采用回收的废聚苯板经粉碎制成，而胶粉料掺有大量的粉煤灰，这是一种废物利用、节能环保的材料。墙体的复合技术有内附保温层、外附保温层和夹心保温层三种。中国采用夹心保温做法的较多；在欧洲各国，大多采用外附发泡聚苯板的做法，在德国，外保温建筑占建筑总量的80%，而其中70%均采用泡沫聚苯板。

(4) 门窗节能技术 门窗具有采光、通风和围护的作用，还在建筑艺术处理上起着重要的作用。然而门窗又是最容易造成能量损失的部位。为了增大采光通风面积或表现现代建筑的特征，建筑物的门窗面积越来越大，更有全玻璃式的幕墙建筑。这就对外围护结构的节能提出了更高的要求。对门窗的节能处理主要是改善材料的保温隔热性能和提高门窗的密闭性能。从门窗材料来看，近些年出现了铝合金断热型材、铝木复合型材、钢塑整体挤出型材、塑木复合型材以及UPVC塑料型材等一些技术含量较高的节能产品。其中使用较广的是UPVC塑料型材，它所使用的原料是高分子材料——硬质聚氯乙烯。它不仅生产过程中能

耗少、无污染,而且材料导热系数小,多腔体结构密封性好,因而保温隔热性能好。UPVC塑料门窗在欧洲各国已经采用多年,在德国塑料门窗使用中已经占了50%。我国20世纪90年代以后塑料门窗用量不断增大,正逐渐取代钢、铝合金等能耗大的材料。

为了解决大面积玻璃造成能量损失过大的问题,人们运用了高新技术,将普通玻璃加工成中空玻璃、镀膜玻璃(包括反射玻璃、吸热玻璃)、高强度LOW-E防火玻璃(高强度低辐射镀膜防火玻璃)、采用磁控真空溅射方法镀制含金属银层的玻璃以及智能玻璃。智能玻璃能感知外界光的变化并作出反应,它有两类,一类是光致变色玻璃,在光照射时,玻璃会感光变暗,光线不易透过;停止光照射时,玻璃复明,光线可以透过。在太阳光强烈时,可以阻隔太阳辐射热;天阴时,玻璃变亮,太阳光又能进入室内。另一类是电致变色玻璃,在两片玻璃上镀有导电膜及变色物质,通过调节电压,促使变色物质变色,调整射入的太阳光(因其生产成本低,还不能实际使用),这些玻璃都有很好的节能效果。

(5) 屋顶节能技术 屋顶的保温、隔热是围护结构节能的重点之一。在寒冷的地区屋顶设保温层,以阻止室内热量散失;在炎热的地区屋顶设置隔热降温层以阻止太阳的辐射热传至室内;而在冬冷夏热地区(黄河至长江流域),建筑节能则要冬、夏兼顾。保温常用的技术措施是在屋顶防水层下设置导热系数小的轻质材料用作保温,如膨胀珍珠岩、玻璃棉等(此为正铺法);也可在屋面防水层以上设置聚苯乙烯泡沫(此为倒铺法)。在英国有另外一种保温层做法是,采用回收废纸制成纸纤维,这种纸纤维生产能耗极小,保温性能优良,纸纤维经过硼砂阻燃处理,也能防火。施工时,先将屋顶的钉层夹层,再将纸纤维喷吹入内,形成保温层。屋顶隔热降温的方法有:架空通风、屋顶蓄水或定时喷水、屋顶绿化等。以上做法都能不同程度地满足屋顶节能的要求,但最受推崇的是利用智能技术、生态技术来实现建筑节能的愿望,如太阳能集热屋顶和可控制的通风屋顶等。

1.1.3.4 降低建筑设施运行的能耗

采暖、制冷和照明是建筑能耗的主要部分,降低这部分能耗将对节能起着重要的作用,在这方面一些成功的技术措施很有借鉴价值,如英国建筑研究院(BRE)的节能办公楼便是一例。办公楼在建筑围护方面采用了先进的节能控制系统,建筑内部采用通透式夹层,以便于自然通风;通过建筑物背面的格子窗进风,建筑物正面顶部墙上的格子窗排风,形成贯穿建筑物的自然通风。办公楼使用的是高效能冷热锅炉和常规锅炉,两种锅炉由计算机系统控制交替使用。通过埋置于地板内的采暖和制冷管道系统调节室温。该建筑还采用了地板下输入冷水通过散热器制冷的技术,通过在车库下面的深井用水泵从地下抽取冷水进入散热器,再由建筑物旁的另一水井回灌。为了减少人工照明,办公楼采用了全方位组合型采光、照明系统,由建筑管理系统控制;每一单元都有日光,使用者和管理者通过检测器对系统遥控;在100座的演讲大厅,设置有两种形式的照明系统,允许有0~100%的亮度,采用节能管型荧光灯和白炽灯,使每个观众都能享有同样良好的视觉效果和适宜的温度。

1.1.3.5 新能源的开发利用

在节约不可再生能源的同时,人类还在寻求开发利用新能源以适应人口增加和能源枯竭的现实,这是历史赋予现代人的使命,而新能源有效地开发利用必定要以高科技为依托。如开发利用太阳能、风能、潮汐能、水力、地热及其他可再生的自然界能源,必须借助于先进的技术手段,不断地完善和提高,以达到更有效地利用这些能源。比如人们在建筑上不仅能利用太阳能采暖,太阳能热水器还能将太阳能转化为电能,并且将光电产品与建筑构件合为

一体,如光电屋面板、光电外墙板、光电遮阳板、光电窗间墙、光电天窗以及光电玻璃幕墙等,使耗能变成产能。

1.2 建筑墙体保温节能概述

1.2.1 国内外墙体保温发展现状及应用现状

近年来,节能与环保已成为全世界共同的话题。随着国民整体素质的提高,改善居住条件、提高能源利用率越来越受到广泛重视,建筑能耗占社会能耗比重很大,随着我国新的建筑节能标准的实施,建筑已从低层次的解决人的居住向高层次的绿色生态建筑发展。在建筑中,外围护结构的热损耗较大,外围护结构中墙体又占了很大份额,所以建筑墙体改革与墙体节能技术的发展是建筑节能技术的一个重要的环节,发展外墙保温技术及节能材料则是建筑节能的主要实现方式。

建筑节能的重点是改善围护结构的热工性能,即提高保温隔热效果。墙体保温有外保温和内保温两种,近几年北方的墙体保温实践经验表明,虽然两种保温方式在保温材料的热工性能、保温层的厚度一样,但内保温由于存在“冷桥”和“结露”等致命问题,这几年在工程上使用越来越少。然而外墙外保温系统因其保温层置于外墙的外面,具有保护主体结构、延长建筑物的使用寿命、防止“冷桥”和“结露挂霜”现象、不占室内空间、增加使用面积等优点,被广泛用于新建、改建、扩建的民用建筑和采暖、空调的各类建筑。所以,以下主要介绍外墙外保温系统。

1.2.1.1 国外墙体外保温的发展及应用

(1) 国外外墙外保温的发展 外墙外保温体系起源于 20 世纪 60 年代的欧洲,20 世纪 70 年代初第一次能源危机以后得到重视和发展。

目前,在欧洲国家广泛应用的外墙外保温系统主要为外贴保温板薄抹灰方式,有两种保温材料:阻燃型的膨胀聚苯板及不燃型的岩棉板,均以涂料为外饰层。美国则以轻钢结构填充保温材料居多。

外墙外保温系统在欧洲的应用,最初是为了弥补墙体裂缝。通过实际应用后发现,当把这种泡沫塑料板粘贴到建筑墙面以后,的确能够有效地遮蔽墙体出现的裂缝等问题,同时又发现,这种复合的墙体材料具有良好的温隔热性能,节约了能耗。同时,重质的墙体外侧复合轻质的保温系统又是最合理的墙体结构组合方式。外保温不但解决了保温问题,又减薄了对力学要求来说过于富足的墙体厚度,减少了土建成本;而这种复合的墙体结构在满足力学要求的同时还在隔音、防火防潮、热舒适性等各方面都具有最佳性能。

20 世纪 70 年代,美国从欧洲引入此项技术,并根据本国的具体气候条件和建筑体系特点进行了改进和发展。同样在 20 世纪 70 年代初的能源危机期间,由于建筑节能的要求,外墙外保温及装饰系统在美国的应用不断增加,至 90 年代末,其平均年增长率达到了 20%,25%。至今此项技术在美国的应用也达 40 多年,最高建筑达 44 层,并在美国南部的炎热地区和北部寒冷地区均有广泛的应用,效果显著。

欧美在近 40 余年的应用历史中,对外墙外保温系统进行了大量的基础研究,如薄抹灰

外墙外保温系统的耐久性的问题；在寒冷地区中的露点问题；不同类型的系统在不同冲击荷载下的反应；试验室的测试结果与实际工程中性能的相关性等。

在大量的实验研究的基础上，目前，欧洲和美国对外墙外保温已立法，其中包括对外墙外保温系统的强制认证标准，以及系统中相关组成材料的标准等。由于欧美国家有着相应健全的标准、严格的立法，对于外墙外保温系统的耐久性，一般都可以有 25 年的使用年限。事实上，这种系统在上述地区的实际应用历史已大大超过 25 年。2000 年欧洲技术认可组织 (EOTA) 发布了名称为《带抹灰层的墙体外保温复合体系技术许可》(ETAG 004) 的标准，这个标准是欧洲外墙外保温体系几十年来成功实践的技术总结和规范。

(2) 国外外墙外保温的应用 目前，在欧洲国家广泛应用的外墙外保温系统主要有三种：一是膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统；二是岩棉纤维平行于墙面的外墙外保温系统；三是岩棉纤维垂直于墙面的外墙外保温系统。

美国以第一种为主。由于聚苯板极易被切割成任意形状，在美国，膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统产品还利用其作为建筑物的各种外装饰线脚，如在炎热沙漠中的赌城拉斯维加斯形态各异造型建筑物中，此系统产品和技术得到了充分发挥。特别是在对既有的旧建筑物做节能改造或翻新时，该体系更显示了其优越性，原有建筑物中的居民不必搬动室内的任何家具，在施工中也不会影响原有建筑结构，同时也进行了立面改造，使原有建筑焕然一新。

在应用的保温材料方面，随着新技术的应用，聚苯保温材料逐步被具有良好保温隔热的聚氨酯材料所替代，目前在欧、美、日等发达地区，建筑保温材料中聚氨酯占 75%，聚苯乙烯占 5%，玻璃棉占 20%。

1.2.1.2 国内墙体保温的发展应用

(1) 外墙外保温在国内的发展 20 世纪 80 年代中期，国外的外保温企业到我国推广外墙外保温技术，即粘贴聚苯乙烯泡沫板（简称聚苯板或 EPS 板）外抹玻纤网络布增强的聚合物水泥砂浆的保温体系。我国冶金建筑研究总院、北京建筑设计研究院等单位在国内率先进行外墙外保温试点工程，同时对重墙、轻墙及预制墙体构件等不同构造体系进行了试验，均取得了节能效果。20 世纪 80 年代后期，北京建筑设计研究院与石膏板厂家共同开发了聚苯乙烯石膏复合保温板，用于外墙内保温。20 世纪 90 年代初期，在住房和城乡建设部（原建设部）及各省市建委的领导下加大了外墙外保温的推进力度，国内一些科研单位及企业开发了多种外墙保温技术，其中典型的有：仿专威特的 EPS 贴板法系统，具有自主知识产权的 ZL 胶粉聚苯颗粒保温浆料系统，现浇混凝土复合有网、无网 EPS 板外保温系统，EPS 钢丝网架板锚固外保温系统，装配式龙骨薄板外保温系统以及一些预制板外保温系统等。

随后，1996 年召开全国建筑节能会议，会议提出了今后工作的重点是推广外墙外保温。

(2) 外墙外保温技术在国内的应用 目前，国内外墙外保温做法较多，主要有以下几种。

① 保温砂浆类。即把回收的泡沫塑料打碎，与水泥及一定量的乳液拌和成保温砂浆，系统抹灰刀抹到墙面上至一定厚度，干燥后再在其表面制作玻纤网格布增强层和饰面层。

此类做法保温性能不如外贴聚苯板，又由于是在工地现场配料拌料，砂浆热导率变异较大，保温性能不太均匀。

② 膨胀聚苯乙烯 (EPS) 板 (下称 EPS 板) 类。

a. 膨胀聚苯乙烯板现浇混凝土外墙外保温系统。EPS 板现浇混凝土外墙外保温系统以抹浇混凝土作为基层，EPS 板作为保温层。EPS 板与现浇混凝土接触面沿水平方向开有矩

形齿槽，内、外表面均满喷界面砂浆。EPS板表面抹抗裂砂浆薄抹面层，外表以涂料为饰面层，薄抹面层中满铺玻纤网。

此类做法优点是保温板可与土建施工同步进行。但固定件导致产生热桥，门、窗等细节部位不易处理，常常在此造成败笔。拆模时也易对聚苯板面造成损坏。

b. 膨胀聚苯乙烯板薄抹灰外墙外保温系统。由EPS板保温层、薄抹面层和饰面涂层构成，EPS板用胶结剂固定在基层上，薄抹面层中满铺玻纤网。

c. 膨胀聚苯乙烯板钢丝网架板现浇混凝土外墙外保温系统。EPS钢丝网架板现浇混凝土外墙外保温系统以现浇混凝土为基层，EPS单面钢丝网架板置于外墙外模板内侧，并安装 $\Phi 6$ 钢筋作为辅助固定件。现浇混凝土后，EPS单面钢丝网架板挑头钢丝和 $\Phi 6$ 钢筋与混凝土结合为一体，EPS单面钢丝网架板表面抹掺外加剂的水泥砂浆形成后抹面层，外表做饰面层。以涂料做饰面层时，应加抹玻纤网抗裂砂浆薄抹面层。

③ 挤塑聚苯乙烯（XPS）外墙外保温系统。挤塑聚苯乙烯（下称XPS）是近年来发展起来的一种新型保温材料。目前，XPS与基层墙体的固定方式主要采用机械固定件。这种材料的优点在于：XPS具有致密的表层及闭孔结构内层，其热导率大大低于同厚度的EPS，因此具有较EPS更好的保温隔热性能。对同样的建筑物外墙，其使用厚度可小于其他类型的保温材料；由于内层的闭孔结构，XPS具有良好的抗湿性，在潮湿的环境中，仍可保持良好的保温隔热性能；适用于冷库等对保温有特殊要求的建筑，也可用于外墙饰面材料为面砖或石材的建筑。但该板致密度使其粘贴力和系统表面的平整度比起发泡式聚苯板还有缺陷。

④ 岩棉板类薄抹灰型。需用粘贴附加固定件的方法固定保温板。目前国内还应用不多，价格也偏高。岩棉的问题是在吸水吸湿后保温性能和强度都会大幅度降低，使用这种保温材料应视我国各地区气候条件严格进行热工防潮验算，对系统所有组成材料的透气性要求也更高。但由于其不燃的防火性能，更适用于有防火要求的建筑。

⑤ 罗宝板系统-硬质聚氨酯泡沫系统。该系统由罗宝板、专用龙骨、空气层及配件共同构成，其中罗宝板通过专用龙骨干挂在建筑外墙；罗宝板与墙体间形成一道25mm空气层；罗宝板与门窗洞口连接及建筑阴阳角处使用专用配件，罗宝外墙保温装饰板由三层构成，表层：0.5mm氟碳涂层铝板；中间层：40mm的聚氨酯硬质泡沫；内层：0.06mm铝箔。该系统具有质量可靠，性价比高，保温隔热效果好、集装饰效果为一体等优势。

尽管目前我国已经形成了一批技术上较为完善和可靠的外墙保温体系，但是由于我国目前大规模的房屋建设，对建筑围护结构节能技术与材料的需要量很大，因此就出现了节能技术和材料尚不能完全满足建筑节能需要的矛盾，导致一些工程采用的技术和材料质量不过关或者施工工艺有缺陷，甚至某些工程在施工过程中偷工减料或以次充好。这些不规范、不完善的做法最终造成外墙外保温系统产生开裂、剥落甚至整体脱落等质量事故，严重影响节能效果。

1.2.2 墙体保温技术分类与评价

目前，在建筑中常使用的外墙保温主要有内保温、外保温、夹芯保温、自保温等方式，几种方式在实际应用中各有利弊。

1.2.2.1 外墙内保温

外墙内保温是在墙体结构内侧覆盖一层保温材料，通过黏结剂固定在墙体结构内侧，之后在保温材料外侧作保护层及饰面。其结构如图1-1。

目前内保温多采用粉刷石膏作为粘接和抹面材料，通过使用聚苯板或聚苯颗粒等保温材