

外墙外保温技术

马保国 等编著



化学工业出版社

外墙外保温技术

马保国 等编著

TU111.4/28

2007



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

外墙外保温技术/马保国等编著. —北京: 化学工业出版社, 2007. 9
ISBN 978-7-122-00992-0

I. 外… II. 马… III. 建筑物-墙-保温-技术
IV. TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 128331 号

责任编辑: 常 青
责任校对: 周梦华

文字编辑: 荣世芳
装帧设计: 郑小红

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 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 339 千字 2008 年 1 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: 29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

能源短缺是目前制约我国经济发展的瓶颈,节约能源已成为社会各界的共识。建筑能耗是我国能源消耗的重要组成部分,在我国建筑能耗中,建筑物使用能耗占到88%,其中建筑围护结构的传热量占72%。外墙外保温技术是建筑围护结构节能的必要和关键措施,为此,笔者将近年研究成果和国内外研究成果进行综合整理,主要介绍外墙外保温体系的设计、材料、施工和检验等关键问题,以期对外墙外保温技术的发展起到一定的推动作用。

本书共6章。第1章绪论,主要阐述建筑节能和墙体保温的意义、必要性及基本原理,简要介绍墙体保温技术的类型、国内外外墙外保温技术的发展方向;第2章外墙外保温结构设计,包括建筑节能体系的设计原则、设计要求和设计方法,以及我国不同气候特点相对应的外墙外保温结构的设计;第3章外墙外保温材料,主要在对现有保温材料(包括墙体材料)热参数进行统计的基础上,介绍适于外墙外保温技术的保温材料及其选材原则,并介绍了几种典型的外墙外保温材料的制备技术;第4章外墙外保温技术施工规程,通过介绍标准中的不同做法,结合施工工艺、材料选择、结构设计及使用环境的特殊性,阐述了不同的施工方法及注意事项;第5章外墙外保温结构开裂防治措施,从经常出现的、典型的墙体开裂着手,对墙体的开裂机理进行了分析,介绍了墙体开裂的防治措施;第6章外墙外保温技术检验与评价,主要介绍对防火安全性、耐候性、使用安全性等的检测与评价,对相关的标准也进行了介绍。

本书内容力求理论与实践相结合、材料与施工相结合、施工与检验相结合,强调外墙外保温技术的气候区域性特点,适合于从事外墙外保温体系设计、保温材料研发生产、应用施工、检验等人员阅读使用。

由于外墙外保温技术体系比较复杂,而且随着我国节能标准的进一步提高和相关技术的不断进步,外墙外保温技术在设计、材料、施工、检测和验收等方面,都将进一步发展和完善,因此本书内容难免存在疏漏和局限性,笔者殷切希望同行给予支持和帮助,使本书的内容得到完善和丰富。

参与本书编写工作的还有蹇守卫、邹定华、张琴、黄洪财、金磊、朱艳超和金宇等博士、硕士研究生,在此表示衷心的感谢!

笔者水平与实践经验有限,书中不妥之处,敬请广大读者指正。

编者

2007年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑节能概述	1
1.1.1 建筑节能的意义与必要性	1
1.1.2 建筑节能技术的发展	4
1.2 建筑节能的基本原理	8
1.2.1 建筑节能理论研究概况	8
1.2.2 建筑节能方法概况	16
1.2.3 建筑节能与墙体保温的关系	18
1.3 墙体保温技术概况	19
1.3.1 墙体保温技术进展	19
1.3.2 墙体保温的分类与评价	22
1.4 墙体保温技术发展方向	27
1.4.1 外墙保温材料行业发展前景	27
1.4.2 外墙保温国内外最新的研究成果	28
1.4.3 外墙保温技术发展趋势与展望	29
参考文献	33
第 2 章 外墙外保温结构设计	34
2.1 建筑节能结构的设计原则	34
2.1.1 国内外建筑节能设计概况	34
2.1.2 建筑节能设计的要素	42
2.1.3 墙体节能设计的设计原则	48
2.2 外墙外保温结构的设计要求	49
2.2.1 外墙外保温系统的基本结构	49
2.2.2 外墙外保温结构的特点	50
2.2.3 外墙外保温结构的设计要求	51
2.3 不同气候条件外墙外保温技术的设计	53
2.3.1 采暖区域的外墙外保温设计	53
2.3.2 夏热冬冷地区的外墙外保温设计	57
2.3.3 夏热冬暖地区的外墙外保温设计	61
2.3.4 特殊建筑外墙外保温技术	63
参考文献	65
第 3 章 外墙外保温材料	66
3.1 保温材料的分类	66
3.1.1 保温材料的现状	66

3.1.2	保温材料的性能特点	68
3.1.3	保温材料的分类	76
3.2	外墙外保温材料的选材原则	79
3.2.1	外墙外保温材料的基本要求	80
3.2.2	不同气候条件下外墙外保温材料的检验	84
3.3	外墙外保温材料的制备方法	90
3.3.1	膨胀珍珠岩	91
3.3.2	可发性聚苯乙烯泡沫颗粒	91
3.3.3	可发性聚苯乙烯模压发泡	93
3.3.4	聚氨酯泡沫塑料	97
	参考文献	97

第4章 外墙外保温技术施工规程 98

4.1	外墙外保温施工特点	98
4.1.1	EPS/XPS板外墙保温技术	98
4.1.2	胶粉聚苯颗粒外墙外保温技术	102
4.1.3	聚苯板结合聚苯颗粒的外墙外保温施工	105
4.1.4	聚氨酯硬泡喷涂外墙外保温施工	107
4.1.5	模板内置外墙外保温施工技术	110
4.1.6	装配式龙骨薄板外墙外保温技术	113
4.2	外墙外保温施工要求	115
4.2.1	聚苯板粘贴材料与施工方法	115
4.2.2	陶瓷面砖粘贴材料与施工	117
4.3	外墙外保温施工流程	119
4.3.1	聚苯板粘贴法	119
4.3.2	聚苯板拼接	120
4.3.3	网格布搭接	120
4.3.4	分格缝和伸缩缝	120
4.3.5	阴阳角处理	121
4.3.6	勒脚构造	121
4.3.7	窗洞口构造	121
4.3.8	外部构件的安装	122
4.3.9	阳台、滴水线	123
4.4	注意事项	123
4.4.1	材料因素	123
4.4.2	设计因素	125
4.4.3	施工操作因素	126
	参考文献	130

第5章 外墙外保温结构开裂防治措施 132

5.1	裂缝的基本概念	132
5.2	外保温体系裂缝产生的原因	133

5.2.1	建筑主体结构开裂而导致的外保温层开裂	133
5.2.2	外墙外保温构造设计存在不足而导致的外保温层开裂	133
5.2.3	外墙外保温材料的不足而导致的外保温层开裂	143
5.2.4	施工不当导致的外保温层开裂	148
5.3	外墙外保温墙体开裂的解决措施	150
5.3.1	解决措施的原则	150
5.3.2	具体措施	152
	参考文献	180
第6章	外墙外保温技术的检验与评价	181
6.1	检验内容及其必要性	181
6.1.1	防火安全性	181
6.1.2	耐候性	182
6.1.3	使用安全性	183
6.1.4	外墙外保温系统的节能检测	183
6.2	国内外检测与评价标准简介	185
6.2.1	《带抹灰的外墙外保温复合系统的欧洲技术评定指南》(EOTA ETAG004)	185
6.2.2	《膨胀聚苯板薄抹灰外墙外保温系统》(JG149—2003)	186
6.2.3	《胶粉聚苯颗粒外墙外保温系统》(JG158—2004)	186
6.2.4	《现浇混凝土模板内置聚苯板外墙外保温系统》(送审稿)	187
6.3	检测与评价	187
6.3.1	防火安全性检测	187
6.3.2	耐候性检测与评价	190
6.3.3	使用安全性检测与评价	192
6.3.4	保温性能检测与评价	195
6.3.5	热舒适性评价	199
	参考文献	207

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20世纪70年代中东石油危机以来,建筑节能成为发达国家关注的热点。而20世纪90年代提出可持续发展理论和环境资源保护的紧迫性以后,建筑节能更成为世界各国关注的热点。在发达国家,建筑节能经历了三个阶段。第一阶段:在建筑中节约能量(energy saving in buildings),即单纯地抑制需求、减少耗能量。第二阶段:在建筑中保持能量(energy conservation in buildings),减少热损失。第三阶段:提高建筑中的能源利用率(energy efficiency in buildings),即是积极意义上的节能。第一阶段和第二阶段是高耗能阶段,第三阶段则是高能量效率,可以大量利用可再生能源和新能源。

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 建筑节能的意义与必要性

20世纪70年代以来先后爆发了三次石油危机,使得世界各国(特别是工业大国)开始重视能源问题,迫使主要石油进口国建立石油储备制度,并积极寻找替代能源,开发节能技术,减轻对传统能源的依赖。由于能源资源条件的限制,新能源的开发在短期内也难以缓解能源供应的紧张局面,许多国家都把注意力集中在常规能源的节约上,“节能”被称为煤炭、石油、天然气、核能之外的第五大能源。

节能建筑之所以成为国际潮流,是基于能源危机引发的人类对于生活方式、生活态度的全面思考后提出的解决途径。在世界上最早认识到节能环保的重要性,且提出节能环保型建筑概念的是欧洲。随着我国经济的快速发展、房屋建筑规模扩大、城市化水平不断加快和人民生活水平的提高,建筑已经成为我国能耗的大户,其能耗在我国能源消耗总量中所占的比例已从20世纪70年代末的10%增加到2006年的46.7%,并且在近400亿平方米的建筑当中,90%以上属于高能耗建筑。如果任由这种状况继续发展,预计到2020年我国建筑能耗将达10.89亿吨标准煤,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的总和。问题相当严重,情况十分紧迫,建筑节能已成为国家的重大战略问题,建筑物外墙围护结构节能技术的改进、保温材料的更新,对于社会能耗的降低具有非常重要的意义。

1.1.1.1 建筑节能有利于缓解能源供给的紧缺局面

目前,石油、煤炭、天然气这三种传统能源占世界能源消费的90%以上,其中石油占

一半以上。然而 2004 年世界能源统计年鉴的最新数据显示,世界石油总储量为 1.15 万亿桶(1570 亿吨),按照目前开采速度,仅供开采 41 年,全球天然气储量为 176 万亿立方米,仅供开采 63 年;日本权威能源研究机构也申明,全球煤炭埋藏量 10316 亿吨,可开采 231 年。

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。同时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。1999 年我国一次能源总消费量为 13.01 亿吨标准煤,其中建筑能耗为 3.62 亿吨,占 27.8%。由于经济的发展和人民生活水平的提高,采暖范围日益扩大,空调建筑迅速增加(2000 年广东、上海、北京百户居民空调器平均拥有量为 98.04 台、96.4 台、69.6 台),某些城市夏季空调用电甚至高达 25%~40%,建筑能耗的增长远高于能源生产增长的速度,尤其是电力、燃气、热力等优质能源的需求急剧增加,1990~1999 年人均生活用电量由 42.4kW·h 增至 159.4kW·h,城市集中供热面积由 2.13 亿平方米增至 9.68 亿平方米。根据有关统计数字,2003 年我国全国人均石油和天然气可采储量分别为世界平均值的 10%和 5%。近年,我国 GDP 每年增幅一直保持在 8%左右,自 20 世纪 90 年代转变为石油净进口国以来,我国每年的石油进口量都在不断增长,对石油进口的依赖度也逐步提高。根据新华社报道,由于油价的上涨,2004 年中国进口石油多支出了 86 亿美元,2005 年仅前九个月就多投入了 100 多亿美元。根据国家能源领导小组办公室 2006 年 1 月公布的统计数字,2003 年、2004 年我国能源消费增长率已经达到 15%和 16%;2004 年全国一次能源消费总量已达 19.7 亿吨标准煤,是世界第二大能源消费国。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。

我国城乡建筑发展十分迅速,房屋建设规模日益扩大,建筑用能增长速度较快。20 世纪 80 年代初期,全国每年建成建筑面积 7 亿~8 亿平方米,到 90 年代初期每年建成面积已达 10 亿平方米左右,至今已增加至每年 16 亿~17 亿平方米,其中城镇住宅 4 亿~5 亿平方米,公共建筑 4 亿~5 亿平方米,农村住宅 7 亿~8 亿平方米。目前我国城乡既有建筑面积超过 420 亿平方米,年竣工建筑面积超过 20 亿平方米,其中大部分为高耗能建筑,居住和公共建筑用能增长迅速。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。面对如此严峻的形式,我国提出了“节能优先,结构多元,环境友好,市场推动”的可持续能源战略,将节能降耗目标与经济增长指标摆在同等重要的位置,并在全国的经济发展总目标中阐明,在我国尚属首次。

1.1.1.2 建筑节能有利于改善大气环境、实现可持续发展

由于我国能源结构是以煤为主,煤炭的大量直接燃烧引起了城市大气污染日益严重。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℃,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 45~49℃。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，全球变暖是人类在本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。

1.1.1.3 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 1 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 20 世纪 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。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，室内闷热，特别是处在顶层和西向房间的人们最为难熬。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。

1.1.1.4 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。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，相当于每年毁坏耕地 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墙体材料革新，对保护耕地和生态环境起到了积极作用。

综上所述，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、提高人民群众的生活水平都具有重要意义，是功在当代、荫及子孙、造福人类的头等大事。

1.1.2 建筑节能技术的发展

从20世纪70年代开始,人们逐渐认识到建筑节能是关系拯救地球、拯救人类的大事情。目前在许多发达国家,新建建筑均为节能建筑,既有建筑也已经或正在改造成为节能建筑。建筑节能已成为建筑的共同选择。我国建筑节能工作起步较晚,还处在发展初期,在地域、建筑类型、围护结构与设备系统、设计施工和运行等各方面均有十分广阔的发展空间。

我国从20世纪80年代中期开始重视建筑节能,建设部1986年颁布了《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》;1993年批准了《旅游旅馆建筑热工与空气调节节能设计标准》、《民用建筑热工设计规范》;1995年制定了《建筑节能“九五”计划和2010年规划》;1996年发布了《建筑节能技术政策》;1997年发布了《1996~2000年建筑技术政策》;2000年发布了《民用建筑节能管理规定》;2001年颁布了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》;2002年发布了《建设部建筑节能“十五”计划纲要》;2003年颁布了《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》。这一系列政策法规的实施,保证了建筑节能工作的进展,并有效地促进了相关的节能技术进步。

建筑节能是一门综合性学科,它涉及建筑、施工、采暖、通风、空调、照明、电器、建材、热工、能源、环境、检测、计算机应用等许多专业内容,是在许多学科交叉和结合后形成的,因此建筑节能技术也是一门综合性的技术,包含了多个领域。

建筑节能发展的重点领域为研究新型低能耗的围护结构(包括墙体、门窗、屋面)体系和成套节能技术及产品;新型能源的开发和能源的综合利用,包括太阳能、地下能源开发利用和能源综合利用,室内环境控制成套节能技术的研究和设备开发;利用计算机模拟仿真技术分析制冷空调系统,对制冷空调系统进行智能控制,最大限度减低运行能耗;既有建筑的节能改造成套技术,特别是围护结构和采暖空调系统改造;建筑物室内温度和湿度控制技术和冷热量计量收费技术及产品。

节能工作应该同时从两个角度同时展开。一方面是降低房间的冷、热负荷,通过合理的建筑设计及采用新型的节能建筑材料解决减少房间负荷(围护结构传热、新风得热及房间内人员、灯光、设备等的得热量)的问题;另一方面通过提高建筑耗能系统(冷/热源、输配系统和末端设备)的效率降低为满足冷、热负荷的要求而消耗的能量。

从新建建筑和既有建筑角度看,因为根据世界银行的预测,到2015年民用建筑保有量的一半是2000年以后新建的,而既有建筑节能改造工作的开展相对比较困难,所以近期应该优先考虑新建建筑的节能,包括建筑节能标准的制定和实施、建筑物和建筑设备的新技术开发和应用等。

从建筑类型看,民用建筑应该更侧重于新建建筑的建筑物本体的节能技术和优化设计,兼顾发展建筑设备新技术;商业建筑和公共建筑则更应该侧重于空调和采暖系统及照明设备方面的新技术和优化控制技术,对新建商业建筑的空调采暖系统技术更新和对既有商业建筑的系统节能改造技术应该同时推动。此外,在对建筑节能技术的研发、应用加大支持力度的同时,应该从节能体制方面推动建筑节能工作,如建立基于市场的建筑节能机制、强化贯彻实施建筑节能标准、推动供热/冷计量收费制度、制定建筑节能经济激励措施等。

1.1.2.1 建筑本体的关键节能技术

(1) 采暖建筑节能规划设计 采暖建筑节能规划设计是建筑节能设计的一个重要方面,它包括建筑选址、分区、建筑布局、走道走向、建筑方位朝向、建筑体形、建筑间距、冬季

季风主导方向、太阳辐射、建筑外部空间环境构成等方面。其目的是优化建筑的微气候环境,充分利用太阳能、冬季季风主导方向、地形和地貌等自然因素,并通过建筑规划布局,充分利用有利因素,改造不利因素,形成良好的居住条件,创造良好的微气候环境,达到建筑节能的要求。

设计要点如下。

- ① 建筑选址应选择平坦和向阳的基地,避免“霜冻效应”和“风影效应”。
- ② 建筑布局宜采用单元组团式布局,形成庭院空间,建立良好的气候防护单元,避免风漏斗和高速风走廊的道路布局和建筑排列。
- ③ 建筑形态宜采用体形系数小,冬日得热多,夏天得热少,日照遮挡少,有利于避风的平整、简洁、美观、大方的建筑形态。
- ④ 建筑间距应保证住宅室内获得一定的日照量,并结合通风、省地等因素综合确定。
- ⑤ 建筑节能规划设计应利用建筑物阻挡冷风,避开不利风向,减少冷空气对建筑物的渗透。
- ⑥ 我国建筑规划设计应以南北向或接近南北向为好。建筑物主要房间宜设在冬季背风和朝阳的部位,以减少冷风渗透和围护结构散热量,多吸收太阳热,并增加舒适感,改善卫生条件。

(2) 建筑围护结构保温技术

① 高效建筑节能墙体材料。墙体材料是我国建筑材料的重要组成部分,其产值接近建材工业总产值的 $1/3$, 能耗占建材工业总能耗的一半左右。我国墙体材料生产每年能耗超过 5000 万吨标准煤,建筑采暖能耗近一亿吨标准煤,合计占全国能源消耗总量的 15%; 砖瓦企业占地 30 万公顷,占全国建材企业占地的 67%, 每年烧砖毁田 0.47 万~0.53 万公顷; 墙体材料年运输量达 200 亿吨·千米以上,占全国短途运输量的 $1/6$ 以上。

新型墙体材料节能、节土、利废的效果十分明显。新型砖材料主要是指各种空心砖,如煤矸石烧结空心砖、粉煤灰烧结空心砖、页岩烧结空心砖、黏土烧结空心砖等。这些产品因具有一定的孔洞率,热导率比传统的黏土实心砖低得多,如优质空心砖热导率为 $0.35\sim 0.4\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 而实心黏土砖为 $0.7\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 因此既保温又隔热,提高了室内环境的舒适感。特别是煤矸石和粉煤灰空心砖以工业废弃物为主要原料,节约了大量能源和土源。

节能建筑砌块主要是指加气混凝土砌块、轻骨料砌块、粉煤灰空心砌块等。这类砌块保温隔热性能优异,如加气混凝土热导率只有 $0.12\sim 0.15\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 仅为实心黏土砖的 $1/5$ 左右,而且,这类产品生产能耗也低,节能效果明显。同时,这些产品利用工业废弃物生产,可节约土地资源,符合国家可持续发展的要求,被列入绿色建材范畴。

我国现有的多孔砖、混凝土砌块、多种利废砖、加气混凝土等新型墙体材料的生产平均能耗每万块为 0.7t 标准煤,比实心黏土砖的 1.32t 标准煤约低 47%。建造达到民用建筑节能设计标准的建筑,可使每平方米建筑采暖能耗从目前的 1.5kg 标准煤降低到 15.8~22kg 标准煤,节能率达 30%~50%。

② 外墙保温技术。20 世纪 90 年代初,外墙保温技术开始在我国推广并表现出良好的保温节能效果。外墙保温技术本质就是一种复合墙体技术,用承重材料(砖或砌块)与高效保温材料(聚苯板、岩棉板或玻璃棉板等)进行复合,组成复合墙体。在复合墙体中,由于保温材料所处的位置不同,又有外墙外保温、外墙内保温以及外墙夹芯保温,其技术性能指标见表 1-1。

表 1-1 三种保温墙的技术性能比较

技术类型	结构(由内至外)	主要优点	主要缺点
外墙内保温	面层(纸面石膏、无纸面石膏等)→保温绝热层(岩棉板、聚苯板、玻璃棉板等)→墙体结构层	① 由于在室内施工,不考虑大气和雨水的侵蚀,对面层无耐候要求; ② 施工便利,施工不受气候的影响,也不需要防护措施; ③ 造价较低,充分利用工业废弃物,不需要很多工具	① 不能彻底消除热桥,削弱了墙体绝热性,绝热效率仅为 30%~40%;另外,由于热桥的影响,在内表面易产生结露; ② 若面接缝不严而空气渗漏,易在绝热层上结露; ③ 减少了有效使用面积; ④ 室温波动较大,对墙体结构产生破坏作用,由于“内保温技术综合征”的影响,内保温做法将会缩短建筑寿命
外墙夹芯保温	① 现场施工:将保温层(岩棉板、聚苯板、玻璃棉板等)夹在墙体中间; ② 预制复合板:钢筋混凝土中间嵌入绝热层	① 可代替加气混凝土砌块作为填充结构,解决加气混凝土砌块在施工中存在着抹灰易空鼓、起壳和裂缝等质量问题; ② 绝热性能优于内保温技术,其绝热效率能达到 50%~75%; ③ 现场施工或预制,夹芯部分厚度可调,施工便利; ④ 造价较低	① 由于热桥的影响,削弱墙体绝热性能,联合钢筋和墙体的梁柱仍是热桥; ② 墙体较厚,减少有效使用面积; ③ 抗震性能较差,由于保温层处在两层承重刚性墙体之间; ④ 预制板接缝易发生渗漏; ⑤ 由于结构两端的温度波动较大,易对墙体结构造成破坏
外墙外保温	① 现场施工: a. 墙体结构层→保温绝热层(岩棉板、聚苯板等)→抗裂砂浆层、网格布→柔性腻子层→涂料饰面层; b. 墙体结构层→保温绝热层(岩棉板、聚苯板等)→抗裂砂浆层→钢丝网架→瓷砖饰面层 ② 预制带饰面外保温板	① 基本上可消除热桥,绝热层效率可达到 85%~95%; ② 墙面内表面不会发生结露; ③ 不减少使用面积; ④ 既适用于新建房屋,也适用于旧房改造,施工中不影响正常使用; ⑤ 室内热舒适度较好,不会对墙体承重结构造成危害; ⑥ 现场均采用预拌砂浆,施工按比例混合加水即可,解决了传统砂浆现场称量、拌制所产生的配料不准确的缺点	① 冬季、雨季施工受到一定限制; ② 施工要求较高。抗裂层施工时,对耐碱网格布的搭接处理要严格,不然易发生开裂;对 EPS 板或 XPS 板施工时,要注意板缝的处理,不然易导致整个墙体的开裂,施工需要一定的安全措施

③ 门窗节能技术。在建筑围护结构中,门窗占有重要地位。虽然门窗的面积通常只占围护结构的 25%左右,但通过门窗的散热量却占整个建筑的 50%以上。因此,门窗也是建筑节能的重要环节。我国外窗能耗是发达国家的 2.2 倍。

门窗的保温隔热性能较差,门窗缝隙是冷风渗透的主要通道。门窗的节能效果主要取决于门窗的传热系数和门窗的气密性。因此,改善门窗的保温隔热性能、节约能源、提高热舒适性的技术重点是选用材质及构造设计合理的新型节能门窗,以降低其传热系数,提高其气密性。

目前,在玻璃节能技术领域研发的可供选择的新型节能门窗有塑料门窗、铝塑复合门窗、断桥铝合金门窗、玻璃钢门窗、木塑复合门窗等。这些节能门窗一般多采用新型节能玻璃与之配套组合,如中空玻璃、低辐射率(Low-E)玻璃、太阳能控制低辐射(Sun-E)玻璃和多功能镀膜玻璃等。这几种玻璃都具有很好的节能效果,如中空玻璃,由于其由两片玻璃与玻璃之间的密封惰性气体组成,其热导率远低于单层玻璃;又如太阳能热反射玻璃利用镀膜只能透过可见光的功能,使室内热环境得到改善。

同时采用适当的窗墙面积比(窗户洞口面积与房间立面单元面积的比值),增加窗玻璃层数(使用双层或三层窗,利用玻璃之间的密闭空气层增大热绝缘系数,降低窗户的传热系数),增设保温窗帘,使用门窗密封条(提高门窗气密性,减少冷风渗透),严格窗框与窗扇、窗框与墙体间的密封,窗户遮阳,活动外遮阳等技术措施,也逐步在建筑中推广应用。

④ 屋顶和地面的节能技术。除外墙和门窗外,屋面也是围护结构的重要部分。在现行的各种建筑节能设计标准中,对屋面传热系数的最高限值相对于外墙和外窗均为最低。因此,屋面中也应选节能建筑材料。

过去屋面应用较多的是现浇水泥炉渣、水泥膨胀珍珠岩、沥青膨胀珍珠岩、水泥蛭石等整体封闭式保温层,或松散的膨胀珍珠岩、膨胀蛭石等,由于各种原因其干燥程度难于达到规范的要求,保温效果较差。

目前,日趋完善的是倒置屋面、架空屋面、种植屋面与反射屋面等技术。平面屋顶可采用50~100mm的加气混凝土块或架空设置的加气混凝土块,采用散铺浮石砂做保温层,在架空层填充袋装膨胀珍珠岩、岩棉或矿棉等效果更好。还可以采用防水层在下,聚苯板在上的倒铺法,保温效果尤佳。

尖顶屋面可顺坡顶内铺钉玻璃棉毡或岩棉毡,也可在天棚上铺设玻璃棉毡或岩棉毡;还可喷铺玻璃棉、岩棉、膨胀珍珠岩等松散材料。

房间下部土壤温度变化不大,但与室内空气相邻的边缘地下温度变化却相当大。冬天将有较多热量由此散失,夏季高温高湿的空气与低温的地面接触,则易产生结露。故应沿首层地面外墙周围边缘设置一定宽度的炉渣带,有利于保温隔热。

(3) 利用相变储能推动建筑物节能降耗的技术 在建筑围护结构中应用相变储能技术,可以降低房间空调负荷。

(4) 超低能耗建筑和绿色建筑的研发、示范和推广应用。

1.1.2.2 建筑设备的关键节能技术

在建筑设备所涉及的能量系统节能技术领域,采用先进供冷、供热系统和设备以及控制技术,积极推进了建筑节能的发展。

(1) 计算机仿真与智能控制技术 通过对供冷、供热系统实现优化运行节能控制,最大限度减低运行能耗。

(2) 房间空调器节能技术 包括变频技术、户式中央空调器、热泵除霜技术、水源热泵技术、螺杆机及多级高效吸收式制冷机的研发等。

① 热泵技术:采用热泵原理利用低温低品位热能资源,通过少量的高品位电能输入,实现低品位热能向高品位热能转移的一种技术,主要有空气源热泵技术和水源热泵技术。可向建筑物供热、供冷,有效降低建筑物供热和供冷能耗,同时降低区域环境污染。

② 变风量空调技术:一种节能的空调方式。整个空调可以根据负荷的变化调节总送风量,特别是在部分负荷运转时可以最大限度地减少风机动力消耗而节约能量;同时空凋制冷机组也可只按实际负荷需要运行,这也降低了能耗和运行费用;在考虑同时使用系数的情况下,空调系统的总装机容量可以减少10%~30%左右。

③ 新风处理及空调系统的余热回收技术:新风负荷一般占建筑物总负荷的30%~40%。变新风量所需的供冷量比固定的最小新风量所需的供冷量少20%左右。新风量如果能够从最小新风量到全新风变化,在春秋季可节约近60%的能耗。通过全热式换热器将空调房间排风量与新风进行热、湿交换,利用空调房间排风的降温除湿,可实现空调系统的余热回收。

(3) 热电联产技术(系统优化匹配设计及控制等) 采用热电联合生产方式,利用发电余热集中供热取代大量的、分散的、除尘效率低的小锅炉供热方式,可大幅度地减少大气污染物的排放量,有效地改善环境质量。与直接使用锅炉供热相比,热电联产提高了能源的利用效率,可降低一次能源消耗量的10%~30%。

(4) 蓄能技术 从新型相变材料开发和相变传热技术角度推动蓄能技术在蓄冷空调、地板采暖、蓄热电采暖器、热电冷联供及太阳房等领域的应用。相变储能具有储能密度高、相变温度接近于一恒定温度等优点,可提供很高的蓄热、蓄冷容量,并且系统容易控制,可有效解决能量供给与需求时间上的不匹配问题。在供热空调系统中应用相变储能技术,是实现电网“削峰填谷”的重要途径。

(5) 辐射型供热节能技术 地板辐射、天花板辐射、垂直板辐射是辐射型供热的主要方式。它是一种对房间微热气候进行调节的节能供热系统,可避免吹风感,使人热感觉舒适。在有低温废热、地下水等低品位可再生冷热源时,这种方式可直接使用这些冷热源,省去常规冷热源。

(6) 太阳能利用技术 太阳能一体化建筑是太阳能利用的发展趋势。利用太阳能为建筑物提供热水、冬季供热和夏季空调,同时可以结合光伏电池技术为建筑物供电。用太阳能替代或部分替代常规能源驱动空调系统,正日益受到世界各国的关注。

(7) 建筑能耗模拟分析技术 随着能源结构优化,对各种采暖方式和供冷方式的技术经济评价分析及比较,对建筑供热系统和空调系统的节能优化、现有建筑的节能改造、空调系统的运行管理有着重要的意义。该技术是在综合考虑气候条件、各种传热方式、建筑物的朝向、墙体材料的性能、门窗性能、建筑物的热惰性、各相邻房间耦合传热、新风要求、用户的作息情况以及供热空调等各种建筑设备的选择和使用等因素的基础上对建筑物的能耗需求进行评估。

1.1.2.3 建筑热环境控制关键节能技术

① 采暖空调系统的控制技术是对既有热网系统和楼宇能源系统进行节能改造、实现优化运行节能控制的关键技术。主要有三种方式:VWV(变水量)、VAV(变风量)和VRV(变容量),其关键技术是基于供热、空调系统中“冷(热)源—输配系统—末端设备”各环节物理特性的控制。

② 采暖末端装置可调技术主要包括末端热量可调及热量计量装置,连接每组暖气片的恒温阀、相应的热网控制调节技术以及变频泵的应用等。可实现30%~50%的节能效果,同时避免采暖末端的冷热不均问题。

③ 建筑设备总系统的优化集成设计和控制技术。

④ 建筑物能耗评估技术及建筑热环境全工况模拟分析软件的开发及应用。

⑤ 建筑物热性能的检测技术。

1.2 建筑节能的基本原理

1.2.1 建筑节能理论研究概况

1.2.1.1 建筑得热与失热的途径

冬季采暖房屋的正常温度是依靠采暖设备的供暖和围护结构的保温之间相互匹配,以及建筑物的得热量与失热量的平衡得以实现的。可用下式表示:

采暖设备散热+建筑物内部得热+太阳辐射得热=建筑物总得热

非采暖区的房屋建筑有两类：一类是采暖房屋有采暖设备，总得热同上；另一类是没有采暖设备，总得热为建筑内部得热加太阳辐射得热两项，一般仍能保持比室外日平均温度高 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，对于有室内采暖设备散热的建筑，室内外日平均温差，北京地区可达 $20\sim 27^{\circ}\text{C}$ ，哈尔滨地区可达 $28\sim 44^{\circ}\text{C}$ 。对于室内外存在温差，若围护结构不能完全绝热和密闭，热量从室内向室外散失。建筑的得热和失热的途径及其影响因素是研究建筑采暖和节能的基础，其基本情况如图1-1所示。

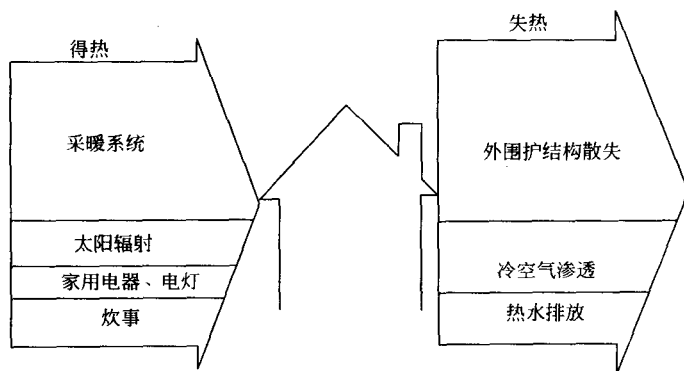


图 1-1 建筑得热与失热因素示意

(1) 一般房屋中建筑得热因素

- ① 系统供给的热量。主要由暖气、火炉、火坑等采暖设备提供。
- ② 太阳辐射热供给的热量。阳光斜射、投入玻璃进入室内所提供的热量。普通玻璃透射率高达 $80\%\sim 90\%$ ，北方地区太阳入射角度为 $13^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，南窗房间得热量甚大。
- ③ 家用电器发出的热量。家用电器如电冰箱、电视机、洗衣机、吸尘器及电灯等发出的热量。

④ 炊事及烧热水散发的热量。

⑤ 人体散发的热量。

(2) 一般房屋中建筑失热因素

- ① 通过外墙、屋顶和地面产生的热传导损失，以及通过窗户造成的传导和辐射传热损失。
- ② 由于通风换气和空气渗透产生的热损失。其途径可由门窗开启、门窗缝隙、烟囱、通气孔以及穿墙管孔隙等。
- ③ 由于热水排入下水道带走的热量。
- ④ 由于水分蒸发形成水蒸气外排散失的热量。

1.2.1.2 建筑传热的方式

建筑物内外热流的传递状况是随发热体（热源）的种类、受热体（房屋）部位及其媒介（介质）围护结构的不同情况而变化的。热流的传递称为传热，传热的方式可分为辐射、对流和导热三种方式。

(1) 辐射传热 辐射传热又称热辐射，是指因热的原因而产生的电磁波在空间的传递。物体将热能变为辐射能，任何物体，只要温度高于 0K ，就可不停地向周围空间发出热辐射能，以电磁波的形式在空中传播，当遇到另一物体时，又被全部或部分地吸收而转变为热能。如铸铁散热器采暖通常靠热辐射的形式把热量传递给空气。

由于物体具有一定的温度，其表面便发射出电磁波，这种电磁波射至另外物体的表面，

即转化为热。邻近的两物体，相互发射波长不同的电磁波，高温物体发射的电磁波主力波长较短，低温物体发射的电磁波主力波长较长。两者不断进行热交换，由于物体的热辐射与其表面的热力学温度的四次方成正比，因而温差越大，由高温物体向低温物体转移的热量便越多。人与周围始终存在热交换，冬天靠窗坐时，感觉特别冷；屋顶保温不好，冬冷夏热，均因热交换量加大的缘故。不同的物体向外界辐射放热的能力不同，一般建筑材料，如砖石、混凝土、油漆、玻璃、沥青等辐射放热的能力很强，发射率高达 0.85~0.95，而有些材料辐射放热的性能达到建筑节能的效果。

(2) 对流传热 对流传热是指具有热能的气体或液体在移动过程中进行热交换的传热现象。在采暖房间中，采暖设备周围的空气被加热升温，密度减小，邻近的较冷空气，密度较大，下沉，形成对流传热；在门窗附近，由缝隙进入的冷空气，温度低，密度大，流向下部，热空气则由上部逸出室外；在外墙和外窗内表面温度较低，室内热空气被冷却，密度增大而下降，热空气上升，又被冷却下沉形成对流传热。

对于采暖建筑，当围护结构质量较差时，室外温度越低，则窗与外墙内表面温度也越低，邻近的热空气迅速变冷下沉，散失热量，这种房间，只在采暖设备附近及其上部较暖，外围特别是下部则很冷；当围护结构质量较好时，其内表面温度较高，室温分布较为均匀，无急剧的对流传热现象产生，保温节能效果较好。

(3) 导热 导热是指物体内部的热量由一高温物体直接向另一低温物体转移的现象。这种传热现象是两直接接触的物体质点的热运动所引起的热量传递。一般来说，密实的重质材料，导热性能好，而保温性能差；反之，疏散的轻质材料，导热性能差，而保温性能好。材料的导热性能以热导率表示。

热导率是指在稳定传热条件下，1m 厚的材料，两侧表面的温差为 1K 或 1°C ，在 1h 内，通过 1m^2 面积传递的热量，单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 或 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。热导率与材料的组成结构、密度、含水率、温度等因素有关。通常把热导率较低的材料称为保温材料，把热导率在 $0.05\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 以下的材料称为高效保温材料。普通混凝土的热导率为 $1.74\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，黏土砖砌体为 $0.81\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，玻璃棉、岩棉和聚苯乙烯的热导率为 $0.04\sim 0.05\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

建筑物的传热通常是辐射、对流、导热三种方式同时进行、综合作用的结果。

以屋顶某处传热为例，太阳照射到屋顶某处的辐射热，其中 20%~30% 的热量被反射；其余一部分热量以导热的方式经屋顶的材料传向室内；另一部分则由屋顶表面向大气辐射，并以对流传热的方式将热量传递给周围的空气，如图 1-2 所示。

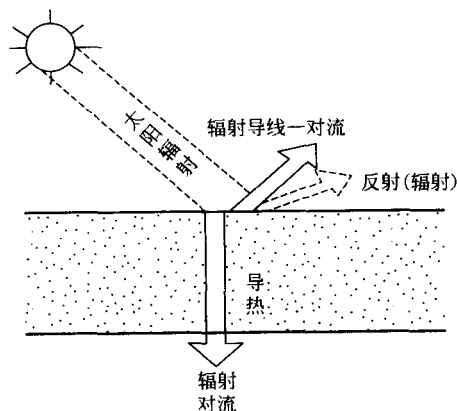


图 1-2 屋顶传热示意

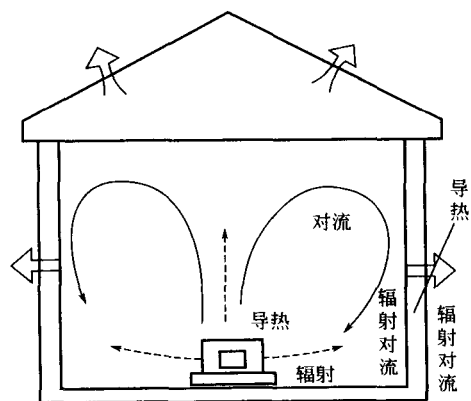


图 1-3 室内外传热示意